República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 112021013983-4 A2

(22) Data do Depósito: 16/01/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 21/09/2021

(54) Título: GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA DE HIDROGÊNIO MAGNETO-HIDRODINÂMICO

(51) Int. Cl.: C25B 1/04; C01B 3/10; C01B 3/08.

(30) Prioridade Unionista: 01/11/2019 US 62/929,265; 02/04/2019 US 62/828,341; 05/08/2019 US 62/883,047; 06/09/2019 US 62/897,161; 07/05/2019 US 62/844,643; (...).

(71) Depositante(es): BRILLIANT LIGHT POWER, INC..

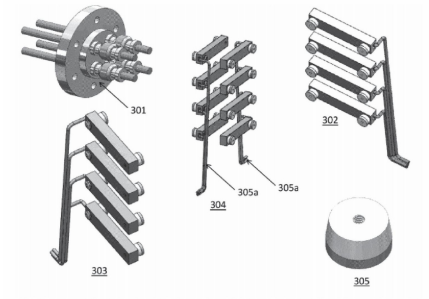
(72) Inventor(es): RANDELL MILLS.

(86) Pedido PCT: PCT IB2020050360 de 16/01/2020

(87) Publicação PCT: WO 2020/148709 de 23/07/2020

(85) Data da Fase Nacional: 15/07/2021

(57) Resumo: GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA DE HIDROGÊNIO MAGNETOHIDRODINÂMICO. É descrito um gerador de energia que fornece pelo menos uma dentre energia elétrica e térmica compreendendo (i) pelo menos uma célula de reação para reações envolvendo produtos de hidrogênio de hidrogênio atômico identificáveis por assinaturas analíticas e espectroscópicas únicas, (ii) um sistema de injeção de metal fundido compreendendo pelo menos uma bomba, como uma bomba eletromagnética que fornece um fluxo de metal fundido para a célula de reação e pelo menos um reservatório que recebe o fluxo de metal fundido, e (iii) um sistema de ignição que compreende uma fonte de energia elétrica que fornece energia elétrica de baixa tensão e alta corrente para pelo menos um fluxo de metal fundido para causar ignição em um plasma para iniciar uma cinética rápida da reação e um ganho de energia. Em algumas modalidades, o gerador de energia pode compreender: (v) uma fonte de H2 e O2 fornecidos ao plasma, (vi) um sistema de recuperação de metal fundido, e (vii) um conversor de energia capaz de (a) converter a saída de luz de alta potência de um radiador de corpo negro da célula em eletricidade usando células termofotovoltaicas concentradoras ou (b) converter o plasma (...).



“GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA DE HIDROGÊNIO MAGNETO-HIDRODINÂMICO”

REFERÊNCIAS CRUZADAS DE PEDIDOS RELACIONADOS

[001] Este pedido reivindica prioridade para o Pedido Norte-Americano Nº. 62/794,515, depositado em 18 de janeiro de 2019, Nº. 62/803,283, depositado em 8 de fevereiro de 2019, Nº. 62/823,541, depositado em 25 de março de 2019, Nº. 62/828,341, depositado em 2 de abril de 2019, Nº. 62/839,617, depositado em 27 de abril de 2019, Nº. 62/844,643, depositado em 7 de maio de 2019, Nº. 62/851,010, depositado em 21 de maio de 2019, Nº. 62/868,838, depositado em 28 de junho de 2019, Nº. 62/871,664, depositado em 8 de julho de 2019, Nº. 62/879,389, depositado em 26 de julho de 2019, Nº. 62/883,047, depositado em 5 de agosto de 2019, Nº. 62/890,007, depositado em 21 de agosto de 2019, Nº. 62/897,161, depositado em 6 de setembro de 2019, Nº. 62/903,528, depositado em 20 de setembro de 2019, Nº. 62/929,265, depositado em 1º de novembro de 2019, Nº. 62/935,559, depositado em 14 de novembro de 2019, Nº. 62/948,173, depositado em 13 de dezembro de 2019 e Nº. 62/954,355, depositado em 27 de dezembro de 2019, cada um deles aqui incorporados por referência na íntegra.

CAMPO DA PUBLICAÇÃO

[002] A presente publicação refere-se ao campo da geração de energia e, em particular, a sistemas, dispositivos e métodos para geração de energia. Mais especificamente, as modalidades da presente publicação são direcionadas aos dispositivos e sistemas de geração de energia, bem como os métodos relacionados, que produzem energia óptica, plasma e energia térmica e produz energia elétrica via um conversor de energia magneto-hidrodinâmico, um conversor de energia óptica para elétrica, conversor de plasma para energia elétrica, conversor de fóton para energia elétrica ou um conversor de energia térmica para elétrica. Além disso, as modalidades da presente publicação descrevem sistemas, dispositivos e métodos que usam a

ignição de uma fonte de água ou combustível à base de água para gerar energia óptica, energia mecânica, energia elétrica e/ou energia térmica usando conversores de energia fotovoltaica. Esta e outras modalidades relacionadas são descritas em detalhes na presente publicação.

FUNDAMENTOS

[003] A geração de energia pode tomar muitas formas, aproveitando a energia do plasma. A comercialização bem-sucedida do plasma pode depender de sistemas de geração de energia capazes de formar o plasma com eficiência e capturar a energia do plasma produzido.

[004] O plasma pode ser formado durante a ignição de certos combustíveis. Esses combustíveis podem incluir uma fonte de água ou de combustível à base de água. Durante a ignição, uma nuvem de plasma de átomos que perderam elétrons é formada e pode ser liberada uma alta potência óptica. A alta potência óptica do plasma pode ser aproveitada por um conversor elétrico da presente publicação. Os íons e átomos de estado excitado podem se recombinar e sofrer relaxamento eletrônico para emitir energia óptica. A energia óptica pode ser convertida em eletricidade com células fotovoltaica.

RESUMO

[005] A presente publicação é direcionada a sistemas de energia que geram pelo menos uma dentre energia elétrica e energia térmica, compreendendo:

pelo menos um vaso capaz de manter uma pressão abaixo da atmosférica;

reagentes capazes de sofrer uma reação que produza energia suficiente para formar um plasma no vaso, compreendendo:

a) uma mistura de gás hidrogênio e gás oxigênio, e/ou

vapor de água, e/ou

uma mistura de gás hidrogênio e vapor d'água;

b) um metal fundido;

um controlador de fluxo de massa para controlar a vazão de pelo menos um reagente no vaso;

uma bomba de vácuo para manter a pressão no vaso abaixo da pressão atmosférica quando um ou mais reagentes estiverem fluindo para o vaso;

um sistema injetor de metal fundido que compreenda pelo menos um reservatório que contenha algum metal fundido, um sistema de bombeamento de metal fundido (p.ex., uma ou mais bombas eletromagnéticas) configurado para fornecer o metal fundido ao reservatório e, através de um tubo injetor, fornecer um fluxo de metal fundido, e pelo menos um reservatório de metal fundido não injetor para receber o fluxo de metal fundido;

pelo menos um sistema de ignição compreendendo uma fonte de energia elétrica ou corrente de ignição para fornecer energia elétrica a pelo menos um fluxo de metal fundido para inflamar a reação quando o gás hidrogênio e/ou gás oxigênio e/ou vapor d'água estiverem fluindo para o vaso;

um sistema de abastecimento de reagente para reabastecer os reagentes que são consumidos na reação;

um conversor de energia ou sistema de saída para converter uma parte da energia produzida na reação (p.ex., luz e/ou saída térmica do plasma) em energia elétrica e/ou energia térmica.

[006] O sistema de energia pode compreender um radiador de corpo negro e uma janela para emitir luz do radiador de corpo negro. Essas modalidades podem ser usadas para gerar luz (p.ex., usadas para iluminação).

[007] Em algumas modalidades, o sistema de energia pode compreender ainda um misturador de gás para misturar os gases hidrogênio e oxigênio e um recombinador de hidrogênio e oxigênio e/ou um dissociador de hidrogênio. Por exemplo, o sistema de energia pode compreender um recombinador de hidrogênio e oxigênio em que o recombinador de hidrogênio e oxigênio compreende um metal catalítico

recombinante suportado por um material de suporte inerte.

[008] O sistema de energia pode ser operado com parâmetros que maximizam as reações e, especificamente, reações capazes de gerar energia suficiente para sustentar a geração de plasma e a produção de energia líquida. Por exemplo, em algumas modalidades, a pressão do vaso durante a operação está na faixa de 0,1 Torr a 50 Torr. Em certas implementações, a vazão de massa de hidrogênio excede a vazão de massa de oxigênio por um fator na faixa de 1,5 a 1000. Em algumas modalidades, a pressão pode ser superior a 50 Torr e pode compreender ainda um sistema de recirculação de gás.

[009] Em algumas modalidades, um gás inerte (p.ex., argônio) é injetado no vaso. O gás inerte pode ser usado para prolongar a vida útil de certos reagentes formados *in situ* (como água nascente).

[010] O sistema de energia pode compreender um microinjetor de água configurado para injetar água no vaso de modo que o plasma produzido a partir da saída de energia da reação compreenda vapor d'água. Em algumas modalidades, o microinjetor injeta água no vaso. Em algumas modalidades, a porcentagem molar de H_2 está na faixa de 1,5 a 1000 vezes a porcentagem molar do vapor d'água (p.ex., o vapor d'água injetado pelo microinjetor).

[011] O sistema de energia pode compreender ainda um aquecedor para fundir um metal (p.ex., gálio ou prata ou cobre, ou combinações destes) para formar o metal fundido. O sistema de energia pode compreender ainda um sistema de recuperação de metal fundido configurado para recuperar o metal fundido após a reação, compreendendo um canal de transbordamento de metal fundido que coleta o transbordamento do reservatório não injetor de metal fundido.

[012] O sistema de injeção de metal fundido pode compreender ainda eletrodos no reservatório de metal fundido e no reservatório não injetor de metal fundido; e o sistema de ignição compreende uma fonte de energia elétrica ou corrente de ignição

para fornecer tensões opostas aos eletrodos do reservatório injetor e não injetor; em que a fonte de energia elétrica fornece corrente e fluxo de energia através do fluxo de metal fundido para fazer com que a reação dos reagentes forme um plasma dentro do vaso.

[013] A fonte de energia elétrica normalmente fornece uma energia elétrica de alta corrente suficiente para fazer com que os reagentes reajam para formar plasma. Em certas modalidades, a fonte de energia elétrica compreende pelo menos um supercapacitor. Em várias implementações, a corrente do sistema de ignição de metal fundido está na faixa de 10 A a 50.000 A.

[014] Normalmente, o sistema de bombeamento de metal fundido é configurado para bombear metal fundido de um reservatório de metal fundido para um reservatório não injetor, sendo criado um fluxo de metal fundido entre eles. Em algumas modalidades, o sistema de bombeamento de metal fundido é composto por uma ou mais bombas eletromagnéticas, e cada bomba eletromagnética compreende um de

a) um tipo de condução CC ou CA compreendendo uma fonte de corrente CC ou CA suprida ao metal fundido por meio de eletrodos e uma fonte de campo magnético cruzado por vetor alternado constante ou em fase, ou

b) um tipo de indução compreendendo uma fonte de campo magnético alternado através de um loop curto de metal fundido que induz uma corrente alternada no metal e uma fonte de campo magnético cruzado por vetor alternado em fase.

[015] Em algumas modalidades, o circuito do sistema de ignição de metal fundido é fechado pelo fluxo de metal fundido para causar ignição e para promover ignição adicional (p.ex., com uma frequência de ignição inferior a 10.000 Hz). O reservatório injetor pode compreender um eletrodo em contato com o metal fundido ali contido, e o reservatório não injetor compreende um eletrodo que faz contato com o metal fundido fornecido pelo sistema injetor.

[016] Em várias implementações, o reservatório não injetor é alinhado acima

(p.ex., verticalmente) do injetor, e o injetor é configurado para produzir o fluxo fundido orientado em direção ao reservatório não injetor, de modo que o metal fundido oriundo do fluxo de metal fundido possa se acumular no reservatório, e o fluxo de metal fundido faça contato elétrico com o eletrodo do reservatório não injetor; e no qual o metal fundido se acumula no eletrodo do reservatório não injetor. Em certas modalidades, a corrente de ignição para o reservatório não injetor pode compreender:

a) uma alimentação capaz de alta temperatura hermeticamente vedada, embora penetre no vaso;

b) um barramento de eletrodo e

c) um eletrodo.

[017] A densidade da corrente de ignição pode estar relacionada à geometria do vaso pelo menos por estar a geometria do vaso relacionada à forma final do plasma. Em várias implementações, o vaso pode compreender uma geometria de ampulheta (p.ex., uma geometria em que uma porção média da área de superfície interna do vaso tem uma seção transversal menor do que a seção transversal dentro de 20% ou 10% ou 5% de cada extremidade distal ao longo do eixo principal) e em uma orientação vertical (p.ex., o eixo principal aproximadamente paralelo à força da gravidade) em seção transversal em que o reservatório injetor está abaixo da cintura e configurado de modo que o nível de metal fundido no reservatório seja proximal à cintura da ampulheta para aumentar a densidade da corrente de ignição. Em algumas modalidades, o vaso é simétrico em relação ao eixo longitudinal principal. Em algumas modalidades, o vaso pode ter uma geometria de ampulheta e compreender um revestimento de metal refratário. Em algumas modalidades, o reservatório injetor do vaso com geometria de ampulheta pode compreender o eletrodo positivo para a corrente de ignição.

[018] O metal fundido pode compreender pelo menos um dentre prata, gálio, liga de prata-cobre, cobre ou combinações destes. Em algumas modalidades, o metal

fundido tem um ponto de fusão abaixo de 700 °C. Por exemplo, o metal fundido pode compreender pelo menos um dentre bismuto, chumbo, estanho, índio, cádmio, gálio, antimônio ou ligas como metal de Rose, Cerrosafe, metal de Wood, metal de Field, Cerrolow 136, Cerrolow 117, Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl e Galinstan. Em certos aspectos, pelo menos um dos componentes do sistema de geração de energia que entra em contato com esse metal fundido (p.ex., reservatórios, eletrodos) compreende, é envolto ou é revestido com um ou mais materiais resistentes à liga, que resiste à formação de uma liga com o metal fundido. Materiais resistentes a ligas exemplares são tungstênio, tântalo, aço inoxidável 347 e uma cerâmica. Em algumas modalidades, pelo menos uma porção do vaso é composta por uma cerâmica e/ou um metal. A cerâmica pode compreender pelo menos um dentre óxido de metal, quartzo, alumina, zircônio, magnésio, háfnio, carbeto de silício, carbeto de zircônio, diboreto de zircônio, nitreto de silício e uma vitrocerâmica. Em algumas modalidades, o metal do vaso compreende pelo menos um dentre um aço inoxidável e um metal refratário.

[019] O metal fundido pode reagir com água para formar hidrogênio atômico *in situ*. Em várias implementações, o metal fundido é o gálio, e o sistema de energia compreende ainda um sistema de regeneração de gálio com a finalidade de regenerar gálio a partir de óxido de gálio (p.ex., óxido de gálio produzido na reação). O sistema de regeneração de gálio pode compreender uma fonte de pelo menos um dentre gás hidrogênio e hidrogênio atômico para reduzir o óxido de gálio a gálio metálico. Em algumas modalidades, o gás hidrogênio é fornecido ao sistema de regeneração de gálio a partir de fontes externas ao sistema de geração de energia. Em algumas modalidades, o gás hidrogênio e/ou hidrogênio atômico são gerados *in situ*. O sistema de regeneração de gálio pode compreender um sistema de ignição que fornece energia elétrica ao gálio (ou combinações de gálio/óxido de gálio) produzido na reação. Em várias implementações, tal energia elétrica pode eletrolisar o óxido de gálio na superfície do gálio em gálio metálico. Em algumas modalidades, o sistema de

regeneração de gálio pode compreender um eletrólito (p.ex., um eletrólito que compreende um haleto alcalino ou alcalino-terroso). Em algumas modalidades, o sistema de regeneração de gálio pode compreender um sistema de eletrólise aquosa de pH básico, um meio para transportar o óxido de gálio para o sistema e um meio para retornar o gálio para o vaso (p.ex., para o reservatório de metal fundido). Em algumas modalidades, o sistema de regeneração de gálio compreende um *skimmer* e um elevador de canecas para remover o óxido de gálio da superfície do gálio. Em várias implementações, o sistema de energia pode compreender uma linha de exaustão para a bomba de vácuo para manter um fluxo de gás de exaustão, e ainda compreender um sistema de precipitação eletrostática na linha de exaustão para coletar partículas de óxido de gálio no fluxo de gás de exaustão.

[020] Em algumas modalidades, o sistema de energia pode compreender ainda pelo menos um trocador de calor (p.ex., um trocador de calor acoplado a uma parede da parede do vaso, um trocador de calor que pode transferir calor para ou do metal fundido, ou para ou do reservatório de metal fundido).

[021] Em algumas modalidades, o sistema de energia compreende pelo menos um conversor de energia ou sistema de saída da energia da reação compreende pelo menos um do grupo dentre um conversor termofotovoltaico, um conversor fotovoltaico, um conversor fotoeletrônico, um conversor magneto-hidrodinâmico, um conversor plasmadinâmico, um conversor termiônico, um conversor termoelétrico, um motor Sterling, um conversor de ciclo de CO_2 supercrítico, um conversor de ciclo Brayton, um motor ou conversor de ciclo Brayton do tipo combustor externo, um motor ou conversor de ciclo Rankine, um conversor de ciclo Rankine orgânico, um motor tipo conversão interna, e um motor térmico, um aquecedor e uma caldeira. O vaso pode compreender uma janela fotovoltaica (PV) transparente à luz para transmitir luz do interior do vaso para um conversor fotovoltaico, e pelo menos um dentre uma geometria de vaso e pelo menos um defletor que compreende uma janela giratória. A janela

giratória compreende um sistema para reduzir o óxido de gálio compreendendo pelo menos um dentre um sistema de redução de hidrogênio e um sistema de eletrólise. Em algumas modalidades, a janela giratória compreende ou é composta por quartzo, safira, fluoreto de magnésio ou combinações destes. Em várias implementações, a janela giratória é revestida com um revestimento que suprime a aderência de pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio. O revestimento da janela giratória pode compreender pelo menos um dentre diamante como carbono, carbono, nitreto de boro e um hidróxido alcalino.

[022] O conversor de energia ou sistema de saída pode compreender um conversor magneto-hidrodinâmico (MHD) que compreende um bocal conectado ao vaso, um canal magneto-hidrodinâmico, eletrodos, ímãs, um sistema de coleta de metal, um sistema de recirculação de metal, um trocador de calor e, opcionalmente, um sistema de recirculação de gás. Em algumas modalidades, o metal fundido pode compreender prata. Em modalidades com um magneto-hidrodinâmico, pode ser administrado gás oxigênio ao conversor magneto-hidrodinâmico para formar nanopartículas de partículas de prata (p.ex., de tamanho no regime molecular, como menos de cerca de 10 nm ou menos de cerca de 1 nm) mediante interação com a prata no fluxo de metal fundido, em que as nanopartículas de prata são aceleradas através do bocal magneto-hidrodinâmico para transmitir um inventário de energia cinética da energia produzida a partir da reação. O sistema de abastecimento de reagente pode fornecer e controlar o abastecimento do gás oxigênio ao conversor. Em várias implementações, pelo menos uma porção do inventário de energia cinética das nanopartículas de prata é convertida em energia elétrica em um canal magneto-hidrodinâmico. Essa versão de energia elétrica pode resultar na coalescência das nanopartículas. As nanopartículas podem coalescer como metal fundido que, pelo menos parcialmente, absorve o oxigênio em uma seção de condensação do conversor magneto-hidrodinâmico (também referido neste documento como uma seção de condensação do MHD), e o metal fundido

compreendendo oxigênio absorvido é retornado ao reservatório injetor por um sistema de recirculação de metal. Em algumas modalidades, o oxigênio pode ser liberado do metal pelo plasma no vaso. Em algumas modalidades, o plasma é mantido no canal magneto-hidrodinâmico e no sistema de coleta de metal para aumentar a absorção do oxigênio pelo metal fundido.

[023] O sistema de bombeamento de metal fundido pode compreender uma bomba eletromagnética de primeiro estágio e uma bomba eletromagnética de segundo estágio, em que o primeiro estágio compreende uma bomba para um sistema de recirculação de metal e o segundo estágio compreende a bomba do sistema injetor de metal.

[024] A reação induzida pela reação produz energia suficiente para iniciar a formação de um plasma no vaso. Essas reações podem produzir um produto de hidrogênio caracterizado como um ou mais dentre:

a) um produto de hidrogênio com um pico Raman em um ou mais intervalos de 1.900 a 2.000 cm^{-1} e 5.500 a 6.100 cm^{-1};

b) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos Raman espaçados em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,25 eV;

c) um produto de hidrogênio com um pico de infravermelho em 1.900 a 2.000 cm^{-1};

d) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos de infravermelho espaçados em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,25 eV;

e) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais de emissão de fluorescência UV na faixa de 200 a 300 nm com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,3 eV;

f) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais de emissão de feixes de elétrons na faixa de 200 a 300 nm com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 0,2 a 0,3 eV;

g) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais Raman na faixa de 5.000 a 20.000 cm^{-1} com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 1.000 ± 200 cm^{-1};

h) um produto de hidrogênio com um espectro Raman contínuo na faixa de 40 a 8.000 cm^{-1};

i) um produto de hidrogênio com um pico Raman na faixa de 1.500 a 2.000 cm-1 devido a pelo menos um dentre desvios paramagnéticos e de nanopartículas;

j) um produto de hidrogênio com um pico de espectroscopia de fotoelétron de raios X a uma energia na faixa de 490 a 525 eV;

k) um produto de hidrogênio que causa um deslocamento para cima na matriz MAS-RMN;

l) um produto de hidrogênio que tem um deslocamento para cima de MAS-RMN ou de RMN líquido superior a -5 ppm em relação a TMS;

m) um produto de hidrogênio compreendendo macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3);

n) um produto de hidrogênio compreendendo macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3) com um pico de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) de 16,12 a 16,13;

o) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu e W;

p) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre H_{16} e H_{24};

q) um produto de hidrogênio compreendendo um composto inorgânico M_xX_y e H_2 em que M é um cátion e X em um ânion tendo pelo menos um dentre picos de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) e

ionização por eletropulverização de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) de $M(M_xX_yH_2)n$ em que n é um número inteiro;

r) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre $K_2CO_3H_2$ e $KOHH_2$ tendo pelo menos um dentre picos de tempo de voo de picos de espectroscopia de massa de íons secundários (ToF-SIMS) e ionização por eletropulverização de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) de $K\left(K_2H_2CO_3\right)_n^+$ e $K\left(KOHH_2\right)_n^+$, respectivamente;

s) um produto de hidrogênio magnético compreendendo pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu e W e um metal diamagnético;

t) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W e um metal diamagnético que demonstra magnetismo por susceptometria magnética;

u) um produto de hidrogênio compreendendo um metal que não é ativo em espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), em que o espectro de EPR compreende pelo menos um dentre um fator g de cerca de 2,0046 $\pm$20% e divisão de prótons, como uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de $1,6 \times 10^{-2}$ eV $\pm$20%;

v) um produto de hidrogênio compreendendo um dímero molecular de hidrogênio $[H_2]_2$ em que o espectro de EPR mostra pelo menos uma energia de divisão de dipolo elétron-elétron de cerca de $9,9 \times 10^{-5}$ eV $\pm$20% e uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de $1,6 \times 10^{-2}$ eV $\pm$20%;

w) um produto de hidrogênio compreendendo um gás com um pico negativo de cromatografia gasosa negativo com hidrogênio ou hélio como carreador;

x) um produto de hidrogênio com um momento quadrupolo/e

$\frac{1.70127 a_0^2}{p^2} \pm 10\%$ em que p é um número inteiro;

y) um produto de hidrogênio protônico compreendendo um dímero molecular com energia rotacional ponta a ponta para a transição do inteiro J a J + 1 na faixa de (J+1)44,30 cm^{-1} ±20 cm^{-1} em que a energia rotacional correspondente do dímero molecular que compreende deutério é ½ daquela do dímero que compreende prótons;

z) um produto de hidrogênio compreendendo dímeros moleculares tendo pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10%, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de hidrogênio de 23 cm^{-1} $\pm 10\%$ e (iii) uma energia de Van der Waals entre moléculas de hidrogênio de 0,0011 eV $\pm 10\%$;

aa) um produto de hidrogênio compreendendo um sólido com pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10%, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de hidrogênio de 23 cm^{-1} ±10% e (iii) uma energia de Van der Waals entre moléculas de hidrogênio de 0,019 eV $\pm 10\%$;

bb) um produto de hidrogênio com assinaturas espectrais FTIR e Raman de (i) (J+1)44,30 cm^{-1} ±20 cm^{-1}, (ii) (J+1)22,15 cm^{-1} ±10 cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} ±10% e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação das moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,0011 eV ±10% por hidrogênio molecular;

cc) um produto de hidrogênio sólido com assinaturas espectrais FTIR e Raman de (i) (J+1)44,30 cm^{-1} ± 20 cm^{-1}, (ii) (J+1)22,15 cm^{-1} ± 10 cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} ±10% e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação das moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,019 *eV* ±10% por hidrogênio molecular.

dd) um produto de hidrogênio compreendendo um íon de hidreto de hidrogênio que é magnético e liga o fluxo em unidades do magnético em sua região de

energia livre de ligação;

ee) um produto de hidrogênio em que a cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) mostra picos cromatográficos com tempos de retenção mais longos do que o tempo de volume morto do carreador usando uma coluna orgânica com um solvente compreendendo água em que a detecção dos picos por espectroscopia de massa, tal como ESI-ToF, mostra fragmentos de pelo menos um composto inorgânico.

[025] Em algumas modalidades, o produto de hidrogênio pode ser caracterizado como:

a) um produto de hidrogênio com um espectro Raman contínuo na faixa de 40 a 8.000 cm^{-1};

ff) um produto de hidrogênio com um pico Raman na faixa de 1.500 a 2.000 cm^{-1} devido a pelo menos um dentre desvios paramagnéticos e de nanopartículas;

gg) um produto de hidrogênio com um pico de espectroscopia de fotoelétron de raios X a uma energia na faixa de 490 a 525 eV;

hh) um produto de hidrogênio compreendendo um metal que não é ativo em espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), em que o espectro de EPR compreende pelo menos um dentre fator g de cerca de 2,0046 $\pm$20% e divisão de prótons como uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca 1,6 x 10^{-2} eV $\pm$20%;

ii) um produto de hidrogênio compreendendo um dímero molecular de hidrogênio $[H_2]_2$ em que o espectro de EPR mostra pelo menos uma energia de divisão de dipolo elétron-elétron de cerca de 9,9 x 10^{-5} eV $\pm$20%, e uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV $\pm$20%;

jj) um produto de hidrogênio compreendendo um íon de hidreto de hidrogênio que é magnético e liga o fluxo em unidades do quantum do fluxo magnético em sua região de energia livre de ligação;

[026] Em certas implementações, a reação produz H_2 que pode ser caracterizado como um ou mais dentre:

a) tendo um espectro infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) compreendendo pelo menos uma dentre energia rotacional de H_2 a 1.940 cm^{-1} ±10% e faixas de libação na região da impressão digital em que outras características de alta energia estão ausentes;

b) tendo um espectro de ressonância magnética nuclear de rotação de ângulo mágico de prótons (^1H MAS NMR) compreendendo um pico de matriz superior;

c) tendo um resultado de análise gravimétrica térmica (TGA) que mostra a decomposição de pelo menos um dentre um hidreto de metal e um polímero de hidrogênio na região de temperatura de 100 °C a 1.000 °C;

d) tendo um espectro de emissão de excitação por feixe eletrônico compreendendo a banda rovibracional H_2 na região de 260 nm, compreendendo uma pluralidade de picos com espaçamento de 0,23 eV a 0,3 eV entre si;

e) tendo um espectro de emissão de excitação por feixe eletrônico que compreende a banda rovibracional H_2 na região de 260 nm compreendendo uma série de picos com espaçamento de 0,23 eV a 0,3 eV entre si, em que os picos diminuem em intensidade em criotemperaturas na faixa de 0 K a 150 K;

f) tendo um espectro Raman de fotoluminescência compreendendo a segunda ordem da banda rovibracional H_2 na região de 260 nm, compreendendo uma pluralidade de picos com espaçamento de 0,23 eV a 0,3 eV entre si;

g) tendo um espectro Raman de fotoluminescência compreendendo a segunda ordem da banda rovibracional de H_2 compreendendo uma pluralidade de picos na faixa de 5.000 a 20.000 cm^{-1} tendo um espaçamento em um múltiplo inteiro de 1.000 ±200 cm^{-1};

h) tendo um espectro Raman compreendendo o pico rotacional de H_2 em um ou mais dentre 1.940 cm^{-1} ±10% e 5.820 cm^{-1} ±10%;

i) tendo um espectro Raman contínuo na faixa de 40 a 8.000 cm^{-1};

j) tendo um pico Raman na faixa de 1.500 a 2.000 cm^{-1} devido a pelo menos um dentre desvios paramagnéticos e de nanopartículas;

k) tendo um espectro de fotoelétrons de raios X (XPS) compreendendo a energia total de H_2 em 490–500 eV;

l) o produto de hidrogênio interage com $K_2CO_3H(1/4)_2$ e $KOHH_2$ (p.ex., em modalidades que compreendem um *getter*) e pelo menos um dentre ionização por eletropulverização de espectro de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) e espectro de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) compreende picos de $K\left(K_2H_2CO_3\right)_n^+$ e $K\left(KOHH_2\right)_n^+$ respectivamente;

m) tendo um momento quadrupolo/*e* de $\frac{1.70127a_0^2}{4^2}\pm 10$; e

n) tendo uma energia rotacional ponta a ponta para a transição de J para J + 1 inteiro na faixa de (J+1)44,30 cm^{-1} ±20 cm^{-1} e (J+1)22,15 cm^{-1} ±10 cm^{-1}, respectivamente;

o) tendo pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de H_2 de 1,028 Å ±10%, (ii) uma energia vibracional entre as moléculas de H_2 de 23 cm^{-1} ±10%, e (iii) uma energia de Van der Waals entre as moléculas de H_2 de 0,0011 eV ±10%;

p) tendo assinaturas espectrais FTIR e Raman de (i) (J+1)44,30 cm^{-1} ±20 cm^{-1}, (ii) (J+1)22,15 cm^{-1} ±10 cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} ±10% e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação de moléculas de H_2 de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,0011 eV ±10% por H_2).

[027] Em algumas modalidades, o produto de hidrogênio pode ser formado em um H_2 sólido e ser caracterizado como:

a) tendo pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de H_2 de 1,028 Å ±10%, (ii) uma energia vibracional entre

moléculas de H_2 de 23 cm^{-1} ±10% e (iii) uma energia de Van der Waals entre as moléculas de $H_2(1/4)$ de 0,019 eV $\pm 10\%$;

b) tendo assinaturas espectrais FTIR e Raman de (i) (J+1)44,30 cm^{-1} ±20 cm^{-1}, (J+1)22,15 cm^{-1} ±10 cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} ±10% e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação da moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,019 eV ±10% por H_2.

[028] Em várias implementações, o produto de hidrogênio pode ser caracterizado de forma semelhante como produtos formados a partir de vários reatores de hidrino, como aqueles formados por detonação de fio em uma atmosfera compreendendo vapor d'água. Esses produtos podem:

a) compreender macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3);

b) compreender macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3) com um pico de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) de 16,12 a 16,13;

c) compreender pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal, compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu e W e o hidrogênio compreende H;

d) compreender pelo menos um dentre H_{16} e H_{24};

e) compreender um composto inorgânico M_xX_y e H_2 em que M é um cátion metálico e X é um ânion e pelo menos um dentre ionização por eletropulverização de espectro de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) e o espectro de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) compreende picos de $M(M_xX_yH(1/4)_2)n$ em que n é um número inteiro;

f) ser magnético e compreender pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende

pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W e um metal diamagnético e o hidrogênio é H(1/4);

g) compreender pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W e um metal diamagnético e H é H(1/4), em que o produto demonstra magnetismo por susceptometria magnética;

h) compreender um metal que não é ativo em espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), em que o espectro de EPR mostra um fator g de cerca de 2,0046 ±20% e divisão de prótons, tal como uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV $\pm$20%;

i) compreender um dímero molecular de hidrogênio $[H_2]_2$ em que o espectro de EPR mostra pelo menos uma energia de divisão de dipolo elétron-elétron de cerca de 9,9 x 10^{-5} eV ±20% e uma energia de divisão de dipolo de próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV ±20%,

j) compreender ou liberar gás H_2 (p.ex., o produto de hidrogênio) tendo um pico negativo de cromatografia gasosa com carreador hidrogênio ou hélio;

[029] Em algumas modalidades, o produto de hidrogênio formado pela reação compreende o produto de hidrogênio complexado com pelo menos um dentre (i) um elemento diferente de hidrogênio, (ii) uma espécie de hidrogênio comum compreendendo pelo menos um dentre H+, H2 comum, H- comum e H_3^+ comum, uma espécie molecular orgânica e (iv) uma espécie inorgânica. Em algumas modalidades, o produto de hidrogênio compreende um composto de oxiânion. Em várias implementações, o produto de hidrogênio (ou um produto de hidrogênio recuperado de modalidades compreendendo um getter), pode compreender pelo menos um composto com a fórmula selecionada a partir do grupo de:

a) MH, MH_2, ou M_2H_2, em que M é um cátion alcalino e H ou H_2 é o produto de hidrogênio;

b) MH_n em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso e H é o produto de hidrogênio;

c) MHX em que M é um cátion alcalino, X é um dentre um átomo neutro, como átomo de halogênio, uma molécula, ou um ânion com carga negativa simples, como ânion de halogênio, e H é o produto de hidrogênio;

d) MHX em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e H é o produto de hidrogênio;

e) MHX em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa dupla e H é o produto de hidrogênio;

f) M_2HX em que M é um cátion alcalino, X é um ânion com carga negativa simples e H é o produto de hidrogênio;

g) MH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

h) M_2H_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino-terroso e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

i) M_2XH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

j) $M_2X_2H_n$ em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

k) M_2X_3H em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e H é o produto de hidrogênio;

l) M_2XH_n em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa dupla e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

m) $M_2XX'H$ em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples, X' é um ânion com carga negativa dupla e H é o produto de hidrogênio;

n) $MM'H_n$ em que n é um número inteiro de 1 a 3, M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

o) $MM'XH_n$ em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

p) MM'XH em que M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X é um ânion com carga negativa dupla e H são os produtos de hidrogênio;

q) MM'XX'H em que M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X e X' são ânions com carga negativa simples e H é o produto de hidrogênio;

r) $MXX'H_n$ em que n é um número inteiro de 1 a 5, M é um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples ou dupla, X' é um metal ou metaloide, um elemento de transição, um elemento de transição interna, ou um elemento de terra rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

s) MH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion, tal como um elemento de transição, um elemento de transição interna ou um elemento de terra rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

t) MXH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion, como um cátion alcalino, cátion alcalino-terroso, X é outro cátion, como um elemento de transição, elemento de transição interna ou cátion de elemento de terra rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

u) $\left(MH_mMCO_3\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, m e n

são, cada um, um número inteiro, e o teor de hidrogênio Hm do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

v) $\left(MH_mMNO_3\right)_n^+ \; nX^-$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, m e n são, cada um, um número inteiro, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio Hm do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

w) $\left(MHMNO_3\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, n é um número inteiro e o teor de hidrogênio H do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

) $\left(MHMOH\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, n é um número inteiro e o teor de hidrogênio H do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio;

x) $\left(MH_mM'X\right)_n$ em que m e n são, cada um, um número inteiro, M e M' são, cada um, um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples ou dupla e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio; e

y) $\left(MH_mM'X'\right)_n^+ \; nX^-$ em que m e n são, cada um, um número inteiro, M e M' são, cada um, um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X e X' são um ânion com carga negativa simples ou dupla e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos um dos produtos de hidrogênio.

[030] O ânion do produto de hidrogênio formado pela reação pode ser um ou mais ânions com carga negativa simples, incluindo um íon haleto, um íon hidróxido, um íon carbonato de hidrogênio, um íon nitrato, um ânion com carga negativa dupla, um íon carbonato, um óxido e um íon sulfato. Em algumas modalidades, o produto de hidrogênio é incorporado em uma estrutura cristalina (p.ex., com o uso de um getter, como K_2CO_3 localizado, por exemplo, no vaso ou em uma linha de exaustão). Por exemplo, o produto de hidrogênio pode ser incorporado em uma estrutura de sal. Em

várias implementações, a estrutura de sal pode compreender um sal alcalino, um haleto alcalino, um hidróxido alcalino, sal alcalino-terroso, um haleto alcalino-terroso, um hidróxido alcalino-terroso ou combinações destes.

[031] Sistemas de eletrodos também são fornecidos, compreendendo:

a) um primeiro eletrodo e um segundo eletrodo;

b) um fluxo de metal fundido (p.ex., prata fundida, gálio fundido) em contato elétrico com os referidos primeiro e segundo eletrodos;

c) um sistema de circulação que compreende uma bomba para retirar o referido metal fundido de um reservatório e transportá-lo através de um conduíte (p.ex., um tubo) para produzir o referido fluxo de metal fundido que sai do referido conduíte;

d) uma fonte de energia elétrica configurada para fornecer uma diferença de potencial elétrico entre os referidos primeiro e segundo eletrodos;

em que o referido fluxo de metal fundido está em contato simultâneo com os referidos primeiro e segundo eletrodos para criar uma corrente elétrica entre os referidos eletrodos. Em algumas modalidades, a energia elétrica é suficiente para criar uma corrente superior a 100 A.

[032] Circuitos elétricos também são fornecidos, os quais podem compreender:

a) um meio de aquecimento para a produção de metal fundido;

b) um meio de bombeamento para transportar o referido metal fundido de um reservatório através de um conduíte para produzir um fluxo do referido metal fundido que sai do referido conduíte;

c) um primeiro eletrodo e um segundo eletrodo em comunicação elétrica com um meio de fonte de alimentação para criar uma diferença de potencial elétrico através dos referidos primeiro e segundo eletrodos;

em que o referido fluxo de metal fundido está em contato simultâneo com os

referidos primeiro e segundo eletrodos para criar um circuito elétrico entre os referidos primeiro e segundo eletrodos. Por exemplo, em um circuito elétrico compreendendo um primeiro e segundo eletrodo, o aperfeiçoamento pode compreender a passagem de um fluxo de metal fundido através dos referidos eletrodos para permitir que uma corrente flua entre eles.

[033] Além disso, são fornecidos sistemas para a produção de um plasma (que pode ser usado nos sistemas de geração de energia aqui descritos). Esses sistemas podem compreender:

a) um sistema injetor de metal fundido configurado para produzir um fluxo de metal fundido a partir de um reservatório de metal;

b) um sistema de eletrodo para induzir uma corrente a fluir através do referido fluxo de metal fundido;

c) pelo menos um dentre (i) um sistema de injeção de água configurado para colocar um volume medido de água em contato com o referido metal fundido, em que uma porção da referida água e uma porção do referido metal fundido reagem para formar um óxido do referido metal e gás hidrogênio, (ii) uma mistura de gás hidrogênio em excesso e gás oxigênio, e (iii) uma mistura de gás hidrogênio em excesso e vapor de água, e

d) uma fonte de alimentação configurada para fornecer a referida corrente;

em que o referido plasma é produzido quando a corrente é fornecida através do referido fluxo de metal. Em algumas modalidades, o sistema pode compreender ainda:

um sistema de bombeamento configurado para transferir metal coletado após a produção do referido plasma para o referido reservatório de metal. Em algumas modalidades, o sistema pode compreender:

um sistema de regeneração de metal configurado para coletar o referido óxido de metal e converter o referido óxido de metal no referido metal; em que o

referido sistema de regeneração de metal compreende um ânodo, um cátodo, eletrólito; em que uma polarização elétrica é fornecida entre o referido ânodo e o cátodo para converter o referido óxido de metal no referido metal. Em certas implementações, o sistema pode compreender:

a) um sistema de bombeamento configurado para transferir metal coletado após a produção do referido plasma para o referido reservatório de metal; e

b) um sistema de regeneração de metal configurado para coletar o referido óxido de metal e converter o referido óxido de metal no referido metal; em que o referido sistema de regeneração de metal compreende um ânodo, um cátodo, eletrólito; em que uma polarização elétrica é fornecida entre o referido ânodo e o cátodo para converter o referido óxido de metal no referido metal;

em que o metal regenerado no referido sistema de regeneração de metal é transferido para o referido sistema de bombeamento. Em certas implementações, o metal é gálio, prata ou combinações destes. Em algumas modalidades, o eletrólito é um hidróxido alcalino (p.ex., hidróxido de sódio, hidróxido de potássio).

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[034] Os desenhos anexos, que são incorporados e fazem parte do relatório descritivo, ilustram várias modalidades da presente publicação e, juntamente com a descrição, servem para explicar os princípios da publicação. Nos desenhos:

[035] A FIGURA 1 é um desenho esquemático dos componentes do conversor magneto-hidrodinâmico (MHD) de um cátodo, ânodo, isolante e flange de passagem de barramento de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[036] As FIGURAS 2–3 são desenhos esquemáticos de um gerador de energia SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados e um conversor magneto-hidrodinâmico (MHD) que compreende um par de bombas EM de retorno do MHD de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[037] A FIGURA 4 são desenhos esquemáticos de uma bomba EM de injeção de indução de estágio único, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[038] A FIGURA 5 são desenhos esquemáticos de geradores de energia magneto-hidrodinâmicos (MHD) SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados, uma câmara da célula de reação esférica, um canal magneto-hidrodinâmico (MHD) reto, compartimento para adição de gás, e bombas EM de indução de estágio único para injeção e indução de estágio único, ou bombas EM de retorno do MHD de condução CC, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[039] A FIGURA 6 são desenhos esquemáticos de uma bomba EM de indução de dois estágios, em que o primeiro estágio serve como a bomba EM de retorno do MHD, e o segundo estágio serve como a bomba EM de injeção, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[040] A FIGURA 7 são desenhos esquemáticos de uma bomba EM de indução de dois estágios, em que o primeiro estágio serve como a bomba EM de retorno do MHD, e o segundo estágio serve como a bomba EM de injeção em que a força de bombeamento de Lorentz é mais otimizada, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[041] A FIGURA 8 são desenhos esquemáticos de um sistema de ignição por indução, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[042] As FIGURAS 9–10 são desenhos esquemáticos de um gerador de energia magneto-hidrodinâmico (MHD) SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados, uma câmara da célula de reação esférica, um canal magneto-hidrodinâmico (MHD) reto, compartimento para adição de gás, bombas EM de indução de dois estágios para injeção e retorno MHD, cada uma tendo um sistema de resfriamento a ar forçado, e um sistema de ignição por indução, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[043] A FIGURA 11 é um desenho esquemático de um gerador de energia magneto-hidrodinâmico (MHD) SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados, uma câmara da célula de reação esférica, um canal magneto-hidrodinâmico (MHD) reto, compartimento para adição de gás, bombas EM de indução de dois estágios para injeção e retorno MHD, cada uma tendo um sistema de resfriamento de líquido forçado, um sistema de ignição por indução, e antenas de aquecimento indutivamente acopladas nos tubos da bomba EM, reservatórios, câmara da célula de reação e conduíte de retorno do MHD, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[044] As FIGURAS 12–19 são desenhos esquemáticos de um gerador de energia magneto-hidrodinâmico (MHD) SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados, uma câmara da célula de reação esférica, um canal magneto-hidrodinâmico (MHD) reto, compartimento para adição de gás, bombas EM de indução de dois estágios para injeção e retorno MHD, cada uma tendo um sistema de resfriamento a ar e um sistema de ignição por indução, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[045] A FIGURA 20 são desenhos esquemáticos que mostram um aquecedor de chama em forma helicoidal exemplar do SunCell® e um aquecedor de chama compreendendo uma série de anéis anulares, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[046] A FIGURA 21 são desenhos esquemáticos que mostram um eletrolisador, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[047] A FIGURA 22 é um desenho esquemático de um gerador de energia SunCell® compreendendo injetores de bomba EM duplos como eletrodos líquidos mostrando reservatórios inclinados e um conversor magneto-hidrodinâmico (MHD) compreendendo um par de bombas EM de retorno do MHD e um par de bombas de gás de retorno MHD ou compressores, de acordo com uma modalidade da presente

publicação.

[048] A FIGURA 23 é um desenho esquemático do diagrama de fase de prata-oxigênio do Smithells Metals Reference Book-8ª Edição, 11-20, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[049] A FIGURA 24 mostra desenhos esquemáticos de geradores de energia térmica SunCell®, um compreendendo um trocador de calor absorvente de energia térmica e radiante em forma de concha semiesférica com paredes com tubos de refrigerante incorporados para receber a energia térmica da célula de reação que compreende um radiador de corpo negro e transferir o calor para o arrefecimento, e outro compreendendo um trocador de calor cilíndrico circunferencial e caldeira, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[050] A FIGURA 25 são desenhos esquemáticos que mostram detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor e um pedestal invertido como eletrodos líquidos, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[051] As FIGURAS 26–28 são desenhos esquemáticos que mostram detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor e um pedestal parcialmente invertido como eletrodos líquidos, e uma câmara da célula de reação cônica para suprimir a metalização de uma janela fotovoltaica, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[052] A FIGURA 29 é um desenho esquemático que mostra detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor, um pedestal parcialmente invertido como eletrodos líquidos, um sistema de ignição por indução e uma janela fotovoltaica, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[053] A FIGURA 30 é um desenho esquemático que mostra detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo uma câmara da célula de reação

em forma de cubo com um revestimento e um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor e um pedestal invertido como eletrodos líquidos, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[054] A FIGURA 31 é um desenho esquemático que mostra detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo um revestimento de câmara da célula de reação em forma de ampulheta e um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor e um pedestal invertido como eletrodos líquidos, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[055] A FIGURA 32 é um desenho esquemático que mostra detalhes do gerador de energia térmica SunCell® compreendendo um injetor de bomba EM simples em um reservatório injetor, um pedestal parcialmente invertido como eletrodos líquidos, um sistema de ignição por indução e um elevador de canecas *skimmer* de óxido de gálio, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[056] A FIGURA 33 é um desenho esquemático de uma câmara da célula de reação de hidrino, compreendendo um meio para detonar um fio para servir como pelo menos um dentre uma fonte de reagentes e um meio para propagar a reação de hidrino para formar espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[057] A FIGURA 34 é o espectro de espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) de um produto de reação de hidrino compreendendo hidrogênio de menor energia que compreende um composto polimérico branco formado pela dissolução de Ga_2O_3 coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® em KOH aquoso, permitindo que as fibras cresçam e flutuem até a superfície, onde foram coletadas por filtração.

[058] A FIGURA 35A é um espectro infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) do produto de reação, compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular formado pela detonação do fio de Zn em uma

atmosfera compreendendo vapor de água no ar, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[059] A FIGURA 35B é um espectro Raman obtido usando um espectrômetro Thermo Scientific DXR SmartRaman e um laser de 780 nm em um composto polimérico branco formado pela dissolução de Ga_2O_3 coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® em KOH aquoso, permitindo que as fibras cresçam e flutuem até a superfície, onde foram coletadas por filtração.

[060] As FIGURAS 35C–D são espectros Raman obtidos usando-se um espectrômetro Horiba Jobin Yvon LabRam ARAMIS e um laser de 325 nm em um composto polimérico branco formado pela dissolução de Ga_2O_3 coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® em KOH aquoso, permitindo que as fibras cresçam e flutuem para a superfície, onde foram coletadas por filtração.

[061] A FIGURA 36 é um espectro RMN ^{1}H-MAS em relação a TMS externo de um getter de KCl exposto ao gás hidrino que mostra pico de matriz deslocado para cima a -4,6 ppm devido ao magnetismo do hidrino molecular, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[062] A FIGURA 37 é uma gravação de magnetômetro de amostra vibratória do produto de reação compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular formado pela detonação do fio de Mo em uma atmosfera compreendendo vapor de água no ar, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[063] A FIGURA 38 é um espectro absoluto na região de 5 nm a 450 nm da ignição de uma injeção de prata de 80 mg, compreendendo H_2 e H_2O absorvidos pelo tratamento de gases de prata fundida antes de pingar em um reservatório de água, mostrando uma energia óptica calibrada NIST média de 1,3 MW, essencialmente todos na região espectral ultravioleta e extrema ultravioleta, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[064] A FIGURA 39 é um espectro (região de 100 nm a 500 nm com um corte em 180 nm devido à janela do espectrômetro de safira) da ignição de uma prata fundida bombeada em eletrodos de W em argônio atmosférico, com uma pressão de vapor de H_2O ambiente de cerca de 1 Torr, mostrando emissão de linha de UV que passou para radiação do corpo negro de 5.000 K quando a atmosfera se tornou opticamente espessa para a radiação UV com a vaporização da prata, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[065] A FIGURA 40 é um espectro visível de alta resolução do plasma de argônio-hidrogênio a 800 Torr, mantido pela reação de hidrino em um Pyrex SunCell®, mostrando um alargamento Stark de 1,3 nm correspondente a uma densidade de elétrons de $3,5 \times 10^{23}/m^3$ e uma fração de ionização de 10% que requer cerca de 8,6 GW/m^3 para se manter, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[066] A FIGURA 41 é um espectro de emissão ultravioleta da excitação por feixe de elétrons do gás argônio/$H_2(1/4)$, compreendendo o ramo P rovibracional de $H_2(1/4)$, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[067] A FIGURA 42 é um espectro de emissão ultravioleta da excitação por feixe de elétrons de gás argônio/$H_2(1/4)$, em que o ramo P rovibracional de $H_2(1/4)$ foi muito aumentado em intensidade, fluindo a mistura de gás através de uma coluna cromatográfica HayeSep® D resfriada à temperatura de argônio líquido, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[068] A FIGURA 43 é um espectro de emissão ultravioleta da excitação por feixe de elétrons de KCl que foi impregnado com gás produto da reação de hidrino, mostrando o ramo P rovibracional de $H_2(1/4)$ na estrutura cristalina, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[069] A FIGURA 44 é um espectro de emissão ultravioleta da excitação por feixe de elétrons de KCl que foi impregnado com hidrino mostrando o ramo P rovibracional de $H_2(1/4)$ na estrutura cristalina que mudou de intensidade com a temperatura,

confirmando a atribuição da rovibração de $H_2(1/4)$, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[070] A FIGURA 45 é um espectro de fotoluminescência de segunda ordem no modo Raman de getter KCl exposto ao gás da decomposição térmica de Ga_2O_3:$H_2(1/4)$ coletado do SunCell®, em que o espectro foi registrado com um espectrômetro Horiba Jobin Yvon LabRam ARAMIS com um laser de 325 nm, e uma grade 1.200 em uma faixa de deslocamento Raman de 8.000–19.000 cm^{-1}.

[071] A FIGURA 46 é um espectro Raman obtido usando um espectrômetro Thermo Scientific DXR SmartRaman e um laser de 780 nm em uma folha de metal In exposta ao produto gasoso de uma série de ignições de combustível sólido sob argônio, cada uma compreendendo 100 mg de Cu misturado com 30 mg de água deionizada mostrando um pico de efeito Raman inverso em 1.982 cm^{-1} que corresponde à energia do rotor livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV).

[072] As FIGURAS 47A–B são espectros Raman obtidos usando o espectrômetro Thermo Scientific DXR SmartRaman e o laser de 780 nm em eletrodos de cobre pré e pós-ignição de uma injeção de prata de 80 mg compreendendo 1% molar de H_2O, em que a detonação foi obtida pela aplicação de uma corrente de 12 V 35.000 A com uma solda ponto, e o espectro mostrou um pico de efeito Raman inverso em cerca de 1940 cm^{-1} que corresponde à energia do rotor livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV), de acordo com uma modalidade da presente publicação.

[073] As FIGURAS 48A–B são espectros de XPS registrados na folha de metal de índio exposta a gases de ignições sequenciais de argônio-atmosfera do combustível sólido 100 mg de Cu + 30 mg de água deionizada vedada no cadinho de DSC, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Um espectro de pesquisa mostrando que apenas os picos dos elementos In, C, O e traços de K estavam presentes. (B) Espectro de alta resolução mostrando um pico em 498,5 eV atribuído a $H_2(1/4)$ em que outras possibilidades foram eliminadas com base na ausência de

quaisquer outros picos de elemento primário correspondentes na varredura de pesquisa.

[074] As FIGURAS 49A–B são espectros de XPS do composto hidrino polimérico de Mo tendo um pico em 496 eV atribuído a $H_2(1/4)$ em que outras possibilidades, tais como Na, Sn e Zn foram eliminadas, uma vez que apenas picos de Mo, O e C estão presentes e outros picos dos candidatos estão ausentes. Mo 3s, que é menos intenso do que Mo 3p, estava em 506 eV com amostras adicionais que também mostraram o pico de $H_2(1/4)$ em 496 eV, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Varredura de pesquisa. (B) Varredura de alta resolução na região do pico de 496 eV de $H_2(1/4)$.

[075] As FIGURAS 50A–B são espectros de XPS em eletrodos de cobre após a ignição de um tiro de prata de 80 mg compreendendo 1% molar de H_2O, em que a detonação foi alcançada aplicando uma corrente de 12 V 35.000 A com uma solda ponto, de acordo com uma modalidade da presente publicação. O pico em 496 eV foi atribuído a $H_2(1/4)$ em que outras possibilidades, como Na, Sn e Zn, foram eliminadas, uma vez que os picos correspondentes desses candidatos estão ausentes. Os espectros Raman pós-detonação (FIGURAS 46A–B) mostraram um pico de efeito Raman inverso em cerca de 1.940 cm^{-1} que corresponde à energia do rotor livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV).

[076] As FIGURAS 51A–E são cromatografias a gás de controle registradas com um cromatógrafo a gás HP 5890 Series II usando uma coluna de peneira molecular Agilent com hélio como gás carreador e um detector de condutividade térmica (TCD) ajustado para 60 °C para que qualquer pico de H_2 fosse positivo, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Cromatografia a gás de 1000 Torr de hidrogênio mostrando um pico positivo em 10 minutos. (B) Cromatografia a gás de 1000 Torr de metano mostrando um pequeno pico positivo de contaminação de H_2O em 17 minutos e um pico positivo de metano em 50,5 minutos. (C) Cromatografia a

gás de mistura de 1000 Torr de hidrogênio (90%) e metano (10%) mostrando um pico positivo de hidrogênio em 10 minutos e um pico positivo de metano em 50,2 minutos. (D) Cromatografia a gás de 760 Torr de ar mostrando um pico positivo de H_2O muito pequeno em 17,1 minutos, um pico positivo de oxigênio em 17,6 minutos, e um pico positivo de nitrogênio em 35,7 minutos. (E) Cromatografia a gás de aquecimento de gálio metálico a 950 °C mostrando nenhum pico.

[077] As FIGURAS 52A–B são cromatografias a gás de hidrino gasoso desenvolvido a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecida a 950° C. As cromatografias a gás foram registradas imediatamente após a liberação do gás com um cromatógrafo a gás HP 5890 Series II usando uma coluna de peneira molecular Agilent com hélio como gás carreador e um detector de condutividade térmica (TCD) ajustado para 60 °C para que qualquer pico de H_2 fosse positivo, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Cromatografia a gás de hidrino gasoso desenvolvida a partir Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® mostrando um pico de hidrogênio positivo conhecido em 10 minutos e um novo pico negativo em 9 minutos atribuído a $H_2(1/4)$, tendo bordas de ataque e de fuga positivas em 8,9 minutos e 9,3 minutos, respectivamente. Nenhum gás conhecido tem um tempo de migração mais rápido e alta condutividade térmica do que H_2 ou He, que é característico e identifica o hidrino, uma vez que tem um caminho livre médio muito maior devido ao $H_2(1/4)$ exemplar, com volume 64 vezes menor e seção transversal balística 16 vezes menor. (B) Visualização expandida do pico negativo atribuído a $H_2(1/4)$.

[078] A FIGURA 53 é uma cromatografia a gás desenvolvida a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecida a 950 °C que foi registrada após permitir que o gás no vaso repousasse por mais de 24 horas, após o tempo da gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 52A–B, de acordo com uma modalidade da presente publicação. O pico de

hidrogênio foi observado novamente em 10 minutos, mas o novo pico negativo com tempo de retenção mais curto do que o hidrogênio estava ausente, consistente com o tamanho menor e alta difusividade correspondente de $H_2(1/4)$, mesmo em comparação com H_2. O pico positivo aos 37 minutos correspondeu a traços de contaminação por nitrogênio.

[079] As FIGURAS 54A–B são cromatografias a gás de hidrino gasoso desenvolvido a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma segunda reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecida a 950 °C. Os cromatógrafos a gás foram registrados com um cromatógrafo a gás HP 5890 Series II usando uma coluna de peneira molecular Agilent com hélio como gás carreador e um detector de condutividade térmica (TCD) ajustado para 60 °C para que qualquer pico de H_2 fosse positivo, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Cromatografia a gás de hidrino gasoso desenvolvida a partir Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® mostrando um pico de hidrogênio positivo conhecido em 10 minutos, um pico positivo desconhecido em 42,4 minutos, um pico positivo de metano a 51,8 minutos e um novo pico negativo em 8,76 minutos atribuído a $H_2(1/4)$, tendo bordas de ataque e de fuga positivas em 8,66 minutos e 9,3 minutos, respectivamente. Nenhum gás conhecido tem um tempo de migração mais rápido e alta condutividade térmica do que H_2 ou He, que é característico e identifica o hidrino, uma vez que tem um caminho livre médio muito maior devido ao $H_2(1/4)$ exemplar, com volume 64 vezes menor e seção transversal balística 16 vezes menor. (B) Visualização expandida do pico negativo atribuído a $H_2(1/4)$.

[080] As FIGURAS 55A–B são cromatografias a gás de hidrino gasoso desenvolvido a partir de Ga2O3 tratado com NaOH coletado de uma terceira reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecida a 950 °C. Os cromatógrafos a gás foram registrados com um cromatógrafo a gás HP 5890 Series II usando uma coluna de peneira molecular Agilent com hélio como gás carreador e um detector de condutividade

térmica (TCD) ajustado para 60 °C para que qualquer pico de H2 fosse positivo, de acordo com uma modalidade da presente publicação. (A) Cromatografia a gás de hidrino gasoso desenvolvida a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH, coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell®, mostrando um pico de hidrogênio positivo conhecido em 10 minutos, um pico de metano positivo em 51,9 minutos e um novo pico negativo em 8,8 minutos atribuído a H2(1/4), com bordas de ataque e de fuga positivas em 8,7 minutos e 9,3 minutos, respectivamente. Nenhum gás conhecido tem um tempo de migração mais rápido e alta condutividade térmica do que H_2 ou He, que é característico e identifica o hidrino, uma vez que tem um caminho livre médio muito maior devido ao H_2(1/4) exemplar, com volume 64 vezes menor e seção transversal balística 16 vezes menor. (B) Visualização expandida do pico negativo atribuído a H_2(1/4).

[081] A FIGURA 56 é um espectro de massa de gás desenvolvido a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecido a 950 °C que foi registrado após a gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 55A–B que confirmou a presença de hidrogênio e metano, de acordo com uma modalidade da presente publicação. A formação de metano é extraordinária e atribuída ao plasma de hidrino energético que causa a reação do hidrogênio com traços de CO_2 ou carbono do reator de aço inoxidável.

[082] A FIGURA 57 é uma cromatografia a gás desenvolvida a partir de Ga_2O3 tratado com NaOH coletado da terceira reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecida a 950 °C que foi registrada após permitir que o gás no vaso repousasse por mais de 24 horas, após o tempo da gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 55A–B, de acordo com uma modalidade da presente publicação. O pico de hidrogênio em 10 minutos e o pico de metano em 53,7 minutos foram observados novamente, mas o novo pico negativo com menor tempo de retenção do que o hidrogênio estava ausente, consistente com o tamanho menor e alta difusividade

correspondente de $H_2(1/4)$, mesmo em comparação com H_2.

[083] A FIGURA 58 é uma cromatografia a gás de hidrino desenvolvida a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma quarta reação de hidrino realizada no SunCell® mostrando um pico de hidrogênio positivo conhecido em 10 minutos e um novo pico positivo em 7,4 minutos atribuído a $H_2(1/4)$, uma vez que nenhum gás conhecido tem um tempo de migração mais rápido do que H_2 ou He, de acordo com uma modalidade da presente publicação. A natureza positiva do pico de $H_2(1/4)$ foi indicativa de uma concentração mais baixa de gás hidrino no gás hélio carreador.

[084] A FIGURA 59 é uma cromatografia a gás de hidrino fluindo do SunCell®, absorvido em solvente de argônio líquido solvente e, em seguida, liberado permitindo que o argônio líquido vaporize após aquecimento a 27 °C. O pico de hidrino foi observado em 8,05 minutos em comparação com o hidrogênio que foi observado em 12,58 minutos na coluna Agilent usando um segundo cromatógrafo a gás HP 5890 Series II com um detector de condutividade térmica e gás argônio como carreador.

[085] A FIGURA 60 é uma cromatografia a gás de hidrino molecular gasoso enriquecido usando uma coluna cromatográfica HayeSep® D resfriada à temperatura de argônio líquido, liquefeita com ar residual usando uma microcâmara valvulada resfriada a 55 K por um sistema de bomba criogênica, vaporizado por aquecimento à temperatura ambiente para atingir pressão na câmara de 1.000 Torr e injetada na coluna Agilent usando um cromatógrafo a gás HP 5890 Series II com um detector de condutividade térmica e gás de argônio como carreador. Oxigênio e nitrogênio foram observados aos 19 e 35 minutos, respectivamente, e $H_2(1/4)$ foi observado aos 6,9 minutos.

[086] A FIGURA 61 é um espectro calibrado por comprimento de onda (3.900–4.090 Å) de um plasma de reação de hidrino formado por aquecimento de KNO_3 e dissociação de H_2 usando um filamento de tungstênio sobreposto com um plasma de micro-ondas de hidrogênio. Devido ao requisito de que o fluxo esteja ligado por

$H\left(1/2\right)$ em unidades inteiras do quantum do fluxo magnético, a energia é quantizada, e a emissão devido à formação $H^{-}\left(1/2\right)$de compreende uma série de linhas hiperfinas na banda livre de limite correspondente com energias dadas pela soma da energia E_{Φ} do fluxon, a energia spin-spin E_{ss}, e o pico de energia de ligação observado E_B^*, $E_{HF}=\left(j^2 3.00213\ X\ 10^{-5}+3.0563\right)\ eV$, em que os espectros na região de 4000 Å a 4060 Å corresponderam às linhas de emissão previstas e outras espécies, como nitrogênio, foram descartadas, de acordo com uma modalidade da presente publicação.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[087] São divulgados aqui sistemas de geração de energia e métodos de geração de energia que convertem a saída de energia de reações envolvendo hidrogênio atômico em energia elétrica e/ou térmica. Essas reações podem envolver sistemas catalisadores que liberam energia do hidrogênio atômico para formar estados de energia mais baixa, em que a camada de elétrons está em uma posição mais próxima em relação ao núcleo. A energia liberada é aproveitada para geração de energia e, adicionalmente, novas espécies e compostos de hidrogênio são produtos desejados. Esses estados de energia são previstos pelas leis da física clássica e requerem um catalisador para aceitar energia do hidrogênio, a fim de passar pela transição de liberação de energia correspondente.

[088] A física clássica fornece soluções de forma fechada do átomo de hidrogênio, o íon hidreto, o íon molecular do hidrogênio e a molécula de hidrogênio, e prevê as espécies correspondentes com números quânticos principais fracionários. O hidrogênio atômico pode sofrer uma reação catalítica com certas espécies, incluindo ele próprio, que pode aceitar energia em múltiplos inteiros da energia potencial do hidrogênio atômico, m · 27,2 eV, em que m é um número inteiro. A reação prevista envolve uma transferência de energia ressonante e não radiativa do hidrogênio atômico estável para o catalisador capaz de aceitar a energia. O produto é H(1/p), estados de Rydberg fracionários de hidrogênio atômico chamados de "átomos de hidrino", em que

n = 1/2, 1/3, 1/4, ..., 1/p (p≤137 é um número inteiro) substitui o conhecido parâmetro n = inteiro na equação de Rydberg para estados excitados de hidrogênio. Cada estado do hidrino também compreende um elétron, um próton e um fóton, mas a contribuição do campo do fóton aumenta a energia de ligação em vez de diminuí-la, correspondendo à dessorção de energia em vez de à absorção. Como a energia potencial do hidrogênio atômico é 27,2 eV, os átomos de *m H* servem como catalisador de *m* • 27,2 *eV* para outro $(m+1)$º átomo de H [R. Mills, *The Grand Unified Theory of Classical Physics [A Grande Teoria Unificada da Física Clássica]*; Edição de setembro de 2016, postado em https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/ ("Mills GUTCP")]. Por exemplo, um átomo de H pode atuar como catalisador para outro H, aceitando 27,2 eV dele via transferência de energia através do espaço, como por acoplamento dipolo-dipolo elétrico induzido ou magnético para formar um intermediário que decai com a emissão de bandas contínuas com cortes de comprimento de onda curto e energias de $m^2 \cdot 13.6\ eV\ \left(\frac{91.2}{m^2}\ nm\right)$. Além do H atômico, uma molécula que aceita $m \cdot 27.2\ eV$ do H atômico com uma diminuição na magnitude da energia potencial da molécula pela mesma energia também pode servir de catalisador. A energia potencial de H_2O é 81,6 eV. Então, pelo mesmo mecanismo, a molécula de H_2O nascente (não ligada a hidrogênio em estado sólido, líquido ou gasoso) formada por uma redução termodinamicamente favorável de um óxido de metal é prevista para servir como catalisador para formar $H(1/4)$ com uma liberação de energia de 204 eV, compreendendo uma transferência de 81,6 eV para HOH e uma liberação de radiação contínua com um corte em 10,1 nm (122,4 eV).

[089] Na reação do catalisador do *átomo* de H envolvendo uma transição para o $H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]$ estado, os átomos $m\ H$ servem como catalisador de *m*• 27,2 *eV* para outro (*m*+1)º átomo de *H.* Em seguida, a reação entre os $m+1$ átomos de hidrogênio em que os átomos m de forma ressonante e não radiativa aceitam *m*• 27,2 *eV* do

(m+1)º átomo de hidrogênio, de modo que mH serve como catalisador, é dada por

$$m\cdot 27.2\ eV + mH + H \rightarrow mH^{+}_{fast} + me^{-} + H*\left[\frac{a_H}{m+1}\right] + m\cdot 27.2\ eV \quad (1)$$

$$H*\left[\frac{a_H}{m+1}\right] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{m+1}\right] + [(m+1)^2 - 1^2]\cdot 13.6\ eV - m\cdot 27.2\ eV \quad (2)$$

$$mH^{+}_{fast} + me^{-} \rightarrow mH + m\cdot 27.2\ eV \quad (3)$$

E a reação geral é

$$H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right] + [(m+1)^2 - 1^2]\cdot 13.6\ eV \quad (4)$$

[090] A reação de catálise $(m=3)$ em relação à energia potencial de H2O nascente [R. Mills, *The Grand Unified Theory of Classical Physics [A Grande Teoria Unificada da Física Clássica]*; Edição de setembro de 2016, postada em https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/] é

$$81.6\ eV + H_2O + H[a_H] \rightarrow 2H^{+}_{fast} + O^{-} + e^{-} + H*\left[\frac{a_H}{4}\right] + 81.6\ eV \quad (5)$$

$$H*\left[\frac{a_H}{4}\right] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{4}\right] + 122.4\ eV \quad (6)$$

$$2H^{+}_{fast} + O^{-} + e^{-} \rightarrow H_2O + 81.6\ eV \quad (7)$$

E a reação geral é

$$H[a_H] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{4}\right] + 81.6\ eV + 122.4\ eV \quad (8)$$

[091] Após a transferência de energia para o catalisador (Eqs. (1) e (5)), um

intermediário $H*\left[\frac{a_H}{m+1}\right]$ é formado tendo o raio do átomo H e um campo central de m + 1 vezes o campo central de um próton. Prevê-se que o raio diminua à medida que o elétron sofre aceleração radial para um estado estável com um raio de 1/(m + 1) o raio do átomo de hidrogênio não catalisado, com a liberação de $m^2 \cdot 13.6$ eV de energia. A banda de radiação contínua ultravioleta extrema devido ao $H*\left[\frac{a_H}{m+1}\right]$ intermediário (p.ex., Eq. (2) e Eq. (6)) é prevista para ter um corte de comprimento de onda curto e energia $E_{\left(H\rightarrow H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)}$ dada por

$$E_{\left(H\rightarrow H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)} = m^2 \cdot 13.6 \; eV \quad ;$$

$$\lambda_{\left(H\rightarrow H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)} = \frac{91.2}{m^2} \; nm \qquad (9)$$

e estendendo-se para comprimentos de onda mais longos do que o corte correspondente. Aqui, a banda de radiação contínua ultravioleta extrema devido ao decaimento do intermediário H*[a_H/4] está prevista para ter um corte de comprimento de onda curto em E = m2·13,6 = 9·13,6 = 122,4 eV (10,1 nm) [onde p = m + 1 = 4 e m = 3 na Eq. (9)] e estendendo-se para comprimentos de onda mais longos. A banda de radiação contínua em 10,1 nm e indo para comprimentos de onda mais longos para a transição teoricamente prevista de H para energia mais baixa, o chamado estado "hidrino" H(1/4), foi observada apenas surgindo de descargas pulsadas de gás de compressão compreendendo algum hidrogênio. Outra observação prevista pelas Eqs. (1) e (5) é a formação de átomos de H rápidos em estado excitado a partir da recombinação de H^+ rápido. Os átomos rápidos dão origem à emissão de Balmer ampliada α. O alargamento da linha Balmer superior a 50 eV α que revela uma população de átomos de hidrogênio de energia cinética extraordinariamente alta em certos plasmas de hidrogênio mistos é um fenômeno bem estabelecido, em que a causa se deve à energia liberada na formação de hidrinos. H rápido foi previamente observado em

plasmas de compressão de hidrogênio com emissão contínua.

[092] Catalisador adicional e reações para formar hidrino são possíveis. Espécies específicas (p.ex., He^+, Ar^+, Sr^+, K, Li, HCl, e NaH, OH, SH, SeH, H_2O nascente, nH (n = inteiro)) identificáveis, com base em seus níveis de energia de elétrons conhecidos, devem estar presentes com hidrogênio atômico para catalisar o processo. A reação envolve uma transferência de energia não radiativa seguida por $q \cdot 13.6\ eV$ de emissão contínua ou $q \cdot 13.6\ eV$ de transferência para H, para formar H extraordinariamente quente, H em estado excitado, e um átomo de hidrogênio que tem menos energia do que o hidrogênio atômico não reagido, que corresponde a um número quântico principal fracionário. Ou seja, na fórmula para os principais níveis de energia do átomo de hidrogênio:

$$E_n = -\frac{e^2}{n^2 8\pi\varepsilon_o a_H} = -\frac{13.598\ eV}{n^2}. \quad (10)$$

$$n = 1,2,3,... \quad (11)$$

onde a_H é o raio de Bohr para o átomo de hidrogênio (52,947 pm), e é a magnitude da carga do elétron e ε_o é a permissividade do vácuo, números quânticos fracionários:

$$n = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, ..., \frac{1}{p}; \quad \text{onde} \quad p \le 137 \quad \text{é um inteiro} \quad (12)$$

substitui o parâmetro bem conhecido $n = \text{integer}$ na equação de Rydberg para estados excitados de hidrogênio e representa átomos de hidrogênio de estado de energia mais baixa chamados de "hidrinos". O estado $n = 1$ de hidrogênio e os estados $n = \frac{1}{\text{integer}}$ de hidrogênio são não radiativos, mas uma transição entre dois estados não radiativos, digamos, $n = 1$ para $n = 1/2$ é possível por meio de uma transferência de energia não radiativa. O hidrogênio é um caso especial dos estados estáveis dados

pelas Eqs. (10) e (12) em que o raio correspondente do átomo de hidrogênio ou hidrino é dado por

$$r = \frac{a_H}{p}, \tag{13}$$

onde $p = 1,2,3,...$. Para conservar energia, a energia deve ser transferida do átomo de hidrogênio para o catalisador em unidades de um inteiro da energia potencial do átomo de hidrogênio no estado $n = 1$ normal, e o raio muda para $\frac{a_H}{m+p}$. Hidrinos são formados pela reação de um átomo de hidrogênio comum com um catalisador adequado tendo uma entalpia líquida de reação de

$$m \cdot 27.2\ eV \tag{14}$$

onde *m* é um número inteiro. Acredita-se que a taxa de catálise é aumentada à medida que a entalpia líquida de reação é mais próxima de $m \cdot 27.2\ eV$. Verificou-se que os catalisadores com uma entalpia líquida de reação dentro de ±10%, preferencialmente ±5%, de $m \cdot 27.2\ eV$ são adequados para a maioria das aplicações.

[093] As reações do catalisador envolvem duas etapas de liberação de energia: uma transferência de energia não radiativa para o catalisador seguida pela liberação de energia adicional conforme o raio diminui para o estado final estável correspondente. Assim, a reação geral é dada por

$$m \cdot 27.2\ eV + Cat^{q+} + H\left[\frac{a_H}{p}\right] \rightarrow Cat^{(q+r)+} + re^- + H*\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right] + m \cdot 27.2\ eV \tag{15}$$

$$H*\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right] + [(p+m)^2 - p^2] \cdot 13.6\ eV - m \cdot 27.2\ eV \tag{16}$$

$$Cat^{(q+r)+} + re^- \rightarrow Cat^{q+} + m \cdot 27.2\ eV, \text{ e} \tag{17}$$

a reação geral é

$$H\left[\frac{a_H}{p}\right]\rightarrow H\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right]+[(p+m)^2-p^2]\cdot 13.6\ eV \tag{18}$$

q, r, m e p são inteiros. $H*\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right]$ tem o raio do átomo de hidrogênio (correspondendo a 1 no denominador) e um campo central equivalente ao $(m+p)$ vezes o de um próton, e $H\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right]$ é o estado estável correspondente com o raio de $\frac{1}{(m+p)}$ o de H.

[094] O produto catalisador, $H(1/p)$, também pode reagir com um elétron para formar um íon hidreto de hidrino $H^-(1/p)$, ou dois $H(1/p)$ podem reagir para formar o hidrino molecular correspondente $H_2(1/p)$. Especificamente, o produto catalisador, $H(1/p)$, também pode reagir com um novo elétron para formar um novo íon hidreto $H^-(1/p)$ com uma energia de ligação E_B:

$$E_B=\frac{\hbar^2\sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^2}-\frac{\pi\mu_0 e^2\hbar^2}{m_e^2}\left(\frac{1}{a_H^3}+\frac{2^2}{a_0^3\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^3}\right) \tag{19}$$

onde $p=\text{integer}>1$, $s=1/2$, $\hbar$ é a barra constante de Planck, μ_o é a permeabilidade do vácuo, m_e é a massa do elétron, μ_e é a massa reduzida do elétron dada por $\mu_e=\frac{m_e m_p}{\frac{m_e}{\sqrt{\frac{3}{4}}}+m_p}$ onde m_p é a massa do próton, a_o é o raio de Bohr, e o raio iônico é $r_1=\frac{a_0}{p}\left(1+\sqrt{s(s+1)}\right)$. Da Eq. (19), a energia de ionização calculada do íon hidreto é $0.75418\ eV$, e o valor experimental é $6082.99\pm 0.15\ cm^{-1}$ (0,75418 eV). As energias de ligação de íons hidreto de hidrino podem ser medidas por espectroscopia de

fotoelétron de raios X (XPS).

[095] Os picos de NMR deslocados para cima são evidência direta da existência de hidrogênio no estado de energia mais baixa com um raio reduzido em relação ao íon hidreto comum, e tendo um aumento na proteção diamagnética do próton. O deslocamento é dado pela soma das contribuições do diamagnetismo dos dois elétrons e do campo de fótons de magnitude p (Mills GUTCP Eq. (7.87)):

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -\mu_0 \frac{pe^2}{12 m_e a_0 \left(1+\sqrt{s(s+1)}\right)} \left(1+p\alpha^2\right) = -\left(p29.9 + p^2 1.59\ X\ 10^{-3}\right) ppm \quad (20)$$

onde o primeiro termo se aplica a H^- com $p=1$ e $p=\text{integer}>1$ para $H^-\left(1/p\right)$ e α é a constante de estrutura fina. Os picos de hidreto de hidrino previstos são extraordinariamente deslocados para cima em relação ao íon hidreto comum. Em uma modalidade, os picos estão acima do campo de TMS. O deslocamento de RMN relativo ao TMS pode ser superior ao conhecido para pelo menos um dentre H^-, H, H_2 ou H^+ comuns sozinhos ou compreendendo um composto. O deslocamento pode ser maior do que pelo menos um dentre 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8, -9, -10, -11, -12, -13, -14, -15, -16, -17, -18, -19, -20, -21, -22, -23, -24, -25, -26, -27, -28, -29, -30, -31, -32, -33, -34, -35, -36, -37, -38, -39 e -40 ppm. A faixa do deslocamento absoluto em relação a um próton puro, em que o deslocamento de TMS é de cerca de -31,5 em relação a um próton puro, pode ser de -(p29,9 + $p^2$2,74) ppm (Eq. (20)) dentro de uma faixa de cerca de pelo menos um dentre $\pm$5 ppm, $\pm$10 ppm, $\pm$20 ppm, $\pm$30 ppm, $\pm$40 ppm, $\pm$50 ppm, $\pm$60 ppm, $\pm$70 ppm, $\pm$80 ppm, $\pm$90 ppm e $\pm$100 ppm. O intervalo do deslocamento absoluto em relação a um próton puro pode ser de -(p29,9 + $p^2$1,59 x 10^{-3}) ppm (Eq. (20)) dentro de uma faixa de cerca de pelo menos um dentre 0,1% a 99%, 1% a 50% e 1% a 10%. Em outra modalidade, a presença de uma espécie de hidrino, como um átomo de hidreto, íon hidreto ou molécula em uma matriz sólida, como uma matriz de um hidróxido, como NaOH ou KOH, faz com que os prótons da matriz se

desloquem para cima. Os prótons da matriz, como os de NaOH ou KOH, podem ser trocados. Em uma modalidade, o deslocamento pode fazer com que o pico da matriz esteja na faixa de cerca de -0,1 ppm a -5 ppm em relação ao TMS. A determinação de NMR pode compreender rotação de ângulo mágico espectroscopia de ressonância magnética nuclear de ^1H (MAS ^1H NMR).

$H\left(1/p\right)$ pode reagir com um próton e dois $H\left(1/p\right)$ podem reagir para formar $H_2\left(1/p\right)^+$ e $H_2\left(1/p\right)$, respectivamente. O íon molecular de hidrogênio e as funções de carga molecular e densidade de corrente, distâncias de ligação e energias foram resolvidas a partir do Laplaciano em coordenadas elipsoidais com a restrição de não radiação.

$$(\eta-\zeta)R_\xi\frac{\partial}{\partial\xi}(R_\xi\frac{\partial\phi}{\partial\xi})+(\zeta-\xi)R_\eta\frac{\partial}{\partial\eta}(R_\eta\frac{\partial\phi}{\partial\eta})+(\xi-\eta)R_\zeta\frac{\partial}{\partial\zeta}(R_\zeta\frac{\partial\phi}{\partial\zeta})=0 \tag{21}$$

[096] A energia total E_T do íon molecular de hidrogênio tendo um campo central $+pe$ em cada foco do orbital molecular esferoide prolato é

$$E_T=-p^2\left\{\begin{array}{l}\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_H}(4\ln 3-1-2\ln 3)\left[1+p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o\left(2a_H\right)^3}}{m_e}}{m_e c^2}}\right]\\ -\frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\varepsilon_o\left(\frac{2a_H}{p}\right)^3}-\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}}\end{array}\right\} \tag{22}$$
$$=-p^2 16.13392\ eV-p^3 0.118755\ eV$$

onde p é um número inteiro, c é a velocidade da luz no vácuo e μ é a massa nuclear reduzida. A energia total da molécula de hidrogênio tendo um campo central $+pe$ em cada foco do orbital molecular esferoide prolato é

$$E_T = -p^2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_0}\left[\left(2\sqrt{2}-\sqrt{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\ln\frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1}-\sqrt{2}\right]\left[1+p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o a_0^3}}}{m_e c^2}}\right] \\ -\frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{a_0}{p}\right)^3}-\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}}{\mu}} \end{array} \right\} \quad (23)$$

$$= -p^2 31.351\ eV - p^3 0.326469\ eV$$

[097] A energia de dissociação de ligação, E_D, da molécula de hidrogênio $H_2\left(1/p\right)$ é a diferença entre a energia total dos átomos de hidrogênio correspondentes e E_T

$$E_D = E(2H\left(1/p\right)) - E_T \quad (24)$$

onde

$$E(2H\left(1/p\right)) = -p^2 27.20\ eV \quad (25)$$

E_D é dado pelas Eqs. (23–25):

$$\begin{aligned} E_D &= -p^2 27.20\ eV - E_T \\ &= -p^2 27.20\ eV - \left(-p^2 31.351\ eV - p^3 0.326469\ eV\right) \\ &= p^2 4.151\ eV + p^3 0.326469\ eV \end{aligned} \quad (26)$$

[098] $H_2\left(1/p\right)$ pode ser identificado por espectroscopia de fotoelétron de raios X (XPS), em que o produto de ionização, além do elétron ionizado, pode ser pelo menos uma das possibilidades, tais como aquelas que compreendem dois prótons e um elétron, um átomo de hidrogênio (H), um átomo de hidrino, um íon molecular, íon molecular de hidrogênio e $H_2\left(1/p\right)^+$ em que as energias podem ser deslocadas pela matriz.

[099] O RMN do gás produto da catálise apresenta um teste definitivo do deslocamento químico teoricamente previsto de $H_2\left(1/p\right)$. Em geral, a ressonância ^1H RMN de $H_2\left(1/p\right)$ está prevista para ser deslocada para cima daquela de H_2 devido

ao raio fracionário em coordenadas elípticas em que os elétrons estão significativamente mais próximos dos núcleos. O deslocamento previsto, $\frac{\Delta B_T}{B}$, para $H_2\left(1/p\right)$ é dado pela soma das contribuições do diamagnetismo dos dois elétrons e do campo de fótons de magnitude p (Mills GUTCP Eqs. (11.415-11.416)):

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -\mu_0\left(4-\sqrt{2}\ln\frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1}\right)\frac{pe^2}{36a_0m_e}\left(1+p\alpha^2\right) \quad (27)$$

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -\left(p28.01+p^2 1.49\ X\ 10^{-3}\right)ppm \quad (28)$$

onde o primeiro termo se aplica a H2 com *p =1* e p = inteiro >1 para $H_2\left(1/p\right)$. O deslocamento absoluto experimental da ressonância na fase gasosa de H_2 de -28,0 ppm está em excelente concordância com o deslocamento absoluto previsto na fase gasosa de -28,01 ppm (Eq. (28)). Os picos de hidrino molecular previstos são extraordinariamente deslocados para cima em relação ao H_2 comum. Em uma modalidade, os picos estão acima do campo de TMS. O deslocamento de RMN relativo ao TMS pode ser superior ao conhecido para pelo menos um dentre H^-, H, H_2 ou H^+ comuns sozinhos ou compreendendo um composto. O deslocamento pode ser maior do que pelo menos um dentre 0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8, -9, -10, -11, -12, -13, -14, -15, -16, -17, -18, -19, -20, -21, -22, -23, -24, -25, -26, -27, -28, -29, -30, -31, -32, -33, -34, -35, -36, -37, -38, -39 e -40 ppm. A faixa do deslocamento absoluto em relação a um próton puro, em que o deslocamento de TMS é de cerca de -31,5 ppm em relação a um próton puro, pode ser de -(p28,01 + $p^2$2,56) ppm (Eq. (28)) dentro de um faixa de cerca de pelo menos um dentre ±5 ppm, ±10 ppm, ±20 ppm, ±30 ppm, ±40 ppm, ±50 ppm, ±60 ppm, ±70 ppm, ±80 ppm, ±90 ppm e ±100 ppm. A faixa do deslocamento absoluto com relação a um próton puro pode ser -(p28,01 + $p^2$1,49 x 10^{-3}) ppm (Eq. (28)) dentro de uma faixa de cerca de pelo menos um dentre 0,1% a 99%, 1% a 50% e 1% a 10%.

[0100] As energias vibracionais, E_{vib}, para a transição de $\upsilon = 0$ a $\upsilon = 1$ das moléculas tipo hidrogênio $H_2\left(1/p\right)$ são

$$E_{vib} = p^2 0.515902\ eV \tag{29}$$

onde p é um número inteiro.

As energias rotacionais, E_{rot}, para a transição de J para $J+1$ de moléculas tipo hidrogênio $H_2\left(1/p\right)$ são

$$E_{rot} = E_{J+1} - E_J = \frac{\hbar^2}{I}\left[J+1\right] = p^2\left(J+1\right)0.01509\ eV \tag{30}$$

em que p é um número inteiro e I é o momento de inércia. A emissão rovibracional $H_2\left(1/4\right)$ foi observada em moléculas excitadas por feixe de elétrons em gases e aprisionadas em matriz sólida.

[0101] A dependência p^2 das energias rotacionais resulta de uma dependência p inversa da distância internuclear e do impacto correspondente no momento de inércia I. A distância internuclear prevista $2c'$ para $H_2\left(1/p\right)$ é

$$2c' = \frac{a_o\sqrt{2}}{p} \tag{31}$$

[0102] Pelo menos uma dentre as energias rotacional e vibracional de $H_2(1/p)$ pode ser medida, por pelo menos uma dentre espectroscopia de emissão de excitação de feixe de elétrons, espectroscopia Raman e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). $H_2(1/p)$ pode ser retido em uma matriz para medição, como em pelo menos uma matriz dentre MOH, MX e M_2CO_3 (M = álcali; X = haleto).

[0103] Em uma modalidade, o produto de hidrino molecular é observado como um pico de efeito Raman inverso (IRE) em cerca de 1.950 cm^{-1}. O pico é incrementado usando-se um material condutor que compreende características de rugosidade ou tamanho de partícula comparável ao comprimento de onda do laser Raman, que suporta uma intensificação do espalhamento Raman por meio de superfície (SERS) para mostrar o pico de IRE.

I. Catalisadores

[0104] Na presente publicação, termos como reação de hidrino, catálise de H, reação de catálise de H, catálise quando referindo-se a hidrogênio, a reação de

hidrogênio para formar hidrinos e reação para formação de hidrino, todos referem-se à reação do tipo das Eqs. (15–18) de um catalisador definido pela Eq. (14) com H atômico para formar estados de hidrogênio que têm níveis de energia dados pelas Eqs. (10) e (12). Os termos correspondentes como reagentes de hidrino, mistura de reação de hidrino, mistura de catalisador, reagentes para formação de hidrino, reagentes que produzem ou formam hidrogênio ou hidrinos de estado de energia mais baixa também são intercambiáveis quando se referem à mistura de reação que realiza a catálise de H para estados de H ou estados de hidrino que têm níveis de energia dados pelas Eqs. (10) e (12).

[0105] As transições catalíticas de hidrogênio de energia mais baixa da presente publicação requerem um catalisador que pode estar na forma de uma reação química endotérmica de um número inteiro m da energia potencial do hidrogênio atômico não catalisado, 27,2 eV, que aceita a energia do H atômico para causar a transição. A reação endotérmica do catalisador pode ser a ionização de um ou mais elétrons de uma espécie, como um átomo ou íon (p.ex., $m = 3$ para $Li \rightarrow Li^{2+}$), e pode ainda compreender a reação concertada de uma clivagem de ligação com ionização de um ou mais elétrons de um ou mais parceiros da ligação inicial (p.ex., $m = 2$ para $NaH \rightarrow Na^{2+} + H$). He^{+} cumpre o critério de catalisador: um processo químico ou físico com uma alteração de entalpia igual a um múltiplo inteiro de 27,2 eV, uma vez que ioniza a 54,417 eV, que é 2 • 27,2 eV. Um número inteiro de átomos de hidrogênio também pode servir como catalisador de um múltiplo inteiro de uma entalpia de 27,2 eV. O catalisador é capaz de aceitar energia de hidrogênio atômico em unidades inteiras de um dentre cerca de 27,2 eV ±0,5 eV e $\frac{27.2}{2}\ eV$ ±0,5 eV.

[0106] Em uma modalidade, o catalisador compreende um átomo ou íon M em que a ionização de t elétrons do átomo ou íon M, cada um para um nível de energia contínuo, é tal que a soma das energias de ionização dos t elétrons é

aproximadamente uma dentre $m \bullet 27{,}2\ eV$ e $m \bullet \frac{27.2}{2}\ eV$ onde m é um número inteiro.

[0107] Em uma modalidade, o catalisador compreende uma molécula diatômica MH em que a quebra da ligação M–H mais a ionização de t elétrons do átomo M cada um para um nível de energia contínuo é tal que a soma da energia de ligação e das energias de ionização dos elétrons t é aproximadamente um dentre $m \bullet 27{,}2\ eV$ e $m \bullet \frac{27.2}{2}\ eV$ onde m é um número inteiro.

[0108] Em uma modalidade, o catalisador compreende átomos, íons e/ou moléculas selecionadas a partir de moléculas de AlH, AsH, BaH, BiH, CdH, ClH, CoH, GeH, InH, NaH, NbH, OH, RhH, RuH, SH, SbH, SeH, SiH, SnH, SrH, TlH, C_2, N_2, O_2, CO_2, NO_2 e NO_3, e átomos ou íons de Li, Be, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Kr, Rb, Sr, Nb, Mo, Pd, Sn, Te, Cs, Ce, Pr, Sm, Gd, Dy, Pb, Pt, Kr, $2K^+$, He^+, Ti^{2+}, Na^+, Rb^+, Sr^+, Fe^{3+}, Mo^{2+}, Mo^{4+}, In^{3+}, He^+, Ar^+, Xe^+, Ar^{2+} e H^+, e Ne^+ e H^+.

[0109] Em outras modalidades, catalisadores de hidrogênio do tipo MH^- para produzir hidrinos fornecidos pela transferência de um elétron para um aceitador A, a quebra da ligação M–H mais a ionização de t elétrons do átomo M, cada um para um nível de energia contínuo de modo que a soma da energia de transferência de elétrons, compreendendo a diferença de afinidade eletrônica (EA) de M–H e A, a energia de ligação M–H, e as energias de ionização dos t elétrons de M é de aproximadamente $m \bullet 27{,}2\ eV$, em que m é um número inteiro. Catalisadores de hidrogênio do tipo MH^- capazes de fornecer uma entalpia líquida de reação de aproximadamente $m \bullet 27{,}2\ eV$ são OH^-, SiH^-, CoH^-, NIH^- e SeH^-.

[0110] Em outras modalidades, os catalisadores de hidrogênio do tipo MH^+ para produzir hidrinos são fornecidos pela transferência de um elétron de um doador A, que pode estar carregado negativamente, pela quebra da ligação M–H e pela ionização de t elétrons do átomo M cada um para um nível de energia contínuo de modo

que a soma da energia de transferência de elétrons compreendendo a diferença das energias de ionização de MH e A, a energia da ligação M–H e energias de ionização dos t elétrons de M seja de aproximadamente $m \bullet 27{,}2\ eV$, em que m é um número inteiro.

[0111] Em uma modalidade, pelo menos uma dentre uma molécula ou um íon molecular com carga positiva ou negativa serve como um catalisador que aceita cerca de $m \bullet 27{,}2\ eV$ do H atômico com uma diminuição na magnitude da energia potencial da molécula, ou íon molecular com carga positiva ou negativa em cerca de $m \bullet 27{,}2\ eV$. São exemplos de catalisadores H_2O, OH, grupo amida NH_2, e H_2S.

[0112] O_2 pode servir como catalisador ou fonte de um catalisador. A energia de ligação da molécula de oxigênio é de 5,165 eV, e a primeira, segunda e terceira energias de ionização de um átomo de oxigênio são 13,61806 eV, 35,11730 eV e 54,9355 eV, respectivamente. As reações $O_2 \rightarrow O + O_2+$, $O_2 \rightarrow O + O^{3+}$, e $2O \rightarrow 2O^+$ fornecem uma entalpia líquida de cerca de 2, 4 e 1 vezes E_h, respectivamente, e compreendem reações de catalisador para formar hidrino pela aceitação dessas energias de H para causar a formação de hidrinos.

II. Hidrinos

[0113] Um átomo de hidrogênio tendo uma energia de ligação dada por $E_B = \frac{13.6\ eV}{\left(1/p\right)^2}$ em que p é um número inteiro maior que 1, preferencialmente de 2 a 137, é o produto da reação de catálise H da presente publicação. A energia de ligação de um átomo, íon ou molécula, também conhecida como energia de ionização, é a energia necessária para remover um elétron do átomo, íon ou molécula. Um átomo de hidrogênio com a energia de ligação dada nas Eqs. (10) e (12) é doravante referido como um “átomo de hidrino” ou “hidrino”. A designação de um hidrino de raio $\frac{a_H}{p}$, em que a_H é o raio de um átomo de hidrogênio comum e p é um inteiro, é $H\left[\frac{a_H}{p}\right]$. Um

átomo de hidrogênio com um raio a_H é doravante referido como “átomo de hidrogênio comum” ou “átomo de hidrogênio normal”. O hidrogênio atômico comum é caracterizado por sua energia de ligação de 13,6 eV.

[0114] De acordo com a presente publicação, um íon de hidreto de hidrino (H^-) com uma energia de ligação de acordo com a Eq. (19), que é maior do que a ligação do íon hidreto comum (cerca de 0,75 eV) para $p = 2$ até 23, e menos para $p = 24$ (H^-) é fornecido. Para $p = 2$ a $p = 24$ da Eq. (19), as energias de ligação do íon de hidreto são, respectivamente, 3, 6,6, 11,2, 16,7, 22,8, 29,3, 36,1, 42,8, 49,4, 55,5, 61,0, 65,6, 69,2, 71,6, 72,4, 71,6, 68,8, 64,0, 56,8, 47,1, 34,7, 19,3 e 0,69 eV. Os exemplos de compostos compreendendo o novo íon de hidreto também são fornecidos neste documento.

[0115] Também são fornecidos exemplos de compostos compreendendo um ou mais íons de hidreto de hidrino e um ou mais outros elementos. Tal composto é referido como “composto de hidreto de hidrino”.

[0116] As espécies comuns de hidrogênio são caracterizadas pelas seguintes energias de ligação (a) íon hidreto, 0,754 eV (“íon hidreto comum”); (b) átomo de hidrogênio (“átomo de hidrogênio comum”), 13,6 eV; (c) molécula diatômica de hidrogênio, 15,3 eV (“molécula de hidrogênio comum”); (d) íon de hidrogênio molecular, 16,3 eV (“íon molecular de hidrogênio comum”); e (e) H_3^+, 22,6 eV (“íon molecular tri-hidrogênio comum”). Neste documento, com referência as formas de hidrogênio, “normal” e “comum” são sinônimos.

[0117] De acordo com uma outra modalidade da presente publicação, um composto é fornecido compreendendo pelo menos uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada, como (a) um átomo de hidrogênio que tem uma energia de ligação de cerca de $\frac{13.6\ eV}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$, como na faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes $\frac{13.6\ eV}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$

, onde p é um número inteiro de 2 a 137; (b) um íon hidreto (H^-) que tem uma energia de ligação de cerca de $Binding\ Energy = \frac{\hbar^2\sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2\hbar^2}{m_e^2}\left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^3}\right)$, como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes $Binding\ Energy = \frac{\hbar^2\sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2\hbar^2}{m_e^2}\left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3\left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^3}\right)$ em que p é um número inteiro de 2 a 24; (c) $H_4^+\left(1/\ p\right)$; (d) um íon molecular tri-hidrino, $H_3^+\left(1/\ p\right)$, que tem uma energia de ligação de cerca de $\frac{22.6}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes $\frac{22.6}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ em que p é um número inteiro de 2 a 137; (e) um di-hidrino com uma energia de ligação de cerca de $\frac{15.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes $\frac{15.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ em que p é um número inteiro de 2 a 137; (f) um íon molecular di-hidrino com uma energia de ligação de cerca de $\frac{16.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes $\frac{16.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}\ eV$ em que p é um número inteiro, preferencialmente um número inteiro de 2 a 137.

[0118] De acordo com uma modalidade adicional da presente publicação, é fornecido um composto compreendendo pelo menos uma espécie de hidrogênio de

energia de ligação aumentada, como (a) um íon molecular di-hidrino com uma energia total de cerca de

$$E_T = -p^2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_H}(4\ln 3 - 1 - 2\ln 3)\left[1 + p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o\left(2a_H\right)^3}}{m_e}}{m_e c^2}}\right] \\ -\frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\varepsilon_o\left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}} \end{array} \right\}$$
$$= -p^2 16.13392\ eV - p^3 0.118755\ eV$$

como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes

$$E_T = -p^2 \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_H}(4\ln 3 - 1 - 2\ln 3)\left[1 + p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_o\left(2a_H\right)^3}}{m_e}}{m_e c^2}}\right] \\ -\frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\varepsilon_o\left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}} \end{array} \right\}$$
$$= -p^2 16.13392\ eV - p^3 0.118755\ eV$$

onde p é um número inteiro, $\hbar$ é a barra constante de Planck, m_e é a massa do elétron, c é a velocidade da luz no vácuo e μ é a massa nuclear reduzida, e (b) uma molécula de di-hidrino com uma energia total de cerca de

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_0}\left[\left(2\sqrt{2}-\sqrt{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\ln\frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1}-\sqrt{2}\right]\left[1+p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o a_0^3 m_e}}}{m_e c^2}}\right] - \frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{a_0}{p}\right)^3}-\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\}$$

$$= -p^2 31.351\ eV - p^3 0.326469\ eV$$

como dentro de uma faixa de cerca de 0,9 a 1,1 vezes

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_o a_0}\left[\left(2\sqrt{2}-\sqrt{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\ln\frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1}-\sqrt{2}\right]\left[1+p\sqrt{\frac{2\hbar\sqrt{\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_o a_0^3 m_e}}}{m_e c^2}}\right] - \frac{1}{2}\hbar\sqrt{\frac{\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{a_0}{p}\right)^3}-\frac{pe^2}{8\pi\varepsilon_o\left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\}$$

em que p é

$$= -p^2 31.351\ eV - p^3 0.326469\ eV$$

um número inteiro e a_o é o raio de Bohr.

[0119] De acordo com uma modalidade da presente publicação, em que o composto compreende uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada e carga negativa, o composto compreende ainda um ou mais cátions, como um próton, H_2^+ comum ou H_3^+ comum.

[0120] É apresentado aqui um método para preparar compostos compreendendo pelo menos um íon de hidreto de hidrino. Esses compostos são doravante referidos como “compostos de hidreto de hidrino”. O método compreende a reação de hidrogênio atômico com um catalisador que tem uma entalpia líquida de reação de

cerca de $\frac{m}{2} \cdot 27\ eV$, em que m é um número inteiro maior que 1, preferencialmente um número inteiro menor que 400, para produzir um átomo de hidrogênio de energia de ligação aumentada tendo uma energia de ligação de cerca de $\frac{13.6\ eV}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ em que p é um número inteiro, preferencialmente um número inteiro de 2 a 137. Um outro produto da catálise é a energia. O átomo de hidrogênio de energia de ligação aumentada pode reagir com uma fonte de elétrons para produzir um íon hidreto de energia de ligação aumentada. O íon hidreto de energia de ligação aumentada pode reagir com um ou mais cátions para produzir um composto que compreende pelo menos um íon hidreto de energia de ligação aumentada.

[0121] Em uma modalidade, pelo menos uma dentre potência e energia muito alta pode ser alcançada pelo hidrogênio submetido a transições para hidrinos de altos valores de p na Eq. (18) em um processo aqui referido como desproporcionação, conforme dado em Mills GUTCP Cap. 5, que é incorporado por referência. Átomos de hidrogênio $H(1/p)\ \ p=1,2,3,...137$ podem sofrer outras transições para estados de energia mais baixa dados pelas Eqs. (10) e (12), em que a transição de um átomo é catalisada por um segundo que aceita de forma ressonante e não radiativa $m \cdot 27.2\ eV$ com uma alteração oposta concomitante em sua energia potencial. A equação geral global para a transição de $H(1/p)$ para $H(1/(p+m))$ induzida por uma transferência de ressonância de $m \cdot 27.2\ eV$ para $H(1/p')$ dada pela Eq. (32) é representada por

$$H(1/p')+H(1/p) \rightarrow H+H(1/(p+m))+\left[2pm+m^2-p'^2+1\right] \cdot 13.6\ eV \quad (32)$$

[0122] A luz EUV do processo de hidrino pode dissociar as moléculas de di-hidrino e os átomos de hidrino resultantes podem servir como catalisadores para a transição para estados de energia mais baixa. Uma reação exemplar compreende a catálise de H a H(1/17) por H(1/4), em que H(1/4) pode ser um produto de reação da catálise de outro H por HOH. Prevê-se que as reações de desproporcionação dos

hidrinos deem origem a características na região dos raios-X. Conforme mostrado pelas Eqs. (5–8) o produto de reação do catalisador HOH é $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$. Considere uma provável reação de transição em nuvens de hidrogênio contendo gás de H_2O, em que o primeiro átomo tipo hidrogênio $H\left[\frac{a_H}{p}\right]$ é um átomo de H e o segundo átomo aceitador tipo hidrogênio $H\left[\frac{a_H}{p'}\right]$ que serve como catalisador é $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$. Como a energia potencial de $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$ é $4^2 \cdot 27.2\ eV = 16 \cdot 27.2\ eV = 435.2\ eV$, a reação de transição é representada por

$$16 \cdot 27.2\ eV + H\left[\frac{a_H}{4}\right] + H\left[\frac{a_H}{1}\right] \rightarrow H^+_{fast} + e^- + H*\left[\frac{a_H}{17}\right] + 16 \cdot 27.2\ eV$$

(33)

$$H*\left[\frac{a_H}{17}\right] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{17}\right] + 3481.6\ eV$$

(34)

$$H^+_{fast} + e^- \rightarrow H\left[\frac{a_H}{1}\right] + 231.2\ eV$$

(35)

E a reação geral é

$$H\left[\frac{a_H}{4}\right] + H\left[\frac{a_H}{1}\right] \rightarrow H\left[\frac{a_H}{1}\right] + H\left[\frac{a_H}{17}\right] + 3712.8\ eV$$

(36)

[0123] A banda de radiação contínua ultravioleta extrema devido ao $H*\left[\frac{a_H}{p+m}\right]$ intermediário (p.ex., Eq. (16) e Eq. (34)) é prevista para ter um corte de comprimento de onda curto e energia $E_{\left(H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p+m}\right]\right)}$ dada por

$$E_{\left(H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p+m}\right]\right)} = \left[\left(p+m\right)^2 - p^2\right] \cdot 13.6\ eV - m \cdot 27.2\ eV$$

$$\lambda_{\left(H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p+m}\right]\right)} = \frac{91.2}{\left[\left(p+m\right)^2 - p^2\right] \cdot 13.6\ eV - m \cdot 27.2\ eV}\ nm$$

(37)

e estendendo-se para comprimentos de onda mais longos do que o corte correspondente. Aqui, é previsto que a faixa de radiação contínua ultravioleta extrema devido ao decaimento do intermediário $H*\left[\frac{a_H}{17}\right]$ tenha um corte de comprimento de onda curto em $E=3481.6\ eV;\ 0.35625\ nm$ e estendendo-se a comprimentos de onda mais longos. Um pico largo de raios X com um ponto de corte de 3,48 keV incompatível com qualquer outra transição atômica foi observado no Perseus Cluster pelo observatório de raios X Chandra da NASA e por XMM-Newton [E. Bulbul, M. Markevitch, A. Foster, R. K. Smith, M. Loewenstein, S. W. Randall, “Detection of an unidentified emission line in the stacked X-Ray spectrum of galaxy clusters,” The Astrophysical Journal, Volume 789, Número 1, (2014); A. Boyarsky, O. Ruchayskiy, D. Iakubovskyi, J. Franse, “An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster,” (2014),arXiv:1402.4119 [astro-ph.CO]]. A característica de 3,48 keV atribuída à matéria escura de identidade desconhecida por BulBul et al. corresponde à transição $H\left[\frac{a_H}{4}\right]+H\left[\frac{a_H}{1}\right]\rightarrow H\left[\frac{a_H}{17}\right]$ e ainda confirma os hidrinos como a identidade da matéria escura.

[0124] As novas composições de hidrogênio da matéria podem compreender:

(a) pelo menos uma espécie de hidrogênio neutra, positiva ou negativa (doravante denominada “espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada”) tendo uma energia de ligação

(i) maior do que a energia de ligação das espécies de hidrogênio comum correspondentes, ou

(ii) maior do que a energia de ligação de qualquer espécie de hidrogênio para a qual a espécie de hidrogênio comum correspondente é instável, ou não é observada porque a energia de ligação da espécie de hidrogênio comum é menor do que as energias térmicas em condições ambiente (temperatura e pressão padrão, TPP), ou

é negativa; e

(b) pelo menos um outro elemento. Normalmente, os produtos de hidrogênio descritos neste documento são espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada.

[0125] Por “outro elemento”, neste contexto, entende-se um elemento que não seja uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada. Assim, o outro elemento pode ser uma espécie comum de hidrogênio, ou qualquer outro elemento que não seja hidrogênio. Em um grupo de compostos, o outro elemento e as espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada são neutros. Em outro grupo de compostos, o outro elemento e a espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada são carregados de tal forma que o outro elemento provê a carga de equilíbrio para formar um composto neutro. O primeiro grupo de compostos se caracteriza por ligações moleculares coordenadas; o segundo grupo se caracteriza por ligações iônicas.

[0126] Também foram apresentados novos compostos e íons moleculares compreendendo

(a) pelo menos uma espécie de hidrogênio neutra, positiva ou negativa (doravante denominada “espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada”) tendo com uma energia total

(i) maior do que a energia total das espécies comuns de hidrogênio correspondentes, ou

(ii) maior do que a energia total de qualquer espécie de hidrogênio para a qual a espécie comum de hidrogênio correspondente é instável, ou não é observada, porque a energia total da espécie comum de hidrogênio é menor do que as energias térmicas em condições ambiente, ou é negativa; e

(b) pelo menos um outro elemento.

[0127] A energia total da espécie de hidrogênio é a soma das energias para remover todos os elétrons da espécie de hidrogênio. A espécie de hidrogênio, de

acordo com a presente publicação, tem uma energia total maior do que a energia total da espécie comum de hidrogênio correspondente. A espécie de hidrogênio com uma energia total aumentada, de acordo com a presente publicação, também é referida como “espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada”, embora algumas modalidades das espécies de hidrogênio com uma energia total aumentada possam ter uma primeira energia de ligação de elétron menor que a primeira energia de ligação de elétron da espécie de hidrogênio comum correspondente. Por exemplo, o íon hidreto da Eq. (19) para $p = 24$ tem uma primeira energia de ligação que é menor que a primeira energia de ligação do íon hidreto comum, enquanto a energia total do íon hidreto da Eq. (19) para $p = 24$ é muito maior que a energia total do íon hidreto comum correspondente.

[0128] Também são apresentados neste documento novos compostos e íons moleculares compreendendo

(a) uma pluralidade de espécies de hidrogênio neutras, positivas ou negativas (doravante denominadas “espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada”) com uma energia de ligação

(i) maior do que a energia de ligação das espécies de hidrogênio comum correspondentes, ou

(ii) maior que a energia de ligação de qualquer espécie de hidrogênio para a qual a espécie de hidrogênio comum correspondente é instável, ou não é observada porque a energia de ligação da espécie de hidrogênio comum é menor que as energias térmicas em condições ambiente ou é negativa; e

(b) opcionalmente, um outro elemento. Os compostos da presente publicação são doravante referidos como “compostos de hidrogênio de energia de ligação aumentada”.

[0129] As espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada podem ser formadas pela reação de um ou mais átomos de hidrino com um ou mais dentre

um elétron, átomo de hidrino, um composto que contenha pelo menos uma das referidas espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada, e pelo menos um outro átomo, molécula, ou íon que não sejam uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada.

[0130] Também foram apresentados novos compostos e íons moleculares compreendendo

(a) uma pluralidade de espécies de hidrogênio neutras, positivas ou negativas (doravante “espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada”) com uma energia total

(i) maior do que a energia total do hidrogênio molecular comum, ou

(ii) maior do que a energia total de qualquer espécie de hidrogênio para a qual a espécie comum de hidrogênio correspondente é instável, ou não é observada, porque a energia total da espécie comum de hidrogênio é menor do que as energias térmicas em condições ambiente, ou é negativa; e

(b) opcionalmente, um outro elemento. Os compostos da presente publicação são doravante referidos como “compostos de hidrogênio de energia de ligação aumentada”.

[0131] Em uma modalidade, é fornecido um composto que compreende pelo menos uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada selecionada dentre (a) íon hidreto com energia de ligação de acordo com a Eq. (19), que é maior que a ligação do íon hidreto comum (cerca de 0,8 eV) para $p = 2$ até 23, e menos para $p = 24$ (“íon hidreto de energia de ligação aumentada” ou “íon de hidreto de hidrino”); (b) átomo de hidrogênio com uma energia de ligação maior que a energia de ligação do átomo de hidrogênio comum (cerca de 13,6 eV) (“átomo de hidrogênio de energia de ligação aumentada” ou “hidrino”); (c) molécula de hidrogênio com uma primeira energia de ligação maior que cerca de 15,3 eV (“molécula de hidrogênio de energia de ligação aumentada” ou “di-hidrino”); e (d) íon de hidrogênio molecular com uma

energia de ligação maior que cerca de 16,3 eV (“íon de hidrogênio molecular de energia de ligação aumentada” ou “íon molecular di-hidrino”). Na publicação, compostos e espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada são também referidos como compostos e espécies de hidrogênio de energia mais baixa. Os hidrinos compreendem uma espécie de hidrogênio de energia de ligação aumentada ou, de forma equivalente, uma espécie de hidrogênio de energia mais baixa.

III. Reator Químico

[0132] A presente publicação também é direcionada a outros reatores para produzir compostos e espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada, como moléculas de di-hidrino e compostos de hidreto de hidrino. Outros produtos da catálise são potência e, opcionalmente, plasma e luz, dependendo do tipo de célula. Esse reator é doravante referido como “reator de hidrogênio” ou “célula de hidrogênio”. O reator de hidrogênio compreende uma célula para produzir hidrinos. A célula para produzir hidrinos pode assumir a forma de um reator químico ou célula de combustível de gás, como uma célula de descarga de gás, uma célula de tocha de plasma, ou célula de potência de micro-ondas, e uma célula eletroquímica. Em uma modalidade, o catalisador é HOH e a fonte de pelo menos um dentre HOH e H é gelo. O gelo pode ter uma área de superfície alta para aumentar pelo menos uma dentre as taxas de formação do catalisador HOH e H a partir de gelo e a taxa de reação de hidrino. O gelo pode ter a forma de lascas finas para aumentar a área de superfície. Em uma modalidade, a célula compreende uma célula de descarga de arco e que compreende gelo em pelo menos um eletrodo, de modo que a descarga envolva pelo menos uma porção do gelo.

[0133] Em uma modalidade, a célula de descarga de arco compreende um vaso, dois eletrodos, uma fonte de energia de alta tensão, como uma capaz de uma tensão na faixa de cerca de 100 V a 1 MV, e uma corrente na faixa de cerca de 1 A a 100 kA, e uma fonte de água como um reservatório, e um meio para formar e fornecer

gotículas de H_2O. As gotículas podem viajar entre os eletrodos. Em uma modalidade, as gotículas iniciam a ignição do plasma de arco. Em uma modalidade, o plasma de arco de água compreende H e HOH que podem reagir para formar hidrinos. A taxa de ignição e a taxa de potência correspondente podem ser controladas controlando-se o tamanho das gotículas e a taxa na qual elas são fornecidas aos eletrodos. A fonte de alta tensão pode compreender pelo menos um capacitor de alta tensão que pode ser carregado por uma fonte de energia de alta tensão. Em uma modalidade, a célula de descarga de arco compreende ainda um meio, como um conversor de energia, como um da presente invenção, como pelo menos um dentre um conversor fotovoltaico e um motor térmico para converter a energia do processo do hidrino, como luz e calor, em eletricidade.

[0134] Modalidades exemplares da célula para a produção de hidrinos podem assumir a forma de uma célula de combustível líquido, uma célula de combustível sólido, uma célula de combustível heterogêneo, uma célula CIHT e uma célula SF-CIHT ou SunCell®. Cada uma dessas células compreende: (i) reagentes incluindo uma fonte de hidrogênio atômico; (ii) pelo menos um catalisador escolhido dentre um catalisador sólido, um catalisador fundido, um catalisador líquido, um catalisador gasoso ou misturas destes para produzir hidrinos; e (iii) um vaso para fazer reagir hidrogênio e o catalisador para produzir hidrinos. Conforme usado neste documento e contemplado na presente publicação, o termo "hidrogênio", a menos que especificado de outra forma, inclui não apenas o prótio (^1H), mas também deutério (^2H) e trítio (^3H). Exemplos de misturas de reação química e reatores podem compreender SF-CIHT, CIHT, ou modalidades de célula térmica da presente publicação. Exemplos adicionais de modalidades são apresentados nesta seção de Reator Químico. Exemplos de misturas de reação tendo H_2O como catalisador formado durante a reação da mistura são dados na presente publicação. Outros catalisadores podem servir para formar compostos e espécies de hidrogênio de energia de ligação aumentada. As reações e

condições podem ser ajustadas a partir desses casos exemplares nos parâmetros como reagentes, % em peso do reagente, pressão de H_2 e temperatura de reação. Os reagentes, condições e intervalos de parâmetros da presente publicação são os adequados. Hidrinos e hidrino molecular demonstraram ser produtos dos reatores da presente publicação por bandas de radiação contínua previstas de um número inteiro vezes 13,6 eV, de outra forma inexplicáveis energias cinéticas de H extraordinariamente altas, medidas pelo alargamento das linhas de H por Doppler, inversão de linhas de H, formação de plasma sem campos de desagregação e duração anômala da pós-descarga do plasma, conforme relatado nas publicações anteriores de Mills. Os dados como aqueles sobre a célula CIHT e combustíveis sólidos foram validados de forma independente, fora do local, por outros pesquisadores. A formação de hidrinos pelas células da presente publicação também foi confirmada por energias elétricas que eram continuamente produzidas por muito tempo, que eram múltiplos da entrada elétrica que na maioria dos casos excediam a entrada por um fator maior que 10 sem fonte alternativa. O hidrino molecular $H_2(1/4)$ previsto foi identificado como um produto de células CIHT e combustíveis sólidos por RMN H MAS que mostrou um pico de matriz deslocada para cima previsto de cerca de -4,4 ppm, ToF-SIMS e ESI-ToFMS que mostraram $H_2(1/4)$ complexado em uma matriz de getter como m/e = M + n2 picos, em que M é a massa de um íon parental e n é um número inteiro, espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons e espectroscopia de emissão de fotoluminescência, que mostrou o espectro de rotação e vibração previsto de $H_2(1/4)$ tendo 16 ou número quântico p = 4 ao quadrado vezes as energias da espectroscopia H_2, Raman e FTIR que mostraram a energia rotacional de $H_2(1/4)$ de 1.950 cm-1, sendo 16 ou número quântico p = 4 ao quadrado vezes a energia rotacional de H_2, XPS que mostrou a energia de ligação total prevista de $H_2(1/4)$ de 500 eV e um pico de ToF-SIMS com um tempo de chegada antes do pico de m/e = 1 que correspondeu a H com uma energia cinética de cerca de 204 eV que correspondeu à liberação de energia

prevista de H a H(1/4) com a energia transferida a um terceiro corpo H, conforme relatado nas publicações anteriores de Mills e em R. Mills X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, “Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell”, International Journal of Energy Research, (2013) e R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G Chu, J. He, J. Trevey, “High-Power-Density Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell” (2014), que são aqui incorporados por referência em sua totalidade.

[0135] Usando-se um calorímetro de fluxo de água e um calorímetro de varredura diferencial (DSC) Setaram DSC 131, a formação de hidrinos por células da presente publicação, como aquelas que compreendem um combustível sólido para gerar energia térmica, foi confirmada pela observação de energia térmica, a partir de combustíveis sólidos que formam hidrino que exceda a energia teórica máxima por um fator de 60 vezes. O RMN H MAS mostrou um deslocamento para cima previsto da matriz de $H_2(1/4)$ de cerca de -4,4 ppm. Um pico Raman começando em 1.950 cm^{-1} correspondeu à energia rotacional do espaço livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV). Esses resultados são relatados nas publicações anteriores de Mills e em R. Mills, J. Lotoski, W. Good, J. He, “Solid Fuels that Form HOH Catalyst”, (2014), que é aqui incorporado por referência em sua totalidade.

IV. SunCell e conversor de energia

[0136] Sistema de energia (neste documento também referido como “SunCell”) que gera pelo menos uma dentre energia elétrica e energia térmica pode compreender:

um vaso capaz de manter uma pressão abaixo da atmosférica;

reagentes capazes de sofrer uma reação que produza energia suficiente para formar um plasma no vaso, compreendendo:

a) a) uma mistura de gás hidrogênio e gás oxigênio, e/ou
vapor de água, e/ou
uma mistura de gás hidrogênio e vapor d'água;

b) b) um metal fundido;

um controlador de fluxo de massa para controlar a vazão de pelo menos um reagente no vaso;

uma bomba de vácuo para manter a pressão no vaso abaixo da pressão atmosférica quando um ou mais reagentes estiverem fluindo para o vaso;

um sistema injetor de metal fundido que compreenda pelo menos um reservatório que contenha algum metal fundido, um sistema de bombeamento de metal fundido (p.ex., uma ou mais bombas eletromagnéticas) configurado para fornecer o metal fundido ao reservatório e, através de um tubo injetor, fornecer um fluxo de metal fundido, e pelo menos um reservatório de metal fundido não injetor para receber o fluxo de metal fundido;

pelo menos um sistema de ignição compreendendo uma fonte de energia elétrica ou corrente de ignição para fornecer energia elétrica a pelo menos um fluxo de metal fundido para inflamar a reação quando o gás hidrogênio e/ou gás oxigênio e/ou vapor d'água estiverem fluindo para o vaso;

um sistema de abastecimento de reagente para reabastecer os reagentes que são consumidos na reação; e

um conversor de energia ou sistema de saída para converter uma parte da energia produzida na reação (p.ex., luz e/ou saída térmica do plasma) em energia elétrica e/ou energia térmica.

[0137] Em algumas modalidades, o sistema de energia pode compreender uma rectena óptica, como a relatada por A. Sharma, V. Singh, TL Bougher, BA Cola, “A carbon nanotube optical rectenna”, Nature Nanotechnology, Vol. 10, (2015), pp. 1027–1032, doi:10.1038/nnano.2015.220 que é neste documento incorporado por referência em sua totalidade, e pelo menos um conversor de energia térmica em energia elétrica. Em uma modalidade adicional, o vaso é capaz de uma pressão de pelo menos uma dentre atmosférica, acima da atmosférica e abaixo da atmosférica. Em outra

modalidade, pelo menos um conversor direto de plasma em eletricidade pode compreender pelo menos um do grupo de conversor de energia plasmadinâmico, conversor direto $\vec{E} \times \vec{B}$, conversor de energia magneto-hidrodinâmico, conversor de energia magneto-hidrodinâmico de espelho magnético, conversor de desvio de carga, conversor de energia cego veneziano, girotron, conversor de energia de micro-ondas por agrupamento de fótons e conversor fotoelétrico. Em uma modalidade adicional, pelo menos um conversor de energia térmica em eletricidade pode compreender pelo menos um do grupo de um motor térmico, um motor a vapor, um gerador e turbina a vapor, um gerador e turbina a gás, um motor de ciclo Rankine, um motor de ciclo Brayton, um motor Stirling, um conversor de energia termiônico, e um conversor de energia termoelétrico. Exemplos de sistemas térmicos para elétricos que podem compreender sistemas de refrigeração fechados ou sistemas abertos que rejeitam calor para a atmosfera ambiente são CO_2 supercrítico, Rankine orgânico ou sistemas de turbinas a gás de combustão externa.

[0138] Além dos sistemas fotovoltaico UV e fotovoltaico térmico da publicação atual, o SunCell® pode compreender outros meios de conversão elétrica conhecidos na técnica, como sistemas de conversão termiônica, magneto-hidrodinâmica, turbina, microturbina, turbina de ciclo Rankine ou Brayton, química e eletroquímica. A turbina de ciclo Rankine pode compreender CO_2 supercrítico, um orgânico como hidrofluorcarboneto ou fluorcarboneto ou fluido como vapor. Em uma turbina de ciclo Rankine ou Brayton, o SunCell® pode fornecer energia térmica a pelo menos um dentre os estágios de pré-aquecedor, recuperador, caldeira e trocador de calor de combustão externa de um sistema de turbina. Em uma modalidade, a turbina de ciclo Brayton compreende um aquecedor de turbina SunCell® integrado à seção de combustão da turbina. O aquecedor de turbina SunCell® pode compreender dutos que recebem fluxo de ar de pelo menos um dentre o compressor e o recuperador, em que o ar é aquecido e os dutos direcionam o fluxo comprimido aquecido para a entrada da turbina para

realizar um trabalho de pressão-volume. O aquecedor de turbina SunCell® pode substituir ou suplementar a câmara de combustão da turbina a gás. O ciclo Rankine ou Brayton pode ser fechado em que o conversor de energia compreende ainda pelo menos um dentre um condensador e um resfriador.

[0139] O conversor pode ser um dado nas publicações anteriores de Mills e nos pedidos anteriores de Mills. Os reagentes de hidrino, como fontes de H e fontes de HOH e sistemas SunCell®, podem compreender os da presente publicação ou os de pedidos de patente americanos anteriores, como o Reator de catalisador de hidrogênio, PCT/US08/61455, protocolado PCT 24/4/2008; Reator de catalisador de hidrogênio heterogêneo, PCT/US09/052072, protocolado PCT 29/7/2009; Sistema de energia de catalisador de hidrogênio heterogêneo, PCT/US10/27828, protocolado PCT 18/3/2010, Sistema de energia de catalisador de hidrogênio eletroquímico, PCT/US11/28889, protocolado PCT 17/3/2011, Sistema de energia de hidrogênio catalisador eletroquímico à base de H_2O, PCT/US12/31369 protocolado 30/3/2012; Sistema de energia CIHT, PCT/US13/041938, protocolado 21/5/13, Sistemas de geração de energia e métodos concernentes, PCT/IB2014/058177 protocolado PCT 10/1/2014; Sistemas de geração de energia fotovoltaica e métodos concernentes, PCT/US14/32584 protocolado PCT 1/4/2014; Sistemas de geração de energia elétrica e métodos concernentes, PCT/US2015/033165 protocolado PCT 29/5/2015; Sistema de geração elétrica ultravioleta e métodos concernentes PCT/US2015/065826 protocolado PCT 15/12/2015; Gerador de energia elétrica termofotovoltaica, PCT/US16/12620 protocolado 8/1/2016; Rede de geradores de energia elétrica termofotovoltaica, PCT/US2017/035025 protocolado PCT 7/12/2017; Gerador de energia elétrica termofotovoltaica, PCT/US2017/013972 protocolado PCT 18/1/2017; Célula fotovoltaica ultravioleta extrema e profunda, PCT/US2018/012635 protocolado PCT 5/1/2018; Gerador de energia elétrica magneto-hidrodinâmico, PCT/US18/17765 protocolado 2/12/2018; Gerador de energia elétrica magneto-hidrodinâmico,

PCT/US2018/034842 protocolado PCT 29/5/2018; e Gerador de energia elétrica magneto-hidrodinâmico, PCT/IB2018/059646, protocolado PCT 05/12/2018 (“Pedidos anteriores de Mills”), aqui incorporados por referência em sua totalidade.

