

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2022-517816
(P2022-517816A)

(43)公表日 令和4年3月10日(2022.3.10)

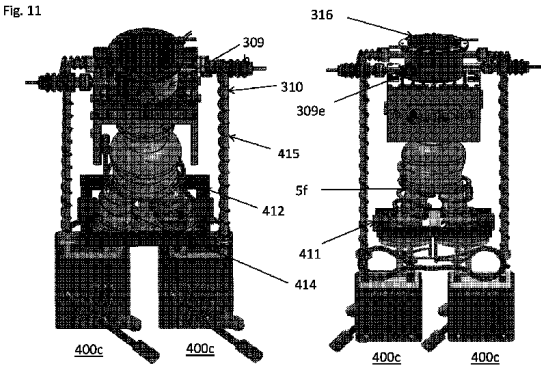
(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 5 H 1/24 (2006.01)	H 0 5 H 1/24	2 G 0 8 4
H 0 2 N 3/00 (2006.01)	H 0 2 N 3/00	Z
H 0 2 N 11/00 (2006.01)	H 0 2 N 11/00	Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全226頁)			
(21)出願番号	特願2021-541509(P2021-541509)	(71)出願人	516148405
(86)(22)出願日	令和2年1月16日(2020.1.16)		ブリリアント ライト パワー インコーポレーティド
(85)翻訳文提出日	令和3年9月9日(2021.9.9)		アメリカ合衆国 0 8 5 1 2 ニュージャージー州 クランベリー オールド トレントン ロード 4 9 3
(86)国際出願番号	PCT/IB2020/050360	(74)代理人	100111707
(87)国際公開番号	WO2020/148709		弁理士 相川 俊彦
(87)国際公開日	令和2年7月23日(2020.7.23)	(72)発明者	ミルズ, ランデル
(31)優先権主張番号	62/794,515		アメリカ合衆国 0 8 5 1 2 ニュージャージー州 クランベリー オールド・トレントン・ロード 4 9 3
(32)優先日	平成31年1月18日(2019.1.18)	F ターム (参考)	2G084 AA11 AA15 AA21 BB06 CC03 CC04
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/803,283		
(32)優先日	平成31年2月8日(2019.2.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/823,541		
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 電磁流体発電機

(57)【要約】

電力および熱出力の少なくとも1つを提供する発電機を説明する。この発電機は、(i)固有の分析的および分光学的特徴によって識別可能な原子状水素水素生成物に関与する反応のための少なくとも1つの反応セルと、(ii)反応セルに熔融金属流を提供する電磁ポンプ等の少なくとも1つのポンプ、および、熔融金属流を受け取る少なくとも1つの貯留槽を含む熔融金属注入システムと、低電圧大電流電気エネルギーを熔融金属の少なくとも1つの蒸気に与え、プラズマを点火して反応の急速な動力学とエネルギー獲得を惹起する電力供給源を含む添加システムとを、備える。いくつかの実施形態では、発電機は、(v)プラズマに供給されるH₂およびO₂の供給源と、(vi)熔融金属回収システムと、(vii)(a)濃縮器熱光起電力セルを使用して、セルの黒体放射体からの高出力光出力を電気に変換すること、または、(b)電磁流体変換器を使用して高エネルギープラズマを電気に変換することが可能である電力変換器とを、備える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気エネルギーおよび熱エネルギーの少なくとも一方を発生させる発電システムであって、

圧力を大気圧よりも低く維持できる少なくとも 1 つの容器と、

プラズマを形成するのに十分なエネルギーを生成する反応を前記容器内で受け取ることができる反応物であり、

(a) 水素ガスと酸素ガスとの混合物、および／または

水蒸気、および／または

水素ガスと水蒸気との混合物、ならびに

(b) 溶融金属を含む、前記反応物と、

前記容器への少なくとも 1 つの反応物の流量を制御するための質量流量制御器と、

1 つまたは複数の反応物が前記容器に流入しているときに前記容器内の圧力を大気圧より低く維持するための真空ポンプと、

前記溶融金属の一部を含む少なくとも 1 つの貯留槽、該貯留槽内にかつ注入器管を介して前記溶融金属を供給して溶融金属流を提供するように構成される溶融金属ポンプシステム（例えば、1 つまたは複数の電磁ポンプ）、および前記溶融金属流を受け取るための少なくとも 1 つの非注入器溶融金属貯留槽と、

水素ガスおよび／または酸素ガスおよび／または水蒸気が前記容器に流入するときに電力を前記溶融金属の少なくとも 1 つの流れに電力を供給するための、電力または点火電流の供給源を含む少なくとも 1 つの点火システムと、

前記反応で消費される反応物を補充する反応物供給システムと、

前記反応により生じたエネルギー（例えば、前記プラズマからの光および／または熱出力）の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、

前記反応により生じたエネルギー（例えば、前記プラズマからの光および／または熱出力）の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、を備える、発電システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の発電システムであって、水素ガスおよび酸素ガスを混合するための気体混合器と水素および酸素の再結合器および／または水素解離器とをさらに備える、発電システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の発電システムであって、前記水素および酸素の再結合器は、内側支持材料によって支持される再結合器触媒金属を含む、発電システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の発電システムであって、不活性ガス（例えば、アルゴン）が前記容器に注入される、発電システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の発電システムであって、前記容器に水を注入する（例えば、水蒸気含有プラズマをもたらす）ように構成された水マイクロ注入器をさらに含む発電システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の発電システムであって、溶融金属注入システムには溶融金属貯留槽および非注入溶融金属貯留槽内に電極がさらに含まれ、かつ前記点火システムには前記注入器および非注入器貯留槽電極に逆の電圧を供給する電力または点火電流の供給源が含まれ、前記電力の供給源が溶融金属流に電流および電力潮流を供給して、前記反応物の反応により前記容器内にプラズマを形成する電力の供給源をさらに備える、発電システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の発電システムであって、

前記溶融金属ポンプシステムは 1 基または複数基の電磁ポンプであり、電磁ポンプの各々が、

10

20

30

40

50

(a) 電極を介して溶融金属に供給される直流または交流電流源と一定または同相の交流ベクトル交差磁場源とを含む直流または交流伝導型、あるいは、

(b) 金属に交流電流を誘導する溶融金属の短絡ループを通る交流磁場源と同相ベクトル交差交流磁場とを含む誘導型の1つを備える、発電システム。

【請求項8】

請求項1に記載の発電システムであって、前記注入器貯留槽がその中の溶融金属と接触する電極を備え、かつ前記非注入器貯留槽が前記注入器システムによって提供される溶融金属と接触する電極を備える、発電システム。

【請求項9】

請求項1に記載の発電システムであって、前記溶融金属流からの溶融金属が前記貯留槽に回収され得るように、かつ前記溶融金属流が非注入器貯留槽電極と電氣的に接触するように、前記非注入器貯留槽は、前記注入器の上に（例えば、垂直に）配置され、かつ非注入器貯留槽に向けられた溶融流を発生させるように構成され、さらに、前記溶融金属が前記非注入器貯留槽電極上に溜まる、発電システム。

10

【請求項10】

請求項1に記載の発電システムであって、前記容器は砂時計の形状（例えば、前記容器の内部表面積の中央部分の断面が、主軸に沿った各遠位端の断面積の20%または10%または5%よりも小さい断面積を有する形状）を備え、かつ垂直に配向されており（例えば、前記容器の主軸が重力と略平行である）、前記注入器貯留槽は、くびれ部分よりも下方にあり、かつ前記貯留槽内の溶融金属のレベルが前記砂時計のくびれ部分とほぼ近位になるように構成されて、前記点火電流密度を高める、発電システム。

20

【請求項11】

請求項1に記載の発電システムであって、前記溶融金属が水と反応して原子状水素を形成する、発電システム。

【請求項12】

請求項1に記載の発電システムであって、前記溶融金属がガリウムであり、前記発電システムがさらに、酸化ガリウム（例えば、前記反応で生成された酸化ガリウム）からガリウムを再生するためのガリウム再生システムを備える、発電システム。

【請求項13】

請求項1に記載の発電システムであって、前記容器が、前記容器の内部から光起電力変換器に光を送信するための光透過性光起電力（PV）窓部と、少なくとも1つの容器形状と、回転窓部を含む少なくとも1つのバッフルとを備える、発電システム。

30

【請求項14】

請求項1に記載の発電システムであって、前記電力変換器または前記出力システムは、前記容器に接続されたノズル、電磁流体チャネル、電極、磁石、金属収集システム、金属再循環システム、熱交換器、および任意選択としてガス再循環システムを備える、発電システム。

【請求項15】

請求項1に記載の発電システムであって、前記溶融金属ポンプシステムは、第1の段階の電磁ポンプと第2の段階の電磁ポンプとを備え、前記第1の段階は金属再循環システムのポンプを含み、かつ前記第2の段階は前記金属注入器システムのポンプを含む、発電システム。

40

【請求項16】

請求項1に記載の発電システムであって、前記反応は、

(a) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ および $5500 \sim 6200 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の1つまたは複数にあるラマンピークを有する水素生成物と、

(b) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ の整数倍の間隔で配置された複数のラマンピークを有する水素生成物と、

(c) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ に赤外線ピークを有する水素生成物と、

(d) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ の整数倍の間隔で配置された複数の赤外線ピークを有する

50

水素生成物と、

(e) $0.23 \sim 0.3 \text{ eV}$ の整数倍の間隔を有する $200 \sim 300 \text{ nm}$ の範囲の複数の UV 蛍光発光スペクトルピークを有する水素生成物と、

(f) $0.2 \sim 0.3 \text{ eV}$ の整数倍の間隔を有する $200 \sim 300 \text{ nm}$ の範囲に複数の電子ビーム放出スペクトルピークを有する水素生成物と、

(g) $5000 \pm 20, 000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の複数のラマンスペクトルピークを有し、 $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ の整数倍の間隔を有する水素生成物と、

(h) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の連続ラマンスペクトルを有する水素生成物と、

(i) 常磁性シフトおよびナノ粒子シフトの少なくとも1つにより、 $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲のラマンピークを有する水素生成物と、

(j) $490 \sim 525 \text{ eV}$ の範囲のエネルギーで X 線光電子分光法のピークを有する水素生成物と、(k) 高磁場 MAS NMR マトリックスシフトを引き起こす水素生成物と、

(l) TMS に対して -5 ppm を超える高磁場 MAS NMR または液体 NMR シフトを持つ水素生成物と、

(m) マクロ凝縮物またはポリマー H_n (n は 3 より大きい整数) を含む水素生成物と、

(n) 飛行時間二次イオン質量分析 (ToF-SIMS) ピークが $16.12 \sim 16.13$ であるマクロ凝縮物またはポリマー H_n (n は 3 より大きい整数) を含む水素生成物と、

(o) 金属が Zn、Fe、Mo、Cr、Cu、および W の少なくとも1つを含む金属水素化物を含む水素生成物と、

(p) H_{16} および H_{24} の少なくとも一方を含む水素生成物と、

(q) 無機化合物 $\text{M}_x \text{X}_y$ および H_2 を含み、M が陽イオンであり、X が陰イオンであり、 $\text{M}(\text{M}_x \text{X}_y \text{H}_2)_n$ (n は整数) のエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量分析 (ESI-ToF) および飛行時間型二次イオン質量分析 (ToF-SIMS) のピークの少なくとも1つを有する水素生成物と、

(r) $\text{K}(\text{K}_2\text{H}_2\text{CO}_3)_n$ および $\text{K}(\text{KOH}\text{H}_2)_n$ のエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量分析法 (ESI-ToF) および飛行時間型二次イオン質量分析法 (ToF-SIMS) のピークの少なくとも1つをそれぞれ有する $\text{K}_2\text{CO}_3\text{H}_2$ および KOHH_2 少なくとも1つを含む水素生成物と、

(s) 金属水素化物を含み、金属が Zn、Fe、Mo、Cr、Cu、W、および反磁性金属のうちの少なくとも1つを含む磁気水素生成物と、

(t) 金属酸化物と水素をさらに含む金属酸化物とを含み、金属が Zn、Fe、Mo、Cr、Cu、W、および磁化率測定により磁性を示す反磁性金属の少なくとも1つを含む水素生成物と、

(u) 電子常磁性共鳴 (EPR) 分光法で活性がない金属を含み、前記 EPR スペクトルが約 $2.0046 \pm 20\%$ の g 因子と約 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV}$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーであるような陽子分裂との少なくとも1つを含む水素生成物と、

(v) EPR スペクトルが約 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の電子・電子双極子分裂エネルギーと約 $1.6 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーとを少なくとも示す水素生成物と、

(w) 水素キャリアを含む負のガスクロマトグラフィーピークを有するガスを含む水素生成物と、

(x) $(1.70127 a_0^2 / p^2) \pm 10\%$ (p は整数) の四重極モーメント / e を有する水素生成物と、

(y) $(J+1) 44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の整数 J から J+1 への遷移に対する回転エネルギーが逆回転する分子二量体を含み、重水素を含む前記分子二量体の対応する回転エネルギーが陽子を含む二量体の回転エネルギーの $1/2$ である陽子性水素生成物と、

(z) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子の分離距離、(ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の水素分子間の振動エネルギー、および (iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の水素分

10

20

30

40

50

子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有する分子二量体を含む水素生成物と、

(a a) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子の分離距離、(ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の水素分子間の振動エネルギー、および(iii) $0.0019 \text{ eV} \pm 10\%$ の水素分子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有する分子二量体を含む水素生成物と、

(b b) (i) $(J+1) 44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 、(ii) $(J+1) 22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および(iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ のFTIRおよびラマンスペクトルシグネチャおよび／または約 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子分離を示すX線または中性子回折パターンおよび／または水素分子あたり約 $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有する水素生成物と、

(c c) (i) $(J+1) 44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、(ii) $(J+1) 22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および(iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ および／または $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子分離を示すX線または中性子回折パターンおよび／または水素分子あたり約 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有する固体水素生成物と、

(d d) 磁性であり、かつその境界のない結合エネルギー領域で磁性の単位で磁束をリンクする水素化水素イオンを含む水素生成物と、

(e e) 高圧液体クロマトグラフィー(HPLC)が水を含む溶媒を含む有機カラムを使用してキャリアボイドボリューム時間よりも長い保持時間を有するクロマトグラフィピークを示し、ESI-TOFといった質量分析によるピークの検出によって少なくとも1つの無機化合物のフラグメントを示す水素生成物と、

のうちの1つまたはそれ以上として特徴づけられる水素生成物を生成する、発電システム。

【請求項17】

電極システムであって、

(a) 第1の電極および第2の電極と、

(b) 前記第1の電極および前記第2の電極と電気的に接触している熔融金属(例えば、熔融銀、熔融ガリウム等)の流れと、

(c) 前記熔融金属を貯留槽から引き出し、導管(例えば、チューブ)を通して輸送して、前記導管を出る前記熔融金属流を発生させ得るポンプを含む循環システムと、

(d) 前記第1の電極と前記第2の電極と間に電位差を与えるように構成された電源とを備え、

前記熔融金属流が、前記第1の電極と前記第2の電極とに同時に接触して、前記電極間に電流を発生させる電極システム。

【請求項18】

電気回路であって、

(a) 熔融金属を生成するための加熱手段と、

(b) 前記熔融金属を容器から導管を介して輸送し、前記導管から出る前記熔融金属流を発生させるためのポンピング手段と、

(c) 第1の電極と第2の電極との間に電位差を生じさせるための電力供給手段と電気的連通する第1の電極および第2の電極とを備え、

前記熔融金属流は、第1の電極と第2の電極との間に電気回路を構成すべく第1の電極と第2の電極とに同時に接触している電気回路。

【請求項19】

第1の電極と第2の電極とを備える電気回路において、改良点が、熔融金属流を前記電極に通して、その間に電流が流れることを可能にすることを含む電気回路。

【請求項20】

プラズマを発生させるためのシステムであって、

(a) 金属貯留槽から熔融金属を生成するように構成された熔融金属注入器システムと、

(b) 電流を誘導して前記溶融金属流に流すための電極システムと、
(c) (i) 計量された量の水を溶融金属と接触させるように構成され、前記水の一部および前記溶融金属の一部が反応して、前記金属および水素ガスの酸化物を形成する水注入システム、(ii) 過剰な水素ガスと酸素ガスとの混合物、ならびに(iii) 過剰な水素ガスと酸素ガスとの混合物の少なくとも1つと、
(d) 前記電流を供給するように構成された電源と、を備え、
前記金属流を介して電流が供給される時に前記プラズマが発生するシステム。

【請求項21】

請求項20に記載のシステムであって、

(a) 前記プラズマの製造後に収集された金属を前記金属貯留槽に移送するように構成されたポンピングシステムと、

(b) 前記金属酸化物を収集し、前記金属酸化物を前記金属に変換するように構成された金属再生システムであり、陽極、陰極、電解質を含み、電気バイアスが前記陽極と前記陰極との間に供給されて前記金属酸化物を前記金属に変換する前記金属再生システムとを備え、
前記金属再生システムで再生された金属が前記ポンピングシステムに転送されるシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の参照

本出願は、2019年1月18日に出願された米国特許出願第62/794,515号、2019年2月8日に出願された米国特許出願第62/803,283号、2019年3月25日に出願された米国特許出願第62/823,541号、2019年4月2日に出願された米国特許出願第62/828,341号、2019年4月27日に出願された米国特許出願第62/839,617号、2019年3月7日に出願された米国特許出願第62/844,643号、2019年5月21日に出願された米国特許出願第62/851,010号、2019年1月28日に出願された米国特許出願第62/868,838号、2019年6月8日に出願された米国特許出願第62/871,664号、2019年6月26日に出願された米国特許出願第62/879,389号、2019年8月5日に出願された米国特許出願第62/883,047号、2019年8月21日に出願された米国特許出願第62/890,007号、2019年9月20日に出願された米国特許出願第62/897,161号、2019年9月20日に出願された米国特許出願第62/903,528号、2019年11月1日に出願された米国特許出願第62/929,265号、2019年11月14日に出願された米国特許出願第62/935,559号、2019年12月13日に出願された米国特許出願第62/948,173号、および2019年12月27日に出願された米国特許出願第62/954,355号に基づく優先権を主張し、これらのすべてが参照により本明細書に援用される。

【0002】

開示の分野

本開示は、発電分野に関し、とりわけ、発電システム、装置、および方法に関する。より具体的には、本開示の実施形態は、光起電力、プラズマ、および熱起電力を発生させ、電磁流体電力変換器を介して電力を発生させる発電装置およびシステム、ならびに関連する方法、光起電力変換器、プラズマ起電力変換器、光子起電力変換器、または熱起電力変換器に関するものである。また、本開示の実施形態は、光起電力変換器を使用して、水または水ベースの燃料源の点火によって、光起電力、力学的起電力、電力、および/または熱起電力を発生させるシステム、装置、および方法を説明する。本開示において、これらの実施形態および他の関連する実施形態を詳細に説明する。

【背景技術】

【0003】

背景技術

発電は、さまざまな形態を取り、プラズマからの発電を利用し得る。プラズマの商業化の成功は、プラズマを効率的に発生させ、発生させたプラズマからのエネルギー出力を捕捉することができる発電システムに依存し得る。

【0004】

特定の燃料の点火中にプラズマが形成され得る。これらの燃料には、水または水ベースの燃料源が含まれ得る。点火中に、電子が剥ぎ取られた原子のプラズマ雲が形成され、高い光起電力が放出されることがある。プラズマの高い光起電力は、本開示の電力変換器によって利用され得る。イオンと励起状態原子とが再結合して電子緩和を経て高強度の光を放出し得る。高強度の光は、光起電力技術で電気に変換され得る。

10

【0005】

開示の概要

本開示は、電気エネルギーおよび熱エネルギーの少なくとも一方を発生させる発電システムに関し、該発電システムは、

圧力を大気圧よりも低く維持できる少なくとも1つの容器と、

プラズマを形成するのに十分なエネルギーを生成する反応を容器内で受け取ることができる反応物であり、

(a) 水素ガスと酸素ガスとの混合物、および／または水蒸気、および／または

水素ガスと水蒸気との混合物、ならびに

20

(b) 溶融金属を含む、反応物と、

容器への少なくとも1つの反応物の流量を制御するための質量流量制御器と、

1つまたは複数の反応物が容器に流入しているときに容器内の圧力を大気圧より低く維持するための真空ポンプと、

溶融金属の一部を含む少なくとも1つの貯留槽、該貯留槽内にかつ注入器管を介して溶融金属を供給して溶融金属流を提供するように構成される溶融金属ポンプシステム（例えば、1つまたは複数の電磁ポンプ）、および溶融金属流を受け取るための少なくとも非注入器溶融金属貯留槽と、

水素ガスおよび／または酸素ガスおよび／または水蒸気が容器に流れ込んでいるときに電力を溶融金属の少なくとも1つの流れに電力を供給するための、電力または点火電流の供給源を含む少なくとも1つの点火システムと、

30

反応で消費される反応物を補充する反応物供給システムと、

反応により生じたエネルギー（例えば、プラズマからの光および／または熱出力）の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、

反応により生じたエネルギー（例えば、プラズマからの光および／または熱出力）の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、を備える。

【0006】

発電システムは、黒体放射体と、該黒体放射体から光を出力するための窓部とを備えてもよい。そのような実施形態は、光（例えば、照明用）を発生させるために利用され得る。

【0007】

40

いくつかの実施形態では、発電システムは、水素ガスおよび酸素ガスを混合するための気体混合器と水素および酸素の再結合器および／または水素解離器とをさらに備えてもよい。例えば、発電システムは、水素および酸素の再結合器を備え、該水素および酸素の再結合器は、内側支持材料によって支持される再結合器触媒金属を含む。

【0008】

発電システムは、反応を、具体的にはプラズマの発生と正味のエネルギー出力とを維持するのに十分なエネルギーを出力できる反応を、最大化するパラメータで動作され得る。例えば、いくつかの実施形態では、動作中の容器の圧力は、0.1トル～50トルの範囲である。特定の実施において、水素の質量流量は、酸素の質量流量のそれを1.5～1000倍の範囲で超える。いくつかの実施形態では、圧力は50トルを超えてもよく、ガス再

50

循環システムがさらに備えられてもよい。

【0009】

いくつかの実施形態では、不活性ガス（例えば、アルゴン）が容器に注入される。いくつかの実施形態では、不活性ガス（例えば、アルゴン）が容器に注入される。不活性ガスは、特定のその場（*in situ*）で形成された反応物（発生時の水等）の寿命を延ばすために使用され得る。

【0010】

発電システムは、反応から出力されたエネルギーから生成されたプラズマが水蒸気を含むように、容器に水を注入するように構成された水マイクロ注入器を備えてもよい。いくつかの実施形態では、マイクロ注入器は、容器に水を注入する。いくつかの実施形態では、 H_2 モル百分率は、水蒸気（例えば、マイクロ注入器によって注入された水蒸気）のモル百分率の1.5～1000倍の範囲内である。

10

【0011】

発電システムは、金属（例えば、ガリウムまたは銀または銅またはそれらの組み合わせ）を溶融して溶融金属を形成するための加熱器をさらに含み得る。発電システムは、非注入器溶融金属貯留槽からのオーバーフローを収集する溶融金属オーバーフローチャンネルを含む反応後に溶融金属を回収するように構成された溶融金属回収システムをさらに含み得る。

【0012】

溶融金属注入システムは、溶融金属貯留槽および非溶融金属貯留槽内に電極をさらに備えてもよく、点火システムは、注入器および非注入器貯留槽電極に反対の電圧を供給する電力または点火電流の供給源を含み、ここで、電源は、溶融金属流に電流と電力潮流とを供給して、反応物の反応を引き起こし、容器内にプラズマを形成する。

20

【0013】

電源は通常、反応物が反応してプラズマを形成するのに十分な高電流電気エネルギーを供給する。特定の実施形態では、電源は少なくとも1つの超コンデンサを含む。さまざまな実装形態において、溶融金属点火システム電力からの電流は、10A～50,000Aの範囲内である。

通常、溶融金属ポンプシステムは、溶融金属貯留槽から溶融金属を非注入貯留槽にポンプ輸送するように構成され、その間に溶融金属流が生成される。いくつかの実施形態では、溶融金属ポンプシステムは1または複数の電磁ポンプであり、電磁ポンプの各々が、

30

(a) 電極を介して溶融金属に供給される直流または交流電流源と一定または同相の交流ベクトル交差磁場源とを含む直流または交流伝導型、あるいは、

(b) 金属に交流電流を誘導する溶融金属の短絡ループを通る交流磁場源と同相ベクトル交差交流磁場とを含む誘導型の1つを備える。

いくつかの実施形態では、溶融金属点火システム電源からの電流は、10A～50,000Aの範囲内であってもよい。溶融金属点火システムの回路は、点火によりさらなる点火（例えば、点火周波数が10,000Hz未満）を発生すべく、溶融金属流によって閉じられてもよい。

注入器貯留槽は、その中の溶融金属と接触する電極を備え、かつ前記非注入器貯留槽が前記注入器システムによって提供される溶融金属と接触する電極を備えてもよい。

40

【0014】

さまざまな実装形態において、溶融金属流からの溶融金属が貯留槽に回収され得るように、かつ溶融金属流が非注入器貯留槽電極と電氣的に接触するように、非注入器貯留槽は、注入器の上に（例えば、垂直に）配置され、かつ非注入器貯留槽に向けられた溶融流を生成するように構成され、さらに、溶融金属が前記非注入器貯留槽電極上に溜まる。いくつかの実施形態では、非注入器貯留槽への点火電流は、

(a) 容器を貫通する、密閉された高温ケーブルフィードスルー、

(b) 電極バスバー、および

(c) 電極

50

を含んでもよい。

点火電流密度は、少なくとも容器の形状が最終的なプラズマの形状に関連しているという理由で、容器の形状に関連し得る。様々な実施において、容器は砂時計の形状（例えば、容器の内部表面積の中央部分の断面が、主軸に沿った各遠位端の断面積の20%または10%または5%以内よりも小さい断面積を有する形状）を備え、かつ垂直に配向（例えば、前記容器の主軸が重力と略平行）され得る。ここで、注入器貯留槽は、くびれ部分よりも下方にあり、かつ貯留槽内の溶融金属のレベルが砂時計のくびれ部分とほぼ近位になるように構成されて、点火電流密度を高める。いくつかの実施形態では、容器は主縦軸に関して対称である。いくつかの実施形態では、容器は砂時計の形状であり、高融点金属ライナーを備え得る。いくつかの実施形態では、砂時計の形状を有する容器の注入器貯留槽は、点火電流のための正極を含み得る。

10

溶融金属は、銀、ガリウム、銀銅合金、銅、またはそれらの組み合わせのうちの少なくとも1つを含み得る。いくつかの実施形態では、溶融金属は、700℃未満の融点を有する。例えば、溶融金属は、ビスマス、鉛、スズ、インジウム、カドミウム、好ましくはガリウム、アンチモン、または合金、例えばローズメタル、セロセーフ、ウッドメタル、フィールドメタル、セロロー136、セロロー117、Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl、およびガリンスタンの少なくとも1つを含んでもよい。特定の態様では、その溶融金属（例えば、貯留槽、電極）と接触する発電システムの構成要素の少なくとも1つは、溶融金属との合金の形成に耐性を示す1つまたは複数の耐合金材料の含有、被覆、またはコーティングが施される。例示的な耐合金材料は、タングステン、タンタル、SS347、およびセラミックである。いくつかの実施形態では、容器の少なくとも一部は、セラミックおよび／または金属から構成される。セラミックは、金属酸化物、石英、アルミナ、ジルコニア、マグネシア、ハフニア、炭化ケイ素、炭化ジルコニウム、ニホウ化ジルコニウム、窒化ケイ素、およびガラスセラミックのうちの少なくとも1つを含み得る。いくつかの実施形態では、容器の金属は、ステンレス鋼、および高融点金属のうちの少なくとも1つを含む。

20

溶融金属は水と反応して、その場（*in situ*）で原子状水素を形成し得る。さまざまな実装で、溶融金属はガリウムであり、発電システムは、酸化ガリウム（例えば、反応で生成された酸化ガリウム）からガリウムを再生するためのガリウム再生システムをさらに備える。ガリウム再生システムは、酸化ガリウムをガリウム金属に還元するべく、水素ガスおよび原子状水素のうちの少なくとも1つの供給源を含み得る。いくつかの実施形態では、水素ガスは、発電システムの外部の供給源からガリウム再生システムに供給される。いくつかの実施形態では、水素ガスおよび／または原子状水素がその場（*in situ*）で生成される。ガリウム再生システムは、反応で生成されたガリウム（またはガリウム／酸化ガリウムの組み合わせ）に電力を供給する点火システムを含み得る。いくつかの実装形態では、そのような電力は、ガリウムの表面上の酸化ガリウムをガリウム金属に電気分解し得る。いくつかの実施形態では、ガリウム再生システムは、電解質（例えば、アルカリまたはアルカリ土類ハロゲン化物を含む電解質）を含み得る。いくつかの実施形態では、ガリウム再生システムは、塩基性pH水性電解システム、酸化ガリウムをシステムに輸送する手段、およびガリウムを容器（例えば、溶融金属貯留槽）に戻す手段を含み得る。いくつかの実施形態では、ガリウム再生システムは、ガリウムの表面から酸化ガリウムを除去するためのスキマーおよびバケットエレベータを備える。さまざまな実装形態において、発電システムは、排気流を維持するための真空ポンプへの排気ラインを含み得、さらに、排気流中の酸化ガリウム粒子を収集するための排気ライン内の静電沈殿システムを含み得る。

30

40

【0015】

いくつかの実施形態では、電力システムは、少なくとも1つの熱交換器（例えば、容器壁の壁に結合された熱交換器、溶融金属との間または溶融金属貯留槽との間で熱を伝達し得る熱交換器）をさらに含み得る。

【0016】

50

いくつかの実施形態では、反応出力の少なくとも1つの電力変換器または発電システムは、熱光起電力変換器、光起電力変換器、光電変換器、電磁流体変換器、プラズマ力学変換器、熱電子変換器、熱電変換器、スターリングエンジン、超臨界CO₂サイクル変換器、ブレイトンサイクル変換器、外燃機関ブレイトンサイクルエンジンまたは変換器、ランキンサイクルエンジンまたは変換器、有機ランキンサイクル変換器、内燃機関エンジン、さらには熱エンジン、加熱器、およびボイラーからなる群のうちの少なくとも1つを備えてもよい。容器は、容器の内部から光起電力変換器に光を送信するための光透過性光起電力(PV)窓部と、少なくとも1つの容器形状と、熔融金属がPV窓部を被膜するのを少なくとも部分的に防止するために、圧力勾配を生じさせる、回転窓部を有する少なくとも1つのバッフルとを備えてもよい。回転窓部は、水素還元システムおよび電気分解システムのうちの少なくとも1つを含む、酸化ガリウムを還元するためのシステムを備える。いくつかの実施形態では、回転窓部は、石英、サファイア、フッ化マグネシウム、またはそれらの組み合わせを含む、またはそれら構成される。いくつかの実装形態では、回転窓部は、ガリウムおよび酸化ガリウムのうちの少なくとも1つの付着を抑制する被膜でコーティングされている。回転窓部被膜は、炭素、炭素、窒化ホウ素、および水酸化アルカリのようなダイヤモンドのうちの少なくとも1つを含み得る。

10

【0017】

電力変換器または出力システムは、容器に接続されたノズル、電磁流体チャネル、電極、磁石、金属収集システム、金属再循環システム、熱交換器、および任意のガス再循環システムを含む電磁流体(MHD)変換器を備え得る。いくつかの実施形態では、熔融金属は銀を含み得る。電磁流体変換器を有する実施形態では、電磁流体変換器は、熔融金属流中の銀との相互作用の際に、酸素ガスを送達して銀粒子ナノ粒子(例えば、約10nm未満または約1nm未満の分子領域におけるサイズ)を形成し得るもので、銀ナノ粒子は、磁気流体力学的ノズルを介して加速され、反応から発生した電力の運動エネルギーの蓄積を提供する。反応物供給システムは、変換器へ酸素ガスを供給し、かつ酸素ガスの送達を制御し得る。さまざまな実装で、銀ナノ粒子の運動エネルギーの蓄積の少なくとも一部は、磁気流体力学的チャネルで電気エネルギーに変換される。そのような変換電気エネルギーは、ナノ粒子の合体をもたらし得る。ナノ粒子は、電磁流体力学的変換器の凝縮部(本明細書ではMHD凝縮部ともいう)において、酸素を少なくとも部分的に吸収する熔融金属として合体し得るもので、吸収された酸素を含む熔融金属が金属再循環システムによって注入器貯留槽に戻される。いくつかの実施形態では、酸素は、容器内のプラズマによって金属から放出され得る。いくつかの実施形態では、このプラズマは、電磁流体力学的チャネルおよび金属収集システム内に維持されて、熔融金属による酸素の吸収を増強する。いくつかの実施形態では、プラズマが電磁流体チャネルと金属収集システムとで維持されて、熔融金属による酸素の吸収を促進する。

20

30

【0018】

熔融金属ポンプシステムは、第1の段階の電磁ポンプおよび第2の段階の電磁ポンプを含み得、第1の段階は金属再循環システム用のポンプを含み、第2の段階は金属注入器システム用のポンプを含む。

【0019】

反応によって誘発された反応は、容器内でプラズマの形成を開始するのに十分なエネルギーを生成する。それらの反応は、

(a) 1900~2000cm⁻¹および5500~6200cm⁻¹の範囲の1つまたは複数にあるラマンピークを有する水素生成物と、

(b) 0.23~0.25eVの整数倍の間隔で配置された複数のラマンピークを有する水素生成物と、

(c) 1900~2000cm⁻¹に赤外線ピークを持つ水素生成物と、

(d) 0.23~0.25eVの整数倍の間隔で配置された複数の赤外線ピークを有する水素生成物と、

(e) 0.23~0.3eVの整数倍の間隔を有する200~300nmの範囲の複数の

40

50

UV 蛍光発光スペクトルピークを有する水素生成物と、

(f) $0.2 \sim 0.3 \text{ eV}$ の整数倍の間隔を有する $200 \sim 300 \text{ nm}$ の範囲に複数の電子ビーム放出スペクトルピークを有する水素生成物と、

(g) $5000 \sim 20,000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の複数のラマンスペクトルピークを有し、 $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ の整数倍の間隔を有する水素生成物と、

(h) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の連続ラマンスペクトルを有する水素生成物と、

(i) 常磁性シフトおよびナノ粒子シフトの少なくとも1つにより、 $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲のラマンピークを有する水素生成物と、

(j) $490 \sim 525 \text{ eV}$ の範囲のエネルギーでX線光電子分光法のピークを有する水素生成物と、

(k) 高磁場MAS NMRマトリックスシフトを引き起こす水素生成物と、

(l) TMSに対して -5 ppm を超える高磁場MAS NMRまたは液体NMRシフトを持つ水素生成物と、

(m) マクロ凝縮物またはポリマー H_n (n は3より大きい整数)を含む水素生成物と、

(n) 飛行時間二次イオン質量分析(TOF-SIMS)ピークが $16.12 \sim 16.13$ であるマクロ凝縮物またはポリマー H_n (n は3より大きい整数)を含む水素生成物と、

(o) 金属がZn、Fe、Mo、Cr、Cu、およびWの少なくとも1つを含む金属水素化物を含む水素生成物と、

(p) H_{16} および H_{24} の少なくとも一方を含む水素生成物と、

(q) 無機化合物 M_xX_y および H_2 を含み、Mが陽イオンであり、Xが陰イオンであり、 $\text{M}(\text{M}_x\text{X}_y\text{H}_2)_n$ (n は整数)のエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量分析(ESI-TOF)および飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)のピークの少なくとも1つを有する水素生成物と、

(r) $\text{K}(\text{K}_2\text{H}_2\text{CO}_3)_n^+$ および $\text{K}(\text{KOH}\text{H}_2)_n^+$ のエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量分析法(ESI-TOF)および飛行時間型二次イオン質量分析法(TOF-SIMS)のピークの少なくとも1つをそれぞれ持つ $\text{K}_2\text{CO}_3\text{H}_2$ および KOHH_2 少なくとも1つを含む水素生成物と、

(s) 金属水素化物を含み、金属がZn、Fe、Mo、Cr、Cu、W、および反磁性金属のうちの少なくとも1つを含む磁気水素生成物と、

(t) 金属酸化物と水素をさらに含む金属酸化物とを含み、金属がZn、Fe、Mo、Cr、Cu、W、および磁化率測定により磁性を示す反磁性金属の少なくとも1つを含む水素生成物と、

(u) 電子常磁性共鳴(EPR)分光法には非活性的な金属を含み、前記EPRスペクトルが約 $2.0046 \pm 20\%$ のg因子と約 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV}$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーといった陽子分裂との少なくとも1つを含む水素生成物と、

(v) EPRスペクトルが約 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の電子・電子双極子分裂エネルギーと約 $1.6 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーとを少なくとも示す水素生成物と、

(w) 水素キャリアを含む負のガスクロマトグラフィーピークを有するガスを含む水素生成物と、

(x) $(1.70127 a_0^2 / p^2) \pm 10\%$ (p は整数)の四重極モーメント/ e を有する水素生成物と、

(y) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の整数JからJ+1への遷移に対する回転エネルギーが逆回転する分子二量体を含み、重水素を含む前記分子二量体の対応する回転エネルギーが陽子を含む二量体の回転エネルギーの $1/2$ である陽子性水素生成物と、

(z) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子の分離距離、(ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の水素分子間の振動エネルギー、および (iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の水素分子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有する分

10

20

30

40

50

子二量体を含む水素生成物と、

(a a) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子の分離距離、(i i) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の水素分子間の振動エネルギー、および (i i i) $0.0019 \text{ eV} \pm 10\%$ の水素分子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有する分子二量体を含む水素生成物と、

(b b) (i) $(J+1) 44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 、(i i) $(J+1) 22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および (i i i) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の F T I R およびラマンスペクトルシグネチャおよび／または約 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子分離を示す X 線または中性子回折パターンおよび／または水素分子あたり約 $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有する水素生成物と、

(c c) (i) $(J+1) 44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、(i i) $(J+1) 22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および (i i i) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ および／または $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子分離を示す X 線または中性子回折パターンおよび／または水素分子あたり約 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有する固体水素生成物と、

(d d) 磁性であり、かつその境界のない結合エネルギー領域で磁性の単位で磁束をリンクする水素化水素イオンを含む水素生成物と、

(e e) 高圧液体クロマトグラフィー (H P L C) が水を含む溶媒を使用する有機カラムを使用してキャリアボイドボリューム時間よりも長い保持時間を有するクロマトグラフィピークを示し、E S I - T o F といった質量分析によるピークの検出が少なくとも1つの無機化合物のフラグメントを示す水素生成物と、
のうちの1つまたはそれ以上として特徴づけられる水素生成物を生成し得る。

いくつかの実施形態では、水素生成物は、

(a) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の連続ラマンスペクトルを有する水素生成物と、

(b) 常磁性シフトおよびナノ粒子シフトの少なくとも1つにより、 $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲のラマンピークを有する水素生成物と、

(c) $490 \sim 525 \text{ eV}$ の範囲のエネルギーで X 線光電子分光法のピークを有する水素生成物と、

(d) 電子常磁性共鳴 (E P R) 分光法には非活性的な金属を含み、前記 E P R スペクトルが約 $2.0046 \pm 20\%$ の g 因子と約 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV}$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーといった陽子分裂との少なくとも1つを含む水素生成物と、

(e) E P R スペクトルが約 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の電子・電子双極子分裂エネルギーと約 $1.6 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーとを少なくとも示す水素生成物と、

(f) 磁性であり、かつその境界のない結合エネルギー領域において、磁束量子の単位で磁束をリンクする水素化水素イオンを含む水素生成物との1つまたは複数として特徴づけられる水素生成物と、のうちの1つまたは複数によって特徴づけられる水素生成物を生成し得る。

いくつかの実装形態において、反応が、

(a) $1940 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の H_2 回転エネルギーと他の高エネルギー特性が存在しないフィンガープリント領域のライベーションバンド (ライベーションバンド) との少なくとも1つを含むフーリエ変換赤外スペクトル (F T I R) を有すること、

(b) 高磁場マトリックスピークを含む陽子マジック角回転核磁気共鳴スペクトル (1 H M A S N M R) を有すること、

(c) $100^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ の温度領域での金属水素化物と水素ポリマーの少なくとも1つの分解を示す熱重量分析 (T G A) 結果を有すること、

(d) 互いに 0.23 eV から 0.3 eV 離れた複数のピークを含む 260 nm 領域に、 H_2 ($1/4$) 振動帯を含む電子ビーム励起発光スペクトルを有すること、

(e) 互いに 0.23 eV から 0.3 eV の間隔で配置された一連のピークを含む 260 nm 領域の H_2 ($1/4$) 振動帯を含み、ピーク強度が $0 \text{ K} \sim 150 \text{ K}$ の範囲の極低温で

低下する電子ビーム励起発光スペクトルを有すること、

(f) 260 nm領域の2次の $H_2(1/4)$ 回転振動帯が互いに約0.23 eVから0.3 eV離れた複数のピークを含むフォトルミネッセンスラマンスペクトルを有すること、

(g) $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ の整数倍の間隔を有する $5000 \sim 20,000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の複数のピークを含む2次の $H_2(1/4)$ 回転振動帯を含むフォトルミネッセンスラマンスペクトルを有すること、

(h) $1940 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ および $5820 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ のうちの1つまたは複数に H_2 回転ピークを含むラマンスペクトルを有すること、

(i) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲の連続ラマンスペクトルを有すること、

(j) 常磁性シフトおよびナノ粒子シフトの少なくとも1つによる $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ の範囲のラマンスペクトルを有すること、

(k) $490 \sim 500 \text{ eV}$ で $H_2(1/4)$ の全エネルギーを含むX線光電子スペクトル(XPS)を有すること、

(l) 水素生成物が $K_2CO_3H(1/4)_2$ および $KOH H_2$ と相互作用し(例えば、ゲッターを含む実施形態において)、かつエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量スペクトル(ESI-TOF)および飛行時間型二次イオン質量スペクトル(TOF-SIMS)の少なくとも1つがそれぞれ $K(K_2H_2CO_3)_n^+$ および $K(KOH H_2)_n^+$ のピークを含むこと、

(m) $(1.70127 \text{ a}_0^2/42) \pm 10\%$ の四重極モーメント/eを有すること、

(n) それぞれ約 $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ および約 $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ の範囲内である整数JからJ+1への遷移に対するエンドツーエンドの回転エネルギーを有すること、

(o) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の H_2 分子の分離距離、(ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の H_2 分子間の振動エネルギー、および(iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の H_2 分子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有すること、

(p) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 、(ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および(iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ のFTIRおよびラマンスペクトルシグネチャおよび/または H_2 あたり $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有することの、少なくとも1つとして特徴づけられ得る H_2 を生成する。

いくつかの実施形態では、水素生成物は、固体 H_2 に形成され得るもので、

(a) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の H_2 分子の分離距離、(ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の H_2 分子間の振動エネルギー、および(iii) $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ の $H_2(1/4)$ 分子間のファンデルワールスエネルギーの群からの少なくとも1つのパラメータを有すること、

(b) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 、(ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 、および(iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ のFTIRおよびラマンスペクトルシグネチャならびに/または $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ の水素分子分離を示すX線または中性子回折パターンならびに/または H_2 あたり $0.0019 \text{ eV} \pm 10\%$ の蒸発エネルギーの熱量測定を有することとして、特徴づけられ得る。

さまざまな実装形態において、水素生成物は、さまざまなハイドリノ反応器から形成される生成物、例えば水蒸気を圧縮する雰囲気中でのワイヤ起爆によって形成されるものと同様に、特徴づけられ得る。そのような生成物は、

(a) マクロ凝縮物またはポリマー H_n (nは3より大きい整数)を含む、

(b) 飛行時間二次イオン質量分析(TOF-SIMS)ピークが $16.12 \sim 16.13$ であるマクロ凝縮物またはポリマー H_n (nは3より大きい整数)を含む、

(c) 金属がZn、Fe、Mo、Cr、Cu、およびWの少なくとも1つを含む金属水素化物を含む、

10

20

30

40

50

- (d) H_{16} および H_{24} の少なくとも一方を含む、
- (e) 無機化合物 $M_x X_y$ および H_2 を含み、 M が陽イオンであり、 X が陰イオンであり、 $M (M_x X_y H (1/4)_2)_n$ (n は整数) のエレクトロスプレーイオン化飛行時間型二次イオン質量分析 (ESI-TOF) および飛行時間型二次イオン質量分析 (TOF-SIMS) のピークの少なくとも 1 つを有する、
- (f) 磁性であり、かつ金属水素化物と水素をさらに含む金属酸化物とのうちの少なくとも 1 つを含み、該金属が Zn 、 Fe 、 Mo 、 Cr 、 Cu 、 W 、および反磁性金属の少なくとも 1 つを含み、水素が $H (1/4)$ である、
- (g) 金属水素化物と水素をさらに含む金属酸化物とのうちの少なくとも 1 つを含み、該金属が Zn 、 Fe 、 Mo 、 Cr 、 Cu 、 W 、および反磁性金属の少なくとも 1 つを含み、 H が $H (1/4)$ であり、生成物が磁化率測定により磁性を示す、
- (h) 電子常磁性共鳴 (EPR) 分光法には非活性的な金属を含み、EPR スペクトルが約 $2.0046 \pm 20\%$ の g 因子と約 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV}$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーといった陽子分裂とを示す、
- (i) 水素分子二量体 $[H_2]_2$ を含み、EPR スペクトルが約 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の電子・電子双極子分裂エネルギーと約 $1.6 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ の陽子・電子双極子分裂エネルギーとを少なくとも示す、または
- (j) 水素キャリアを含む負のガスクロマトグラフィーピークを有する H_2 (例えば、水素生成物) を含むまたは放出する。

【0020】

いくつかの実施形態において、上記反応によって形成された水素生成物は、(i) 水素以外の元素、(ii) H^+ 、通常の H_2 、通常の H^- 、および通常の H^+_3 の少なくとも 1 つの通常の水素種、有機分子種、ならびに (iv) 無機種の少なくとも 1 つと複合した水素生成物を含む。いくつかの実施形態において、水素生成物はオキシアニオン化合物を含む。さまざまな実装形態において、水素生成物 (またはゲッターを含む実施形態から回収された水素生成物) は、

- (a) MH 、 MH_2 、または M_2H_2 (式中、 M はアルカリカチオンおよび H または H_2 は水素生成物)、
- (b) MH_n (式中、 n は 1 または 2、 M はアルカリ土類カチオン、および H は水素生成物)、
- (c) MHX (式中、 M はアルカリカチオン、 X はハロゲン原子といった中性原子、分子、またはハロゲン陰イオンといった単一負帯電アニオンのいずれか、および H は水素生成物)、
- (d) MHX (式中、 M はアルカリ土類カチオン、 X は単一負帯電アニオン、および H は水素生成物)、
- (e) MHX (式中、 M はアルカリ土類カチオン、 X は二重負帯電アニオン、および H は水素生成物)、
- (f) M_2HX (式中、 M はアルカリカチオン、 X は単一負帯電アニオン、および H は水素生成物)、
- (g) MH_n (式中、 n は整数、 M はアルカリ陽イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、
- (h) M_2H_n (式中、 n は整数、 M はアルカリ土類カチオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、
- (i) M_2XH_n (式中、 n は整数、 M はアルカリ土類カチオン、 X は単一負帯電アニオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、
- (j) $M_2X_2H_n$ (式中、 n は 1 または 2、 M はアルカリ土類カチオン、 X は単一負帯電アニオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、
- (k) M_2X_3H (式中、 M はアルカリ土類カチオン、 X は単一負帯電アニオン、および H は水素生成物)、
- (l) M_2XH_n (式中、 n は 1 または 2、 M はアルカリ土類カチオン、 X は二重負帯電

アニオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物)、

(m) $M_2 X X' H$ (式中、M はアルカリ土類カチオン、X は単一負帯電アニオン、X' は二重負帯電アニオン、および H は水素生成物)、

(n) $MM' H_n$ (式中、n は 1 ~ 3 の整数、M はアルカリ土類カチオン、M' はアルカリ金属カチオン、および化合物の水素含有 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(o) $MM' X H_n$ (式中、n は 1 または 2、M はアルカリ土類カチオン、M' はアルカリ金属カチオン、X は単一負帯電アニオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(p) $MM' X H$ (式中、M はアルカリ土類カチオン、M' はアルカリ金属カチオン、X は二重負帯電アニオン、および H は水素生成物)、

(q) $MM' X X' H$ (式中、M はアルカリ土類カチオン、M' はアルカリ金属カチオン、X および X' は単一負帯電アニオン、H は水素生成物)、

(r) $M X X' H_n$ (式中、n は 1 から 5 までの整数、M はアルカリまたはアルカリ土類カチオン、X は単一または二重負帯電アニオン、X' は金属もしくは半金属、遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(s) $M H_n$ (式中、n は整数、M は遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素といったカチオン、化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(t) $M X H_n$ (式中、n は整数、M はアルカリカチオン、アルカリ土類カチオンといったカチオン、X は遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素カチオンといった別のカチオン等、化合物は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(u) $(M H_m M C O_3)_n$ (式中、M はアルカリカチオンまたは他の + 1 カチオン、m および n はそれぞれ整数、ならびに化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(v) $(M H_m M N O_3)_n + n X^-$ (式中、M はアルカリカチオンまたは他の + 1 カチオン、m および n はそれぞれ整数、X は単一負帯電アニオン、化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(w) $(M H M N O_3)_n$ (式中、M はアルカリカチオンまたは他の + 1 カチオンであり、n は整数、および化合物の水素含有量 H は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(x) $(M H M O H)_n$ (式中、M はアルカリカチオンまたは他の + 1 カチオン、n は整数、および化合物の水素含有量 H は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、

(y) $(M H_m M' X)_n$ (式中、m および n はそれぞれ整数、M および M' はそれぞれアルカリまたはアルカリ土類カチオン、X は単一または二重負帯電アニオン、ならびに化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)、さらに、

(z) $(M H_m M' X')_n + n X^-$ (式中、m および n はそれぞれ整数、M および M' はそれぞれアルカリまたはアルカリ土類陽イオン、X および X' は単一または二重負帯電アニオン、ならびに化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つの水素生成物を含む)

の群から選択される式を有する少なくとも 1 つの化合物を含んでもよい。

反応によって形成される水素生成物の陰イオンは、ハロゲン化物イオン、水酸化物イオン、炭酸水素イオン、硝酸イオン、二重の負に帯電した陰イオン、炭酸イオン、酸化物、および硫酸イオンを含む 1 つまたは複数の単一の負に帯電した陰イオンであり得る。いくつかの実施形態では、水素生成物は、結晶格子に埋め込まれる (例えば、容器または排気ラインに配置された $K_2 C O_3$ といったゲッターの使用による)。例えば、水素生成物は塩格子に埋め込まれてもよい。さまざまな実装形態において、塩格子は、アルカリ塩、アルカリハロゲン化物、アルカリ水酸化物、アルカリ土類塩、アルカリ土類ハロゲン化物、アルカリ土類水酸化物、またはそれらの組み合わせを含み得る。