[0140] Em uma modalidade, H_2O sofre ignição para formar hidrinos com uma alta liberação de energia na forma de pelo menos um dentre energia térmica, plasma e eletromagnética (luz). (“Ignição”, na presente publicação, denota uma taxa de reação muito alta de H para hidrinos que pode se manifestar como explosão, pulso ou outra forma de liberação de alta energia.) H_2O pode compreender o combustível que pode sofrer ignição com a aplicação de uma corrente alta, como uma na faixa de 10 A a 100.000 A. Isso pode ser obtido pela aplicação de uma alta tensão, como de cerca de 5.000 V a 100.000 V para formar um plasma altamente condutor, como um arco. Alternativamente, uma alta corrente pode passar por uma matriz condutora como um metal fundido como prata, compreendendo ainda os reagentes de hidrino como H e HOH, ou um composto ou mistura compreendendo H_2O, em que a condutividade do combustível resultante como um combustível sólido é alta. (Na presente publicação, um combustível sólido é usado para denotar uma mistura de reação que forma um catalisador como HOH e H que reage para formar hidrinos. A tensão do plasma pode ser baixa, como na faixa de cerca de 1 V a 100 V. No entanto, a mistura de reação pode compreender outros estados físicos que não sólido. Em modalidades, a mistura de reação pode ser de pelo menos um estado dentre gasoso, líquido, matriz fundida como matriz condutora fundida como um metal fundido como pelo menos um dentre prata fundida, liga de prata-cobre e cobre, sólido, pasta fluida, gel sol., solução, mistura, suspensão gasosa, fluxo pneumático e outros estados conhecidos dos especialistas da área. Em uma modalidade, o combustível sólido com uma resistência muito baixa compreende uma mistura de reação compreendendo H_2O. A baixa resistência pode se dever a um componente condutor da mistura de reação. Em modalidades, a resistência do combustível sólido é pelo menos uma dentre na faixa de cerca de 10^-

^{9} ohm a 100 ohms, 10^{-8} ohm a 10 ohms, 10^{-3} ohm a 1 ohm, 10^{-4} ohm a 10^{-1} ohm e 10^{-4} ohm a 10^{-2} ohm. Em outra modalidade, o combustível com alta resistência compreende H_2O compreendendo um traço ou baixo percentual molar de um composto ou material adicionado. No último caso, a alta corrente pode fluir pelo combustível para atingir ignição por quebra para formar um estado altamente condutor como um arco ou plasma de arco.

[0141] Em uma modalidade, os reagentes podem compreender uma fonte de H2O e uma matriz condutora para formar pelo menos um dentre a fonte de catalisador, o catalisador, a fonte de hidrogênio atômico e o hidrogênio atômico. Em uma modalidade adicional, os reagentes compreendendo uma fonte de H_2O podem compreender pelo menos um dentre H2O bruto, um estado que não H_2O bruto, um composto ou compostos que passam pelo menos um dentre reagir para formar H_2O e liberar H_2O ligado. Além disso, o H_2O ligado pode compreender um composto que interage com H_2O, em que o H_2O está em um estado de pelo menos um dentre H_2O absorvido, H_2O ligado, H_2O fisicamente absorvido e águas de hidratação. Nas modalidades, os reagentes podem compreender um condutor e um ou mais compostos ou materiais que sofrem pelo menos um dentre liberação de H_2O bruto, H_2O absorvido, H_2O ligado, H_2O fisicamente absorvido e águas de hidratação, e têm H2O como produto de reação. Em outras modalidades, pelo menos uma dentre a fonte de catalisador de H_2O nascente e a fonte de hidrogênio atômico pode compreender pelo menos um dentre: (a) pelo menos uma fonte de H_2O; (b) pelo menos uma fonte de oxigênio e (c) pelo menos uma fonte de hidrogênio.

[0142] Em uma modalidade, a taxa de reação de hidrino é dependente da aplicação ou desenvolvimento de uma corrente alta. Em uma modalidade de um SunCell®, os reagentes para formar hidrinos estão sujeitos a um pulso de baixa tensão, alta corrente e alta potência que causa uma taxa de reação e liberação de energia muito rápidas. Em um exemplo de modalidade, uma tensão de 60 Hz é menor que

15 V de pico, a corrente varia de 100 A/cm2 e 50.000 A/cm^2 de pico e a potência varia de 1000 W/cm^2 e 750.000 W/cm^2. Outras frequências, tensões, correntes e potências em faixas de cerca de 1/100 vezes a 100 vezes esses parâmetros são adequadas. Em uma modalidade, a taxa de reação de hidrino é dependente da aplicação ou desenvolvimento de uma corrente alta. Em uma modalidade, a tensão é selecionada para causar uma corrente alta CA, CC ou uma mistura de CA-CC que esteja na faixa de pelo menos um dentre 100 A a 1.000.000 A, 1 kA a 100.000 A, 10 kA a 50 kA. A densidade de corrente CC ou CA de pico pode estar na faixa de pelo menos um dentre 100 A/cm^2 a 1.000.000 A/cm^2, 1.000 A/cm^2 a 100.000 A/cm^2 e 2000 A/cm^2 a 50.000 A/cm^2. A tensão CC ou pico de CA pode estar em pelo menos uma faixa escolhida dentre cerca de 0,1 V a 1.000 V, 0,1 V a 100 V, 0,1 V a 15 V e 1 V a 15 V. A frequência de CA pode estar na faixa de cerca de 0,1 Hz a 10 GHz, 1 Hz a 1 MHz, 10 Hz a 100 kHz e 100 Hz a 10 kHz. O tempo de pulso pode estar em pelo menos um intervalo escolhido dentre cerca de 10-6 s a 10 s, 10-5 s a 1 s, 10-4 s a 0,1 s e 10-3 s a 0,01 s.

[0143] Em uma modalidade, a transferência de energia do hidrogênio atômico catalisado para um estado hidrino resulta na ionização do catalisador. Os elétrons ionizados do catalisador podem se acumular na mistura de reação e no vaso, e resultar no acúmulo de carga espacial. A carga espacial pode alterar os níveis de energia para transferência de energia subsequente do hidrogênio atômico para o catalisador, com uma redução na taxa de reação. Em uma modalidade, a aplicação da alta corrente remove a carga espacial para causar um aumento na taxa de reação de hidrino. Em outra modalidade, a alta corrente, como uma corrente de arco, faz com que o reagente, como a água, que pode servir como fonte de catalisador HOH e H, seja extremamente elevado em temperatura. A alta temperatura pode dar origem à termólise da água para pelo menos um dentre catalisador HOH e H. Em uma modalidade, a mistura de reação do SunCell® compreende uma fonte de H e uma fonte de

catalisador, como pelo menos um dentre nH (n é um número inteiro) e HOH. Pelo menos um dentre nH e HOH pode ser formado pela termólise ou decomposição térmica de pelo menos uma fase física da água, como pelo menos uma dentre água sólida, líquida e gasosa. A termólise pode ocorrer em alta temperatura, como uma temperatura em pelo menos uma faixa dentre cerca de 500 K a 10.000 K, 1.000 K a 7.000 K e 1.000 K a 5.000 K. Em uma modalidade exemplar, a temperatura de reação é de cerca de 3500 a 4000 K, de modo que a fração molar de H atômico seja alta, como demonstrado por J. Lede, F. Lapicque e J. Villermaux [J. Lédé, F. Lapicque, J. Villermaux, “Production of hydrogen by direct termal decomposition of water”, International Journal of Hydrogen Energy, 1983, V8, 1983, pp. 675–679; H. H. G. Jellinek, H. Kachi, “The catalytic termal decomposition of water and the production of hydrogen”, International Journal of Hydrogen Energy, 1984, V9, pp. 677–688; S. Z. Baykara, “Hydrogen production by direct solar termal decomposition of water, possibilities for improvement of process efficiency” International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1451–1458; S. Z. Baykara, “Experimental solar water thermolysis”, International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1459–1469, que são incorporados aqui por referência]. A termólise pode ser assistida por uma superfície sólida, como um dos componentes da células. A superfície sólida pode ser aquecida a uma temperatura elevada pela potência de entrada e pelo plasma mantido pela reação de hidrino. Os gases de termólise, como aqueles após a região de ignição, podem ser resfriados para impedir a recombinação ou a reação reversa dos produtos na água inicial. A mistura de reação pode compreender um agente de resfriamento, como pelo menos uma dentre uma fase sólida, líquida ou gasosa que está a uma temperatura mais baixa que a temperatura dos gases do produto. O resfriamento dos gases do produto da reação de termólise pode ser alcançado pelo contato dos produtos com o agente de resfriamento. O agente de resfriamento pode compreender pelo menos um dentre vapor em temperatura mais baixa, água e gelo.

[0144] Em uma modalidade, o combustível ou reagentes podem compreender pelo menos uma dentre uma fonte de H, H_2, uma fonte de catalisador, uma fonte de H_2O e H_2O. Os reagentes adequados podem compreender uma matriz de metal condutor e um hidrato, como pelo menos um dentre um hidrato alcalino, um hidrato alcalino-terroso e um hidrato de metal de transição. O hidrato pode compreender pelo menos um dentre $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $BaI_2 \cdot 2H_2O$ e $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$. Alternativamente, os reagentes podem compreender pelo menos um dentre prata, cobre, hidrogênio, oxigênio e água.

[0145] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação 5b31 pode ser operada sob baixa pressão para atingir alta temperatura de gás. Em seguida, a pressão pode ser aumentada por uma fonte de gás de mistura de reação e o controlador para aumentar a taxa de reação, em que a alta temperatura mantém HOH nascente e H atômico por termólise de pelo menos uma das ligações de dímero de água H e ligações covalentes de H_2. Um exemplo de temperatura de gás limite para atingir a termólise é cerca de 3.300 °C. Um plasma com uma temperatura superior a cerca de 3.300 °C pode quebrar ligações de dímero de H_2O para formar o HOH nascente para servir como hidrino catalisador. Pelo menos um dentre pressão de vapor de H_2O da câmara da célula de reação, pressão de H_2 e pressão de O_2 pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,01 Torr a 100 atm, 0,1 Torr a 10 atm e 0,5 Torr a 1 atm. A taxa de bombeamento EM pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,01 ml/s a 10.000 ml/s, 0,1 ml/s a 1.000 ml/s e 0,1 ml/s a 100 ml/s. Na modalidade, pelo menos uma dentre uma energia alta de ignição e uma baixa pressão pode ser mantida inicialmente para aquecer o plasma e a célula para que atinja a termólise. A energia inicial pode compreender pelo menos um dentre pulsos de alta frequência, pulsos com um ciclo de trabalho alto, tensão mais alta e corrente mais alta, e corrente contínua. Em uma modalidade, pelo menos um dentre a energia de ignição pode ser reduzida, e a pressão pode ser aumentada após o aquecimento do plasma e da célula para atingir

a termólise. Em outra modalidade, o SunCell® pode compreender uma fonte de plasma adicional, como uma tocha de plasma, descarga luminescente, micro-ondas ou fonte de plasma de RF para aquecimento do plasma de reação de hidrino e da célula para atingir a termólise.

[0146] Em uma modalidade, o sistema de ignição compreende um comutador para pelo menos um dentre iniciar a corrente e interromper a corrente depois que a ignição for obtida. O fluxo da corrente pode ser iniciado pelo contato dos fluxos de metal fundido. A comutação pode ser realizada eletronicamente por meios como pelo menos um dentre um transistor bipolar de porta isolada (IGBT), um retificador controlado por silício (SCR), e pelo menos um transistor de efeito de campo metal-óxido-semicondutor (MOSFET). Alternativamente, a ignição pode ser comutada mecanicamente. A corrente pode ser interrompida após a ignição, a fim de otimizar a energia de saída gerada por hidrino em relação à energia de ignição de entrada. O sistema de ignição pode compreender um comutador para permitir que quantidades controláveis de energia fluam para o combustível, ocasionando a detonação e desligando a energia durante a fase em que o plasma é gerado. Em uma modalidade, a fonte de energia elétrica que fornece breves descargas de energia elétrica de corrente alta compreende pelo menos uma dentre:

uma tensão selecionada para causar alta CA, CC ou uma mistura de corrente CA-CC que esteja na faixa de pelo menos um de 100 A a 1.000.000 A, 1 kA a 100.000 A, 10 kA a 50 kA;

uma densidade de corrente CC ou CA de pico na faixa de pelo menos um dentre 1 A/cm2 a 1.000.000 A/cm^2, 1.000 A/cm^2 a 100.000 A/cm^2 e 2.000 A/cm^2 a 50.000 A/cm^2;

em que a tensão é determinada pela condutividade do combustível sólido em que a tensão é dada pela corrente desejada multiplicada pela resistência da amostra do combustível sólido;

a tensão CC ou CA de pico está na faixa de pelo menos um dentre 0,1 V a 500 kV, 0,1 V a 100 kV e 1 V a 50 kV, e

a frequência de CA está na faixa de pelo menos um dentre 0,1 Hz a 10 GHz, 1 Hz a 1 MHz, 10 Hz a 100 kHz e 100 Hz a 10 kHz.

[0147] O sistema compreende ainda uma fonte de alimentação/energia de partida, tal como uma bateria de íon-lítio. Alternativamente, pode ser fornecida energia externa para partida, como energia da rede, por meio de uma conexão de uma fonte de energia externa ao gerador. A conexão pode compreender um barramento de saída de energia. A fonte de alimentação da energia de partida pode ser pelo menos um dentre o fornecimento de energia ao aquecedor para manter a matriz condutiva do metal fundido, a alimentação do sistema de injeção, e a alimentação do sistema de ignição.

[0148] O SunCell® pode compreender um eletrolisador de água de alta pressão, como um compreendendo um eletrolisador de membrana de troca de prótons (PEM), tendo a água sob alta pressão para fornecer hidrogênio de alta pressão. Cada uma das câmaras de H_2 e O_2 pode compreender um recombinador para eliminar contaminantes H_2 e O_2, respectivamente. O PEM pode servir como pelo menos um dentre o separador e ponte salina dos compartimentos do ânodo e do cátodo, de modo a permitir que o hidrogênio seja produzido no cátodo, e o oxigênio no ânodo como gases separados. O cátodo pode compreender um catalisador de evolução do hidrogênio com dicalcogeneto, incluindo pelo menos um dentre nióbio e tântalo e podendo ainda compreender enxofre. O cátodo pode compreender um conhecido na técnica, como Pt ou Ni. O hidrogênio pode ser produzido a alta pressão e pode ser fornecido à câmara da célula de reação 5b31 diretamente ou por permeação, através de uma membrana permeável de hidrogênio. O SunCell® pode compreender uma linha de gás oxigênio a partir do compartimento do ânodo até o ponto de entrega do gás oxigênio para um vaso de armazenamento ou um respiradouro. Em uma modalidade, o SunCell®

compreende sensores, um processador e um controlador de corrente de eletrólise.

[0149] Em outra modalidade, o hidrogênio combustível pode ser obtido a partir da eletrólise da água, reformando gás natural, pelo menos uma dentre reação de gás de síntese e a reação de deslocamento água-gás por reação de vapor com carbono para formar H_2 e CO e CO_2, e outros métodos de produção de hidrogênio conhecidos por aqueles peritos na técnica.

[0150] Em outra modalidade, o hidrogênio pode ser produzido por termólise usando água fornecida e o calor gerado pelo SunCell®. O ciclo de termólise pode compreender um da publicação ou um conhecido na técnica, como o que se baseia em um metal e seu óxido, tal como pelo menos um dentre SnO/Sn e ZnO/Zn. Em uma modalidade em que o aquecedor acoplado indutivamente, a bomba EM e os sistemas de ignição consomem energia apenas durante a inicialização, o hidrogênio pode ser produzido por termólise de modo que o requisito de energia elétrica parasita seja muito baixo. O SunCell® pode incluir baterias, como baterias de íon-lítio, para fornecer energia para executar sistemas, como sensores de gás, e sistemas de controle, como aqueles para os gases de plasma da reação.

Conversor Magneto-hidrodinâmico (MHD)

[0151] A separação de cargas baseada na formação de um fluxo de massa de íons, ou um meio eletricamente condutor, em um campo magnético cruzado é bem conhecida na técnica como conversão de energia magneto-hidrodinâmica (MHD). Os íons positivos e negativos são submetidos a direção Lorentziana em direções opostas, e são recebidos no eletrodo MHD correspondente para afetar a tensão entre eles. O método MHD típico para formar um fluxo de massa de íons é expandir um gás de alta pressão semeado com íons através de um bocal, para criar um fluxo de alta velocidade através do campo magnético cruzado com um conjunto de eletrodos MHD cruzados em relação ao campo desviador, para receber os íons desviados. Em uma modalidade, a pressão é tipicamente maior que a atmosférica, e o fluxo de massa direcional

pode ser alcançado por reação de hidrino para formar plasma e vapor de metal fundido em alta pressão e temperatura, altamente condutor, que é expandido para criar um fluxo de alta velocidade através uma seção do campo magnético cruzado do conversor MHD. O fluxo pode ser através de um conversor MHD pode ser axial ou radial. Um fluxo direcional adicional pode ser obtido com ímãs confinantes, como os das bobinas de Helmholtz ou um recipiente magnético.

[0152] Especificamente, o sistema de energia elétrica MHD mostrado nas FIGURAS 1–22 pode compreender uma fonte de plasma da reação de hidrino da publicação, tal como uma compreendendo uma bomba EM 5ka, ao menos um reservatório 5c, ao menos dois eletrodos, como aqueles que compreendem injetores duplos de metal fundido 5k61, uma fonte de reagentes hidrino, tal como a fonte de catalisador HOH e H, um sistema de ignição compreendendo uma fonte de energia elétrica 2 para aplicar tensão e corrente aos eletrodos, a fim de formar um plasma a partir dos hidrino reagentes, e um conversor de energia elétrica MHD. Em uma modalidade, o sistema de ignição pode compreender uma fonte de tensão e corrente, como uma fonte de alimentação CC, e um banco de capacitores para fornecer ignição pulsada com capacidade para pulsos de alta corrente. Em uma modalidade de injetor de metal fundido duplo, a corrente flui através dos fluxos de metal fundido injetados para inflamar o plasma quando os fluxos se conectam. Os componentes do sistema de energia MHD, compreendendo uma fonte de plasma de reação de hidrino e um conversor MHD, podem compreender pelo menos um dentre os materiais resistentes a oxidação, como metais resistentes a oxidação, metais compreendendo revestimentos resistentes a oxidação e cerâmicas, de modo que o sistema possa ser operado no ar.

[0153] O conversor de energia magneto-hidrodinâmico mostrado nas FIGURAS 1–22 pode compreender uma fonte de fluxo magnético transversal ao eixo z, a direção do fluxo de vapor de metal fundido axial e plasma através do conversor MHD 300. O fluxo condutor pode ter uma velocidade preferencial ao longo do eixo z,

devido à expansão do gás ao longo do eixo z. Um fluxo direcional adicional pode ser obtido com ímãs confinantes, como os das bobinas de Helmholtz ou um recipiente magnético. Assim, os elétrons e íons do metal se propagam para a região do fluxo magnético transversal. A força Lorentziana nos elétrons e íons em propagação é dada por

$$\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

(38)

[0154] A força é transversal à velocidade da carga e ao campo magnético e em direções opostas para íons positivos e negativos. Assim, forma-se uma corrente transversal. A fonte de campo magnético transversal pode compreender componentes que fornecem campos magnéticos transversais de diferentes intensidades, como uma função da posição ao longo do eixo z, a fim de otimizar a deflexão cruzada (Eq. (38)) das cargas fluindo com dispersão de velocidade paralela.

[0155] O metal fundido do reservatório 5c pode estar em pelo menos um estado dentre líquido e gasoso. O metal fundido do reservatório 5c pode ser definido como meio de trabalho do MHD, e pode ser referido como tal ou referido como o metal fundido, em que está implícito que o metal fundido pode ainda estar em pelo menos um estado dentre líquido e gasoso. Um estado específico, tal como metal fundido, metal líquido, metal em forma de vapor ou metal gasoso, também pode ser usado, em que outro estado físico também pode estar presente. Um exemplo de metal fundido é a prata, que pode estar em pelo menos um dentre os estados líquido e gasoso. O meio de trabalho do MHD pode ainda compreender um aditivo compreendendo pelo menos um dentre um metal adicionado, que pode estar em pelo menos um estado, dentre líquido e gasoso, na faixa de temperatura operacional, um composto como o da publicação, que pode estar em pelo menos um estado, dentre líquido e gasoso na faixa de temperatura operacional, e um gás como um pelo menos um dentre um gás nobre, como hélio ou argônio, água, H_2, e outro gás de plasma da publicação. O aditivo

do meio de trabalho MHD pode estar em qualquer razão desejada com o meio de trabalho do MHD. Em uma modalidade, as razões do meio e do meio aditivo são selecionadas para fornecer o desempenho opcional de conversão elétrica do conversor MHD. O meio de trabalho, como prata ou liga de prata-cobre, pode ser operado em condições supersaturadas.

[0156] Em uma modalidade, o gerador elétrico MHD 300 pode compreender pelo menos um dentre tipo Faraday, canal Hall e disco Hall. Em uma modalidade de MHD de canal Hall, o canal de expansão ou gerador 308 pode ser orientado verticalmente ao longo do eixo z, em que o plasma de metal fundido como vapor de prata e plasma fluem através de uma seção do acelerador como uma garganta de bocal ou restrição 307, seguida de uma seção de expansão 308. O canal pode compreender ímãs solenoidais 306, como ímãs supercondutores ou permanentes, como um arranjo de Halbach transversal à direção do fluxo ao longo do eixo x. O campo magnético ideal em geradores MHD em forma de duto pode compreender um formato de tipo sela. Os ímãs podem ser fixados pelo suporte de montagem de ímã MHD 306a. O ímã pode compreender um líquido criogênico ou compreender um refrigerador criogênico com ou sem líquido criogênico. O refrigerador criogênico pode compreender um refrigerador de diluição a seco. Os ímãs podem compreender um trajeto de retorno para o campo magnético tipo canga, tal como uma canga traseira em forma de C ou retangular. Um exemplo de material do ímã permanente é SmCo, e um exemplo de material de canga é aço laminado a frio (CRS) ou ferro. O gerador pode compreender pelo menos um conjunto de eletrodos, como eletrodos segmentados 304 ao longo do eixo y, transversais ao campo magnético ($\mathbf{B}$) para receber os íons Lorentzianos desviados transversalmente que criam uma tensão através dos eletrodos MHD 304. Em outra modalidade, pelo menos um canal como o canal gerador 308 pode ter geometria diferente daquela dos canais com paredes planas, como um canal com paredes cilíndricas. A geração magneto-hidrodinâmica é descrita por Walsh [E. M. Walsh, Energy

Conversion Electromechanical, Direct, Nuclear, Ronald Press Company, NY, NY, (1967), pp. 221-248], cuja publicação completa é aqui incorporada por referência. A força de Lorentz pode ser aumentada até o desejado, aumentando-se a intensidade do campo magnético. O fluxo magnético dos ímãs MHD 306 pode ser aumentado. Em uma modalidade, o fluxo magnético pode estar em pelo menos uma faixa dentre cerca de 0,01 T a 15 T, 0,05 T a 10 T, 0,1 T a 5 T, 0,1 T a 2 T e 0,1 T a 1 T.

[0157] Em uma modalidade, o gerador de disco compreende uma entrada de plasma para manter o plasma fluindo da câmara da célula de reação para o centro do centro de um disco, um duto enrolado em torno da borda para coletar o metal fundido, e possivelmente gases que são recirculados para a câmara da célula de reação por um recirculador, e o recirculador. O campo de excitação magnética pode compreender um par de bobinas circulares de Helmholtz acima e abaixo do disco. O ímã pode fornecer linhas de campo paralelas simples que podem estar relativamente mais próximas do plasma em comparação com outros projetos, e as intensidades do campo magnético aumentam conforme a 3ª potência de distância. As correntes de Faraday podem fluir cerca de um curto-circuito ao redor da periferia do disco. O gerador de disco MHD pode compreender ainda eletrodos de anel, em que as correntes de efeito Hall podem fluir entre os eletrodos de anel perto do centro, e os eletrodos de anel perto da periferia.

[0158] Para evitar curto-circuito elétrico do eletrodo MHD pelo vapor de metal fundido, os eletrodos 304 (FIGURA 1) podem compreender condutores, cada um montado em um poste condutor 305 coberto com isolante elétrico, que serve como um afastamento para o chumbo 305a, e pode ainda servir como um espaçador do eletrodo da parede do canal do gerador 308. Os eletrodos 304 podem ser segmentados, e podem compreender um cátodo 302 e um ânodo 303. Exceto para os afastamentos 305, os eletrodos podem ser livremente suspensos no canal do gerador 308. O espaçamento do eletrodo ao longo do eixo vertical pode ser suficiente para evitar curto-

circuito no metal fundido. Os eletrodos podem compreender um condutor refratário, como W ou Mo. Os condutores 305a podem ser conectados a fios que podem ser isolados com um isolante refratário, como BN. Os fios podem se unir em um chicote que penetra no canal em um flange de passagem de barramento do MHD 301 que pode compreender um metal. Fora do conversor MHD, o chicote elétrico pode se conectar a um consolidador e inversor de energia. Em uma modalidade, os eletrodos MHD 304 compreendem eletrodos líquidos, como eletrodos de prata líquidos. Numa modalidade, o sistema de ignição pode compreender eletrodos líquidos. O sistema de ignição pode ser CC ou CA. O reator pode compreender uma cerâmica como quartzo, alumina, zircônio, háfnio ou Pyrex. Os eletrodos líquidos podem compreender uma frita cerâmica, que pode ainda compreender micro-orifícios que são carregados com o metal fundido, como a prata.

[0159] Em uma modalidade, a mistura de reação de hidrino pode compreender pelo menos um dentre oxigênio, vapor de água e hidrogênio. Os componentes MHD podem compreender materiais como cerâmicas, como óxidos de metal, pelo menos um dentre zircônio e háfnio, ou sílica ou quartzo que são estáveis sob uma atmosfera oxidante. As vedações entre os componentes cerâmicos podem compreender grafite ou uma trama de cerâmica. Em uma modalidade, pelo menos um componente do sistema de energia pode compreender cerâmica, em que a cerâmica pode compreender pelo menos um dentre óxido de metal, alumina, zircônio, magnésio, háfnio, carbeto de silício, carbeto de zircônio, diboreto de zircônio, nitreto de silício e uma vitrocerâmica, como sistema $Li_2O \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema LAS), sistema $MgO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema MAS), sistema $ZnO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema ZAS). As peças cerâmicas do SunCell® podem ser unidas pelos meios da publicação, como cola cerâmica de duas ou mais peças cerâmicas, brasagem de peças cerâmicas com peças metálicas, vedações de porcas deslizantes, vedações de gaxeta e vedações úmidas. A vedação de gaxeta pode compreender dois flanges vedados com uma gaxeta. Os

flanges podem ser desenhados juntamente com elementos de fixação, como parafusos. Em uma modalidade, os eletrodos MHD 304 podem compreender um material que pode ser menos suscetível a corrosão ou degradação durante a operação. Em uma modalidade, os eletrodos MHD 304 podem compreender uma cerâmica condutora, como um óxido sólido condutor. Em outra modalidade, os eletrodos MHD 304 podem compreender eletrodos líquidos. Os eletrodos líquidos podem compreender um metal que é líquido na temperatura operacional do eletrodo. O metal líquido pode compreender o metal do meio de trabalho, tal como prata fundida. O metal do eletrodo fundido pode compreender uma matriz impregnada com o metal fundido. A matriz pode compreender um material refratário, como um metal, como W, carbono, uma cerâmica que pode ser condutora, ou outro material refratário da publicação. O eletrodo negativo pode compreender um metal refratário sólido. A polaridade negativa pode proteger o eletrodo negativo da oxidação. O eletrodo positivo pode compreender um eletrodo líquido.

[0160] Em uma modalidade, os eletrodos de cerâmica condutora podem compreender um da publicação, como um carbeto, como ZrC, HfC ou WC ou um boreto, tal como ZrB_2 ou compostos como ZrC-ZrB_2, ZrC-ZrB_2-SiC, e composto de ZrB_2 com 20% SiC que pode trabalhar a até 1800 °C. Os eletrodos podem compreender carbono. Em uma modalidade, uma pluralidade de eletrodos líquidos pode receber fornecimento de metal líquido através de um coletor comum. O metal líquido pode ser bombeado por uma bomba EM. Os eletrodos líquidos podem compreender metal fundido impregnado em uma matriz não reativa, tal como uma matriz de cerâmica, tal como uma matriz de óxido de metal. Alternativamente, o metal líquido pode ser bombeado através da matriz para o fornecimento contínuo de metal fundido. Em uma modalidade, os eletrodos podem compreender metal fundido continuamente injetado, como os eletrodos de ignição. Os injetores podem compreender um material refratário não reativo, como um óxido de metal, tal como ZrO_2. Em uma modalidade, cada um

dos eletrodos líquidos pode compreender um fluxo de metal fundido que é exposto ao plasma do canal MHD.

[0161] Os ímãs MHD 306 podem compreender pelo menos um dentre ímãs permanentes e eletroímãs. O(s) eletroímã(s) 306 pode(m) ser pelo menos um dentre ímãs não resfriados, resfriados a água e supercondutores, com um gerenciamento criogênico correspondente. Exemplos de ímãs são bobinas solenoides, ou bobinas sela, que podem magnetizar o canal MHD 308, e bobinas tipo racetrack que podem magnetizar um canal de disco. O ímã supercondutor pode compreender pelo menos um dentre um refrigerador criogênico e um sistema criogênico dewar. O sistema de ímã supercondutor 306 pode compreender (i) bobinas supercondutoras que podem compreender espiras de fio supercondutor de NbTi ou NbSn, em que o supercondutor pode ser revestido com um condutor normal, como fio de cobre, para proteger contra arrefecimentos locais transitórios do estado do supercondutor induzidos por meios como vibrações, ou um supercondutor de alta temperatura (HTS), tal como $YBa_2Cu_3O_7$, comumente referido como YBCO-123, ou simplesmente YBCO; (ii) um dewar de hélio líquido que fornece hélio líquido em ambos os lados das bobinas; (iii) dewars de nitrogênio líquido com nitrogênio líquido nos raios interno e externo do ímã solenoidal, em que os dewars de hélio líquido e de nitrogênio líquido podem compreender defletores de radiação e escudos de radiação, que podem compreender pelo menos um dentre cobre, aço inoxidável e alumínio, e um isolamento de alto vácuo nas paredes; e (iv) uma entrada para cada ímã onde possam ser anexados uma bomba criostática e um compressor que possam ser alimentados pela energia do gerador SunCell® através de seus terminais de energia de saída.

[0162] Em uma modalidade, o conversor de energia magneto-hidrodinâmico é um gerador de Faraday segmentado. Em outra modalidade, a corrente transversal formada pela deflexão Lorentziana do fluxo de íons sofre outra deflexão Lorentziana na direção paralela ao fluxo de entrada dos íons (eixo z) para produzir uma tensão de

Hall entre pelo menos um primeiro eletrodo MHD, e um segundo Eletrodo MHD relativamente deslocado ao longo do eixo z. Esse dispositivo é conhecido na técnica como uma modalidade de gerador Hall de um conversor de energia magneto-hidrodinâmico. Um dispositivo similar, com eletrodos MHD angulados em relação ao eixo z no plano xy compreende outra modalidade da presente invenção e é chamado de gerador diagonal com uma construção de “estrutura de janela”. Em cada caso, a tensão pode conduzir uma corrente através de uma carga elétrica. Modalidades de um gerador de Faraday segmentado, gerador Hall e gerador diagonal são relatadas em Petrick [J. F. Louis, V. I. Kovbasyuk, Open-cycle Magnetohydrodynamic Electrical Power Generation, M Petrick, and B. Ya Shumyatsky, Editors, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, (1978), pp. 157-163], cuja publicação completa é incorporada por referência.

[0163] O SunCell® pode compreender pelo menos um conduíte de retorno de meio de trabalho do MHD 310, um reservatório de retorno 311 e a bomba 312 correspondente. A bomba 312 pode compreender uma bomba eletromagnética (EM). O SunCell® pode compreender conduítes duplos de metal fundido 310, reservatórios de retorno 311 e bombas EM 312 correspondentes. Um tubo riser de entrada correspondente 5qa, compreendendo uma entrada com uma abertura na altura do nível mais baixo de metal fundido no reservatório, pode controlar o nível de metal fundido em cada reservatório de retorno 311. As bombas EM de retorno 312 podem bombear o meio de trabalho do MHD da extremidade do canal do condensador MHD 309 para os reservatórios de retorno 311 e, em seguida, para os reservatórios injetores correspondentes 5c. Em uma modalidade, as paredes do canal MHD 308 podem ser mantidas a uma temperatura superior ao ponto de fusão da prata para evitar a solidificação do líquido. Em outra modalidade, o fluxo de retorno de metal fundido é através do conduíte de retorno 310 diretamente para as bombas EM de retorno correspondentes 312 e, em seguida, para os reservatórios injetores correspondentes 5c. Em uma

modalidade, o meio de trabalho do MHD, como a prata, é bombeado contra um gradiente de pressão, como cerca de 10 atm, para completar um circuito de fluxo de metal fundido que compreende injeção, ignição, expansão e fluxo de retorno. Para atingir a alta pressão, a bomba EM pode compreender uma série de estágios. O SunCell® pode compreender um sistema injetor de metal fundido duplo compreendendo um par de reservatórios 5c, cada um compreendendo um injetor de bomba EM 5ka e 5k61 e um tubo riser de entrada 5qa para controlar o nível de metal fundido no reservatório 5c correspondente. O fluxo de retorno pode entrar na base 5kk1 do conjunto de bomba EM correspondente 5kk.

[0164] O gerador MHD pode compreender uma seção de canal do condensador 309 que recebe o fluxo de expansão, e o gerador compreende ainda conduítes ou canais de fluxo de retorno 310 em que o meio de trabalho do MHD, como vapor de prata, resfria à medida que perde pelo menos uma dentre temperatura, pressão e energia na seção do condensador, e flui de volta aos reservatórios através dos conduítes ou canais 310. O gerador pode compreender pelo menos uma bomba de retorno 312 e um tubo da bomba de retorno 313 para bombear o fluxo de retorno para os reservatórios 5c e injetores de bomba EM 5ka. A bomba de retorno e o tubo da bomba podem bombear pelo menos um dentre vapor, líquido e gás. A bomba de retorno 312 e o tubo da bomba de retorno 313 podem compreender uma bomba eletromagnética (EM) e um tubo da bomba EM. A entrada para a bomba EM pode ter um diâmetro maior que o diâmetro do tubo da bomba de saída para aumentar a pressão de saída da bomba. Em uma modalidade, a bomba de retorno pode compreender o injetor da bomba EM - eletrodo injetor 5ka. Em uma modalidade de injetor de metal fundido duplo, o gerador compreende reservatórios de retorno 311, cada um com uma bomba de retorno correspondente, tal como uma bomba EM de retorno 312. O reservatório de retorno 311 pode compreender pelo menos um dentre equilíbrio do metal fundido de retorno, tal como o fluxo de prata fundida, e condensação ou separação do

vapor de prata misturado à prata líquida. O reservatório 311 pode compreender um trocador de calor para condensar o vapor de prata. O reservatório 311 pode compreender uma bomba eletromagnética de primeiro estágio para preferencialmente bombear prata líquida para separar a prata líquida da gasosa. Em uma modalidade, o metal líquido pode ser injetado seletivamente na bomba EM de retorno 312 através de força centrífuga. O conduíte de retorno, ou o reservatório de retorno, pode compreender uma seção de centrífuga. O reservatório da centrífuga pode ser afunilado desde a entrada até a saída, de modo que a força centrífuga seja maior no topo do que na parte inferior, a fim de forçar o metal fundido para o fundo e separá-lo do gás tal como o vapor de metal e qualquer gás do meio de trabalho. Como alternativa, o SunCell® pode ser montado em uma mesa de centrifugação que gira em torno do eixo perpendicular à direção do fluxo do metal fundido de retorno, produzindo força centrífuga para separar espécies líquidas e gasosas.

[0165] Em uma modalidade, o vapor de metal condensado flui para os dois reservatórios de retorno independentes 311, e cada bomba EM de retorno 312 bombeia o metal fundido para o reservatório 5c correspondente. Em uma modalidade, pelo menos um dentre os dois reservatórios de retorno 311 e os reservatórios da bomba EM 5c compreende um sistema de controle de nível como o descrito na publicação, como um riser de entrada 5qa. Em uma modalidade, o metal fundido de retorno pode ser sugado para um reservatório de retorno 311 devido a uma taxa mais alta ou mais baixa, dependendo do nível no reservatório de retorno, em que a taxa de sucção é controlada pelo sistema de controle de nível correspondente, como o riser de entrada.

[0166] Em uma modalidade, o conversor MHD 300 pode ainda compreender pelo menos um aquecedor, tal como um aquecedor acoplado indutivamente. O aquecedor pode pré-aquecer os componentes que estão em contato com o meio de trabalho do MHD, com pelo menos um dentre uma câmara da célula de reação 5b31, a seção do bocal do MHD 307, a seção do gerador MHD 308, a seção de condensação

do MHD 309, os conduítes de retorno 310, os reservatórios de retorno 311, as bombas EM de retorno 312 e o tubo da bomba EM de retorno 313. O aquecedor pode compreender pelo menos um atuador que engate e retraia o aquecedor. O aquecedor pode compreender pelo menos uma dentre uma pluralidade de bobinas e seções de bobina. As bobinas podem compreender uma conhecida na técnica. As seções de bobina podem compreender pelo menos uma bobina dividida, como uma da publicação. Em uma modalidade, o conversor MHD pode compreender pelo menos um sistema de resfriamento como o trocador de calor 316. O conversor MHD pode compreender resfriadores para pelo menos uma célula e componente do MHD, como pelo menos um do grupo de câmara 5b31, a seção do bocal do MHD 307, os ímãs MHD 306, os eletrodos MHD 304, a seção do gerador MHD 308, a seção de condensação do MHD 309, os conduítes de retorno 310, os reservatórios de retorno 311, as bombas EM de retorno 312 e o tubo da bomba EM de retorno 313. O resfriador pode remover calor perdido do canal de fluxo do MHD, tal como o calor perdido de pelo menos um dentre a câmara 5b31, a seção do bocal do MHD 307, a seção do gerador MHD 308, e a seção de condensação do MHD 309. O resfriador pode remover calor do sistema de retorno do meio de trabalho do MHD, tal como pelo menos um dentre os conduítes de retorno 310, os reservatórios de retorno 311, as bombas EM de retorno 312 e o tubo da bomba EM de retorno 313. O resfriador pode compreender um trocador de calor radiativo que pode rejeitar o calor para a atmosfera ambiente.

[0167] Em uma modalidade, o resfriador pode compreender um recirculador ou recuperador que transfere energia da seção de condensação 309 para pelo menos um dentre os reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31, o bocal 307 e o canal MHD 308. A energia transferida como calor pode compreender pelo menos uma dentre a energia térmica restante, energia de pressão e calor de vaporização do meio de trabalho, tal como um compreendendo pelo menos um dentre metal vaporizado, aerossol cinético e um gás como um gás nobre. Os tubos de calor são dispositivos

passivos de duas fases capazes de transferir grandes fluxos de calor como até 20 MW/m^2 a metros de distância com uma queda de temperatura de alguns décimos de grau, reduzindo assim drasticamente as tensões térmicas no material, usando apenas uma pequena quantidade de fluido de trabalho. Tubos de calor de sódio e lítio podem transferir grandes fluxos de calor e permanecer quase isotérmicos ao longo da direção axial. A tubulação de calor de lítio pode transferir até 200 MW/m^2. Em uma modalidade, uma tubulação de calor tal como metal fundido, como metal alcalino líquido, como sódio ou lítio envolto em um metal refratário como W, pode transferir o calor do condensador 309 e recirculá-lo para a câmara da célula de reação 5b31 ou o bocal 307. Em uma modalidade, pelo menos um tubo de calor recupera o calor de vaporização da prata e o recircula, de modo que a energia térmica recuperada seja parte da entrada de energia para o canal MHD 308.

[0168] Em uma modalidade, pelo menos um dos componentes do SunCell®, como um compreendendo o conversor MHD, pode compreender uma tubulação de calor para pelo menos uma dentre transferência de calor de uma parte do gerador de energia SunCell® para outra, e transferência de calor de um aquecedor, tal como o aquecedor acoplado indutivamente para um componente do SunCell®, tal como o tubo da bomba EM 5k6, os reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31 e o sistema de retorno de metal fundido do MDH, tal como o conduíte de retorno do MHD 310, o reservatório de retorno do MHD 311, a bomba EM de retorno do MHD 312 e o tubo EM de retorno do MHD. Alternativamente o SunCell®, ou pelo menos um componente, pode ser aquecido dentro de um forno como um conhecido na técnica. Em uma modalidade, pelo menos um componente SunCell® pode ser aquecido pelo menos durante a operação de inicialização.

[0169] O aquecedor SunCell® 415 pode ser um aquecedor resistivo ou um aquecedor acoplado indutivamente. Um aquecedor SunCell® exemplar 415 compreende um fio de aquecimento resistivo Kanthal A-1 (Kanthal), uma liga ferro-cromo-

alumínio (liga FeCrAl) capaz de operar a temperaturas de até 1400 °C e ter alta resistividade e boa resistência à oxidação. Ligas FeCrAl adicionais para elementos de aquecimento adequados são pelo menos uma dentre Kanthal APM, Kanthal AF, Kanthal D e Alkrothal. O elemento de aquecimento, como um elemento de fio resistivo, pode compreender uma liga de NiCr que pode operar na faixa de 1100 °C a 1200 °C, como pelo menos um dentre Nikrothal 80, Nikrothal 70, Nikrothal 60 e Nikrothal 40. Como alternativa, o aquecedor 415 pode compreender dissilicieto de molibdênio ($MoSi_2$) como pelo menos um dentre Kanthal Super 1700, Kanthal Super 1800, Kanthal Super 1900, Kanthal Super RA, Kanthal Super ER, Kanthal Super HT ou Kanthat Super NC capaz de operar na faixa de 1.500 °C a 1.800 °C em uma atmosfera oxidante. O elemento de aquecimento pode compreender dissilicieto de molibdênio ($MoSi_2$) em liga com alumina. O elemento de aquecimento pode ter um revestimento resistente à oxidação, como um revestimento de alumina. O elemento de aquecimento do aquecedor resistivo 415 pode compreender SiC, que pode ser capaz de operar a uma temperatura de até 1.625 °C.

[0170] O aquecedor SunCell® 415 pode compreender um aquecedor interno, que pode ser introduzido através de poços termométricos, ou indentações da parede do componente que são abertas para o exterior, mas fechadas para o interior do componente SunCell®. O aquecedor SunCell® 415 pode compreender um aquecedor resistivo interno onde a energia pode ser acoplada ao aquecedor interno por indução magnética através da parede do componente SunCell® aquecido, ou por eletrodos líquidos que penetram na parede do componente SunCell® aquecido.

[0171] O aquecedor SunCell® pode compreender isolamento para aumentar pelo menos uma dentre sua eficiência e eficácia. O isolamento pode compreender cerâmica, como a conhecida pelos especialistas na técnica, como um isolamento compreendendo silicato de alumina. O isolamento pode ser pelo menos um dentre removível ou reversível. O isolamento pode ser removido mecanicamente. O isolamento

pode compreender uma câmara capaz de vácuo e uma bomba, em que o isolamento é aplicado puxando-se um vácuo, e o isolamento é revertido adicionando-se um gás de transferência de calor, como um gás nobre, tal como o hélio. Uma câmara de vácuo com um gás de transferência de calor, como o hélio, que pode ser adicionado ou bombeado para fora, pode servir como isolamento ajustável. O SunCell® pode compreender um sistema de circulação de gás para produzir transferência de calor por convecção forçada, com sua ativação para alternar de um modo de isolamento térmico para um modo de isolamento não térmico.

[0172] Em outra modalidade, o SunCell® pode compreender um isolamento de partículas e pelo menos um reservatório de isolamento, tendo pelo menos uma câmara em torno do componente a ser isolado termicamente para abrigar o isolamento durante o aquecimento do SunCell®. Um exemplo de isolamento de partículas compreende pelo menos um dentre areia e esferas de cerâmica, como esferas de alumina ou silicato de alumina, tal como esferas de mulita. As esferas podem ser removidas após o aquecimento. As esferas podem ser removidas por fluxo de gravidade, em que o invólucro pode compreender uma calha de descarga para remoção das esferas. As esferas também podem ser removidas mecanicamente com um transportador de esferas, como uma rosca, esteira ou bomba pneumática. O isolamento de partículas pode ainda compreender um fluidificador, como um líquido como a água, para aumentar o fluxo ao encher o reservatório de isolamento. O líquido pode ser removido antes do aquecimento e adicionado durante o transporte de isolamento. Uma mistura líquido-isolamento pode compreender pasta fluida. O SunCell® pode compreender pelo menos um reservatório adicional para preencher ou esvaziar o isolamento do reservatório de isolamento. O reservatório do enchimento pode compreender um meio para manter a pasta fluida, como um agitador.

[0173] Em uma modalidade, o SunCell® pode ainda compreender um reservatório de isolamento líquido circunferencial aos componentes a serem isolados,

isolamento líquido e uma bomba em que o isolamento reversível pode compreender o líquido que pode ser drenado ou bombeado para fora após a inicialização. O reservatório de isolamento líquido pode compreender paredes finas de quartzo. Um exemplo de isolamento líquido é o gálio, com um coeficiente de transferência de calor de 29 W/m K, e outro é o mercúrio, com um coeficiente de transferência de calor de 8,3 W/m K. O isolamento líquido pode compreender pelo menos uma blindagem contra radiação, em que líquido como gálio reflete a radiação. Em outra modalidade, o isolamento líquido pode compreender um sal fundido, como uma mistura eutética de sais fundidos, como uma mistura de uma pluralidade de pelo menos dois dentre haletos alcalinos e alcalino-terrosos, carbonatos, hidróxidos, óxidos, sulfatos e nitratos. O isolamento líquido pode compreender um líquido pressurizado ou líquido supercrítico, como CO_2 ou água.

[0174] Em uma modalidade, o isolamento reversível pode compreender um material que aumente significativamente sua condutividade térmica com a temperatura acima da faixa de temperatura de fusão dos metais fundidos, tais como a prata, até aproximadamente a temperatura operacional do SunCell®. O isolamento reversível pode compreender um composto sólido, que pode ser isolante durante o aquecimento e se tornar termicamente condutor a uma temperatura acima da temperatura de inicialização desejada. O quartzo é um exemplo de material isolante que tem aumento significativo na condutividade térmica ao longo da faixa de temperatura do ponto de fusão da prata até a temperatura operacional desejada de um SunCell® de quartzo de cerca de 1000 °C a 1600 °C. A espessura do isolamento de quartzo pode ser ajustada para alcançar o comportamento desejado de isolamento durante a inicialização e transferência de calor para uma carga durante a operação. Outra modalidade exemplar compreende um material cerâmico semitransparente altamente poroso.

[0175] Em outra modalidade, o calor perdido do SunCell® aquecido se dá

predominantemente por radiação. O isolamento pode compreender pelo menos uma dentre uma câmara de vácuo que abriga o SunCell® e as blindagens contra radiação. As blindagens contra radiação podem ser removidas após a inicialização. O SunCell® pode compreender um mecanismo para pelo menos um dentre girar e transladar as blindagens térmicas. As blindagens térmicas podem ainda compreender uma camada de reforço de isolamento, tal como isolamento de sílica ou alumina. Em uma modalidade exemplar, as blindagens contra radiação podem ser giradas para diminuir a área da superfície refletora. Em outra modalidade, as blindagens contra radiação podem ainda compreender elementos de aquecimento tais como elementos de aquecimento de $MoSi_2$.

[0176] Em uma modalidade, a corrente indutiva tal como a induzida nas seções do tubo da bomba EM 405 e 406 pode fazer com que a prata na seção da bomba EM 405 funda por aquecimento resistivo. A corrente pode ser induzida pela espira do transformador da bomba EM 401. A seção do tubo da bomba EM 405 pode ser pré-carregada com prata antes da inicialização. Em uma modalidade, o calor da reação de hidrino pode aquecer ao menos um componente SunCell®. Em uma modalidade exemplar, um aquecedor tal como um aquecedor acoplado indutivamente aquece o tubo da bomba EM 5k6, os reservatórios 5c, e ao menos a porção inferior da câmara da célula de reação 5b31. Pelo menos um outro componente pode ser aquecido pela liberação de calor da reação de hidrino, tal como pelo menos uma dentre a parte superior da câmara da célula de reação 5b31, o bocal do MHD 307, o canal MHD 308, a seção de condensação do MHD 309 e o sistema de retorno do metal fundido do MHD, como o conduíte de retorno do MHD 310, o reservatório de retorno do MHD 311, a bomba EM de retorno do MHD 312 e o tubo EM de retorno do MHD.

[0177] Uma fonte de hidrino reagente tal como pelo menos uma dentre H_2O, H_2, e O_2, pode ser permeada por meio dos componentes de uma célula permeável, como pelo menos um dentre a câmara da célula 5b31, os reservatórios 5c, o canal de

expansão do MHD 308, e a seção de condensação do MHD 309. Os gases de reação de hidrino podem ser introduzidos no fluxo de metal fundido em pelo menos um local, tal como através do tubo da bomba EM 5k6, o canal de expansão do MHD 308, a seção de condensação do MHD 309, o conduíte de retorno do MHD 310, o reservatório de retorno 311, a bomba de retorno do MHD 312 e o tubo da bomba EM de retorno do MHD 313. O injetor de gás, tal como um controlador de fluxo de massa, pode ser capaz de injetar a alta pressão no lado de alta pressão do conversor MHD, como através de pelo menos um dentre o tubo da bomba EM 5k6, a bomba de retorno do MHD 312, e o tubo da bomba EM de retorno do MHD 313. O injetor de gás pode ser capaz de injetar os reagentes de hidrino a uma pressão mais baixa no lado de baixa pressão do conversor MHD, como em pelo menos um local tal como através da seção de condensação do MHD 309, do conduíte de retorno do MHD 310, e do reservatório de retorno 311. Em uma modalidade, pelo menos um dentre água e vapor de água pode ser injetado através do tubo da bomba EM 5k4 por um controlador de fluxo, que pode ainda compreender um supressor de pressão e uma válvula de retenção de contrafluxo para impedir o metal fundido de fluir de volta ao fornecedor de água, tal como o controlador de fluxo de massa. A água pode ser injetada através de uma membrana seletivamente permeável, como uma membrana de cerâmica ou carbono.

[0178] Em uma modalidade, o conversor pode compreender um conversor fotovoltaico, em que o injetor de hidrino reagente seja capaz de fornecer reagentes por pelo menos um meio dentre permeação ou injeção à pressão operacional do local de entrega. Em outra modalidade, o SunCell® pode ainda compreender uma fonte de gás hidrogênio e uma fonte de gás oxigênio, em que os dois gases são combinados para fornecer vapor de água na câmara da célula de reação 5b31. A fonte de hidrogênio e a fonte de oxigênio podem compreender pelo menos um dentre um tanque correspondente, uma linha para fluir o gás para a câmara da célula de reação 5b31, direta ou indiretamente, um regulador de fluxo, um controlador de fluxo, um

computador, um sensor de fluxo e pelo menos uma válvula. No último caso, o gás pode ser escoado para uma câmara em continuidade de gás com a câmara da célula de reação 5b31, como pelo menos um dentre a bomba EM 5Ka, o reservatório 5c, o bocal 307, o canal MHD 308 e outros componentes do conversor MHD, tais como as linhas de retorno 310a, conduítes 313a e bombas 312a. Em uma modalidade, pelo menos um dentre H_2 e O_2 pode ser injetado na seção de injeção no tubo da bomba EM 5k61. O_2 e H_2 podem ser injetados através de tubos separados na bomba EM dos injetores duplos de bomba EM. Alternativamente, um gás como pelo menos um dentre oxigênio e hidrogênio pode ser adicionado ao interior da célula através de um injetor, em uma região com menor pressão de vapor de prata, tal como o canal MHD 308 ou a seção de condensação do MHD 309. Pelo menos um dentre hidrogênio e oxigênio pode ser injetado através de uma membrana seletiva, tal como uma membrana cerâmica como uma membrana cerâmica nanoporosa. O oxigênio pode ser fornecido através de uma membrana permeável ao oxigênio, como uma da publicação, tal como a membrana permeável ao oxigênio de $BaCo_{0,7}Fe_{0,2}Nb_{0,1}O_{3-\delta}$ (BCFN) que pode ser revestida com $Bi_{26}Mo_{10}O_{69}$ para aumentar a taxa de permeação de oxigênio. O hidrogênio pode ser fornecido através de uma membrana permeável ao hidrogênio, tal como uma membrana de liga de paládio-prata. O SunCell® pode compreender um eletrolisador, tal como um eletrolisador de alta pressão. O eletrolisador pode compreender uma membrana de troca de prótons em que o hidrogênio puro pode ser fornecido pelo compartimento do cátodo. O oxigênio puro pode ser fornecido pelo compartimento do ânodo. Em uma modalidade, as peças da bomba EM são revestidas com revestimento não oxidante ou revestimento protetor contra oxidação, e o hidrogênio e oxigênio são injetados separadamente, sob condições controladas, usando dois controladores de fluxo de massa, em que os fluxos podem ser controlados com base nas concentrações nas células detectadas pelos sensores de gás correspondentes.

[0179] A mistura de reação de hidrino da câmara da célula de reação 5b31

pode ainda compreender uma fonte de oxigênio como pelo menos um dentre H_2O e um composto que compreende oxigênio. A fonte de oxigênio, como o composto que compreende oxigênio, pode estar em excesso para manter um inventário de fonte de oxigênio quase constante, em que durante a operação da célula uma pequena porção reage reversivelmente com a fonte fornecida de H, tal como o gás H_2, para formar o catalisador HOH. Exemplos de compostos compreendendo oxigênio são hidróxidos tais como $Ga(OH)_3$, óxido de gálio hidratado, $Al(OH)_3$, oxi-hidróxidos, tais como GaOOH, AlOOH e FeOOH, óxidos tais como MgO, CaO, SrO, BaO, ZrO_2, HfO_2, Al_2O_3, Li_2O, $LiVO_3$, Bi_2O_3, Al_2O_3, WO_3 e outros da publicação. O composto da fonte de oxigênio pode ser o usado para estabilizar a cerâmica de óxido, como ítria ou háfnio, como óxido de ítrio (Y_2O_3), óxido de magnésio (MgO), óxido de cálcio (CaO), óxido de estrôncio (SrO), óxido de tântalo (Ta_2O_5), óxido de boro (B_2O_3), TiO_2, óxido de cério (Ce_2O_3), zirconato de estrôncio ($SrZrO_3$), zirconato de magnésio ($MgZrO_3$), zirconato de cálcio ($CaZrO_3$) e zirconato de bário ($BaZrO_3$).

[0180] Em uma modalidade, o hidrogênio pode ser injetado como um gás através de um injetor de gás. O gás hidrogênio pode ser mantido a uma pressão elevada, como na faixa de 1 a 100 atm, para diminuir a vazão necessária para manter a potência desejada. Em outra modalidade, o hidrogênio pode ser fornecido à câmara da célula de reação 5b31 por permeação ou difusão através de uma membrana permeável. A membrana pode compreender uma cerâmica como polímeros, sílica, zeólita, alumina, zircônio, háfnio, carbono, ou um metal como liga de Pd-Ag, nióbio, Ni, Ti, aço inoxidável, ou outro material permeável ao hidrogênio conhecido na técnica, como o relatado por McLeod [L. S. McLeod. “Hydrogen permeation through microfabricated palladium-silver alloy membranes”, Tese de PhD, Georgia Institute of Technology, December, (2008), https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/31672/mcleod_logan_s_200812_phd.pdf], que é incorporado por referência em sua totalidade. A taxa de permeação de H^2 pode ser aumentada por pelo menos

um dentre o aumento no diferencial de pressão entre o lado de alimentação da membrana permeável a H^2, tal como uma membrana de Pd ou Pd-Ag e a câmara da célula de reação 5b31, o aumento da área da membrana, a diminuição da espessura da membrana e a elevação da temperatura da membrana. A membrana pode compreender uma grade ou um suporte perfurado para fornecer suporte estrutural para operar sob pelo menos uma condição dentre diferencial mais alto de pressão, como na faixa de cerca de 1 a 500 atm, área maior como na faixa de cerca de 0,01 cm^2 a 10 m^2, espessura reduzida, como na faixa de 10 nm a 1 cm e temperatura elevada, como na faixa de cerca de 30 °C a 3000 °C. A grade pode compreender um metal que não reaja com o hidrogênio. A grade pode ser resistente à fragilização por hidrogênio. Em uma modalidade exemplar, uma membrana de liga de Pd-Ag com um coeficiente de permeação de 5×10^{-11} m m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}, uma área de 1×10^{-3} m^2, e uma espessura de 1×10^{-4} m opera a um diferencial de pressão de 1×10^7 Pa e a uma temperatura de 300 °C para fornecer uma vazão de H_2 de cerca de 0,01 mol/s. Em uma modalidade, a taxa de permeação de hidrogênio pode ser aumentada mantendo um plasma na superfície externa da membrana permeável.

[0181] Em uma modalidade, pelo menos um componente do conversor MHD e SunCell® compreendendo um compartimento interno, tais como os reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31, o bocal 307, o canal MHD 308, a seção de condensação do MHD 309 e outros componentes do conversor MHD, tais como quaisquer linhas de retorno 310a, os conduítes 313a e as bombas 312a são alojados em um invólucro ou câmara vedada a gás, em que os gases na câmara se equilibram com o gás da célula interna por difusão através de uma membrana permeável a gases e impermeável ao vapor de prata. A membrana seletiva para gás pode compreender uma cerâmica semipermeável, como uma da publicação. Os gases da célula podem compreender pelo menos um dentre hidrogênio, oxigênio e um gás nobre como argônio ou hélio. O invólucro externo pode compreender um sensor de pressão para cada

gás. O SunCell® pode compreender uma fonte e um controlador para cada gás. A fonte de gás nobre, como argônio, pode compreender um tanque. A fonte de pelo menos um dentre hidrogênio e oxigênio pode compreender um eletrolisador, tal como um eletrolisador de alta pressão. O controlador de gás pode compreender pelo menos um dentre um controlador de fluxo, um regulador de gás e um computador. A pressão do gás no invólucro pode ser regulada para controlar a pressão de gás de cada um dos gases no interior da célula, tais como nos reservatórios, na câmara da célula de reação e nos componentes do conversor MHD. A pressão de cada gás pode estar na faixa de cerca de 0,1 Torr a 20 atm. Em uma modalidade exemplar mostrada nas FIGURAS 9–21, o canal MHD 308 que pode ser reto, divergente ou convergente e a seção de condensação do MHD 309 compreendem um alojamento de gás 309b, um manômetro 309c e um conjunto de suprimento e evacuação de gás 309e compreendendo uma linha de entrada de gás, uma linha de saída de gás, e um flange em que a membrana permeável a gás 309d pode ser montada na parede da seção de condensação do MHD 309. O suporte pode compreender uma junta sinterizada, uma junta de cerâmica metalizada, uma junta soldada ou outras da publicação. O alojamento de gás 309b pode ainda compreender uma porta de acesso. O alojamento de gás 309b pode compreender metal, tal como um metal resistente à oxidação, como SS 625, ou um revestimento resistente à oxidação em um metal, tal como um revestimento de irídio em um metal de CTE adequado, tal como o molibdênio. Alternativamente, o alojamento de gás 309b pode compreender cerâmica, tal como uma cerâmica de óxido de metal como zircônio, alumina, magnésio, háfnio, quartzo ou outro da publicação. As penetrações de cerâmica através do alojamento de gás de metal 309b, tais como as dos conduítes de retorno do MHD 310 podem ser resfriadas. A penetração pode compreender uma vedação de carbono, em que a temperatura da vedação esteja abaixo da temperatura de carbonização do metal e da temperatura de carborredução da cerâmica. A vedação pode ser removida para que o metal fundido quente esfrie. A

vedação pode compreender resfriamento, tais como ar passivo ou forçado, ou resfriamento a água.

[0182] Em uma modalidade exemplar, as temperaturas inicial e final do plasma de corpo negro durante a conversão de MHD em eletricidade são 3.000 K e 1.300 K. Em uma modalidade, o gerador MHD é resfriado no lado de baixa pressão para manter o fluxo de plasma. O Hall ou canal do gerador 308 pode ser resfriado. O meio de resfriamento pode ser um da publicação. O gerador MHD 300 pode compreender um trocador de calor 316, tal como um trocador de calor radiativo, em que o trocador de calor pode ser projetado para irradiar energia como função de sua temperatura para manter uma faixa de temperatura de canal mais baixa desejada, tal como em uma faixa de cerca de 1.000 °C a 1.500 °C. O trocador de calor radiativo pode compreender uma superfície alta para minimizar pelo menos um dentre seu tamanho e peso. O trocador de calor radiativo 316 pode compreender uma pluralidade de superfícies que podem ser configuradas em facetas piramidais ou prismáticas para aumentar a área de superfície radiativa. O trocador de calor radiativo pode operar no ar. A superfície do trocador de calor radiativo pode ser revestida com um material que tenha pelo menos uma propriedade do grupo de (i) capaz de operação em alta temperatura, tal como um material refratário, (ii) possua uma alta emissividade, (iii) seja estável a oxidação e forneça uma área de superfície alta, tal como uma superfície texturizada com emissão desimpedida ou desobstruída. Exemplos de materiais são cerâmicas, tais como óxidos como MgO, ZrO_2, HfO_2, Al_2O_3 e outras cerâmicas estabilizadas oxidativas, como compósito ZrC-ZrB_2 e ZrC-ZrB_2-SiC.

[0183] O gerador pode compreender ainda um regenerador ou trocador de calor regenerativo. Em uma modalidade, o fluxo é retornado ao sistema de injeção após passar contracorrente para receber calor na seção de expansão 308, ou outra região de perda de calor para pré-aquecer o metal, que é injetado na câmara da célula de reação 5b31 para manter a temperatura da câmara da célula de reação. Em uma

modalidade, pelo menos um dentre um meio de trabalho, tal como pelo menos um dentre prata e um nobre, um componente da célula como os reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31 e um componente do conversor MHD, como pelo menos um dentre a seção de condensação do MHD 309 ou outro componente quente, como pelo menos um do grupo dos reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31, a seção do bocal do MHD 307, a seção do gerador MHD 308, e a seção de condensação do MHD 309 podem ser aquecidos por um trocador de calor que recebe calor de pelo menos uma outra célula ou componente do MHD, tal como pelo menos um do grupo de reservatórios 5c, câmara da célula de reação 5b31, seção do bocal do MHD 307, seção do gerador MHD 308 e seção de condensação do MHD 309. O regenerador ou trocador de calor regenerativo pode transferir o calor de um componente para outro.

[0184] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender ainda um sistema de transbordamento de metal fundido, como um que compreende um tanque de transbordamento, pelo menos uma bomba, um sensor de inventário de metal fundido na célula, um controlador do inventário de metal fundido, um aquecedor, um sistema de controle de temperatura e um inventário de metal fundido para armazenar e fornecer metal fundido conforme necessário ao SunCell®, e como pode ser determinado por pelo menos um sensor e controlador. Um controlador de inventário de metal fundido do sistema de transbordamento pode compreender um controlador de nível de metal fundido da publicação, como um tubo riser de entrada e uma bomba EM. O sistema de transbordamento pode compreender pelo menos um dentre os conduítes de retorno do MHD 310, um reservatório de retorno 311, uma bomba EM de retorno 312, e um tubo da bomba EM de retorno 313.

[0185] As bombas eletromagnéticas podem cada uma compreender um dos dois principais tipos de bombas eletromagnéticas para metais líquidos: uma bomba de condução CA ou CC, na qual um campo magnético de CA ou CC é estabelecido

através de um tubo contendo metal líquido, e uma corrente CA ou CC é alimentada para o líquido através de eletrodos conectados às paredes do tubo, respectivamente; e bombas de indução, nas quais um campo móvel induz a corrente necessária, como em um motor de indução em que a corrente pode ser cruzada com um campo eletromagnético CA aplicado. A bomba de indução pode compreender três formas principais: linear anular, linear plana e espiral. As bombas podem compreender outras conhecidas na técnica, como as bombas mecânicas e termoelétricas. A bomba mecânica pode compreender uma bomba centrífuga com um impulsor acionado por motor. A energia para a bomba eletromagnética pode ser constante ou pulsada para causar uma injeção constante ou pulsada correspondente do metal fundido, respectivamente. A injeção pulsada pode ser acionada por um programa ou gerador de função. A injeção pulsada pode manter o plasma pulsado na câmara da célula de reação.

[0186] Em uma modalidade, o tubo da bomba EM 5k6 compreende um cortador de fluxo para fazer com que a injeção de metal fundido seja pulsada ou intermitente. O cortador pode compreender uma válvula, tal como uma válvula controlada eletronicamente, que compreende ainda um controlador. A válvula pode compreender uma válvula solenoide. Alternativamente, o cortador pode compreender um disco rotativo com pelo menos uma passagem, que gira periodicamente para interceptar o fluxo de metal fundido e permitir que o metal fundido flua através da passagem em que o fluxo é bloqueado por seções do disco rotativo que não compreendem uma passagem.

[0187] A bomba de metal fundido pode compreender uma bomba de ímã móvel (MMP), como a descrita em M. G. Hvasta, W. K. Nollet, M. H. Anderson “Designing moving magnet pumps for high-temperature, liquid-metal systems”, Nuclear Engineering and Design, Volume 327, (2018), pp. 228-237, que é incorporado na sua totalidade por referência. A MMP pode gerar um campo magnético móvel com pelo menos um dentre um conjunto giratório de ímãs permanentes e bobinas de campo polifásico.

Em uma modalidade, a MMP pode compreender uma bomba multiestágio, tal como uma bomba de dois estágios para recirculação do MHD e injeção de ignição. Uma bomba MMP de dois estágios pode compreender um motor, tal como um motor elétrico que gira um eixo. A MMP de dois estágios pode ainda compreender dois tambores, cada um compreendendo um conjunto de ímãs montados circunferencialmente, com polaridade alternada, fixados sobre a superfície de cada tambor, e um vaso de cerâmica com uma porção em forma de U que aloja o tambor, em que cada tambor pode ser girado pelo eixo para causar um fluxo de metal fundido no vaso de cerâmica. Em outra modalidade de MMP, o tambor de ímãs alternados é substituído por dois discos de ímãs de polaridade alternada em cada superfície do disco em locais opostos de um vaso de cerâmica, com tira em sanduíche, contendo o metal fundido que é bombeado pela rotação dos discos. Em outra modalidade, o vaso pode compreender um material permeável ao campo magnético, como um metal não ferroso, como aço inoxidável ou cerâmica, como um da publicação. Os ímãs podem ser resfriados por meios como resfriamento a ar ou água para permitir a operação a temperatura elevada.

[0188] Um exemplo de bomba EM CA comercial é a CMI Novacast CA15, em que os sistemas de aquecimento e resfriamento podem ser modificados para suportar o bombeamento de prata fundida. O aquecedor do tubo da bomba EM compreendendo as seções de entrada e saída e o vaso que contém a prata podem ser aquecidos por um aquecedor da publicação, como um aquecedor resistivo ou acoplado indutivamente. O aquecedor, como um aquecedor resistivo ou acoplado indutivamente, pode ser externo ao tubo da bomba EM, e compreender ainda um meio de transferência de calor para transferir calor do aquecedor para o tubo da bomba EM, tal como uma tubulação de calor. A tubulação de calor pode operar em alta temperatura, como uma com um fluido de trabalho de lítio. Os eletroímãs da bomba EM podem ser resfriados por sistemas da publicação, como circuitos de refrigeração a água e chiller.

[0189] Em uma modalidade (FIGURAS 4–22), a bomba EM 400 pode compreender um tipo CA indutivo, em que a força de Lorentz na prata é produzida por uma corrente elétrica variável no tempo através da prata, e um campo magnético variável no tempo sincronizado cruzado. A corrente elétrica variável no tempo através da prata pode ser criada por indução de Faraday de um primeiro campo magnético variável no tempo produzido por um circuito de espiras do transformador da bomba EM 401a. A fonte do primeiro campo magnético variável no tempo pode compreender espiras de transformador primário 401, e a prata pode servir como espira de transformador secundário, como uma espira de curto-circuito único, compreendendo uma seção de tubo da bomba EM de um circuito de corrente 405 e uma seção de retorno de circuito de corrente da bomba EM 406. A espira primária 401 pode compreender um eletroímã CA em que o primeiro campo magnético variável no tempo é conduzido através do loop circunferencial de prata 405 e 406, o circuito de corrente de indução, por um circuito magnético ou canga de transformador de bomba EM 402. A prata pode estar contida em um vaso, como um vaso de cerâmica 405 e 406, tal como um compreendendo uma cerâmica da publicação, como nitreto de silício (PF 1900 °C), quartzo, alumina, zircônio, magnésio ou háfnio. Uma camada protetora de SiO2 pode ser formada sobre o nitrito de silício por oxidação passiva controlada. O vaso pode compreender os canais 405 e 406 que envolvem o circuito magnético ou a canga do transformador da bomba EM 402. O vaso pode compreender uma seção achatada 405 para fazer com que a corrente induzida tenha um componente de fluxo em uma direção perpendicular ao campo magnético variável no tempo sincronizado e a direção desejada do fluxo da bomba de acordo com a força de Lorentz correspondente. O campo magnético variável no tempo sincronizado cruzado pode ser criado por um conjunto ou circuito eletromagnético da bomba EM 403c compreendendo eletroímãs CA 403 e canga eletromagnética da bomba EM 404. A canga magnética 404 pode ter um vão na seção achatada do vaso 405 que contém a prata. O eletroímã 401 do

circuito de espiras do transformador da bomba EM 401a e o eletroímã 403 do conjunto eletromagnético da bomba EM 403c podem ser alimentados por uma fonte de energia CA monofásica ou outra fonte de energia adequada conhecida na técnica. O ímã pode estar localizado na curva do circuito, de modo que o componente vetorial de corrente desejado esteja presente. A fase da corrente CA que alimenta as espiras do transformador 401 e as espiras do eletroímã 403 pode ser sincronizada para manter a direção desejada da força de bombeamento de Lorentz. A fonte de alimentação para as espiras de transformador 401 e as espiras de eletroímã 403 pode ser a mesma fonte de alimentação ou separada. A sincronização da corrente induzida e do campo B pode se dar por meios analógicos, como componentes de linha de retardo, ou por meios digitais, ambos conhecidos na técnica. Em uma modalidade, a bomba EM pode compreender um único transformador com uma pluralidade de cangas para fornecer indução da corrente no circuito de corrente fechado 405 e 406 e servir como eletroímã e canga 403 e 404. Devido ao uso de um único transformador, a corrente induzida correspondente e o campo magnético CA podem estar em fase.

[0190] Em uma modalidade (FIGURAS 2–22), o circuito de corrente de indução pode compreender o tubo da bomba EM de entrada 5k6, a seção de tubo da bomba EM do circuito de corrente 405, o tubo da bomba EM de saída 5k6 e o caminho através da prata no reservatório 5c, que pode compreender as paredes do riser de entrada 5qa e o injetor 561, nas modalidades que compreendem esses componentes. A bomba EM pode compreender sistemas de monitoramento e controle, como os de corrente e tensão da espira primária e controle de feedback de produção de energia do SunCell® com parâmetros de bombeamento. Exemplos de parâmetros de feedback medidos podem ser a temperatura na câmara da célula de reação 5b31 e a eletricidade no conversor MHD. O sistema de monitoramento e controle pode compreender um computador, controladores e sensores correspondentes. Em uma modalidade, o SunCell® pode ser pelo menos um dentre monitorado e controlado por um

dispositivo sem fio, como um telefone celular. O SunCell® pode incluir uma antena para enviar e receber dados e sinais de controle.

[0191] Em uma modalidade de conversor MHD tendo apenas um par de bombas eletromagnéticas 400, cada conduíte de retorno do MHD 310 é estendido e se conecta à entrada da bomba eletromagnética 5kk correspondente. A conexão pode compreender uma união, tal como uma união em Y, tendo uma entrada do conduíte de retorno do MHD 310 e as saliências 308 da base do reservatório, como as do conjunto de placa de base de reservatório 409. Em uma modalidade que compreende um SunCell® pressurizado com um conversor MHD, o lado da injeção das bombas EM, os reservatórios e a câmara da célula de reação 5b31 operam sob alta pressão em relação ao conduíte de retorno do MHD 310. A entrada para cada bomba EM pode compreender apenas o conduíte de retorno do MHD 310. A conexão pode compreender uma união, tal como uma união em Y, tendo uma entrada do conduíte de retorno do MHD 310 e a saliência da base do reservatório, em que a energia da bomba impede o refluxo a partir do fluxo de entrada do reservatório para o conduíte de retorno do MHD 310.

[0192] Em uma modalidade de gerador de energia MHD, as bombas EM de injeção e a bomba EM de retorno do MHD podem compreender qualquer uma da publicação, tais como as bombas de condução de CC ou CA e as bombas de indução de CA. Em uma modalidade exemplar do gerador de energia MHD (FIGURA 5), as bombas EM de injeção podem compreender uma bomba EM de indução 400, e a bomba EM de retorno do MHD 312 pode compreender uma bomba EM de indução ou uma bomba EM de condução de CC. Em outra modalidade, a bomba de injeção pode servir ainda como a bomba EM de retorno do MHD. O conduíte de retorno do MHD 310 pode entrar na bomba EM em uma posição de pressão mais baixa que a entrada do reservatório. A entrada do conduíte de retorno do MHD 310 pode entrar na bomba EM em uma posição adequada para a baixa pressão na seção de condensação do

MHD 309 e no conduíte de retorno do MHD 310. A entrada do reservatório 5c pode entrar em uma posição do tubo da bomba EM onde a pressão é mais alta, como em uma posição em que a pressão seja a pressão de operação desejada na câmara da célula de reação 5b31. A pressão da bomba EM na seção do injetor 5k61 pode ser pelo menos a pressão desejada na câmara da célula de reação. As entradas podem ser conectadas à bomba EM nas seções de tubo e circuito de corrente 5k6, 405 ou 406.

[0193] A bomba EM pode compreender uma bomba multiestágio (FIGURAS 6–21). A bomba EM multiestágio pode receber os fluxos de metal de entrada, como o do conduíte de retorno do MHD 310 e o da base do reservatório 5c em diferentes estágios da bomba, que correspondem a uma pressão que permite essencialmente que apenas o fluxo de metal fundido para a frente saia pela saída da bomba EM e injetor 5k61. Em uma modalidade, o conjunto de bomba EM multiestágio 400a (FIGURA 6) compreende pelo menos um circuito de espiras de transformador de bomba EM 401a, compreendendo uma espira de transformador 401 e uma canga de transformador 402, através de um circuito de corrente de indução 405 e 406, e compreende ainda pelo menos um circuito eletromagnético da bomba EM de CA 403c, compreendendo um eletroímã de CA 403 e uma canga eletromagnética da bomba EM 404. O circuito de corrente de indução pode compreender uma seção do tubo da bomba EM 405 e uma seção de retorno do circuito de corrente da bomba EM 406. A canga eletromagnética 404 pode ter um vão na seção achatada do vaso ou na seção de tubo da bomba EM de um circuito de corrente 405 contendo o metal fundido bombeado, tal como prata. Em uma modalidade mostrada na FIGURA 7, o circuito de corrente de indução compreendendo a seção de tubo da bomba EM 405 pode ter entradas e saídas afastadas das curvas para o fluxo de retorno na seção 406, de modo que a corrente de indução possa ser mais transversal ao fluxo magnético dos eletroímãs 403a e 403b para otimizar a força de bombeamento de Lorentz, que é transversal

à corrente e ao fluxo magnético. O metal bombeado pode ser fundido na seção 405, e sólido na seção de retorno de circuito de corrente da bomba EM 406.

[0194] Em uma modalidade, a bomba EM multiestágio pode compreender uma pluralidade de circuitos eletromagnéticos da bomba EM CA 403c que fornecem fluxo magnético perpendicular à corrente e ao fluxo de metal. A bomba EM multiestágio pode receber entradas ao longo da seção do tubo da bomba EM de um circuito de corrente 405 em locais em que a pressão de entrada é adequada para a pressão da bomba local alcançar o fluxo da bomba à frente, em que a pressão aumenta no estágio seguinte do circuito eletromagnético da bomba EM CA 403c. Em uma modalidade exemplar, o conduíte de retorno do MHD 310 entra no circuito de corrente tal como a seção do tubo da bomba EM de um circuito de corrente 405 em uma entrada antes de um primeiro circuito de eletroímã CA 403c, compreendendo eletroímãs CA 403a e canga eletromagnética de bomba EM 404a. O fluxo de entrada do reservatório 5c pode entrar após o primeiro e antes de um segundo circuito de eletroímã CA 403c, compreendendo eletroímãs CA 403b e canga eletromagnética da bomba EM 404b, em que as bombas mantêm uma pressão de metal fundido no circuito de corrente 405, que mantém um fluxo desejado de cada entrada para o próximo estágio da bomba ou para a saída da bomba e do injetor 5k61. A pressão de cada estágio da bomba pode ser controlada através do controle da corrente do eletroímã de CA correspondente do circuito do eletroímã de CA. Um exemplo de transformador compreende um núcleo de transformador laminado em aço silício 402, e exemplos de cangas eletromagnéticas da bomba EM 404a e 404b compreendem cada um uma pilha de chapas laminadas em aço silício (aço de grão orientado).

[0195] Em uma modalidade, a seção de retorno do circuito de corrente da bomba EM 406, como um canal de cerâmica, pode compreender um restritor de fluxo de metal fundido ou pode ser preenchida com um condutor elétrico sólido, de modo que a corrente do circuito de corrente esteja completa, evitando o refluxo do metal

fundido de uma pressão mais alta para uma seção de pressão mais baixa do tubo da bomba EM. O sólido pode compreender um metal como um aço inoxidável da publicação, como Haynes 230, liga Pyromet® 625, liga Carpenter L-605, liga BioDur® Carpenter CCM®, Haynes 230, 310 SS ou 625 SS. O sólido pode compreender um metal refratário. O sólido pode compreender um metal resistente à oxidação. O sólido pode compreender uma camada superior ou revestimento metálico ou condutor, como irídio, para evitar a oxidação do condutor sólido.

[0196] Em uma modalidade, o condutor sólido no conduíte 406 que fornece um caminho de corrente de retorno, mas evita a contracorrente da prata, compreende metal fundido sólido, como prata sólida. A prata sólida pode ser mantida mantendo-se uma temperatura em um ou mais locais ao longo do caminho do conduíte 406 que esteja abaixo do ponto de fusão da prata, de modo a manter um estado sólido, em pelo menos uma porção do conduíte 406, para impedir o fluxo de prata no conduíte 406. O conduíte 406 pode compreender pelo menos um dentre trocador de calor, como um circuito de refrigeração, em que a ausência de aquecimento ou de isolamento vestigial, e uma seção distanciada da seção quente 405, para que a temperatura de pelo menos uma porção do conduíte 406 possa ser mantida abaixo do ponto de fusão do metal fundido.

[0197] Em uma modalidade, as espiras magnéticas de pelo menos um dentre os transformadores e eletroímãs são distanciados da seção do tubo da bomba EM de um circuito de corrente 405, contendo metal fluindo por extensão de pelo menos um dentre a canga magnética do transformador 402 e a canga do circuito eletromagnético 404. As extensões permitem pelo menos um dentre um aquecimento mais eficiente, como aquecimento indutivamente acoplado do tubo da bomba EM 405, e um resfriamento mais eficiente de pelo menos um dentre as espiras do transformador 401, a canga do transmissor 402 e os circuitos eletromagnéticos 403c, compreendendo eletroímãs CA 403 e a canga eletromagnética da bomba EM 404. No caso de uma bomba

EM de dois estágios, os circuitos magnéticos podem compreender eletroímãs CA 403a e 403b e cangas eletromagnéticas da bomba EM 404a e 404b. Pelo menos uma dentre as cangas do transformador 402, e as cangas eletromagnéticas 404 pode compreender um material ferromagnético com uma alta temperatura Curie, como ferro ou cobalto. As espiras podem compreender fio isolado de alta temperatura, como fio revestido com cerâmica, como fio de cobre revestido com níquel, como Ceramawire HT. Pelo menos um dentre os conjuntos ou circuitos de espiras do transformador da bomba EM 401a e os conjuntos ou circuitos eletromagnéticos da bomba EM 403c podem compreender um sistema de resfriamento a água, como um da publicação, como um dos ímãs 5k4 da bomba EM de condução CC (FIGURAS 2–3). Pelo menos uma das bombas EM de indução 400b pode compreender um sistema de resfriamento a ar 400b (FIGURAS 9–10). Pelo menos uma das bombas EM de indução 400c pode compreender um sistema de resfriamento a água (FIGURA 11). O sistema de resfriamento pode compreender tubo de calor, tal como um da publicação. O sistema de resfriamento pode compreender uma camisa de cerâmica para servir como um conduíte de refrigerante. O sistema de refrigeração pode compreender uma bomba de refrigerante e um trocador de calor para rejeitar o calor para uma carga ou ambiente. A camisa pode abrigar pelo menos parcialmente o componente a ser resfriado. O sistema de resfriamento de canga pode compreender um conduíte interno de refrigerante. O refrigerante pode compreender água. O refrigerante pode compreender óleo de silício.

[0198] Um exemplo de transformador compreende um núcleo de transformador laminado em aço silício. O transformador de ignição pode compreender (i) um número de espiras em pelo menos uma faixa dentre cerca de 10 a 10.000, 100 a 5.000 e 500 a 25.000 voltas; (ii) uma potência em pelo menos uma faixa dentre cerca de 10 W a 1 MW, 100 W a 500 kW, 1 kW a 100 kW e 1 kW a 20 kW e (iii) uma corrente de enrolamento primária em pelo menos uma faixa dentre cerca de 0,1 A a 10.000 A,

1 A a 5 kA, 1 A a 1 kA e 1 A a 500 A. Em uma modalidade exemplar, a corrente de ignição está em uma faixa de tensão de cerca de 6 V a 10 V e a corrente é de cerca de 1.000 A; portanto, uma espira com 50 voltas opera a cerca de 500 V e 20 A para fornecer uma corrente de ignição de 10 V a 1.000 A. Os eletroímãs da bomba EM podem compreender um fluxo em pelo menos uma faixa dentre cerca de 0,01 T a 10 T, 0,1 T a 5 T e 0,1 T a 2 T. Em uma modalidade exemplar, o fio magnético com cerca de 0,5 mm de diâmetro é mantido a cerca de 200 °C.

[0199] Em uma modalidade compreendendo um SunCell® que não forma uma liga ou reage com alumínio à temperatura operacional da célula, o metal fundido pode compreender o alumínio. Em uma modalidade exemplar, o SunCell®, como o mostrado nas FIGURAS 4–21, compreende componentes que estão em contato com o metal de alumínio fundido, como a câmara da célula de reação 5b31 e os tubos da bomba EM 5k6 que compreendem quartzo ou cerâmica, em que o SunCell® compreende ainda bombas EM indutivas e um sistema de ignição por indução.

[0200] Pelo menos uma linha (FIGURAS 9–21), como pelo menos um dentre conduíte de retorno do MHD 310, linha de reservatório de bomba EM 416 e linha de injeção de bomba EM 417, pode ser aquecida por um aquecedor, como um aquecedor resistivo, ou acoplado indutivamente. O aquecedor acoplado indutivamente pode compreender uma antena 415 envolvida em torno da linha em que a antena pode ser resfriada a água. Os componentes envolvidos com a antena de aquecedor acoplado indutivamente, como 5f e 415, podem compreender uma camada interna de isolamento. A antena de aquecedor acoplado indutivamente pode servir a uma função dupla ou aquecimento e resfriamento a água para manter uma temperatura desejada do componente correspondente. O SunCell® pode ainda compreender suportes estruturais 418 que prendem componentes como o invólucro de ímã MHD 306a, o bocal do MHD 307 e o canal MHD 308, linhas de saída elétrica, sensor e controle 419 que podem ser montadas nos suportes estruturais 418, e blindagem térmica tal como 420

ao redor da linha de reservatório da bomba EM 416 e linha de injeção da bomba EM 417.

[0201] Em uma modalidade, o barramento de ignição como 5k2a pode compreender um eletrodo em contato com uma porção do metal fundido solidificado de uma junta de vedação úmida, como uma nos reservatórios 5c. Em outra modalidade, o sistema de ignição compreende um sistema de indução (FIGURAS 8–21) em que a fonte de eletricidade aplicada ao metal fundido condutor para causar a ignição da reação de hidrino fornece uma corrente de indução, tensão e potência. O sistema de ignição pode compreender um sistema sem eletrodo em que a corrente de ignição é aplicada por indução, por um conjunto de transformador de ignição por indução 410. A corrente de indução pode fluir através dos fluxos de metal fundido que se cruzam a partir da pluralidade de injetores mantidos pelas bombas, tais como as bombas EM 400. Em uma modalidade, os reservatórios 5c podem ainda compreender um canal de conexão cruzada de cerâmica 414, tal como um canal entre as bases dos reservatórios 5c. O conjunto do transformador de ignição por indução 410 pode compreender uma espira do transformador de ignição por indução 411 e uma canga do transformador de ignição por indução 412, que pode se estender através do circuito de corrente de indução formado pelos reservatórios 5c, os fluxos de metal fundido que se cruzam a partir da pluralidade de injetores de metal fundido e o canal de conexão cruzada 414. O conjunto do transformador de ignição por indução 410 pode ser similar ao do circuito de espiras do transformador de bomba EM 401a.

[0202] Em uma modalidade, a fonte de corrente de ignição pode compreender um tipo indutivo CA, em que a corrente no metal fundido, como a prata, é produzida por indução de Faraday de um campo magnético variável no tempo através da prata. A fonte do campo magnético variável no tempo pode compreender uma espira de transformador primária, uma espira de transformador de ignição por indução 411, e a prata pode pelo menos parcialmente servir como espira de transformador secundária,

como uma espira em curto de uma volta. A espira primária 411 pode compreender um eletroímã CA em que uma canga do transformador de ignição por indução 412 conduz o campo magnético variável no tempo através de um loop ou circuito condutor circunferencial compreendendo a prata fundida. Em uma modalidade, o sistema de ignição por indução pode compreender uma pluralidade de cangas de circuito magnético fechado 412 que mantêm o fluxo variável no tempo através do secundário compreendendo o circuito de prata fundida. Pelo menos uma canga e o circuito magnético correspondente podem compreender uma espira 411, em que o fluxo aditivo de uma pluralidade de cangas 412, cada uma com uma espira 411, pode criar corrente de indução e tensão em paralelo. O número de voltas da espira primária de cada espira 411 de canga 412 pode ser selecionado para alcançar uma tensão secundária desejada a partir daquela aplicada a cada espira, e uma corrente secundária desejada pode ser alcançada selecionando-se o número de cangas de circuito fechado 412 com espiras correspondentes 411 em que a tensão é independente do número de cangas e espiras, e as correntes paralelas são aditivas.

[0203] O eletroímã do transformador pode ser alimentado por uma fonte de energia CA monofásica, ou por outra fonte de energia adequada conhecida na técnica. A frequência do transformador pode ser aumentada para diminuir o tamanho da canga do transformador 412. A frequência do transformador pode estar em pelo menos um intervalo dentre cerca de 1 Hz a 1 MHz, 1 Hz a 100 kHz, 10 Hz a 10 kHz e 10 Hz a 1 kHz. A fonte de alimentação do transformador pode compreender um inversor de frequência variável (VFD). Os reservatórios 5c podem compreender um canal de metal fundido, como o canal de conexão cruzada 414, que conecta os dois reservatórios 5c. O circuito de corrente que encerra a canga do transformador 412 pode compreender a prata fundida contida nos reservatórios 5c, o canal de conexão cruzada 414, a prata no tubo injetor 5k61 e os fluxos injetados de prata fundida que se cruzam para completar o circuito de corrente de indução. O circuito de corrente de indução pode ainda

compreender, pelo menos parcialmente, a prata fundida contida em pelo menos um dos componentes da bomba EM, como o riser de entrada 5qa, o tubo da bomba EM 5k6, as saliências e o injetor 5k61.

[0204] O canal de conexão cruzada 414 pode estar no nível desejado do metal fundido, como a prata, nos reservatórios. Alternativamente, o canal de conexão cruzada 414 pode estar em uma posição inferior ao nível desejado de metal fundido do reservatório, de modo que o canal seja continuamente preenchido com metal fundido durante a operação. O canal de conexão cruzada 414 pode estar localizado em direção à base dos reservatórios 5c. O canal pode fazer parte do loop ou circuito da corrente de indução e facilitar ainda mais o fluxo de metal fundido de um reservatório com um nível de prata mais alto para o outro com um nível mais baixo, para manter os níveis desejados nos dois reservatórios 5c. Um diferencial na pressão do cabeçote de metal fundido pode fazer com que o metal flua entre os reservatórios para manter o nível desejado em cada um. O circuito de corrente pode compreender os fluxos de metal fundido que se cruzam, os tubos injetores 5k61, uma coluna de metal fundido nos reservatórios 5c e o canal de conexão cruzada 414 que conecta os reservatórios 5c no nível desejado de prata fundida ou um que seja mais baixo que o nível desejado. O circuito de corrente pode envolver a canga do transformador 412 que gera a corrente por indução de Faraday. Em outra modalidade, pelo menos uma canga do transformador da bomba EM 402 pode compreender ainda a canga do transformador de ignição por indução 412 para gerar a corrente de ignição por indução, fornecendo adicionalmente o campo magnético variável no tempo através de um circuito de metal fundido de ignição, como o formado pelos fluxos de metal fundido que se cruzam e o metal fundido contido nos reservatórios e no canal de conexão cruzada 414. Os reservatórios 5c e o canal 414 podem compreender um isolante elétrico, como uma cerâmica. A canga do transformador de ignição por indução 412 pode compreender uma tampa 413, que pode compreender pelo menos um dentre um isolante elétrico e um

isolante térmico, como uma tampa de cerâmica. A seção da canga do transformador de ignição por indução 412, que se estende entre os reservatórios, que podem compreender antenas de aquecedor acoplado indutivamente envolvidas circunferencialmente, como bobinas helicoidais, pode ser blindada térmica ou eletricamente pela tampa 413. A cerâmica de pelo menos um dentre os reservatórios 5c, o canal 414 e a tampa 413 pode ser uma da publicação, tais como nitreto de silício (PF 1.900 °C), quartzo tal como quartzo fundido, alumina, zircônio, magnésio ou háfnio. Uma camada protetora de SiO_2 pode ser formada sobre o nitrito de silício por oxidação passiva controlada.

[0205] Em uma modalidade, o canal de conexão cruzada 414 mantém os níveis de prata do reservatório quase constantes. O SunCell® pode compreender ainda bocais submersos 5q do injetor 5k61. A profundidade de cada bocal submerso e, portanto, a pressão do cabeçote através da qual o injetor injeta, pode permanecer essencialmente constante devido ao nível de metal fundido quase constante de cada reservatório 5c. Em uma modalidade compreendendo o canal de conexão cruzada 414, o riser de entrada 5qa pode ser removido e substituído por uma porta na saliência do reservatório 408, ou na linha do reservatório da bomba EM 416.

[0206] O SunCell® pode compreender uma fonte de calor para aquecer pelo menos um componente durante a inicialização operacional. A fonte de calor pode ser selecionada para ao menos um dentre evitar o aquecimento excessivo da canga de pelo menos um dentre a bomba EM indutiva e o sistema de ignição indutiva. A fonte de calor pode ser permissiva de alta eficiência na transferência de calor para um trocador de calor externo de uma modalidade de fonte de energia térmica do SunCell®. O calor pode manter o metal fundido para o sistema de injeção de metal fundido, como o sistema de injeção de metal fundido duplo que compreende bombas EM. Em uma modalidade, o SunCell® compreende um aquecedor ou fonte de aquecimento como pelo menos um dentre uma fonte de calor químico, como uma fonte de calor químico

catalítico, uma fonte de calor por chama ou combustão, um aquecedor resistivo, tal como um aquecedor de filamento refratário, uma fonte de aquecimento radiativo, tal como uma fonte de luz infravermelha, como uma lâmpada de calor ou fonte de luz de diodo de alta potência, e um aquecedor acoplado indutivamente.

[0207] A fonte de aquecimento radiativa pode compreender um meio de varrer a energia radiante sobre uma superfície a ser aquecida. O meio de varredura pode compreender um espelho de varredura. O meio de varredura pode compreender pelo menos um espelho, e pode compreender ainda um meio para mover o espelho em uma pluralidade de posições, como um atuador mecânico, pneumático, eletromagnético, piezoelétrico, hidráulico e outro atuador conhecido na técnica.

[0208] Em uma modalidade, o aquecedor 415 pode compreender um aquecedor resistivo, como um que compreende fio, como Kanthal, ou outro da publicação. O aquecedor resistivo pode compreender um fio ou filamento resistivo refratário, que pode ser enrolado em torno dos componentes a serem aquecidos. Os elementos e componentes de aquecedor resistivo exemplares podem compreender condutores de alta temperatura, tais como carbono, Nicromo, aços inoxidáveis da série 300, Incoloy 800 e Inconel 600, 601, 718, 625, Haynes 230, 188, 214, níquel, Hastelloy C, titânio, tântalo, molibdênio, TZM, rênio, nióbio e tungstênio. O filamento ou fio pode ser encapsulado em um composto de envasamento para protegê-lo da oxidação. O elemento de aquecimento como filamento, fio ou malha pode ser operado no vácuo para protegê-lo da oxidação. Um aquecedor exemplar compreende um fio de aquecimento resistivo Kanthal A-1 (Kanthal), uma liga ferro-cromo-alumínio (liga FeCrAl) capaz de operar a temperaturas de até 1.400 °C e ter alta resistividade e boa resistência à oxidação. Outro filamento exemplar é Kanthal APM, que forma um revestimento de óxido não incrustante que é resistente a ambientes oxidantes e carburantes e pode ser operado a 1.475 °C. A taxa de perda de calor a 1.375 K e uma emissividade de 1 é de 200 kW/m^2 ou 0,2 W/cm^2. Aquecedores resistivos comercialmente disponíveis que

operam a 1.475 K têm uma potência de 4,6 W/cm^2. O aquecimento pode ser aumentado usando-se isolamento externo ao elemento de aquecimento.

[0209] Um aquecedor exemplar 415 compreende um fio de aquecimento resistivo Kanthal A-1 (Kanthal), uma liga ferro-cromo-alumínio (liga FeCrAl) capaz de operar a temperaturas de até 1.400 °C e ter alta resistividade e boa resistência à oxidação. Ligas FeCrAl adicionais para elementos de aquecimento adequados são pelo menos uma dentre Kanthal APM, Kanthal AF, Kanthal D e Alkrothal. O elemento de aquecimento, como um elemento de fio resistivo, pode compreender uma liga de NiCr que pode operar na faixa de 1100 °C a 1200 °C, como pelo menos um dentre Nikrothal 80, Nikrothal 70, Nikrothal 60 e Nikrothal 40. Como alternativa, o aquecedor 415 pode compreender dissilicieto de molibdênio (MoSi2) como pelo menos um dentre Kanthal Super 1700, Kanthal Super 1800, Kanthal Super 1900, Kanthal Super RA, Kanthal Super ER, Kanthal Super HT ou Kanthat Super NC capaz de operar na faixa de 1.500 °C a 1.800 °C em uma atmosfera oxidante. O elemento de aquecimento pode compreender dissilicieto de molibdênio (MoSi2) em liga com alumina. O elemento de aquecimento pode ter um revestimento resistente à oxidação, como um revestimento de alumina. O elemento de aquecimento do aquecedor resistivo 415 pode compreender SiC, que pode ser capaz de operar a uma temperatura de até 1.625 °C. O aquecedor pode compreender isolamento para aumentar pelo menos uma dentre sua eficiência e eficácia. O isolamento pode compreender cerâmica, como a conhecida pelos especialistas na técnica, como um isolamento compreendendo silicato de alumina. O isolamento pode ser pelo menos um dentre removível ou reversível. O isolamento pode ser removido após a inicialização para transferir com mais eficiência o calor para um receptor desejado, como ambiente circundante ou um trocador de calor. O isolamento pode ser removido mecanicamente. O isolamento pode compreender uma câmara capaz de vácuo e uma bomba, em que o isolamento é aplicado puxando-se um vácuo, e o isolamento é revertido adicionando-se um gás de transferência de calor,

como um gás nobre, tal como o hélio. Uma câmara de vácuo com um gás de transferência de calor, como o hélio, que pode ser adicionado ou bombeado para fora, pode servir como isolamento ajustável.

[0210] O aquecedor resistivo 415 pode ser alimentado por pelo menos um dentre circuitos com fios em série e paralelos para aquecer seletivamente diferentes componentes do SunCell®. O fio de aquecimento resistivo pode compreender um par trançado para impedir a interferência de sistemas que causam um campo variável no tempo, como os sistemas de indução, com pelo menos uma bomba EM de indução, um sistema de ignição por indução e eletroímãs. Os fios de aquecimento resistivos podem ser orientados de modo que qualquer fluxo magnético variável no tempo vinculado seja minimizado. A orientação do fio pode ser tal que quaisquer circuitos fechados estejam em um plano paralelo ao fluxo magnético.

[0211] Pelo menos uma dentre a fonte de calor química catalítica e a fonte de calor por chama ou combustão pode compreender um combustível como um hidrocarboneto, tais como propano e oxigênio, ou hidrogênio e oxigênio. O SunCell® pode compreender um eletrolisador que pode fornecer uma mistura estequiométrica de H_2 e O_2. O eletrolisador pode compreender um separador de gás para fornecer pelo menos um dentre H_2 ou O_2 separadamente. O eletrolisador pode compreender uma unidade de eletrólise de alta pressão, como uma que tenha uma membrana de troca de prótons para uma fonte separada de pelo menos um dentre H_2 e O_2. A unidade de eletrólise pode ser alimentada por uma bateria durante a inicialização. O SunCell® pode compreender um sistema de armazenamento e abastecimento de gás para gás H_2 e O_2, a partir da eletrólise de H_2O. O armazenamento de gás pode armazenar pelo menos um dentre os gases H_2 e O_2 da eletrólise de H_2O ao longo do tempo. A energia da eletrólise ao longo do tempo pode ser fornecida pelo SunCell® ou pela bateria. O armazenamento pode liberar os gases como combustível para o aquecedor a uma taxa para atingir uma potência maior do que a disponível na bateria. A eletrólise pode

ser mais que 90% eficiente. A recombinação hidrogênio-oxigênio em um catalisador e combustão pode ser quase 100% eficiente. O aquecedor de chama pode compreender pelo menos um queimador e um meio para mover ou analisar pelo menos um queimador, em uma pluralidade de posições de modo que a chama cubra uma área maior. O meio de varredura pode compreender pelo menos um dentre um came e um atuador mecânico, pneumático, eletromagnético, piezoelétrico, hidráulico e outro conhecido na técnica.

[0212] Em uma modalidade, o sistema de aquecimento compreende pelo menos um dentre tubos, coletores e pelo menos um invólucro para fornecer ao menos um combustível ou mistura de combustível, tal como pelo menos um dentre H_2 e O_2 a uma superfície impregnada com um catalisador, para queimar os gases combustíveis sobre a superfície de pelo menos um componente do SunCell® para servir como fonte de aquecimento. A temperatura máxima de uma mistura estequiométrica de hidrogênio e oxigênio é de cerca de 2.800 °C. A superfície de qualquer componente a ser aquecido pode ser revestida com um catalisador recombinante de hidrogênio e oxigênio, tal como níquel Raney, óxido de cobre ou um metal precioso, como platina, paládio, rutênio, irídio, rênio ou ródio. Exemplos de superfícies catalíticas são pelo menos uma dentre alumina, sílica, quartzo e silicato de alumina revestidas com Pd, Pt ou Ru. O aquecedor de chama pode compreender um filamento aquecido, em que a temperatura elevada do filamento pode ser pelo menos parcialmente mantida pela reação de recombinação de hidrogênio-oxigênio.

[0213] Em uma modalidade, a fonte de gás H_2 + O_2 pode compreender um sistema de maçarico de oxi-hidrogênio, tal como o que compreende um projeto como o de uma unidade comercial, tal como o gerador de chama de gás HHO oxigênio-hidrogênio Honguang H160. Dada a tensão de eletrólise de H_2O 1,48 V e uma eficiência de eletrólise típica de cerca de 90%, a corrente necessária é de cerca de 0,75 A por queimador de 1 W. Em uma modalidade, uma pluralidade de queimadores pode

ser alimentada por uma linha de gás comum, tal como uma que fornece uma mistura estequiométrica de H_2 + O_2. O aquecedor de chama pode compreender uma pluralidade dessas linhas de gás e queimadores. As linhas e queimadores podem ser dispostos em uma estrutura adequada para obter o aquecimento desejado dos componentes SunCell®. A estrutura pode compreender pelo menos uma hélice, como o aquecedor de chama de oxi-hidrogênio de hélice única 423, mostrado nas FIGURAS 20–21, com uma linha de gás 424 e uma pluralidade de queimadores ou bocais 425. Em um projeto alternativo também mostrado nas FIGURAS 20–21, o aquecedor de chama de oxi-hidrogênio 423 pode compreender uma pluralidade de linhas de gás 424 e uma pluralidade de queimadores ou bocais 425 para alcançar uma série de anéis anulares em torno dos componentes SunCell® a serem aquecidos. Uma estrutura exemplar adicional para fornecer uma boa cobertura da superfície de aquecimento dos componentes SunCell® é uma hélice dupla como a do DNA, ou uma hélice tripla. Componentes de formato linear, como o conduíte de retorno do MHD 310, podem ser aquecidos por pelo menos uma estrutura de queimador linear.

[0214] Em uma modalidade, o aquecedor, como do tipo resistivo, queimador ou trocador de calor, pode aquecer a partir do interior do componente SunCell, como dentro do reservatório 5c, através de um poço interno que pode, por exemplo, ser fundido no fundo do reservatório.

[0215] A corrente de ignição pode variar no tempo, como cerca de 60 Hz CA, mas pode ter outras características e formas de onda, como uma forma de onda com frequência de pelo menos uma faixa dentre 1 Hz a 1 MHz, 10 Hz a 10 kHz, 10 Hz a 1 kHz e 10 Hz a 100 Hz, uma corrente de pico em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1 A a 100 MA, 10 A a 10 MA, 100 A a 1 MA, 100 A a 100 kA e 1 kA a 100 kA, e um pico de tensão em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1 V a 1 MV, 2 V a 100 kV, 3 V a 10 kV, 3 V a 1 kV, 2 V a 100 V e 3 V a 30 V, em que a forma de onda pode compreender uma onda senoidal, quadrada, triangular ou outra forma de onda

desejada que pode compreender um ciclo de trabalho de pelo menos uma faixa dentre 1% a 99%, 5% a 75% e 10% a 50%. Para minimizar o efeito pelicular em alta frequência, as espiras como a 411 do sistema de ignição podem compreender pelo menos um dentre fios trançados, fios múltiplos e fios Litz.

[0216] Em uma modalidade, o controle da frequência da corrente de ignição controla a taxa de reação da reação de hidrino. Controlar a frequência da fonte de alimentação da espira de ignição por indução 411 pode controlar a frequência da corrente de ignição. A corrente de ignição pode ser uma corrente de indução causada por um campo magnético variável no tempo. O campo magnético variável no tempo pode influenciar a taxa de reação de hidrino. Em uma modalidade, pelo menos uma dentre a intensidade e a frequência do campo magnético variável no tempo são controladas para controlar a taxa de reação de hidrino. A intensidade e a frequência do campo magnético variável no tempo podem ser controladas controlando-se a fonte de alimentação da espira de ignição por indução 411.

[0217] Em uma modalidade, a frequência de ignição é ajustada para causar uma frequência correspondente de geração de energia de hidrino, em pelo menos um dentre a câmara da célula de reação 5b31 e o canal MHD 308. A frequência da saída de energia, tal como cerca de 60 Hz CA, pode ser controlada através do controle da frequência de ignição. A frequência de ignição pode ser ajustada variando-se a frequência do campo magnético variável no tempo do conjunto do transformador de ignição por indução 410. A frequência do conjunto do transformador de ignição por indução 410 pode ser ajustada variando-se a frequência da corrente da espira do transformador de ignição por indução 411, em que a frequência da alimentação para a espira 411 pode ser variada. A potência variável no tempo no canal MHD 308 pode impedir a formação de choque do fluxo de jato de aerossol. Em outra modalidade, a ignição variável no tempo pode causar uma geração de energia de hidrino variável no tempo que resulta em uma saída de energia elétrica variável no tempo. O conversor

MHD pode gerar eletricidade CA que também pode compreender um componente CC. O componente CA pode ser usado para alimentar pelo menos uma espira, como pelo menos uma dentre uma ou mais espiras do transformador e dos eletroímãs, como pelo menos um dentre a espira do circuito de espiras do transformador da bomba EM 401a e a espira dos eletroímãs do circuito eletromagnético da bomba EM 403c.

[0218] O SunCell® pressurizado com um conversor MHD pode operar sem depender da gravidade. As bombas EM, tal como a 400, como as bombas EM resfriadas a ar em dois estágios 400b, podem estar localizadas em uma posição para otimizar pelo menos um dentre o acondicionamento e a minimização dos conduítes ou linhas de entrada e saída de metal fundido. Em um exemplo de acondicionamento, as bombas EM estão localizadas no ponto intermediário entre a extremidade da seção de condensação do MHD 309 e a base dos reservatórios 5c (FIGURAS 12–19).

[0219] Em uma modalidade, o meio de trabalho compreende um metal e um gás que é solúvel no metal fundido a baixa temperatura e insolúvel ou menos solúvel no metal fundido a temperatura elevada. Em uma modalidade exemplar, o meio de trabalho pode compreender pelo menos um dentre prata e oxigênio. Em uma modalidade, a pressão de oxigênio na câmara da célula de reação é mantida a uma pressão que impede substancialmente o metal fundido, como a forma de prata, de sofrer vaporização. O plasma de reação de hidrino pode aquecer o oxigênio e a prata líquida a uma temperatura desejada, tal como de 3.500 K. A mistura que compreende o meio de trabalho pode fluir sob pressão, como de 25 atm, através de um canal MHD cônico em que a pressão e a temperatura caem conforme a energia térmica é convertida em eletricidade. À medida que a temperatura cai, o metal fundido, como prata, pode absorver o gás, como oxigênio. Em seguida, o líquido pode ser bombeado de volta para o reservatório para ser reciclado na câmara da célula de reação, onde o aquecimento do plasma libera o oxigênio para aumentar e manter a pressão desejada da câmara da célula de reação e a condição de temperatura para conduzir a conversão MHD. Em

uma modalidade, a temperatura da prata na saída do canal MHD é de cerca do ponto de fusão do metal fundido, onde a solubilidade do oxigênio é de cerca de 20 cm^3 de oxigênio (TPP) para 1 cm^3 de prata a um atm de O_2. A potência de bombeamento de recirculação do líquido que compreende o gás dissolvido pode ser muito menor do que a do gás livre. Além disso, os requisitos de resfriamento de gás e o volume do conversor MHD para diminuir a pressão e a temperatura do gás livre durante um ciclo de energia termodinâmica podem ser substancialmente reduzidos.

[0220] Em uma modalidade, o metal do meio de trabalho pode formar um aerossol de nanopartículas. A formação de nanopartículas pode ser facilitada pela presença de um gás em contato com o meio de trabalho. Em uma modalidade, o metal fundido e o meio de trabalho compreendem prata que forma nanopartículas de prata na presença de oxigênio. As nanopartículas podem ser aceleradas no bocal do MHD 307, em que a energia cinética do jato em fluxo é convertida em eletricidade no canal MHD 308. A pressão de oxigênio pode ser suficiente para servir como um gás acelerador no bocal 307. Em uma modalidade, o aerossol de prata é um líquido quase puro acrescido de oxigênio na saída do bocal do MHD 307. A solubilidade dos átomos de oxigênio na prata aumenta à medida que a temperatura se aproxima do ponto de fusão em que a solubilidade é de até uma fração molar de 25% [J. Assal, B. Hallstedt e L. J. Gauckler, “Thermodynamic assessment of the silver-oxygen system”, J. Am Ceram. Soc. Vol. 80 (12), (1997), pp. 3054-3060]. A prata absorve o oxigênio no canal MHD 308 como na saída e a prata líquida e o oxigênio são recirculados. O oxigênio pode ser recirculado como gás absorvido em prata fundida. Em uma modalidade, o oxigênio é liberado na câmara de reação 5b31 para regenerar o ciclo. A temperatura da prata acima do ponto de fusão também serve como meio de recirculação ou regeneração da energia térmica. Em uma modalidade, o aerossol de prata é acelerado em um bocal convergente-divergente como um bocal de Laval por um gás como pelo menos um dentre oxigênio e um gás nobre como argônio ou hélio. O meio de trabalho do MHD,

o meio que flui através do canal MHD que possui energia cinética e condutividade elétrica, pode compreender aerossol de prata, gás acelerador e vapor de prata. No caso em que o meio de trabalho compreende oxigênio e prata, o meio de trabalho pode ainda compreender oxigênio absorvido em prata líquida, que pode estar na forma de partículas líquidas finas ou aerossol. O meio de trabalho pode ser recirculado no final do canal MHD por um recirculador, como pelo menos um dentre uma bomba, tal como uma bomba EM 312 e um compressor (FIGURA 22). O recirculador compreendendo uma bomba de gás de retorno MHD ou compressor 312a pode compreender ainda um conduíte de gás de retorno do MHD 310a, um reservatório de gás de retorno do MHD 311a, e um tubo de gás de retorno do MHD 313a. O recirculador pode recircular pelo menos um dentre vapor de prata, prata líquida e gás acelerador no meio de trabalho. A prata líquida pode estar na forma de aerossol, de modo que a recirculação de quase todas as espécies do meio de trabalho possa ser feita com uma bomba de gás, como um compressor. O gás acelerador pode compreender oxigênio para fazer com que a prata líquida forme ou seja mantida como aerossol de prata para facilitar a recirculação pela bomba de gás. O gás acelerador, como oxigênio, pode compreender a maior parte da fração molar do meio de trabalho. A fração molar do gás acelerador pode estar em pelo menos uma faixa dentre cerca de 50–99% em mol, 50–95% em mol e 50–90% em mol. Em outra modalidade, a prata líquida pode ser recirculada por uma bomba de metal líquido, como uma da publicação, tal como uma bomba EM. Em uma modalidade, pelo menos um dentre gás acelerador, como oxigênio e metal líquido, como prata, é recirculado pela bomba EM, em que o oxigênio pode ser absorvido pela prata fundida para facilitar o bombeamento pela bomba EM.

[0221] Em uma modalidade, o conversor MHD compreende um tipo de conversor magneto-hidrodinâmico de metal líquido (LMMHD), em que a energia cinética do jato de plasma condutor do bocal 307 é convertida em eletricidade pelo canal MHD 308. A potência de entrada de energia cinética P_{input} na entrada do canal MHD é dada

pela vazão de massa $\dot{m}$ em sua velocidade v.

$$P_{input} = 0.5\dot{m}v^2 \tag{39}$$

A força de Lorentz F_L é proporcional à velocidade do fluxo:

$$dF_L = \sigma v B^2 \left(1 - W\right) d^2 dx \tag{40}$$

em que σ é a condutividade do fluxo, v é a velocidade do fluxo, B é a intensidade do campo magnético, W é o fator de carga (razão do campo elétrico através da carga para o campo elétrico de circuito aberto), d é a separação do eletrodo, e dx é a distância diferencial ao longo o eixo do canal. Então, a mudança na velocidade com a distância do canal é proporcional à distância do canal

$$\frac{dv}{dx} = -kv \tag{41}$$

em que como uma aproximação k é tratada como uma constante determinada pelas condições de limite:

$$v = v_0 e^{-kx} \tag{42}$$

A constante é determinada a partir da força de Lorentz (Eq. (40)) que pode ser reorganizada como

$$\frac{dF_L}{dx} = \frac{dm}{dt}\frac{dv}{dx} = \dot{m}\frac{dv}{dx} = \sigma v B^2 \left(1 - W\right) d^2 \tag{43}$$

ou

$$\frac{dv}{dx} = \frac{\sigma v B^2 \left(1 - W\right) d^2}{\dot{m}} \tag{44}$$

Ao comparar a Eq. (6) com a Eq. (3) a constante é

$$k = \frac{\sigma B^2 \left(1 - W\right) d^2}{\dot{m}} \tag{45}$$

Ao combinar a Eq. (42) e Eq. (45), a velocidade em função da distância do canal é

$$v = v_0 e^{-\frac{\sigma B^2 \left(1 - W\right) d^2}{\dot{m}} x} \tag{46}$$

A conversão de energia elétrica $P_{electric}$ no canal MHD é dada por

$$P_{electric} = VI = ELJ = EL\sigma\left(vB - E\right)A$$
$$= vBWL\sigma\left(vB - WvB\right)d^2 = \sigma v^2 B^2 W\left(1 - W\right)Ld^2 \quad (47)$$

em que V é a tensão do canal MHD, I é a corrente do canal, E é o campo elétrico do canal, J é a densidade da corrente do canal, L é o comprimento do canal e A é a área da seção transversal da corrente (a área de saída do bocal). Das Eqs. (46–47), a potência correspondente do canal é dada por

$$P = \int_0^L \sigma v_0^2 e^{-\frac{2\sigma B^2\left(1-W\right)d^2}{\dot{m}}x} B^2 W\left(1-W\right)d^2\,dx$$
$$= 0.5\dot{m}v_0^2 W\left(1 - e^{-\frac{2\sigma B^2\left(1-W\right)d^2}{\dot{m}}L}\right) \quad (48)$$

[0222] A condutividade do plasma de vapor de prata de alta pressão foi determinada pela modelagem ANSYS como sendo 10^6 S/m. No caso em que o fluxo de massa $\dot{m}$ é 0,5 kg/s, a condutividade σ é conservadoramente 500.000 S/m, a velocidade é 1.200 m/s, o fluxo magnético B é 0,1 T, o fator de carga W é 0,7, a largura do canal e a separação do eletrodo d do canal retangular quadrado reto exemplar é de 0,1 m e o comprimento do canal L é de 0,25 m, os parâmetros de energia são:

$$P_{input} = 360\ kW \quad (49)$$

$$P_{electric} = 252\ kW \quad (50)$$

$$P_{density} = 101\ kW/liter \quad (51)$$

$$\eta = \frac{P_{electric}}{P_{input}} = 70\ \% \quad (52)$$

em que $P_{electric}$ é a energia elétrica aplicada a uma carga externa, $P_{density}$ é a densidade de energia e η é a eficiência de conversão de energia. Com alta velocidade e condutividade, a eficiência converge para o fator W do canal MHD, e a potência aplicada à carga converge para a energia cinética de entrada para o canal MHD $0.5\dot{m}v^2$ vezes o fator de carregamento W do canal MHD. O restante da energia é dissipado na resistência do canal MHD interno.

[0223] Em uma modalidade, o ciclo do tipo LMMHD compreende formas de fluxo de jato potentes e altamente condutoras, compreendendo um aerossol de nanopartículas de prata e oxigênio, que é facilitado por duas propriedades únicas de prata e oxigênio no ponto de fusão da prata. Na presença de oxigênio, a prata fundida forma nanopartículas em altas taxas que se comportam de maneira semelhante a moléculas grandes que obedecem aproximadamente à lei dos gases ideais. O aerossol se forma no ponto de fusão da prata (962 °C); assim, um gás molecular com propriedades termodinâmicas semelhantes às dos átomos de prata pode se formar a uma temperatura bem abaixo do ponto de ebulição da prata de 2162 °C. Esta propriedade única da prata facilita um ciclo termodinâmico evitando a entrada de calor muito alto de valorização de 254 kJ/mol que se perde no canal MHD final durante a condensação e reciclagem em um ciclo de expansão de gás tradicional. Além disso, a prata fundida em sua temperatura de ponto de fusão pode absorver uma enorme quantidade de gás oxigênio que pode se dissolver na fusão no final do canal MHD e ser eletromagneticamente (EM) bombeado com a prata fundida, para ser recirculado na câmara da célula de reação. A alta temperatura na câmara da célula de reação faz com que o oxigênio seja liberado para servir como o gás acelerador do oxigênio resultante e do aerossol de prata. A energia térmica liberada pela reação de hidrino na câmara da célula de reação causa um aumento de alta pressão, e um jato de plasma de prata de alta potência surge no bocal do MHD e entra no canal MHD, onde ocorre a conversão MHD de energia cinética para elétrica. A eficiência pode ser muito alta, pois (i) a eficiência do canal se aproxima do fator de carregamento, conforme mostrado pela Eq. (52), (ii) a energia cinética residual que é dissipada no canal aquece o aerossol que é conservado como uma adição ao inventário de energia térmica do aerossol que é condensado ou coalescido no final do canal MHD e retornado com o inventário térmico total para a câmara da célula de reação, e (iv) o gás acelerador é devolvido por bombeamento eletromagnético de potência muito baixa do metal fundido que transporta o

gás em solução, em vez de por compressão de gás inter-resfriado de múltiplos estágios com alto consumo de energia. A potência da bomba P_{pump} para o fluxo de aerossol de prata de 0,5 kg/s que pode fornecer 252 kW de eletricidade (Eq. (50)) é dada pelo produto do fluxo de massa $\dot{m}$ vezes a pressão da câmara de reação P de 5 x 10^5 N/m^2 (Eq. (56)), dividido pela densidade ρ de prata 10,5 g/cm^3:

$$P_{pump} = \frac{\dot{m}P}{\rho} = 24\ W \qquad (53)$$

[0224] A solubilidade do oxigênio à pressão atmosférica em prata aumenta à medida que a temperatura se aproxima do ponto de fusão em que a solubilidade é de até cerca de 40 a 50 volumes de oxigênio por volume de prata (FIGURA 23). Além disso, a solubilidade do oxigênio na prata aumenta com a pressão atmosférica do oxigênio em equilíbrio com o oxigênio dissolvido. Uma alta fração molar de oxigênio na prata pode ser alcançada em alta pressão de O_2, conforme demonstrado por J. Assal, B. Hallstedt e L. J. Gauckler, "Thermodynamic assessment of the silver-oxigênio system" (Avaliação termodinâmica do sistema prata-oxigênio), J. Am Ceram. Soc. Vol. 80 (12), (1997), pp. 3054-3060. Por exemplo, existe uma eutética entre Ag e Ag_2O a uma temperatura de 804 K, uma pressão parcial de oxigênio de 526 bar (5,26 x 10^7 Pa) e uma fração molar de oxigênio na fase líquida de 0,25.

[0225] A incorporação de átomos de oxigênio na prata é drasticamente aumentada além do que pode ser alcançado por solvatação gasosa a uma dada pressão de oxigênio e temperatura de prata pela conversão de oxigênio molecular em oxigênio atômico [A. de Rooij, “The oxidation of silver by atomic oxygen” (A oxidação da prata pelo oxigênio atômico), Product Assurance and Safety Department, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA Journal 1989, (Vol. 13), pp. 363-382]. A relação da solubilidade do oxigênio na prata líquida é aproximadamente proporcional à pressão do oxigênio gasoso à ½ potência, uma vez que o oxigênio é absorvido pela prata como atômico. Quando átomos de O em vez de moléculas de O_2 estão envolvidos na reação de oxidação com prata, o AgO e o Ag_2O são termodinamicamente estáveis, mesmo a

pressões muito baixas de O_2, AgO é mais estável que Ag_2O e é termodinamicamente possível a oxidação de Ag_2O em AgO, o que pode ser impossível com moléculas de O_2. Para explorar a solubilidade superior de átomos de O durante o ciclo MHD, o jato de plasma do canal MHD pode ser mantido pela reação de hidrino para manter a formação de átomos de O a partir de moléculas de O_2. Uma composição como a eutética compreendendo 0,25 de fração molar de oxigênio incorporado na prata fundida pode ser formada no final do canal MHD e bombeada para a câmara da célula de reação para reciclar a prata e o oxigênio. O ciclo MHD compreende ainda a liberação do oxigênio na câmara da célula de reação, com um aumento drástico de temperatura e pressão devido à reação de plasma de hidrino seguida por expansão isentálpica na seção de bocal do MHD para formar um jato de aerossol e fluxo quase isobárico do jato no canal MHD.

[0226] Para converter com sucesso o inventário de energia térmica e pressão-volume na câmara da célula de reação em energia cinética no canal MHD por expansão isentrópica, o oxigênio deve efetivamente acelerar a prata no bocal convergente-divergente. Um dos principais modos de falha do LMMHD é o deslizamento do gás acelerador pelas grandes partículas de metal líquido. Idealmente, as partículas de metal se comportam como moléculas, e a conversão da energia térmica em energia cinética do jato de plasma que flui para o canal MHD obedece aproximadamente às leis dos gases ideais para a expansão isentrópica, o meio mais eficiente possível. Considere o caso em que a atmosfera da câmara da célula de reação é oxigênio, o metal fundido injetado é prata e o oxigênio promove a formação de um aerossol de nanopartículas de prata. As nanopartículas de prata estão no regime molecular livre quando são pequenas em comparação com o caminho médio livre do gás em suspensão. Matematicamente, o número Knudsen K_n dado por

$$K_n = \frac{2\lambda}{d_{Ag}} \tag{54}$$

é tal que $K_n >> 1$ em que λ é o caminho médio do gás oxigênio em suspensão

e d_{Ag} é o diâmetro da partícula de prata. Conforme Levine [I. Levine, Physical Chemistry, McGraw-Hill Book Company, Nova York, (1978), pp. 420–421.], o caminho médio λ_A de um gás A de diâmetro d_A colidindo com um segundo gás B de diâmetro d_B e fração molar f_B é dado por

$$\lambda_A = \frac{k_B T}{\pi\left[\frac{d_A}{2}+\frac{d_B}{2}\right]^2 f_B P} \quad (55)$$

[0227] Para os parâmetros de gás de 6000 K de temperatura T, 5 atmosferas (5 x 10^5 N/m^2) de pressão P, 25% molar de oxigênio correspondendo a uma fração f_{O2} de gás de 0,25 e 75% molar de prata correspondendo a uma fração f_{Ag} de gás de prata de 0,75, o caminho médio λ_{O_2} do oxigênio gás em suspensão de diâmetro molecular d_{O_2} de 1,2 x $^{10\text{-}10}$ m colidindo com uma partícula de prata d_{Ag} de diâmetro de 5 x 10^{-9} m dado pela Eq. (55) é

$$\lambda_{O_2} = \frac{k_B T}{\pi\left[\frac{d_{O_2}}{2}+\frac{d_{Ag}}{2}\right]^2 f_{Ag} P} = 2{,}5\ x\ 10^{-9}\ m \quad (56)$$

em que k_B é a constante de Boltzmann. O regime molecular está praticamente satisfeito para partículas de aerossol de prata com um diâmetro de 5 nm, correspondendo a cerca de 3800 átomos de prata. Nesse regime, as partículas interagem com o gás em suspensão através de colisões elásticas com as moléculas de gás. Assim, as partículas se comportam de maneira semelhante às moléculas de gás, em que as partículas e moléculas de gás estão em movimento contínuo e aleatório, não há perda ou ganho de energia cinética quando uma partícula colide e a energia cinética média é a mesma para partículas e moléculas, e a energia cinética média é uma função da temperatura comum.

[0228] Em um exemplo do ciclo termodinâmico MHD: (i) nanopartículas de prata se formam na câmara da célula de reação em que as nanopartículas podem ser transportadas por pelo menos um dentre a termoforese e os gradientes térmicos que as selecionam no regime molecular; (ii) a reação de plasma de hidrino na presença do O liberado forma alta temperatura e pressão 25% molar de O e 70% molar de gás de nanopartículas de prata que flui para a entrada do bocal; (iii) 25% molar de O e

75% molar de gás de nanopartículas de prata sofrem expansão do bocal; (iv) a energia cinética resultante do jato é convertida em eletricidade no canal MHD; (v) as nanopartículas aumentam de tamanho no canal MHD e coalescem para o líquido de prata no final do canal MHD; (vi) a prata líquida absorve 25% molar de O; e (vii) as bombas EM bombeiam a mistura líquida de volta para a câmara da célula de reação.

[0229] Para uma mistura gasosa de nanopartículas de prata e oxigênio, a temperatura das nanopartículas de prata e oxigênio no regime molecular livre é a mesma, de modo que as equações de gás ideais se aplicam para estimar a aceleração da mistura de gás na expansão do bocal em que a mistura de O_2 e nanopartículas têm uma energia cinética comum na temperatura comum. A aceleração da mistura de gases compreendendo nanopartículas de metal fundido, como nanopartículas de prata, em um bocal divergente-convergente pode ser tratada como a expansão isentrópica do gás/vapor ideal no bocal convergente-divergente. Dada a temperatura de estagnação T_0, pressão de estagnação p_0, constante de gás R_v e razão de calor específico k, os parâmetros termodinâmicos podem ser calculados usando-se as equações de Liepmann e Roshko [Liepmann, HW. e A. Roshko Elements of Gas Dynamics, Wiley (1957)]. A velocidade sônica de estagnação c_0 e a densidade ρ_0 são dadas por

$$c_0 = \sqrt{kR_v T_0}, \qquad \rho_0 = \frac{p_0}{R_v T_0} \tag{57}$$

[0230] As condições da garganta do bocal (número Mach $Ma^* = 1$) são dadas por:

$$T^* = \frac{T_0}{1+\frac{(k-1)}{2}}, \qquad p^* = \frac{p_0}{\left[1+\frac{(k-1)}{2}\right]^{k/(k-1)}}, \qquad \rho^* = \frac{p^*}{R_v T^*}$$

$$c^* = \sqrt{kR_v T^*}, \qquad u^* = c^*, \qquad A^* = \frac{m}{\rho^* u^*} \tag{58}$$

em que u é a velocidade, m equivale ao fluxo de massa e A é a área da seção transversal do bocal. As condições de saída do bocal (número Mach de saída = Ma)

são dadas por:

$$T = \frac{T_0}{1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2}, \quad p = \frac{p_0}{\left[1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2\right]^{k/(k-1)}}, \quad \rho = \frac{p}{R_v T}$$

$$c = \sqrt{kR_v T}, \quad u = cMa, \quad A = \frac{m}{\rho u} \tag{59}$$

[0231] Devido ao alto peso molecular das nanopartículas, os parâmetros de conversão MHD são semelhantes aos de LMMHD em que o meio de trabalho do MHD é denso e se desloca a baixa velocidade em relação à expansão gasosa.

[0232] Dada a capacidade da prata de formar nanopartículas adequadas no regime molecular e absorver uma massa adequada de oxigênio para reciclar o gás acelerador, neste caso, o oxigênio, sem o uso de turbo-máquinas, a viabilidade do ciclo MHD de aerossol de nanopartículas de prata e oxigênio dependem de a cinética da taxa de formação de aerossol e a taxa em que o oxigênio pode ser absorvido e desgaseificado da prata fundida. Foram realizados estudos cinéticos correspondentes e a cinética foi considerada adequada. Em uma modalidade, outro metal, como gálio metálico e nanopartículas de gálio, pode ser substituído por prata metálica e nanopartículas de prata.

[0233] Em uma modalidade, a solubilidade do oxigênio na prata pode ser aumentada além do que pode ser alcançado por solvatação gasosa a uma dada pressão de oxigênio pela aplicação de pelo menos um dentre um campo elétrico, um potencial elétrico e um plasma à prata fundida. Em uma modalidade, pode-se aplicar eletrólise ou plasma à prata fundida para aumentar a solubilidade de O_2 na prata líquida, em que a prata fundida pode compreender uma eletrólise ou eletrodo de plasma. A aplicação de pelo menos um dentre um campo elétrico, um potencial elétrico e um plasma à prata fundida como uma aplicação de eletrólise de O_2 ou plasma pode também aumentar a taxa em que O_2 se dissolve na prata. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender uma fonte de pelo menos um dentre um campo elétrico, um potencial

elétrico e um plasma para a prata fundida. A fonte pode compreender eletrodos e pelo menos uma dentre uma fonte de energia elétrica e energia de plasma, como descarga luminescente, RF ou energia de plasma de micro-ondas. A prata fundida pode compreender um eletrodo como um cátodo. Prata fundida ou sólida pode compreender o ânodo. O oxigênio pode ser reduzido no ânodo e reagir com a prata a ser absorvida. Em outra modalidade, a prata fundida pode compreender um ânodo. A prata pode ser oxidada no ânodo e reagir com oxigênio para causar absorção de oxigênio.

[0234] Em uma modalidade, o SunCell® compreende ainda um sensor de oxigênio e um sistema de controle de oxigênio, como um meio para pelo menos um dentre diluir o oxigênio com um gás nobre e bombear o gás nobre. O primeiro pode compreender pelo menos um dentre um tanque de gás nobre, uma válvula, um regulador e uma bomba. O último pode compreender pelo menos um dentre uma válvula e bomba.

[0235] A atmosfera na seção de condensação do MHD 309 pode compreender uma pressão de vapor de prata muito baixa e pode compreender predominantemente oxigênio. A pressão de vapor de prata pode ser baixa devido a uma temperatura operacional baixa, como em pelo menos uma faixa dentre cerca de 970 °C a 2.000 °C, 970 °C a 1.800 °C, 970 °C a 1.600 °C e 970 °C a 1.400 °C. O SunCell® pode compreender um meio para remover qualquer aerossol de prata na seção de condensação do MHD 309. Os meios de remoção do aerossol podem compreender um meio para coalescer o aerossol de prata, como um separador de ciclone. O separador de ciclone pode compreender o reservatório de retorno do MHD 311 ou o reservatório de gás de retorno do MHD 311a. A prata compreendendo oxigênio dissolvido pode ser recirculada para a câmara da célula de reação 5b31 por bombeamento em que a bomba pode compreender uma bomba eletromagnética. A temperatura mais alta e a ausência de pelo menos um dentre um campo elétrico, um potencial elétrico e um plasma aplicado à prata fundida podem fazer com que o oxigênio seja liberado

da prata na câmara da célula de reação. Em uma modalidade exemplar, a pressão da prata é muito baixa na seção de condensação do MHD devido a uma temperatura operacional baixa, como cerca de 1.200 °C, e um separador de ciclone é usado para coalescer o aerossol de prata em líquido de prata, que então serve como eletrodo negativo para eletrolisar O_2 na prata líquida.

[0236] Em uma modalidade, um ciclo MHD compreende expansão isentálpica na seção de bocal do MHD 307 para formar um jato de aerossol e um fluxo isobárico do jato no canal MHD 308. O aerossol pode ser acelerado no bocal 307 por um gás acelerador, como pelo menos um dentre H_2, O_2, H_2O ou um gás nobre. Em uma modalidade, a pressão do gás acelerador na seção de condensação do MHD 309 é capaz de manter o plasma do gás acelerador, em que a razão das pressões do gás acelerador na câmara de reação e na seção de condensação do MHD é maior que um. A razão de pressão pode estar em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1,5 a 1.000, 2 a 500 e 10 a 20. Exemplos de pressão do gás acelerador de oxigênio na câmara de reação e na seção de condensação do MHD estão na faixa de cerca de 1 a 10 atm e 0,1 a 1 atm, respectivamente. A câmara da célula de reação pode compreender parte do O liberado e mantido pelo plasma versus O_2, para aumentar a fase de vapor com um aumento correspondente na energia cinética do jato causada pelo acelerador. Parte do O pode recombinar para O_2 em pelo menos um dentre o canal MHD 308 e as seções de condensação do MHD 309 para aumentar o gradiente de pressão da câmara da célula de reação 5b31 para a seção de condensação do MHD 309, para aumentar a energia cinética do jato e a energia elétrica convertida. A temperatura do gás de pelo menos uma dentre a câmara da célula de reação e a seção de condensação do MHD pode estar em uma faixa na qual a pressão de vapor de metal é baixa, como abaixo de 2.200 °C no caso do vapor de prata. Em uma modalidade, a fração molar do gás acelerador, como o oxigênio, em comparação com o metal fundido, como a prata, está em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1 a 95% molar, 10 a 90%

molar, e 20 a 90% molar. O gás acelerador com a maior % molar pode fornecer uma energia cinética de jato superior na saída do bocal do MHD 307.

[0237] Numa modalidade, o aerossol pode compreender nanopartículas de metal fundido, como nanopartículas de prata ou gálio. As partículas podem ter um diâmetro de pelo menos um dentre as faixas de cerca de 1 nm a 100 micra, 1 nm a 10 micra, 1 nm a 1 mícron, 1 nm a 100 nm e 1 nm a 10 nm. Em uma modalidade, o meio de trabalho do conversor MHD compreende uma mistura de nanopartículas de metal, tais como nanopartículas de prata e um gás, como o gás oxigênio, que pode servir como pelo menos um dentre carreador ou gás auxiliar de expansão, e auxiliar na formação ou manutenção da estabilidade das nanopartículas. Em outra modalidade, o meio de trabalho pode compreender nanopartículas de metal. A atmosfera de nanopartículas pode ser mantida mantendo-se pelo menos uma dentre as temperaturas da célula e do plasma acima daquela que mantém a pressão de vapor das nanopartículas a uma pressão de vapor desejada, como uma em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1 a 100 atm, 1 a 20 atm e 1 a 10 atm. Pelo menos uma dentre as temperaturas da célula e do plasma podem estar dentro de pelo menos uma faixa dentre cerca de 1.000 °C a 6.000 °C, 1.000 °C a 5.000 °C, 1.000 °C a 4.000 °C, 1.000 °C a 3.000 °C e 1.000 °C a 2.500 °C.

[0238] Em uma modalidade, a atmosfera na câmara da célula de reação 5b31 é mantida com parâmetros como pressão parcial de oxigênio, pressão total, temperatura, composição de gás, como a adição de um gás nobre, além de pelo menos um dentre oxigênio, hidrogênio e vapor de água, e vazão de reação de hidrino que facilitam a formação de partículas de aerossol de tamanho suficientemente pequeno para estar no regime molecular. Em uma modalidade, pelo menos um dentre os gases em suspensão, tal como prata, e as partículas, tais como partículas de prata, podem ser eletricamente carregadas para inibir colisões entre espécies, de modo que a mistura de gases exiba comportamento do regime molecular. A prata pode compreender um

aditivo para facilitar o carregamento de partículas. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um meio de seleção de tamanho para separar o fluxo de nanopartículas por tamanho. Os meios de seleção de tamanho podem manter seletivamente o fluxo de nanopartículas que tenham um tamanho apropriado para o comportamento do regime molecular na entrada do bocal 307. Os meios de seleção de tamanho para selecionar partículas do tamanho do regime molecular podem compreender um separador de ciclone, um separador por gravidade, um sistema defletor, uma tela, um separador por termoforese ou campo elétrico, como um separador de campo elétrico ou magnético, antes da entrada no bocal 307. No caso da termoforese, as partículas grandes podem exibir um efeito de termodifusão positiva, em que as nanopartículas grandes migram da região central quente do plasma para as paredes mais frias da célula da câmara de reação 5b31. O plasma pode ser seletivamente direcionado ou canalizado para fluir da porção central quente para a entrada do bocal.

[0239] As nanopartículas podem ser formadas pela vaporização do metal pela intensa densidade de potência local da reação de hidrino em uma seção da câmara da célula de reação 5b31, com resfriamento rápido em outra seção mais fria da câmara da célula de reação, em que a temperatura pode estar abaixo do ponto de ebulição do metal à pressão ambiente. Em uma modalidade, as nanopartículas tais como as nanopartículas de prata ou gálio podem se formar por vaporização e condensação do metal em uma atmosfera que compreende oxigênio, em que uma camada de óxido pode se formar nas superfícies das nanopartículas. A camada de óxido pode impedir a coalescência das nanopartículas no estado de aerossol. Pelo menos uma dentre a concentração de oxigênio, a taxa de vaporização do metal, a temperatura e a pressão da câmara da célula de reação e os gradientes de temperatura e pressão podem ser controlados para controlar o tamanho das nanopartículas. O tamanho pode ser controlado de modo que as nanopartículas sejam do tamanho do regime molecular. As nanopartículas podem ser aceleradas na seção do MHD 307, a energia cinética

correspondente pode ser convertida em eletricidade na seção do canal MHD 308, e as nanopartículas podem ser levadas a coalescer na seção de condensação do MHD 309. O SunCell® pode compreender uma superfície de coalescência na seção de condensação. As nanopartículas podem impactar a superfície de coalescência, coalescer e o metal líquido resultante, que pode compreender oxigênio absorvido, pode fluir para a bomba EM de retorno do MHD 312 para ser bombeado para a câmara da célula de reação 5b31.

[0240] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um meio de redução para reduzir, pelo menos parcialmente, a camada de óxido nas nanopartículas de metal. A redução pode permitir que as nanopartículas coagulem ou coalesçam. A coalescência pode permitir que o líquido resultante seja bombeado de volta para a câmara da célula de reação 5b31 pela bomba EM de retorno do MHD 312. Os meios de redução podem compreender uma fonte de hidrogênio atômico, tal como plasma de hidrogênio ou fonte de dissociador químico de hidrogênio atômico. A fonte de plasma pode compreender uma luminescência, arco, micro-ondas, RF ou outra fonte de plasma da publicação ou conhecida na técnica. A fonte de plasma de hidrogênio pode compreender uma fonte de plasma de descarga luminescente compreendendo uma pluralidade de microcátodos ocos que são capazes de operar em alta pressão, como uma atmosfera, como uma da publicação. O dissociador químico para servir como uma fonte de hidrogênio atômico pode compreender um dissociador de hidrogênio de metal nobre com suporte de cerâmica, tal como Pt em alumina ou esferas de sílica, como uma da publicação. O dissociador químico pode ser capaz de recombinar $H_2 + O_2$. O dissociador de hidrogênio pode compreender pelo menos um dentre (i) Pt, Ni, Rh, Pd, Ir, Ru, Au, Ag, Re, Cu, Fe, Mn, Co, Mo ou W com suporte de SiO2, (ii) Pt, Rh, Pd, Ir, Ru, Au, Re, Ag, Cu, Ni, Co, Zn, Mo, W, Sn, In, Ga com suporte de zeólita, e (iii) pelo menos um dentre óxidos de mulita, SiC, TiO_2, ZrO_2, CeO_2, Al_2O_3, SiO_2 e óxidos mistos como suporte de metais nobres, ligas de metais nobres, misturas de

metais nobres e metais de terra rara. O dissociador de hidrogênio pode compreender um bimetálico suportado, como um compreendendo Pt, Pd, Ir, Rh e Ru. Catalisadores bimetálicos exemplares do dissociador de hidrogênio são Pd-Ru, Pd-Pt, Pd-Ir, Pt-Ir, Pt-Ru, e Pt-Rh suportados. O dissociador catalítico de hidrogênio pode compreender um material de um conversor catalítico, como Pt suportada. Os meios de redução podem estar localizados em pelo menos um dentre a seção de condensação do MHD 309 e o reservatório de retorno do MHD 311.

[0241] Em uma modalidade, o aerossol que é acelerado na seção do MHD 307 compreende uma mistura de gás, como pelo menos um dentre oxigênio, H_2 e um gás nobre, nanopartículas de prata ou gálio no regime molecular e partículas maiores, como partículas de prata ou gálio com diâmetro na faixa de cerca de 10 nm a 1 mm. Pelo menos um dentre o gás e as nanopartículas no regime molecular podem servir como gás carreador para acelerar as partículas maiores, à medida que pelo menos um dentre o gás e as nanopartículas no regime molecular acelera na seção do bocal do MHD 307. O gás e as nanopartículas no regime molecular podem compreender uma fração molar suficiente para obter uma conversão de energia cinética alta do inventário de pressão e energia térmica da mistura de aerossol na câmara da célula de reação 5b31. A porcentagem molar de gás e nanopartículas no regime molecular pode compreender pelo menos uma faixa dentre cerca de 1% a 100%, 5% a 90%, 5% a 80%, 5% a 70%, 5% a 60%, 5% a 50%, 5% a 40%, 5% a 30%, 5% a 20% e 5% a 10%.

[0242] Em uma modalidade, as nanopartículas podem ser transportadas por pelo menos um dentre termoforese ou gradientes e campos térmicos, tal como pelo menos um dentre campos elétrico e magnético. As nanopartículas podem ser carregadas para que o campo elétrico seja eficaz. O carregamento pode ser conseguido aplicando-se um revestimento como uma camada de óxido pela adição controlada de oxigênio.

[0243] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o aerossol de prata é coalescido e o plasma da reação de hidrino não é mantido na seção de condensação do MHD 309, de modo que a condutividade da atmosfera ambiente na seção de condensação do MHD 309 seja tal que um campo elétrico, potencial ou plasma possa ser aplicado ao gás oxigênio para fazer com que o oxigênio seja absorvido na prata, que é então reciclada para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um meio para aplicar uma descarga na fase de vapor na seção de condensação do MHD 309. A descarga pode compreender pelo menos um dentre luminescência, arco, RF, micro-ondas, laser e outros meios ou descargas para formação de plasma conhecidos na técnica que podem dissociar O_2 em O atômico. Os meios de descarga podem compreender pelo menos um dentre uma fonte de alimentação de descarga ou gerador de plasma, eletrodos de descarga ou pelo menos uma antena e penetrações na parede, como penetrações de eletrodos líquidos ou conectores de energia de acoplamento por indução. Em outra modalidade, a fonte de oxigênio atômico pode compreender um gerador hipertérmico, em que o O_2 absorve na superfície de uma membrana de prata, se dissocia em O atômico que se difunde através da membrana para fornecer átomos de O na superfície oposta. Os átomos de oxigênio podem ser dessorvidos e depois absorvidos pela prata fundida. Os meios de dessorção podem compreender um feixe de elétrons de baixa energia.

[0244] Em uma modalidade, uma descarga luminescente de alta pressão pode ser mantida por meio de uma descarga de microcátodo oco. A descarga do microcátodo oco pode ser sustentada entre dois eletrodos pouco espaçados, com aberturas de aproximadamente 100 micra de diâmetro. Descargas de corrente contínua exemplares podem ser mantidas até aproximadamente a pressão atmosférica. Em uma modalidade, plasmas de grande volume em alta pressão de gás podem ser mantidos através da sobreposição de descargas luminescentes individuais operando em paralelo. A densidade de elétrons no plasma pode ser aumentada a uma dada

corrente adicionando-se espécies como um metal, tal como o césio, com baixo potencial de ionização. A densidade de elétrons também pode ser aumentada pela adição de uma espécie como um material de filamento a partir do qual elétrons são emitidos termicamente, como pelo menos um dentre rênio metálico e outros emissores de elétrons térmicos por pistola de elétrons, como metais toriados ou metais tratados com césio. Em uma modalidade, a tensão do plasma é elevada de modo que cada elétron da corrente de plasma dê origem a múltiplos elétrons colidindo com pelo menos um dentre as partículas do aerossol de prata, o gás acelerador ou um gás ou espécies adicionados, tal como vapor de césio. A corrente de plasma pode ser pelo menos uma dentre CC ou CA. A energia CA pode ser transferida por uma fonte de alimentação por indução e um receptor, fora e dentro da câmara da seção de condensação do MHD, respectivamente.

[0245] Em uma modalidade, o conversor MHD pode compreender um reservatório, tal como o reservatório de retorno do MHD 311 ou o reservatório de gás de retorno do MHD 311a, para aumentar pelo menos um dentre o tempo de permanência e a área de prata para que o oxigênio seja absorvido na prata antes de reciclar para a câmara da célula de reação 5b31. O tamanho do reservatório pode ser selecionado para alcançar a absorção de oxigênio desejada. O reservatório de retorno do MHD 311, ou o reservatório de gás de retorno do MHD 311a, pode compreender ainda um separador de ciclone. O separador de ciclone pode coalescer partículas de aerossol de prata. O reservatório pode compreender uma câmara de eletrólise ou descarga de plasma.

[0246] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um meio para reduzir pelo menos parcialmente qualquer revestimento de óxido nas nanopartículas de metal, como nanopartículas de prata ou gálio. A remoção parcial da camada de óxido pode facilitar a coalescência das nanopartículas em uma região desejada do SunCell®, como na seção de condensação do MHD 309. A redução pode ser alcançada

pela reação das partículas com hidrogênio. O gás hidrogênio pode ser introduzido na seção de condensação do MHD a uma pressão e temperatura controladas para atingir uma redução pelo menos parcial. O SunCell® pode compreender um meio da publicação atual para manter um plasma compreendendo hidrogênio para reduzir pelo menos parcialmente os revestimentos de óxido. O oxigênio adicional que não é reduzido por hidrogênio pode ser absorvido no metal fundido coalescido para ser bombeado de volta para a câmara da célula de reação 5b31 para fornecer oxigênio para um ciclo de redução e formação de óxido de superfície das nanopartículas.

[0247] Em uma modalidade de um ciclo magneto-hidrodinâmico de líquido fechado, a aplicação mais simples da lei de Lorentz a um condutor móvel com eletrodos cruzados e um campo magnético sem partes móveis, o potencial de eficiência de conversão de energia MHD que se aproxima do fator de carga W (razão do campo elétrico através da carga para o campo elétrico de circuito aberto). Uma vez que a eficiência do MHD pode se aproximar de W = 1, a conversão elétrica da potência do plasma em eletricidade pode se aproximar da eficiência da conversão de energia térmica-pressão em cinética, em que as eficiências de bocal correspondentes de 99% foram realizadas. Exemplos de parâmetros operacionais são uma pressão de O_2 de fundo de pelo menos 100 atm, uma absorção de fração molar de O em prata na saída do canal MHD de 25% molar, N = 20 átomos de prata por nanopartícula, W = 0,98, uma vazão de massa de 1 kg/s, uma condutividade do gás de 10^6 S/m, um campo magnético uniforme de 2 T, e pressão, temperatura e velocidade de entrada igual a 1 atm, 1.000 K e 1.000 m/s, respectivamente. Esses parâmetros resultam na extração de 471 kW de potência MHD de um canal de 16 cm de comprimento com 4 cm^2 de seção transversal máxima e temperatura de saída de gás de 1.800 K em que o inventário de calor é recuperado por absorção de gás em prata fundida. A prata é reciclada com potência insignificante por meio de bombas eletromagnéticas sem partes móveis. O volume do canal é de 20,4 cm^3, então a densidade de potência MHD correspondente é de cerca

de 23,1 kW/cm^3 (23,1 MW/litro) que se compara muito favoravelmente com densidades de potência típicas na faixa de apenas cerca de 30 kW/litro para motores diesel pesados de alta velocidade de última geração. Em outras modalidades, um aumento em N, o número de átomos de prata por nanopartícula, resulta em um canal mais longo para alcançar conversão de energia semelhante devido à velocidade mais baixa para um inventário de energia cinética fixo e uma força de Lorentz de desaceleração reduzida correspondente.

[0248] Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender qualquer metal ou liga condutora conhecida na técnica. O metal fundido ou liga pode ter um baixo ponto de fusão. Exemplos de metais e ligas são liga de gálio, índio, estanho, zinco e Galinstan, em que um exemplo de uma mistura eutética típica é 68% Ga, 22% In e 10% Sn (em peso), embora as proporções possam variar entre 62–95% Ga, 5–22% In, 0–16% Sn (em peso). Em uma modalidade em que o metal pode ser reativo com pelo menos um dentre oxigênio e água para formar o óxido de metal correspondente, a mistura de reação de hidrino pode compreender o metal fundido, o óxido de metal e hidrogênio. O óxido de metal pode compreender um que se decompõe termicamente no metal para liberar oxigênio, como pelo menos um dentre os óxidos de Sn, Zn e Fe. O óxido de metal pode servir como fonte de oxigênio para formar o catalisador HOH. O oxigênio pode ser reciclado entre o óxido de metal e o catalisador HOH, em que o hidrogênio consumido para formar hidrino pode ser reabastecido. O material da célula pode ser selecionado de modo que seja não reativo à temperatura operacional da célula. Alternativamente, a célula pode ser operada a uma temperatura abaixo de uma temperatura na qual o material é reativo com pelo menos um dentre H_2, O_2 e H_2O. O material da célula pode compreender pelo menos um dentre aço inoxidável, uma cerâmica como nitreto de silício, SiC, BN, um boreto como YB_2, um silicieto e um óxido como Pyrex, quartzo, MgO, Al_2O_3 e ZrO_2. Em uma modalidade exemplar, a célula pode compreender pelo menos um dentre BN e carbono, em que a temperatura

operacional é inferior a cerca de 500 a 600 °C. Em uma modalidade, pelo menos um componente do sistema de energia pode compreender cerâmica, em que a cerâmica pode compreender pelo menos um dentre óxido de metal, alumina, zircônio, magnésio, háfnio, carbeto de silício, carbeto de zircônio, diboreto de zircônio, nitreto de silício e uma vitrocerâmica, como sistema $Li_2O \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema LAS), sistema $MgO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema MAS), sistema $ZnO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ (sistema ZAS).

[0249] Em uma modalidade, o metal de injeção pode ter um baixo ponto de fusão, como um que tenha um ponto de fusão abaixo de 700 °C, como pelo menos um dentre bismuto, chumbo, estanho, índio, cádmio, gálio, antimônio ou ligas como metal de Rose, Cerrosafe, metal de Wood, metal de Field, Cerrolow 136, Cerrolow 117, Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl e Galinstan. Pelo menos um componente, como os reservatórios 5c, pode compreender uma cerâmica como zircônio, alumina, quartzo ou pirex. A extremidade dos reservatórios pode ser metalizada para facilitar a conexão a uma placa de base de reservatório de metal ou base do conjunto da bomba eletromagnética 5kk1. A união entre o reservatório e a base do conjunto da bomba eletromagnética 5kk1 pode compreender brasagem ou solda, como solda de prata. Alternativamente, a união pode compreender uma vedação de flange gaxetada. As bombas EM podem compreender tubos da bomba EM metálicos 5k6, barramentos de bomba eletromagnética de ignição 5k2 e conexões de ignição, como barramentos de bomba eletromagnética de ignição 5k2a. Pelo menos uma dentre ignição e injeção de metal fundido pode ser acionada por corrente CC, em que as bombas de injeção podem compreender bombas EM CC. Pelo menos um dentre o tubo da bomba EM CC 5k6, o suporte de reservatório 5kk1, os barramentos de bomba EM 5k2 e os barramentos de ignição 5k2a podem compreender metal como aço inoxidável. Os barramentos de ignição 5k2a podem conectar-se a pelo menos um dentre o suporte de reservatório 5kk1 e o tubo da bomba EM CC 5k6. A câmara da célula de reação 5b31 pode compreender uma cerâmica como zircônio, alumina, quartzo ou pirex. Alternativamente, a câmara

da célula de reação 5b31 pode compreender carbono revestido com SiC. O SunCell® pode compreender risers de entrada 5qa, tais como aqueles com canais ou fendas manipulados de cima para baixo ou uma pluralidade de orifícios que controlam o fluxo do metal fundido que entra quando o nível do reservatório cai. O controle de fluxo pode servir para equilibrar os níveis dos reservatórios, evitando extremos de disparidade nos níveis. O nível inicial de preenchimento de metal fundido e a altura do fundo na entrada podem ser selecionados para definir as alturas máxima e mínima dos reservatórios.

[0250] Em uma modalidade, o metal fundido compreende gálio ou uma liga como a liga Ga-In-Sn. O SunCell® com um metal de baixo ponto de fusão, como um que se funde abaixo de 300 °C, pode compreender uma bomba mecânica para injetar o metal fundido na câmara da célula de reação 5b31. A bomba mecânica pode substituir a bomba EM, como a bomba EM de indução 400, por uma temperatura operacional abaixo da capacidade máxima de uma bomba mecânica, e uma bomba EM pode ser usada caso a temperatura operacional seja mais alta. Normalmente, as bombas mecânicas operam até um limite de temperatura de cerca de 300 °C; no entanto, as bombas de engrenagem de cerâmica operam até 1.400 °C. A operação em temperatura mais baixa, como abaixo de 300 °C, é adequada para aplicações de água quente e vapor de baixa pressão, em que o aquecedor SunCell® compreende um trocador de calor 114, tal como o mostrado na FIGURA 24. Os gases reagentes como H_2 e O_2 podem ser adicionados à célula como a câmara da célula de reação 5b31 por difusão, através de uma membrana permeável a gases 309d, a partir de um tanque 422 e linha 422.

[0251] Uma modalidade de aquecedor SunCell® ou gerador de energia térmica (FIGURA 24) compreende uma célula de reator esférica 5b31 com um trocador de calor semiesférico circunferencial 114 separado espacialmente, que compreende painéis ou seções 114a que recebem calor por radiação do reator esférico 5b4. Cada

painel pode compreender uma seção de uma superfície esférica definida por dois grandes círculos através dos polos da esfera. O trocador de calor 114 pode ainda compreender um coletor 114b, tal como um coletor toroidal com linhas de refrigerante 114c de cada um dos painéis 114a do trocador de calor, e um coletor de saída de líquido refrigerante 114f. Cada linha de refrigerante 114c pode compreender uma porta de entrada de líquido refrigerante 114d e uma porta de saída de líquido refrigerante 114e. O gerador de energia térmica pode ainda compreender um cilindro de gás 421 com entrada e saída 309e e um tubo de suprimento de gás 422 que atravessa a parte superior do trocador de calor 114 até a membrana permeável ao gás 309d na parte superior da célula esférica 5b31. O tubo de suprimento de gás 422 pode correr através do coletor de coleta de líquido refrigerante 114b na parte superior do trocador de calor 114. Em outra modalidade do aquecedor SunCell® (FIGURA 24), a câmara da célula de reação 5b31 pode ser cilíndrica com um trocador de calor cilíndrico 114. O cilindro de gás 421 pode estar fora do trocador de calor 114, em que o tubo de suprimento de gás 422 se conecta à membrana semipermeável a gás 309d na parte superior da câmara da célula de reação 5b31, passando através do trocador de calor 114. Pelo menos uma dentre a câmara da célula de reação 5b31, a membrana de gás 309d na parte superior da câmara da célula de reação 5b31, e pelo menos uma porção do tubo de suprimento de gás 422 pode compreender a cerâmica. O tubo de suprimento de gás 422 que se conecta ao cilindro de gás 421 pode compreender metal como aço inoxidável. As porções de cerâmica e metal do tubo de suprimento de gás 422 podem ser unidas por um flange cerâmica-metal do tubo de suprimento de gás 422a de metal que pode compreender uma gaxeta, tal como uma gaxeta de carbono. Água fria pode ser alimentada na entrada 113 e aquecida no trocador de calor 114 para formar o vapor que se coleta na caldeira 116 e sai na saída de vapor 111. O gerador de energia térmica pode ainda compreender injetores duplos de metais fundidos compreendendo bombas EM de indução 400, reservatórios 5c e câmara da

célula de reação 5b31.

[0252] Em uma modalidade como um SunCell® compreendendo um sistema de ignição compreendendo barramentos de ignição, tais como barramentos de bomba eletromagnética de ignição 5k2a, a resistência é diminuída para aumentar a corrente de ignição. O SunCell® pode compreender barramentos de ignição que entram em contato direto com o metal fundido, como aquele nos reservatórios 5c. Os barramentos de ignição podem compreender uma penetração da placa de suporte de reservatório 5b8 para entrar em contato direto com o metal fundido, tais como prata ou gálio. O SunCell® pode compreender eletrodos submersos, como injetores de bomba EM submersos 5k61, que propiciam contato elétrico direto entre o metal fundido do reservatório e o metal fundido do fluxo criado por uma bomba eletromagnética correspondente. O circuito elétrico de pelo menos um fluxo de metal fundido injetado pode compreender barramentos de ignição 5k2a que penetram na placa de suporte de reservatório 5b8, no metal fundido nos reservatórios 5c e no metal fundido do reservatório que entra em contato com o fluxo correspondente do injetor de bomba EM submerso, em que o fluxo penetra no metal fundido para alcançar a contracorrente ou o contra-eletrodo correspondente. O reservatório pode compreender uma área suficiente no topo para fornecer um volume suficiente de metal fundido para evitar flutuações na injeção, em que o volume é dado pela área vezes a profundidade de submersão. As flutuações na injeção podem ser devidas às variações na vazão do fluxo de metal fundido de retorno que afeta pelo menos uma dentre a profundidade de submersão e a turbulência na superfície do metal fundido.

[0253] Observou-se que a reação de plasma é muito mais intensa no eletrodo positivo, como previsto com base no mecanismo de corrente de arco de recombinação de íons para aumentar grandemente a cinética da reação de hidrino. Em um reator de hidrino, o eletrodo positivo é único em contraste com uma descarga luminescente, em que o eletrodo negativo está onde a energia do plasma é dissipada e a luminescência

é gerada. Em uma modalidade, um reservatório injetor 5c pode compreender ainda uma porção do fundo da câmara da célula de reação 5b31, em que o contraeletrodo pode compreender um reservatório não injetor que compreende uma extensão ou pedestal, compreendendo um eletrodo de pedestal elevado que é eletricamente isolado do reservatório injetor e do eletrodo. O contraeletrodo ou eletrodo não injetor pode compreender um isolante elétrico, e pode ainda compreender uma borda de gotejamento para fornecer o isolamento elétrico. O eletrodo injetor e o contraeletrodo podem ser negativo e positivo, respectivamente.

[0254] Em uma modalidade exemplar, o SunCell® com um eletrodo de pedestal mostrado na FIGURA 25 compreende (i) um reservatório injetor 5c, um tubo da bomba EM 5k6 e um bocal 5q, uma placa de base de reservatório 409a e um domo de câmara da célula de reação esférica 5b31, (ii) um reservatório não injetor compreendendo um reservatório de manga 409d que pode compreender o SS soldado ao hemisfério inferior 5b41, com um flange de reservatório de manga 409e na extremidade do reservatório de manga 409d, (iii) um reservatório de inserção de isolante elétrico 409f compreendendo um pedestal 5c1 na parte superior, e um flange de reservatório de inserção 409g na parte inferior que coincide com o flange do reservatório de manga 409e, em que o reservatório de inserção 409f, o pedestal 5c que pode ainda compreender uma borda de gotejamento 5c1a, e o flange do reservatório de inserção 409g pode compreender uma cerâmica, tal como nitreto de boro, BN estabilizado como BN-CaO ou BN-ZrO_2, carbeto de silício, alumina, zircônio, háfnio ou quartzo, ou um material refratário, tal como um carbono, cerâmica ou metal refratário com um revestimento protetor como Sic ou ZrB_2, como um compreendendo carbono SiC ou ZrB_2 e (iv) uma placa de base de reservatório 409a, tal como uma que compreende SS tendo uma penetração para o barramento de ignição 10a1 e um barramento de ignição 10, em que a placa de base é parafusada no flange do reservatório de manga 409e em sanduíche com o flange do reservatório de inserção 409g. Em uma

modalidade, o SunCell® pode compreender um invólucro a vácuo envolvendo e vedando hermeticamente a junta compreendendo o flange do reservatório de manga 409e, o flange do reservatório de inserção 409g e a placa de base de reservatório 409a, em que o invólucro é eletricamente isolado no barramento de eletrodo 10.

[0255] Em uma modalidade mostrada na FIGURA 25, um pedestal invertido 5c2 e barramento de ignição e eletrodo 10 são pelo menos um dentre orientados em torno do centro da célula 5b3 e alinhados no eixo z negativo, em que pelo menos um contraeletrodo injetor 5k61 injeta metal fundido do seu reservatório 5c na direção z positiva contra a gravidade, quando aplicável. O fluxo fundido injetado pode manter um revestimento ou pool de metal líquido no pedestal 5c2 contra a gravidade, quando aplicável. O pool ou revestimento pode cobrir pelo menos parcialmente o eletrodo 10. O pool ou revestimento pode proteger o eletrodo de danos, como corrosão ou derretimento. No último caso, a taxa de bombeamento EM pode ser aumentada para aumentar o resfriamento do eletrodo pelo fluxo de metal fundido injetado. A área e a espessura do eletrodo também podem ser aumentadas para dissipar os pontos quentes locais e impedir o derretimento. O pedestal pode ser positivamente polarizado e o eletrodo injetor pode ser negativamente polarizado. Em outra modalidade, o pedestal pode ser polarizado negativamente e o eletrodo injetor pode ser polarizado positivamente, em que o eletrodo do injetor pode ser submerso no metal fundido. O metal fundido, como o gálio, pode encher uma porção da porção inferior da câmara da célula de reação 5b31. Além do revestimento ou pool de metal fundido injetado, o eletrodo 10, como um eletrodo W, pode ser estabilizado contra corrosão pela polaridade negativa aplicada. Em uma modalidade, o eletrodo 10 pode compreender um revestimento, tal como um revestimento condutor inerte, como um revestimento de rênio, para proteger o eletrodo da corrosão. Em uma modalidade, o eletrodo pode ser resfriado. O resfriamento pode reduzir pelo menos uma dentre a taxa de corrosão do eletrodo e a taxa de formação de liga com o metal fundido. O resfriamento pode ser alcançado por

meios como o resfriamento da água da linha central. Em uma modalidade, a área de superfície do eletrodo invertido é aumentada aumentando-se o tamanho da superfície em contato com pelo menos um dentre o plasma e o fluxo de metal fundido do eletrodo injetor. Em uma modalidade exemplar, fixa-se uma grande placa ou copo à extremidade do eletrodo 10. Em outra modalidade, o eletrodo injetor pode ser submerso para aumentar a área do contraeletrodo. A FIGURA 25 mostra uma câmara da célula de reação esférica do exemplo. Outras geometrias como retangular, cúbica, cilíndrica e cônica estão dentro do escopo da publicação. Em uma modalidade, a base da câmara da célula de reação onde ela se conecta ao topo do reservatório pode ser inclinada como cônica para facilitar a mistura do metal fundido conforme ele entra na entrada da bomba EM. Em uma modalidade, pelo menos uma porção da superfície externa da câmara da célula de reação pode ser revestida com um material com alto coeficiente de transferência de calor, como o cobre, para evitar pontos quentes na parede da câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma pluralidade de bombas, tais como bombas EM, para injetar metal fundido nas paredes da câmara da célula de reação, para manter as paredes de metal fundido para impedir a fusão das paredes pelo plasma na câmara da célula de reação. Em outra modalidade, a parede da câmara da célula de reação compreende um revestimento 5b31a, como um BN, sílica fundida ou revestimento de quartzo para evitar pontos quentes. Uma câmara da célula de reação exemplar compreende uma seção superior cúbica revestida com placas de quartzo e uma seção esférica inferior que compreende uma bomba EM na parte inferior, em que a seção esférica promove a mistura do metal fundido.

[0256] Em uma modalidade, o reservatório de manga 409d pode compreender um isolante elétrico de encaixe apertado do barramento de ignição e o eletrodo 10, de modo que o metal fundido esteja contido quase que exclusivamente em um copo ou borda de gotejamento 5c1a na extremidade do pedestal invertido 5c2. O reservatório de inserção 409f que possui o flange de reservatório de inserção 409g pode ser

montado na câmara da célula 5b3 pela placa de base de reservatório 409a, reservatório de manga 409d e flange do reservatório de manga 409e. O eletrodo pode penetrar na placa de base de reservatório 409a através da penetração do eletrodo 10a1.

[0257] Em outra modalidade, o flange do reservatório de inserção 409g pode ser substituído por uma passagem montada na placa de base de reservatório 409a que isola eletricamente o barramento 10 da passagem e o pedestal 5c1 ou reservatório de inserção 409f da placa de base de reservatório 409a. A passagem pode ser soldada à placa de base de reservatório. Um exemplo de passagem direta compreendendo o barramento 10 é Solid Sealing Technology, Inc. #FA10775. O barramento 10 pode ser unido ao eletrodo 8 ou ao barramento 10, e o eletrodo 8 pode compreender uma única peça. A placa de base de reservatório pode ser diretamente unida ao flange do reservatório de manga. A união pode compreender flanges Conflat que são aparafusados juntos com uma gaxeta intermediária. Os flanges podem compreender gumes para vedar uma gaxeta metálica macia, como uma gaxeta de cobre. O pedestal de cerâmica 5c1 que compreende o reservatório de inserção 409f pode ser embutido em uma placa de base de reservatório rebaixada 409a, em que a união entre o pedestal e a placa de base de reservatório pode ser vedada com uma gaxeta, como uma gaxeta de carbono ou outra da publicação. O eletrodo 8 e o barramento 10 podem compreender uma placa terminal na extremidade onde ocorre a descarga de plasma. Pressão pode ser aplicada à gaxeta para selar a união entre o pedestal e a placa de base de reservatório, empurrando o disco que, por sua vez, aplica pressão à gaxeta. Os discos podem ser rosqueados na extremidade do eletrodo 8 de modo que girar o disco aplique pressão à gaxeta. A passagem direta pode compreender um colar anular que se conecta ao barramento e ao eletrodo. O colar anular pode compreender um parafuso de fixação estriado que, quando apertado, trava o eletrodo na posição. A posição pode ser travada com a gaxeta sob tensão aplicada pelo disco final puxando o pedestal para cima. O pedestal 5c1 pode compreender um eixo para acesso ao parafuso de

fixação. O eixo pode ser roscado de modo que possa ser vedado na superfície externa do pedestal com um parafuso de fixação não condutor, tal como um de cerâmica, como um BN, em que o pedestal pode compreender BN, como BN-ZrO_2. Em outra modalidade, o barramento 10 e o eletrodo 8 podem compreender hastes que podem se conectar pelas extremidades. Em uma modalidade, o pedestal 5c1 pode compreender dois ou mais eixos de metal roscados, cada um com um parafuso de fixação que se aperta contra o barramento 10 ou eletrodo 8 para travá-los no lugar sob tensão. A tensão pode fornecer pelo menos um dentre conexão do barramento 10 e eletrodo 8 e pressão sobre a gaxeta. Alternativamente, o contraeletrodo compreende um pedestal isolante encurtado 5c1, em que pelo menos um dentre o eletrodo 8 e o barramento 10 compreende roscas macho, uma arruela e uma porca fêmea correspondente de modo que a porca e a arruela apertem contra o pedestal isolante encurtado 5c1. Alternativamente, o eletrodo 8 pode compreender roscas macho em uma extremidade que se rosqueia em roscas fêmeas correspondentes, em uma extremidade do barramento 10, e o eletrodo 8 compreende ainda uma arruela fixa que aperta o pedestal isolante encurtado 5c1 contra a arruela do pedestal e a placa de base de reservatório 409a que pode ser embutida. O contraeletrodo pode compreender outros meios de fixação do pedestal, barramento e eletrodo que são conhecidos pelos peritos na técnica.

[0258] Em outra modalidade, pelo menos uma vedação, tal como (i) uma entre o flange do reservatório de inserção 409g e o flange do reservatório de manga 409e, e (ii) uma entre a placa de base de reservatório 409a e o flange do reservatório de manga 409e pode compreender uma vedação úmida (FIGURA 25). No último caso, o flange do reservatório de inserção 409g pode ser substituído por uma passagem montada na placa de base de reservatório 409a que isola eletricamente o barramento 10 da passagem e pedestal 5c1 da placa de base de reservatório 409a, e a vedação úmida pode compreender uma dentre a placa de base de reservatório 409a e a

passagem direta. Uma vez que o gálio forma um óxido com um ponto de fusão de 1.900 °C, a vedação úmida pode compreender óxido de gálio sólido.

[0259] Em uma modalidade, o hidrogênio pode ser fornecido à célula através de uma membrana permeável a hidrogênio, tal como uma membrana de Pd-Ag ou nióbio estruturalmente reforçada. A taxa de permeação de hidrogênio através da membrana permeável a hidrogênio pode ser aumentada mantendo o plasma na superfície externa da membrana permeável. O SunCell® pode compreender uma membrana semipermeável que pode compreender um eletrodo de uma célula de plasma, como um cátodo de uma célula de plasma. O SunCell® tal como aquele mostrado na FIGURA 25 pode compreender ainda uma câmara de plasma externa vedada que compreende uma parede externa que circunda uma porção da parede da célula 5b3 em que uma porção da parede metálica da célula 5b3 compreende um eletrodo da célula de plasma. A câmara de plasma vedada pode compreender uma câmara em torno da célula 5b3, como um invólucro em que a parede da célula 5b3 pode compreender um eletrodo de célula de plasma e o invólucro ou um eletrodo independente na câmara pode compreender o contraeletrodo. O SunCell® pode compreender ainda uma fonte de energia de plasma e sistema de controle de plasma, uma fonte de gás, como um tanque de fornecimento de gás hidrogênio, um monitor de fornecimento de hidrogênio regular e uma bomba de vácuo.

[0260] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um eliminador de interferência que compreende um meio para mitigar ou eliminar qualquer interferência entre a fonte de energia elétrica para o circuito de ignição e a fonte de energia elétrica para a bomba EM 5kk. O eliminador de interferência pode compreender pelo menos um dentre um ou mais elementos de circuito e um ou mais controladores para regular a tensão relativa, corrente, polaridade, forma de onda e ciclo de trabalho da ignição e correntes da bomba EM para impedir interferência entre as duas fontes correspondentes.

[0261] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um meio para aumentar a resistência elétrica do fluxo de metal na seção do injetor do tubo da bomba EM 5k61. Os meios para aumentar a resistência elétrica podem compreender um restritor de corrente elétrica que tem impacto mínimo do fluxo de metal na bomba EM 5kk. O resistor de corrente pode estar localizado próximo aos ímãs da bomba EM 5k4 e barramentos 5k2, de modo que o resistor de corrente não interfira com a corrente de ignição que possa ser fornecida ao fluxo de metal após o resistor de corrente. O resistor de corrente pode compreender uma pluralidade de palhetas ou pás que giram para permitir o fluxo de metal fundido. As pás ou palhetas podem ser montadas em um eixo. As pás ou palhetas podem compreender um isolante como uma cerâmica, tal como nitreto de boro, quartzo, alumina, zircônio, háfnio ou outra cerâmica da publicação ou conhecida na técnica. Em uma modalidade, o resistor de corrente compreende um interruptor de corrente elétrica para o fluxo da bomba EM, como uma roda de pás isolante, como uma cerâmica, como uma BN. O interruptor de corrente pode ser alojado em um invólucro que compreende uma saliência em uma seção da seção do injetor do tubo da bomba EM 5k61. O eixo da roda de pás pode ser fixado na parede interna do invólucro. Em uma modalidade para desviar a direção de rotação em uma direção desejada, pelo menos uma dentre as pás ou palhetas pode ser curva ou em forma de concha, e a roda de pás pode ser deslocada do centro do fluxo do tubo da bomba EM. O invólucro pode acomodar o deslocamento. Em uma modalidade, o interruptor de corrente pode estar localizado em pelo menos um dentre os lados de entrada e saída de injeção da bomba EM. O tubo da bomba EM pode compreender uma saliência ou uma seção com um diâmetro maior para formar um reservatório que compreende um regulador de fluxo para mitigar o fluxo instável de metal fundido. O reservatório pode receber o fluxo após sua passagem pelo interruptor de corrente. Em uma modalidade, o interruptor de corrente pode funcionar para interromper a corrente através do metal fundido nos tubos de entrada e saída da bomba EM.

O interruptor de corrente pode compreender uma única roda de pás que recupera o fluxo de entrada em uma metade e recebe o fluxo de saída na outra metade da roda. Cada um dos tubos de entrada e saída pode compreender reservatórios a jusante do fluxo. O fluxo de saída pode ajudar a girar a roda para facilitar o fluxo de entrada que pode ser obstruído pelo interruptor de corrente, como uma roda de pás.

[0262] Em uma modalidade, o restritor de corrente elétrica pode compreender uma rosca dentro do tubo da bomba EM, com seu eixo alinhado com a direção do fluxo, e compreendendo um passo helicoidal para facilitar uma rotação do eixo da rosca desejada com base na direção do fluxo. O restritor de corrente elétrica pode compreender um tipo de bomba de parafuso de Arquimedes em que a rotação é alcançada pelo fluxo de metal fundido impulsionado pela bomba EM. A rosca pode compreender um isolante elétrico, como uma cerâmica, como uma da publicação. A rosca pode compreender carbono ou um metal, como aço inoxidável, que pode ser revestido com um isolante, como uma cerâmica, como alumina, sílica, Mulita, BN ou outro da publicação. Para operação em baixa temperatura, tal como abaixo do ponto de fusão da rosca, a rosca pode compreender Teflon, Viton, Delrin, ou outro polímero de alta temperatura conhecido pelos versados na técnica. Em uma modalidade, a seção de tubo da bomba EM que aloja a rosca pode compreender um diâmetro maior com uma rosca de diâmetro maior correspondente para reduzir a resistência ao fluxo de metal fundido. A rosca pode compreender suportes para fixá-la no lugar e permitir que gire. Os suportes da rosca em cada extremidade podem compreender um mancal de deslizamento em um eixo através do diâmetro do invólucro da seção de tubo da bomba EM que aloja a rosca. Os suportes podem compreender um material resistente à formação de uma liga com gálio, como aço inoxidável, tântalo ou tungstênio. Em uma modalidade, a seção de injeção do tubo da bomba EM compreende um isolante elétrico, como uma cerâmica. O bocal pode ser submerso para preferencialmente fazer um contato elétrico entre a energia de ignição e o fluxo de metal fundido injetado

correspondente.

[0263] Em uma modalidade, o SunCell® compreende pelo menos uma bomba EM com uma fonte de alimentação correspondente e pelo menos um sistema de ignição e uma fonte de alimentação correspondente. Em uma modalidade, as fontes de energia correspondentes são de frequências diferentes, de modo que a energia de ignição de seu fornecimento seja desacoplada da energia da bomba EM de seu fornecimento quando existe um circuito de condução comum, tal como aquele que tem o metal fundido como um contato elétrico comum. Em uma modalidade exemplar, uma bomba EM de condução CA pode desacoplar de uma corrente de ignição de condução CC, ou uma bomba EM de condução CC pode desacoplar de uma corrente de ignição de condução CA. Alternativamente, pelo menos uma dentre a bomba EM e a corrente de ignição pode compreender uma corrente CA de indução mantida pelo transformador CA correspondente, em que vários transformadores são projetados para não acoplar. O acoplamento elétrico também pode ser eliminado em uma modalidade que compreende uma bomba mecânica, tal como um acoplada magnética, de impulsor, de pistão, magnética rotativa, peristáltica, ou outro tipo de bomba mecânica conhecida na técnica, ou uma bomba EM de indução linear, em que a frequência da corrente de ignição e o fornecimento correspondente compreendem qualquer frequência, e a corrente pode ser do tipo de condução ou indução.

[0264] O SunCell® pode ainda compreender um conversor fotovoltaico (PV) e uma janela para transmitir luz ao conversor fotovoltaico. Em uma modalidade mostrada nas FIGURAS 26–27, o SunCell® compreende uma câmara da célula de reação 5b31 com uma seção transversal cônica ao longo do eixo vertical, e uma janela fotovoltaica 5b4 no ápice do cone. A janela com um cone casado pode compreender qualquer geometria desejada que acomode a matriz fotovoltaica 26a, como circular (FIGURA 26) ou quadrada ou retangular (FIGURA 27). O cone pode suprimir a metalização da janela fotovoltaica 5b4 para permitir a conversão eficiente de luz em

eletricidade pelo conversor fotovoltaico (PV) 26a. O conversor fotovoltaico 26a pode compreender uma matriz receptora densa de células fotovoltaicas concentradoras, como células fotovoltaicas da publicação, e pode ainda compreender um sistema de resfriamento, como um que compreende placas de microcanais. A janela fotovoltaica 5b4 pode compreender um revestimento que suprime a metalização. A janela fotovoltaica pode ser resfriada para evitar a degradação térmica do revestimento da janela fotovoltaica. O SunCell® pode compreender pelo menos um pedestal parcialmente invertido 5c2 com um copo ou borda de gotejamento 5c1a na extremidade do pedestal invertido 5c2 semelhante ao mostrado na FIGURA 25, exceto que o eixo vertical de cada pedestal e eletrodo 10 pode ser orientado em um ângulo em relação ao eixo vertical ou z. O ângulo pode estar na faixa de 1° a 90°. Em uma modalidade, pelo menos um contraeletrodo injetor 5k61 injeta metal fundido do seu reservatório 5c obliquamente na direção z positiva contra a gravidade, quando aplicável. O bombeamento de injeção pode ser fornecido pelo conjunto de bomba EM 5kk montado na mesa deslizante 409c do conjunto de bomba EM. Em modalidades exemplares, o pedestal parcialmente invertido 5c2 e o contraeletrodo injetor 5k61 são alinhados em um eixo a 135° em relação ao eixo horizontal ou x, como mostrado na FIGURA 26, ou alinhados em um eixo a 45° em relação ao eixo horizontal ou x, conforme mostrado na FIGURA 27. O reservatório de inserção 409f que possui o flange de reservatório de inserção 409g pode ser montado na câmara da célula 5b3 pela placa de base de reservatório 409a, reservatório de manga 409d e flange do reservatório de manga 409e. O eletrodo pode penetrar na placa de base de reservatório 409a através da penetração do eletrodo 10a1. O bocal 5q do eletrodo injetor pode ser submerso no metal líquido como gálio líquido contido no fundo da câmara da célula de reação 5b31 e no reservatório 5c. Os gases podem ser fornecidos à câmara da célula de reação 5b31 ou a câmara pode ser evacuada através de portas de gás, tal como a 409h.

[0265] Em uma modalidade alternativa mostrada na FIGURA 28, o SunCell®

compreende uma câmara da célula de reação 5b31 com uma seção transversal cônica ao longo do eixo vertical negativo, e uma janela fotovoltaica 5b4 na extremidade de diâmetro maior do cone que compreende o topo da câmara da célula de reação 5b31, o afunilamento oposto da modalidade mostrada nas FIGURAS 26–27. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma câmara da célula de reação 5b31 que compreende uma geometria de cilindro reta. O bocal injetor e o contraeletrodo do pedestal podem ser alinhados no eixo vertical em extremidades opostas do cilindro ou ao longo de uma linha inclinada em relação ao eixo vertical.

[0266] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender uma pluralidade de canais estreitos ou tubos que podem ser agrupados. Cada canal pode compreender uma janela fotovoltaica na extremidade afastada da câmara da célula de reação. Os canais podem ser orientados verticalmente. O metal fundido impulsionado ao longo do eixo dos canais pode ser impedido de alcançar a janela fotovoltaica por pelo menos uma das reatâncias mecânicas do gás no tubo e pela gravidade. A energia cinética inicial de uma partícula que se move para cima pode ser convertida em energia gravitacional de modo que o movimento para cima seja interrompido. A área do canal pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,01 cm^2 a 10 cm^2, 0,05 cm^2 a 5 cm^2 e 0,1 cm^2 a 1 cm^2.

[0267] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica compreende uma janela transparente à luz e pelo menos um espelho ou refletor que bloqueia fisicamente o metal fundido de revestir a janela transparente à luz, enquanto reflete a luz de uma maneira tal que a luz incide na janela transparente à luz ao viajar por um caminho indireto. A janela transparente à luz pode compreender um material como quartzo, safira, vidro ou outro material de janela da publicação. O metal fundido da célula pode compreender um metal de baixa emissividade, como gálio fundido ou prata fundida. O refletor pode compreender uma superfície que é revestida com o metal fundido, de modo que a superfície revestida reflita predominantemente a luz incidente da célula e

direcione a luz para incidir na janela. O refletor pode compreender uma pluralidade de tais superfícies, tais como placas de metal que podem ser lisas. Partículas de metal podem fluir ao longo de trajetórias retas e não ser refletidas na pluralidade de refletores. Assim, os refletores podem bloquear o fluxo de metal para a janela. Os refletores podem ser orientados em qualquer ângulo desejável, em qualquer arranjo desejável, que forneça um caminho de luz indireto para a janela, enquanto bloqueia caminhos em linha reta de partículas de metal para a janela. Em uma modalidade exemplar, os refletores, tais como placas de metal podem ser dispostos em pares compreendendo planos quase paralelos com cada placa tendo aproximadamente o mesmo ângulo de inclinação em relação ao eixo vertical, e a segunda placa do par deslocada na direção transversal em relação à primeira placa. Uma pluralidade de tais pares pode ser pelo menos um dentre deslocada na direção transversal em relação um ao outro e deslocada na direção vertical em relação ao outro. O ângulo de incidência da luz pode ser aproximadamente igual ao ângulo de reflexão durante as reflexões. A luz pode ser deslocada transversalmente à medida que viaja ao longo de uma trajetória vertical progressiva seguindo uma pluralidade de reflexões de pelo menos um par de refletores. Os refletores podem ser dispostos para, pelo menos parcialmente, reverter qualquer deslocamento transversal de luz. Em uma modalidade exemplar, os refletores podem ser dispostos de modo que a luz que viaja na direção z positiva seja refletida na direção transversal de um primeiro refletor e, então, refletida na direção z positiva por um segundo refletor. Em outra modalidade, os refletores podem ser dispostos de modo que a luz incidente seja refletida alternadamente para frente e para trás na direção transversal conforme a trajetória avança na direção z. Em uma modalidade exemplar, a luz que se propaga na direção z sofre a seguinte sequência de reflexões (i) direção transversal, como direção x, (ii) direção z positiva, (iii) direção transversal oposta, como direção x negativa, e (iv) direção z positiva. A luz pode ser forçada a atravessar um caminho de luz transversal que compreende um ziguezague vertical. O

caminho em ziguezague pode ser estendido verticalmente por uma distância desejada usando uma pluralidade (número inteiro n) de pares de refletores empilhados. Os membros de cada par podem ser paralelos entre si. Cada enésimo par sucessivo pode ser orientado perpendicularmente ao (n -1)º par para formar um canal de luz em ziguezague. Pelo menos uma dentre largura x, largura y e altura z do canal em ziguezague pode ser controlada para separar seletivamente a luz das partículas de metal. Pelo menos uma dentre largura x, largura y e altura z pode estar em pelo menos uma faixa de 1 mm a 1 m, 5 mm a 100 cm e 1 cm a 50 cm. Em uma modalidade, pelo menos um dentre largura x ou largura y do canal pode variar em função da posição vertical ou na direção z. O canal pode pelo menos um dentre estreitar, alargar ou variar em pelo menos uma largura com altura. O canal pode compreender um canal retangular, como um canal quadrado. Em uma modalidade, pelo menos um refletor pode compreender uma fonte de metal fundido, como gálio, que flui sobre a superfície para manter uma alta refletividade. A fonte de metal fundido pode compreender pelo menos uma bomba EM e um reservatório de metal fundido. O reservatório pode compreender o reservatório 5c.

[0268] O SunCell pode compreender uma janela transparente para servir como fonte de luz de comprimentos de onda transparentes para a janela. O SunCell pode compreender um radiador de corpo negro 5b4 que pode servir como fonte de luz para corpo negro. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de luz (p.ex., o plasma da reação) em que a luz de plasma de hidrino emitida através da janela é utilizada em uma aplicação de iluminação desejada, como iluminação de sala, rua, comercial ou industrial, ou para aquecimento ou processamento, como tratamento químico ou litografia.

[0269] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sistema de ignição por indução com um canal de conexão cruzada de reservatórios 414, uma bomba como uma bomba EM de indução, uma bomba EM de condução ou uma bomba

mecânica em um reservatório injetor, e um reservatório não injetor que serve como contraeletrodo. O canal de conexão cruzada dos reservatórios 414 pode compreender meios de fluxo restrito, de modo que o reservatório não injetor possa ser mantido quase cheio. Em uma modalidade, o canal de conexão cruzada dos reservatórios 414 pode conter um condutor que não flui tal como um condutor sólido, como prata sólida.

[0270] Em uma modalidade (FIGURA 29), o SunCell® compreende um conector de corrente ou cabo jumper de reservatório 414a entre os barramentos de cátodo e ânodo ou conectores de corrente. O corpo da célula 5b3 pode compreender um não condutor, ou o corpo da célula 5b3 pode compreender um condutor, como aço inoxidável, em que pelo menos um eletrodo é eletricamente isolado do corpo da célula 5b3, de modo que a corrente de indução seja forçada a fluir entre os eletrodos. O conector de corrente ou cabo jumper pode conectar pelo menos um dentre o eletrodo de pedestal 8 e pelo menos um dos conectores elétricos à bomba EM e o barramento em contato com o metal no reservatório 5c da bomba EM. O cátodo e o ânodo do SunCell®, como os mostrados nas FIGURAS 25–28, compreendem um eletrodo de pedestal, como um pedestal invertido 5c2 ou um pedestal 5c2 em um ângulo com o eixo z, podem compreender um conector elétrico entre o ânodo e o cátodo que forma um circuito de corrente fechado pelo fluxo de metal fundido injetado por pelo menos uma bomba EM 5kk. O fluxo de metal pode fechar um circuito eletricamente condutor ao entrar em contato com pelo menos um dentre o injetor de bomba EM de metal fundido 5k61 e 5q ou metal no reservatório 5c, e o eletrodo do pedestal. O SunCell® pode compreender ainda um transformador de ignição 401 tendo sua canga 402 no circuito condutor fechado para induzir uma corrente no metal fundido do circuito que serve como um único circuito secundário em curto. Os transformadores 401 e 402 podem induzir uma corrente de ignição no circuito de corrente fechado. Em uma modalidade exemplar, o primário pode operar em pelo menos uma faixa de frequência de 1 Hz a 100 kHz, 10 Hz a 10 kHz e 60 Hz a 2000 Hz, a tensão de entrada pode operar em

pelo menos uma faixa de cerca de 10 V a 10 MV, 50 V a 1 MV, 50 V a 100 kV, 50 V a 10 kV, 50 V a 1 kV e 100 V a 480 V, a corrente de entrada pode operar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 A a 1 MA, 10 A a 100 kA, 10 A a 10 kA, 10 A a 1 kA e 30 A a 200 A, a tensão de ignição pode operar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 V a 100 kV, 1 V a 10 kV, 1 V a 1 kV e 1 V a 50 V, e a corrente de ignição pode estar na faixa de cerca de 10 A a 1 MA, 100 A a 100 kA, 100 A a 10 kA e 100 A a 5 kA. Em uma modalidade, o gás de plasma pode compreender qualquer gás, como pelo menos um dentre gás nobre, hidrogênio, vapor d'água, dióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio e ar. A pressão do gás pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 micro-Torr a 100 atm, 1 miliTorr a 10 atm, 100 miliTorr a 5 atm e 1 Torr a 1 atm.

[0271] Quando o secundário está em circuito aberto devido a interrupções ou descontinuidades no fluxo fundido entre os eletrodos causadas por mecanismos como pelo menos uma dentre ondas de choque da reação de plasma de hidrino e instabilidades no fluxo de metal injetado, o fluxo pode se acumular no primário e fazer com que a tensão aumente no secundário até que o plasma seja restabelecido. Uma vez que o plasma comece, a tensão pode cair devido à alta corrente desenvolvida no secundário que se opõe ao fluxo no primário. Assim, em uma modalidade, o circuito de corrente compreendendo pelo menos um fluxo de metal fundido, pelo menos um reservatório de bomba EM, pelo menos um injetor de bomba EM de metal fundido e o cabo jumper conectado em cada extremidade ao barramento de eletrodo correspondente e passando através do transformador primário pode regular inerentemente a tensão para obter a ignição de plasma enquanto minimiza a potência de entrada.

[0272] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende paredes que não são eletricamente condutoras, de modo que o fluxo de indução penetra na câmara e causa uma tensão induzida diretamente no fluxo de metal fundido na câmara da célula de reação. A indução direta pode aumentar a natureza contínua

da corrente de ignição em relação a uma tensão CA aplicada externamente de um transformador, por exemplo. A parede da célula pode compreender quartzo ou uma cerâmica, como alumina, háfnio ou zircônio, ou outro material da publicação. O SunCell®, como os exemplares mostrados nas FIGURAS 25–32, pode compreender um isolante elétrico, como cerâmica ou câmara da célula de quartzo 5b3 com flanges de metal 409g, e um no reservatório 5c para conexão da câmara da célula 5b3. Os flanges podem ser fixados ao isolante elétrico por uma vedação metal-quartzo ou metal-cerâmica, tal como uma da publicação ou uma conhecido na técnica. O barramento de eletrodo 10 pode ser soldado em uma placa 409a que é aparafusada ao flange 409g e vedada por uma gaxeta, tal como uma gaxeta de cobre. O barramento 10 pode ser coberto por um pedestal isolante elétrico 5c1, tal como um que compreende BN. Em outra modalidade, em que as paredes da câmara 5b3 são eletricamente condutoras, a parede pode ser pelo menos uma dentre fina e não magnética para permitir que o fluxo magnético penetre e se ligue ao fluxo de metal fundido injetado. A frequência de indução pode ser reduzida para permitir uma melhor penetração do fluxo.

[0273] Em outra modalidade, a câmara da célula 5b3 compreende seções eletricamente condutoras e não condutoras. A câmara da célula 5b3 pode compreender um condutor elétrico, tal como aço inoxidável para seções que cortam quantidades mínimas de fluxo magnético do transformador de ignição primário, e pode compreender um isolante elétrico para seções que são quase perpendiculares às linhas de fluxo magnético do fluxo do primário do transformador de ignição por indução. A penetração do fluxo magnético variável no tempo é altamente dependente da permeabilidade da parede da câmara da célula, conforme relatado por Yang et al. (D. Yang, Z. Hu, H. Zhao, H. Hu, Y. Sun, B. Hou, "Through-Metal-Wall Power Delivery and Data Transmission for Enclosed Sensors: A Review", Sensors, (2015), Vol. 15, pp. 31581-31605; doi: 10.3390/s151229870) que é incorporado por referência,

especialmente a seção 2.1. Permeabilidades relativas de K ~ 1,002 a 1,005 são normalmente relatadas para aços inoxidáveis 304 e 316 em seu estado recozido (https://www.mtm-inc.com/ac-20110117-how-nonmagnetic-are-304-and-316-inoxidável-steels.html); ao passo que o quartzo é diamagnético e a permeabilidade do gálio é -21,6 x 10^{-6} cm^3/mol (a 290 K). Em uma modalidade exemplar que compreende uma câmara de reação de geometria cúbica, a câmara da célula de reação compreende janelas que passam fluxo magnético, tais como as janelas de quartzo montadas em flanges de SS nos dois lados opostos que cortam no máximo as linhas de fluxo magnético do fluxo magnético do primário do transformador de ignição. Cada janela pode ser vedada à face da célula correspondente por um flange correspondente aparafusado soldado à face de SS. No caso em que o metal fundido, como gálio, reveste a janela, espera-se que o efeito na penetração do fluxo seja mínimo, uma vez que os metais fundidos exemplares gálio e prata são diamagnéticos e os revestimentos podem ser cada um muito finos. As janelas podem ser posicionadas de modo que o fluxo magnético penetre na câmara da célula de reação, que pode induzir no máximo diretamente um campo elétrico em pelo menos um dentre o plasma na câmara da célula de reação e o fluxo de metal fundido injetado da bomba EM.

[0274] Uma modalidade exemplar testada compreendeu um SunCell® de quartzo com dois injetores de bomba EM cruzados, como o SunCell® mostrado na FIGURA 10. Dois injetores de metal fundido, cada um compreendendo uma bomba eletromagnética do tipo de indução compreendendo um núcleo amorfo à base de Fe exemplar, bombearam fluxos de Galinstan de modo que se cruzaram para criar um circuito de corrente triangular que se ligava a um transformador primário de 1000 Hz. O circuito de corrente compreendia os fluxos, dois reservatórios de Galinstan e um canal cruzado na base dos reservatórios. O circuito serviu como um secundário curto para o primário do transformador de 1000 Hz. A corrente induzida no secundário

manteve um plasma em ar atmosférico com baixo consumo de energia. O sistema de indução permite um gerador de energia magneto-hidrodinâmico de fluido de trabalho à base de prata SunCell® da divulgação, em que reagentes de hidrino são fornecidos à câmara da célula de reação de acordo com a publicação. Especificamente, (i) o circuito primário do transformador de ignição foi operado a 1000 Hz, (ii) a tensão de entrada foi de 100 V a 150 V e (iii) a corrente de entrada foi de 25 A. A tensão a 60 Hz e a corrente do transformador de corrente da bomba EM eram de 300 V e 6,6 A, respectivamente. O eletroímã de cada bomba EM foi alimentado a 60 Hz, 15–20 A por meio de um capacitor série 299 μF para combinar a fase do campo magnético resultante com a corrente cruzada de Lorentz do transformador de corrente da bomba EM.

[0275] O transformador foi alimentado por uma fonte de alimentação CA de 1000 Hz. Em uma modalidade, o transformador de ignição pode ser alimentado por um inversor de frequência variável, como um inversor de frequência variável (VFD) monofásico. Em uma modalidade, a potência de entrada do VFD é combinada para fornecer a tensão e corrente de saída que fornece ainda a tensão e corrente de ignição desejadas, em que o número de voltas e a bitola do fio são selecionados para a tensão e corrente de saída correspondentes do VFD. A corrente de ignição de indução pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 10 A a 100 kA, 100 A a 10 kA e 100 A a 5 kA. A tensão de ignição de indução pode estar em pelo menos uma faixa de 0,5 V a 1 kV, 1 V a 100 V e 1 V a 10 V. A frequência pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 Hz a 100 kHz, 10 Hz a 10 kHz e 10 Hz a 1 kHz. Um exemplo de VFD é o ATO 7,5 kW, saída de 220 V a 240 V monofásico de 500 Hz VFD.

[0276] Outra modalidade testada exemplar compreendeu um Pyrex SunCell® com um eletrodo injetor de bomba EM e um contraeletrodo do pedestal com um cabo jumper de conexão 414a entre eles, tal como o SunCell® mostrado na FIGURA 29. O injetor de metal fundido que compreende uma bomba eletromagnética do tipo CC

bombeou um fluxo de Galinstan que se conectou com o contraeletrodo do pedestal para fechar um circuito de corrente que compreende o fluxo, o reservatório da bomba EM e o cabo jumper conectado em cada extremidade ao barramento do eletrodo correspondente e passando por um transformador primário de 60 Hz. O circuito serviu como um secundário curto para o primário do transformador de 60 Hz. A corrente induzida no secundário manteve um plasma em ar atmosférico com baixo consumo de energia. O sistema de ignição por indução permite um gerador de energia SunCell® de metal fundido à base de prata ou gálio da publicação, em que reagentes de hidrino são fornecidos à câmara da célula de reação de acordo com a publicação. Especificamente, (i) o circuito primário do transformador de ignição operou a 60 Hz, (ii) a tensão de pico de entrada era de 300 V, e (iii) a corrente de pico de entrada era de 29 A. A corrente de ignição máxima do plasma de indução foi de 1,38 kA.

[0277] Em uma modalidade, a fonte de energia elétrica ou fonte de energia de ignição compreende uma fonte de corrente não contínua (CC), tal como uma fonte de corrente dependente do tempo, como uma fonte de corrente pulsada ou alternada (CA). A corrente de pico pode estar em pelo menos uma faixa como 10 A a 100 MA, 100 A a 10 MA, 100 A a 1 MA, 100 A a 100 kA, 100 A a 10 kA e 100 A a 1 kA. A tensão de pico pode estar em pelo menos uma faixa de 0,5 V a 1 kV, 1 V a 100 V e 1 V a 10 V. Em uma modalidade, a fonte de energia da bomba EM e o sistema de ignição CA podem ser selecionados para evitar inferência que resultaria em pelo menos um dentre bombeamento EM ineficaz e distorção da forma de onda de ignição desejada.

[0278] Em uma modalidade, a fonte de energia elétrica para fornecer a corrente de ignição ou fonte de energia de ignição pode compreender pelo menos uma dentre uma fonte de alimentação CC, CA, e CC e CA, como uma que é alimentada por pelo menos uma dentre eletricidade CA, CC, e CC e CA, como uma fonte de alimentação de comutação, um inversor de frequência variável (VFD), um conversor de CA para CA, um conversor de CC para CC e um conversor de CA para

CC, um conversor de CC para CA, um retificador, um retificador de onda completa, um inversor, um gerador de matriz fotovoltaica, um gerador magneto-hidrodinâmico, e um gerador de energia convencional, tal como um gerador movido a ciclo Rankine ou Brayton, um gerador termiônico e um gerador termoelétrico. A fonte de energia de ignição pode compreender pelo menos um elemento de circuito, como uma transição, IGBT, indutor, transformador, capacitor, retificador, ponte, como uma ponte H, resistor, amplificador de operação ou outro elemento de circuito ou dispositivo de condicionamento de energia conhecido na técnica para produzir a corrente de ignição desejada. Em uma modalidade exemplar, a fonte de energia de ignição pode compreender uma fonte de alta frequência retificada de onda completa, como uma que fornece pulsos de onda quadrada positivos em cerca de 50% do ciclo de trabalho ou mais. A frequência pode estar na faixa de cerca de 60 Hz a 100 kHz. Um exemplo de alimentação fornece cerca de 30–40 V e 3000–5000 A a uma frequência na faixa de cerca de 10 kHz a 40 kHz. Em uma modalidade, a energia elétrica para fornecer a corrente de ignição pode compreender um banco de capacitores carregado com uma tensão de deslocamento inicial, como uma na faixa de 1 V a 100 V que pode estar em série com um transformador CA ou fonte de alimentação em que a tensão resultante pode compreender tensão CC com modulação CA. O componente CC pode decair a uma taxa dependente de sua constante de tempo de descarga normal, ou o tempo de descarga pode ser aumentado ou eliminado, em que a fonte de energia de ignição compreende ainda uma fonte de alimentação CC que recarrega o banco de capacitores. O componente de tensão DV pode ajudar a iniciar o plasma, em que o plasma pode posteriormente ser mantido com uma tensão mais baixa.

[0279] Em uma modalidade, o SunCell® compreende meios para concentrar a densidade de corrente entre os eletrodos, como um conjunto compreendendo um eletrodo injetor e um contraeletrodo para aumentar a taxa de reação de hidrino. A alta densidade de corrente pode formar uma corrente de arco que adicionalmente reduz a

potência de entrada para aumentar o ganho de potência devido à reação de hidrino. Em uma modalidade como aquela mostrada na FIGURA 25, a câmara da célula 5b3 ou as paredes ou a câmara da célula de reação 5b31 são não condutoras de modo que o plasma da reação de hidrino é altamente focado com uma densidade de corrente de ignição alta. Pelo menos um dentre o reservatório 5c, a câmara da célula 5b3 e as paredes da câmara da célula de reação 5b31 podem compreender um não condutor como quartzo, sílica fundida, uma cerâmica como alumina, háfnio, zircônio ou outro não condutor da publicação. Os flanges para o contraeletrodo e o flange do reservatório podem compreender metal unido ao não condutor, como metal a quartzo ou Pyrex, conforme publicado na publicação. Em uma modalidade, como mostrado na FIGURA 25, em que a câmara de reação e o reservatório podem compreender um não condutor como quartzo ou sílica fundida, pelo menos um dentre a câmara da célula de reação 5b31, o reservatório 5c e a porta de gás 409h podem compreender flanges quartzo-metal de alta temperatura para conectar (i) a câmara da célula de reação a um conjunto de eletrodo de pedestal, como um que compreende o flange 409a, o barramento 10, o eletrodo 8 e o pedestal 5c1, (ii) a parte inferior do reservatório 5c a um conjunto de bomba EM compreendendo uma placa de base, uma entrada de bomba EM com uma tela opcional 5qa1 ou tubo riser 5qa e um tubo ejetor de bomba EM, e (iii) pelo menos uma das portas de fornecimento de gás e vácuo às linhas de gás e vácuo correspondentes. As vedações, flanges, conexões, gaxetas e prendedores podem ser aqueles da publicação, ou conhecidos na técnica. Em uma modalidade, as paredes da câmara da célula de reação podem compreender um condutor, tal como um metal, tal como aço inoxidável, compreendendo um revestimento não condutor, tal como BN, Mulita, alumina, sílica ou outro da publicação, em que os condutores elétricos que penetram de fora para dentro da câmara da célula de reação são eletricamente isolados.

[0280] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o plasma de hidrino e a

corrente de ignição pode compreender uma corrente de arco. Uma corrente de arco pode ter a característica de que quanto maior a corrente, menor a tensão. Em uma modalidade, pelo menos um dentre as paredes da câmara da célula de reação e os eletrodos são selecionados para formar e suportar pelo menos uma dentre uma corrente de plasma de hidrino e uma corrente de ignição que compreende uma corrente de arco, uma com uma tensão muito baixa em corrente muito alta. Em uma modalidade de um projeto de célula injetora única, como mostrado na FIGURA 25, o eletrodo não injetor 8 pode ser o eletrodo positivo. A reação de hidrino pode ocorrer no eletrodo positivo. Tornar o eletrodo não injetor o eletrodo positivo pode aumentar a densidade de corrente na região da câmara da célula de reação, onde a reação de hidrino tem a cinética mais alta. O eletrodo 8 (FIGURA 25) pode ser côncavo na extremidade 5c1a exposta à reação de hidrino para suportar o acúmulo de gálio, para proteger o eletrodo 8 de danos térmicos. Em uma modalidade, o eletrodo injetor pode ser não submerso para concentrar o plasma e aumentar a densidade de corrente. O eletrodo injetor pode compreender um material refratário, como um metal refratário, como tungstênio. Pelo menos um dentre o volume da câmara da célula de reação e a área de superfície do metal fundido, tal como pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório, podem ser minimizados para aumentar a densidade da corrente de ignição. A densidade de corrente pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 A/cm^2 a 100 MA/cm^2, 10 A/cm^2 a 10 MA/cm^2, 100 A/cm^2 a 10 MA/cm^2, e 1 kA/cm^2 a 1 MA/cm^2. Em uma modalidade exemplar para aumentar a densidade de corrente, o eletrodo não injetor 8 pode ser o eletrodo positivo ou negativo e compreender uma porção, tal como uma porção de metal refratário como uma haste de W ou Ta, pelo menos parcialmente se projetando em uma borda de gotejamento de pedestal côncavo 5c1 de um pedestal BN 5c2. Em uma modalidade, a borda de gotejamento de pedestal côncavo 5c1 de um pedestal BN 5c2 pode compreender um material refratário, como uma cerâmica, como um da publicação, ou um metal

refratário, tal como tungstênio, tântalo ou molibdênio, ou outro da publicação. A porção superior do pedestal 5c2 pode compreender um isolante elétrico no barramento 10 para evitar que ele entre em curto com a parede da câmara de reação. O isolante pode compreender uma cerâmica, tal como BN ou outra da publicação. O fluxo de H_2 pode ser aumentado com o aumento na densidade de corrente para produzir pelo menos um dentre maior ganho e potência de saída, e tamanho da superfície em contato com pelo menos um dentre o plasma e o fluxo de metal fundido do eletrodo injetor. Em uma modalidade exemplar, fixa-se uma grande placa ou copo à extremidade do eletrodo 10. Em outra modalidade, o eletrodo injetor pode ser submerso para aumentar a área do contraeletrodo. Em uma modalidade que compreende uma célula esférica, como a mostrada na FIGURA 25, os eletrodos são posicionados de modo que a ignição ocorra no centro da câmara da célula de reação esférica para reforçar o plasma de reação de hidrino por reflexão incidente normal de ondas de choque de saída da reação de hidrino.

[0281] Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender um metal ou liga com pelo menos uma propriedade que suporta um alto ganho da reação de hidrino. O metal fundido pode compreender um com pelo menos um atributo do grupo de alta condutividade para diminuir a tensão de entrada e melhorar o ganho, uma baixa viscosidade para melhorar o bombeamento EM para suportar uma reação de hidrino mais intensa, resistir a formar uma camada de óxido para melhorar a condutividade entre os eletrodos SunCell®, e ter baixa propensão para molhar a janela fotovoltaica. Em uma modalidade exemplar, o metal fundido pode compreender Galinstan. O componente de gálio do Galinstan pode reduzir outros óxidos da liga, como pelo menos um dentre In_2O_3 e SnO_2 para formar óxido de gálio. O óxido de gálio pode ser convertido de volta em gálio metálico ou removido pelos meios da publicação, tal como redução do hidrogênio. Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender Galinstan mais pequenas quantidades (como menos de 2% em

peso) de pelo menos um outro metal, como um ou mais dentre bismuto e antimônio. O outro metal ou metais podem pelo menos um dentre reduzir o umedecimento da janela fotovoltaica, aumentar a fluidez, diminuir a oxidação e aumentar o ponto de ebulição do metal fundido. Em uma modalidade exemplar, o metal fundido compreendendo uma liga eutética compreende 68–69% em peso de Ga, 21–22% em peso de In e 9,5–10,5% em peso de Sn, com pequenas quantidades de Bi e Sb (0–2% em peso cada) e um nível de impureza inferior a 0,001%, em que o ponto de fusão é cerca de -19,5 °C e o ponto de ebulição é superior a 1.800 °C. Em outra modalidade, o metal fundido compreende liga de Field que compreende uma mistura eutética ou bismuto, índio e estanho.

[0282] Em uma modalidade, o sistema de ignição pode aplicar uma alta potência de partida ao plasma e, em seguida, diminuir a energia de ignição após a queda da resistência. A resistência pode cair devido a pelo menos um dentre um aumento na condutividade devido à redução de qualquer óxido no circuito de ignição, tal como nos eletrodos ou no fluxo de metal fundido, e formação de um plasma. Em uma modalidade exemplar, o sistema de ignição compreende um banco de capacitores em série com CA para produzir modulação CA de CC de alta potência em que a tensão CC decai com a descarga dos capacitores e apenas uma energia CA inferior permanece.

[0283] Em uma modalidade, o eletrodo de pedestal 8 pode ser rebaixado no reservatório de inserção 409f, em que o metal fundido bombeado preenche uma cavidade como 5c1a para formar dinamicamente um pool de metal fundido em contato com o eletrodo de pedestal 8. O eletrodo de pedestal 8 pode compreender um condutor que não forma uma liga com o metal fundido, como o gálio, na temperatura operacional do SunCell®. Um exemplo de eletrodo de pedestal 8 compreende tungstênio, tântalo, aço inoxidável ou molibdênio, em que Mo não forma uma liga como Mo_3Ga com gálio abaixo de uma temperatura operacional de 600 °C. Em uma

modalidade, a entrada da bomba EM pode compreender um filtro 5qa1, como uma tela ou malha que bloqueia as partículas da liga enquanto permite a entrada do gálio. Para aumentar a área de superfície, o filtro pode se estender pelo menos um dentre verticalmente ou horizontalmente e se conectar à entrada. O filtro pode compreender um material que resiste à formação de uma liga com gálio, tal como aço inoxidável (SS), tântalo ou tungstênio. Um filtro de entrada exemplar compreende um cilindro SS com um diâmetro igual ao da entrada, mas verticalmente elevado. O filtro pode ser limpo periodicamente como parte da manutenção de rotina.

[0284] Em uma modalidade, o eletrodo eleitor não injetor pode ser submerso intermitentemente no metal fundido a fim de resfriá-lo. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma bomba EM_injetora e seu reservatório 5c e pelo menos uma bomba EM adicional e pode compreender outro reservatório para a bomba EM adicional. Usando o reservatório adicional, a bomba EM adicional pode pelo menos uma opção dentre (i) bombear reversivelmente metal fundido na câmara da célula de reação para submergir intermitentemente o eletrodo não injetor a fim de resfriá-lo e (ii) bombear metal fundido no eletrodo não injetor para resfriá-lo. O SunCell® pode compreender um tanque de refrigerante com refrigerante, uma bomba de refrigerante para circular o refrigerante através do eletrodo não injetor, e um trocador de calor para rejeitar o calor do refrigerante. Em uma modalidade, o eletrodo não injetor pode compreender um canal ou cânula para refrigerante, como água, sal fundido, metal fundido ou outro refrigerante conhecido na técnica para resfriar o eletrodo não injetor.

[0285] Em uma modalidade invertida mostrada na FIGURA 25, o SunCell® é girado em 180° de modo que o eletrodo não injetor esteja na parte inferior da célula, e o eletrodo injetor esteja no topo da câmara da célula de reação, de modo que a injeção de metal fundido esteja ao longo do eixo z negativo. Pelo menos um dentre o eletrodo não injetor e eletrodo injetor pode ser montado em uma placa correspondente e pode ser conectado à câmara da célula de reação por uma vedação de flange

correspondente. A vedação pode compreender uma gaxeta que compreende um material que não forma uma liga com gálio, como Ta, W, ou uma cerâmica, como uma da publicação ou conhecida na técnica. A seção de câmara da célula de reação na parte inferior pode servir como o reservatório, o antigo reservatório pode ser eliminado, e a bomba EM pode compreender um riser de entrada no novo reservatório inferior que pode penetrar na placa de base inferior, conectar a um tubo da bomba EM e fornecer fluxo de metal fundido para a bomba EM, onde uma porção de saída do tubo da bomba EM penetra na placa superior e se conecta ao bocal dentro da câmara da célula de reação. Durante a operação, a bomba EM pode bombear metal fundido do reservatório inferior e injetá-lo no eletrodo não injetor 8 na parte inferior da câmara da célula de reação. O SunCell® invertido pode ser resfriado por um alto fluxo de gálio injetado pelo eletrodo injetor no topo da célula. O eletrodo não injetor 8 pode compreender uma cavidade côncava para agrupar o gálio para resfriar melhor o eletrodo. Em uma modalidade, o eletrodo não injetor pode servir como eletrodo positivo; no entanto, a polaridade oposta também é uma modalidade da publicação.

[0286] Em uma modalidade, o eletrodo 8 pode ser resfriado emitindo radiação. Para aumentar a transferência de calor, a área de superfície radiativa pode ser aumentada. Em uma modalidade, o barramento 10 pode compreender radiadores acoplados, como radiadores de palheta, como placas planas. As placas podem ser fixadas prendendo a face de uma borda ao longo do eixo do barramento 10. As palhetas podem compreender um padrão de roda de pás. As palhetas podem ser aquecidas por transferência de calor condutiva do barramento 10 que pode ser aquecido por pelo menos uma opção entre resistivamente pela corrente de ignição, e aquecido pela reação de hidrino. Os radiadores, como palhetas, podem compreender um metal refratário, como Ta ou W.

[0287] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um meio de confinar pelo menos uma dentre a corrente de ignição e a corrente de plasma para aumentar

a densidade de corrente. Os meios de confinamento podem compreender ímãs de confinamento de plasma. O SunCell® pode ainda compreender ímãs para pelo menos uma opção dentre confinar e estabilizar o plasma para aumentar a densidade de corrente. O meio de confinamento pode compreender uma fonte de corrente de ignição de corrente suficientemente alta para causar um efeito de compressão magnética. A corrente pode ser selecionada de modo que, quando a corrente é comprimida, resulte uma corrente de arco em que a tensão cai com o aumento da corrente. A corrente de arco pode aumentar o ganho de potência. O plasma de compressão pode ser formado por energia CC ou CA aplicada aos eletrodos ou pela manutenção de uma corrente de indução em um circuito de corrente, como um compreendendo fluxos duplos de metal fundido do sistema de ignição por indução da publicação. O SunCell® pode compreender um dispositivo de foco de plasma denso. Em uma modalidade, a parede da câmara de reação pode servir como um eletrodo, e o fluxo de metal formado pelo eletrodo injetor pode compreender o contraeletrodo, de modo que a aplicação de energia de ignição cause um plasma entre os dois eletrodos que se comporta como um plasma de foco denso. Em uma modalidade como a mostrada na FIGURA 25, pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório podem compreender um não condutor, como quartzo ou outra cerâmica da publicação, e o eletrodo não injetor pode compreender um revestimento 5b31a da câmara da célula de reação que está eletricamente isolado do eletrodo injetor. O revestimento pode ser conectado eletricamente ao eletrodo 8. O fluxo de metal fundido e o eletrodo de revestimento podem compreender eletrodos concêntricos de um dispositivo de plasma de compressão, como um dispositivo de foco de plasma. A energia de ignição pode fornecer pelo menos uma dentre tensão, corrente e energia suficientes para causar um efeito de compressão no plasma entre os dois eletrodos. A energia de ignição pode ser aplicada de forma contínua ou intermitente por um controlador.

[0288] Em uma modalidade, uma janela fotovoltaica para a transmissão de luz gerada pela reação de hidrino da câmara da célula de reação 5b31 para um conversor de energia fotovoltaico (PV) pode ser posicionada atrás do pedestal invertido (FIGURA 25). O pedestal invertido pode bloquear o fluxo de metal para a janela fotovoltaica para impedir que se opacifique. Em uma modalidade, o SunCell® pode ainda compreender pelo menos um defletor ou tela permeável ao plasma para bloquear o fluxo de partículas de metal para a janela fotovoltaica, enquanto permite a permeação do plasma emissor de luz formado pela reação de hidrino. O defletor ou tela pode compreender um ou mais de pelo menos uma grade ou pano, como aqueles que compreendem aço inoxidável ou outro material refratário resistente à corrosão, como um metal ou cerâmica.

[0289] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação 5b31 pode compreender uma série de defletores para evitar que as partículas de metal metalizem a janela fotovoltaica (PV). A câmara da célula de reação pode compreender uma geometria cilíndrica. Os defletores podem ser dispostos para preferencialmente bloquear a trajetória ou fluxo de partículas de metal, enquanto permitem que o plasma emissor de luz flua para regiões que emitem luz através da janela fotovoltaica 5b4. Em uma modalidade, os defletores podem ser orientados de modo que pelo menos uma porção tenha uma projeção em um plano perpendicular ao eixo vertical ou z. A janela fotovoltaica pode estar em um plano perpendicular ao eixo z. Os defletores podem ser dispostos em uma hélice da base até a janela fotovoltaica. Os defletores podem compreender uma geometria de caixa de escada em espiral. O plasma pode fluir ao redor dos defletores da hélice enquanto as partículas de metal são bloqueadas.

[0290] Em uma modalidade, o topo da câmara da célula 5b3 pode compreender uma janela fotovoltaica em que o fluxo de gás no topo da câmara da célula de reação 5b31 tem pelo menos uma propriedade, tal como fluxo majoritário paralelo ao plano da janela, fluxo axial baixo e baixo fluxo. Em uma modalidade, a

câmara da célula 5b3 compreende pelo menos uma dentre paredes cônicas, simetria cilíndrica e um meio como uma série helicoidal de defletores 409j (FIGURA 28) para direcionar o fluxo de gás na câmara da célula de reação 5b31, a fim de criar um ciclone. A câmara da célula de parede cônica 5b3 pode compreender a janela fotovoltaica na extremidade de grande diâmetro localizada em orientação com a janela fotovoltaica no topo da célula. Em uma modalidade, os defletores na câmara da célula de reação 5b31 podem criar um ciclone em que o fluxo de gás axial está principalmente ao longo da porção cônica da câmara da célula 5b3 para o fundo ou extremidade de pequeno diâmetro, em que o fluxo de gás reverte para fluir em direção à seção intermediária. O ciclone pode forçar o fluxo para baixo novamente para criar uma circulação axial entre o fundo e a seção intermediária da câmara da célula de reação 5b31.

[0291] Em uma modalidade que compreende uma corrente de ignição dependente do tempo, como corrente CA, pelo menos um dentre defletor e janela fotovoltaica compreende uma estrutura circunferencial que é carregada pela corrente alternada, de modo que o metal fundido é repelido das proximidades da janela fotovoltaica para impedir que a janela fotovoltaica seja revestida com o metal fundido.

[0292] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um metal fundido, como gálio. O SunCell® pode compreender ainda um conversor fotovoltaico (PV) e uma janela para transmitir luz para o conversor fotovoltaico, e pode compreender ainda uma bomba EM de ignição, tal como uma publicada como uma bomba EM de eletrodo ou uma segunda bomba EM de eletrodo como em pedidos anteriores de Mills, tal como uma compreendendo pelo menos um conjunto de ímãs para produzir um campo magnético perpendicular à corrente de ignição para produzir uma força de Lorentz para confinar o plasma e o metal fundido, de modo que a luz do plasma possa transmitir através da janela para o conversor fotovoltaico. A corrente de ignição pode estar ao longo do eixo x, o campo magnético pode estar ao longo do eixo y, e a força

de Lorentz pode estar ao longo do eixo z negativo. Em outra modalidade, o SunCell® compreendendo um conversor fotovoltaico (PV) e uma janela para transmitir luz para o conversor fotovoltaico compreende ainda pelo menos uma opção dentre um limpador de janela mecânico e um jato de gás ou lâmina de ar para remover o metal fundido que pode se acumular em uma superfície da janela durante a operação. O gás do jato ou da lâmina de gás pode compreender gás da câmara da célula de reação, como pelo menos um dentre reagentes, hidrogênio, oxigênio, vapor de água e gás nobre. Em uma modalidade, a janela fotovoltaica compreende um revestimento como um da publicação que impede a adesão do metal fundido como gálio, onde a espessura do revestimento seja suficientemente fina para ser altamente transparente à luz e sofrer conversão fotovoltaica em eletricidade. Revestimentos exemplares para uma seção de câmara da célula de reação de quartzo são nitreto de boro de película fina, e carbono. O quartzo pode ser um material adequado por si só para servir como parede da câmara da célula de reação e material da janela fotovoltaica.

[0293] Em outra modalidade, a câmara da célula de reação pode compreender um solvente ou um agente de transporte, reagente de transporte ou composto de transporte, como GaX_3 (X = haleto), como $GaCl_3$ ou $GaBr_3$, ou um hidrocarboneto de cadeia longa que remove pelo menos um dentre gálio metálico e óxido de gálio depositado da superfície da janela fotovoltaica. O solvente ou um agente de transporte pode pelo menos um dentre dissolver, suspender e transportar pelo menos um dentre gálio metálico e óxido de gálio depositado para causar sua remoção. A remoção pode ser potencializada pelo jato ou lâmina de gás. Em uma modalidade, a janela compreende um material que resiste ao umedecimento por gálio metálico, como quartzo e outros materiais não umectantes da publicação. O solvente ou agente de transporte, como GaX_3 (X = haleto) pode dissolver e remover óxido de gálio de modo que o restante do gálio metálico purificado se aglomere e seja facilmente removido por gravidade, jato de gás, mecanicamente através de um meio

tal como um limpador, vibração e uma força centrífuga. A remoção pode ser por meios como os da publicação. Ga_2O_3 pode ser removido seletivamente por reação com o solvente ou agente de transporte, tal como GaX_3 (X = haleto). O produto de reação pode compreender um oxi-haleto, tal como o oxi-haleto de gálio. O oxi-haleto pode ser volátil. A janela fotovoltaica pode ser operada a uma temperatura que faça com que o oxi-haleto vaporize da superfície da janela fotovoltaica.

[0294] Em uma modalidade, a mistura de reação para formar hidrinos na câmara da célula de reação 5b31 compreende GaX_3 (X = haleto) para formar moléculas gasosas para reagir com dímeros H_2O, para produzir HOH nascente que pode servir como catalisador de hidrino. O produto de reação GaX_3 + dímero H_2O pode ser pelo menos um dentre óxido de gálio ou oxi-haleto de gálio. A quebra dos dímeros H_2O para formar o catalisador HOH nascente pode aumentar a taxa de reação de hidrino. Em outra modalidade, GaX_3, tal como $GaCl_3$, pode reagir com água para manter um ciclo regenerativo para formar HOH nascente que pode servir como catalisador para formar hidrinos. A mistura de reação regenerativa pode compreender pelo menos dois dentre GaX_3, Ga, H_2O e H_2. Uma reação exemplar é $2Ga + GaCl_3 + 3H_2O$ a $3GaOCl + 3H_2$ e $3GaOCl + 3H2$ a $3H_2O$ (nascente) + $GaCl_3 + 2Ga$. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender uma armadilha fria, reservatório frio ou lingueta fria compreendendo uma conexão de gás para a câmara da célula de reação 5b31 e um controlador de temperatura em que a pressão de vapor de pelo menos um dentre haleto de gálio e oxi-haleto de gálio pode ser controlada controlando-se a temperatura da armadilha fria. Em uma modalidade exemplar, o hidrogênio flui para a câmara da célula de reação que contém uma fonte de oxigênio, tal como óxido de gálio e cloreto ou brometo de gálio, em que a pressão de vapor do haleto de gálio é controlada controlando-se a temperatura de um reservatório frio para haleto de gálio que está em conexão gasosa mas externo à câmara da célula de reação.

[0295] Em uma modalidade, pelo menos uma dentre a câmara da célula de

reação 5b31 e a janela fotovoltaica pode compreender um solvente que pode estar ligado ou condensar na superfície da janela fotovoltaica para solvatar o metal fundido, que pode se acumular na janela fotovoltaica durante a operação. Por exemplo, o gálio aderido à superfície do defletor ou janela fotovoltaica devido a uma camada de óxido de gálio no gálio pode ser removido pelo solvente que dissolve a camada de óxido de gálio. O solvente pode compreender um hidróxido, como hidróxido de sódio ou potássio. O hidróxido pode ser aquoso. O SunCell® pode compreender uma janela fotovoltaica ou sistema de limpeza de defletores compreendendo pelo menos um dentre um meio para remover a janela, uma câmara e meios para limpar a janela, uma solução de limpeza, tal como uma solução aquosa de hidróxido, e um meio para separar gálio, e qualquer óxido de gálio dissolvido da solução de limpeza, e um meio para recolocar a janela após a limpeza. Em uma modalidade, o sistema de limpeza de defletor ou janela fotovoltaica pode limpar a janela com uma solução de hidróxido, como uma solução aquosa, o gálio, produto de solvatação de óxido e a solução pode ser separada, e pelo menos um dentre o gálio e o produto de solvatação de óxido pode ser devolvido à câmara da célula de reação ou a um sistema de regeneração de gálio. A limpeza pode ocorrer com a janela fotovoltaica em sua posição permanente ou pode ser removida, limpa e devolvida. O sistema de limpeza de janela fotovoltaica ou defletor pode compreender uma pluralidade de janelas, em que uma pode servir como janela ativa enquanto pelo menos uma outra está sendo limpa. A limpeza pode ocorrer em uma câmara separada ou em uma câmara em conexão com a câmara da célula de reação. Os meios para remover e recolocar a janela fotovoltaica ou o defletor podem compreender um meio conhecido na técnica, como um sistema mecânico, eletromagnético, pneumático ou hidráulico. Os meios para separar o gálio e o solvente podem ser os conhecidos na técnica, como os sistemas de filtração e centrifugação.

[0296] Em uma modalidade, um metal como o césio, que tem um ponto de ebulição baixo, forma uma liga com gálio em uma primeira temperatura e entra em

ebulição separadamente da liga a uma temperatura mais alta, é adicionado ao gálio como agente de transporte. O metal, como césio, entra em ebulição seletivamente em seu ponto de ebulição e condensa na janela fotovoltaica como um líquido que então forma uma liga com o gálio depositado na janela para dissolvê-lo. A liga pode ser removida da janela por fluxo ou remoção assistida por meio de um jato de ar ou um limpador mecânico.

[0297] Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender uma liga que umedeça menos o defletor ou a janela fotovoltaica do que o metal puro. A liga pode compreender gálio e um metal nobre ou um metal que não seja oxidado por H_2O, como pelo menos um dentre Pt, Pd, Ir, Re, Ru, Rh, Au, Cu e Ni. Em uma modalidade exemplar em que a prata muda o comportamento de umedecimento do gálio para evitar a adesão, o metal puro compreende gálio, e a liga compreende liga de prata e gálio em que a prata inibe a formação de uma camada de óxido de gálio que, de outra forma, resulta no alto umedecimento do gálio para os materiais do defletor ou da janela, como quartzo, safira e MgF_2, ou outro da publicação.

[0298] Em uma modalidade, o gálio pode responder à aplicação de um campo elétrico, conforme relatado por Chrimes et al. [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26820807]. A célula de reação 5b3 pode compreender pelo menos um dentre uma fonte de campo elétrico e um ímã externo para induzir um campo elétrico no plasma contido na câmara da célula de reação 5b31 para direcionar o plasma na direção desejada. A fonte de campo elétrico pode compreender pelo menos uma dentre uma ou mais bobinas de indução, passagens elétricas, eletrodos, fontes de alimentação e controladores de fonte de alimentação. O controle direcional do plasma pode pelo menos um dentre direcionar a potência de aquecimento do plasma para uma região desejada na câmara da célula de reação ou direcionar o fluxo de partículas de gálio metálico da janela fotovoltaica. O controle direcional pode pelo menos um dentre prevenir o desenvolvimento de pontos quentes

na célula de reação 5b3 e evitar que a janela fotovoltaica seja metalizada.

[0299] Em uma modalidade, o plasma pode ser direcionado para um local desejado por um campo externo, como um campo magnético, um campo elétrico ou um campo elétrico ou magnético induzido. O direcionamento do plasma pode melhorar o desempenho dos defletores para reduzir a metalização da janela fotovoltaica. Em uma modalidade, o SunCell® compreende um meio para aplicar uma carga elétrica à janela fotovoltaica 5b4. A carga elétrica pode repelir partículas de metal com carga semelhante na câmara da célula de reação 5b31 para reduzir a metalização da janela fotovoltaica. Em uma modalidade exemplar, a câmara da célula de reação 5b31 pode ser carregada negativamente, podendo a carga negativa ser aplicada por uma conexão com um reservatório de injeção carregado negativamente, e a janela fotovoltaica 5b4 pode ser carregada negativamente para repelir partículas de metal fundido, como pelo menos um dentre partículas de gálio ou óxido de gálio na câmara da célula de reação 5b31 para diminuir a metalização da janela fotovoltaica. A janela fotovoltaica pode compreender um condutor elétrico na superfície interna da janela, como pelo menos um eletrodo, como uma grade de metal, para servir como meio de carregar a janela fotovoltaica. Alternativamente, a janela pode compreender um material condutor ou revestimento, como óxido de índio-estanho, para carregar a janela, tal como carregar negativamente a janela. O condutor elétrico, como uma grade de metal na superfície interna da janela, pode estar em contato com a câmara da célula de reação 5b31 para ser carregado. Em outra modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender pelo menos um condutor elétrico, como pelo menos um pino que penetra na janela fotovoltaica. O SunCell® pode compreender uma fonte de energia para carregar o condutor.

[0300] Em uma modalidade, a janela pode compreender uma fonte de campo repelente, como um campo elétrico repelente. A fonte pode compreender um eletrodo interno mais próximo do plasma e um eletrodo externo mais próximo da janela

fotovoltaica. A fonte pode compreender pelo menos uma fonte de potencial elétrico. O eletrodo interno pode ser mantido em um potencial e o eletrodo externo pode ser mantido em outro potencial, tal como um potencial mais alto, de modo que exista uma diferença de potencial e campo correspondente entre os eletrodos. Os eletrodos podem ser pelo menos parcialmente abertos para permitir a passagem da radiação. Um eletrodo exemplar compreende uma malha de metal, como uma malha de metal refratário, como uma malha de W. Em uma modalidade exemplar, o eletrodo interno é mantido em cerca de 100 V e o eletrodo externo é mantido em cerca de 300 V.

[0301] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender pelo menos um cristal piezoelétrico transparente, como quartzo, fosfato de gálio, titanato zirconato de chumbo (PZT) ou silicato de boro cristalino, como a turmalina. Pelo menos uma tensão mecânica pode ser aplicada à janela fotovoltaica para produzir eletricidade, e eletricidade pode ser aplicada aos eletrodos em contato com a janela fotovoltaica para causar movimento mecânico da janela. Pelo menos uma dentre a eletricidade produzida e o movimento mecânico causado podem fazer com que a metalização seja removida da janela fotovoltaica. Em outra modalidade, o plasma intenso da reação de hidrino pode aquecer a superfície interna da janela fotovoltaica e vaporizar a metalização. Em uma modalidade, a janela fotovoltaica ou defletor compreende um sistema de descarga direta piezoelétrica (PDD). Pelo menos um dentre alta tensão e um plasma formado no gás da câmara da célula de reação pelo sistema PDD pode pelo menos um dentre inibir a aderência e facilitar a remoção de partículas de gálio da janela fotovoltaica. O sistema PDD pode compreender pelo menos um eletrodo coronal, como um que não bloqueia significativamente a luz do plasma da reação de hidrino incidente no defletor ou janela fotovoltaica. O eletrodo coronal pode compreender pelo menos um fio, como um fio que compreende um metal refratário, como tungstênio, tântalo ou rênio. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação pode compreender hidrogênio e o sistema PPD pode causar dissociação

de hidrogênio. O hidrogênio atômico resultante pode reduzir o óxido de gálio para reduzir seu umedecimento da janela fotovoltaica.

[0302] A janela fotovoltaica pode ser resfriada na superfície externa para evitar falha da janela térmica. A janela fotovoltaica pode ser montada em uma extensão da câmara da célula de reação para colocá-la em um local removido da região de aquecimento mais intenso. Em uma modalidade, os eletrodos da janela fotovoltaica piezoelétrica podem compreender fios de grade que permitem que a luz penetre na janela. Os eletrodos podem compreender um condutor transparente, como os revestimentos de superfície de grafeno, óxido de índio-estanho (ITO), óxido de cádmio dopado com índio (ICdO), óxido de zinco dopado com alumínio (AZO), óxido de zinco dopado com gálio (GZO), óxido de zinco dopado com índio (IZO), óxido de índio-tungstênio (IWO), ITO, ICdO, AZO, GZO, IZO ou IWO revestido com óxido de tungstênio, ou outro condutor transparente conhecido pelos especializados na técnica. Em outra modalidade, os eletrodos podem estar ao longo das bordas da janela fotovoltaica. O conversor fotovoltaico pode ainda compreender uma câmara tal como uma câmara evacuada entre a janela fotovoltaica e a matriz de células fotovoltaicas do conversor fotovoltaico para evitar a propagação de ondas sonoras na matriz de células fotovoltaicas.

[0303] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender um material deformável e transparente, como vidro, Pyrex ou vidro Guerilla. A janela deformável pode ser mecanicamente excitada ou vibrada para remover ou evitar a metalização. Os meios de excitação mecânica da janela fotovoltaica podem compreender pelo menos um dentre um meio de excitação mecânico, pneumático, piezoelétrico, hidráulico, e outros meios de excitação conhecidos pelos especialistas na técnica. O conversor fotovoltaico-janela fotovoltaica pode compreender um desmagnetizador, como um desmagnetizador de tipo de superfície, como o da Industrial Magnetics, Inc. DSC423-120. A janela fotovoltaica pode compreender pelo

menos um material ferromagnético, como pelo menos um dentre Fe, Ni, Co, AlNiCo e metal de terra rara, e uma liga em que a janela pode ser vibrada pela aplicação do desmagnetizador. O material ferromagnético pode compreender pelo menos uma tira ou fio que é pelo menos um dentre presa ou amarrada a pelo menos uma superfície da janela, prensada entre camadas da janela e incorporada à janela. Um desmagnetizador exemplar compreende uma bobina solenoidal alimentada por um campo CA que produz uma força magnética ascendente e descendente alternada ao longo do eixo z no material ferromagnético da janela fotovoltaica no plano xy, fazendo a janela fotovoltaica defletir alternadamente para cima e para baixo. As vibrações desalojam o material aderido à superfície da janela fotovoltaica. O desmagnetizador pode ser posicionado atrás da matriz de células PV para evitar que bloqueie a luz através da janela fotovoltaica para as células fotovoltaicas.

[0304] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender um limpador para a superfície voltada para a câmara da célula de reação. O limpador pode compreender um material macio, química e termicamente resistente, como grafite. A janela fotovoltaica pode ainda compreender uma lâmina de gás. O gás pode compreender gás de célula de reação reciclado. Em uma modalidade, a janela fotovoltaica compreende ainda uma bomba de gás e uma fonte de gás, ou entrada de gás, e pelo menos um jato de gás compreendendo pelo menos um bocal para fazer colidir gás em alta velocidade com a superfície interna da janela. A janela fotovoltaica pode compreender uma geometria tal como abobadada para facilitar o fluxo de gás sobre a superfície. O gás pode compreender gás da célula que pode ser recirculado pela bomba através da entrada e para fora de pelo menos um bocal. Um controlador para limpar a entrada de qualquer metal, ou óxido de metal, que possa impedir o fluxo de entrada pode reverter periodicamente o fluxo de gás. Em uma modalidade, o gás do jato de gás pode compreender partículas para bombardear o metal na janela fotovoltaica e removê-lo. As partículas podem ser recicladas de e para a câmara da célula

de reação, ou introduzidas de fora da câmara da célula de reação para serem consumidas. Modalidades exemplares do primeiro e do último caso são partículas finas de carbono e cristais de gelo, respectivamente.

[0305] Em uma modalidade, o SunCell® compreende pelo menos um defletor transparente que gira para fornecer uma força centrífuga. O defletor pode estar na frente da janela fotovoltaica e impedir pelo menos um dentre gálio fundido e óxido de gálio de serem depositados na janela. A força centrífuga pode remover gálio fundido e óxido de gálio que são depositados no defletor durante a operação do SunCell®. O defletor pode compreender um material da publicação como quartzo, que é resistente a ser umedecido por pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio. A câmara da célula de reação 5b31 pode compreender pelo menos um dentre um solvente e um agente de transporte tal como haleto de gálio ou água para facilitar a remoção de depósitos no defletor. O agente de transporte pode reagir com pelo menos um dentre óxido de gálio e gálio para formar um produto que é mais facilmente removido pela força centrífuga. O haleto de gálio pode ser um reagente reciclado dentro da câmara da célula de reação. A água pode ser aquela injetada para fornecer pelo menos um dentre fonte de H e catalisador HOH para formar hidrinos. O jato de gás pode ser aplicado no defletor transparente para facilitar ainda mais a remoção de depósitos. Um defletor transparente exemplar compreende um disco plano, mas pode compreender outras formas e geometrias, como um disco côncavo ou convexo, uma forma cônica ou outra forma cilíndrica simétrica. O defletor pode compreender um eixo fixado ao seu centro, uma penetração de eixo vedado com um rolamento vedado na janela fotovoltaica e um acionador de eixo, um motor e um controlador fora da janela fotovoltaica e câmara da célula de reação do SunCell®. Em outra modalidade, o defletor pode ser girado elétrica ou pneumaticamente. O disco pode ser girado por acoplamento magnético CC ou indução magnética CA. O disco pode compreender pelo menos um ímã CC ou bobina de indução, com pelo menos um ímã CC ou bobina de indução externa à janela

fotovoltaica e célula, respectivamente. O ímã CC externo pode ser girado por um meio de rotação. A bobina de indução pode ser pelo menos uma dentre temporal e espacialmente energizada por uma fonte de energia de indução e controlador para causar uma força de rotação no defletor. Em uma modalidade, o defletor rotativo pode compreender a janela fotovoltaica. Pelo menos um dentre o defletor rotativo e janela fotovoltaica rotativa pode compreender uma adaptação de um projeto comercial adequado para as condições de operação do SunCell®. Produtos comerciais exemplares com projetos adaptáveis são Clear-View-Screens fabricados por Cornell Carr (http://www.cornell-carr.com/products/clear-view-screens.html) ou o sistema spin window da Visiport (http: / /www.visiport.com/) que são incorporados aqui por referência. Em uma modalidade, (i) as vedações, rolamentos e estrutura compreendem materiais resistentes à formação de uma liga com gálio, como aço inoxidável, tântalo e tungstênio, (ii) a janela compreende um material que é resistente ao umedecimento por gálio, como quartzo ou outros materiais não umectantes da publicação, e (iii) as vedações são capazes de pelo menos um dentre vácuo e pressão elevada a temperatura elevada.

[0306] Em uma modalidade, um sistema de janela fotovoltaica compreende pelo menos um dentre um defletor rotativo transparente na frente de uma janela vedada estacionária, ambos no plano xy para propagação de luz ao longo do eixo z e uma janela que pode girar no plano xy para propagação da luz ao longo do eixo z. Uma modalidade exemplar compreende um disco transparente giratório, como uma tela de visualização clara (https://en.wikipedia.org /wiki/Clear_view_screen) que pode compreender pelo menos um dentre o defletor e a janela. Em outra modalidade, um sistema de janela fotovoltaica pode compreender uma janela no plano xy e ainda compreender um defletor do tipo roda de pás, ou bomba de palheta na frente da janela, em que o defletor compreende uma pluralidade de palhetas transparentes rigidamente fixadas a um eixo rotativo orientado ao longo de um eixo no plano xy para propagação

de luz ao longo do eixo z. Em outra modalidade, uma janela fotovoltaica do tipo bomba de palheta compreende uma pluralidade de palhetas transparentes rigidamente fixadas a um eixo rotativo orientado ao longo de um eixo no plano xy para propagação de luz ao longo do eixo z. Um sistema de janela fotovoltaica pode compreender um defletor do tipo bomba de palheta e uma janela fotovoltaica do tipo bomba de palheta. Em uma modalidade, o espaçamento das palhetas no eixo rotativo proporciona que a janela seja sempre coberta por uma combinação de palhetas contíguas conforme as palhetas giram em relação à janela. Em uma modalidade em que o defletor e a janela são do tipo bomba de palheta que giram, o espaçamento das palhetas em cada eixo rotativo e as rotações do eixo são sincronizados entre o defletor e a janela, de modo que a janela seja sempre coberta por uma combinação de palhetas defletoras contíguas, conforme ambos os conjuntos de palhetas giram. As palhetas podem ser lâminas retas, lâminas curvas ou outra geometria que facilite o bloqueio das partículas, a transmissão da luz e o bombeamento das partículas removidas. As palhetas transparentes podem compreender um material da publicação que é resistente a ser umedecido pelas partículas, como as partículas de gálio. Os materiais exemplares são quartzo e vidro revestido de carbono tipo diamante (DLC), Pyrex ou vidro de Guerilla. A força centrífuga das palhetas rotativas pode fazer com que quaisquer partículas depositadas nas palhetas sejam removidas. A velocidade de rotação pode ser suficiente para criar uma força centrífuga suficiente para remover as partículas depositadas. A velocidade de rotação pode estar em pelo menos uma faixa dentre cerca de 1 RPM a 10.000 RPM, 10 RPM a 5.000 RPM e 100 RPM a 3.000 RPM.

[0307] O disco rotativo, o defletor do tipo bomba de palheta e a janela do tipo bomba de palheta podem, cada um, compreender um mecanismo de acionamento e controlador. O sistema de acionamento pode compreender um sistema de acionamento pneumático, mecânico, hidráulico ou elétrico ou outro conhecido na técnica. Pelo menos um dos sistemas de janela fotovoltaica pode ser montado no topo

de um canal de uma pluralidade de canais, cada um tendo um sistema de janela fotovoltaica. O canal pode ainda compreender pelo menos um jato de gás para afastar um fluxo de partículas para o sistema de janela fotovoltaica. O canal pode compreender um canal em ziguezague da publicação. A câmara da célula de reação pode compreender ainda um solvente ou agente de transporte da publicação para limpar ainda mais o sistema de janela fotovoltaica de partículas que podem aderir a pelo menos um dentre o defletor e a janela.

[0308] A janela ou defletor do tipo bomba de palheta pode compreender um invólucro de modo que a rotação da janela ou defletor do tipo bomba de palheta bombeie as partículas removidas de volta para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade exemplar, o sistema de janela fotovoltaica compreende um defletor que compreende um tipo de bomba de palheta, tendo quartzo transparente ou palhetas Pyrex revestidas com DLC, em que o eixo rotativo está ao longo de um eixo horizontal, a janela está no plano horizontal, o espaçamento da palheta é tal que uma combinação de palhetas contíguas sempre cubra a janela durante a rotação, a velocidade de rotação é suficiente para remover partículas depositadas, o defletor pode ser montado em um canal com a janela no topo do canal, como um canal em ziguezague, e alojado em um invólucro que facilita o bombeamento de partículas de volta para a câmara da célula de reação.

[0309] Em uma modalidade, o defletor ou janela fotovoltaica giratória compreende um aplicador como escovas para aplicar uma película fina de material não umectante para evitar que partículas se depositem no defletor ou janela fotovoltaica. Em uma modalidade exemplar, o aplicador compreende pelo menos uma dentre escovas de nitreto de boro, grafite e dissulfeto de molibdênio para revestir continuamente a superfície da janela fotovoltaica ou defletor com a película fina não umectante correspondente.

[0310] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica, como o disco giratório, pode

compreender um revestimento. O revestimento pode compreender um material que reduz ou evita a aderência de gálio ou óxido de gálio na janela. O revestimento pode reagir com óxido de gálio para evitar umedecimento por gálio, em que a janela compreende um material que resiste ao umedecimento de gálio na ausência de óxido de gálio. Um revestimento e janela exemplares são NaOH e quartzo, respectivamente. O revestimento pode compreender pelo menos um dentre água, água ácida, água básica e um composto orgânico como um alcano ou álcool como isopropanol. O revestimento pode ser aplicado por um aplicador. A aplicação do revestimento pode ser realizada pela ação de rotação da janela ou do defletor. O revestimento pode compreender pelo menos um componente que pode pelo menos um dentre condensar e absorver na superfície da janela ou do defletor. Uma fonte de pelo menos um componente do revestimento de superfície da janela ou defletor pode compreender o gás da câmara da célula de reação 5b31. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende água e um gás que compreende um anidrido de ácido. A janela ou defletor pode ser mantida a uma temperatura que permite que a água se condense na superfície e o anidrido de ácido seja absorvido na água. Em uma modalidade, a água ácida impede que a adesão do gálio à superfície da janela fotovoltaica ou defletor. O ácido pode reagir com uma camada de óxido de gálio necessária para o gálio aderir à superfície. O revestimento de superfície pode estar em equilíbrio termodinâmico ou dinâmico com pelo menos uma espécie dos gases da câmara da célula de reação. O revestimento de superfície pode compreender um ácido aquoso, como H_2SO_3, H_2SO_4, H_2CO_3, HNO_2, HNO_3, $HClO_4$, H_3PO_3 e H_3PO_4 ou uma fonte de um ácido, como um anidrido de ácido ou um ácido anidro. Este último pode compreender pelo menos um do grupo de I_2O_4, I_2O_5, I_2O_9, SO_2, SO_3, CO_2, N_2O, NO, NO_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, Cl_2O, ClO_2, Cl_2O_3, Cl_2O_6, Cl_2O_7, PO_2, P_2O_3 e P_2O_5. A fonte de ácido pode compreender um gás como NO_2, NO, N_2O, CO_2, P_2O_3, P_2O_5 e SO_2.

[0311] Em outra modalidade, o revestimento pode compreender uma base. O

revestimento pode compreender pelo menos um componente que pode pelo menos um dentre condensar e absorver na superfície da janela ou do defletor. Uma fonte de pelo menos um componente do revestimento de superfície da janela ou defletor pode compreender o gás da câmara da célula de reação 5b31. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende água e um gás que compreende um anidrido de base. A janela ou defletor pode ser mantida a uma temperatura que permite que a água se condense na superfície e o anidrido de base seja absorvido na água. Em uma modalidade, a água básica impede que a adesão do gálio à superfície da janela fotovoltaica ou defletor. A base pode reagir com uma camada de óxido de gálio necessária para o gálio aderir à superfície. O revestimento de superfície pode estar em equilíbrio termodinâmico ou dinâmico com pelo menos uma espécie dos gases da câmara da célula de reação. O revestimento de superfície pode compreender uma base aquosa, como uma base de um anidrido básico, como NH_3, M_2O (M = alcalino), M'O (M' = alcalino-terroso), ZnO ou outro óxido de metal de transição, CdO, CoO, SnO, AgO, HgO ou Al_2O_3. Outros anidridos exemplares compreendem metais que são estáveis a H_2O, como Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr e In. O anidrido pode ser um óxido de metal alcalino ou metal alcalino-terroso, e o composto hidratado pode compreender um hidróxido. Em outra modalidade, o revestimento pode compreender um oxi-hidróxido como FeOOH, NiOOH ou CoOOH. A fonte de base pode compreender um gás como NH_3 correspondendo à base NH_4OH.

[0312] A mistura de reação pode compreender pelo menos um dentre uma fonte de H_2O e H_2O. O ácido, base, oxi-hidróxido ou anidrido correspondente podem ser formados reversivelmente por reações de hidratação e desidratação. A janela ou defletor pode ser mantida a uma temperatura que forma o ácido ou base, em que a temperatura da câmara da célula de reação está acima da temperatura de decomposição do ácido ou base. Um produto de decomposição pode compreender o

ácido correspondente de anidrido de base que pode ser reciclado de volta para o revestimento da janela. Em uma modalidade exemplar, em que nitrato de gálio ($Ga(NO_3)_3$) se decompõe em óxido de gálio delta (Ga_2O_3) e N_xO_y (x e y são números inteiros) a uma temperatura acima de 250 °C, a câmara da célula de reação 5b31 é mantida acima de 250 °C e a janela ou defletor é mantida abaixo de 250 °C.

[0313] Em outra modalidade, o revestimento compreende um composto sólido que compreende pelo menos um dentre um ácido, anidrido de ácido, base e um anidrido de base. O revestimento pode reagir com óxido de gálio para evitar sua adesão à janela ou defletor. O revestimento pode reagir com água para ser regenerado após a reação com óxido de gálio. Um exemplo de revestimento de composto sólido ácido é um revestimento de membrana de troca de prótons, como Nafion. A fonte de água para regenerar o revestimento é o gás da câmara da célula de reação.

[0314] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de pelo menos um composto compreendendo nitrogênio e oxigênio, tal como N_xO_y (x e y são inteiros), como NO ou NO_2 e uma fonte de H_2O. Em uma modalidade, a mistura de reação compreende N_xO_y e H_2O que pode manter um ciclo regenerativo entre óxidos de gálio, como de Ga_2O_3 e nitrato de gálio. Em uma modalidade exemplar, o gás NO_2 reage com água para formar ácido nítrico que reage com óxido de gálio para formar água e nitrato de gálio, que se decompõe em óxido de gálio e NO_2. O ciclo regenerativo pode pelo menos um dentre (i) apoiar a remoção de gálio da janela fotovoltaica ou defletor pela redução do umedecimento do gálio por remoção de óxido e (ii) facilitar a formação de HOH nascente que pode servir como catalisador para formar hidrinos por reação com H atômico.

[0315] Em uma modalidade, a química de NO_x (x = inteiro) facilita pelo menos um dentre a remoção de partículas de óxido de gálio-gálio da janela fotovoltaica e acelera a taxa de reação de hidrino, formando cataliticamente o catalisador HOH para hidrinos. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de nitrogênio como

gás N_2 e um meio tal como uma linha de gás e um controlador de fluxo para fornecer de forma controlada o nitrogênio à mistura de reação de hidrino na câmara da célula de reação 5b31. A mistura de reação de hidrino pode compreender pelo menos um dentre gálio fundido, óxido de gálio, hidrogênio, um gás nobre, como argônio, vapor de água, oxigênio e nitrogênio. A mistura de reação pode propagar uma reação de hidrino que, por sua vez, mantém um plasma na câmara da célula de reação. A mistura de célula de reação e plasma pode formar NO_x (x = inteiro). Em uma modalidade exemplar de química, Ga_2O_3 pode reagir com pelo menos um dentre Ga e hidrogênio para formar Ga_2O, que pode atuar como um poderoso redutor com hidrogênio para formar NH_3, que pode ainda reagir com o oxigênio para formar NO e NO_2, em que a fonte de oxigênio pode ser pelo menos um dentre O_2 e H_2O. A câmara da célula de reação pode ainda compreender um catalisador químico de nitrogênio, como um metal nobre, como Pt, para facilitar a formação de pelo menos um dentre NH_3, NO e NO_2. O catalisador químico de nitrogênio pode ser protegido do gálio fundido, enquanto é exposto aos gases da mistura de reação para evitar liga com o gálio. Em uma modalidade, o nitrogênio da mistura da célula de reação pode reagir com gálio para formar nitreto de gálio, que pode reagir com água para formar um produto tal como Ga_2O_3 que pode ser regenerado para Ga. Em uma modalidade, o GaN pode servir como fotocatalisador usando a luz de plasma de hidrino. A reação de fotocatalisador pode servir para formar pelo menos um reagente da reação de hidrino, tal como H atômico e catalisador HOH. Um componente do SunCell® de tungstênio, como um eletrodo, pode reagir com pelo menos um dentre oxigênio e água para formar WO_3 que pode servir como fotocatalisador. A câmara da célula de reação pode compreender ainda uma espécie adicionada à mistura de reação que compreende um fotocatalisador.