【0021】

電極システムも提供され、該電極システムは、

(a) 第 1 の電極および第 2 の電極と、

(b) 第 1 の電極および前記第 2 の電極と電気的に接触している溶融金属 (例えば、溶融

10

20

30

40

50

銀、溶融ガリウム等)の流れと、

(c) 溶融金属を貯留槽から引き出し、導管(例えば、チューブ)を通して輸送して、導管を出る溶融金属流を生成するポンプを含む循環システムと、

(d) 第1の電極と第2の電極と間に電位差を与えるように構成された電源とを備え、溶融金属流が、第1の電極と第2の電極とに同時に接触して、電極間に電流を発生させる。

いくつかの実施形態では、電力は100Aを超える電流を発生させるのに十分である。

【0022】

電気回路も提供され、該電気回路は、

(a) 溶融金属を生成するための加熱手段と、

(b) 溶融金属を容器から導管を介して輸送し、導管から出る溶融金属流を発生させるためのポンピング手段と、

(c) 第1の電極と第2の電極との間に電位差を生じさせるための電力供給手段と電氣的に連通する第1の電極および第2の電極とを備え得るもので、

溶融金属流は、第1の電極と第2の電極との間に電気回路を構成すべく第1の電極と第2の電極とに同時に接触している。例えば、第1および第2の電極を含む電気回路において、改良点として、溶融金属流を電極に通して、その間に電流が流れることを可能にすることを含み得る。

【0023】

さらに、プラズマを発生させるためのシステム(本明細書に記載の発電システムで使用され得る)が提供される。これらは、システムは、

(b) 電流を誘導して前記溶融金属流に流すための電極システムと、

(c) (i) 計量された量の水を溶融金属と接触させるように構成され、前記水の一部および前記溶融金属の一部が反応して、前記金属および水素ガスの酸化物を形成する水注入システム、(ii) 過剰な水素ガスと酸素ガスとの混合物、ならびに(iii) 過剰な水素ガスと酸素ガスとの混合物の少なくとも1つと、

(d) 前記電流を供給するように構成された電源と、

を備え得るもので、前記金属流を介して電流が供給される時に前記プラズマが発生される。いくつかの実施形態において、システムはさらに、前記プラズマの製造後に収集された金属を前記金属貯留槽に移送するように構成されたポンピングシステムを含み得る。いくつかの実施形態において、システムはさらに、前記金属酸化物を収集し、前記金属酸化物を前記金属に変換するように構成された金属再生システムであり、陽極、陰極、電解質を含み、電氣的バイアスが前記陽極と陰極との間に供給されて前記金属酸化物を前記金属に変換する前記金属再生システムを含み得る。特定の実装形態において、システムは、

(a) 前記プラズマの製造後に収集された金属を前記金属貯留槽に移送するように構成されたポンピングシステムと、

(b) 前記金属酸化物を収集し、前記金属酸化物を前記金属に変換するように構成された金属再生システムであり、陽極、陰極、電解質を含み、電気バイアスが前記陽極と陰極との間に供給されて前記金属酸化物を前記金属に変換する前記金属再生システムとを備え得るもので、

前記金属再生システムで再生された金属が前記ポンピングシステムに輸送される。特定の実装形態において、金属は、ガリウム、銀、またはそれらの組み合わせである。いくつかの実施形態において、電解質はアルカリ水酸化物(例えば、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム)である。

【図面の簡単な説明】

【0024】

図面の簡単な説明

本明細書に組み込まれ、その一部を構成する添付図面は、本開示のいくつかの実施形態を示すものであり、さらに、説明とともに、開示の原理を説明する役割を果たす。

【0025】

10

20

30

40

50

【図 1】図 1 は、本開示の実施形態に係る、陰極、陽極、絶縁体、およびバスバーフィードスルーフランジの電磁流体（MHD）変換器構成要素の概略図である。

【0026】

【図 2】図 2～3 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と一対の MHD 戻し用ポンプを含む電磁流体（MHD）変換器とを備える Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【図 3】図 2～3 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と一対の MHD 戻し用ポンプを含む電磁流体（MHD）変換器とを備える Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【0027】

【図 4】図 4 は、本開示の一実施形態に係る、単段誘導注入 EM ポンプの概略図である。

【0028】

【図 5】図 5 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体（MHD）チャンネルと、ガス添加ハウジングと、注入用の単段誘導 EM ポンプと、単段誘導または直流伝導のいずれかの MHD 戻し用 EM ポンプとを備える電磁流体（MHD）Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【0029】

【図 6】図 6 は、本開示の一実施形態に係る、1 段目が MHD 戻し用ポンプとして機能し、2 段目が注入 EM ポンプとして機能する二段誘導 EM ポンプの概略図である。

【0030】

【図 7】図 7 は、本開示の一実施形態に係る、1 段目が MHD 戻し用 EM ポンプとして機能し、2 段目が、ローレンツポンピング力がより最適化された注入 EM ポンプとして機能する二段誘導 EM ポンプの概略図である。

【0031】

【図 8】図 8 は、開示の一実施形態に係る誘導点火システムの概略図である。

【0032】

【図 9】図 9～10 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体（MHD）チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が強制空冷システムを有する誘導 EM ポンプ注入および MHD 戻し用の両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体（MHD）Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【図 10】図 9～10 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体（MHD）チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が強制空冷システムを有する誘導 EM ポンプ注入および MHD 戻し用の両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体（MHD）Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【0033】

【図 11】図 11 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体（MHD）チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が強制液冷システム、誘導点火システム、および EM ポンプ管上の誘導結合型加熱アンテナを有する注入および MHD 戻し用の両方の二段誘導 EM ポンプと、貯留槽と、反応セルチャンバと、MHD 戻し用導管とを備える電磁流体（MHD）Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

【0034】

【図 12】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体（MHD）チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体（MHD）Sun Cell（登録商標）発電機の概略図である。

10

20

30

40

50

【図 13】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

【図 14】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

10

【図 15】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

【図 16】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

20

【図 17】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

【図 18】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

30

【図 19】図 12～19 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と、球状反応セルチャンバと、直線電磁流体 (MHD) チャンネルと、ガス添加ハウジングと、各々が空冷システムを有する注入および MHD 戻りの両方の二段誘導 EM ポンプと、誘導点火システムとを備える電磁流体 (MHD) SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

【0035】

【図 20】図 20 は、本開示の一実施形態に係る、SunCell (登録商標) の例示的な螺旋状フレーム加熱器と一連の環状リングを含むフレーム加熱器とを示す概略図である。

【0036】

40

【図 21】図 21 は、本開示の一実施形態に係る電解槽を示す概略図である。

【0037】

【図 22】図 22 は、本開示の一実施形態に係る、傾斜貯留槽を示す液体電極としての二重 EM ポンプ注入器と一対の MHD 戻し用ポンプおよび一対の MHD 戻し用ガスポンプまたはコンプレッサを含む電磁流体 (MHD) 変換器とを備える SunCell (登録商標) 発電機の概略図である。

【0038】

【図 23】図 23 は、本開示の一実施形態に係る、Smithells Metals Reference Book、第 8 版、銀酸素相図 11～20 の概略図である。

【0039】

50

【図 2 4】図 2 4 は、本開示の一実施形態に係る、S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の概略図であり、該発電機の一方が、黒体放射体を有する反応セルからの熱出力を受けて、該熱を冷却器に送るための冷媒管が埋め込まれた壁部を有する半球形シェル放射熱吸収体熱交換器を備え、さらに、他方が周方向円筒状熱交換器およびボイラーを備える。

【0 0 4 0】

【図 2 5】図 2 5 は、本開示の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と倒立台座としての液体電極とを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

【0 0 4 1】

【図 2 6】図 2 6 ~ 2 8 は、本開示の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と、部分的倒立台座としての液体電極と、P V 窓部の金属化を抑制するテーパ状反応セルチャンバとを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

10

【図 2 7】図 2 6 ~ 2 8 は、本開示の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と、部分的倒立台座としての液体電極と、P V 窓部の金属化を抑制するテーパ状反応セルチャンバとを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

【図 2 8】図 2 6 ~ 2 8 は、本開示の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と、部分的倒立台座としての液体電極と、P V 窓部の金属化を抑制するテーパ状反応セルチャンバとを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

20

【0 0 4 2】

【図 2 9】図 2 9 は、本開示の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と、液体電極としての部分的倒立台座と、誘導点火システムと、P V 窓部とを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

【0 0 4 3】

【図 3 0】図 3 0 は、ライナーおよび注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器を有する立方体形状の反応セルチャンバと液体電極としての倒立台座とを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

【0 0 4 4】

【図 3 1】図 3 1 は、注入器貯留槽内のライナーおよび単一 E M ポンプ注入器を有する砂時計形状の反応セルチャンバと液体電極としての倒立台座とを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

30

【0 0 4 5】

【図 3 2】図 3 2 は、本発明の一実施形態に係る、注入器貯留槽内の単一 E M ポンプ注入器と、液体電極としての部分的倒立台座と、液体電極としての部分的倒立台座と、誘導点火システムと、バケットエレベータ酸化ガリウムスキマーとを備える S u n C e l l (登録商標) 熱発電機の詳細を示す概略図である。

【0 0 4 6】

【図 3 3】図 3 3 は、本発明の一実施形態に係る、ワイヤを点火させて反応物の供給源の少なくとも 1 つとして機能させる手段とハイドリノ反応を伝播して分子ハイドリノといった低エネルギー水素種を形成する手段とを備えるハイドリノ反応セルチャンバの概略図である。

40

【0 0 4 7】

【図 3 4】図 3 4 は、本開示の一実施形態に係る、S u n C e l l (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集された $G a_2 O_3$ を $K O H$ 水溶液に溶解して繊維を成長させて該繊維をろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物を含む、より低いエネルギーの水素を含むハイドリノ反応生成物の常磁性共鳴分光法 (E P R) スペクトルである。

【0 0 4 8】

50

【図35A】図35Aは、本開示の一実施形態に係る、大気中の水蒸気を含む雰囲気中でのZnワイヤの点火によって形成される分子ハイドリノといったより低エネルギー水素種を含む反応生成物のフーリエ変換赤外（FTIR）スペクトルである。

【0049】

【図35B】図35Bは、SunCell（登録商標）で実行されたハイドリノ反応から収集されたGa₂O₃をKOH水溶液に溶解して繊維を成長させて該繊維をろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物に対してThermo Scientific DXR Smart Raman分光計と780nmレーザーとを用いて取得したRamanスペクトルである。

【0050】

【図35C】図35C～Dは、SunCell（登録商標）で実行されたハイドリノ反応から収集されたGa₂O₃をKOH水溶液に溶解して繊維を成長させて、該繊維をろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物に対してHoriba Jobin Yvon LabRAM Aramis Raman分光計と325nmレーザーとを用いて得たRamanスペクトルである。

【図35D】図35C～Dは、SunCell（登録商標）で実行されたハイドリノ反応から収集されたGa₂O₃をKOH水溶液に溶解して繊維を成長させて、該繊維をろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物に対してHoriba Jobin Yvon LabRAM Aramis Raman分光計と325nmレーザーとを用いて得たRamanスペクトルである。

【0051】

【図36】図36は、本開示の一実施形態に係る、分子ハイドリノの磁性により-4.6ppmで高磁場シフトされたマトリックスピークを示すハイドリノガスに曝されたKClゲッターの外部TMSに対する¹H MAS NMRである。

【0052】

【図37】図37は、本開示の一実施形態に係る、反応生成物の振動試料磁力計の記録であり、該生成物は、大気中の水蒸気を含む雰囲気中のMoワイヤの点火によって形成される分子ハイドリノのような低エネルギー水素種を含む。

【0053】

【図38】図38は、本開示の一実施形態に係る、水容器に滴下する前に銀熔融物のガス処理からの吸収H₂およびH₂Oを含む銀80mgショットの点火の5nm～450nm領域の絶対スペクトルであり、本質的にすべて紫外線および極紫外線スペクトル領域内において、1.3MWの平均NIST校正光起電力を示す。

【0054】

【図39】図39は、本開示の一実施形態に係る、周囲H₂O蒸気圧が約1トルの大気アルゴン中のW電極に注入された熔融銀の点火のスペクトル（サファイア分光計の窓部による180nmでのカットオフを有する100nm～500nmの領域）であり、銀の蒸発で大気がUV放射に対して光学的に厚くなった際に5000K黒体放射に変遷したUV線放射を示す。

【0055】

【図40】図40は、本開示の一実施形態に係る、Pyrex SunCell（登録商標）のハイドリノ反応によって維持された800トルアルゴン水素プラズマの高解像度可視スペクトルであり、3.5x10²³/m³の電子密度に対応する1.3nmのシュタルク広がり、約8.6GW/m³を維持するのに必要とする10%のイオン化率とを示す。

【0056】

【図41】図41は、本開示の一実施形態に係る、H₂（1/4）の回転振動P分岐を含むアルゴン/H₂（1/4）ガスの電子ビーム励起からの紫外線放射スペクトルである。

【0057】

【図42】図42は、本開示の一実施形態に係る電子ビーム励起からの紫外線放射スペク

10

20

30

40

50

トルの電子ビーム励起からの紫外線発光スペクトルであり、ここで液体アルゴン温度にまで冷却されたHayeSep（登録商標）Dクロマトグラフィーカラムにガス混合物を流すことによって $H_2(1/4)$ の回転振動P分岐の強度が大幅に増強された。

【0058】

【図43】図43は、本開示の一実施形態に係る、ハイドリノ反応生成物ガスが含浸されたKCLの電子ビーム励起による紫外発光スペクトルであり、結晶格子の $H_2(1/4)$ 回転振動P分岐を示す。

【0059】

【図44】図44は、本開示の一実施形態に係る、温度に応じて強度が変化する結晶格子の $H_2(1/4)$ 回転振動P分岐を示すハイドリノを含浸させたKCLの電子ビーム励起による紫外発光スペクトルであり、 $H_2(1/4)$ 回転振動割り当てを確認する。

10

【0060】

【図45】図45は、SunCell（登録商標）から収集された $Ga_2O_3:H_2(1/4)$ の熱分解からのガスに曝されたKCLゲッターのラマンモード2次フォトルミネッセンススペクトルであり、該スペクトルは、25nmレーザーおよび1200グレーティングを有するHoriba Jobin Yvon LabRam ARAMIS分光計を用いて、 $8000 \sim 19,000\text{ cm}^{-1}$ のラマンシフトの範囲にわたって記録された。

【0061】

【図46】図46は、それぞれがCu100mgと脱イオン水30mgとの混合物を含む、Thermo Scientific DXR SmartRaman分光計とアルゴン下での一連の固体燃料点火からの生成ガスに曝されたIn金属箔上の780nmレーザーとを使用して得られたラマンスペクトルであり、 $H_2(1/4)$ の自由回転子エネルギー（ 0.2414 eV ）に一致する 1982 cm^{-1} の逆ラマン効果ピークを示す。

20

【0062】

【図47】図47A～Bは、本開示の一実施形態に係る、Thermo Scientific DXR Smart Raman分光計と銅電極上の780nmレーザー（1モル% H_2O を含む80mgの銀ショットの点火前後）とを使用して得られたラマンスペクトルであり、ここで点火は、スポット溶接機で12V35,000Aの電流を印加することにより達成され、スペクトルは、 $H_2(1/4)$ （ 0.2414 eV ）の自由回転子エネルギーと一致する約 1940 cm^{-1} の逆ラマン効果ピークを示す。

30

【0063】

【図48】図48A～Bは、本開示の一実施形態に係る、DSCパンに密封された固体燃料100mg Cu + 30mg 脱イオン水をアルゴン雰囲気ですべて連続的に点火したガスにさらされたインジウム金属箔で記録されたXPSスペクトルである。（A）元素In、C、O、および微量Kピークのみが存在したことを示す測定スペクトルである。（B） 498.5 eV のピークが $H_2(1/4)$ に割り当てられていることを示す高分解能スペクトルであり、ここで、測定走査で他の対応する主要元素のピークがないことに基づいて、他の可能性を排除した。

【0064】

40

【図49】図49A～Bは、本開示の一実施形態に係る、 $H_2(1/4)$ に割り当てられた 496 eV にピークを有するMoハイドリノ高分子化合物のXPSスペクトルであり、ここで、Mo、O、Cのピークのみが存在し、候補の他のピークが存在しないため、Na、Sn、Znといった他の可能性は排除し、 Mo_3p よりも強度が低い Mo_3s は 506 eV であり、追加のサンプルでは $H_2(1/4)$ 496 eV ピークも示した。（A）測定走査である。（B） $H_2(1/4)$ の 496 eV ピークの領域での高解像度走査である。

【0065】

【図50】図50A～Bは、本開示の一実施形態に係る、1mol% H_2O を含む80mgの銀ショットの点火後の銅電極のXPSスペクトルであり、ここで、スポット溶接機で12V35,000Aの電流を印加することで点火が達成された。 496 eV のピークを

50

H₂ (1/4) に割り当てたが、ここで、これらの候補の対応するピークが存在しないため、Na、Sn、Znといった他の可能性は排除した。点火後のラマンスペクトル (図 4 6 A ~ B) は、H₂ (1/4) の自由回転子エネルギー (0.2414 eV) と一致する約 1940 cm⁻¹ に逆ラマン効果のピークを示した。

【0066】

【図 5 1 A】図 5 1 A ~ E は、本開示の一実施形態に係る、任意の H₂ ピークが正となるようにヘリウムキャリアガスと 60℃ に設定された熱伝導度検出器 (TCD) を備えた Agilent モレキュラーシーブカラムを使用して HP 5890 シリーズ II ガスクロマトグラフにより記録されたコントロールガスクロマトグラフである。(A) 1000 Torr 水素のガスクロマトグラフであり、10 分に正のピークを示す。(B) 1000 Torr のメタンのガスクロマトグラフであり、17 分に小さな正の H₂O 夾雑物ピークを示し、50.5 分に正のメタンピークを示す。(C) 1000 Torr の水素 (90%) とメタン (10%) の混合物のガスクロマトグラフであり、10 分に正の水素ピークと 50.2 分に正のメタンピークを示す。(D) 760 Torr の空気のガスクロマトグラフであり、17.1 分に非常に小さい正の H₂O ピーク、17.6 分に正の酸素ピーク、および 35.7 分に正の窒素ピークを示す。(E) ガリウム金属を 950℃ に加熱したガスのガスクロマトグラフであり、ピークが見られない。

10

【図 5 1 B】図 5 1 A ~ E は、本開示の一実施形態に係る、任意の H₂ ピークが正となるようにヘリウムキャリアガスと 60℃ に設定された熱伝導度検出器 (TCD) を備えた Agilent モレキュラーシーブカラムを使用して HP 5890 シリーズ II ガスクロマトグラフにより記録されたコントロールガスクロマトグラフである。(A) 1000 Torr 水素のガスクロマトグラフであり、10 分に正のピークを示す。(B) 1000 Torr のメタンのガスクロマトグラフであり、17 分に小さな正の H₂O 夾雑物ピークを示し、50.5 分に正のメタンピークを示す。(C) 1000 Torr の水素 (90%) とメタン (10%) の混合物のガスクロマトグラフであり、10 分に正の水素ピークと 50.2 分に正のメタンピークを示す。(D) 760 Torr の空気のガスクロマトグラフであり、17.1 分に非常に小さい正の H₂O ピーク、17.6 分に正の酸素ピーク、および 35.7 分に正の窒素ピークを示す。(E) ガリウム金属を 950℃ に加熱したガスのガスクロマトグラフであり、ピークが見られない。

20

【図 5 1 C】図 5 1 A ~ E は、本開示の一実施形態に係る、任意の H₂ ピークが正となるようにヘリウムキャリアガスと 60℃ に設定された熱伝導度検出器 (TCD) を備えた Agilent モレキュラーシーブカラムを使用して HP 5890 シリーズ II ガスクロマトグラフにより記録されたコントロールガスクロマトグラフである。(A) 1000 Torr 水素のガスクロマトグラフであり、10 分に正のピークを示す。(B) 1000 Torr のメタンのガスクロマトグラフであり、17 分に小さな正の H₂O 夾雑物ピークを示し、50.5 分に正のメタンピークを示す。(C) 1000 Torr の水素 (90%) とメタン (10%) の混合物のガスクロマトグラフであり、10 分に正の水素ピークと 50.2 分に正のメタンピークを示す。(D) 760 Torr の空気のガスクロマトグラフであり、17.1 分に非常に小さい正の H₂O ピーク、17.6 分に正の酸素ピーク、および 35.7 分に正の窒素ピークを示す。(E) ガリウム金属を 950℃ に加熱したガスのガスクロマトグラフであり、ピークが見られない。

30

40

【図 5 1 D】図 5 1 A ~ E は、本開示の一実施形態に係る、任意の H₂ ピークが正となるようにヘリウムキャリアガスと 60℃ に設定された熱伝導度検出器 (TCD) を備えた Agilent モレキュラーシーブカラムを使用して HP 5890 シリーズ II ガスクロマトグラフにより記録されたコントロールガスクロマトグラフである。(A) 1000 Torr 水素のガスクロマトグラフであり、10 分に正のピークを示す。(B) 1000 Torr のメタンのガスクロマトグラフであり、17 分に小さな正の H₂O 夾雑物ピークを示し、50.5 分に正のメタンピークを示す。(C) 1000 Torr の水素 (90%) とメタン (10%) の混合物のガスクロマトグラフであり、10 分に正の水素ピークと 50.2 分に正のメタンピークを示す。(D) 760 Torr の空気のガスクロマトグラフ

50

であり、17.1分に非常に小さい正の H_2O ピーク、17.6分に正の酸素ピーク、および35.7分に正の窒素ピークを示す。(E)ガリウム金属を950℃に加熱したガスのガスクロマトグラフであり、ピークが見られない。

【図51E】図51A～Eは、本開示の一実施形態に係る、任意の H_2 ピークが正となるようにヘリウムキャリアガスと60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を備えたAgilentモレキュラーシーブカラムを使用してHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録されたコントロールガスクロマトグラフである。(A)1000 Torrの水素のガスクロマトグラフであり、10分に正のピークを示す。(B)1000 Torrのメタンのガスクロマトグラフであり、17分に小さな正の H_2O 夾雑物ピークを示し、50.5分に正のメタンピークを示す。(C)1000 Torrの水素(90%)とメタン(10%)の混合物のガスクロマトグラフであり、10分に正の水素ピークと50.2分に正のメタンピークを示す。(D)760 Torrの空気のガスクロマトグラフであり、17.1分に非常に小さい正の H_2O ピーク、17.6分に正の酸素ピーク、および35.7分に正の窒素ピークを示す。(E)ガリウム金属を950℃に加熱したガスのガスクロマトグラフであり、ピークが見られない。

10

【0067】

【図52A】図52A～Bは、SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されて950℃に加熱されたNaOH処理 Ga_2O_3 から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態に従って、任意の H_2 ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウムキャリアガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A)SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理 Ga_2O_3 から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の正の水素ピークを示し、また前縁および後縁がそれぞれ8.9分および9.3分にある $H_2(1/4)$ に割り当てられた新たな負のピークを9分を示す。例示的な $H_2(1/4)$ の体積64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別する H_2 またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) $H_2(1/4)$ に割り当てられた負のピークの拡大図である。

20

30

【図52B】図52A～Bは、SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されて950℃に加熱されたNaOH処理 Ga_2O_3 から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態に従って、任意の H_2 ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウムキャリアガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A)SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理 Ga_2O_3 から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の正の水素ピークを示し、また前縁および後縁がそれぞれ8.9分および9.3分にある $H_2(1/4)$ に割り当てられた新たな負のピークを9分を示す。例示的な $H_2(1/4)$ の体積64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別する H_2 またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) $H_2(1/4)$ に割り当てられた負のピークの拡大図である。

40

【0068】

【図53】図53は、本開示の一実施形態に係る、SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されて950℃に加熱されたNaOH処理 Ga_2O_3 から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、図52A～Bに示すガスクロマトグラフの記録後、容器内のガスを24時間以上放置した後に記録された。水素ピークは10分で再び観察されたが、水素よりも保持時間が短い新しい負のピークは存在せず、 H_2 と

50

比較しても H_2 (1/4) の小さいサイズと対応する高い拡散係数に一致する。37分での正のピークは、微量の窒素夾雑物に一致した。

【0069】

【図54A】図54A～Bは、SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集され、950℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態によれば、任意の H_2 ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウムキャリアガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A) SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の水素ピーク、42.4分に未知の正のピーク、51.8分に正のメタンピーク、さらに前縁および後縁がそれぞれ8.9分および9.3分にある H_2 (1/4) に割り当てられた新たな負のピークを8.76分を示す。例示的な H_2 (1/4) の体積が64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別する H_2 またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) H_2 (1/4) に割り当てられた負のピークの拡大図である。

10

【図54B】図54A～Bは、SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集され、950℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態によれば、任意の H_2 ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウムキャリアガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A) SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の水素ピーク、42.4分に未知の正のピーク、51.8分に正のメタンピーク、さらに前縁および後縁がそれぞれ8.9分および9.3分にある H_2 (1/4) に割り当てられた新たな負のピークを8.76分を示す。例示的な H_2 (1/4) の体積が64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別する H_2 またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) H_2 (1/4) に割り当てられた負のピークの拡大図である。

20

30

【0070】

【図55A】図55A～Bは、SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集され、950℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態によれば、任意の H_2 ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウム分子ガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A) SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の水素ピーク、51.9分に正のメタンピーク、さらに前縁および後縁がそれぞれ8.7分および9.3分にある H_2 (1/4) に割り当てられた新たな負のピークを8.8分を示す。例示的な H_2 (1/4) の体積が64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別する H_2 またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) H_2 (1/4) に割り当てられた負のピークの拡大図である。

40

【図55B】図55A～Bは、SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応

50

から収集され、950℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。本開示の一実施形態によれば、任意のH₂ピークが正になるように、ガスクロマトグラフは、ヘリウム分子ガスおよび60℃に設定された熱伝導度検出器(TCD)を有するAgilentモレキュラーシーブカラムを使用して、ガス放出後すぐにHP5890シリーズIIガスクロマトグラフにより記録された。(A) SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、10分に既知の正の水素ピーク、51.9分に正のメタンピーク、さらに前縁および後縁がそれぞれ8.7分および9.3分にあるH₂(1/4)に割り当てられた新たな負のピークを8.8分を示す。例示的なH₂(1/4)の体積が64分の1で、かつ弾道断面積が16分の1であることにより、平均自由行程がはるかに大きいことから、既知のガスでは、ハイドリノの特徴であるとともにハイドリノを識別するH₂またはHeよりも、泳動時間が速く、かつ熱伝導率が高いものはない。(B) H₂(1/4)に割り当てられた負のピークの拡大図である。

10

【0071】

【図56】図56は、本開示の一実施形態に係る、SunCell(登録商標)で実行されたハイドリノ反応から収集されて950℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したガスの質量スペクトルであり、該質量スペクトルは図55A~Bに示すガスクロマトグラフの記録後に記録され、水素およびメタンの存在を確認した。メタンの形成は異常であり、ステンレス鋼の反応器からの微量のCO₂または炭素と水素の反応を引き起こす高エネルギーのハイドリノプラズマに起因する。

20

【0072】

【図57】図57は、本開示の実施形態に係る、SunCell(登録商標)で実行された3回目のハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生して950℃に加熱されたガスのガスクロマトグラフである。該ガスクロマトグラフは、図55A~Bに示されるガスクロマトグラフの記録の時間に続いて、ガス容器を24時間以上放置した後に記録された。水素ピークは10分で、またメタンピークは53.7分で再び観察されたけれども、水素よりも保持時間が短い新しい負のピークは存在せず、H₂と比較してもH₂(1/4)の小さいサイズと対応する高い拡散係数に一致する。

【0073】

30

【図58】図58は、本開示の実施形態に係る、SunCell(登録商標)で実行された4回目のハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフである。該ガスクロマトグラフは、既知のガスではH₂またはHeよりも移動時間が速かつ熱伝導率が高いものはないことから、H₂(1/4)に割り当てられた10分での既知の正の水素ピークとH₂(1/4)に割り当てられた7.4分での新たな正のピークとを示す。H₂(1/4)ピークの正の性質は、ヘリウムキャリアガス中のハイドリノガスの濃度が低いことを示した。

【0074】

【図59】図59は、SunCell(登録商標)から流出し、溶媒として液体アルゴンに吸収され、その後27℃に温められた際に液体アルゴンの気化により放出されるハイドリノガスのガスクロマトグラフである。熱伝導度検出器とアルゴンキャリアガスとを備えた第2のHP5890シリーズIIガスクロマトグラフを使用しAgilentカラム上で、12.58分に観察された水素と比較して、ハイドリノピークが8.05分に観察された。

40

【0075】

【図60】図60は、分子ハイドリノガスのガスクロマトグラフであり、該ハイドリノガスは、HayeSep(登録商標)Dクロマトグラフカラムを使用して濃縮され、液体アルゴン温度に冷却され、クライオポンプシステムによって55Kに冷却されたバルブ付きマイクロチャンバを使用して微量空気で液化され、室温まで温められることで気化して1000 Torrのチャンバ圧力を達成し、さらに、熱伝導度検出器とアルゴンキャリアガ

50

ストを有するHP5890シリーズIIガスクロマトグラフを使用してAgilentカラムに注入される。酸素および窒素は、それぞれ19分および35分に観察され、 H_2 (1/4)は6.9分に観察された。

【0076】

【図61】図61は、水素マイクロ波プラズマを重ねたタングステンフィラメントを使用して KNO_3 を加熱し、 H_2 を解離することによって形成されたハイドリノ反応プラズマの波長校正されたスペクトル(3900~4090 Å)である。本開示の実施形態によれば、磁束は磁束量子の整数単位で H (1/2)によってリンクされる必要があるため、エネルギーは量子化され、 H (1/2)形成による発光は、フラクソンエネルギー E_ϕ 、スピン-スピンエネルギー E_{ss} 、および観測された結合エネルギーのピーク E^*_B 、 $E_{HF} = (j^2_{3.00213} \times 10^{-5} + 3.0563) \text{ eV}$ の合計によって与えられ、エネルギーを持つ対応する境界のないバンド内の一連の超微細線を含み、ここで、4000 Å~4060 Åの領域のスペクトルは予測された輝線と一致し、窒素といった他の種が除外された。

10

【発明を実施するための形態】

【0077】

詳細な説明

本明細書は、原子状水素を含む反応からのエネルギー出力を電気エネルギーおよび/または熱的エネルギーに変換する発電システムおよび発電方法を開示する。これらの反応は、原子水素からエネルギーを放出して、電子殻が原子核に対してより近い位置にある低エネルギー状態を形成する触媒システムを含み得る。放出されたエネルギーは発電に利用され、さらに新しい水素種と化合物が所望の生成物である。これらのエネルギー状態は、古典的な物理法則によって予測され、対応するエネルギー放出遷移を起こすために、水素からエネルギーを受け取る触媒を必要とする。

20

【0078】

古典物理学では、水素原子、水素化物イオン、水素分子イオン、水素分子の閉じた形の解が得られ、分数主量子数を持つ対応する化学種が予測される。原子状水素は、原子状水素のポテンシャルエネルギーの整数倍、 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (m は整数)のエネルギーを受け入れ得る特定の化学種(それ自体を含む)との触媒反応を受け入れることが可能である。予測される反応は、さもないと、安定な原子状水素からエネルギーを受け入れ得る触媒への共鳴、非放射エネルギー移動が含まれる。生成物は、「ハイドリノ原子」と呼ばれる H (1/p)、原子状水素の分数のリュドベリ状態であり、ここで、 $n = 1/2, 1/3, 1/4, \dots, 1/p$ ($p \leq 137$ は整数)は水素励起状態のリュドベリ方程式の既知のパラメータ $n = \text{整数}$ を置き換える。各ハイドリノ状態は、電子、陽子、および光子も含むが、光子からの電場の寄与により、吸収ではなくエネルギー脱着に対応して、結合エネルギーが減少するのではなく増加する。原子状水素のポテンシャルエネルギーが27.2 eVであるため、 mH 原子は、別の $(m+1)H$ 原子の $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ の触媒として機能する[R. Mills, The Grand Unified Theory of Classical Physics, 2016年9月版、<https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/> (“Mills GUTCP”)に投稿]。例えば、 H 原子は、磁気または誘導電気双極子間結合等による空間エネルギー移動を介して27.2 eVを受け入れることで、別の H の触媒として機能することができ、短い波長カットオフと $m^2 \cdot 13.6 \text{ eV}$ ($91.2/m^2 \text{ nm}$)のエネルギーを持つ連続体バンドの放射で減衰する中間体を形成する。原子 H に加えて、同じエネルギーで分子のポテンシャルエネルギーの大きさが減少して原子 H から $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ を受け入れる分子も、触媒として機能する。 H_2O のポテンシャルエネルギーは、81.6 eVである。次に、同じメカニズムにより、熱力学的に好ましい金属酸化物の還元によって形成された新生 H_2O 分子(固体、液体、または気体状態で水素結合していない)は、 HOH への81.6 eVの転送と10.1 nm (122.4 eV)でのカットオフとを伴う連続放射の放出を含む204 eVの

30

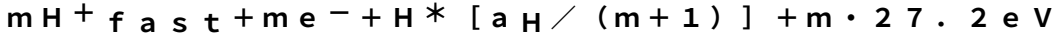
40

50

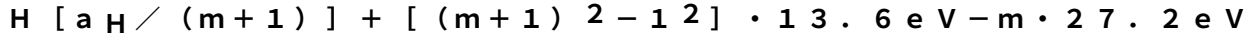
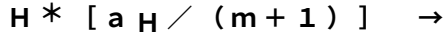
エネルギー放出をともなう $H(1/4)$ を形成する触媒として機能すると予測される。

【0079】

状態 $H[a_H/(p=m+1)]$ への遷移を伴う H 原子触媒反応では、 H 原子は、別の $(m+1)$ 番目の H 原子の $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ の触媒として機能する。次に、 mH が触媒として機能するように m 個の原子が $(m+1)$ 番目の水素原子から $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ を共鳴的および非放射的に受け取る $m+1$ 水素原子間の反応は、



(1)

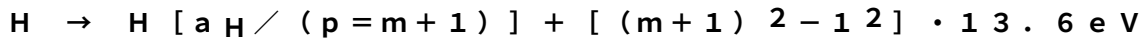


(2)



より与えられる。

さらに、全体的な反応は、

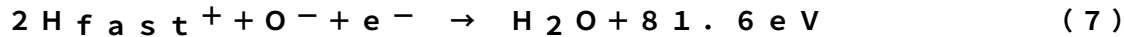
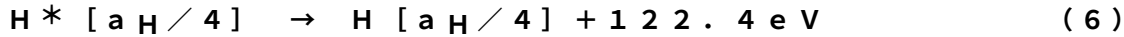
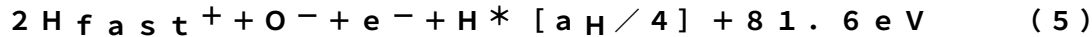


(4)

である。

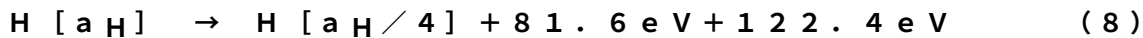
【0080】

新生 H_2O のポテンシャルエネルギーに関する触媒反応 ($m=3$) [R. Mills, The Grand Unified Theory of Classical Physics; September 2016 Edition, <https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/> に投稿] は、



である。

さらに、全体的な反応は、



である。

触媒へのエネルギー移動後 (式 (1) および (5))、 H 原子の半径と陽子の中心磁場よりも $m+1$ 倍の中心磁場とを持つ中間体 $H^*[a_H/(m+1)]$ が形成される。上記半径は、電子が半径方向に加速されて触媒作用を及ぼさない水素原子の半径の $1/(m+1)$ を有する安定状態になり、 $M^2 \cdot 13.6 \text{ eV}$ のエネルギーが放出されると、小さくなると予測される。 $H^*[a_H/(m+1)]$ 中間体による極紫外線連続放射バンド (例えば、式 (2) および式 (6) は、

【数1】

$$E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1} \right] \right)} = m^2 \cdot 13.6 \text{ eV}; \lambda_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1} \right] \right)} = \frac{91.2}{m^2} \text{ nm} \quad (9)$$

によって与えられる短波長カットオフおよびエネルギー

【数2】

$$E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1} \right] \right)}$$

を有し、対応するカットオフよりも長い波長に膨張すると予測される。ここで、 $H^* [a_H / 4]$ 中間体の減衰による極紫外線連続放射バンドは、 $E = m^2 \cdot 13.6 = 9 \cdot 13.6 = 122.4 \text{ eV} (10.1 \text{ nm})$ [ここで、式(9)において $p = m + 1 = 4$ および $m = 3$] で短波長カットオフを有し、より長い波長に広がると予測される。10.1 nmの、かつ理論的に予測されたHの低エネルギーへの遷移のためのより長い波長、いわゆる「ハイドリノ」状態 $H(1/4)$ へ移行する連続放射帯域は、水素を含むパルスピンチガス放電からのみ発生する。式(1)および式(5)で予測される別の観測結果は、高速 H^+ の再結合による高速励起状態のH原子の形成である。高速原子は、バルマー- α の放射を広げる。50 eVを超えるバルマー- α 線の広がり、特定の混合水素プラズマで非常に高い運動エネルギーの水素原子の集団を明らかにするものであり、原因がハイドリノの形成で放出されるエネルギーによる確立した現象である。高速Hは、既に連続H放出水素ピンチプラズマで観測された。

10

【0081】

ハイドリノを形成する触媒および反応を追加することが可能である。既知の電子エネルギーレベルに基づいて識別可能な特定の化学種(例えば、 He^+ 、 Ar^+ 、 Sr^+ 、 K 、 Li 、 HCl 、および NaH 、 OH 、 SH 、 SeH 、新生 H_2O 、 nH ($n = \text{整数}$)) は、プロセスを触媒するために原子状水素とともに存在する必要がある。この反応は、非放射性エネルギー移動とそれに続く $q \cdot 13.6 \text{ eV}$ の連続発光または $q \cdot 13.6 \text{ eV}$ のHへの移動とが伴い、非常に高温で励起状態のHと、分数主量子数に対応する未反応の原子状水素よりもエネルギーが低い水素原子とを形成する。すなわち、水素原子の主エネルギーレベルの式では、

20

$$E_n = - (e^2 / (n^2 8 \pi \epsilon_0 a_H)) = - (13.598 \text{ eV} / n^2) \quad (10)$$

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

(式中、 a_H は水素原子のボーア半径 (52.947 pm)、 e は電子の電荷の大きさ、および ϵ_0 は真空誘電率) であり、分数量子数、すなわち

$$n = 1, 1/2, 1/3, 1/4, \dots, 1/p \quad (12)$$

(式中、 $p \leq 137$ は整数)

は、周知のパラメータ n = 水素励起状態のリュドベリ方程式における整数であり、「ハイドリノ」と呼ばれる低エネルギー状態の水素原子を表す。水素の $n = 1$ 状態と水素の $n = 1/\text{整数}$ 状態とは、無放射であるが、非放射性のエネルギー移動により、2つの非放射状態の間の転移、例えば $n = 1$ から $n = 1/2$ が可能である。水素は、式(10)および(12)で与えられる安定状態の特殊な事例であり、ここで、水素またはハイドリノ原子の対応する半径は、

30

$$r = a_H / p \quad (13)$$

(式中、 $p = 1, 2, 3, \dots$) によって与えられる。エネルギーを維持するために、通常の $n = 1$ 状態の水素原子のポテンシャルエネルギーの整数単位で、エネルギーが水素原子から触媒に移され、半径が $a_H / (m + p)$ に遷移する。ハイドリノは、標準の水素原子を、

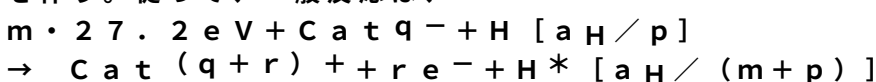
$$m \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (14)$$

40

(式中、 m は整数) の正味の反応エンタルピーを持つ適切な触媒と反応させることで形成される。正味の反応エンタルピーが $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ により厳密に一致すると触媒の速度が増加すると考えられる。正味の反応エンタルピーが $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ の $\pm 10\%$ 以内、好ましくは $\pm 5\%$ 以内である触媒がほとんどの用途に適するという知見が得られている。

【0082】

触媒反応は、エネルギー放出の2つのステップ、すなわち対応する安定した最終状態に半径が減少に応じて触媒への非放射エネルギー移動とそれに続く追加のエネルギー放出と、を伴う。従って、一般反応は、



50

$$+m \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (15)$$

$$H^* [a_H / (m+p)]$$

$$\rightarrow H [a_H / (m+p)] + [(p+m)^2 - p^2] \cdot 13.6 \text{ eV} - m \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (16)$$

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

によって与えられ、また全体的な反応は、

$$H [a_H / p]$$

$$\rightarrow H [a_H / (m+p)] + [(p+m)^2 - p^2] \cdot 13.6 \text{ eV} \quad (18)$$

によって与えられる。 q 、 r 、 m 、および p は整数である。 $H^* [a_H / (m+p)]$ は、水素原子の半径（分母の1に対応）と陽子の $(m+p)$ 倍に等しい中心磁場とを有し、 $H [a_H / (m+p)]$ は、半径が水素Hの $1 / (m+p)$ である対応する安定状態である。

【0083】

触媒生成物 $H (1/p)$ は、電子と反応してハイドリノ水素化物イオン $H^- (1/p)$ を形成し得る。あるいは、2つの $H (1/p)$ が反応して、対応する分子ハイドリノ $H_2 (1/p)$ を形成し得る。具体的には、触媒生成物 $H (1/p)$ も電子と反応して、以下の結合エネルギー E_B をもつ新規の水素化物イオン $H^- (1/p)$ を形成し得る。

【数3】

$$E_B = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e \alpha_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi \mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{\alpha_H^3} + \frac{2^2}{\alpha_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right) \quad (19)$$

式中、 $p = \text{整数} > 1$ 、 $s = 1/2$ 、

【数4】

$\hbar$

は換算プランク定数、 μ_0 は真空の透磁率、 m_e は電子の質量、 μ_e は

【数5】

$$\mu_e = \frac{m_e m_p}{\frac{m_e}{\sqrt{\frac{3}{4}}} + m_p}$$

によって与えられ、式中、 m_p は陽子、 α_0 はボーア半径、イオン半径は

【数6】

$$r_1 = \frac{\alpha_0}{p} \left(1 + \sqrt{s(s+1)} \right)$$

である。式(19)から、水素化物イオンのイオン化エネルギー計算値は 0.75418 eV であり、その実験値は $6082.99 \pm 0.15 \text{ cm}^{-1}$ (0.75418 eV)となった。ハイドリノ水素化物イオンの結合エネルギーは、X線光電子分光法(XPS)により測定可能である。

【0084】

10

20

30

40

50

高磁場シフトNMRピークは、通常の水素化物イオンに比べて半径が小さく、かつ陽子の反磁性遮蔽が増加した低エネルギー状態の水素の存在についての、直接的な証拠である。このシフトは、2つの電子の反磁性の寄与と大きさpの光子場の寄与とを足し合わせるこ

とよって得られる（MILLS GUTCP式（7.87））。

【数7】

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

10

式中、第1の項は、 $p=1$ により H^- に適用され、かつ $H^-(1/p)$ に関しては $p=整数>1$ が適用され、さらに α は微細構造定数である。予測されるハイドリノ水素化物のピークは、通常の水素化物イオンに比べて並外れた高磁場シフトを示す。一実施形態では、ピークはTMSの高磁場である。TMSに対するNMRシフトは、通常の H^- 、 H 、 H_2 、または H^+ の単独または化合物の少なくとも1つで知られているものよりも大きくてもよい。このシフトは、シフトは、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、および-40 ppmの少なくとも1つよりも大きくてもよい。裸の陽子と比較してTMSのシフトが約-31.5である裸の陽子に対する絶対シフトの範囲は、 $-(p29.9 + p22.74) ppm$ （式（20））は、 $\pm 5 ppm$ 、 $\pm 10 ppm$ 、 $\pm 20 ppm$ 、 $\pm 30 ppm$ 、 $\pm 40 ppm$ 、 $\pm 50 ppm$ 、 $\pm 60 ppm$ 、 $\pm 70 ppm$ 、 $\pm 80 ppm$ 、 $\pm 90 ppm$ 、および $\pm 100 ppm$ であり得る。裸の陽子に対する絶対シフトの範囲は、約0.1%~99%、1%~50%、1%~10%の少なくとも1つの範囲内で $-(p29.9 + p21.59 \times 10^{-3}) ppm$ （式（20））になり得る。別の実施形態では、固体マトリックス、例えばNaOHまたはKOHといった水酸化物のマトリックス中にハイドリノ原子、水素化物イオンといったハイドリノ種が存在することによって、マトリックスの陽子が高磁場にシフトする。マトリックス陽子、例えばNaOHまたはKOHといったマトリックス陽子は、交換可能である。一実施形態では、シフトにより、マトリックスピークがTMSに対して約-0.1 ppm~-5 ppmの範囲内になり得る。NMR測定は、マジック角スピニング1H核磁気共鳴分光法（MAS 1H NMR）から構成されてもよい。

20

30

【0085】

$H(1/p)$ は陽子と反応し得る。また、2つの $H(1/p)$ は反応してそれぞれ $H_2(1/p)^+$ および $H_2(1/p)$ を形成し得る。水素分子イオンと分子電荷および電流密度関数、結合距離、エネルギーは、非放射の制限を有する楕円座標におけるラブラシアンから求められる。

【数8】

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

40

【0086】

扁長楕円体分子軌道の各焦点における+peの中心磁場を有する水素分子イオンの総エネルギー E_T は、次のように与えられる。

【数9】

50

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_o a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_o (2a_H)^3} \frac{1}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{pe^2}{4\pi\epsilon_o \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_o \left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}} \frac{1}{\mu} \right\} \quad (22)$$

$$= -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV}$$

10

式中、 p は整数であり、 c は真空中の光の速度であり、 μ は換算核質量である。扁長楕円体分子軌道) の各焦点における $+pe$ の中心磁場を持つ水素分子イオンの総エネルギー E_T は、次のように与えられる。

【数 10】

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

$$= -p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV}$$

20

30

水素分子 $H_2 (1/p)$ の結合解離エネルギー E_D は、対応する水素原子の総エネルギーと E_T との間の差である。

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

式中、

$$E(2H(1/p)) = -p^2 27.20 \text{ eV} \quad (25)$$

であり、 E_D は、式 (23~25) によって与えられる。

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

【0087】

$H_2 (1/p)$ は、X線光電子分光法によって同定され得る。ここで、イオン化された電子に加えてイオン化生成物が、2つの陽子および1つの電子、1つのH原子、1つのドリノ原子、分子イオン、水素分子イオン、および $H_2 (1/p)^+$ を含むそれらのよう

50

な可能性の少なくとも1つであってもよく、ここで、エネルギーはマトリクスによってシフトされ得る。

【0088】

触媒反応－生成物ガスのNMRは、 H_2 ($1/p$) の理論的に予測された化学シフトの最も確定的なテストを提供する。一般に、 H_2 ($1/p$) の ^1H NMR共鳴は、電子が非常に原子核に近いところ、楕円座標における半径の分数により、 H_2 のそれから高磁場側になると予測される。 H_2 ($1/p$) に対する予測されるシフト $\Delta B_T/B$ は、強度 p の光子磁場および2つの電子の反磁性の寄与の合計によって与えられる(MillsのGUTCP式(11.415~11.416))。

【数11】

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

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

式中、第1の項は、 $p=1$ により H_2 に適用され、かつ H_2 ($1/p$) に関しては p =整数 >1 が適用され、さらに α は微細構造定数である。 $-28.0 ppm$ の実験上の絶対 H_2 気相共鳴シフトは、 $-28.01 ppm$ (式(28))の予測される絶対気相シフトと優れて合致している。予測される分子ハイドリノピークは、通常の H_2 に対して並はずれて高磁場側にシフトしている。1つの実施例において、ピークはTMSの高磁場側にある。TMSに対するNMRシフトは、化合物を含み、あるいは、単独で、通常の H^- 、 H 、 H_2 、または H^+ の少なくとも1つに対して知られたものよりもより大きくてもよい。シフトは、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、および-40 ppmの少なくとも1つよりも大きくてもよい。裸の陽子に対する絶対シフトの範囲は、TMSのシフトが、裸の陽子に対して約-31.5 ppmであるところ、 $\pm 5 ppm$ 、 $\pm 10 ppm$ 、 $\pm 20 ppm$ 、 $\pm 30 ppm$ 、 $\pm 40 ppm$ 、 $\pm 50 ppm$ 、 $\pm 60 ppm$ 、 $\pm 70 ppm$ 、 $\pm 80 ppm$ 、 $\pm 90 ppm$ 、及び $\pm 100 ppm$ の少なくとも1つの公差の範囲内において $-(p28.01 + p^2 2.56) ppm$ (式(28))であってよい。裸の陽子に対する絶対シフトの範囲は、約0.1%から99%、1%から50%、および1%から10%の少なくとも1つの公差の範囲内において $-(p28.01 + p^2 1.49 \times 10^{-3}) ppm$ (式(28))であってもよい。

【0089】

水素型分子 H_2 ($1/p$) の、 $v=0$ から $v=1$ への遷移に対する振動エネルギー E_{vib} は、次のようになる。

$$E_{vib} = p^2 0.515902 eV \quad (29)$$

式中、 p は整数である。

【0090】

水素型分子 H_2 ($1/p$) の J から $J+1$ への遷移に対する回転のエネルギー E_{rot} は、次のように表わされる。

【数12】

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

式中、 p は整数であり、 I は慣性モーメントである。 H_2 ($1/4$) の回転振動放射は、

ガス中の電子ビーム励起分子上で観測され、固体マトリックス中に捕捉された。

【0091】

回転のエネルギーの p^2 依存性は、核間距離の逆 p 依存性と、慣性モーメント I に対する対応する影響とから生じる。 $H_2(1/p)$ に対する予測された核間の距離 $2c'$ は次の通りである。

【数13】

$$2c' = \frac{a_o \sqrt{2}}{p} \quad (31)$$

10

【0092】

$H_2(1/p)$ の回転および振動エネルギーの少なくとも1つは、電子ビーム励起発光分光法、ラマン分光法、およびフーリエ変換赤外 (FTIR) 分光法の少なくとも1つにより測定され得る。 $H_2(1/p)$ は、 MOH 、 MX 、 M_2CO_3 (M =アルカリ、 X =ハライド) マトリックスの少なくとも1つ等、測定用のマトリックスに捕捉されてもよい。

【0093】

一実施形態では、分子ハイドリノ生成物は、約 1950 cm^{-1} で逆ラマン効果 (IRE) ピークとして観測される。ピークの増強は、IREピークを表示するための表面増強ラマン散乱 (SERS) をサポートするラマンレーザー波長に匹敵する粗い特徴または粒子サイズを含む導電性材料を使用することによってなされる。