[0316] Em uma modalidade, um hidróxido como NaOH ou KOH que reage com óxido de gálio é cristalizado para formar um revestimento na superfície da janela

fotovoltaica ou defletor. O cristal pode ser transparente. O produto de reação de óxido de gálio e o hidróxido pode compreender o metal do hidróxido e íon galato (GaO_2^-) como galato de sódio ($NaGaO_2$) ou galato de potássio ($KGaO_2$). Uma reação exemplar entre NaOH e Ga_2O_3 é

$Ga_2O_3 + 2NaOH$ para $2NaGaO_2 + H_2O$

[0317] Em uma modalidade que compreende uma atmosfera na câmara da célula de reação que compreende vapor de água, a pressão de vapor de água pode ser mantida baixa, como uma pressão de vapor de água na faixa de pelo menos uma dentre cerca de 0,01 Torr a 50 Torr, 0,01 Torr a 10 Torr, 0,01 Torr a 5 Torr e 0,01 Torr a 1 Torr. A reação do hidróxido com o óxido de gálio pode formar água como produto. Em uma modalidade, o revestimento de hidróxido na janela fotovoltaica pode ser mantido a uma temperatura elevada para manter uma quantidade desejada de água absorvida ou retida. Em uma modalidade exemplar, a janela fotovoltaica é mantida a uma temperatura elevada que evita a absorção ou retenção de água, embora esteja abaixo do ponto de fusão do hidróxido, como o de NaOH (PF = 318 °C) ou KOH (PF = 360 °C). Em uma modalidade, como manutenção de rotina, a janela fotovoltaica pode ser substituída ou revestida novamente com hidróxido quando o hidróxido foi substancialmente consumido. Em uma modalidade, pelo menos um outro componente da janela fotovoltaica, como a janela giratória, o canal em ziguezague e o defletor, pode ser revestido com um reagente com óxido de gálio, como uma base, como NaOH. Em uma modalidade, o revestimento, como um revestimento de NaOH, pode compreender uma placa substituível, como uma que compreende uma base, como NaOH, incorporado ou impregnando um suporte estrutural, como uma matriz que pode ser transparente, como ágar ou outro polímero, uma zeólita, uma frita de vidro e outros suportes e matrizes transparentes conhecidos na técnica. A placa pode ser substituída durante a manutenção de rotina. Em uma modalidade, o reagente com óxido de gálio, como uma base, tal como NaOH, pode ser pelo menos um dentre sólido, líquido ou

fundido, ou aquoso, em que o reagente como NaOH pode ser absorvido, ou de outra forma ligado ao suporte ou matriz para manter a forma da placa. Em uma modalidade exemplar, a placa compreende uma membrana condutora de OH^-, como a membrana Neosepta® AHA, em que a membrana pode ser tratada com base, como solução de NaOH ou KOH 1 M para permitir a substituição de íons hidróxido (OH^-) por íons cloreto (Cl^-)

[0318] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sistema de eletrólise com janela fotovoltaica ou defletor que compreende um cátodo, um ânodo, uma janela transparente e um eletrólito transparente. O eletrólito pode compreender um condutor de um dos seguintes íons derivados de H_2O ou H_2 que pode ser fornecido para a célula de eletrólise da janela fotovoltaica: H^+, OH^- e H^-. Os eletrodos podem ser separados pela janela fotovoltaica, ou ambos podem estar na face frontal da janela fotovoltaica compreendendo a face direcionada para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o eletrólito pode compreender um condutor de íon hidreto, como um sal fundido, como uma mistura de sal eutético, e o eletrólito pode compreender ainda um hidreto. O sal pode compreender um ou mais haletos, como a mistura LiCl/KCl, que pode ainda compreender um hidreto, como LiH. Além de haletos, outros eletrólitos de sal fundido adequados que podem conduzir íons hidreto compreendem um hidreto dissolvido em um hidróxido, como KH em KOH, NaH em NaOH, ou sistemas metalorgânicos, como NaH em $NaAl(Et)_4$. O eletrólito pode compreender um sal eutético de dois ou mais haletos, como pelo menos dois compostos do grupo dos haletos alcalinos e haletos alcalino-terrosos. Misturas de sal exemplares incluem LiF-MgF_2, NaF-MgF_2, KF-MgF_2 e NaF-CaF_2. Outros eletrólitos adequados são sais fundidos de cloro aluminato orgânico e sistemas à base de boro-hidretos de metal e hidretos de metal alumínio. Eletrólitos adequados adicionais que podem ser misturas fundidas, tais como misturas eutéticas fundidas, são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1. Eletrólitos de sal fundido.

$AlCl_3$-$CaCl_2$	$AlCl_3$-$CoCl_2$	$AlCl_3$-$FeCl_2$	$AlCl_3$-KCl
$AlCl_3$-LiCl			
$AlCl_3$-$MgCl_2$	$AlCl_3$-$MnCl_2$	$AlCl_3$-NaCl	$AlCl_3$-$NiCl_2$
$AlCl_3$-$ZnCl_2$			
$BaCl_2$-$CaCl_2$	$BaCl_2$-CsCl	$BaCl_2$-KCl	$BaCl_2$-LiCl
$BaCl_2$-$MgCl_2$			
$BaCl_2$-NaCl	$BaCl_2$-RbCl	$BaCl_2$-$SrCl_2$	$CaCl_2$-CaF_2
$CaCl_2$-CaO			
$CaCl_2$-$CoCl_2$	$CaCl_2$-CsCl	$CaCl_2$-$FeCl_2$	$CaCl_2$-$FeCl_3$
$CaCl_2$-KCl			
$CaCl_2$-LiCl	$CaCl_2$-$MgCl_2$	$CaCl_2$-MgF_2	$CaCl_2$-$MnCl_2$
$CaCl_2$-$NaAlCl_4$			
$CaCl_2$-NaCl	$CaCl_2$-$NiCl_2$	$CaCl_2$-$PbCl_2$	$CaCl_2$-RbCl
$CaCl_2$-$SrCl_2$			
$CaCl_2$-$ZnCl_2$	CaF_2-$KCaCl_3$	CaF_2-KF	CaF_2-LiF
CaF_2-MgF_2			
CaF_2-NaF	$CeCl_3$-CsCl	$CeCl_3$-KCl	$CeCl_3$-LiCl
$CeCl_3$-NaCl			
$CeCl_3$-RbCl	$CoCl_2$-$FeCl_2$	$CoCl_2$-$FeCl_3$	$CoCl_2$-KCl
$CoCl_2$-LiCl			
$CoCl_2$-$MgCl_2$	$CoCl_2$-$MnCl_2$	$CoCl_2$-NaCl	$CoCl_2$-$NiCl_2$
CsBr-CsCl			
CsBr-CsF	CsBr-CsI	CsBr-$CsNO_3$	CsBr-KBr
CsBr-LiBr			
CsBr-NaBr	CsBr-RbBr	CsCl-CsF	CsCl-CsI

$CsCl$-$CsNO_3$

$CsCl$-KCl $CsCl$-$LaCl_3$ $CsCl$-$LiCl$ $CsCl$-$MgCl_2$

$CsCl$-$NaCl$

$CsCl$-$RbCl$ $CsCl$-$SrCl_2$ CsF-CsI CsF-$CsNO_3$

CsF-KF

CsF-LiF CsF-NaF CsF-RbF CsI-KI CsI-LiI

CsI-NaI CsI-RbI $CsNO_3$-$CsOH$ $CsNO_3$-KNO_3 $CsNO_3$-$LiNO_3$

$CsNO_3$-$NaNO_3$ $CsNO_3$-$RbNO_3$ $CsOH$-KOH $CsOH$-$LiOH$

$CsOH$-$NaOH$

$CsOH$-$RbOH$ $FeCl_2$-$FeCl_3$ $FeCl_2$-KCl $FeCl_2$-$LiCl$

$FeCl_2$-$MgCl_2$

$FeCl_2$-$MnCl_2$ $FeCl_2$-$NaCl$ $FeCl_2$-$NiCl_2$ $FeCl_3$-$LiCl$

$FeCl_3$-$MgCl_2$

$FeCl_3$-$MnCl_2$ $FeCl_3$-$NiCl_2$ K_2CO_3-K_2SO_4 K_2CO_3-KF

K_2CO_3-KNO_3

K_2CO_3-KOH K_2CO_3-Li_2CO_3 K_2CO_3-Na_2CO_3 K_2SO_4-Li_2SO_4

K_2SO_4-Na_2SO_4

$KAlCl_4$-$NaAlCl_4$ $KAlCl_4$-$NaCl$ KBr-KCl KBr-KF KBr-KI

KBr-KNO_3 KBr-KOH KBr-$LiBr$ KBr-$NaBr$ KBr-$RbBr$

KCl-K_2CO_3 KCl-K_2SO_4 KCl-KF KCl-KI KCl-KNO_3

KCl-KOH KCl-$LiCl$ KCl-LiF KCl-$MgCl_2$

KCl-$MnCl_2$

KCl-$NaAlCl_4$ KCl-$NaCl$ KCl-$NiCl_2$ KCl-$PbCl_2$

KCl-$RbCl$

$KCl-SrCl_2$ $KCl-ZnCl_2$ $KF-K_2SO_4$ KF-KI KF-KNO_3

KF-KOH KF-LiF $KF-MgF_2$ KF-NaF KF-RbF

$KFeCl_3$-NaCl $KI-KNO_3$ KI-KOH KI-LiI KI-NaI

KI-RbI $KMgCl_3$-LiCl $KMgCl_3$-NaCl $KMnCl_3$-NaCl $KNO_3-K_2SO_4$

KNO_3-KOH KNO_3-LiNO_3 KNO_3-NaNO_3 KNO_3-RbNO_3

$KOH-K_2SO_4$

KOH-LiOH KOH-NaOH KOH-RbOH $LaCl_3$-KCl

$LaCl_3$-LiCl

$LaCl_3$-NaCl $LaCl_3$-RbCl $Li_2CO_3-Li_2SO_4$ Li_2CO_3-LiF

$Li_2CO_3-LiNO_3$

Li_2CO_3-LiOH $Li_2CO_3-Na_2CO_3$ $Li_2SO_4-Na_2SO_4$ $LiAlCl_4$-$NaAlCl_4$ LiBr-LiCl

LiBr-LiF LiBr-LiI $LiBr-LiNO_3$ LiBr-LiOH LiBr-NaBr

LiBr-RbBr $LiCl-Li_2CO_3$ $LiCl-Li_2SO_4$ LiCl-LiF LiCl-LiI

$LiCl-LiNO_3$ LiCl-LiOH $LiCl-MgCl_2$ $LiCl-MnCl_2$

LiCl-NaCl

$LiCl-NiCl_2$ LiCl-RbCl $LiCl-SrCl_2$ $LiF-Li_2SO_4$

LiF-LiI

$LiF-LiNO_3$ LiF-LiOH $LiF-MgF_2$ LiF-NaCl LiF-NaF

LiF-RbF LiI-LiOH LiI-NaI LiI-RbI $LiNO_3-Li_2SO_4$

$LiNO_3$-LiOH $LiNO_3-NaNO_3$ $LiNO_3-RbNO_3$ $LiOH-Li_2SO_4$

LiOH-NaOH

LiOH-RbOH $MgCl_2-MgF_2$ $MgCl_2$-MgO $MgCl_2-MnCl_2$

$MgCl_2$-NaCl

$MgCl_2$-$NiCl_2$ $MgCl_2$-RbCl $MgCl_2$-$SrCl_2$ $MgCl_2$-$ZnCl_2$

MgF_2-MgO

MgF_2-NaF $MnCl_2$-NaCl $MnCl_2$-$NiCl_2$ Na_2CO_3-Na_2SO_4 Na_2CO_3-NaF

Na_2CO_3-$NaNO_3$ Na_2CO_3-NaOH NaBr-NaCl NaBr-NaF

NaBr-NaI

NaBr-$NaNO_3$ NaBr-NaOH NaBr-RbBr NaCl-Na_2CO_3

NaCl-Na_2SO_4

NaCl-NaF NaCl-NaI NaCl-$NaNO_3$ NaCl-NaOH

NaCl-$NiCl_2$

NaCl-$PbCl_2$ NaCl-RbCl NaCl-$SrCl_2$ NaCl-$ZnCl_2$

NaF-Na_2SO_4

NaF-NaI NaF-$NaNO_3$ NaF-NaOH NaF-RbF NaI-$NaNO_3$

NaI-NaOH NaI-RbI $NaNO_3$-Na_2SO_4 $NaNO_3$-NaOH

$NaNO_3$-$RbNO_3$

NaOH-Na_2SO_4 NaOH-RbOH RbBr-RbCl RbBr-RbF

RbBr-RbI

RbBr-$RbNO_3$ RbCl-RbF RbCl-RbI RbCl-RbOH

RbCl-$SrCl_2$

RbF-RbI $RbNO_3$-RbOH $CaCl_2$-CaH_2

[0319] O eletrólito de sal fundido, tais como as misturas de sal exemplares apresentadas na TABELA 1, são condutores de íons H^-. Nas modalidades, está implícito na publicação que uma fonte de H^-, como um hidreto alcalino, como LiH, NaH ou KH, pode ser adicionada ao eletrólito de sal fundido para melhorar a condutividade do íon H^-.

[0320] Em uma modalidade, H^- é um íon em migração do eletrólito. H^- pode se formar no cátodo e migrar para o ânodo. O eletrólito pode ser um condutor de íon hidreto, como um sal fundido, como uma mistura eutética, como uma mistura de haletos alcalinos, como LiCl-KCl. O cátodo pode ser uma membrana permeável ao hidrogênio, como Ni (H_2). O ânodo pode oxidar óxido de gálio e H- a gálio e H_2O, no qual o umedecimento com gálio da janela fotovoltaica é eliminado com o consumo do agente umectante óxido de gálio. Em uma modalidade, a célula de eletrólise fotovoltaica pode compreender um eletrólito de haleto-hidróxido fundido que é condutor de H^-, uma fonte de H para formar íons hidreto, como um cátodo permeável a hidrogênio, como Ni(H_2), e um ânodo que oxida seletivamente óxido de gálio e íon hidreto para gálio e H_2O. As reações podem ser

Ânodo:

$$6H^- + Ga_2O_3 \text{ para } 2Ga + 3H_2O + 6e^-$$

Cátodo:

$$3H_2 + 6e^- \text{ para } 6H^-$$

[0321] Células exemplares são [Pt/MOH-M'X/M''(H_2)] em que o cátodo M'' pode compreender um metal permeável ao hidrogênio, como Ni, Ti, V, Nb, Pt e PtAg, o eletrólito compreende uma mistura de um hidróxido e um haleto, como MOH-M'X (M, M'= alcalino; X = haleto) e outros metais nobres e suportes podem substituir o ânodo de Pt. O eletrólito pode ainda compreender pelo menos um outro sal, como um hidreto de metal alcalino. Em uma modalidade alternativa, o eletrólito pode compreender um íon hidreto que conduz eletrólito sólido como $CaCl_2$-CaH_2. Eletrólitos sólidos condutores de íons hidreto exemplares são $CaCl_2$-CaH_2 (5% a 7,5% molar) e $CaCl_2$-LiCl-CaH_2.

[0322] Em uma modalidade alternativa, a janela ou defletor SunCell® compreende um sistema de eletrólise que compreende pelo menos dois eletrodos, uma fonte de energia e um controlador para a redução de óxido de gálio para evitar que o óxido

de gálio cause a aderência do gálio à janela ou ao defletor. A janela ou o defletor pode compreender eletrodos de grade ou uma película fina condutora elétrica transparente padronizada, como uma que compreende óxido de índio-estanho. Pelo menos um eletrodo pode compreender uma malha ou tela. Em uma modalidade, o eletrólito pode compreender pelo menos um dentre um ácido e uma base. Em uma modalidade exemplar, o eletrólito pode compreender um hidróxido, como NaOH. Em outra modalidade, o eletrólito pode compreender um sólido, como beta alumina, que pode compreender pelo menos um dentre uma película fina e transparência. A tensão de eletrólise pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 V a 50 V, 0,25 V a 5 V e 0,5 V a 2 V.

[0323] A janela ou defletor pode compreender um sistema de eletrólise compreendendo um eletrodo negativo e positivo separado por um eletrólito e alimentado por uma fonte de energia elétrica em que o gálio, que adere à superfície da janela ou defletor, entra em contato com o eletrodo negativo na janela, e a corrente é transportada pelo eletrólito para o eletrodo positivo separado para reduzir o óxido de gálio do gálio aderente. Em uma modalidade do sistema de eletrólise de janela ou defletor para reduzir o óxido de gálio para evitar a aderência do gálio à superfície da janela ou defletor, a janela ou defletor pode compreender um eletrodo de eletrólise posterior ou um composto de eletrodos, como um ânodo ou um composto de ânodos na superfície posterior da janela ou defletor, na lateral do plasma. Para minimizar o efeito de sombra, o eletrodo de eletrólise posterior pode ser pelo menos um dentre (i) localizado circunferencialmente à janela ou defletor, (ii) compreender fios de grade e (iii) compreender um condutor transparente, como óxido de índio-estanho. O eletrólito pode compreender uma camada ou película transparente na superfície posterior da janela ou defletor. O eletrólito pode ser transparente e compreender pelo menos um dentre uma base, como MOH (M = alcalino), como NaOH ou KOH ou água e amônia, em que a amônia gasosa está em equilíbrio com a amônia solvatada, e o gás de amônia pode

estar contido em uma câmara transparente alojando o ânodo. A superfície frontal pode compreender um eletrodo de eletrólise frontal ou um composto de eletrodos, como um cátodo ou um composto de cátodos compreendendo conexões elétricas, como fios de grade ou eletrodos ou uma película ou camada condutora em pelo menos uma porção da superfície frontal. A película pode ser um condutor transparente, como óxido de índio-estanho, que pode cobrir a superfície ou ter a forma de cabos de grade ou eletrodos do compósito. Os eletrodos podem compreender um condutor transparente, como os revestimentos de superfície de grafeno, óxido de índio-estanho (ITO), óxido de cádmio dopado com índio (ICdO), óxido de zinco dopado com alumínio (AZO), óxido de zinco dopado com gálio (GZO), óxido de zinco dopado com índio (IZO), óxido de índio-tungstênio (IWO), ITO, ICdO, AZO, GZO, IZO ou IWO revestido com óxido de tungstênio, ou outro condutor transparente conhecido pelos especializados na técnica. No caso em que o revestimento é eletrocrômico, uma corrente pode ser aplicada para remover o gálio por redução de sua camada de óxido, e o revestimento fotovoltaico incolor pode ser regenerado invertendo a corrente por um período de regeneração intermitente. Em outra modalidade, o eletrodo de eletrólise, ou um composto de eletrodos que contata o gálio, pode compreender um material que resiste à formação de uma liga com gálio, como aço inoxidável (SS), tungstênio (W) ou tântalo (Ta). Os eletrodos podem ser resistentes ao umedecimento de gálio, como SS, Ta ou W. Os eletrodos podem ser estáveis à reação com o eletrólito, como um metal nobre, como Pt, Ir, Rh, Re, Pd ou Au no caso de um eletrólito ácido, como Nafion. O eletrodo de eletrólise ou um composto de eletrodos que contata o eletrólito básico pode compreender um material que resiste à corrosão com base, tais como cobre, aço inoxidável, níquel, um metal nobre ou carbono. O eletrodo pode compreender elementos como fios que podem compreender uma grade, malha ou tela. Os elementos, como fios, podem ser moldados para minimizar o sombreamento da luz transmitida através da janela fotovoltaica para o conversor fotovoltaico. Uma parte exemplar é piramidal com

o ápice em direção à fonte de luz, em que a luz pode ser refletida para outra região não sombreada da janela fotovoltaica ou defletor. A janela ou defletor pode compreender fixadores não condutores, como parafusos de cerâmica ou plástico para fixar pelo menos um eletrodo. A janela do defletor pode compreender pelo menos uma penetração, tal como uma pluralidade de penetrações de pequeno diâmetro ao longo de pelo menos uma porção da janela ou defletor para servir como uma pluralidade de conduítes para o contato elétrico do eletrólito entre o ânodo e o cátodo.

[0324] Em outra modalidade, os componentes do sistema de eletrólise em ordem a partir da direção do plasma podem ser o ânodo, o eletrólito e o cátodo, em que o ânodo e o cátodo são separados espacialmente, o ânodo pode ser circunferencial à janela ou defletor e o eletrólito pode aderir à superfície da janela ou defletor. O eletrólito pode compreender uma base, como MOH (M = alcalino), como NaOH ou KOH. A janela ou defletor pode compreender uma superfície áspera que pode ajudar na ligação do eletrólito à superfície. A janela ou defletor pode compreender um revestimento higroscópico para se ligar ao eletrólito. O eletrólito pode ter uma baixa pressão de vapor de água. O eletrólito pode compreender pelo menos um dentre uma alta concentração de base e pelo menos um composto, tal como um composto higroscópico para reduzir a pressão de vapor de água. O eletrólito pode compreender uma lama ou pasta, tal como uma dentre NaOH ou KOH. O eletrólito pode compreender um composto de ligação, como um polímero ou um óxido de cerâmica, como MgO, ou uma matriz dopada com sal, como ágar, ou um polímero, como óxido de polietileno.

[0325] O eletrólito pode compreender um eletrólito sólido. O eletrólito pode compreender um condutor de íons adequado para a oxidação anódica desejada e as químicas de redução catódica que removem as partículas aderidas à janela fotovoltaica. Eletrólitos sólidos exemplares são eletrólito sólido de beta-alumina (BASE) condutor de Na^+, galato de sódio condutor de Na^+ ou OH^-, galato de potássio condutor de K^+ ou OH-, zircônio estabilizado com ítria condutor de íons de óxido, NASICON

($Na_3Zr_2Si_2PO_{12}$) condutor de íons de sódio e Nafion condutor de H^+ em que as reações de oxidação e redução correspondem ao eletrólito. O eletrólito sólido pode compreender o condutor de OH^-, um hidróxido duplo em camadas (LDH). Em uma modalidade, os LDHs compreendem argila aniônica e a fórmula geral para os LDHs é $[M^{II}_{1-x} M^{III}_x(OH)_2][(A^{n-})_{x/n} \cdot mH_2O]$, onde M^{II} é um cátion bivalente como Ni^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+} etc., e M^{III} é um cátion trivalente como Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+} etc. e A^{n-} é um ânion como CO_3^{2-}, Cl^-, OH^- etc. Eletrólitos sólidos exemplares que são condutores de OH- são hidróxidos duplos em camadas (LDH), tais como KOH-Al-Mg, hidróxido duplo em camadas $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16}$, membranas de troca iônica, como membrana Neosepta® AHA, em que a membrana pode ser tratada com base, como solução de KOH 1 M para permitir a substituição de íons hidróxido (OH^-) por íons cloreto (Cl^-) e nanopartículas compostas de SiO_2/poliestireno funcionalizado com amônio densamente quaternário incorporado em uma matriz de polissulfona, tais como (20–70% em peso) e hidróxido de tetraetilamônio (TEAOH) poliacrilamida (PAM). Em uma modalidade em que o metal fundido pode compreender prata ou uma liga, como gálio-prata, o eletrólito pode compreender um condutor superiônico avançado para íons de prata, como pelo menos um dentre $RbAg_4I_5$, KAg_4I_5, $NH_4Ag_4I_5$, $K_{1-x}Cs_xAg_4I_5$, $Rb_{1-x}Cs_xAg_4I_5$, $CsAg_4Br_{1-x}I_{2+x}$, $CsAg_4ClBr_2I_2$, $CsAg_4Cl_3I_2$, $RbCu_4Cl_3I_2$, KCu_4I_5 e sulfeto de prata.

[0326] Em uma modalidade, o eletrólito, como um haleto alcalino, como NaF, pode ter um pH quase neutro. O eletrólito de pH quase neutro pode evitar a dissolução da camada de óxido de gálio no gálio aderido à janela.

[0327] Em uma modalidade, o eletrólito da janela fotovoltaica, como NaOH, é reabastecido e o eletrólito perdido para a mistura de reação pode ser recuperado durante a reciclagem do gálio por meio de eletrólise.

[0328] Um sistema de eletrólise exemplar para reduzir óxido de gálio para evitar o umedecimento de gálio compreende (i) um ânodo de SS anular na parte de trás da janela; (ii) eletrólito em pasta fluida de NaOH na parte de trás da janela; (iii) uma

janela com muitos pequenos canais para o eletrólito e (iv) um cátodo de tela ou malha de SS na superfície frontal da janela que contata esse gálio e o reduz. Em uma modalidade em que (i) o gálio não adere a um metal com uma camada de óxido, tais como aço inoxidável, tântalo ou tungstênio, (ii) o metal que compreende a camada de óxido compreende o cátodo, e (iii) a camada de óxido de metal é reduzida durante a operação, a polaridade da célula de eletrólise pode ser invertida periodicamente para regenerar a camada de óxido no metal do cátodo.

[0329] Em uma modalidade, o eletrodo frontal pode compreender o ânodo e o cátodo pode ser pelo menos um dentre circunferencial na frente ou na parte de trás da janela fotovoltaica. No último caso, a janela fotovoltaica pode compreender perfurações para o eletrólito. A aplicação de um potencial positivo no ânodo frontal em contato com o gálio aderido à janela fotovoltaica e a aplicação de um potencial negativo no cátodo podem fazer com que o gálio migre para o cátodo onde o gálio coletado pode ser removido e reciclado. O SunCell® pode compreender um meio de remoção, um meio de transporte que pode compreender ainda canais correspondentes e um meio de reciclagem para o gálio coletado. Meios de remoção exemplares são meios mecânicos, como por exemplo, um raspador, um jato de gás, uma bomba e outros meios de remoção da publicação. O gálio pode ser removido e transportado para pelo menos uma dentre a câmara da célula de reação, o reservatório e o sistema de regeneração de gálio da publicação, usando os meios de transporte e canais correspondentes.

[0330] Em uma modalidade, a janela ou defletor compreende um sistema de descarga de plasma para manter um plasma na superfície da janela ou defletor. O sistema de descarga de plasma pode compreender malha, tela ou fios de grade de eletrodo na superfície da janela ou do defletor ou em estreita proximidade com ela, um contraeletrodo e uma fonte de energia de descarga tal como uma fonte de descarga luminescente. Em outras modalidades, a fonte de plasma compreende outras

fontes de plasma conhecidas, como micro-ondas, descarga de RF acoplada indutiva ou capacitivamente, descarga de barreira dielétrica, descarga direta piezoelétrica e fontes de plasma de célula de descarga acústica. O sistema de plasma pode ser configurado de modo que o plasma correspondente reduza o óxido de gálio para fazer com que as partículas de gálio aderidas sejam removidas da superfície da janela ou defletor. Alternativamente, o plasma pode formar hidrogênio atômico a partir de uma fonte de hidrogênio em que o hidrogênio atômico reduz o óxido de gálio a gálio para impedir que se molhe. Em outra modalidade, a janela ou defletor compreende uma fonte de campo magnético, como um ímã permanente ou um eletroímã que direciona o plasma mantido pela reação de hidrino na proximidade da superfície da janela ou defletor. O plasma pode formar hidrogênio atômico a partir de uma fonte de hidrogênio em que o hidrogênio atômico reduz o óxido de gálio a gálio para impedir que se molhe. Em uma modalidade, a janela ou defletor compreende um dissociador de hidrogênio, tal como um da publicação, como um filamento quente ou um dissociador metálico, tal como rênio, tântalo, nióbio, titânio ou outro da publicação. O gás da câmara de reação, tal como uma mistura de reação compreendendo hidrogênio como uma mistura de gás argônio-hidrogênio-traço H_2O pode reduzir a camada de óxido nas partículas de gálio e pelo menos um dentre evitar a aderência do gálio à janela fotovoltaica e remover as partículas da janela fotovoltaica. A janela ou defletor pode compreender um jato de gás que flui hidrogênio sobre o filamento para fazer com que o hidrogênio atômico flua para a janela fotovoltaica.

[0331] Em uma modalidade, o defletor ou janela fotovoltaica compreende ainda uma câmara dissociadora que abriga um dissociador de hidrogênio, como Pt, Pd, Ir, Re, ou outro metal dissociador em um suporte, como carbono, ou esferas de cerâmica, como esferas de Al_2O_3, sílica ou zeólita, Raney Ni ou Ni, nióbio, titânio ou outro metal dissociador da publicação, em uma forma para fornecer uma área de superfície elevada, tais como pó, tapete, tecido ou pano. A câmara do dissociador pode

ser conectada à câmara da célula de reação no local do defletor ou janela fotovoltaica por um canal de bloqueio de gálio, como o canal em ziguezague da publicação, que inibe o fluxo de gálio da câmara da célula de reação para a câmara do dissociador, embora permitindo troca gasosa. O gás hidrogênio pode fluir da câmara da célula de reação para a câmara de dissociação em que as moléculas de hidrogênio são dissociadas em átomos, e o hidrogênio atômico pode refluir para a câmara da célula de reação para servir como um reagente a fim de reduzir o óxido de gálio na janela fotovoltaica. Em outras modalidades, a câmara de dissociação pode abrigar o dissociador de plasma ou dissociador de filamento da publicação. Em uma modalidade, um jato de gás flui hidrogênio sobre o dissociador de modo que os átomos de H resultantes fluam para colidir com a superfície do defletor ou janela fotovoltaica.

[0332] A janela fotovoltaica pode compreender pelo menos um transformador piezelétrico (PT) e, opcionalmente, pelo menos um eletrodo adjacente, como pelo menos um eletrodo de fio, em que a ressonância eletromecânica inerente do PT é usada para produzir amplificação de tensão, de modo que a superfície do piezoelétrico exiba uma grande tensão de superfície que pode gerar descargas semelhantes às coronais em seus cantos ou em eletrodos adjacentes. Uma amplificação de tensão exemplar é inferior a 7 V a kV. A configuração da chamada descarga direta piezoelétrica pode ser usada para gerar um fluxo de ar em massa chamado de vento iônico, conforme relatado por Johnson e Go [M. Johnson, DB Go, “Piezoelectric transformers for low-voltage generation of gas discharges and ionic winds in atmospheric air” (*Transformadores piezoelétricos para geração de descargas de gás de baixa tensão e ventos iônicos no ar atmosférico*), Journal of Applied Physics, Vol. 118, dezembro (2015), 243304-1 - 243304-10, doi: 10.1063/1.493849]. Em uma modalidade, a descarga direta piezoelétrica compreende uma configuração de eletrodo para produzir um vento iônico que remove ou reduz a aderência de partículas de gálio à janela fotovoltaica. Em uma modalidade, o jato de gás para ao menos um dentre evitar a aderência das partículas

de gálio à janela fotovoltaica e limpar as partículas de gálio aderidas à janela fotovoltaica pode compreender o recirculador, tal como um compreendendo um soprador e pelo menos um bocal de gás. Pelo menos um dentre o gás nobre lavado recirculado e o hidrogênio de reposição compreendendo hidrogênio, que é adicionado ao gás nobre lavado recirculado e injetado na câmara da célula de reação, pode ser direcionado para uma região na câmara da célula de reação que causa o fluxo de gás a pelo menos um dentre forçar as partículas de gálio para longe da janela fotovoltaica e fornecer hidrogênio atômico para reduzir qualquer camada de óxido nas partículas de gálio para pelo menos um dentre evitar a aderência das partículas e fazer com que as partículas sejam removidas da janela fotovoltaica. No último caso, pelo menos um dentre o gás nobre recirculado e hidrogênio de reposição pode ser levado a colidir com a janela fotovoltaica, em que o gás compreendendo hidrogênio pode ser levado a fluir sobre o dissociador de hidrogênio, como um metal dissociador, fonte de plasma ou filamento quente. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o gás da câmara da célula de reação, o gás recirculado e o gás de reposição que substitui os reagentes esgotados pode compreender o vento iônico gerado pelo transformador piezoelétrico que pode compreender pelo menos um eletrodo de fio adjacente. Em uma modalidade, a janela fotovoltaica pode compreender pelo menos um cristal piezoelétrico transparente, tal como quartzo, fosfato de gálio, titanato zirconato de chumbo (PZT), silicato de boro cristalino, como a turmalina, ou outro conhecido na técnica. Pelo menos um eletrodo do transdutor piezoelétrico pode compreender um condutor transparente, como óxido de índio-estanho (ITO) ou outro da publicação. Em outra modalidade, o transdutor piezoelétrico e a descarga direta piezoelétrica correspondente podem ser substituídos por um sistema de descarga de eletrodo de barreira e descarga de eletrodo de barreira para evitar aderência ou facilitar a remoção de partículas de óxido de gálio da janela fotovoltaica.

[0333] Em outra modalidade, o defletor giratório ou a janela giratória

compreende um dispositivo para remover fisicamente as partículas que se depositaram no defletor ou na janela durante a operação do SunCell®. O dispositivo pode compreender um dispositivo de abrasão montado na superfície, como uma escova ou lâmina, como uma lâmina de gume afiado que passa na superfície do defletor ou janela. A superfície do defletor ou janela pode ser polida e a lâmina pode compreender uma borda de precisão para fornecer contato otimizado entre a borda e a superfície. A lâmina pode ter um comprimento igual ao raio do defletor ou janela, de modo que a superfície correspondente seja raspada durante cada revolução do defletor ou janela. A lâmina pode compreender um dispositivo controlável para aplicar pressão ajustável na lâmina em direção à superfície, como um dispositivo de aplicação de pressão mecânico, hidráulico, pneumático ou eletromagnético. Um dispositivo de aplicação de pressão mecânico exemplar compreende uma mola.

[0334] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica compreende pelo menos um injetor de metal fundido para bombear metal fundido em pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica para servir como um solvente para remover partículas depositadas, como o óxido do metal. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica compreende um material ou superfície que resiste ao umedecimento pelo metal fundido. Em uma modalidade exemplar, o metal fundido compreende gálio, o óxido de metal compreende óxido de gálio, o material ou superfície compreende pelo menos um dentre quartzo, BN, carbono ou outro material ou superfície que resiste ao umedecimento por gálio e o injetor de metal fundido compreende pelo menos uma bomba EM e pelo menos um bocal de jato para injetar gálio fundido de uma fonte tal como pelo menos um dentre o reservatório 5c e a câmara da célula de reação 5b31 na superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica para servir um como solvente de óxido de gálio para removê-lo da superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. Em outra modalidade exemplar, o metal fundido compreende prata, o

defletor ou janela fotovoltaica compreende um material transparente com um alto ponto de fusão, como quartzo, safira ou um cristal de haleto alcalino-terroso, como MgF_2 e o injetor de metal fundido compreende pelo menos uma bomba EM e pelo menos um bocal de jato para injetar prata fundida de uma fonte, tal como pelo menos um dentre o reservatório 5c e a câmara da célula de reação 5b31 na superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica para servir para remover partículas de prata, como nanopartículas de prata da superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. O defletor ou a janela fotovoltaica pode ainda compreender uma camada sacrificial transparente para proteger o defletor ou janela de corrosão por fusão causada por partículas de prata quentes.

[0335] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode ainda compreender pelo menos um meio, tal como um limpador para remover o gálio com o óxido. O limpador pode compreender pelo menos uma lâmina de limpador e um meio para mover a lâmina de limpador sobre a superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. Os meios para mover a lâmina podem compreender pelo menos um dentre um mecanismo mecânico, pneumático, hidráulico, eletromagnético ou outro meio de movimento conhecido na técnica. Alternativamente, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode compreender um defletor ou janela fotovoltaica giratórios e uma lâmina de limpeza fixa.

[0336] Em uma modalidade exemplar, uma pluralidade de jatos injetores, como uma matriz injeta gálio fundido na superfície de pelo menos um dentre o defletor giratório e a janela fotovoltaica giratória com velocidade e fluxo suficientes para deslocar as partículas de óxido de gálio que podem aderir à superfície de pelo menos um dentre defletor e janela fotovoltaica, e a lâmina pode remover o gálio e óxido injetado de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica conforme gira. Em outra modalidade, o gálio e o óxido de gálio são removidos pela força centrífuga da rotação de pelo menos um dentre defletor e janela fotovoltaica sozinhos.

[0337] Em outra modalidade exemplar, a janela ou defletor compreende uma matriz de jatos de alta pressão, tais como aqueles fornecidos com pelo menos uma bomba EM ou mecânica para remover óxido de gálio de uma superfície não umedecida por gálio, como uma superfície de quartzo ou uma superfície transparente revestida com uma base como NaOH ou KOH. A matriz de jatos de metal fundido pode injetar gálio fundido de alta velocidade em uma janela giratória para limpar as partículas depositadas, como as que compreendem gálio com óxido de gálio. O gálio de alta velocidade pode atuar como um limpador líquido para remover o óxido de gálio. Como o óxido de gálio causa umedecimento de superfícies com gálio, sua remoção elimina o umedecimento pelo gálio, que pode formar gotas e ser removido pela força centrífuga da janela giratória.

[0338] Em uma modalidade, o metal fundido compreende um aditivo abrasivo, como pequenas partículas duras que são injetadas com o metal fundido para auxiliar no deslocamento do material aderente para a superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. O aditivo pode compreender partículas abrasivas, como pequenas partículas de cerâmica, tal como uma que compreende alumina, zircônia, céria ou tória. O tamanho da partícula pode ser inferior ao tamanho que obstrui a bomba dos injetores do defletor ou janela fotovoltaica ou a bomba de injeção de ignição.

[0339] Em uma modalidade, partículas magnéticas, tais como nanopartículas magnéticas, podem ser adicionadas ao metal fundido, como o gálio, para formar um ferrofluido. As nanopartículas podem ser ferromagnéticas, como pelo menos uma dentre Fe, Fe_2O_3, Co, Ni, CoSm e nanopartículas de AlNiCo, e outras nanopartículas ferromagnéticas conhecidas na técnica. Um ferrofluido exemplar compreende gálio ou liga de gálio como solvente ou meio de suspensão para as nanopartículas magnéticas, como nanopartículas de gadolínio, conforme apresentado por Castro et al. [IA de Castro et al., “A gallium-based magnetocaloric liquid metal ferrofluid” (*Ferrofluido de metal*

líquido magnetocalórico à base de gálio"), Nano Lett., (2017), Vol. 17, No. 12, pp. 7831-7838], que é aqui incorporado por referência na sua totalidade. As nanopartículas magnéticas podem ser revestidas com um revestimento para evitar a corrosão pelos gases da câmara da célula de reação ou a formação de liga com o gálio. O revestimento pode compreender uma cerâmica, como sílica, alumina, zircônia, háfnio ou outra da publicação. Pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode compreender uma fonte de gradiente de campo magnético para impedir o metal fundido de revestir pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. Pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode ser mantido em uma faixa de temperatura abaixo da temperatura Curie das nanopartículas magnéticas. A fonte de gradiente de campo magnético pode ser pelo menos uma dentre eletroímãs e permanentes. Em uma modalidade exemplar, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode compreender um eletroímã de bobina de Helmholtz, como uma bobina supercondutora circunferencial à câmara da célula de reação antes de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica, para fornecer um gradiente magnético a partir de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica em direção à bobina. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica pode compreender uma série de bobinas, como as de uma bomba eletromagnética de indução, em que as bobinas produzem uma força de deslocamento do metal fundido magnético para fazer com que seja bombeado da superfície de pelo menos um dentre o defletor e a janela fotovoltaica. Em uma modalidade, a bomba de injeção pode compreender pelo menos um dentre uma bomba mecânica e um tipo de indução linear, em que um gradiente de campo magnético móvel criado por pelo menos um dentre uma pluralidade de eletroímãs ativados sincronizados ou ímãs permanentes móveis criam a força para bombear o metal fundido. A sincronização pode ser do tipo usado em motores elétricos e conhecido na técnica. Uma vez que os campos magnéticos penetram metais, como o aço inoxidável, o tubo da bomba EM pode compreender tais metais, além

da cerâmica da bomba EM de indução da publicação.

[0340] A janela fotovoltaica pode ser resistente a ser umedecida pelo metal fundido, como o gálio. A janela pode ser resistente à aderência de compostos presentes na câmara da célula de reação, como os óxidos de metal, como óxido de gálio, no caso de o gálio ser o metal fundido. A janela fotovoltaica pode compreender um revestimento transparente. Em uma modalidade exemplar, pelo menos uma dentre a janela fotovoltaica e o revestimento PV compreende quartzo, diamante, nitreto de gálio (GaN), fosfato de gálio ($GaPO_4$), zircônio cúbico, safira, um haleto alcalino ou alcalino-terroso, como MgF_2, grafeno, grafeno de múltiplas camadas intercaladas com lítio transparente, uma camada fina de carbono, como grafite, Teflon ou outro fluoropolímero não umectante, polietileno, polipropileno ou outro polímero transparente não umectante, uma camada fina de nitreto de boro, BN hexagonal ou cúbico, nitreto de boro hexagonal transparente, nitreto de silício transparente, como nitreto de silício cúbico, um revestimento de metal transparente não umectante de película fina, como W, Ta, ou um óxido de metal de película fina ou óxido de metal transparente não umectante, como pentóxido de tântalo (Ta_2O_5), óxido de índio-estanho que pode ser posteriormente revestido ou dopado com óxido de tungstênio ou óxido de índio-tungstênio que pode ser ainda revestido ou dopado com óxido de tungstênio. A janela fotovoltaica pode compreender uma malha de grafite com perfurações para luz ou uma grade ou tela de fibra de carbono que tem uma trama compacta que resiste à aderência do metal fundido, permitindo a penetração da luz. A janela fotovoltaica pode compreender um revestimento de carbono como diamante (DLC) ou diamante. Um material de estrutura, como um material de estrutura transparente, como quartzo, Pirex, safira, zircônia, háfnio ou fosfato de gálio, pode suportar o revestimento de DLC ou diamante. A janela fotovoltaica pode compreender vidro autolimpante, tal como TiO_2 revestido ou cera ou outro vidro revestido de superfície hidrofóbica. A janela fotovoltaica pode compreender nitreto de gálio (GaN) inteiramente ou como um revestimento. O GaN

pode ser depositado como uma película fina de GaN via epitaxia de fase de vapor metalorgânico (MOVPE) em safira, óxido de zinco e carbeto de silício (SiC).

[0341] Em uma modalidade, a janela fotovoltaica compreende um material transparente, como quartzo, sílica fundida, safira ou MgF_2 que é capaz de ser operado em temperatura elevada e um meio como pelo menos um dentre um isolamento térmico e um aquecedor para manter a janela fotovoltaica em uma temperatura alta à qual o gálio revestido com óxido de gálio não adere. Uma faixa de temperatura exemplar é de cerca de 300 °C a 2000 °C.

[0342] Em uma modalidade, pelo menos um dentre a janela fotovoltaica e o defletor pode ser revestido com Ga_2O_3. Pelo menos um dentre a janela fotovoltaica e o defletor pode compreender Ga_2O_3 como beta-Ga_2O_3 transparente. Pelo menos um dentre janela fotovoltaica e defletor pode compreender um painel de beta-Ga_2O_3 transparente que pode ser plano, abobadado ou em outra forma geométrica desejada. Em outra modalidade, a janela fotovoltaica e o defletor podem ser operados em condições que evitam a formação de uma composição ou fase de óxido de gálio que resulta em umedecimento pelo gálio. Em uma modalidade, um revestimento de superfície de Ga_2O é evitado. Em uma modalidade, a janela é operada sob condições que causam a decomposição de Ga_2O. A janela e o defletor podem, cada um, ser operados a uma temperatura acima da temperatura de decomposição de Ga_2O, tal como acima de 500 °C.

[0343] Em uma modalidade, pelo menos um dentre a janela fotovoltaica e o defletor pode ser revestido com uma fina camada transparente de um metal que reage com o gálio. Revestimentos exemplares podem compreender pelo menos um dentre tungstênio e tântalo. Em uma modalidade, a superfície de metal pode ser texturizada por métodos tais como a pulverização catódica para controlar o não umedecimento da superfície. Em uma modalidade, o metal compreende uma camada de óxido de metal para evitar umedecimento pelo gálio.

[0344] A janela fotovoltaica pode ser resfriada por pelo menos um dentre resfriamento direto e resfriamento indireto. O resfriamento indireto pode compreender o resfriamento secundário por transferência de calor para o sistema de resfriamento da matriz de células fotovoltaicas, como um trocador de calor resfriado por água. O trocador de calor pode compreender pelo menos uma placa multicanal. A temperatura da janela fotovoltaica pode ser controlada pelo resfriamento a uma faixa abaixo da temperatura de falha da janela, como uma temperatura abaixo da temperatura de falha de pelo menos um dentre o material estrutural da janela e do revestimento, se presente. A temperatura pode ser mantida em pelo menos uma faixa de cerca de 50 °C a 1.500 °C, 100 °C a 1.000 °C e 100 °C a 500 °C.

[0345] A janela fotovoltaica pode compreender um revestimento com uma propriedade superliofóbica contra o gálio líquido, minimizando a área de contato entre a superfície sólida e o metal líquido que retarda o umedecimento da superfície pelo metal fundido ou líquido, como o gálio. O revestimento pode ainda impedir o umedecimento da superfície do gálio tendo uma camada de óxido de gálio que, de outra forma, aumentaria o umedecimento. Revestimentos superliofóbicos exemplares são um com uma superfície em escala múltipla padronizada com matriz de micropilares de polidimetilsiloxano (PDMS), e um com um nanotubo de carbono alinhado verticalmente com estruturas combinadas em escala micro/nano hierárquica. Os nanotubos de carbono podem ser transferidos para PDMS flexível por impressão, de modo que a propriedade superliofóbica seja mantida mesmo sob deformação mecânica como alongamento e flexão. Alternativamente, a camada de óxido de gálio líquido pode ser manipulada modificando a superfície do próprio metal líquido. Por exemplo, a reação química com o vapor de HCl causa a conversão da superfície oxidada (principalmente Ga_2O_3/Ga_2O) de gálio líquido para $GaCl_3$ resultando na recuperação das características não umectantes. Em outra modalidade, o não umedecimento pelo metal líquido pode ser alcançado por pelo menos um dentre revestimento da superfície da janela fotovoltaica com

um material ferromagnético, como Co, Ni, Fe ou CoNiMnP e aplicação de um campo magnético.

[0346] Em uma modalidade, a janela ou defletor pode compreender um revestimento que não é umedecido com gálio, mas pode umedecer quando o óxido de gálio se forma por reação com uma fonte de oxigênio, como gás oxigênio ou vapor de água. A pressão de vapor da fonte de oxigênio como O_2 ou vapor de H_2O na câmara da célula de reação pode ser mantida a uma pressão desejada que está abaixo de uma pressão que resulta na formação de óxido suficiente para causar umedecimento com gálio. A pressão da fonte de oxigênio pode ser mantida abaixo de pelo menos uma pressão de cerca de 10 Torr, 1 Torr, 0,1 Torr e 0,01 Torr. Em uma modalidade em que a água é absorvida na superfície da janela ou do defletor, como uma que compreende quartzo, a temperatura da janela ou do defletor é mantida a uma temperatura desejada que está acima de uma temperatura que resulta em absorção de superfície de água suficiente para causar umedecimento pelo gálio. O umedecimento de gálio devido à água pode ser causado pela formação de óxido de gálio suficiente que facilita o umedecimento. A temperatura desejada mantida para evitar uma concentração de água absorvida para permitir o umedecimento com gálio é ajustada para a pressão de vapor de água na câmara da célula de reação 5b31. A janela ou defletor pode compreender um aquecedor e um controlador para manter a temperatura desejada para evitar a absorção excessiva de água. Alternativamente, a janela ou defletor pode compreender um resfriador ou refrigerador, como um trocador de calor, em que a remoção de calor é diminuída para atingir a temperatura elevada desejada que evita o umedecimento com gálio. A temperatura desejada pode estar acima de pelo menos uma temperatura de cerca de 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C e 500 °C.

[0347] A janela fotovoltaica pode compreender um revestimento fino de um agente anti-umectante que pode ser não transparente, como um polímero compreendendo flúor, tal como Teflon transparente, etileno-propileno fluorado (FEP),

copolímero de politetrafluoroetileno-perfluoroalcoxi (Teflon-PFA) e polímeros ou copolímeros à base de flúor, carbono ou silício, tais como alilalcoxissilano, alcoxissilanos fluoroalifáticos, éter silílico fluoroalifático e trimetoxissilano fluorado. O revestimento fino, como um hidrocarboneto de cadeia longa, como vaselina ou cera, pode ser translúcido. Pelo menos um dentre a janela fotovoltaica e o revestimento da janela fotovoltaica pode compreender um termoplástico transparente, tal como pelo menos um dentre policarbonato (Lexan), vidro acrílico ou Plexiglas, compreendendo poli(metacrilato de metila) (PMMA), também conhecido como acrílico ou vidro acrílico como também pelos nomes comerciais Crylux, Plexiglas, Acrylite, Lucite e Perspex, polietileno tereftalato (PET), copoliéster amorfo (PETG), policloreto de vinila (PVC), borracha de silicone líquido (LSR), copolímeros de olefina cíclica, polietileno, resina de ionômero, polipropileno transparente, etileno propileno fluorado (FEP), perfluoroalcoxi (PFA), metacrilato de metil estireno (SMMA), resina de acrilonitrila e estireno (SAN), poliestireno (uso geral-GPPS) e metacrilato de metila polimérico acrilonitrila butadieno estireno [MABS (ABS transparente)].

[0348] O canal em ziguezague pode impedir o bombardeio direto da janela fotovoltaica ou defletor com partículas que têm pelo menos uma dentre alta energia cinética e alta temperatura que danificariam um revestimento macio. Em uma modalidade de uma janela fotovoltaica ou defletor compreendendo um canal em ziguezague, a janela fotovoltaica ou defletor podem ser revestidos com uma superfície não umedecida por gálio, como um polietileno ou Teflon.

[0349] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação contém um reagente de transporte que reage com pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio a partir de um composto volátil em uma primeira temperatura que se decompõe termicamente em uma segunda temperatura elevada. Em uma modalidade, o composto volátil da janela fotovoltaica na primeira temperatura e se decompõe um ou mais nas paredes da câmara da célula de reação, nos gases da câmara de reação e no plasma

de reação de hidrino. A formação do composto volátil serve para limpar a janela fotovoltaica em um ciclo catalítico. O reagente de transporte pode ser continuamente consumido e regenerado, uma vez que remove pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio da superfície da janela fotovoltaica. O reagente de transporte pode formar um haleto volátil, como $GaCl_3$ que tem um ponto de ebulição de 201 °C. O reagente de transporte pode compreender HCl, Cl_2 ou um haleto orgânico, como cloreto de metila. O reagente de transporte pode formar um haleto volátil, como GaI_3 ou Ga_2I_6 que tem um ponto de ebulição de 345 °C. O reagente de transporte pode compreender HI, I_2 ou um haleto orgânico, como iodeto de metila. O reagente de transporte pode compreender uma molécula orgânica que forma um complexo ou composto organometálico volátil de gálio. O composto de transporte orgânico pode compreender N, O ou S. Em uma modalidade, o reagente de transporte compreende um haleto de gálio, como $GaCl_3$, que reage com pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio. O produto pode ser volátil. Em uma modalidade exemplar, $GaCl_3$ reage com gálio para formar tetracloreto de gálio-gálio (Ga_2Cl_4). Uma vez que o PF = 164 °C e o PE = 535 °C, a janela pode ser operada a uma temperatura para manter Ga_2Cl_4 suficiente para limpar a janela como uma próxima e acima do ponto de ebulição (PE). O composto de transporte pode reagir com Ga_2O_3 para formar Ga_2O, que é volátil. O composto de transporte pode compreender H_2. O H_2 pode ser fornecido por um jato de gás que pode servir ainda para limpar a janela fotovoltaica. Em uma modalidade, o composto de transporte é um átomo, íon ou elemento. O elemento pode ser gálio. O gálio pode reagir com Ga_2O_3 para formar Ga_2O, que é volátil. A reação para formar subóxido de gálio é favorecida na temperatura mais baixa da janela. Ga_2O pode se decompor em Ga e Ga_2O_3 na temperatura mais alta do plasma na câmara da célula de reação, como em uma temperatura acima de 660 °C. Em uma modalidade, o elemento de transporte é alumínio adicionado ao gálio. O alumínio pode formar Al_2O gasoso. Em outra modalidade, o alumínio pode ser substituído por gálio. O alumínio pode compreender o metal

fundido. O reagente de transporte pode fluir de uma zona quente onde é formado para a superfície da janela fotovoltaica pelo sistema de jato de gás em que o reagente de transporte reage com pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio na superfície da janela fotovoltaica. O produto volatiliza para limpar a janela. Os componentes do SunCell® que estão em contato com o composto de transporte ou o solvente, como a câmara da célula de reação e o tubo da bomba EM, podem compreender um material que é resistente à corrosão pelo agente de transporte ou solvente, como $GaCl_3$ ou $GaBr_3$. Os componentes do SunCell® podem compreender materiais exemplares de quartzo ou um aço inoxidável austenítico, como 316 ou SS 625, que é resistente à corrosão por haletos. A modalidade que compreende um tubo da bomba EM de quartzo pode compreender uma bomba EM de indução.

[0350] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende um composto de limpeza que remove o material depositado, como gálio e óxido de gálio, da janela PV. O composto de limpeza pode compreender um solvente para pelo menos um dentre gálio e óxido de gálio. O solvente pode compreender um composto que é um líquido na temperatura operacional da janela fotovoltaica. O composto de limpeza pode compreender um gás na temperatura operacional da câmara da célula de reação. O composto de limpeza pode condensar na janela fotovoltaica. O composto de limpeza pode pelo menos um dentre dissolver, suspender e transportar o material depositado na janela fotovoltaica. O SunCell® pode ainda compreender um sistema de jato de gás, como um que compreende uma bomba de gás com uma entrada de gás e pelo menos uma saída de gás que compreende pelo menos um bocal de gás que faz com que o gás colida com a superfície interna da janela fotovoltaica, em que o gás pode ter uma alta velocidade para remover o material depositado da janela fotovoltaica. O sistema de jato de gás pode recircular o gás da câmara da célula de reação. O composto de limpeza também pode ser removido com o material depositado em suspensão ou dissolvido pelo jato de gás. O composto de limpeza pode

compreender um composto inorgânico, como GaX_3 em que X é um haleto, pelo menos um dentre F, Cl, Br ou I. Em uma modalidade exemplar, a solubilidade do gálio metálico em brometo de gálio (PF = 121,5 °C, PE = 278,8 °C) é 14% molar [MA Bredig, “Mixtures of metals with molten salts” (*Misturas de metais com sais fundidos*), Oak Ridge National Laboratory, Chemistry Division, U.S. Atomic Energy Commission, 1963, http://moltensalt.org/references/ static/downloads/pdf/ORNL-3391.pdf]. Portanto, o brometo de gálio pode dissolver o gálio depositado na janela fotovoltaica. A solução pode ser removida por evaporação ou por fluxo. Alternativamente, o composto de limpeza pode compreender um composto orgânico, como um solvente. Solventes exemplares são hidrocarbonetos de cadeia longa, tais como nonano (PE = 151 °C), decano (PE = 174 °C), undecano (PE = 196 °C), dodecano (PE = 216 °C), hexametilfosforamida, dimetilsulfóxido, N,N’-tetraalquilureias DMPU (dimetilpropilenoureia), DMI (1,3-dimetil-2-imidazolidinona), metanol, álcool isopropílico ou outro solvente tal como um com pelo menos uma propriedade da lista de ponto de ebulição adequadamente alto, capacidade de dissolver ou suspender as espécies depositadas na janela fotovoltaica, e baixa tensão superficial de modo que umedeça a janela fotovoltaica e desloque as espécies depositadas. O composto de limpeza pode compreender um hidróxido de metal ou óxido de metal, como um hidróxido ou óxido de metal alcalino ou hidróxido ou óxido de Mg, Zn, Co, Ni ou Cu para formar $MGaO_2$ (em que M é um dentre Li, Na, K, Rb, Cs) ou um espinélio, como $MgGa_2O_4$, respectivamente. O composto de limpeza pode compreender uma pluralidade de compostos, como um hidróxido ou óxido de metal e solvente do produto de reação do óxido de metal e óxido de gálio, como água ou um álcool. Em uma modalidade, a pressão de vapor do composto de limpeza na câmara da célula de reação pode ser controlada por pelo menos um dentre a limitação do número de mols do composto de limpeza e o controle da temperatura da janela fotovoltaica. A pressão de vapor do composto de limpeza pode ser determinada pela superfície de temperatura mais fria em contato com o vapor, como

a superfície da janela fotovoltaica. A pressão de vapor pode ser a do líquido correspondente à temperatura da janela fotovoltaica.

[0351] Em uma modalidade, a fonte de ignição de energia elétrica pode compreender pelo menos um capacitor para fornecer um surto de alta corrente através do metal fundido injetado. A corrente alta pode causar uma explosão poderosa que pode interromper o fluxo de metal fundido injetado. Em uma modalidade, o tubo injetor 5k61 compreende uma pluralidade de bocais em diferentes posições e ângulos para reduzir a interrupção do fluxo de metal fundido injetado pela explosão da reação de hidrino. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação fornece confinamento à onda de pressão criada pela reação de hidrino. O confinamento pode aumentar a taxa de reação de hidrino.

[0352] Em uma modalidade, a alta corrente de ignição pode causar uma instabilidade de pelo menos um dentre o plasma e o fluxo de metal fundido injetado. A instabilidade pode ser devida a pelo menos uma dentre deflexão de Lorentz e o efeito de compressão de alta corrente. A corrente de injeção pode ser limitada para evitar a instabilidade. Alternativamente, o injetor pode compreender pelo menos um dentre um desenho de bocal e uma pluralidade de bocais para evitar a instabilidade. Por exemplo, a pluralidade de bocais pode dividir a corrente para evitar a instabilidade. Alternativamente, a corrente pode ser direcionada ao longo de pelo menos um dentre caminhos paralelos e antiparalelos para eliminar a instabilidade. Em outra modalidade, a taxa de injeção de metal fundido pode ser pelo menos uma dentre aumentada, diminuída e terminada para pelo menos um dentre controlar a taxa de reação de hidrino, amortecer as instabilidades de plasma e reduzir a divisão de corrente entre o fluxo de metal fundido e o plasma. Em uma modalidade, é favorável que a corrente flua através do plasma para melhorar a reação de hidrino. O desvio da corrente do plasma pelo fluxo de metal fundido pode ser obtido reduzindo-se ou eliminando-se o bombeamento EM uma vez que o plasma é iniciado. Em outra modalidade, a taxa de reação de

hidrino pode ser aumentada aumentando-se a taxa de injeção de metal fundido que pode favorecer a recombinação de íons. O SunCell® pode compreender uma pluralidade de injetores de metal fundido, como bombas EM, em que pelo menos uma bomba injeta no contraeletrodo e pelo menos um injetor pode injetar na câmara da célula de reação. A pluralidade de injetores pode circular o gálio fundido e remover calor dos pontos quentes na câmara da célula de reação para evitar danos ao SunCell®. Adicionalmente, a taxa de reação de hidrino pode ser controlada controlando-se a energia de ignição que pode ser aumentada, diminuída ou encerrada para controlar a saída de potência, e o ganho de potência em relação à potência de entrada. A taxa de reação de hidrino pode ser aumentada com o aumento da potência de entrada, mas o ganho pode diminuir.

[0353] Em uma modalidade, pelo menos um dos parâmetros de plasma de ignição, como tensão, corrente e potência, pode ser inicialmente mantido em um valor mais alto do que depois que o plasma tenha sido formado e a temperatura da câmara da célula de reação tenha aumentado. Pelo menos um parâmetro de energia de ignição, como tensão e corrente, pode ser mantido em um nível alto inicial e, em seguida, diminuído após a inicialização do plasma para melhorar o ganho de potência de saída sobre a potência de entrada. Em uma modalidade, a corrente de ignição pode ser encerrada uma vez que o plasma se torna suficientemente quente para a reação de hidrino manter o plasma na ausência de energia de ignição. Para diminuir a tensão de ignição diminuindo a resistência da célula, o SunCell® pode compreender pelo menos um dentre (i) um barramento altamente condutor para fornecer energia elétrica diretamente ao metal fundido no reservatório 5c, (ii) um contraeletrodo altamente condutor 8 ou 10, (iii) eletrodos submersos, (iv) um bocal 5q com um grande diâmetro, e (v) uma separação de eletrodo mais curta. Em uma modalidade que compreende gálio como o metal fundido em que a corrente de ignição atravessa o tubo da bomba injetora, o tubo da bomba pode compreender um metal ou revestimento para evitar a

formação de uma camada de liga de gálio de alta resistência por reação com o metal do tubo da bomba EM. Metais e revestimento de metal exemplares são aço inoxidável, tântalo, tungstênio e rênio. Em uma modalidade, pelo menos um componente do SunCell® que contata o gálio, tal como o tubo da bomba EM 5k6, o tubo injetor 5k61, o barramento no reservatório de gálio 5c e o eletrodo 8 podem compreender ou ser revestidos com um metal que tenha uma taxa lenta de formação de liga de gálio, ou a formação de liga de gálio é desfavorável, como pelo menos um dentre aço inoxidável, rênio (Re), tântalo e tungstênio (W).

[0354] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sistema de vácuo que compreende uma entrada para uma linha de vácuo, uma linha de vácuo, um coletor e uma bomba de vácuo. A bomba de vácuo pode compreender uma com alta velocidade de bombeamento, tal como uma bomba de raiz ou bomba de rolagem, e pode ainda compreender um coletor para vapor de água que pode estar conectado em série ou paralelo com a bomba de vácuo, tal como uma conexão em série anterior à bomba de vácuo. O coletor de água pode compreender um material absorvente de água, como um dessecante sólido ou um criocoletor. Em uma modalidade, a bomba pode compreender pelo menos um dentre uma bomba criogênica, criofiltro ou resfriador para pelo menos um dentre resfriar os gases antes de entrar na bomba e condensar pelo menos um gás, como vapor de água. Para aumentar a capacidade e a taxa de bombeamento, o sistema de bombeamento pode compreender uma pluralidade de linhas de vácuo conectadas à câmara da célula de reação e um coletor de vácuo conectado às linhas de vácuo em que o coletor está conectado à bomba de vácuo. Em uma modalidade, a entrada para a linha de vácuo compreende uma blindagem para impedir que partículas de metal fundido na câmara da célula de reação entrem na linha de vácuo. Uma blindagem exemplar pode compreender uma cúpula ou placa de metal sobre a entrada, mas elevada da superfície da entrada, para fornecer uma lacuna seletiva para o fluxo de gás da câmara da célula de reação para a linha de

vácuo. O sistema de vácuo pode compreender ainda um restritor de fluxo de partículas para a entrada da linha de vácuo, como um conjunto de defletores para permitir o fluxo de gás enquanto bloqueia o fluxo de partículas.

[0355] O sistema de vácuo pode ser capaz de pelo menos um dentre vácuo ultra-alto e manter a pressão de operação da câmara da célula de reação em pelo menos uma faixa baixa, como cerca de 0,01 Torr a 500 Torr, 0,1 Torr a 50 Torr, 1 Torr a 10 Torr e 1 Torr a 5 Torr. A pressão pode ser mantida baixa no caso de pelo menos um dentre (i) adição de H_2 com traço de catalisador HOH fornecido como traço de água ou como O_2 que reage com H_2 para formar HOH, e (ii) adição de H_2O. No caso de gás nobre, como argônio, também ser fornecido à mistura de reação, a pressão pode ser mantida em pelo menos uma faixa de alta pressão operacional, como cerca de 100 Torr a 100 atm, 500 Torr a 10 atm e 1 atm a 10 atm, em que o argônio pode estar em excesso em comparação com outros gases da câmara da célula de reação. A pressão de argônio pode aumentar o tempo de vida de pelo menos um dentre catalisador HOH e H atômico, e pode evitar que o plasma formado nos eletrodos se disperse rapidamente, de modo que a intensidade do plasma seja aumentada.

[0356] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende um meio para controlar a pressão da câmara da célula de reação dentro de uma faixa desejada, alterando o volume em resposta às mudanças de pressão na câmara da célula de reação. Os meios podem compreender um sensor de pressão, uma seção expansível mecânica, um atuador para expandir e contrair a seção expansível, e um controlador para controlar o volume diferencial criado pela expansão e contração da seção expansível. A seção expansível pode compreender um fole. O atuador pode compreender um atuador mecânico, pneumático, eletromagnético, piezoelétrico, hidráulico e outros atuadores conhecidos na técnica.

[0357] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um (i) sistema de recirculação de gás com uma entrada e uma saída de gás, (ii) um sistema de

separação de gás, tal como um capaz de separar pelo menos dois gases de uma mistura de pelo menos dois dentre um gás nobre, como argônio, O_2, H_2, H_2O, uma espécie volátil da mistura de reação, como GaX_3 (X = haleto) ou N_xO_y (x, y = inteiros) e gás hidrino, (iii) sensores de pressão parcial para pelo menos um gás nobre, O_2, H_2 e H_2O, (iv) controladores de fluxo, (v) pelo menos um injetor, como um microinjetor, como um que injeta água, (vi) pelo menos uma válvula, (vii) uma bomba, (viii) uma pressão de gás de escape e controlador de fluxo e (ix) um computador para manter pelo menos um dentre a pressão de gases nobres, argônio, O_2, H_2, H_2O e gás hidrino. O sistema de recirculação pode compreender uma membrana semipermeável para permitir que pelo menos um gás, tal como o gás hidrino molecular, seja removido dos gases recirculados. Em uma modalidade, pelo menos um gás, como o gás nobre, pode ser recirculado seletivamente enquanto pelo menos um gás da mistura de reação pode fluir para fora da saída e pode ser removido através de uma exaustão. O gás nobre pode pelo menos um dentre aumentar a taxa de reação de hidrino e aumentar a taxa de transporte de pelo menos uma espécie na câmara da célula de reação para fora da exaustão. O gás nobre pode aumentar a taxa de exaustão do excesso de água para manter a pressão desejada. O gás nobre pode aumentar a taxa de exaustão dos hidrinos. Em uma modalidade, um gás nobre como o argônio pode ser substituído por um gás de tipo nobre que é pelo menos um dentre prontamente disponível na atmosfera ambiente e prontamente removido para a atmosfera ambiente. O gás de tipo nobre pode ter uma baixa reatividade com a mistura de reação. O gás de tipo nobre pode ser adquirido da atmosfera e removido em vez de ser recirculado pelo sistema de recirculação. O gás de tipo nobre pode ser formado a partir de um gás que está prontamente disponível na atmosfera, e pode ser removido para a atmosfera. O gás nobre pode compreender nitrogênio que pode ser separado do oxigênio antes de ser fluído para a câmara da célula de reação. Alternativamente, o ar pode ser usado como uma fonte de gás nobre em que o oxigênio pode ser reagido com carbono de

uma fonte para formar dióxido de carbono. Pelo menos um dentre o nitrogênio e o dióxido de carbono pode servir como o gás de tipo nobre. Alternativamente, o oxigênio pode ser removido por reação com o metal fundido, como gálio. O óxido de gálio resultante pode ser regenerado em um sistema de regeneração de gálio, como aquele que forma galato de sódio por reação de hidróxido de sódio aquoso com óxido de gálio e eletrolisa galato de sódio em gálio metálico e oxigênio que é removido.

[0358] Em uma modalidade, o SunCell® pode ser operado de forma proeminentemente fechada com adição de pelo menos um dentre os reagentes H_2, O_2 e H_2O, em que a atmosfera da câmara da célula de reação compreende os reagentes, bem como um gás nobre, como argônio. O gás nobre pode ser mantido a uma pressão elevada, tal como na faixa de 10 Torr a 100 atm. A atmosfera pode ser pelo menos uma dentre continuamente e periodicamente ou intermitentemente removida ou recirculada pelo sistema de recirculação. A exaustão pode remover o excesso de oxigênio. A adição do reagente O_2 com H_2 pode ser tal que O_2 é uma espécie secundária e essencialmente forma catalisador HOH à medida que é injetado na câmara da célula de reação com excesso de H_2. Uma tocha pode injetar a mistura de H_2 e O_2 que reage imediatamente para formar catalisador HOH e H_2 reagente em excesso. Em uma modalidade, o excesso de oxigênio pode ser pelo menos parcialmente liberado do óxido de gálio por pelo menos um dentre redução de hidrogênio, redução eletrolítica, decomposição térmica e pelo menos um dentre vaporização e sublimação devido à volatilidade de Ga_2O. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o estoque de oxigênio pode ser controlado e o estoque de oxigênio pode ser pelo menos parcialmente permitido a formar catalisador HOH por fluxo intermitente de oxigênio para a câmara da célula de reação na presença de hidrogênio. Em uma modalidade, o estoque de oxigênio pode ser recirculado como H_2O por reação com o H_2 adicionado. Em outra modalidade, o excesso de oxigênio do estoque pode ser removido como Ga_2O_3 e regenerado por meio da publicação, como por pelo menos um dentre o skimmer e o

sistema de eletrólise da publicação. A fonte do excesso de oxigênio pode ser pelo menos uma dentre adição de O_2 e adição de H_2O.

[0359] Em uma modalidade, a pressão do gás na câmara da célula de reação pode ser pelo menos parcialmente controlada pelo controle de pelo menos uma dentre a taxa de bombeamento e a taxa de recirculação. Pelo menos uma dessas taxas pode ser controlada por uma válvula controlada por um sensor de pressão e um controlador. Válvulas exemplares para controlar o fluxo de gás são válvulas solenoides que são abertas e fechadas em resposta a uma pressão alvo superior e inferior, e válvulas de restrição de fluxo variável, como as válvulas borboleta e reguladoras que são controladas por um sensor de pressão e um controlador para manter uma faixa desejada de pressão de gás.

[0360] Em uma modalidade, óxido de gálio, como Ga_2O, pode ser removido da câmara da célula de reação por pelo menos um dentre vaporização e sublimação devido à volatilidade de Ga_2O. A remoção pode ser conseguida por pelo menos um método dentre fluxo de gás através da câmara da célula de reação e manutenção de uma pressão baixa, como abaixo da atmosférica. O fluxo de gás pode ser mantido pelo recirculador da publicação. A baixa pressão pode ser mantida pelo sistema de bombeamento de vácuo da publicação. O óxido de gálio pode ser condensado no condensador da publicação e retornado à câmara da célula de reação. Alternativamente, o óxido de gálio pode ser preso em um filtro ou coletor, como uma criocoletor, do qual pode ser removido e regenerado por sistemas e métodos da publicação. O coletor pode estar em pelo menos uma linha de gás do recirculador. Em uma modalidade, o Ga_2O pode ser preso no coletor do sistema de vácuo, em que o coletor pode compreender pelo menos um dentre um filtro, um criocoletor e um precipitador eletrostático. O precipitador eletrostático pode compreender eletrodos de alta tensão para manter um plasma para carregar eletrostaticamente partículas de Ga_2O e para prender as partículas carregadas. Em uma modalidade exemplar, cada conjunto de pelo

menos um conjunto de eletrodos pode compreender um fio que pode produzir uma descarga coronal que carrega negativamente eletrostaticamente as partículas de Ga_2O, e um eletrodo de coleta com carga positiva, tal como uma placa ou eletrodo de tubo, que precipita as partículas carregadas do fluxo de gás da câmara da célula de reação. As partículas de Ga_2 O podem ser removidas de cada eletrodo coletor por um meio conhecido na técnica, como mecanicamente, e o Ga_2O pode ser convertido em gálio e reciclado. O gálio pode ser regenerado a partir do Ga_2O por sistemas e métodos tais como por eletrólise em solução de NaOH.

[0361] O precipitador eletrostático (ESP) pode compreender ainda um meio para precipitar pelo menos uma espécie desejada do fluxo de gás da câmara da célula de reação e devolvê-la à câmara da célula de reação. O precipitador pode compreender um meio de transporte, tal como uma rosca, correia transportadora, transporte pneumático, eletromecânico ou outro meio de transporte da publicação ou conhecido na técnica para transportar as partículas coletadas pelo precipitador de volta para a câmara da célula de reação. O precipitador pode ser montado em uma porção da linha de vácuo que compreende um refluxo que retorna as partículas desejadas para a câmara da célula de reação por fluxo de gravidade, em que as partículas podem ser precipitadas e fluir de volta para a câmara da célula de reação por fluxo de gravidade, como o fluxo na linha de vácuo. A linha de vácuo pode ser orientada verticalmente em pelo menos uma porção que permite que as partículas desejadas sofram o fluxo de retorno da gravidade.

[0362] Em uma modalidade exemplar testada, a câmara da célula de reação foi mantida a uma faixa de pressão de cerca de 1 a 2 atm com injeção de 4 ml/min de H_2O. A tensão CC era de cerca de 30 V e a corrente CC era de cerca de 1,5 kA. A câmara da célula de reação era uma esfera de aço inoxidável de 6 polegadas de diâmetro, como a mostrada na FIGURA 25, que continha 3,6 kg de gálio fundido. Os eletrodos compreendiam um bocal de SS submerso de 1 polegada de uma bomba EM

CC e um contraeletrodo compreendendo um disco de W de 4 cm de diâmetro e 1 cm de espessura, com um condutor de 1 cm de diâmetro coberto por um pedestal BN. A taxa de bombeamento EM foi de cerca de 30–40 ml/s. O gálio foi positivamente polarizado com um bocal submerso e o eletrodo de pedestal de W foi negativamente polarizado. O gálio foi bem misturado pelo injetor de bomba EM. A potência de saída do SunCell® era de cerca de 85 kW, medida usando o produto da massa, calor específico e aumento de temperatura do reator de SS e gálio.

[0363] Em outra modalidade testada, 2500 sccm de H_2 e 25 sccm de O_2 foram fluídos através de cerca de 2 g de esferas de Pt/Al_2O_3 a 10%, mantidas em uma câmara externa em linha com as entradas de gás H_2 e O_2 e a câmara da célula de reação. Além disso, argônio foi fluído para a câmara da célula de reação a uma taxa para manter a pressão da câmara em 50 Torr, enquanto se aplica o bombeamento de vácuo ativo. A tensão CC era de cerca de 20 V e a corrente CC era de cerca de 1,25 kA. A potência de saída do SunCell® era de cerca de 120 kW, medida usando o produto da massa, calor específico e aumento de temperatura do reator de SS e gálio.

[0364] Em uma modalidade, o sistema de recirculação ou recirculador, tal como o sistema de recirculação de gás nobre capaz de operar em uma ou mais dentre na pressão atmosférica, abaixo da pressão atmosférica e acima da pressão atmosférica pode compreender (i) um movedor de gás, como pelo menos um dentre uma bomba de vácuo, um compressor e um soprador para recircular ao menos um gás da câmara da célula de reação, (ii) linhas de recirculação de gás, (iii) um sistema de separação para remover gases de exaustão, como hidrino e oxigênio, e (iv) um sistema de abastecimento de reagente. Em uma modalidade, o movedor de gás é capaz de bombear gás da câmara da célula de reação, empurrando-o através do sistema de separação para remover os gases de exaustão, e retornando o gás regenerado para a câmara da célula de reação. O movedor de gás pode compreender pelo menos dois dentre a bomba, o compressor e o soprador como a mesma unidade. Em uma

modalidade, bomba, compressor, soprador ou combinação destes podem compreender pelo menos um dentre uma bomba criogênica, criofiltro ou resfriador para pelo menos um dentre resfriar os gases antes de entrar no movedor de gás e condensar pelo menos um gás, como vapor de água. As linhas de gás de recirculação podem compreender uma linha da bomba de vácuo para o movedor de gás, uma linha do movedor de gás para o sistema de separação para remover gases de exaustão, e uma linha do sistema de separação para remover gases de exaustão para a câmara da célula de reação, que pode se conectar com o sistema de abastecimento de reagente. Um exemplo de sistema de abastecimento de reagente compreende pelo menos uma união com a linha para a câmara da célula de reação com pelo menos uma linha de reposição de gás de mistura de reação para pelo menos um dentre o gás nobre como argônio, oxigênio, hidrogênio e água. A adição do reagente O_2 com H_2 pode ser tal que O_2 é uma espécie secundária e essencialmente forma catalisador HOH à medida que é injetado na câmara da célula de reação com excesso de H_2. Uma tocha pode injetar a mistura de H_2 e O_2 que reage imediatamente para formar catalisador HOH e H_2 reagente em excesso. O sistema de abastecimento de reagente pode compreender um coletor de gás conectado às linhas de fornecimento de gás da mistura de reação e uma linha de fluxo de saída para a câmara da célula de reação.

[0365] O sistema de separação para remover os gases de exaustão pode compreender um criofiltro ou uma criocoletor. O sistema de separação para remover o produto gasoso de hidrino do gás em recirculação pode compreender uma membrana semipermeável para exaurir seletivamente o hidrino por difusão através da membrana do gás em recirculação para a atmosfera, ou para um fluxo ou câmara de exaustão. O sistema de separação do recirculador pode compreender um sistema de depuração de oxigênio que remove o oxigênio do gás em recirculação. O sistema de depuração pode compreender pelo menos um dentre um vaso e um *getter* ou absorvente no vaso que reage com o oxigênio, como um metal, como um metal alcalino,

um metal alcalino-terroso ou ferro. Alternativamente, o absorvente, tal como carvão ativado ou outro absorvedor de oxigênio conhecido na técnica, pode absorver oxigênio. O absorvente de carvão pode compreender um filtro de carvão que pode ser selado em um cartucho permeável a gás, como um disponível comercialmente. O cartucho pode ser removível. O absorvente de oxigênio do sistema de depuração pode ser periodicamente substituído ou regenerado por métodos conhecidos na técnica. Um sistema de regeneração de depurador do sistema de recirculação pode compreender pelo menos um dentre um ou mais aquecedores absorventes e uma ou mais bombas de vácuo. Em uma modalidade exemplar, o absorvente de carvão é pelo menos um dentre aquecido pelo aquecedor e submetido a um vácuo aplicado pela bomba de vácuo para liberar o oxigênio, que é removido ou coletado, e o carvão regenerado resultante é reutilizado. O calor do SunCell® pode ser usado para regenerar o absorvente. Em uma modalidade, o SunCell® compreende pelo menos um trocador de calor, uma bomba de refrigerante e um circuito de fluxo de refrigerante que serve como um aquecedor de depurador para regenerar o absorvente, como carvão. O depurador pode compreender grande volume e área para depurar eficazmente, embora não aumente significativamente a resistência ao fluxo de gás. O fluxo pode ser mantido pelo movedor de gás que está conectado às linhas de recirculação. O carvão pode ser resfriado para absorver mais eficazmente as espécies a serem depuradas do gás em recirculação, como uma mistura que compreende um gás nobre, como argônio. O absorvente de oxigênio, como carvão, também pode depurar ou absorver gás hidrino. O sistema de separação pode compreender uma pluralidade de sistemas de depuração, cada um compreendendo (i) uma câmara capaz de manter uma vedação de gás, (ii) um absorvente para remover gases de exaustão, como oxigênio, (iii) válvulas de entrada e saída que podem isolar a câmara das linhas de gás de recirculação e isolar as linhas de gás de recirculação da câmara, (iv) um meio tal como um mecanismo robótico controlado por um controlador para conectar e desconectar a câmara das linhas

de recirculação, (v) um meio para regenerar o absorvente, tal como um aquecedor e uma bomba de vácuo em que o aquecedor e a bomba de vácuo podem ser comuns para regenerar pelo menos um outro sistema de depuração durante sua regeneração, (v) um controlador para controlar a desconexão do enésimo sistema de depuração, a conexão do n + 1º sistema de depuração e a regeneração do enésimo sistema de depuração, enquanto o n + 1º sistema de depuração serve como um sistema de depuração ativo, em que pelo menos um da pluralidade de sistemas de depuração podem ser regenerados, enquanto pelo menos um outro pode estar ativamente depurando ou absorvendo os gases desejados. O sistema de depuração pode permitir que o SunCell® seja operado em condições de exaustão fechada, com recuperação de gás ou exaustão controlada periódica. Em uma modalidade exemplar, hidrogênio e oxigênio podem ser coletados separadamente do absorvente, tal como o carbono ativado, por aquecimento a diferentes temperaturas nas quais os gases correspondentes são liberados separadamente.

[0366] Em uma modalidade que compreende uma mistura de gás da câmara da célula de reação de um gás nobre, hidrogênio e oxigênio, em que a pressão parcial do gás nobre do gás da câmara da célula de reação excede a do hidrogênio, a pressão parcial do oxigênio pode ser aumentada para compensar a taxa de reação reduzida entre o hidrogênio e oxigênio para formar o catalisador HOH devido ao efeito de diluição da concentração de reagente do gás nobre, como argônio. Em uma modalidade, o catalisador HOH pode ser formado antes da combinação com o gás nobre, como argônio. O hidrogênio e o oxigênio podem ser levados a reagir por um recombinador ou combustor, como um catalisador de recombinador, uma fonte de plasma ou uma superfície quente, como um filamento. O catalisador de recombinador pode compreender um metal nobre suportado em um suporte de cerâmica, como Pt, Pd ou Ir em pó ou esferas de alumina, zircônio, háfnio, sílica ou zeólita, outro catalisador de recombinação suportado da publicação, ou um dissociador, tal como níquel de Raney,

níquel, nióbio, titânio ou outro metal dissociador da publicação, ou um conhecido na técnica, em forma tal para fornecer uma área de superfície elevada, tal como pó, tapete, tecido ou pano. Um recombinador exemplar compreende 10% em peso de Pt em esferas de Al_2O_3. A fonte de plasma pode compreender uma descarga luminescente, plasma de micro-ondas, tocha de plasma, descarga de RF acoplada indutivamente ou capacitivamente, descarga de barreira dielétrica, descarga direta piezoelétrica, descarga acústica ou outra célula de descarga da publicação, ou conhecida na técnica. O filamento quente pode compreender um filamento de tungstênio quente, um Pt ou Pd preto no filamento de Pt, ou outro filamento catalítico conhecido na técnica.

[0367] O fluxo de entrada de espécies da mistura de reação, como pelo menos um dentre água, hidrogênio, oxigênio e um gás nobre, pode ser contínuo ou intermitente. As vazões de entrada e uma vazão de exaustão ou vácuo podem ser controladas para atingir uma faixa de pressão desejada. O fluxo de entrada pode ser intermitente, em que o fluxo pode ser interrompido na pressão máxima de uma faixa desejada e iniciado no mínimo da faixa desejada. Em um caso em que os gases da mistura de reação compreendem gás nobre em alta pressão, como argônio, a câmara da célula de reação pode ser evacuada, preenchida com a mistura de reação e executada sob condições de fluxo de exaustão quase estático, em que os fluxos de entrada de reagentes, como pelo menos um dentre água, hidrogênio e oxigênio são mantidos sob condições de fluxo contínuo ou intermitente para manter a pressão na faixa desejada. Além disso, o gás nobre pode fluir a uma vazão economicamente prática com uma taxa de bombeamento de exaustão correspondente, ou o gás nobre pode ser regenerado ou depurado e recirculado pelo sistema de recirculação ou recirculador.

[0368] Os gases da câmara da célula de reação 5b31 podem compreender pelo menos um dentre H_2, um gás nobre como argônio, O_2 e H_2O e óxido como CO_2. Em uma modalidade, a pressão na câmara da célula de reação 5b31 pode estar

abaixo da atmosférica. A pressão pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 miliTorr a 750 Torr, 10 miliTorr a 100 Torr, 100 miliTorr a 10 Torr e 250 miliTorr a 1 Torr. O SunCell® pode compreender um sistema de abastecimento de vapor de água que compreende um reservatório de água com aquecedor e um controlador de temperatura, um canal ou conduíte e uma válvula. Em uma modalidade, o gás da câmara da célula de reação pode compreender vapor de H_2O. O vapor de água pode ser fornecido pelo reservatório de água externo em conexão com a câmara da célula de reação através do canal, controlando a temperatura do reservatório de água em que o reservatório de água pode ser o componente mais frio do sistema de abastecimento de vapor de água. A temperatura do reservatório de água pode controlar a pressão de vapor de água com base na pressão parcial da água em função da temperatura. O reservatório de água pode compreender ainda um resfriador para diminuir a pressão de vapor. A água pode compreender um aditivo, como um composto dissolvido, como um sal, como NaCl ou outro haleto alcalino ou alcalino-terroso, um absorvente, como zeólita, um material ou composto que forma um hidrato, ou outro material ou composto conhecido pelos especialistas na arte, que reduz a pressão de vapor. Mecanismos exemplares para diminuir a pressão de vapor são por efeitos coligativos ou interação de ligação. Em uma modalidade, a fonte de pressão de vapor de água pode compreender gelo que pode ser alojado em um reservatório e fornecido à câmara da célula de reação 5b31 através de um conduíte. O gelo pode ter uma área de superfície alta para aumentar pelo menos uma dentre a taxa de formação do catalisador HOH e H a partir do gelo e a taxa de reação de hidrino. O gelo pode ter a forma de lascas finas para aumentar a área de superfície. O gelo pode ser mantido a uma temperatura desejada abaixo de 0 °C para controlar a pressão de vapor de água. Um gás carreador, como pelo menos um dentre H_2 e argônio, pode fluir através do reservatório de gelo e para dentro da câmara da célula de reação. A pressão de vapor de água também pode ser controlada controlando a vazão do gás carreador.

[0369] O equivalente molar de H_2 em H_2O líquido é 55 mols/litro, em que o gás H_2 em TPP ocupa 22,4 litros. Em uma modalidade, H_2 é fornecido à câmara da célula de reação 5b31 como reagente para formar hidrino em uma forma que compreende pelo menos um dentre água líquida e vapor. O SunCell® pode compreender pelo menos um injetor de pelo menos um dentre água líquida e vapor. O injetor pode compreender pelo menos um dentre jatos de vapor e água. O orifício do injetor na câmara da célula de reação pode ser pequeno para impedir o refluxo. O injetor pode compreender um material refratário resistente à oxidação, como cerâmica ou outra da publicação. O SunCell® pode compreender uma fonte de pelo menos um dentre água e vapor, e um sistema de controle de pressão e fluxo. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender ainda um sonicador, atomizador, aerossolizador ou nebulizador para produzir pequenas gotículas de água que podem ser arrastadas em um fluxo de gás carreador e fluir para a câmara da célula de reação. O sonicador pode compreender pelo menos um dentre um vibrador e um dispositivo piezoelétrico. A pressão de vapor de água em um fluxo de gás carreador pode ser controlada controlando-se a temperatura da fonte de vapor de água ou de um conduíte de fluxo da fonte para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender ainda uma fonte de hidrogênio e um recombinador de hidrogênio, tal como um recombinador de CuO para adicionar água à câmara da célula de reação 5b31, fluindo hidrogênio através do recombinador, tal como um recombinador de óxido de cobre aquecido, de modo que o vapor de água produzido flui para a câmara da célula de reação. Em outra modalidade, o SunCell® pode compreender ainda um injetor de vapor. O injetor de vapor pode compreender pelo menos um dentre uma válvula de controle e um controlador para controlar o fluxo de pelo menos um dentre vapor e gás da célula para o injetor de vapor, uma entrada de gás para um bocal convergente, um bocal convergente-divergente, um cone de combinação que pode estar em conexão com uma fonte de água e uma saída de transbordamento, uma fonte de água, uma

saída de transbordamento, um cone de entrega e uma válvula de retenção. O valor de controle pode compreender um solenoide eletrônico ou outra válvula controlada por computador, que pode ser controlada por um temporizador, sensor, tal como um sensor de pressão de célula ou água, ou um ativador manual. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender ainda uma bomba para injetar água. A água pode ser fornecida através de um conduíte de seção transversal estreita, como uma agulha hipodérmica fina, para que o calor do SunCell® não ferva a água na bomba. A bomba pode compreender uma bomba de seringa, bomba peristáltica, bomba doseadora, ou outra conhecida na técnica. A bomba de seringa pode compreender uma pluralidade de seringas de modo que pelo menos uma possa ser recarregada enquanto a outra está injetando. A bomba de seringa pode amplificar a força da água no conduíte devido à seção transversal muito menor do conduíte em relação ao êmbolo da seringa. O conduíte pode ser pelo menos um dentre ter calor dissipado e resfriado para evitar que a água na bomba ferva.

[0370] Em uma modalidade, a mistura de células de reação da câmara da célula de reação é controlada controlando-se a pressão da câmara da célula de reação por pelo menos um meio de controlar a taxa de injeção dos reagentes, e controlar a taxa em que os reagentes excedentes da mistura de reação e dos produtos são removidos da câmara da célula de reação 5b31. Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sensor de pressão, uma bomba de vácuo, uma linha de vácuo, um controlador de válvula e uma válvula, como uma válvula ativada por pressão, uma válvula solenoide ou uma válvula reguladora que abre e fecha para a linha de vácuo da câmara da célula de reação para a bomba de vácuo em resposta ao controlador que processa a pressão medida pelo sensor. A válvula pode controlar a pressão do gás da câmara da célula de reação. A válvula pode permanecer fechada até que a pressão da célula alcance um primeiro ponto de ajuste alto, então a válvula pode ser ativada para ser aberta até que a pressão seja baixada pela bomba de vácuo para um

segundo ponto de ajuste baixo que pode fazer fechar a ativação da válvula. Em uma modalidade, o controlador pode controlar pelo menos um parâmetro de reação, tal como a pressão da câmara da célula de reação, taxa de injeção de reagente, tensão, corrente e taxa de injeção de metal fundido para manter um plasma não pulsante ou quase estável ou contínuo.

[0371] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sensor de pressão, uma fonte de pelo menos um reagente ou uma espécie da mistura de reação, tais como uma fonte de H_2O, H_2, O_2 e gás nobre, como argônio, uma linha de reagente, um controlador de válvula e uma válvula, como uma válvula ativada por pressão, como uma válvula solenoide ou uma válvula reguladora que abre e fecha para a linha de reagente da fonte de pelo menos um reagente ou espécie da mistura de reação e a câmara da célula de reação em resposta ao controlador que processa a pressão medida pelo sensor. A válvula pode controlar a pressão do gás da câmara da célula de reação. A válvula pode permanecer aberta até que a pressão da célula alcance um primeiro ponto de ajuste alto, então a válvula pode ser ativada para ser fechada até que a pressão seja baixada pela bomba de vácuo para um segundo ponto de ajuste baixo que pode fazer abrir a ativação da válvula.

[0372] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um injetor, como uma microbomba. A microbomba pode compreender um dispositivo mecânico ou não mecânico. Dispositivos mecânicos exemplares compreendem peças móveis que podem compreender atuação e abas e membranas de microválvulas. A força motriz da esteira de microbomba pode ser gerada utilizando pelo menos um efeito do grupo de efeitos piezoelétricos, eletrostáticos, termo-pneumáticos, pneumáticos e magnéticos. As bombas não mecânicas podem ser unidas com pelo menos um dentre mecanismo eletro-hidrodinâmico, eletro-osmótico, eletroquímico, ultrassônico, capilar, químico e outro mecanismo de geração de fluxo conhecido na técnica. A microbomba pode compreender pelo menos uma dentre microbomba piezoelétrica, eletro-osmótica, de

diafragma, peristáltica, de seringa e sem válvula e uma capilar, e uma bomba alimentada quimicamente e outra microbomba conhecida na técnica. O injetor, como uma microbomba, pode fornecer continuamente reagentes, como água, ou pode fornecer reagentes de forma intermitente, como em um modo pulsado. Em uma modalidade, um injetor de água compreende pelo menos um dentre uma bomba, tal como uma microbomba, pelo menos uma válvula e um reservatório de água, e pode compreender ainda um resfriador ou um conduíte de extensão para remover o reservatório de água e a válvula para a câmara da célula de reação a uma distância suficiente, seja para evitar superaquecimento ou fervura da água pré-injetada.

[0373] O SunCell® pode compreender um controlador de injeção e pelo menos um sensor, tal como aquele que registra a pressão, temperatura, condutividade de plasma ou outro parâmetro de plasma ou gás de reação. A sequência de injeção pode ser controlada pelo controlador que usa a entrada de pelo menos um sensor para fornecer a energia desejada, evitando danos ao SunCell® devido à sobrecarga. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma pluralidade de injetores, como injetores de água para injetar em diferentes regiões dentro da câmara da célula de reação, em que os injetores são ativados pelo controlador para alternar a localização dos pontos quentes de plasma a tempo de evitar danos ao SunCell ®. A injeção pode ser intermitente, intermitente periódica, contínua, ou compreender qualquer outro padrão de injeção que atinge a potência, ganho e otimização de desempenho desejados.

[0374] O SunCell® pode compreender válvulas, tais como válvulas de entrada e saída da bomba que abrem e fecham em resposta à injeção e enchimento da bomba, em que o estado de abertura ou fechamento da válvula de entrada e saída pode estar 180° fora de fase um da outro. A bomba pode desenvolver uma pressão mais alta do que a pressão da câmara da célula de reação para atingir a injeção. No caso de a injeção da bomba ter propensão a influenciar pela pressão da câmara da célula de reação, o SunCell® pode compreender uma conexão de gás entre a câmara da célula

de reação e o reservatório que fornece água para a bomba para corresponder dinamicamente a pressão de coluna da bomba à da câmara da célula de reação.

[0375] Em uma modalidade em que a pressão da câmara da célula de reação é inferior à pressão da bomba, a bomba pode compreender pelo menos uma válvula para conseguir a interrupção do fluxo para a câmara da célula de reação quando a bomba estiver ociosa. A bomba pode compreender pelo menos uma válvula. Em uma modalidade exemplar, uma microbomba peristáltica compreende pelo menos três microválvulas em série. Essas três válvulas são abertas e fechadas sequencialmente para puxar o fluido da entrada para a saída em um processo conhecido como peristaltismo. Em uma modalidade, a válvula pode ser ativa, como uma válvula de retenção solenoidal ou piezoelétrica, ou pode atuar passivamente, por meio da qual a válvula é fechada por contrapressão, como uma válvula de retenção, tal como uma válvula de retenção de esfera, balanço, diagrama ou bico de pato.

[0376] Em uma modalidade em que existe um gradiente de pressão entre a fonte de água a ser injetada na câmara da célula de reação e a câmara da célula de reação, a bomba pode compreender duas válvulas, uma válvula do reservatório e uma válvula da câmara da célula de reação, que podem abrir e fechar periodicamente 180° fora de fase. As válvulas podem ser separadas por uma câmara de bomba com um volume de injeção desejado. Com o fechamento da válvula da câmara da célula de reação, a válvula do reservatório pode se abrir para o reservatório de água para encher a câmara da bomba. Com o fechamento da válvula do reservatório, a válvula da câmara da célula de reação pode ser aberta para causar a injeção do volume desejado de água na câmara da célula de reação. O fluxo para dentro e para fora da câmara da bomba pode ser conduzido pelo gradiente de pressão. A vazão de água pode ser controlada controlando-se o volume da câmara da bomba e o período de abertura e fechamento sincronizado das válvulas. Em uma modalidade, o microinjetor de água pode compreender duas válvulas, uma válvula de entrada e saída para uma

microcâmara ou cerca de 10 ul a 15 ul de volume, cada uma mecanicamente ligada e 180° fora de fase em relação à abertura e fechamento. As válvulas podem ser acionadas mecanicamente por um came.

[0377] Em outra modalidade, outra espécie da mistura da célula de reação, tais como pelo menos um dentre H_2, O_2, um gás nobre e água, pode substituir a água ou ser adicionado à água. No caso em que a espécie que flui para a câmara da célula de reação seja um gás à temperatura ambiente, o SunCell® pode compreender um controlador de fluxo de massa para controlar o fluxo de entrada do gás.

[0378] Em outra modalidade, em que existe um gradiente de pressão entre a fonte de água a ser injetada na câmara da célula de reação e a câmara da célula de reação, o fluxo de entrada de água pode ser fornecido continuamente através de um restritor ou controlador de vazão, como pelo menos um dentre (i) uma válvula de agulha, (ii) um tubo estreito ou com DI pequeno, (iii) um material higroscópico, como celulose, algodão, polietilenoglicol, ou outros materiais higroscópicos conhecidos na técnica, e (iv) uma membrana semipermeável, como membrana cerâmica, uma frita ou outra membrana semipermeável conhecida na técnica. O material higroscópico, como algodão, pode compreender um enchimento e pode servir para restringir o fluxo, além de outro restritor, como uma válvula de agulha. O SunCell® pode compreender um suporte para o material higroscópico ou membrana semipermeável. A vazão do restritor de fluxo pode ser calibrada, e a bomba de vácuo e a válvula de escape controlada por pressão podem ainda manter uma pressão de câmara dinâmica desejada e uma vazão de água. Em outra modalidade, outra espécie da mistura da célula de reação, tais como pelo menos um dentre H_2, O_2, um gás nobre e água, pode substituir a água ou ser adicionado à água. No caso em que a espécie que flui para a câmara da célula de reação seja um gás à temperatura ambiente, o SunCell® pode compreender um controlador de fluxo de massa para controlar o fluxo de entrada do gás.

[0379] Em uma modalidade, o injetor operado sob um vácuo na câmara da

célula de reação pode compreender um restritor de fluxo, tal como uma válvula de agulha ou tubo estreito, em que o comprimento e o diâmetro são controlados para controlar a vazão de água. Um injetor de tubo de pequeno diâmetro exemplar compreende um semelhante ao usado para sistemas de injeção ESI-ToF, como um tendo um DI na faixa de cerca de 25 um a 300 um. O restritor de fluxo pode ser combinado com pelo menos um outro elemento injetor, como uma válvula ou uma bomba. Em uma modalidade exemplar, a pressão de coluna de água do tubo de pequeno diâmetro é controlada com uma bomba, tal como uma bomba de seringa. A taxa de injeção pode ainda ser controlada com uma válvula do tubo para a câmara da célula de reação. A pressão de coluna pode ser aplicada pressurizando-se um gás sobre a superfície da água em que o gás é compressível e a água é incompressível. A pressurização do gás pode ser aplicada por uma bomba. A taxa de injeção de água pode ser controlada por pelo menos um dentre o diâmetro, comprimento, pressão de coluna do tubo, e frequência de abertura e fechamento da válvula e ciclo de trabalho. O diâmetro do tubo pode estar na faixa de cerca de 10 um a 10 mm, o comprimento pode estar na faixa de cerca de 1 cm a 1 m, a pressão de coluna pode estar na faixa de cerca de 1 Torr a 100 atm, a frequência de abertura e fechamento da válvula pode estar na faixa de cerca de 0,1 Hz a 1 kHz e o ciclo de trabalho pode estar na faixa de cerca de 0,01 a 0,99.

[0380] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de hidrogênio, como gás hidrogênio, e uma fonte de oxigênio, como gás oxigênio. A fonte de pelo menos uma dentre as fontes de hidrogênio e oxigênio compreende pelo menos um ou mais tanques de gás, reguladores de fluxo, manômetros, válvulas e linhas de gás para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o catalisador HOH é gerado a partir da combustão de hidrogênio e oxigênio. Os gases hidrogênio e oxigênio podem fluir para a câmara da célula de reação. O fluxo de entrada de reagentes, tal como pelo menos um dentre hidrogênio e oxigênio, pode ser contínuo ou

intermitente. As vazões e uma vazão de exaustão ou vácuo podem ser controladas para atingir uma pressão desejada. O fluxo de entrada pode ser intermitente, em que o fluxo pode ser interrompido na pressão máxima de uma faixa desejada e iniciado no mínimo da faixa desejada. Pelo menos uma dentre a pressão e a vazão de H_2 e a pressão e a vazão de O_2 pode ser controlada para manter pelo menos uma das concentrações ou pressões parciais de HOH e H_2 em uma faixa desejada para controlar e otimizar a energia da reação de hidrino. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o estoque e o fluxo de hidrogênio pode ser significativamente maior do que o estoque e fluxo de oxigênio. A razão de pelo menos uma dentre a pressão parcial de H_2 e O_2 e a vazão de H_2 e O_2 pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1,1 a 10.000, 1,5 a 1000, 1,5 a 500, 1,5 a 100, 2 a 50 e 2 a 10. Em uma modalidade, a pressão total pode ser mantida em uma faixa que suporta uma alta concentração de HOH nascente e H atômico, tal como em pelo menos uma faixa de pressão de cerca de 1 mTorr a 500 Torr, 10 mTorr a 100 Torr, 100 mTorr a 50 Torr e 1 Torr a 100 Torr. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação pode ser mantido a uma temperatura operacional que seja maior do que a temperatura de decomposição de pelo menos um dentre oxi-hidróxido de gálio e hidróxido de gálio. A temperatura operacional pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 200 °C a 2.000 °C, 200 °C a 1.000 °C e 200 °C a 700 °C. O estoque de água pode ser controlado no estado gasoso caso a formação de oxi-hidróxido de gálio e hidróxido de gálio seja suprimida.

[0381] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um misturador de gás para misturar pelo menos dois gases, como hidrogênio e oxigênio que fluem para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o microinjetor para água compreende o misturador que mistura hidrogênio e oxigênio, em que a mistura forma HOH à medida que entra na câmara da célula de reação. O misturador pode ainda compreender pelo menos um controlador de fluxo de massa, como um para cada gás ou uma

mistura de gases, como um gás pré-misturado. O gás pré-misturado pode compreender cada gás em sua razão molar desejada, como uma mistura que compreende hidrogênio e oxigênio. A porcentagem molar de H_2 de uma mistura de H_2-O_2 pode estar em excesso significativo, como em uma faixa de razão molar de cerca de 1,5 a 1.000 vezes a porcentagem molar de O_2. O controlador de fluxo de massa pode controlar o fluxo de hidrogênio e oxigênio e a combustão subsequente para formar catalisador HOH, de modo que o fluxo de gás resultante para a câmara da célula de reação compreenda hidrogênio em excesso e catalisador HOH. Em uma modalidade exemplar, a porcentagem molar de H_2 está na faixa de cerca de 1,5 a 1.000 vezes a porcentagem molar de HOH. O misturador pode compreender uma tocha de hidrogênio-oxigênio. A tocha pode compreender um projeto conhecido na técnica, como uma tocha comercial de hidrogênio-oxigênio. Em modalidades exemplares, O_2 com H_2 são misturados pelo injetor de tocha para fazer com que O_2 reaja para formar HOH dentro do fluxo de H_2 para evitar que o oxigênio reaja com os componentes da célula de gálio ou o eletrólito para dissolver o óxido de gálio para facilitar sua regeneração para gálio por eletrólise in situ, tal como eletrólito NaI ou outro da publicação. Alternativamente, uma mistura de H_2-O_2 compreendendo hidrogênio em excesso molar de pelo menos dez vezes é fluída para a câmara da célula de reação por um único controlador de fluxo versus dois abastecendo a tocha.

[0382] O fornecimento de hidrogênio para a câmara da célula de reação como gás H_2 em vez de água como fonte de H_2 pela reação de H_2O com gálio para formar H_2 e Ga_2O_3 pode reduzir a quantidade de Ga_2O_3 formado. O microinjetor de água que compreende um misturador de gás pode ter uma característica favorável de permitir a capacidade de injetar quantidades precisas de água a vazões muito baixas devido à capacidade de controlar mais precisamente o fluxo de gás sobre o fluxo de líquido. Além disso, a reação do O_2 com excesso de H_2 pode formar cerca de 100% de água nascente como um produto inicial em comparação com a água bruta e o vapor que

compreendem uma pluralidade de moléculas de água ligadas por hidrogênio. Em uma modalidade, o gálio é mantido a uma temperatura inferior a 100 °C, de modo que o gálio pode ter uma baixa reatividade para consumir o catalisador HOH formando óxido de gálio. O gálio pode ser mantido a baixa temperatura por um sistema de resfriamento, como um que compreende um trocador de calor ou um banho-maria para pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação. Em uma modalidade exemplar, o SunCell® é operado sob as condições de alta vazão de H_2 com traços de fluxo de O_2 como 99% H_2/1% O_2, em que a pressão da câmara da célula de reação pode ser mantida baixa, como na faixa de pressão de cerca de 1 a 30 Torr, e a vazão pode ser controlada para produzir a potência desejada, em que a potência máxima teórica pela formação de H_2(1/4) pode ser de cerca de 1 kW/30 sccm. Qualquer óxido de gálio resultante pode ser reduzido por plasma de hidrogênio in situ e por redução eletrolítica. Em uma modalidade exemplar capaz de gerar uma potência máxima em excesso de 75 kW, em que o sistema de vácuo é capaz de atingir vácuo ultra-alto, as condições operacionais são cerca da superfície de gálio livre de óxido, a baixa pressão operacional, tal como cerca de 1–5 Torr, e alto fluxo de H_2 tal como cerca de 2.000 sccm com traços de catalisador HOH fornecido como oxigênio de cerca de 10–20 sccm através de um injetor de tocha.

[0383] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o revestimento, a parede da câmara da célula de reação e a parede do reservatório compreende um material que pelo menos um dentre atua como um dissociador de hidrogênio, tem um baixo coeficiente de recombinação de hidrogênio ou baixa capacidade de recombinação e é resistente ao ataque de gálio na faixa de temperatura operacional do SunCell®, como em pelo menos uma faixa de cerca de 25 °C a 3.500 °C, 75 °C a 2.000 °C, 100 °C a 1.500 °C, 100 °C a 1.000 °C, 100 °C a 600 °C e 100 °C a 400 °C. Uma vez que diferentes materiais têm diferentes taxas de recombinação do átomo H que mudam em função da temperatura, o SunCell® pode ser operado em uma faixa de

temperatura que otimiza a concentração de hidrogênio atômico. Materiais exemplares que são resistentes ao ataque de gálio que podem servir como componentes do SunCell®, como pelo menos um dentre paredes da câmara da célula de reação, reservatório e tubo da bomba EM, ou revestimentos, metais revestidos ou revestimento de componentes do SunCell® compreendem aço inoxidável, Inconel 625, liga Nb-5 Mo-1 Zr, Zircônio705, SS compreendendo cerca de 0,04% em peso de C, 0,4% em peso de Si, 1,4% em peso de Mn, 0,03% em peso de P, 18% em peso de Cr, 8,1% em peso de Ni e 0,045% N, aço Cr-Ni tipo 347 e aço Cr 430, Ta, W, nióbio, zircônio, rênio, uma cerâmica tal como BN, quartzo, alumina, háfnio, zircônio, sílica, mulita, grafite e carbeto de silício e outros materiais resistentes conhecidos na técnica, tais como os apresentados em L. R. Kelman, W. D. Wilkinson e F. L. Yagee, em Resistance of Materials to Attack by Liquid Metals, Argonne National Laboratory Report # ANL-4417 (1950); P. R. Luebbers, W. F. Michaud e O. K. Chopra, Compatibility of ITER Candidate Structural Material with Static Gallium, Argonne National Laboratory Report # ANL-93/31, dezembro de 1993, que são aqui incorporados por referência. Em uma modalidade, pelo menos um dentre o material da parede da câmara da célula de reação, um revestimento de parede ou outro revestimento é selecionado para promover o hidrogênio atômico por pelo menos um mecanismo de dissociação crescente e diminuição da recombinação de H em moléculas de H_2. Em uma modalidade, o material pode compreender um dissociador de hidrogênio molecular, como um metal nobre, como níquel Raney, Pt, Pd, Ir, Ru, Rh ou Re, um metal de terra-rara, Co, quartzo como suporte de Co, Ni Raney, Ni, Cr, Ti, Co, Nb ou Zr. O metal dissociador pode ser suportado por uma cerâmica ou outro metal, tais como os ânodos dimensionalmente estáveis, como rênio suportado em titânio, ou outro conhecido na técnica, que pode ser pelo menos um dentre resistente à formação de uma liga com gálio e capaz de operar na temperatura operacional da câmara da célula de reação onde está montado. Dissociadores exemplares que podem compreender pelo menos um dentre o revestimento, a parede

da câmara da célula de reação e a parede do reservatório, que também pode ter resistência à formação de uma liga com gálio, são tântalo, titânio, nióbio, rênio, cromo, aços inoxidáveis (SS), SS tipo 347, SS tipo 430, aço inoxidável martensítico que tem alto teor de cromo, como Fe-17Cr-1Mn-1Si-0,75Mo-1,1C, aços inoxidáveis (SS) com alto teor de níquel, como Inconel, como Inconel 625, SS 316, SS 625 e liga Nb-5 Mo-1 Zr.

[0384] Em uma modalidade, os componentes do SunCell® ou as superfícies dos componentes que entram em contato com o gálio, como pelo menos um dentre as paredes da câmara da célula de reação, o topo da câmara da célula de reação, as paredes internas do reservatório e as paredes internas do tubo da bomba EM podem ser revestidos com um revestimento que não forme uma liga prontamente com gálio, como uma cerâmica, como Mulita, BN ou outro da publicação, ou um metal, como W, Ta, Nb, Zr, Mo, TZM ou outro da publicação. Em outra modalidade, as superfícies podem ser revestidas com um material que não forme prontamente uma liga com gálio, como carbono, uma cerâmica, como BN, alumina, zircônio, quartzo ou outro da publicação, ou um metal como W, Ta, ou outra da publicação. Em uma modalidade, o revestimento pode ser aplicado por pelo menos um dentre a eletrodeposição, deposição de vapor e deposição química. No último caso, um revestimento de tungstênio pode ser aplicado por decomposição térmica de hexacarbonil tungstênio nas superfícies. O tungstênio pode ser galvanizado usando métodos conhecidos na técnica, tais como aqueles fornecidos por Fink e Jones [C. Fink, F. Jones, "The Electrodeposition of Tungsten from Aqueous Solutions", Journal of the Electrochemical Society, (1931), pp. 461-481], que é incorporado por referência. W pode ser revestido por métodos como deposição de vapor nos componentes do SunCell®, tais como as paredes da câmara da célula de reação, reservatório e tubo da bomba EM que estão em contato com gálio fundido, em que os componentes revestidos com W compreendem Mo. Em uma modalidade, pelo menos um dentre a câmara da célula de reação, reservatório e

tubo da bomba EM pode compreender Nb, Zr, W, Ta, Mo ou TZM. Em uma modalidade, componentes do SunCell® ou porções dos componentes, tais como a câmara da célula de reação, reservatório e tubo da bomba EM podem compreender um material que não forme uma liga, exceto quando a temperatura de contato do gálio excede um extremo, como pelo menos um extremo de mais de cerca de 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C e 1000 °C. O SunCell® pode ser operado a uma temperatura em que porções dos componentes não atingem uma temperatura na qual ocorre a formação de liga de gálio. A temperatura operacional do SunCell® pode ser controlada com o resfriamento por meios de resfriamento, tais como um trocador de calor ou banho-maria. O banho-maria pode compreender a colisão de jatos de água, como os jatos de um coletor de água, em que pelo menos um entre o número de jatos incidentes na câmara de reação e a vazão ou cada jato são controlados por um controlador para manter a câmara de reação dentro de uma faixa desejada de temperatura operacional. Em uma modalidade, como uma que compreende resfriamento por jato de água de pelo menos uma superfície, a superfície externa de pelo menos um componente do SunCell® pode ser revestida com isolamento, tal como carbono, para manter uma temperatura interna elevada enquanto permite o resfriamento operacional. As superfícies que formam uma liga de gálio acima de uma temperatura extrema alcançada durante a operação do SunCell® podem ser seletivamente revestidas com um material que não forme prontamente uma liga com gálio. As porções dos componentes do SunCell® que entram em contato com o gálio e excedem a temperatura da liga para o material do componente, como aço inoxidável, podem ser revestidas com um material que não forme prontamente uma liga com gálio. Em uma modalidade exemplar, as paredes da câmara da célula de reação podem ser revestidas com placa de W, Ta, Mo, TZM, nióbio ou zircônio, ou uma cerâmica, como quartzo, especialmente na região perto dos eletrodos, em que a temperatura da câmara da célula de reação é a maior. O revestimento pode compreender um revestimento de câmara da

célula de reação 5b31a. O revestimento pode compreender uma gaxeta ou outro material impermeável ao gálio, como uma pasta de cerâmica posicionada entre o revestimento e as paredes da câmara da célula de reação para evitar que o gálio escoe para trás do revestimento. O revestimento pode ser fixado à parede por pelo menos um dentre soldas, parafusos, ou outro prendedor ou adesivo conhecido na técnica.

[0385] Em uma modalidade, o barramento como pelo menos um dentre 10, 5k2, e os condutores elétricos correspondentes dos barramentos para pelo menos uma dentre as fontes de ignição e da bomba EM podem servir como um meio para remover o calor da câmara da célula de reação 5b31 para aplicações. O SunCell® pode compreender um trocador de calor para remover o calor de pelo menos um dentre os barramentos e os condutores correspondentes. Em uma modalidade do SunCell® que compreende um conversor MHD, o calor perdido nos barramentos e seus condutores pode ser retornado para a câmara da célula de reação por um trocador de calor que transfere calor dos barramentos para a prata fundida que é retornada para a câmara da célula de reação do conversor MHD pela bomba EM.

[0386] Em uma modalidade, as paredes laterais da câmara da célula de reação, como os quatro lados verticais de uma câmara da célula de reação cúbica, podem ser revestidas com um metal refratário, tal como W ou Ta, ou cobertas por um metal refratário, como um revestimento de W ou Ta. O metal pode ser resistente à formação de liga com o gálio. O topo da câmara da célula de reação pode ser coberto ou revestido com um isolante elétrico, ou compreender um revestimento eletricamente isolante. Materiais de cobertura, recobrimento e revestimento exemplares são pelo menos um dentre BN, quartzo, titânio, alumina, ítria, háfnio, zircônio, carbeto de silício ou misturas como TiO_2-Yr_2O_3-Al_2O_3. O revestimento superior pode ter uma penetração para o pedestal 5c1 (FIGURA 25). O revestimento superior pode impedir que o eletrodo superior 8 entre eletricamente em curto-circuito com o topo da câmara da célula de reação.

[0387] A temperatura de pelo menos um dentre as paredes da câmara de reação e o revestimento pode ser mantida dentro de uma faixa que otimiza a concentração de hidrogênio atômico por pelo menos um mecanismo de aumento da dissociação do hidrogênio molecular e de diminuição da recombinação do hidrogênio atômico. A temperatura de operação do dissociador pode estar acima daquela em que o metal é catalítico para dissociar o hidrogênio, e abaixo da temperatura na qual ocorre uma reação substancial com o gálio. A faixa de otimização pode ser mantida com pelo menos um dentre uma parede da câmara de reação e um sistema de resfriamento de revestimento, tal como um que compreenda um trocador de calor e um resfriador. Em uma modalidade, o dissociador pode compreender um aquecedor, tais como um aquecedor resistivo, um aquecedor acoplado indutivamente, ou outro aquecedor conhecido na técnica. Em uma modalidade exemplar, a parede da câmara da célula de reação é mantida a temperatura suficiente para causar dissociação de hidrogênio, tal como dentro da faixa de cerca de 440 $\pm$ 100 °C no caso de Ni, ou um aço inoxidável (SS) com um alto teor de Ni, como SS 316.

[0388] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende ainda uma câmara do dissociador que abriga um dissociador de hidrogênio, como Pt, Pd, Ir, Re ou outro metal dissociador em um suporte, como carbono, ou esferas de cerâmica, como esferas de Al_2O_3, sílica ou zeólita, Ni Raney ou Ni, nióbio, titânio ou outro metal dissociador da publicação, em uma forma para fornecer uma área de superfície elevada, como pó, tapete, tecido ou pano. A câmara do dissociador pode ser conectada à câmara da célula de reação por um canal de bloqueio de gálio, tal como o canal em ziguezague da publicação que inibe o fluxo de gálio da câmara da célula de reação para a câmara do dissociador, embora permitindo a troca gasosa. O gás hidrogênio pode fluir da câmara da célula de reação para a câmara de dissociação, em que as moléculas de hidrogênio são dissociadas em átomos, e o hidrogênio atômico pode fluir de volta para a câmara da célula de reação para servir como um reagente para

formar hidrinos. Em outras modalidades, a câmara de dissociação pode abrigar o dissociador de plasma ou dissociador de filamento da publicação. Em uma modalidade, o recombinador ou combustor que forma o catalisador HOH antes de fluir para a câmara da célula de reação pode compreender ainda a câmara do dissociador. A entrada de gás para a câmara do dissociador pode compreender pelo menos um dentre hidrogênio, oxigênio e um gás carreador. O gás carreador pode servir para preservar pelo menos um dentre H atômico e HOH conforme flui para a câmara da célula de reação. O gás carreador pode compreender um gás nobre, como argônio. O dissociador pode compreender uma pluralidade de câmaras de dissociação que podem estar em série, ou fluxo paralelo com pelo menos um recombinador ou uma câmara de combustor. Em uma modalidade, hidrogênio e oxigênio e, de forma ideal, um gás carreador são fluídos para uma primeira câmara que compreende um recombinador, um combustor ou uma câmara de dissociação em que o gás hidrogênio pode estar em excesso de gás oxigênio. Pelo menos um dentre HOH, excesso de hidrogênio e gás carreador fluem da primeira câmara para uma segunda câmara, tal como uma câmara de dissociação para formar átomos de H, em que átomos de H e HOH são carreados da segunda câmara para a câmara da célula de reação pelo gás carreador. O gás carreador pode ser introduzido na segunda câmara independentemente do fluxo para a primeira através de uma linha de entrada separada para a segunda câmara.

[0389] Em outra modalidade, a fonte de hidrogênio, como um tanque de H_2, pode ser conectada a um coletor, que pode ser conectado a pelo menos dois controladores de fluxo de massa (MFC). O primeiro MFC pode fornecer gás H_2 para um segundo coletor que aceita a linha de H_2 e uma linha de gás nobre de uma fonte de gás nobre, como um tanque de argônio. O segundo coletor pode enviar para uma linha conectada a um dissociador, como um catalisador, tais como Pt/Al_2O_3, Pt/C ou outro da publicação em um invólucro em que a saída do dissociador pode ser uma linha para a câmara da célula de reação. O segundo MFC pode fornecer gás H_2 a um

terceiro coletor que aceita a linha de H_2 e uma linha de oxigênio de uma fonte de oxigênio, como um tanque de O_2. O terceiro coletor pode enviar para uma linha para um recombinador, como um catalisador, tais como Pt/Al_2O_3, Pt/C, ou outro da publicação em um invólucro em que a saída do recombinador pode ser uma linha para a câmara da célula de reação.

[0390] Alternativamente, o segundo MFC pode ser conectado ao segundo coletor abastecido pelo primeiro MFC. Em outra modalidade, o primeiro MFC pode fluir o hidrogênio diretamente para o recombinador ou para o recombinador e o segundo MFC. O argônio pode ser fornecido por um terceiro MFC que recebe gás de um suprimento, como um tanque de argônio, e envia o argônio diretamente para a câmara da célula de reação.

[0391] Em outra modalidade, H_2 pode fluir de seu suprimento, como um tanque de H_2, para um primeiro MFC que sai para um primeiro coletor. O_2 pode fluir de seu suprimento, tal como um tanque de O_2, para um segundo MFC que sai para o primeiro coletor. O primeiro coletor pode dar saída para o recombinador/dissociador que dá saída para um segundo coletor. Um gás nobre, como o argônio, pode fluir de seu suprimento, tal como um tanque de argônio, para o segundo coletor que sai para a câmara da célula de reação. Outros esquemas de fluxo estão dentro do escopo da publicação, em que os fluxos distribuem os gases reagentes nas permutações ordenadas possíveis através de suprimentos de gás, MFCs, coletores e conexões conhecidas na técnica.

[0392] Em uma modalidade, um dissociador de hidrogênio é adicionado à câmara da célula de reação que tem uma ou mais características de ser menos denso que o gálio, não ser umedecido pelo gálio e não formar uma liga com o gálio. O dissociador pode ser condutor. O catalisador pode compreender um dissociador de hidrogênio, tal como níquel, nióbio, tântalo, titânio ou um metal nobre, como Pt, Pd, Ru, Rh, Re, Ir ou Au. O dissociador de hidrogênio pode ser suportado. O catalisador pode

compreender um suporte que seja menos denso do que o gálio, tais como carbono, Al_2O_3, sílica ou zeólita. Um catalisador exemplar que é menos denso que o gálio, não umedecido pelo gálio e que não forma uma liga com o gálio é o catalisador Re/carbono, como 10% Re/C fabricado pela Riogen (https://shop.riogeninc.com/category.sc?categoryId=4). O dissociador de hidrogênio pode flutuar na superfície do gálio. Em uma modalidade em que o suporte não é umedecido pelo gálio, o dissociador, tal como níquel que pode formar uma liga com gálio é protegido do contato com o gálio pelo suporte não umectante, de modo que a liga não se forme. Um dissociador exemplar é 20%Ni/C fabricado pela Riogen.

[0393] Em uma modalidade, o dissociador, como um que pode flutuar ou estar suspenso no metal fundido, pode reduzir óxido de gálio que também pode estar na superfície do gálio fundido. Um dissociador exemplar, como Re/C, pode compreender um catalisador de transbordamento de hidrogênio, em que o hidrogênio atômico pode transbordar para o suporte, como carbono, e depois sofrer uma reação de redução H de óxido de gálio.

[0394] Em uma modalidade, o dissociador pode compreender um metal nobre, como Pt, Pd, Ir ou rênio sustentado por um suporte, tal como carbono, alumina ou sílica, em que o dissociador pode compreender um revestimento ou o dissociador pode compreender um vaso permeável a gás suspenso na câmara da célula de reação que abriga um dissociador, como um que resiste à formação de liga de gálio, tal como rênio, suportado em um suporte como carbono, que resiste ao umedecimento pelo gálio. O vaso permeável a gás pode compreender uma malha, trama, espuma, ou outro invólucro aberto para o dissociador. O vaso permeável a gás pode compreender um metal que resiste à formação de liga de gálio, tais como tungstênio ou tântalo, de um metal revestido de rênio ou cerâmica.

[0395] Em uma modalidade, o metal fundido, como pelo menos um dentre gálio, prata, liga de cobre e prata ou outra liga, como uma que compreende gálio, como

liga de gálio e prata, serve como dissociador de hidrogênio. As características de um metal que são favoráveis à dissociação do hidrogênio são uma alta densidade de corrente de troca de um eletrodo de hidrogênio correspondente e uma ligação metal-H semelhante à dos metais preciosos. Os metais do grupo de Ni, Co, Cu, Fe e Ag têm densidades de corrente razoáveis, mas têm energias de ligação metal-H mais baixas; ao passo que os metais W, Mo, Nb e Ta têm energias de ligação metal-H mais altas. Em uma modalidade, o metal fundido, como gálio ou índio, é ligado com pelo menos um outro metal, como pelo menos um dentre Ni, Co, Cu, Fe, Ag, W, Mo, Nb, Ta e Zr para aumentar o índice de dissociação. O índice pode ser aumentado movendo-se a energia de ligação M-H do metal fundido na direção apropriada mais próxima daquela dos metais preciosos. Ligas exemplares para aumentar o índice em que o metal fundido dissocia o hidrogênio são pelo menos um dentre Ga-Nb, Ga-Ti e um sistema In-Ni-Nb. Metais fundidos de baixo ponto de fusão e metais que formam ligas com o metal fundido para aumentar o índice de dissociação do hidrogênio são fornecidos por Datta et al. [Ravindra Datta, Yi Hua Ma, Pei-Shan Yen, Nicholas D. Deveau, Ilie Fishtik Ivan Mardilovich, "Supported Molten Metal Membranes for Hydrogen Separation", 20 de fevereiro de 2014, United States: N. p. 2013. Web. doi: 10.2172/1123819], que é incorporado por referência, especialmente a seção 2.

[0396] Em uma modalidade, o SunCell® compreende pelo menos um dentre uma fonte de hidrogênio, como água ou gás hidrogênio, como um tanque de hidrogênio, um meio para controlar o fluxo da fonte, tal como um controlador de fluxo de massa de hidrogênio, um regulador de pressão, um linha, tal como uma linha de gás hidrogênio da fonte de hidrogênio para pelo menos um dentre o reservatório ou a câmara da célula de reação abaixo do nível de metal fundido na câmara e um controlador. Uma fonte de hidrogênio ou gás hidrogênio pode ser introduzida diretamente no metal fundido, em que a concentração ou pressão pode ser maior do que a obtida pela introdução fora do metal. A concentração ou pressão mais alta pode aumentar a

solubilidade do hidrogênio no metal fundido. O hidrogênio pode se dissolver como hidrogênio atômico em que o metal fundido, tais como o gálio ou Galinstan, pode servir como um dissociador. Em outra modalidade, a linha de gás hidrogênio pode compreender um dissociador de hidrogênio, como um metal nobre em um suporte, como Pt em um suporte de Al_2O_3. O hidrogênio atômico pode ser liberado da superfície do metal fundido na câmara da célula de reação para apoiar a reação de hidrino. A linha de gás pode ter uma entrada da fonte de hidrogênio que está em uma elevação mais alta do que a saída para o metal fundido a fim de evitar que o metal fundido reflua para o controlador de fluxo de massa. A linha de gás hidrogênio pode se estender para o metal fundido e pode compreender ainda um difusor de hidrogênio na extremidade para distribuir o gás hidrogênio. A linha, tal como a linha de gás hidrogênio, pode compreender uma seção em U ou um coletor. A linha pode entrar na câmara da célula de reação acima do metal fundido e compreender uma seção que se curva abaixo da superfície do metal fundido. Pelo menos um dentre a fonte de hidrogênio, tais como um tanque de hidrogênio, o regulador e o controlador de fluxo de massa pode fornecer pressão suficiente da fonte de hidrogênio ou hidrogênio para superar a pressão de coluna do metal fundido na saída da linha, tal como um linha de gás hidrogênio para permitir a fonte desejada de fluxo de hidrogênio ou gás hidrogênio.