20

【0094】

Ⅰ. 触媒

本開示ではハイドリノ反応、 H 触媒、 H 触媒反応、触媒といった用語はすべて、水素、ハイドリノを形成する水素の反応、およびハイドリノ形成反応に言及する際、反応、例えば式 (14) で定義される触媒と原子 H との式 (15~18) の反応を指し、式 (10) および式 (12) で与えられるエネルギーレベルを有する水素の状態を形成する。対応する用語、例えば、ハイドリノ反応物、ハイドリノ反応混合物、触媒混合物、ハイドリノ形成反応物、低エネルギー状態の水素またはハイドリノを生成または形成する反応物もまた、同じ意味で使用される。

【0095】

本開示の触媒的低エネルギー水素遷移を必要とする触媒は、 27.2 eV の吸熱化学反応の整数 m 倍の触媒作用のない原子状水素のポテンシャルエネルギーの形であり、原子 H からのエネルギーを受け入れて遷移を引き起こし得る。吸熱触媒反応は、原子またはイオンといった一種からの1つまたは複数の電子のイオン化であってもよく (例えば、 $Li \rightarrow Li^{2+}$ の場合は $m=3$)、また結合開裂、初期結合の1つまたは複数のパートナーからの1つまたは複数の電子のイオン化との協奏反応をさらに含んでもよい (例えば、 $NaH \rightarrow Na^{2+} + H$ の場合、 $m=2$)。 He^+ は、 $2 \cdot 27.2\text{ eV}$ である 54.417 eV でイオン化するため、エンタルピー変化が 27.2 eV の整数倍に等しい化学的または物理的プロセスであるという触媒基準を満たす。整数の水素原子は、 27.2 eV エンタルピーの整数倍の触媒としても機能する。触媒は、約 $27.2\text{ eV} \pm 0.5\text{ eV}$ または $(27.2/2)\text{ eV} \pm 0.5\text{ eV}$ の整数単位で原子状水素からエネルギーを受け取ることができる。

30

40

【0096】

一実施形態では、触媒は原子またはイオン M を含み、ここで、原子またはイオン M からそれぞれ連続エネルギーレベルへの t 電子のイオン化が、 t 電子のイオン化エネルギーの合計が約 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ および $m \cdot (27.2/2)\text{ eV}$ (m は整数) のいずれかになるようになされる。

【0097】

一実施形態では、触媒は二原子分子 MH を含み、ここで、 $M-H$ 結合の切断と原子 M からの t 電子各々の連続体エネルギーへのイオン化は、結合エネルギーと t 電子のイオン化エ

50

エネルギーとの合計が、 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ および $m \cdot (27.2 / 2) \text{ eV}$ (ここで m は整数) となるようになっている。

【0098】

一実施形態では、触媒は、 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 、および NO_3 の分子、 Li 、 Be 、 K 、 Ca 、 Ti 、 V 、 Cr 、 Mn 、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Zn 、 As 、 Se 、 Kr 、 Rb 、 Sr の原子またはイオン、 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+} および H^+ 、ならびに Ne^+ および H^+ の原子またはイオンから選択される、原子、イオン、および／または分子を含む。

10

【0099】

他の実施形態では、ハイドリノを生成する MH^- 型水素触媒は、電子のアクセプター A への移動、 $\text{M}-\text{H}$ 結合の切断、および原子 M からの t 電子のそれぞれ連続エネルギーレベルまでのイオン化によって提供され、電子移動エネルギーの合計が MH と A との電子親和力 (EA)、 $\text{M}-\text{H}$ 結合エネルギー、および M からの t 電子のイオン化エネルギーの差が約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (m は整数) である。約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ の正味の反応エンタルピーを提供できる MH^- 型水素触媒は、 OH^- 、 SiH^- 、 CoH^- 、 NiH^- 、および SeH^- である。

20

【0100】

他の実施形態では、ハイドリノを生成する MH^+ 型水素触媒は、負に帯電し得るドナー A からの電子の移動、 $\text{M}-\text{H}$ 結合の切断、および原子 M からの t 電子のそれぞれ連続エネルギーレベルまでのイオン化によって提供され、 MH と A のイオン化エネルギー、結合 $\text{M}-\text{H}$ エネルギー、 M からの t 電子のイオン化エネルギーの差を含む電子移動エネルギーの合計が約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (m は整数) となるようにする。

【0101】

一実施形態では、分子または正または負に帯電した分子イオンの少なくとも1つが、分子または正もしくは負に帯電した分子イオンのポテンシャルエネルギーの大きさが約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 減少するに伴って原子 H から約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ を受け入れる触媒として、機能する。例示的な触媒は、 H_2O 、 OH 、アミド基 NH_2 、および H_2S である。

30

【0102】

O_2 は、触媒または触媒の供給源として機能することが可能である。酸素分子の結合エネルギーは、 5.165 eV であり、酸素原子の第1の、第2の、および第3のイオン化エネルギーが、それぞれ 13.61806 eV 、 35.11730 eV 、および 54.9355 eV である。反応 $\text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}^{2+}$ 、 $\text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}^{3+}$ 、および $2\text{O} \rightarrow 2\text{O}^+$ は、それぞれ約2、4、および1倍の正味エンタルピー E_h を提供し、 H からこれらのエネルギーを受け入れてハイドリノを形成することにより、ハイドリノを形成する触媒反応を構成する。

【0103】

40

II. ハイドリノ

$E_B = 13.6 \text{ eV} / (1/p)^2$ (p は1よりも大きい整数で、好ましくは2～137の整数) によって与えられる結合エネルギーを有する水素原子は、本開示の H 触媒反応の生成物である。原子、イオン、または分子の結合エネルギーは、イオン化エネルギーとも知られており、原子、イオン、または分子から1つの電子を除去するために必要なエネルギーである。式(10)および式(12)で与えられる結合エネルギーを有する水素原子は、以後「ハイドリノ原子」または「ハイドリノ」と呼ばれる。半径 a_H/p (a_H は通常の水素原子の半径、 p は整数) のハイドリノの名称は $\text{H}[a_H/p]$ である。半径 a_H の水素原子は、以降「通常の水素原子」または「標準の水素原子」と呼ばれる。通常の水素原子は、 13.6 eV の結合エネルギーが特徴である。

50

【0104】

本開示によれば、式(19)による結合エネルギーが、 $p = 2$ から23までで通常の水素化物イオンの結合(約0.75 eV)より大きく、 $p = 24$ (H^-)で小さい、ヒドリノ水素化物イオン(H^-)が提供される。式(19)の $p = 2$ から $p = 24$ の場合、水素化物イオン結合エネルギーは、それぞれ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、および0.69 eVである。本明細書では、新規の水素化物イオンを含む例示的な組成物も提供される。

【0105】

1つまたは複数のヒドリノ水素化物イオンおよび1つまたは複数の他の元素を含む例示的な化合物も提供される。そのような化合物は、「ヒドリノ水素化物化合物」と呼ばれる。

【0106】

通常の水素種は、(a)水素化物イオン、0.754 eV(「通常の水素化物イオン」、(b)水素原子(「通常の水素原子」、13.6 eV、(c)二原子水素分子、15.3 eV(「通常の水素分子」、(d)水素分子イオン、16.3 eV(「通常の水素分子イオン」、および(e) H_3^+ 、22.6 eV(「通常の水素分子イオン」という結合エネルギーによって特徴付けられる。本明細書において、水素の形態に関して、「標準の」および「通常の」は同義語である。

【0107】

本開示のさらなる実施形態によれば、例えば、(a)おおよそ $13.6 \text{ eV} / (1/p)^2$ の結合エネルギーを有し、該結合エネルギーが例えば $13.6 \text{ eV} / (1/p)^2$ (p は2~137の整数)の約0.9~1.1倍の範囲内である水素原子、(b)おおよそ【数14】

$$\text{結合エネルギー} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right)$$

の結合エネルギーを有し、該結合エネルギーが例えば【数15】

$$\text{結合エネルギー} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right)$$

(p は2~24の整数)の約0.9~1.1倍の範囲内にある水素化物イオン(H^-)、(c) H_4^+ ($1/p$)、(d)おおよそ $22.6 \text{ eV} / (1/p)^2$ の結合エネルギーを有し、該結合エネルギーが例えば、おおよそ $(22.6 / (1/p)^2) \text{ eV}$ (p は2~137の整数)の約0.9~1.1倍の範囲内であるトリヒドリノ分子イオン H_3^+ ($1/p$)、(e)おおよそ $(15.3 / (1/p)^2) \text{ eV}$ の結合エネルギーを有し、該結合エネルギーが例えば、 $(15.3 / (1/p)^2) \text{ eV}$ (p は2~137の整数)の約0.9~1.1倍の範囲内であるジヒドリノ、ならびに、(f)おおよそ $(16.3 / (1/p)^2) \text{ eV}$ の結合エネルギーを有し、該結合エネルギーが例えば $(16.3 / (1/p)^2) \text{ eV}$ (p は整数、好ましくは2~137)の約0.9~1.1倍の範囲内であるジヒドリノ分子イオンの少なくとも1つの結合エネルギー増加水素種を含む化合物が

提供される。

【 0 1 0 8 】

本開示のさらなる実施形態によれば、（ a ） おおよそ

【 数 1 6 】

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

$$= -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV}$$

10

の総エネルギーを有し、該総エネルギーが例えば

20

【 数 1 7 】

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

$$= -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV}$$

30

（ p は整数、

【 数 1 8 】

$\hbar$

40

は換算プランク定数、 m_e は電子の質量、 c は真空中の光の速度、および μ は減少した核質量）の約 0.9 ～ 1.1 倍の範囲内であるジヒドリノ分子イオン、ならびに、（ b ） おおよそ

【 数 1 9 】

50

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_o a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] \left[1 + p \sqrt{\frac{2\hbar \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o a_0^3}}}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{pe^2}{8\pi\epsilon_o \left(\frac{a_0}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_o \left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}} \right\} \quad (10)$$

$$= -p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV}$$

の総エネルギーを有し、該総エネルギーが例えば
【数 2 0】

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_o a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] \left[1 + p \sqrt{\frac{2\hbar \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_o a_0^3}}}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{pe^2}{8\pi\epsilon_o \left(\frac{a_0}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_o \left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}} \right\} \quad (20)$$

$$= -p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV} \quad (30)$$

(p は整数、a₀ はボーア質量) の約 0.9 ~ 1.1 倍の範囲内であるジヒドリノ分子の少なくとも 1 つの結合エネルギー増加水素種を含む化合物が提供される。

【0109】

化合物が負に帯電した結合エネルギー増加水素種を含む本開示の一実施形態によれば、化合物は、陽子、通常の H₂⁺、または通常の H₃⁺ といった 1 つまたは複数のカチオンをさらに含む。

【0110】

本明細書では、少なくとも 1 つのヒドリノ水素化物イオンを含む化合物を調製する方法が提供される。このような化合物を、以下「ヒドリノ水素化物化合物」と呼ぶ。本方法は、原子状水素をおおよそ (m/2) · 27 eV (m は 1 より大きい整数であり、好ましくは約 400 未満の整数) の正味の反応エンタルピーを有する触媒と反応させて、結合エネルギーが約 13.6 eV / (1/p)² (p は整数であり、好ましくは 2 ~ 137 の整数) の結合エネルギー増加水素原子を生成することを、含む。触媒作用のさらなる生成物はエネルギーである。結合エネルギー増加水素原子は、電子源と反応して、結合エネルギー増加水素化物イオンを生成する。結合エネルギー増加水素化物イオンを 1 つまたは複数のカチオンと反応させて、結合エネルギー増加水素化物イオンを少なくとも 1 つ含む化合物を

生成することができる。

【0111】

一実施形態では、非常に高い電力とエネルギーの少なくとも1つは、参照により組み込まれているMills GUTCPの第5章に記載されている不均衡と呼ばれるプロセスで、式(18)での高いp値のハイドリノに遷移する水素によって、達成可能である。水素原子H(1/p) p=1、2、3、... 137は、式(10)および式(12)で与えられる低エネルギー状態へさらに遷移し得るものであり、ここで、1つの原子の遷移は、そのポテンシャルエネルギーに付随する反対の変化を伴うm・27.2 eVを共鳴的および非放射的に受け入れる第2の原子によって触媒される。式(32)で与えられるm・27.2 eVからH(1/p')への共鳴伝達によって誘導されるH(1/p)からH(1/(p+m))への遷移の一般的な一般式は、

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

で表される。

【0112】

ハイドリノプロセスからのEUV光はジハイドリノ分子を解離させることが可能であり、結果として生じるハイドリノ原子はより低いエネルギー状態に遷移する触媒として機能し得る。例示的な反応は、H(1/4)によるH(H/1/17)への触媒作用を含み、H(1/4)は、HOHによる別のHの触媒作用の反応生成物であり得る。ハイドリノの不均化反応は、X線領域に特徴を生じると予測される。式(5~8)に示すように、HOH触媒の反応生成物はH[a_H/4]である。H₂Oガスを含む水素雲での遷移反応の可能性を検討する。ここで、第1の水素型原子H[a_H/4]はH原子であり、触媒として機能する第2のアクセプター水素型原子H[a_H/p']はH[a_H/4]である。H[a_H/4]のポテンシャルエネルギーが4²・27.2 eV=16・27.2 eV=435.2 eVであるため、遷移反応は

$$16 \cdot 27.2 \text{ eV} + H[a_H/4] + H[a_H/1] \rightarrow H_{fast} + e^- + H^*[a_H/17] + 16 \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (33)$$

$$H^*[a_H/17] \rightarrow H[a_H/17] + 3481.6 \text{ eV} \quad (34)$$

$$H_{fast} + e^- \rightarrow H[a_H/1] + 231.2 \text{ eV} \quad (35)$$

で表される。

さらに、全体的な反応は、

$$H[a_H/4] + H[a_H/1] \rightarrow H[a_H/1] + H[a_H/17] + 3712.8 \text{ eV} \quad (36)$$

である。

【0113】

H^{*}[a_H/(p+m)] 中間体 (例えば、式(16)および式(34)) による極紫外線連続放射バンドは、短波長カットオフと、

【数21】

$$E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p+m} \right] \right)} = \left[(p+m)^2 - p^2 \right] \cdot 13.6 \text{ eV} - m \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (37)$$

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

によって与えられるとともに対応するカットオフよりも長い波長まで膨張すると予測されるエネルギー

【数22】

10

20

30

40

50

$$E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p+m} \right] \right)}$$

とを、持つと予測される。ここで、 $H^* [a_H / 17]$ 中間体の減衰による極端紫外線連続放射帯域は、 $E = 3481.6 \text{ eV}$ で 0.35625 nm の短波長カットオフを持つと予測され、より長い波長に拡大する。 3.48 keV カットオフでの幅広い X 線ピークが、NASA のチャンドラ X 線天文台と XMM ニュートンとによってペルセウス団で観測された [E. Bulbul, M. Markevitch, A. Foster, R. K. Smith, M. Loewenstein, S. W. Randall, 「銀河団の積み重ねられた X 線スペクトルにおける未確認の輝線の検出」 (Detection of an unidentified emission line in the stacked X-Ray spectrum of galaxy clusters), Astrophysical Journal, Volume 789, Number 1, (2014) ; A. Boyarsky, O. Ruchayskiy, D. Iakubovskyi, J. Franse, 「アンドロメダ銀河およびペルセウス銀河団の X 線スペクトルの正体不明の線」 (An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster), (2014), arXiv:1402.4119 [astro-ph.CO]]。これは、既知の原子遷移とは一致しない。Bulbul 他によって正体が未知であるダークマターに割り当てられた 3.48 keV の機能は、 $H [a_H / 4] + H [a_H / 1] \rightarrow H [a_H / 17]$ 遷移と一致し、ハイドリノをダークマターの正体としてさらに確認する。

10

20

30

40

50

【0114】

物質の新規水素組成物は、(a) (i) 対応する通常の水素種の結合エネルギーより大きい、あるいは、(ii) 通常の水素種の結合エネルギーが周囲条件 (標準温度および圧力、STP) での熱エネルギーより小さいまたは負であることから、対応する通常の水素種が不安定または観測されない水素種の結合エネルギーより大きい結合エネルギーを有する、少なくとも 1 つの中性、正、または負の水素種 (以下「結合エネルギー増加水素種」と、

(b) 少なくとも 1 つの他の元素とを含む。本開示の化合物は、以下「結合エネルギー増加水素化合物」と呼ばれる。

【0115】

この文脈における「他の元素 (other element)」とは、結合エネルギー増加水素種以外の元素を意味する。従って、他の元素は、通常の水素種、または水素以外の元素であり得る。1 つの化合物群では、他の元素と結合エネルギー増加水素種とが中性である。別の化合物群では、他の元素と結合エネルギー増加水素種とが帯電されており、他の元素が平衡電荷を与えて中性化合物を形成する。前者の化合物群は、分子結合と配位結合とによって特徴付けられる。後者の化合物群は、イオン結合によって特徴付けられる。

【0116】

また、(a) (i) 対応する通常の水素種の結合エネルギーより大きい、あるいは、(ii) 通常の水素種の結合エネルギーが周囲条件 (標準温度および圧力、STP) での熱エネルギーより小さいまたは負であることから、対応する通常の水素種が不安定または観測されない水素種の結合エネルギーより大きい結合エネルギーを有する、少なくとも 1 つの中性、正、または負の水素種 (以下「結合エネルギー増加水素種」と、(b) 少なくとも 1 つの他の元素とを含む新規化合物および分子イオンを提供する。

【0117】

水素種の総エネルギーは、水素種からすべての電子を除去するエネルギーの合計である。本開示による水素種は、対応する通常の水素種の総エネルギーより大きい総エネルギーを

有する。本開示による総エネルギーが増加した水素種は、総エネルギーが増加した水素種のいくつかの実施形態が、対応する通常の水素種の第1の電子結合エネルギーよりも小さい第1の電子結合エネルギーを有してよいが、「結合エネルギー増加水素種」とも呼ばれる。例えば、 $p = 24$ の式(19)の水素化物イオンの第1の結合エネルギーは、通常の水素化物イオンの第1の結合エネルギーよりも小さく、一方で、 $p = 24$ に対する式(19)の水素化物イオンの総エネルギーは、対応する通常の水素化物イオンの総エネルギーよりもはるかに大きくなる。

【0118】

本明細書では、(a)(i)対応する通常の水素種の結合エネルギーより大きい、あるいは、(ii)通常の水素種の結合エネルギーが周囲条件での熱エネルギーより小さいまたは負であることから、対応する通常の水素種が不安定または観測されない水素種の結合エネルギーより大きい結合エネルギーを有する複数の中性、正、または負の水素種（以下「結合エネルギー増加水素種」と、(b)任意選択で少なくとも1つの他の元素とを含む新規化合物および分子イオンも提供される。本開示の化合物は、以下「結合エネルギー増加水素化合物」と呼ばれる。

10

【0119】

結合エネルギー増加水素種は、1つまたは複数のハイドリノ原子と、電子、ハイドリノ原子、上記結合エネルギー増加水素種の少なくとも1つを含む化合物、ならびに、結合エネルギー増加水素種以外の少なくとも1つの他の原子、分子、またはイオンの、少なくとも1つと反応させることによって、形成される。

20

【0120】

(a)(i)通常の水素分子の総エネルギーよりも大きい、あるいは、(ii)通常の水素種の結合エネルギーが周囲条件での熱エネルギーより小さいまたは負であることから、対応する通常の水素種が不安定または観測されない水素種の結合エネルギーより大きい結合エネルギーを有する、複数の中性、正、または負の水素種（以下「結合エネルギー増加水素種」と、(b)任意選択で1つの他の元素とを含む新規化合物および分子イオンも提供される。本開示の化合物は、以下「結合エネルギー増加水素化合物」と呼ばれる。

【0121】

一実施形態では、(a)式(19)による結合エネルギーが、 $p = 2$ から23に対しては通常の水素化物イオンの結合(約0.8 eV)より大きく、 $p = 24$ （「結合エネルギー増加水素化物イオン」または「ヒドリノ水素化物イオン」）に対しては小さい水素化物イオンと、(b)結合エネルギーが通常の水素原子の結合エネルギー(約13.6 eV)よりも大きい水素原子（「結合エネルギー増加水素原子」または「ハイドリノ」）と、(c)約15.3 eVより大きい第1の結合エネルギーを有する水素分子（「結合エネルギー増加水素分子」または「ジヒドリノ」）と、(d)結合エネルギーが約16.3 eVを超える水素分子イオン（「結合エネルギー増加分子水素イオン」または「ジヒドリノ分子イオン」）と、の少なくとも1つを含む化合物が提供される。本開示では、結合エネルギー増加水素化合物および化合物は、より低いエネルギーの水素種および化合物とも呼ばれる。ハイドリノは、結合エネルギー増加水素化合物または同といった低エネルギー水素種を含む。

30

40

【0122】

III. 化学反応器

本開示はまた、ジハイドリノ分子およびヒドリノ水素化物化合物といった、本開示の結合エネルギー増加水素種および化合物を生成するための他の反応器に関する。触媒作用のさらなる生成物は、セルの種類に応じた起電力および任意選択であるプラズマおよび光である。このような反応器は、以下「水素反応器」または「水素セル」と呼ばれる。水素反応器はハイドリノを生成するためのセルを備える。ハイドリノを生成するためのセルは、化学反応器またはガス放電セル、プラズマトーチセル、もしくはマイクロ波パワーセルといったガス燃料セル、ならびに電気化学セルの形態をとることができる。一実施形態では、触媒はHOHであり、HOHおよびHの少なくとも一方の供給源は氷である。氷は、氷か

50

らのH O H触媒およびHの形成速度およびハイドリノ反応速度のうちの少なくとも1つを増加させるために、大表面積を有してもよい。氷は、表面積を増やすために細かいチップの形状であってもよい。一実施形態では、セルは、アーク放電セルを含み、かつ放電が氷の少なくとも一部を伴うように、少なくとも1つの電極での氷を含む。

【0123】

一実施形態では、アーク放電セルは、容器、2つの電極、約100V～1MVの範囲の電圧と約1A～100kAの範囲の電流とが可能なものといった高電圧電源、ならびに、容器およびH₂O液滴を形成して供給する手段といった供給源を備える。液滴は電極間で移動可能である。一実施形態では、液滴はアークプラズマの点火を開始する。一実施形態では、水アークプラズマは、反応してハイドリノを形成し得るHおよびH O Hを含む。点火速度および対応するエネルギー出力速度は、液滴のサイズとそれらが電極に供給される速度とを制御することによって、制御され得る。高電圧の供給源は、高電圧電源によって充電され得る少なくとも1つの高電圧コンデンサを含み得る。一実施形態では、アーク放電セルは、さらに、少なくとも1つのPV変換器といった本発明の1つのような電力変換器といった手段と、光および熱といったハイドリノプロセスからの起電力を電気に変換する熱エンジンと、をさらに備える。

【0124】

ハイドリノを生成するためのセルの例示的な実施形態は、液体燃料電池、固体燃料電池、異種燃料電池、C I H T電池、およびS F - C I H TまたはS u n C e l l (登録商標)電池の形態をとり得る。これらのセルの各々は、(i)原子状水素の供給源を含む反応物と、(i i)ハイドリノを製造するための固体触媒、溶融触媒、液体触媒、気体触媒、またはそれらの混合物から選択される少なくとも1つの触媒と、(i i i)水素を反応させるための容器とハイドリノを生成するための触媒とを備える。本明細書で使用され、本開示によって企図されるように、「水素」という用語は、別段の指定がない限り、プロチウム(1H)だけでなく、重水素(2H)、およびトリチウム(3H)も含む。例示的な化学反応混合物および反応器は、本開示のS F - C I H T、C I H T、または熱電池の実施形態を含み得る。追加の例示的な実施形態は、この化学反応器の部に示される。混合物の反応中に形成される触媒としてH₂Oを有する反応混合物の例は、本開示において与えられる。他の触媒は、結合エネルギー増加水素種および化合物を形成するのに役立ち得る。反応および条件は、これらの例示的な場合から、反応物、反応物w t %、H₂圧力、および反応温度といったパラメータに調整され得る。適切な反応物、条件、およびパラメータ範囲は、本開示のものである。ハイドリノおよび分子ハイドリノは、13.6eVの整数倍の予測される連続放射帯によって、本開示の反応器の生成物であることが示され、そうでなければ、H線のドップラー効果による線広がり、H線の反転、ブレークダウン磁場なしのプラズマの形成により測定される説明できない異常に大きいH運動エネルギー、およびM i l l s P r i o r P u b l i c a t i o n sで報告されている異常なプラズマ残光時間となる。C I H Tセルと固体燃料に関するデータ等は、他の研究者によって他の場所で独立して検証される。本開示のセルによるハイドリノの形成は、電気エネルギーによっても確認されており、該電気エネルギーは、長時間にわたって継続的にエネルギーを出力し、電気入力の数倍であり、ほとんどの場合、代替源なしで入力の10倍を超える。予測された分子ハイドリノH₂(1/4)のC I H Tセルと固体燃料の生成物としての識別は、約-4.4ppmの予測高磁場シフトマトリックスピークを示したM A S H N M R、H₂(1/4)がm/e=M+n2ピーク(Mは親イオンの質量、nは整数の電子ビーム励起放出)としてゲッターマトリックスに複合化されていることを示したT o F - S I M SおよびE S I - T o F M S、H₂のエネルギーの16倍すなわち量子数p=4の2乗倍を有するH₂(1/4)の予測回転および振動スペクトルを示した電子ビーム励起発光分光法およびフォトルミネセンス発光分光法、H₂回転エネルギーの16倍すなわち量子数p=4の2乗倍であるH₂(1/4)の回転エネルギー1950cm⁻¹を示したラマンおよびF T I R分光法、予測されるH₂(1/4)の総結合エネルギーが500eVであることを示したX P S、ならびに、HからH(1/4)への予測エネルギー放出と

第3のボディに転送されるエネルギーとを一致させた約204 eVの運動エネルギーであってHに対応した $m/e=1$ ピーク前への到来時間を持つToF-SIMSピークによってなされ、このことは、Mills Prior Publicationsと、R. Mills X Yu, Y. Lu, G. Chu, J. He, J. Lotoski, 「触媒誘起ヒドリノ遷移(CIHT)電気化学セル」(Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell), International Journal of Energy Research, (2013) およびR. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「高出力密度触媒誘起ヒドリノ遷移(CIHT)電気化学セル」(High-Power-Density Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell) (2014) に報告され、それらの全体が参照として本明細書に組み込まれる。

10

【0125】

水流熱量計とSetaram DSC131示差走査熱量計(DSC)との両方を使用して、熱起電力を生成するための固体燃料を含むセル等、本開示のセルによるヒドリノ生成は、最大理論エネルギーを60倍超えるヒドリノ形成固体燃料からの熱エネルギーの観測によって確認された。MASH NMRは、約-4.4 ppmの予測された $H_2(1/4)$ 高磁場マトリックスシフトを示した。1950 cm^{-1} で始まるラマンピークは、 $H_2(1/4)$ の自由空間回転エネルギー(0.2414 eV)と一致した。これらの結果は、Mills Prior PublicationsおよびR. Mills, J. Lotoski, W. Good, J. He, 「HOH触媒を形成する固体燃料」(Solid Fuels that Form HOH Catalyst) (2014) に報告されており、参照としてその全体が本明細書に組み込まれる。

20

【0126】

IV. SunCellおよび電力変換器

電気エネルギーおよび熱エネルギーの少なくとも一方を発生させる発電システム(本明細書中では「SunCell」ともいう)は、圧力を大気圧よりも低く維持できる少なくとも1つの容器と、プラズマを形成するのに十分なエネルギーを生成する反応を前記容器内で受け取ることができる反応物であり、(a)水素ガスと酸素ガスとの混合物、および／または水蒸気、および／または水素ガスと水蒸気との混合物、ならびに(b)熔融金属を含む、前記反応物と、前記容器への少なくとも1つの反応物の流量を制御するための質量流量制御器と、1つまたは複数の反応物が前記容器に流入しているときに前記容器内の圧力を大気圧より低く維持するための真空ポンプと、前記熔融金属の一部を含む少なくとも1つの貯留槽、該貯留槽内にかつ注入器管を介して前記熔融金属を供給して熔融金属流を提供するように構成される熔融金属ポンプシステム(例えば、1つまたは複数の電磁ポンプ)、および前記熔融金属流を受け取るための少なくとも1つの非注入器熔融金属貯留槽と、水素ガスおよび／または酸素ガスおよび／または水蒸気が前記容器に流入するときに電力を前記熔融金属の少なくとも1つの流れに電力を供給するための、電力または点火電流の供給源を含む少なくとも1つの点火システムと、前記反応で消費される反応物を補充する反応物供給システムと、前記反応により生じたエネルギー(例えば、前記プラズマからの光および／または熱出力)の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、前記反応により生じたエネルギー(例えば、前記プラズマからの光および／または熱出力)の一部を電力および／または熱出力へ変換する電力変換器または出力システムと、を備え得る。

30

40

【0127】

いくつかの実施形態では、発電システムは、参照によりその全体が組み込まれるA. Sharma, V. Singh, T. L. Bougher, B. A. Cola, 「カーボンナノ管光レクテナ」(A carbon nanotube optical rectenna), Nature Nanotechnology, Vol. 10, (2015)

50

、pp. 1027-1032、doi: 10.1038/nano.2015.220
に報告されたものといった光学レクテナと、少なくとも1つの熱エネルギー電力変換器とを備えてもよい。さらなる実施形態では、容器は、大気圧、大気圧より高い、および大気圧より低い、のうちの少なくとも1つの圧力が可能である。別の実施形態では、少なくとも1つの直接プラズマ電力変換器は、プラズマダイナミック電力変換器、 E （ベクトル） $\times B$ （ベクトル）直接変換器、電磁流体電力変換器、磁気ミラー電磁流体電力変換器、電荷ドリフト変換器、ポストまたはベネチアンブラインド電力変換器、ジャイロトロン、光子集群マイクロ波電力変換器、および光電変換器からなる群の少なくとも1つを含み得る。さらなる実施形態では、少なくとも1つの熱電気変換器は、熱機関、蒸気エンジン、蒸気タービンおよび発電機、ガスタービンおよび発電機、ランキン（Rankine）サイクルエンジン、ブレイトン（Brayton）サイクルエンジン、スターリング（Stirling）エンジン、熱イオン電力変換器、ならびに熱電気出力変換器からなる群の少なくとも1つを含み得る。周囲の大気への熱を拒絶する閉鎖型冷却システムまたは開放型システムを含み得る例示的な熱電気出力システムは、超臨界CO₂、有機ランキン、または外部燃焼器ガスタービンシステムである。

10

【0128】

現在の開示のUV光起電力と熱光起電力とに加えて、SunCell（登録商標）は、熱電子、電磁流体、タービン、マイクロタービン、ランキンまたはブレイトンサイクルタービン、化学的および電気化学的電力変換システムといった、当該技術分野で既知の他の電気変換手段を含んでもよい。ランキンサイクルタービンは、超臨界CO₂、過フッ化炭化水素やフッ化炭素といった有機物、または作動流体の蒸気を含んでもよい。ランキンまたはブレイトンサイクルタービンでは、SunCell（登録商標）は、タービンシステムの予熱器、復熱器、ボイラー、および外部燃焼型熱交換器段の少なくとも1つに熱エネルギー出力を提供してもよい。一実施形態では、ブレイトンサイクルタービンは、タービンの燃焼部に組み込まれたSunCell（登録商標）タービン加熱器を含む。SunCell（登録商標）タービン加熱器は、コンプレッサと回収熱交換器との少なくとも一方から空気流を受け取るダクトを備えてもよく、ここで、空気が加熱され、ダクトを通じて加熱された圧縮流がタービンの入口に導かれ、圧容積仕事を実行する。SunCell（登録商標）タービン加熱器は、ガスタービンの燃焼室を代替または補完してもよい。ランキンまたはブレイトンサイクルは閉じられていてもよく、ここで、電力変換器が凝縮器および冷却器のうちの少なくとも1つをさらに備える。

20

30

【0129】

上記電力変換器は、Millsの先行公知文献およびMillsの先行出願に記載されているものでよい。H源およびHOH源およびSunCell（登録商標）システムといったハイドリノ反応物は、本開示または以前の米国特許出願、例えば、水素触媒反応器、PCT/US08/61455、2008年4月24日PCT出願；不均一水素触媒反応器、PCT/US09/052072、2009年7月29日PCT出願；異種水素触媒電力システム、PCT/US10/27828、2010年3月18日PCT出願；電気化学水素触媒電力システム、PCT/US11/28889、2011年3月17日PCT出願；H₂Oベースの電気化学水素触媒電力システム、PCT/US12/31369、2012年3月20日PCT出願；CIHT電力システム、PCT/US13/041938、2013年5月21日PCT出願；発電システムおよびその方法、PCT/IB2014/058177、2014年1月10日PCT出願；光起電力発電システムおよびこれに関する方法、PCT/US14/32584、2014年4月1日PCT出願；電力発電システムおよびこれに関する方法、PCT/US2015/033165、2015年5月29日PCT出願；紫外線発電システムに関する方法、PCT/US2015/065826、2015年12月15日PCT出願；熱光起電力発電機、PCT/US16/12620、2016年1月8日PCT出願；熱光起電力発電機ネットワーク、PCT/US2017/035025、2017年12月7日PCT出願；熱光起電力発電機、PCT/US2017/013972、2017年1月18日PCT出願；超および深紫

40

50

外線太陽電池、PCT/US2018/012635、2018年1月5日PCT出願；電磁流体発電機、PCT/US18/17765、2018年2月12日PCT出願；ならびに、電磁流体発電機、PCT/US2018/034842、2018年5月29日PCT出願（「Mills 先行出願」）を含むことが可能であり、それらの全体が参照として本明細書に組み込まれる。

【0130】

一実施形態では、 H_2O が点火されて、熱、プラズマ、および電磁（光）エネルギー出力の少なくとも1つの形態でエネルギーの放出が高いハイドリノが形成される（本開示における「点火」とは、ハイドリノに対するHの非常に高い反応率を示し、バースト、パルス、または他の形態の高いエネルギー放出として現れ得る）。 H_2O は、約10A～100,000Aの範囲の電流といった大電流の適用により点火され得る燃料を含んでもよい。これは、約5,000～100,000Vといった高電圧を印加して、最初にアークといった伝導性の高いプラズマを形成することで達成され得る。あるいは、大電流は、得られる固体燃料といった燃料の伝導率が高いHおよびHOHといったハイドリノ反応物または H_2O を含む化合物または混合物をさらに含む導電性マトリックス、例えば銀といった溶融金属を通過し得る。（本開示では、固体燃料は、さらに反応してハイドリノを形成するHOHおよびHといった触媒を形成する反応混合物を示すために使用される。プラズマ電圧は、約1V～100Vの範囲のように低くてもよい。しかし、反応混合物は、固体以外の物理的状态を含んでもよい。実施形態では、反応混合物は、反応混合物は、溶融銀、銀銅合金、および銅の少なくとも1つといった溶融金属といった溶融導電性マトリックスといった気体、液体、溶融マトリックス、固体、スラリー、ゾルゲル、溶液、混合物、ガス懸濁液、空気流の少なくとも1つの状態、ならびに、当業者に既知の他の状態であってもよい。）一実施形態では、非常に低い抵抗を有する固体燃料は、 H_2O を含む反応混合物を含む。抵抗が低いのは、反応混合物の導体構成要素が原因であると思われる。実施形態では、固体燃料の抵抗は、約 10^{-9} オーム～100オーム、 10^{-8} オーム～10オーム、 10^{-3} オーム～1オーム、 10^{-4} オーム～ 10^{-1} オーム、および 10^{-4} オーム～ 10^{-2} オームの範囲内の少なくとも1つである。別の実施形態では、高抵抗を有する燃料は、少量のモル百分率あるいは微量である添加された化合物または材料の含む H_2O を含む。後者の場合、破壊を引き起こしてアークまたはアークプラズマといった高導電状態を形成することによって点火を達成するために、燃料に高電流を流すことができる。

【0131】

一実施形態では、反応物は、触媒の供給源、触媒、原子状水素の供給源、および原子状水素の少なくとも1つを形成するべく、 H_2O の供給源と導電性マトリックスとを含み得る。さらなる実施形態では、 H_2O の供給源を含む反応物は、バルク H_2O 、バルク H_2O 以外の状態、少なくとも1つが反応して H_2O を形成し、結合 H_2O を放出する化合物の少なくとも1つを含み得る。さらに、吸収 H_2O 、結合 H_2O 、物理吸着された H_2O 、および水和水の少なくとも1つの状態に H_2O があり、該結合 H_2O は、 H_2O と相互作用する化合物を含み得る。実施形態では、反応物は、導体、ならびに、バルク H_2O 、吸収された H_2O 、結合された H_2O 、物理吸着された H_2O 、および水和水の少なくとも1つの放出を受ける1つまたは複数の化合物または材料を含み得る。他の実施形態では、新生 H_2O 触媒の供給源および原子状水素の供給源の少なくとも1つは、（a）少なくとも1つの H_2O の供給源、（b）少なくとも1つの酸素の供給源、および（c）少なくとも1つの水素の供給源のうちの少なくとも1つを含み得る。

【0132】

一実施形態では、ハイドリノ反応率は、大電流の用途または開発に依存する。SunCell（登録商標）の実施形態では、ハイドリノを形成するための反応物は、非常に速い反応速度とエネルギー放出とを引き起こす低電圧、大電流、大電力パルスを受ける。例示的な実施形態では、60Hz電圧は15Vピーク未満であり、電流は100A/cm²～50,000A/cm²ピークの範囲であり、さらに電力は1000W/cm²～750,000W/cm²の範囲である。これらのパラメータの約1/100倍～100倍の範囲

内であるその他の周波数、電圧、電流、および電力は、適切である。一実施形態では、ハイドリノ反応率は、大電流の用途または開発に依存する。一実施形態では、電圧は、100 A～1,000,000 A、1 kA～100,000 A、10 kA～50 kAの少なくとも1つの範囲内である大きな交流、直流、または交流－直流混合電流を引き起こすように選択される。直流またはピーク交流電流密度は、100 A/cm²～1,000,000 A/cm²、1000 A/cm²～100,000 A/cm²、および2000 A/cm²～50,000 A/cm²の少なくとも1つの範囲内であってもよい。直流またはピーク交流電圧は、約0.1 V～1000 V、0.1 V～100 V、0.1 V～15 V、および1 Vから15 Vから選択された少なくとも1つの範囲内であってもよい。交流周波数は、約0.1 Hz～10 GHz、1 Hz～1 MHz、10 Hz～100 kHz、および100 Hz～10 kHzの範囲内であってもよい。パルス時間は、約10⁻⁶秒～10秒、10⁻⁵秒～1秒、10⁻⁴秒～0.1秒、および10⁻³秒～0.01秒から選択される少なくとも1つの範囲内であってもよい。

10

【0133】

一実施形態では、原子状水素触媒からハイドリノ状態へのエネルギー移動により、触媒のイオン化が生ずる。触媒からイオン化された電子は、反応混合物と容器とに蓄積し、空間電荷の蓄積を引き起こし得る。空間電荷は、反応速度の低下を伴って、その後の原子状水素から触媒へのエネルギー移動のためのエネルギー準位を変化させ得る。一実施形態では、高電流の印加により空間電荷が除去され、ハイドリノ反応率が増加する。別の実施形態では、アーク電流といった高電流は、HおよびHOH触媒の供給源として機能し得る水といった反応物を非常に高温にする。高温は、HおよびHOH触媒の少なくとも1つへの水の熱分解を引き起こし得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）の反応混合物は、Hの供給源と、nH（nは整数）およびHOHの少なくとも一方といった触媒の供給源とを含む。nHおよびHOHの少なくとも1つは、固体、液体、および気体水の少なくとも1つのような水の少なくとも1つの物理相の熱分解または熱分解によって形成されてもよい。熱分解は、約500 K～10,000 K、1000 K～7000 K、および1000 K～5000 Kの少なくとも1つの範囲内の温度といった高温で起こり得る。例示的な実施形態では、反応温度は約3500～4000 Kであり、J. Lede、F. Lapicque、およびJ. Villermuxによって示されるように、原子Hのモル分率は高い[J. Lede、F. Lapicque、J. Villermux、「水の直接熱分解による水素の生成 (Production of hydrogen by direct thermal decomposition of water)」, International Journal of Hydrogen Energy, 1983, V8, 1983, pp. 675-679; H. H. G. Jellinek、H. Kachi、「水の触媒熱分解と水素の生成 (The catalytic thermal decomposition of water and the production of hydrogen)」, International Journal of Hydrogen Energy, 1984, V9, pp. 677-688; S. Z. Baykara、「水の直接太陽熱分解による水素生成、プロセス効率の改善の可能性 (Hydrogen production by direct solar thermal decomposition of water, possibilities for improvement of process efficiency)」, International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1451-1458; S. Z. Baykara、「実験的な太陽熱水熱分解 (Experimental solar water thermolysis)」, International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1459-1469、これらは参照として本明細書に組み込まれる]。熱分解は、セルの部分の1つといった固体表面によって支援され得る。入力エネルギーおよびハイドリノ反応によって維持されるプラズマによって、固体表面が高温に加熱され得る。点火領域の下流といった熱分解ガスを冷却

20

30

40

50

して、結合または始動水への生成物の逆反応を防ぐことが可能である。反応混合物は、生成ガスの温度よりも低い温度にある固体、液体、または気相の少なくとも1つのような冷却剤を含んでもよい。熱分解反応生成物ガスの冷却は、生成物を冷却剤と接触させることによって達成させてもよい。冷却剤は、低温流、水、および氷のうちの少なくとも1つを含んでもよい。

【0134】

一実施形態では、燃料または反応物は、H、H₂の供給源、触媒の供給源、H₂Oの供給源、およびH₂Oの少なくとも1つを含み得る。適切な反応物は、導電性金属マトリックスと、アルカリ水和物、アルカリ土類水和物、および遷移金属水和物のうちの少なくとも1つの水和物を含み得る。この水和物は、MgCl₂・6H₂O、BaI₂・2H₂O、およびZnCl₂・4H₂Oの少なくとも1つを含むものであってもよい。あるいは、反応物は、銀、銅、水素、酸素、および水のうちの少なくとも1つを含むものであってもよい。

10

【0135】

一実施形態では、反応セルチャンバ5b31は、高いガス温度を達成するべく低圧下で操作され得る。次に、反応混合ガス供給源および制御器によって圧力を上げて反応速度を上げることが可能であり、高温により、水二量体のH結合およびH₂共有結合の少なくとも1つの熱分解が生じて新生HOHおよび原子Hが保たれる。熱分解を達成する例示的な閾値ガス温度は、約3300℃である。約3300℃よりも高い温度のプラズマでは、H₂O二量体結合が切断されることで新生HOHが形成されてハイドリノ触媒として機能する可能性がある。反応セルチャンバのH₂O蒸気圧、H₂圧力、およびO₂圧力の少なくとも1つは、約0.01トル～100気圧、0.1トル～10気圧、および0.5トル～1気圧の少なくとも1つの範囲であり得る。電磁（EM）ポンピング速度は、約0.01mL/秒～10,000mL/秒、0.1mL/秒～1000mL/秒、および0.1mL/秒～100mL/秒の少なくとも1つの範囲であり得る。実施形態では、最初に高い点火力および低圧のうちの少なくとも1つを維持することで、プラズマおよびセルを加熱して熱分解が達成され得る。初期電力は、高周波パルス、高デューティサイクル、より高い電圧、より高い電流を有するパルス、および連続電流のうちの少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、点火力の少なくとも1つを低減することが可能であり、プラズマおよびセルの加熱に続いて圧力を上昇させて熱分解を達成し得る。別の実施形態では、SunCell（登録商標）は、ハイドリノ反応プラズマおよびセルを加熱して熱分解を達成するための、プラズマトーチ、グロー放電、マイクロ波、またはRFプラズマ源を含み得る。

20

30

【0136】

実施形態では、点火システムは、電流を流し、点火が達成されると電流を遮断する、少なくとも1つのスイッチを備える。電流の流れは、溶融金属流の接触によって開始され得る。スイッチングは、例えば、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）とシリコン制御整流器（SCR）との少なくとも1つ、および、少なくとも1つの金属酸化物半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）の手段によって、電子的に実行されてもよい。あるいは、点火は機械的に切り替えられてもよい。入力点火エネルギーに対してハイドリノ生成エネルギー出力を最適化するために、点火後に電流を遮断してもよい。点火システムは、制御可能な量のエネルギーが燃料に流入して点火を引き起こし、プラズマを発生させる段階でエネルギー出力をオフにすることを可能にするスイッチを備え得る。一実施形態では、大電流電気エネルギーの短いバーストを提供する電力源は、

40

100A～1,000,000A、1kA～100,000A、10kA～50kAの少なくとも1つの範囲の大電流の交流、直流、または交流-直流混合を引き起こすように選択された電圧と、

1A/cm²～1,000,000A/cm²、1000A/cm²～100,000A/cm²、および2000A/cm²～50,000A/cm²の少なくとも1つの範囲内の直流またはピーク交流電流密度との少なくとも1つを備え、

50

ここで、電圧が固体燃料の導電率によって決定され、該電圧は所望の電流に固体燃料サンプルの抵抗を乗じた値によって与えられ、
上記直流またはピーク交流電圧が $0.1\text{ V} \sim 500\text{ kV}$ 、 $0.1\text{ V} \sim 100\text{ kV}$ 、および $1\text{ V} \sim 50\text{ kV}$ の少なくとも1つの範囲内にあり、さらに、
交流周波数の範囲が $0.1\text{ Hz} \sim 10\text{ GHz}$ 、 $1\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ 、 $10\text{ Hz} \sim 100\text{ kHz}$ 、および $100\text{ Hz} \sim 10\text{ kHz}$ の少なくとも1つである。

【0137】

システムはさらに、リチウムイオンバッテリーといったバッテリーといった始動電力／電源を備える。あるいは、グリッド電力といった外部電力を、外部電源から発電機への接続を介して始動用に提供してもよい。接続は、エネルギー出力バスバーを含め得る。始動電源は、溶融金属導電性マトリックスを維持するための加熱器への電力供給、注入システムへの電源、および点火システムへの電源の少なくとも1つであり得る。

10

【0138】

SunCell（登録商標）は、高圧水電解槽、例えば高圧水素を提供するために高圧の水を有する陽子交換膜（PEM）電解槽を含むものを得る。 H_2 および O_2 チャンバのそれぞれは、汚染物質の H_2 および O_2 をそれぞれ除去するための再結合器を備える。PEMは、陽極および陰極区画の隔離板および塩橋のうちの少なくとも1つとして機能して、水素を陰極で発生させ、酸素を陽極で別個のガスとして発生させることを可能にさせ得る。陰極は、ニジカルコゲン化合物水素発生触媒、例えば、硫黄をさらに含み得るニオブおよびタンタルの少なくとも1つを含むもの等を含み得る。陰極は、PtまたはNiといった当該技術分野で公知のものを含み得る。水素は、高圧で発生させて反応セルチャンバ5b31に供給してもよく、または水素透過性膜への透過によって供給してもよい。SunCell（登録商標）は、陽極コンパートメントから貯蔵容器またはベントへの酸素ガスの供給点までの酸素ガス供給管を備えてもよい。一実施形態では、SunCell（登録商標）はセンサ、プロセッサ、および電解電流制御器を備える。

20

【0139】

別の実施形態では、水素燃料は、水の電気分解、天然ガスの改質、合成ガス反応と蒸気と炭素を反応させて H_2 と CO および CO_2 を生成する水性ガスシフト反応のうちの少なくとも1つ、ならびに当業者に既知の水素製造の他の方法によって、得られ得る。

【0140】

別の実施形態において、水素は、供給された水およびSunCell（登録商標）によって発生させた熱を使用する熱分解によって発生させ得る。熱分解サイクルは、開示の1つ、または金属およびその酸化物、例えば SnO / Sn および ZnO / Zn の少なくとも1つに基づくものといった当該技術分野で既知の1つを含み得る。誘導結合加熱器、EMポンプ、および点火システムが始動時に電力を消費するだけの実施形態では、寄生電力要件が非常に低くなるように水素を熱分解によって発生させてもよい。SunCell（登録商標）は、リチウムイオン電池といった電池を備えて、ガスセンサといったシステムを作動させ、反応プラズマガス用のシステムといった制御システムに電力を供給し得る。

30

【0141】

電磁流体（MHD）変換器

交差磁場におけるイオンまたは導電性媒体の質量流の形成に基づく電荷分離は、電磁流体（MHD）電力変換として周知の技術である。正イオンおよび負イオンは、ローレンツ方向を反対方向に受け、対応するMHD電極で受け取られて、それらの電極間の電圧に影響を与える。イオンの質量流を形成する典型的なMHDの方法は、偏向されたイオンを受け取るために偏向場に対して交差する一組のMHD電極で交差した磁場を通過する高速流を形成させるべく、ノズルからイオンが注入された高圧ガスを膨張させることである。一実施形態では、MHD変換器の交差磁場部を通過する高速流を形成させるために膨張するプラズマと高導電性、高圧、高温の溶融金属蒸気を発生させるべく、圧力は通常大気圧よりも高く、方向性のある質量流はハイドリノ反応によって実現され得る。高速流は、MHD変換器を通過して軸方向または径方向であってもよい。ヘルムホルツコイルまたは磁気ボ

40

50

トルといった閉じ込め磁石で、さらに方向性のある流れが実現され得る。

【0142】

具体的には、図1～12に示すMHD発電システムは、開示のハイドリノ反応プラズマ供給源、例えば、EMポンプ5k aと、少なくとも1つの容器5 cと、二重溶融金属注入器5 k 6 1を含むものといった少なくとも2つの電極と、H O H触媒およびHの供給源といったハイドリノ反応物の供給源と、電圧および電流を電極に印加してハイドリノ反応物からプラズマを形成する電力源2を含む点火システムと、MHD発電器とを含むものを、備える。一実施形態では、点火システムは、大電流パルスに対応した容量でパルス点火を実現するべく、電圧および電流の供給源、例えば直流電源供給およびコンデンサのバンクを備えてもよい。二重溶融金属注入器の実施形態では、電流は、注入された溶融金属流を通して流れ、流れが接続するときにプラズマに点火する。ハイドリノ反応プラズマ供給源とMHD発電器とを含むMHD発電機システムの構成要素は、耐酸化性金属といった耐酸化性材料、耐酸化性被膜を含む金属、およびシステムを構成するセラミックの少なくとも1つから構成され、また、該システムが空気中で操作され得るようにする。

10

【0143】

図1～22に示される電磁流体発電器は、z軸を横切る磁束の供給源、MHD変換器300を通る軸方向の溶融金属蒸気、およびプラズマ流の方向を含み得る。伝導性のある流れは、z軸に沿ったガスの膨張により、z軸に沿った優先的な速度を有し得る。ヘルムホルツコイルまたは磁気ボトルといった閉じ込め磁石によって、さらに方向性のある流れが実現され得る。従って、金属の電子およびイオンは、横磁束の領域に伝播する。伝播する電子とイオンとに対するローレンツ力は、

20

【数23】

$$\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (38)$$

で与えられる。この力は、電荷の速度と磁場を横切る方向であり、正イオンと負イオンでは反対方向である。従って、横方向の電流が形成される。横磁場の供給源は、平行な速度分散を持つ流れる電荷の交差偏向（式（38））を最適化するために、z軸に沿った位置の関数として異なる強度の横磁場を提供する構成要素を含み得る。