[0397] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de hidrogênio, como um tanque, uma válvula, um regulador, um manômetro, uma bomba de vácuo e um controlador, e pode ainda compreender pelo menos um meio para formar hidrogênio atômico a partir da fonte de hidrogênio, como pelo menos um dentre um dissociador de hidrogênio, como um da publicação, tais como Re/C ou Pt/C e uma fonte de plasma, como o plasma da reação de hidrino, uma fonte de energia de alta tensão que pode ser aplicada aos eletrodos do SunCell® para manter um plasma de descarga luminescente, uma fonte de plasma de RF, uma fonte de plasma de micro-ondas, ou outra fonte de plasma da publicação para manter um plasma de hidrogênio

na câmara da célula de reação. A fonte de hidrogênio pode fornecer hidrogênio pressurizado. A fonte de hidrogênio pressurizado pode pelo menos um dentre pressurizar reversivelmente e intermitentemente a câmara da célula de reação com hidrogênio. O hidrogênio pressurizado pode se dissolver no metal fundido, tal como gálio. Os meios para formar hidrogênio atômico podem aumentar a solubilidade do hidrogênio no metal fundido. A pressão de hidrogênio da câmara da célula de reação pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,01 atm a 1.000 atm, 0,1 atm a 500 atm e 0,1 atm a 100 atm. O hidrogênio pode ser removido por evacuação após um tempo de permanência que permite a absorção. O tempo de espera pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 seg. a 60 minutos, 1 seg. a 30 minutos e 1 seg. a 1 minuto. O SunCell® pode compreender uma pluralidade de câmaras de células de reação e um controlador que pode ser pelo menos um dentre um alimentado intermitentemente com hidrogênio atômico e pressurizado e despressurizado com hidrogênio de uma maneira coordenada, em que cada câmara da célula de reação pode estar absorvendo hidrogênio, enquanto outra está sendo pressurizada ou recebendo hidrogênio atômico, evacuada ou em operação mantendo uma reação de hidrino. Sistemas e condições exemplares para fazer com que o hidrogênio seja absorvido no gálio fundido são fornecidas por Carreon [M. L. Carreon, "Synergistic interactions of H_2 e N_2 with molten gallium in the presence of plasma", Journal of Vacuum Science & Technology A, vol. 36, Issue 2, (2018), 021303 pp. 1-8; https://doi.org/10.1116/1.5004540], que é aqui incorporado por referência. Em uma modalidade exemplar, o SunCell® é operado em alta pressão de hidrogênio, como 0,5 a 10 atm, em que o plasma exibe comportamento pulsado com potência de entrada muito menor do que com plasma contínuo e corrente de ignição. Em seguida, a pressão é mantida em cerca de 1 Torr a 5 Torr com fluxo de 1.500 sccm H_2 + 15 sccm O_2 através de 1 g de Pt/Al_2O_3 a mais de 90 °C e, em seguida, para a câmara da célula de reação em que a alta potência de saída se desenvolve com H_2 adicional com liberação de gás do gálio com aumento da

temperatura do gálio. O carregamento de H_2 (absorção de gálio) e o descarregamento (saída de H_2 do gálio) correspondentes podem ser repetidos.

[0398] Em uma modalidade, a fonte de hidrogênio ou gás hidrogênio pode ser injetada diretamente no metal fundido em uma direção que impulsiona o metal fundido para o eletrodo oposto de um par de eletrodos, em que o banho de metal fundido serve como eletrodo. A linha de gás pode servir como um injetor em que a fonte de hidrogênio ou injeção de hidrogênio, tal como a injeção de gás H_2, pode pelo menos parcialmente servir como injetor de metal fundido. Um injetor de bomba EM pode servir como injetor de metal fundido adicional do sistema de ignição, compreendendo pelo menos dois eletrodos e uma fonte de energia elétrica.

[0399] A superfície de metal fundido na câmara da célula de reação pode ser mantida em um estado metálico reduzido ou limpo por pelo menos um método e um sistema da publicação, como por um ou mais dentre (i) remoção mecânica pelo equipamento skimmer e (ii) redução de óxido por pelo menos um dentre eletrólise e redução de hidrogênio, e remoção de óxido por meio de um ciclo da publicação, como o ciclo de HCl. Por exemplo, HCl pode remover seletivamente Ga_2O_3 como $GaCl_3$ volátil (PE = 201 °C); enquanto a prata é retida, uma vez que o AgCl tem um ponto de ebulição de 1547 °C. Em uma modalidade em que a prata, bem como outros metais de uma liga de gálio não são solúveis em base, como NaOH, o outro metal ou seu óxido pode ser precipitado e coletado antes de o gálio ser regenerado por eletrólise. Em uma modalidade em que o outro metal ou seu óxido é solúvel, ele pode ser eletrolisado com o gálio para regenerar a liga. Em uma modalidade em que o óxido de gálio é mais estável do que o óxido do outro metal da liga, apenas o gálio precisa ser regenerado a partir do óxido de gálio por meios como os dados na publicação, em que qualquer metal de liga não oxidado pode ser tratado como parte da fração não oxidada de gálio de uma mistura compreendendo ainda óxido de gálio. Metais exemplares que se ligam ao gálio e têm um óxido que reage com o gálio para formar óxido de gálio e o metal

correspondente são Ni, Co, Cu, Fe, Ag, W e Mo. Em contraste, óxidos exemplares de Nb, Ta e Zr são mais estáveis do que o óxido de gálio.

[0400] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um dissociador de hidrogênio molecular. O dissociador pode ser alojado na câmara da célula de reação ou em uma câmara separada em comunicação gasosa com a câmara da célula de reação. O compartimento separado pode evitar que o dissociador falhe devido à exposição ao metal fundido, como gálio. O dissociador pode compreender um material de dissociação, tal como Pt suportado, tal como Pt em esferas de alumina ou outro da publicação ou conhecido na técnica. Alternativamente, o dissociador pode compreender um filamento quente ou fonte de descarga de plasma, como uma descarga luminescente, plasma de micro-ondas, tocha de plasma, descarga de RF acoplada indutivamente ou capacitivamente, descarga de barreira dielétrica, descarga direta piezoelétrica, descarga acústica ou outra célula de descarga da publicação ou conhecida na técnica. O filamento quente pode ser aquecido resistivamente por uma fonte de energia que flui corrente pela alimentação isolada eletricamente pela penetração na parede da câmara da célula de reação e, em seguida, pelo filamento.

[0401] Em outra modalidade, a corrente de ignição pode ser aumentada para aumentar pelo menos um dentre o índice de dissociação de hidrogênio e o índice de recombinação íon-elétron do plasma. Em uma modalidade, a forma de onda de ignição pode compreender um deslocamento CC, como um na faixa de tensão de cerca de 1 V a 100 V com uma voltagem CA sobreposta na faixa de cerca de 1 V a 100 V. A tensão CC pode aumentar a tensão CA suficientemente para formar um plasma na mistura de reação de hidrino, e o componente AC pode compreender uma alta corrente na presença de plasma, tal como em uma faixa de cerca de 100 A a 100.000 A. A corrente CC com a modulação CA pode fazer com que a corrente de ignição seja pulsada na frequência CA correspondente, como uma em pelo menos uma faixa de cerca de 1 Hz a 1 MHz, 1 Hz a 1 kHz e 1 Hz a 100 Hz. Em uma modalidade, o

bombeamento EM é aumentado para diminuir a resistência e aumentar a corrente e a estabilidade da energia de ignição.

[0402] Em uma modalidade, uma descarga luminescente de alta pressão pode ser mantida por meio de uma descarga de microcátodo oco. A descarga do microcátodo oco pode ser sustentada entre dois eletrodos pouco espaçados, com aberturas de aproximadamente 100 micra de diâmetro. Descargas de corrente contínua exemplares podem ser mantidas até aproximadamente a pressão atmosférica. Em uma modalidade, plasmas de grande volume em alta pressão de gás podem ser mantidos através da sobreposição de descargas luminescentes individuais operando em paralelo. A densidade de elétrons no plasma pode ser aumentada a uma dada corrente adicionando-se espécies como um metal, tal como o césio, com baixo potencial de ionização. A densidade de elétrons também pode ser aumentada pela adição de uma espécie como um material de filamento a partir do qual elétrons são emitidos termicamente, como pelo menos um dentre rênio metálico e outros emissores de elétrons térmicos por pistola de elétrons, como metais toriados ou metais tratados com césio. Em uma modalidade, a tensão do plasma é elevada de modo que cada elétron da corrente de plasma dá origem a vários elétrons ao colidir com pelo menos uma espécie gasosa. A corrente de plasma pode ser pelo menos uma dentre CC ou CA.

[0403] Em uma modalidade, a concentração de hidrogênio atômico é aumentada pelo fornecimento de uma fonte de hidrogênio que é mais fácil de dissociar do que H_2O ou H_2. Fontes exemplares são aquelas com pelo menos uma dentre entalpias mais baixas e energias livres mais baixas de formação por átomo de H, como metano, um hidrocarboneto, metanol, um álcool, outra molécula orgânica que compreende H.

[0404] Em uma modalidade, o dissociador pode compreender o eletrodo 8, como aquele mostrado na FIGURA 25. O eletrodo 8 pode compreender um dissociador capaz de operar em alta temperatura, como um até 3.200 °C, e pode ainda compreender um material que seja resistente à formação de liga com o metal fundido,

como gálio. Eletrodos exemplares compreendem pelo menos um dentre W e Ta. Em uma modalidade, o barramento 10 pode compreender dissociadores acoplados, como dissociadores de palheta, como placas planas. As placas podem ser fixadas prendendo a face de uma borda ao longo do eixo do barramento 10. As palhetas podem compreender um padrão de roda de pás. As palhetas podem ser aquecidas por transferência de calor condutiva do barramento 10, que pode ser aquecido por pelo menos um dentre resistivamente pela corrente de ignição e aquecido pela reação de hidrino. Os dissociadores, como palhetas, podem compreender um metal refratário, como Hf, Ta, W, Nb ou Ti.

[0405] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de luz cerca de monocromática (*p.ex.*, luz com uma largura de banda espectral inferior a 50 nm ou inferior a 25 nm ou inferior a 10 nm ou inferior a 5 nm) e uma janela para a luz cerca de monocromática. A luz pode incidir sobre o gás hidrogênio, como gás hidrogênio na câmara da célula de reação. A frequência de vibração fundamental de H_2 é 4.161 cm^{-1}. Pelo menos uma frequência de uma potencial pluralidade de frequências pode ser quase ressonante com a energia vibracional de H_2. A irradiação quase ressonante pode ser absorvida por H_2 para causar a dissociação seletiva da ligação de H_2. Em outra modalidade, a frequência da luz pode ser quase ressonante com pelo menos uma dentre (i) a energia vibracional da ligação OH de H_2O como 3.756 cm^{-1} e outras conhecidas por aqueles especializados na técnica, como aquelas fornecidos por Lemus [R. Lemus, "Vibrational excitations in H_2O in the framework of a local model", J. Mol. Spectrosc., Vol. 225, (2004), pp. 73-92], que é incorporado por referência, (ii) a energia vibracional da ligação de hidrogênio, como entre moléculas de H_2O ligadas por hidrogênio, e (iii) a energia da ligação de hidrogênio entre moléculas de H_2O ligadas por hidrogênio, em que a absorção da luz faz com que os dímeros de H_2O e outros multímeros de H_2O se dissociem em moléculas de água nascente. Em uma modalidade, a mistura de gás da reação de hidrino pode compreender um gás adicional,

como amônia de uma fonte que seja capaz de fazer ligação de H com moléculas de H_2O para aumentar a concentração de HOH nascente competindo com a ligação de H do dímero de água. O HOH nascente pode servir como catalisador de hidrino.

[0406] Em uma modalidade, a reação de hidrino cria pelo menos uma assinatura de reação do grupo de energia, energia térmica, plasma, luz, pressão, um pulso eletromagnético e uma onda de choque. Em uma modalidade, o SunCell® compreende pelo menos um sensor e pelo menos um sistema de controle para monitorar a assinatura da reação e controlar os parâmetros da reação, como composição da mistura de reação e as condições, tais como pressão e temperatura, para controlar a taxa de reação de hidrino. A mistura de reação pode compreender pelo menos um dentre, ou uma fonte de H_2O, H_2, O_2, um gás nobre, como argônio e GaX_3 (X = haleto). Em uma modalidade exemplar, a intensidade e a frequência dos pulsos eletromagnéticos (PEMs) são detectadas, e os parâmetros de reação são controlados para aumentar a intensidade e a frequência dos PEMs para aumentar a taxa de reação e vice-versa. Em outra modalidade exemplar, pelo menos uma dentre intensidades, velocidades de propagação e frequências de onda de choque, tais como aquelas entre duas sondas acústicas são detectadas e os parâmetros de reação são controlados para aumentar pelo menos uma dentre intensidades, velocidades de propagação e frequências de onda de choque para aumentar a taxa de reação e vice-versa.

[0407] O H_2O pode reagir com o metal fundido, como gálio, para formar $H_2(g)$ e pelo menos um dos óxidos correspondentes, tais como Ga_2O_3 e Ga_2O, oxi-hidróxido como GaO(OH), e hidróxido como $Ga(OH)_3$. A temperatura do gálio pode ser controlada para controlar a reação com H_2O. Em uma modalidade exemplar, a temperatura do gálio pode ser mantida abaixo de 100 °C para pelo menos um dentre evitar que a H_2O reaja com gálio e fazer com que a reação H_2O-gálio ocorra com uma cinética lenta.

[0408] Em outra modalidade exemplar, a temperatura do gálio pode ser

mantida acima de cerca de 100 °C para fazer com que a reação H_2O-gálio ocorra com uma cinética rápida. A reação de H_2O com gálio na câmara da célula de reação 5b31 pode facilitar a formação de pelo menos um reagente de hidrino, como H ou catalisador HOH. Em uma modalidade, água pode ser injetada na câmara da célula de reação 5b31, e pode reagir com gálio que pode ser mantido a uma temperatura acima de 100 °C para pelo menos um dentre (i) formar H_2 para servir como uma fonte de H, (ii) fazer com que dímeros de H_2O formem monômeros HOH ou HOH nascente para servir como catalisador e (iii) reduzir a pressão de vapor de água.

[0409] Em uma modalidade, GaOOH pode servir como um reagente de hidrino de combustível sólido para formar pelo menos dentre um catalisador HOH e H para servir como reagentes para formar hidrinos. Em uma modalidade, pelo menos um dentre óxido, como Ga_2O_3 ou Ga_2O, hidróxido, como $Ga(OH)_3$ e oxi-hidróxido, como GaOOH, AlOOH ou FeOOH, pode servir como uma matriz para ligar hidrino, tal como $H_2(1/4)$. Em uma modalidade, pelo menos um dentre GaOOH e óxidos de metal, tais como os de aço inoxidável e ligas de aço inoxidável-gálio, são adicionados à câmara da célula de reação para servir como getters para hidrinos. O getter pode ser aquecido a uma temperatura elevada, como uma na faixa de cerca de 100 °C a 1.200 °C, para liberar gás hidrino molecular, como $H_2(1/4)$.

[0410] O óxido de gálio formado na câmara da célula de reação pela reação de gálio fundido com pelo menos um dentre água e oxigênio pode ser reduzido a gálio metálico. A redução pode ser alcançada pela reação de óxido de gálio com pelo menos um dentre hidrogênio molecular e atômico. O oxigênio pode ser removido em uma forma como O_2 ou H_2O. O óxido de gálio pode ser reduzido na câmara da célula de reação 5b31, e o produto da reação de redução de Ga_2O_3 compreendendo oxigênio pode ser removido da câmara da célula de reação. Alternativamente, Ga_2O_3 pode ser removido da câmara da célula de reação e reduzido externamente com o gálio metálico retornado à câmara da célula de reação 5b31. O óxido de gálio (PF = 1.900 °C)

pode se decompor em altas temperaturas, como acima de seu ponto de fusão. O oxigênio liberado pode ser avaliado a partir da câmara da célula de reação por meio de uma bomba de vácuo. Em uma modalidade, a superfície do reservatório pode ser mantida acima da temperatura de decomposição do óxido de gálio. A superfície do gálio e do óxido de gálio no metal fundido pode servir como eletrodo positivo para facilitar a manutenção da alta temperatura. A área de superfície do metal fundido pode ser selecionada para concentrar o plasma suficientemente para atingir a temperatura de superfície desejada para causar a decomposição do óxido de gálio. Em uma modalidade, a área de superfície pode ser ajustável. Os meios de ajuste podem compreender paredes móveis na célula. Em uma modalidade, a pressão da célula pode ser mantida baixa, como na faixa de 0,01 Torr a 50 Torr para permitir que a luz de alta energia produzida pela reação de hidrino decomponha o óxido de gálio. Em uma modalidade, Ga_2O_3 reage com gálio para formar Ga_2O que pode se decompor termicamente. A temperatura da reação pode ser de cerca de 700 °C, de modo que a temperatura da superfície do gálio pode ser mantida a uma temperatura superior a 700 °C. Além disso, a temperatura de pelo menos um dentre a câmara da célula de reação, o reservatório e o pedestal, onde Ga_2O pode estar presente, pode ser mantida acima de 500 °C, uma vez que Ga_2O pode começar a se decompor a 500 °C.

[0411] Um redutor, tal como gás hidrogênio, pode ser adicionado à câmara da célula de reação para facilitar pelo menos uma dentre redução e decomposição de óxido de gálio, tal como pelo menos um dentre Ga_2O_3 e Ga_2O. A temperatura da reação de redução de hidrogênio pode ser de cerca de 700 °C, de modo que a temperatura da superfície do gálio possa ser mantida a uma temperatura superior a 700 °C. Em outra modalidade, a temperatura de pelo menos um dentre câmara da célula de reação, reservatório e pedestal, onde Ga_2O pode estar presente, pode ser mantida abaixo de cerca de 600 °C, uma vez que Ga_2O pode sofrer redução de hidrogênio abaixo de cerca de 600 °C versus sofrer a reação de Ga_2O para $Ga+Ga_2O_3$. Em uma

modalidade, pelo menos um dentre o barramento 10 e o eletrodo 8 pode compreender um dissociador como Ta ou W. O pedestal 2c1 (FIGURA 25) pode ser encurtado para expor parcialmente o barramento para facilitar a produção de hidrogênio atômico para óxido de gálio reduzido. Em uma modalidade, o barramento 10 pode compreender dissociadores acoplados, como dissociadores de palheta, como placas planas. As placas podem ser fixadas prendendo a face de uma borda ao longo do eixo do barramento 10. As palhetas podem compreender um padrão de roda de pás. As palhetas podem ser aquecidas por transferência de calor condutiva do barramento 10, que pode ser aquecido por pelo menos um dentre resistivamente pela corrente de ignição e aquecido pela reação de hidrino. Os dissociadores, como palhetas, podem compreender um metal refratário, como Hf, Ta, W, Nb ou Ti. Um gás nobre pode ser adicionado além do hidrogênio. As porcentagens molares de gás nobre e hidrogênio podem ter qualquer razão desejada. Uma mistura de gás exemplar compreende argônio na faixa de cerca de 80 a 99 por cento em mol e hidrogênio na faixa de cerca de 1 a 20 por cento em mol. A pressão da câmara da célula de reação pode ser mantida baixa para facilitar a decomposição do óxido de gálio. Em outra modalidade, a pressão de hidrogênio pode ser mantida alta para favorecer a redução de óxido de gálio por hidrogênio. Outra espécie, composto, elemento ou composição de matéria, como uma base como NaOH, pode ser adicionada à câmara da célula de reação para formar um produto com óxido de gálio, como galato de sódio, para aumentar a taxa de pelo menos uma dentre decomposição térmica e redução de óxido de gálio.

[0412] Em outra modalidade, a mistura de reação na câmara da célula de reação compreende um aditivo de metal fundido, como um material ou composto, como um composto inorgânico, como um haleto alcalino, como NaCl, para estabilizar o gálio contra a oxidação. Em outra modalidade, o aditivo de metal fundido compreende um metal como um que forma uma liga com o metal fundido para estabilizá-lo contra oxidação. Em uma modalidade exemplar que compreende o gálio metálico fundido, prata

é adicionada ao gálio para aumentar pelo menos um dentre a decomposição térmica e a redução térmica, de hidrogênio, e eletrolítica da película de óxido de gálio. Em uma modalidade exemplar, cerca de 5,6% em peso de prata é adicionado ao gálio para formar uma liga que funde a cerca de 30-40 °C. Gálio-Ag pode inibir a oxidação do gálio.

[0413] Em uma modalidade, uma fonte de haleto, tal como o aditivo, como HCl, um haleto de metal, um haleto do grupo 13, 14, 15 ou 16, ou um gás halogênio é adicionado à mistura de reação para formar um produto de reação com óxido de gálio, tal como um produto volátil que pode ser removido da câmara da célula de reação por volatilização e condensação. O produto do aditivo pode compreender um haleto de gálio como $GaCl_3$ (PF = 77,9 °C, PE = 201 °C). O haleto de gálio pode ser volátil na temperatura e pressão de operação do SunCell®. Pelo menos um dentre um produto volátil, como haleto de gálio, pode ser escoado para um condensador, e condensado. O gálio metálico pode ser regenerado por meio de eletrólise. Em uma modalidade, o aditivo forma pelo menos um produto com óxido de gálio que pode ser removido da câmara da célula de reação por meio de volatilização e pelos meios da publicação para remover óxido de gálio, como os que compreendem um skimmer. As reações dos combustíveis sólidos da publicação e outras conhecidas na técnica compreendem ainda reações para remover o inventário de óxido da câmara da célula de reação formada pela reação de gálio, com pelo menos um dentre água e oxigênio adicionados.

[0414] Em uma modalidade exemplar, o aditivo que compreende uma fonte de haleto é $ZnCl_2$ que reage com água injetada para formar HCl anidro e hidróxido ou óxido de zinco. Pelo menos um dentre HCl e $ZnCl_2$ pode reagir com Ga_2O_3 para formar $GaCl_3$ (PF = 77,9 °C, PE = 201 °C). Os produtos de zinco podem ser removidos seletivamente das células através dos meios da publicação para remover óxido de gálio. O $GaCl_3$ pode ser removido da célula e condensado. O $GaCl_3$ pode então ser reagido com água para formar pelo menos um dentre HCl e Ga(OH)Cl, GaO(OH), $Ga(OH)_3$ e

Ga_2O_3. O HCl pode ser separado da água por destilação ou evaporação, e o produto compreendendo gálio e oxigênio pode ser eletrolisado em gálio metálico em solução aquosa básica, tal como em um eletrólito de NaOH. O gálio metálico pode ser reciclado. O HCl pode reagir com pelo menos um dentre óxido de zinco e hidróxido de zinco para formar cloreto de zinco que pode ser reciclado.

[0415] Em outra modalidade exemplar, $FeCl_2$ é o aditivo que reage com água injetada e O_2 para formar HCl e Fe_2O_3. Pelo menos um dentre HCl e $FeCl_2$ pode reagir com Ga_2O_3 para formar $GaCl_3$. Fe_2O_3 pode ser removido seletivamente das células através dos meios da publicação para remover óxido de gálio. O $GaCl_3$ pode ser removido da célula e condensado. O $GaCl_3$ pode então ser reagido com água para formar pelo menos um dentre HCl e Ga(OH)Cl, GaO(OH), $Ga(OH)_3$ e Ga_2O_3. O HCl pode ser separado da água por destilação ou evaporação, e o produto compreendendo gálio e oxigênio pode ser eletrolisado em gálio metálico em solução aquosa básica, tal como em um eletrólito de NaOH. O gálio metálico pode ser reciclado. HCl pode ser reagido com Fe_2O_3 para formar $FeCl_2$ que pode ser reciclado.

[0416] Em outra modalidade exemplar, o cloreto de sulfurila (SO_2Cl_2) é o aditivo que reage com água injetada para formar HCl e SO_3. Pelo menos um dentre HCl e SO_2Cl_2 pode reagir com Ga_2O_3 para formar $GaCl_3$. Tanto $GaCl_3$ quanto SO_3 podem ser removidos da célula e condensados seletivamente. O gálio pode ser regenerado a partir do $GaCl_3$ por eletrólise de $GaCl_3$ fundido em Ga e Cl_2. SO_2Cl_2 pode ser regenerado a partir de SO_3 por decomposição de SO_3 em SO_2 seguido de reação de SO_2 com Cl_2 para formar SO_2Cl_2. Ga e SO_2Cl_2 também podem ser regenerados por outros métodos conhecidos na técnica.

[0417] Em outra modalidade exemplar, o aditivo de haleto pode compreender fósforo em vez de enxofre em que PX_3 ou PX_5 (X é haleto), tal como PCl_3 ou PCl_5 reage com água injetada para formar HCl e PO_2. Pelo menos um dentre HCl e PCl_3 ou PCl_5 reage com Ga_2O_3 para formar $GaCl_3$. Tanto $GaCl_3$ quanto PO_2 podem ser

removidos da célula e condensados seletivamente. O gálio pode ser regenerado a partir do $GaCl_3$ por eletrólise de $GaCl_3$ fundido em Ga e Cl_2. PCl_3 ou PCl_5 podem ser regenerados a partir de PO_2 por redução de PO_2 seguida de reação de P_4 com Cl_2 para formar PCl_3 ou PCl_5.

[0418] No caso da adição de HCl, o HCl reage seletivamente com a película de óxido de gálio. O SunCell® pode compreender um meio, como um bocal direcional resistente à corrosão, como um bocal de alumina para aplicar seletivamente o HCl à película de óxido de gálio. O injetor de metal fundido pode ser terminado durante a reação de HCl com a película de óxido de gálio e qualquer revestimento do gálio para minimizar a reação de gálio com HCl. O HCl pode reagir com óxido de gálio para formar $GaCl_3$ e H_2O voláteis. O $GaCl_3$ pode ser removido da câmara da célula de reação. O H_2O pode ser reciclado in situ. Qualquer H_2O que é removido pode ser substituído por uma fonte de H_2O, como água líquida ou gases H_2 e O_2 de uma fonte de gás H_2 e uma fonte de gás O_2. O produto de haleto de gálio pode ser condensado e pode ser dissolvido em água para formar pelo menos um dentre HCl, Ga(OH)Cl, GaO(OH), $Ga(OH)_3$ e Ga_2O_3. O HCl pode ainda ser produzido por eletrólise no ânodo. Em uma modalidade, HCl pode ser formado no ânodo por eletrólise de água de uma solução compreendendo íon cloreto aquoso, usando um catalisador de evolução de oxigênio como eletrodo de evolução de oxigênio $Mn_{0,84}Mo_{0,16}O_{2,23}$ durante a eletrólise de água conforme descrito por Lin et al. [“Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis”, Scientific reports, (2016); 6: 20494, doi: 10.1038/srep20494], que é incorporado por referência. O HCl pode ser removido como um gás. O gálio metálico pode ser produzido no cátodo de uma célula de eletrólise por eletrólise de pelo menos um dentre Ga(OH)Cl, GaO(OH), $Ga(OH)_3$ e Ga_2O_3, em que o eletrólito pode compreender NaOH. Os produtos regenerados como Ga, haleto de metal e HCl podem ser reciclados.

[0419] Em uma modalidade, a fonte de haleto compreende um composto que

compreende um haleto e uma espécie em que pelo menos um dentre compreende uma fonte de H^+ e reage com óxido de gálio para formar haleto de gálio que pode vaporizar e um gás na temperatura operacional da câmara da célula de reação. A fonte de haleto pode compreender um sal de haleto de amônio, como um formado pela reação de um composto de amônio, como uma amina ou amônia, com um haleto de hidrogênio, como HCl. Em uma modalidade, um método para remover Ga_2O_3 como $GaCl_3$, regenerar Ga e reciclar o Ga compreende um ciclo de NH_4Cl. Em uma modalidade exemplar, a amônia pode ser reagida com HCl para formar NH_4Cl. O óxido de gálio pode reagir com a fonte de haleto como NH_4Cl para formar haleto de gálio como $GaCl_3$ que pode ser removido da câmara da célula de reação por vaporização. O haleto de gálio como $GaCl_3$ pode ser condensado seletivamente em um condensador, como um em uma linha para uma bomba de vácuo, como um coletor frio. O $GaCl_3$ condensado pode ser convertido em gálio por eletrólise direta do fundido, de acordo com as reações exemplares:

$2GaCl_3$ (fundido) eletrolisa em $2Ga\downarrow$ (cátodo) $+3Cl_{2}\uparrow$ (ânodo)

[0420] O cloro gasoso pode ser reagido com H_2 usando-se irradiação de luz UV ou por reação de Cl_2 e H_2 em um forno de HCl:

$Cl_2 + H_2$ para $2HCl$

[0421] Amônia e HCl podem ser reagidos para formar cloreto de amônio

$NH_3 + HCl$ para NH_4Cl

[0422] Em outra modalidade, HCl em vez de NH_4Cl pode ser adicionado diretamente ao óxido de gálio na superfície do gálio na câmara da célula de reação. O local de entrega do NH_4Cl pode ser mantido em uma faixa de temperatura maior do que o ponto de ebulição do $GaCl_3$ (PE=201 °C em TPP) e abaixo da temperatura de decomposição do NH_4Cl (338 °C). Alternativamente, a câmara da célula de reação pode ser mantida a uma temperatura maior do que a temperatura de decomposição do NH_4Cl, em que o HCl liberado pode reagir com o óxido de gálio.

[0423] Uma via alternativa de reciclagem para adição de HCl para formar $GaCl_3$ é adicionar $GaCl_3$ à água para liberar HCl, de acordo com a reação exemplar:

$GaCl_3 + 2H_2O(vapor) = GaO(OH) + 3HCl$ (350 °C).

[0424] O gás HCl pode ser desenvolvido e reciclado, e o oxi-hidróxido de gálio pode ser eletrolisado em base aquosa como solução de NaOH. Em uma modalidade, HCl pode ser formado no ânodo por eletrólise de água de uma solução compreendendo íon cloreto aquoso, usando um catalisador de evolução de oxigênio como eletrodo de evolução de oxigênio $Mn_{0,84}Mo_{0,16}O_{2,23}$ durante a eletrólise de água conforme descrito por Lin et al. ["Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis", Scientific reports, (2016); 6: 20494, doi: 10.1038/srep20494], que é incorporado por referência.

[0425] Alternativamente, pelo menos um dentre haleto de gálio, tal como $GaCl_3$ e amônia formada pela reação de óxido de gálio com cloreto de amônio, pode ser reagido com água para formar oxi-hidróxido de gálio ou hidróxido de gálio pelas reações exemplares:

$Ga_2O_3 + 6NH_4Cl = 2GaCl_3 + 6NH_3 + 3H_2O$ (250 °C)

$GaCl_3 + 3(NH_3 \bullet H_2O)[diluído] = Ga(OH)_3\downarrow + 3NH_4Cl$

[0426] O precipitado de $Ga(OH)_3$ pode ser separado da mistura de hidróxido de gálio e cloreto de amônio por meio de decantação do líquido aquoso ou filtração e coleta do sólido. O hidróxido de gálio isolado pode ser dissolvido em uma base aquosa, como uma solução aquosa de NaOH, e eletrolisado para liberar oxigênio no ânodo e depositar o gálio metálico no cátodo. O gálio metálico pode ser reciclado. Reações exemplares são

$Ga(OH)_3 + NaOH(conc., quente) = Na[Ga(OH)_4]$

$Na[Ga(OH)_4]$ eletrolisa em Ga (cátodo) + O_2 (ânodo)

[0427] O NH_4Cl restante após a separação do hidróxido de gálio pode ser concentrado por evaporação, deixado cristalizar sob condições adequadas, como uma

temperatura baixa, tal como perto de 0 °C, e coletado por filtração, ou o NH_4Cl pode ser coletado após a evaporação do solvente água. O NH_4Cl pode ser reciclado. O NH_4Cl pode ser adicionado à câmara da célula de reação sob condições de temperatura e velocidade de injeção para evitar sua decomposição a cerca de 337,6 °C antes de entrar em contato com o óxido de gálio. O ciclo de NH_4Cl dessas reações pode ser realizado como um processo contínuo ou em lote.

[0428] O HCl de uma fonte de HCl pode ser anidro. O HCl pode permanecer anidro após a administração na câmara da célula de reação, em que qualquer estoque de água na câmara da célula de reação pode ser água gasosa. Em uma modalidade, o SunCell® compreende componentes que são resistentes a pelo menos uma dentre a formação de uma liga com gálio e reação com HCl, ácido clorídrico ou NH_4Cl. Em uma modalidade exemplar, o eletrodo invertido pode compreender tântalo e a câmara da célula de reação pode compreender pelo menos um dentre aço inoxidável, níquel, liga de níquel, zircônio, tântalo e liga de níquel e molibdênio, tal como B-2 e B-3®. Alternativamente, a câmara da célula de reação pode compreender quartzo, um revestimento de cerâmica ou ser revestida com um revestimento de cerâmica, como alumina, mulita ou sílica. Em uma modalidade, pelo menos um dentre um tanque de gás HCl, válvula, linha, regulador de pressão e câmara da célula de reação pode ser revestido com um revestimento resistente à corrosão por HCl conhecido na técnica, como SilcoNert®. Um exemplo de metal resistente a HCl é o metal Monel, como Monel 400.

[0429] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma camisa de transferência de calor variável. O isolamento variável pode ser ajustado para permitir que a câmara da célula de reação 5b31 seja operada a uma temperatura desejada, tal como uma que permite um ou mais dentre (i) a decomposição de qualquer óxido de gálio, como Ga_2O_3 ou Ga_2O que possa se formar, (ii) a conversão de Ga_2O_3 em Ga_2O por reação com gálio, e (iii) a redução do óxido de gálio por hidrogênio. O SunCell® que

compreende a camisa de transferência de calor variável pode ser resfriado por um trocador de calor, como um banho-maria no qual o SunCell® é imerso. A camisa de transferência de calor de calor variável pode compreender pelo menos uma câmara entre o trocador de calor e o exterior da câmara da célula de reação que pode ser capaz de vácuo. A camisa de transferência de calor variável pode compreender um sistema de bombeamento para adicionar de forma reversível e controlada um refrigerante de transferência de calor, tal como um gás ou fluido, à câmara. O sistema de bombeamento pode compreender uma fonte de refrigerante, como um tanque, uma bomba e um controlador. O sistema de bombeamento pode aumentar ou diminuir a quantidade de refrigerante em resposta à temperatura da câmara da célula de reação para controlá-la para estar dentro de uma faixa desejada, controlando a transferência de calor correspondente. O refrigerante pode compreender pelo menos um dentre um gás nobre, como hélio, um sal fundido, como um da publicação, e um metal fundido, como gálio.

[0430] Em uma modalidade alternativa, o SunCell® compreende um trocador de calor de fluxo de refrigerante que compreende o sistema de bombeamento pelo qual a câmara da célula de reação é resfriada por um refrigerante de fluxo em que a vazão pode ser variada para controlar a câmara da célula de reação para operar dentro de uma faixa de temperatura desejada. O trocador de calor pode compreender placas com canais, como placas de microcanais. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma célula que compreende a câmara da célula de reação 531, reservatório 5c, pedestal 5c1 e todos os componentes em contato com o plasma de reação de hidrino, em que um ou mais componentes podem compreender uma zona de célula. Em uma modalidade, o trocador de calor, tal como um que compreende um refrigerante em fluxo, pode compreender uma pluralidade de trocadores de calor organizados em zonas de células para manter a zona de célula correspondente a uma temperatura independente desejada.

[0431] Em uma modalidade como uma mostrada na FIGURA 30, o SunCell® compreende isolamento térmico ou um revestimento 5b31a fixado no interior da câmara da célula de reação 5b31 no nível de gálio fundido para evitar que o gálio quente entre em contato direto com a parede da câmara. O isolamento térmico pode compreender pelo menos um dentre um isolante térmico, um isolante elétrico e um material que seja resistente à umidade pelo metal fundido, como gálio. O isolamento pode pelo menos um dentre permitir que a temperatura da superfície do gálio aumente e reduzir a formação de pontos quentes localizados na parede da câmara da célula de reação que podem fundir a parede. Além disso, um dissociador de hidrogênio, como um da publicação, pode ser revestido na superfície do revestimento. Em outra modalidade, pelo menos um dentre a espessura da parede é aumentada e difusores de calor, tais como blocos de cobre, são revestidos na superfície externa da parede para espalhar a energia térmica dentro da parede para evitar fusão localizada da parede. A temperatura mais elevada pode favorecer pelo menos uma dentre (i) decomposição térmica de Ga_2O_3 ou Ga_2O, (ii) reação de Ga com Ga_2O_3 para formar Ga_2O, (iii) redução de hidrogênio de pelo menos um dentre Ga_2O_3 e Ga_2O, e pelo menos uma dentre vaporização e sublimação devido à volatilidade do Ga_2O. O isolamento térmico pode compreender uma cerâmica, como BN, SiC, carbono, mulita, quartzo, sílica fundida, alumina, zircônia, háfnio, outros da publicação e aqueles conhecidos pelos especialistas na técnica. A espessura do isolamento pode ser selecionada para atingir uma área desejada do metal fundido e revestimento de superfície de óxido de gálio, em que uma área menor pode aumentar a temperatura pela concentração do plasma de reação de hidrino. Uma vez que uma área menor pode reduzir a taxa de recombinação elétron-íon, a área pode ser otimizada para favorecer a eliminação da película de óxido de gálio, enquanto otimiza a energia da reação de hidrino. Em uma modalidade exemplar que compreende uma câmara da célula de reação retangular, os blocos BN retangulares são aparafusados em pinos roscados, que são soldados às paredes internas da

câmara da célula de reação no nível da superfície do gálio fundido. Os blocos BN formam uma superfície elevada contínua nesta posição no interior da câmara da célula de reação.

[0432] Em uma modalidade, o plasma de reação de hidrino é mantido em uma distribuição simétrica dentro da câmara da célula de reação. A distribuição simétrica pode evitar a formação de um ponto quente localizado na parede da câmara da célula de reação. A distribuição simétrica do plasma pode ser alcançada pelo alinhamento direto do metal fundido injetado ao longo do eixo de simetria central da câmara da célula de reação, tendo um elemento de simetria cilíndrica. O alinhamento da corrente de ignição correspondente pode resultar em um campo magnético do tipo compressão desejado, sem dobras que causam uma instabilidade do plasma devido a uma força de Lorentz desequilibrada.

[0433] O plasma pode preferencialmente entrar em contato com a parede da câmara de reação sobre a superfície do gálio fundido devido a uma camada de óxido no gálio. A localização da parede pode ser determinada pela espessura da camada de óxido que aumenta a resistência elétrica. Em uma modalidade, a camada de óxido nas paredes é removida por pelo menos um meio, como abrasão mecânica, como jateamento com esferas e escova de arame, e por tratamento químico, como o tratamento com ácido fraco. Em outra modalidade, o reservatório pode compreender pelo menos um condutor elétrico, tal como um que penetra uma placa de base do fundo do reservatório e se estende acima do nível de metal fundido. O condutor elétrico pode ser conectado à fonte de corrente de ignição. O condutor elétrico pode compreender um caminho alternativo para a corrente de ignição, que compreende uma segunda corrente além da corrente de ignição para o injetor. A segunda corrente pode manter a distribuição simétrica do plasma na câmara da célula de reação, fornecendo pelo menos um dentre o segundo caminho elétrico e um campo magnético gerado pela segunda corrente. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende

pelo menos uma conexão de corrente, que pode ter um interruptor correspondente, que conecta a câmara da célula de reação a pelo menos um dentre o aterramento e a fonte de energia de ignição. O interruptor pode ser fechado para fazer com que a corrente de ignição flua pelo menos parcialmente através da conexão de corrente, em que a corrente flui através da parede da câmara da célula de reação onde está conectada. O fluxo de corrente pode fazer com que o plasma seja direcionado pelo menos parcialmente para a região do fluxo de corrente. Os interruptores de pelo menos uma conexão de corrente podem ser controlados por um controlador para manter a distribuição simétrica do plasma. O controlador pode receber entrada de pelo menos um sensor de distribuição de plasma, como pelo menos um termopar. Em outra modalidade, a câmara da célula de reação pode compreender portas de entrada de mistura de reação adicionais para equilibrar a injeção de combustível e atingir a distribuição simétrica do plasma na câmara da célula de reação.

[0434] Em uma modalidade (FIGURA 25 e FIGURA 30), o SunCell® compreende um barramento 5k2ka1 através de uma placa de base da bomba EM no fundo do reservatório 5c. O barramento pode ser conectado à fonte de alimentação da corrente de ignição. O barramento pode se estender acima do nível do metal fundido. O barramento pode servir como eletrodo positivo, além do metal fundido, como gálio. O metal fundido pode dissipar o calor do barramento para resfriá-lo. O barramento pode compreender um metal refratário que não forma uma liga com o metal fundido, como W ou Ta, no caso de o metal fundido compreender gálio. O barramento, como uma haste de W projetando-se da superfície do gálio, pode concentrar o plasma na superfície do gálio. O bocal injetor, tal como um que compreende W, pode ser submerso no metal fundido no reservatório para protegê-lo de danos térmicos.

[0435] Em uma modalidade (FIGURA 25), tal como uma em que o metal fundido serve como um eletrodo, a área da seção transversal que serve como um eletrodo fundido pode ser minimizada para aumentar a densidade de corrente. O eletrodo de

metal fundido pode compreender o eletrodo injetor. O bocal de injeção pode estar submerso. O eletrodo de metal fundido pode ter polaridade positiva. A área do eletrodo de metal fundido pode ser cerca da área do contraeletrodo. A área da superfície do metal fundido pode ser minimizada para servir como um eletrodo com alta densidade de corrente. A área pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 1 cm^2 a 100 cm^2, 1 cm^2 a 50 cm^2 e 1 cm^2 a 20 cm^2. Pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório pode ser afunilado para uma área de seção transversal menor no nível do metal fundido. Pelo menos uma porção de pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório pode compreender um material refratário, como tungstênio, tântalo ou uma cerâmica, como BN, no nível do metal fundido. Em uma modalidade exemplar, a área de pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório no nível do metal fundido pode ser minimizada para servir como o eletrodo positivo com alta densidade de corrente. Em uma modalidade exemplar, a câmara da célula de reação pode ser cilíndrica e pode compreender ainda um redutor, uma seção cônica ou transição para o reservatório, em que o metal fundido, como gálio, enche o reservatório a um nível tal que a área da seção transversal de gálio na superfície do metal fundido correspondente é pequena para concentrar a corrente e aumentar a densidade da corrente. Em uma modalidade exemplar (FIGURA 31), pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório pode compreender uma forma de ampulheta ou um hiperboloide de uma folha, em que o nível de metal fundido está aproximadamente no nível da menor área de seção transversal. Esta área pode compreender um material refratário ou compreender um revestimento 5b31a de um material refratário, como carbono; um metal refratário, como W ou Ta; ou uma cerâmica, como BN, SiC ou quartzo. Na modalidade exemplar, a câmara da célula de reação pode compreender aço inoxidável, como SS 347, e o revestimento pode compreender W ou BN.

[0436] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um isolamento

reversível, tal como uma pluralidade de partículas isolantes térmicas como esferas, tais como esferas de alumina, e um recipiente ou invólucro isolante em que as partículas estão no recipiente, que é circunferencial ao componente do SunCell® para serem termicamente isolados, como pelo menos um dentre a câmara da célula de reação e o reservatório. O recipiente pode compreender portas de entrada e saída para encher e esvaziar o recipiente de esferas, respectivamente, e pode ainda compreender um meio para transportar as esferas para dentro e para fora do recipiente, como um transportador mecânico, como uma rosca sem fim. Em uma modalidade, as esferas podem fluir para fora do recipiente por gravidade.

[0437] Em uma modalidade, pelo menos uma dentre corrente de ignição e tensão pode ser intermitentemente aumentada o suficiente, por um período suficiente para causar pelo menos um dentre (i) a decomposição de qualquer óxido de gálio, como Ga_2O_3 ou Ga_2O que pode se formar na câmara da célula de reação ou reservatório, (ii) a conversão de Ga_2O_3 em Ga_2O por reação com gálio, e (iii) a redução do óxido de gálio por hidrogênio. A película de óxido de gálio pode compreender uma mistura de gálio metálico e partículas de óxido de gálio, em que a película de mistura se forma porque o óxido de gálio é umedecido pelo gálio metálico, e o óxido de gálio é menos denso do que o gálio. Como o óxido de gálio é um isolante elétrico e o gálio metálico é um condutor elétrico, a resistência elétrica da película aumenta com o aumento do teor de óxido de gálio, em que a corrente de ignição é forçada através dos canais de gálio de área decrescente e comprimento crescente. A corrente de ignição pulsada intermitente pode aquecer seletivamente o gálio de tais canais de gálio metálico de alta resistência elétrica para causar o aquecimento do gálio e do óxido de gálio misturado. O aumento intermitente de pelo menos uma dentre a corrente de ignição e tensão pode compreender um pulso de energia aplicada. O ciclo de trabalho do pulso intermitente de energia de ignição pode estar em uma faixa de pelo menos uma dentre cerca de 1% a 99%, 1% a 75%, 1% a 50%, 1% a 25% e 1% a 10%. A

tensão pode ser aumentada para pelo menos uma dentre cerca de 1.000 V, 100 V, 75 V e 50 V, ou cerca de 10 vezes, 5 vezes, 2 vezes, 1,5 vezes ou 1,25 vezes a tensão pré-aumento. A corrente pode ser aumentada para pelo menos uma dentre cerca de 100 kA V, 50 kA, 10 kA, 5 kA, 1 kA e 500 A, ou cerca de 10 vezes, 5 vezes, 2 vezes, 1,5 vezes ou 1,25 vezes a amperagem pré-aumento. Em uma modalidade, a reação de hidrino é favorecida no eletrodo positivo do par de eletrodos de ignição, de modo que o aquecimento pela reação de hidrino ocorre seletivamente no eletrodo positivo. O gálio compreendendo uma película de óxido de gálio pode ser polarizado positivamente para aquecer seletivamente a película de óxido de gálio pela reação de hidrino. Em uma modalidade, o cátodo e o ânodo do SunCell® compreendem um eletrodo de pedestal, como um pedestal invertido 5c2 e um bocal injetor oposto 5q, como os mostrados na FIGURA 25. O eletrodo invertido, tal como um compreendendo tungstênio, pode compreender o eletrodo positivo que é aquecido seletivamente pela reação de hidrino a uma temperatura muito elevada, como na faixa de temperatura de cerca de 1.000 °C a 3.000 °C, e o eletrodo aquecido aquece a película de óxido de gálio. A polaridade dos eletrodos pode ser alternada por uma fonte de ignição CA de energia elétrica para evitar o superaquecimento do eletrodo invertido e, assim, evitar sua fusão. O aquecimento da película pelo eletrodo invertido pode ser aumentado diminuindo sua distância de separação da superfície do gálio. A câmara da célula de reação pode compreender um revestimento de cerâmica 5b31a, como um revestimento de BN, quartzo ou sílica fundida para focar o plasma da reação de hidrino nos eletrodos. O aquecimento pode facilitar pelo menos uma dentre (i) a decomposição de qualquer óxido de gálio, como Ga_2O_3 ou Ga_2O que pode se formar na câmara da célula de reação ou reservatório, (ii) a conversão de Ga_2O_3 em Ga_2O por reação com gálio, e (iii) a redução do óxido de gálio pelo hidrogênio.

[0438] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sistema de regeneração de gálio para converter óxido de gálio em gálio, compreendendo um sistema de

eletrólise que compreende um cátodo, um ânodo, uma fonte de alimentação, tal como uma fonte de alimentação CC, e um eletrólito compreendendo óxido de gálio eletrolisa óxido de gálio ou uma espécie compreendendo óxido de gálio, tal como galato de sódio em gálio metálico, diretamente na superfície de pelo menos um dentre o metal fundido do reservatório e a câmara da célula de reação. O eletrólito pode compreender óxido de gálio fundido, em que os íons compreendem íons de gálio e óxido. O eletrólito pode compreender um óxido, como um que é pelo menos um dentre (i) estável sob as condições operacionais do SunCell®, como alumina ou um óxido alcalino ou alcalino-terroso, (ii) forma uma mistura com um ponto de fusão mais baixo do que o óxido de gálio sozinho e (iii) é mais termodinamicamente estável do que o óxido de gálio, de modo que os íons de óxido e gálio da película fundida podem ser eletrolisados seletivamente em gálio metálico e gás oxigênio, em que a mistura de sal fundido compreende o eletrólito. O eletrólito pode compreender uma fonte de íons, como uma base, como NaOH, como NaOH fundido, Na_2O, LiOH, ou Li_2O, um haleto de metal, tal como um haleto de metal alcalino, como NaF ou eletrólito CsF na superfície do gálio, ou outro eletrólito estável conhecido na técnica. O eletrólito pode compreender uma mistura de sais que baixam o ponto de fusão do óxido de gálio como uma mistura. O eletrólito pode compreender óxido de gálio dissolvido em um sal ou mistura de sal, como um que compreende pelo menos um dentre gálio, alumínio e um haleto, como NaF, LiF, KF, CsF, NaI (PF = 661 °C), uma mistura de sal de haleto, AlF_3, criolita (Na_3AlF_6) ou Na_3GaF_6. O sal solvente, como um haleto alcalino, como NaI, pode ser termodinamicamente estável para o gálio e H_2O da mistura da célula de reação. O eletrólito que dissolve Ga_2O_3 e serve como eletrólito para reduzir eletroliticamente o óxido de gálio a gálio pode compreender pelo menos um dentre um óxido, hidróxido, haleto e uma mistura como NaOH-NaCl. O eletrólito pode compreender um sal ou mistura de sal, tal como uma mistura de sal eutética que dissolve o óxido de gálio e é estável ao óxido de gálio. Misturas eutéticas exemplares são (i) a mistura ternária de

fluoreto de metal eutético LiF-NaF-KF, tal como FLiNaK nas razões 46,5-11,5-42 %mol, que tem um ponto de fusão de 454 °C e um ponto de ebulição de 1.570 °C, (ii) a mistura ternária de cloreto de metal eutético LiCl-KCl-CsCl nas razões 57,5-13,3-29,2 %mol, que tem um ponto de fusão de 265 °C, (iii) CsI-NaI em uma razão molar de NaI/(CsI + NaI) = 0,484 que tem um ponto de fusão de 420 °C, (iv) KI-LiI em uma razão molar de LiI/(KI + LiI) = 0,635 que tem um ponto de fusão de 283 °C, e (v) CsI-LiI em uma razão molar de LiI/(CsI + LiI) = 0,657 que tem um ponto de fusão de 209 °C. Outros exemplos de sais de eletrólito compreendendo íon fluoreto são 2LiF–BeF2, LiF–BeF2–ZrF4 (64,5–30,5–5), NaF–BeF2 (57–43), LiF–NaF–BeF2 (31–31–38), LiF–ZrF4 (51–49), NaF–ZrF4 (59,5–40,5), LiF-NaF–ZrF4 (26–37–37), KF–ZrF4 (58–42), RbF–ZrF4 (58–42), LiF–KF (50–50), LiF–RbF (44–56), LiF–NaF–KF (46,5–11,5–42) e LiF–NaF–RbF (42–6–52). Em uma modalidade, a razão dos mols de eletrólito para mols de óxido de gálio estão em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 a 1.000, 0,5 a 100, 0,5 a 50, 0,75 a 10, 0,75 a 5 e 0,75 a 2. Em uma modalidade exemplar em que NaI é o eletrólito e o estado estacionário de mols de Ga_2O_3 corresponde a 1 ml de H_2O ou equivalente de oxigênio que produz 3,44 g de Ga_2O_3 (PM = 188), uma razão de mols de eletrólito NaI (PM = 150) para mols de Ga_2O_3 de 1 corresponde a 2,74 g de NaI adicionado à câmara da célula de reação. A redução de cada 1 ml de H_2O ou oxigênio equivalente requer uma corrente eletrolítica fornecida pela corrente de ignição de 180 A.

[0439] No caso em que o ânion do eletrólito, como íon haleto, como I^- é oxidado no ânodo de eletrólise sobre O^{2-}, o ânion pode ser selecionado para ser mais estável à oxidação do que O^{2-}. CsF (PF = 682 °C) é um sal exemplar tendo F^- como o ânion haleto estável. Em uma modalidade, a câmara da célula de reação pode compreender pelo menos um dentre hidrogênio molecular e atômico, em que a oxidação eletrolítica de O^{2-} no ânodo é tornada mais termodinamicamente favorável devido à reação do produto de oxigênio reagindo com pelo menos um dentre hidrogênio

molecular e atômico para formar água. A reação no ânodo pode compreender O^{2-} + 2H para H_2O + $2e^-$. No caso em que o ânion do eletrólito, tal como íon haleto, tal como I^- é oxidado ou reage a temperatura elevada, pelo menos um dentre a câmara da célula de reação pode ser operada abaixo da temperatura de reação ou decomposição do ânion, tal como inferior a cerca de 700 °C no caso de iodeto, e o ânion pode ser selecionado para ser estável à temperatura elevada. F^- é um ânion haleto mais estável exemplar. Em uma modalidade em que o ânion é oxidado por meios tais como eletrólise pela corrente de ignição, bem como termicamente, o gás, líquido ou sólido resultante pode ser reciclado por um reciclador de halogênio. O reciclador de halogênio pode compreender um condensador. O condensador pode estar alinhado com a linha de vácuo do sistema de vácuo. O sistema de vácuo pode compreender ainda um restritor de fluxo de partículas para a entrada da linha de vácuo, como um conjunto de defletores para permitir o fluxo de gás enquanto bloqueia o fluxo de partículas. Em uma modalidade exemplar, o íon haleto é I^- que é oxidado a I_2 (PF = 113,7 °, PE = 184,3 °C) que condensa no condensador e flui de volta para a câmara da célula de reação por gravidade, ou o iodo condensado é transportado ativamente para entrar em contato com o metal fundido por um transportador, como um transportador para iodo sólido ou uma bomba para iodo líquido. Em uma modalidade exemplar, a câmara da célula de reação pode ser periodicamente deixada esfriar de modo que o iodo possa fluir de volta como um líquido para contrair o metal fundido e reagir com o sódio para regenerar NaI.

[0440] O SunCell® pode compreender componentes, como a câmara da célula de reação, que é resistente à corrosão pelo eletrólito, como um que compreende pelo menos um haleto de metal alcalino, como FLiNaK. A câmara da célula de reação pode compreender um revestimento 5b31a, como um revestimento de cerâmica, como um BN, quartzo, sílica fundida, MgO, HfO_2, ZrO_2, Al_2O_3. A câmara da célula de reação pode compreender um metal resistente à corrosão, como metal Monel, como

Monel 400, um aço inoxidável resistente à corrosão, como Hastelloy N ou Inconel, compostos de carbono, ligas de molibdênio, tal como liga de titânio-zircônio-molibdênio (TZM) composta por 0,5% de titânio e 0,08% de zircônio com molibdênio sendo o resto, carbetos e ligas à base de metal refratário, ou ligas reforçadas por dispersão de óxido (ODS). Em uma modalidade, o metal fundido, como gálio, umedece as paredes da câmara da célula de reação que, em conjunto com a densidade mais baixa do eletrólito, evita o contato do eletrólito com essa parede para proteger a parede da corrosão pelo eletrólito.

[0441] O SunCell® pode compreender um separador para halogênio, ou gás de halogênio hidrogênio removido da câmara da célula de reação ou sistema de regeneração de gálio. O coletor exemplar compreendendo uma base como NaOH pode reagir com HF volátil para formar NaF que é coletado. O coletor pode ser conectado após a bomba de vácuo. Em uma modalidade, óxido de gálio pode ser convertido em outro óxido que é eletrolisado, como a conversão de Ga_2O_3 para Al_2O_3 que é eletrolisado em Al, em que o eletrólito pode compreender criolita. Íons migrantes exemplares podem compreender pelo menos um dentre óxido, peróxido, superóxido, OH^-, íon alcalino, como Na^+, complexo de hidróxido, como $Ga(OH)_4^-$ e um complexo de oxi-haleto, como $GaF(OH)_3^-$ ou $GaFO(OH)^-$.

[0442] Em uma modalidade, o cátodo em que o gálio metálico é formado eletroliticamente compreende a superfície de metal fundido. O eletrólito pode compreender pelo menos um dentre (i) óxido de gálio, (ii) oxi-hidróxido de gálio, (iii) hidróxido de gálio, (iv) pelo menos um dentre óxido de gálio, oxi-hidróxido de gálio e hidróxido de gálio, e pelo menos uma fonte de íon adicionada, como NaOH, KOH, um haleto de metal e uma mistura, tal como uma mistura de sal de haleto-hidróxido, como NaOH-NaCl. O ânodo pode compreender um condutor na superfície da película de óxido de gálio na superfície do metal fundido. O eletrólito pode compreender um condutor de íon hidróxido, como galato de sódio, ou pode compreender galato de potássio, que

pode compreender um condutor de íon K^+. Em uma modalidade, o eletrólito pode compreender um aditivo que compreende pelo menos um de um óxido, um hidróxido e um oxi-hidróxido. O óxido aditivo, como alumina, pode ser mais estável do que o óxido de gálio, em que se forma uma mistura de sal entre o óxido aditivo e a película superficial de óxido de gálio, podendo a mistura ter um ponto de fusão mais baixo do que o óxido de gálio. O óxido e íons de gálio da película podem ser eletrolisados seletivamente em gálio metálico e gás oxigênio, em que a mistura de sal fundido compreende o eletrólito. Em uma modalidade, a condição de operação SunCell®, tal como pelo menos uma dentre a temperatura, pressão, tensão, corrente e taxa de injeção de água da câmara da célula de reação suporta a formação de oxi-hidróxido de gálio, em que o hidróxido pode servir como o íon eletrólito migrante. Em uma modalidade, o local e a taxa de injeção de água podem ser controlados para manter uma concentração de oxi-hidróxido de gálio em estado estacionário. Em uma modalidade, a injeção de água pode ser direcionada para a superfície do gálio fundido para apoiar a formação de íons hidróxido que podem servir como íons migrantes do eletrólito. O sistema de ignição pode fornecer uma polarização positiva ou negativa para o metal fundido que serve como um eletrodo do sistema de regeneração de gálio. Em uma modalidade exemplar, a polarização negativa do cátodo pode ser fornecida pelo sistema de ignição, em que o injetor pode compreender o eletrodo negativo e pode estar submerso abaixo da superfície de gálio metálico fundido. O ânodo pode compreender um condutor, como carbono ou aço inoxidável, que flutua na superfície do gálio fundido. Alternativamente, a célula de eletrólise pode compreender um ânodo de carbono que é consumido pela reação com oxigênio de pelo menos um dentre óxido de gálio e água para formar pelo menos um dentre CO e CO_2 que são removidos por meio de uma bomba de vácuo.

[0443] Em uma modalidade, o cátodo e o ânodo do sistema de eletrólise podem compreender os eletrodos do sistema de ignição. O plasma na câmara da célula

de reação pode compreender o eletrólito que transporta íons entre os eletrodos, enquanto os elétrons carregam a corrente de ignição em um circuito externo entre os eletrodos e a fonte de energia elétrica para ignição. Em uma modalidade, o plasma pode compreender um eletrodo de eletrólise em contato com a película de óxido de gálio em pelo menos um dentre a superfície do gálio fundido na câmara da célula de reação e o reservatório, e o gálio que suporta a película de óxido de gálio pode compreender o contraeletrodo. A corrente de ignição pode ser CC, CA ou qualquer combinação de CC e CA, e pode compreender qualquer forma de onda que facilite a redução eletrolítica da película de óxido de gálio. Em uma modalidade, a separação do eletrodo pode ser ajustada para pelo menos um dentre aumentar a tensão para auxiliar na reação eletrolítica da película de óxido de gálio e aumentar o volume da reação de plasma e, assim, aumentar a potência de saída do SunCell®.

[0444] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um sistema de vácuo que compreende uma linha de vácuo para a câmara da célula de reação e uma bomba de vácuo para evacuar os gases da câmara da célula de reação de forma intermitente ou contínua. Em uma modalidade, o SunCell® compreende um condensador para condensar pelo menos um produto ou reagente de reação de hidrino. O condensador pode estar em linha com a bomba de vácuo, ou compreender uma conexão de conduíte de gás com a bomba de vácuo. O sistema de vácuo pode compreender ainda um condensador para condensar pelo menos um reagente ou produto fluindo da câmara da célula de reação. O condensador pode fazer com que o condensado, reagente condensado ou produto flua seletivamente de volta para a câmara da célula de reação. O condensador pode ser mantido em uma faixa de temperatura para fazer com que o fluxo seletivo do condensado volte para a câmara da célula de reação. O fluxo pode ser um meio de transporte ativo ou passivo, como por bombeamento ou por fluxo de gravidade, respectivamente. Em uma modalidade, o condensador pode compreender um meio para evitar o fluxo de partículas, como gálio ou nanopartículas

de óxido de gálio, da câmara da célula de reação para o sistema de vácuo, como pelo menos um dentre um filtro, canal em ziguezague e um precipitador eletrostático.

[0445] Em uma modalidade, o eletrólito compreende uma base que reage com óxido de gálio para formar íons de gálio e íons que compreendem oxigênio, como íons hidróxido ou óxido capazes de migração e participação na reação de eletrólise para reduzir o óxido de gálio a gálio metálico. A base pode ser selecionada de modo que pelo menos um dentre (i) o ponto de fusão da base esteja abaixo da temperatura operacional da câmara da célula de reação, (ii) o ponto de ebulição da base esteja acima da temperatura operacional do sistema de vácuo, (iii) o ponto de fusão da base esteja abaixo do ponto de ebulição de qualquer metal correspondente da base, (iv) qualquer metal correspondente da base seja capaz de reagir com H_2O ou oxigênio para regenerar a base, (v) o ponto de fusão da base esteja acima do ponto de ebulição da água; (vi) o ponto de ebulição de qualquer metal correspondente da base esteja acima do ponto de ebulição da água. Em uma modalidade exemplar, o eletrólito compreende NaOH com um ponto de fusão de 323 °C e um ponto de ebulição de 1.388 °C, e o metal correspondente, sódio, tem um ponto de fusão de 97,8 °C e um ponto de ebulição de 883 °C, em comparação ao ponto de ebulição da água de 100 °C. O condensador pode condensar NaOH e Na e retornar esses condensados para a câmara da célula de reação, enquanto permite que gases mais voláteis, como o excesso de vapor de água, sejam evacuados da câmara da célula de reação. O Na retornado pode reagir com pelo menos um dentre H_2O ou oxigênio na câmara da célula de reação ou no condensador para ser pelo menos um dentre regenerado e reciclado, em que o condensador pode ser mantido em uma faixa de temperatura de 324 °C a 882 °C. O condensador pode ser mantido em uma faixa de temperatura de cerca de mais de 324 °C a menos de 882 °C para retornar seletivamente o sódio para a câmara da célula de reação em pelo menos uma forma dentre sódio metálico fundido e NaOH fundido.

[0446] Em uma modalidade, o sistema de regeneração de gálio pode compreender ainda uma ponte salina que atravessa a superfície do metal fundido e penetra no metal fundido para separar eletricamente o ânodo e o cátodo, exceto por condução iônica através da ponte salina. A ponte salina pode compreender uma da publicação, como eletrólito sólido de beta-alumina (BASE) ou galato de potássio.

[0447] Em uma modalidade, a superfície de gálio metálico fundido tem polaridade negativa para fornecer um potencial de redução ao gálio fundido para inibir sua reação de oxidação, como sua reação com água. A polarização negativa pode ser fornecida pelo sistema de ignição, em que o injetor pode compreender o eletrodo negativo e pode estar submerso abaixo da superfície de gálio metálico fundido.

[0448] Em uma modalidade, a câmara da célula de reação compreende paredes eletricamente isolantes, ou paredes revestidas com isolante elétrico para fazer com que a corrente de ignição flua, pelo menos parcialmente, através da camada de óxido de gálio. As paredes ou revestimento podem ainda resistir ao umedecimento por gálio. Paredes ou revestimentos exemplares compreendem BN, safira, MgF_2, SiC ou quartzo. Em outra modalidade, os eletrodos estão localizados a uma distância suficiente das paredes de modo que a corrente de ignição favorece um caminho entre os eletrodos que evita as paredes. A corrente de ignição pode fluir através do plasma na câmara da célula de reação para a superfície de óxido de gálio, em que o eletrodo 8 do pedestal 5c1 e o plasma podem servir como ânodo de eletrólise, o gálio metálico fundido sob a camada de óxido e o injetor, que pode estar submerso pode compreender o cátodo de eletrólise, e a corrente de ignição pode, pelo menos parcialmente, servir como a corrente de eletrólise para reduzir o óxido de gálio em gálio no cátodo. Alternativamente, a polaridade pode ser invertida e o oxigênio liberado no ânodo pode se difundir através do óxido de gálio para ser removido com o gás da célula. A corrente de ignição pode ser mantida em um nível suficiente para eletrolisar o óxido de gálio formado a partir da adição de água ao gálio. Em uma modalidade, a câmara da célula

de reação pode compreender um *getter*, como carbono para o oxigênio. Em uma modalidade exemplar, cada adição de 1 ml por minuto de H_2O forma 3,44 g ou 0,533 ml de Ga_2O_3 por minuto, que requer uma corrente de 180 A para reduzir o óxido de gálio a gálio. Uma fonte de íons de eletrólito, como um composto iônico, pode ser adicionada à câmara da célula de reação para fornecer migração de íons para completar o circuito de eletrólise. O composto iônico pode compreender uma base como NaOH ou haleto alcalino como NaF. Em uma modalidade, a corrente de injeção pode ser reduzida ou encerrada para favorecer o fluxo de corrente através do óxido de gálio. A taxa ou padrão de injeção de água pode ser controlada para controlar a taxa de formação de óxido de gálio, de modo que a taxa de redução do óxido de gálio possa ser suficiente para manter uma condição de plasma desejada, tal como um plasma contínuo versus plasma intermitente. Em uma modalidade exemplar, a água é injetada intermitentemente para permitir que o óxido de gálio seja quase reduzido entre as injeções. Em uma modalidade, hidrogênio é adicionado para catalisar pelo menos uma dentre a redução eletrolítica e a decomposição térmica da película de superfície de óxido de gálio. O plasma de reação de hidrino pode fornecer H ativo para aumentar a reação do óxido de gálio a gálio.

[0449] Em outra modalidade com paredes de isolamento elétrico, uma corrente alta flui através da camada de óxido de gálio para superaquecê-la e fazer com que o óxido de gálio sofra pelo menos uma dentre redução de hidrogênio com H_2 adicionado e decomposição térmica. A bomba de injeção, como a bomba de injeção EM, pode ser desligada ou reduzida para aumentar o fluxo de corrente através do óxido de gálio. A tensão do plasma pode ser ajustada para o bombeamento reduzido ou condição de desligamento possivelmente devido à redução correspondente na condutividade. Em uma modalidade exemplar, a tensão é aumentada em cerca de 5 a 10 V para manter cerca da mesma corrente antes da diminuição ou término da bomba. Além ou no lugar da condutividade fornecida pelo metal fundido injetado, prata pode

ser adicionada ao gálio para formar nanopartículas de prata que mantêm uma alta condutividade de gás e a correspondente alta taxa de recombinação íon-elétron para manter uma alta taxa de reação de hidrino. Em uma modalidade, um dissociador de hidrogênio, como um metal nobre, Ni, Ti, Nb, um carbono, cerâmica ou zeólita como suporte de metal nobre, um metal de terra-rara, e outro dissociador de hidrogênio conhecido na técnica, pode ser adicionado à câmara da célula de reação para fornecer H atômico como uma forma ativada de hidrogênio para reduzir o óxido de gálio. Em outra modalidade, o plasma de reação de hidrino pode fornecer o hidrogênio atômico para reduzir óxido de gálio. A pressão de hidrogênio pode ser mantida em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 Torr a 10 atm, 0,5 Torr a 5 atm e 0,5 Torr a 1 atm. O hidrogênio pode fluir e a taxa pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 0,1 centímetro cúbico padrão por minuto (sccm) a 100 litros por minuto, 1 sccm a 10 litros por minuto, e 10 sccm a 1 litro por minuto.

[0450] Em uma modalidade testada exemplar, a câmara da célula de reação foi mantida a uma faixa de pressão de cerca de 1 Torr a 20 Torr, enquanto fluía 10 sccm de H_2 e injetava 4 ml de H_2O por minuto, enquanto se aplicava bombeamento de vácuo ativo. A tensão CC era de cerca de 28 V e a corrente CC era de cerca de 1 kA. A câmara da célula de reação era um cubo de SS com bordas de 9 polegadas de comprimento que continha 47 kg de gálio fundido. Os eletrodos compreendiam um bocal de SS submerso de 1 polegada de uma bomba EM CC e um contraeletrodo compreendendo um disco de W de 4 cm de diâmetro e 1 cm de espessura, com um condutor de 1 cm de diâmetro coberto por um pedestal BN. A taxa de bombeamento EM foi de cerca de 30–40 ml/s. O gálio foi positivamente polarizado e o eletrodo de pedestal de W foi negativamente polarizado. A potência de saída do SunCell® era de cerca de 150 kW, medida usando o produto da massa, calor específico e aumento de temperatura do reator de SS e gálio.

[0451] Em uma modalidade do SunCell® compreendendo dois reservatórios

e injetores que servem como eletrodos de polaridade oposta, como os SunCells® mostrados nas FIGURAS 5 e 9, o bombeamento de um primeiro injetor pode ser reduzido ou encerrado, enquanto o de um segundo é suficientemente mantido para bombear metal fundido para o reservatório do primeiro, de modo que qualquer camada de óxido de gálio no primeiro possa ser eliminada pelo fluxo de corrente através da película. Por outro lado, o bombeamento do segundo injetor pode ser reduzido ou encerrado enquanto o do primeiro é suficientemente mantido para bombear metal fundido para o reservatório do segundo, de modo que qualquer camada de óxido de gálio no segundo possa ser eliminada pelo fluxo de corrente através da película. Alternativamente, o bombeamento de ambos os injetores pode ser reduzido ou encerrado de modo que a corrente flua através da película de óxido de gálio de pelo menos um dos reservatórios com o plasma de reação de hidrino, fornecendo pelo menos parcialmente uma conexão de corrente entre os eletrodos. Um eletrólito pode ser adicionado à película de óxido de gálio para promover sua redução.

[0452] Em uma modalidade, o injetor de bomba EM compreende uma pluralidade de bocais submersos sob a superfície de gálio metálico fundido, compreendendo uma película de superfície de óxido de gálio. A pluralidade de bocais submersos pode estar localizada em diferentes posições no reservatório e em diferentes ângulos em relação à superfície do metal fundido para quebrar a película de óxido de gálio conforme os fluxos injetados correspondentes penetram na película de óxido durante a ignição. Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma pluralidade de bombas de injeção de metal fundido e bocais correspondentes que podem ser submersos, em que o metal fundido injetado pode quebrar a película de óxido de gálio de superfície. A profundidade de submersão pode ser ajustada para otimizar a ruptura da película de óxido de gálio. Em uma modalidade, pelo menos um bocal não submerso pode compreender pelo menos uma saída direcionada para o contraeletrodo, e pelo menos uma outra direcionada para a superfície de óxido de gálio para auxiliar na quebra da

película de óxido.

[0453] Em uma modalidade, um reagente é adicionado a pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação para reagir com qualquer película eletricamente isolante que pode se formar no metal fundido, em que o produto de reação é pelo menos um dentre o menos eletricamente isolante e o menos propenso a formar uma película eletricamente isolante contínua. Em uma modalidade, uma base como NaOH é adicionada a pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação para reagir com óxido de gálio para formar um produto como $NaGaO_2$ para reduzir ou eliminar qualquer superfície de camada superficial eletricamente isolante contínua no óxido de gálio fundido. Em uma modalidade exemplar, a reação de NaOH com óxido de gálio pode quebrar a película de Ga_2O_3 eletricamente isolante no gálio fundido. Em outra modalidade, pelo menos um dentre diâmetro e profundidade do bocal de injeção da bomba, e uma taxa de bombeamento EM aumentada são ajustados para quebrar a película eletricamente isolante no gálio fundido, tal como uma camada de óxido de gálio na superfície do gálio fundido suficientemente para impedir que interfira com a corrente de ignição do plasma.

[0454] Em uma modalidade, o SunCell® compreende uma fonte de carbono, como pó de carbono, como grafite, coque ou carvão em pó. A fonte de carbono pode compreender um reservatório de carbono, uma válvula e uma conexão ou conduíte entre o reservatório de carbono e a câmara da célula de reação, e pode ainda compreender um meio para transportar mecanicamente o carbono para a câmara da célula de reação, além do fluxo de gravidade ou alimentação. O carbono pode revestir a superfície do gálio para reduzir a reação de qualquer espécie oxidante da mistura de reação de hidrino, como pelo menos um dentre oxigênio e água com o gálio para formar óxido de gálio. Como uma alternativa à adição de NaOH, redução de hidrogênio, redução eletrolítica, decomposição térmica ou pelo menos um dentre vaporização e sublimação devido à volatilidade de Ga_2O para remover a camada de superfície de

óxido de gálio no gálio fundido, a mistura de reação na câmara da célula de reação compreende carbono da fonte. O carbono pode reagir com pelo menos um dentre H_2O e Ga_2O_3 adicionados para formar pelo menos um dentre CO e CO_2, que pode ser removido por uma bomba de vácuo. A reação de carbono pode compreender pelo menos uma dentre a reação de gás de síntese, a reação de deslocamento água-gás e a reação carbotérmica de redução de óxido de gálio em gálio metálico, e CO e CO_2 que podem ser removidos. Reações exemplares são

$2H_2O + C$ para $CO_2 + 2H_2$

e a reação de carborredução de óxido de gálio

$Ga_2O_3 + 3C$ para $2Ga + 3CO$

$Ga_2O_3 + 3/2C$ para $2Ga + 3/2CO_2$

[0455] Em outra modalidade, a redução carbotérmica de óxido de gálio pode ser acoplada a outra reação para compreender uma combinação de reações, como uma combinação de reações carbotérmicas para reduzir o óxido de gálio a gálio.

[0456] Em uma modalidade, o SunCell® compreende sistemas para reduzir o Ga_2O_3 a gálio metálico, ao mesmo tempo que remove o produto de redução de Ga_2O_3, como um que compreende oxigênio, e retorna o gálio metálico para a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o SunCell® compreende meios para remover uma película ou camada de Ga_2O_3 da câmara da célula de reação, um sistema de regeneração de gálio, um canal de óxido de gálio da câmara da célula de reação 5c1 para um sistema de regeneração de gálio, um transportador para transportar o óxido de gálio da câmara da célula de reação 5b31 para o sistema de regeneração de gálio, um meio para ventilar os outros produtos da regeneração de gálio a partir de óxido de gálio, como oxigênio, um reservatório para gálio regenerado, um canal de gálio, conduíte ou tubo do reservatório de regeneração de gálio para a câmara da célula de reação, um transportador de gálio do reservatório para gálio regenerado para o reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31, e um sistema de controle para cada

um dos meios. Pelo menos um dentre (i) os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31, (ii) o transportador para transportar o óxido de gálio em seu canal e (iii) o transportador para transportar gálio em seu canal pode compreender pelo menos um dentre um movedor ou skimmer mecânico, eletromagnético, hidráulico ou pneumático, uma bomba como uma bomba mecânica ou EM, um jato como pelo menos um jato de gás, jato de metal fundido, jato de água, pelo menos uma rosca sem-fim, um agitador ou vibrador, como um vibrador eletromagnético ou piezoelétrico, e pelo menos um transportador, como uma correia transportadora ou malha. Em uma modalidade, o jato para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31, tal como o jato de metal fundido pode colidir com a superfície em um ângulo que seja favorável ao movimento seletivo do óxido de gálio na superfície do gálio fundido. Em uma modalidade exemplar, o jato pode colidir abaixo da superfície do gálio.

[0457] Em uma modalidade, o meio para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31 compreende um atuador que move um raspador ou skimmer de superfície mecânico que pode ser manipulado ou acionado com pelo menos um ímã externo à célula, como um eletroímã ou ímã permanente resfriado, em que o atuador pode compreender um material ferromagnético com uma temperatura Curie alta, como ferro ou cobalto. Em outra modalidade, o skimmer pode compreender uma penetração selada com capacidade de vácuo e um mecanismo de acionamento externo, como um conhecido na técnica.

[0458] Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender um gerador de ondas mecânico de superfície para produzir ondas no óxido de gálio para empurrar a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31 e causar um fluxo de óxido para o canal de óxido de gálio. A fonte, como uma fonte de onda sonora, como um dispositivo de sonar, como uma fonte de

sonar de acionamento eletromagnético, como um boomer de sonar. A fonte pode estar localizada em pelo menos uma ou mais paredes externas do reservatório e câmara da célula de reação, e dentro de pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação. Em uma modalidade, o SunCell® pode compreender ainda um filtro ou peneira que recebe pelo menos um dentre o óxido de gálio removido da superfície do gálio fundido e algum gálio fundido e retém seletivamente o óxido de gálio enquanto retorna o gálio à sua fonte, como o reservatório ou a câmara da célula de reação. O filtro ou peneira pode compreender uma calha que pode ser elevada da superfície. A calha pode receber pelo menos um dentre óxido de gálio e gálio por ação da fonte de ondas de superfície. A calha pode correr ao longo de um lado da câmara da célula de reação. A calha pode ter perfurações no fundo que permitem que o gálio drene de volta para sua fonte. A calha pode compreender ainda um transportador, como uma rosca sem-fim. A rosca sem-fim pode compreender uma penetração selada com capacidade de vácuo, ou um acoplador magnético e um mecanismo de acionamento externo, como um conhecido na técnica. A rosca sem-fim pode transportar o óxido de gálio para o canal de óxido de gálio da câmara da célula de reação 5c1 para um sistema de regeneração de gálio.

[0459] Em uma modalidade, o meio para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou na câmara da célula de reação 5b31 compreende uma série de eletrodos que fornecem energia elétrica ao óxido de superfície. Os eletrodos podem empurrar o óxido de gálio com pulsos de alta tensão sequenciais retardados na superfície coberta de óxido para criar uma onda progressiva de correntes de arco com uma onda térmica progressiva correspondente na superfície do reservatório. A onda térmica, por sua vez, gera uma onda de força que empurra o óxido de gálio para o canal do óxido. O mecanismo para remover a superfície do óxido de gálio pode compreender termoforese.

[0460] Em uma modalidade, o transportador da câmara da célula de reação

5c1 para o sistema de regeneração de gálio pode compreender uma bomba, como uma bomba eletromagnética que mantém uma vedação, tal como uma vedação compreendendo uma coluna de metal fundido entre a câmara da célula de reação 5c1 e o sistema de regeneração de gálio. Em uma modalidade, o transportador do sistema de regeneração de gálio para a câmara da célula de reação 5c1 pode compreender uma bomba, como uma bomba eletromagnética que mantém uma vedação, tal como uma vedação compreendendo uma coluna de metal fundido entre o sistema de regeneração de gálio e a câmara da célula de reação 5c1. A vedação pode permitir a separação de pelo menos um dentre os gases e as pressões da câmara da célula de reação 5c1 e do sistema de regeneração de gálio. Em outra modalidade, o transportador da câmara da célula de reação 5c1 para o sistema de regeneração de gálio pode compreender um dispositivo passivo, como um canal que permite fluxo de gravidade. O canal, tal como um que compreende um coletor P, pode manter uma vedação, tal como uma vedação compreendendo uma coluna de metal fundido entre a câmara da célula de reação 5c1 e o sistema de regeneração de gálio. O canal pode ainda compreender um recuperador de calor ou trocador de calor para pelo menos um dentre recuperar calor do gálio transportado e resfriar o gálio.

[0461] Os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou na câmara da célula de reação 5b31 podem causar um fluxo do metal fundido com o fluxo de óxido para o conduíte ou canal de óxido de gálio da câmara da célula de reação 5c1 para um sistema de regeneração de gálio. O fluxo de metal fundido pode ser suficiente para liberar o óxido no canal ou conduíte e permitir seu transporte para o sistema de regeneração pelo transportador sem entupimento. O sistema de regeneração pode compreender um sistema de eletrólise, como um que compreende um eletrólito de base aquosa, dois eletrodos como eletrodos de aço inoxidável, e uma célula de eletrólise com um fundo que se inclina em direção ao cátodo, e uma entrada do canal, conduíte ou tubo de gálio desde o reservatório de

regeneração de gálio para a câmara da célula de reação. O metal fundido que serve para liberar o óxido pode fluir ao longo do fundo inclinado e para a entrada do canal de gálio, e pode ser transportado para o reservatório ou câmara da célula de reação. O transporte pode ser com gálio regenerado. Em uma modalidade exemplar, os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31 compreendem um jato de metal fundido que pode ser fornecido por uma bomba eletromagnética em que o fornecimento de metal fundido pode compreender pelo menos um dentre o sistema de regeneração e o reservatório. A taxa de bombeamento de metal fundido para o jato pode ser ajustada por um controlador com base na quantidade necessária para liberar o óxido de gálio. A quantidade necessária para liberar o óxido de gálio pode depender da quantidade formada. Uma entrada de parâmetro no controlador em relação à quantidade de óxido de gálio formado compreende a taxa de injeção de água. Em uma modalidade alternativa, o meio para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido compreende uma mesa agitadora na qual o SunCell® é montado. A ação de balanço da mesa agitadora pode forçar o óxido de gálio para o canal de óxido de gálio da câmara da célula de reação 5c1 para um sistema de regeneração de gálio. Em outra modalidade, os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido podem compreender uma plataforma rotativa na qual o SunCell® é montado em que a força centrífuga da rotação da mesa força o óxido de gálio para o canal de óxido de gálio, a partir da câmara da célula de reação 5c1 para um sistema de regeneração de gálio.

[0462] Em uma modalidade, o transportador da câmara da célula de reação 5c1 para o sistema de regeneração de gálio pode compreender o transportador de gálio do reservatório de gálio regenerado para o reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31. O último transportador pode criar sucção no canal de óxido de gálio. Em uma modalidade exemplar, o bombeamento de gálio do reservatório de gálio regenerado pelo transportador de bomba EM correspondente cria um vácuo parcial ao

longo do canal de óxido de gálio para fazer com que o óxido de gálio seja sugado do reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31 para o sistema de regeneração de gálio. A resistência ao fluxo em pelo menos um conduíte conectando os componentes do SunCell® compreendendo a câmara da célula de reação ou reservatório e o sistema de regeneração pode ser suficiente para manter a vedação entre as câmaras correspondentes.

[0463] Em uma modalidade que compreende um metal fundido que oxida, a reação de plasma favorece uma superfície de metal em relação a uma superfície de metal oxidada menos condutora. Por exemplo, a formação de corrente de arco, que favorece a recombinação íon-elétron com um grande aumento na cinética da reação de hidrino, pode favorecer uma superfície de gálio metálico em vez de uma superfície de óxido de gálio que se forma ao longo do tempo devido à reação do vapor de água adicionado com o gálio metálico. Para refrescar a superfície do gálio do óxido de gálio, o SunCell® pode compreender os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou na câmara da célula de reação 5b31. Um meio exemplar para remover a camada de superfície de óxido compreende (i) um coletor, como uma plataforma perfurada inclinada, como uma tela plana inclinada dentro da câmara da célula de reação ao nível do líquido de gálio do reservatório e (ii) um jato de gálio fundido ou gás inerte no lado oposto da câmara da célula de reação para forçar o óxido de gálio sobre a tela, que coleta seletivamente o óxido de gálio, enquanto o gálio flui pela tela e retorna ao reservatório. O óxido de gálio coletado pode ser posteriormente transportado para o sistema de regeneração de gálio pelo transportador.

[0464] Em uma modalidade, os meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou na câmara da célula de reação 5b31 compreendem um jato de metal fundido. Em uma modalidade, pelo menos um jato de metal fundido que pode compreender o bocal de saída de uma bomba de metal

fundido, como uma bomba eletromagnética que aplica pelo menos um fluxo de metal fundido injetado em uma camada de superfície de óxido no metal do reservatório, tal como gálio fundido. A força do fluxo injetado pode empurrar a camada de óxido para um local desejado, tal como o transportador para o sistema de regeneração de gálio. A entrada da bomba de jato de metal fundido pode estar em continuidade com pelo menos um dentre o metal fundido do reservatório e o metal fundido do sistema de regeneração de gálio. Em uma modalidade exemplar, o jato de metal fundido força a camada superficial do reservatório, compreendendo pelo menos um dentre Ga_2O_3, Ga_2O e Ga, em um conduíte para o sistema de regeneração de gálio, que pode compreender um eletrólito básico, tal como NaOH aquoso e um sistema de eletrólise. Ga_2O pode ser oxidado em Ga_2O_3 por reação com oxigênio evoluído em um ânodo do sistema de eletrólise, Ga_2O_3 pode formar o galato correspondente, como galato de sódio, Ga pode fluir para um reservatório no cátodo, o gálio pode ser pelo menos um dentre transportado para o reservatório e a câmara da célula de reação e fluído para a entrada da bomba de jato de metal fundido. Em uma modalidade, um produto químico como NaOH pode ser adicionado a pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação para reagir com óxido de gálio para formar um produto como galato de sódio que é mais facilmente removido da superfície do metal fundido do reservatório através dos meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou na câmara da célula de reação 5b31.

[0465] Em uma modalidade, Ga_2O_3 pode ser reduzido a um óxido menor, como Ga_2O, que é mais facilmente removido da superfície do metal fundido pelo meio para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido no reservatório 5c ou câmara da célula de reação 5b31. Ga_2O_3 pode ser convertido em outro óxido, como Ga_2O por um ou mais dentre (i) a decomposição térmica de qualquer óxido de gálio, como Ga_2O_3 em Ga_2O, (ii) a conversão de Ga_2O_3 em Ga_2O por reação com gálio, (iii) a redução de Ga_2O_3 por hidrogênio, (iv) a redução de Ga_2O_3 por redução

carbotérmica, (v) a redução de Ga_2O_3 por eletrólise in situ, e redução de Ga_2O_3 por outros métodos da publicação, em que o redutor correspondente, como hidrogênio, carbono e eletrólise e o eletrólito e corrente de eletrólise são adicionados à câmara da célula de reação e a temperatura é mantida a uma que permita pelo menos uma dentre as reações de redução e decomposição térmica desejadas. Em uma modalidade, Ga_2O pode formar partículas que são incorporadas na película de Ga_2O_3 na superfície do gálio fundido. As partículas de Ga_2O podem carregar a película de Ga_2O_3 conforme são transportadas pelos meios para remover a película de Ga_2O_3 da superfície do gálio líquido. Em uma modalidade exemplar, partículas de Ga_2O incorporadas na película de Ga_2O_3 na superfície do gálio fundido fazem com que a película seja transportada com elas por um jato ou fluxo criado por pelo menos uma bomba EM. Qualquer gálio metálico usado para causar o jato ou fluxo pode ser separado do óxido de gálio e ser recirculado.

[0466] A bomba para remover a película de óxido de gálio pode aplicar sucção ao óxido de gálio e remover seletivamente a camada superficial de óxido de gálio devido à sua densidade mais baixa. Um skimmer mecânico exemplar é um que compreende um eixo e uma ligação mecânica e um motor de acionamento externo com uma fonte de alimentação e um controlador. Outra modalidade exemplar do skimmer compreende uma barra de agitação dentro da câmara da célula de reação que é girada por um imã giratório externo em fase com a barra de agitação interna. A barra de agitação pode compreender um material magnético ou ferromagnético, como cobalto ou ferro, que tem uma temperatura Curie alta. A câmara da célula de reação pode compreender pelo menos uma parede vertical plana, como uma das paredes de uma câmara da célula de reação cúbica ou retangular, em que a barra de agitação opera no plano paralelo à parede. A barra de agitação pode impulsionar o Ga_2O_3 em seu canal para o sistema de regeneração de gálio. Em outra modalidade exemplar, o SunCell® compreende um jato de gás para fornecer pelo menos um componente

horizontal de força através da superfície do metal líquido no reservatório 5c. Em uma modalidade, a camada de óxido de gálio, flutuando no topo do gálio no reservatório 5c, é forçada para dentro do canal para o sistema de regeneração de gálio, tal como um sistema de eletrólise, pelo jato de gás, tal como um jato de gás da câmara da célula de reação 5b31. O jato de gás pode compreender uma entrada de gás, uma saída de gás, pelo menos um bocal em que a direção do bocal pode ser controlável, e um sistema de controle de pelo menos um dentre os fluxos de gás e a direção do bocal. Em outra modalidade, o SunCell® compreende um meio para fazer com que uma força centrífuga na camada flutuante de óxido de gálio faça com que a camada de óxido de gálio flua circunferencialmente e para dentro do canal para o sistema de eletrólise. O SunCell® pode compreender meios de rotação, como uma mesa giratória na qual o SunCell® é montado. O sistema de regeneração de gálio pode compreender uma célula de eletrólise. A célula de eletrólise pode compreender pelo menos dois eletrodos, um eletrólito, uma fonte de alimentação de eletrólise, um controlador de eletrólise e reservatório para gálio metálico, um canal de entrada e saída que compreende o canal de e para pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação.

[0467] O sistema de regeneração de gálio pode compreender um sistema de redução de Ga_2O_3. O sistema de regeneração de gálio pode compreender uma célula de eletrólise de Ga_2O_3, tal como uma célula de eletrólise aquosa ou de sal fundido. O Ga_2O_3 pode sofrer eletrólise para gálio metálico no cátodo, e pelo menos um dentre O_2, H_2O ou outro óxido, tal como um óxido volátil ou gasoso como CO_2 no ânodo, que é seletivamente ventilado da célula de eletrólise de Ga_2O_3. No último caso, pelo menos um eletrodo como o ânodo pode compreender carbono. O O_2, H_2O ou outro óxido, como um óxido volátil ou gasoso, tal como CO_2, pode ser seletivamente ventilado. Os meios para ventilar os outros produtos, como o oxigênio da regeneração de gálio a partir de óxido de gálio, podem compreender um tubo de ventilação para um tanque

ou exaustão e invólucro parcialmente cobrindo o ânodo que permite que o gás seja coletado e flua para o tubo de ventilação. O invólucro pode compreender pelo menos uma seção que seja permeável ao fluxo de íons de eletrólito, como uma ponte salina seletiva de extremidade inferior aberta, que pode compreender uma redoma. Em uma modalidade, Ga_2O_3 é tratado com um hidróxido, como um hidróxido alcalino, como solução de hidróxido de sódio, para formar galato de sódio, que pode ser reduzido a gálio metálico no cátodo por eletrólise da solução de galato de sódio no cátodo, como um cátodo de aço inoxidável. Em uma modalidade, pelo menos um eletrodo pode compreender pelo menos um dentre aço inoxidável, níquel, carbono, um metal precioso como Pd, Pt, Au, Ru, Rh, Ir, um eletrodo dimensionalmente estabilizado e outros ânodos estáveis em uma base conhecida pelos especialistas na técnica. Em uma modalidade exemplar, o gálio metálico pode ser retornado a pelo menos um dentre o reservatório 5c e a câmara da célula de reação 5b31 por uma bomba EM que bombeia seletivamente o gálio metálico de volta.

[0468] Um sistema de skimmer exemplar para mover o óxido de gálio pode compreender uma placa móvel perfurada que abrange uma seção transversal da superfície de metal fundido que acumula óxido de gálio e pode ainda compreender um transportador transversal para mover o óxido de gálio em uma direção quase perpendicular à direção em que o skimmer o move. O skimmer pode ser eletricamente não condutor para evitar curto-circuito na corrente de ignição ou no plasma, tal como um skimmer de cerâmica, como um skimmer de BN ou skimmer metálico revestido de cerâmica, como um skimmer de aço inoxidável, tungstênio ou tântalo revestido com mulita, alumina ou BN. Uma bomba EM pode servir como um acionador do skimmer hidráulico que evita uma penetração não soldada. A bomba EM pode acionar um pistão hidráulico como o atuador ou acionar um motor hidráulico. O skimmer pode ser acionado por um motor reversível, como um motor hidráulico, como um que compreende uma bomba EM. O skimmer pode empurrar o óxido de gálio para uma parede e

então inverter a direção e empurrar o óxido de gálio para a parede oposta. O skimmer pode compreender um transportador transversal ao longo de pelo menos uma parede para mover o óxido de gálio que passa pelo skimmer em uma direção perpendicular à direção do skimmer. O transportador pode compreender um parafuso ou rosca sem fim aberta, suspenso parcialmente no gálio líquido, que empurra seletivamente o óxido para um canto, enquanto permite que o gálio líquido flua em torno da rosca sem fim. O sistema de skimmer pode compreender pelo menos uma ligação mecânica entre o skimmer e pelo menos um transportador transversal, de modo que o transportador transversal possa ser acionado pelo mesmo acionador, como um motor hidráulico de bomba EM. Em uma modalidade, o skimmer compreende uma rosca sem-fim, tal como uma rosca aberta. O transportador transversal pode compreender um skimmer da publicação que compreende um skimmer transversal. O movimento do skimmer transversal pode ser sincronizado com o do skimmer, de modo que esteja na posição apropriada para receber o óxido do skimmer e movê-lo para o canal de óxido sem interferência entre os dois skimmers.

[0469] Em uma modalidade, o skimmer pode compreender um cubo e skimmer de película de óxido de gálio em que a injeção pode ocorrer através do cubo aberto. O skimmer pode girar em torno do cubo alimentado por um motor, como um motor hidráulico como um motor acionado por bomba EM. O skimmer pode abranger a superfície de uma câmara da célula de reação cilíndrica que pode compreender um canal de óxido de gálio periférico no qual o óxido de gálio é escumado. A rotação pode estar em alta velocidade para criar uma força centrífuga para fazer com que o óxido de gálio escumado flua ao longo dos raios do skimmer para o canal de óxido de gálio.

[0470] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um reservatório de armazenamento de óxido de gálio para o qual o óxido de gálio é transportado, e o SunCell® pode ainda compreender um reservatório de gálio de reposição para repor o gálio que forma óxido de gálio durante a operação. O SunCell® pode compreender

um transportador de retorno de gálio no fundo do reservatório de armazenamento de óxido de gálio para retornar qualquer gálio que se acumula nesse reservatório de volta ao reservatório do reator 5c ou à câmara da célula de reação 5b31. O transportador de retorno de gálio pode compreender uma bomba, tal como uma bomba EM que pode compreender ainda um filtro de entrada para bloquear o óxido de gálio. O óxido de gálio coletado no reservatório de armazenamento de óxido de gálio ao longo do tempo pode ser regenerado em lote no sistema de regeneração da publicação, como o sistema de eletrólise de galato de sódio. O SunCell® pode compreender ainda um transportador de descarga de tanque, como um da publicação, para transportar óxido de gálio do reservatório de armazenamento de óxido de gálio para o sistema de regeneração de gálio. Em uma modalidade exemplar, a taxa de acumulação de óxido de gálio por mililitro de água injetada por minuto correspondendo a uma potência de hidrino teórica de cerca de 50 kW é de 3,4 g/minuto (0,54 ml/minuto).

[0471] Em uma modalidade, o skimmer pode compreender um transportador, como um compreendendo pelo menos uma correia ou conjunto de cabos ou conjunto de correntes 701, tendo pelo menos uma caçamba perfurada ou pá 702 presa à correia ou entre os cabos ou corrente (FIGURA 32). A caçamba serve como pelo menos um dentre o skimmer e um elevador de caçambas para elevar o óxido de gálio escumado para o reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33. A caçamba pode compreender um material refratário que não se liga ou reage com o gálio, como uma cerâmica, W ou Ta. O tântalo e a cerâmica BN são materiais exemplares usináveis. A correia ou cada cabo ou corrente de membros opostos de um par pode ser conduzida e guiada em pelo menos uma dentre rodas dentadas, engrenagens ou polias 703, em que pelo menos uma dentre rodas dentadas, engrenagens ou polias é girada por um motor, tal como um motor de bomba elétrica, pneumática, hidráulica ou eletromagnética. A correia, cabos ou correntes de transporte podem fazer com que pelo menos uma caçamba se desloque ao longo da superfície de gálio fundido, de uma primeira

parede para uma parede oposta da câmara da célula de reação 5b31 ou reservatório, então suba em inclinação até o topo do transportador, em que o óxido de gálio escumado é despejado no reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33. O transportador pode retornar a caçamba para a primeira parede para repetir o ciclo de escumação. O injetor de metal fundido, tal como um que compreende um bocal 5q, pode ser suficientemente submerso no gálio fundido da câmara da célula de reação 5b31 ou reservatório 5c para permitir que a caçamba seja submersa a uma profundidade menor e passe sobre o bocal 5q. A câmara da célula de reação pode compreender um invólucro 5b32 para a seção inclinada ou de elevador de caçambas do transportador e o reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33. O reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33 pode compreender uma abertura no topo para receber óxido de gálio da seção do elevador de caçambas do transportador. A parede oposta da câmara da célula de reação 5b31 ou reservatório pode compreender uma passagem de caçamba 704, compreendendo uma abertura para permitir a passagem do skimmer de caçamba, enquanto bloqueia parcialmente o gálio fundido na câmara da célula de reação ou reservatório. A altura até a abertura superior do reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33 pode ser suficiente para bloquear o rompimento de sua parede em direção ao elevador de caçambas por qualquer fluxo de gálio fundido que pode passar através da passagem da caçamba devido a quaisquer ondas mecânicas geradas no gálio fundido. O reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33 pode compreender um flange 5b33a e placa de flange correspondente 5b33b que é removível para remover o reservatório de armazenamento de óxido de gálio 5b33, de modo que o óxido de gálio coletado possa ser removido e regenerado, em que o reservatório de armazenamento de óxido de gálio vazio 5b33 é remontado.

[0472] Em uma modalidade, a formação da película de óxido de gálio aumenta a resistência da corrente de ignição, de modo que a corrente de ignição diminua em tensão de ignição constante, ou a tensão de ignição aumente para manter a corrente

de ignição constante. Em uma modalidade, o skimmer compreende um controlador que monitora pelo menos um dentre os parâmetros de ignição da corrente, a tensão de ignição e a resistência da corrente de ignição e ativa o skimmer para remover a camada de óxido para manter o parâmetro de ignição em uma faixa desejada.

[0473] Em uma modalidade, pelo menos um dentre o reservatório e a câmara da célula de reação pode ser mantido a uma temperatura operacional que seja maior do que a temperatura de decomposição de pelo menos um dentre oxi-hidróxido de gálio e hidróxido de gálio. A temperatura operacional pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 200 °C a 2.000 °C, 200 °C a 1.000 °C e 200 °C a 700 °C. As espécies a serem escumadas podem ser limitadas a óxido de gálio, no caso de a formação de oxi-hidróxido de gálio e hidróxido de gálio ser suprimida.

[0474] A mistura de reação pode compreender um aditivo capaz de reagir com parte do oxigênio ou água presente in situ (isto é, na câmara de reação), a fim de remover uma porção desses componentes da mistura de reação. Em algumas modalidades, o aditivo pode ser usado para transportar esses componentes para o sistema de regeneração. Em última análise, o oxigênio e a água que reagiram com o aditivo podem ser removidos (ou seja, expelidos de todo o sistema) por meio do sistema de regeneração. Em modalidades particulares, o aditivo é capaz de ser oxidado por oxigênio e/ou água. Por exemplo, um aditivo oxidado (p. ex., óxido de metal, como óxido de gálio) pode ser formado na câmara de reação a partir da adição do aditivo à câmara de reação (p. ex., aditivo de gálio em metal fundido de prata). Após sua produção, o aditivo oxidado pode ser transportado para o sistema de regeneração (p. ex., um sistema de redução). Uma vez transportado para o sistema de regeneração, o aditivo oxidado pode ser reduzido, resultando em aditivo regenerado e oxigênio e/ou água previamente presente na câmara de reação. O aditivo pode então ser retornado à câmara de reação para uso posterior, e o oxigênio e/ou a água previamente presente na câmara de reação pode ser expelida.

[0475] Em uma modalidade, a mistura de reação pode compreender um aditivo que compreende uma espécie como um metal ou composto que reage com pelo menos um dentre oxigênio e água. O aditivo pode ser regenerado. A regeneração pode ser conseguida por pelo menos um sistema do SunCell®. O sistema de regeneração pode compreender pelo menos um dentre um sistema térmico, de plasma e de eletrólise. O aditivo pode ser adicionado a uma mistura de reação compreendendo prata fundida. Em uma modalidade, o aditivo pode compreender gálio que pode ser adicionado à prata fundida que compreende o metal fundido. Em uma modalidade, água pode ser suprida à câmara da célula de reação. A água pode ser suprida por um injetor. O gálio pode reagir com água suprida à mistura de reação para formar hidrogênio e gálio. O hidrogênio pode reagir com algum HOH residual que serve como catalisador de hidrino. O óxido de gálio pode ser regenerado pelo sistema de eletrólise da publicação. O gálio metálico e o oxigênio produzidos e reduzidos pelo sistema de eletrólise podem ser bombeados de volta para a câmara da célula de reação e removidos para a célula, respectivamente.

[0476] Em uma modalidade, o eletrólito para realizar eletrólise em Ga_2O_3 compreende um haleto alcalino e um haleto de gálio, como GaF_3. O eletrólito pode compreender um sal fundido, como um análogo de criolita, com Ga substituindo Al, tal como Na_3GaF_6. Em uma modalidade, Ga_2O_3 pode ser reagido com HX (X = haleto), tal como HCl para formar $GaCl_3$. O fundido de $GaCl_3$ pode ser eletrolisado para formar Ga metal no cátodo e gás Cl_2 no ânodo. O gás cloro pode ser reagido com hidrogênio de uma fonte como H_2 da eletrólise de água para formar HCl.

[0477] Em uma modalidade, o SunCell® compreende sistemas para reagir Ga_2O_3 com pelo menos um reagente para formar um produto volátil, um condensador de produto volátil, um sistema de regeneração de gálio, tal como uma célula de eletrólise e canais e transportadores para transportar o produto volátil e o gálio regenerado para e do sistema de regeneração do gálio, respectivamente. O reagente pode

compreender um ácido como HX (X = haleto). Ga_2O_3 pode ser reagido com um ácido como HX (X = haleto) para formar GaX_3, que pode ser volátil. O GaX_3 gasoso pode ser condensado no condensador que pode compreender um componente do sistema de regeneração de gálio. GaX_3, como $GaCl_3$ ou $GaBr_3$, pode ser eletrolisado para formar Ga metálico no cátodo e o gás X_2 no ânodo. O gás X_2 pode ser reagido com hidrogênio de uma fonte como H_2 da eletrólise de H_2O para formar HX. O SunCell® pode compreender ainda um reservatório de regeneração de gálio, em que Ga_2O_3 é transportado e reagido com HX para formar gálio metálico. O gás HX pode ser liberado em pelo menos um dentre o reservatório, a câmara da célula de reação e um reservatório de regeneração para formar GaX_3 e H_2O.

[0478] Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender qualquer metal fundido. No caso de o metal fundido formar um produto por reação com um componente da mistura de reação de hidrino, tal como um produto de óxido de metal, o metal fundido pode compreender um que seja capaz de ser regenerado. Em uma modalidade, o SunCell® compreende um meio para regenerar e reciclar o metal fundido. Em uma modalidade, o metal fundido pode compreender um que forma um óxido que pode ser regenerado por pelo menos uma dentre redução de hidrogênio e eletrólise, em que o meio de regeneração de metal compreende pelo menos um dentre uma célula de eletrólise e um reator de redução de hidrogênio. O sistema para regenerar o metal pode compreender o sistema de regeneração por eletrólise da publicação, que pode compreender ainda uma fonte de hidrogênio para reduzir o óxido de metal ao metal e recircular ou reciclar o metal fundido regenerado. Metais exemplares que podem ser regenerados por redução de hidrogênio são cobre e níquel. Em uma modalidade, a câmara de eletrólise pode ser substituída por uma câmara de redução de hidrogênio. Em outra modalidade, o gálio pode ser substituído por alumínio, e o sistema de regeneração pode compreender uma célula de eletrólise de alumina, como uma que compreenda eletrodos de carbono e um eletrólito de sal fundido, como criolita

(Na_3AlF_6).

[0479] Em uma modalidade, gás hidrogênio pode ser adicionado à mistura de reação para eliminar a película de óxido de gálio formada pela reação de água injetada com gálio. Em outra modalidade, um gás aditivo, como um gás nobre, como argônio, nitrogênio, CO_2, um hidrocarboneto, como metano ou propano, ou outro gás da publicação pode ser adicionado para suportar a eliminação da película de óxido de gálio. O gás aditivo pode aumentar o H atômico da reação de H_2O + Ga em Ga_2O_3 + H_2. O gás aditivo, como argônio, pode aumentar a taxa de reação de hidrino, em que a alta energia liberada facilita a decomposição da película de óxido de gálio. O gás aditivo pode reagir com uma espécie na câmara da célula de reação, como pelo menos em um dentre H_2O, OH^-, Ga_2O_3, OH e Ga_2O, para formar um eletrólito que aumenta a redução eletrolítica da película de óxido de gálio. O gás aditivo, como um gás nobre, pode aumentar a fração de ionização do plasma para aumentar sua condutividade e aumentar a corrente de redução que flui através do óxido de gálio. O gás aditivo pode ter uma meia-vida mais longa na câmara da célula de reação em relação a outros gases devido a propriedades como maior massa. O hidrogênio adicionado ou gás aditivo pode estar em qualquer quantidade desejada para atingir a redução da película de óxido de gálio. Pelo menos um dentre o hidrogênio ou gás aditivo na câmara da célula de reação pode estar em pelo menos uma faixa de pressão de cerca de 0,1 Torr a 100 atm, 1 Torr a 1 atm e 1 Torr a 10 Torr. Pelo menos um dentre hidrogênio ou gás aditivo pode fluir para a câmara da célula de reação a uma taxa por litro de volume da câmara da célula de reação em pelo menos uma faixa de cerca de 0,001 sccm a 10 litros por minuto, 0,001 sccm a 10 litros por minuto e 0,001 sccm a 10 litros por minuto.

[0480] Em uma modalidade, o injetor de H_2O pode injetar o H_2O na região de plasma de hidrino da câmara da célula de reação como na região entre os eletrodos. A injeção de plasma pode ser próxima ao eletrodo positivo, onde o plasma de hidrino é mais intenso. A injeção do H_2O no plasma pode pelo menos um dentre aumentar a

energia liberada, evitar que a água forme um óxido com o gálio e contribuir para a redução ou decomposição do óxido de gálio. O injetor pode compreender um orifício na parede da câmara da célula de reação ou um bocal dentro da câmara da célula de reação que pode direcionar a água para um local desejado, tal como na superfície do gálio acima do injetor de metal fundido. O bocal pode entrar em uma posição e ângulo para atingir a distribuição desejada para o local desejado. Em modalidades exemplares, o bocal pode estar localizado no topo da célula e direcionar a água injetada para baixo, para o centro do plasma na superfície do gálio, ou um bocal refratário pode compreender um conduíte através do gálio fundido e compreender ainda um arco para direcionar a água para a superfície do gálio. O bocal pode compreender uma pequena abertura, um bocal convergente-divergente ou outro bocal conhecido na técnica para direcionar a água para o local desejado. O bocal pode compreender um meio como um aquecedor e um trocador de calor para aquecer e converter o líquido em pelo menos um pouco de água gasosa. A conversão em água gasosa pode causar um aumento de pressão que pode servir como um propulsor para injetar a água em um local desejado. Em uma modalidade, as gotículas ou partículas de água injetadas podem ser carregadas, como negativamente carregadas por meios como eletrostaticamente. As partículas podem ser carregadas por pelo menos um dentre um eletrodo na saída do bocal, uma descarga coronal através da qual as partículas passam quando injetadas e por atrito das partículas com um material ou estrutura de carga, como o bocal. O gálio pode ter carga oposta, tal como carga positiva, de modo que a água injetada é atraída para a superfície do gálio. As partículas injetadas podem ser direcionadas para a área ao longo do eixo dos eletrodos.

[0481] Em uma modalidade, o hidrogênio pode servir como catalisador. A fonte de hidrogênio para fornecer nH (n é um número inteiro) como catalisador e átomos de H para formar hidrino pode compreender gás H_2 que pode ser fornecido através de uma membrana permeável a hidrogênio, como uma membrana de Pd ou liga

Pd-Ag, tal como 23% Ag/77% Pd na parede do tubo da bomba EM 5k4, usando um controlador de fluxo de massa para controlar o fluxo de hidrogênio de um eletrolisador de água de alta pressão. O uso de hidrogênio como catalisador como substituto do catalisador HOH pode evitar a reação de oxidação de pelo menos um componente da célula, como uma câmara da célula de reação de carbono 5b31. O plasma mantido na câmara da célula de reação pode dissociar o H_2 para fornecer os átomos de H. O carbono pode compreender carbono pirolítico para suprimir a reação entre o carbono e o hidrogênio.

Combustível sólido SunCell®

[0482] Em uma modalidade, o SunCell® compreende um combustível sólido que reage para formar pelo menos um reagente a fim de formar hidrinos. Os reagentes de hidrino podem compreender H atômico e um catalisador para formar hidrinos. O catalisador pode compreender água nascente, HOH. O reagente pode ser pelo menos parcialmente regenerado in situ no SunCell®. O combustível sólido pode ser regenerado por um plasma ou reação de acionamento térmico na câmara da célula de reação 5b31. A regeneração pode ser alcançada por pelo menos um dentre o plasma e a energia térmica mantida e liberada na câmara da célula de reação 5b31. Os reagentes de combustível sólido podem ser regenerados fornecendo-se uma fonte do elemento que é consumido na formação de hidrino ou produtos compreendendo hidrinos, como composições de matéria e compostos de hidrogênio de energia mais baixa. O SunCell® pode compreender pelo menos um dentre uma fonte de H e oxigênio para repor qualquer perda pelo combustível sólido durante a propagação da reação de hidrino no SunCell®. A fonte de pelo menos um dentre H e O pode compreender pelo menos um dentre H_2, H_2O e O_2. Em uma modalidade regenerativa exemplar, H_2 que é consumido para formar $H_2(1/4)$ é reposto pela adição de pelo menos um dentre H_2 e H_2O, em que H_2O pode ainda servir como a fonte de pelo menos um dentre catalisador HOH e O_2. Idealmente, pelo menos um dentre CO_2 e um gás nobre, como argônio, pode ser um

componente da mistura de reação em que CO_2 pode servir como uma fonte de oxigênio para formar catalisador HOH.

[0483] Em uma modalidade, o SunCell® compreende ainda uma célula de eletrólise para regenerar pelo menos algum dentre pelo menos um material de partida de quaisquer produtos formados na câmara da célula de reação. O material de partida pode compreender pelo menos um dos reagentes do combustível sólido, em que o produto pode se formar pela reação do combustível sólido para formar reagentes de hidrino. O material de partida pode compreender o metal fundido, como gálio ou prata. Em uma modalidade, o metal fundido não é reativo com o metal fundido. Um exemplo de metal fundido não reativo compreende prata. A célula de eletrólise pode compreender pelo menos um dentre os reservatórios 5c, a câmara da célula de reação 5b31 e uma câmara separada externa a pelo menos um dentre os reservatórios 5c e a câmara da célula de reação 5b31. A célula de eletrólise pode compreender pelo menos (i) dois eletrodos, (ii) canais de entrada e saída e transportadores para uma câmara separada, (iii) um eletrólito que pode compreender pelo menos um dentre o metal fundido e os reagentes e os produtos em pelo menos um dentre o reservatório, a câmara da célula de reação e a câmara separada, (iv) uma fonte de alimentação de eletrólise, e (v) um controlador para a eletrólise e controladores e fontes de energia para os transportadores para dentro e para fora da célula de eletrólise, quando aplicável. O transportador pode compreender um da publicação.

[0484] Em uma modalidade, uma reação de combustível sólido forma H_2O e H como produtos ou produtos de reação intermediários. O H_2O pode servir como catalisador para formar hidrinos. Os reagentes compreendem pelo menos um oxidante e um redutor, e a reação compreende pelo menos uma reação de oxidação-redução. O redutor pode compreender um metal, como um metal alcalino. A mistura de reação pode compreender ainda uma fonte de hidrogênio e uma fonte de H_2O, e pode opcionalmente compreender um suporte, como carbono, carbeto, boreto, nitreto,

carbonitrila, como TiCN, ou nitrila. O suporte pode compreender um pó metálico. A fonte de H pode ser selecionada a partir do grupo de alcalino, alcalino-terroso, transição, transição interna, hidretos de terra-rara e hidretos da presente publicação. A fonte de hidrogênio pode ser gás hidrogênio que pode compreender ainda um dissociador, tais como aqueles da presente publicação, como um metal nobre em um suporte como carbono ou alumina, e outros da presente publicação. A fonte de água pode compreender um composto que desidrata, como um hidróxido ou um complexo de hidróxido, como os de Al, Zn, Sn, Cr, Sb e Pb. A fonte de água pode compreender uma fonte de hidrogênio e uma fonte de oxigênio. A fonte de oxigênio pode compreender um composto que compreende oxigênio. Compostos ou moléculas exemplares são O_2, óxido, peróxido ou superóxido de metal alcalino ou alcalino-terroso, TeO_2, SeO_2, PO_2, P_2O_5, SO_2, SO_3, M_2SO_4, $MHSO_4$, CO_2, $M_2S_2O_8$, $MMnO_4$, $M_2Mn_2O_4$, $M_xH_yPO_4$ (x, y = inteiro), $POBr_2$, $MClO_4$, MNO_3, NO, N_2O, NO_2, N_2O_3, Cl_2O_7 e O_2 (M = alcalino; e alcalino-terroso, ou outro cátion podem substituir M). Outros reagentes exemplares compreendem reagentes selecionados do grupo de Li, LiH, $LiNO_3$, LiNO, $LiNO_2$, Li_3N, Li_2NH, $LiNH_2$, LiX, NH3, $LiBH_4$, $LiAlH_4$, Li_3AlH_6, LiOH, Li_2S, LiHS, LiFeSi, Li_2CO_3, $LiHCO_3$, Li_2SO_4, $LiHSO_4$, Li_3PO_4, Li_2HPO_4, LiH_2PO_4, Li_2MoO_4, $LiNbO_3$, $Li_2B_4O_7$ (tetraborato de lítio), $LiBO_2$, Li_2WO_4, $LiAlCl_4$, $LiGaCl_4$, Li_2CrO_4, $Li_2Cr_2O_7$, Li_2TiO_3, $LiZrO_3$, $LiAlO_2$, $LiCoO_2$, $LiGaO_2$, Li_2GeO_3, $LiMn_2O_4$, Li_4SiO_4, Li_2SiO_3, $LiTaO_3$, $LiCuCl_4$, $LiPdCl_4$, $LiVO_3$, $LiIO_3$, $LiBrO_3$, $LiXO_3$ (X = F, Br, Cl, I), $LiFeO_2$, $LiIO_4$, $LiBrO_4$, $LiIO_4$, $LiXO_4$ (X = F, Br, Cl, I), $LiScO_n$, $LiTiO_n$, $LiVO_n$, $LiCrO_n$, $LiCr_2O_n$, $LiMn_2O_n$, $LiFeO_n$, $LiCoO_n$, $LiNiO_n$, $LiNi_2O_n$, $LiCuO_n$ e $LiZnO_n$, onde n = 1, 2, 3 ou 4, um oxiânion, um oxiânion de um ácido forte, um oxidante, um oxidante molecular, tal como V_2O_3, I_2O_5, MnO_2, Re_2O_7, CrO_3, RuO_2, AgO, PdO, PdO_2, PtO, PtO_2 e NH_4X em que X é um nitrato ou outro ânion adequado fornecido no CRC, e um redutor. Outro metal alcalino ou outro cátion pode substituir Li. Fontes adicionais de oxigênio podem ser selecionadas a partir do grupo de $MCoO_2$, $MGaO_2$, M_2GeO_3, MMn_2O_4, M_4SiO_4, M_2SiO_3, $MTaO_3$, MVO_3, MIO_3, $MFeO_2$, MIO_4,

$MClO_4$, $MScO_n$, $MTiO_n$, MVO_n, $MCrO_n$, MCr_2O_n, MMn_2O_n, $MFeO_n$, $MCoO_n$, $MNiO_n$, MNi_2O_n, $MCuO_n$ e $MZnO_n$, onde M é alcalino e n = 1, 2, 3 ou 4, um oxiânion, um oxiânion de um ácido forte, um oxidante, um oxidante molecular como V_2O_3, I_2O_5, MnO_2, Re_2O_7, CrO_3, RuO_2, AgO, PdO, PdO_2, PtO, PtO_2, I_2O_4, I_2O_5, I_2O_9, SO_2, SO_3, CO_2, N_2O, NO, NO_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, Cl_2O, ClO_2, Cl_2O_3, Cl_2O_6, Cl_2O_7, PO_2, P_2O_3 e P_2O_5. Os reagentes podem estar em qualquer razão desejada que forme hidrinos. Uma mistura de reação exemplar é 0,33 g de LiH, 1,7 g de $LiNO_3$, e a mistura de 1 g de MgH_2 e 4 g de pó de C ativado. Reações exemplares adicionais adequadas para formar pelo menos uma das reações H_2O catalisador e H_2 são fornecidos nas TABELAS 2, 3 e 4.

TABELA 2. Ciclos de reação termicamente reversíveis em relação a H_2O catalisador e H_2. [L. C. Brown, G. E. Besenbruch, K. R. Schultz, A. C. Marshall, S. K. Showalter, P. S. Pickard e J. F. Funk, Nuclear Production of Hydrogen Using Thermochemical Water-Splitting Cycles (*Produção Nuclear de Hidrogênio Usando Ciclos Termoquímicos de Divisão de Água*), pré-impressão de um artigo a ser apresentado no Congresso Internacional de Usinas Nucleares Avançadas (ICAPP) em Hollywood, Flórida, de 19 a 13 de junho de 2002, e publicado nos *Proceedings*.]

Ciclo	Nome	T/E*	T (°C)	Reação
	1 Westinghouse			
T			850	$2H_2SO_4(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g) + O_2(g)$
E			77	$SO_2(g) + 2H_2O(a) \rightarrow \rightarrow H_2SO_4(a) + H_2(g)$
	2 Ispra	Mark	13	
T			850	$2H_2SO_4(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g) + O_2(g)$
E			77	$2HBr(a) \rightarrow Br_2(a) + H_2(g)$
T			77	$Br_2(l) + SO_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 2HBr(g) + H_2SO_4(a)$

3 UT-3 Univ. Tóquio

T 600 $2Br_2(g) + 2CaO \rightarrow 2CaBr_2 + O_2(g)$

T

600 $3FeBr_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HBr + H_2(g)$

T

750 $CaBr_2 + H_2O \rightarrow CaO + 2HBr$

T

300 $Fe_3O4 + 8HBr \rightarrow Br_2 + 3FeBr_2 + 4H_2O$

4 Enxofre-Iodo

T 850 $2H_2SO_4(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g) + O_2(g)$

T

450 $2HI \rightarrow I_2(g) + H_2(g)$

T

120 $I_2 + SO_2(a) + 2H_2O \rightarrow 2HI(a) + H_2SO_4(a)$

5 Julich Center EOS

T 800 $2Fe_3O_4 + 6FeSO_4 \rightarrow 6Fe_2O_3 + 6SO_2 + O_2(g)$

T

700 $3FeO + H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + H_2(g)$

T

200 $Fe_2O_3 + SO_2 \rightarrow FeO + FeSO_4$

6 Tokyo Inst. Tech. Ferrita T 1000 $2MnFe_2O_4 + 3Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow 2Na_3MnFe_2O_6 + 3CO_2(g) + H_2(g)$

T

600 $4Na_3MnFe_2O_6 + 6CO_2(g) \rightarrow 4MnFe_2O_4 + 6Na_2CO_3 + O_2(g)$

7 Hallett Air Products 1965

T 800 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

E

25 $2HCl \rightarrow Cl_2(g) + H_2(g)$

8 Gaz de France

T 725 $2K + 2KOH \rightarrow 2K_2O + H_2(g)$

T

825 $2K_2O \rightarrow 2K + K_2O_2$

T

125 $2K_2O_2 + 2H_2O \rightarrow 4KOH + O_2(g)$

9 Níquel ferrita

T 800 $NiMnFe_4O_6 + 2H_2O \rightarrow NiMnFe_4O_8 + 2H_2(g)$

T

800 $NiMnFe_4O_8 \rightarrow NiMnFe_4O_6 + O_2(g)$

10 Aachen Univ Julich 1972

T 850 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

T

170 $2CrCl_2 + 2HCl \rightarrow 2CrCl_3 + H_2(g)$

T

800 $2CrCl_3 \rightarrow 2CrCl_2 + Cl_2(g)$

11 Ispra Mark 1C

T 100 $2CuBr_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CuO + 2CaBr_2 + H_2O$

T

900 $4CuO(s) \rightarrow 2Cu_2O(s) + O_2(g)$

T

730 $CaBr_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2HBr$

T

100 $Cu_2O + 4HBr \rightarrow 2CuBr_2 + H_2(g) + H_2O$

12 LASL- U

T 25 $3CO_2 + U_3O_8 + H_2O \rightarrow 3UO_2CO_3 + H_2(g)$

T

250 $3UO_2CO_3 \rightarrow 3CO_2(g) + 3UO_3$

T

700 $6UO_3(s) \rightarrow 2U_3O_8(s) + O_2(g)$

13 Ispra Mark 8

T 700 $3MnCl_2 + 4H_2O \rightarrow Mn_3O_4 + 6HCl + H_2(g)$

T

900 $3MnO_2 \rightarrow Mn_3O_4 + O_2(g)$

T

100 $4HCl + Mn_3O_4 \rightarrow 2MnCl_2(a) + MnO_2 + 2H_2O$

14 Ispra Mark 6

T 850 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

T

170 $2CrCl_2 + 2HCl \rightarrow 2CrCl_3 + H_2(g)$

T

700 $2CrCl_3 + 2FeCl_2 \rightarrow 2CrCl_2 + 2FeCl_3$

T

420 $2FeCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$

15 Ispra Mark 4

T 850 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

T

100 $2FeCl_2 + 2HCl + S \rightarrow 2FeCl_3 + H_2S$

T

420 $2FeCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$

T

800 $H_2S \rightarrow S + H_2(g)$

16 Ispra Mark 3 T 850 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

T

170 $2VOCl_2 + 2HCl \rightarrow 2VOCl_3 + H_2(g)$

T

200 $2VOCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2VOCl_2$

17 Ispra Mark 2 (1972)

T 100 $Na_2O.MnO_2 + H_2O \rightarrow 2NaOH(a) + MnO_2$

T

487 $4MnO_2(s) \rightarrow 2Mn_2O_3(s) + O_2(g)$

T

800 $Mn_2O_3 + 4NaOH \rightarrow 2Na_2O.MnO_2 + H_2(g) + H_2O$

18 Ispra CO/Mn3O4

T 977 $6Mn_2O_3 \rightarrow 4Mn_3O_4 + O_2(g)$

T

700 $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$

T

700 $CO(g) + 2Mn_3O_4 \rightarrow C + 3Mn_2O_3$

19 Ispra Mark 7B

T 1000 $2Fe_2O_3 + 6Cl_2(g) \rightarrow 4FeCl_3 + 3O_2(g)$

T

420 $2FeCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$

T

650 $3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2(g)$

T

350 $4Fe_3O_4 + O_2(g) \rightarrow 6Fe_2O_3$

T

400 $4HCl + O_2(g) \rightarrow 2Cl_2(g) + 2H_2O$

20 Cloreto de vanádio

T 850 $2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$

T

25 $2HCl + 2VCl_2 \rightarrow 2VCl_3 + H_2(g)$

T

700 $2VCl_3 \rightarrow VCl_4 + VCl_2$

T

25 $2VCl_4 \rightarrow Cl_2(g) + 2VCl_3$

21 Ispra Mark 7A

T 420 $2FeCl_3(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$

T

650 $3FeCl_2 + 4H_2O(g) \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl(g) + H_2(g)$

T

350 $4Fe_3O_4 + O_2(g) \rightarrow 6Fe_2O_3$

T

1000 $6Cl_2(g) + 2Fe_2O_3 \rightarrow 4FeCl_3(g) + 3O_2(g)$

T

120 $Fe_2O_3 + 6HCl(a) \rightarrow 2FeCl_3(a) + 3H_2O(l)$

22 GA Cycle 23

T 800 $H_2S(g) \rightarrow S(g) + H_2(g)$

T

850 $2H_2SO_4(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g) + O_2(g)$

T

700 $3S + 2H_2O(g) \rightarrow 2H_2S(g) + SO_2(g)$

T

25 $3SO_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 2H_2SO_4(a) + S$

T

25 $S(g) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$

	23	US		-Chlorine
T	850	$2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$		
		T		
200	$2CuCl + 2HCl \rightarrow 2CuCl_2 + H_2(g)$			
		T		
500	$2CuCl_2 \rightarrow 2CuCl + Cl_2(g)$			
	24	Ispra		Mark
T	420	$2FeCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$		
		T		
150	$3Cl_2(g) + 2Fe_3O_4 + 12HCl \rightarrow 6FeCl_3 + 6H_2O + O_2(g)$			
		T		
650	$3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2(g)$			
	25	Ispra	Mark	6C
T	850	$2Cl_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow 4HCl(g) + O_2(g)$		
		T		
170	$2CrCl_2 + 2HCl \rightarrow 2CrCl_3 + H_2(g)$			
		T		
700	$2CrCl_3 + 2FeCl_2 \rightarrow 2CrCl_2 + 2FeCl_3$			
		T		
500	$2CuCl_2 \rightarrow 2CuCl + Cl_2(g)$			
		T		
300	$CuCl + FeCl_3 \rightarrow CuCl_2 + FeCl_2$			

* T = termoquímico, E = eletroquímico.