【0144】

容器5 cの溶融金属は、液体および気体の少なくとも1つの状態であり得る。容器5 c溶融金属は、MHD作動媒体として定義され得るものであり、そのように呼ばれることもあり、または溶融金属と呼ばれることもあり、この場合、溶融金属はさらに液体および気体の少なくとも1つの状態であり得る。溶融金属、液体金属、金属蒸気、または気体金属といった特定の状態が使用可能であり、別の物理的状态が存在してもよい。例示的な溶融金属は、液体および気体状態の少なくとも1つであり得る銀である。MHD作動媒体は、動作温度範囲で液体状態と気体状態との少なくとも1つであり得る、添加された金属の少なくとも1つ、化合物、例えば、動作温度範囲で液体および気体状態の少なくとも1つであり得る本開示のもの1つ、ならびに、気体、例えば、ヘリウムまたはアルゴンといった希ガス、水、H₂、および本開示の他のプラズマガスの少なくとも1つを含む添加剤をさらに含んでもよい。MHD作動媒体添加剤は、MHD作動媒体との任意の所望の比率であってよい。一実施形態では、媒体と添加剤媒体との比率は、MHD変換器の任意の電気変換性能を与えるように選択される。銀または銀銅合金といった作動媒体は、過飽和条件下で使用されてもよい。

30

40

【0145】

一実施形態では、MHD変換器300は、ファラデー、チャネルホール、およびディスクホールタイプの少なくとも1つを備える。チャネルホールMHDの実施形態では、膨張または発電チャネル308は、z軸に沿って垂直に配向されてもよい。銀蒸気といった溶融金属プラズマおよびプラズマは、絞りまたはノズルスロット307といった加速器部を通して流れ、その後、膨張部308が続く。該チャネルは、x軸に沿った流れ方向に対して

50

横向きのハルバッハ配列のような超伝導磁石または永久磁石といったソレノイド磁石 306 を備え得る。ダクト形状の MHD 発電機の最適な磁場は、サドル形状のようなものであってもよい。磁石は、MHD 磁石取り付けブラケット 306a によって固定されてもよい。磁石は、液体寒剤を含んでもよく、または液体寒剤を伴うまたは伴わない低温冷凍機を含んでもよい。極低温冷凍機は乾式希釈冷凍機を含み得る。該磁石は、例えば、C 字形または長方形のバックヨークといったヨークの磁場の戻り経路を備え得る。例示的な永久磁石材料は SmCo であり、例示的なヨーク材料は磁気 CRS、冷間圧延鋼、または鉄である。該発電機は、磁場 (B (ベクトル)) を横切って MHD 電極 304 の両端に電圧を発生する横ローレンツ偏向イオンを受け取るべく、y 軸に沿ったセグメント電極 304 といった少なくとも 1 組の電極を備え得る。別の実施形態では、発電チャンネル 308 といった少なくとも 1 つのチャンネルは、円筒状壁チャンネルといった平面壁を有するもの以外の形状を含み得る。電磁流体の生成は、Walsh [E. M. Walsh, Energy Conversion Electromechanical, Direct, Nuclear, Ronald Press Company, NY, NY, (1967), pp. 221-248] によって開示されており、その完全な開示を参照として本明細書に組み込まれる。磁場強度を増加させることにより、ローレンツ力を所望の強度まで増加させることが可能である。MHD 磁石 306 の磁束を増加させることが可能である。一実施形態では、磁束は、約 0.01 T ~ 15 T、0.05 T ~ 10 T、0.1 T ~ 5 T、0.1 T ~ 2 T、および 0.1 T ~ 1 T の少なくとも 1 つの範囲にあってもよい。

10

20

【0146】

一実施形態では、ディスクジェネレータには、反応セルチャンバからディスクの中心へのプラズマ流を維持するためのプラズマ入口、溶融金属を収集するために縁部に巻き付けられたダクト、さらにはおそらく、再循環器および再循環器によって反応セルチャンバに再循環されるガスが含まれる。磁気励起場は、ディスクの上下に一对の円形ヘルムホルツコイルを含み得る。磁石は、単純な平行な磁力線を供給することが可能であり、他の設計と比較してプラズマに比較的近傍であってもよく、さらに、磁場の強さは、距離の 3 乗として増加する。ファラデー電流は、ディスクの周囲にほぼ完全短絡で流れ得る。ディスク MHD 発電機は、リング電極をさらに含むものであってもよく、中心近くのリング電極と周辺近くのリング電極との間をホール効果電流が流れ得る。

30

【0147】

溶融金属蒸気による MHD 電極の電氣的短絡を回避するため、電極 304 (図 1) は、導線 305a のスタンドオフとして機能し、さらに発電チャンネルの壁から電極のスペーサとして機能する、電気絶縁体で覆われた導電ポスト 305 にそれぞれ取り付けられた導体を含み得る。電極 304 は、セグメント化され得、そして陰極 302 および陽極 303 を含み得る。スタンドオフ 305 を除いて、電極は発電チャンネル 308 内で自由に吊り下げられてもよい。垂直軸に沿う電極の間隔は、溶融金属の短絡を防ぐのに十分なものであり得る。電極は、W または Mo といった耐火性導体を含み得る。導線 305a は、BN といった耐火性絶縁体で絶縁可能であるワイヤに接続され得る。ワイヤは、金属を含み得る MHD バスバー貫通フランジ 301 でチャンネルを貫通するハーネスに結合してもよい。MHD 変換器の外では、ハーネスがパワーコンソリデーターと反転器とに接続され得る。一実施形態では、MHD 電極 304 は、液体銀電極といった液体電極を含む。一実施形態では、点火システムは液体電極を含み得る。点火システムは直流または交流であってもよい。反応器は、石英、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、または Pyrex (パイレックス (登録商標)) といったセラミックを含み得る。液体電極は、銀といった溶融金属が充填された微細孔をさらに含み得るセラミックフリットを備えてもよい。

40

【0148】

一実施形態では、ハイドリノ反応混合物は、酸素、水蒸気、および水素のうちの少なくとも 1 つを含み得る。MHD 構成要素は、酸化雰囲気下で安定である、ジルコニアおよびハフニアの少なくとも 1 つといった金属酸化物といったセラミック、あるいはシリカまたは石英といった材料を含み得る。セラミック部品間のシールは、グラファイトまたはセラミ

50

ック織りを含み得る。一実施形態では、発電機の少なくとも1つの構成要素はセラミックを含んでもよく、該セラミックは、少なくとも1つの、金属酸化物、アルミナ、ジルコニア、マグネシア、ハフニア、炭化ケイ素、炭化ジルコニウム、ニホウ化ジルコニウム、窒化ケイ素、および、 $Li_2O \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ システム (LAS システム)、 $MgO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ システム (MAS システム)、 $ZnO \times Al_2O_3 \times nSiO_2$ システム (ZAS システム) といったガラスセラミックを含み得る。SunCell (登録商標) のセラミック部品は、開示の手段、例えば、2つ以上のセラミック部品のセラミック接着剤、金属部品へのセラミックのろう付け、スリップナットシール、ガスケットシール、ウェットシールによって、結合され得る。ガスケットシールは、ガスケットでシールされた2つのフランジを備えてもよい。フランジは、ボルトといった留め具と一緒に引き抜かれる。一実施形態では、MHD電極304は、動作中の腐食または劣化の影響を受けにくくする可能性がある材料を含み得る。一実施形態では、MHD電極304は、導電性固体酸化物といった導電性セラミックを含み得る。別の実施形態では、MHD電極304は、液体電極を含み得る。液体電極は、電極動作温度で液体である金属を含み得る。液体金属は、溶融銀といった作動媒体金属を含み得る。溶融電極金属は、溶融金属を含浸させたマトリックスを含み得る。マトリックスは、Wといった金属、炭素、導電性セラミック、または本開示の別の耐火性材料といった耐食性材料を含み得る。負電極は、固体高融点金属を含み得る。負極性は、負電極を酸化から保護し得る。正電極は、液体電極を含み得る。

10

20

30

40

【0149】

一実施形態では、導電性セラミック電極は、開示、例えば、 ZrC 、 HfC 、 WC といった炭化物、または、 ZrB_2 といったホウ化物、または、 $ZrC-ZrB_2$ 、 $ZrC-ZrB_2-SiC$ といった複合材料、および20% SiC 複合材を使用する ZrB_2 の1つを含み得るもので、1800℃まで動作し得る。電極は炭素を含み得る。一実施形態では、複数の液体電極は、共通のマニホールドを介して液体金属を供給されてもよい。液体金属は、EMポンプによってポンピングされ得る。液体電極は、金属酸化物マトリックスといったセラミックマトリックスといった非反応性マトリックスに含浸された溶融金属を含み得る。あるいは、液体金属は、連続的に溶融金属を供給するべく、マトリックスを介してポンピングされてもよい。一実施形態では、電極は、点火電極といった連続的に注入される溶融金属を含み得る。注入器は、 ZrO_2 といった金属酸化物といった非反応性耐火材料を含み得る。一実施形態では、各液体電極は、MHDチャンネルのプラズマに曝露される溶融金属流を含み得る。

【0150】

MHD磁石306は、永久磁石および電磁石のうちの少なくとも1つを含み得る。電磁石306は、対応する極低温管理を備えた非冷却、水冷、および超伝導磁石のうちの少なくとも1つであり得る。例示的な磁石は、MHDチャンネル308を磁化させることができるソレノイドまたはサドル型コイル、そしてディスクチャンネルを磁化させることができるレーストラックコイルである。超伝導磁石システムは、少なくとも1つの超低温冷却器と寒剤デュワーシステムを備え得る。超伝導磁石システム306は、(i) $NbTi$ あるいは $NbSn$ といった超伝導体が銅線といった通常の導体上に巻かれており、振動といった手段によって引き起こされる超伝導体状態の一時的な局所クエンチ、あるいは一般に $YBCO-123$ または単に $YBCO$ と呼ばれる $YBa_2Cu_3O_7$ といった高温超伝導体 (HTS) から保護され得る、超伝導コイルと、(ii) コイルの両側に液体ヘリウムを供給する液体ヘリウムデュワーと、(iii) 液体ヘリウムデュワーと液体窒素デュワーとの両方が放射バッフルと放射シールドとを備えてよく、壁に銅、ステンレス鋼、アルミニウムの少なくとも1つと高真空断熱材とを含み得る、ソレノイド磁石の内半径と外半径とに液体窒素がある液体窒素デュワーと、(iv) 電力出力端子を介して、SunCell (登録商標) 発電機の電力出力によって電力を供給し得るクライオポンプとコンプレッサを接続し得る各磁石の入口と、を備える。

【0151】

50

一実施形態では、電磁流体電力変換器は、セグメント化されたファラデー発電機である。別の実施形態では、イオン流のローレンツ偏向によって形成される横電流は、イオンの入力流（ z 軸）に平行な方向にさらにローレンツ偏向を受け、 z 軸に沿って相対的に変位する、少なくとも第1のMHD電極と第2のMHD電極との間にホール電圧を発生する。そのような装置は、電磁流体電力変換器のホール発電機の実施形態として当該技術分野で知られている。 xy 平面の z 軸に対して角度が付けられたMHD電極を有する同様の装置は、本発明の別の実施形態を含み、「窓部フレーム」構造を有する対角発電機と呼ばれる。いずれの場合も、電圧は電氣的負荷を介して電流を駆動する。セグメント化されたファラデー発電機、ホール発電機、および対角発電機の実施形態は、Petrickによって与えられる。J. F. Louis, V. I. Kovbasyuk, オープンサイクル電磁流体力発電 (Open-cycle Magnetohydrodynamic Electrical Power Generation), M Petrick, and B. Ya Shumyatsky, Editors, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois (1978), pp. 157-163」。その完全な開示は参照として組み込まれる。

10

20

30

40

50

【0152】

SunCell (登録商標) は、少なくとも1つのMHD作動媒体戻し用導管310、1つの戻し用貯留槽311、および対応するポンプ312を含み得る。ポンプ312は、電磁 (EM) ポンプで構成し得る。SunCell (登録商標) は、二重溶融金属導管310、戻し用貯留槽311、および対応するEMポンプ312で構成し得る。対応する入口上昇管5qaは、各戻し用貯留槽311の溶融金属液面を制御し得る。戻し用EMポンプ312は、MHD凝縮器チャネル309の端部からMHD作動媒体をポンピングして貯留槽311に戻し、次に対応する注入器貯留槽5cに戻し得る。別の実施形態では、溶融金属戻り流は、戻し用導管310を通して、対応する戻し用EMポンプ312に直接、次いで対応する注入器貯留槽5cに流れる。一実施形態では、銀といったMHD作動媒体が約10気圧といった圧力勾配に抗してポンピングされ、噴射、点火、膨張、および戻り流を含む溶融金属流回路を完了する。高圧を達成するべく、EMポンプは一連の段を含む。SunCell (登録商標) は、一对の貯留槽5cを含む二重溶融金属注入器システムを備え得てもよく、該一对の貯留槽5cのそれぞれがEMポンプ注入器5kaおよび5k61と入口上昇管5qaを備えることで、対応する貯留槽5cの溶融金属液面を制御し得る。戻り流は、対応するEMポンプアセンブリ5kkの基部5kk1に入り得る。

【0153】

MHD発電機は、膨張流を受け取る凝縮器チャネル部309を備え、かつ発電機は、戻り流チャネルまたは導管310をさらに含み得る。ここで、銀蒸気といったMHD作動媒体は、凝縮器部で温度、圧力、およびエネルギーの少なくとも1つが失われると冷却され、そしてチャネルまたは導管310を通して貯留槽に戻る。発電機は、貯留槽5cおよびEMポンプ注入器5kaへの戻り流をポンピングするために、少なくとも1つの戻し用ポンプ312および戻し用ポンプ管313を含み得る。戻し用ポンプおよびポンプ管は、液体、蒸気、およびガスのうちの少なくとも1つを送り出すことができる。戻し用ポンプ312および戻し用ポンプ管313は、電磁 (EM) ポンプおよびEMポンプ管を含み得る。EMポンプへの入口は、ポンプ出口圧力を増加させるために、出口ポンプ管の直径よりも大きな直径を有してもよい。一実施形態では、戻し用ポンプは、EMポンプ注入器電極5kaの注入器を備えてもよい。二重溶融金属注入器の実施例では、発電機は、リターン貯留槽311と、戻し用EMポンプ312といった対応する戻し用ポンプとを備える。戻し用貯留槽311は、溶融銀流といった戻り溶融金属のバランスをとり、液体銀と混合された銀蒸気を凝縮または分離し得る。貯留槽311は、銀蒸気を凝縮するための熱交換器を含んでもよい。貯留槽311は、液体銀を優先的に汲み上げて液体を気体銀から分離するための第1の段電磁ポンプを備えてもよい。一実施形態では、液体金属は遠心力によって戻し用EMポンプ312に選択的に注入され得る。戻し用導管または戻し用容器は、遠心分離部を含み得る。遠心分離機の容器は、入口から出口に向かって先細りに形成されても

よく、それにより、遠心力が下部より上部の方が大きくなり、熔融金属を強制的に下部に移動させて金属蒸気といったガスおよび任意の作動媒体ガスから分離するようにする。あるいは、SunCell（登録商標）は、液体種および気体種を分離するための遠心力を発生すべく、戻りの熔融金属の流れ方向に垂直な軸を中心に回転する遠心分離テーブルに取り付けられてもよい。

【0154】

一実施形態では、凝縮した金属蒸気が2つの独立した戻し用貯留槽311に流れ込み、各戻し用EMポンプ312が熔融金属に対応する容器5cに送り込む。一実施形態では、2つの戻し用貯留槽311およびEMポンプ貯留槽5cの少なくとも1つは、液面制御システム、例えば入口上昇管5qaといった開示されたもの1つを備える。一実施形態では、戻り熔融金属は、戻し用容器内の液面に応じて、より速いまたはより遅い速度で戻し用貯留槽311に吸い込まれ得る。ここで、吸引速度は、入口上昇管といった対応する液面制御システムによって制御される。

10

【0155】

一実施形態では、MHD変換器300は、誘導結合加熱器といった少なくとも1つの加熱器をさらに含んでもよい。加熱器は、MHD作動媒体、例えば、反応セルスペース5b31、MHDノズル部307、MHD発電機部308、MHD凝縮部309、戻し用導管310、戻し用貯留槽311、戻し用EMポンプ312、および戻し用EMポンプ管313の少なくとも1つと接触状態にある構成要素を予熱し得る。加熱器は、該加熱器を作動および作動停止させるための少なくとも1つのアクチュエータを含み得る。加熱器は、複数のコイルおよびコイル部のうちの少なくとも1つを含み得る。コイルは、当該技術分野で既知のものを含み得る。コイル部は、本開示の1つといった少なくとも1つの分割コイルを含み得る。一実施形態では、MHD変換器は、熱交換器316といった少なくとも1つの冷却システムを含んでもよい。MHD変換器は、少なくとも1つのセルと、MHD構成要素、例えば、チャンバ5b31、MHDノズル部307、MHDマグネット306、MHD電極304、MHD発電機部308、MHD凝縮部309、戻し用導管310、戻し用貯留槽311、戻し用EMポンプ312、および戻し用EMポンプ管313の群の少なくとも1つとを備え得る。クーラーは、MHD流れチャネルからの熱損失、例えば、チャンバ5b31、MHDノズル部307、MHD発電機部308、およびMHD凝縮部309の少なくとも1つからの熱損失を排除することが可能である。冷却器は、MHD作動媒体リターンシステム、例えば、戻し用導管310、戻し用貯留槽311、戻し用EMポンプ312、および戻し用EMポンプ管313の少なくとも1つから熱を取り除くことが可能である。冷却器は、周囲大気への熱を拒絶し得る放射熱交換器を含んでもよい。

20

30

【0156】

一実施形態では、冷却器は、凝縮部309から貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31、ノズル307、およびMHDチャネル308のうちの少なくとも1つにエネルギーを伝達する再循環器または復熱器を備えてもよい。熱といった伝達エネルギーは、例えば、残留熱エネルギーおよび圧力エネルギー由来のもの、ならびに、気化した金属、速度論的エアロゾル、および希ガスといったガスの少なくとも1つを含むものである作動媒体の気化熱であってもよい。ヒートパイプは能動的二相装置で、数十分の1度の温度降下で、数メートルの距離にわたって、例えば最大20MW/m²の大きな熱流束を伝達する。従って、少量の作動流体のみを使用して、材料への熱応力を劇的に低減させることができる。ナトリウムおよびリチウムのヒートパイプは、大きな熱流を伝達し、軸方向に沿ってほぼ等温を維持され得る。リチウムヒートパイプは、最大200MW/m²を伝達することができる。一実施形態では、ヒートパイプ、例えば、ナトリウムまたはリチウムといった液体アルカリ金属といった熔融金属のものは、Wといった高融点金属に入れられており、凝縮器309からの熱を伝達し、それを反応セルチャンバ5b31またはノズル307に再循環させ得る。一実施形態では、回収された熱エネルギー出力がMHDチャネル308へのエネルギー入力の一部となるように、少なくとも1つのヒートパイプが銀の気化熱を回収して再循環させる。

40

50

【0157】

一実施形態では、MHD変換器を構成するものといったSunCell（登録商標）の構成要素の少なくとも1つは、SunCell（登録商標）発電機の一部から別の部分への熱伝達の少なくとも1つへのヒートパイプを含み、誘導結合加熱器といった加熱器からSunCell（登録商標）構成要素、例えばEMポンプ管5k6、貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31、ならびにMHD戻し用導管310、MHD戻し用貯留槽311、MHD戻し用EMポンプ312、およびMHD戻し用EM管といったMHD溶融金属戻りシステムへ、熱を伝達し得る。あるいは、SunCell（登録商標）または少なくとも1つの構成要素は、当技術分野で知られているようなオープン内で加熱されてもよい。一実施形態では、少なくとも始動のために少なくとも1つのSunCell（登録商標）構成要素が加熱されてもよい。

10

【0158】

SunCell（登録商標）加熱器415は、抵抗加熱器または誘導結合加熱器であってもよい。例示的なSunCell（登録商標）加熱器415は、最高1400℃までの動作温度が可能であり、高い抵抗率および良好な耐酸化性を有するフェライトクロムアルミニウム合金（FeCrAl合金）を含むKanthal A-1（カンタル（Kanthal））抵抗加熱線を備える。適切な発熱体用の追加のFeCrAl合金は、Kanthal APM、Kanthal AF、Kanthal D、およびAlkrothalの少なくとも1つである。抵抗線素子といった加熱素子は、Nikrothal 80、Nikrothal 70、Nikrothal 60、およびNikrothal 40の少なくとも1つである、1100℃から1200℃の範囲で動作するNiCr合金を含んでもよい。あるいは、加熱器415は、ニケイ化モリブデン（MoSi₂）、酸化雰囲気中で1500℃～1800℃の範囲で動作し得る、例えば、Kanthal Super 1700、Kanthal Super 1800、Kanthal Super 1900、Kanthal Super RA、Kanthal Super ER、Kanthal Super HT、およびKanthal Super NCの少なくとも1つを含んでもよい。加熱素子は、アルミナと合金化されたニケイ化モリブデン（MoSi₂）を含んでもよい。加熱素子は、アルミナ被膜といった耐酸化性被膜を有することができる。抵抗加熱器415の加熱素子は、最大1625℃の温度で動作し得るSiCで構成されてもよい。

20

30

【0159】

SunCell（登録商標）加熱器415は、外側に開いているがSunCell（登録商標）構成要素の内側に閉じている構成要素壁のサーモウェルまたは陥凹を通して導入し得る内部加熱器を含んでもよい。SunCell（登録商標）加熱器415は、加熱されたSunCell（登録商標）の壁を横切る磁気誘導によって、または、加熱されたSunCell（登録商標）の構成要素の壁を貫通する液体電極によって、電力が内部加熱器に結合され得る内部抵抗加熱器を含んでもよい。

【0160】

SunCell（登録商標）加熱器は、その効率と有効性の少なくとも1つを向上させるために断熱材を含み得る。断熱体は、周囲環境といった望ましい受け取り側または熱交換器へ熱をより効果的に伝達するべく、始動後に取り除かれてもよい。断熱材は、機械的に取り除かれてもよい。断熱材は、真空対応チャンバおよびポンプを備えてもよく、断熱材は、真空吸引によって適用されるとともに、断熱材は、ヘリウムといった希ガスといった伝熱ガスを加えることによって反転される。ヘリウムといった熱伝導ガスを追加または排気できる真空チャンバは、調整可能な断熱材として機能し得る。SunCell（登録商標）は、ガス循環システムを備えてもよく、その始動により強制対流熱伝達を引き起こして断熱モードから非断熱モードに切り替えることが可能である。

40

【0161】

別の実施形態では、SunCell（登録商標）は、粒子断熱材と、SunCell（登録商標）の暖機中に断熱材を収容するために断熱される構成要素の周りに少なくとも1つ

50

のチャンバを有する少なくとも1つの断熱容器とを備える。例示的な粒子状断熱材は、砂およびセラミックビーズ、例えばアルミナまたはムライトビーズといったアルミナシリケートビーズのうちの少なくとも1つを含む。ウォームアップ後にビーズを取り除いてもよい。ビーズは重力流によって除去されてもよく、ハウジングはビーズ除去のためのシュートを含み得る。ビーズは、オーガ、コンベヤー、空気圧ポンプといったビーズ輸送装置で機械的に取り除くことも可能である。粒子状断熱材は、断熱容器を充填するときの流れを増加させるべく、水といった液体といった流動化剤をさらに含んでもよい。液体を加熱前に除去するとともに、断熱材の移送中に追加してもよい。絶縁液体混合物は、スラリーを含み得る。SunCell（登録商標）は、断熱容器から断熱材を充填または空にするために、少なくとも1つの追加の容器を含み得る。充填容器は、攪拌機といったスラリーを維持するための手段を含み得る。

10

【0162】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、絶縁される構成要素の周囲にある液体断熱容器、液体断熱材、およびポンプをさらに含み、始動後に排出または排出される液体を反転可能な断熱材が含んでもよい。液体断熱容器は、薄壁の石英を含み得る。例示的な液体断熱材は、 29 W/mK の熱伝達係数を有するガリウムであり、他は、 8.3 W/mK の熱伝達係数を有する水銀である。液体断熱材は、ガリウムといった液体が放熱を反射する少なくとも1つの放射シールドを備えてもよい。別の実施形態では、液体絶縁体は、アルカリおよびアルカリ土類ハロゲン化物、炭酸塩、水酸化物、酸化物、硫酸塩、ならびに硝酸塩の複数の少なくとも2つからなる混合物等、塩類の溶融共晶混合物といった溶融塩を含み得る。液体絶縁体は、加圧液体または CO_2 または水といった超臨界液体を含み得る。

20

【0163】

一実施形態では、反転可能な断熱材は、少なくとも、銀といった溶融金属の溶融から約SunCell（登録商標）の動作温度までの範囲にわたって、温度とともにその熱伝導率を大幅に増加させる材料を含み得る。反転可能な断熱材は、加熱中に絶縁性であり、かつ所望の始動温度を超える温度で熱伝導性になる固体化合物を含み得る。石英は、銀の融点から石英SunCell（登録商標）の望ましい動作温度である約 1000°C ～ 1600°C の望ましい動作温度まで、熱伝導率が大幅に増加する例示的な絶縁材料である。石英断熱材の厚さを調節して、始動中の断熱材の望ましい動作と、動作中の負荷への熱伝達とを達成し得る。別の例示的な実施形態は、高度に多孔質の半透明セラミック材料を含む。

30

【0164】

別の実施形態では、熱は、主に放熱による加熱されたSunCell（登録商標）からの損失である。断熱材は、SunCell（登録商標）を収容する真空チャンバおよび放熱シールドのうちの少なくとも1つを含み得る。放熱シールドは、始動後に取り除かれてもよい。SunCell（登録商標）は、熱シールドの回転および並進の少なくとも一方を実行するための機構を備えていてもよい。熱シールドは、シリカまたはアルミナ断熱材といった断熱材の裏打ち層をさらに含んでもよい。例示的な実施形態では、放熱シールドは、反射表面積を減少させるべく回転されてもよい。別の実施形態では、放熱シールドは、 MoSi_2 加熱要素といった加熱要素をさらに含んでもよい。

40

【0165】

一実施形態では、EMポンプ管部405および406で誘導されるような誘導電流により、EMポンプ部405の銀が抵抗加熱によって溶解し得る。電流は、EMポンプ変圧器巻線401によって誘導され得る。EMポンプ管部405には、始動前に銀が予め充填される。一実施形態では、ハイドリノ反応の熱が1つのSunCell（登録商標）構成要素で熱くなり得る。例示的な実施形態では、誘導結合加熱器といった加熱器は、EMポンプ管5k6、貯留槽5c、および少なくとも反応セルチャンバ5b31の下部を加熱する。ハイドリノ反応の放熱により、他の少なくとも1つの構成要素、例えば、反応セル5b31の上部、MHDノズル307、MHDチャンネル308、MHD凝縮部309、およびMHD溶融金属戻し用システム（例えば、MHD戻し用導管310、MHD戻し用貯留槽3

50

11、MHD戻し用EMポンプ312、およびMHD戻し用EM管)のうちの少なくとも1つが加熱され得る。

【0166】

ハイドリノ反応物の供給源、例えば、 H_2O 、 H_2 、 CO_2 、およびCOの少なくとも1つは、透過性セル構成要素、例えばセルチャンバ5b31、貯留槽5c、MHD膨張チャンネル308、およびMHD凝縮部309の少なくとも1つを透過し得る。ハイドリノ反応ガスは、EMポンプ管5k6、MHD膨張チャンネル308、MHD凝縮部309、MHD戻し用導管310、戻し用貯留槽311、MHD戻し用ポンプ312、MHD戻し用EMポンプ管313等を介して、少なくとも1つの場所で溶融金属流に導入され得る。質量流量制御器といったガス注入器は、例えば、EMポンプ管5k6、MHD戻し用ポンプ312、およびMHD戻し用EMポンプ管313の少なくとも1つを介して、MHD変換器の高圧側に高圧で注入され得る。ガス注入器は、例えば、MHD凝縮部309、MHD戻し用導管310、および戻し用貯留槽311を介して少なくとも1つの場所等で、MHD変換器の低圧側の低圧でハイドリノ反応物を注入し得る。一実施形態では、質量流量制御器といった給水装置に溶融金属が逆流するのを防ぐべく、水および水蒸気のうちの少なくとも1つが、圧力アレスタと逆流防止弁をさらに備え得る流量制御器によって、EMポンプ管5k4を通して注入されてもよい。水は、セラミックまたはカーボン膜といった選択的透過性膜を通して注入され得る。

10

【0167】

一実施形態では、変換器は、PV変換器を含んでもよく、ハイドリノ反応物注入器は、送達部位の動作圧力での浸透または注入といった、少なくとも1つの手段によって反応物を供給し得る。別の実施形態では、SunCell(登録商標)は、水素ガスの供給源および酸素ガスの供給源をさらに含み得るものであり、これら2つのガスが組み合わされて、反応セルチャンバ5b31内に水蒸気を提供する。水素の供給源および酸素の供給源はそれぞれ、対応するタンク、直接または間接的にガスを反応セルチャンバ5b31に流す供給管、流れレギュレータ、流れ制御器、コンピュータ、流れセンサ、および少なくとも1つのバルブの少なくとも1つを含み得る。後者の場合、ガスは、反応セルチャンバ5b31とガス連通状態にあるチャンバ、例えば、EMポンプ5ka、容器5c、ノズル307、MHDチャンネル308、およびその他のMHD変換器構成要素(戻し用供給管310a、導管313a、ポンプ312a等)の少なくとも1つに流入し得る。一実施形態では、 H_2 および O_2 の少なくとも1つがEMポンプ管5k61の注入部に注入され得る。 H_2 および O_2 は、二重EMポンプ注入器の個別のEMポンプ管から注入され得る。あるいは、酸素および水素のうちの少なくとも1つといったガスは、MHDチャンネル308またはMHD凝縮部309といった銀蒸気圧がより低い領域の注入器を介して、セル内部に加えられてもよい。水素および酸素の少なくとも1つは、ナノ多孔性セラミック膜といったセラミック膜での選択性膜を介して、注入され得る。酸素は、Bi₂6Mo₁₀O₆₉で被膜されて酸素透過率を増加させ得るBaCo_{0.7}Fe_{0.2}Nb_{0.1}O_{3-δ}(BCFN)酸素透過性膜といった開示の1つの酸素透過性膜を介して、供給されてもよい。水素は、パラジウム-銀合金膜といった水素透過性膜を介して供給されてもよい。SunCell(登録商標)は、高圧電解槽といった電解槽を備えてもよい。電解槽は、純粋な水素が陰極区画によって供給され得る陽子交換膜を含んでもよい。陽極区画から純酸素が供給され得る。一実施形態では、EMポンプ部品は非酸化被膜または酸化保護被膜で被膜されており、さらに、水素および酸素は、2つの質量流量制御器を使用して制御された条件下で別々に注入され、ここで、その流れは、対応するガスセンサによって感知されたセル濃度に基づいて制御されてもよい。

20

30

40

【0168】

反応セルチャンバ5b31のハイドリノ反応混合物は、 H_2O および酸素を含む化合物の少なくとも1つの酸素の供給源をさらに含み得る。酸素を含む化合物といった酸素の供給源は、酸素をほぼ一定に維持するために過剰であり得るもので、セル動作中、ごく一部が H_2 ガスといったHの供給源と可逆的に反応してHOH触媒を形成する。酸素を含む例示

50

的な化合物は、本開示の MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 Al_2O_3 、 Li_2O 、 $LiVO_3$ 、 Bi_2O_3 、 Al_2O_3 、 WO_3 、および他のものである。酸素供給源化合物は、酸化物セラミック、例えば、イットリウムまたは酸化イットリウム (Y_2O_3) といったハフニア、酸化マグネシウム (MgO)、酸化カルシウム (CaO)、酸化ストロンチウム (SrO)、酸化タンタル (Ta_2O_5)、酸化ホウ素 (B_2O_3)、 TiO_2 、酸化セリウム (Ce_2O_3)、ジルコン酸ストロンチウム ($SrZrO_3$)、ジルコン酸マグネシウム ($MgZrO_3$)、ジルコン酸カルシウム ($CaZrO_3$)、およびジルコン酸バリウム ($BaZrO_3$) を安定させるべく使用され得る。

【0169】

一実施形態では、水素はガスインジェクターを通してガスとして注入され得る。水素ガスは、必要な流量を減少させて所望の出力を維持するべく、高圧、例えば 1 から 100 気圧の範囲内に保たれ得る。別の実施形態では、水素は透過膜を透過または拡散することにより反応セルチャンバ 5b31 に供給され得る。この膜は、ポリマー、シリカ、ゼオライト、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、カーボンといったセラミック、または $Pd-Ag$ 合金、ニオブ、 Ni 、 Ti 、ステンレス鋼といった金属、または当技術分野で知られている他の水素透過性材料、例えば $McLeod$ によって報告されているもの [$L. S. McLeod$ $McLeod$ 、*「微細加工されたパラジウム-銀合金膜を通る水素透過」* ($Hydrogen permeation through microfabricated palladium-silver alloy membranes$)、博士論文、ジョージア工科大学、2008 年 12 月、https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/31672/mcleod_logan_s_200812_phd.pdf] を含み得るもので、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。 H_2 透過率は、 Pd または $Pd-Ag$ 膜といった H_2 透過性膜の供給側と反応セル分離 5b31 の間の圧力差を増加させること、膜の面積を増加すること、膜の厚さを減らすこと、および膜の温度を上昇させることの少なくとも 1 つによって、増加され得る。膜は、約 1 ~ 500 気圧の範囲内等、より高い圧力差、約 0.01 cm^2 ~ 10 m^2 の範囲内のより広い面積、10 nm ~ 1 cm の範囲内の減少した厚み、および約 30 $^\circ C$ ~ 3000 $^\circ C$ の範囲内の高温の少なくとも 1 つの条件下で動作するための構造的サポートを提供するために、格子または穴あきバックギングを備え得る。格子は、水素と反応しない金属を含んでもよい。格子は、水素脆化に対して耐性があり得る。例示的な実施形態である透過係数が $5 \times 10^{-11} m^2 s^{-1} Pa^{-1}$ 、面積が $1 \times 10^{-3} m^2$ 、厚さが $1 \times 10^{-4} m$ の $Pd-Ag$ 合金膜は、 $1 \times 10^7 Pa$ の圧力差および 300 $^\circ C$ の温度で動作して、約 0.01 mol/s の H_2 流量を提供する。一実施形態では、透過性膜の外面上にプラズマを維持することによって、水素透過速度の増加がなされ得る。

【0170】

一実施形態では、貯留槽 5c、反応セルチャンバ 5b31、ノズル 307、MHD チャネル 308、MHD 凝縮部 309、ならびにその他の MHD 変換器構成要素 (戻し用供給管 310a、導管 313a、ポンプ 312a 等) といった内部コンパートメントを含む $SunCell$ (登録商標) および MHD 変換器の少なくとも 1 つの構成要素は、気体密封ハウジングまたはハウジングに収納される。ガス選択膜は、本開示の 1 つの半透性セラミックを含み得る。セルガスは、水素、酸素、およびアルゴンまたはヘリウムといった希ガスのうちの少なくとも 1 つを含み得る。外側ハウジングは、各ガスの圧力センサを備えてもよい。 $SunCell$ (登録商標) は、各ガスの供給源と制御器とを備えてもよい。アルゴンといった希ガスの供給源は、タンクを備え得る。水素および酸素の少なくとも一方の供給源は、高圧電解槽といった電解槽を備え得る。ガス制御器は、流れ制御器、ガスレギュレータ、およびコンピュータのうちの少なくとも 1 つを備え得る。ハウジング内のガス圧を制御して、貯留槽、反応セルチャンバ、および MHD 変換器構成要素といったセル内部の各ガスのガス圧を制御し得る。各ガスの圧力は、約 0.1 $Torr$ ~ 20 気圧の範囲内であり得る。図 9 ~ 21 に示す例示的な実施形態では、直線、分岐、または変形のもの

であってもよいMHDチャネル308およびMHD凝縮部309は、ガスハウジング309bと、圧力計309cと、ガス供給およびガス入口導管、ガス出口導管、およびフランジを含む排気アセンブリ309eとを備え、ここで、ガス透過膜309dは、MHD凝縮部309の壁に取り付けられてもよい。マウントは、本開示の焼結継手、金属化セラミック継手、ろう付け継手、または他のものを含み得る。ガスハウジング309bは、アクセスポートをさらに含み得る。ガスハウジング309bは、耐酸化性金属、例えばSS625といった金属、または、金属上の耐酸化性被膜、例えばモリブデンといった適切なCTEの金属上のイリジウム被膜を含み得る。あるいは、ガスハウジング309bは、セラミック、例えばジルコニア、アルミナ、マグネシア、ハフニア、石英といった金属酸化物セラミック、または、本開示の別のセラミックを含み得る。MHD戻し用導管310といった金属ガスのハウジング309bを通るセラミック貫通部は、冷却されてもよい。この貫通部は、カーボンシールを含み得るもので、シール温度は、金属の炭化温度およびセラミックの炭素還元温度よりも低い。溶融金属が高温であることから、シールを取り除いて、それを冷却してもよい。

10

【0171】

例示的な一実施形態では、MHD電気変換時の黒体プラズマの初期温度および最終温度は、3000Kおよび1300Kである。一実施形態では、MHD発電機は低圧側で冷却され、プラズマの流れを保持する。ホールまたは発電チャネル308は冷却されてもよい。冷却手段は、本開示の1つであり得る。MHD変換器300は、放射熱交換器といった熱交換器316を備え得るもので、該熱交換器は、その温度の関数としてエネルギーを放射し、約1000℃から1500℃の範囲等の望ましい最低チャネル温度範囲を維持するように設計され得る。放射熱交換器は、そのサイズと重量との少なくとも1つを最小化すべく、広い表面を備え得る。放射熱交換器316は、放射表面積を増大させるべく、ピラミッドまたはプリズムのファセットに構成され得る複数の表面を備え得る。放射熱交換器は空気中で動作し得る。放射熱交換器の表面は、(i)耐火物といったものの高温動作が可能こと、(ii)高い放射率を有すること、(iii)酸化に対して安定しており、妨害のない、または妨害されない放出を伴うテクスチャ表面といった高い表面積を提供することの群の少なくとも1つの特性を有する材料で、被膜されてもよい。例示的な材料は、MgO、ZrO₂、HfO₂、Al₂O₃といった酸化物セラミック、ならびにZrC-ZrB₂およびZrC-ZrB₂-SiC複合体といった他の酸化安定化セラミックである。

20

30

【0172】

発電機はさらに、蓄熱器または再生熱交換器を備えてもよい。一実施形態では、流れは、逆流状態で通過した後に注入システムに戻り、膨張部308またはその他の熱損失領域で熱を受け取り、反応した反応セルチャンバ5b31に注入される金属を予熱して、反応セルチャンバ温度を保持する。一実施形態では、少なくとも1つの作動媒体、例えば、銀と貴族の少なくとも1つ、貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31といったセル構成要素、およびMHD変換器構成要素、例えばMHD凝縮部309の少なくとも1つまたは他の高温の構成要素、例えば貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31、MHDノズル部307、MHDジェネレータ部308、MHD凝縮部309の群の少なくとも1つが、熱交換器によって加熱されてよく、該熱交換器は、貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31、MHDノズル部307、MHDジェネレータ部308、およびMHD凝縮部309の群の少なくとも1つ等、他の少なくとも1つのセルMHD構成要素から熱を受け取る。蓄熱器または再生熱交換器は、ある構成要素から別の構成要素に熱を伝達し得る。

40

【0173】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、少なくとも1つのセンサおよび制御器によって決定されるように、必要に応じて溶融金属を保管してSunCell（登録商標）に供給すべく、溶融金属オーバーフローシステム、例えば、オーバーフロータンク、少なくとも1つのポンプ、セル溶融金属貯蔵量センサ、溶融金属貯蔵量制御器、加熱器、温度制御システム、および溶融金属貯蔵量で構成されるものを、さらに含み得る。オーバ

50

ーフローシステムの溶融金属貯蔵量制御器は、入口上昇管およびEMポンプのような本開示の溶融金属レベル制御器を含み得る。オーバーフローシステムは、MHD戻し用導管310、戻し用貯留槽311、戻し用EMポンプ312、および戻し用EMポンプ管313のうちの少なくとも1つを含み得る。

【0174】

電磁ポンプはそれぞれ、液体金属用の2つの主要なタイプの電磁ポンプ、すなわち、液体金属を含む管全体に交流または直流磁場が確立され、交流または直流電流がそれぞれ、管壁に接続された電極を介して液体に供給される交流または直流伝導ポンプと、電流が印加された交流電場と交差し得る誘導モーターの場合と同様の、移動する場が必要な電流を誘導する誘導ポンプとの1つを含み得る。誘導ポンプは、環状線形、平坦線形、およびらせんの3つの主要な形式を含み得る。ポンプは、機械式および熱電ポンプ等、当技術分野で既知の他のものを含み得る。ポンプは、モーター駆動のインペラを備えた遠心ポンプを含み得る。電磁ポンプへの電力は、一定またはパルス化されることで、それぞれが対応する一定またはパルス化された溶融金属の注入を引き起こし得る。パルス注入は、プログラムまたは関数発生器によって駆動され得る。パルス注入は、反応セルチャンバ内にパルスプラズマを維持し得る。

【0175】

一実施形態では、EMポンプ管5k6は、断続的なまたはパルス溶融金属注入を引き起こすフロッチャップを含む。そのフロッチャップは、制御器を更に含む電子的に制御されるバルブのようなバルブを含んでもよい。そのバルブは、電磁バルブを含んでもよい。あるいは、そのフロッチャップは、通路を通して溶融金属が流れることができるように溶融金属のフローを定期的に交差するように回転する少なくとも1つの通路を備える回転ディスクを含んでもよいが、フローは、通路を含まない回転ディスクの交差によってブロックされる。

【0176】

溶融金属ポンプは、可動磁石ポンプ(MMP)、例えばM. G. Hvasta、W. K. Nollet、M. H. Anderson、「高温液体金属システム用の可動磁石ポンプの設計(Designing moving magnet pumps for high-temperature, liquid-metal systems) Nuclear Engineering and Design, Volume 327, (2018), pp. 228-237(参照によりその全体が組み込まれる)に記載のものを含み得る。MMPは、永久磁石の回転配列と多相磁場コイルとの少なくとも1つでMMPが移動磁場を発生し得る。一実施形態では、MMPは、MHD再循環および点火噴射のための二段ポンプといった多段ポンプを含み得る。二段階式MMPポンプは、シャフトを回転させる電気モーターといったモーターを含み得る。二段階MMPは、さらに2つのドラムを備え、各々が、各ドラムの表面に固定された極性が交互に変化する円周方向に取り付けられた磁石のセットと、ドラムを収納するU字型の部分を持つセラミック容器とを備え、各ドラムはシャフトによって回転され、セラミック容器内に溶融金属を流す。別のMMPの実施形態では、交互磁石のドラムは、ディスクの回転によってポンピングされる溶融金属を含むサンドイッチストリップセラミック容器の反対側のサイトの各ディスク表面で交互極性磁石の2つのディスクに置き換えられる。別の実施形態では、容器は、磁場透過性材料、例えば、ステンレス鋼といった非鉄金属または本開示の1つのセラミックを含み得る。磁石は、空冷または水冷といった手段によって冷却され、高温での動作を可能にする。

【0177】

例示的な商用交流EMポンプはCMI Novacast CA15であり、加熱および冷却システムは、溶融銀のポンピングをサポートするように変更され得る。入口部および出口部と銀を含む容器とを備えるEMポンプ管の加熱器は、抵抗性または誘導結合加熱器といった開示の加熱器によって加熱されてもよい。抵抗性または誘導結合加熱器といった加熱器は、EMポンプ管の外部にあってもよく、さらに、ヒートパイプ等、加熱器からEMポンプ管に熱を伝達する熱伝達手段を含む。ヒートパイプは、リチウム作動流体によるような高温で動作し得る。EMポンプの電磁石は、水冷ループおよび冷却装置といった開

10

20

30

40

50

示のシステムによって冷却され得る。

【0178】

一実施形態（図4～22）では、EMポンプ400は、交流、誘導型を含み得るもので、銀に加わるローレンツ力は、銀を流れる時変電流と交差同期時変磁場とによって生ずる。銀を流れる時変電流は、EMポンプ変圧器巻線回路401aによって生ずる最初の時変磁場のファラデー誘導によって生じ得る。最初に時変する磁場の供給源は、一次変圧器巻線401を含み得るもので、また、銀は、電流ループ405のEMポンプ管部とEMポンプ電流ループ戻り部406とを含む単巻の短絡巻線といった二次変圧器巻線として機能し得る。一次巻線401は、交流電磁石を含み得るもので、最初の時変磁場が、磁気回路またはEMポンプ変圧器ヨーク402によって、誘導電流ループである銀405および406の円周ループを介して伝導される。銀は、容器、例えば、窒化ケイ素（MP1900℃）、石英、アルミナ、ジルコニア、マグネシア、またはハフニアといった本開示のセラミックを含むもののセラミック容器405および406に、含まれてもよい。制御された受動酸化により、亜硝酸シリコン上に保護SiO₂層が形成されてもよい。容器は、磁気回路またはEMポンプ変圧器ヨーク402を囲むチャンネル405および406を備え得る。容器は、対応するローレンツ力に応じて、同期した時変磁場に対して垂直方向の流れの構成要素とポンプ流れの所望の方向を誘導電流に持たせるべく、平坦化された部分405を含み得る。交差同期時変磁場は、EMポンプ電磁回路または交流電磁石403およびEMポンプ電磁ヨーク404を含むアセンブリ403cによって、発生させ得る。磁気ヨーク404は、銀を含む容器405の平坦部分にギャップを有し得る。EMポンプ変圧器巻線回路401aの電磁石401およびEMポンプ電磁アセンブリ403cの電磁石403は、単相交流電力供給源または当技術分野で知られている他の適切な電源によって、電力供給され得る。磁石は、所望の電流ベクトル構成要素が存在するように、ループの湾曲部の近傍に配置され得る。変圧器巻線401および電磁石巻線403に電力を供給する交流電流の位相は、ローレンツポンピング力の所望の方向を維持するべく、同期され得る。変圧器巻線401および電磁石巻線403の電源は、同じ電源または別の電源であってもよい。誘導電流と磁場との同期化は、遅延線構成要素といったアナログ手段によるか、または両方とも当技術分野で既知のデジタル手段を介してなされるものであってもよい。一実施形態では、EMポンプは、閉電流ループ405および406の両方の電流の誘導を提供し、電磁石およびヨーク403および404として機能する複数のヨークを備えた単一の変圧器を備えてもよい。単一の変圧器を使用しているため、対応する誘導電流と交流磁場が同相であってもよい。

10

20

30

【0179】

一実施形態（図2～22）では、誘導電流ループは、入口EMポンプ管5k6、電流ループ405のEMポンプ管部分、出口EMポンプ管5k6、ならびに、これらの構成要素を含む実施形態では入口上昇管5qaおよび注入器561の壁を含み得る容器5c内の銀を通る経路を、含み得る。EMポンプは、EMポンプは監視および制御システム、例えば、一次巻線の電流および電圧ならびにポンピングパラメータを使用したSunCell発電のフィードバック制御用のものを、含み得る。測定されたフィードバックパラメータの例として、反応セルチャンバ5b31での温度と、MHD変換器での電力とを挙げることが可能である。監視および制御システムは、対応するセンサ、制御器、およびコンピュータを含み得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、携帯電話といった無線装置によって監視および制御される少なくとも1つであり得る。SunCell（登録商標）は、データおよび制御信号を送受信するためのアンテナを備えていてもよい。

40

【0180】

1対のみの電磁ポンプ400を有するMHD変換器の実施形態では、各MHD戻し用導管310が延長され、対応する電磁ポンプ5kkの入口に接続される。この接続は、MHD戻し用導管310の入力を有するY結合といった結合部と、容器底板アセンブリ409のボスといった容器の底部のボス308とを含み得る。MHD変換器を有する加圧SunCell（登録商標）を含む実施形態では、EMポンプの注入側、貯留槽、および反応セル

50

チャンバ5b31は、MHD戻し用導管310に比べて高圧な条件で作動する。各EMポンプの入口は、MHD戻し用導管310のみを含む。接続は、MHD戻し用導管310の入力と容器の基部のポストとを有するY結合といった結合部を備え得るもので、ポンプ出力が容器からMHD戻し用導管310への入口フローからの逆流を防止する。

【0181】

MHD発電機の一実施形態では、注入EMポンプおよびMHD戻し用EMポンプは、直流または交流伝導ポンプおよび交流誘導ポンプといった任意の開示を含み得る。例示的なMHD発電機の実施形態(図5)では、注入EMポンプは、誘導EMポンプ400を含み得るもので、また、MHD戻し用EMポンプ312は、誘導EMポンプまたは直流伝導EMポンプを含み得る。別の実施形態では、注入ポンプは、MHD戻し用EMポンプとしても機能し得る。MHD戻し用導管310は、容器からの入口よりも低圧位置でEMポンプに入力し得る。MHD戻し用導管310からの入口は、MHD凝縮部309およびMHD戻し用導管310内の低圧に適した位置で、EMポンプに入り得る。容器5cからの入口は、圧力が必要な反応セルチャンバ5b31動作圧力である位置等、圧力がより高いEMポンプ管の位置に入り得る。注入器部5k61のEMポンプ圧力は、少なくとも所望の反応セルチャンバ圧力のものであってもよい。入口は、管および電流ループ部5k6、405、または406でEMポンプに取り付けられ得る。

【0182】

EMポンプは多段式ポンプを備える(図6~21)。多段式EMポンプは、投入金属の流れ、例えばMHD戻し用導管310からのもの、および、異なるポンプ段での容器5cの底からのものを、受け取ることが可能であり、各段は、EMポンプ出口および注入器5k61からの熔融金属流のみを実質的に前方にのみ許容する圧力に対応する。一実施形態では、多段式EMポンプアセンブリ400a(図6)は、誘導電流ループ405および406を介して変圧器巻線401および変圧器ヨーク402を含む少なくとも1つのEMポンプ変圧器巻線回路401aを備えるとともに、交流電磁石403およびEMポンプ電磁ヨーク404を含む少なくとも1つの交流EMポンプ電磁回路403cをさらに備える。誘導電流ループは、EMポンプ管部分405およびEMポンプ電流ループ戻り部406を含み得る。電磁ヨーク404は、銀といったポンピングされた熔融金属を含む電流ループ405の容器またはEMポンプ管部の平坦部分にギャップを有し得る。図7に示す実施形態では、EMポンプ管部405を含む誘導電流ループは、EMポンプ電流ループ戻り部406の戻り流のベンドからオフセットして配置された入口および出口を有し、電流および磁束の両方に対して横方向であるローレンツポンピング力を最適化するべく、電磁石403aおよび403bの磁束に対して誘導電流がより横方向にあるようにする。ポンピングされた金属は、EMポンプ管部405で溶融し、EMポンプ電流ループ戻り部406で固化する。