TABELA 3. Ciclos de reação termicamente reversíveis em relação a H_2O catalisador e H_2. [C. Perkins and A.W. Weimer, Solar-Thermal Production of Renewable Hydrogen, (Produção Termo-solar de hidrogênio renovável), AIChE Journal, 55 (2),

(2009), pp. 286-293.]

Ciclo	Etapas de reação
Ciclos de alta temperatura	
Zn/ZnO	$ZnO \xrightarrow{1600-1800\ ^\circ C} Zn + \frac{1}{2}O_2$
	$Zn + H_2O \xrightarrow{400\ ^\circ C} ZnO + H_2$
FeO/Fe_3O_4	$Fe_3O_4 \xrightarrow{2000-2300\ ^\circ C} 3FeO + \frac{1}{2}O_2$
	$3FeO + H_2O \xrightarrow{400\ ^\circ C} Fe_3O_4 + H_2$
Carbonato de cádmio	$CdO \xrightarrow{1450-1500\ ^\circ C} Cd + \frac{1}{2}O_2$
	$Cd + H_2O + CO_2 \xrightarrow{350\ ^\circ C} CdCO_3 + H_2$
	$CdCO_3 \xrightarrow{500\ ^\circ C} CO_2 + CdO$
Cádmio híbrido	$CdO \xrightarrow{1450-1500\ ^\circ C} Cd + \frac{1}{2}O_2$
	$Cd + 2H_2O \xrightarrow{25\ ^\circ C,\ electrochemical} Cd(OH)_2 + H_2$
	$Cd(OH)_2 \xrightarrow{375\ ^\circ C} CdO + H_2O$
Sódio-manganês	$Mn_2O_3 \xrightarrow{1400-1600\ ^\circ C} 2MnO + \frac{1}{2}O_2$
	$2MnO + 2NaOH \xrightarrow{627\ ^\circ C} 2NaMnO_2 + H_2$
	$2NaMnO_2 + H_2O \xrightarrow{25\ ^\circ C} Mn_2O_3 + 2NaOH$
M-Ferrita (M = Co, Ni, Zn)	$Fe_{3-x}M_xO_4 \xrightarrow{1200-1400\ ^\circ C} Fe_{3-x}M_xO_{4-\delta} + \frac{\delta}{2}O_2$

$$Fe_{3-x}M_xO_{4-\delta} + \delta H_2O \xrightarrow{1000-1200\ ^\circ C} Fe_{3-x}M_xO_4 + \delta H_2$$

Ciclos de baixa temperatura	
Enxofre-iodo	$H_2SO_4 \xrightarrow{850\ ^\circ C} SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2$
	$I_2 + SO_4 + 2H_2O \xrightarrow{100\ ^\circ C} 2HI + H_2SO_4$
	$2HI \xrightarrow{300\ ^\circ C} I_2 + H_2$

Enxofre híbrido	$H_2SO_4 \xrightarrow{850\ ^\circ C} SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2$
	$SO_2 + 2H_2O \xrightarrow{77\ ^\circ C,\ electrochemical} H_2SO_4 + H_2$
Cloreto de cobre híbrido	$Cu_2OCl_2 \xrightarrow{550\ ^\circ C} 2CuCl + \frac{1}{2}O_2$
	$2Cu + 2HCl \xrightarrow{425\ ^\circ C} H_2 + 2CuCl$
	$4CuCl \xrightarrow{25\ ^\circ C,\ electrochemical} 2Cu + 2CuCl_2$
	$2CuCl_2 + H_2O \xrightarrow{325\ ^\circ C} Cu_2OCl_2 + 2HCl$

TABELA 4. Ciclos de reação termicamente reversíveis em relação a H_2O catalisador e H_2. [S. Abanades, P. Charvin, G. Flamant, P. Neveu, Screening of Water-Splitting Thermochemical Cycles Potentially Attractive for Hydrogen Production by Concentrated Solar Energy, Energy, 31, (2006), pp. 2805–2822.]

ID	Nome do ciclo	Lista de elementos	Número de passos químicos	Temperatura máxima (°C)
6	ZnO/Zn	Zn	2	2.000
$ZnO \rightarrow Zn + 1/2O_2$		(2.000 °C)		
$Zn + H_2O \rightarrow ZnO + H_2$		(1.100 °C)		
7	Fe_3O_4/FeO	Fe	2	
2.200	$Fe_3O_4 \rightarrow 3FeO + 1/2O_2$			(2.200 °C)
$3FeO + H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + H_2$		(400 °C)		
194	In_2O_3/In_2O	In	2	
2.200	$In_2O_3 \rightarrow In_2O + O_2$	(2.200 °C)		
$In2O + 2H_2O \rightarrow In_2O_3 + 2H_2$		(800 °C)		

194 SnO_2/Sn Sn 2 2.650

$SnO_2 \rightarrow Sn + O_2$ (2.650 °C)

$Sn + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 2H_2$ (600 °C)

83 $MnO/MnSO_4$ Mn, S 2

1.100 $MnSO_4 \rightarrow MnO + SO_2 + 1/2O_2$ (1.100 °C)

$MnO + H_2O + SO_2 \rightarrow MnSO_4 + H_2$ (250 °C)

84 $FeO/FeSO_4$ Fe, S 2

1.100 $FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_2 + 1/2O_2$ (1.100 °C)

$FeO + H_2O + SO_2 \rightarrow FeSO_4 + H_2$ (250 °C)

86 $CoO/CoSO_4$ Co, S 2

1.100 $CoSO_4 \rightarrow CoO + SO_2 + 1/2O_2$ (1.100 °C)

$CoO + H_2O + SO_2 \rightarrow CoSO_4 + H_2$ (200 °C)

200 $Fe_3O_4/FeCl_2$ Fe, Cl 2

1.500 $Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2 + 3H_2O + 1/2O_2$ (1.500 °C)

$3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2$ (700 °C)

14 $FeSO_4$ Julich Fe, S 3

1.800 $3FeO(s) + H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + H_2$ (200 °C)

$Fe_3O_4(s) + FeSO_4 \rightarrow 3Fe_2O_3(s) + 3SO_2(g) + 1/2O_2$ (800 °C)

$3Fe_2O_3(s) + 3SO_2 \rightarrow 3FeSO_4 + 3FeO(s)$ (1.800 °C)

85 $FeSO_4$ Fe, S 3 2300 $3FeO(s) + H_2O$

$\rightarrow Fe_3O_4(s) + H_2$ (200 °C)

$Fe_3O_4(s) + 3SO_3(g) \rightarrow 3FeSO_4 + 1/2O_2$ (300 °C)

$FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_3$ (2.300 °C)

109 C7 IGT Fe, S 3 1.000 $Fe_2O_3(s) + 2SO_2(g) + H_2O \rightarrow 2FeSO_4(s) + H_2$ (125 °C)

$2FeSO_4(s) \rightarrow Fe_2O_3(s) + SO_2(g) + SO_3(g)$ (700 °C)

$SO_3(g) \rightarrow SO_2(g) + 1/2O_2(g)$ (1.000 °C)

21 Processo Shell Cu, S 3

1.750 $6Cu(s) + 3H_2O \rightarrow 3Cu_2O(s) + 3H_2$ (500 °C)

$Cu_2O(s) + 2SO_2 + 3/2O_2 \rightarrow 2CuSO_4$ (300 °C)

$2Cu_2O(s)+2CuSO_4 \rightarrow 6Cu+2SO_2+3O_2$ (1.750 °C)

87 $CuSO_4$ Cu, S 3 1.500

$Cu_2O(s)+H_2O(g) \rightarrow Cu(s)+Cu(OH)_2$ (1.500 °C)

$Cu(OH)_2+SO_2(g) \rightarrow CuSO_4+H_2$ (100 °C)

$CuSO_4 + Cu(s) \rightarrow Cu_2O(s) + SO_2 + 1/2O_2$ (1.500 °C)

110 LASL $BaSO_4$ Ba, Mo, S 3

1.300 $SO_2 + H_2O + BaMoO_4 \rightarrow BaSO_3 + MoO_3 + H_2O$ (300 °C)

$BaSO_3 + H_2O \rightarrow BaSO_4 + H_2$

$BaSO_4(s) + MoO_3(s)$ $\rightarrow BaMoO_4(s) + SO_2(g) + 1/2O_2$ (1.300 °C)

4 Mark 9 Fe, Cl 3 900 $3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2$ (680 °C)

$Fe_3O_4 + 3/2Cl_2 + 6HCl$ $\rightarrow 3FeCl_3 + 3H_2O + 1/2O_2$ (900 °C)

$3FeCl_3 \rightarrow 3FeCl_2 + 3/2Cl_2$ (420 °C)

16 Euratom 1972 Fe, Cl 3

1.000 $H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1.000 °C)

$2HCl + 2FeCl_2 \rightarrow 2FeCl_3 + H_2$ (600 °C)

$2FeCl_3 \rightarrow 2FeCl_2 + Cl_2$ (350 °C)

20 Cr, Cl Julich Cr, Cl 3

1.600 $2CrCl_2$(s, T_f = 815 °C) + $2HCl \rightarrow 2CrCl_3(s) + H_2$ (200 °C)

$2CrCl_3$ (s, T_f = 1.150 °C) $\rightarrow 2CrCl_2(s) + Cl_2$ (1.600 °C)

$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1.000 °C)

27 Mark 8 Mn, Cl 3 1.000 $6MnCl_2(l) + 8H_2O \rightarrow 2Mn_3O_4 + 12HCl + 2H_2$ (700 °C)

$3Mn_3O_4(s) + 12HCl \rightarrow 6MnCl_2(s) + 3MnO_2(s)+6H_2O$ (100 °C)

$3MnO_2(s) \rightarrow Mn_3O_4(s) + O_2$ (1.000 °C)

37 Ta Funk Ta, Cl 3 2.200

$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1.000 °C)

$2TaCl_2 + 2HCl \rightarrow 2TaCl_3 + H_2$ (100 °C)

$2TaCl_3 \rightarrow 2TaCl_2 + Cl_2$ (2.200 °C)

78 Mark 3 Euratom JRC V, Cl 3

1.000 $Cl_2(g) + H_2O(g) \rightarrow 2HCl(g) + 1/2O_2(g)$ (1.000 °C)

Ispra (Itália)

$2VOCl_2(s) + 2HCl(g) \rightarrow 2VOCl_3(g) + H_2(g)$ (170 °C)

$2VOCl_3(g) \rightarrow Cl_2(g) + 2VOCl_2(s)$ (200 °C)

144 Bi, Cl Bi, Cl 3 1700

$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1.000 °C)

$2BiCl_2 + 2HCl \rightarrow 2BiCl_3 + H_2$ (300 °C)

$2BiCl_3(T_f = 233\ °C, T_{eb} = 441\ °C) \rightarrow 2BiCl_2 + Cl_2$ (1.700 °C)

146 Fe, Cl Julich Fe, Cl 3

1.800 $3Fe(s) + 4H_2O \rightarrow Fe_3O4(s) + 4H_2$ (700 °C)

$Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ (1.800 °C)

$3FeCl_2+3H_2 \rightarrow 3Fe(s)+6HCl$ (1.300 °C)

147 Fe, Cl Cologne Fe, Cl 3

1.800 $3/2FeO(s) + 3/2Fe(_s) + 2.5H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + 2.5H2$ (1.000 °C)

$Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow$

$3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ (1.800 °C)

$3FeCl_2 + H_2O + 3/2H_2 \rightarrow {}_{3/2}FeO(s) + 3/2Fe(s) + 6HCl$ (700 °C)

25 Mark 2 Mn, Na 3 900 $Mn_2O_3(s)+4NaOH \rightarrow 2Na_2O \cdot MnO_2 + H_2O + H_2$ (900 °C)

$2Na_2O \cdot MnO_2 + 2H_2O \rightarrow 4NaOH + 2MnO_2(s)$ (100 °C)

$2MnO_2(s) \rightarrow Mn_2O_3(s) + 1/2O_2$ (600 °C)

28 Li, Mn LASL Mn, Li 3

1.000 $6LiOH + 2Mn_3O_4 \rightarrow 3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 2H_2O + H_2$ (700 °C)

$3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 6LiOH + 3Mn_2O_3$ (80 °C)

$3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + 1/2O_2$ (1.000 °C)

199 Mn PSI Mn, Na 3 1.500 $2MnO + 2NaOH \rightarrow 2NaMnO_2 + H_2$ (800 °C)

$2NaMnO_2 + H_2O \rightarrow Mn_2O_3 + 2NaOH$ (100 °C)

$Mn_2O_3(l) \rightarrow 2MnO(s) + 1/2O_2$ (1.500 °C)

178 Fe, M ORNL Fe, 3

1.300 $2Fe_3O_4 + 6MOH \rightarrow 3MFeO_2 + 2H_2O + H_2$ (500 °C)

(M = Li, K, Na) $3MFeO_2 + 3H_2O \rightarrow 6MOH + 3Fe_2O_3$ (100 °C)

$3Fe_2O_3(s) \rightarrow 2Fe_3O_4(s) + 1/2O_2$ (1.300 °C)

33	Sn Souriau	Sn	3	
1.700	$Sn(l) + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 2H_2$		(400 °C)	
	$2SnO_2(s) \rightarrow 2SnO + O_2$		(1.700 °C)	
	$2SnO(s) \rightarrow SnO_2 + Sn(l)$		(700 °C)	
177	Co ORNL	Co, Ba	3	1.000
$CoO(s)+xBa(OH)_2(s) \rightarrow Ba_xCoO_y(s)+(y-x-1)H_2+(1+2x-y)\ H_2O$			(850 °C)	
$Ba_xCoO_y(s)+xH_2O \rightarrow xBa(OH)_2(s)+CoO(y-x)(s)$			(100 °C)	
$CoO(y-x)(s) \rightarrow CoO(s) + (y-x-1)/2O_2$			(1.000 °C)	
183	Ce, Ti ORNL	Ce, Ti, Na	3	
1.300	$2CeO_2(s) + 3TiO_2(s) \rightarrow Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 1/2O_2$		(800–1.300 °C)	
$Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 6NaOH \rightarrow 2CeO_2 + 3Na_2TiO_3 + 2H_2O + H_2$			(800 °C)	
$CeO_2 + 3NaTiO_3 + 3H_2O \rightarrow CeO_2(s) + 3TiO_2(s) + 6NaOH$			(150 °C)	
269	Ce, Cl GA	Ce, Cl	3	
1.000	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$		(1.000 °C)	
$2CeO_2 + 8HCl \rightarrow 2CeCl_3 + 4H_2O + Cl_2$			(250 °C)	
$2CeCl_3 + 4H_2O \rightarrow 2CeO_2 + 6HCl + H_2$			(800 °C)	

[0485] Os reagentes para formar o catalisador H_2O podem compreender uma fonte de O, tal como uma espécie O e uma fonte de H. A fonte da espécie O pode compreender pelo menos um dentre O_2, ar e um composto ou mistura de compostos compreendendo O. O composto compreendendo oxigênio pode compreender um oxidante. O composto que compreende oxigênio pode compreender pelo menos um dentre um óxido, oxi-hidróxido, hidróxido, peróxido e um superóxido. Óxidos de metal exemplares adequados são óxidos alcalinos, tais como Li_2O, Na_2O e K_2O, óxidos alcalino-terrosos, tais como MgO, CaO, SrO e BaO, óxidos de transição, tais como NiO, Ni_2O_3, FeO, Fe_2O_3 e CoO, e óxidos de transição interna e metais de terra-rara, e os de outros metais e metaloides, tais como os de Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te, e misturas destes e outros elementos compreendendo oxigênio. Os óxidos podem compreender um ânion de óxido, como os da presente publicação, como um ânion de óxido de metal e um cátion, como um cátion de metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna e de terra-rara, e os de outros metais e metaloides, como aqueles de Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te, tais como $MM'_{2x}O_{3x+1}$ ou $MM'_{2x}O_4$ (M = alcalino-terroso, M' = metal de transição, tais como Fe ou Ni ou Mn, x = inteiro) e $M_2M'_{2x}O_{3x+1}$ ou $M_2M'_{2x}O_4$ (M = alcalino, M' = metal de transição, como Fe ou Ni ou Mn, x = inteiro). Oxi-hidróxidos de metal exemplares adequados são AlO(OH), ScO(OH), YO(OH), VO(OH), CrO(OH), MnO(OH) (α-MnO(OH) groutita e γ-MnO(OH) manganita), FeO(OH), CoO(OH), NiO(OH), RhO(OH), GaO(OH), InO(OH), $Ni_{1/2}Co_{1/2}O(OH)$, e $Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O(OH)$. Hidróxidos exemplares adequados são aqueles de metais, tais como metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara e aqueles de outros metais e metaloides, tais como Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te, e misturas. Hidróxidos de íon complexo adequados são $Li_2Zn(OH)_4$, $Na_2Zn(OH)_4$, $Li_2Sn(OH)_4$, $Na_2Sn(OH)_4$, $Li_2Pb(OH)_4$, $Na_2Pb(OH)_4$, $LiSb(OH)_4$, $NaSb(OH)_4$, $LiAl(OH)_4$, $NaAl(OH)_4$, $LiCr(OH)_4$, $NaCr(OH)_4$,

$Li_2Sn(OH)_6$ e $Na_2Sn(OH)_6$. Hidróxidos exemplares adequados adicionais são pelo menos um dentre $Co(OH)_2$, $Zn(OH)_2$, $Ni(OH)_2$, outros hidróxidos de metal de transição, $Cd(OH)_2$, $Sn(OH)_2$ e Pb(OH). Peróxidos exemplares adequados são H_2O_2, aqueles de compostos orgânicos e aqueles de metais, tais como M_2O_2 em que M é um metal alcalino, como Li_2O_2, Na_2O_2, K_2O_2, outros peróxidos iônicos, como aqueles de peróxidos de alcalino-terrosos, como peróxidos de Ca, Sr ou Ba, os de outros metais eletropositivos, como os dos lantanídeos, e os peróxidos de metais covalentes, como os de Zn, Cd e Hg. Superóxidos exemplares adequados são aqueles de metais MO_2 em que M é um metal alcalino como NaO_2, KO_2, RbO_2 e CsO_2 e superóxidos de metais alcalino-terrosos. Em uma modalidade, o combustível sólido compreende um peróxido alcalino e uma fonte de hidrogênio, tais como um hidreto, hidrocarboneto ou material de armazenamento de hidrogênio, como BH_3NH_3.A mistura de reação pode compreender um hidróxido, como os de metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara e Al, Ga, In, Sn, Pb e outros elementos que formam hidróxidos e uma fonte de oxigênio, como um composto que compreende pelo menos um oxiânion, como um carbonato, como um que compreende metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara e Al, Ga, In, Sn, Pb e outros da presente publicação. Outros compostos adequados que compreendem oxigênio são pelo menos um dentre composto de oxiânion do grupo de aluminato, tungstato, zirconato, titanato, sulfato, fosfato, carbonato, nitrato, cromato, dicromato e manganato, óxido, oxi-hidróxido, peróxido, superóxido, silicato, titanato, tungstato e outros da presente publicação. Uma reação exemplar de um hidróxido e um carbonato é dada por

$$Ca(OH)_2 + Li_2CO_3 \text{ para } CaO + H_2O + Li_2O + CO_2 \quad (60)$$

[0486] Em outras modalidades, a fonte de oxigênio é gasosa ou forma prontamente um gás, como NO_2, NO, N_2O, CO_2, P_2O_3, P_2O_5 e SO_2. O produto óxido

reduzido da formação do catalisador H_2O como C, N, NH_3, P ou S pode ser convertido de volta ao óxido novamente por combustão com oxigênio ou uma fonte deste, conforme indicado em pedidos anteriores de Mills. A célula pode produzir calor em excesso que pode ser usado para aplicações de aquecimento, ou o calor pode ser convertido em eletricidade por meio de um sistema Rankine ou Brayton. Alternativamente, a célula pode ser usada para sintetizar espécies de hidrogênio de menor energia, tais como hidrino molecular e íons hidreto de hidrino e compostos correspondentes.

[0487] Em uma modalidade, a mistura de reação para formar hidrinos para pelo menos um dentre produção de compostos de hidrogênio de menor energia e produção de energia compreende uma fonte de hidrogênio atômico e uma fonte de catalisador, compreendendo pelo menos um dentre H e O, tais como aqueles da presente publicação, como o catalisador H_2O. A mistura de reação pode compreender ainda um ácido, como H_2SO_3, H_2SO_4, H_2CO_3, HNO_2, HNO_3, $HClO_4$, H_3PO_3 e H_3PO_4 ou uma fonte de um ácido, como um anidrido de ácido ou ácido anidro. Este último pode compreender pelo menos um do grupo de SO_2, SO_3, CO_2, NO_2, N_2O_3, N_2O_5, Cl_2O_7, PO_2, P_2O_3 e P_2O_5. A mistura de reação pode compreender pelo menos um dentre uma base e um anidrido básico, como M_2O (M= alcalino), M'O (M' = alcalino-terroso), ZnO ou outro óxido de metal de transição, CdO, CoO, SnO, AgO, HgO ou Al_2O_3. Outros anidridos exemplares compreendem metais que são estáveis a H_2O, como Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr e In. O anidrido pode ser um óxido de metal alcalino ou metal alcalino-terroso, e o composto hidratado pode compreender um hidróxido. A mistura de reação pode compreender um oxi-hidróxido, como FeOOH, NiOOH ou CoOOH. A mistura de reação pode compreender pelo menos um dentre uma fonte de H_2O e H_2O. O H_2O pode ser formado reversivelmente por reações de hidratação e desidratação na presença de hidrogênio atômico. Reações exemplares para formar o catalisador H_2O são

$Mg(OH)_2$ para MgO + H_2O (61)

$2LiOH$ para Li_2O + H_2O (62)

H_2CO_3 para CO_2 + H_2O (63)

$2FeOOH$ para Fe_2O_3 + H_2O (64)

[0488] Em uma modalidade, o catalisador H_2O é formado por desidratação de pelo menos um composto que compreende fosfato, tais como sais de fosfato, hidrogenofosfato e di-hidrogenofosfato, como os de cátions, como cátions compreendendo metais, como metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara, e os de outros metais e metaloides, tais como os de Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te, e misturas para formar um fosfato condensado tal como pelo menos um dentre polifosfatos, como $[P_nO_{3n+1}]^{(n+2)-}$, metafosfatos de cadeia longa, como $[(PO_3)_n]^{n-}$, metafosfatos cíclicos, como $[(PO_3)_n]^{n-}$ com $n \geq 3$, e ultrafosfatos como P_4O_{10}. Reações exemplares são

$(n-2)NaH_2PO_4 + 2Na_2HPO_4 \xrightarrow{heat} Na_{n+2}P_nO_{3n+1}$ (polifosfato) + $(n-1)H_2O$ (65)

$nNaH_2PO_4 \xrightarrow{heat} (NaPO_3)_n$ (metafosfato) + nH_2O (66)

[0489] Os reagentes da reação de desidratação podem compreender R-Ni que pode compreender pelo menos um dentre $Al(OH)_3$ e Al_2O_3. Os reagentes podem compreender ainda um metal M, como os da presente publicação, tais como um metal alcalino, um hidreto de metal MH, um hidróxido de metal, como os da presente publicação, como um hidróxido alcalino e uma fonte de hidrogênio, como H_2 assim como hidrogênio intrínseco. Reações exemplares são

$2Al(OH)_3$ + para Al_2O_3 + $3H_2O$ (67)

Al_2O_3 + $2NaOH$ para $2NaAlO_2$ + H_2O (68)

$3MH$ + $Al(OH)_3$ + para M_3Al + $3H_2O$ (69)

$MoCu + 2MOH + 4O_2$ para $M_2MoO_4 + CuO + H_2O$ (M = Li, Na, K, Rb, Cs) (70)

[0490] O produto de reação pode compreender uma liga. O R-Ni pode ser regenerado por reidratação. A mistura de reação e a reação de desidratação para formar catalisador de H_2O podem compreender e envolver um oxi-hidróxido, tais como aqueles da presente publicação, conforme dado na reação exemplar:

$3Co(OH)_2$ para $2CoOOH + Co + 2H_2O$ (71)

[0491] O hidrogênio atômico pode ser formado a partir do gás H_2 por dissociação. O dissociador de hidrogênio pode ser um dos da presente publicação, como R-Ni, ou um metal nobre ou metal de transição em um suporte como Ni ou Pt ou Pd em carbono ou Al_2O_3. Alternativamente, o H atômico pode ser de permeação de H através de uma membrana, como aquelas da presente publicação. Em uma modalidade, a célula compreende uma membrana, como uma membrana de cerâmica para permitir que H_2 se difunda seletivamente, enquanto evita a difusão de H_2O. Em uma modalidade, pelo menos um dentre H_2 e H atômico são fornecidos à célula por eletrólise de um eletrólito compreendendo uma fonte de hidrogênio, como um eletrólito aquoso ou fundido compreendendo H_2O. Em uma modalidade, o catalisador H_2O é formado reversivelmente por desidratação de um ácido ou base na forma de anidrido. Em uma modalidade, a reação para formar o catalisador H_2O e hidrinos é propagada alterando pelo menos um dentre o pH ou a atividade da célula, temperatura e pressão, em que

a pressão pode ser alterada alterando-se a temperatura. A atividade de uma espécie como o ácido, base ou anidrido pode ser alterada adicionando-se um sal conhecido pelos especialistas na técnica. Em uma modalidade, a mistura de reação pode compreender um material, como carbono, que pode absorver ou ser uma fonte de um gás como H_2 ou gás anidrido de ácido para a reação formar hidrinos. Os reagentes podem estar em qualquer razão e concentração desejada. A mistura de reação pode ser fundida ou compreender uma pasta fluida aquosa.

[0492] Em outra modalidade, a fonte do catalisador H_2O é a reação entre um ácido e uma base, como a reação entre pelo menos um dentre um ácido hidro-hálico, sulfúrico, nítrico e nitroso, e uma base. Outros reagentes ácidos adequados são soluções aquosas de H_2SO_4, HCl, HX (X = haleto), H_3PO_4, $HClO_4$, HNO_3, HNO, HNO_2, H_2S, H_2CO_3, H_2MoO_4, $HNbO_3$, $H_2B_4O_7$ (tetraborato de M), HBO_2, H_2WO_4, H_2CrO_4, $H_2Cr_2O_7$, H_2TiO_3, $HZrO_3$, $MAlO_2$, HMn_2O_4, HIO_3, HIO_4, $HClO_4$ ou um ácido orgânico, como ácido fórmico ou acético. Bases exemplares adequadas são um hidróxido, oxi-hidróxido ou óxido compreendendo um metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna ou de terra-rara, ou Al, Ga, In, Sn ou Pb.

[0493] Em uma modalidade, os reagentes podem compreender um ácido ou base que reage com a anidrido de base ou de ácido, respectivamente, para formar catalisador H_2O e o composto do cátion da base, e o ânion do anidrido de ácido ou o cátion do anidrido de base, e o ânion do ácido, respectivamente. A reação exemplar do anidrido ácido SiO2 com a base de NaOH é

$$4NaOH + SiO_2 \text{ para } Na_4SiO_4 + 2H_2O \quad (72)$$

em que a reação de desidratação do ácido correspondente é

$$H_4SiO_4 \text{ para } 2H_2O + SiO_2 \quad (73)$$

[0494] Outros anidridos exemplares adequados podem compreender um

elemento, metal, liga ou mistura, como um do grupo de Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf, Co e Mg. O óxido correspondente pode compreender pelo menos um dentre MoO_2, TiO_2, ZrO_2, SiO_2, Al_2O_3, NiO, Ni_2O_3, FeO, Fe_2O_3, TaO_2, Ta_2O_5, VO, VO_2, V_2O_3, V_2O_5, B_2O_3, NbO, NbO_2, Nb_2O_5, SeO_2, SeO_3, TeO_2, TeO_3, WO_2, WO_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, CrO_2, CrO_3, MnO, Mn_3O_4, Mn_2O_3, MnO_2, Mn_2O_7, HfO_2, Co_2O_3, CoO, Co_3O_4, Co_2O_3 e MgO. Em uma modalidade exemplar, a base compreende um hidróxido, como um hidróxido alcalino, como MOH (M = alcalino), como LiOH, que pode formar o óxido básico correspondente como M_2O como Li_2O e H_2O. O óxido básico pode reagir com o óxido de anidrido para formar um produto óxido. Em uma reação exemplar de LiOH com o óxido de anidrido com a liberação de H_2O, o composto de óxido do produto pode compreender Li_2MoO_3 or Li_2MoO_4, Li_2TiO_3, Li_2ZrO_3, Li_2SiO_3, $LiAlO_2$, $LiNiO_2$, $LiFeO_2$, $LiTaO_3$, $LiVO_3$, $Li_2B_4O_7$, Li_2NbO_3, Li_2SeO_3, Li_3PO_4, Li_2SeO_4, Li_2TeO_3, Li_2TeO_4, Li_2WO_4, Li_2CrO_4, $Li_2Cr_2O_7$, Li_2MnO_4, Li_2HfO_3, $LiCoO_2$ e MgO. Outros óxidos exemplares adequados são pelo menos um do grupo de As_2O_3, As_2O_5, Sb_2O_3, Sb_2O_4, Sb_2O_5, Bi_2O_3, SO_2, SO_3, CO_2, NO_2, N_2O_3, N_2O_5, Cl_2O_7, PO_2, P_2O_3 e P_2O_5 e outros óxidos similares conhecidos dos especialistas na técnica. Outro exemplo é dado pela Eq. (91). Reações adequadas de óxidos de metal são

$$2LiOH + NiO \text{ para } Li_2NiO_2 + H_2O \quad (74)$$

$$3LiOH + NiO \text{ para } LiNiO_2 + H_2O + Li_2O + 1/2H_2 \quad (75)$$

$$4LiOH + Ni_2O_3 \text{ para } 2Li_2NiO_2 + 2H_2O + 1/2O_2 \quad (76)$$

$$2LiOH + Ni_2O_3 \text{ para } 2LiNiO_2 + H_2O \quad (77)$$

[0495] Outros metais de transição, como Fe, Cr e Ti, transição interna e metais de terra-rara e outros metais ou metaloides, como Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb,

Bi, Se e Te pode substituir o Ni, e outro metal alcalino, como Li, Na, Rb e Cs pode substituir K. Em uma modalidade, o óxido pode compreender Mo em que durante a reação para formar H_2O, o catalisador H_2O nascente e H podem reagir mais ainda para formar hidrinos. Exemplos de reações de combustível sólido e possíveis vias de oxidação-redução são

$$3MoO_2 + 4LiOH \rightarrow 2Li_2MoO_4 + Mo + 2H_2O$$

(78)

$$2MoO_2 + 4LiOH \rightarrow 2Li_2MoO_4 + 2H_2$$

(79)

$$O^{2-} \rightarrow 1/2O_2 + 2e^-$$

(80)

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$$

(81)

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H + H(1/4)$$

(82)

$$Mo^{4+} + 4e^- \rightarrow Mo$$

(83)

[0496] A reação pode compreender ainda uma fonte de hidrogênio, como gás hidrogênio, e um dissociador, como Pd/Al_2O_3. O hidrogênio pode ser qualquer um dentre prótio, deutério ou trítio, ou combinações destes. A reação para formar o catalisador H_2O pode compreender a reação de dois hidróxidos para formar água. Os cátions dos hidróxidos podem ter diferentes estados de oxidação, tais como aqueles da reação de um hidróxido de metal alcalino com um hidróxido de metal de transição ou alcalino-terroso. A mistura de reação e a reação podem ainda compreender e envolver H_2 de uma fonte, conforme apresentado na reação exemplar:

$LiOH + 2Co(OH)_2 + 1/2H_2$ para $LiCoO_2 + 3H_2O + Co$

(84)

[0497] A mistura de reação e a reação podem ainda compreender e envolver um metal M, como um metal alcalino ou alcalino-terroso, conforme apresentado na reação exemplar:

$$M + LiOH + Co(OH)_2 \text{ para } LiCoO_2 + H_2O + MH \quad (85)$$

[0498] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende um óxido de metal e um hidróxido que pode servir como uma fonte de H e, opcionalmente, outra fonte de H em que o metal, como Fe do óxido de metal, pode ter vários estados de oxidação, de modo que sofre uma reação de oxidação-redução durante a reação para formar H_2O para servir como catalisador para reagir com H para formar hidrinos. Um exemplo é FeO em que Fe^{2+} pode sofrer oxidação para Fe^{3+} durante a reação para formar o catalisador. Uma reação exemplar é

$$FeO + 3LiOH \text{ para } H_2O + LiFeO_2 + H(1/p) + Li_2O \quad (86)$$

[0499] Em uma modalidade, pelo menos um reagente, como um óxido, hidróxido ou oxi-hidróxido de metal serve como oxidante, em que o átomo de metal, como Fe, Ni, Mo ou Mn pode estar em um estado de oxidação que é superior a outro possível estado de oxidação. A reação para formar o catalisador e hidrinos pode fazer com que o átomo sofra uma redução para pelo menos um estado de oxidação inferior. Reações exemplares de óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de metal para formar catalisador H_2O são

$$2KOH + NiO \text{ para } K_2NiO_2 + H_2O \quad (87)$$

$$3KOH + NiO \text{ para } KNiO_2 + H_2O + K_2O + 1/2H_2 \quad (88)$$

$$2KOH + Ni_2O_3 \text{ para } 2KNiO_2 + H_2O \quad (89)$$

$4KOH + Ni_2O_3$ para $2K_2NiO_2 + 2H_2O + 1/2O_2$ (90)

$2KOH + Ni(OH)_2$ para $K_2NiO_2 + 2H_2O$ (91)

$2LiOH + MoO_3$ para $Li_2MoO_4 + H_2O$ (92)

$3KOH + Ni(OH)_2$ para $KNiO_2 + 2H_2O + K_2O + 1/2H_2$ (93)

$2KOH + 2NiOOH$ para $K_2NiO_2 + 2H_2O + NiO + 1/2O_2$ (94)

$KOH + NiOOH$ para $KNiO_2 + H_2O$ (95)

$2NaOH + Fe_2O_3$ para $2NaFeO_2 + H_2O$ (96)

[0500] Outros metais de transição, como Ni, Fe, Cr e Ti, metais de transição interna e de terra-rara e outros metais ou metaloides, como Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te podem substituir Ni ou Fe, e outros metais alcalinos, como Li, Na, K, Rb e Cs podem substituir K ou Na. Em uma modalidade, a mistura de reação compreende pelo menos um dentre um óxido e um hidróxido de metais que são estáveis a H_2O como Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr e In. Além disso, a mistura de reação compreende uma fonte de hidrogênio, como gás H_2 e, opcionalmente, um dissociador, como um metal nobre em um suporte. Em uma modalidade, o combustível sólido ou material energético compreende a mistura de pelo menos um dentre um haleto de metal, como pelo menos um dentre um haleto de metal de transição, como um brometo, como $FeBr_2$, e um metal que forma um oxi-hidróxido, hidróxido ou óxido e H_2O. Em uma modalidade, o combustível sólido ou material energético compreende uma

mistura de pelo menos um dentre um óxido, hidróxido e oxi-hidróxido de metal, como pelo menos um dentre um óxido de metal de transição como Ni_2O_3 e H_2O.

A reação exemplar do anidrido básico NiO com ácido HCl é

$2HCl + NiO \text{ para } H_2O + NiCl_2$ (97)

em que a reação de desidratação da base correspondente é

$Ni(OH)_2 \text{ para } H_2O + NiO$ (98)

[0501] Os reagentes podem compreender pelo menos um dentre um ácido ou base de Lewis e um ácido ou base de Bronsted-Lowry. A mistura de reação e a reação podem ainda compreender e envolver um composto que compreende oxigênio, em que o ácido reage com o composto que compreende oxigênio para formar água, conforme indicado na reação exemplar:

$2HX + POX_3 \text{ para } H_2O + PX_5$ (99)

[0502] (X = haleto). Compostos similares como POX_3 são adequados, como aqueles com P substituído por S. Outros anidridos exemplares adequados podem compreender um óxido de um elemento, metal, liga ou mistura que é solúvel em ácido, tal como um hidróxido, oxi-hidróxido ou óxido compreendendo um metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna ou de terra-rara, ou Al, Ga, In, Sn ou Pb como um do grupo de Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf, Co e Mg. O óxido correspondente pode compreender MoO_2, TiO_2, ZrO_2, SiO_2, Al_2O_3, NiO, FeO or Fe_2O_3, TaO_2, Ta_2O_5, VO, VO_2, V_2O_3, V_2O_5, B_2O_3, NbO, NbO_2, Nb_2O_5, SeO_2, SeO_3, TeO_2, TeO_3, WO_2, WO_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, CrO_2, CrO_3, MnO, Mn_3O_4, Mn_2O_3, MnO_2, Mn_2O_7, HfO_2, Co_2O_3, CoO, Co_3O_4, Co_2O_3 e MgO. Outros óxidos exemplares adequados são aqueles do grupo de Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr e In. Em

uma modalidade exemplar, o ácido compreende um ácido hidro-hálico e o produto é H_2O e o haleto de metal do óxido. A mistura de reação compreende ainda uma fonte de hidrogênio, como gás H_2 e um dissociador, como Pt/C, em que H e o catalisador H_2O reagem para formar hidrinos.

[0503] Em uma modalidade, o combustível sólido compreende uma fonte de H_2, como uma membrana de permeação ou gás H_2 e um dissociador, como Pt/C, e uma fonte de catalisador H_2O que compreende um óxido ou hidróxido que é reduzido para H_2O. O metal do óxido ou hidróxido pode formar hidreto de metal que serve como fonte de H. Reações exemplares de um hidróxido e óxido alcalino, como LiOH e Li_2O são

$$LiOH + H_2 \text{ para } H_2O + LiH \quad (100)$$

$$Li_2O + H_2 \text{ para } LiOH + LiH \quad (101)$$

[0504] A mistura de reação pode compreender óxidos ou hidróxidos de metais que sofrem redução de hidrogênio para H_2O, tais como os de Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr e In, e uma fonte de hidrogênio, como gás H_2 e um dissociador, como Pt/C.

[0505] Em outra modalidade, a mistura de reação compreende uma fonte de H_2, como gás H_2 e um dissociador, como Pt/C e um composto de peróxido, como H_2O_2 que se decompõe em catalisador H_2O, e outros produtos que compreendem oxigênio, como O_2. Parte do H_2 e do produto de decomposição, como O_2, pode reagir para também formar o catalisador H_2O.

[0506] Em uma modalidade, a reação para formar H_2O como catalisador compreende uma reação de desidratação orgânica, como a de um álcool, como um poliálcool, como um açúcar para um aldeído e H_2O. Em uma modalidade, a reação de desidratação envolve a liberação de H_2O de um álcool terminal para formar um

aldeído. O álcool terminal pode compreender um açúcar ou um derivado deste que libera H_2O que pode servir como catalisador. Álcoois exemplares adequados são meso-eritritol, galactitol ou dulcitol e álcool polivinílico (PVA). Uma mistura de reação exemplar compreende um açúcar + dissociador de hidrogênio, tal como Pd/Al_2O_3 + H_2. Alternativamente, a reação compreende uma desidratação de um sal de metal, tal como um que tenha pelo menos uma água de hidratação. Em uma modalidade, a desidratação compreende a perda de H_2O para servir como catalisador de hidratos, como íons aqua e hidratos de sal como BaI_2 $2H_2O$ e $EuBr_2$ nH_2O.

[0507] Em uma modalidade, a reação para formar o catalisador H_2O compreende a redução de hidrogênio de um composto compreendendo oxigênio, como CO, um oxiânion, como MNO_3 (M = alcalino), um óxido de metal, como NiO, Ni_2O_3, Fe_2O_3, ou SnO, um hidróxido como $Co(OH)_2$, oxi-hidróxidos como FeOOH, CoOOH e NiOOH e compostos, oxiânions, óxidos, hidróxidos, oxi-hidróxidos, peróxidos, superóxidos e outras composições de matéria compreendendo oxigênio, tais como aquelas da presente publicação, que são hidrogênio redutível a H_2O. Compostos exemplares que compreendem oxigênio ou um oxiânion são $SOCl_2$, $Na_2S_2O_3$, $NaMnO_4$, $POBr_3$, $K_2S_2O_8$, CO, CO_2, NO, NO_2, P_2O_5, N_2O_5, N_2O, SO_2, I_2O_5, $NaClO_2$, NaClO, K_2SO_4 e $KHSO_4$. A fonte de hidrogênio para redução de hidrogênio pode ser pelo menos um dentre gás H_2 e um hidreto, como um hidreto de metal, como aqueles da presente publicação. A mistura de reação pode compreender ainda um redutor que pode formar um composto ou íon compreendendo oxigênio. O cátion do oxiânion pode formar um produto composto compreendendo outro ânion, tal como um haleto, outro calcogeneto, fosfeto, outro oxiânion, nitreto, siliceto, arseneto ou outro ânion da presente publicação. Reações exemplares são

$4NaNO_3(c) + 5MgH_2(c)$ para $5MgO(c) + 4NaOH(c) + 3H_2O(l) + 2N_2(g)$ (102)

$P_2O_5(c) + 6NaH(c)$ para $2Na_3PO_4(c) + 3H_2O(g)$

(103)

$NaClO_4(c) + 2MgH_2(c)$ para $2MgO(c) + NaCl(c) + 2H_2O(l)$

(104)

$KHSO_4 + 4H_2$ para $KHS + 4H_2O$

(105)

$K_2SO_4 + 4H_2$ para $2KOH + 2H_2O + H_2S$

(106)

$LiNO_3 + 4H_2$ para $LiNH_2 + 3H_2O$

(107)

$GeO_2 + 2H_2$ para $Ge + 2H_2O$

(108)

$CO_2 + H_2$ para $C + 2H_2O$

(109)

$PbO_2 + 2H_2$ para $2H_2O + Pb$

(110)

$V_2O_5 + 5H_2$ para $2V + 5H_2O$

(111)

$Co(OH)_2 + H_2$ para $Co + 2H_2O$

(112)

$Fe_2O_3 + 3H_2$ para $2Fe + 3H_2O$

(113)

$3Fe_2O_3 + H_2$ para $2Fe_3O_4 + H_2O$

(114)

$Fe_2O_3 + H_2$ para $2FeO + H_2O$

(115)

$Ni_2O_3 + 3H_2$ para $2Ni + 3H_2O$

(116)

$3Ni_2O_3 + H_2$ para $2Ni_3O_4 + H_2O$ (117)

$Ni_2O_3 + H_2$ para $2NiO + H_2O$ (118)

$3FeOOH + 1/2H_2$ para $Fe_3O_4 + 2H_2O$ (119)

$3NiOOH + 1/2H_2$ para $Ni_3O_4 + 2H_2O$ (120)

$3CoOOH + 1/2H_2$ para $Co_3O_4 + 2H_2O$ (121)

$FeOOH + 1/2H_2$ para $FeO + H_2O$ (122)

$NiOOH + 1/2H_2$ para $NiO + H_2O$ (123)

$CoOOH + 1/2H_2$ para $CoO + H_2O$ (124)

$SnO + H_2$ para $Sn + H_2O$ (125)

[0508] A mistura de reação pode compreender uma fonte de um ânion ou um ânion e uma fonte de oxigênio ou oxigênio, como um composto que compreende oxigênio, em que a reação para formar catalisador H_2O compreende uma reação de troca ânion-oxigênio, com opcionalmente H_2 de uma fonte reagindo com o oxigênio para formar H_2O. Reações exemplares são

$2NaOH + H_2 + S$ para $Na_2S + 2H_2O$ (126)

$2NaOH + H_2 + Te$ para $Na_2Te + 2H_2O$ (127)

$2NaOH + H_2 + Se$ para $Na_2Se + 2H_2O$ (128)

$LiOH + NH_3$ para $LiNH_2 + H_2O$ (129)

[0509] Em outra modalidade, a mistura de reação compreende uma reação de troca entre calcogenetos, como uma entre reagentes compreendendo O e S. Um reagente calcogeneto exemplar, como tetratiomolibdato de amônio tetraédrico, contém o ânion ($[MoS_4]^{2-}$). Uma reação exemplar para formar o catalisador H_2O nascente e opcionalmente H nascente compreende a reação de molibdato $[MoO_4]^{2-}$ com sulfeto de hidrogênio na presença de amônia:

$[NH_4]_2[MoO_4] + 4H_2S$ para $[NH_4]_2[MoS_4] + 4H_2O$ (130)

[0510] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende uma fonte de hidrogênio, um composto que compreende oxigênio, e pelo menos um elemento capaz de formar uma liga com pelo menos um outro elemento da mistura de reação. A reação para formar o catalisador H_2O pode compreender uma reação de troca de oxigênio do composto que compreende oxigênio e um elemento capaz de formar uma liga com o cátion do composto de oxigênio, em que o oxigênio reage com o hidrogênio da fonte para formar H_2O. Reações exemplares são

$NaOH + 1/2H_2 + Pd$ para $NaPb + H_2O$ (131)

$NaOH + 1/2H_2 + Bi$ para $NaBi + H_2O$ (132)

$NaOH + 1/2H_2 + 2Cd$ para $Cd_2Na + H_2O$ (133)

$NaOH + 1/2H_2 + 4Ga$ para $Ga_4Na + H_2O$ (134)

$NaOH + 1/2H_2 + Sn$ para $NaSn + H_2O$ (135)

$NaAlH_4 + Al(OH)_3 + 5Ni$ para $NaAlO_2 + Ni_5Al + H_2O + 5/2H_2$ (136)

[0511] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende um composto que compreende oxigênio, como um oxi-hidróxido e um redutor, tal como um metal que forma um óxido. A reação para formar o catalisador H_2O pode compreender a reação de um oxi-hidróxido com um metal a partir de um óxido de metal e H_2O. Reações exemplares são

$2MnOOH + Sn$ para $2MnO + SnO + H_2O$ (137)

$4MnOOH + Sn$ para $4MnO + SnO_2 + 2H_2O$ (138)

$2MnOOH + Zn$ para $2MnO + ZnO + H_2O$ (139)

[0512] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende um composto que compreende oxigênio, como um hidróxido, uma fonte de hidrogênio, e pelo menos um outro composto que compreende um ânion diferente, como haleto ou outro elemento. A reação para formar o catalisador H_2O pode compreender a reação do hidróxido com o outro composto ou elemento, em que o ânion ou elemento é trocado por hidróxido para formar outro composto do ânion ou elemento, e H_2O é formado com a reação de hidróxido com H_2. O ânion pode compreender haleto. Reações exemplares são

$2NaOH + NiCl_2 + H_2$ para $2NaCl + 2H_2O + Ni$ (140)

$2NaOH + I_2 + H_2$ para $2NaI + 2H_2O$ (141)

$2NaOH + XeF_2 + H_2$ para $2NaF + 2H_2O + Xe$ (142)

BiX_3 (X=haleto) + $4Bi(OH)_3$ para $3BiOX + Bi_2O_3 + 6H_2O$ (143)

[0513] Os compostos de hidróxido e haleto podem ser selecionados de modo que a reação para formar H_2O e outro haleto seja termicamente reversível. Em uma modalidade, a reação geral de troca é

$NaOH + 1/2H_2 + 1/yM_xCl_y = NaCl + 6H_2O + x/yM$ (171)

[0514] em que exemplos de compostos M_xCl_y are $AlCl_3$, $BeCl_2$, $HfCl_4$, $KAgCl_2$, $MnCl_2$, $NaAlCl_4$, $ScCl_3$, $TiCl_2$, $TiCl_3$, UCl_3, UCl_4, $ZrCl_4$, $EuCl_3$, $GdCl_3$, $MgCl_2$, $NdCl_3$ e YCl_3. A uma temperatura elevada, a reação da Eq. (171), tal como na faixa de cerca de 100 °C a 2.000 °C, tem pelo menos uma dentre uma entalpia e energia livre de cerca de 0 kJ e é reversível. A temperatura reversível é calculada a partir dos parâmetros termodinâmicos correspondentes de cada reação. As faixas de temperatura representativas são NaCl-$ScCl_3$ a cerca de 800 K–900 K, NaCl-$TiCl_2$ a cerca de 300 K–400 K, NaCl-UCl_3 a cerca de 600 K–800 K, NaCl-UCl_4 a cerca de 250 K–300 K, NaCl-$ZrCl_4$ a cerca de 250 K–300 K, NaCl-$MgCl_2$ a cerca de 900 K–1300 K, NaCl-$EuCl_3$ a cerca de 900 K–1.000 K, NaCl-$NdCl_3$ a cerca de >1.000 K e NaCl-YCl_3 a cerca de >1.000 K.

[0515] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende um óxido, tal como um óxido de metal, tais como óxidos de metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna e de terra-rara, e aqueles de outros metais e metaloides, como aqueles de Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se e Te, um peróxido como M_2O_2 em que M é um metal alcalino como Li_2O_2, Na_2O_2 e K_2O_2, e um superóxido como MO_2 em que M é um metal alcalino como NaO_2, KO_2, RbO_2 e CsO_2, e superóxidos de metais alcalino-terrosos e uma fonte de hidrogênio. Os peróxidos iônicos podem

compreender ainda os de Ca, Sr ou Ba. A reação para formar o catalisador H_2O pode compreender a redução de hidrogênio do óxido, peróxido ou superóxido para formar H_2O. Reações exemplares são

$Na_2O + 2H_2$ para $2NaH + H_2O$ (144)

$Li_2O_2 + H_2$ para $Li_2O + H_2O$ (145)

$KO_2 + 3/2H_2$ para $KOH + H_2O$ (146)

[0516] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende uma fonte de hidrogênio, como pelo menos um dentre H_2, um hidreto, como pelo menos um dentre um hidreto de metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna e de terra-rara, e aqueles da presente publicação e uma fonte de hidrogênio, ou outro composto compreendendo hidrogênio combustível, tais como uma amida de metal, e uma fonte de oxigênio, como O_2. A reação para formar catalisador H_2O pode compreender a oxidação de H_2, um hidreto ou composto de hidrogênio, como amida de metal, para formar H_2O. Reações exemplares são

$2NaH + O_2$ para $Na_2O + H_2O$ (147)

$H_2 + 1/2O_2$ para H_2O (148)

$LiNH_2 + 2O_2$ para $LiNO_3 + H_2O$ (149)

$2LiNH_2 + 3/2O_2$ para $2LiOH + H_2O + N_2$ (150)

[0517] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende uma fonte de hidrogênio e uma fonte de oxigênio. A reação para formar o catalisador H_2O pode

compreender a decomposição de pelo menos uma dentre a fonte de hidrogênio e a fonte de oxigênio para formar H_2O. Reações exemplares são

NH_4NO_3 para N_2O + $2H_2O$ (151)

NH_4NO_3 para N_2 + $1/2O_2$ + $2H_2O$ (152)

H_2O_2 para $1/2O_2$ + H_2O (153)

H_2O_2 + H_2 para $2H_2O$ (154)

[0518] As misturas de reação aqui publicadas compreendem ainda uma fonte de hidrogênio para formar hidrinos. A fonte pode ser uma fonte de hidrogênio atômico, como um dissociador de hidrogênio e H_2 gasoso ou um hidreto de metal, como os dissociadores e hidretos de metal da presente publicação. A fonte de hidrogênio para fornecer hidrogênio atômico pode ser um composto compreendendo hidrogênio, tal como um hidróxido ou oxi-hidróxido. O H que reage para formar hidrinos pode ser H nascente formado pela reação de um ou mais reagentes, em que pelo menos um compreende uma fonte de hidrogênio, tal como a reação de um hidróxido e um óxido. A reação também pode formar o catalisador H_2O. O óxido e o hidróxido podem compreender o mesmo composto. Por exemplo, um oxi-hidróxido como FeOOH poderia desidratar para fornecer catalisador H_2O e também fornecer H nascente para uma reação de hidrino durante a desidratação:

$4FeOOH$ para H_2O + Fe_2O_3 + $2FeO$ + O_2 + $2H(1/4)$ (155)

[0519] em que o H nascente formado durante a reação reage com hidrino. Outras reações exemplares são aquelas de um hidróxido e um oxi-hidróxido ou um óxido, tais como NaOH + FeOOH ou Fe_2O_3 para formar um óxido de metal alcalino,

como $NaFeO_2$ + H_2O, em que o H nascente formado durante a reação pode formar hidrino, em que H_2O serve como catalisador. O óxido e o hidróxido podem compreender o mesmo composto. Por exemplo, um oxi-hidróxido como FeOOH poderia desidratar para fornecer catalisador H_2O e também fornecer H nascente para uma reação de hidrino durante a desidratação:

$$4FeOOH \text{ para } H_2O + Fe_2O_3 + 2FeO + O_2 + 2H(1/4) \quad (156)$$

[0520] em que o H nascente formado durante a reação reage com hidrino. Outras reações exemplares são aquelas de um hidróxido e um oxi-hidróxido ou um óxido, tais como NaOH + FeOOH ou Fe_2O_3 para formar um óxido de metal alcalino, como $NaFeO_2$ + H_2O, em que o H nascente formado durante a reação pode formar hidrino, em que H_2O serve como catalisador. O íon hidróxido é reduzido e oxidado na formação de H_2O e íon óxido. O íon óxido pode reagir com H_2O para formar OH^-. A mesma via pode ser obtida com uma reação de troca de hidróxido-haleto, como a seguinte

$$2M(OH)_2 + 2M'X_2 \rightarrow H_2O + 2MX_2 + 2M'O + 1/2O_2 + 2H(1/4) \quad (157)$$

[0521] em que os metais M e M' exemplares são metais alcalino-terrosos e de transição, respectivamente, tais como $Cu(OH)_2$ + $FeBr_2$, $Cu(OH)_2$ + $CuBr_2$ ou $Co(OH)_2$ + $CuBr_2$. Em uma modalidade, o combustível sólido pode compreender um hidróxido de metal e um haleto de metal em que pelo menos um metal é Fe. Pelo menos um dentre H_2O e H_2 pode ser adicionado para regenerar os reagentes. Em uma modalidade, M e M' podem ser selecionados a partir do grupo de metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara, Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, elementos dos Grupos 13, 14, 15 e 16, e outros cátions de hidróxidos ou haletos, tais como aqueles da presente publicação. Uma reação exemplar para formar pelo menos um dentre catalisador HOH, H nascente e hidrino é

$$4MOH + 4M'X \rightarrow H_2O + 2M'_2O + M_2O + 2MX + X_2 + 2H (1/4)$$

(158)

[0522] Em uma modalidade, a mistura de reação compreende pelo menos um dentre um hidróxido e um composto de haleto, como aqueles da presente publicação. Em uma modalidade, o haleto pode servir para facilitar pelo menos uma dentre formação e manutenção de pelo menos um dentre catalisador HOH nascente e H. Em uma modalidade, a mistura pode servir para diminuir o ponto de fusão da mistura de reação.

[0523] Uma reação ácido-base é outra abordagem para o catalisador H_2O. Misturas de haletos e hidróxidos exemplares são aquelas de Bi, Cd, Cu, Co, Mo e Cd e misturas de hidróxidos e haletos de metais com baixa reatividade com água do grupo de Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W e Zn. Em uma modalidade, a mistura de reação compreende ainda H_2O que pode servir como uma fonte de pelo menos um dentre H e catalisador, tal como H_2O nascente. A água pode estar na forma de um hidrato que se decompõe ou reage durante a reação.

[0524] Em uma modalidade, o combustível sólido compreende uma mistura de reação de H_2O e um composto inorgânico que forma H nascente e H_2O nascente. O composto inorgânico pode compreender um haleto, tal como um haleto de metal que reage com o H_2O. O produto da reação pode ser pelo menos um dentre um hidróxido, oxi-hidróxido, óxido, oxi-haleto, hidroxi-haleto e hidrato. Outros produtos podem compreender ânions compreendendo oxigênio e halogênio como XO^-, XO_2^-, XO_3^- e XO_4^- (X = halogênio). O produto também pode ser pelo menos um dentre um cátion reduzido e um gás halogênio. O haleto pode ser um haleto de metal, tal como um de um metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna e de terra-rara, e Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge e B, e outros elementos que formam haletos. O metal ou elemento pode, adicionalmente, ser um que forma

pelo menos um dentre um hidróxido, oxi-hidróxido, óxido, oxi-haleto, hidroxi-haleto, hidrato e um que forma um composto tendo um ânion compreendendo oxigênio e halogênio, como XO^-, XO_2^-, XO_3^- e XO_4^- (X = halogênio). Metais e elementos exemplares adequados são pelo menos um dentre um metal alcalino, alcalino-terroso, de transição, de transição interna e de terra rara, e Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge e B. Uma reação exemplar é

$5MX_2 + 7H_2O$ para $MXOH + M(OH)_2 + MO + M_2O_3 + 11H(1/4) + 9/2X_2$ (159)

em que M é um metal, como um metal de transição, como Cu e X é halogênio, como Cl.

[0525] Em uma modalidade, o combustível sólido ou material energético compreende uma fonte de oxigênio singlete. Uma reação exemplar para gerar oxigênio singlete é

$NaOCl + H_2O_2$ para $O_2 + NaCl + H_2O$ (160)

[0526] Em outra modalidade, o combustível sólido ou material energético compreende uma fonte ou reagentes da reação de Fenton, como H_2O_2.

[0527] Os combustíveis sólidos e as reações podem ser pelo menos um dentre regenerativos e reversíveis por pelo menos um dentre plasma SunCell® ou energia térmica e os métodos aqui publicados e em aplicações anteriores de Mills, como Reator catalisador de hidrogênio, PCT/US08/61455, protocolado PCT 24/04/2008; Reator catalisador de hidrogênio heterogêneo, PCT/US09/052072, protocolado PCT 29/07/2009; Sistema de energia de catalisador de hidrogênio heterogêneo, PCT/US10/27828, protocolado PCT 18/03/2010; Sistema de energia de catalisador de hidrogênio eletroquímico, PCT/US11/28889, protocolado PCT 17/03/2011; Sistema de energia de catalisador de hidrogênio eletroquímico baseado em H_2O, PCT/US12/31369 protocolado em 30/03/2012 e Sistema de energia CIHT,

PCT/US13/041938 protocolado em 21/05/13 aqui incorporados por referência em sua totalidade.

[0528] Em uma modalidade, a reação de regeneração de uma mistura de compostos de hidróxido e haleto, como $Cu(OH)_2 + CuBr_2$ pode ser pela adição de pelo menos um H_2 e H_2O. Ciclos de combustível sólido termicamente reversíveis exemplares são

T 100 $2CuBr_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CuO + 2CaBr_2 + H_2O$ (161)

T 730 $CaBr_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2HBr$ (162)

T 100 $CuO + 2HBr \rightarrow CuBr_2 + H_2O$ (163)

T 100 $2CuBr_2 + Cu(OH)_2 \rightarrow 2CuO + 2CaBr_2 + H_2O$ (164)

T 730 $CuBr_2 + 2H_2O \rightarrow Cu(OH)_2 + 2HBr$ (165)

T 100 $CuO + 2HBr \rightarrow CuBr_2 + H_2O$ (166)

[0529] Em uma modalidade, em que pelo menos um dentre um metal alcalino M, como K ou Li, e nH (n = inteiro), OH, O, 2O, O_2 e H_2O servem como catalisador, a fonte de H é pelo menos um dentre um hidreto de metal, como MH e a reação de pelo menos um dentre um metal M e um hidreto de metal MH com uma fonte de H para formar H. Um produto pode ser um M oxidado, como um óxido ou hidróxido. A reação para criar pelo menos um dentre hidrogênio atômico e catalisador pode ser uma reação de transferência de elétrons ou uma reação de oxidação-redução. A mistura de reação pode compreender ainda pelo menos um dentre H_2, um dissociador de H_2,

como pelo menos um dentre o SunCell® e os da presente publicação, como tela de Ni ou R-Ni e um suporte eletricamente condutor, como esses dissociadores e outros assim como os suportes da presente publicação, tais como carbono e carbeto, um boreto e um carbonitreto. Uma reação de oxidação exemplar de M ou MH é

$$4MH + Fe_2O_3 \text{ para } + H_2O + H(1/p) + M_2O + MOH + 2Fe + M \quad (167)$$

em que pelo menos um dentre H_2O e M pode servir como catalisador para formar $H(_1/p)$.

[0530] Em uma modalidade, a fonte de oxigênio é um composto que tem um calor de formação semelhante ao da água, de modo que a troca de oxigênio entre o produto reduzido do composto da fonte de oxigênio e o hidrogênio ocorre com o mínimo de liberação de energia. Compostos de fonte de oxigênio exemplares adequados são CdO, CuO, ZnO, SO_2, SeO_2 e TeO_2. Outros, como óxidos de metal, também podem ser anidridos de ácidos ou bases que podem sofrer reações de desidratação, já que as fontes do catalisador H_2O são MnO_x, AlO_x e SiO_x. Em uma modalidade, uma fonte de oxigênio de camada de óxido pode cobrir uma fonte de hidrogênio, como um hidreto de metal, como hidreto de paládio. A reação para formar catalisador H_2O e H atômico que posteriormente reagem para formar hidrino pode ser iniciada por aquecimento da fonte de hidrogênio revestida com óxido, tal como hidreto de paládio revestido com óxido de metal. Em uma modalidade, a reação para formar o catalisador hidrino e a reação de regeneração compreendem uma troca de oxigênio entre o composto fonte de oxigênio e hidrogênio e entre água e o composto fonte de oxigênio reduzido, respectivamente. Fontes de oxigênio reduzido adequadas são Cd, Cu, Zn, S, Se e Te. Em uma modalidade, a reação de troca de oxigênio pode compreender aqueles usados para formar gás hidrogênio termicamente. Métodos térmicos exemplares são o ciclo de óxido de ferro, ciclo de óxido de óxido de cério(IV)-óxido de cério(III), ciclo de zinco-óxido de zinco, ciclo de enxofre-iodo, ciclo de cobre-cloro e ciclo

de enxofre híbrido e outros conhecidos pelos especialistas na técnica. Em uma modalidade, a reação para formar hidrino catalisador e a reação de regeneração, como uma reação de troca de oxigênio, ocorrem simultaneamente no mesmo vaso de reação. As condições, tais como temperatura e pressão, podem ser controladas para atingir a simultaneidade da reação. Alternativamente, os produtos podem ser removidos e regenerados em pelo menos um outro vaso separado que pode ocorrer em condições diferentes daquelas da reação de formação de energia, conforme fornecido na presente publicação e nos pedidos anteriores de Mills.

[0531] O combustível sólido pode compreender diferentes íons, como alcalino, alcalino-terroso e outros cátions com ânions, como haletos e oxiânions. O cátion do combustível sólido pode compreender pelo menos um dentre metais alcalinos, metais alcalino-terrosos, metais de transição, metais de transição interna, metais de terra-rara, Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Ga, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr, Sn, In, Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, W e outros cátions conhecidos na técnica que formam compostos iônicos. O ânion pode compreender pelo menos um dentre um hidróxido, um haleto, óxido, calcogeneto, sulfato, fosfato, fosfeto, nitrato, nitreto, carbonato, cromato, siliceto, arseneto, boreto, perclorato, periodato, óxido de cobalto e magnésio, óxido de níquel e magnésio, óxido de cobre e magnésio, aluminato, tungstato, zirconato, titanato, manganato, carbeto, óxido de metal, óxido de não metal; óxido de metais alcalinos, alcalino-terrosos, de transição, de transição interna e de terra-rara e Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge e B, e outros elementos que formam um óxido ou oxiânion; $LiAlO_2$, MgO, CaO, ZnO, CeO_2, CuO, CrO_4, Li_2TiO_3 ou $SrTiO_3$, um óxido que compreende um elemento, metal, liga ou mistura do grupo de Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf e Co; MoO_2, TiO_2, ZrO_2, SiO_2, Al_2O_3, NiO, FeO ou Fe_2O_3, TaO_2, Ta_2O_5, VO, VO_2, V_2O_3, V_2O_5, B_2O_3, NbO, NbO_2, Nb_2O_5, SeO_2, SeO_3, TeO_2, TeO_3, WO_2, WO_3, Cr_3O_4, Cr_2O_3, CrO_2,

CrO_3, MnO, Mn_3O_4, Mn_2O_3, MnO_2, Mn_2O_7, HfO_2, CoO, Co_2O_3, Co_3O_4, Li_2MoO_3 ou Li_2MoO_4, Li_2TiO_3, Li_2ZrO_3, Li_2SiO_3, $LiAlO_2$, $LiNiO_2$, $LiFeO_2$, $LiTaO_3$, $LiVO_3$, $Li_2B_4O_7$, Li_2NbO_3, Li_2PO_4, Li_2SeO_3, Li_2SeO_4, Li_2TeO_3, Li_2TeO_4, Li_2WO_4, Li_2CrO_4, $Li_2Cr_2O_7$, Li_2MnO_3, Li_2MnO_4, Li_2HfO_3, $LiCoO_2$, Li_2MoO_4, MoO_2, Li_2WO_4, Li_2CrO_4 e $Li_2Cr_2O_7$, S, Li_2S, MoO_2, TiO_2, ZrO_2, SiO_2, Al_2O_3, NiO, FeO ou Fe_2O_3, TaO_2, Ta_2O_5, VO, VO_2, V_2O_3, V_2O_5, P_2O_3, P_2O_5, B_2O_3 e outros ânions conhecidos na técnica que formam compostos iônicos.

[0532] Em uma modalidade, o grupo NH_2 de uma amida como $LiNH_2$ serve como catalisador em que a energia potencial é de cerca de 81,6 eV ou cerca de 3 x 27,2 eV. Similar à eliminação reversível de H_2O ou reação de adição entre ácido ou base para o anidrido e vice-versa, a reação reversível entre a amida e imida ou nitreto resulta na formação do catalisador NH_2, que reage posteriormente com H atômico para formar hidrinos. A reação reversível entre amida e pelo menos um dentre imida e nitreto também pode servir como uma fonte de hidrogênio, como H atômico.

[0533] Combustível sólido fundido e células de eletrólise

[0534] Em uma modalidade, um reator para formar energia térmica e espécies de hidrogênio de energia mais baixa, como H(1/p) e H_2(1/p), em que p é um número inteiro compreende um sal fundido que serve como uma fonte de pelo menos um dentre H e catalisador HOH. O sal fundido pode compreender uma mistura de sais, como uma mistura eutética. A mistura pode compreender pelo menos um dentre um hidróxido e um haleto, como uma mistura de pelo menos um dentre hidróxidos alcalinos e alcalino-terrosos e haletos, como LiOH-LiBr ou KOH-KCl. O reator pode compreender ainda um aquecedor, uma fonte de alimentação do aquecedor e um controlador de temperatura para manter o sal em um estado fundido. A fonte de pelo menos um dentre H e catalisador HOH pode compreender água. A água pode ser dissociada no sal fundido. O sal fundido pode compreender ainda um aditivo, como pelo menos um dentre um óxido e um metal, como um metal dissociador de hidrogênio, tal como pelo

menos um compreendendo Ti, Ni, e um metal nobre, como Pt ou Pd, para fornecer pelo menos um dentre H e catalisador HOH. Em uma modalidade, H e HOH podem ser formados pela reação de pelo menos um dentre o hidróxido, o haleto e a água presente no sal fundido. Em uma modalidade exemplar, pelo menos um dentre H e HOH pode ser formado por desidratação de MOH (M = alcalino): 2MOH para M_2O + HOH; MOH + H_2O para MOOH + 2H; MX + H_2O (X = haleto) para MOX + 2H, em que a desidratação e a reação de troca podem ser catalisadas por MX. Outras modalidades das reações do sal fundido são fornecidas na publicação de combustíveis sólidos, em que essas reações podem também compreender reações e reagentes de combustível sólido SunCell®.

[0535] Em uma modalidade, um reator para formar energia térmica e espécies de hidrogênio de energia mais baixa, como H(1/p) e H_2(1/p), em que p é um número inteiro, compreende um sistema de eletrólise que compreende pelo menos dois eletrodos e fonte de alimentação de eletrólise, um controlador de eletrólise, um eletrólito de sal fundido, um aquecedor, um sensor de temperatura e um controlador de aquecedor para manter uma temperatura desejada, e uma fonte de pelo menos um dentre H e catalisador HOH. Os eletrodos podem ser estáveis no eletrólito. Eletrodos exemplares são eletrodos de níquel e metal nobre. Água pode ser fornecida à célula e uma tensão, como uma tensão CC pode ser aplicada aos eletrodos. Hidrogênio pode se formar no cátodo e oxigênio pode se formar no ânodo. O hidrogênio pode reagir com catalisador HOH também formado na célula para formar hidrino. O catalisador HOH pode ser de água adicionada. A energia da formação de hidrino pode produzir calor na célula. A célula pode ser bem isolada de modo que o calor da reação de hidrino possa reduzir a quantidade de energia necessária para o aquecedor manter o sal fundido. O isolamento pode compreender uma camisa de vácuo, ou outro isolamento térmico conhecido na técnica, como isolamento de fibra cerâmica. O reator pode compreender ainda um trocador de calor. O trocador de calor pode remover o excesso de

calor a ser entregue a uma carga externa.

[0536] O sal fundido pode compreender um hidróxido com pelo menos um outro sal, tal como um escolhido dentre um ou mais outros hidróxidos, haletos, nitratos, sulfatos, carbonatos e fosfatos. Em uma modalidade, a mistura de sal pode compreender um hidróxido de metal e o mesmo metal com outro ânion da publicação, tais como haleto, nitrato, sulfato, carbonato e fosfato. O sal fundido pode compreender pelo menos uma mistura de sal escolhida a partir de $CsNO_3$-CsOH, CsOH-KOH, CsOH-LiOH, CsOH-NaOH, CsOH-RbOH, K_2CO_3-KOH, KBr-KOH, KCl-KOH, KF-KOH, KI-KOH, KNO_3-KOH, KOH-K_2SO_4, KOH-LiOH, KOH-NaOH, KOH-RbOH, Li_2CO_3-LiOH, LiBr-LiOH, LiCl-LiOH, LiF-LiOH, LiI-LiOH, $LiNO_3$-LiOH, LiOH-NaOH, LiOH-RbOH, Na_2CO_3-NaOH, NaBr-NaOH, NaCl-NaOH, NaF-NaOH, NaI-NaOH, $NaNO_3$-NaOH, NaOH-Na_2SO_4, NaOH-RbOH, RbCl-RbOH, $RbNO_3$-RbOH, LiOH-LiX, NaOH-NaX, KOH-KX, RbOH-RbX, CsOH-CsX, $Mg(OH)_2$-MgX_2, $Ca(OH)_2$-CaX_2, $Sr(OH)_2$-SrX_2 ou $Ba(OH)_2$-BaX_2, em que X = F, Cl, Br ou I e LiOH, NaOH, KOH, RbOH, CsOH, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$ ou $Ba(OH)_2$, e um ou mais dentre AlX_3, VX_2, ZrX_2, TiX_3, MnX_2, ZnX_2, CrX_2, SnX_2, InX_3, CuX_2, NiX_2, PbX_2, SbX_3, BiX_3, CoX_2, CdX_2, GeX_3, AuX_3, IrX_3, FeX_3, HgX_2, MoX_4, OsX_4, PdX_2, ReX_3, RhX_3, RuX_3, SeX_2, AgX_2, TcX_4, TeX_4, TlX e WX_4, em que X = F, Cl, Br ou I. O sal fundido pode compreender um cátion que é comum aos ânions do eletrólito da mistura de sal; ou o ânion é comum aos cátions, e o hidróxido é estável aos outros sais da mistura. A mistura pode ser uma mistura eutética. A célula pode funcionar a uma temperatura próxima do ponto de fusão da mistura eutética, mas pode ser operada a temperaturas mais elevadas. A tensão de eletrólise pode ser pelo menos uma faixa de cerca de 1 V a 50 V, 2 V a 25 V, 2 V a 10 V, 2 V a 5 V e 2 V a 3,5 V. A densidade de corrente pode estar em pelo menos uma faixa de cerca de 10 mA/cm^2 a 100 A/cm^2, 100 mA/cm^2 a 75 A/cm^2, 100 mA/cm^2 a 50 A/cm^2, 100 mA/cm^2 a 20 A/cm^2 e 100 mA/cm^2 a 10 A/cm^2.

[0537] Em outra modalidade, o sistema de energia térmica de eletrólise

compreende ainda um eletrodo de hidrogênio, como um eletrodo permeável a hidrogênio. O eletrodo de hidrogênio pode compreender gás H_2 permeado através de uma membrana de metal, como Ni, V, Ti, Nb, Pd, PdAg ou Fe designado por Ni(H_2), V(H_2), Ti(H_2), Nb(H_2), Pd(H_2), PdAg(H_2), Fe(H_2) ou 430 SS(H_2). Eletrodos permeáveis a hidrogênio adequados para um eletrólito alcalino compreendem Ni e ligas como LaNi5, metais nobres como Pt, Pd e Au e níquel, ou metais permeáveis a hidrogênio revestidos com metal nobre, como V, Nb, Fe, liga Fe-Mo, W, Mo, Rh, Zr, Be, Ta, Rh, Ti, Th, Pd, Ag revestido com Pd, V revestido com Pd, Ti revestido com Pd, terra-raras, outros metais refratários, aço inoxidável (SS), como 430 SS, e outros metais conhecidos dos especialistas na técnica. O eletrodo de hidrogênio designado M(H_2), em que M é um metal através do qual H_2 é permeado, pode compreender pelo menos um dentre Ni(H_2), V(H_2), Ti(H_2), Nb(H_2), Pd(H_2), PdAg(H_2), Fe(H_2) e 430 SS(H_2). O eletrodo de hidrogênio pode compreender um eletrodo poroso que pode espalhar H_2. O eletrodo de hidrogênio pode compreender um hidreto, como um hidreto escolhido dentre R-Ni, $LaNi_5H_6$, $La_2Co_1Ni_9H_6$, $ZrCr_2H_{3,8}$, $LaNi_{3,55}Mn_{0,4}Al_{0,3}Co_{0,75}$, $ZrMn_{0,5}Cr_{0,2}V_{0,1}Ni_{1,2}$ e outras ligas capazes de armazenar hidrogênio, tipo AB_5 (LaCePrNdNiCoMnAl) ou tipo AB_2 (VTiZrNiCrCoMnAlSn), onde a designação "AB_x" se refere à razão dos elementos do tipo A (LaCePrNd ou TiZr) para os elementos do tipo B (VNiCrCoMnAlSn), tipo AB_5: $MmNi_{3,2}Co_{1,0}Mn_{0,6}Al_{0,11}Mo_{0,09}$ (Mm = mischmetal: 25% em peso La, 50% em peso Ce, 7% em peso Pr, 18% em peso Nd), tipo AB_2: ligas de $Ti_{0,51}Zr_{0,49}V_{0,70}Ni_{1,18}Cr_{0,12}$, ligas baseadas em magnésio, liga de $Mg_{1,9}Al_{0,1}Ni_{0,8}Co_{0,1}Mn_{0,1}$, $Mg_{0,72}Sc_{0,28}(Pd_{0,012} + Rh_{0,012})$ e $Mg_{80}Ti_{20}$, $Mg_{80}V_{20}$, $La_{0,8}Nd_{0,2}Ni_{2,4}Co_{2,5}Si_{0,1}$, $LaNi_{5-x}M_x$ (M= Mn, Al), (M= Al, Si, Cu), (M= Sn), (M= Al, Mn, Cu) e $LaNi_4Co$, $MmNi_{3,55}Mn_{0,44}Al_{0,3}Co_{0,75}$, $LaNi_{3,55}Mn_{0,44}Al_{0,3}Co_{0,75}$, $MgCu_2$, $MgZn_2$, $MgNi_2$, compostos AB, TiFe, TiCo e TiNi, compostos AB_n (n = 5, 2 ou 1), compostos AB_{3-4}, AB_x (A = La, Ce, Mn, Mg; B = Ni, Mn, Co, Al), $ZrFe_2$, $Zr_{0,5}Cs_{0,5}Fe_2$, $Zr_{0,8}Sc_{0,2}Fe_2$, YNi_5, $LaNi_5$, $LaNi_{4,5}Co_{0,5}$, (Ce, La, Nd, Pr)Ni_5, liga mischmetal-níquel, $Ti_{0,98}Zr_{0,02}V_{0,43}Fe_{0,09}Cr_{0,05}Mn_{1,5}$, $La_2Co_1Ni_9$, FeNi e

$TiMn_2$. Em uma modalidade, o cátodo de eletrólise compreende pelo menos um dentre um eletrodo de redução de H_2O e o eletrodo de hidrogênio. Em uma modalidade, o ânodo de eletrólise compreende pelo menos um dentre um eletrodo de oxidação de OH^- e o eletrodo de hidrogênio.

[0538] Em uma modalidade da publicação, o sistema de energia térmica de eletrólise compreende pelo menos um dentre [M'''/MOH-M'haleto/M''(H_2)], [M'''/$M(OH)_2$-M'haleto/M''(H_2)], [M''(H_2)/MOH-M'haleto/M'''] e [M''(H_2)/$M(OH)_2$-M'haleto/M'''], em que M é um metal alcalino ou alcalino-terroso, M' é um metal com hidróxidos e óxidos que são pelo menos um dentre menos estáveis do que aqueles de metais alcalinos ou alcalino-terrosos ou têm uma reatividade baixa com água, M'' é um metal permeável a hidrogênio e M''' é um condutor. Em uma modalidade, M' é um metal como um escolhido dentre Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr, In, Pt e Pb. Alternativamente, M e M' podem ser metais, tais como aqueles escolhidos independentemente dentre Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr, Sn, In, Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl e W. Outros sistemas exemplares compreendem [M''/MOH M''X/M'(H_2)] e [M'(H_2)/MOH M'X/M'')] em que M, M', M'' e M''' são cátions de metal ou metal, X é um ânion como um escolhido dentre hidróxidos, haletos, nitratos, sulfatos, carbonatos e fosfatos, e M' é permeável a H_2. Em uma modalidade, o eletrodo de hidrogênio compreende um metal tal como pelo menos um escolhido dentre V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr, Sn, In, Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc, Te, Tl, W e um metal nobre. Em uma modalidade, o sistema de energia eletroquímica compreende uma fonte de hidrogênio, um eletrodo de hidrogênio capaz de fornecer ou formar H atômico, um eletrodo capaz de formar pelo menos um dentre H, H_2, OH, OH^- e catalisador H_2O, uma fonte de pelo menos um dentre O_2 e H_2O, um cátodo capaz de reduzir pelo menos um dentre H_2O e O_2, um eletrólito alcalino e um sistema

para coletar e recircular pelo menos um dentre vapor de H_2O, N_2 e O_2, e H_2. As fontes de H_2, água e oxigênio podem compreender aquelas da publicação.

[0539] Em uma modalidade, H_2O fornecido ao sistema de eletrólise pode servir como catalisador HOH, que catalisa átomos de H formados no cátodo em hidrinos. H fornecido pelo eletrodo de hidrogênio também pode servir como H reagente para formar hidrino, como H(1/4) e H_2(1/4). Em outra modalidade, o catalisador H_2O pode ser formado pela oxidação de OH^- no ânodo e a reação com H de uma fonte. A fonte de H pode ser de pelo menos uma dentre a eletrólise do eletrólito, tal como uma compreendendo pelo menos um dentre hidróxido e H_2O e o eletrodo de hidrogênio. O H pode se difundir do cátodo para o ânodo. Exemplos de reações no cátodo e ânodo são:

Reação de eletrólise no cátodo

$2H_2O + 2e^- \text{ para } H_2 + 2OH^-$ (168)

Reações de eletrólise no ânodo

$1/2H_2 + OH^- \text{ para } H_2O + e^-$ (169)

$H_2 + OH^- \text{ para } H_2O + e^- + H(1/4)$ (170)

$OH^- + 2H \text{ para } H_2O + e^- + H(1/4)$ (171)

[0540] Em relação à reação de oxidação do OH^- no ânodo para formar catalisador HOH, o OH^- pode ser substituído pela redução de uma fonte de oxigênio como O_2 no cátodo. Em uma modalidade, o ânion do eletrólito fundido pode servir como uma fonte de oxigênio no cátodo. Os ânions adequados são oxiânions como CO_3^{2-}, SO_4^{2-} e PO_4^{3-}. O ânion CO_3^{2-} como pode formar uma solução básica. Uma reação exemplar

no cátodo é

Cátodo

CO_3^{2-} + 4e- + 3H2O para C + 6OH-

(172)

[0541] A reação pode envolver uma reação de oxidação-redução de meia-célula reversível, como

CO_3^{2-} + H2O para CO2 + 2OH-

(173)

[0542] A redução de H2O em OH- + H pode resultar em uma reação no cátodo para formar hidrinos, em que H2O serve como catalisador. Em uma modalidade, CO2, SO2, NO, NO2, PO2 e outros reagentes semelhantes podem ser adicionados à célula como uma fonte de oxigênio.

[0543] Além das células eletrolíticas fundidas, existe a possibilidade de gerar o catalisador H2O em células eletrolíticas fundidas ou aquosas alcalinas ou de carbonato em que H é produzido no cátodo. O cruzamento do eletrodo de H formado no cátodo pela redução de H2O em OH- + H pode dar origem à reação da Eq. (171). Alternativamente, existem várias reações envolvendo carbonato que podem dar origem ao catalisador H2O, como aquelas envolvendo uma reação de oxidação-redução interna reversível, como

$$CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow CO_2 + 2OH^-$$

(174)

bem como reações de meia-célula, como

$$CO_3^{2-} + 2H \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$$

(175)

$$CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$$

(176)

Compostos de hidrino ou composições de matéria

[0544] Os compostos de hidrino que compreendem espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular, podem ser identificados por (i) espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) e ionização por eletro-pulverização de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF), que pode registrar o hidretos metálicos exclusivos, íon hidreto e aglomerados de íons inorgânicos com $H_2(1/4)$ ligado, tal como na forma de um monômero M + 2 ou unidades de multímero, tais como $K^+\left[H_2\left(1/4\right):K_2CO_3\right]_n$ e $K^+\left[H_2\left(1/4\right):KOH\right]_n$, em que n é um número inteiro; (ii) espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) que pode registrar pelo menos uma energia rotacional de $H_2(1/4)$ em cerca de 1.940 cm^{-1} e faixas de libação na região de impressão digital em que outras características de alta energia de grupos funcionais conhecidos podem estar ausentes; (iii) espectroscopia de ressonância magnética nuclear com rotação de ângulo mágico de prótons (^{1}H MAS RMN) que pode registrar um pico de matriz superior, tal como um na região de -4 ppm a -6 ppm; (iv) difração de raios X (XRD) que pode registrar novos picos devido à composição única que pode compreender uma estrutura polimérica; (v) análise gravimétrica térmica (TGA) que pode registrar uma decomposição dos polímeros de hidrogênio em temperatura muito baixa, como na região de 200 °C a 900 °C, e fornecer a composição ou estequiometria única de hidrogênio, tais como FeH ou $K_2CO_3H_2$; (vi) espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons que pode registrar a banda rovibracional de $H_2(1/4)$ na região de 260 nm, compreendendo picos espaçados a 0,25 eV; (vii) espectroscopia Raman de fotoluminescência que pode registrar a segunda ordem da banda rovibracional de $H_2(1/4)$ na região de 260 nm, compreendendo picos espaçados a 0,25 eV; (viii) pelo menos uma dentre a banda rovibracional de $H_2(1/4)$ de primeira ordem na região de 260 nm compreendendo picos espaçados a 0,25 eV registrados por espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons, e a segunda ordem da banda rovibracional de $H_2(1/4)$ registrada por espectroscopia Raman de fotoluminescência pode diminuir

reversivelmente em intensidade com a temperatura, quando resfriada termicamente por um crioresfriador; (ix) espectroscopia de emissão rovibracional, em que a banda rovibracional de $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$ pode ser excitada por luz de alta energia, como luz de pelo menos a energia da emissão rovibracional; (x) espectroscopia Raman que pode registrar pelo menos um dentre um espectro Raman contínuo na faixa de 40 a 8.000 cm^{-1} e um pico na faixa de 1.500 a 2.000 cm^{-1} devido a pelo menos um dentre deslocamentos paramagnéticos e de nanopartículas; (xi) espectroscopia na banda rovibracional de $H_2(1/4)$ na fase gasosa ou incorporado em um líquido ou sólido, como uma matriz cristalina, como uma que compreende KCl, que é excitado com um plasma, como um plasma de hélio ou hidrogênio, como um plasma de micro-ondas, RF ou descarga luminescente; (xii) espectroscopia Raman que pode registrar o pico rotacional de $H_2(1/4)$ em cerca de um ou mais dentre 1.940 cm^{-1} ± 10% e 5.820 cm^{-1} ± 10%; (xiii) espectroscopia de fotoelétron de raios X (XPS) que pode registrar a energia total de $H_2(1/4)$ em cerca de 495–500 eV; (xiv) cromatografia gasosa que pode registrar um pico negativo, em que o pico pode ter um tempo de migração mais rápido do que hélio ou hidrogênio; (xv) espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) que pode registrar pelo menos um dentre um pico de $H_2(1/4)$ com fator g de cerca de 2,0046 ± 20% e divisão de prótons, como uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV ± 20% e um produto de hidrogênio compreendendo um dímero molecular de hidrogênio $[H_2(1/4)]_2$ em que o espectro de EPR mostra uma energia de divisão de dipolo elétron-elétron de cerca de 9,9 x 10^{-5} eV ± 20% e uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV ± 20%; (xvi) medições de momento quadrupolo, como suscetibilidade magnética e medições de fator g que registram um momento quadrupolo/e de $H_2(1/p)$ de cerca de $\frac{1.70127 a_0^2}{p^2}$, e (xvii) cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) que mostra picos cromatográficos com tempos de retenção mais longos do que o tempo de volume morto do carreador usando uma coluna orgânica com um solvente, tal como um

compreendendo água ou água-metanol-ácido fórmico e eluentes, tais como um gradiente água + acetato de amônio + ácido fórmico e acetonitrila/água + acetato de amônio + ácido fórmico, em que a detecção dos picos por espectroscopia de massa, como ESI-ToF, mostra fragmentos de pelo menos um composto iônico ou inorgânico, como fragmentos tipo $NaGaO_2$ de uma amostra preparada pela dissolução de Ga_2O_3 do SunCell® em NaOH. Moléculas de hidrino podem formar pelo menos um dentre dímeros e $H_2(1/p)$ sólido. Em uma modalidade, a energia rotacional ponta a ponta de transição J para J +1 inteiro do dímero de $H_2(1/4)$ ($[H_2(1/4)_2$) e do dímero de $D_2(1/4)$ ($[D_2(1/4)]_2$) são de cerca de (J+1)44,30 cm^{-1} e (J+1)22,15 cm^{-1}, respectivamente. Em uma modalidade, pelo menos um parâmetro de $[H_2(1/4)]_2$) é (i) uma distância de separação entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 1,028 Å, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 23 cm^{-1} e (iii) uma força de Van der Waals entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 0,0011 eV. Em uma modalidade, pelo menos um parâmetro de $H_2(1/4)$ sólido é (i) uma distância de separação entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 1,028 Å, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 23 cm^{-1} e (iii) uma força de Van der Waals entre moléculas de $H_2(1/4)$ de cerca de 0,019 eV. Pelo menos um dentre os espectros rotacional e vibracional pode ser registrado por pelo menos um dentre espectroscopia Raman e FTIR, em que a energia de dissociação da ligação e a distância de separação também podem ser determinadas a partir dos espectros. A solução dos parâmetros dos produtos de hidrino é dada em Mills GUTCP [que é aqui incorporado por referência, disponível em https://brilliantlightpower.com], como nos capítulos 5-6, 11-12 e 16.

[0545] Em uma modalidade, um aparelho para coletar hidrino molecular em estado gasoso, fisicamente absorvido, liquefeito ou em outro estado, compreende uma fonte de macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, uma câmara para conter os macroagregados ou polímeros, compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, um meio para decompor

termicamente os macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia na câmara, e um meio para coletar o gás liberado pelos macroagregados ou polímeros, compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia. Os meios de decomposição podem compreender um aquecedor. O aquecedor pode aquecer a primeira câmara a uma temperatura superior à temperatura de decomposição dos macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como uma temperatura em pelo menos uma faixa dentre cerca de 10 °C a 3.000 °C, 100 °C a 2.000 °C e 100 °C a 1.000 °C. Os meios para coletar o gás da decomposição de macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia podem compreender uma segunda câmara. A segunda câmara pode compreender pelo menos um dentre uma bomba de gás, uma válvula de gás, um manômetro e um controlador de fluxo de massa para pelo menos um dentre armazenar e transferir o gás hidrino molecular coletado. A segunda câmara pode ainda compreender um getter para absorver gás hidrino molecular ou um resfriador como um sistema criogênico para liquefazer o hidrino molecular. O resfriador pode compreender uma bomba criogênica ou dewar contendo um líquido criogênico, como hélio líquido ou nitrogênio líquido.

[0546] Os meios para formar macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia podem compreender ainda uma fonte de campo, tal como uma fonte de pelo menos um dentre um campo elétrico ou um campo magnético. A fonte do campo elétrico pode compreender pelo menos dois eletrodos e uma fonte de tensão para aplicar o campo elétrico à câmara de reação, em que o agregado ou polímeros são formados. Alternativamente, a fonte de campo elétrico pode compreender um material carregado eletrostaticamente. O material carregado eletrostaticamente pode compreender a câmara da célula de reação, como uma câmara que compreende carbono, tal como uma câmara de Plexiglas. A detonação da publicação pode carregar eletrostaticamente a câmara da célula de reação. A fonte

do campo magnético pode compreender pelo menos um ímã, como um ímã permanente, eletroímã ou ímã supercondutor, para aplicar o campo magnético à câmara de reação em que o agregado ou polímeros são formados.

[0547] As equações dos cálculos de EPR neste documento da forma (#.#) e as seções referenciadas correspondem às de MILLS GUT. Hidrino molecular $H_2\left(1/p\right)$ compreende (i) dois elétrons ligados em uma membrana de corrente bidimensional de energia mínima, equipotencial, prolata esferoidal compreendendo um orbital molecular (MO), (ii) dois $Z=1$ núcleos , como dois prótons nos focos do esferoide prolato, e (iii) um fóton em que a equação do fóton de cada estado é diferente daquela de um H_2 em estado excitado dado na seção Estados Excitados da Molécula de Hidrogênio, em que o fóton aumenta o campo central em um número inteiro, em vez de diminuir o campo esferoidal prolato central para aquele de um número inteiro recíproco da carga fundamental em cada núcleo centrado nos focos do esferoide, e os elétrons de $H_2\left(1/p\right)$ são emparelhados na mesma camada na mesma posição ξ versus estarem em posições separadas ξ. A interação do campo elétrico do fóton no estado hidrino, com cada elétron dando origem a um monopolo radial não radiativo, de maneira que o estado é estável. Em contraste, pelo mesmo mecanismo o fóton em estado excitado de H_2 dá origem a um dipolo radial radiativo no elétron de estado excitado externo, resultando em um estado instável à radiação. Para estados excitados, o campo elétrico do fóton compreende um harmônico esferoidal prolongado no espaço e no tempo que modula a corrente esferoidal prolata constante do elétron externo em fase. O primeiro corresponde ao momento angular orbital e o último corresponde ao momento angular de rotação. Devido ao estado estável único de hidrino molecular compreendendo dois elétrons não radiativos em um único MO, a natureza do campo de fótons aprisionado, a natureza da propagação de fótons de vetor dentro do hidrino molecular, servindo como uma cavidade de ressonador, e a natureza das correntes de elétrons são únicas.

[0548] Considere a formação de uma molécula H_2 de estado não radiativo a partir de dois átomos de H de estado não radiativo $n=1$ requerendo que a energia de ligação seja removida por uma colisão com um terceiro corpo:

$$H + H + M \rightarrow H_2 + M^*$$

(16.216)

[0549] em que M^* denota o terceiro corpo em um estado energético. O hidrino molecular pode se formar pelo mesmo mecanismo não radiativo, em que átomos de hidrino e moléculas de hidrino compreendem um componente de fóton adicional do campo central que é não radiativo em virtude de ser equivalente a um múltiplo inteiro do campo central de um próton na origem e em cada foco do esferoide prolato MO, respectivamente. A combinação de dois elétrons em um único orbital molecular, mantendo o campo central fotônico inteiro sem radiação, dá origem ao caso especial de um estado MO de dupleto em hidrino molecular, em vez de um estado de singleto. O estado de singleto é não magnético; enquanto o estado de dupleto tem um momento magnético líquido de um magnéton de Bohr μ_B.

[0550] Especificamente, o elemento de base da corrente de cada átomo tipo hidrogênio é um grande círculo, como mostrado na seção Geração do Orbital Atômico-CVFS, e os elementos de base da corrente do grande círculo transicionam para elementos de base da corrente elíptica em moléculas tipo de hidrogênio, como mostrado na seção Equilíbrio de Força de Moléculas Tipo Hidrogênio. Conforme mostrado na Equação do campo elétrico dentro da seção Orbital Atômico, (i) os fótons carregam o campo elétrico e compreendem loops de linha de campo fechado, (ii) um hidrino ou hidrino molecular compreende um fóton aprisionado em que os loops de linha de campo de fóton viajam, cada um, ao longo de elemento de base de loop de corrente elíptico ou de grande círculo acoplado na mesma direção vetorial, (iii) a direção de cada linha de campo aumenta na direção perpendicular à direção de propagação com movimento relativo, conforme exigido pela relatividade especial, e (iv) como a

velocidade linear de cada ponto ao longo de um loop de linha de campo de um fóton capturado é a velocidade da luz $\boldsymbol{c}$, a direção do campo elétrico, em relação à estrutura do laboratório, é puramente perpendicular ao seu loop de corrente acoplado e existe apenas em $\delta\left(r-r_n\right)$. Os elétrons emparelhados do orbital molecular do hidrogênio compreendem um estado singlete sem momento magnético líquido. No entanto, as linhas de campo de fótons de dois átomos de hidrino que se sobrepõem durante a formação de um hidrino molecular só podem se propagar em uma direção para evitar o cancelamento e dar origem a um campo central para fornecer equilíbrio de força entre as forças centrífuga e central (Eq. (11.200)). Este caso especial dá origem a um estado de dupleto em hidrino molecular.

[0551] O MO pode ser tratado como uma combinação linear das grandes elipses que compreendem a função de densidade de corrente de cada elétron, conforme dado na seção Geração da Orbitasfera-CVFS, e na seção Equilíbrio de Força de Moléculas Tipo Hidrogênio. Para atender às condições de limite em que o fóton é combinado na direção com a corrente de elétrons e que o momento angular do elétron é $\hbar$ sejam satisfeitas, uma metade do elétron 1 e uma metade do elétron 2 podem ser giradas para cima e combinadas com os dois fótons, e a outra metade do elétron 1 pode ser girada para cima e a outra metade do elétron 2 pode ser girada para baixo, de modo que uma metade das correntes esteja emparelhada e a outra metade não esteja emparelhada. Dada a indivisibilidade de cada elétron e a condição de que o MO compreende dois elétrons idênticos, a força dos dois fótons é transferida para a totalidade do elétron MO, que compreende os dois elétrons idênticos para satisfazer a Eq. (11.200). O momento angular e o momento magnético resultantes da densidade de corrente desemparelhada são $\hbar$ e um magnéton de Bohr μ_B , respectivamente.

[0552] Conforme dado na seção Fator g de Elétron, o fluxo é ligado por um elétron desemparelhado em unidades quantizadas do flúxon ou quantum do fluxo magnético $\frac{h}{2e}$. A energia elétrica, a energia magnética e a energia dissipada de um

flúxon percorrendo o orbital atômico dado pelas Eqs. (1.226–1.227) é

$$\Delta E_{mag}^{spin} = 2\left(1+\frac{\alpha}{2\pi}+\frac{2}{3}\alpha^2\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)-\frac{4}{3}\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^2\right)\mu_B B = g\mu_B B \tag{16.217}$$

[0553] No caso do hidrino molecular, o elétron desemparelhado é uma combinação linear de dois elétrons do MO, em que metade da densidade de corrente está emparelhada e a outra metade não está emparelhada. O flúxon liga os dois elétrons interligados de modo que a contribuição dos termos de ligação de fluxo são duplicados. O fator g correspondente é

$$g = 2\left(1+2\left(\frac{\alpha}{2\pi}+\frac{2}{3}\alpha^2\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)-\frac{4}{3}\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^2\right)\right) = 2.0046386 \tag{16.218}$$

[0554] A energia entre os níveis paralelo e antiparalelo do elétron desemparelhado em um campo magnético aplicado é

$$\Delta E_{mag}^{spin} = g\mu_B B = 2.0046386\,\mu_B B \tag{16.219}$$

[0555] A previsão da Eq. (16.218) foi confirmada em que o pico de ressonância paramagnética eletrônica foi observado com fator g de 2,0047.

[0556] Interações com outros momentos magnéticos do elétron de hidrino molecular e os momentos magnéticos nucleares dos prótons da molécula resultam na divisão dos níveis de energia quantizados (Eq. (16.219)) pela energia correspondente à interação. Conforme mostrado pela Eq. (16.220), a energia do elétron é diminuída no caso em que o fluxo magnético interagindo ou aplicado coaxialmente é paralelo ao momento magnético, e a energia do elétron é aumentada no caso em que o fluxo magnético é antiparalelo ao momento magnético. O deslocamento de energia de um dímero de hidrino molecular $\left[H_2\left(1/p\right)\right]_2$ tal como $\left[H_2\left(1/4\right)\right]_2$ pode ser calculado considerando a energia de interação do momento magnético de uma primeira molécula $H_2\left(1/4\right)$ de e a da segunda molécula colinear $H_2\left(1/4\right)$ de de um dímero de hidrino,

tendo os parâmetros calculados na seção Energias e Parâmetros Geométricos devido às Energias Coesivas Intermoleculares de Van der Waals de Dímero H_2, Dímero $H_2(1/p)$, H_2 Sólido e $H_2(1/p)$ Sólido. Em geral, a energia potencial de interação $E_{mag\ dipole}$ de dois dipolos magnéticos quantizados $\mathbf{m}_1$ e $\mathbf{m}_2$ separados por uma distância $|\mathbf{r}|$ é dada por

$$E_{mag\ dipole} = -\frac{\mu_0}{4\pi|\mathbf{r}|^3}\left(3\left(\mathbf{m}_1\cdot\hat{\mathbf{r}}\right)\left(\mathbf{m}_2\cdot\hat{\mathbf{r}}\right)-\mathbf{m}_1\cdot\mathbf{m}_2\right)$$

(16.220)

[0557] em que μ_0 é a permeabilidade do espaço livre, e $\hat{\mathbf{r}}$ é um vetor unitário paralelo à linha que une os centros dos dois dipolos. Considere a divisão de energia de interação com dois momentos magnéticos alinhados axialmente de um dímero $H_2\left(1/4\right)$. Com a substituição de um magnéton de Bohr μ_B para cada momento magnético alinhado axialmente, e a $H_2\left(1/4\right)$separação do dímero dada pela Eq. (16.202) para $|\mathbf{r}|$ na Eq. (16.220), a energia $E_{mag\ e\text{-}dipole}$ para inverter a direção de rotação de dois momentos magnéticos de elétron de $\left[H_2\left(1/4\right)\right]_2$ é

$$\begin{aligned} E_{mag\ e\text{-}dipole} &= -\frac{2\mu_0\mu_B^2}{4\pi r^3} \\ &= -\frac{\mu_0\left(9.27400949X10^{-24}\,JT^{-1}\right)^2}{2\pi\left(1.028X10^{-10}\,m\right)^3} \\ &= -1.584X10^{-23}\ J = -9.885X10^{-5}\ eV = 23.90\ GHz \end{aligned}$$

(16.221)

[0558] A energia magnética dada pela Eq. (16.221) também é dividida pelos momentos magnéticos nucleares do próton de um dado $H_2\left(1/4\right)$, em que os momentos magnéticos nucleares podem ser paralelos ou antiparalelos ao momento magnético do elétron. O campo magnético dentro do MO elipsoidal, $\mathbf{H}_x^-$, (Eq. (12.31)) é:

$$B_x^- = \mu_0\frac{e\hbar}{2m_e}\frac{1}{a^3\left(1-\frac{b^2}{a^2}\right)^{3/2}}\left(2\sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}}+\ln\frac{1+\sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}}}{1-\sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}}}\right)$$

(16.222)

[0559] A substituição do semieixo maior $H_2\left(1/4\right)$de a(Eq. (11.202)) e do semieixo menor $H_2\left(1/4\right)$de b (Eq. (11.205)) na Eq. (16.222) dá

$$B_x^- = 4.52\ X10^4\ T$$

(16.223)

[0560] A energia correspondente para inverter os momentos magnéticos do próton $E_{mag\ \text{N-}dipole}$ é dada por

$$E_{mag\ \text{N-}dipole} = \left(2\right)\left(2\right)\mu_P B = 4\left(1.4106X10^{-26}\ JT^{-1}\right)\left(4.52X10^4\ T\right)$$
$$= 2.55X10^{-21}\ J = 1.59X10^{-2}\ eV = 3851\ GHz = 128\ cm^{-1}$$

(16.224)

[0561] A energia (Eq. (16.219)) pode ser ainda mais influenciada pela presença de multímeros de ordem maior do que dois, tais como trímeros, quadrâmeros, pentâmeros, hexâmeros etc. e pelo magnetismo interno de volume do composto de hidrino. O deslocamento de energia devido a uma pluralidade de multímeros pode ser determinado pela adição vetorial das interações de dipolos magnéticos sobrepostos dada pela Eq. (16.220) com as distâncias e ângulos correspondentes. Hidrino molecular pode dar origem a magnetismo de volume não zero ou finito, como paramagnetismo, superparamagnetismo e até mesmo ferromagnetismo quando os momentos magnéticos de uma pluralidade de moléculas de hidrino interagem cooperativamente. O superparamagnetismo foi confirmado por magnetometria de amostra vibratória. O superparamagnetismo e o ferromagnetismo são favorecidos quando um macroagregado de hidrino molecular compreende adicionalmente átomos ferromagnéticos, tal como ferro. Macroagregados que são estáveis além da temperatura ambiente podem se formar por agrupamento magnético e ligação. As energias magnéticas tornam-se na ordem de 0,01 eV, comparáveis às energias térmicas do ambiente de laboratório. A banda de absorção infravermelha correspondente na região de cerca de 100 cm^{-1} foi confirmada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), e espectroscopia Raman.

[0562] O hidrino molecular pode ser identificado exclusivamente por espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), bem como espectroscopia de dupla ressonância nuclear de elétrons (ENDOR). Em uma modalidade, o produto de hidrogênio de menor energia pode compreender um metal em um estado químico diamagnético, como um óxido de metal, e está ainda ausente de qualquer espécie de radical não hidrino livre, em que um pico de espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) é observado devido à presença de $H_2(1/p)$, tal como $H_2(1/4)$. Uma câmara da célula de reação de hidrino compreendendo um meio para detonar um fio para servir como pelo menos um dentre uma fonte de reagentes e um meio para propagar a reação de hidrino para formar pelo menos um dentre moléculas de $H_2(1/4)$, compostos inorgânicos, tais como óxidos de metal, hidróxidos, compostos inorgânicos hidratados, tais como óxidos e hidróxidos de metal hidratados compreendendo ainda $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$ e macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular, compreende um sistema de detonação de fios que é mostrado na FIGURA 33. Em modalidades exemplares, os espectros de EPR dos produtos de reação compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular formado pela detonação de fios 99,999% Sn e Zn em uma atmosfera compreendendo vapor de água no ar e formada pela moagem em moinho de esferas de NaOH-KCl, compreendendo H_2O que serve como fonte de H e catalisador HOH para formar cada $H_2(1/4)$, mostraram picos de EPR com um fator g de cerca de 2, em que nenhuma espécie de EPR convencional poderia estar presente. No caso das amostras de detonação de fios, observou-se a formação de um produto semelhante a uma teia ao longo de um período de 30 minutos após a detonação no ar úmido. O produto da teia não foi observado na ausência do vapor de água. O composto da teia foi coletado e suspenso em tolueno, e o EPR foi realizado em um instrumento na Universidade de Princeton com uma frequência de micro-ondas de 9,368 GHz (3.343 G). O NaOH-KCl foi processado puro. O pico de

EPR em g = 2,0045 correspondeu ao previsto para $H_2(1/4)$. Sn, SnO, Zn, ZnO, NaOH e KCl não são ativos na EPR. O espectro de espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR) de um produto de reação de hidrino compreendendo hidrogênio de menor energia compreendendo um composto polimérico branco, formado pela dissolução de Ga_2O_3 coletado de uma reação de hidrino executada no SunCell® em KOH aquoso, permitindo que as fibras cresçam e flutuem até a superfície, onde foram coletadas por filtração, é mostrado na FIGURA 34. O pico de EPR em g = 2,0045 correspondeu ao previsto para $H_2(1/4)$. Óxido de gálio e hidróxido de potássio de controle são diamagnéticos e foram considerados inativos na EPR. O controle $KGa(OH)_4$ foi preparado dissolvendo-se o reagente comercial Ga_2O_3 em KOH aquoso, e evaporando a água em um evaporador rotativo sob vácuo. O espectro de EPR do controle não apresentava qualquer característica na região de 0 a 6.000 G. O pico único é típico de um radical livre orgânico e não é característico de um metal de transição. A possibilidade da presença de algum radical foi eliminada devido à observação de que o composto era estável em base concentrada (pH = 14) e HCl concentrado (pH ~ 0).

[0563] Compostos que compreendem hidrino molecular como $[H_2(1/4)]$ podem dar origem a uma banda larga de IR ou banda Raman na região característica de energia muito baixa. Como mostrado em Mills GUTCP, $[H_2(1/4)]_2$ tem uma baixa energia vibracional e energia rotacional de ponta a ponta que, quando excitada como modos que envolvem um conjunto de dímeros $[H_2(1/4)]_2$ como um macroagregado, as energias sobrepostas dão origem a uma banda de absorção de IR ou Raman, conforme observado nas FIGURAS 35A e 35B. O espectro FTIR do produto da detonação de fios de Zn em uma atmosfera compreendendo vapor de água é notável por não apresentar características de qualquer grupo funcional (FIGURA 35A). As mesmas características são observadas no caso do espectro Raman de um composto polimérico branco formado pela dissolução de Ga_2O_3 coletado de uma reação de hidrino executado no SunCell® em KOH aquoso, permitindo que as fibras cresçam e flutuem

para a superfície, onde foram coletadas por filtração (FIGURA 35B). O contínuo Raman foi observado em altos números de onda com um laser de 325 nm, como mostrado nas FIGURAS 35C e 35D. O espectro Raman contínuo pode se dever ao deslocamento magnético de fônons, efeitos de nanopartículas e desordem devido à agregação aleatória por ligações magnéticas de hidrino molecular. O pico em 1.602 cm^{-1} é atribuído à rotação de $H_2(1/4)$ com deslocamento paramagnético e de nanopartículas. O hidrino molecular tem um elétron desemparelhado; assim, uma estrutura hiperfina é prevista. Em uma modalidade, um número inteiro, como 1, 2, 3, 4 vezes a energia da estrutura hiperfina, é observado quando as moléculas de hidrino são acopladas por rotação (magneticamente). Os picos foram picos de n x 128 cm^{-1} observados no Raman de laser de 785 nm no composto de hidrino molecular das FIGURAS 35C e 35D, de acordo com a Eq. (16.224)).

[0564] Os momentos magnéticos de elétron de uma pluralidade de moléculas de hidrino, como $H_2(1/4)$ podem dar origem a magnetização permanente. Os hidrinos moleculares podem dar origem a magnetismo de volume quando os momentos magnéticos de uma pluralidade de moléculas de hidrino interagem cooperativamente, e em que podem ocorrer multímeros, tais como dímeros. O magnetismo de dímeros, agregados ou polímeros compreendendo hidrino molecular pode surgir de interações dos momentos magnéticos alinhados cooperativamente. O magnetismo pode ser muito maior no caso em que o magnetismo se deva à interação do momento magnético do elétron permanente de uma espécie adicional, com pelo menos um elétron não emparelhado, tais como átomos de ferro.

[0565] A característica magnética do hidrino molecular é demonstrada por espectroscopia de ressonância magnética nuclear com rotação de ângulo mágico de próton (RMN de ^1H), conforme mostrado por Mills et al. no caso de células eletroquímicas que produzem hidrinos chamadas células CIHT [R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, “Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell”

[Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)]" (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]. A presença de hidrino molecular em uma matriz sólida, tal como uma matriz de hidróxido alcalino-haleto alcalino que pode ainda compreender algumas águas de hidratação, dá origem a um pico de RMN de ^{1}H MAS de campo superior, tipicamente de -4 a -5 ppm, devido ao efeito da matriz paramagnética dos hidrinos moleculares; enquanto a matriz inicial desprovida de hidrino mostra o pico de matriz deslocada no campo inferior conhecido em +4,41 ppm. Ga_2O_3:H_2(1/4) coletado de um SunCell® de aço inoxidável foi dissolvido em NaOH, filtrado, e o filtrado compreendendo óxido de aço inoxidável e GaOOH que foi aquecido a 900 °C em um vaso de pressão, e o gás de decomposição fluiu através de getter de KCl hidratado embalado em um tubo conectado ao vaso de pressão. O espectro de RMN de ^{1}H MAS em relação a TMS externo do getter de KCl exposto ao gás hidrino mostra um pico de matriz deslocado para cima a -4,6 ppm devido ao magnetismo do hidrino molecular (FIGURA 36).

[0566] Um método conveniente para produzir hidrinos moleculares é por detonação de fio na presença de H_2O para servir como catalisador de hidrino e fonte de H. Detonações de fio em uma atmosfera compreendendo vapor de água produzem cadeias lineares magnéticas compreendendo hidrogênio hidrino, tal como hidrino molecular com átomos de metal ou íons que podem se agregar para formar teias. O material paramagnético responde linearmente com o magnetismo induzido; enquanto uma forma de “S” observada é característica de superparamagnético, híbrido de ferromagnetismo e paramagnetismo. Em uma modalidade, o composto em teia polimérico, tal como o composto formado pela detonação de fio de molibdênio em ar compreendendo vapor de água, é superparamagnético. A gravação do magnetossusceptômetro de amostra vibratória pode mostrar uma curva em forma de S, como mostrado na FIGURA 37. É uma exceção que o magnetismo induzido atinja um pico em 5 K Oe e diminua com um campo aplicado mais alto. O composto de hidrino

superparamagnético pode compreender nanopartículas magnéticas que podem ser orientadas em um campo magnético.

[0567] Um mecanismo de autoagregação pode compreender uma ordenação magnética além das forças de van der Waals. É sabido que a aplicação de um campo magnético externo faz com que nanopartículas magnéticas coloidais como magnetita (Fe_2O_3) suspensas em um solvente como tolueno se agreguem em estruturas lineares. Devido à pequena massa e ao alto momento magnético, o hidrino molecular se agrega magneticamente, mesmo na ausência de um campo magnético. Em uma modalidade para aprimorar a autoagregação e controlar a formação de estruturas alternativas dos produtos de hidrino, um campo magnético externo é aplicado à reação hidrino, tal como a detonação de fio. O campo magnético pode ser aplicado colocando-se pelo menos um ímã permanente na câmara de reação. Alternativamente, o fio de detonação pode compreender um metal que serve como fonte de partículas magnéticas, tal como magnetita, para acionar a autoagregação magnética de hidrino molecular, em que a fonte pode ser a detonação do fio em vapor de água ou outra fonte.

[0568] Em uma modalidade, os produtos hidrino, tais como macroagregados ou compostos de hidrino, podem compreender pelo menos um outro elemento da tabela periódica diferente de hidrogênio. Os produtos de hidrino podem compreender moléculas de hidrino e pelo menos um outro elemento, como pelo menos um átomo de metal, íon de metal, átomo de oxigênio e íon oxigênio. Produtos de hidrino exemplares podem compreender $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$, e pelo menos um dentre Sn, Zn, Ag, Fe, Ga, Ga_2O_3, GaOO, SnO, ZnO, AgO, FeO e Fe_2O_3.

[0569] A ligação das moléculas de hidrino molecular $H_2\left(1/4\right)$ para formar um sólido em temperaturas ambientes elevadas são devidas às forças de van der Waals que são muito maiores para o hidrino molecular do que para o hidrogênio molecular, devido às dimensões reduzidas e maior empacotamento, conforme mostrado em Mills GUTCP. Devido ao seu momento magnético intrínseco e às forças de van der Waals,

o hidrino molecular pode se autoagrupar em macroagregados. Em uma modalidade, o hidrino, como $H_2(1/p)$, tal como $H_2(1/4)$ pode formar polímeros, tubos, cadeias, cubos, fulereno e outras macroestruturas, como uma com a fórmula H_n em que n é um número inteiro maior do que o número inteiro de uma forma conhecida de hidrogênio. Em uma modalidade exemplar, H_{60}, que tem uma massa absoluta de m/e = 60,35 foi observado no TOF-SIMS do produto filamentoso, a partir da detonação de alta tensão de um fio de Zn em uma atmosfera de ar compreendendo vapor de água pelo método dado na publicação. Em uma modalidade, hidrino molecular como $H_2(1/4)$ pode se agregar em cadeias lineares ligadas por forças de dipolo magnético, além das forças de Van der Waals. Em outra modalidade, o hidrino molecular pode se agregar em estruturas tridimensionais, como um cubo com $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$ em cada um dos oito vértices. Em uma modalidade, oito moléculas de $H_2(1/p)$ como moléculas de $H_2(1/4)$, são ligadas em um cubo, em que o centro de cada molécula está em um dos oito vértices do cubo, e cada eixo internuclear é paralelo a uma aresta do cubo centralizado em um vértice.

[0570] H_{16} pode servir como uma unidade ou metade para macroestruturas mais complexas formadas por autoagregação. Em outra modalidade, unidades de H_8 compreendendo $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$ em cada um dos quatro vértices de um quadrado, podem ser adicionadas ao cuboide H_{16} para compreender H_{16+8n} em que n é um inteiro. Macroagregados adicionais exemplares são H_{16}, H_{24} e H_{32}. Os neutros e íons dos macroagregados de hidrogênio podem combinar-se com outras espécies, tais como O, OH, C e N como neutros ou íons. Em uma modalidade, a estrutura resultante dá origem a um pico de H_{16} no espectro de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS), em que fragmentos podem ser massas observadas correspondendo à perda de H inteiro de H_{16}, tais como H_{16}, H_{14}, H_{13} e H_{12}. Devido à massa de H de 1,00794 u, os picos de íons +1 ou -1 correspondentes têm massas de 16,125, 15,119, 14,111, 13,103, 12,095... Os íons macroagregados de hidrogênio

como H_{16}^{-} ou H_{16}^{+} podem compreender metaestáveis. Os íons macroagregados de hidrogênio H_{16}^{-} e H_{16}^{+} tendo características metaestáveis de picos largos foram observados por ToF-SIMS em 16,125 nos espectros positivo e negativo. H_{15}^{-} foi observado no espectro de ToF-SIMS negativo em 15,119. Espécies metaestáveis de H_{24} H_{23}^{+} e H_{25}^{-} foram observadas nos espectros positivo e negativo de ToF-SIMS, respectivamente.

[0571] Em uma modalidade, as composições de matéria compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia, como hidrino molecular (“composto de hidrino”), podem ser separadas magneticamente. O composto de hidrino pode ser resfriado para aumentar ainda mais o magnetismo antes de ser separado magneticamente. O método de separação magnética pode compreender mover uma mistura de compostos contendo o composto de hidrino desejado através de um campo magnético, de modo que o composto de hidrino seja preferencialmente retardado em mobilidade em relação ao restante da mistura ou mover um ímã sobre a mistura para separar o composto de hidrino da mistura. Em uma modalidade exemplar, o composto de hidrino é separado dos produtos não hidrino das detonações de fio, imergindo-se o material do produto de detonação em nitrogênio líquido, e usando-se separação magnética em que a criotemperatura aumenta o magnetismo do produto do composto de hidrino. A separação pode ser aumentada na superfície de ebulição do nitrogênio líquido.

[0572] Além de ser carregado negativamente, em uma modalidade, o íon hidreto de hidrino $H^{-}(1/p)$ compreende um estado de dupleto com um elétron desemparelhado que dá origem a um magnéton de Bohr de momento magnético. Um separador de íons hidreto de hidrino pode compreender pelo menos uma dentre uma fonte de campo elétrico e campo magnético para separar íons de hidreto de hidrino de uma mistura de íons com base nas forças diferenciais e seletivas mantidas no íon hidreto de hidrino, com base em pelo menos um dentre a carga e o momento magnético do

íon hidreto de hidrino. Em uma modalidade, o íon hidreto de hidrino pode ser acelerado em um campo elétrico e desviado para um coletor com base na massa única para a razão de carga do íon hidreto de hidrino. O separador pode compreender um analisador hemisférico ou um dispositivo do tipo analisador de tempo de voo. Em outra modalidade, o íon hidreto de hidrino pode ser coletado por separação magnética em que um campo magnético é aplicado a uma amostra por um ímã, e os íons hidreto de hidrino seletivamente aderem ao ímã a ser separado. Os íons hidreto de hidrino podem ser separados juntamente com um contraíon.

[0573] Em uma modalidade, uma espécie de hidrino, como hidrino atômico, hidrino molecular ou íon hidreto de hidrino, é sintetizada pela reação de H e pelo menos um dentre OH e catalisador H_2O. Em uma modalidade, o produto de pelo menos uma dentre a reação do SunCell® e as reações energéticas, tais como as que compreendem ignições por tiro ou fio da publicação para formar hidrinos, é um composto ou espécie de hidrino que compreendendo uma espécie de hidrino como $H_2(1/p)$ complexado com pelo menos um dentre (i) um elemento que não seja hidrogênio, (ii) uma espécie comum de hidrogênio, como pelo menos um dentre H^+, H_2 comum, H^- comum e H_3^+ comum, uma espécie molecular orgânica, como um íon orgânico ou molécula orgânica, e (iv) uma espécie inorgânica, como um íon inorgânico ou composto inorgânico. O composto de hidrino pode compreender um composto de oxiânion, como um carbonato ou hidróxido alcalino ou alcalino-terroso, oxi-hidróxidos, como GaOOH, AlOOH e FeOOH, ou outros compostos da presente publicação. Em uma modalidade, o produto compreende pelo menos um dentre os complexos $M_2CO_3 \cdot H_2(1/4)$ e $MOH \cdot H_2(1/4)$ (M = alcalino ou outro cátion complexo da presente publicação). O produto pode ser identificado por ToF-SIMS ou espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF), como uma série de íons no espectro positivo compreendendo $M\left(M_2CO_3 \cdot H_2(1/4)\right)_n^+$ e $M\left(MOH \cdot H_2(1/4)\right)_n^+$, respectivamente, em que n é um número inteiro, e um número inteiro p > 1 pode ser substituído por 4. Em

uma modalidade, um composto compreendendo silício e oxigênio, tais como SiO_2 ou quartzo, pode servir como getter para $H_2(1/4)$. O getter para $H_2(1/4)$ pode compreender um metal de transição, metal alcalino, metal alcalino-terroso, metal de transição interna, metal de terra-rara, combinações de metais, ligas tal como uma liga de Mo, como MoCu, e materiais de armazenamento de hidrogênio como os da presente publicação.

[0574] Os compostos que compreendem espécies de hidrino sintetizadas pelos métodos da presente publicação podem ter a fórmula MH, MH_2, ou M_2H_2, em que M é um cátion alcalino e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MH_n, em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MHX em que M é um cátion alcalino, X é um átomo neutro, tal como um átomo de halogênio, uma molécula ou um ânion com carga negativa simples, como um ânion de halogênio, e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MHX em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples, e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MHX em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa dupla e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula M_2HX em que M é um cátion alcalino, X é um ânion com carga negativa simples, e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula M_2H_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino-terroso e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula M_2XH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $M_2X_2H_n$ em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de

hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula M_2X_3H em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples, e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula M_2XH_n em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa dupla e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $M_2XX'H$ em que M é um cátion alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples, X' é um ânion com carga negativa dupla e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $MM'H_n$ em que n é um número inteiro de 1 a 3, M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $MM'XH_n$ em que n é 1 ou 2, M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MM'XH em que M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X é um ânion com carga negativa dupla e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MM'XX'H em que M é um cátion alcalino-terroso, M' é um cátion de metal alcalino, X e X' são ânions com carga negativa simples e H é uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $MXX'H_n$ em que n é um número inteiro de 1 a 5, M é um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples ou dupla, X' é um metal ou metaloide, um elemento de transição, um elemento de transição interna, ou um elemento de terra-rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion como um elemento de transição, um elemento de transição interna, ou um elemento de terra-rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula MXH_n em que n é um número inteiro, M é um cátion como um cátion alcalino, cátion

alcalino-terroso, X é outro cátion, tal como um elemento de transição, um elemento de transição interna ou um cátion de um elemento de terra-rara, e o teor de hidrogênio H_n do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $\left(MH_mMCO_3\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, m e n são ambos números inteiros, e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $\left(MH_mMNO_3\right)_n^+ \ nX^-$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, m e n são ambos números inteiros, X é um ânion com carga negativa simples e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $\left(MHMNO_3\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, n é um número inteiro e o teor de hidrogênio H do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto pode ter a fórmula $\left(MHMOH\right)_n$ em que M é um cátion alcalino ou outro cátion +1, n é um número inteiro e o teor de hidrogênio H do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto incluindo um ânion ou cátion pode ter a fórmula $\left(MH_mM'X\right)_n$ em que m e n são ambos números inteiros, M e M' são cada um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X é um ânion com carga negativa simples ou dupla, e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O composto incluindo um ânion ou cátion pode ter a fórmula $\left(MH_mM'X'\right)_n^+ \ nX^-$ em que m e n são ambos números inteiros, M e M' são um cátion alcalino ou alcalino-terroso, X e X' são um ânion com carga negativa simples ou dupla, e o teor de hidrogênio H_m do composto compreende pelo menos uma espécie de hidrino. O ânion pode compreender um dos da publicação. Ânions adequados com carga negativa simples exemplares são íon haleto, íon hidróxido, íon carbonato de hidrogênio ou íon nitrato. Ânions adequados com carga negativa dupla exemplares são íon carbonato, óxido ou íon sulfato.

[0575] Em uma modalidade, o composto ou mistura de hidrino compreende pelo menos uma espécie de hidrino, como um átomo de hidrino, íon hidreto de hidrino

e molécula de di-hidrino incorporada em uma estrutura, como uma estrutura cristalina, como em uma estrutura metálica ou iônica. Em uma modalidade, a estrutura não é reativa com as espécies de hidrino. A matriz pode ser aprótica, como no caso de íons de hidreto de hidrino incorporados. O composto ou mistura pode compreender pelo menos um dentre H(1/p), H_2(1/p) e H^-(1/p) incorporado em uma estrutura de sal, tal como um sal alcalino ou alcalino-terroso, como um haleto. Haletos alcalinos exemplares são KCl e KI. O sal pode não apresentar qualquer H_2O no caso de H^-(1/p) incorporado. Outras estruturas de sal adequadas compreendem as da presente publicação.

[0576] Os compostos de hidrino da presente invenção são preferencialmente mais que 0,1% puros em percentual atômico. Mais preferencialmente, os compostos são mais que 1% puros em percentual atômico. Ainda mais preferencialmente, os compostos são mais que 10% puros em percentual atômico. Muito mais preferencialmente, os compostos são mais que 50% puros em percentual atômico. Em outra modalidade, os compostos são mais que 90% puros em percentual atômico. Em outra modalidade, os compostos são mais que 95% puros em percentual atômico.