【0183】

一実施形態では、多段式EMポンプは、電流と金属流の両方に垂直な磁束を供給する複数の交流EMポンプ電磁回路403cを含み得る。多段式EMポンプは、次の交流EMポンプ電磁回路403c段階で圧力が増加する順方向ポンプフローを実現するためのローカルポンプ圧力に入口圧力が適している場所で、電流ループ405のEMポンプ管部分に沿って入口を受け取ることが可能である。例示的な一実施形態では、MHD戻し用導管310は、交流電磁石403aおよびEMポンプ電磁ヨーク404aを含む第1の交流電磁石回路403cの前の入口で、電流ループ405のEMポンプ管部分といった電流ループに入る。容器5cからの入口の流れは、交流電磁石403bとEMポンプの電磁ヨーク404bとを含む、交流EMポンプ電磁石回路403cの第1のポンプの後および第2のポンプの前に、入ることが可能であり、ここで、ポンプは、各入口から次のポンプ段またはポンプ出口と注入器5k61とへの所望の流れを維持する電流ループ405における熔融金属圧力を維持する。各ポンプ段の圧力は、交流電磁石回路の対応する交流電磁石の電流を制御することによって制御され得る。例示的な変圧器は、シリコン鋼積層変圧器コア402を含み、例示的なEMポンプ電磁ヨーク404aおよび404bはそれぞれ、積層シリコ

ン鋼（方向性鋼）のシートスタックを備える。

【0184】

一実施形態では、セラミックチャネルといったEMポンプ電流ループ戻り部406は、EMポンプ管の高圧部から低圧部への溶融金属の逆流を防ぎながら、電流ループの電流が完全に閉じるように、溶融金属流制限器を備えてもよく、または固体電導体で満たされてもよい。固体は、金属、例えば、Haynes 230、Pyromet（登録商標）アロイ 625、Carpenter L-605アロイ、BioDur（登録商標）Carpenter CCM（登録商標）アロイ、Haynes 230、310SS、または625SSといった開示のステンレス鋼等を含み得る。固体は、高融点金属を含み得る。固体は、耐酸化性である金属を含み得る。固体は、固体導体の酸化を回避するべく、金属または導電性キャップ層またはイリジウムといった被膜を含み得る。

10

【0185】

一実施形態では、戻り電流経路を提供する一方でシルバークラックの流れを防ぐ導管406の固体導体は、固体の銀といった固体溶融金属を含む。この固体の銀は、導管406の少なくとも一部において固体状態を保って406導管内の銀の流れを防止するように、導管406の経路に沿う1つまたは複数の場所で、銀の融点よりも低い温度を維持することによって維持され得る。導管406は、該導管406の少なくとも一部の温度が溶融金属の融点より低く維持され得るように、わずかな加熱または断熱材がなくかつ高温部405から離れた部分である冷却剤ループといった熱交換器の少なくとも1つを含み得る。

【0186】

一実施形態では、変圧器および電磁石の少なくとも1つの磁気巻線は、変圧器磁気ヨーク402および電磁回路ヨーク404の少なくとも1つを延長させることにより、金属流を含む電流ループ405のEMポンプ管部から遠ざかる。ことといった延長により、EMポンプ管405の誘導結合加熱といったより効率的な加熱と、変圧器巻線401、変圧器ヨーク402、および交流電磁石403およびEMポンプ電磁ヨーク404を含む電磁回路403cの少なくとも1つのより効率的な冷却とのうちの少なくとも1つを可能にする。二段階のEMポンプの場合、磁気回路は、交流電磁石403aおよび403bならびにEMポンプ電磁ヨーク404aおよび404bを含み得る。変圧器ヨーク402および電磁ヨーク404のうちの少なくとも1つは、鉄またはコバルトのような高いキュリー温度を有する強磁性材料を含み得る。巻線は、セラミック被覆された被覆線、例えばセラミック被覆された被覆線、例えばCeramaWire HTといった高温絶縁線を含み得る。EMポンプ変圧器巻線回路またはアセンブリ401aおよびEMポンプ電磁回路またはアセンブリ403cの少なくとも1つは、直流伝導EMポンプの磁石5k4のうちの1つといった開示のうちの1つの水冷システムを備え得る（図2～3）。誘導EMポンプ400bの少なくとも1つは、空冷システム400b（図9～10）を備え得る。誘導EMポンプ400bの少なくとも1つは、空冷システム400bを備え得る（図11）。誘導EMポンプ400cの少なくとも1つは、水冷システムを備え得る（図2I192）。冷却システムは、開示の1例のようなヒートパイプを備え得る。冷却システムは、冷却剤導管として機能するセラミックジャケットを備え得る。冷却剤システムは、負荷または周囲への熱を排除するべく、冷却剤ポンプおよび熱交換器を備え得る。ジャケットは、冷却される構成要素を少なくとも部分的に収容してもよい。ヨーク冷却システムは、内部冷却剤導管を備え得る。冷却剤は水を含み得る。冷却剤はシリコンオイルを含んでもよい。

20

30

40

【0187】

例示的な変圧器は、シリコン鋼積層変圧器コアを備える。点火変圧器は、（i）約10～10,000、100～5000、および500～25,000巻きの少なくとも1つの範囲内の巻線数と、（ii）約10W～1MW、100W～500kW、1kW～100kW、および1kW～20kWの少なくとも1つの範囲内の電力と、（iii）約0.1A～10,000A、1A～5kA、1A～1kA、および1～500Aの少なくとも1つの範囲内の1次巻線電流とを含み得る。例示的な一実施形態では、点火電流は約6V～10Vの電圧範囲にあり、電流は約1000Aであり、従って、50回巻きの巻線は約5

50

00Vおよび20Aで動作し、1000Aで10Vの点火電流を提供する。EMポンプ電磁石は、約0.01T~10T、0.1T~5T、および0.1T~2Tの少なくとも1つの範囲の磁束を含み得る。例示的な一実施形態では、直径約0.5mmの磁石ワイヤが約200℃未満に維持される。

【0188】

合金を形成しない、またはセル動作温度でアルミニウムと反応しないSunCell（登録商標）を含む一実施形態では、溶融金属はアルミニウムを含み得る。例示的な一実施形態では、図4~21に示すようなSunCell（登録商標）は、石英またはセラミックを含む反応セルチャンバ5b31およびEMポンプ管5k6といった溶融アルミニウム金属に接触している構成要素を含み、ここで、SunCell（登録商標）は、誘導EMポンプと誘導点火システムとをさらに備える。

10

【0189】

MHD戻し用導管310、EMポンプ容器供給管416、EMポンプ注入供給管417の少なくとも1つの少なくとも1つの供給管（図9~21）は、抵抗性または誘導結合加熱器によって、加熱され得る。誘導結合加熱器は、供給管を包むアンテナ415で構成され得、ここでアンテナは水冷でもよい。誘導結合加熱器アンテナ5fや415で包まれた構成要素は、断熱材の内層を含み得る。誘導結合加熱器アンテナは、対応する構成要素の所望の温度を維持するために、加熱と水冷との2つの機能を果たすことができる。SunCellは、構成要素、例えば、MHDマグネットハウジング306a、MHDノズル307、MHDチャンネル308、構造支持体418に取り付けられる電源、センサ、および制御供給管419、さらにEMポンプ容器供給管416に関する420およびEMポンプ注入供給管417といった熱シールドを保護する構造支持体418をさらに含んでもよい。

20

【0190】

一実施形態では、5k2aといった点火バスバーは、貯留槽5cのウェットシールジョイントのような凝固した溶融金属の一部と接触する電極を含み得る。別の実施形態では、点火システムは、誘導システム（図8~21）を備え、電源が導電性溶融金属に供給されてハイドリノ反応の点火を引き起こし、誘導電流、電圧、および電力を提供する。点火システムは、無電極システムを備えてもよく、点火電流が誘導点火変圧器アセンブリ410による誘導によって適用される。誘導電流は、EMポンプ400といったポンプによって維持される複数の噴射器から、交差する溶融の流れを通して流れ得る。一実施形態では、貯留槽5cは、貯留槽5cの基部間のチャンネルといったセラミック交差接続チャンネル414をさらに備え得る。誘導点火変圧器アセンブリ410は、誘導性点火変圧器巻線411および誘導点火を備え得る。変圧器ヨーク412は、貯留槽5c、複数の溶融金属注入器からの交差する溶融ストリーム、および交差接続チャンネル414によって形成される誘導電流ループを通して延長し得る。誘導点火変圧器アセンブリ410は、EMポンプ変圧器巻線回路401aのそれと同様であり得る。

30

【0191】

一実施形態では、点火電源は、交流、誘導型を含み得るもので、銀といった溶融金属の電流は、銀を通る経時変化する磁場のファラデー誘導によって生じる。時変磁場の供給源は、一次変圧器巻線、誘導性点火変圧器巻線411を含んでもよく、また、銀は、少なくとも部分的に、単巻の短絡巻線等、二次変圧器巻線として機能し得る。一次巻線411は、交流電磁石を含み得るもので、ここで誘導点火変圧器ヨーク412が溶融銀を含む円周伝導ループまたは回路を介して、時変磁場を伝導する。一実施形態では、誘導点火システムは、溶融銀回路を含む二次を通る時間変化する磁束を維持する複数の閉磁気ループヨーク412を含み得る。少なくとも1つのヨークおよび対応する磁気回路は、巻線411を備え得るもので、巻線411を各々が有する複数のヨーク412の追加的磁束が誘導電流および電圧を並列に生じ得る。各ヨーク412の巻線411の一次巻線巻数は、各巻線に印加された電圧から所望の二次電圧を達成するように選択され得るもので、また、所望の二次電流は、対応する巻線411を備えた閉ループヨーク412の数を選択することによって達成され得るものであり、ここで、電圧はヨークと巻線の数とに依存せず、並列電流が

40

50

追加される。

【0192】

変圧器電磁石は、単相交流電力供給源または当該技術分野で既知の他の適切な電源によって電力供給されてもよい。変圧器周波数は、変圧器ヨーク412のサイズを小さくするために増やし得る。変圧器の周波数は、少なくとも約1Hz～1MHz、1Hz～100kHz、10Hz～10kHz、および10Hz～1kHzの範囲内であり得る。変圧器電力供給は、VFD可変周波数駆動を備えてもよい。貯留槽5cは、2つの貯留槽5cを接続する交差接続チャンネル414といった溶融金属チャンネルを備え得る。変圧器ヨーク412を囲む電流ループは、貯留槽5cに含まれる溶融銀、交差接続チャンネル414、注入器管5k61の銀、および交差して誘導電流ループを完全に閉じる溶融銀の注入された流れを含み得る。誘導電流ループはさらに、入口上昇管5qa、EMポンプ管5k6、ボス、および注入器5k61といったEMポンプ構成要素の少なくとも1つに含まれる溶融銀を少なくとも部分的に含み得る。

10

【0193】

交差接続チャンネル414は、容器内の銀といった溶融金属の所望のレベルであり得る。あるいは、交差接続チャンネル414は、動作中にチャンネルが溶融金属で連続的に満たされるように、所望の容器溶融金属レベルよりも低い位置にあってもよい。交差接続チャンネル414は、貯留槽5cの基部に向かって配置されてもよい。チャンネルは、誘導電流ループまたは回路の一部を形成し、銀レベルが高い1つの容器からレベルが低い別の容器への溶融金属流をさらに促進して、両方の貯留槽5cで望ましいレベルを維持する。溶融金属のヘッド圧力に差があることによって、貯留槽間の金属流がそれぞれのレベルを維持し得る。電流ループは、交差する溶融ストリームと、注入器管5k61と、貯留槽5cの溶融金属の列と、貯留槽5cを所望の溶融銀レベルまたは目的のレベルよりも低いレベルで接続する交差接続チャンネル414とを備え得る。電流ループは、ファラデー誘導によって電流を発生する変圧器ヨーク412を囲み得る。別の実施形態では、少なくとも1つのEMポンプ変圧器ヨーク402は、さらに、誘導溶融変圧器ヨーク412を備え、点火溶融金属ループ、例えば貯留槽と交差接続チャンネル414に含まれる、交差する溶融金属流と溶融金属とによって形成されるものを通して、時変磁場をさらに供給することによって誘導点火電流を発生し得る。貯留槽5cおよびチャンネル414は、セラミックといった電気絶縁体を含み得る。誘導点火変圧器ヨーク412は、セラミックカバーといった電気絶縁体および熱絶縁体の少なくとも1つを含み得るカバー413を備え得る。ヘリカルコイルといった円周方向に巻かれた誘導結合加熱器アンテナを含み得る貯留槽間を延びる誘導点火変圧器ヨーク412の部分は、カバー413によって熱的または電氣的にシールドされ得る。貯留槽5c、チャンネル414、およびカバー413のうちの少なくとも1つのセラミックは、本開示の1つ、例えば、窒化ケイ素(MP1900℃)、溶融石英といった石英、アルミナ、ジルコニア、マグネシア、またはハフニアであり得る。制御された不働態酸化によって、亜硝酸シリコン上に保護SiO₂層が形成され得る。

20

30

【0194】

一実施形態では、交差接続チャンネル414は、容器の銀レベルを略一定に保つ。SunCell(登録商標)は、注入器5k61の液面下ノズル5qをさらに含み得る。各容器5cの溶融金属液面レベルが略一定であるため、各液面下ノズルの深さ、したがって注入器噴射によって注入されるヘッド圧力は、本質的に一定のままであり得る。交差接続チャンネル414を含む実施形態では、入口上昇管5qaを取り外して、容器ボス408またはEMポンプ容器供給管416へのポートと交換することが可能である。

40

【0195】

SunCell(登録商標)は、始動時に少なくとも1つの構成要素を加熱するための熱源を備えることができる。熱源は、誘導性EMポンプおよび誘導性点火システムのうちの少なくとも1つのヨークの過度の加熱を回避するために少なくとも1つを選択することができる。熱源は、SunCell(登録商標)の熱エネルギー源の実施形態の外部熱交換器への高効率の熱伝達を許容することができる。熱は、EMポンプを含むデュアル溶融金

50

属注入システムといった熔融金属注入システムの熔融金属を維持することができる。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、加熱器または加熱源、例えば、触媒化学熱源、火炎または燃焼熱源といった化学熱源、耐火フィラメント加熱器といった抵抗加熱器、加熱ランプおよびハイパワーダイオード光源といった赤外線光源といった放射加熱源、ならびに誘導結合加熱器の少なくとも1つを、備える。

【0196】

放射加熱源は、加熱される表面全体にわたって放射エネルギー出力を走査する手段を含み得る。走査手段は、走査ミラーを含み得る。走査手段は、少なくとも1つのミラーを備えてもよく、さらに、当技術分野で既知の機械的、空気圧、電磁気、圧電、油圧、および他のアクチュエータといった、複数の位置にわたってミラーを移動する手段を備えてもよい。

10

【0197】

一実施形態では、加熱器415は、抵抗性加熱器、例えばKanthalといったワイヤまたは本開示の他のものを含み得る。抵抗加熱器は、加熱される構成要素の周りに巻き付けることができる耐火性抵抗フィラメントまたはワイヤを含み得る。例示的な抵抗加熱器要素および構成要素は、高温導体、例えば、カーボン、ニクロム、300シリーズステンレス鋼、インコロイ800およびインコネル600、601、718、625、ヘインズ230、188、214、ニッケル、ハステロイC、チタン、タンタル、モリブデン、TZM、レニウム、ニオブ、およびタングステンを含み得る。フィラメントまたはワイヤは、酸化から保護するために、埋め込み材料に埋め込まれてもよい。フィラメント、ワイヤ、メッシュといった発熱体は、酸化から保護するべく、真空中で操作され得る。例示的な加熱器は、最大1400℃の動作温度が可能であり、高い抵抗率と良好な耐酸化性を有するフェライトクロム-アルミニウム合金（FeCrAl合金）であるカンタルA-1（カンタル）抵抗加熱線を含む。別の例示的なフィラメントは、酸化および浸炭環境に耐性があり、かつ1475℃まで操作できる耐熱酸化物被膜を形成するカンタルAPMである。1375Kおよび1の放射率での熱損失率は200kW/m²または0.2W/cm²である。1475Kで動作する市販の抵抗加熱器の電力は4.6W/cm²である。加熱は、加熱素子外部の断熱材の使用により、高められ得る。

20

【0198】

加熱器415は、抵抗加熱器または誘導結合加熱器であり得る。例示的な加熱器415は、1400℃までの動作温度が可能であり、かつ高い抵抗率および良好な耐酸化性を有するフェライトクロム-アルミニウム合金（FeCrAl合金）であるカンタルA-1（カンタル）抵抗加熱線を含む。適切な加熱素子用の追加のFeCrAl合金は、カンタルAPM、カンタルAF、カンタルD、およびアルクロタルの少なくとも1つである。抵抗ワイヤ要素といった加熱素子は、Nikrothal80、Nikrothal70、Nikrothal60、およびNikrothal40の少なくとも1つ等、1100℃～1200℃の範囲で動作するNiCr合金を含み得る。あるいは、加熱器415は、ニケイ化モリブデン（MoSi₂）、例えば、カンタルスーパー1700、カンタルスーパー1800、カンタルスーパー1900、カンタルスーパーRA、カンタルスーパーER、カンタルスーパーHT、およびカンタルスーパーNCの少なくとも1つを含み得るもので、酸化雰囲気中で1500℃～1800℃の範囲で動作し得る。加熱素子は、アルミナと合金化されたニケイ化モリブデン（MoSi₂）を含み得る。加熱素子は、アルミナ被膜といった耐酸化性被膜を有し得る。抵抗加熱器415の加熱素子は、最大1625℃の温度で動作し得るSiCを含んでもよい。加熱器は、その効率および有効性の少なくとも1つを増加させるべく、断熱材を含んでもよい。断熱材は、アルミナシリケートを含む断熱材等、当業者に既知のセラミックを含むことができる。断熱材は、取り外し可能または可逆的の少なくとも一方であってもよい。周囲の周囲または熱交換器といった所望の受け取り側に熱をより効果的に伝達するべく、始動後に断熱材が取り除かれてもよい。断熱材は機械的に取り除かれてもよい。断熱材は、真空対応の真空容器およびポンプを備えてもよく、断熱材は、真空中に引くことによって適用され、断熱材は、ヘリウムといっ

30

40

50

た希ガスといった熱伝達ガスを加えることによって反転される。ヘリウムといった熱伝達ガスを追加または排気し得る真空のチャンバは、調整可能な断熱材として機能し得る。

【0199】

抵抗加熱器415は、直列および並列有線回路の少なくとも1つによって給電されて、SunCell（登録商標）の異なる構成要素を選択的に加熱し得る。抵抗加熱ワイヤは、少なくとも1つの誘導EMポンプといった誘導システム、誘導点火システム、および電磁石といった時間変動場を引き起こすシステムによる干渉を防ぐためにツイストペアを備えてもよい。抵抗加熱線は、リンク時間変化磁束が最小化されるように、配向され得る。この加熱ワイヤは、閉ループが磁束と平行な面にあるように、配向され得る。

【0200】

触媒化学熱源および火炎または燃焼熱源の少なくとも1つは、プロパンおよび酸素といった炭化水素または水素および酸素といった燃料を含み得る。SunCell（登録商標）は、 H_2 および O_2 の定比混合物について供給可能である電解槽を含み得る。電解槽は、 H_2 または O_2 の少なくとも1つを別々に供給するべく、ガス分離器を含み得る。電解槽は、例えば、 H_2 および O_2 のうちの少なくとも1つの別個の供給源のための陽子交換膜を有する高圧電解部を備え得る。電解部は、始動時に電池によって電力供給されてもよい。SunCell（登録商標）は、 H_2O 電解からの H_2 および O_2 ガスのためのガス貯蔵および供給装置を含み得る。ガス貯蔵装置は、 H_2O 電気分解に由来する H_2 および O_2 ガスの少なくとも1つを経時的に貯蔵し得る。経時的な電解エネルギー出力は、SunCell（登録商標）または電池によって提供され得る。ガス貯蔵装置は、電池から利用可能な電力よりも高い電力を達成する速度で、ガスを燃料として加熱器に放出し得る。電気分解の効率性は90%を上回る。触媒上での水素と酸素との再結合 および燃焼は、ほぼ100%効率的である。火炎加熱器は、少なくとも1つのバーナーと、火炎がより広い領域をカバーするように複数の位置にわたって少なくとも1つのバーナーを移動または走査する手段とを含み得る。スキャナは、カムと、当技術分野で既知の機械式、空気圧式、電磁式、圧電式、油圧式、およびその他のアクチュエータの少なくとも1つを含み得る。

【0201】

一実施形態では、加熱装置は、少なくとも1つのパイプ、マニホールド、および少なくとも1つのハウジングを備え、SunCell（登録商標）の少なくとも1つの構成要素の表面で燃料ガスを燃焼させて加熱源とするべく、 H_2 および O_2 の少なくとも1つといった少なくとも1つの燃料または燃料混合物を、触媒が含浸された表面に供給する。水素と酸素との定比混合物の最高温度は、約2800℃である。加熱される構成要素の表面は、ラネーニッケル、酸化銅といった水素-酸素再結合触媒、または白金、パラジウム、ルテニウム、イリジウム、レニウム、ロジウムといった貴金属で被膜されていてもよい。例示的な触媒表面は、Pd、Pt、またはRuで被膜されたアルミナ、シリカ、石英、およびアルミナーケイ酸塩のうちの少なくとも1つである。火炎加熱器は、加熱されたフィラメントを含み得、フィラメントの高温は、水素-酸素再結合反応によって少なくとも部分的に維持され得る。

【0202】

一実施形態では、 $H_2 + O_2$ ガスの供給源は、酸水素トーチシステム、例えば、Hongu H160ガス酸素水素炎発生器といった商用装置のようなデザインを含むものを、備え得る。1.48Vの H_2O 電解電圧と約90%の標準的な電解効率とを考えると、必要な電流は1Wのバーナー当たり約0.75Aである。一実施形態では、複数のバーナーは、 $H_2 + O_2$ の定比混合物を供給するような一般的なガス供給管によって供給されてもよい。火炎加熱器は、複数のそのようなガス供給管およびバーナーを含んでもよい。供給管とバーナーは適切な構造で配置され、SunCell（登録商標）の構成要素の所望の加熱を達成し得る。この構造は、ガス供給管424および複数のバーナーまたはノズル425を有する、図20~21に示される単一のらせん酸水素炎423といった少なくとも1つのらせんを含み得る。図20~21にも示されている代替設計では、酸水素炎加熱器423は、加熱されるべきSunCell（登録商標）構成要素の周りの一連の環

10

20

30

40

50

状リングを達成するために、複数のガス供給管 4 2 4 および複数のバーナーまたはノズル 4 2 5 を含み得る。SunCell（登録商標）構成要素の良好な加熱表面被覆を得るためのさらなる例示的な構造は、DNA のような二重らせんまたは三重らせんである。MHD 戻し用導管 3 1 0 のような線形形状の構成要素は、少なくとも 1 つの線形バーナー構造によって加熱され得る。

【0203】

一実施形態では、抵抗式、バーナー、または熱交換器タイプといった加熱器は、例えば、容器の底部に鑄造され得る内部ウェルを通じて、容器 5 c の内部といった SunCell 構成要素の内部から加熱され得る。

【0204】

点火電流は、約 60 Hz 交流のように時間変化し得るが、他の特性および波形を有し得るもので、例えば、1 Hz ~ 1 MHz、10 Hz ~ 10 kHz、10 Hz ~ 1 kHz、および 10 Hz ~ 100 Hz の少なくとも 1 つの範囲の周波数、約 1 A ~ 100 mA、10 A ~ 10 mA、100 A ~ 1 mA、100 A ~ 100 kA、および 1 kA ~ 100 kA の少なくとも 1 つの範囲のピーク電流、ならびに約 1 V ~ 1 MV、2 V ~ 100 kV、3 V ~ 10 kV、3 V ~ 1 kV、2 V ~ 100 V、および 3 V ~ 30 V の少なくとも 1 つの範囲のピーク電圧を有する波形であり、ここで、波形は、1 % ~ 99 %、5 % ~ 75 %、10 % ~ 50 % の少なくとも 1 つの範囲内にあるデューティサイクルを含み得る、正弦波、方形波、三角形、または他の所望の波形を含み得る。高周波で表皮効果を最小限に抑えるために、点火システムの 4 1 1 のような巻線は、編組、複数撚り線、およびリッツ線の少なくとも 1 つを備える。

【0205】

一実施形態では、点火電流の周波数を制御すると、ハイドリノ反応の反応速度が制御される。誘導点火巻線 4 1 1 の電力供給の周波数を制御することにより、点火電流の周波数を制御し得る。点火電流は、時間的に変化する磁場によって引き起こされる誘導電流であり得る。時間変化する磁場は、ハイドリノ反応率に影響を与える可能性がある。一実施形態では、時変磁場の強度と周波数の少なくとも一方を制御することで、ハイドリノ反応率を制御する。時変磁場の強度および周波数は、誘導点火巻線 4 1 1 の電力供給を制御することによって制御され得る。

【0206】

一実施形態では、点火周波数は、反応セルチャンバ 5 b 3 1 と MHD チャンネル 3 0 8 の少なくとも 1 つでハイドリノ発電に対応する周波数が発生するように調整され得る。約 60 Hz の交流といった電力出力の周波数は、点火周波数を制御することによって、制御され得る。点火周波数は、誘導点火変圧器アセンブリ 4 1 0 の時変磁場の周波数を変化させることによって、調整され得る。誘導点火変圧器アセンブリ 4 1 0 の周波数は、誘導性点火変圧器巻線 4 1 1 の電流の周波数を変化させることによって調整可能であり、巻線 4 1 1 への電力の周波数を変化させ得る。MHD チャンネル 3 0 8 の時変電力は、エアロゾル噴流の衝撃波形成を妨げ得る。別の実施形態では、時変点火は時変ハイドリノ発電を駆動し、時変電力出力をもたらし得る。MHD 変換器は、直流構成要素も含み得る交流電力を出力し得る。交流構成要素は、EM ポンプの巻線の少なくとも 1 つ、例えば、変圧器巻線回路 4 0 1 a および EM ポンプ電磁回路 4 0 3 c の電磁石の巻線といった変圧器および電磁石の巻線の 1 つもしくは複数の少なくとも 1 つに、電力を供給するべく使用され得る。

【0207】

MHD 変換器を備えた加圧 SunCell（登録商標）は、重力に依存せずに作動し得る。EM ポンプ、例えば 4 0 0（二段空冷式 EM ポンプ 4 0 0 b 等）は、溶融金属入口および出口導管または供給管のパッキングおよび最小化の少なくとも一方を最適化する位置に配置され得る。例示的なパッケージングは、EM ポンプが MHD 凝縮部 3 0 9 の端部と貯留槽 5 c の基部との間の中間に配置される（図 12 ~ 19）。

【0208】

一実施形態では、作動媒体は、低温で溶融金属に可溶であり、高温で溶融金属に不溶性ま

10

20

30

40

50

たは低溶解性の金属およびガスを含む。例示的な一実施形態では、作動媒体は、銀および酸素のうちの少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバの酸素圧は、銀といった熔融金属が気化するのを実質的に妨げる圧力に維持される。ハイドリノ反応プラズマは、酸素および液体銀を3500Kといった望ましい温度に加熱し得る。作動媒体を含む混合物は、25気圧といった圧力で、テーパ状のMHDチャンネルを流れ、熱エネルギーが電気に変換される際に圧力および温度が低下する。温度が下がると、銀といった熔融金属が酸素といったガスを吸収し得る。次に、液体はポンプで容器に戻され、反応セルチャンバで再循環され、ここで、プラズマ加熱により酸素が放出され、MHD変換の駆動に必要な所望の反応セルチャンバ圧力および温度の状態が維持される。一実施形態では、MHDチャンネルの出口の銀の温度は、熔融金属の融点とほぼ同じであり、ここで、酸素の溶解度は、銀1cm³に対し、1気圧O₂で酸素約20cm³(STP)である。溶存ガスを含む液体の再循環ポンピング出力は、遊離ガスのそれよりもはるかに小さくてもよい。さらに、熱力学的エネルギー出力サイクル中に遊離ガスの圧力および温度を低下させるためのガス冷却要件とMHD変換器容積とが大幅に削減されてもよい。

10

【0209】

一実施形態では、作動媒体金属は、ナノ粒子のエアロゾルを形成し得る。ナノ粒子の形成は、作動媒体と接触しているガスの存在によって促進され得る。一実施形態では、熔融金属および作動媒体は、酸素の存在下で銀ナノ粒子を形成する銀を含む。ナノ粒子は、MHDノズル307内で加速され得、噴流の運動エネルギーがMHDチャンネル308において電気に変換される。酸素の圧力は、MHDノズル307内の加速器ガスとして機能するのに十分であり得る。一実施形態では、銀エアロゾルは、MHDノズル307の出口にあるほぼ純粋な液体と酸素である。銀への酸素原子の溶解度は、温度が融点に近づくにつれて増加し、その溶解度は最大で25%の銀モル分率である(J. Assal, B. Hallstedt, およびL. J. Gauckler, 「銀酸素システムの熱力学的評価 (Thermodynamic assessment of the silver-oxygen system)」, J. Am. Ceram. Soc. Vol. 80 (12), (1997), pp. 3054-3060)。銀は、出口といったMHDチャンネル308で酸素を吸収し、液体銀および酸素の両方が再循環される。酸素は、熔融銀に吸収されたガスとして再循環され得る。一実施形態では、反応は酸素を放出し、反応チャンバ5b31を再生する。融点を超える銀の温度は、熱エネルギー出力の再循環または再生の手段としても機能する。一実施形態では、銀エアロゾルは、ラバールノズルといった収束-発散ノズル内で、少なくとも1つの酸素といったガスおよびアルゴンまたはヘリウムといった希ガスによって、加速される。MHD作動媒体は、MHDチャンネルを流れる運動エネルギーと電気伝導性とを有する媒体であり、銀エアロゾル、加速ガス、および銀蒸気を含み得る。作動媒体が酸素と銀を含む場合、作動媒体は、微細液体粒子またはエアロゾルの形態であり得る液体銀に吸収された酸素をさらに含み得る。作動媒体は、EMポンプ312などのポンプのうちの少なくとも1つなどの再循環器および圧縮機によって、MHDチャンネルの端部で再循環され得る(図22)。MHD戻りガスポンプまたはコンプレッサ312aを含む再循環器は、MHD戻りガス導管310a、MHD戻りガス貯留槽311a、およびMHD戻りガス管313aをさらに含み得る。再循環器は、銀蒸気、液体銀、および加速ガスのうちの少なくとも1つを作動媒体内で再循環させ得る。液体銀は、作動媒体のほぼ全種類の再循環がコンプレッサといったガスポンプで再循環され得るように、エアロゾルの形態であってもよい。加速ガスは、ガスポンプによる再循環を容易にするべく、液体銀を形成させるか、銀エアロゾルとして維持するための酸素を含み得る。酸素などの加速ガスは、作動媒体のモル分率の大部分を構成し得る。加速ガスモル分率は、約50~99モル%、50~95モル%、および50~90モル%の少なくとも1つの範囲内にあり得る。別の実施形態では、液体銀は、本開示の1つのような液体金属ポンプ、例えばEMポンプ等によって、再循環させられ得る。一実施形態では、酸素といった加速器ガスおよび銀といった液体金属の少なくとも1つは、EMポンプによって再循環され、ここで、EMポンプによるそのポンピングを容易にするべく酸素が融銀によって吸収され得る。

20

30

40

50

【 0 2 1 0 】

一実施形態では、MHD変換器は、一種の液体金属電磁流体力学（LMHD）変換器を備え、ノズル307からの導電性プラズマジェットの運動エネルギーがMHD刺激308によって電気に変換される。電磁流体力学の入口での運動エネルギー入力電力 P_{input} は、その速度 v での質量流量

【数24】

$$\dot{m}$$

10

によって与えられる。

【数25】

$$P_{input} = 0.5 \dot{m} v^2 \quad (39)$$

ローレンツ力 F_L は、流速

【数26】

$$dF_L = \sigma v B^2 (1 - W) d^2 dx \quad (40)$$

20

に比例する。

式中、 V はMHDチャンネル電圧、 I はチャンネル電流、 E はチャンネル電場、 J はチャンネル電流密度、 L はチャンネル長、 σ は流動伝導率、 v は流速、 B は磁場強度、 W は負荷係数（開回路電場に対する負荷全体の電場の比率）、 d は電極間隔、および dx はチャンネル軸に沿う微分距離である。次に、チャンネル距離に伴う速度の変化は、チャンネル距離

【数27】

$$\frac{dv}{dx} = -kv \quad (41)$$

30

に比例する。

式中、近似として、 k は境界条件

【数28】

$$v = v_0 e^{-kx} \quad (42)$$

によって決定される定数として扱われる。定数は、

【数29】

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

40

または

【数30】

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

として再編成され得るローレンツ力（式（40））によって決定される。

50

式（６）と式（３）とを比較すると、定数は、

【数３１】

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

である。式（４２）と式（４５）とを比較すると、チャンネル距離の関数としての速度は、

【数３２】

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

である。

MHDチャンネルにおける電力 $P_{electric}$ 変換は、

【数３３】

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

によって与えられる。

式中、 V はMHDチャンネル電圧、 I はチャンネル電流、 E はチャンネル電場、 J はチャンネル電流密度、 L はチャンネル長、および A は電流断面積（ノズル出口面積）、である。式（４６～４７）から、チャンネルの対応する電力は、

【数３４】

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

によって与えられる。

高圧銀蒸気プラズマの導電率は、ANSYSモデリングによって 10^6 S/m であると決定された。質量流量

【数３５】

$\dot{m}$

が 0.5 kg/s 、伝導率 σ が $50,000 \text{ S/m}$ 、速度が 1200 m/s 、磁束 B が 0.1 T 、負荷係数 W が 0.7 、例示的な直線の正方形のチャンネルのチャンネル幅および電極間隔 L が 0.25 m である場合、電力パラメータは、以下のとおりである。

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

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

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

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

これらの式中、 $P_{electric}$ は外部負荷に適用される電力、 $P_{density}$ は電

10

20

30

40

50

力密度、および η は電力変換効率である。速度および導電率が高いため、効率は MHD チャンネルの負荷係数 W に収束し、さらに負荷がかかった電力は、MHD チャンネルに入力された運動エネルギー力率

【数 3 6】

$$0.5mv^2$$

に MHD チャンネルの負荷係数を掛けたものに収束する。残りの電力は、内部 MHD チャンネル抵抗で消費される。

10

【0 2 1 1】

一実施形態では、LMMHD 型サイクルは、銀および銀の融点での酸素の 2 つの独特の特性によって促進される酸素および銀ナノ粒子エアロゾルを含む強力な高導電性ジェットフロー形態を含む。酸素の存在下で、溶融銀は、理想気体の法則にほぼ従う大きな分子と同様に動作するナノ粒子を高速で形成する。エアロゾルは銀の融点（962℃）で形成されるので、銀原子に似た熱力学的特性を持つ分子ガスは、銀の沸点である 2162℃ よりもはるかに低い温度で形成され得る。銀のこの独特な特性は、熱力学的サイクルを促進し、従来のガス膨張サイクルでの凝縮およびリサイクル中に MHD チャンネルの末端で失われる 254 kJ/mol の非常に高い価値化熱の入力を回避する。さらに、融点温度にある溶融銀は、大量の酸素ガスを吸収することができ、該ガスは MHD チャンネルの末端で溶融物に溶解し、さらに溶融銀とともに電磁（EM）ポンプで送られ、反応セルチャンバに再循環され得る。反応セルチャンバ内の高温によって酸素が放出され、結果として生じる酸素および銀エアロゾルの促進ガスとして機能する。反応セルチャンバ内のハイドリノ反応によって放出される熱出力は、高圧上昇を引き起こし、さらに高粉末の銀プラズマジェットが MHD ノズルを出て MHD チャンネルに入り、そこで MHD 運動エネルギーが電力へ変換される。その効率は、非常に高くなり得るもので、なぜなら、（i）チャンネル効率が式（52）に示すように負荷係数に近づくこと、（ii）チャンネルで放散される残留運動エネルギーは、エアロゾルを加熱し、エアロゾルの熱エネルギー貯蔵量への追加として保存されて、MHD チャンネルの末端で凝縮または合体して総エネルギー貯蔵量とともに反応セルチャンバに戻されること、および（iv）加速器ガスは、ガスの非常にエネルギー集約的な多段中間冷却ガス圧縮によってではなく、溶液中にガスを運ぶ溶融金属の非常に低電力の電磁ポンピングによって戻されることからである。252 kW の電力を供給できる 0.5 kg/s の銀エアロゾルフローのポンプ出力（式（50））は、

20

30

質量流量

【数 3 7】

$$\dot{m}$$

40

に $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ （式（56））の反応チャンバ圧力 P を掛けたものを、銀の密度 ρ である 10.5 g/cm^3 で割ったもので与えられる。

【数 3 8】

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

【0 2 1 2】

銀への大気圧酸素の溶解度は、温度が融点に近づくにつれて増加し、溶解度は、銀の体積に対して最大約 40～50 体積の酸素である（図 23）。さらに、さらに、銀への酸素の

50

溶解度は、溶存酸素と平衡状態にある酸素大気圧とともに増加する。銀の酸素の高モル分率は、高 O_2 圧で、J. Assal, B. Hallstedt, および L. J. Gauckler, 「銀酸素システムの熱力学的評価 (Thermodynamic assessment of the silver-oxygen system)」, J. Am Ceram. Soc., Vol 80 (12), (1997), pp. 3054-3060 に示されるようにすることで、達成され得る。例えば、温度 804 K、酸素分圧 526 bar (5.26×10^7 Pa)、液相の酸素モル分率 0.25 では、Ag と Ag_2O との間には共晶が存在する

【0213】

銀への酸素原子の取り込みは、分子状酸素を原子状酸素に変換することにより、所与の酸素圧力および銀温度でのガス溶媒和によって達成され得るものを超えて、劇的に増加する (A. de Rooij, "The oxidation of silver by atomic oxygen (原子状酸素による銀の酸化)", Product Assurance and Safety Department), ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA Journal 1989, (Vol. 13 巻), pp. 363-382)。酸素は原子として銀に吸収されるため、液体銀での酸素溶解度の関係は、気体酸素圧の $1/2$ 乗にほぼ比例する。 O_2 分子の代わりに O 原子が銀との酸化反応に関与している場合、 AgO と Ag_2O は、非常に低い O_2 圧力でも熱力学的に安定であり、 AgO は Ag_2O よりも安定しており、さらに、熱力学的に Ag_2O を AgO に酸化することは可能ではあるが、このことは O_2 分子では不可能と思われる。MHD サイクル中の O 原子の優れた溶解度を活用するには、MHD チャネルプラズマジェットをハイドリノ反応により維持して O_2 分子からの O 原子の形成を保つてもよい。溶融銀に組み込まれた 0.25 モル分率の酸素を含む共晶といった組成物を MHD チャネルの末端に形成し、反応セルチャンバにポンプで送って銀と酸素とをリサイクルすることが可能である。MHD サイクルは、エアロゾルジェットと MHD チャネル内のジェットとのほぼ等圧の流れを形成するべく、ハイドリノプラズマ反応とそれに続く MHD ノズルセクションでの等エンタルピー膨張による温度および圧力の劇的な上昇を伴う反応セルチャンバ内の酸素の放出を、さらに含む。

【0214】

等エントロピー膨張によって反応セルチャンバ内の熱および圧力体積エネルギー貯蔵量を MHD チャネル内の運動エネルギーに正常に変換するには、酸素が収束-発散ノズル内の銀を効果的に加速する必要がある。LMMHD の主な故障モードの 1 つは、大きな液体金属粒子を通過する加速器ガスの滑りである。理想的には、金属粒子は分子として動作し、MHD チャネルに流入するプラズマジェットの熱エネルギーの運動エネルギーへの変換は、可能な限り最も効率的な手段である等エントロピー膨張の理想気体の法則にほぼ従う。反応セルチャンバの雰囲気は酸素であり、注入された溶融金属が銀であり、さらに酸素が銀ナノ粒子のエアロゾルの形成を促進する場合を検討する。銀ナノ粒子は、懸濁ガスの平均自由行程と比較して小さい場合、自由分子領域にある。数学的には、

$$K_n = 2\lambda / d_{Ag} \quad (54)$$

によって与えられるクヌーセン数 K_n は、 $K_n \gg 1$ であり、 λ は浮遊酸素ガスの平均経路であり、 d_{Ag} は銀粒子の直径である。Levine [I. Levine, Physical Chemistry, McGraw-Hill Book Company, New York, (1978), pp. 420-421] に従えば、直径 d_B およびモル分率 f_B の第 2 のガス B と衝突する直径 d_A のガス A の平均経路 λ_A は、

【数 39】

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

10

20

30

40

50

によって与えられる。

【0215】

ガスパラメータが6000 Kの温度 T 、5気圧($5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)の圧力 P 、0.02のガス分率 f_{O_2} に対応する2モル%の酸素、および0.98の銀ガス画分 f_{Ag} に対応する75モル%の銀である場合、式(55)によって与えられる分子径 d_{O_2} が $1.2 \times 10^{-10} \text{ m}$ の懸濁ガス酸素と直径 d_{Ag} が $5 \times 10^{-9} \text{ m}$ の銀粒子とが衝突する平均経路 λ_{O_2} は、

【数40】

$$\lambda_{O_2} = \frac{k_B T}{\pi \left[\frac{d_{O_2}}{2} + \frac{d_{Ag}}{2} \right]^2 f_{Ag} P} = 2.5 \times 10^{-9} \text{ m} \quad (56) \quad 10$$

で与えられる。式中、 k_B はボルツマン定数である。分子領域は、直径5 nmの約3800個の銀のエアロゾル粒子で満たされる。この領域では、粒子はガス分子との弾性衝突によって浮遊ガスと相互作用する。それによって、粒子はガス分子と同様の挙動を示し、ガス分子と粒子とが連続的かつランダムな動きをする。粒子が衝突しても、運動エネルギーの損失や増加はみられず、また、平均運動エネルギーが粒子と分子との両方で同じであり、さらに、平均運動エネルギーが一般的な温度の関数である。

【0216】

例示的なMHD熱力学サイクルでは、(i)銀ナノ粒子が反応セルチャンバ内に形成され、ここで、ナノ粒子は、分子領域内のものを選択する熱泳動および温度勾配の少なくとも1つによって輸送され得、(ii)放出された O_2 の存在下でのハイドリノプラズマ反応は、高温高压の25モル% O_2 および70モル%銀ナノ粒子ガスを形成し、この銀ナノ粒子ガスはノズル入口に流入し、(iii)25モル% O と75モル%銀ナノ粒子ガスがノズル膨張し、(iv)ジェットの結果として生じる運動エネルギーがMHDチャンネルで電気に変換され、(v)ナノ粒子はMHDチャンネル内でサイズが大きくなり、MHDチャンネルの末端で銀液体に合体し、(vi)液体銀は25モル% O を吸収し、さらに(vii)EMポンプが液体混合物を反応セルチャンバに送り戻す。

【0217】

酸素と銀のナノ粒子のガス状混合物の場合、自由分子領域において酸素および銀ナノ粒子の温度は同じであるため、理想気体方程式を適用してノズル膨張における気体混合物の加速を推定し、ここでは、 O_2 とナノ粒子との混合物が共通の温度で共通の運動エネルギーを有する。先細末広ノズルでの理想ガス/蒸気の等エントロピー膨張として扱われてもよい。よどみ点温度 T_0 、よどみ点圧力 p_0 、ガス定数 R_v 、および比熱比 k とすると、熱力学的パラメータは、LiepmannおよびRoshkoの方程式[Liepmann, H. W. and A. Roshko, Elements of Gas Dynamics, Wiley (1957)]を用いて計算され得る。よどみ音速 c_0 と密度 ρ_0 は

【数41】

$$c_0 = \sqrt{k R_v T_0}, \quad \rho_0 = \frac{p_0}{R_v T_0} \quad (57) \quad 40$$

によって与えられる。

ノズルスロット条件(マッハ数 $Ma^* = 1$)は、

【数42】

$$T^* = \frac{T_0}{1 + \frac{(k-1)}{2}}, \quad p^* = \frac{p_0}{\left[1 + \frac{(k-1)}{2}\right]^{k/(k-1)}}, \quad \rho^* = \frac{p^*}{R_v T^*} \quad (58)$$

$$c^* = \sqrt{k R_v T^*}, \quad u^* = c^*, \quad A^* = \frac{m}{\rho^* u^*}$$

によって与えられる。式中、 u は速度、 m は質量流量、 A はノズルの断面積である。ノズルの出口条件（出口マッハ数 = Ma ）は 10

【数 4 3】

$$T = \frac{T_0}{1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2}, \quad p = \frac{p_0}{\left[1 + \frac{(k-1)}{2} Ma^2\right]^{k/(k-1)}}, \quad \rho = \frac{p}{R_v T} \quad (59)$$

$$c = \sqrt{k R_v T}, \quad u = c Ma, \quad A = \frac{m}{\rho u}$$

20

によって与えられる。

【0 2 1 8】

ナノ粒子の分子量が大きいと、MHD 変換パラメータは LMHD のパラメータに類似しており、MHD 作動媒体は密度が高く、気体の膨張に比べて低速で移動する。

【0 2 1 9】

銀が分子領域で適切なナノ粒子を形成し、適切な質量の酸素を吸収して加速器ガス（この場合は酸素）を、ターボ機械を使用せずにリサイクルする能力を考えると、酸素および銀のナノ粒子エアロゾル MHD サイクルの実現可能性は、エアロゾル形成速度の動力学と酸素が溶融銀に吸収されて溶融銀から脱気され得る速度とに依存する。対応する速度論的研究が行われ、速度論が適切であることが見出された。一実施形態では、ガリウム金属およびガリウムナノ粒子といった別の金属を、銀金属および銀ナノ粒子の代わりとしてもよい。

30

【0 2 2 0】

一実施形態では、銀への酸素の溶解度は、電場、電位、およびプラズマの少なくとも 1 つを溶融銀に印加することにより、所定の酸素圧力でのガス状溶媒和によって達成される溶解度を超えて、増加され得る。一実施形態では、溶融銀に電気分解またはプラズマを適用して、液体銀中の O_2 溶解度を増加させることができ、溶融銀は、電解またはプラズマ電極として含み得る。溶融銀に対する電場、電位、プラズマの少なくとも 1 つの適用、例えば、 O_2 電解またはプラズマの適用は、 O_2 が銀に溶解する速度も上昇させ得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、溶融銀への、電場、電位、およびプラズマのうちの少なくとも 1 つの供給源を含み得る。供給源は、電力源およびグロー放電、RF、マイクロ波プラズマエネルギー出力といったプラズマエネルギー出力との少なくとも 1 つを含み得る。溶融銀は、陰極といった電極を含んでもよい。溶融銀または固体銀は、陽極を含んでもよい。酸素は、陽極で還元され、銀と反応して吸収され得る。別の実施形態では、溶融銀は、陽極を含み得る。銀は陽極で酸化され、酸素と反応して酸素を吸収し得る。

40

【0 2 2 1】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、酸素センサと、酸素を希ガスで希釈する手段および希ガスをポンプで排出する手段といった酸素制御システムとをさらに備える

50

。前者は、希ガスタンク、バルブ、レギュレータ、およびポンプのうちの少なくとも1つを含み得る。後者は、バルブおよびポンプのうちの少なくとも1つを含み得る。

【0222】

MHD凝縮部309の雰囲気は、非常に低い銀蒸気圧を含み、主に酸素を含み得る。銀蒸気圧は、動作温度が約970℃～2000℃、970℃～1800℃、970℃～1600℃、および970℃～1400℃の少なくとも1つの範囲内というように低いため、低くなり得る。SunCell（登録商標）は、MHD凝縮部309内の銀エアロゾルを除去する手段を備え得る。エアロゾル除去の手段は、サイクロン分離器のような銀のエアロゾルを合体させる手段を含み得る。サイクロン分離器は、MHD戻し用貯留槽311またはMHD戻し用ガス貯留槽311aを含み得る。溶存酸素を含む銀は、ポンプが電磁ポンプを含み得るポンピングによって反応セルチャンバ5b31に再循環され得る。温度がより高いことおよび溶融銀に加えられた電界、電位、およびプラズマの少なくとも1つが存在しないことによって、反応セルチャンバ内の銀から酸素が放出され得る。例示的な実施形態では、低い動作温度、例えば約1200℃により、MHD凝縮部では銀の圧力が非常に低く、さらに、サイクロン分離器が銀のエアロゾルを銀の液体に合体させるために使用され、この液体が負の電極として機能してO₂を液体の銀に電気分解する。

10

【0223】

一実施形態では、MHDサイクルは、エアロゾル噴流とMHDチャンネル308内の噴流の等圧流を形成するべく、MHDノズル部307における等エンタルピー膨張を含む。エアロゾルは、H₂O₂、H₂O、または希ガスのうちの少なくとも1つといった加速ガスによって、ノズル307内で加速され得る。一実施形態では、MHD凝縮部309内の加速ガスの圧力は、加速ガスのプラズマを保ち得るもので、ここで反応加速器の加速ガスとMHD凝縮部の加速ガスとの圧力比が1より大きい。圧力比は、約1.5～1000、2～500、および10～20の少なくとも1つの範囲内であり得る。反応チャンバおよびMHD凝縮部における酸素加速ガスの例示的な圧力は、それぞれ約1～10気圧および0.1～1気圧の範囲内である。反応セルチャンバは、加速器によって引き起こされたジェット運動エネルギーの対応する増加とともに蒸気相を増加させるべく、一部の放出されたプラズマで保たれたOとO₂との比率を含む。一部のOは、MHDチャンネル308およびMHD凝縮部309の少なくとも1つでO₂に再結合し、反応セルチャンバ5b31からMHD凝縮部309への圧力勾配を増加させてジェットの運動エネルギーと変換電力とを増加させ得る。反応セルチャンバとMHD凝縮部との少なくとも一方のガス温度は、銀蒸気の場合の2200℃以下のように、金属蒸気圧が低くなる範囲であればよい。一実施形態では、銀といった溶融金属と比較した酸素といった加速ガスのモル分率は、約1～95モル%、10～90モル%、および20～90モル%の少なくとも1つの範囲内である。より高いモル%加速ガスは、MHDノズル307の出口でより高いジェット運動エネルギーを提供し得る。

20

30

【0224】

一実施形態では、エアロゾルは、銀またはガリウムのナノ粒子といった溶融金属ナノ粒子を含み得る。この粒子は、約1nm～100ミクロン、1nm～10ミクロン、1nm～1ミクロン、1nm～100nm、および1nm～10nmの少なくとも1つの範囲内の直径を有し得る。一実施形態では、MHD変換器の作動媒体は、銀ナノ粒子といった金属ナノ粒子の混合物と、少なくとも1つが担体または膨張補助ガスとして機能し、かつナノ粒子の安定性を形成または維持するのを助ける酸素ガスといったガスを、含み得る。別の実施形態では、作動媒体は金属ナノ粒子を含み得る。ナノ粒子の雰囲気は、セルおよびプラズマの温度の少なくとも1つを、ナノ粒子の蒸気圧を、例えば、約1～100気圧、1～20気圧、および1～10気圧の少なくとも1つの範囲内の所望の蒸気圧に維持する温度よりも高く維持することによって、維持され得る。セルおよびプラズマ温度の少なくとも1つは、1000℃～6000℃、1000℃～5000℃、1000℃～4000℃、1000℃～3000℃、および1000℃～2500℃の少なくとも1つの範囲内であり得る。