[0577] Em uma modalidade, compostos de hidrino podem ser purificados por recristalização em um solvente adequado. Alternativamente, os compostos podem ser purificados por cromatografia, tal como cromatografia líquida de alta resolução (HPLC), ou cromatografia gasosa no caso de um gás compreendendo hidrino molecular. Em uma modalidade, hidrino molecular pode ser purificado por criofiltração. O sistema de purificação pode compreender um absorvente seletivo para hidrino molecular, como carvão ativado ou zeólita. O absorvente pode estar contido em um vaso que é aquecido para fazer com que as impurezas sejam desgaseificadas do absorvente. As impurezas podem ser removidas sob vácuo. O absorvente desgaseificado pode ser resfriado a uma temperatura baixa, como criotemperatura, como a do nitrogênio líquido. O vaso pode ser submerso em um dewar de um criógeno, como nitrogênio líquido. A mistura de gases compreendendo hidrino molecular pode fluir através

do absorvente frio, de modo que o hidrino molecular seja absorvido seletivamente. O absorvente pode ser aquecido para fazer com que o gás hidrino molecular purificado flua para fora do absorvente a ser coletado.

[0578] Compostos de hidrino superparamagnéticos podem compreender nanopartículas magnéticas que podem ser orientadas em um campo magnético. Aplicações dos compostos de hidrino magnéticos, como um que compreende pelo menos um dentre hidrino molecular e íon hidreto de hidrino, compreendem material de armazenamento magnético, tais como o material de armazenamento em memória de discos rígidos de computador, agentes de contraste em imagens de ressonância magnética, um ferrofluido como um com viscosidade ajustável, separação magnética de células como a separação de células, DNA ou proteínas ou RNA-FISH, e tratamentos como administração direcionada de medicamentos, hipertermia magnética e magnetofecção. Em uma modalidade, as propriedades magnéticas, de absorção de luz, de dispersão de luz de compostos que compreendem hidrino molecular podem ser usadas para revestimentos furtivos, sensores de luz, células solares, separação magnética, imagem de ressonância magnética como meio de contraste e tratamento de hipertermia.

[0579] Em uma modalidade em que um hidreto de hidrino de hidreto liga o fluxo em unidades do quantum do fluxo magnético, de forma semelhante ao comportamento de um dispositivo de interferência quântica supercondutor (SQUID), um dispositivo eletrônico, tal como um magnetômetro, porta lógica, sensor ou comutador compreende pelo menos um íon hidreto de hidrino, e pelo menos um dentre um circuito de corrente de entrada e tensão de entrada, e um circuito de corrente de saída e tensão de saída para pelo menos um dentre detectar e alterar o estado de ligação de fluxo de pelo menos um íon hidreto de hidrino.

[0580] Em uma modalidade, uma célula emissora de energia e luz que forma produtos de hidrino compreende pelo menos um transdutor ultrassônico, um meio

líquido para formar bolhas de cavitação, uma fonte de catalisador HOH e uma fonte de H. O meio líquido pode compreender pelo menos um dentre um hidrocarboneto, como dodecano, um ácido, como ácido sulfúrico, e água que pode ainda servir como fonte de pelo menos um dentre HOH e H. O líquido pode compreender um gás nobre, como argônio ou xenônio, e pode ainda compreender pelo menos um dentre uma fonte de oxigênio, oxigênio, uma fonte de hidrogênio e hidrogênio. O gás nobre pode saturar o líquido. O gás nobre pode servir como fonte de elétrons. O líquido pode ser mantido em baixa temperatura, como perto do ponto de congelamento do líquido. O H pode ser formado pela reação de carbono com água para formar pelo menos um dentre CO e CO_2. O H pode ser formado por redução de H^+ por uma fonte de elétrons como o gás nobre. A fonte de carbono pode ser pelo menos um dentre hidrocarbonetos e carbono, que pode estar pelo menos um dentre suspenso na água e revestindo o transdutor ultrassônico. A sonicação do meio líquido pelo transdutor ultrassônico pode causar a quebra da ligação de hidrogênio da água, e pode ainda fazer com que a fonte de carbono ou carbono reaja com a água para formar CO e H, que reage posteriormente com HOH para formar hidrino. A reação correspondente para formar hidrino pode causar a liberação de pelo menos uma dentre calor e luz, como a radiação de corpo negro que pode estar na região visível.

[0581] Em uma modalidade, uma espécie de hidrino tal como $H_2(1/p)$ é isolada de um composto ou material que compreende a espécie de hidrino ligada ao composto ou material, tal como um óxido de metal, um haleto alcalino, uma mistura de haleto alcalino-hidróxido alcalino, e carbonato como K_2CO_3 por sublimação. A sublimação pode ser conseguida por resfriamento do composto ou material a uma temperatura baixa, como temperatura criogênica, e mantendo um vácuo.

[0582] Em uma modalidade, o hidrino molecular de uma mistura, como uma mistura líquida ou gasosa, como uma que compreende argônio, pode ser purificado por difusão através de uma membrana seletiva a permeação, como uma membrana

de metal, vidro ou cerâmica. A permeação pode ser em uma cavidade de coleta. Em uma modalidade exemplar, a membrana de permeação pode compreender uma cavidade, câmara ou tubulação de parede fina, oca e evacuada que pode ser imersa em argônio líquido para permitir que o hidrino molecular se difunda na cavidade. A pressão e a quantidade do gás coletado podem ser aumentadas condensando o gás criogenicamente. Em uma modalidade exemplar, a cavidade pode ser suspensa em um dewar de hélio líquido e o gás condensado pode então ser transferido para um cilindro de gás de menor volume para evaporar.

[0583] Em uma modalidade, o gás hidrino molecular, como $H_2(1/4)$, é solúvel em gases condensados, como um gás nobre, como argônio líquido, nitrogênio líquido, CO_2 líquido ou um gás sólido, como CO_2 sólido. A solubilidade é confirmada pela observação da banda rovibracional de $H_2(1/4)$ (FIGURAS 41-42) registrada no gás argônio líquido vaporizado. H_2 e O_2 também estão presentes em pequenas quantidades, confirmando também a solubilidade desses gases no argônio líquido. No caso em que hidrino é mais solúvel do que hidrogênio, argônio líquido pode ser usado para coletar e enriquecer seletivamente o gás hidrino molecular de uma fonte, tal como uma que compreende uma mistura de H_2 e gás hidrino molecular, como o gás do SunCell®. Em uma modalidade, o gás do SunCell® é borbulhado através do argônio líquido que atua como um getter devido à solubilidade do hidrino molecular no argônio líquido. Em outra modalidade, um *getter* de material sólido pode ser usado sozinho ou imerso em um gás líquido, tal como argônio líquido. *Getters* sólidos exemplares podem compreender pelo menos um dentre carbono, zeólita, KCl, KOH, RbCl, K_2CO_3, LiBr, FeOOH, folha de In, folha de MoCu, pastilha de silício, outros óxidos, haletos alcalinos e hidróxidos alcalinos. O *getter* pode ser resfriado por meios como um criógeno. O criógeno pode compreender um criocoletor. Em uma modalidade exemplar, o criocoletor é resfriado à temperatura de nitrogênio líquido. Para liberar hidrino dos getters, o getter compreendendo hidrino pode ser pelo menos um dentre aquecido para liberar gás

hidrino e dissolvido em um solvente, tal como água, ácido, base ou solvente orgânico para liberar o gás hidrino. Em uma modalidade, o gás hidrino pode ser borbulhado no solvente, como um líquido criogênico, como um gás nobre líquido, como argônio ou nitrogênio líquido, CO_2 supercrítico, oxigênio líquido, nitrogênio líquido, mistura O_2/N_2 líquido, outro líquido supercrítico conhecido na técnica ou outro líquido, como água, ácido, base ou solvente orgânico, como um fluorcarboneto. Em uma modalidade, o solvente pode ser magnético, tal como paramagnético, de modo que o hidrino molecular tenha alguma interação de absorção devido ao magnetismo do hidrino molecular. Solventes exemplares são oxigênio líquido e oxigênio dissolvido em outro líquido, como água. Alternativamente, o gás hidrino pode ser borbulhado através de um solvente sólido, como um sólido que é um gás à temperatura ambiente, como CO_2 sólido. O gás hidrino pode ser coletado diretamente. Alternativamente, a solução resultante pode ser filtrada, escumada, decantada ou centrifugada para coletar os compostos não solúveis compreendendo hidrino, tais como macroagregados de hidrino.

[0584] Em uma modalidade, H_2O pode compreender o solvente hidrino molecular. H_2O pode ser colocado em um coletor em que o produto de gás da reação de hidrino é borbulhado através da água para fazer com que o hidrino molecular seja dissolvido na água. O gás hidrino molecular pode ser liberado pelo aquecimento da água. O aquecimento pode ser a uma temperatura inferior a 100 °C que libera hidrino seletivamente em relação ao vapor de água. O gás liberado pode ser passado através de um coletor frio, como um criocoletor de CO_2, para condensar seletivamente o vapor de água de uma mistura de gás em relação ao gás hidrino molecular. O gás hidrino molecular pode ser identificado por pelo menos uma dentre cromatografia gasosa e espectroscopia de excitação por feixe de elétrons.

[0585] Em uma modalidade exemplar para pelo menos um dentre isolar e identificar o gás hidrino molecular, o *getter* de hidrino, tal como óxido de gálio do SunCell®, pode ser dissolvido em água, como base aquosa concentrada, como NaOH

aquoso, de modo que o hidrino molecular coletado esteja então na fase gasosa ou líquida. O gás pode ser injetado em uma coluna cromatográfica gasosa usando hidrogênio como gás carreador ou borbulhado através de argônio líquido para dissolver o hidrino molecular, e o gás argônio-hidrino pode então ser introduzido em uma coluna cromatográfica gasosa, com argônio como gás carreador, em que o argônio líquido serve para enriquecer hidrino molecular sobre hidrogênio normal. A água pode ser analisada analiticamente. A água pode ainda ser aquecida abaixo do ponto de ebulição para liberar seletivamente o gás hidrino molecular, em que o vapor de água pode ser condensado seletivamente por um criocoletor, tal como um coletor de CO_2 para remover a água e para introduzir seletivamente o gás hidrino molecular na coluna cromatográfica gasosa.

[0586] Em uma modalidade, o produto gasoso coletado diretamente do Sun-Cell® ou o produto gasoso coletado daquele liberado dos produtos sólidos do Sun-Cell® são fluídos através de um recombinador, tal como um recombinador de CuO para remover o gás hidrogênio, e o gás hidrino enriquecido é condensado em uma câmara criostática com válvula e selável em um criofinger ou estágio frio de uma bomba criogênica. O gás hidrino molecular pode ser cocondensado com pelo menos um outro gás ou absorvido em um gás cocondensado, como um ou mais dentre argônio, nitrogênio e oxigênio que podem servir como solvente. Quando líquido suficiente é acumulado, a câmara criostática pode ser selada, aguardando-se seu aquecimento para vaporizar o líquido condensado. O gás resultante pode ser usado para fins industriais ou analíticos. Por exemplo, o gás pode ser injetado através de uma válvula de câmara em um cromatógrafo de gás, ou em uma célula para espectroscopia de emissão de feixe de elétrons. Em uma modalidade alternativa, o gás hidrino molecular pode ser diretamente fluído para a câmara do criofinger e condensado, em que o criofinger pode ser operado a uma temperatura acima de 20,3 K (o ponto de ebulição de H_2 à pressão atm), de modo que o hidrogênio não seja cocondensado.

[0587] Duas configurações de spin nuclear diferentes H_3^+ para são possíveis, chamadas orto e para. Orto-H_3^+ tem todos os três spins de prótons paralelos, produzindo um spin nuclear total de $3/2$. Para-H_3^+ tem dois spins de prótons paralelos enquanto o outro é antiparalelo, resultando em um spin nuclear total de $1/2$. Da mesma forma, H_2 também tem estados orto e para, com orto-H_2 tendo um spin nuclear total 1, e para-H_2 tendo um spin nuclear total de 0. Quando um orto-H_3^+ e um para-H_2 colidem, pode ocorrer uma mudança no spin do próton, resultando em um para-H_3^+ e um orto-H_2. Em uma modalidade, orto H_3^+- é preparado por meios tal como um plasma de hidrogênio e, opcionalmente, uma fonte de campo magnético para aumentar o rendimento de polarização de spin de orto-H_3^+. O orto-H_3^+ pode ser feito para colidir com gás hidrino molecular para criar orto-H_2(1/p) que é RMN ativo. A colisão pode ser conseguida formando feixes de orto-H_3^+ e H_2(1/p) ou através da mistura dos gases. Orto-H_2(1/p) pode ser identificado por RMN de prótons.

[0588] Em uma modalidade, um composto hidrino de macroagregado pode ser isolado para óxido de gálio escumado do SunCell® e dissolvido em uma base, como NaOH. O composto pode compreender um supercondutor de alta temperatura.

[0589] Em uma modalidade, o óxido de gálio do SunCell é dissolvido em uma base, como NaOH. O material não solúvel pode ser filtrado para servir como fonte de gás hidrino. Alternativamente, a solução pode ser decantada para isolar as partículas não solúveis, para servir como fonte de gás hidrino. A solução pode ser filtrada e o filtrado pode ser deixado em repouso para formar um produto de hidrino algodonado branco que é coletado por meios como pelo menos um dentre filtração, centrifugação e secagem.

[0590] Em outra modalidade, o gás hidrino pode ser purificado em uma coluna cromatográfica. No caso em que o gás carreador compreende uma mistura compreendendo hidrino, tal como uma mistura de argônio/H_2(1/4), o gás hidrino pode ser enriquecido fluindo a mistura através de uma coluna cromatográfica, tal como uma

coluna HayeSep® D resfriada a uma temperatura criogênica, tais como temperatura de argônio ou nitrogênio líquido. O argônio pode se liquefazer parcialmente para permitir que o gás hidrino que flui seja enriquecido. O gás hidrino pode ser analisado por meios analíticos da publicação, como cromatografia gasosa e espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons. Em uma modalidade, o hidrino molecular de uma mistura com outro gás, como argônio, pode ser separado e enriquecido da mistura por cromatografia líquida criogênica. Em uma modalidade, o hidrino molecular pode ser identificado por cromatografia gasosa usando hélio ou hidrogênio como gás carreador, em que o hidrino molecular pode mais facilmente formar uma banda cromatográfica nesses gases carreadores. O detector pode compreender um detector de condutividade térmica. Em outra modalidade, o hidrino molecular pode ser enriquecido ou purificado cromatograficamente usando CO_2 superfluido como líquido carreador. Em outra modalidade, o hidrino molecular pode ser enriquecido ou purificado por liquefação diferencial em temperaturas criogênicas. O hidrogênio pode ser removido de uma mistura de H_2-hidrino molecular por combustão com chama que pode ser conseguida fluindo a mistura de gás hidrogênio-hidrino molecular através de uma entrada de H_2 de uma tocha de gás H_2-O_2. Alternativamente, o hidrogênio pode ser removido por um recombinador, como um recombinador CuO, ou por recombinação catalítica com oxigênio. Recombinadores catalíticos exemplares são um metal nobre, tais como Pt ou Pd, em um suporte sólido, como alumina, sílica ou carbono.

[0591] Em uma modalidade, gás hidrino molecular é aumentado em pressão por pelo menos um método dentre (i) condensação em um líquido, tal como condensação criogênica seguida por aquecimento para causar vaporização em um vaso de pressão, (ii) absorção em um absorvedor, como carbono ou zeólita, ou outro getter da publicação, seguido por aquecimento para causar vaporização em um vaso de pressão e (iii) coleta de gás compreendendo hidrino molecular em um vaso de pressão seguido por compressão mecânica ou hidráulica. A condensação criogênica pode ser

conseguida em um vaso de condensação com um criocoletor ou uma bomba criogênica capaz de atingir uma temperatura suficiente para condensar o hidrino. A condensação criogênica pode ser alcançada em pelo menos uma temperatura dentre a de argônio líquido, nitrogênio líquido e hélio líquido. Em uma modalidade, um campo magnético pode ser aplicado ao vaso de condensação para aumentar a temperatura de condensação. O campo magnético pode ser aplicado com pelo menos um dentre eletroímãs e ímãs permanentes, tais como ímãs de neodímio ou de samário cobalto, que podem ser posicionados dentro ou fora do vaso de condensação. A compressão hidráulica pode ser conseguida bombeando-se um líquido, como um líquido incompressível, como a água, para dentro do vaso, para deslocar volume e comprimir o gás hidrino molecular. O hidrino molecular pode ter uma baixa solubilidade no líquido. O líquido pode ser bombeado para a base do vaso para evitar perdas por difusão do gás hidrino molecular através do sistema de distribuição de líquido, tais como um conduíte para o vaso e uma bomba. No caso em que o gás comprimido que compreende o gás hidrino compreende pelo menos um outro gás indesejado, os gases indesejados podem ser removidos por meios como o fluxo da mistura através de uma coluna cromatográfica, como a coluna HayeSep® D. Em uma modalidade exemplar, o hidrino molecular é separado do argônio fluindo a mistura através de uma coluna HayeSep® D em temperatura criogênica, tal como a temperatura do argônio líquido.

[0592] Em uma modalidade, o hidrino é formado cataliticamente por recombinação de hidrogênio e oxigênio em argônio, com os reagentes em um estado gasoso ou líquido usando um catalisador de recombinação. Catalisadores de recombinação exemplares são metais nobres, tais como Pt ou Pd, que podem ser suportados em um suporte, como uma cerâmica. O suporte de cerâmica pode compreender alumina, como esferas de alumina. O hidrino pode ser formado em argônio líquido com oxigênio cocondensado que é então removido pela adição de H_2 na presença de um catalisador de recombinação como Pd ou Pt.

[0593] O argônio compreendendo hidrino, como $H_2(1/4)$, pode ser usado como combustível para formar hidrino H(1/p) e $H_2(1/p)$ com p>4, em que o argônio compreendendo $H_2(1/4)$ flui para dentro da câmara da célula de reação do SunCell® como reagente. O plasma de hidrino mantido na câmara da célula de reação pode quebrar a ligação de $H_2(1/4)$ para formar H(1/4) que pode servir como catalisador e reagente para formar estados hidrino de menor energia.

[0594] Em uma modalidade, uma descarga de alta tensão na água, como uma descarga de arco com uma tensão maior do que 1 kV, resulta na formação de espécies de hidrino, como $H_2(1/4)$. As espécies de hidrino podem interagir com pelo menos um dentre água e interagir mutuamente. A interação pode formar um revestimento de superfície na água que pode alterar sua tensão superficial. O revestimento de superfície pode atuar como surfactante. O surfactante pode diminuir a tensão superficial da água. O revestimento de superfície pode ser manifestado como a capacidade da água de formar pontes entre dois reservatórios de água deslocados. O sabão, por exemplo, pode reduzir a tensão superficial da água e causar a formação de pontes deformáveis entre dois reservatórios de água.

[0595] Em uma modalidade, o plasma de hidrino energético pode conduzir a reação de pelo menos um dentre H_2O e H_2 com pelo menos um dentre carbono, CO e CO_2 para formar metano. Pelo menos um dentre hidrino atômico e hidrino molecular pode catalisar a reação de pelo menos um dentre H_2O and H_2 com pelo menos um dentre carbono, CO e CO_2 para formar metano. O plasma de hidrino energético pode conduzir a reação de H_2O a H_2 + ½ O2 para formar gás hidrogênio. Os gases hidrogênio e oxigênio podem ser separados e coletados para uso como gases industriais. A energia da reação de hidrino pode ser convertida em outras formas de combustível, como pelo menos um dentre H_2, metano e hidrocarbonetos.

[0596] Em uma modalidade, o pico de cromatografia gasosa do hidrino molecular, como o de $H_2(1/4)$ (FIGURA 52A) é observado com metano, de modo que a

identificação de metano ou carbono por meio de XRD, EDS, RMN e espectroscopia de massa compreende um meio para triar amostras que compreendem hidrino molecular. Amostras exemplares para triagem são óxido de gálio e amostras de óxido de gálio tratado com NaOH aquoso do SunCell®. Em uma modalidade, carbono pode ser adicionado à mistura de reação de hidrino para coletar hidrino molecular. O metano também pode se formar na reação, o que pode auxiliar ainda mais a coleta de carbono do hidrino por intercalação de metano que aumenta a ligação carbono-hidrino molecular. Em uma modalidade, assinaturas adicionais únicas para hidrino molecular, tais como assinaturas de EPR, FTIR, Raman, XPS e outras assinaturas de hidrino molecular da publicação podem ser usadas para triar amostras quanto à presença de hidrino molecular.

[0597] Em uma modalidade, um reator para formar espécies de hidrogênio de energia mais baixa, como H(1/p) e H_2(1/p), em que p é um número inteiro, compreende um sal fundido que serve como uma fonte de pelo menos um dentre H e catalisador HOH. O sal fundido pode compreender uma mistura de sais, como uma mistura eutética. A mistura pode compreender pelo menos um dentre um hidróxido e um haleto, como uma mistura de pelo menos um dentre hidróxidos alcalinos e alcalino-terrosos e haletos, como LiOH-LiBr ou KOH-KCl. O reator pode compreender ainda um aquecedor, uma fonte de alimentação do aquecedor e um controlador de temperatura para manter o sal em um estado fundido. O reator pode compreender ainda um sistema de eletrólise que compreende pelo menos dois eletrodos e uma fonte de alimentação. Os eletrodos podem ser estáveis no eletrólito. Eletrodos exemplares são eletrodos de níquel e metal nobre. Água pode ser fornecida à célula e uma tensão, como uma tensão CC pode ser aplicada aos eletrodos. Hidrogênio pode se formar no cátodo e oxigênio pode se formar no ânodo. O hidrogênio pode reagir com catalisador HOH também formado na célula para formar hidrino. A energia da formação de hidrino pode produzir calor na célula. A célula pode ser bem isolada de modo que o calor da reação de

hidrino possa reduzir a quantidade de energia necessária para o aquecedor manter o sal fundido. O reator pode compreender ainda um trocador de calor. O trocador de calor pode remover o excesso de calor a ser entregue a uma carga externa.

Experimental

[0598] O sistema de geração de energia SunCell® tipicamente inclui um conversor de energia fotovoltaica configurado para capturar fótons de plasma gerados pela reação de ignição de combustível e convertê-los em energia utilizável. Em algumas modalidades, pode ser desejada uma alta eficiência de conversão. O reator pode expelir plasma em várias direções, p.ex., em pelo menos duas direções, e o raio da reação pode estar na escala de aproximadamente vários milímetros a vários metros, por exemplo, de cerca de 1 mm a cerca de 25 cm de raio. Adicionalmente, o espectro de plasma gerado pela ignição de combustível pode se assemelhar ao espectro de plasma gerado pelo sol e/ou pode incluir radiação adicional de comprimento de onda curto. A FIGURA 38 mostra um exemplo do espectro absoluto na região de 5 nm a 450 nm da ignição de uma injeção de 80 mg de prata, compreendendo H_2O absorvido da adição de água à prata fundida, à medida que essa resfriava em injeções, mostrando uma potência óptica média de 1,3 MW, essencialmente todos na região espectral ultravioleta e ultravioleta extremo. A ignição foi alcançada com baixa tensão e alta corrente, usando uma solda ponto Taylor-Winfield modelo ND-24-75. A queda de tensão na injeção ficou abaixo de 1 V e a corrente era de cerca de 25 kA. A emissão de UV de alta intensidade teve duração de cerca de 1 ms. O espectro de controle era plano na região UV. A radiação do combustível sólido, como pelo menos uma dentre emissão de linha e de corpo negro, pode ter uma intensidade em pelo menos uma faixa de cerca de 2 a 200.000 sóis, 10 a 100.000 sóis, 100 a 75.000 sóis. Numa modalidade, a indutância do circuito de ignição do soldador pode ser aumentada para aumentar o decaimento de corrente após a ignição. O tempo de decaimento mais

longo pode manter a reação de plasma hidrino para aumentar a produção de energia. A radiação contínua com o corte previsto de 10,1 nm confirma a produção de H(1/4).

[0599] XPS e Raman foram realizados nos eletrodos pré e pós-detonação. Cada um dos eletrodos pós-detonação mostrou um pico Raman muito grande de 1.940 cm^{-1} como o mostrado nas FIGURAS 46 e 47B. O XPS pós-detonação mostrou um grande pico de 496 eV, como o mostrado nas FIGURAS 48A-B, que correspondia à energia total de $H_2(1/4)$. Nenhum outro pico de elemento primário das únicas atribuições alternativas, Na, Sn ou Zn, estava presente, confirmando que $H_2(1/4)$ era o produto da reação extraordinariamente energética. Não foram observados picos Raman ou XPS nas regiões de 1.940 cm^{-1} ou 496 eV nos espectros de Raman ou XPS, respectivamente, dos eletrodos pré-detonação.

[0600] O espectro UV e EUV pode ser convertido em radiação de corpo negro. A conversão pode ser alcançada fazendo-se com que a atmosfera da célula seja opticamente espessa para a propagação de pelo menos um dentre fótons UV e EUV. A espessura óptica pode ser aumentada fazendo-se com que metal, tal como o metal do combustível seja vaporizado na célula. O plasma opticamente espesso pode compreender um corpo negro. A temperatura do corpo negro pode ser alta devido à extraordinariamente alta capacidade de densidade de potência da reação de hidrino e à alta energia dos fótons emitidos pela reação de hidrino. O espectro (região de 100 nm a 500 nm com um ponto de corte em 180 nm devido à janela do espectrômetro de safira) da ignição da prata fundida bombeada para eletrodos de W em argônio atmosférico, com uma pressão de vapor de H_2O ambiente de cerca de 1 Torr é mostrado na FIGURA 39. A fonte de energia elétrica 2 compreendeu dois conjuntos de dois capacitores em série (Maxwell Technologies K2 Ultracapacitor 2,85 V/3.400 F), que foram conectados em paralelo para fornecer cerca de 5 a 6 V e 300 A de corrente constante com pulsos de corrente sobrepostos a 5 kA na frequência de cerca de 1 kHz a 2 kHz. A potência média de entrada para os eletrodos de W (1 cm x 4 cm) foi de cerca de

75 W. A emissão inicial da linha de UV passou para a radiação de corpo negro de 5000 K quando a atmosfera se tornou opticamente espessa à radiação UV com a vaporização da prata pela potência da reação de hidrino. A densidade de potência de um radiador de corpo negro de 5000 K com uma emissividade de prata vaporizada de 0,15 é de 5,3 MW/m^2. A área do plasma observado era de cerca de 1 m^2. A radiação de corpo negro pode aquecer um componente da célula 26, tal como a cobertura superior 5b4, que pode servir como um radiador de corpo negro para o conversor fotovoltaico 26a em uma modalidade termofotovoltaica da publicação.

[0601] Um teste exemplar de uma fusão compreendendo uma fonte de oxigênio compreendeu a ignição de uma injeção de 80 mg de prata/1% em peso de bórax anidro em uma atmosfera de argônio/5% molar de H_2, com a energia óptica determinada por espectroscopia absoluta. Utilizando-se um soldador (solda ponto Acme 75 KVA) para aplicar uma corrente alta de cerca de 12 kA com uma queda de tensão de cerca de 1 V, observou-se 250 kW de potência por uma duração de cerca de 1 ms. Em outro teste exemplar de uma fusão compreendendo uma fonte de oxigênio compreendeu a ignição uma injeção de 80 mg de prata/2% molar de Na_2O anidro em uma atmosfera de argônio/5% molar de H_2, com a potência óptica determinada por espectroscopia absoluta. Utilizando-se um soldador (solda ponto Acme 75 KVA) para aplicar uma corrente alta de cerca de 12 kA com uma queda de tensão de cerca de 1 V, observou-se 370 kW de potência por uma duração de cerca de 1 ms. Em outro teste exemplar de uma fusão compreendendo uma fonte de oxigênio compreendeu a ignição uma injeção de 80 mg de prata/2% molar de Li_2O anidro em uma atmosfera de argônio/5% molar de H_2, com a potência óptica determinada por espectroscopia absoluta. Utilizando-se um soldador (solda ponto Acme 75 KVA) para aplicar uma corrente alta de cerca de 12 kA com uma queda de tensão de cerca de 1 V, observou-se 500 kW de potência por uma duração de cerca de 1 ms.

[0602] Com base no tamanho do plasma gravado com uma câmera de vídeo de

alta velocidade Edgertronics, a reação de hidrino e a potência dependem do volume da reação. O volume pode precisar ser um mínimo para a otimização da potência e energia da reação, como cerca de 0,5 a 10 litros, para a ignição de uma injeção de cerca de 30 a 100 mg, como uma injeção de prata e uma fonte de H e catalisador HOH como hidratação. A partir da ignição da injeção, a taxa de reação de hidrino é alta em uma pressão de prata muito alta. Em uma modalidade, a reação de hidrino pode ter alta cinética com a alta pressão do plasma. Baseado nos dados da espectroscopia de alta velocidade e da Edgertronics, a taxa de reação de hidrino é mais alta no início, quando o volume de plasma é o mais baixo e a pressão de vapor de Ag é a mais alta. A injeção de Ag de 1 mm de diâmetro sofre ignição quando fundida (T = 1.235 K). O volume inicial da injeção de 80 mg (7,4 x 10-4 mols) é de 5,2 x 10-7 litros. A pressão máxima correspondente é de cerca de 1,4 x 105 atm. Em uma modalidade exemplar, observou-se que a reação se expandia aproximadamente à velocidade do som (343 m/s) pela duração da reação de cerca de 0,5 ms. O raio final foi de cerca de 17 cm. O volume final sem contrapressão foi de cerca de 20 litros. A pressão parcial final de Ag foi de cerca de 3,7E-3 atm. Como a reação pode ter cinética mais alta sob pressão mais alta, a taxa de reação pode ser aumentada pelo confinamento do eletrodo, aplicando-se pressão do eletrodo e permitindo-se que o plasma se expanda perpendicularmente ao eixo intereletródico.

[0603] A potência liberada pela reação de hidrino causada pela adição de óxido de bismuto 1% molar, ou 0,5% molar à prata fundida injetada nos eletrodos de ignição de um SunCell® a 2,5 ml/s foi medida em presença de uma atmosfera de 97% de argônio/3% de hidrogênio. A alteração relativa na inclinação da temperatura do refrigerante da água da célula de reação no tempo antes e após a adição da contribuição da potência da reação de hidrino correspondente à adição de óxido foi multiplicada pela potência de entrada inicial constante que serviu como padrão interno. Para corridas duplicadas, as potências totais de saída da célula com a contribuição de potência de hidrino, após a adição da fonte de oxigênio, foram determinadas pelos

produtos das razões das inclinações das respostas de temperatura do refrigerante no tempo de 97, 119, 15, 538, 181, 54 e 27, correspondendo às potências de entrada totais de 7.540 W, 8.300 W, 8.400 W, 9.700 W, 8.660 W, 8.020 W e 10.450 W. As potências de explosão térmica foram de 731.000 W, 987.700 W, 126.000 W, 5.220.000 W, 1.567.000 W, 433.100 W e 282.150 W, respectivamente.

[0604] A potência liberada pela reação de hidrino causada pela adição de óxido de bismuto (Bi2O3) 1% molar, vanadato de lítio (LiVO3) 1% molar ou vanadato de lítio 0,5% molar à prata fundida injetada nos eletrodos de ignição de um SunCell® a 2,5 ml/s na presença de uma atmosfera de 97% de argônio/3% de hidrogênio foi medida. A alteração relativa na inclinação da temperatura do refrigerante da água da célula de reação no tempo antes e após a adição da contribuição da potência da reação de hidrino correspondente à adição de óxido foi multiplicada pela potência de entrada inicial constante que serviu como padrão interno. Para corridas duplicadas, as potências totais de saída da célula com a contribuição de potência de hidrino, após a adição da fonte de oxigênio, foram determinadas pelos produtos das razões das inclinações das respostas de temperatura do refrigerante no tempo de 497, 200 e 26, correspondendo às potências de entrada totais de 6.420 W, 9.000 W e 8790 W. As potências de explosão térmica foram de 3,2 MW, 1,8 MW e 230.000 W, respectivamente.

[0605] Em uma modalidade exemplar, a corrente de ignição foi aumentada de cerca de 0 A para 2.000 A, correspondendo a um aumento de tensão de cerca de 0 V para 1 V em cerca de 0,5, tensão em que o plasma sofreu ignição. A tensão é então aumentada como uma etapa para cerca de 16 V e mantida por cerca de 0,25 s, em que cerca de 1 kA fluiu através da fusão e 1,5 kA fluiu em série através da maior parte do plasma através de outro loop de aterramento que não o eletrodo 8. Com uma potência de entrada de cerca de 25 kW em um SunCell® compreendendo Ag (0,5% molar de LiVO3) e argônio-H2 (3%) a uma vazão de 9 litros/s, a saída de potência foi

superior a 1 MW. A sequência de ignição foi repetida a cerca de 1,3 Hz.

[0606] Em uma modalidade exemplar, a corrente de ignição era de cerca de 500 A de corrente constante e a tensão era de cerca de 20 V. Com uma potência de entrada de cerca de 15 kW em um SunCell® compreendendo Ag (0,5% molar de LiVO3) e argônio-H2 (3%) a uma vazão de 9 litros/s, a saída de potência foi superior a 1 MW.

[0607] Em uma modalidade, os parâmetros operacionais, como o fluxo de gás, a composição do gás, como a composição de uma mistura de argônio-hidrogênio, vazão de gás, escala, geometria, taxa de bombeamento EM, temperatura operacional e corrente, tensão, potência e forma de onda de ignição são otimizados. Um conjunto de SunCells® experimentais foi testado com uma tensão de ignição CC de 25–30 V e uma corrente de 1.500 A–3.000 A, em que cada um compreendia (i) um pedestal invertido como o mostrado na FIGURA 25 com o eletrodo de pedestal positivo, (ii) gálio como o metal fundido bombeado a 200 g/s, (iii) H_2 fluído a 3000 sccm e O_2 fluído a 30 sccm com mistura em uma tocha e fluxo através de 1 g de Pt/Al_2O_3 10% a mais de 90 °C como fonte de catalisador HOH e H na câmara da célula de reação. A ordem de classificação da escala ótima foi definida como uma esfera de 6 polegadas de diâmetro > esfera de 8 polegadas de diâmetro > esfera de 12 polegadas de diâmetro e cubo de 4 polegadas de lado > cubo de 6 polegadas de lado > cubo de 9 polegadas de lado.

[0608] Em uma modalidade da célula esférica de 6 polegadas de diâmetro compreendendo Galinstan como metal fundido, a reação de hidrino foi abastecida com H_2 a 750 sccm e O_2 a 30 sccm misturados em uma tocha de oxi-hidrogênio e fluídos através de uma câmara de recombinador compreendendo 1 g de Pt/Al_2O_3 a 10% a mais de 90 °C antes de fluir para a célula. Além disso, a câmara da célula de reação foi abastecida com 1250 sccm de H_2 que fluiu através de uma segunda câmara do recombinador, compreendendo 1 g de Pt/Al_2O_3 a 10% a mais de 90 °C antes de fluir

para a célula. Cada um dos três suprimentos de gás era controlado por um controlador de fluxo de massa correspondente. O fluxo combinado de H_2 e O_2 forneceu catalisador HOH e H atômico, e o segundo suprimento de H_2 forneceu H atômico adicional. O plasma de reação de hidrino foi mantido com uma entrada CC de cerca de 30–35 V e cerca de 1.000 A. A potência de entrada medida por integração VI foi de 34,6 kW, e a potência de saída de 129,4 kW foi medida por calorimetria do banho de metal fundido, em que o gálio no reservatório e a câmara da célula de reação serviram como banho.

[0609] Em uma modalidade da célula de 4 polegadas de lado pré-carregada com H_2 a 2500 sccm e O_2 a 70 sccm e compreendendo um revestimento de Ta nas paredes da câmara da célula de reação, uma corrente na faixa de 3.000 A a 1.500 A foi fornecida por um banco de capacitores carregado a 50 V. O banco de capacitores compreendia 3 bancos paralelos de 18 capacitores (Maxwell Technologies K2 Ultracapacitor 2,85 V/3.400 F) em série, que forneceu uma capacidade de tensão de banco total de 51,3 V, com uma capacitância de banco total de 566,7 Farads. A potência de entrada foi de 83 kW e a potência de saída foi de 338 kW. Em uma modalidade da célula esférica de 6 polegadas de diâmetro abastecida com H_2 a 4000 sccm e O_2 a 60 sccm, uma corrente na faixa de 3.000 A a 1.500 A foi fornecida pelo banco de capacitores carregado a 50 V. A potência de entrada foi de 104 kW e a potência de saída foi de 341 kW.

[0610] A extraordinária densidade de potência produzida pela reação de hidrino executada em um Pyrex SunCell® de 2 litros é evidente a partir do alargamento Stark extremo, observado da linha H alfa de 1,3 nm mostrado na FIGURA 40. O alargamento corresponde a uma densidade de elétrons de $3,5 \times 10^{23}/m^3$. A densidade de gás do SunCell® foi calculada em $2,5 \times 10^{25}$ átomos/m^3 com base em uma pressão de argônio-H_2 de 800 Torr e temperatura de 3.000 K. A fração de ionização correspondente foi de cerca de 10%. Dado que argônio e H_2 têm energias de ionização de cerca de 15,5 eV e uma vida útil de recombinação inferior a 100 us em alta pressão, a

densidade de potência para sustentar a ionização é de $P = \left(\frac{3.5X10^{23}electrons}{m^3}\right)(15.5\ eV)\left(\frac{1.6X10^{-19}J}{eV}\right)\left(\frac{1}{10^{-4}s}\right) = \frac{8.7X10^{9}W}{m^3}$.

[0611] Em uma modalidade mostrada na FIGURA 34, o sistema 500 para formar macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia compreende uma câmara 507, tal como uma câmara de Plexiglas, um fio de metal 506, um capacitor de alta tensão 505 com conexão de aterramento 504 que pode ser carregado por uma fonte de alimentação CC de alta tensão 503, e um interruptor como um interruptor elétrico de 12 V 502, e um interruptor de centelhador acionado 501 para fechar o circuito do capacitor para o fio de metal 506 dentro da câmara 507 para causar a detonação do fio. A câmara pode compreender vapor de água e um gás, como ar atmosférico ou um gás nobre.

[0612] Um sistema exemplar para formar macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia compreende uma câmara de Plexiglas cuboide retangular fechada, com um comprimento de 46 cm e uma largura e altura de 12,7 cm, um fio de metal de 10,2 cm de comprimento e 0,22~0,5 mm de diâmetro, montado entre dois polos de aço inoxidável com porcas de aço inoxidável a uma distância de 9 cm do fundo da câmara, um capacitor de 15 kV (modelo Westinghouse 5PH349001AAA, 55 uF) carregado a cerca de 4,5 kV correspondendo a 557 J, uma fonte de alimentação CC de 35 kV para carregar o capacitor e um interruptor de 12 V com um interruptor de centelhador acionado (Information Unlimited, modelo Trigatron10, 3 kJ) para fechar o circuito do capacitor para o fio de metal dentro da câmara para causar a detonação do fio. O fio pode compreender um fio de Mo (gaze de molibdênio, malha 20 de fio de 0,305 mm de diâmetro, 99,95%, Alpha Aesar), Zn (0,25 mm de diâmetro, 99,993%, Alpha Aesar), liga Fe-Cr-Al (73%-22%-4,8%, bitola 31, 0,226 mm de diâmetro, fio de liga KD Cr-Al-Fe, referência 1231201848, Hyndman Industrial Products Inc.) ou Ti (0,25 mm de diâmetro, 99,99%, Alpha Aesar). Em uma corrida exemplar, a câmara continha ar compreendendo cerca de 20 Torr de vapor de

água. A fonte de alimentação CC de alta tensão foi desligada antes de fechar o interruptor de disparo eletrônico. O pico de tensão de cerca de 4,5 kV descarregou como um oscilador harmônico amortecido com cerca de 300 us a uma corrente de pico de 5 kA. Macroagregados ou polímeros compreendendo espécies de hidrogênio de menor energia se formaram em cerca de 3–10 minutos após a detonação do fio. Amostras analíticas foram coletadas do fundo e da parede da câmara, bem como em uma pastilha de Si colocada na câmara. Os resultados analíticos corresponderam às assinaturas de hidrino da publicação.

[0613] Em uma modalidade mostrada na FIGURA 41, o espectro rovibracional do hidrino é observado por excitação por feixe de elétrons de um gás de mistura compreendendo gás inerte, tais como gás argônio e $H_2(1/4)$ formado pela recombinação de H e O como a fonte de catalisador HOH para hidrogênio atômico (banda OH 309 nm, O 130,4 nm, H 121,7 nm). O argônio pode estar em uma faixa de pressão de cerca de 100 Torr a 10 atm. O vapor de água pode estar na faixa de cerca de 1 micro-Torr a 10 Torr. A energia do feixe de elétrons pode estar na faixa de cerca de 1 keV a 100 keV. Linhas de rotação foram observadas na região de 145–300 nm de plasmas de argônio de pressão atmosférica compreendendo $H_2(1/4)$ excitado por um feixe de elétrons de 12 keV a 16 keV incidente no gás em uma câmara através de uma janela de nitreto de silício. A emissão foi observada através de outra janela de MgF_2 da câmara de gás de reação. O espaçamento de energia de 4^2 vezes o do hidrogênio estabeleceu a distância internuclear como 1/4 da de H_2 e identificou $H_2(1/4)$ (Eqs. (29–31)). A série correspondeu ao ramo P de $H_2(1/4)$ para a transição vibracional de $H_2(1/4)$ $v= 1 \rightarrow v = 0$ compreendendo P(1), P(2), P(3), P(4) e P(5) que foram observados em 154,8, 160,0, 165,6, 171,6 e 177,8, respectivamente. Em outra modalidade, uma composição de matéria compreendendo hidrino, como uma da publicação, é decomposta termicamente e o gás de decomposição compreendendo hidrino como $H_2(1/4)$ é introduzido na câmara de gás de reação, em que o gás hidrino é excitado

com o feixe de elétrons, e o espectro de emissão rovibracional é registrado.

[0614] O gás $H_2(1/4)$ de uma mistura de argônio/$H_2(1/4)$ formada por recombinação de hidrogênio e oxigênio em um catalisador de metal nobre suportado em uma atmosfera de argônio foi enriquecido fluindo a mistura através de uma coluna cromatográfica de 35 m de comprimento e DI de 2,5 mm HayeSep® D resfriada a uma temperatura criogênica em um argônio líquido. O argônio foi parcialmente liquefeito para permitir que o gás hidrino molecular fluindo fosse enriquecido, conforme indicado pelo aumento drástico no ramo P vibracional de $H_2(1/4)$ observado por espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons, como mostrado na FIGURA 42.

[0615] O gás argônio foi tratado com uma fita de titânio quente que remove impurezas. O espectro por feixe de elétrons foi repetido com o argônio purificado, e o ramo P do $H_2(1/4)$ não foi observado. A espectroscopia Raman foi realizada na fita de Ti usada para remover o gás $H_2(1/4)$ e o pico foi observado em 1.940 cm^{-1}, que corresponde à energia rotacional de $H_2(1/4)$, confirmando que era a fonte da série de linhas na região de 150–180 nm mostrada na FIGURA 41. O pico de 1.940 cm^{-1} correspondeu ao mostrado na FIGURA 46.

[0616] Em outra modalidade, gás hidrino como $H_2(1/4)$ é absorvido em um getter, como um haleto alcalino ou matriz de haleto alcalino e hidróxido alcalino. O espectro vibracional rotacional pode ser observado por excitação por feixe de elétrons do getter no vácuo (FIGURA 43). A energia do feixe de elétrons pode estar na faixa de cerca de 1 keV a 100 keV. O espaçamento da energia rotacional entre os picos pode ser dado pela Eq. (30). A energia vibracional dada pela Eq. (29) pode ser deslocada para diminuir a energia devido a uma maior massa efetiva causada pela matriz cristalina. Em um exemplo experimental exemplar, a emissão rovibracional $H_2\left(1/4\right)$ coletada na estrutura cristalina de getters foi excitada por uma pistola de elétrons de 6 keV incidente com uma corrente de feixe de 10–20 μA em uma faixa de pressão de cerca de $5\ X\ 10^{-6}$ Torr e registrada por espectroscopia UV sem janela. O espectro

rovibracional resolvido de H_2(1/4) (chamado de banda de 260 nm) na matriz de KCl transparente para UV que serviu como getter em uma pilha de células CIHT de 5 W de Mills et al. (R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, “Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell” [Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)], (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142, que é incorporado por referência) compreendeu um pico máximo a 258 nm com posições representativas dos picos em 222,7, 233,9, 245,4, 258,0, 272,2 e 287,6 nm, tendo um espaçamento igual de 0,2491 eV. Em geral, o gráfico da energia versus número do pico produz uma linha dada por y = -0,249 eV + 5,8 eV em R^2 = 0,999 ou melhor, em concordância muito boa com os valores previstos para H_2(1/4) para as transições $\upsilon=1\rightarrow\upsilon=0$ e Q(0), R(0), R(1), R(2), P(1), P(2), P(3) e P(4), em que Q(0) é identificável como o pico mais intenso da série.

[0617] As bandas de excitação rovibracional são esvaziadas e sua excitação é inibida pelo resfriamento da amostra. Hidrino molecular foi formado em um cristal de KCl que compreendia águas de hidratação que serviram como fontes de H e catalisador de hidrino HOH. A emissão rovibracional familiar de μA coletado na estrutura cristalina (banda de 260 nm) foi observada por espectroscopia UV sem janela (FIGURA 44), em que a amostra de pellets foi excitada por uma pistola de elétrons de 6 keV incidente com uma corrente de feixe de 25 $H_2\left(1/4\right)$. A amostra de pellets de feixe de elétrons foi submetida a ciclo térmico a partir de 297 K–155 K–296 K, em que o resfriamento da amostra foi realizado usando um sistema de bomba criogênica (Helix Corp., compressor CTI-Cryogenics modelo SC; controlador TRI-Research modelo T-2000D-IEEE; Helix Corp., CTI- Cryogenics modelo 22 cryodyne). A série de picos com espaçamento de 0,25 eV diminuiu reversivelmente em intensidade à temperatura fria com a corrente de feixe de elétrons mantida constante. A diminuição da intensidade foi devida a uma alteração no emissor da banda de 260 nm, uma vez que o fundo na região espectral acima de 310 nm aumentou de fato na temperatura criogênica.

Esses resultados confirmam que a origem da emissão é devida à rovibração com uma correspondência quase perfeita com a energia rotacional de $H_2(1/4)$. Foi demonstrado por Mills [R. Mills, X Yu, Y. Lu, G. Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell" [Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)], (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142] que não havia nenhuma estrutura para as linhas atribuídas a $H_2(1/4)$ usando espectroscopia visível de alta resolução em segunda ordem com uma precisão DE ± 1 Å, confirmando ainda mais a atribuição à rovibração de $H_2(1/4)$.

[0618] Outra técnica de confirmação cruzada bem-sucedida na busca de espectros de hidrino envolveu o uso do espectrômetro Raman para registrar a rovibração de $H_2(1/4)$ como fluorescência de segunda ordem que corresponde ao espectro de primeira ordem observado anteriormente no ultravioleta, na banda de feixe de elétrons de 260 nm [R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell", [Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)], (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]. O $H_2(1/4)$ formado em um SunCell® de aço inoxidável foi liberado como um gás para análise por dois métodos: (i) aquecimento a 900 °C da mistura de óxido formada pela adição de água ao SunCell® para manter uma reação de plasma de hidrino, em que o aquecimento causou a decomposição de Ga_2O_3:$H_2(1/4)$ da mistura e (ii) aquecimento a 900 °C do filtrado da mistura de óxido dissolvido em NaOH. O espectro Raman do getter de KCl do gás da decomposição térmica de pelo menos um dentre o filtrado do produto de dissolução de NaOH de óxido de gálio ou óxido de gálio compreendendo gás $H_2(1/4)$ com ligações de van der Waals foi registrado usando o espectrômetro Horiba Jobin Yvon LabRAM Aramis Raman com um laser HeCd 325 nm no modo microscópio com uma ampliação de 40X. Especificamente, KCl foi embalado em um tubo conectado a um vaso de pressão contendo Ga_2O_3:$H_2(1/4)$ coletado do SunCell®, e o gás de decomposição do aquecimento de

Ga_2O_3:H_2(1/4) a 900 °C foi escoado através o getter de KCl. O espectro Raman no material de partida de KCl não era notável; enquanto o Raman do getter de KCl compreendeu uma série de picos Raman espaçados de energia igual de 1.000 cm^{-1} (0,1234 eV) observados na região de 8.000 cm^{-1} a 18.000 cm^{-1}. A conversão do espectro Raman no espectro de fluorescência ou fotoluminescência revelou uma correspondência como o espectro rovibracional de segunda ordem de H_2(1/4), correspondente à banda de 260 nm observado pela primeira vez por excitação por feixe de elétrons [R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, “Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell”, [Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)] (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]. Atribuindo Q(0) ao pico mais intenso, as atribuições de pico fornecidas na Tabela 5 para os ramos Q, R e P para os espectros mostrados na FIGURA 45 são Q(0), R(0), R(1), R(2), R(3), R(4), P(1), P(2), P(3), P(4) e P(5), observados em 13.188, 12.174, 11.172, 10.159, 9.097, 8.090, 14.157, 15.106, 16.055, 16.975 e 17.873 cm^{-1}, respectivamente. As energias de transição teóricas com atribuições de pico comparadas com o espectro Raman observado são mostradas na TABELA 5.

TABELA 5. Comparação das energias de transição teóricas e atribuições de transição com os picos Raman observados.

Atribuição	Calculado (cm^{-1})	Experimental (cm^{-1})	Diferença (%)
P(5)	18.056	17.873	-1,0
P(4)	17.082	16.975	-0,6
P(3)	16.109	16.055	-0,3
P(2)	15.135	15.106	-0,2
P(1)	14.162	14.157	0

Q(0)	13.188	13.188	0
R(0)	12.214	12.174	-0,3
R(1)	11.241	11.172	-0,6
R(2)	10.267	10.159	-1,1
R(3)	9.294	9.097	-2,1
R(4)	8.320	8.090	-2,8

[0619] Uma folha de alumínio foi exposta aos gases da ignição do combustível sólido compreendendo 100 mg de Cu + 30 mg de água deionizada vedado no cadinho de alumínio DSC. O produto de hidrino previsto $H_2(1/4)$ foi identificado por espectroscopia Raman e XPS. Usando um Thermo Scientific DXR SmartRaman com um laser de diodo de 780 nm, foi observado um pico de absorção a 1.982 cm^{-1} tendo uma largura de 40 cm^{-1} (FIGURA 46) na folha de metal índio que correspondia à energia rotacional do espaço livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV), em que apenas O e In foram observados presentes por XPS, e nenhum composto desses elementos poderia produzir o pico observado. Além disso, o espectro XPS confirmou a presença de hidrino. Usando um espectrômetro Scienta 300 XPS, o XPS foi realizado na amostra de folha de In na Lehigh University. Foi observado um pico forte a 498,5 eV (FIGURAS 48A–B) que não pôde ser atribuído a nenhum elemento conhecido. O pico correspondia à energia da ionização dupla teoricamente permitida de hidrino molecular $H_2(1/4)$. O pico XPS de $H_2(1/4)$ a 496 eV também foi registrado em compostos poliméricos de hidrino formados para a detonação de fios de Mo na presença de uma atmosfera de argônio compreendendo vapor de água, como mostrado nas 49A–B.

[0620] A transição de energia de rotação de $H_2(1/4)$ foi confirmada também em eletrodos de cobre antes e depois da ignição de injeções de prata de 80 mg compreendendo 1% molar de H_2O, como mostrado nas FIGURAS 47A–B. Os espectros Raman obtidos usando o espectrômetro Thermo Scientific DXR SmartRaman e o laser

de 780 nm mostraram um pico de efeito Raman inverso a 1.940 cm^{-1} formado pela ignição que corresponde à energia do rotor livre de $H_2(1/4)$ (0,2414 eV). O pico de potência de 20 MW foi medido nas injeções que sofreram ignição usando espectroscopia absoluta na região de 22,8–647 nm, em que a energia de emissão óptica era 250 vezes a energia aplicada [R. Mills, Y Lu, R. Frazer, “Power Determination and Hydrino Product Characterization of Ultra-low Field Ignition of Hydrated Silver Shots” (Determinação de Energia e Caracterização de Produto de Hidrino de Ignição de Campo Ultrabaixo de Injeções de Prata Hidratada), Chinese Journal of Physics, Vol. 56, (2018), pp. 1667-1717, incorporado por referência]. Os espectros de XPS correspondentes em eletrodos de cobre após a ignição de uma injeção de prata de 80 mg compreendendo 1% molar de H_2O, em que a detonação foi alcançada aplicando-se uma corrente de 12 V 35.000 A com uma solda ponto são mostrados nas FIGURAS 50A–B. O pico em 496 eV foi atribuído a $H_2(1/4)$ em que outras possibilidades, como Na, Sn e Zn, foram eliminadas, uma vez que os picos correspondentes desses candidatos estão ausentes.

[0621] A excitação do espectro rovibracional de $H_2(1/4)$ observada na FIGURA 45 foi considerada como sendo do UV de alta energia e da emissão do laser EUV He e Cd. No geral, os resultados de Raman, como a observação do pico do efeito Raman inverso de 0,241 eV (1.940 cm^{-1}) Raman e a banda de fotoluminescência Raman com espaçamento de 0,2414 eV, que correspondia ao espectro do feixe de elétrons de 260 nm, confirmam fortemente que o hidrino molecular tem uma distância internuclear que é 1/4 da do H_2. A atribuição de hidrino molecular por espectroscopia Raman, o pico de absorção do efeito Raman inverso centrado em 1.982 cm^{-1}, bem como a dupla ionização do hidrino molecular $H_2(1/4)$ observado por XPS a 498,5 eV confirmam o produto de hidrino da catálise HOH de H.

[0622] Além disso, os espectros de ToF-SIMS de íons positivos do getter, que absorveu o gás do produto de reação de hidrino, mostraram aglomerados de

multímeros de compostos de matriz com di-hidrogênio como parte da estrutura, M:H_2(1/p) (M = KOH ou K_2CO_3). Especificamente, os espectros de íons positivos de produtos de reação de hidrino anteriores compreendendo KOH e K_2CO_3 [R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, “Catalyst induced hydrino transition (CHIT) electrochemical cell” [Célula eletroquímica de transição de hidrino induzida por catalisador (CIHT)], (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142] ou tendo esses compostos como *getters* de gás produto de reação de hidrino mostrou $K^+\left(H_2:KOH\right)_n$ e $K^+\left(H_2:K_2CO_3\right)_n$ coerentes com H_2(1/p) como um complexo na estrutura.

[0623] Em uma modalidade, o gás hidrino molecular pode ser formado pela reação de hidrogênio e oxigênio, em que H e catalisador HOH são mantidos pela reação. Hidrogênio e oxigênio podem ser recombinados por combustão ou por recombinação catalítica, como por um catalisador de recombinação, como Pt/Al_2O_3 ou outro da publicação. Uma mistura de reação pode compreender hidrogênio, oxigênio, um combustor ou um recombinador e, opcionalmente, um gás inerte para aumentar pelo menos um dentre a vida útil e a concentração de pelo menos um dentre H atômico e catalisador HOH. Em uma modalidade, o reator para produzir gás hidrino compreende uma célula de eletrólise aquosa e um recombinador, e pode ainda compreender um gás inerte para apoiar a produção de uma mistura estequiométrica de hidrogênio e oxigênio que sofre recombinação com a produção de H e HOH pelo recombinador e eletrólise em que H e HOH formam hidrino molecular. Para enriquecer a atmosfera do reator em gás hidrino, o reator pode ser fechado e operado continuamente por um período desejado, em que o gás enriquecido em gás hidrino pode ser coletado do reator através de uma saída com válvula por um sistema de coleta e, opcionalmente, ainda enriquecido em gás hidrino por um sistema de purificação de gás, como uma coluna cromatográfica.

[0624] Em uma modalidade exemplar, o hidrino molecular em argônio é

produzido por recombinação catalítica de oxigênio e hidrogênio. Dos gases nobres, o argônio contém traços únicos de gás hidrino devido à contaminação durante a purificação. Argônio e oxigênio cocondensam durante a criodestilação de ar, e o oxigênio é removido por reação com hidrogênio em um catalisador de recombinação, como platina/A_2O_3, em que o hidrino é formado durante a reação de recombinação devido à reação subsequente do catalisador HOH com H. A emissão de excitação por feixe de elétrons de gás argônio mostra os picos conhecidos das bandas H I, O I e O_2 (FIGURA 41). Os picos desconhecidos correspondem à molécula de hidrino (ramificação P de $H_2(1/4)$) sem outros picos não atribuídos presentes no espectro. Em outra modalidade, o gás hidrino, como $H_2(1/4)$ pode ser enriquecido com gás atmosférico ou outra fonte como o SunCell® por criodestilação. Alternativamente, o gás hidrino pode ser pelo menos um dentre formado in situ, mantendo um plasma compreendendo H_2O como H_2O em um gás nobre como argônio. O plasma pode estar em uma faixa de pressão de cerca de 0,1 mTorr a 1.000 Torr. O plasma de H_2O pode compreender outro gás, como um gás nobre, como argônio. Em uma modalidade exemplar, plasma de argônio em pressão atmosférica compreendendo vapor de H_2O a 1 Torr é mantido por uma fonte de plasma, como uma da publicação, como um feixe de elétrons, brilho, RF ou fonte de descarga de micro-ondas.

[0625] Em uma modalidade, uma composição de matéria compreendendo hidrino como uma da publicação é decomposta termicamente e uma cromatografia gasosa é realizada no gás de decomposição compreendendo gás hidrino como $H_2(1/4)$. Em uma modalidade exemplar, o gás $H_2(1/4)$ pode ser obtido a partir da decomposição térmica de compostos de hidrino, como um da detonação de um fio de Zn ou Sn em uma atmosfera compreendendo vapor de água, de acordo com a publicação. A amostra de gás pode exigir uma carga rápida no CG devido à rápida queda observada na pressão a temperatura elevada, como cerca de 800 °C, devido à rápida difusão do gás $H_2(1/4)$ muito pequeno do vaso de pressão estanque a vácuo. Devido ao tamanho

menor e maior percurso livre médio, $H_2(1/p)$ pode ser mais termicamente condutor do que o gás carreador H_2, de modo que um pico negativo é observado. Não há gás conhecido que seja mais condutor térmico do que o hidrogênio; assim, um pico que é mais rápido e negativo em comparação com o hidrogênio é característico e identifica exclusivamente hidrino molecular, como $H_2(1/4)$.

[0626] Usando um cromatógrafo de gás HP 5890 série II com detector de condutividade térmica (TCD), a cromatografia foi realizada em gases liberados por decomposição térmica de gás hidrino ligado a Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado das corridas de plasma do SunCell® e comparados com gases de controle que identificaram os tempos de migração de gases conhecidos. O controlador de pressão foi ajustado manualmente em 10 PSI para o fluxo de gás carreador hélio a 2,13 ml/min em uma coluna capilar (peneira molecular Agilent 5 Å, (50 m x 0,32, df = 30 μm) a 303 K (30 °C) com o TCD a 60 °C. A amostra de gás foi injetada diretamente de um vaso de amostra de gás pressurizado na coluna usando uma válvula de seis vias. As amostras de gás com um volume de injeção controlado de 1,74 ml foram fornecidas por um tubo de cobre com DI de 0,065” cheio com comprimento de 8”.

[0627] O reator de plasma para produzir gás hidrino molecular mostrado na FIGURA 25 compreendia uma esfera de aço inoxidável de 6 polegadas de diâmetro com um injetor de bomba eletromagnética (EM) CC, tendo um tubo de injeção de aço inoxidável e um bocal de molibdênio no polo negativo do eixo z da esfera, que servia como ânodo, e um pedestal de nitreto de boro com uma haste central de molibdênio no polo positivo do eixo z da esfera, que servia como cátodo. O reator continha 3,5 kg de gálio que foi fundido durante a operação e foi injetado pelo injetor de bomba EM. O SunCell® foi pressurizado a 800 Torr com argônio, o gás H_2 fluiu a 100 sccm e foram injetados 250 ul de H_2O. Cerca de 10 mg de óxido de gálio na célula serviu como fonte de oxigênio para catalisador HOH com o gás H_2, em que o último também serve como fonte do hidrogênio atômico do reagente de hidrino. A taxa de

bombeamento de gálio foi de cerca de 30 cm^3/s e a tensão e a corrente de ignição CC do plasma para manter um plasma de cerca de 100 kW de potência em excesso foram 50 V e 1000 A, respectivamente.

[0628] Após uma corrida de plasma de 5 minutos, 3 gramas de óxido de gálio foram coletados do SunCell®, o sólido foi misturado com excesso de NaOH 1 M por 24 horas, a solução aquosa foi decantada e o sólido insolúvel foi colocado em um cadinho de cerâmica porosa com parede fina. O cadinho foi colocado em um vaso de aço inoxidável de sessenta e cinco mililitros e vedado a vácuo usando-se uma gaxeta de cobre e uma placa flangeada de lâmina de aço inoxidável tendo duas portas soldadas, uma porta de entrada/saída e uma porta para monitorar as alterações de pressão durante e após o teste. O vaso de aço selado foi evacuado, verificado quanto a vazamentos e carregado em um forno de fundição (ProCast™ 3 kg 110 Volts US Electric Melting Furnace 2.102 °F) e aquecido a 950 °C durante um intervalo de 25 a 40 minutos em que a pressão aumentou de -30 pol. Hg para entre 15 e 25 PSI. O vaso de aço inoxidável foi então conectado ao tubo de amostra de cobre e à válvula de seis vias do cromatógrafo de gás. Idealmente, a pressão dentro do tubo de amostra de cobre manteve pelo menos 1.000 Torr. O gálio também foi submetido ao mesmo protocolo que o Ga_2O_3 tratado com NaOH para servir como gás de controle.

[0629] Além do gás hidrino do aquecimento do óxido tratado com NaOH do SunCell® e ar compreendendo oxigênio (20%), nitrogênio (80%) e traço de H_2O, os seguintes gases de controle do Atlantic State Speciality Gas foram testados com o gás carreador hélio: hidrogênio de pureza ultra-alta (UHP), metano (UHP) e hidrogênio (HUP)/metano (UHP) (90/10%). Espectroscopia de massa foi realizada no gás hidrino após análise por CG usando um analisador de gás residual (Ametek Dycor Residual Gas Analyzer modelo Q100M). A amostra de gás hidrino foi analisada repetidamente por cromatografia gasosa após permanecer em temperatura ambiente por pelo menos 24 horas para determinar se alguma espécie se difundiu para fora do vaso estanque

a vácuo.

[0630] Conforme mostrado por Snavely e Subramaniam [K. Snavely, B. Subramaniam, “Thermal conductivity detector analysis of hydrogen using helium carrier gas and HayeSep® D columns” (Análise de detector de condutividade térmica de hidrogênio usando gás carreador hélio e colunas HayeSep® D), Journal of Chromatographic Science, Vol. 36, ((1998), pp. 191-196], o pico de hidrogênio executado na HP5890 com um TCD a uma temperatura inferior a 130 °C é positivo para todas as intensidades de pico. Gás hidrino molecular $H_2(1/p)$ como $H_2(1/4)$ tem um volume que é p^3 menor do que H_2 comum, de modo que o caminho livre médio para colisões balísticas é p^2 menor, dando origem a uma condutividade térmica maior que H_2. Devido ao tamanho menor e maior condutividade térmica do gás hidrino molecular em relação ao H_2 comum, antecipa-se que o pico cromatográfico de $H_2(1/4)$ tenha um tempo de retenção reduzido e seja positivo em baixa concentração e negativo em alta concentração. Assim, um pico antes do pico de H_2 que pode ter bordas de ataque e de fuga positivas e ter uma intensidade negativa em seu máximo correspondente à concentração máxima da banda de hidrino molecular no gás carreador hélio só pode ser hidrino, uma vez que o hélio não produz um pico no gás carreador hélio e nenhum gás conhecido tem um tempo de retenção mais curto e maior condutividade térmica do que o hidrogênio ou o hélio.

[0631] As cromatografias a gás de controle registradas com o cromatógrafo de gás HP 5890 série II usando uma coluna de peneira molecular Agilent com gás carreador hélio e um detector de condutividade térmica (TCD) ajustado para 60 °C para que qualquer pico de H_2 fosse positivo são mostradas nas FIGURAS 51A–E, em que hidrogênio a 1000 Torr mostrou um pico positivo em 10 minutos, metano a 1000 Torr mostrou um pico de contaminação de H_2O positivo pequeno em 17 minutos e um pico positivo de metano em 50,5 minutos, a mistura de hidrogênio (90%) e metano (10%) a 1000 Torr mostrou um pico de hidrogênio positivo em 10 minutos e um

pico de metano positivo em 50,2 minutos, ar a 760 Torr mostrou um pico de H_2O positivo muito pequeno em 17,1 minutos, um pico positivo de oxigênio em 17,6 minutos e um pico positivo de nitrogênio em 35,7 minutos e o gás do aquecimento de gálio metálico a 950 °C não mostrou picos. As cromatografias a gás de gás hidrino que evoluíram a partir do Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino executada no SunCell® e aquecido a 950 °C são mostradas nas FIGURAS 52A–B. O pico de hidrogênio positivo conhecido foi observado em 10 minutos, e um novo pico negativo observado em 9 minutos com bordas de ataque e de fuga positivas em 8,9 minutos e 9,3 minutos, respectivamente, foi atribuído a $H_2(1/4)$. Nenhum gás conhecido tem um tempo de migração mais rápido e alta condutividade térmica do que H_2 ou He, que é característico e identifica o hidrino, uma vez que tem um caminho livre médio muito maior devido ao $H_2(1/4)$ exemplar, com volume 64 vezes menor e seção transversal balística 16 vezes menor. O gás compreendendo hidrogênio e $H_2(1/4)$ foi deixado no vaso por mais de 24 horas após o momento da gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 52A–B. O pico de hidrogênio foi observado novamente em 10 minutos com um pequeno pico de contaminação de N_2 em 37,4 minutos, mas o novo pico negativo com menor tempo de retenção do que o hidrogênio estava ausente, conforme mostrado na FIGURA 53, consistente com o tamanho menor e alta difusividade correspondente de $H_2(1/4)$ mesmo em comparação com H_2.

[0632] Os resultados da cromatografia a gás de um pico negativo inicial correspondendo a um tempo de migração mais rápido e alta condutividade térmica que H_2 ou hélio e atribuído a $H_2(1/4)$, foi repetido para uma segunda e terceira reação de hidrino executada no SunCell®. Os resultados das cromatografias a gás de gás hidrino que evoluíram a partir do Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma segunda reação de hidrino executada no SunCell® são mostrados nas FIGURAS 54A–B. O pico de hidrogênio positivo conhecido foi observado em 10 minutos, um pico desconhecido positivo foi observado em 42,4 minutos, o pico de metano positivo foi observado em

51,8 minutos, e o novo pico negativo atribuído a $H_2(1/4)$ foi observado em 8,76 minutos, tendo bordas de ataque e de fuga positivas em 8,66 minutos e 9,3 minutos, respectivamente. Os resultados das cromatografias a gás de gás hidrino que evoluíram a partir do Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma terceira reação de hidrino executada no SunCell® são mostrados nas FIGURAS 55A–B. O pico de hidrogênio positivo conhecido foi observado em 10 minutos, o pico de metano positivo foi observado em 51,9 minutos, e o novo pico negativo atribuído a $H_2(1/4)$ foi observado em 8,8 minutos, tendo bordas de ataque e fuga positivas em 8,7 minutos e 9,3 minutos, respectivamente.

[0633] O espectro de massa (FIGURA 56) de gás desenvolvido a partir de Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma reação de hidrino realizada no SunCell® e aquecido a 950 °C que foi registrado após a gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 55A–B confirmou a presença de hidrogênio e metano. A formação de metano é extraordinária e atribuída ao plasma de hidrino energético que causa a reação do hidrogênio com traços de CO_2 ou carbono do reator de aço inoxidável. O gás compreendendo hidrogênio e $H_2(1/4)$ foi deixado no vaso por mais de 24 horas após o momento da gravação da cromatografia a gás mostrada nas FIGURAS 55A–B. O pico de hidrogênio em 10 minutos e o pico de metano em 53,7 minutos foram observados novamente, mas o novo pico negativo com menor tempo de retenção do que o hidrogênio estava ausente, conforme mostrado na FIGURA 57, consistente com o tamanho menor e alta difusividade correspondente de $H_2(1/4)$, mesmo em comparação com H_2.

[0634] Os resultados da cromatografia a gás de gás hidrino que evoluíram a partir do Ga_2O_3 tratado com NaOH coletado de uma quarta reação de hidrino executada no SunCell® são mostrados nas FIGURA 58. O pico de hidrogênio positivo conhecido observado em 10 minutos foi precedido por um novo pico positivo em 7,4 minutos. O pico rápido foi atribuído a $H_2(1/4)$ uma vez que nenhum gás conhecido tem

um tempo de migração mais rápido do que H_2 ou He. A natureza positiva do pico de H_2(1/4) foi indicativa de uma concentração mais baixa de gás hidrino no gás hélio carreador para essa amostra. O pico rápido, bem como aquele pico rápido sendo um pico negativo em alta concentração, elimina qualquer outra atribuição de gás diferente de hidrino.

[0635] Em uma modalidade, água pode ser injetada na câmara da célula de reação a baixa pressão, como abaixo de 10 Torr, mantida por um vácuo dinâmico para gerar energia e formar óxido de gálio na superfície, que pode ser coletado para servir como uma fonte de gás hidrino. Em uma modalidade exemplar, óxido de gálio foi retirado da superfície de gálio fundido após a operação de um SunCell® compreendendo (i) uma câmara da célula de reação de aço inoxidável 304 de 15,24 cm de diâmetro e um reservatório no fundo com um diâmetro interno de 6 cm e altura de 6,35 cm que continha cerca de 3,5 kg de gálio fundido, (ii) um injetor de gálio fundido compreendendo uma bomba EM CC na parte inferior com um bocal de W e (iii) um contraeletrodo de pedestal isolado com BN na parte superior compreendendo um barramento de W de 1,27 cm de diâmetro conectado a uma passagem capaz de vácuo montada em um flange na extremidade superior e uma cavidade parabólica côncava de cerca de 2,54 cm de profundidade no centro e 3,8 cm de diâmetro na extremidade inferior. Para evitar a fusão da câmara de reação, o SunCell foi executado três vezes por intervalos de 30 s a 1.000 A e 25–30 V CC com uma taxa de bombeamento EM de 200 g/s permitindo o resfriamento entre as corridas. Usando uma válvula de agulha para um reservatório de água e um solenoide com um controlador para controlar o fluxo, água foi injetada na câmara da célula de reação a cerca de 4 ml/min sob vácuo dinâmico que manteve uma pressão abaixo de 10 Torr. A célula produz cerca de 120 kW com uma entrada de cerca de 28 kW. Cerca de 15 g de óxido de gálio foram dissolvidos em cerca de 500 ml de NaOH 1 M aquoso e deixados em repouso durante 72 horas à temperatura ambiente. O material insolúvel que foi suspenso na solução

foi removido por escumação. O sólido foi colocado em um vaso de SS vedado de 65 cm^3 e aquecido a 600 °C para liberar 6,8 atm de gás. 2 atm do gás foram injetados no cromatógrafo a gás usando-se a válvula de seis vias. O espectro era equivalente ao mostrado na FIGURA 52A, em que o pico negativo inicial atribuído a $H_2(1/4)$ foi observado em um tempo de retenção de 9 minutos. O pico inicial também foi observado antes do pico de hidrogênio como um pico positivo em que o gás carreador era argônio e o TCD estava a 85 °C.

[0636] Em outra modalidade experimental, o catalisador HOH e uma fonte de H atômico foram fornecidos, fluindo 3000 sccm de H_2 e 30 sccm de O_2 através de 1 g de catalisador de recombinador Pt/Al_2O_3 mantido a mais de 90 °C e na câmara da célula de reação. A potência de entrada era de cerca de 25 kW e a potência de saída era de cerca de 100 kW. O Ga_2O_3 escumado da superfície de gálio fundido após a operação do SunCell® foi dissolvido em NaOH 1 M, o sólido insolúvel foi coletado por decantação do líquido, e a amostra resultante foi aquecida no vaso de SS de 65 cm^3 evacuado para liberar gás hidrino na coluna cromatográfica gasosa, em que o pico negativo inicial atribuído a $H_2(1/4)$ foi observado em um tempo de retenção de cerca de 9 minutos. Em uma modalidade, a coluna Hayesep em temperatura criogênica pode ser usada para separar o gás $H_2(1/4)$ do H_2. O espectro de rovibração de hidrino pode ser observado por emissão de excitação de feixe de elétrons em uma câmara compreendendo argônio a cerca de 1 atm para formar excímeros de argônio para excitar a banda rovibracional, como mostrado na FIGURA 41.

[0637] Um SunCell® (FIGURA 25) foi operado fluindo 1.200 sccm de H_2 e 20 sccm de O_2 através de 1 g de catalisador de recombinador Pt/Al_2O_3 mantido a mais de 90 °C e na câmara da célula de reação. A célula foi operada a uma pressão de 1–5 Torr enquanto fluía os gases para fora de uma porta de exaustão, borbulhando-os através de uma fina camada de argônio líquido em um vaso em série com uma linha de vácuo resfriada por um dewar de nitrogênio líquido externo e evacuando-os usando

uma bomba de vácuo. Hidrino molecular tem uma solubilidade mais alta em argônio líquido do que o H_2, o que fornece um meio de enriquecimento do gás $H_2(1/4)$. A FIGURA 59 mostra a cromatografia a gás de hidrino molecular fluindo do SunCell®, absorvido no argônio líquido como solvente e, em seguida, liberado permitindo que o argônio líquido vaporize após aquecimento a 27 °C. O pico de hidrino foi observado em 8,05 minutos em comparação com o hidrogênio que foi observado mais tarde em 12,58 minutos na coluna Agilent (peneira molecular Agilent 5 Å, (50 m x 0,32, df = 30 μm) a 303 K (30 °C) usando um segundo cromatógrafo a gás HP 5890 série II com detector de condutividade térmica a 85 °C e gás carreador de argônio a 19 PSI.

[0638] O gás $H_2(1/4)$ de uma mistura de argônio/$H_2(1/4)$ formada por recombinação de hidrogênio e oxigênio em um catalisador de metal nobre suportado em uma atmosfera de argônio foi enriquecido fluindo a mistura através de uma coluna cromatográfica de 35 m de comprimento e DI de 2,5 mm HayeSep® D resfriada a uma temperatura criogênica em um argônio líquido. O argônio foi parcialmente liquefeito para permitir que o gás hidrino molecular fluindo fosse enriquecido, conforme indicado pelo aumento drástico no ramo P vibracional de $H_2(1/4)$ observado por espectroscopia de emissão de excitação por feixe de elétrons, como mostrado na FIGURA 42. O gás hidrino molecular da coluna cromatográfica também foi liquefeito com traços de ar à medida que fluía para uma microcâmara valvulada resfriada a 55 K por um sistema de bomba criogênica (Helix Corp., compressor CTI-Cryogenics modelo SC; controlador TRI-Research modelo T-2000D-IEEE; Helix Corp., CTI-Cryogenics modelo 22 cryodyne). O gás liquefeito foi aquecido à temperatura ambiente para atingir a pressão da câmara de 1000 Torr e foi injetado na coluna Agilent com gás carreador de argônio. Oxigênio e nitrogênio foram observados aos 19 e 35 minutos, respectivamente. $H_2(1/4)$ foi observado em 6,9 minutos (FIGURA 60).

[0639] As equações dos cálculos do íon hidreto de hidrino neste documento da forma (#.#) e as seções referenciadas correspondem às de MILLS GUT. Para o íon

hidreto comum H^- , um contínuo é observado em comprimentos de onda mais curtos da energia de ionização ou ligação, referido como o contínuo livre de ligações. Para condições típicas na fotosfera, a Figura 4.5 de Stix [M. Stix, *The Sun*, Springer-Verlag, Berlin, (1991), p. 136] mostra o coeficiente de absorção contínua $\kappa_C(\lambda)$ do Sol. No espectro visível e infravermelho, o íon hidreto H^- é o absorvedor dominante. Seu contínuo livre começa em $\lambda = 1.645\ \mu m$, correspondendo à energia de ionização de $0.745\ eV$ para H^- com absorção fortemente crescente em direção ao infravermelho distante. O espectro de hidreto comum registrado no Sol é representativo do espectro de hidreto em um plasma muito quente.

[0640] A reação de um átomo de hidrogênio com um segundo elétron para formar íon hidreto comum compreendendo dois elétrons emparelhados em uma única camada libera radiação contínua para comprimentos de onda mais longos, com um corte da energia de ligação do segundo elétron do íon hidreto, conforme mostrado por Stix [M. Stix, *The Sun*, Springer-Verlag, Berlin, (1991), p. 136]. No entanto, o íon hidreto de hidrino e a emissão correspondente de um átomo de hidrino ligando um segundo elétron são únicos. O íon hidreto de hidrino compreende um elétron desemparelhado que resulta na emissão da energia de ligação do segundo elétron sendo liberado com unidades quantizadas adicionais de energia, com base na ligação de incrementos de fluxo do flúxon ou quantum de fluxo magnético $\frac{h}{2e}$. Especificamente, o $H^-(1/p)$hidrino compreende (i) dois elétrons ligados em uma membrana de corrente de energia mínima, equipotencial, esférica e bidimensional em que os elétrons de $H^-(1/p)$ são desemparelhados na mesma camada na mesma posição r, e (ii) um fóton que aumenta o campo central em um inteiro da carga fundamental no núcleo centrado na origem da esfera. A interação do campo elétrico do fóton no estado hidrino, com cada elétron dando origem a um monopolo radial não radiativo, de maneira que o estado é estável. A combinação de dois elétrons em um único orbital atômico (AO), enquanto mantém o campo central fotônico inteiro sem radiação, dá origem ao

caso especial de um estado AO de dupleto no íon hidreto de hidrino, em vez de um estado singleto como no caso do íon hidreto comum. O estado de singleto é não magnético; enquanto o estado de dupleto tem um momento magnético líquido de um magnéton de Bohr μ_B.

[0641] Especificamente, o elemento básico da corrente do orbital atômico é um grande círculo, como mostrado na seção Geração do Orbital Atômico-CVFS. Conforme mostrado na Equação do campo elétrico dentro da seção Orbital Atômico, (i) os fótons carregam o campo elétrico e compreendem loops de linha de campo fechado, (ii) um átomo de hidrino compreende um fóton aprisionado em que os loops de linha de campo de fóton viajam, cada um, ao longo de elemento de base de circuito de corrente de grande círculo acoplado na mesma direção vetorial, (iii) a direção de cada linha de campo aumenta na direção perpendicular à direção de propagação com movimento relativo, conforme exigido pela relatividade especial, e (iv) como a velocidade linear de cada ponto ao longo de um loop de linha de campo de um fóton capturado é a velocidade da luz c, a direção do campo elétrico, em relação à estrutura do laboratório, é puramente perpendicular ao seu loop de corrente acoplado e existe apenas em $\delta(r - r_n)$. Os elétrons emparelhados do H^- orbital atômico de compreendem um estado singlete sem momento magnético líquido. No entanto, as linhas de campo de fótons de um íon de hidreto de hidrino só podem se propagar em uma direção para evitar o cancelamento e dar origem a um campo central para fornecer equilíbrio de força entre as forças centrífuga e central (Eq. (7.72) Este caso especial dá origem a um estado de dupleto no íon hidreto de hidrino.

[0642] O hidreto de hidrino AO pode ser tratado como uma combinação linear dos grandes círculos que compreendem a função de densidade de corrente de cada elétron, conforme dado na seção Geração da Orbitasfera-CVFS. Para atender às condições de limite em que o fóton é combinado na direção com a corrente de elétrons e que o momento angular do elétron é $\hbar$ sejam satisfeitas, uma metade do elétron 1 e

uma metade do elétron 2 podem ser giradas para cima e combinadas com o fóton, e a outra metade do elétron 1 pode ser girada para cima e a outra metade do elétron 2 pode ser girada para baixo, de modo que uma metade das correntes esteja emparelhada e a outra metade não esteja emparelhada. Dada a indivisibilidade de cada elétron e a condição de que o AO compreende dois elétrons idênticos, a força do fóton é transferida para a totalidade do elétron AO, que compreende os dois elétrons idênticos para satisfazer a Eq. (7.72). O momento angular e o momento magnético resultantes da densidade de corrente desemparelhada são $\hbar$ e um magnéton de Bohr μ_B, respectivamente. Conforme dado na seção Fator g de Elétron, o fluxo é ligado por um elétron desemparelhado em unidades quantizadas do flúxon ou quantum do fluxo magnético $\frac{h}{2e}$.

[0643] Íons hidreto formados pela reação de átomos de hidrogênio ou hidrino com elétrons livres com uma distribuição de energia cinética dão origem à banda de emissão livre de ligação para comprimentos de onda mais curtos do que a ionização ou energia de ligação devido à liberação da energia cinética do elétron e da energia de ligação do íon hidreto. Conforme mostrado pela Eq. (7.74) em comparação com a Eq. (7.71), as energias para a formação de íons de hidreto de hidrino são muito superiores e, com resolução espectroscópica suficiente, pode ser possível resolver a estrutura hiperfina única na banda livre de ligação correspondente devido às interações dos elétrons livres e ligados durante a formação de íon hidreto de hidreto. A derivação das linhas hiperfinas do estado único de dupleto é fornecida na seção Linhas hiperfinas de Íons de Hidreto de Hidrino.

[0644] Ionização de dois O, ionização de dois H, ionização de Rb^+ e uma transferência de elétrons entre dois K^+ íons (Eqs. (5.6–5.9)) fornecem uma reação com uma entalpia líquida de um múltiplo inteiro da energia potencial do hidrogênio atômico, $27.2\ eV$. Os nitratos do Grupo I correspondentes fornecem esses reagentes como íons volatilizados diretamente ou como átomos ao sofrer decomposição ou

redução nos metais correspondentes que são ionizados em um plasma. A presença de cada um dos reagentes identificados como fornecendo uma entalpia de $27.2\ eV$ formou um plasma de baixa temperatura aplicada e tensão extremamente baixa em hidrogênio atômico, chamado de transferência ressonante ou plasma rt tendo forte emissão ultravioleta a vácuo (VUV). Previu-se que o produto catalisador de Rb^+ e dois K^+, $H\left(1/2\right)$, era um intermediário altamente reativo que posteriormente reage para formar um íon hidreto de hidrino $H^-\left(1/2\right)$.

[0645] Os íons $H^-\left(1/2\right)$ se formam pela reação de átomos $H\left(1/2\right)$ com elétrons livres que têm distribuição de energia cinética. A liberação das energias cinéticas do elétron e da energia de ligação do íon hidreto de hidrino dá origem à banda de emissão livre de ligação para comprimentos de onda mais curtos do que a ionização ou energia de ligação do íon hidreto correspondente. Devido à exigência de que o fluxo esteja ligado por $H\left(1/2\right)$ em unidades inteiras do quantum do fluxo magnético, a energia é quantizada e a emissão devido à formação de $H^-\left(1/2\right)$ compreende uma série de linhas hiperfinas na banda livre de ligação correspondente. A partir do fator g do elétron e usando o pico de energia de ligação E_B^* observado, as linhas de estrutura hiperfina livre de ligação, devido às interações dos elétrons livres e ligados, têm energias previstas E_{HF} dadas pela soma da energia E_Φ do flúxon , a energia spin-spin E_{ss} e o pico de energia de ligação E_B^* observado :

$$\begin{aligned} E_{HF} &= E_\Phi + E_{ss} + E_B^* \\ &= j^2 2\left(g-2\right)\frac{\mu_B}{\sqrt{s\left(s+1\right)}}\frac{\mu_0}{r^3}\left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right) + g\frac{\mu_0}{r^3}\left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right)^2 + E_B^* \\ &= \left(j^2 3.00213\ X\ 10^{-5} + 0.011223 + 3.0451\right)\ eV \\ &= \left(j^2 3.00213\ X\ 10^{-5} + 3.0563\right)\ eV \end{aligned} \tag{7.97}$$

onde j = inteiro. Isso é comparado com com $E_{HF} = \left(j^2 3.00213\ X\ 10^{-5} + 3.0583\right)\ eV$ não perturbado E_B dado pelas Eqs. (7.73) e (7.74). O espectro previsto é uma série inversa do tipo Rydberg que converge em comprimentos de onda crescentes e termina em 3,0563 eV, a energia de ligação do

hidreto com a estrutura fina mais as energias de emparelhamento de spin. Os espectros de emissão de plasma visível de alta resolução na região de 4000 Å a 4060 Å mostrados na FIGURA 61 combinaram com as linhas de emissão previstas para 1 parte em 10^5.

[0646] Especificamente, a $3.0471\,eV$ energia de ligação prevista de $H^-\left(1/2\right)$ para foi observada como um limiar contínuo a 3,047 eV ($\lambda_{air} = 4068$ Å). O pico de experimental $E_B^* H^-\left(1/2\right)$ em 4.070,6 Å (comprimento de onda do ar) foi usado para calcular as posições de pico das linhas hiperfinas livres de ligação por substituição da energia correspondente de 3,0451 eV na Eq. (7.97) para E_B dar as linhas da estrutura hiperfina livre de ligação de $H^-\left(1/2\right)$. As linhas de emissão de plasma visível de alta resolução na região de 3995 Å a 4060 Å, compreendendo uma série do tipo Rydberg inversa de 3,0563 eV a 3,1012 eV combinaram com as energias de emissão de divisão hiperfina previstas E_{HF} dadas pela Eq. (7.97) para $j = 1$ a $j = 39$ com a borda da série em 3996,3 Å até 1 parte em 10^5 [R. L. Mills, P. Ray, "A Comprehensive Study of Spectra of the Bound-Free Hyperfine Levels of Novel Hydride Ion $H^-\left(1/2\right)$, Hydrogen, Nitrogen, and Air", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 28, No. 8, (2003), pp. 825-871; R. Mills, W. Good, P. Jansson, J. He, “Stationary Inverted Lyman Populations and Free-Free and Bound-Free Emission of Lower-Energy State Hydride Ion formed by and Exothermic Catalytic Reaction of Atomic Hydrogen and Certain Group I Catalysts,” Cent. Eur. J. Phys., Vol. 8, (2010), 7–16, doi: 10.2478/s11534-009-0052-6; R. L. Mills, P. Ray, “Stationary Inverted Lyman Population and a Very Stable Novel Hydride Formed by a Catalytic Reaction of Atomic Hydrogen and Certain Catalysts,” J. Opt. Mat., 27, (2004), 181–186, and R. L. Mills, P. C. Ray, R. M. Mayo, M. Nansteel, W. Good, P. Jansson, B. Dhandapani, J. He, “Hydrogen Plasmas Generated Using Certain Group I Catalysts Show Stationary Inverted Lyman Populations and Free-Free and Bound-Free Emission of Lower-Energy State Hydride,” Res. J. Chem Env., Vol. 12(2), (2008), 42–72 que são aqui incorporados por referência na sua

totalidade]. O perfil de intensidade plana corresponde ao das junções Josephson, como as dos dispositivos supercondutores de interferência quântica (SQUIDs), que também ligam o fluxo magnético em unidades quantizadas do quantum do fluxo magnético $\frac{h}{2e}$.

REIVINDICAÇÕES

1. Um sistema de energia que gera pelo menos uma dentre energia elétrica e energia térmica, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

pelo menos um vaso capaz de manter uma pressão abaixo da atmosférica;

reagentes capazes de sofrer uma reação que produza energia suficiente para formar um plasma no vaso, compreendendo:

a) uma mistura de gás hidrogênio e gás oxigênio, e/ou

vapor de água, e/ou

uma mistura de gás hidrogênio e vapor d'água;

b) um metal fundido;

um controlador de fluxo de massa para controlar a vazão de pelo menos um reagente no vaso;

uma bomba de vácuo para manter a pressão no vaso abaixo da pressão atmosférica quando um ou mais reagentes estiverem fluindo para o vaso;

um sistema injetor de metal fundido que compreenda pelo menos um reservatório que contenha algum metal fundido, um sistema de bombeamento de metal fundido (*p.ex.*, uma ou mais bombas eletromagnéticas) configurado para fornecer o metal fundido ao reservatório e, através de um tubo injetor, fornecer um fluxo de metal fundido, e pelo menos um reservatório de metal fundido não injetor para receber o fluxo de metal fundido;

pelo menos um sistema de ignição compreendendo uma fonte de energia elétrica ou corrente de ignição para fornecer energia elétrica a pelo menos um fluxo de metal fundido para inflamar a reação quando o gás hidrogênio e/ou gás oxigênio e/ou vapor d'água estiverem fluindo para o vaso;

um sistema de abastecimento de reagente para reabastecer os reagentes que são consumidos na reação;

um conversor de energia ou sistema de saída para converter uma parte da

energia produzida na reação (*p.ex.*, luz e/ou saída térmica do plasma) em energia elétrica e/ou energia térmica.

2. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda um misturador de gás para misturar os gases hidrogênio e oxigênio e um recombinador de hidrogênio e oxigênio e/ou um dissociador de hidrogênio.

3. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o recombinador de hidrogênio e oxigênio compreende um metal catalítico recombinante suportado por um material de suporte inerte.

4. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um gás inerte (*p.ex.*, argônio) é injetado no vaso.

5. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda um microinjetor de água configurado para injetar água no vaso (p.e*x.*, resultando em um plasma compreendendo vapor de água).

6. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de injeção de metal fundido pode compreender ainda eletrodos no reservatório de metal fundido e no reservatório não injetor de metal fundido; e o sistema de ignição compreende uma fonte de energia elétrica ou corrente de ignição para fornecer tensões opostas aos eletrodos do reservatório injetor e não injetor; em que a fonte de energia elétrica fornece corrente e fluxo de energia através do fluxo de metal fundido para fazer com que a reação dos reagentes forme um plasma dentro do vaso.

7. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de bombeamento de metal fundido é composto por uma ou mais bombas eletromagnéticas, e cada bomba eletromagnética compreende um de

a) um tipo de condução CC ou CA compreendendo uma fonte de corrente CC ou CA suprida ao metal fundido por meio de eletrodos e uma fonte de campo

magnético cruzado por vetor alternado constante ou em fase, ou

b) um tipo de indução compreendendo uma fonte de campo magnético alternado através de um loop curto de metal fundido que induz uma corrente alternada no metal e uma fonte de campo magnético cruzado por vetor alternado em fase.

8. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1 **CARACTERIZADO** pelo fato de que o reservatório injetor compreende um eletrodo em contato com o metal fundido ali contido, e o reservatório não injetor compreende um eletrodo que faz contato com o metal fundido fornecido pelo sistema injetor.

9. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o reservatório não injetor é alinhado acima (*p.ex.*, verticalmente) do injetor, e o injetor é configurado para produzir o fluxo fundido orientado em direção ao reservatório não injetor, de modo que o metal fundido oriundo do fluxo de metal fundido possa se acumular no reservatório, e o fluxo de metal fundido faça contato elétrico com o eletrodo do reservatório não injetor; e no qual o metal fundido se acumula no eletrodo do reservatório não injetor.

10. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vaso compreende uma geometria de ampulheta (*p.ex.*, uma geometria em que uma porção média da área de superfície interna do vaso tem uma seção transversal menor do que a seção transversal dentro de 20% ou 10% ou 5% de cada extremidade distal ao longo do eixo principal) e em uma orientação vertical (*p.ex.*, o eixo principal do vaso é aproximadamente paralelo à força da gravidade) em seção transversal em que o reservatório injetor está abaixo da cintura e configurado de modo que o nível de metal fundido no reservatório seja proximal à cintura da ampulheta para aumentar a densidade da corrente de ignição.

11. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o metal fundido reage com água para formar hidrogênio atômico.

12. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o metal fundido é gálio e o sistema de energia compreende ainda um sistema de regeneração de gálio com a finalidade de regenerar gálio a partir de óxido de gálio (*p.ex.*, óxido de gálio produzido na reação).

13. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o vaso compreende uma janela fotovoltaica (PV) transparente à luz para transmitir luz do interior do vaso para um conversor fotovoltaico, e pelo menos uma geometria de vaso e pelo menos um defletor compreendendo uma janela giratória.

14. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o conversor de energia ou sistema de saída é um conversor magneto-hidrodinâmico que compreende um bocal conectado ao vaso, um canal magneto-hidrodinâmico, eletrodos, ímãs, um sistema de coleta de metal, um sistema de recirculação de metal, um trocador de calor e, opcionalmente, um sistema de recirculação de gás.

15. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o sistema de bombeamento de metal fundido compreende uma bomba eletromagnética de primeiro estágio e uma bomba eletromagnética de segundo estágio, em que o primeiro estágio compreende uma bomba para um sistema de recirculação de metal e o segundo estágio compreende a bomba do sistema injetor de metal.

16. O sistema de energia de acordo com a Reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a reação produz um produto de hidrogênio com característica de um ou mais dentre:

a) um produto de hidrogênio com um pico Raman em um ou mais intervalos de 1.900 a 2.000 cm^{-1} e 5.500 a 6.200 cm^{-1};

b) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos Raman

espaçados em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,25 eV;

c) um produto de hidrogênio com um pico de infravermelho em 1.900 a 2.000 cm^{-1};

d) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos de infravermelho espaçados em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,25 eV;

e) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais de emissão de fluorescência UV na faixa de 200 a 300 nm com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 0,23 a 0,3 eV;

f) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais de emissão de feixes de elétrons na faixa de 200 a 300 nm com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 0,2 a 0,3 eV;

g) um produto de hidrogênio com uma pluralidade de picos espectrais Raman na faixa de 5.000 a 20.000 cm^{-1} com um espaçamento em um múltiplo inteiro de 1.000 ± 200 cm^{-1};

h) um produto de hidrogênio com um espectro Raman contínuo na faixa de 40 a 8.000 cm^{-1};

i) um produto de hidrogênio com um pico Raman na faixa de 1.500 a 2.000 cm^{-1} devido a pelo menos um dentre desvios paramagnéticos e de nanopartículas;

j) um produto de hidrogênio com um pico de espectroscopia de fotoelétron de raios X a uma energia na faixa de 490 a 525 eV;

k) um produto de hidrogênio que causa um deslocamento para cima na matriz MAS-RMN;

l) um produto de hidrogênio que tem um deslocamento para cima de MAS-RMN ou de RMN líquido superior a -5 ppm em relação a TMS;

m) um produto de hidrogênio compreendendo macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3);

n) um produto de hidrogênio compreendendo macroagregados ou polímeros H_n (sendo n um número inteiro maior que 3) com um pico de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) de 16,12 a 16,13;

o) um produto de hidrogênio compreendendo um hidreto de metal, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu e W;

p) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre H_{16} e H_{24};

q) um produto de hidrogênio compreendendo um composto inorgânico M_xX_y e H_2 em que M é um cátion e X em um ânion tendo pelo menos um dentre picos de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ToF-SIMS) e ionização por eletropulverização de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) de $M(M_xX_yH_2)n$ em que n é um número inteiro;

r) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre $K_2CO_3H_2$ e $KOHH_2$ tendo pelo menos um dentre picos de tempo de voo de picos de espectroscopia de massa de íons secundários (ToF-SIMS) e ionização por eletropulverização de espectroscopia de massa de íons secundários por tempo de voo (ESI-ToF) de $K\left(K_2H_2CO_3\right)_n^+$ e $K\left(KOHH_2\right)_n^+$, respectivamente;

s) um produto de hidrogênio magnético compreendendo pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu e W e um metal diamagnético;

t) um produto de hidrogênio compreendendo pelo menos um dentre um hidreto de metal e um óxido de metal compreendendo ainda hidrogênio, em que o metal compreende pelo menos um dentre Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W e um metal diamagnético que demonstra magnetismo por susceptometria magnética;

u) um produto de hidrogênio compreendendo um metal que não é ativo em espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), em que o espectro

de EPR compreende pelo menos um dentre um fator g de cerca de 2,0046 $\pm$20% e divisão de prótons, como uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV $\pm$20%;

v) um produto de hidrogênio compreendendo um dímero molecular de hidrogênio $[H_2]_2$ em que o espectro de EPR mostra pelo menos uma energia de divisão de dipolo elétron-elétron de cerca de 9,9 x 10^{-5} eV $\pm$20% e uma energia de divisão de dipolo próton-elétron de cerca de 1,6 x 10^{-2} eV $\pm$20%;

w) um produto de hidrogênio compreendendo um gás com um pico negativo de cromatografia gasosa negativo com hidrogênio ou hélio como carreador;

x) um produto de hidrogênio com um momento quadrupolo/e $\frac{1.70127 a_0^2}{p^2} \pm 10\%$ em que p é um número inteiro;

y) um produto de hidrogênio protônico compreendendo um dímero molecular com energia rotacional ponta a ponta para a transição do inteiro J a J + 1 na faixa de (J+1)44,30 cm^{-1} ± 20 cm^{-1} em que a energia rotacional correspondente do dímero molecular que compreende deutério é ½ daquela do dímero que compreende prótons;

z) um produto de hidrogênio compreendendo dímeros moleculares tendo pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de hidrogênio de 1,028 Å $\pm 10\%$, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de hidrogênio de 23 cm-1 $\pm 10\%$ e (iii) uma energia de Van der Waals entre moléculas de hidrogênio de 0,0011 eV $\pm 10\%$;

aa) um produto de hidrogênio compreendendo um sólido com pelo menos um parâmetro do grupo de (i) uma distância de separação de moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10%, (ii) uma energia vibracional entre moléculas de hidrogênio de 23 cm-1 ±10% e (iii) uma energia de Van der Waals entre moléculas de hidrogênio de 0,019 eV ±10%;

bb) um produto de hidrogênio com assinaturas espectrais FTIR e Raman de

(i) (J+1)44,30 cm^{-1} ± 20 cm^{-1}, (ii) (J+1)22,15 cm^{-1} ± 10 cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} $\pm 10\%$ e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação das moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,0011 eV ±10% por hidrogênio molecular;

cc) um produto de hidrogênio sólido com assinaturas espectrais FTIR e Raman de (i) (J+1)44,30 cm-1 ±10% cm^{-1}, (ii) (J+1)22,15 cm^{-1} ±10% cm^{-1} e (iii) 23 cm^{-1} ±10% e/ou um padrão de difração de raios X ou nêutrons mostrando uma separação das moléculas de hidrogênio de 1,028 Å ±10% e/ou uma determinação calorimétrica da energia de vaporização de 0,019 eV ±10% por hidrogênio molecular.

dd) um produto de hidrogênio compreendendo um íon de hidreto de hidrogênio que é magnético e liga o fluxo em unidades do magnético em sua região de energia livre de ligação;

ee) um produto de hidrogênio em que a cromatografia líquida de alta pressão (HPLC) mostra picos cromatográficos com tempos de retenção mais longos do que o tempo de volume morto do carreador usando uma coluna orgânica com um solvente compreendendo água em que a detecção dos picos por espectroscopia de massa, tal como ESI-ToF, mostra fragmentos de pelo menos um composto inorgânico.

17. Um sistema de eletrodo **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

a) um primeiro eletrodo e um segundo eletrodo;

b) um fluxo de metal fundido (*p.ex.*, prata fundida, gálio fundido) em contato elétrico com os referidos primeiro e segundo eletrodos;

c) um sistema de circulação que compreende uma bomba para retirar o referido metal fundido de um reservatório e transportá-lo através de um conduíte (*p.ex.*, um tubo) para produzir o referido fluxo de metal fundido que sai do referido conduíte;

d) uma fonte de energia elétrica configurada para fornecer uma diferença de potencial elétrico entre os referidos primeiro e segundo eletrodos;

em que o referido fluxo de metal fundido está em contato simultâneo com os referidos primeiro e segundo eletrodos para criar uma corrente elétrica entre os referidos eletrodos.

18. Um circuito elétrico **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

a) um meio de aquecimento para a produção de metal fundido;

b) um meio de bombeamento para transportar o referido metal fundido de um reservatório através de um conduíte para produzir um fluxo do referido metal fundido que sai do referido conduíte;

c) um primeiro eletrodo e um segundo eletrodo em comunicação elétrica com um meio de fonte de alimentação para criar uma diferença de potencial elétrico através dos referidos primeiro e segundo eletrodos;

em que o referido fluxo de metal fundido está em contato simultâneo com os referidos primeiro e segundo eletrodos para criar um circuito elétrico entre os referidos primeiro e segundo eletrodos.

19. Em um circuito elétrico compreendendo um primeiro e segundo eletrodo, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o aperfeiçoamento compreende a passagem de um fluxo de metal fundido através dos referidos eletrodos para permitir que uma corrente flua entre eles.

20. Um sistema para produção de plasma **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende:

a) um sistema injetor de metal fundido configurado para produzir um fluxo de metal fundido a partir de um reservatório de metal;

b) um sistema de eletrodo para induzir uma corrente a fluir através do referido fluxo de metal fundido;

c) pelo menos um dentre (i) um sistema de injeção de água configurado para colocar um volume medido de água em contato com metal fundido, em que uma porção da referida água e uma porção do referido metal fundido reagem para formar

um óxido do referido metal e gás hidrogênio, (ii) uma mistura de gás hidrogênio em excesso e gás oxigênio, e (iii) uma mistura de gás hidrogênio em excesso e vapor de água, e

d) uma fonte de alimentação configurada para fornecer a referida corrente;

em que o referido plasma é produzido quando a corrente é fornecida através do referido fluxo de metal.

21. O sistema de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende ainda:

a) um sistema de bombeamento configurado para transferir metal coletado após a produção do referido plasma para o referido reservatório de metal; e

b) um sistema de regeneração de metal configurado para coletar o referido óxido de metal e converter o referido óxido de metal no referido metal; em que o referido sistema de regeneração de metal compreende um ânodo, um cátodo, eletrólito; em que uma polarização elétrica é fornecida entre o referido ânodo e o cátodo para converter o referido óxido de metal no referido metal;

em que o metal regenerado no referido sistema de regeneração de metal é transferido para o referido sistema de bombeamento.

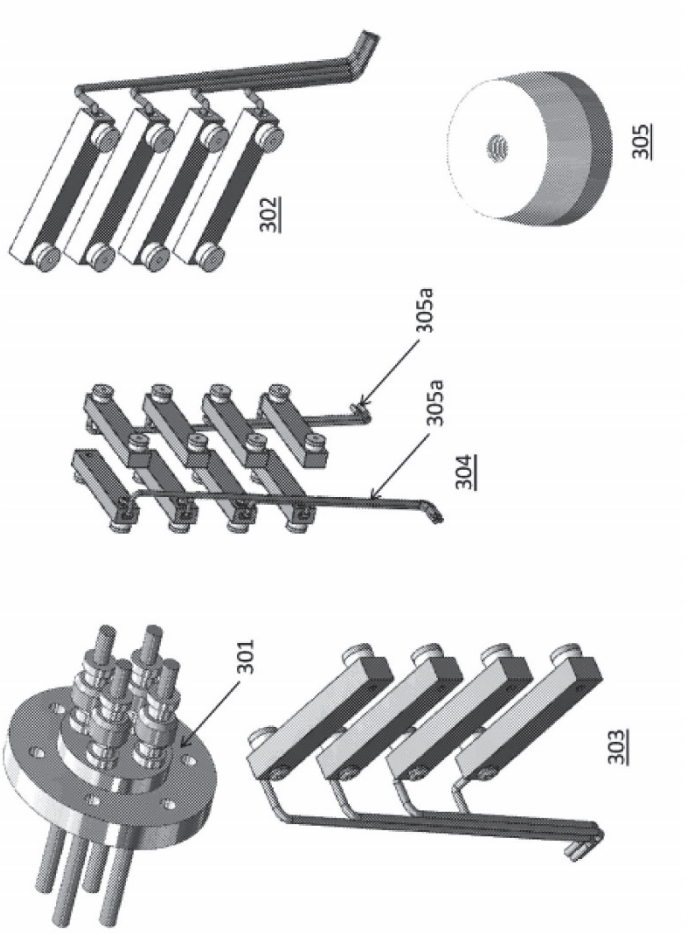


Fig. 1

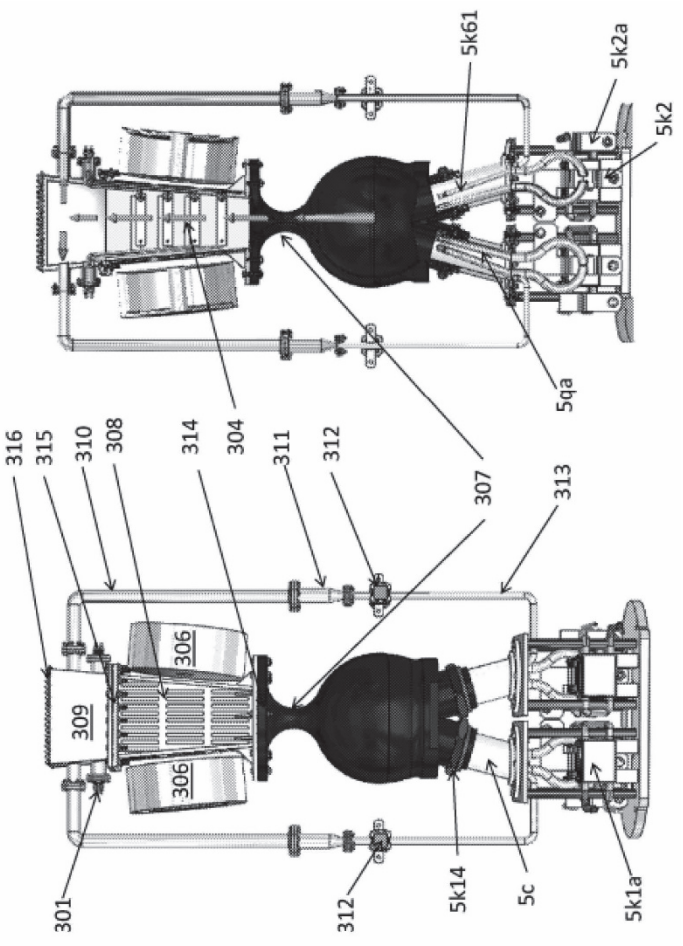

5k61
5k2a
5k2
5qa
316
315
310
308
314
304
311
312
307
313
309
306
306
301
312
5k14
5c
5k1a

Fig. 2

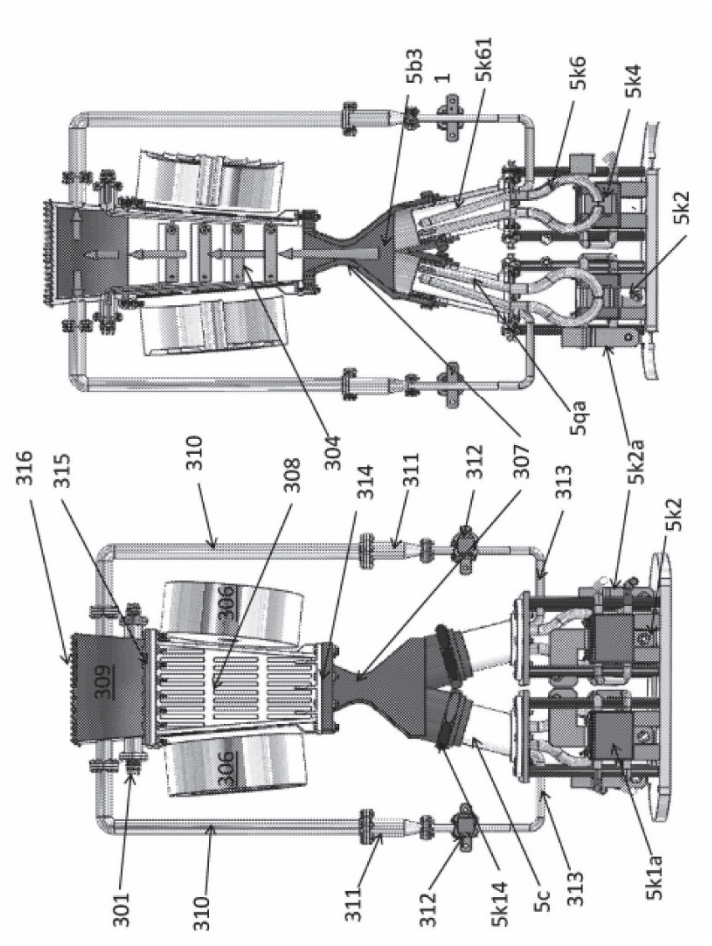

5b3
1
5k61
5k6
5k4
5k2
5qa
5k2a
304
307
313
312
311
314
308
310
315
316
306
309
301
310
311
312
5k14
5c
313
5k1a
5k2

Fig. 3

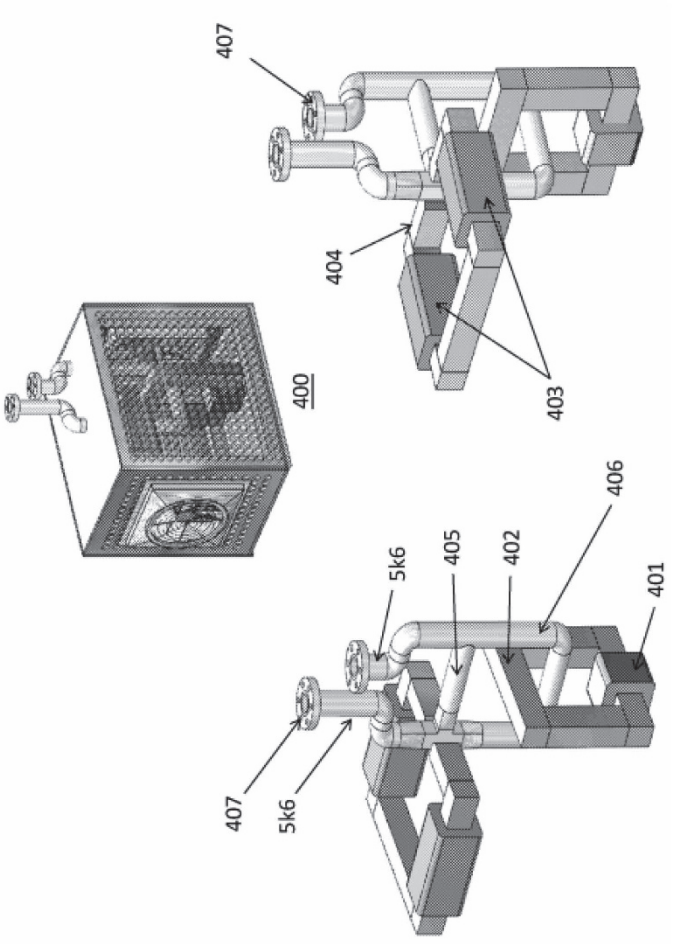


Fig. 4

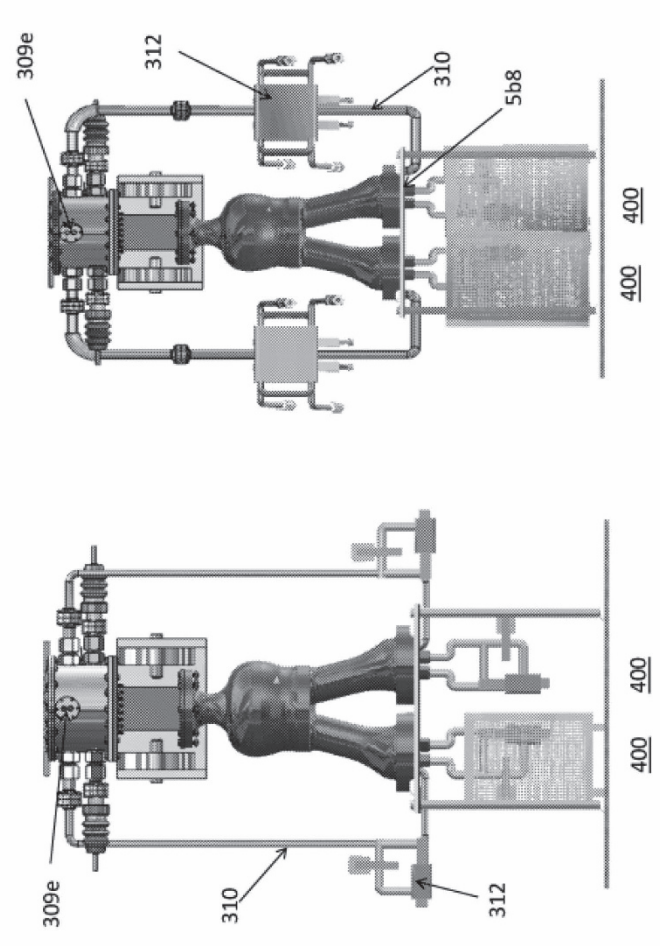


Fig. 5

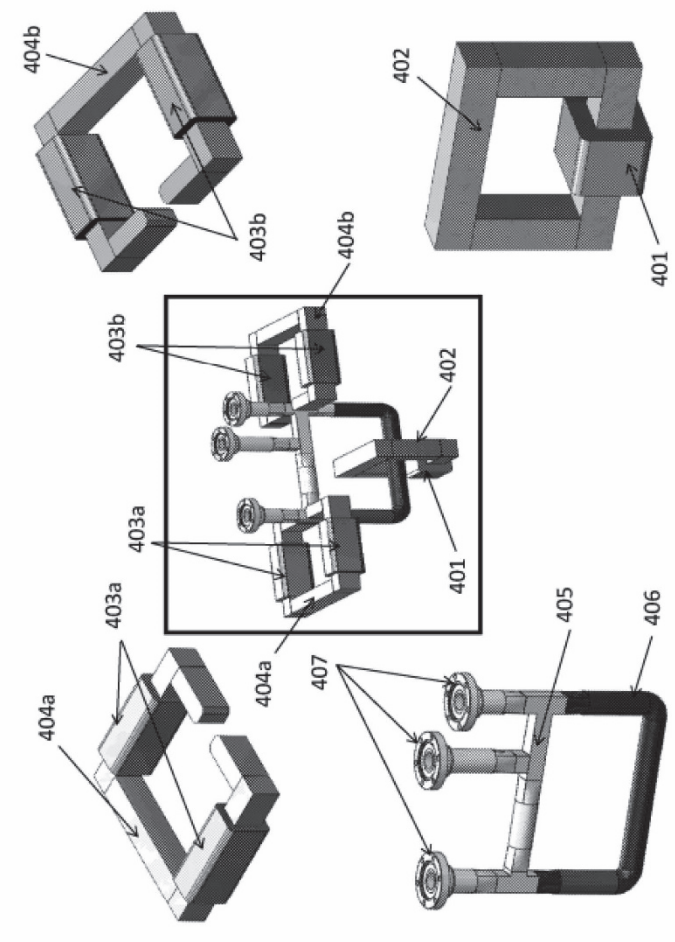

404b
403b
402
401
404b
403b
402
403a
401
403a
404a
405
406
407
404a

Fig. 6

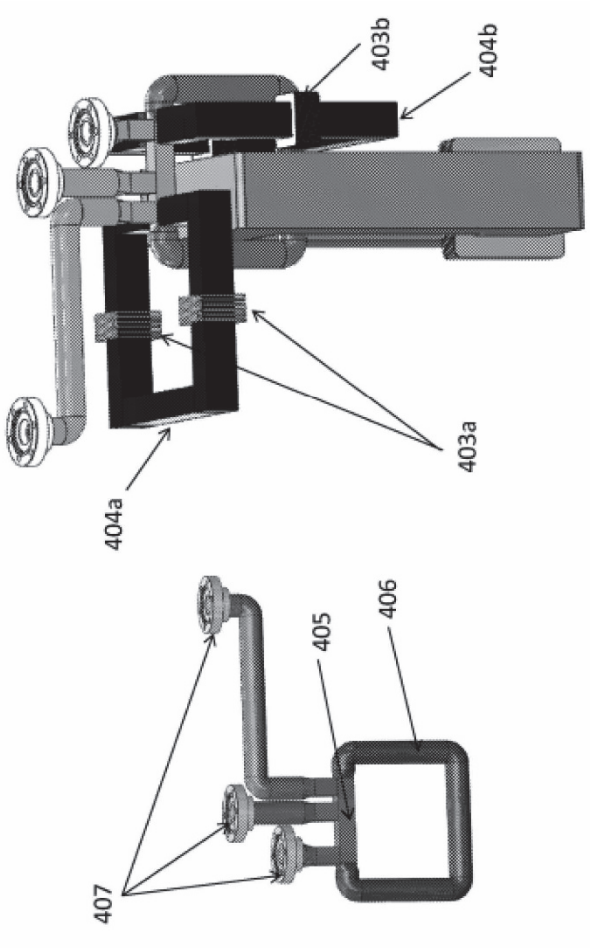


Fig. 7

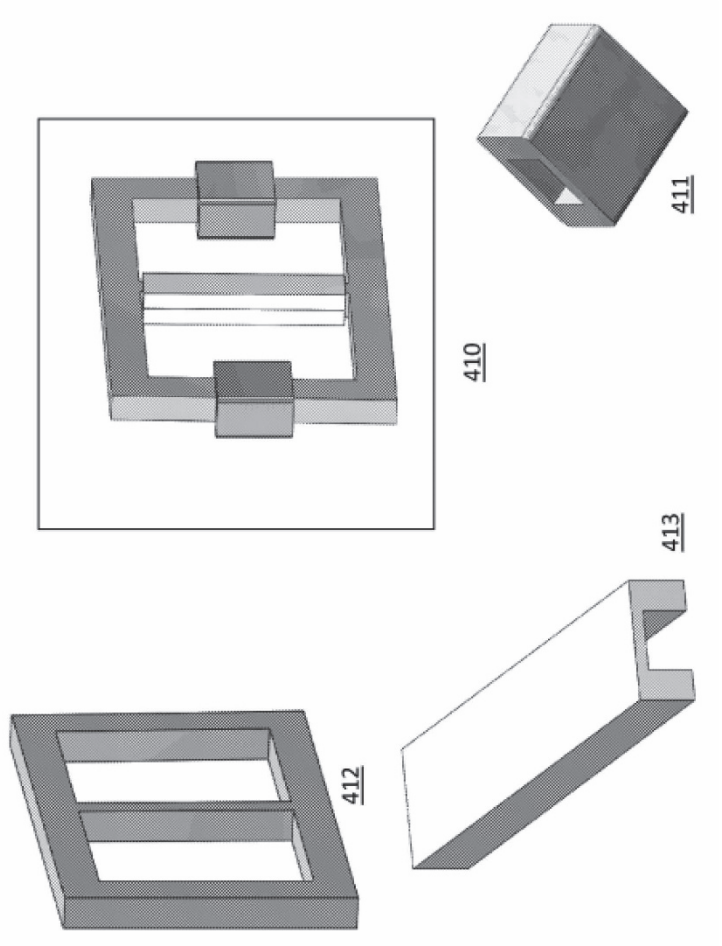


Fig. 8

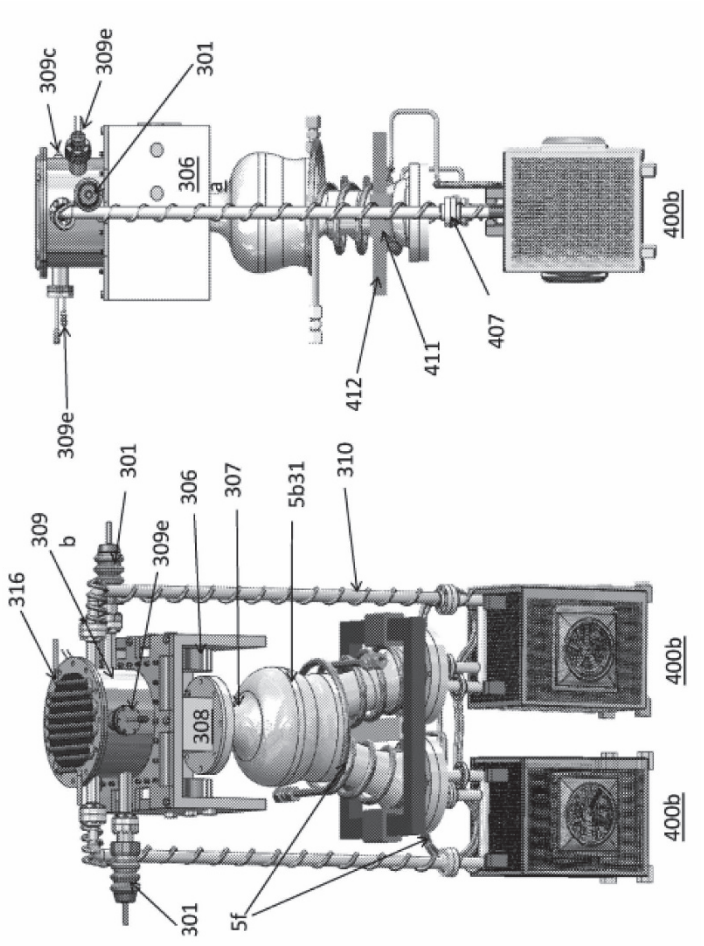

309c
309e
301
306
400b
309e
412
411
407
301
306
307
5b31
310
309
b
309e
316
308
400b
400b
301
5f