40

50

【0225】

一実施形態では、反応セル隔離5b31の雰囲気は、パラメータ、例えば、酸素分圧、全圧、温度、希ガスを酸素、水素、水蒸気の少なくとも1つに加えて添加するといったガス組成、および分子領域にあるほど十分に小さいサイズのエアロゾル粒子の形成を促進するハイドリノ反応の流量によって、保たれる。一実施形態では、銀といった懸濁ガスおよび銀粒子といった粒子の少なくとも1つを帯電させて、ガス混合物が分子領域挙動を示すように化学種間の衝突を抑制し得る。銀は、粒子の帯電を容易にするべく、添加剤を含んでもよい。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、ナノ粒子流をサイズで分離するべく、サイズ選択手段を含んでもよい。サイズ選択手段は、ノズル307入口への分子領域の挙動に適したサイズであるナノ粒子流を選択的に維持し得る。分子領域サイズの粒子を選択するサイズ選択手段は、サイクロン分離器、重力分離器、バッフルシステム、スクリーン、熱泳動分離器、またはノズル307への入口の前の電場または磁場分離器といった電場を含み得る。熱泳動の場合、大きな粒子は、正の熱拡散効果を示し得るもので、大きなナノ粒子がプラズマの高温の中央領域からより低温反応チャンバセル5b31に移動する。プラズマは、高温の中央部分からノズル入口に流れるように選択的に方向付けられるか、または導管を通じて送られてもよい。

10

【0226】

ナノ粒子は、ハイドリノ反応の強い局所エネルギー出力密度による金属の気化によって形成され、反応セルチャンバ5b31の1つの部分で、周囲圧力での金属の沸点より低い温度になり得る反応セルチャンバの別の冷却器部で急速に冷却される。一実施形態では、銀またはガリウムのナノ粒子といったナノ粒子は、酸素を含む雰囲気中での金属の蒸発および凝縮によって形成され得、酸化物層がナノ粒子の表面上に形成され得る。酸化物層は、エアロゾル状態でのナノ粒子の合体を防ぎ得る。酸化物層は、エアロゾル状態でのナノ粒子の合体を防ぎ得る。ナノ粒子の大きさを制御するべく、酸素濃度、金属蒸発率、反応セル温度および圧力、ならびに温度および圧力勾配の少なくとも1つを制御し得る。この大きさは、ナノ粒子が分子領域の大きさになるように制御し得る。ナノ粒子はMHD部307で加速され、対応する運動エネルギーはMHDチャンネル部308で電力に変換され、ナノ粒子はMHD凝縮部309で合体させられる。SunCell（登録商標）は、凝縮部に合体面を含み得る。ナノ粒子は、合体表面に影響を与え、合体し、吸収された酸素を含む可能性のある結果として得られる液体金属は、MHD戻し用EMポンプ312に流れ込み、反応セルチャンバ5b31にポンプで送られる。

20

30

【0227】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、金属ナノ粒子上の酸化物被覆を少なくとも部分的に還元するための還元手段を含み得る。還元は、ナノ粒子が凝固または合体することを可能にし得る。この合体により、得られた液体がMHD戻し用EMポンプ312によって反応セルチャンバ5b31に送り返され得る。還元手段は、水素プラズマまたは原子状水素の化学的解離剤供給源といった原子状水素供給源を含み得る。プラズマ供給源は、グロー、アーク、マイクロ波、RF、または本開示の、もしくは当技術分野で既知の他のプラズマ供給源を含み得る。水素プラズマ供給源は、高圧、例えば開示の1つといった1つの雰囲気、動作し得る複数のマイクロロー陰極を含むグロー放電プラズマ供給源を含み得る。原子状水素供給源として機能する化学的解離剤は、セラミックで担持された貴金属水素解離剤、例えば本開示の1つといったアルミナまたはシリカベース上のPtを含み得る。化学的解離剤は、 $H_2 + O_2$ を再結合させ得る。水素解離剤は、(i) SiO_2 で支持されるPt、Ni、Rh、Pd、Ir、Ru、Au、Ag、Re、Cu、Fe、Mn、Co、Mo、またはW、(ii) ゼオライトで支持されるPt、Rh、Pd、Ir、Ru、Au、Re、Ag、Cu、Ni、Co、Zn、Mo、W、Sn、In、Ga、ならびに(iii) ムライト、SiC、SiC、 TiO_2 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、および混合酸化物で担持された貴金属、貴金属合金、貴金属混合物、および希土類金属の少なくとも1つのうちの少なくとも1つを含み得る。水素解離剤は、Pt、PdIr、RhおよびRuを含むものといった担持バイメタルを含んでもよい。水素

40

50

解離剤の代表的なバイメタル触媒は、Pd-Ru、Pd-Pt、Pd-Ir、Pt-Ir、Pt-RuおよびPt-Rhに担持される。触媒水素解離剤は、担持されたPtのような触媒変換器の材料を含み得る。低減手段は、MHD凝縮部309およびMHD戻し用貯留槽311の少なくとも一方に配置されてもよい。

【0228】

一実施形態では、MHD部307で加速されるエアロゾルは、気体の混合物、例えば、分子領域における酸素、H₂、および希ガス、銀またはガリウムのナノ粒子、ならびに、直径約10nm~1mmの銀またはガリウム粒子といった大きな粒子の少なくとも1つを含み得る。分子領域のガスとナノ粒子の少なくとも1つとがキャリアガスとして機能し、分子領域のガスとナノ粒子との少なくとも1つがMHDノズル部307で加速するとき、より大きな粒子を加速する。分子領域のガスとナノ粒子は、反応セルチャンバ5b31において高い運動エネルギー変換を達成するのに十分なモル分率とエアロゾル混合物の圧力-熱エネルギー貯蔵量とを含み得る。分子領域におけるガスとナノ粒子とのモルパーセントは、約1%~100%、5%~90%、5%~80%、5%~70%、5%~60%、5%~50%、5%~40%、5%~30%、5%~20%、そして5%~10%の少なくとも1つの範囲内であり得る。

【0229】

一実施形態では、ナノ粒子は、熱泳動または熱勾配の少なくとも1つと、電場および磁場の少なくとも1つといった電磁場とによって輸送される。ナノ粒子は、電場が有効になるように帯電され得る。帯電は、制御された酸素添加により酸化物被覆といった被覆を適用することによって達成され得る。

【0230】

一実施形態では、MHD凝縮部309の周囲雰囲気気の導電率が電界、電位、またはプラズマが酸素ガスに適用されて酸素が銀に吸収されて反応セルチャンバに再循環されるようなものとなるように、銀エアロゾルの少なくとも1つが合体し、さらにハイドリノ反応プラズマがMHD凝縮部309では維持されない。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、MHD凝縮部309で蒸気相に放電を適用する手段を含んでもよい。放電は、グロー、アーク、RF、マイクロ波、レーザー、およびO₂を原子Oに解離することができる当技術分野で既知の他のプラズマ形成手段または放電の少なくとも1つを含み得る。放電手段は、放電エネルギー出力供給またはプラズマ発生器、放電電極または少なくとも1つのアンテナ、ならびに液体電極貫通部または誘導結合電力コネクタといった壁貫通の少なくとも1つを含み得る。別の実施形態では、原子状酸素の供給源は、高温発生器を含み得るもので、ここで、O₂が銀の膜の表面に吸収され、膜を介して拡散して原子Oに解離し、反対側の表面上にO原子を提供する。酸素原子は脱離し、次に溶融銀に吸収され得る脱着の手段は、低エネルギー電子ビームを含み得る。

【0231】

一実施形態では、マイクロホロー陰極放電により高圧グロー放電が維持され得る。マイクロホロー陰極放電は、約100ミクロンの直径の開口部を持つ2つの間隔の狭い電極間で維持され得る。例示的な直流放電は、ほぼ大気圧まで維持され得る。一実施形態では、高ガス圧の大容量プラズマは、並行して動作する個々のグロー放電の重ね合わせによって維持され得る。プラズマ中の電子密度は、イオン化ポテンシャルの低いセシウムといった金属種を追加することにより、所定の電流で増加させられ得る。電子密度の増加は、レニウム金属および他の電子銃熱電子放出体、例えば、トリエーテッド金属またはセシウム処理金属といった電子が熱放出されるフィラメント材料といった化学種を追加することによっても、なされ得る。一実施形態では、プラズマ電圧は、プラズマ電流の各電子が銀のエアロゾル粒子、加速ガス、あるいはセシウム蒸気といった追加ガスまたは化学種の少なくとも1つと衝突することによって複数の電子を生成するようにして、上昇する。プラズマ電流は、直流または交流のうちの少なくとも1つであり得る。交流電源は、MHD凝縮部のチャンバの外側と内側とで、それぞれ誘導電源と受け取り側とにより伝達される。

【0232】

一実施形態では、MHD変換器は、酸素が銀に吸収されてから反応セルチャンバ5b31に再循環されるように滞留時間と銀面積との少なくとも1つを増やすべく、MHD戻し用貯留槽311またはMHD戻し用ガス貯留槽311aのような容器を含み得る。容器のサイズは、所望の酸素吸収を達成するように選択され得る。MHD戻し用貯留槽311またはMHD戻し用ガス貯留槽311aは、サイクロン分離器をさらに含み得る。サイクロン分離器は、銀のエアロゾル粒子を合体させ得る。容器は、電解またはプラズマ放電ポンプを含み得る。

【0233】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、銀またはガリウムのナノ粒子といった金属ナノ粒子上の酸化物被膜を少なくとも部分的に低減する手段を含み得る。酸化物コー

10

トの部分的な除去は、MHD凝縮部309といったSunCell（登録商標）の所望の領域でのナノ粒子の合体を促進し得る。粒子を水素と反応させることにより、還元が達成され得る。少なくとも部分的な還元を達成するべく、制御された圧力と温度とで、水素ガスをMHD凝縮部に導入し得る。SunCell（登録商標）は、水素を含むプラズマを維持して酸化物被膜を少なくとも部分的に還元する本開示の手段を含み得る。水素還元されない追加の酸素は、融合した溶融金属に吸収され、反応セルチャンバ5b31に戻り、ナノ粒子の表面酸化物の形成および還元の循環に酸素を供給する。

【0234】

閉じた液体電磁流体力学的サイクルの実施形態では、交差した電極と可動部品のない磁場を備えた可動導体にローレンツの法則を適用する最も簡単な方法が、負荷係数 W （開回路電場に対する負荷全体の電場の比率）に近づくMHD電力変換効率を可能性とさせる。MHD効率は $W=1$ に近づくことが可能であるため、プラズマの力率の電気への変換は、圧力-熱から運動エネルギーへの変換の効率に近づくことが可能であり、ここで、99%の対応するノズル効率を実現される。例示的な動作パラメータは、少なくとも100気圧のバックグラウンド O_2 圧力、MHDチャンネルの出口での銀中の25モル%の O モル分率吸収、ナノ粒子あたり $N=20$ 個の銀原子、 $W=0.98$ 、 1 kg/s の質量流量、 10^6 S/m のガス伝導率、 2 T の均一磁場、ならびにそれぞれ1気圧、 1000 K 、および 1000 m/s に等しい入口圧力、温度、および速度である。これらのパラメータにより、最大断面積が 4 cm^2 でガス出口温度が 1800 K の長さ 16 cm のチャンネルから 471 kW のMHD電力が抽出され、溶融銀へのガス吸収によって熱量が回収される。銀は、可

20

動部品のない電磁ポンプを使用して、わずかな電力でリサイクルされる。チャンネル容積は 20.4 cm^3 であることから、対応するMHD電力密度が約 23.1 kW/cm^3 （ 23.1 MW/リットル ）であり、これは最先端の高速大型ディーゼルエンジンのわずか約 30 kW/リットル の範囲内の一般的な出力密度と非常に有利に比べられる。他の実施形態では、ナノ粒子当たりの銀原子の個数である N の増加は、固定された運動エネルギー貯蔵量のより低い速度および対応する減少した減速ローレンツ力のために、より長いチャンネルをもたらし、同様の電力変換を達成する。

30

【0235】

一実施形態では、溶融金属は、当技術分野で知られている任意の導電性金属または合金を含み得る。溶融金属または合金の融点は、低くてもよい。例示的な金属および合金はガリウム、インジウム、スズ、亜鉛、ガリニスタン合金であり、典型的な共晶混合物の一例は、 Ga が68%、 In が22%、 Sn が10%（重量比）であるが、比率は Ga が62~95%、 In が5~22%、 Sn が0~16%（重量比）の間で変動し得る。金属が酸素および水の少なくとも1つと反応して対応する金属酸化物を形成し得る実施形態では、ハイドリノ反応混合物は、溶融金属、金属酸化物、および水素を含み得る。金属酸化物は、 Sn 、 Zn 、および Fe の酸化物の少なくとも1つといった、金属に熱分解して酸素を放出するものを含み得る。金属酸化物は、 HOH 触媒を形成するための酸素の供給源として機能し得る。酸素は、金属酸化物と HOH 触媒との間で再循環され、消費された水素が再供給されることでハイドリノが形成され得る。セル材料は、セルの動作温度で非反応性となるように、選択され得る。あるいは、セルは、材料が H_2O_2 、および H_2O の少なく

40

50

とも1つと反応する温度よりも低い温度で操作されてもよい。セル材料は、ステンレス鋼、窒化ケイ素といったセラミック、 SiC 、 BN 、 YB_2 といったホウ化物、ケイ化物、およびPyrex、石英、 MgO 、 Al_2O_3 、および ZrO_2 といった酸化物の少なくとも1つを含み得る。例示的な実施形態では、セルは、動作温度が約 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 未満である BN および炭素の少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、発電システムの少なくとも1つの構成要素は、セラミックを含み得るもので、該セラミックは、AおよびBの少なくとも1つを含み得る。金属酸化物、アルミナ、ジルコニア、マグネシア、ハフニア、炭化ケイ素、炭化ジルコニウム、ニホウ化ジルコニウム、窒化ケイ素、および、 $\text{Li}_2\text{O}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times n\text{SiO}_2$ システム(LASシステム)、 $\text{MgO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times n\text{SiO}_2$ システム(MASシステム)、 $\text{ZnO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times n\text{SiO}_2$ システム(ZASシステム)といったガラスセラミックの少なくとも1つを含み得る。

10

【0236】

一実施形態では、注入金属は、 700°C 未満の融点を有するものといった低い融点を有し得るもので、例えば、ビスマス、鉛、スズ、インジウム、カドミウム、ガリウム、アンチモン、またはローズの金属、セロセーフ、ウッドメタル、フィールドメタル、セロロー136、セロロー117、 Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl 、ガリNSTANといった合金の少なくとも1つである。貯留槽5cといった少なくとも1つの構成要素は、ジルコニア、アルミナ、石英、またはPyrexといったセラミックを含み得る。貯留槽の端を金属化して、金属製のコンテナ底板または電磁ポンプアセンブリ5kk1の基部への接続を容易にすることが可能である。容器と電磁ポンプアセンブリ5kk1の基部との間の結合部は、ろう付けまたは銀はんだといったはんだを含み得る。あるいは、結合部はガスケット付きフランジシールを含んでもよい。EMポンプは、金属製のEMポンプ管5k6、点火電磁ポンプバスバー5k2、および点火電磁ポンプバスバー5k2aといった点火接続を備える。溶融金属の噴射および点火の少なくとも1つは、DC電流によって駆動されるが、ここで、注入ポンプは、DC EMポンプを含み得る。DC EMポンプ管5k6、リザーバサポート5kk1、EMポンプバスバー5k2、および点火バスバー5k2aのうちの少なくとも1つは、ステンレス鋼のような金属を含み得る。点火バスバー5k2aは、リザーバサポート5kk1およびDC EMポンプ管5k6のうちの少なくとも1つに接続し得る。反応セルチャンバ5b31は、ジルコニア、アルミナ、石英、またはパイレックス(登録商標)のようなセラミックを含み得る。あるいは、反応セルチャンバ5b31は、 SiC 被覆炭素を含み得る。SunCell(登録商標)は、リザーバレベルが低下するにつれて流入する溶融金属を調整する複数の孔または上から下に変更されたチャンネルまたはスロットを備えるもののような入口上昇管5qaを含み得る。調整は、レベルの極端な差異を回避しつつ、リザーバレベルのバランスをとるように機能し得る。初期の溶融金属の充填レベルと入口の底の高さは、最大および最小のリザーバの高さを設定するため選択され得る。

20

30

【0237】

一実施形態では、溶融金属は、ガリウムまたは Ga-In-Sn 合金といった合金を含む。 300°C 以下で溶融するような低融点金属を有するSunCell(登録商標)は、溶融金属を反応セルチャンバ5b31に注入するための機械式ポンプを備えていてもよい。機械式ポンプは、該機械式ポンプの最大能力を下回る動作温度では、誘導EMポンプ400といったEMポンプと置き換えられ得るものであり、動作温度が高い場合はEMポンプが使用可能である。通常、機械式ポンプは約 300°C の温度限界まで動作する。ただし、セラミックギアポンプは 1400°C まで動作する。 300°C 未満といった低温での動作は、温水および低圧水流用途に最適であり、SunCell(登録商標)の加熱器は、図24に示すような熱交換器114を備える。 H_2 および O_2 といった反応物ガスは、タンク422および供給管422からガス透過膜309dを介して拡散することにより、反応セルチャンバ5b31といったセルに追加され得る。

40

【0238】

SunCell(登録商標)ヒータまたは熱出力発生器の実施形態(図24)は、球形反

50

応器 5 b 4 からの放射による熱を受け取るパネルまたは部分 1 1 4 a を含む空間的に分離された円周方向半球形熱交換器 1 1 4 を備えた球形反応器セル 5 b 3 1 を備える。各パネルは、球の極を通る 2 つの大円によって画定される球面の部分を含み得る。熱交換器 1 1 4 は、熱交換器のパネル 1 1 4 a のそれぞれからの冷却剤ライン 1 1 4 c および冷却剤出口マニホールド 1 1 4 f を備えたトロイドマニホールド等のマニホールド 1 1 4 b を、さらに備え得る。各冷却剤ライン 1 1 4 c は、冷却剤入口ポート 1 1 4 d および冷却剤出口ポート 1 1 4 e を含み得る。熱出力発生器は、入口および出口 3 0 9 e を有するガスポンベ 4 2 1 と、熱交換器 1 1 4 の上部を通して球形セル 5 b 3 1 の上部にあるガス透過膜 3 0 9 d まで延びるガス供給管 4 2 2 とを、さらに備え得る。ガス供給管 4 2 2 は、熱交換器 1 1 4 の上部にある冷却剤収集マニホールド 1 1 4 b を通ることができる。別の Sun Cell (登録商標) ヒータの実施形態 (図 2 4) では、反応セルチャンバ 5 b 3 1 は、円筒形熱交換器 1 1 4 を有する円筒形であってもよい。ガスポンベ 4 2 1 は、熱交換器 1 1 4 の外側にあってもよく、ガス供給管 4 2 2 は、熱交換器 1 1 4 を貫通することにより、反応セルチャンバ 5 b 3 1 の上部にある半透性ガス膜 3 0 9 d に接続する。少なくとも 1 つの反応セルチャンバ 5 b 3 1、反応セルチャンバ 5 b 3 1 の上部にあるガス膜 3 0 9 d、およびガス供給管 4 2 2 の少なくとも一部分は、セラミックを含み得る。ガスポンベ 4 2 1 に接続するガス供給管 4 2 2 は、ステンレス鋼といった金属を含み得る。ガス供給管 4 2 2 のセラミック部分および金属部分は、ガス供給管セラミックによって、カーボンガasket 等のガasket を含み得る金属フランジ 4 2 2 a に接合され得る。冷水は、ボイラー 1 1 6 に収集されて蒸気出口 1 1 1 から出る蒸気を形成するべく、入口 1 1 3 に供給されて熱交換器 1 1 4 で加熱され得る。熱出力発生器は、誘導 EM ポンプ 4 0 0、貯留器 5 c、および反応セルチャンバ 5 b 3 1 を含む二重溶融金属注入器をさらに備え得る。

10

20

30

40

50

【0239】

点火電磁ポンプバスター 5 k 2 a といった点火バスターを含む点火システムを備える Sun Cell (登録商標) といった実施形態では、電気抵抗が減少して点火電流が増加する。Sun Cell (登録商標) は、貯留槽 5 c といった溶融金属に直接接触する点火バスターを備え得る。点火バスターは、銀またはガリウムといった溶融金属に直接接触するべく、容器支持板 5 b 8 の貫通部を備え得る。Sun Cell (登録商標) は、液面下 EM ポンプ注入器 5 k 6 1 といった液面下電極を備えてもよく、これは、容器の溶融金属と、対応する電磁ポンプによって作成されたストリームの溶融金属との間に直接の電氣的接触を提供する。少なくとも 1 つの注入された溶融金属流の電気回路は、容器支持板 5 b 8 を貫通する点火バスター 5 k 2 a、貯留槽 5 c の溶融金属、および、液面下 EM ポンプ注入器からの対応する流れに接触する容器の溶融金属を備え、該流れは溶融金属を貫通して、逆の流れまたは対応するカウンター電極に到達する。容器の上部は、注入の変動を避けるために十分な溶融金属体積を提供するべく、十分な面積を有してもよく、体積が面積×浸漬深さで与えられる。注入の変動は、溶融金属表面での浸漬深度と乱流との少なくとも一方に影響を与える、戻り溶融金属流の流量の変動が原因であり得る。

【0240】

プラズマ反応は、イオン再結合のアーク電流機構に基づいて予測されるように、正電極ではるかに強いことが観測され、ハイドリノ反応の反応速度を大幅に向上させる。ハイドリノ反応器では、正電極はグロー放電とは対照的に固有なものであり、負の電極は、プラズマエネルギー出力が散逸し、グローが発生する場所である。一実施形態では、注入器貯留槽 5 c は、反応セルチャンバ 5 b 3 1 の底部の一部をさらに含み得るもので、カウンター電極は、注入器貯留槽および電極から電氣的に絶縁された隆起した台座電極を含む延長部または台座 5 c 1 を含む非注入器貯留槽を含み得る。カウンター電極または非注入器電極は、電気絶縁体を含んでもよく、電気絶縁を提供するためにドリップ縁部をさらに含んでもよい。注入器電極およびカウンター電極は、それぞれ負および正であり得る。

【0241】

例示的な実施形態では、図 2 5 に示される台座電極を有する Sun Cell (登録商標) は、(i) 注入器貯留槽 5 c、EM ポンプ管 5 k 6 およびノズル 5 q、貯留槽底板 4 0 9

a、ならび球状反応セルチャンバ5 b 3 1ドームと、(i i)スリーブ貯留槽4 0 9 dの端部にスリーブ貯留槽フランジ4 0 9 eを有する下半球5 b 4 1に溶接されたS Sを含み得るスリーブ貯留槽4 0 9 dを含む非注入器貯留槽と、(i i i)上部の台座5 c、およびスリーブ貯留槽フランジ4 0 9 eに嵌合する下部の挿入貯留槽フランジ4 0 9 gから構成される電気絶縁体挿入貯留槽4 0 9 f、ここで挿入貯留槽4 0 9 f、ドリップ縁部5 c 1 aをさらに含み得る台座5 c、挿入貯留槽フランジ4 0 9 gは、ドリップ窒化ホウ素、あるいはB N - C a OやB N - Z r O₂といった安定化された炭化ケイ素、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、または石英、または高融点金属、カーボン、あるいはS i CまたはZ r B₂カーボンといった保護被膜が施されたセラミックを含み得るものと、(i v)底板が、スリーブ貯留槽フランジ4 0 9 eにボルトで固定されて、挿入貯留槽フランジ4 0 9 gを挟むもので、点火バスバー1 0 a 1および点火バスバー1 0用の貫通部を有するS Sを含むものといった貯留槽底板4 0 9 aと、を備える。一実施形態では、S u n C e l l (登録商標)は、接合部を囲んで密閉する真空ハウジングを備え得るもので、スリーブ貯留槽フランジ4 0 9 e、インサート貯留槽フランジ4 0 9 g、および貯留槽ベースプレート4 0 9 aを含み、ここで、ハウジングが電極バスバー1 0に電氣的に絶縁される。

10

20

30

40

50

【0 2 4 2】

図25に示す実施形態では、倒立台座5 c 2と点火バスバーと電極1 0とが、セル5 b 3のほぼ中心に向けられ、z軸の負の方向に配向され、必要に応じ、少なくとも1つのカウンター注入器電極5 k 6 1が重力に対して正のz方向に沿って容器5 cから熔融金属を注入する。注入された熔融金属流は、必要に応じ、重力に逆らって台座5 c 2の液体金属のコーティングまたは溜りを保ち得る。溜りまたはコーティングは、少なくとも部分的に電極1 0を覆うこと可能である。溜りまたはコーティングは、腐食または溶融といった損傷から電極を保護し得る。後者の場合、E Mポンピング速度を増加させて、流れる注入された熔融金属により、電極冷却を高めることが可能である。電極の面積と厚さとを大きくすることで、局所的なホットスポットを消散させ、溶融を防ぐことも可能である。台座は正にバイアスされ、かつ注入器電極は負にバイアスされ得る。別の実施形態では、台座は負にバイアスされ、かつ注入器電極は正にバイアスされてもよく、注入器電極が熔融金属に浸漬されてもよい。ガリウムといった熔融金属は、反応セルチャンバ5 b 3 1の下部の一部を満たしてもよい。注入された熔融金属のコーティングまたは溜りに加えて、W電極といった電極1 0は、印加された負のバイアスによって腐食から保護され得る。一実施形態では、電極1 0は、電極を腐食から保護するために、レニウムコーティングのような不活性導電性コーティングといったコーティングを含み得る。一実施形態では、電極は冷却されてもよい。冷却は、電極腐食速度および熔融金属との合金形成速度の少なくとも1つを低減し得る。冷却は、中心線水冷といった手段によって達成することができる。一実施形態では、反転電極の表面積は、注入器電極からのプラズマおよび熔融金属流の少なくとも1つと接触する表面のサイズを増加させることによって増加する。例示的な実施形態では、大きなプレートまたはカップが電極1 0の端部に取り付けられる。別の実施形態では、対極の面積を増加させるべく、注入器電極を浸漬させてもよい。図25は、例示的な球状反応セルチャンバを示す。長方形、立方体、円筒形、および円錐形といった他の形状は、本開示の範囲内である。一実施形態では、貯留槽の上部に接続する反応セルチャンバの底部は、E Mポンプの入口に入るときに熔融金属の混合を容易にするべく、円錐形のように傾斜していてもよい。一実施形態では、反応セルチャンバの外面の少なくとも一部は、反応セルチャンバ壁部上のホットスポットを回避するべく、銅のような高い熱伝達係数を有する材料で覆われてもよい。一実施形態では、S u n C e l l (登録商標)は、反応セルチャンバ壁に熔融金属を注入して熔融金属の壁を保つことで反応セルチャンバ内のプラズマがその壁を溶融するのを防ぐべく、E Mポンプといった複数のポンプを含む。別の実施形態では、反応セルチャンバ壁は、ホットスポットを回避するために、B N、溶融シリカ、または石英ライナーのようなライナー5 b 3 1 aを含む。例示的な反応セルチャンバは、石英プレートで裏打ちされた立方体状上部と、下部にE Mポンプを含む球形状下部とを含み、球形状下部は熔融金属混合を促進する。

【0243】

一実施形態では、スリーブ容器409dは、点火バスバーおよび電極10の嵌合する電気絶縁体を含み得るもので、その結果、溶融金属は、倒立台座5c2の端部のカップまたはドリップ縁部5c1aにのみ独占的に含まれる。挿入容器フランジ409gを有する挿入容器409fは、容器底板409a、スリーブ容器409d、およびスリーブ容器フランジ409eによって反応セルチャンバ5b3に取り付けられてもよい。電極は、電極貫通部10a1を介して容器底板409aを貫通し得る。

【0244】

別の実施形態では、挿入貯留槽フランジ409gは、フィードスルーのバスバー10および台座5c1または挿入貯留槽409fを貯留槽底板409aから電氣的に絶縁する貯留槽底板409aに設けられたフィードスルーに、置き換えられてもよい。フィードスルーは、貯留槽底板に溶接され得る。バスバー10を含む例示的なフィードスルーは、ソリッドシーリングテクノロジー社(Solid Sealing Technology, Inc.)の#FA10775である。バスバー10は、電極8に結合され得るか、またはバスバー10および電極8は、一体成形から構成されてもよい。貯留槽底板は、スリーブ貯留槽フランジに直接結合され得る。ユニオンは、介在するガスケットと一緒にボルトで固定されるコンフラットフランジを含み得る。該フランジは、銅ガスケットといった軟質金属ガスケットを密封するためのナイフエッジを含み得る。挿入貯留槽409fを含むセラミック台座5c1は、穴あけされた貯留槽底板409aにカウンタシンクされてもよく、台座と貯留槽底板との間の結合がカーボンガスケットといったガスケットまたは別の本開示のもので密封され得る。電極8およびバスバー10は、プラズマ放電が発生する端部に終板を備え得る。ガスケットに圧力を加えてディスクを押すことによって台座と貯留槽底板との間の結合を密封してもよく、それによりディスクがガスケットに圧力を加える。ディスクを回転させるとガスケットに圧力がかかるように、ディスクを電極8の端にねじ込んでもよい。フィードスルーは、バスバーおよび電極に接続する環状カラーを含み得る。環状カラーは、締められたときに電極を所定の位置にロックする固定ねじを含み得る。その位置は、エンドディスクが台座を上向きに引っ張ることによって加えられた張力の下で、ガスケットにより固定され得る。台座5c1は、セットスクリュースにアクセスするためのシャフトを含み得る。該シャフトは、例えばBN-ZrO₂といったBNを含み得るBNといったセラミックの非導電性の固定ネジで、台座の外面をシールできるようにねじ山がつけられていてもよい。別の実施形態では、バスバー10および電極8は、突き合わせ端部接続可能なロッドを備えてもよい。一実施形態では、台座5c1は、ねじ山が付いたシャフトを2本以上有し、該シャフトがバスバー10または電極8に対して締め付けられることで、張力下、所定の位置に固定される。張力は、バスバー10および電極8の接続およびガスケットへの圧力のうちの少なくとも1つを提供し得る。あるいは、対電極は、短縮された絶縁台座5c1を含み、ここで、電極8およびバスバー10の少なくとも1つは、ナットおよびワッシャが短縮された絶縁台座5c1に対して締め付けられるように、雄ねじ、ワッシャ、および対応する雌ナットを含む。あるいは、電極8は、バスバー10の一端で、一致する雌ねじに通される雄ねじを備えてもよく、さらに該電極は、台座ワッシャとカウンタシンクされ得る貯留槽底板409aとに対して、短縮された絶縁台座5c1を締め付ける固定ワッシャを備える。対電極は、当業者に公知の台座、バスバー、および電極を固定する他の手段を含み得る。

【0245】

別の実施形態では、(i)挿入貯留槽フランジ409gとスリーブ貯留槽フランジ409eとの間のシールおよび(ii)貯留槽底板409aとスリーブ貯留槽フランジ409との間のシールといった少なくとも1つのシールは、ウェットシールを含み得る(図25)。後者の場合、挿入貯留槽フランジ409gは、フィードスルーおよび台座5c1のバスバー10を貯留槽底板409aから電氣的に絶縁する貯留槽底板409aに取り付けられたフィードスルーと交換可能であり、ウェットシールは、貯留槽底板409aとフィードスルーとの間にそれを含み得る。ガリウムは融点1900℃の酸化物を形成するべくウェ

10

20

30

40

50

ットシールは固体の酸化ガリウムを含み得る。

【0246】

一実施形態では、水素は、構造的に強化されたPd-Agまたはニオブ膜といった水素透過性膜を介してセルに供給され得る。水素透過性膜を通る水素透過速度は、透過性膜の外面にプラズマを維持することによって増加させることが可能である。SunCell（登録商標）は、プラズマセルの陰極といったプラズマセルの電極を含み得る半透膜を含んでもよい。図25に示されるようなSunCell（登録商標）は、セル5b3の壁の一部を取り囲む外壁を含む外側密閉プラズマチャンバをさらに含み得、セル5b3の金属壁の一部は、プラズマセルの電極を含む。密封されたプラズマチャンバは、セル5b3の壁がプラズマセル電極を含み得、チャンバ内のハウジングまたは独立電極が対電極を含み得る、ハウジングといったセル5b3の周りのチャンバを含み得る。SunCell（登録商標）は、プラズマ電源、プラズマ制御システム、水素ガス供給タンクといったガス供給源、水素供給モニターおよびレギュレータ、ならびに真空ポンプをさらに含み得る。

10

【0247】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、電力源と点火回路との間の干渉を軽減または排除する手段とEMポンプ5kkへの電源とを含む干渉排除器を備える。干渉除去器は、2つの対応する電源間の干渉を防ぐために、点火およびEMポンプ電流の相対電圧、電流、極性、波形、およびデューティサイクルを調整するための1つまたは複数の回路要素と1つまたは複数の制御器とのうちの少なくとも1つを含み得る。

【0248】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、EMポンプ管5k61の注入器部分内の金属流の電気抵抗を増加させる手段を含む。電気抵抗を増加させる手段は、EMポンプ5kkへの金属流の影響を最小限にする電流制限器を含み得る。電流抵抗器は、EMポンプ磁石5k4およびバスバー5k2の近くに配置することができ、その結果、電流抵抗器は、電流抵抗器の後に金属流に供給され得る点火電流に干渉しない。電流抵抗器は、熔融金属の流れを可能にするために回転する複数のベーンまたはパドルを含み得る。パドルまたはベーンはシャフトに取り付けられてもよい。パドルまたはベーンは、窒化ホウ素、石英、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、または本開示もしくは当技術分野で公知の他のセラミックといったセラミックとしての絶縁体を含み得る。一実施形態では、電流抵抗器は、EMポンプ流への電流遮断器、セラミックといった絶縁体パドルホイール、例えばBNのものを含む。電流遮断器は、EMポンプ管5k61の注入器部分の一部分に突起を含むハウジングに収容されてもよい。パドルホイールのシャフトは、ハウジングの内壁に固定され得る。回転方向を所望の方向にバイアスするための実施形態では、パドルまたはベーンの少なくとも1つは、湾曲またはカップ状にされてもよく、パドルホイールは、EMポンプ管の流れの中心からオフセットされ得る。ハウジングはオフセットに対応し得る。一実施形態では、電流遮断器は、EMポンプの入口側および注入出口側の少なくとも1つに配置され得る。EMポンプ管は、非定常熔融金属流を軽減するための流量調整器を含むリザーバを形成するべく、より大きな直径を有する突起または部分を含み得る。貯留槽は、電流遮断器を通過した後、流れを受け取ることが可能である。一実施形態では、電流遮断器は、入口と出口との両方のEMポンプ管内の熔融金属を通る電流を遮断するように機能し得る。電流遮断器は、一方の半分で入口の流れを復活させ、ホイールのもう一方の半分で流出の流れを受け取る単一のパドルホイールを備え得る。入口管と出口管のそれぞれは、流れの下流に貯留槽を含み得る。出口の流れは、パドルホイールなどの現在の遮断器によって妨げられる可能性のある入口の流れを促進するべくホイールを回転させるのに役立つ。

20

30

40

【0249】

一実施形態では、電流制限器は、その軸が流れの方向と整列し、かつ流れの方向に基づいて所望のオーガシャフトの回転を容易にするらせんピッチを含む、EMポンプ管の内側にオーガを含み得る。電流制限器は、回転がEMポンプによって推進される熔融金属流によって達成されるアルキメディアンスクリュウポンプタイプを含み得る。オーガは、電気絶

50

縁体、例えば本開示の1つのセラミックを含み得る。オーガは、炭素またはステンレス鋼といった金属を含むものであってもよく、これらは、絶縁体、例えばアルミナ、シリカ、ムライト、BN、または本開示の別のもので、コーティングされ得る。オーガの融点よりも低い低温操作の場合、オーガは、テフロン（登録商標）、ビトン、デルリン、または当業者に知られている別の高温ポリマーを含み得る。一実施形態では、オーガを収容するEMポンプ管部分は、溶融金属の流れに対する抵抗を低減するべく、対応するより大きな直径のオーガを備えたより大きな直径を含み得る。オーガは、それを所定の位置に固定して回転できるようにするマウントを、備えてもよい。各端部のオーガマウントはそれぞれ、オーガを収容するEMポンプ管部分のハウジングの直径を横切るシャフト上のスリップベアリングを含み得る。マウントは、ステンレス鋼、タンタル、またはタングステンといった、ガリウムとの合金の形成に耐性のある材料を含み得る。一実施形態では、EMポンプ管の注入部分は、セラミックといった電気絶縁体から構成される。ノズルは、点火電力と対応する注入された溶融金属流との間の電氣的接触を優先するために沈められ得る。

10

20

30

40

50

【0250】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、対応する電源を含む少なくとも1つのEMポンプと、対応する電源を含む少なくとも1つの点火システムとを備える。一実施形態では、これらの対応する電源は異なる周波数のものであり、共通の電気接点として溶融金属を有する回路といった共通の伝導回路が存在する場合、点火電源からの点火電力は、EMポンプ電源からのEMポンプ電力と切り離される。例示的な実施形態では、交流伝導EMポンプは直流伝導点火電流から切り離されてもよく、さもないと直流伝導EMポンプが交流伝導点火電流から切り離されてよい。あるいは、EMポンプおよび点火電流の少なくとも1つは、対応する交流変圧器によって維持される誘導交流電流を含んでもよく、ここで、複数の変圧器が結合しないように設計される。電氣的結合はまた、磁気結合、インペラ、ピストン、回転磁石、蠕動、あるいは当技術分野で公知の他のタイプの機械的ポンプまたはリニア誘導EMポンプといった機械的ポンプを含む実施形態において排除されてもよく、ここで、点火電流および対応する電源の周波数は任意の周波数を含み、かつ電流は伝導型または誘導型であり得る。

【0251】

SunCell（登録商標）はさらに、光を光起電力（PV）変換器に送るべく、PV変換器と窓部とを含み得る。図26～27に示す一実施形態では、SunCell（登録商標）は、垂直軸に沿って先細りの断面を持つ反応セルチャンバ5b31と、テーパ状の頂点にあるPV窓部5b4とを備える。嵌合テーパを備えた窓部は、円形（図26）あるいは正方形または長方形（図27）といったPV配列26aを収容する任意の所望の形状を含み得る。テーパは、光起電力（PV）変換器26aによる効率的な光から電力への変換を可能にするべく、PV窓部5b4の金属化を抑制する。PV変換器26aは、本開示のPVセルといったコンセントレータPVセルの高密度受信機配列を備えてもよく、マイクロチャネルプレートを用意するものといった冷却システムをさらに備えてもよい。PV窓部5b4は、金属化を抑制する被膜を含んでもよい。PV窓部被膜の熱劣化を防ぐために、PV窓部を冷却され得る。SunCell（登録商標）は、図25に示すものと同様に、倒立台座5c2の端にカップまたはドリップ縁部5c1aを有する少なくとも1つの部分的な倒立台座5c2を含み得る。ただし、台座および電極10の各々の垂直軸は、垂直またはz軸に対してある角度で配向され得る。角度は1°～90°の範囲内であり得る。一実施形態では、少なくとも1つのカウンター注入器電極5k61は、必要に応じ、重力に対して正のz方向に斜めに貯留槽5cから溶融金属を注入する。注入ポンプは、EMポンプアセンブリスライドテーブル409cに取り付けられたEMポンプアセンブリ5kkによって提供され得る。例示的な実施形態では、部分的倒立台座5c2およびカウンター注入器電極5k61は、図26に示すように、水平またはx軸に対して135°の軸上に配置されるか、あるいは図27に示すような水平またはx軸に対して45°の軸上に配向される。挿入貯留槽フランジ409gを有する挿入貯留槽409fは、貯留槽底板409a、スリーブ貯留槽409d、およびスリーブ貯留槽フランジ409eによって、セ

ルチャンバ5 b 3に取り付けられてもよい。電極は、電極貫通部1 0 a 1を介して貯留槽底板4 0 9 aを貫通してもよい。注入器電極のノズル5 qは、反応セルチャンバ5 bおよび貯留槽5 cの底部に含まれる液体ガリウムといった液体金属の液面下に位置し得る。ガスは、反応セルチャンバ5 b 3 1に供給され得るもので、あるいは、チャンバが4 0 9 hといったガスポートを介して排気され得る。

【0 2 5 2】

図2 8に示される代替実施形態では、Sun Cell (登録商標)は、負の垂直軸に沿って先細りの断面を持つ反応セルチャンバ5 b 3 1と、該反応セルチャンバ5 b 3 1の上部を含むテーパー(図2 6~2 7に示される実施形態の反対側のテーパー)の大径端にあるP V窓部5 b 4とを備える。一実施形態では、Sun Cell (登録商標)は、正の円柱形状を含む反応セルチャンバ5 b 3 1を含む。注入器ノズルおよび台座対電極は、円柱の両端の垂直軸上または該垂直軸に対して傾斜した線に沿って、配向され得る。

10

【0 2 5 3】

一実施形態では、P V窓部は、一緒に束ねられ得る複数の狭いチャンネルまたは管を含み得る。各チャンネルは、反応セルチャンバから離れた端部にP V窓部を含み得る。チャンネルは垂直に向けられ得る。チャンネルの軸に沿って推進される溶融金属は、管内のガスの機械的リアクタンスの少なくとも1つと重力とによって、P V窓部への到達が阻止され得る。上向きに動く粒子の初期運動エネルギーは、上向きの動きが停止するにつれ重力エネルギーに変換され得る。チャンネル面積は、約0 . 0 1 c m²~1 0 c m²、0 . 0 5 c m²~5 c m²、および0 . 1 c m²~1 c m²の少なくとも1つの範囲内にあり得る。

20

【0 2 5 4】

一実施形態では、P V窓部は、光透過性窓部と、間接経路を移動することによって光が光透過性窓部に入射するように光を反射しながら光透過性窓部が溶融金属によってコーティングされるのを物理的にブロックする少なくとも1つのミラーまたは反射器とを備える。光透過性窓部は、石英、サファイア、ガラス、または本開示の別の窓材料といった材料を含み得る。セルの溶融金属は、溶融ガリウムまたは溶融銀といった低放射率の1つを含み得る。反射器は、コーティングされた表面が主にセルからの入射光を反射し、光を窓に入射するように向けるように、溶融金属でコーティングされた表面を含み得る。反射器は、滑らかであり得る金属板といった複数のそのような表面を含み得る。金属粒子は直線軌道に沿って流れ、複数の反射器で跳ね返らないことが可能である。したがって、反射器は、窓への金属の流れを遮断する可能性がある。反射器は、窓への金属粒子の直線経路を遮断しながら窓への間接光経路を提供する任意の所望の配置で、任意の所望の角度に向けられ得る。例示的な実施形態では、金属板といった反射板は、略平行な平面を含みかつ各板が垂直軸に対してほぼ同じ傾斜角を有する対になって配置され得るもので、該対の第2の板が第1の板に対して横方向にずらせて配置される。複数のそのような対は、互いに対して横方向にずらせて配置され、かつ互いに対して垂直方向にずらせて配置されてもよい。光の入射角は、反射中の反射角とほぼ等しくなり得る。光は、少なくとも1対の反射器からの複数の反射に続いて、漸進的な垂直軌道に沿って進む際に横方向に変位し得る。反射器は、横方向の光の変位を少なくとも部分的に逆転させるように配置され得る。例示的な実施形態では、反射器は、正のz方向に進む光が第1の反射器から横方向に沿って反射され、次に第2の反射器によって正のz方向に反射されるように配置され得る。別の実施形態では、反射器は、軌道がz方向に進むにつれて、入射光が横方向に沿って交互に前後に反射されるように配置され得る。例示的な実施形態では、z方向に伝搬する光は、(i) x方向といった横方向、(i i) 正のz方向、(i i i) 負のx方向といった反対の横方向、および(i v) 正のz方向という一連の反射を受ける。垂直なジグザグを含む光路を光が横切るようにすることが可能である。ジグザグ経路は、積み重ねられた複数(整数n)の反射器対を使用して、所望の距離だけ垂直に延長され得る。各対を構成するものは、互いに平行であってもよい。各n番目の連続する対は、ジグザグ光チャンネルを形成するために、(n - 1) 番目の対に対して垂直に配向され得る。ジグザグチャンネルのx幅、y幅、およびz高さの少なくとも1つを制御することで、金属粒子から光を選択的に分離するこ

30

40

50

とが可能である。x 幅、y 幅、および z 高さのうちの少なくとも 1 つは、1 mm ~ 1 m、5 mm ~ 100 cm、および 1 cm ~ 50 cm の少なくとも 1 つの範囲内とすることが可能である。一実施形態では、チャンネルの x 幅または y 幅のうちの少なくとも 1 つは、垂直位置の関数として、または z 方向に変化し得る。チャンネルは、高さとともに少なくとも 1 つの幅でテーパ、広幅、または変動のうちの少なくとも 1 つであり得る。チャンネルは、正方形チャンネルといった矩形チャンネルを含み得る。一実施形態では、少なくとも 1 つの反射器は、高い反射率を維持するべく表面上を流れるガリウムといった熔融金属の供給源を、含み得る。熔融金属の供給源は、少なくとも 1 つの EM ポンプおよび 1 つの熔融金属貯蔵槽を含み得る。貯蔵槽は、貯蔵槽 5 c を含み得る。

【0255】

SunCell (登録商標) は、窓部 を透過する波長の光源として機能する透明な窓部を含み得る。SunCell (登録商標) は、黒体光源として機能し得る黒体放射体 5 b 4 を含み得る。一実施形態では、SunCell (登録商標) は光源 (例えば、反応からのプラズマ) を備え、窓部 から放出されるハイドリノプラズマ光が室内用、街路用、商業用、または工業用照明といった目的の照明用途あるいは化学処理またはリソグラフィといった加熱または処理に利用される。

【0256】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、貯留槽 4 1 4 の交差接続チャンネルを持つ誘導点火システム、電磁誘導ポンプといったポンプ、伝導 EM ポンプ、または注入器貯留槽の機械式ポンプ、および、カウンター電極として機能する非注入器貯留槽を備える。貯留槽 4 1 4 の交差接続チャンネルは、非注入器貯留槽がほぼ満たされているように保たれ得る制限された流れ手段を含み得る。一実施形態では、貯留槽 4 1 4 の交差接続チャンネルには、固体導体 (例えば、固体銀) といった流ない導体が含まれてもよい。

【0257】

一実施形態 (図 29) では、SunCell (登録商標) は、陰極と陽極のバスバーまたは電流コネクタとの間に電流コネクタまたはリザーバジャンパケーブル 4 1 4 a を備える。セル本体 5 b 3 は非導体を含んでよく、あるいはセル本体 5 b 3 はステンレス鋼といった導体を含んでよく、少なくとも 1 つの電極は誘導電流が電極間に流れるように強制されるようにしてセル本体 5 b 3 から電氣的に絶縁される。電流コネクタまたはジャンパケーブルは、台座電極 8 の少なくとも 1 つおよび電気コネクタの少なくとも 1 つを、EM ポンプおよび EM ポンプの貯留槽 5 c 内の金属と接触状態にあるバスバーに、接続し得る。SunCell (登録商標) の陰極および陽極、例えば、図 25 ~ 28 に示されるような、倒立台座 5 c 2 または台座 5 c 2 といった台座電極を z 軸に対してある角度をなして含む陰極および陽極は、少なくとも 1 つの EM ポンプ 5 k k によって注入された熔融金属流によって閉電流ループを形成する電気コネクタを陽極と陰極との間に含み得る。金属流は、熔融金属 EM ポンプ注入器 5 k 6 1 および 5 q の少なくとも 1 つ、または貯留槽 5 c 内の金属および台座の電極と接触することによって、導電性ループを閉じることが可能である。SunCell (登録商標) は、ループの熔融金属に電流を誘導するべく、閉じた導電性ループ内にヨーク 4 0 2 を有する点火変圧器 4 0 1 をさらに備えてもよく、これは、二次短絡された単一ループとして機能する。変圧器 4 0 1 および 4 0 2 は、閉電流ループに点火電流を誘導し得る。例示的な実施形態では、プライマリは、1 Hz ~ 100 kHz、10 Hz ~ 10 kHz、および 60 Hz ~ 2000 Hz の少なくとも 1 つの周波数範囲内で動作可能であり、入力電圧は、約 10 V ~ 10 MV、50 V ~ 1 MV、50 V ~ 100 kV、50 V ~ 10 kV、50 V ~ 1 kV、および 100 V ~ 480 V の少なくとも 1 つの範囲内で動作可能であり、入力電流は、約 1 A ~ 1 MA、10 A ~ 100 kA、10 A ~ 10 kA、10 A ~ 1 kA、および 30 A ~ 200 A の少なくとも 1 つの範囲内で動作可能であり、点火電圧は、約 0.1 V ~ 100 kV、1 V ~ 10 kV、1 V ~ 1 kV、および 1 V ~ 50 V の少なくとも 1 つの範囲内で動作可能であり、ならびに点火電流は、約 10 A ~ 1 MA、100 A ~ 100 kA、100 A ~ 10 kA、および 100 A ~ 5 kA の範囲内であり得る。一実施形態では、プラズマガスは、任意のガス、例えば、希ガス

10

20

30

40

50

、水素、水蒸気、二酸化炭素、窒素、酸素、および大気のうち少なくとも1つを含み得る。ガス圧は、約1マイクロトル～100気圧、1ミリトル～10気圧、100ミリトル～5気圧、および1トル～1気圧の少なくとも1つの範囲内であり得る。

【0258】

ハイドリノプラズマ反応からの衝撃波と注入された金属流の不安定性との少なくとも1つといったメカニズムによって引き起こされる電極間の熔融流の乱れまたは不連続性のために二次回路が開回路になっている場合、プラズマが再確立されるまで、流速が一次側に蓄積し、二次側の電圧が上昇し得る。ひとたびプラズマが開始すると、一次側の磁束を打ち消すように二次側に発生する大電流により、電圧が低下し得る。したがって、一実施形態では、電流ループは、少なくとも1つの熔融金属流と、少なくとも1つのEMポンプ貯留槽と、少なくとも1つの熔融金属EMポンプ注入器と、両端で対応する電極バスバーに接続され、かつ変圧器の1次側を通過するジャンパーケーブルとを備えるものであり、本質的に、電圧を調整して入力電力を最小限に抑えながらプラズマ点火を実現することができる。

10

【0259】

一実施形態では、反応セルチャンバは、誘導磁束はチャンバを透過し、反応セルチャンバ内の熔融金属流に直接誘導電圧を発生させるように、非導電性の壁を備える。直接誘導は、例えば変圧器から外部から印加される交流電圧と比較して、点火電流の連続的な性質を増加させ得る。セル壁は、石英またはアルミナ、ハフニア、もしくはジルコニアといったセラミック、あるいは本開示の別の材料を含み得る。SunCell（登録商標）、例えば図25～32に示される例示的なものは、金属フランジ409gを有するセラミックまたは石英セルチャンバ5b3409gといった電気絶縁体と、貯留槽5cからセルチャンバ5b3への接続部にあるものとを備え得る。フランジは、本開示の1つまたは当技術分野で公知のものといった金属対石英または金属対セラミックシールによって電気絶縁体に取り付けられ得る。電極バスバー10は、フランジ409gにボルトで固定され、銅ガスケットといったガスケットによって密封されたプレート409aに溶接され得る。バスバー10は、BNを含むものといった電気絶縁体台座5c1によって覆われ得る。チャンバ壁5b3が導電性である別の実施形態では壁は、磁束が透過して注入された熔融金属流に及ぶようにすべく、薄くて非磁性の少なくとも1つであり得る。より良い磁束透過を可能にするべく、誘導周波数を下げてもよい。

20

30

【0260】

別の実施形態では、セルチャンバ5b3は、導電性部分と非導電性部分とを含む。セルチャンバ5b3は、点火変圧器の一次側からの最小量の磁束を遮断する部分のための導電体、例えばステンレス鋼を含み得るとともに、誘導点火変圧器の一次側からの磁束の磁束線にほぼ垂直である部分の電気絶縁体を含み得る。時間可変磁束の浸透は、参照により援用されるYang et al. (D. Yang, Z. Hu, H. Zhao, H. Hu, Y. Sun, B. Hou, 「密閉型センサの金属壁を介した電力供給とデータ伝送：総説」 (Through-Metal-Wall Power Delivery and Data Transmission for Enclosed Sensors: A Review), Sensors, (2015), Vol. 15, pp. 31581-31605; doi:10.3390/s151229870)、とりわけ第2.1節に報告されているように、細胞チャンバ壁の透磁率に大きく依存する。約1.002～1.005の相対透磁率Kは、通常、焼きなまし状態の304および316ステンレス鋼で報告されている (<https://www.mtm-inc.com/ac-20110117-how-nonmagnetic-are-304-and-316-stainless-steels.html>)。一方、石英は反磁性であり、ガリウムの透磁率は $-21.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$ (290K)である。立方体形状の反応チャンバを含む例示的な実施形態では、反応セルチャンバは、点火変換器の一次側からの磁束の磁束線を最大限に切断する2つの対向する側面上のSSフランジに取り付けられた石英窓部といった、磁束を通過させる窓部を備える。各窓部は、SS面に溶接されたボルトで固定さ

40

50

れたマッティングフランジによって、対応するセル面に対して密封される。ガリウムといった溶融金属が窓部をコーティングする場合、例示的な溶融金属ガリウムおよび銀は反磁性であり、コーティングはそれぞれ非常に薄い可能性があるため、磁束浸透への影響は最小限であると予想される。窓部は、磁束が反応セルチャンバに浸透すると反応セルチャンバ内のプラズマとEMポンプから注入された溶融金属流との少なくとも1つに対して電界を最大で直接誘導し得るように、配置され得る。

【0261】

例示的な試験実施形態は、図10に示されるSunCell（登録商標）といった2つの交差EMポンプ注入器を備えた石英SunCell（登録商標）を備えた。それぞれが例示的なFeベースのアモルファスコアを含む誘導型電磁ポンプを含む2つの溶融金属注入器は、それらが交差して1000Hz変圧器一次側を連結する三角形電流ループを作り出すように、ガリンスタンストリームを圧送した。電流ループは、ストリーム、2つのガリンスタン貯留槽、および該貯留槽の基部にあるクロスチャネルを含んだ。このループは、1000Hz変圧器の1次側への短絡した2次側として機能した。二次側の誘導電流は、低消費電力で大気中のプラズマを維持した。誘導システムは、本開示の銀ベースの作動流体-SunCell（登録商標）-電磁流体力学的発電機を可能にし、ここで、ハイドリノ反応物は、本開示に従って反応セルチャンバに供給される。具体的には、(i) 点火変圧器の一次ループが1000Hzで動作し、(ii) 入力電圧が100V~150Vであり、さらにも(iii) 入力電流が25Aであった。EMポンプ電流変圧器の60Hz電圧および電流は、それぞれ300Vと6.6Aであった。各EMポンプの電磁石は、直列の299μFコンデンサを介して60Hz、15~20Aで給電され、結果として生じる磁場の位相をEMポンプ電流変圧器のローレンツ交差電流と一致させた。

【0262】

変圧器は1000Hzの交流電源から電力の供給を受けた。一実施形態では、点火変圧器は、単相可変周波数ドライブ(VFD)といった可変周波数ドライブによって電力の供給を受けてもよい。一実施形態では、VFD入力電力は、出力電圧および電流を提供するように調整され、それにより、さらに目的の点火電圧および電流が提供されるもので、ここで、巻数および電線の太さは、VFDの対応する出力電圧と電流に合わせて選択される。誘導点火電流は、約10A~100kA、100A~10kA、および100A~5kAの少なくとも1つの範囲内にあり得る。誘導点火電圧は、0.5V~1kV、1V~100V、および1V~10Vの少なくとも1つの範囲内にあり得る。周波数は、約1Hz~100kHz、10Hz~10kHz、および10Hz~1kHzの少なくとも1つの範囲内にあり得る。例示的なVFDは、ATO7.5kW、220V~240V出力の単相500HzVFDである。

【0263】

別の例示的な試験実施形態は、図29に示されるSunCell（登録商標）のような、1つのEMポンプ注入器電極と台座対電極とを備え、それらの間に接続ジャンパーケーブル414aを備えたPyrexSunCell（登録商標）である。直流タイプの電磁ポンプを含む溶融金属注入器は、台座対電極に接続されたガリンスタンストリームをポンプで送ることで、ストリーム、EMポンプ貯留槽、および60Hz変圧器の一次側を通過して対応する電極バスに各端部に接続されているジャンパーケーブルから成る電流ループを閉じた。ループは、60Hz変圧器の一次側に対して短絡した2次側として機能した。二次側の誘導電流は、低消費電力で大気中のプラズマを維持した。誘導点火システムは、本開示の銀またはガリウムベースの溶融金属SunCell（登録商標）発電機を可能にし、ここで、ハイドリノ反応物は、本開示に従って反応セルチャンバに供給される。具体的には、(i) 点火変圧器の一次ループが60Hzで動作し、(ii) 入力電圧が300Vピークであり、(iii) 入力電流が29Aピークであった。最大誘導プラズマ点火電流は1.38kAであった。

【0264】

一実施形態では、電源または点火電源は、パルスまたは交流供給源といった時間依存電流

10

20

30

40

50

供給源のような非直流供給源を含む。ピーク電流は、 $10\text{ A} \sim 100\text{ mA}$ 、 $100\text{ A} \sim 10\text{ mA}$ 、 $100\text{ A} \sim 1\text{ MA}$ 、 $100\text{ A} \sim 100\text{ kA}$ 、 $100\text{ A} \sim 10\text{ kA}$ 、および $100\text{ A} \sim 1\text{ kA}$ といった少なくとも1つの範囲にあり得る。ピーク電圧は、 $0.5\text{ V} \sim 1\text{ kV}$ 、 $1\text{ V} \sim 100\text{ V}$ 、および $1\text{ V} \sim 10\text{ V}$ の少なくとも1つの範囲にあり得る。一実施形態では、EMポンプ電源および交流点火システムは、効果のないEMポンピングおよび所望の点火波形の歪みのうちの少なくとも1つをもたらす推論を回避するように選択され得る。

【0265】

一実施形態では、点火電流を供給するための電源または点火電源は、直流、交流、ならびに直流および交流電源のうちの少なくとも1つ、例えば、交流、直流、および直流および交流電力の少なくとも1つから電力が供給されるもの、例えば、スイッチング電源、可変周波数制御器(VFD)、交流-交流変換器、直流-直流変換器、交流-直流変換器、直流-交流変換器、整流器、全波整流器、反転器、光起電力アレイ発電機、磁気流体力学的発電機、さらには従来の発電機、例えばランキンまたはブレイトンサイクル発電機、熱電発電機、および熱電発電機を、備え得る。点火電源は、所望の点火電流を生成するべく、トランジション、IGBT、インダクタ、変圧器、コンデンサ、整流器、Hブリッジといったブリッジ、抵抗器、オペアンプ、あるいは当該技術分野で公知の別の回路要素または電力調整装置といった少なくとも1つの回路要素を含み得る。例示的な実施形態では、点火電源は、全波整流された高周波源、例えば約50%以上のデューティサイクルで正の方形波パルスを提供するものを含み得る。周波数は、約 $60\text{ Hz} \sim 100\text{ kHz}$ の範囲内であり得る。例示的な電源は、約 $10\text{ kHz} \sim 40\text{ kHz}$ の範囲の周波数で約 $30 \sim 40\text{ V}$ および $3000 \sim 5000\text{ A}$ を提供する。一実施形態では、点火電流を供給するための電力は、初期オフセット電圧、例えば交流変圧器または電源と直列であり得る $1\text{ V} \sim 100\text{ V}$ の範囲のものに充電されたコンデンサバンクを含み得るものであり、ここで、結果として生ずる電圧は、交流変調を伴う直流電圧を含み得る。直流成分は、その通常の放電時定数に依存する速度で減衰し、あるいは放電時間が増加または排除され得るものであり、ここで、点火電源は、コンデンサバンクを再充電する直流電源をさらに含む。DV電圧成分は、プラズマを開始するのを助けることが可能であり、プラズマはその後、より低い電圧で維持され得る。

【0266】

一実施形態では、SunCell(登録商標)は、注入器電極および対電極を含むセットのような電極間に電流密度を集中させて、ハイドリノ反応速度を増加させる手段を含む。高電流密度はアーク電流を形成し、それがさらに入力電力を低下させて、ハイドリノ反応による発電利得を増加させ得る。図25に示されるような実施形態では、セルチャンバ5b3または壁または反応セルチャンバ5b31は、ハイドリノ反応プラズマが高い点火電流密度で高度に集束されるように、非導電性である。貯留槽5c、セルチャンバ5b3、および反応セルチャンバ5b31の壁の少なくとも1つは、石英、熔融シリカといった非導体、アルミナ、ハフニア、ジルコニアといったセラミック、または本開示の別の非導体を含み得る。対電極用のフランジおよび貯留槽フランジは、本開示に開示されているように、金属から非導体に接合された金属、例えば石英またはパイレックス(登録商標)等に接合された金属を含み得る。反応チャンバおよび貯留槽が石英または石英ガラスといった非導体を含み得る図25に示されるような実施形態では、反応セルチャンバ5b31、貯留槽5c、およびガスポート409hのうちの少なくとも1つは、石英から金属への高温フランジを含み、(i)反応セルチャンバを、フランジ409a、バスバー10、電極8、および台座5c1を含むような台座電極アセンブリに、(ii)貯留槽5cの底部を、底板、スクリーン5qa1またはライザーチューブ5qaを任意に備えたEMポンプ入口、およびEMポンプエジェクターチューブを含むEMポンプアセンブリに、ならびに(iii)ガス供給および真空ポートの少なくとも1つを、対応するガスおよび真空ラインへ接続する。シール、フランジ、接続、ガスケット、およびファスナは、本開示のものまたは当技術分野で公知のものであってもよい。一実施形態では、反応セルチャンバ壁は、B

N、ムライト、アルミナ、シリカといった非導体コーティングを含むステンレス鋼といった金属といった導体、または本開示の別のものであってもよく、ここで、反応セルチャンバの外側から内側に貫通する電線は電氣的に絶縁される。

【0267】

一実施形態では、ハイドリノプラズマおよび点火電流の少なくとも1つは、アーク電流を含み得る。アーク電流は、電流が大きいほど電圧が低くなるという特性を有し得る。一実施形態では、反応セルチャンバ壁および電極の少なくとも1つは、ハイドリノプラズマ電流と非常に高い電流で非常に低い電圧を有するアーク電流を含む点火電流とのうちの少なくとも1つを形成および支持するように選択される。図25に示されるような単一の注入器セル設計の実施形態では、非注入器電極8は、正極であってもよい。ハイドリノ反応が正極で発生してもよい。非注入器電極を正極にすることで、ハイドリノ反応が最も高い反応速度を示す反応セルチャンバ内の領域で電流密度を増加させ得る。電極8（図25）は、電極8を熱損傷から保護するためにガリウムプーリングを支持するべく、ハイドリノ反応に曝された端部5c1a上で凹状であってもよい。一実施形態では、注入器電極は、プラズマを濃縮して電流密度を増加させるべく、浸漬させなくてもよい。注入器電極は、耐火材料、例えばタングステンといった耐火金属を含み得る。反応セルチャンバ容積の少なくとも1つと反応セルチャンバおよびリザーバの少なくとも1つのような溶融金属表面積とを最小化して、点火電流密度を増加させることが可能である。電流密度は、約 $1\text{ A/cm}^2 \sim 100\text{ MA/cm}^2$ 、 $10\text{ A/cm}^2 \sim 10\text{ MA/cm}^2$ 、 $100\text{ A/cm}^2 \sim 10\text{ MA/cm}^2$ 、および $1\text{ kA/cm}^2 \sim 1\text{ A/cm}^2$ の少なくとも1つの範囲内にあり得る。電流密度を増加させるための例示的な実施形態では、非注入器電極8は、正極または負極のいずれかであり得、BN台座5c2の凹状台座ドリップ縁部5c1に少なくとも部分的に突出するW製またはTa製のロッドといった高融点金属部分といった部分を含む。一実施形態では、BN台座5c2の凹状台座ドリップ縁部5c1は、本開示の1つのようなセラミックといった耐火材料、またはタングステン、タンタル、もしくはモリブデンといった耐火金属または本開示の別のものを含み得る。台座5c2の上部は、バスバー10が反応チャンバ壁に短絡するのを防ぐために、バスバー10上に電気絶縁体を備え得る。絶縁体は、BNまたは本開示の別のもののようなセラミックを含み得る。H₂流量は、電流密度の増加に伴って増加し、より高い出力電力および利得を生成し得る。注入器電極からのプラズマおよび溶融金属流の少なくとも1つと接触している表面の大きさ。例示的な実施形態では、大きなプレートまたはカップが電極10の端部に取り付けられる。別の実施形態では、注入器電極を浸漬させて、対電極の面積を増やすことが可能である。図25に示すような球形セルを含む実施形態では、球形の反応セルチャンバの中央で点火が起こり、ハイドリノ反応から出る衝撃波の通常の入射反射によってハイドリノ反応プラズマが強化されるようにして、電極が配置される。

【0268】

一実施形態では、溶融金属は、ハイドリノ反応からの高い利得を支持する少なくとも1つの特性を有する金属または合金を含み得る。溶融金属は、入力電圧を下げて利得を向上させる高導電率が得られること、より激しいハイドリノ反応を支持するためにEMポンピングを改善するための低粘度が得られること、SunCell（登録商標）電極間の導電性を改善するための酸化物コート形成に耐性を示すこと、およびPV窓部を濡らす傾向を有すること、からなる属性群のうちの少なくとも1つの属性を有するものを含み得る。例示的な実施形態では、溶融金属はガリンスタンを含み得る。ガリンスタンのガリウム成分は、合金の他の酸化物、例えばIn₂O₃およびSnO₂の少なくとも1つを還元して、酸化ガリウムを形成し得る。酸化ガリウムを、変換によりガリウム金属に還元することまたは水素還元といった開示された手段によって除去することができる。一実施形態では、溶融金属は、ガリンスタンに加えて、少量（例えば、2重量%未満）の少なくとも1つの他の金属、例えば、1つまたは複数のビスマスおよびアンチモンを含み得る。他の1つまたは複数の金属は、PV窓部の湿潤を減少させること、流動性を増加させること、酸化を減少させること、および溶融金属の沸点を増加させることの少なくとも1つを実行するこ

10

20

30

40

50

とが可能である。例示的な実施形態では、熔融金属は、ガリNSTANに加えて、少量（2重量%未満など）の少なくとも1つの他の金属、例えば、以下の1つまたは複数を含み得る。共晶合金を含む熔融金属は、少量のBiおよびSb（それぞれ、0～2重量%）とともに、68～69重量%のGa、21～22重量%のIn、および9.5～10.5重量%のSnを含み、不純物レベルが0.001%未満であり、融点は約-19.5℃であり、さらに沸点は1800℃より高い。別の実施形態では、熔融金属は、共晶混合物またはビスマス、インジウム、およびスズを含むフィールドメタルを含む。

【0269】

一実施形態では、点火システムは、プラズマに高い始動電力を印加し、次に、抵抗が低下した後に点火電力を減少させ得る。抵抗は、電極または熔融金属流といった点火回路内の酸化物の還元による導電率の増加と、プラズマの形成との少なくとも1つが原因で、低下し得る。例示的な実施形態では、点火システムは、高電力直流の交流変調を発生するべく、交流と直列のコンデンサバンクとを含むもので、直流電圧は、コンデンサの放電とともに減衰し、より低い交流電力のみが残る。

【0270】

一実施形態では、台座電極8は、インサートリザーバ409fに埋め込まれていてもよく、ここで、ポンピングされた熔融金属は5c1aといったポケットを満たし、台座電極8と接触する熔融金属のプールを動的に形成する。台座電極8は、SunCell（登録商標）の動作温度でガリウムといった熔融金属と合金を形成しない導体を含み得る。例示的な台座電極8は、タングステン、タンタル、ステンレス鋼、またはモリブデンを含むもので、Moは、動作温度600℃未満ではガリウムとの合金、例えばMo3Gaを形成しない。一実施形態では、EMポンプの入口は、ガリウムが入ることを可能にしながら合金粒子をブロックするスクリーンまたはメッシュといったフィルタ5q a1を含み得る。表面積を増やすために、フィルタは、垂直および水平の少なくとも1つの方向に延びて入口に接続し得る。フィルタは、ガリウムとの合金の形成に耐性を示す材料、例えばステンレス鋼（SS）、タンタル、またはタングステンを含み得る。例示的な入口フィルタは、入口の直径に等しいが垂直に隆起した直径を有するSSシリンダを含む。フィルタの多くは、定期的なメンテナンスの一環として定期的に清掃されてもよい。

【0271】

一実施形態では、非注入器電極は、それを冷却するために熔融金属に断続的に浸漬されてもよい。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、注入器EMポンプとその貯留槽5c、および少なくとも1つの追加のEMポンプを含み、また、追加のEMポンプ用の別の貯留槽を含んでもよい。追加の貯留槽を使用して、追加のEMポンプは、(i) 反応セルチャンバに可逆的に熔融金属をポンプで送り、非注入器電極を断続的に浸漬して冷却すること、および(ii) 熔融金属を非注入器電極にポンプで送り、冷却することの少なくとも1つを実行するものであってもよい。SunCell（登録商標）は、冷却剤を備えた冷却剤タンク、非注入器電極を通して冷却剤を循環させるための冷却剤ポンプ、および冷却剤からの熱を排除するための熱交換器を含み得る。一実施形態では、非注入器電極は、水、熔融塩、熔融金属、または非注入器電極を冷却するための当技術分野で公知の別の冷却剤といった冷却剤のためのチャンネルまたはカニューレを備え得る。

【0272】

図25に示される倒立した実施形態では、SunCell（登録商標）は、熔融金属の注入が負のz軸に沿うようにして、非注入器電極がセルの下部にあるようにして、かつ注入器電極が反応セルチャンバの上部にあるようにして、180°回転される。非注入器電極および注入器電極の少なくとも1つは、対応するプレートに取り付けられ得て、かつ対応するフランジシールによって反応セルチャンバに接続され得る。シールは、Ta、Wといったガリウムと合金を形成しない物質、あるいは本開示の1つのセラミックまたは当技術分野で公知のセラミックで構成されるガスケットを含み得る。底部の反応セルチャンバ部分は貯留槽として機能することができ、元の貯留槽は取り除かれてよく、さらに、EMポンプは、底部底板を貫通し、かつEMポンプ管に接続し得る、新しい底部貯留槽内の入口

10

20

30

40

50

ライザーを備え、かつ E M ポンプに溶融金属流を提供し得るもので、ここで、E M ポンプ管の出口部分は上板を貫通し、反応セルチャンバ内のノズルに接続する。動作中に、E M ポンプは、底部貯留槽から溶融金属を圧送し、それを反応セルチャンバの底部にある非注入器電極 8 に注入することが可能である。倒立した S u n C e l l (登録商標) は、セル上部の注入器電極によって注入されたガリウムの高流量によって冷却され得る。非インジェクタ電極 8 は、電極をよりよく冷却するためにガリウムを溜まるための凹状の空洞を含み得る。一実施形態では、非注入器電極は正極として機能し得るが、反対の極性もまた、本開示の実施形態である。

【0273】

一実施形態では、電極 8 は、放熱することで冷却され得る。熱伝達を増加させるために、放射表面積を大きくしてもよい。一実施形態では、バスバー 10 は、取り付けられた放熱器、例えば平面プレートといったベーン放熱器を備え得る。プレートは、バスバー 10 の軸に沿って縁部の面を固定することによって取り付けられ得る。ベーンは、外輪パターンを含み得る。ベーンは、点火電流によって抵抗的に加熱され、かつハイドリノ反応によって加熱され得るバスバー 10 からの伝導熱伝達によって加熱され得る。ベーンといった放熱器は、T a または W といった耐熱金属を含み得る。

【0274】

一実施形態では、S u n C e l l (登録商標) は、電流密度を高めるために、点火電流とプラズマ電流の少なくとも 1 つを制限する手段を備える。閉じ込め手段は、プラズマ閉じ込め磁石を含み得る。S u n C e l l (登録商標) は、プラズマを閉じ込めて安定化して電流密度を増加させるための磁石をさらに含み得る。閉じ込め手段は、磁気ピンチ効果を引き起こすのに十分に高い電流の点火電流源を含み得る。電流は、電流が挟まれたときにアーク電流が生じるように選択されてもよく、ここで、電流の増加とともに電圧が低下する。アーク電流は電力利得を増加させ得る。ピンチプラズマは、電極に印加される直流または交流電力によって、あるいは本開示の誘導点火システムの二重注入溶融金属流を含むもののような電流ループ内に誘導電流を維持することによって、形成され得る。S u n C e l l (登録商標) は、高密度プラズマフォーカス装置を備え得る。一実施形態では、反応チャンバ壁は電極として機能し得、注入器電極によって形成された金属流は、点火力の印加が高密度焦点プラズマとして振る舞う 2 つの電極間にプラズマを引き起こすように、対電極を含み得る。図 25 に示されるような実施形態では、反応セルチャンバおよび貯留槽の少なくとも 1 つは、石英または本開示の別のセラミックといった非導体を含み得るもので、さらに、非注入器電極は、注入器電極から電氣的に絶縁された反応セルチャンバのライナー 5 b 3 1 a を含み得る。このライナーは、電極 8 に電氣的に接続され得る。溶融金属流およびライナー電極は、プラズマフォーカス装置といったピンチプラズマ装置の同心電極を含み得る。点火電力は、2 つの電極間のプラズマにピンチ効果を引き起こすのに十分な電圧、電流、および電力のうちの少なくとも 1 つを提供し得る。点火電力は、制御器によって連続的または断続的に印加され得る。

【0275】

一実施形態では、ハイドリノ反応によって生成された光を反応セルチャンバ 5 b 3 1 から光起電 (P V) 電力変換器に伝達するための P V 窓部を、倒立台座の後部に配置してもよい (図 25)。倒立台座は、P 窓部への金属流を遮断して不透明になるのを防ぐことが可能である。一実施形態では、S u n C e l l (登録商標) は、ハイドリノ反応によって形成された発光プラズマの浸透を可能にしながら、P V 窓部への金属粒子流を遮断する少なくとも 1 つのプラズマ透過性バッフルまたはスクリーンをさらに含み得る。バッフルまたはスクリーンは、ステンレス鋼または金属またはセラミックといった他の耐火性耐食性材料を含むもの等、少なくとも 1 つの格子または布のうちの 1 つまたは複数を含み得る。

【0276】

一実施形態では、反応セルチャンバ 5 b 3 1 は、金属粒子が光起電 (P V) 窓部を金属化するのを防ぐための一連のバッフルを含み得る。反応セルチャンバは、円筒形の形状を含み得る。バッフルは、発光プラズマ a が P V 窓部 5 b 4 を通して光を放出する領域に流れる

10

20

30

40

50

ことを可能にする一方で、金属粒子の軌道または流れを優先的に遮断するように配置され得る。一実施形態では、バッフルは、少なくとも一部が垂直軸または z 軸に垂直な平面内に突起を有するように配向され得る。P V 窓部は、 z 軸に垂直な平面内にあり得る。バッフルは、基部から P V 窓部までらせん状に配置され得る。バッフルは、らせん階段の形状を含み得る。金属粒子がブロックされている間、プラズマはらせん状のバッフルの周囲を流れ得る。

【0277】

一実施形態では、セルチャンバ 5 b 3 の上部は、P V 窓部を含み得るもので、ここで、反応セルチャンバ 5 b 3 1 の上部のガス流は、窓部の平面に平行な多数流、低軸流、および低流といった少なくとも 1 つの特性を有する。一実施形態では、セルチャンバ 5 b 3 は、テーパ状の壁と、円筒対称と、反応セルチャンバ 5 b 3 1 内のガス流を方向付けてサイクロンを発生させるためのらせん状の一連のバッフル 4 0 9 j (図 2 8) といった手段との少なくとも 1 つを備える。テーパ状壁セルチャンバ 5 b 3 は、セルの上部にある P V 窓部と配向して配置された大径端部に P V 窓部を含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバ 5 b 3 1 内のバッフルは、サイクロンを発生させ得るもので、ここで、軸方向のガス流は、主にセルチャンバ 5 b 3 のテーパ部分に沿って小径の端部または底部まで流れ、ここでガスの流れは逆になり、中央部に向かって流れる。サイクロンは、流れを再び下向きに強制して、反応セルチャンバ 5 b 3 1 の底部と中央部との間に軸方向に循環させ得る。

10

【0278】

交流電流といった時間依存点火電流を含む実施形態では、バッフルと P V 窓部の少なくとも 1 つとは、P V 窓部の近くから熔融金属がはじかれ、該熔融金属で P V 窓部がコーティングされるのを防ぐように、交流によって充電される円周フレームを備える。

20

【0279】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、ガリウムといった熔融金属を含んでもよい。SunCell (登録商標) はさらに、光を光起電力 (P V) 変換器に送るべく、P V 変換器と窓部とを含み得るもので、プラズマ光が窓部から P V 変換器に透過できるようにプラズマと熔融金属とを閉じ込めるローレンツ力を発生させるべく、点火 EM ポンプ、例えば、点火電流に垂直な磁場を発生させるための少なくとも 1 組の磁石を含む電極 EM ポンプまたは第 2 の電極 EM ポンプとして Mills 先行出願に開示されているものを、さらに追加してもよい。点火電流は x 軸に沿っていてもよく、磁場は y 軸に沿っていてもよく、ローレンツ力は負の z 軸に沿っていてもよい。別の実施形態では、光起電力 (P V) 変換器と窓部とを備えて P V 変換器に光を送る SunCell (登録商標) は、機械的な窓部クリーナーと動作中に窓部の表面に蓄積し得る熔融金属を除去するガスジェットまたはエアナイフとの少なくとも 1 つをさらに含む。ガスジェットまたはナイフのガスは、反応物、水素、酸素、水蒸気、および希ガスのうちの少なくとも 1 つのような反応セルチャンバガスを含み得る。一実施形態では、P V 窓部は、ガリウムといった熔融金属の付着を防ぐ開示されたものの 1 つのような被膜を含み、該被膜の厚さは P V が電力に変換される光に対して非常に透明であるほど十分に薄い。石英反応セルチャンバ部の例示的な被膜は、薄膜窒化ホウ素およびカーボンである。石英は、それ自体が反応セルチャンバ壁および P V 窓部材料として機能するのに適した材料であり得る。

30

40

【0280】

別の実施形態では、反応セルチャンバは、堆積したガリウム金属および酸化ガリウムの少なくとも 1 つを P V 窓部の表面から除去する溶媒もしくは輸送剤、輸送反応物、または輸送化合物、例えば $GaCl_3$ もしくは $GaBr_3$ といった GaX_3 (X = ハロゲン化物) または長鎖炭化水素を含み得る。溶媒または輸送剤は、堆積したガリウム金属および酸化ガリウムのうちの少なくとも 1 つを溶解、懸濁、および輸送して、それらを除去し得る。除去は、ガスジェットまたはナイフによって強化することが可能である。一実施形態では、窓部は、石英といったガリウム金属による湿潤に耐性を示す材料、および本開示の他の非湿潤材料を含む。 GaX_3 (X = ハロゲン化物) といった溶媒または輸送剤は、残りの

50

精製されたガリウム金属がビーズ状になり、重力、ガスジェット、ワイパー、振動、遠心力といった手段で機械的に容易に取り除かれるように、酸化ガリウムを溶解して除去し得る。除去は、本開示のものといった手段によってなされ得る。 Ga_2O_3 は、 GaX_3 (X = ハロゲン化物) といった溶媒または輸送剤との反応によって選択的に除去され得る。反応生成物は、ガリウムオキシハライドといったオキシハライドを含み得る。オキシハライドは揮発性であってもよい。PV窓部は、オキシハライドをPV窓部の表面から気化させる温度で操作され得る。

【0281】

一実施形態では、反応セルチャンバ5b31でハイドリノを形成するための反応混合物は、 GaX_3 (X = ハロゲン化物) を含み、ガス状分子を形成して H_2O 二量体と反応して、ハイドリノ触媒として役立つことができる新生 HOH を生成する。 $GaX_3 + H_2O$ 二量体反応生成物は、酸化ガリウムまたはオキシハロゲン化ガリウムのうちの少なくとも1つであり得る。発生期の HOH 触媒を形成するための H_2O 二量体の破壊は、ハイドリノ反応速度を増加させ得る。別の実施形態では、 $GaCl_3$ といった GaX_3 は、ハイドリノを形成するための触媒として機能し得る新生 HOH を形成するべく、水と反応して再生サイクルを維持し得る。再生反応混合物は、 GaX_3 、 Ga 、 H_2O 、および H_2 のうちの少なくとも2つを含み得る。例示的な反応は、 $2Ga + GaCl_3 + 3H_2O$ から $3GaOCl + 3H_2$ および $3GaOCl + 3H_2$ から $3H_2O$ (発生期) + $GaCl_3 + 2Ga$ である。一実施形態では、SunCell (登録商標) は、コールドトラップ、コールドリザーバー、または反応セルチャンバ5b31へのガス接続と温度制御器とを含むコールドフィンガーを備えていてもよく、ここで、ハロゲン化ガリウムおよびオキシハロゲン化ガリウムのうちの少なくとも1つの蒸気圧は、コールドトラップの温度制御によって、制御され得る。例示的な実施形態では、水素は、酸化ガリウムおよび塩化ガリウムまたは臭化物といった酸素源を含む反応セルチャンバに流入し、ここで、ハロゲン化ガリウムの蒸気圧は、ガス状に接続されているが反応セルチャンバの外部にあるハロゲン化ガリウムのコールド貯蔵槽の温度を制御することによって制御される。

【0282】

一実施形態では、反応セルチャンバ5b31およびPV窓部のうちの少なくとも1つは、溶媒を含み得るもので、該溶媒は、操作中にPV窓部の表面に凝縮し得る熔融金属を溶媒和するべく、PV窓部の表面上に存在または凝縮し得る。例えば、ガリウムの酸化ガリウムコートにより、PV窓部またはバッフルの表面に付着したガリウムは、酸化ガリウムコートを溶解する溶剤によって除去され得る。溶媒は、水酸化ナトリウムまたは水酸化カリウムといった水酸化物を含み得る。水酸化物は水性であり得る。SunCell (登録商標) は、PV窓部またはバッフル洗浄システムを備え得るもので、該システムは、窓部を除去する手段、窓部を掃除するチャンバおよび手段と、水酸化物水溶液といった洗浄液と、洗浄液からガリウムと溶解した酸化ガリウムを分離する手段と、洗浄後に窓部を交換する手段とのうちの少なくとも1つを含む。一実施形態では、PV窓部またはバッフル洗浄システムは、水溶液、ガリウム、酸化物溶媒和生成物などの水酸化物溶液で窓部を洗浄することが可能であり、溶液およびガリウムの少なくとも1つが分離可能であり、さらに、酸化物溶媒和生成物は反応セルチャンバまたはガリウム再生システムに戻され得る。洗浄は、PV窓部が恒久的な位置にある状態で行われてもよく、あるいは、該PV窓部を取り外して洗浄してから元に戻してもよい。PV窓部またはバッフル洗浄システムは、複数の窓部を含み得、ここで、1つの窓部は、少なくとも1つの他の窓部が洗浄されている間、作用窓部として機能し得る。洗浄は、別のチャンバ内または反応セルチャンバに連結されているチャンバ内で実施され得る。PV窓部またはバッフルを取り外して交換するための手段は、機械的、電磁的、空気圧的、または油圧システムといった当技術分野で公知のものを含み得る。ガリウムと溶媒とを分離するための手段は、濾過および遠心分離システムといった当技術分野で公知のものであり得る。

【0283】

一実施形態では、沸点の低いセシウムといった金属は、最初の温度でガリウムと合金を形

成し、高温で合金とは別に沸騰し、輸送剤としてガリウムに添加される。セシウムといった金属は、その沸点で選択的に沸騰し、P V窓部上で液体として凝縮した後、それを溶解するために窓部に堆積されたガリウムと合金を形成する。この合金は、流れによって窓部から除去されるか、あるいはエアジェットまたは機械的ワイパーといった手段によって除去が促される。

【0284】

一実施形態では、溶融金属は、純粋な金属よりもバッフルまたはP V窓部の濡れが少ない合金を含み得る。合金は、ガリウムおよび貴金属、またはH₂Oによって酸化されない金属、例えばPt、Pd、Ir、Re、Ru、Rh、Au、Cu、およびNiの少なくとも1つを含み得る。銀がガリウムの濡れ作用を変化させて付着を防ぐ例示的な実施形態では、純金属はガリウムを含み、かつ合金はガリウム銀合金を含むもので、該銀は、酸化ガリウムコート形成を阻害し、さもなければ、バッフルまたは窓材料、例えば石英、サファイア、およびMgF₂または開示された別のものに対するガリウムの高い濡れをもたらす。

10

【0285】

一実施形態では、ガリウムは、Chrimersら(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26820807>)によって報告されているように、電場の印加に応答し得る。反応セル5b3は、電界源および外部磁石のうちの少なくとも1つを含み得るもので、プラズマに電界を誘導して、プラズマを所望の方向に向ける。電界源は、1つまたは複数の誘導コイル、電気フィードスルー、電極、電源、および電源制御器のうちの少なくとも1つを含み得る。プラズマの方向制御は、プラズマ加熱力を反応セルチャンバ内の所望の領域に向けること、およびガリウム金属粒子の流れをP V窓部から向けることの少なくとも1つであり得る。方向制御は、反応セル5b3におけるホットスポットの発生を防止し、P V窓部が金属化されるのを防止することの少なくとも1つであり得る。

20

【0286】

一実施形態では、プラズマは、磁場、電場、または誘導電場もしくは磁場といった外部場によって所望の場所に向けられ得る。プラズマの指向により、バッフルの性能が向上し、P V窓部の金属沈着が減少し得る。一実施形態では、SunCell (登録商標)は、P V窓部5b4に電荷を印加するための手段を備える。電荷は、反応セルチャンバ5b31内の同様に帯電した金属粒子をはじき、P V窓部の金属沈着を低減し得る。例示的な実施形態では、反応セルチャンバ5b31は負に帯電されてもよく、ここで、負の電荷は、負に帯電した注入貯留槽との接続によって印加され得るもので、また、P V5b4窓部は、負に帯電されてもよく、それにより、反応セルチャンバ5b31内のガリウムまたは酸化ガリウム粒子の少なくとも1つといった溶融金属粒子をはじいてP V窓部の金属化沈着を減少させる。P V窓部は、P V窓部を充電する手段として機能するために、金属グリッドといった少なくとも1つの電極といった窓部の内面上に、導電体を備え得る。あるいは、窓部は、該窓部を負に帯電、例えば窓部を負に帯電させるべく、導電性材料または酸化インジウムスズといったコーティングを含み得る。窓部の内面にある金属グリッドといった導電体は、反応セルチャンバ5b31と接触して帯電され得る。別の実施形態では、P V窓部は、P V窓部を貫通する少なくとも1つのピンのような少なくとも1つの導電体を含み得る。SunCell (登録商標)は、導体を充電するための電源を備えてもよい。

30

40

【0287】

一実施形態では、窓部は、リベラ電場といったリベラ場の発生源を含み得る。この発生源は、プラズマに最も近い内部電極と、P V窓部に最も近い外部電極とを含み得る。この発生源は、電位の少なくとも1つの発生源を含み得る。内側電極はある電位に維持され得、外側電極は、電位差および対応する電界が電極間に存在するように、より高い電位といった別の電位に維持され得る。電極は、放射線が通過できるように少なくとも部分的に開いていてもよい。例示的な電極は、金属メッシュ、例えばWメッシュといった高融点金属メッシュを含む。例示的な実施形態では、内側電極が約100Vに維持されるとともに外側

50

電極が約 300 V に維持される。

【0288】

一実施形態では、P V 窓部は、石英、リン酸ガリウム、チタン酸ジルコン酸鉛 (P Z T) といった少なくとも 1 つの透明な圧電結晶、またはトルマリンのような結晶性ケイ酸ホウ素を含み得る。機械的ひずみの少なくとも 1 つを P V 窓部に加えて電気を発生させること可能であり、電気を P V 窓部と接触している電極に加えることで、窓部の機械的運動を引き起こし得る。発生した電気と生じた機械的運動との少なくとも 1 方によって、P V 窓部から金属沈着が除去され得る。別の実施形態では、ハイドリノ反応からの強いプラズマは、P V 窓部の内面を加熱し、金属沈着を蒸発させ得る。一実施形態では、P V 窓部またはバッフルは、圧電直接放電 (P D D) システムを含む。P D D システムによって反応セルチャンバのガス中に形成された高電圧およびプラズマの少なくとも 1 つは、付着を抑制し、P V 窓部からのガリウム粒子を容易に除去し得る。P D D システムは、P V 窓部またはバッフルに入射するハイドリノ反応プラズマ光を著しく遮断しないもの等、少なくとも 1 つの冠状電極を含み得る。この冠状電極は、タングステン、タンタル、またはレニウムといった高融点金属を含むワイヤといった少なくとも 1 本のワイヤを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバは水素を含み得るものであり、また P D システムは水素解離を引き起こし得る。結果として生じる原子状水素は、酸化ガリウムを還元して、P V 窓部の濡れを低減し得る。

10

【0289】

保温性の高い窓部の故障を防止すべく、P V 窓部の外面を冷却することが可能である。最も強い加熱領域から離れた場所に P V 窓部を配置すべく、該 P V 窓部を反応セルチャンバ延長部に取り付けてもよい。一実施形態では、圧電 P V 窓部の電極は、光が窓部を透過することを可能にするグリッドワイヤを含み得る。電極は、グラフェン、インジウムスズ酸化物 (I T O)、インジウムドープ酸化カドミウム (I C d O)、アルミニウムドープ酸化亜鉛 (A Z O)、ガリウムドープ酸化亜鉛 (G Z O)、インジウムドープ酸化亜鉛 (I Z O)、インジウム酸化タングステン (I W O)、I T O、I C d O、A Z O、G Z O、I Z O、または酸化タングステンでコーティングされた I W O の表面コーティングといった透明導体あるいは当業者に公知の別の透明導体を含み得る。別の実施形態では、電極は、P V 窓部の縁に沿うものであってもよい。P V 変換器は、P V セルアレイへの音波の伝播を防止すべく、P V 窓部と P V 変換器の P V セルアレイとの間に真空チャンバといったチャンバをさらに備え得る。

20

30

【0290】

一実施形態では、P V 窓部は、ガラス、パイレックス (登録商標)、またはゲリラガラスといった変形可能で透明な材料を含み得る。変形可能な窓部は、金属沈着を除去または防止すべく、機械的に励起または振動させられ得る。機械的 P V 窓部励起手段は、当業者に公知の機械的、空気圧、圧電、油圧、および他の励起手段のうちの少なくとも 1 つを含み得る。P V 窓部 - P V 変換器は、消磁装置、例えば、Industrial Magnet ics 社の D S C 4 2 3 - 1 2 0 といった表面型消磁装置を含み得る。P V 窓部は、少なくとも 1 つの強磁性材料、例えば、Fe、Ni、Co、AlNiCo、および希土類金属ならびに合金のうちの少なくとも 1 つを含み得、窓部は、消磁装置を適用することによって振動され得る。強磁性材料は、窓部の少なくとも 1 つの表面に結合または固定され、窓部層の間に挟まれ、窓部に埋め込まれている少なくとも 1 つのストリップまたはワイヤを含み得る。例示的な消磁装置は、X Y 平面内の P V 窓部の強磁性材料上に z 軸に沿って交互に上向きおよび下向きの磁力を生成し、P V 窓部を交互に上向きおよび下向きに偏向させる交流磁場によって電力を供給されるソレノイドコイルを含む。振動により、P V 窓部の表面に付着した材料が除去される。P V 窓部から P V セルへの光が遮断されないようにすべく、P V セルアレイの後部に消磁装置を配置してもよい。

40

【0291】

一実施形態では、P V 窓部は、反応セルチャンバに面する表面のためのワイパーを含み得る。ワイパーは、グラファイトといった柔らかく、化学的および熱的に耐性のある材料を

50

含み得る。P V窓部は、ガスナイフをさらに含み得る。ガスは、リサイクルされた反応セルガスを含み得る。一実施形態では、P V窓部は、ガスパンプ、ガス源またはガス入口、および高速ガスを内部窓部表面に作用させるための少なくとも1つのノズルを含む少なくとも1つのガスジェットをさらに備える。P V窓部は、表面上のガスの流れを容易にするべくドーム型といった形状を含み得る。ガスは、ポンプによって入口を通して少なくとも1つのノズルから再循環され得るセルガスを含み得る。入口で流れを妨げる可能性のある金属または金属酸化物を入口から取り除くための制御器は、定期的にガスの流れを逆転させ得る。一実施形態では、ガスジェットのガスは、P V窓部上の金属に衝撃を与えてそれを除去するための粒子を含み得る。粒子は、反応セルチャンバとの間でリサイクルされるか、または反応セルチャンバの外側から導入されて消費され得る。前者および後者の場合の例示的な実施形態は、それぞれ、微細な炭素粒子および氷晶である。

10

【0292】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、回転して遠心力を提供する少なくとも1つの透明なバッフルを含む。バッフルはP V窓部の前にあり、溶融ガリウムと酸化ガリウムの少なくとも1つが窓部に堆積するのをブロックし得る。SunCell（登録商標）の動作中にバッフルに付着した溶融ガリウムと酸化ガリウムが遠心力により除去され得る。バッフルは、ガリウムおよび酸化ガリウムのうちの少なくとも1つによる湿潤に耐性のある石英といった本開示の材料を含み得る。反応セルチャンバ5b31は、バッフル堆積物の除去を容易にするべく、溶媒およびハロゲン化ガリウムまたは水といった輸送剤のうちの少なくとも1つを含み得る。輸送剤は、遠心力によってより容易に除去される生成物を形成するべく、酸化ガリウムおよびガリウムの少なくとも1つと反応し得る。ハロゲン化ガリウムは、反応セルチャンバ内でリサイクルされた試薬であってもよい。水は、ハイドリノを形成するためのHおよびHOH触媒の供給源の少なくとも1つを提供するべく、注入され得る。堆積物の除去をさらに容易にするべく、ガスジェットを透明なバッフルに適用してもよい。例示的な透明バッフルは、平板状ディスクを備えてもよいが、それは、他の外形および形状、例えば凹状または凸状のディスク、円錐形、または別の円筒対称形を含み得る。バッフルは、その中心に取り付けられたシャフト、密閉されたベアリングをP V窓部に備える密閉されたシャフト貫通部、ならびにP V窓部とSunCell（登録商標）の反応セルチャンバの外側にあるシャフト駆動モーターおよび制御器を備え得る。別の実施形態では、バッフルは、電氣的または空気圧的に回転させられ得る。ディスクは、直流磁気結合または交流磁気誘導によって回転させられ得る。ディスクは、それぞれ、P V窓部およびセルの外部に少なくとも1つの直流磁石または誘導コイルを備えた少なくとも1つの直流磁石または誘導コイルを含み得る。外部直流磁石は、回転手段によって回転させられ得る。誘導コイルは、誘導電源および制御器によって、時間的および空間的の少なくとも1つによりエネルギーを与えられて、バッフルに回転力を生じさせることが可能である。一実施形態では、回転バッフルは、P V窓部を含み得る。回転バッフルおよび回転P V窓部の少なくとも1つは、SunCell（登録商標）の動作条件に適した商業的設計の適合を含み得る。適応可能な設計を備えた例示的な市販製品は、参照により本明細書に組み込まれるCornell Carr (<http://www.cornell-carr.com/products/clear-view-screens.html>)によって製造されたClear-View-ScreensまたはVisiport (<http://www.visiport.com/>)である。一実施形態では、(i) シール、ベアリング、およびフレームは、ステンレス鋼、タンタル、およびタングステンといったガリウムとの合金形成に耐性のある材料を含み、(ii) 窓部は、石英または本開示の他の非湿潤材料といったガリウムによる湿潤に耐性のある材料を含み、さらに、(iii) シールは、高温で真空および高圧の少なくとも1つが可能である。

20

30

40

【0293】

一実施形態では、P V窓部システムは、静止した密閉窓の前にある透明な回転バッフル（両方ともz軸に沿って伝播する光用のxy平面内）と、z軸に沿って伝播する光用のxy平面内で回転し得る窓部とを備える。例示的な実施形態は、バッフルおよび窓部のうちの

50

少なくとも1つを含み得るクリアビュースクリーン (https://en.wikipedia.org/wiki/Clear_view_screen) といった回転する透明ディスクを含む。別の実施形態では、P V窓部システムは、x y平面内の窓部を含み得るもので、さらに、窓部の前に外輪タイプまたはベーンポンプタイプのバッフルを備え、ここで、バッフルは、z軸に沿って伝搬する光用のx y平面内において軸に沿って配向された回転シャフトに堅固に取り付けられた複数の透明なベーンを含む。別の実施形態では、ベーンポンプ型P V窓部は、z軸に沿って伝搬する光用のx y平面内の軸に沿って配向された回転シャフトに堅固に取り付けられた複数の透明なベーンを含む。P V窓部システムは、ベーンポンプタイプのバッフルとベーンポンプタイプのP V窓部との両方を含み得る。一実施形態では、回転シャフト上のベーン間隔によって、ベーンが窓部に対して回転するときに、窓部が常に隣接するベーンの組み合わせによって覆われる。バッフルと窓部とがどちらも回転するベーンポンプタイプである一実施形態では、各回転シャフトのベーン間隔とシャフトの回転は、バッフルと窓部の間で同期されるため、両方のベーンのセットが回転するときに、窓部は常に隣接するバッフルベーンの組み合わせによって覆われる。ベーンは、直線状のブレード、湾曲したブレード、または粒子の遮断、光の透過を容易にし、除去された粒子をポンピングする他の形状であり得る。透明なベーンは、ガリウム粒子といった粒子による湿潤に耐性のある本開示の材料を含み得る。例示的な材料は、石英およびダイヤモンドライクカーボン (DLC) でコーティングされたガラス、パイレックス (登録商標)、またはゲリラガラスである。回転するベーンからの遠心力により、該ベーンに付着した粒子が除去され得る。回転速度は、堆積した粒子を除去するのに十分な遠心力を生み出すのに十分であり得る。回転速度は、約1RPM~10,000RPM、10RPM~5,000RPM、および100RPM~3,000RPMの少なくとも1つの範囲内であり得る。

10

20

30

40

50

【0294】

回転ディスク、ベーンポンプ型バッフル、およびベーンポンプ型窓部は、それぞれ、駆動機構および制御器を備え得る。駆動システムは、空気圧、機械的、油圧、または電気駆動システム、あるいは当技術分野で公知の別のものを含み得る。P V窓部システムのうちの少なくとも1つは、それぞれがP V窓部システムを有する複数のチャンネルのうちの1つのチャンネルの上に取り付けられ得る。チャンネルは、P V窓部システムのために粒子の流れを発生させるべく、少なくとも1つのガスジェットをさらに含み得る。チャンネルは、本開示のジグザグチャンネルを含み得る。反応セルチャンバは、バッフルおよび窓部の少なくとも1つに付着し得る粒子のP V窓部システムをさらに洗浄するべく、本開示の溶媒または輸送剤をさらに含み得る。

【0295】

ベーンポンプ型バッフルまたは窓部は、ベーンポンプ型バッフルまたは窓部の回転が、除去された粒子を反応セルチャンバにポンプで戻すように、ハウジングを備え得る。例示的な実施形態では、P V窓部システムは、透明な石英またはDLCでコーティングされたパイレックスベーンを有するベーンポンプ型を含むバッフルを備えるもので、ここで、回転シャフトは水平面に沿っており、窓部は水平面上にあり、ベーンの間隔は、隣接するベーンの組み合わせが回転中に常に窓部を覆うようになっており、回転速度は、堆積した粒子を除去するのに十分であり、さらに、バッフルは、ジグザグチャンネルのようなチャンネルの上部にある窓部を備えたチャンネルに取り付けられ得るもので、かつ粒子を反応セルチャンバに戻すのを容易にするハウジングに収容され得る。

【0296】

一実施形態では、回転するP V窓部またはバッフルは、粒子がP V窓部またはバッフルに堆積するのを防ぐために、非湿潤材料の薄膜を塗布するためのブラシといったアプリケーションを備える。例示的な実施形態では、アプリケーションは、P V窓部またはバッフル表面に対応する非湿潤薄膜で連続的にコーティングするために、窒化ホウ素、グラファイト、および二硫化モリブデンブラシのうちの少なくとも1つを含む。

【0297】

一実施形態では、スピニングディスクといったPV窓部は、コーティングを含み得る。コーティングは、窓部へのガリウムまたは酸化ガリウムの付着を低減または防止する材料を含み得る。コーティングは酸化ガリウムと反応して、ガリウムによる濡れを防ぐことが可能であり、ここで、窓部は、酸化ガリウムがない場合にガリウムの濡れに耐性を示す材料を含む。例示的なコーティングおよび窓部は、それぞれ、NaOHおよび石英である。コーティングは、水、酸性水、塩基性水、およびアルカンといった有機化合物あるいはイソプロパノールといったアルコールのうちの少なくとも1つを含み得る。コーティングは、アプリケーションによって塗布され得る。コーティングの塗布は、窓部またはバッフルの回転作用によって達成され得る。コーティングは、窓部またはバッフル表面の上に凝縮および吸収の少なくとも1つがなされ得る少なくとも1つの成分を含み得る。少なくとも1つの窓部またはバッフル表面コーティング構成要素の供給源は、反応セルチャンバ5b31ガスを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバは、水と、酸無水物を含むガスとを含む。窓部またはバッフルは、水が表面に凝縮し、酸無水物が水に吸収されることを可能にする温度に維持され得る。一実施形態では、酸性水は、ガリウムがPV窓部またはバッフルの表面に付着するのを防ぐ。酸は、ガリウムが表面に付着するために必要な酸化ガリウムコートと反応し得る。表面コーティングは、反応セルチャンバガスの少なくとも1つの種と熱力学的平衡または動的平衡にあり得る。表面コーティングは、 H_2SO_3 、 H_2SO_4 、 H_2CO_3 、 HNO_2 、 HNO_3 、 $HClO_4$ 、 H_3PO_3 、および H_3PO_4 といった水性酸、または酸無水物または無水酸といった酸源を含み得る。後者は、 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 、および P_2O_5 の群の少なくとも1つを含み得る。酸源は、 NO_2 、 NO 、 N_2O 、 CO_2 、 P_2O_3 、 P_2O_5 、および SO_2 といったガスを含み得る。