Fig. 9

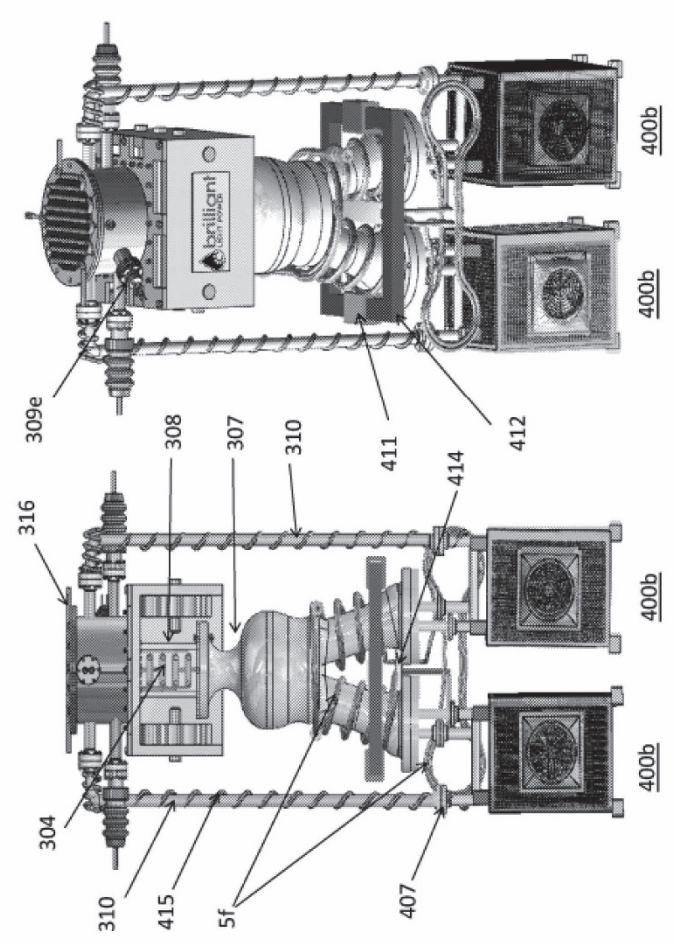

400b
400b
309e
411
412
308
307
310
414
316
400b
400b
304
310
415
5f
407

Fig. 10

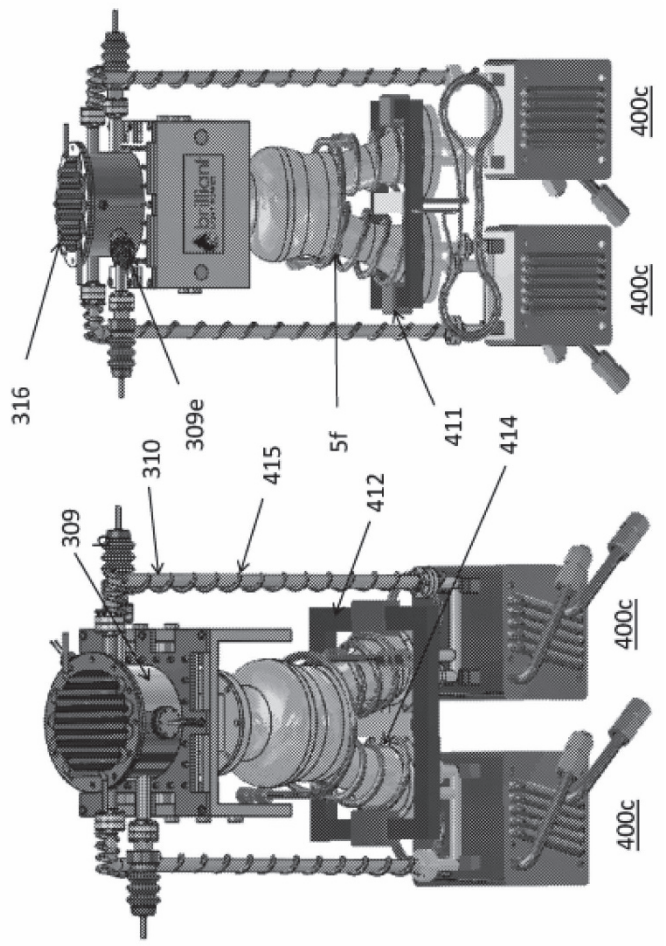


Fig.11

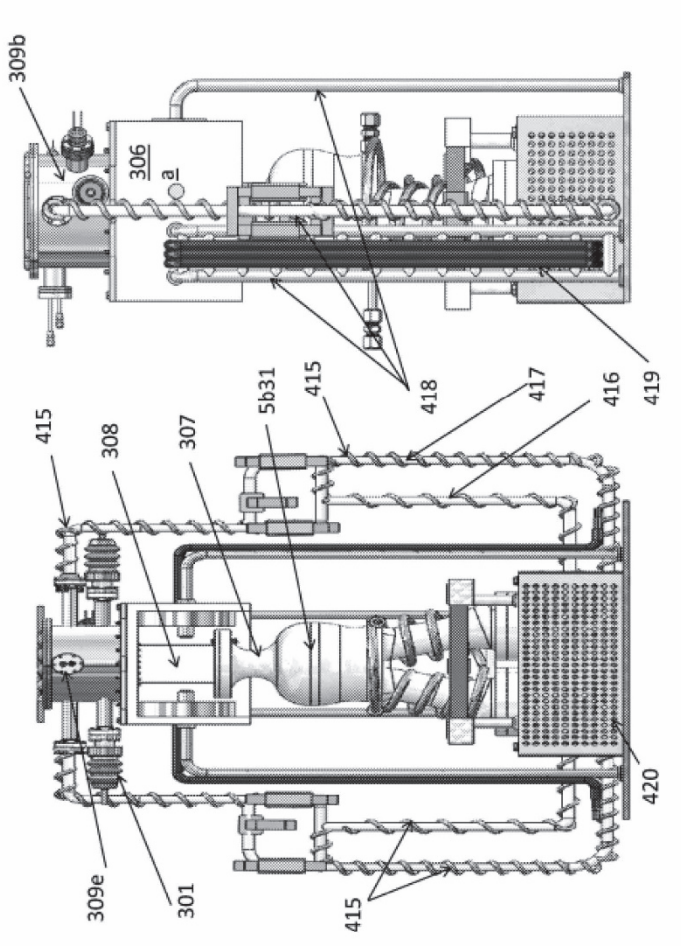


Fig. 12

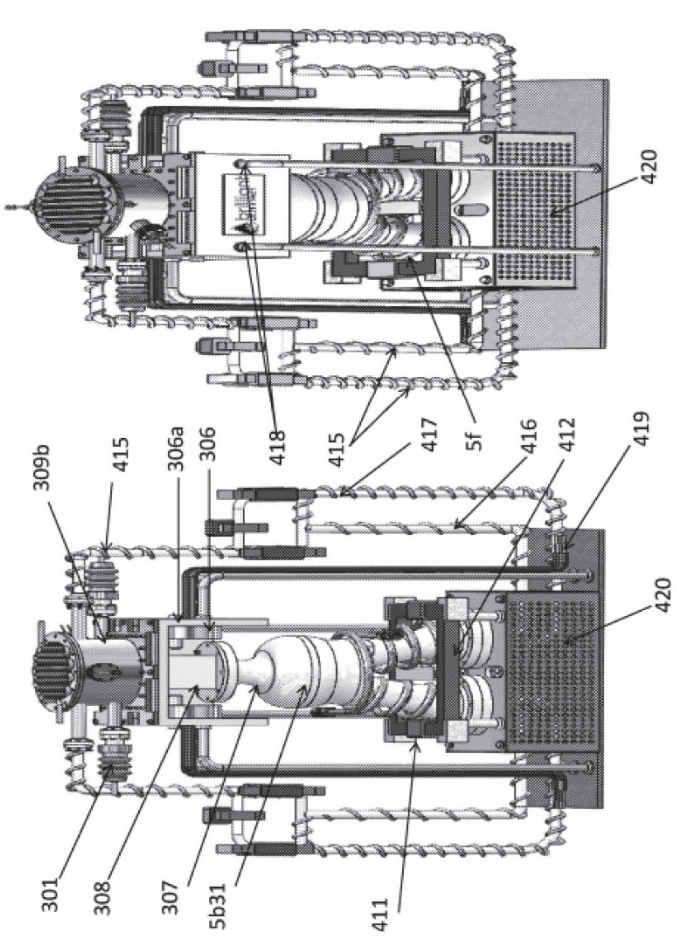

420
309b
415
306a
306
418
415
417
5f
416
412
419
420
301
308
307
5b31
411

Fig. 13

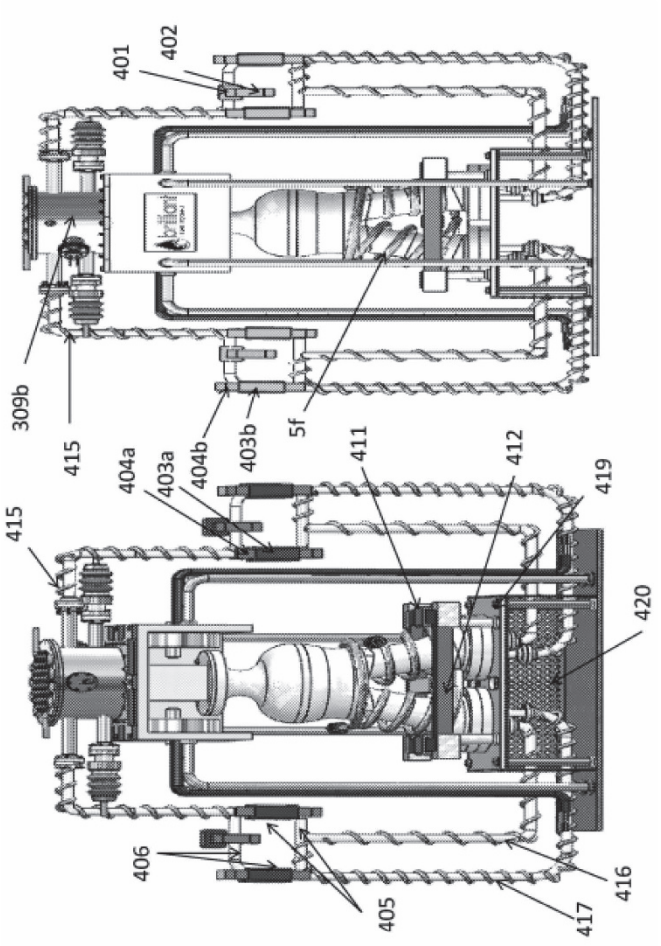

401
402
309b
415
404a
403a
404b
403b
5f
411
412
419
420
406
405
417
416

Fig. 14

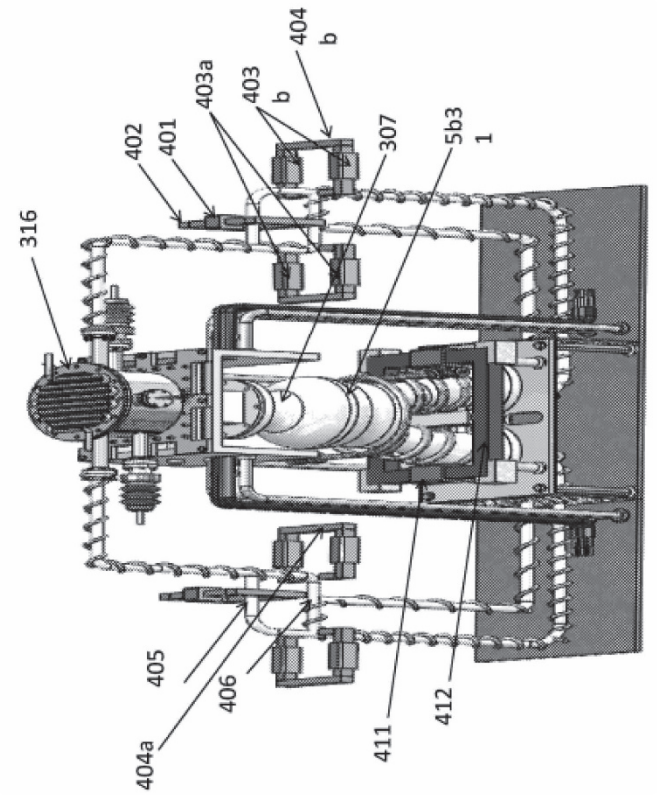


Fig. 15

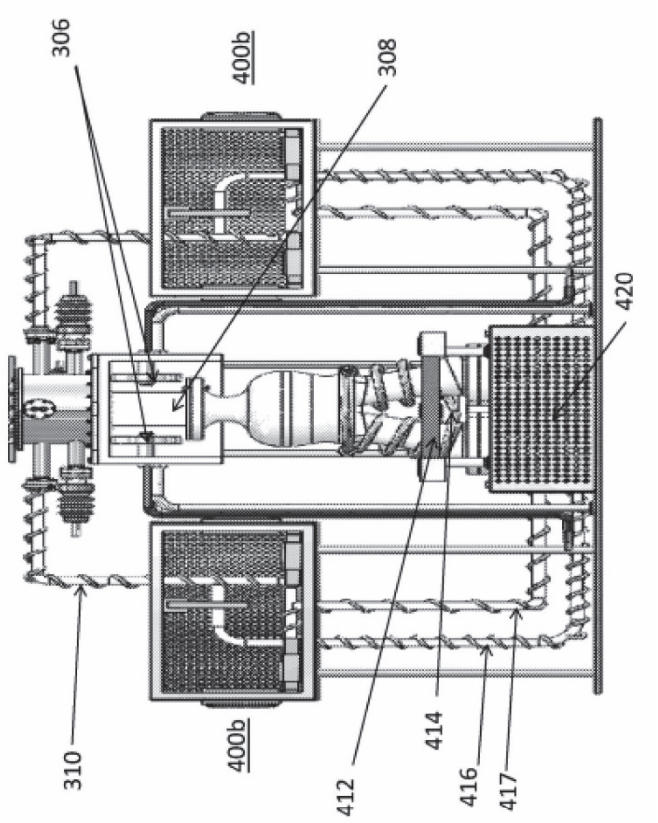


Fig. 16

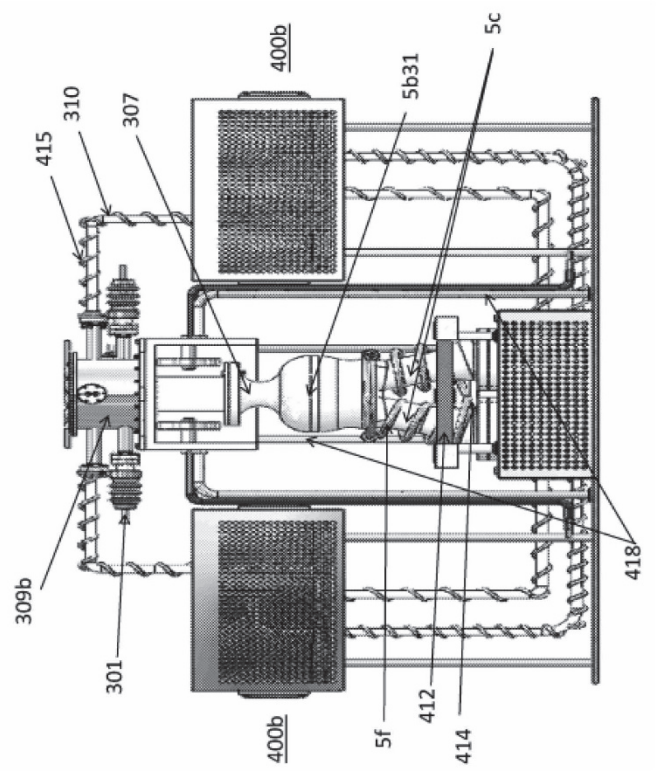


Fig. 17

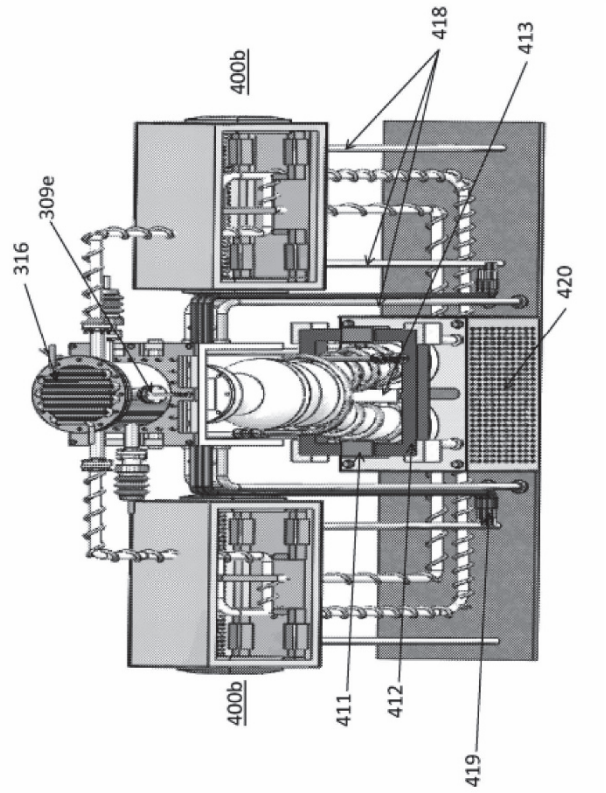


Fig. 18

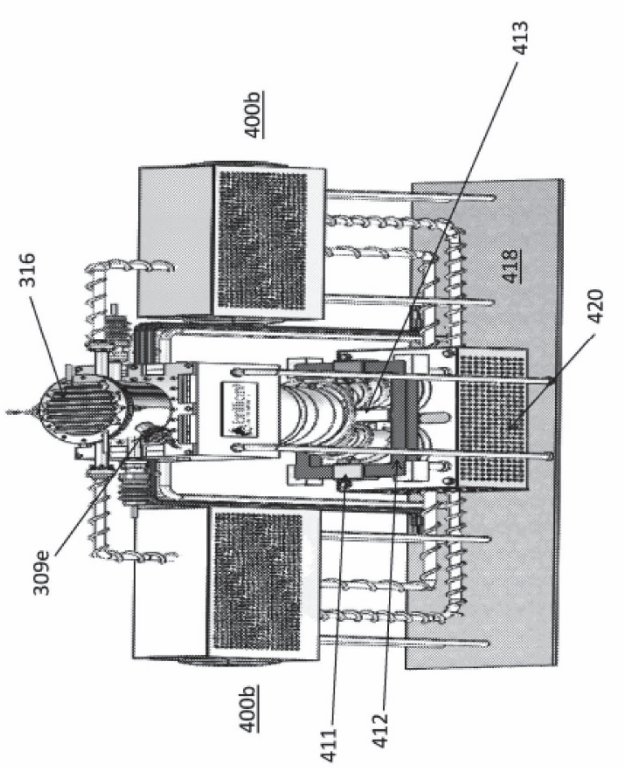


Fig. 19

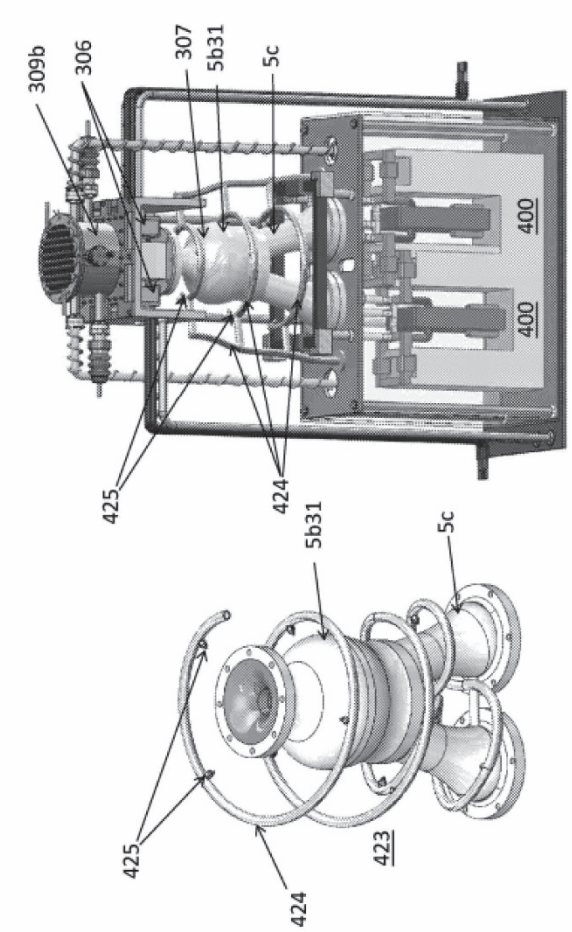


Fig. 20

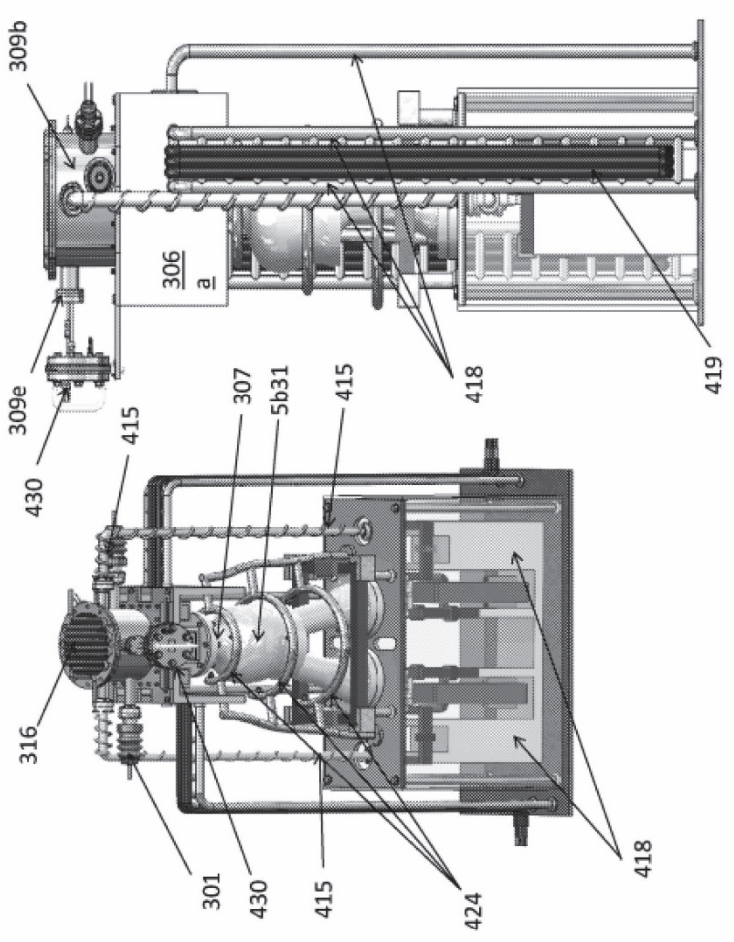

309b
306
a
309e
430
415
307
5b31
415
418
419
316
301
430
415
424
418

Fig. 21

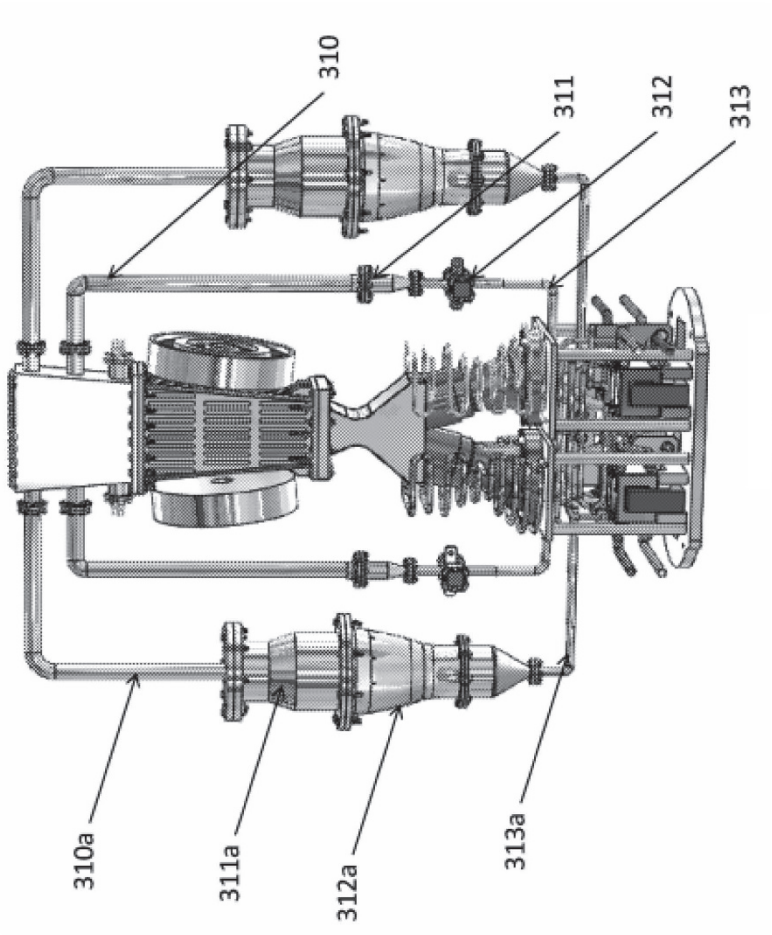


Fig. 22

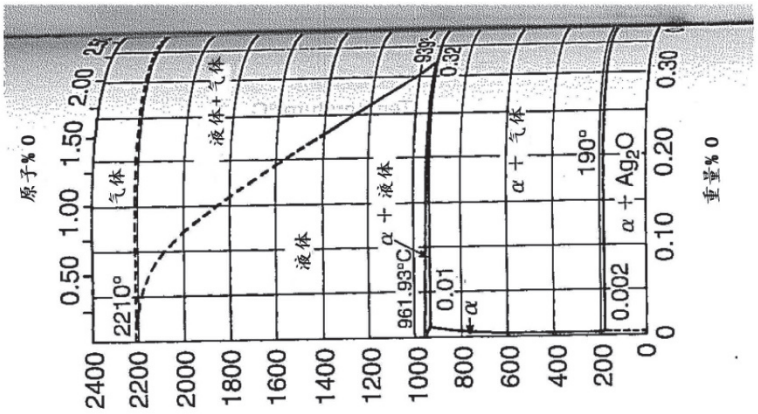

原子% O
重量% O
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0.50
1.00
1.50
2.00
0
0.10
0.20
0.30
2210°
气体
液体+气体
液体
α + 液体
961.93°C
0.01
α
939
0.32
α + 气体
190°
α + Ag2O
0.002

Fig. 23

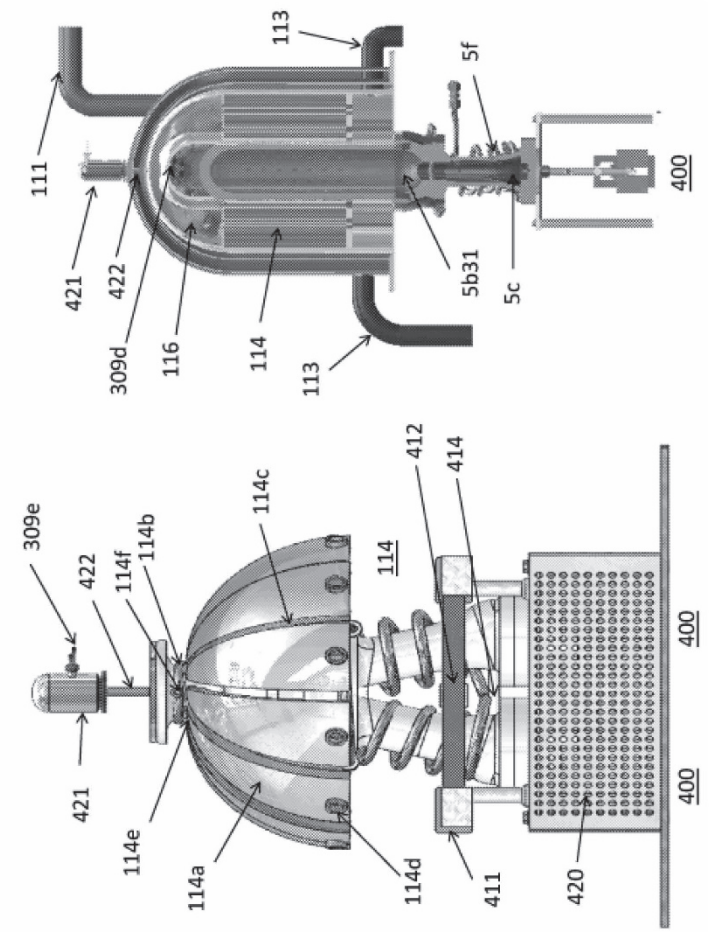

113
5f
111
400
421
422
309d
116
114
113
5b31
5c
309e
422
114f
114b
114c
114
412
414
421
114e
114a
114d
411
420
400
400

Fig. 24

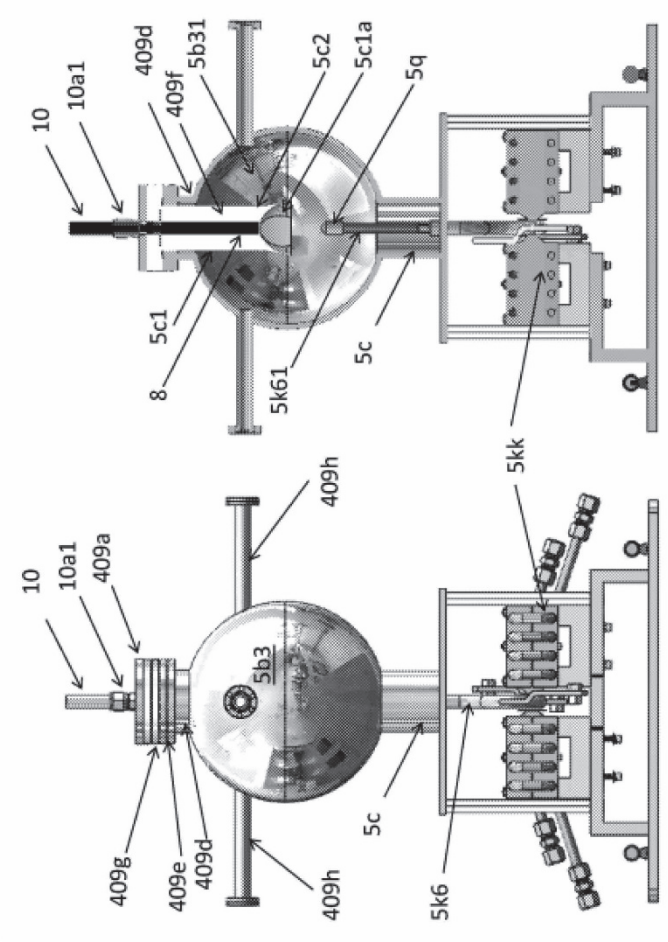

10
10a1
409d
409f
5b31
5c2
5c1a
5q
5c1
8
5k61
5c
5kk
10
10a1
409a
409h
5b3
409g
409e
409d
409h
5c
5k6

Fig. 25

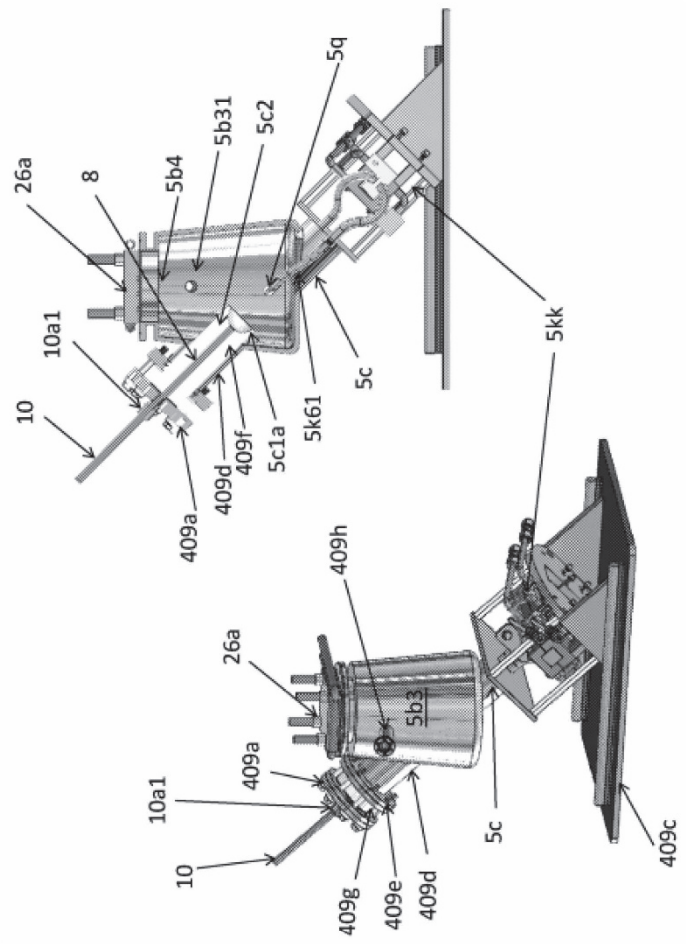

26a
8
5b4
5b31
5c2
5q
10a1
10
409a
409d
409f
5c1a
5k61
5c
5kk
409h
26a
5b3
409a
10a1
10
409g
409e
409d
5c
409c

Fig. 26

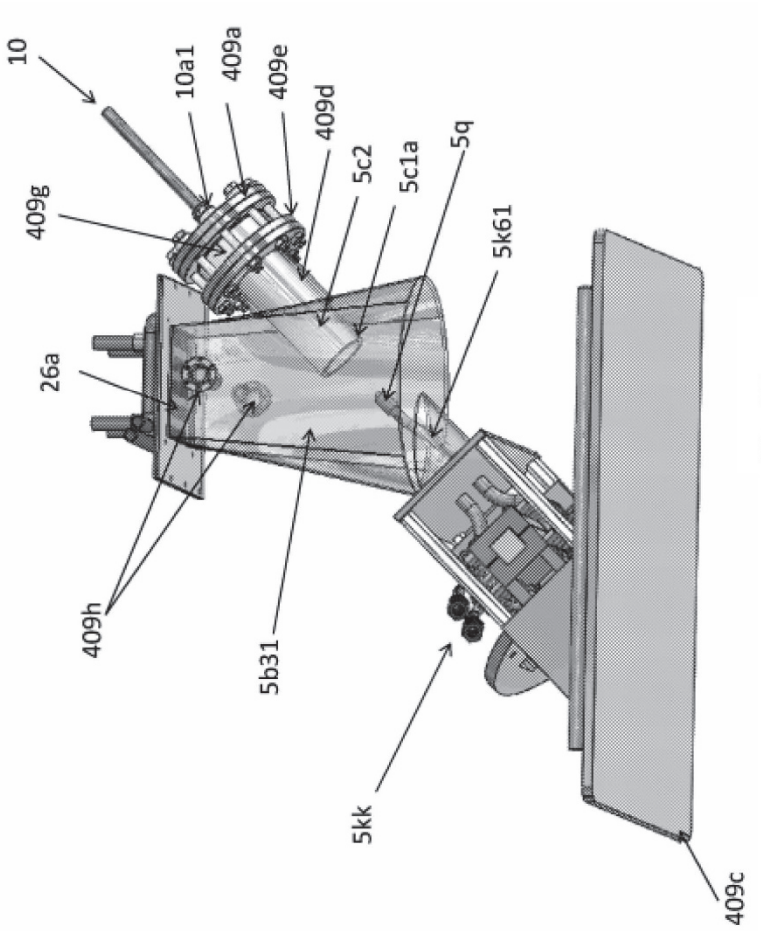

10
10a1
409a
409e
409d
5c2
5c1a
5q
5k61
409g
26a
409h
5b31
5kk
409c

Fig. 27

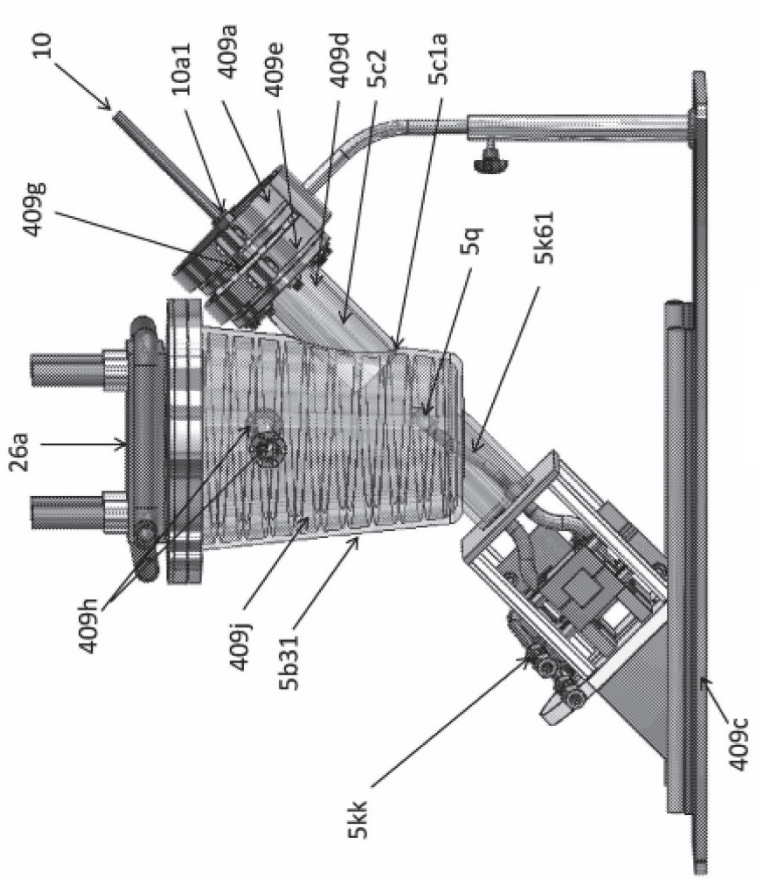

10
10a1
409a
409e
409d
5c2
5c1a
409g
5q
5k61
26a
409h
409j
5b31
5kk
409c

Fig. 28

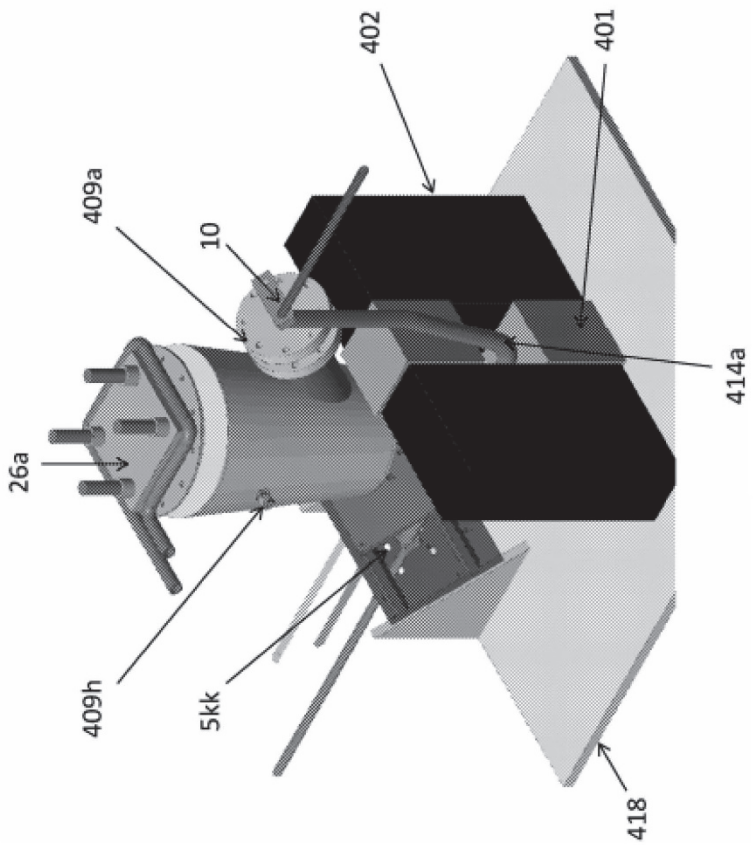


Fig. 29

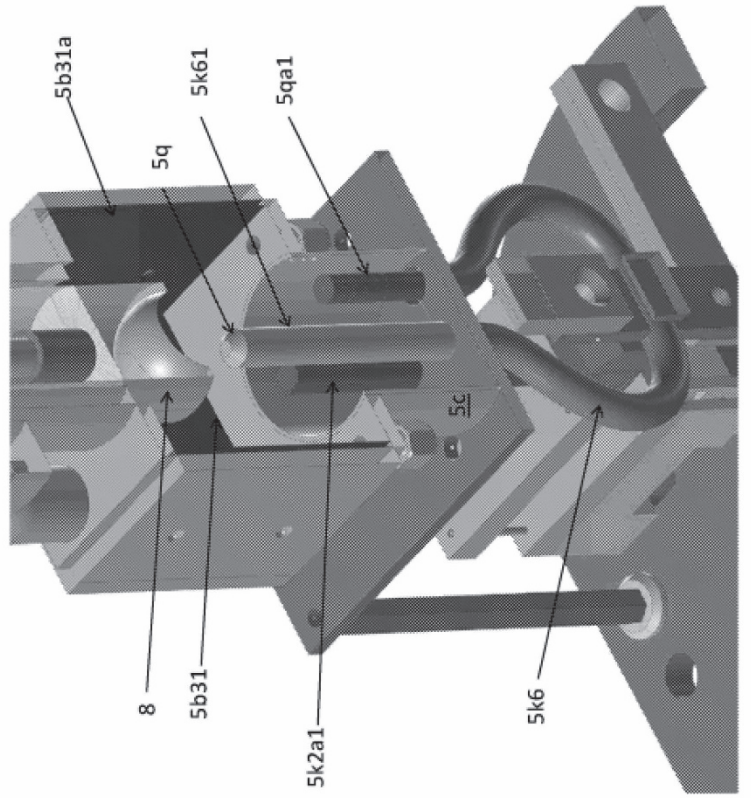


Fig. 30

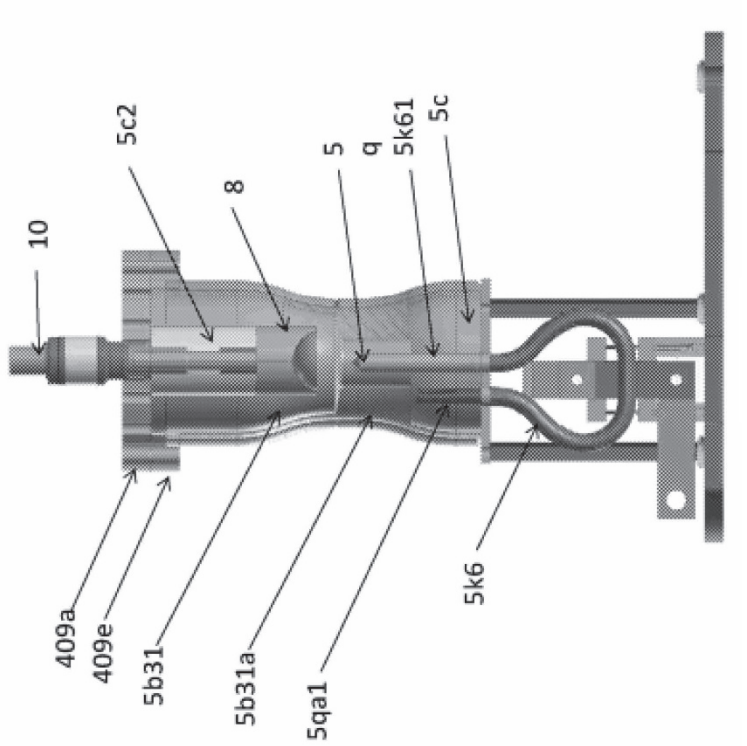


Fig. 31

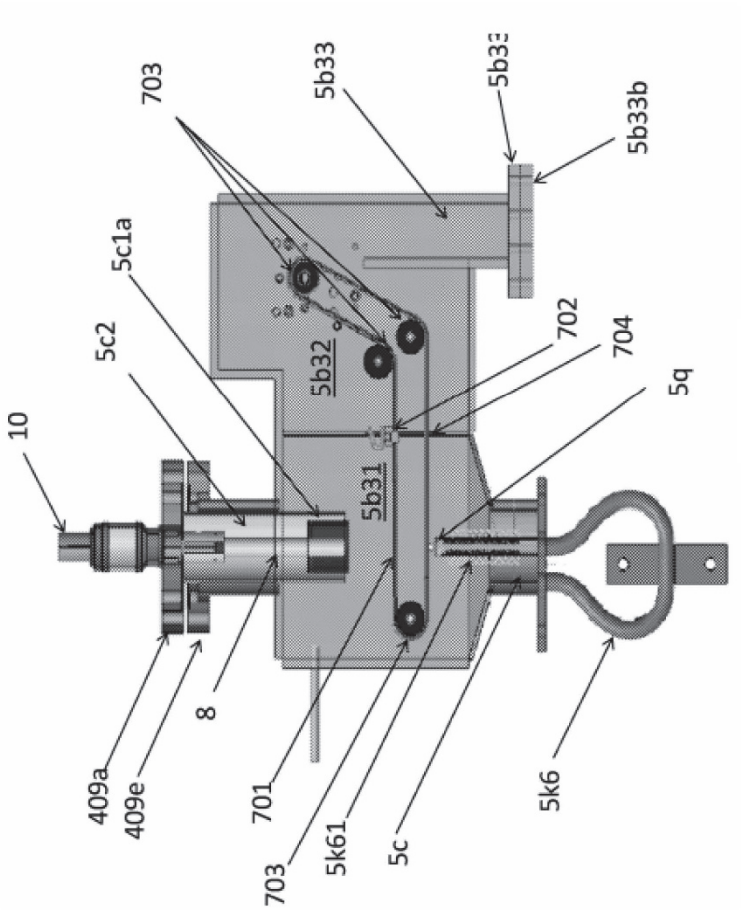

703
5b33
5b33
5b33b
5c1a
5c2
5b32
702
704
5q
10
5b31
409a
409e
8
701
703
5k61
5c
5k6

Fig. 32

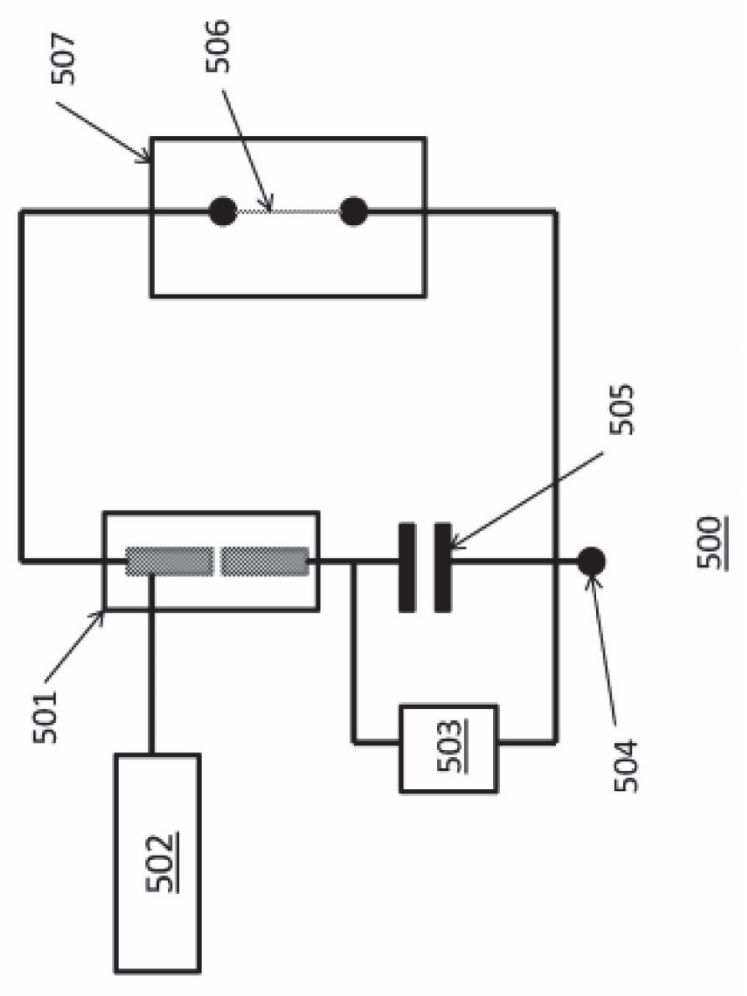


Fig. 33

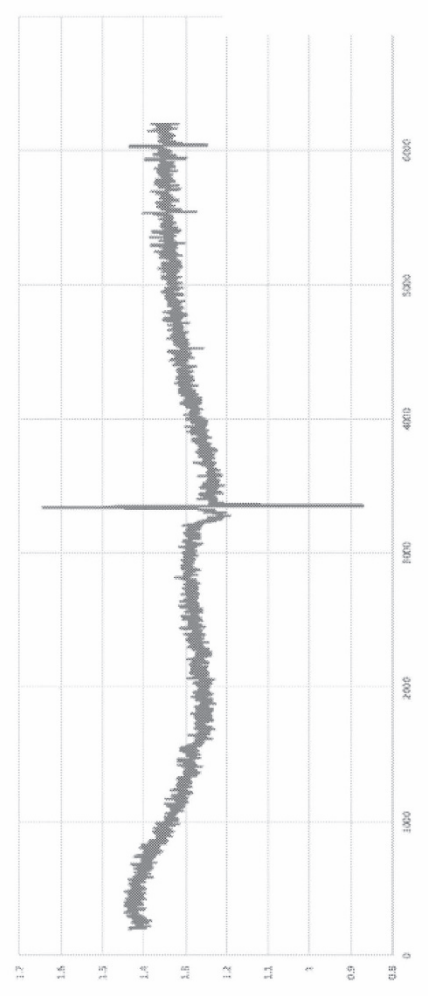


Fig. 34

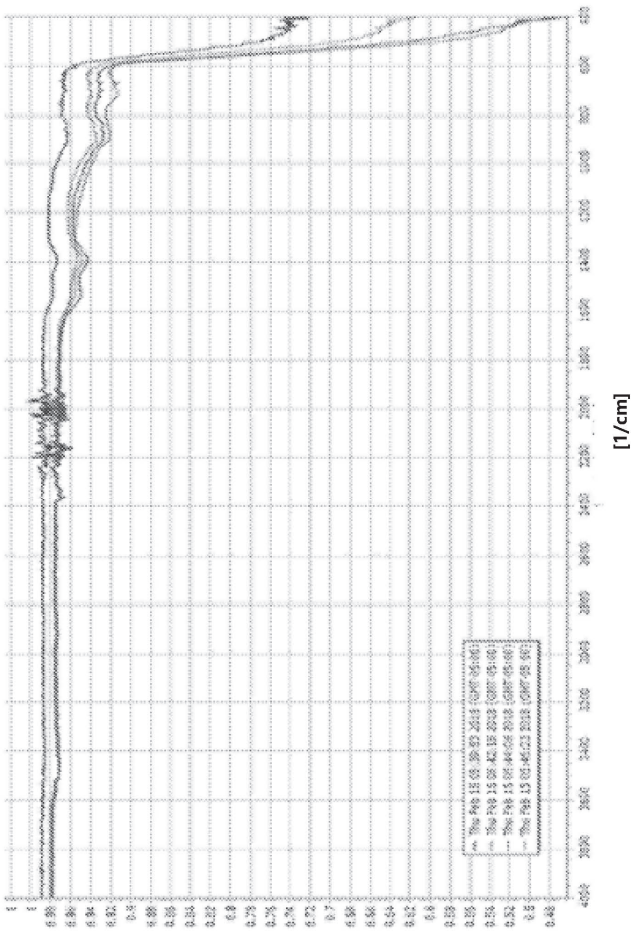


Fig. 35A

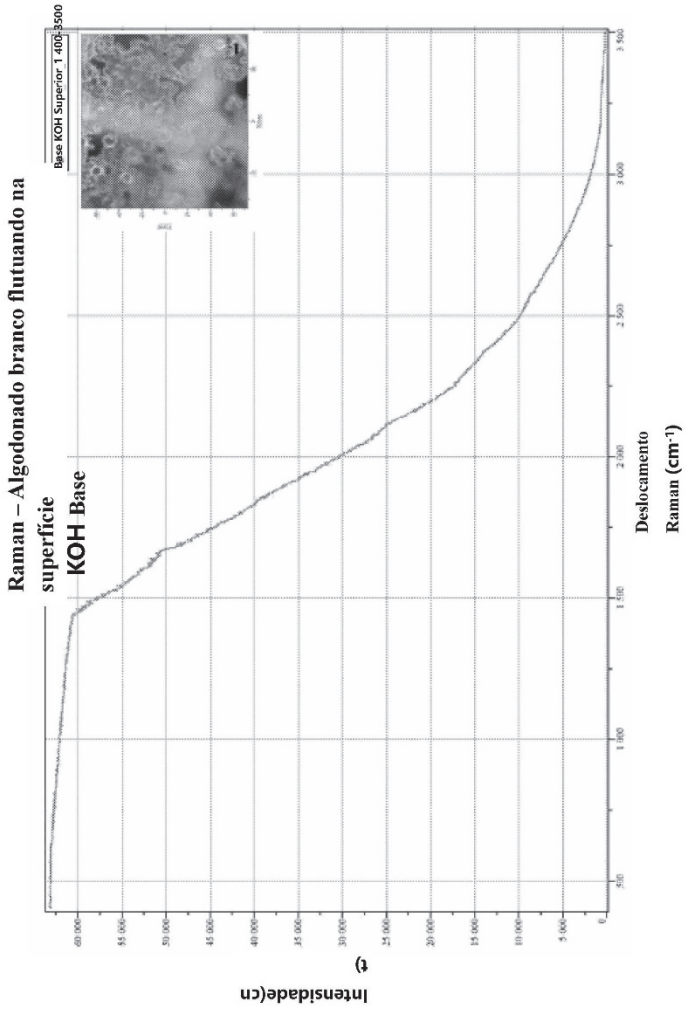

Raman – Algodonado branco flutuando na superfície
KOH Base
Base KOH Superior_1 400-3500
Intensidade(cn
t)
Deslocamento
Raman (cm-1)

Fig. 35B

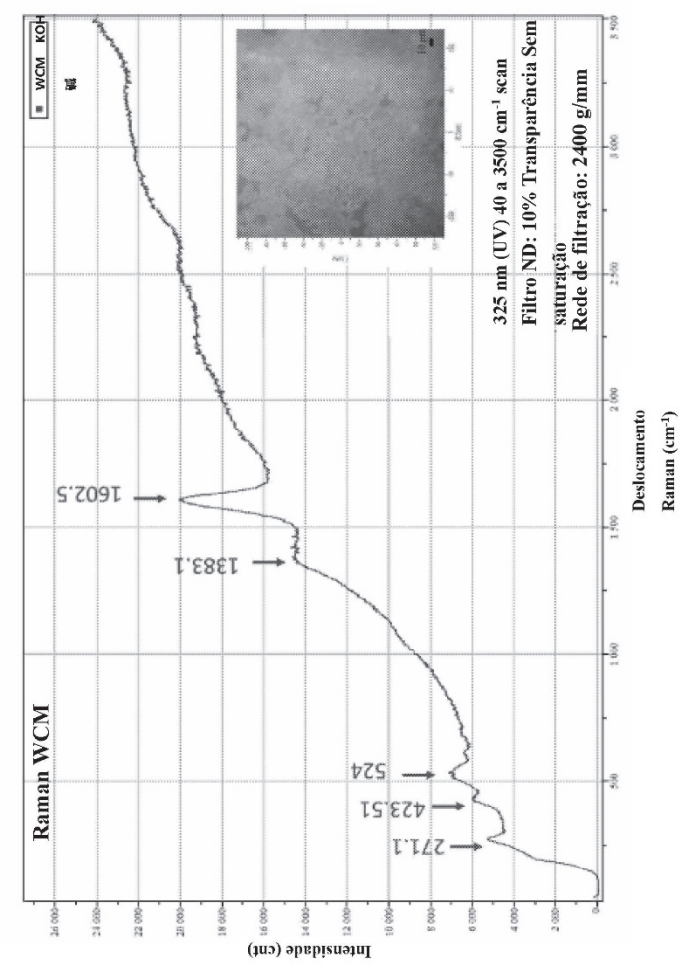

Raman WCM
WCM_KOH
1602.5
1383.1
524
423.51
271.1
325 nm (UV) 40 a 3500 cm-1 scan
Filtro ND: 10% Transparência Sem saturação
Rede de filtração: 2400 g/mm
Intensidade (cnt)
Deslocamento Raman (cm-1)

Fig. 35 C

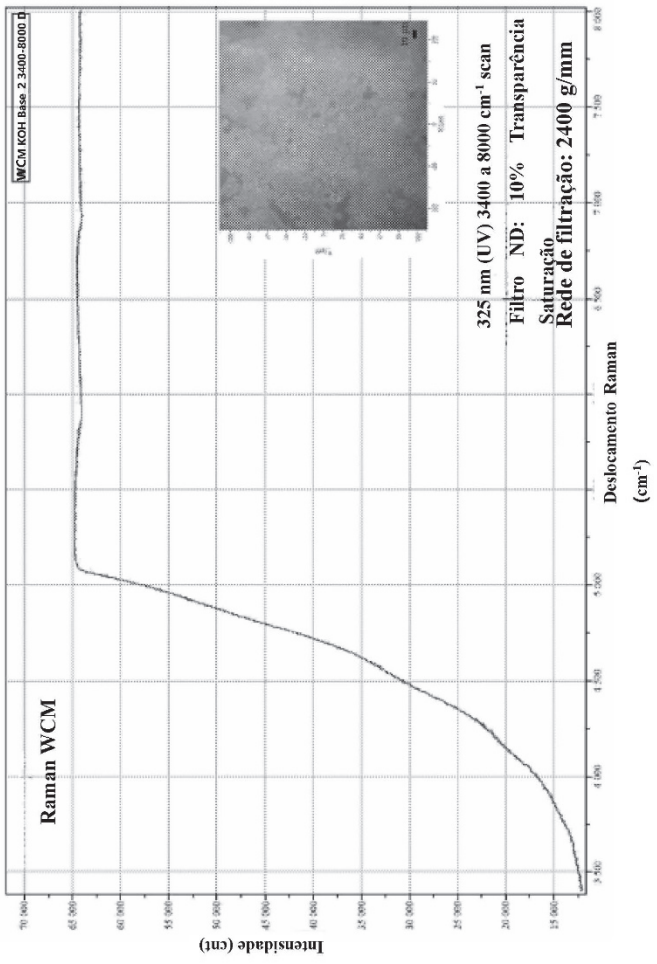

WCM KOH Base 2 3400-8000
Raman WCM
325 nm (UV) 3400 a 8000 cm-1 scan
Filtro ND: 10% Transparência
Saturação
Rede de filtração: 2400 g/mm
Intensidade (cnt)
Deslocamento Raman
(cm-1)

Fig. 35D

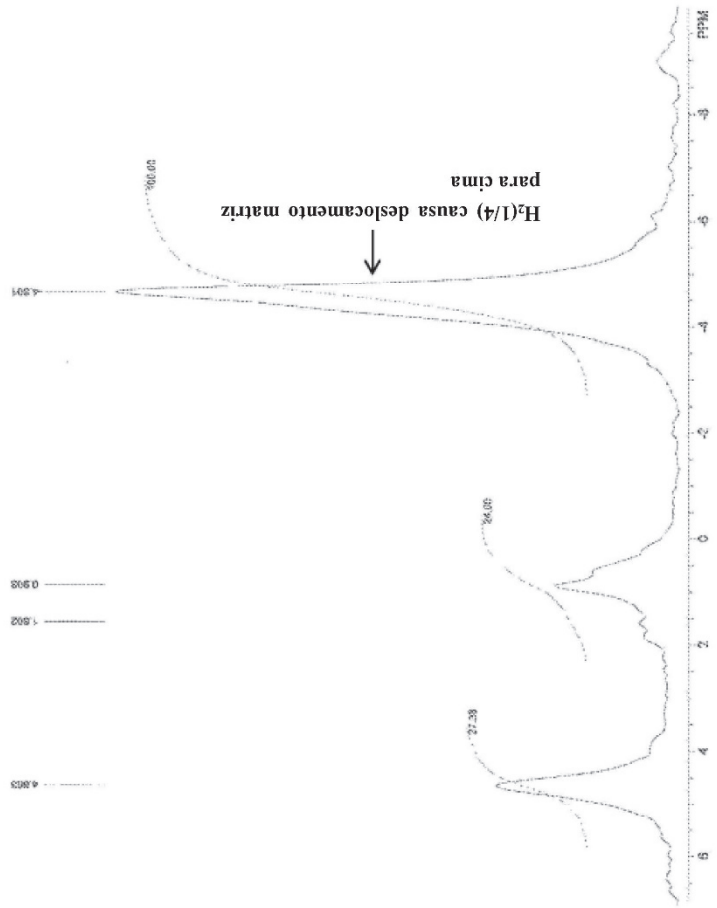


Fig. 36

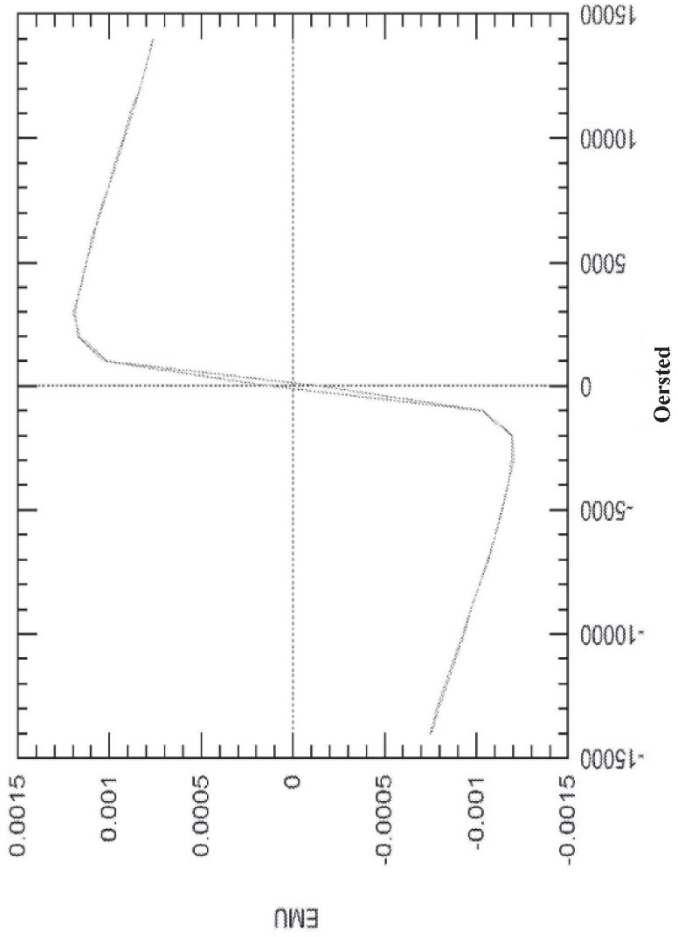

EMU
0.0015
0.001
0.0005
0
-0.0005
-0.001
-0.0015
15000
10000
5000
0
-5000
-10000
-15000
Oersted

Fig. 37

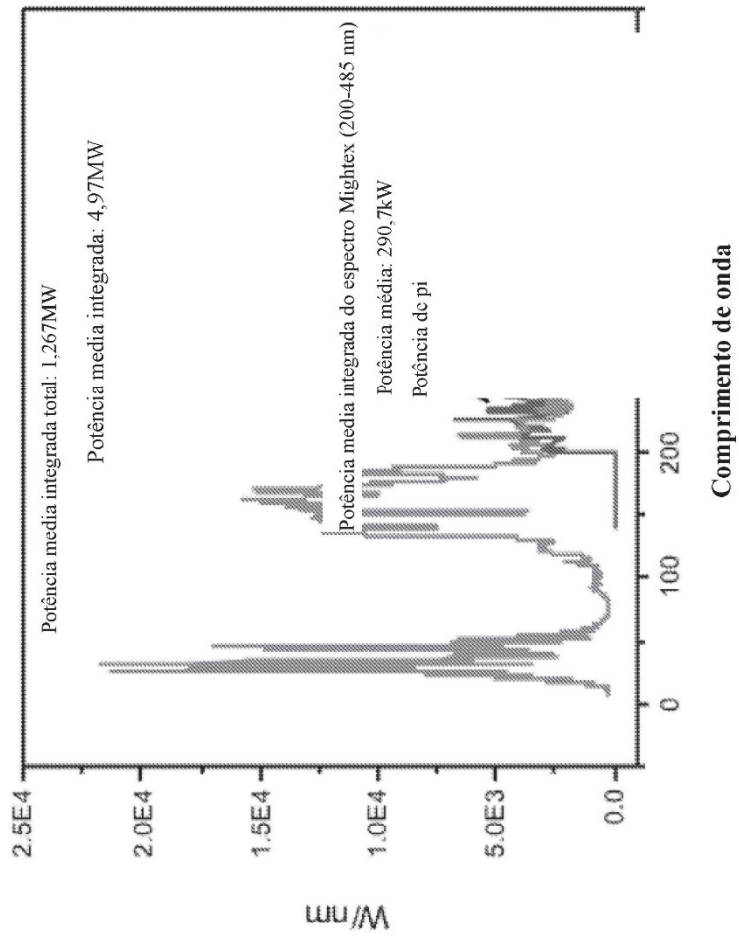

Potência media integrada total: 1,267MW
Potência media integrada: 4,97MW
Potência media integrada do espectro Mightex (200-485 nm)
Potência média: 290,7kW
Potência de pi
W/nm
2.5E4
2.0E4
1.5E4
1.0E4
5.0E3
0.0
0
100
200
Comprimento de onda

Fig. 38

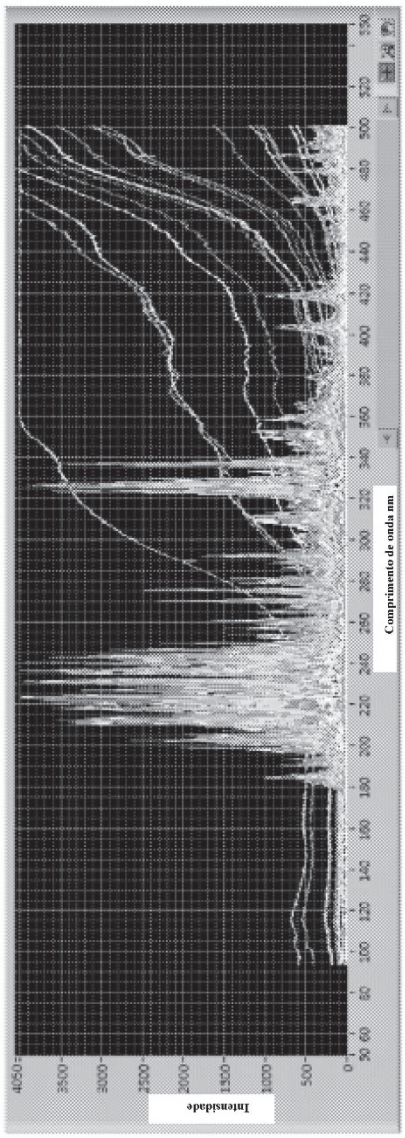


Fig. 39

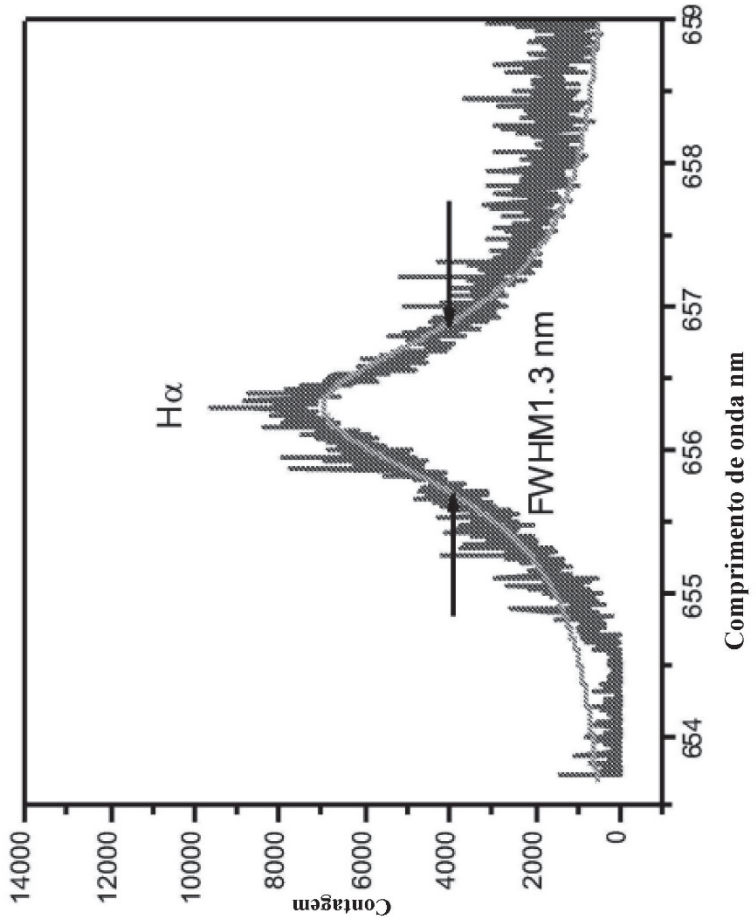

Hα
FWHM1.3 nm
Contagem
Comprimento de onda nm
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
654
655
656
657
658
659

Fig. 40

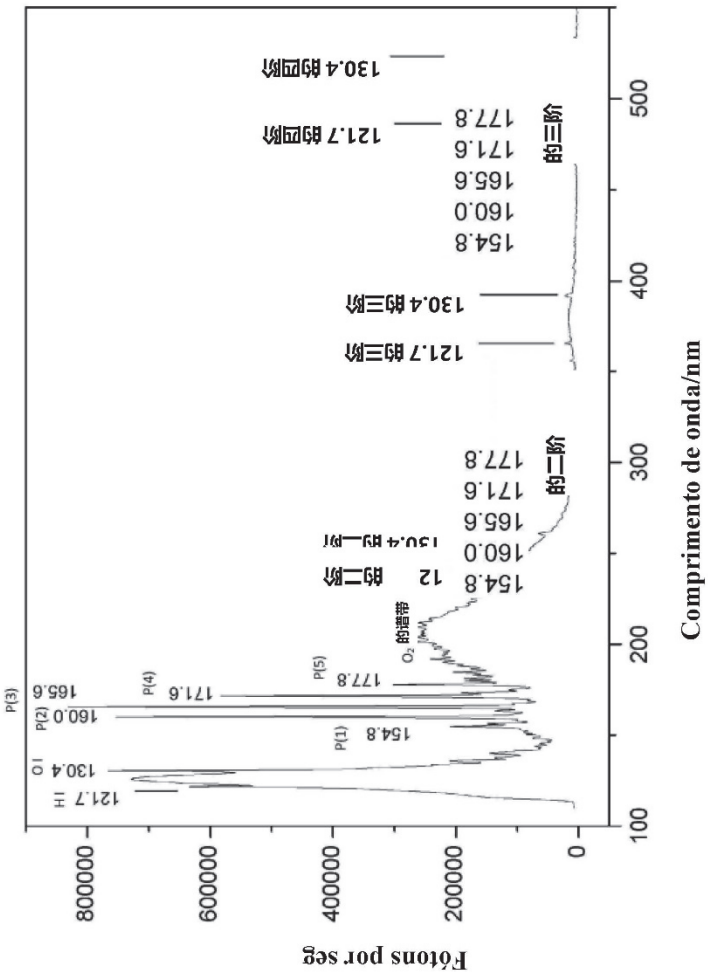

Fótons por seg
800000
600000
400000
200000
0
100
200
300
400
500
Comprimento de onda/nm
P(1)
P(2)
P(3)
P(4)
P(5)
154.8
160.0
165.6
171.6
177.8
121.7
130.4
O 1
H
O2 的谱带
154.8
160.0
165.6
171.6
177.8
的二阶
121.7 的三阶
130.4 的三阶
154.8
160.0
165.6
171.6
177.8
的三阶
121.7 的四阶
130.4 的四阶

Fig. 41

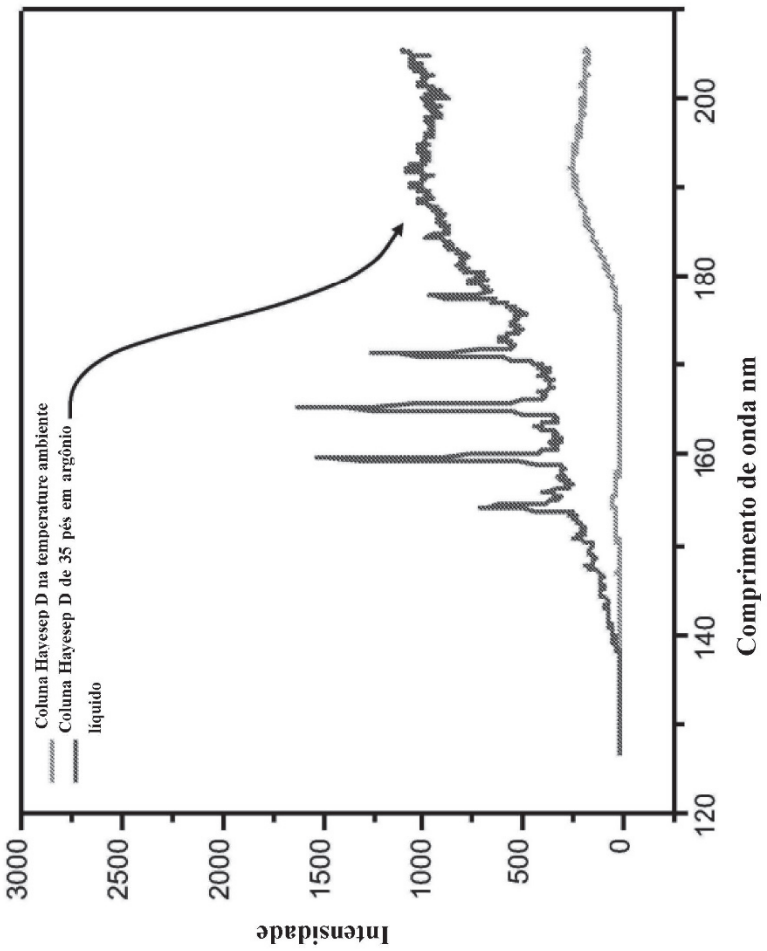

Coluna Hayesep D na temperature ambiente
Coluna Hayesep D de 35 pés em argônio
líquido
Intensidade
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
120
140
160
180
200
Comprimento de onda nm

Fig. 42

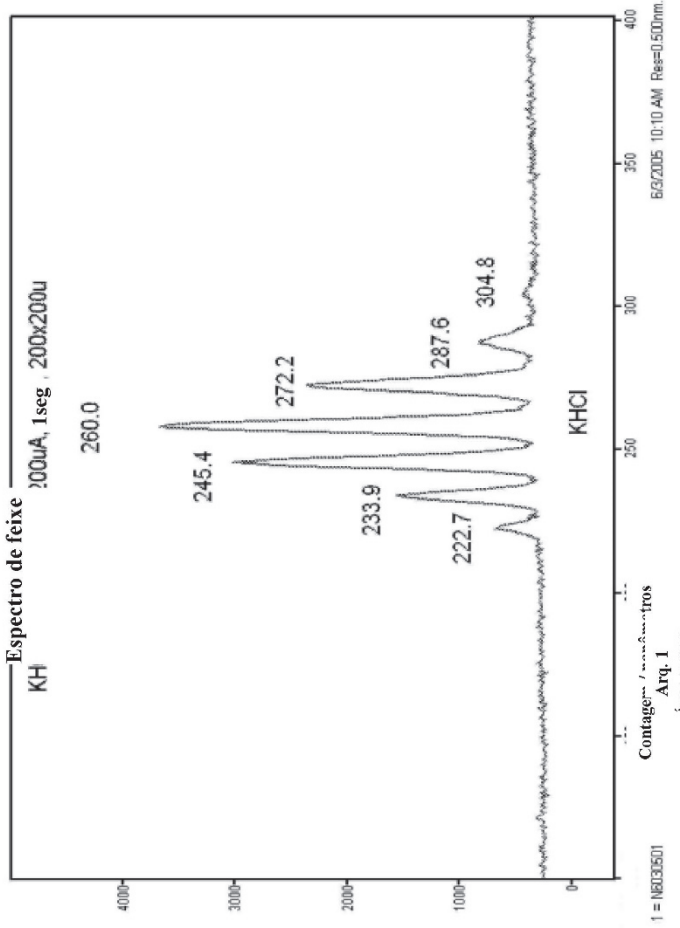

Espectro de feixe
KH
260.0
245.4
272.2
233.9
287.6
304.8
222.7
KHCl
4000
3000
2000
1000
0
250
300
350
400
Contagens / Comprimentos
Arq. 1
Área memo
1 = N8030501
6/3/2005 10:10 AM Res=0.500nm.

Fig. 43

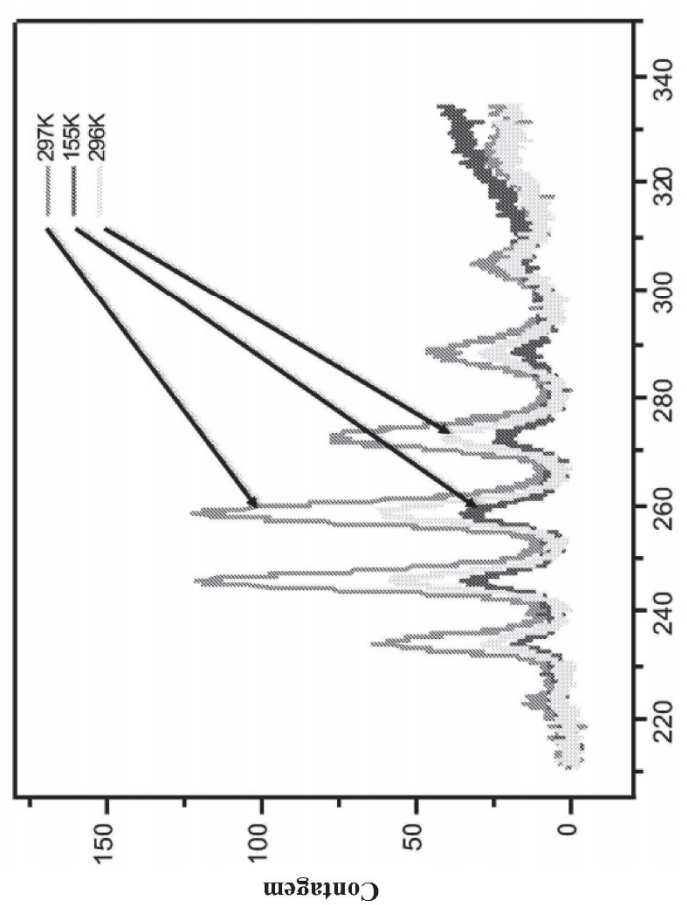

297K
155K
296K
Contagem
150
100
50
0
220
240
260
280
300
320
340
Comprimento de onda nm

Fig. 44

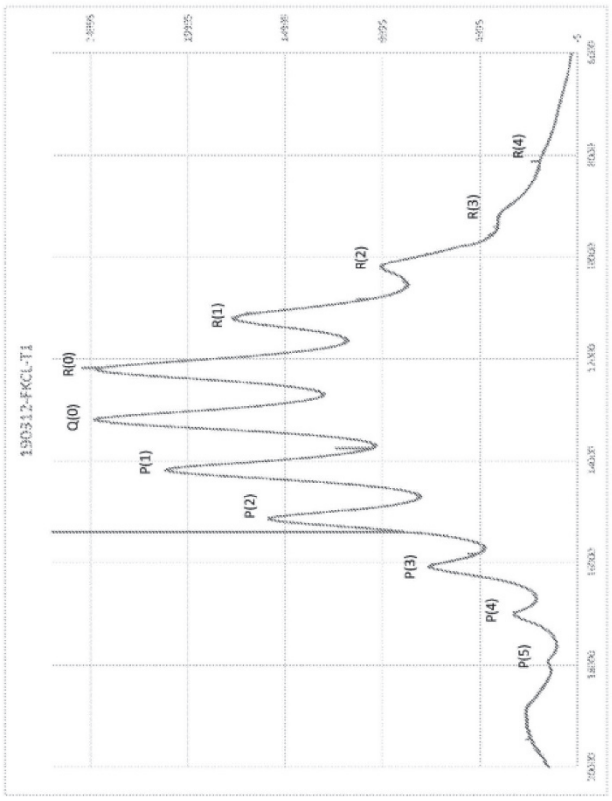


Fig. 45

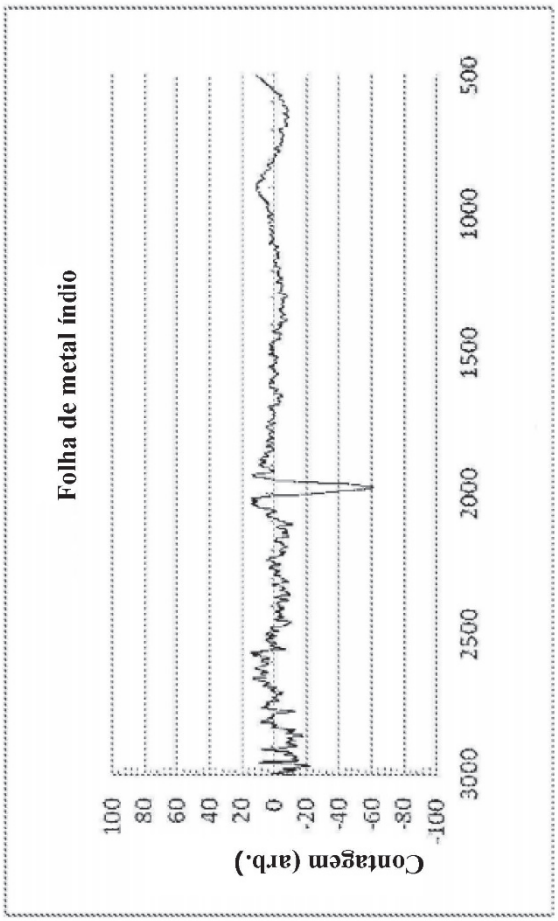

Folha de metal índio
Contagem (arb.)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
3000
2500
2000
1500
1000
500
Comprimento de onda(1/cm)

Fig. 46

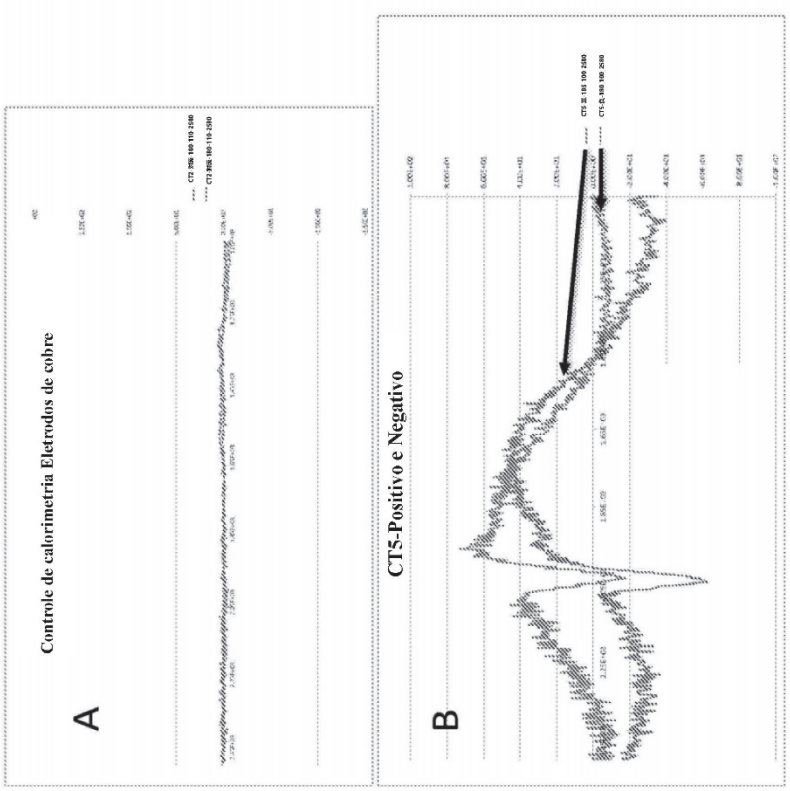

A
Controle de calorimetria Eletrodos de cobre
B
CT5-Positivo e Negativo

Fig. 47

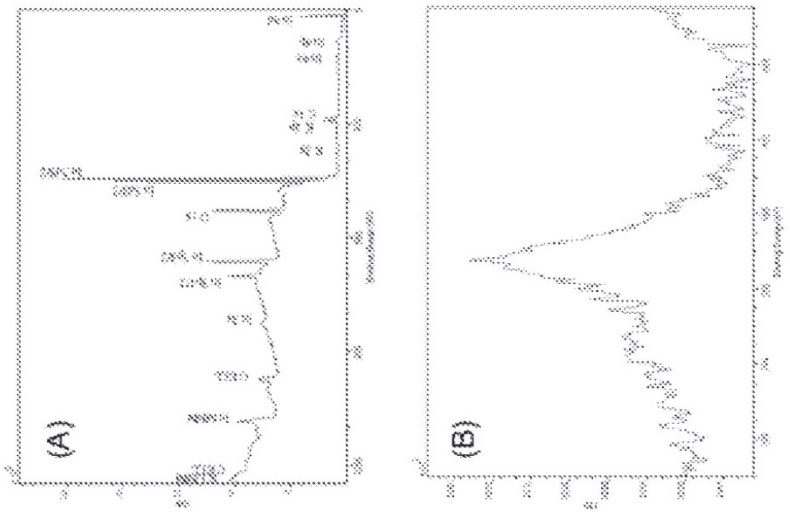


Fig. 48

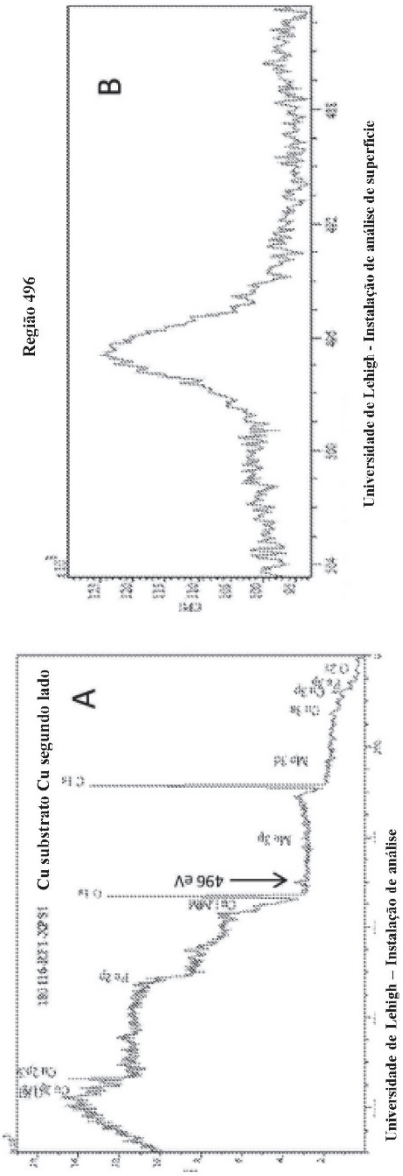

Cu substrato Cu segundo lado
A
496 eV
Universidade de Lehigh – Instalação de análise de superfície
Região 496
B
Universidade de Lehigh - Instalação de análise de superfície

Fig. 49

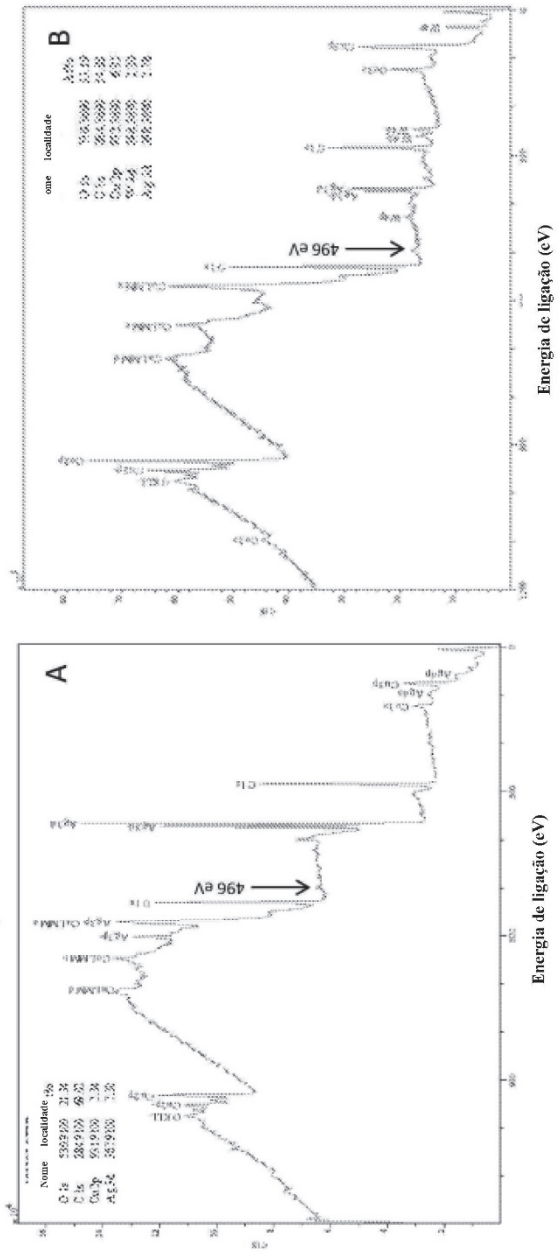


Fig. 50

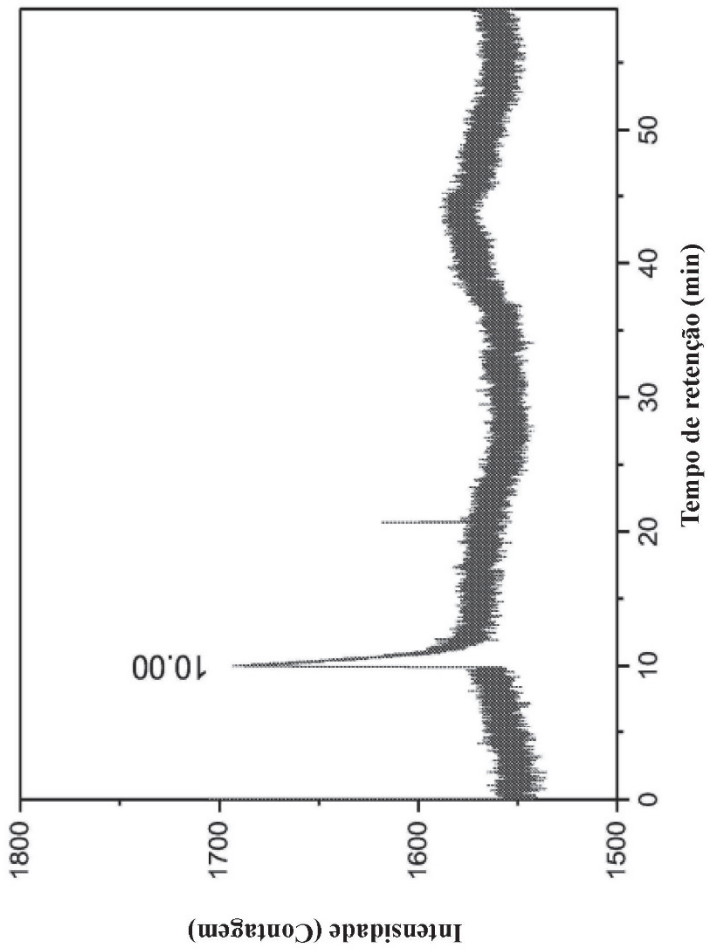

10.00
1800
1700
1600
1500
0
10
20
30
40
50
Intensidade (Contagem)
Tempo de retenção (min)

Fig. 51A

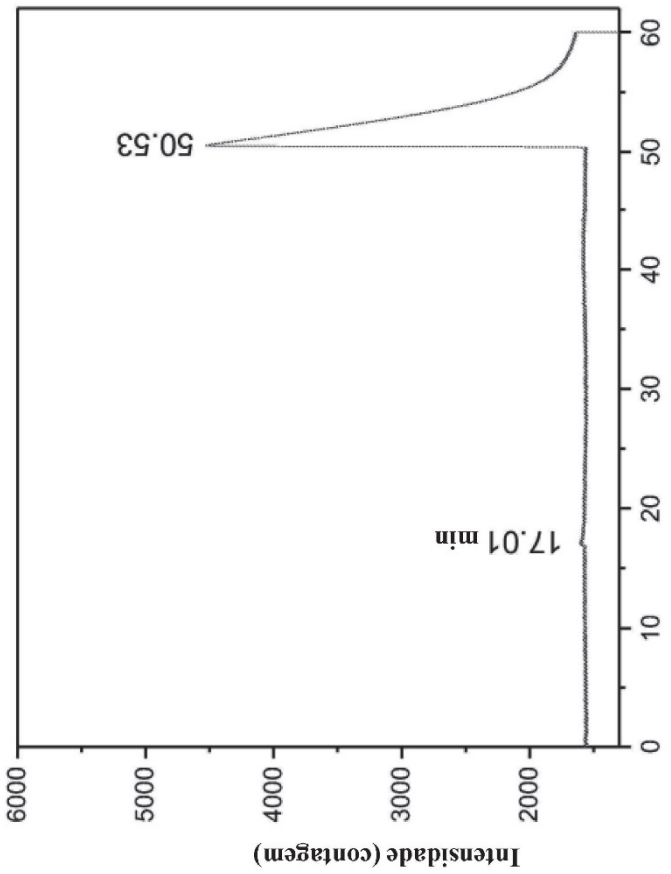

50.53
17.01 min
Intensidade (contagem)
6000
5000
4000
3000
2000
0
10
20
30
40
50
60
Tempo de retenção (min)

Fig. 51B

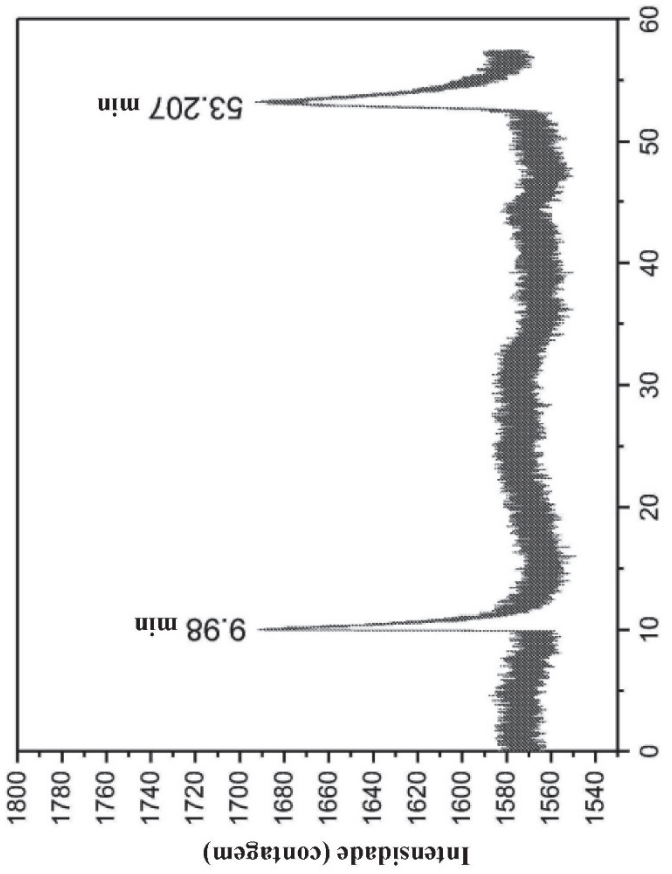

Intensidade (contagem)
1800
1780
1760
1740
1720
1700
1680
1660
1640
1620
1600
1580
1560
1540
0
10
20
30
40
50
60
Tempo de retenção (min)
9.98 min
53.207 min

Fig. 51C

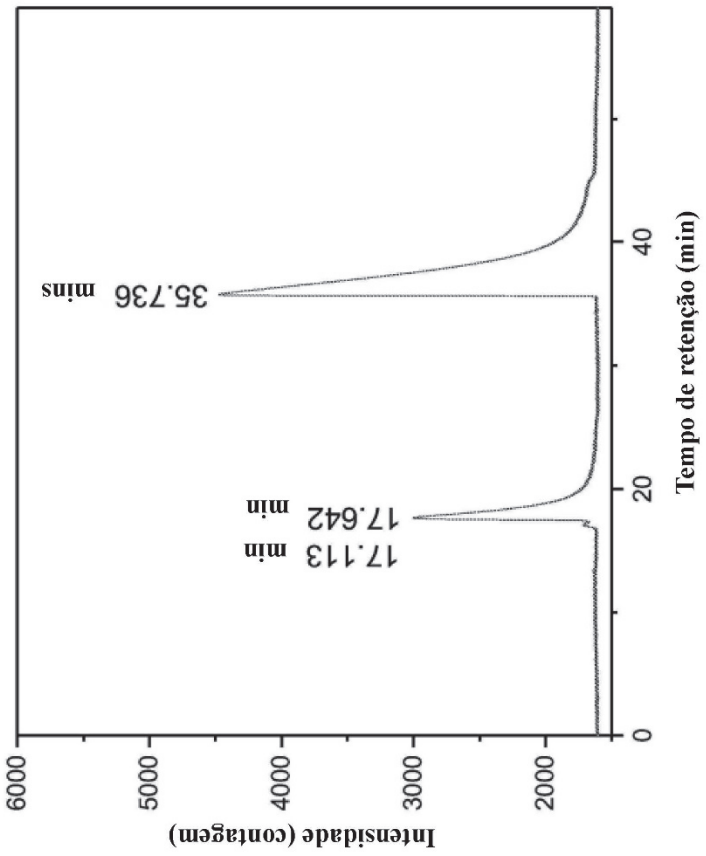

Intensidade (contagem)
6000
5000
4000
3000
2000
0
20
40
Tempo de retenção (min)
17.113 min
17.642 min
35.736 mins

Fig. 51D

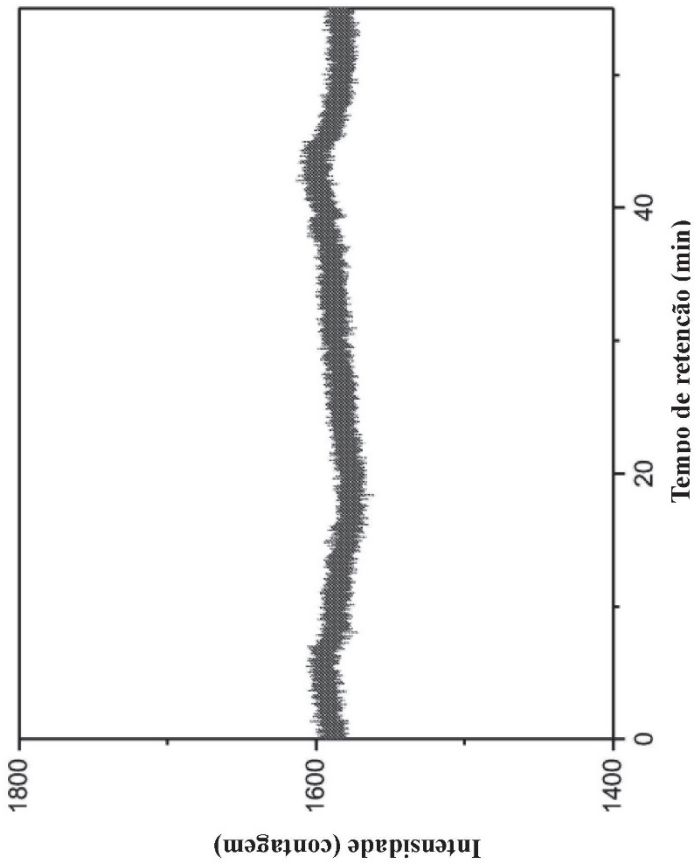

Intensidade (contagem)
1800
1600
1400
0
20
40
Tempo de retenção (min)

Fig. 51E

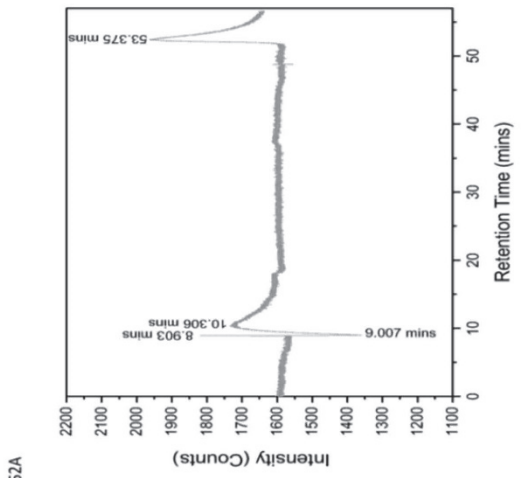


Fig. 52A

Fig. 52A

Intensidade (contagem)
Tempo de retenção (min)

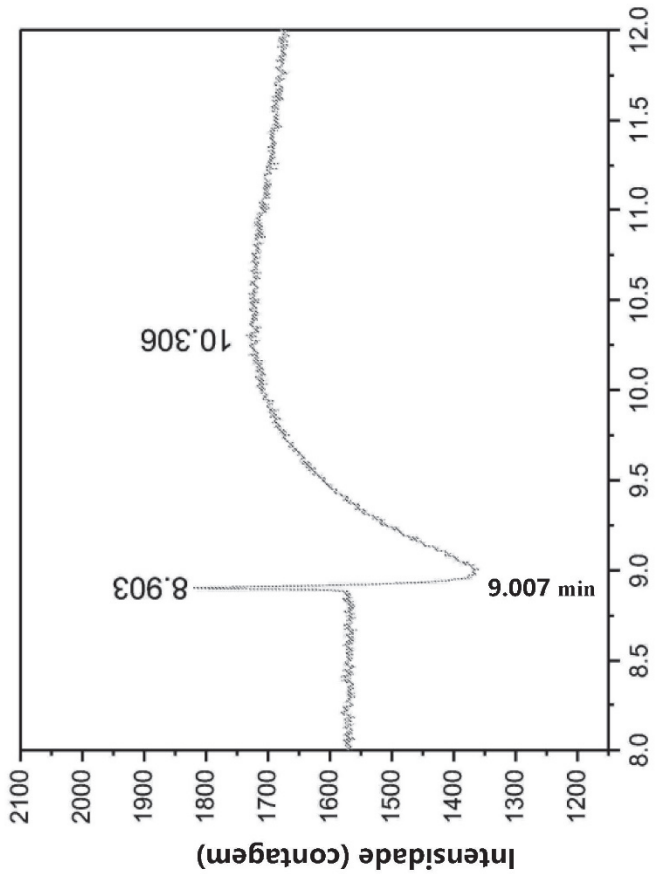

Intensidade (contagem)
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
8.0
8.5
9.0
9.5
10.0
10.5
11.0
11.5
12.0
Tempo de retenção (min)
8.903
9.007 min
10.306

Fig. 52B

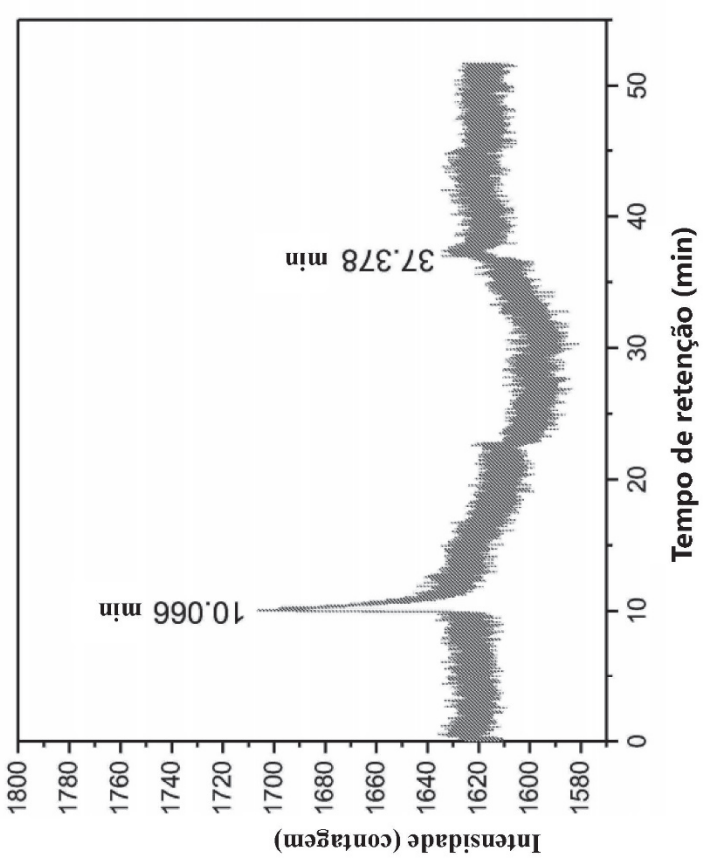

Intensidade (contagem)
1800
1780
1760
1740
1720
1700
1680
1660
1640
1620
1600
1580
0
10
20
30
40
50
Tempo de retenção (min)
10.066 min
37.378 min

Fig. 53

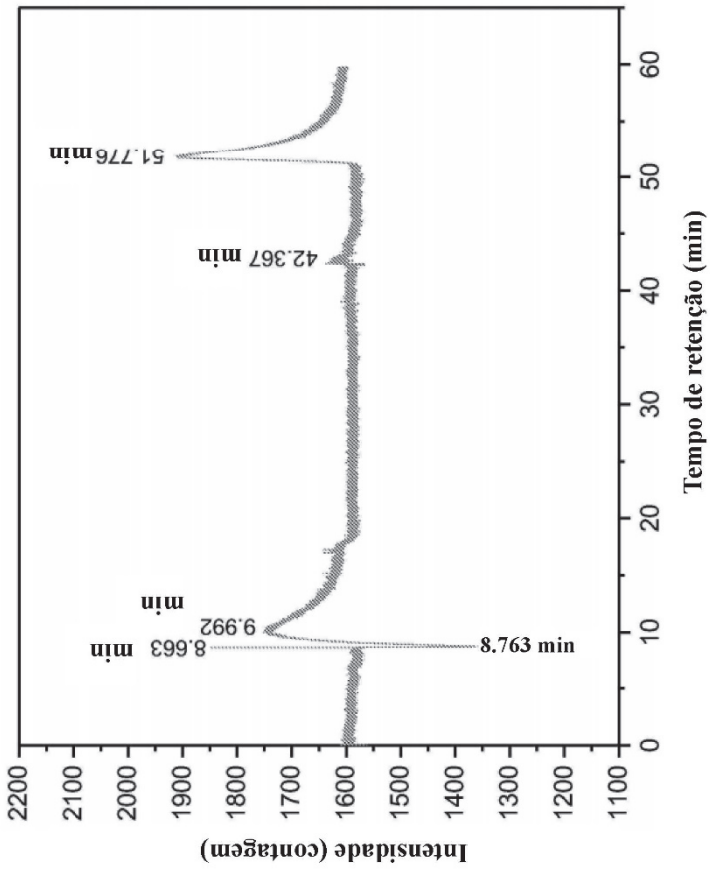

Intensidade (contagem)
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
0
10
20
30
40
50
60
Tempo de retenção (min)
8.763 min
8.663 min
9.992 min
42.367 min
51.776 min

Fig. 54A

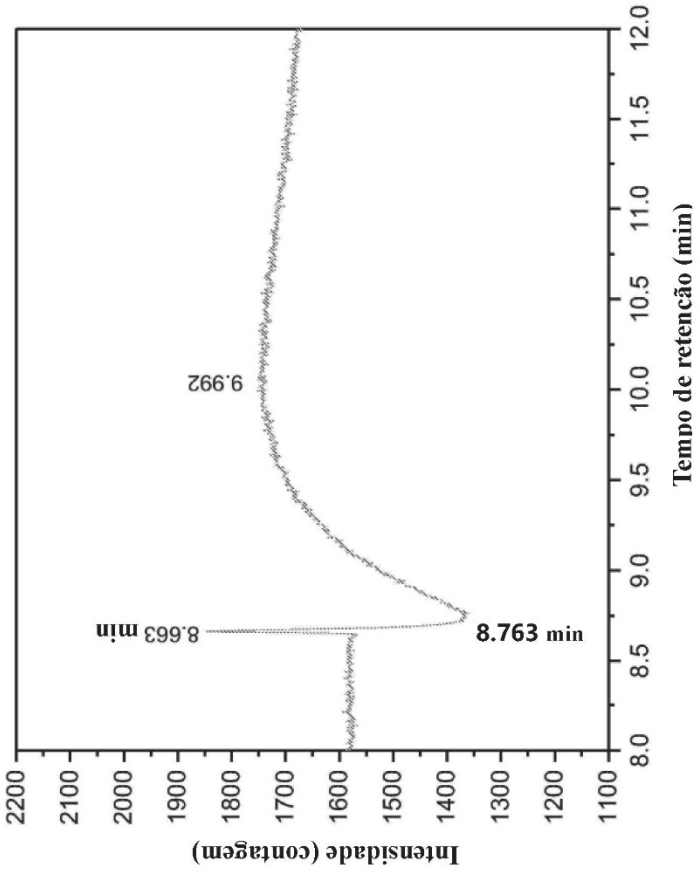

Intensidade (contagem)
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
8.0
8.5
9.0
9.5
10.0
10.5
11.0
11.5
12.0
Tempo de retenção (min)
8.763 min
8.663 min
9.992

Fig. 54B

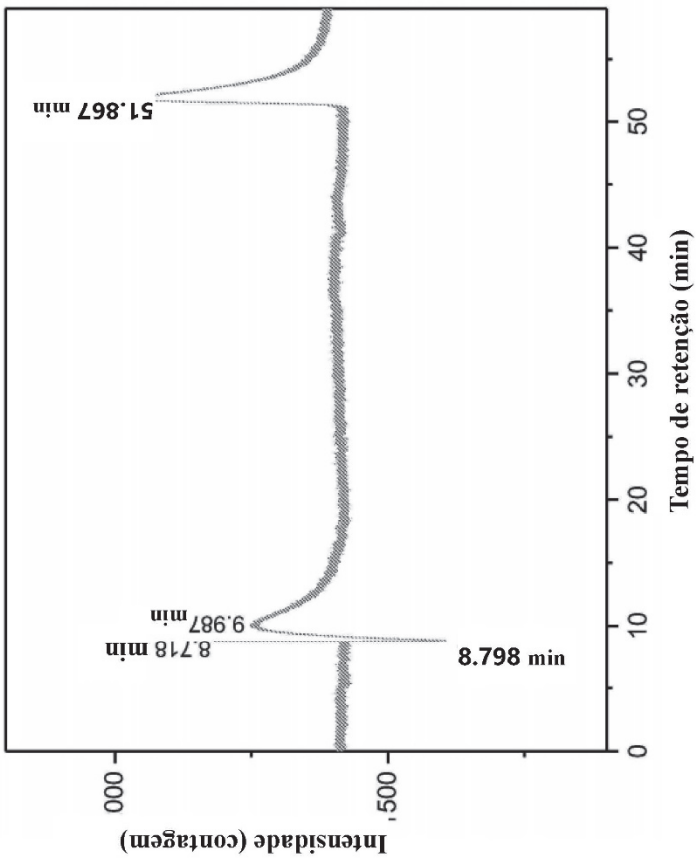

51.867 min
9.987 min
8.718 min
8.798 min
Intensidade (contagem)
Tempo de retenção (min)
0
10
20
30
40
50

Fig. 55A

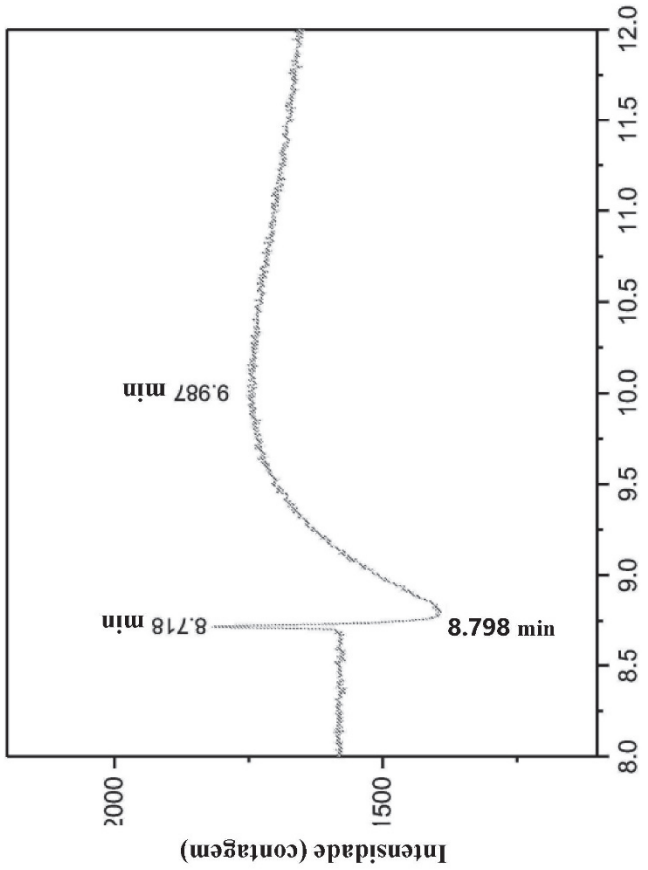

Intensidade (contagem)
2000
1500
8.0
8.5
9.0
9.5
10.0
10.5
11.0
11.5
12.0
Tempo de retencão (min)
8.798 min
8.718 min
9.987 min

Fig. 55B

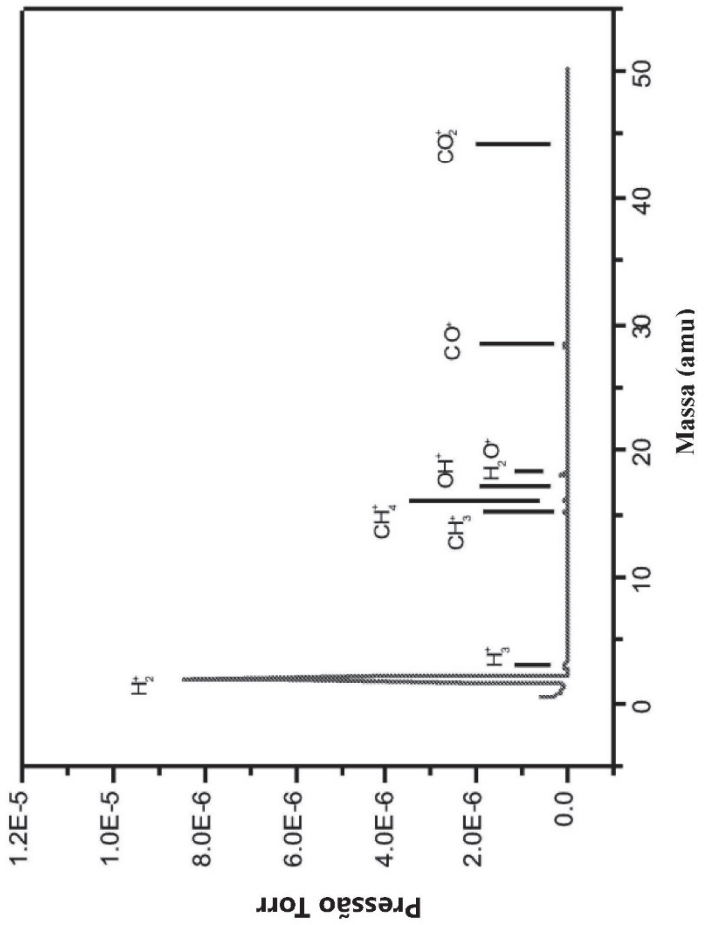

Pressão Torr
1.2E-5
1.0E-5
8.0E-6
6.0E-6
4.0E-6
2.0E-6
0.0
0
10
20
30
40
50
Massa (amu)
H2+
H3+
CH4+
CH3+
OH+
H2O+
CO+
CO2+

Fig. 56

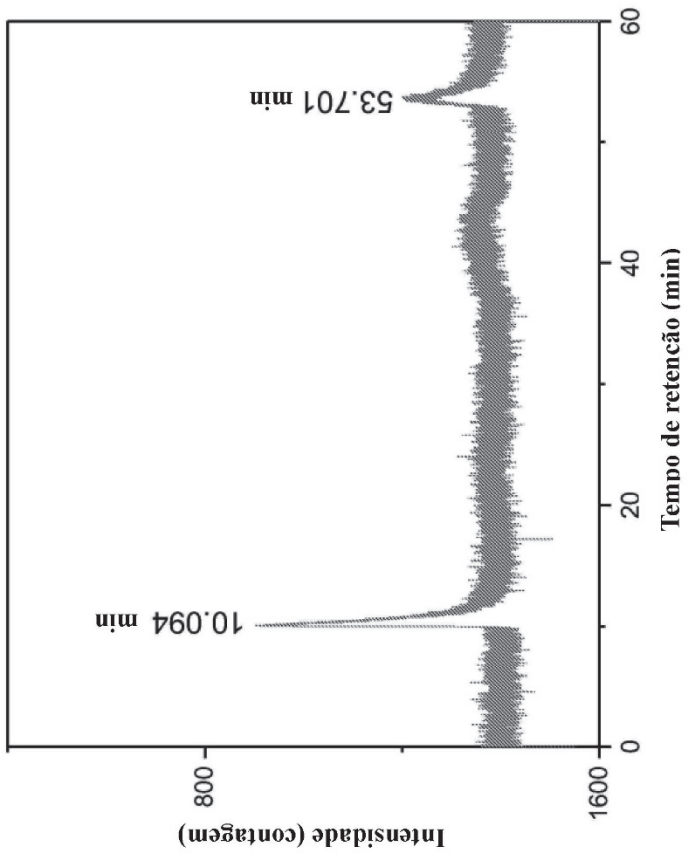

10.094 min
53.701 min
Intensidade (contagem)
800
1600
0
20
40
60
Tempo de retencão (min)

Fig. 57

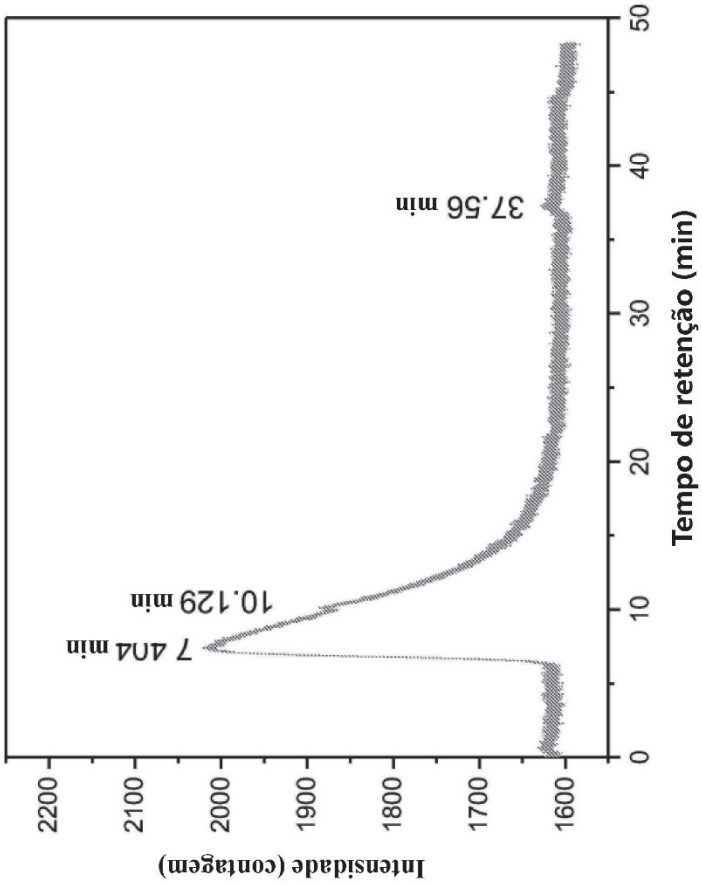

7.404 min
10.129 min
37.56 min
Intensidade (contagem)
Tempo de retenção (min)
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
0
10
20
30
40
50

Fig. 58

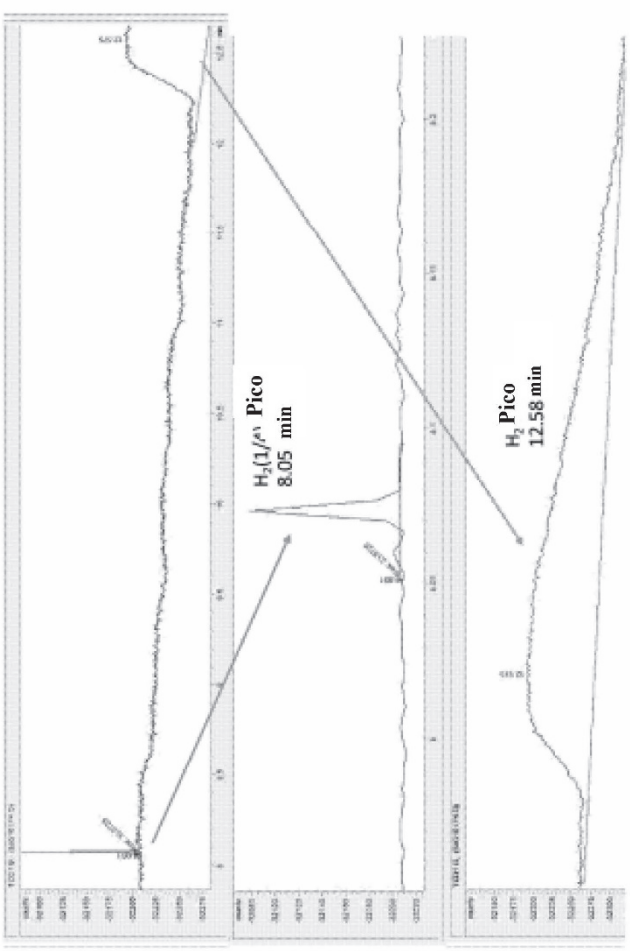


Fig. 59

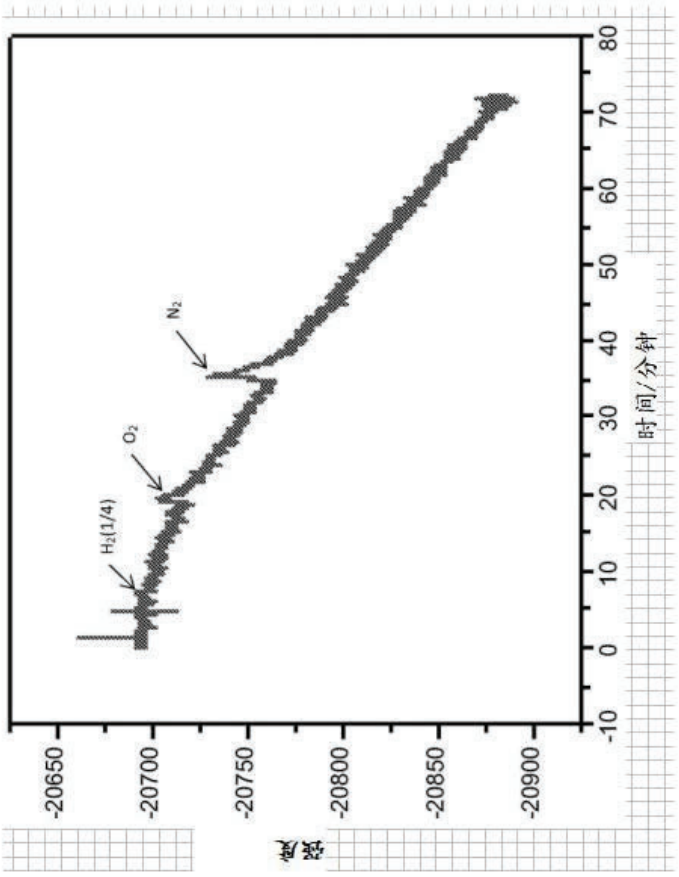

H2(1/4)
O2
N2
-20650
-20700
-20750
-20800
-20850
-20900
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
时间/分钟
强度
Intensidade
Tempo em minutos

Fig. 60

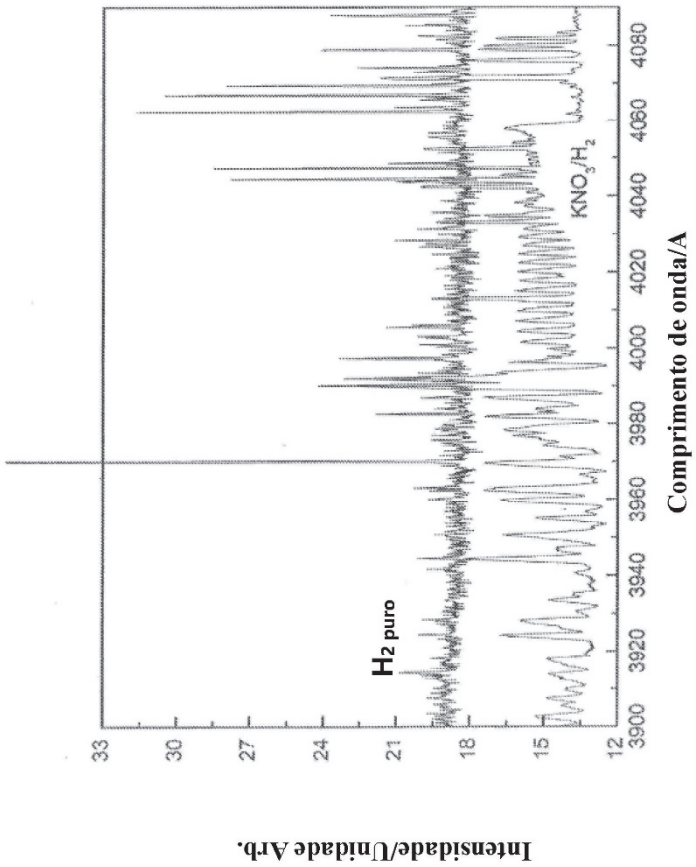

Intensidade/Unidade Arb.
33
30
27
24
21
18
15
12
3900
3920
3940
3960
3980
4000
4020
4040
4060
4080
Comprimento de onda/A
H2 puro
KNO3/H2

Fig. 61

RESUMO

"GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA DE HIDROGÊNIO MAGNETO-HIDRODINÂMICO"

É descrito um gerador de energia que fornece pelo menos uma dentre energia elétrica e térmica compreendendo (i) pelo menos uma célula de reação para reações envolvendo produtos de hidrogênio de hidrogênio atômico identificáveis por assinaturas analíticas e espectroscópicas únicas, (ii) um sistema de injeção de metal fundido compreendendo pelo menos uma bomba, como uma bomba eletromagnética que fornece um fluxo de metal fundido para a célula de reação e pelo menos um reservatório que recebe o fluxo de metal fundido, e (iii) um sistema de ignição que compreende uma fonte de energia elétrica que fornece energia elétrica de baixa tensão e alta corrente para pelo menos um fluxo de metal fundido para causar ignição em um plasma para iniciar uma cinética rápida da reação e um ganho de energia. Em algumas modalidades, o gerador de energia pode compreender: (v) uma fonte de H_2 e O_2 fornecidos ao plasma, (vi) um sistema de recuperação de metal fundido, e (vii) um conversor de energia capaz de (a) converter a saída de luz de alta potência de um radiador de corpo negro da célula em eletricidade usando células termofotovoltaicas concentradoras ou (b) converter o plasma energético em eletricidade usando um conversor magneto-hidrodinâmico.