10

20

30

40

50

【0298】

別の実施形態では、コーティングはベースを含み得る。コーティングは、窓部またはバッフル表面に凝縮および吸収のうちの少なくとも1つがなし得る少なくとも1つの構成要素を含み得る。少なくとも1つの窓部またはバッフル表面コーティング構成要素の供給源は、反応セルチャンバ5b31ガスを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバは、水と塩基無水物を含むガスとを含む。窓部またはバッフルは、水が表面に凝縮し、かつ塩基無水物が水に吸収されることを可能にする温度に維持され得る。一実施形態では、塩基性水は、ガリウムがPV窓部またはバッフルの表面に付着するのを防ぐ。ベースは、ガリウムが表面に付着するために必要な酸化ガリウムコートと反応し得る。表面コーティングは、反応セルチャンバガスの少なくとも1つの種と熱力学的または動的平衡状態にあり得る。表面コーティングは、 NH_3 、 M_2O (M =アルカリ)、 $M'O$ (M' =アルカリ土類)、 Zn または他の CdO 、 CoO 、 SnO 、 AgO 、 HgO 、もしくは Al_2O_3 といった塩基性無水物に由来する塩基といった水性塩基を含み得る。さらなる例示的な無水物は、 H_2O に対して安定である金属、例えば、 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 、および In を含み得る。無水物は、アルカリ金属またはアルカリ土類金属酸化物であってもよく、また水和化合物は水酸化物を含み得る。別の実施形態では、コーティングは、 $FeOOH$ 、 $NiOOH$ 、または $CoOOH$ といったオキシ水酸化物を含み得る。塩基源は、塩基 NH_4OH に対応する NH_3 といったガスを含み得る。

【0299】

反応混合物は、 H_2O と H_2O の供給源とのうちの少なくとも1つを含み得る。酸、塩基、オキシ水酸化物、または対応する無水物は、水和および脱水反応によって可逆的に形成され得る。窓部またはバッフルは、酸または塩基を形成する温度に維持され得るもので、ここで、反応セルチャンバの温度が酸または塩基の分解温度を上回る。分解生成物は、窓部コーティングにリサイクルして戻され得る塩基無水物の対応する酸を含んでもよい。硝酸ガリウム ($Ga(NO_3)_3$) が $250^\circ C$ を超える温度で分解してデルタ酸化ガリウム

(Ga_2O_3)と $NxOy$ (x と y は整数)とになる例示的な実施形態では、反応セルチャンバ5b31は250℃以上に維持されるとともに、窓部またはバッフルは250℃未満に維持される。

【0300】

別の実施形態では、コーティングは、酸、酸無水物、塩基、および塩基無水物のうちの少なくとも1つを含む固体化合物を含む。コーティングは、酸化ガリウムと反応して、該コーティングが窓部またはバッフルに付着するのを防止し得る。コーティングは、酸化ガリウムとの反応に続いて再生される水と反応し得る。例示的な酸性固体化合物コーティングは、ナフィオンといった陽子交換膜コーティングである。コーティングを再生するための水源は、反応セルチャンバガスである。

10

【0301】

一実施形態では、SunCell(登録商標)は、 NO または NO_2 といった $NxOy$ (x および y は整数)といった窒素および酸素を含む少なくとも1つの化合物の供給源と、 H_2O の供給源を含み得る。一実施形態では、反応混合物は、酸化ガリウム間の再生サイクル、例えば Ga_2O_3 と硝酸ガリウムとの間のものを維持し得る $NxOy$ および H_2O を含む。例示的な実施形態では、 NO_2 ガスは水と反応して硝酸を形成し、該硝酸は酸化ガリウムと反応して水と硝酸ガリウムとを形成し、該硝酸ガリウムは分解して酸化ガリウムと NO_2 とになる。再生サイクルは、(i)酸化物除去によるガリウムの濡れを減らすことにより、PV窓部またはバッフルからのガリウムの除去を助けること、および、(ii)原子Hとの反応によってハイドリノを形成するための触媒として役立ち得る新生 HOH の形成を促進することの少なくとも1つであり得る。

20

【0302】

一実施形態では、 NO_x (x =整数)化学は、PV窓部から酸化ガリウム-ガリウム粒子を除去することの少なくとも1つを容易にし、ハイドリノ用の HOH 触媒を触媒的に形成することによってハイドリノ反応速度を加速する。一実施形態では、SunCell(登録商標)は、 N_2 ガスといった窒素源と、反応セルチャンバ5b31内のハイドリノ反応混合物に窒素を制御可能に供給するためのガスラインおよびフロー制御器といった手段とを備える。ハイドリノ反応混合物は、溶融ガリウム、酸化ガリウム、水素、希ガス(例えばアルゴン)、水蒸気、酸素、および窒素のうちの少なくとも1つを含み得る。反応混合物は、ハイドリノ反応を伝播することが可能であり、これにより、反応セルチャンバ内にプラズマが保たれる。プラズマおよび反応セル混合物は NO_x (x =整数)を形成し得る。例示的な化学実施形態では、 Ga_2O_3 はGaと水素の少なくとも1つと反応して Ga_2O を形成し、 Ga_2O は水素と強力な還元剤として作用して NH_3 を形成し、さらに酸素と反応して NO と NO_2 を形成し得るもので、ここで、酸素源は、 O_2 と H_2O とのうちの少なくとも1つであり得る。反応セルチャンバは、 NH_3 、 NO 、および NO_2 のうちの少なくとも1つの形成を促進するべく、窒素化学触媒、例えばPtといった貴金属を、さらに含み得る。窒素化学触媒は、ガリウムとの合金化を回避するべく、反応混合物のガスにさらされている間、溶融ガリウムから保護され得る。一実施形態では、反応セル混合物の窒素は、ガリウムと反応して窒化ガリウムを形成し得るもので、該窒化ガリウムは、水と反応して、Gaに再生可能である Ga_2O_3 といった生成物を形成し得る。一実施形態では、 GaN は、ハイドリノプラズマ光を使用する光触媒として機能し得る。光触媒反応は、原子Hおよび HOH 触媒といった少なくとも1つのハイドリノ反応反応物を形成するのに役立ち得る。電極といったタングステンSunCell(登録商標)構成要素は、酸素および水のうちの少なくとも1つと反応して、光触媒として機能可能である WO_3 を形成し得る。反応セルチャンバは、光触媒を含む反応混合物に添加される種をさらに含み得る。

30

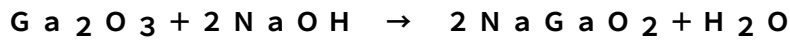
40

【0303】

一実施形態では、酸化ガリウムと反応する $NaOH$ または KOH といった水酸化物が結晶化して、PV窓部またはバッフルの表面にコーティングを形成する。結晶は透明であってもよい。酸化ガリウムと水酸化物の反応生成物は、水酸化物の金属と、ガレートナトリウ

50

ム (NaGaO_2) またはガレートカリウム (KGaO_2) といったガレートイオン (GaO_2^-) を含み得る。 NaOH と Ga_2O_3 の間の例示的な反応は、



である。水蒸気を含む反応セルチャンバ雰囲気を含む実施形態では、水蒸気圧は、約 0.01 トル～50 トル、0.01 トル～10 トル、0.01 トル～5 トル、および 0.01 トル～1 トルのうちの少なくとも 1 つの範囲内の水蒸気圧といったように、低く維持され得る。水酸化物と酸化ガリウムとの反応は、生成物として水を形成し得る。一実施形態では、PV 窓部上の水酸化物コーティングは、所望の量の吸収または保持された水を維持するべく、高温に維持され得る。例示的な実施形態では、PV 窓部は、 NaOH ($M.P = 318^\circ\text{C}$) または KOH ($M.P = 360^\circ\text{C}$) の融点といった水酸化物融点未満でありながら、水の吸収または保持を防ぐ高温に維持される。一実施形態では、日常のメンテナンスとして、水酸化物が実質的に消費されたときに、PV 窓部を水酸化物で置き換えるか、または再コーティングすることが可能である。一実施形態では、回転窓部、ジグザグチャネル、およびバッフルといった PV 窓部の他の少なくとも 1 つの構成要素は、 NaOH といった塩基と酸化ガリウムとの反応物質でコーティングされ得る。一実施形態では、 NaOH コーティングといったコーティングは、構造的支持体、例えば、寒天または他のそのようなポリマー、ゼオライト、ガラスフリットといった透明であり得るマトリックス、ならびに、当技術分野で知られている他の透明な支持体およびマトリックスに埋め込まれた、または含浸された NaOH といった塩基を含むもののような交換可能なプレートを含み得る。プレートは定期メンテナンス中に交換され得る。一実施形態では、 NaOH といった塩基と酸化ガリウムとの反応物質は、固体、液体、あるいは溶融または水性のうちの少なくとも 1 つであり得るもので、ここで、プレートの形状を維持するべく、 NaOH といった反応物質を吸収するか、そうでなければ支持体またはマトリックスに結合させられ得る。例示的な実施形態では、プレートは、Neosepta (登録商標) AHA 膜といった OH 導体膜を含み、該膜を 1M KOH または NaOH 溶液といった塩基で処理することで塩化物イオン (Cl^-) を水酸化物イオン (OH^-) に置き換えることが可能である。

【0304】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、陰極、陽極、透明窓部、および透明電解質を含む PV 窓部またはバッフル電解システムを備える。電解質は、PV 窓部電解セルに供給され得る H_2O または H_2 に由来する以下のイオン、すなわち H^+ 、 OH^- 、および H^- のうちの 1 つの導体を含み得る。電極は、PV 窓部によって分離され得るか、あるいは両方が反応セルチャンバに対向する面を含む PV 窓部の前面にあり得る。一実施形態では、電解質は、共晶塩混合物といった溶融塩といった水素化物イオン伝導体を含み得るもので、また電解質は水素化物をさらに含み得る。塩は、 LiH といった水素化物をさらに含み得る混合物 LiCl/KCl といった 1 つまたは複数のハロゲン化物を含み得る。ハロゲン化物に加えて、水素化物イオンを伝導し得る他の適切な溶融塩電解質は、水酸化物に溶解した水素化物、例えば KOH 中の KH 、 NaOH 中の NaH 、または $\text{NaAl}(\text{Et})_4$ 中の NaH を含む。電解質は、アルカリハロゲン化物およびアルカリ土類ハロゲン化物の群の少なくとも 2 つの化合物といった 2 つ以上のハロゲン化物の共晶塩を含み得る。例示的な塩混合物として、 $\text{LiF}-\text{MgF}_2$ 、 $\text{NaF}-\text{MgF}_2$ 、 $\text{KF}-\text{MgF}_2$ 、および $\text{NaF}-\text{CaF}_2$ が挙げられる。他の適切な電解質は、有機クロロアルミン酸塩溶融塩、ならびに、金属ホウ水素化物および金属アルミニウム水素化物に基づく系である。溶融共晶混合物といった溶融混合物であり得る追加の適切な電解質を表 1 に示す。

10

20

30

40

50

【表 1】

表 1. 熔融塩電解質

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
CeF 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 ₂ CO ₃ -K ₂ SO ₄	K ₂ CO ₃ -KF	K ₂ CO ₃ -KNO ₃
K ₂ CO ₃ -KOH	K ₂ CO ₃ -Li ₂ CO ₃	K ₂ CO ₃ -Na ₂ CO ₃	K ₂ SO ₄ -Li ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄ -Na ₂ SO 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 ₂ CO ₃	KCl-K ₂ SO 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 ₂ SO 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 ₂ SO ₄
KNO ₃ -KOH	KNO ₃ -LiNO ₃	KNO ₃ -NaNO ₃	KNO ₃ -RbNO ₃	KOH-K ₂ SO ₄
KOH-LiOH	KOH-NaOH	KOH-RbOH	LaCl ₃ -KCl	LaCl ₃ -LiCl
LaCl ₃ -NaCl	LaCl ₃ -RbCl	Li ₂ CO ₃ -Li ₂ SO ₄	Li ₂ CO ₃ -LiF	Li ₂ CO ₃ -LiNO ₃
Li ₂ CO ₃ -LiOH	Li ₂ CO ₃ -Na ₂ CO ₃	Li ₂ SO ₄ -Na ₂ SO ₄	LiAlCl ₄ -NaAlCl ₄	LiBr-LiCl
LiBr-LiF	LiBr-LiI	LiBr-LiNO ₃	LiBr-LiOH	LiBr-NaBr
LiBr-RbBr	LiCl-Li ₂ CO ₃	LiCl-Li ₂ SO 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 ₂ SO 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 ₂ SO ₄
LiNO ₃ -LiOH	LiNO ₃ -NaNO ₃	LiNO ₃ -RbNO ₃	LiOH-Li ₂ SO 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 ₂ CO ₃ -Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃ -NaF
Na ₂ CO ₃ -NaNO ₃	Na ₂ CO ₃ -NaOH	NaBr-NaCl	NaBr-NaF	NaBr-NaI
NaBr-NaNO ₃	NaBr-NaOH	NaBr-RbBr	NaCl-Na ₂ CO ₃	NaCl-Na ₂ SO 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 ₂ SO ₄
NaF-NaI	NaF-NaNO ₃	NaF-NaOH	NaF-RbF	NaI-NaNO ₃
NaI-NaOH	NaI-RbI	NaNO ₃ -Na ₂ SO ₄	NaNO ₃ -NaOH	NaNO ₃ -RbNO ₃
NaOH-Na ₂ SO 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		

10

20

30

40

表 1 に示される例示的な塩混合物といった熔融塩電解質は、H⁺イオン伝導体である。実施形態では、アルカリ水素化物（例えば、LiH、NaH、またはKH）のH⁺源を熔融塩電解質に添加して、H⁺イオン伝導性を改善し得ることは、本開示において暗示される。

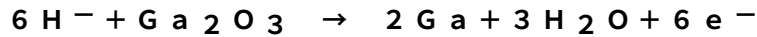
【0305】

一実施形態では、H⁺は電解質の移動イオンある。H⁺は陰極で形成され、陽極に移動し得る。電解質は、水素化物イオン伝導体、例えば熔融塩（例えば、LiCl-KClといったハロゲン化アルカリの混合物といった共晶混合物）であり得る。陰極は、Ni（H₂）といった水素透過性膜であり得る。陽極は酸化ガリウムおよびH⁺をガリウムおよびH

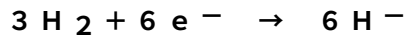
50

2 Oに酸化し得るもので、これにより、P V窓部のガリウム湿潤は、湿潤剤の酸化ガリウムの消費によって排除される。一実施形態では、P V電解セルは、H⁻導体である熔融水酸化物-ハロゲン化物電解質、Ni (H₂)といった水素透過性陰極といった水素化物イオンを形成するためのH源と、酸化ガリウムおよび水素化物イオンをガリウムおよびH₂Oへ選択的に酸化する陽極とを備える。反応は、以下のとおりであり得る。

陽極：



陰極：



例示的なセルは、[Pt/MOH-M'X/M"] (4) であり、ここで、陰極M"は、Ni、Ti、V、Nb、Pt、およびPtAgといった水素透過性金属を含み得るもので、電解質は、水酸化物とMOH-M'X (M、M' = アルカリ、X = ハロゲン化物) といったハロゲン化物およびその他の貴金属との混合を含み、支持体はPt陽極の代わりになり得る。電解質は、アルカリ金属水素化物といった少なくとも1つの他の塩をさらに含み得る。代替の実施形態では、電解質は、CaCl₂-CaH₂といった水素化物イオン伝導性固体電解質を含み得る。例示的な水素化物イオン伝導性固体電解質は、CaCl₂-CaH₂ (5~7.5モル%) およびCaCl₂-LiCl-CaH₂である。

【0306】

代替の実施形態では、SunCell (登録商標) 窓部またはバッフルは、酸化ガリウムが窓部またはバッフルにガリウムを付着させるのを防ぐために酸化ガリウムを還元するための、少なくとも2つの電極、電源、および制御器を含む電解システムを備える。窓またはバッフルは、グリッド電極、またはインジウムスズ酸化物を含むものといったパターン化された透明な導電性薄膜を含み得る。少なくとも1つの電極は、メッシュまたはスクリーンを含み得る。一実施形態では、電解質は、酸および塩基のうちの少なくとも1つを含み得る。例示的な実施形態では、電解質は、NaOHといった水酸化物を含み得る。別の実施形態では、電解質は、薄膜および透明性のうちの少なくとも1つを含み得るベータアルミナといった固体を含み得る。電気分解電圧は、約0.1V~50V、0.25V~5V、および0.5V~2Vの少なくとも1つの範囲にあり得る。

【0307】

窓部またはバッフルは、電解質によって分離され、電源によって電力が供給される負電極および正電極を含む電気分解システムを含み得るもので、ここで窓部またはバッフルの表面に付着したガリウムが窓部の負極に接触し、さらに、分離した正極に電解液を介して電流が流れることで、付着したガリウムの酸化ガリウムが還元される。酸化ガリウムを還元して窓部またはバッフルの表面へのガリウムの付着を防止する窓部またはバッフル電解システムの実施形態では、窓部またはバッフルは、プラズマから側方の窓部またはバッフルの背面に、背後電解電極あるいは1つの陽極といった電極からなる複合体または複数の陽極からなる複合体を含み得る。シャドウイング効果を最小限に抑えるために、逆電解電極は、少なくとも1つであり得る。(i) 窓部またはバッフルの円周方向に配置されること、(ii) グリッドワイヤを含むこと、および、(iii) 酸化インジウムスズといった透明導体を含むことの少なくとも1つであってもよい。電解質は、窓部またはバッフルの背面に透明な層またはフィルムを含み得る。電解質は透明であり得、NaOHまたはKOHなどのMOH (M = アルカリ) または水およびアンモニアといった塩基のうちの少なくとも1つを含み得るもので、ここで、ガス状アンモニアが溶媒和アンモニアと平衡であり、さらに、アンモニアガスは、陽極を収容する透明なチャンバに含まれていてもよい。前面は、前面電解電極または電極の複合体、例えば陰極または陰極の複合材料を備えてもよく、グリッドワイヤまたは電極といった電気接続、あるいは、前面の少なくとも一部上に導電層またはフィルムが含まれる。フィルムは、表面を覆うことが可能であり、または、複合材料のグリッドリードまたは電極の形をとることが可能である酸化インジウムスズといった透明な導体であってもよい。電極は、グラフェン、インジウムスズ酸化物 (ITO)、インジウムドーブ酸化カドミウム (ICdO)、アルミニウムドーブ酸化亜鉛 (AZ

10

20

30

40

50

O)、ガリウムドーブ酸化亜鉛 (GZO)、インジウムドーブ酸化亜鉛 (IZO)、インジウム酸化タングステン (IWO)、ITO、ICdO、AZO、GZO、IZO、または酸化タングステンでコーティングされたIWOの表面コーティングといった透明導体あるいは当業者に公知の別の透明導体を含み得る。コーティングがエレクトロクロミックである場合、電流を印加してその酸化物コートを還元することによってガリウムを除去することができ、無色のPVコーティングは、断続的な再生期間の間電流を逆にすることによって再生し得る。別の実施形態では、ガリウムに接触する電解電極または電極の複合体は、ステンレス鋼 (SS)、タングステン (W)、またはタンタル (TA) といったガリウムとの合金の形成に耐性を示す材料を含み得る。電極は、SS、Ta、またはWといったガリウムの濡れに耐性を有し得る。ナフィオンといった酸性電解質の場合、電極は、電解質、例えばPt、Ir、Rh、Re、Pd、またはAuといった貴金属との反応に対して安定であり得る。電解電極または塩基性電解質と接触する電極の複合体は、銅、ステンレス鋼、ニッケル、貴金属、または炭素といったベースとの腐食に耐性を示す材料を含み得る。電極は、グリッド、メッシュ、またはスクリーンを含み得るワイヤといった要素を含み得る。ワイヤといった要素は、PV窓部を介してPV変換器に透過する光の影を最小限に抑えるように成形され得る。例示的なシェアは、光源に向かう頂点を有するピラミッド型であり、光は、PV窓部またはバッフルの別の影のない領域に反射され得る。窓部またはバッフルは、少なくとも1つの電極を取り付けるためのセラミックまたはプラスチックボルトといった非導電性留め具を含み得る。バッフルの窓部は、陽極と陰極との間の電解質の電氣的接触のための複数の導管として機能するべく、窓部またはバッフルの少なくとも一部にわたる複数の小径貫通部といった少なくとも1つの貫通部を含み得る。

10

20

【0308】

別の実施形態では、プラズマの方向から順に電解システムの構成要素は、陽極、電解質、および陰極であってもよく、ここで、陽極と陰極とが空間的に分離されており、陽極が窓部またはバッフルに対して円周方向にあってよく、さらに、電解液が窓部またはバッフルの表面に付着し得る。電解質は、塩基、例えばNaOHまたはKOHといったMOH (M=アルカリ) 等を含み得る。窓部またはバッフルは、電解質の表面への結合を助け得る粗面を含み得る。窓部またはバッフルは、電解質を結合するための吸湿性コーティングを含み得る。電解液の水蒸気圧が低くてもよい。電解液は、水蒸気圧を低下させるべく、高濃度の塩基のうちの少なくとも1つと、吸湿性化合物などの少なくとも1つの化合物とを含み得る。電解質は、スラリーまたはペースト、を含み得る。電解質は、ポリマーといった結合化合物またはMgOといったセラミック酸化物、あるいは寒天といった塩ドーブマトリックスまたはポリエチレンオキシドといったポリマーを含み得る。

30

電解質は、固体電解質を含み得る。電解質は、PV窓部に付着した粒子を除去する、所望の陽極酸化および陰極還元化学に適したイオン伝導体を含み得る。例示的な固体電解質はNa⁺導体ベータアルミナ固体電解質 (BASE)、Na⁺またはOH⁻導体ガレートナトリウム、K⁺またはOH⁻導体のガレートカリウム、酸化物イオン導体のイットリア安定化ジルコニア、ナトリウムイオン導体NASICON (Na₃Zr₂Si₂PO₁₂)、H⁺導体ナフィオンであり、ここでは、酸化反応と還元反応とが電解質に適合される。固体電解質は、OH⁻導体、層状複水酸化物 (LDH) を含み得る。一実施形態では、LDHは陰イオン性粘土を含み、LDHの一般式は $[M^{II}I_{1-x}M^{III}I_x(OH)_2]^{+x}[(A^{n-})_x/n \cdot mH_2O]$ であり、ここで、M^{II}Iは、Ni²⁺、Mg²⁺、Zn²⁺といった二価カチオンであり、また、M^{III}IはAl³⁺、Fe³⁺、Cr³⁺といった3価の陽イオンであり、さらに、Aⁿ⁻はCO₃²⁻、Cl⁻、OH⁻といった陰イオンである。OH⁻導体である例示的な固体電解質は、層状複水酸化物 (LDH) であり、例えば、KOH-Al-Mg層状複水酸化物Mg₆Al₂(CO₃(OH))₁₆、Neosepta (登録商標) AHA膜といったイオン交換膜であって、1MKOH溶液といった塩基で処理して、塩化物イオン (Cl⁻) を水酸化物イオン (OH⁻) に置換することが可能である膜、ならびに、(20~70重量%) といったポリスルホンマトリックスに埋め込まれたSiO₂/高密度の第4級アンモニウム官

40

50

能化ポリスチレンで構成されるナノ粒子、さらには、テトラエチルアンモニウムヒドロキシド（TEAOH）ポリアクリルアミド（PAM）である。溶融金属が銀またはガリウム銀といった合金を含み得る一実施形態では、電解質は、銀イオンの高度な超イオン伝導体、例えば、 $RbAg_4I_5$ 、 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 、および硫化銀のうちの少なくとも1つを含み得る。

【0309】

一実施形態では、電解質、例えばNaFといったハロゲン化アルカリは、ほぼ中性のpHを有し得る。ほぼ中性のpH電解液は、窓に付着したガリウム上の酸化ガリウムコートの溶解を回避し得る。

【0310】

一実施形態では、NaOHといったPV窓部電解質が補充され、反応混合物となって失われた電解質は、電気分解といった手段によってガリウムをリサイクルしている間に回収され得る。

【0311】

ガリウムの湿潤を防止するために酸化ガリウムを還元する例示的な電気分解システムは、(i)窓部の裏側にある環状SS陽極と、(ii)窓部の背面にあるNaOHスラリー電解液と、(iii)電解質用の多くの小さなチャンネルを有する窓部と、(iv)ガリウムに接触してそれを減少させる窓部の前面にあるSSメッシュまたはスクリーン陰極とを備える。(i)ガリウムがステンレス鋼、タンタル、またはタングステンといった酸化物コーティングを施した金属に付着せず、(ii)酸化物コートを含む金属が陰極を含み、さらに、(iii)金属酸化物コートが操作中に還元される実施形態では、陰極の金属上の酸化皮膜を再生させるべく、電解セルの極性を定期的に反転させ得る。

【0312】

一実施形態では、前面電極は陽極から構成されてもよく、陰極がPV窓部の前面または背面の円周方向の少なくとも1つであり得る。後者の場合、PV窓部は、電解質用の穿孔を含み得る。PV窓部に付着したガリウムと接触しているフロント陽極に正の電位を印加するとともに陰極に負の電位を印加することによって、ガリウムが陰極に移動し、そこで収集されたガリウムが除去されて再利用され得る。SunCell（登録商標）は、除去手段、対応するチャンネルをさらに含み得る輸送手段、および収集されたガリウムのためのリサイクル手段を含み得る。例示的な除去手段は、スクレーパー、ガスジェット、ポンプ、および本開示の他の除去手段等による機械的手段である。ガリウムは、輸送手段および対応するチャンネルを使用して、除去され、反応セルチャンバ、貯留槽、および本開示のガリウム再生システムのうちの少なくとも1つに輸送され得る。

【0313】

一実施形態では、窓部またはバッフルは、プラズマ放電システムを備えて、窓部またはバッフルの表面にプラズマを維持する。プラズマ放電システムは、電極グリッドワイヤと、窓部またはバッフルの表面上またはその近傍にあるメッシュまたはスクリーンと、対電極と、グロー放電源といった放電源とを備え得る。他の実施形態では、プラズマ源は、他の既知のプラズマ源、例えば、マイクロ波、誘導性または容量性結合RF放電、誘電体バリア放電、圧電直接放電、および音響放電セルプラズマ源を含む。プラズマシステムは、対応するプラズマが酸化ガリウムを還元して、付着しているガリウム粒子を窓部またはバッフル表面から除去するように構成され得る。あるいは、プラズマは水素源から原子状水素を形成することが可能であり、水素原子は酸化ガリウムをガリウムに還元し、濡れないようにする。別の実施形態では、窓部またはバッフルは、該窓部またはバッフルの表面の近傍にハイドリノ反応によって維持されるプラズマを向ける永久磁石または電磁石といった磁場源を含む。プラズマは水素源から原子状水素を形成し得るもので、水素原子が酸化ガリウムをガリウムに還元してそれが濡れないようにする。一実施形態では、窓部またはバッフルは、水素解離剤、例えば、ホットフィラメントまたはレニウム、タンタル、ニオブ

10

20

30

40

50

、チタンといった金属解離剤といったような本開示の1つ、あるいは本開示の別のものを含む。アルゴン－水素－微量H₂Oガス混合物といった水素を含む反応混合物といった反応チャンバガスは、ガリウム粒子上の酸化被覆を低減し、さらに、ガリウムがPV窓部に付着することを防ぐことおよび粒子をPV窓部から除去することのうち少なくとも1つをなし得る。窓部またはバッフルは、フィラメント上に水素を流すことで原子状水素をPV窓部にさらに流すガスジェットを、含み得る。

【0314】

一実施形態では、バッフルまたはPV窓部はさらに解離剤チャンバを含むもので、該チャンバは、炭素、またはAl₂O₃、シリカといったセラミックビーズ、またはゼオライトビーズ、ランネーNi、またはNi、ニオブ、チタンといった支持体上のPt、Pd、Ir、Re等水素解離剤、あるいは本開示の他の解離金属を、粉末、マット、織物、布といった高表面積を提供する形状で、収納する。解離チャンバは、ガリウム遮断チャンネル、例えばガス交換を可能にしながら反応セルチャンバから解離チャンバへのガリウムの流れを阻害する本開示のジグザグチャンネルによって、バッフルまたはPV窓部の位置で反応セルチャンバに接続され得る。水素ガスは、反応セルチャンバから解離チャンバに流れ得るもので、ここで、水素分子は原子に解離し、水素原子は反応セルチャンバに逆流して、PV窓部上の酸化ガリウムを還元する反応物として機能し得る。他の実施形態では、解離チャンバは、本開示のプラズマ解離剤またはフィラメント解離剤を収容し得る。一実施形態では、結果として生じるH原子が流れてバッフルまたはPV窓部の表面に衝突するように、ガスジェットが水素を解離剤上に流す。

【0315】

PV窓部は、少なくとも1つの圧電変圧器(PT)と、任意選択で、少なくとも1つのワイヤ電極といった少なくとも1つの隣接する電極とを含み得るもので、ここで、圧電素子の表面がその角部または隣接する電極上でコロナのような放電を生成できる大きな表面電圧を示すように、PTの固有の電気機械的共振が使用されて電圧増幅がなされる。例示的な電圧増幅は、7Vないし数kV未満である。いわゆる圧電直接放電の構成を使用して、イオン風と呼ばれるバルク気流が生成され得ることは、Johnson and Go (M. Johnson, D. B. GO, 「大気中のガス放電とイオン風を低電圧で生成するための圧電変圧器」 ("Piezoelectric transformers for low-voltage generation of gas discharges and ionic winds in atmospheric air"), Journal of Applied Physics, vol. 118, December, (2015), 243304-1-243304-10, doi:10.1063/1.493849)に報告されているとおりである。一実施形態では、圧電直接放電は、PV窓部へのガリウム粒子の付着を除去または低減するイオン風を生成するための電極構成を備える。一実施形態では、ガリウム粒子がPV窓部に付着するのを防止することおよび付着しているガリウム粒子をPV窓部から取り除くことの少なくとも1つのためのガスジェットは、再循環器、例えば、送風機および少なくとも1つのガスノズルを含むものを、含み得る。スクラブされて再循環された希ガスと、スクラブされた再循環された希ガスに添加されて反応セルチャンバに注入される水素を含む補給水素との少なくとも1つは、反応セルチャンバ内の1つの領域に向けられ得るもので、それにより、ガスの流れによって、ガリウム粒子がPVウィンドウから遠ざかることおよび原子状水素が提供されることの少なくとも1つを生じさせることで、粒子が付着するのを防ぐことおよび粒子をPV窓部から取り除かれることの少なくとも1つを行う。後者の場合、再循環された希ガスと補給水素の少なくとも1つとをPV窓部に衝突させることが可能であり、水素を含むガスは、解離金属、プラズマ源、またはホットフィラメントといった水素解離器上を流れ得る。一実施形態では、反応セルチャンバガス、再循環ガス、および枯渇した反応物を置き換える補給ガスの少なくとも1つは、少なくとも1つの隣接するワイヤ電極を含み得る圧電変圧器によって発生させたイオン風を含み得る。一実施形態では、PV窓部は、石英、リン酸ガリウム、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)といった少なくとも1つの透明な圧電結晶、トル

マリンといった結晶性ケイ酸ホウ素、または当技術分野で公知の別のものを含み得る。圧電変換器の少なくとも1つの電極は、インジウムスズ酸化物（ITO）または本開示の別のもののような透明導体を含み得る。別の実施形態では、圧電トランスデューサおよび対応する圧電直接放電は、付着の防止またはPV窓部からの酸化ガリウム粒子の除去を容易にするべく、バリア電極放電システムおよびバリア電極放電に置き換えられ得る。

【0316】

別の実施形態では、回転バッフルまたは回転窓部は、SunCell（登録商標）操作中にバッフルまたは窓部に堆積した粒子を物理的に除去するためのデバイスを備える。この装置は、バッフルまたは窓部の表面に乘る、ブラシまたは鋭利な刃のような刃といった表面に取り付けられた摩耗装置を含み得る。バッフルまたは窓部の表面は研磨されてもよく、また、ブレードは、エッジと表面との間の最適化された接触を提供するべく、精密なエッジを含み得る。ブレードは、対応する表面がバッフルまたは窓部の各回転中に削られるように、バッフルまたは窓部の半径に等しい長さを有し得る。ブレードは、機械的、油圧、空気圧、または電磁圧力適用装置等、表面に向かってブレードに調整可能な圧力をかけるための制御可能な装置を含み得る。例示的な機械的圧力印加装置は、ばねを含む。

10

【0317】

一実施形態では、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、溶融金属をバッフルおよびPV窓部の少なくとも1つにポンプで送り、金属の酸化物といった堆積粒子を除去するための溶媒として機能させる少なくとも1つの溶融金属注入器を備える。一実施形態では、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、溶融金属による濡れに耐性を示す材料または表面を含む。例示的な実施形態では、溶融金属はガリウムを含み、金属酸化物は酸化ガリウムを含み、材料または表面は、石英、BN、カーボン、あるいはガリウムによる濡れに耐性を示す別の材料または表面の少なくとも1つを含み、さらに、溶融金属注入器は、少なくとも1つのEMポンプと少なくとも1つのジェットノズルとを備え、貯留槽5cおよび反応セルチャンバ5b31の少なくとも1つといった供給源からの溶融ガリウムを、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面に注入して、酸化ガリウムの溶媒として機能させて、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面からそれを除去する。別の例示的な実施形態では、溶融金属は銀を含み、バッフルまたはPV窓部は、水晶、サファイアといった高融点の透明材料、またはMgF₂といったアルカリ土類ハロゲン化物結晶を含み、さらに、溶融金属注入器は、少なくとも1つのEMポンプおよび少なくとも1つのジェットノズルを含み、貯留槽5cおよび反応セルチャンバ5b31の少なくとも1つといった供給源からバッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面に溶融銀を注入することで、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面から銀ナノ粒子といった銀粒子を除去する役割を果たす。

20

30

【0318】

一実施形態では、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、酸化物と共にガリウムを除去するためのワイパーといった少なくとも1つの手段をさらに含み得る。このワイパーは、少なくとも1つのワイパーブレードと、ワイパーブレードをバッフルおよびPV窓のうちの少なくとも1つの表面上に移動させる手段とを含み得る。このブレードを移動させる手段は、機械的、空気圧的、油圧的、電磁的、または当技術分野で公知の他のそのような移動手段のうちの少なくとも1つを含み得る。あるいは、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、回転バッフルまたはPV窓部および固定ワイパーブレードを含み得る。

40

【0319】

例示的な実施形態では、配列されたような複数の注入器ジェットは、溶融ガリウムを回転バッフルおよび回転PVの少なくとも1つの表面に十分な速度および流れで注入して、バッフルおよびPV窓部のうちの少なくとも1つの表面に付着し得る酸化ガリウム粒子を除去するもので、さらに、ブレードは、回転するときに、注入されたガリウムと酸化物とをバッフルとPV窓部との少なくとも1つから除去し得る。別の実施形態では、ガリウムおよび酸化ガリウムは、バッフルとPV窓部の少なくとも1つだけを回転させる遠心力によって除去される。

50

【0320】

別の例示的な実施形態では、窓部またはバッフルは、ガリウムで濡れていない石英表面といった表面あるいはNaOHまたはKOHといったベースでコーティングされた透明な表面から酸化ガリウムを除去するべく、少なくとも1つの機械式またはEMポンプに供給されるものといった高圧ジェットの配列を、含む。溶融金属ジェットの配列は、高速溶融ガリウムを回転窓に注入して、ガリウムと酸化ガリウムとを含む粒子といった堆積粒子を除去し得る。高速ガリウムは、酸化ガリウムを除去するための液体洗浄剤として機能し得る。酸化ガリウムは表面のガリウムの濡れを引き起こすことから、その除去により、回転する窓部の遠心力によって玉状になり除去され得るガリウムによる濡れが排除される。

【0321】

一実施形態では、溶融金属は、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面の接着材料を取り除くのを助けるために、溶融金属とともに注入される小さな硬質粒子といった研磨添加剤を含む。添加剤は、トリアの、アルミナ、ジルコニア、セリアを含むものといった小さなセラミック粒子といった研磨粒子を含み得る。粒子サイズは、バッフルまたはPV窓部注入器のポンプまたは点火噴射ポンプを詰まらせるサイズよりも、小さくてもよい。

【0322】

一実施形態では、磁性ナノ粒子のような磁性粒子をガリウムのような溶融金属に添加して、磁性流体を形成し得る、ナノ粒子は、Fe、Fe₂O₃、Co、Ni、CoSm、およびAlNiCoナノ粒子の少なくとも1つ、および当技術分野で公知の他の強磁性ナノ粒子のような強磁性であってもよい。例示的な磁性流体は、ガドリニウムナノ粒子のような磁性ナノ粒子の溶媒または懸濁媒体として、ガリウムまたはガリウム合金を含み、それらはCastroら(I. A. de Castro et al. 「ガリウムベースの磁気熱量液体金属磁性流体(A gallium-based magnetocaloric liquid metal ferrofluid)」、Nano Lett., (2017), Vol. 17, No. 12, pp. 7831-7838)によって提供されるもので、該文献の全体が参照により本明細書に組み込まれる。磁性ナノ粒子は、反応セルチャンバガスによる腐食またはガリウムとの合金形成を防ぐべく、コーティングによりコートされ得る。コーティングは、シリカ、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、または本開示の別のものといったセラミックを含み得る。バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、溶融金属がバッフルおよびPV窓部の少なくとも1つをコーティングするのを防ぐために、磁場勾配源を含み得る。バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、磁性ナノ粒子のキュリー温度より低い温度範囲に維持され得る。磁場勾配の発生源は、永久磁石および電磁石のうちの少なくとも1つであり得る。例示的な実施形態では、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つからコイルに向かって磁石勾配を提供するべく、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの前の反応セルチャンバの周囲にある超伝導コイルのようなヘルムホルツコイル電磁石を含み得る。一実施形態では、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つは、誘導電磁ポンプのコイルといった一連のコイルを含み得るもので、ここで該コイルは、磁性溶融金属の移動力を生成して、バッフルおよびPV窓部の少なくとも1つの表面からそれをポンプで送るようにする。一実施形態では、注入ポンプは、機械式ポンプおよび線形誘導型のうちの少なくとも1つを含み得るもので、ここで、複数の同期された作動電磁石または移動する永久磁石のうちの少なくとも1つによって発生する移動磁場勾配は、溶融金属をポンピングする力を発生させる。同期は、電気モータで使用される種類で、かつ当技術分野で公知のものであってもよい。磁場がステンレス鋼といった金属を貫通するので、EMポンプ管は、本開示の誘導EMポンプのセラミックに加えて、そのような金属を含み得る。

【0323】

PV窓部は、ガリウムといった溶融金属による濡れに耐性があり得る。ガリウムが溶融金属である場合、窓部は、酸化ガリウムといった金属酸化物といった反応セルチャンバ内に存在する化合物の付着に対して耐性があり得る。PV窓部は、透明コーティングを含み得

10

20

30

40

50

る。例示的な実施形態では、P V窓部およびP Vコーティングのうちの少なくとも1つは、石英、ダイヤモンド、窒化ガリウム（Ga N）、リン酸ガリウム（Ga P O₄）、立方晶ジルコニア、サファイア、アルカリまたはMg F₂といったアルカリ土類ハロゲン化物、グラフェン、透明リチウム挿入多層グラフェン、グラファイトといった炭素の薄層、テフロン（登録商標））またはその他の非湿潤性フルオロポリマー、ポリエチレン、ポリプロピレンまたはその他の非湿潤性透明ポリマー、六方晶または立方晶B Nの窒化ホウ素の薄層、透明な六方晶窒化ホウ素、立方晶窒化ケイ素といった透明窒化ケイ素、W、Ta、またはといった薄膜透明非湿潤金属コート、あるいは薄膜金属酸化物または五酸化タンタル（Ta₂O₅）といった透明な非湿潤金属酸化物、酸化タングステンでさらにコーティングまたはドーブされ得るインジウムスズ酸化物、あるいは酸化タングステンでさらにコーティングまたはドーブされ得る酸化タングステンインジウムを含む。P V窓部は、光用の穿孔を備えたグラファイトメッシュ、または光の透過を可能にしながら熔融金属の接着に抵抗する最密織りを有する炭素繊維グリッドまたはスクリーンを含み得る。P V窓部は、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）またはダイヤモンドコーティングを含み得る。石英、パイレックス（登録商標））、サファイア、ジルコニア、ハフニア、またはリン酸ガリウムといった透明な構造材料といった構造材料は、DLCまたはダイヤモンドコーティングを支持し得る。P V窓部は、Ti O₂コーティングまたはワックスといったセルフクリーニングガラスまたは他の疎水性表面コーティングガラスを含み得る。P V窓部は、窒化ガリウム（Ga N）を完全にまたはコーティングとして含み得る、Ga Nは、サファイア、酸化亜鉛、および炭化ケイ素（Si C）上に有機金属気相成長法（MOVPE）を介してGa Nの薄膜として堆積され得る。

10

20

【0324】

一実施形態では、P V窓部は、高温で動作し得る石英、熔融シリカ、サファイア、またはMg F₂といった透明材料と、酸化ガリウムでコーティングされたガリウムが付着しない高温にP V窓部を保つ断熱材および加熱器の少なくとも1つといった手段とを含む。例示的な温度範囲は、約300℃～2000℃のうちの1つである。

【0325】

一実施形態では、P V窓部およびバッフルの少なくとも1つは、Ga₂O₃でコーティングされ得る。P V窓部およびバッフルの少なくとも1つは、透明ベータGa₂O₃といったGa₂O₃を含み得る。P V窓部およびバッフルの少なくとも1つは、平坦、ドーム型、または別の所望の幾何学的形態であり得る透明ベータGa₂O₃ペインを含み得る。別の実施形態では、P V窓部およびバッフルはそれぞれ、ガリウムによる湿潤をもたらす酸化ガリウムの組成物または相の形成を回避する条件下で操作することができる。一実施形態では、Ga₂Oの表面コーティングが避けられる。一実施形態では、窓部はGa₂Oの分解を引き起こす条件下で操作される。窓部およびバッフルはそれぞれ、500℃を超えるなど、Ga₂Oの分解温度を超える温度で操作され得る。

30

【0326】

一実施形態では、P V窓部およびバッフルの少なくとも1つは、ガリウムと反応する金属の薄い透明な層でコーティングされ得る。例示的なコーティングは、タングステンおよびタンタルのうちの少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、金属表面は、表面の非湿潤性を制御するために、スパッタリングなどの方法によってテクスチャリングされ得る。一実施形態では、金属は、ガリウムによる濡れを回避するための金属酸化物コートを含む。

40

【0327】

P V窓部は、直接冷却および間接冷却のうちの少なくとも1つによって冷却され得る。間接冷却は、水冷熱交換器といった太陽電池配列冷却システムへの熱伝達による二次冷却を含み得る。熱交換器は、少なくとも1つの多重チャネルプレートを含み得る。P V窓部温度は、窓部の構造材料およびコーティング（存在する場合）の少なくとも1つの破損温度より低い温度等、窓部の破損温度より1つ低い範囲まで冷却することによって、制御され得る。温度は、約50℃～1500℃、100℃～1000℃、および100℃～500

50

℃の少なくとも1つの範囲に維持され得る。

【0328】

PV窓部は、ガリウムのような溶融または液体金属による表面の濡れを遅らせる固体表面と液体金属との間の接触面積を最小化することによって、液体ガリウムに対して超疎液特性を有するコーティングを含み得る。コーティングは、酸化ガリウムコートを含むガリウムの表面湿潤をさらに妨げることが可能であり、そうでなければ湿潤を増強するということになる。例示的な超撥液性コーティングは、ポリジメチルシロキサン（PDMS）マイクロピラー配列でパターン化されたマルチスケール表面を有するものと、階層的マイクロ／ナノスケール結合構造を有する垂直に整列したカーボンナノチューブを有するものである。カーボンナノチューブは、伸縮および曲げといった機械的変形の下でも超撥液性が維持されるように圧痕することにより、柔軟なPDMSに転写され得る。あるいは、液体ガリウムの酸化物コートは、液体金属自体の表面を修飾することによって操作され得る。たとえば、HCl蒸気との化学反応により、液体ガリウムの酸化表面（主にGa₂O₃／Ga₂O）がGaCl₃に変換され、非湿潤特性の回復をもたらす。別の実施形態では、液体金属による非湿潤は、PV窓部表面をCo、Ni、Fe、またはCoNiMnPといった強磁性材料でコーティングと、磁場を印加することの少なくとも1つによって、達成され得る。

10

【0329】

一実施形態では、窓部またはバッフルは、ガリウムで濡れていないが、酸素ガスまたは水蒸気といった酸素供給源との反応によって酸化ガリウムが形成されるときに濡れることができるコーティングを含み得る。反応セルチャンバ内のO₂またはH₂O蒸気といった酸素供給源の蒸気圧は、ガリウム湿潤を引き起こすのに十分な酸化物の形成をもたらす圧力よりも低い所望の圧力に維持され得る。酸素供給源の圧力は、約10トル、1トル、0.1トル、および0.01トルの少なくとも1つの圧力より低く維持され得る。石英を含むもののような窓またはバッフル表面で水が吸収される一実施形態では、窓またはバッフルの温度は、ガリウムによる湿潤を引き起こすのに十分な水表面吸収をもたらす温度よりも高い所望の温度に維持される。水によるガリウムの濡れは、濡れを促進するのに十分な酸化ガリウムの形成によって引き起こされ得る。吸収された水の濃度がガリウムの湿潤を可能にすることを防ぐべく維持された所望の温度は、反応セルチャンバ5b31内の水蒸気圧に対して調整される。窓部またはバッフルは、水の過剰吸収を防ぐべく、所望の温度を維持するための加熱器および制御器を含み得る。あるいは、窓部またはバッフルは、熱交換器といった冷却器または深冷器を含み得るもので、ここでは、熱除去を減少させて、ガリウムの濡れを防ぐ高い所望の温度を達成する。所望の温度は、約50℃、100℃、150℃、200℃、300℃、400℃、および500℃のうちの少なくとも1つの温度を超え得る。

20

30

【0330】

PV窓部は、透明テフロン、フッ素化エチレンプロピレン（FEP）、ポリテトラフルオロエチレン—パーフルオロアルコキシコポリマー（テフロン—PFA）といったフッ素含有ポリマーおよびフッ素ベースのポリマーまたはコポリマーといった不透明であってもよい湿潤防止剤の薄いコーティングにおいて、炭素またはシリコン、例えばアシルアルコキシシラン、フルオロ脂肪族アルコキシシラン、フルオロ脂肪族シリルエーテル、およびフッ素化トリメトキシシランを含み得る。ワセリンまたはワックスのような長鎖炭化水素といった薄いコーティングは、半透明であり得る。PV窓部およびPV窓部コーティングのうちの少なくとも1つは、透明な熱可塑性プラスチック、例えば、ポリカーボネート（レキサン）、ポリ（メチルメタクリレート）（PMMA）を含むアクリルガラスまたはプレキシグラス（アクリルまたはアクリルガラスとしても知られ、Crylux、Plexiglas、Acrylite、Lucite、Perspexの商品名でも知られている）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、アモルファスコプロイエステル（PETG）、ポリ塩化ビニル（PVC）、液体シリコンゴム（LSR）、環状オレフィン共重合体、ポリエチレン、アイオノマー樹脂、透明ポリプロピレン、フッ化エチレンプロピレン

40

50

(FEP)、パーフルオロアルコキシ(PFA)、スチレンメチルメタクリレート(SMA)、スチレンアクリロニトリル樹脂(SAN)、ポリスチレン(汎用-GPPS)、およびメチルメタクリレートアクリロニトリルブタジエンスチレン(MABS(透明ABS))重合体のうちの少なくとも1つを、含む。

【0331】

ジグザグチャネルは、ソフトコーティングを損傷する可能性のある高い運動エネルギーおよび高温のうちの少なくとも1つを有する粒子によるPV窓部またはバッフルの直接的衝撃を防止し得る。ジグザグチャネルを含むPV窓部またはバッフルの一実施形態では、PV窓部またはバッフルは、ポリエチレンまたはテフロン(登録商標)といったガリウムで濡れていない表面でコーティングされ得る。

10

【0332】

一実施形態では、反応セルチャンバは、第1の温度でガリウムおよび酸化ガリウムの少なくとも1つと反応して揮発性化合物を形成し、第2の高温で分解する輸送反応物を含む。一実施形態では、揮発性化合物は、第1の温度でPV窓部上から発生し、反応セルチャンバ壁上、反応チャンバガス内、およびハイドリノ反応プラズマ内のうちの1つまたは複数で分解する。揮発性化合物の形成は、触媒サイクルにおいてPV窓部を洗浄するのに役立つ。輸送反応物は、PV窓部の表面からガリウムおよび酸化ガリウムのうちの少なくとも1つを除去するため、継続的に消費および再生され得る。輸送反応物は、沸点が201°CのGaCl₃といった揮発性ハロゲン化物を形成し得る。輸送反応物は、HCl、Cl₂、または塩化メチルといった有機ハロゲン化物を含み得る。輸送反応物は、沸点が345°CのGaI₃またはGa₂I₆といった揮発性ハロゲン化物を形成し得る。輸送反応物は、HI、I₂、またはヨウ化メチルといった有機ハロゲン化物を含み得る。輸送反応物は、揮発性有機金属ガリウム複合体または化合物を形成する有機分子を含み得る。有機輸送化合物は、N、O、またはSを含み得る。一実施形態では、輸送反応物は、ガリウムおよび酸化ガリウムのうちの少なくとも1つと反応するGaCl₃といったハロゲン化ガリウムを含む。生成物は揮発性であり得る。例示的な実施形態では、GaCl₃はガリウムと反応して、ガリウムガリウム四塩化物(Ga₂Cl₄)を形成する。融点=164°Cおよび沸点=535°Cであることから、窓を清浄にするのに十分なGa₂Cl₄を維持する温度、例えば沸点の近傍またはそれよりも高い温度で、窓部が操作されてもよい。輸送化合物はGa₂O₃と反応して、揮発性のGa₂Oを形成し得る。輸送化合物は、H₂を含み得る。H₂は、PV窓部をさらに洗浄するのに役立ち得るガスジェットによって供給されてもよい。一実施形態では、輸送化合物は、原子、イオン、または元素である。元素はガリウムであってもよい。ガリウムはGa₂O₃と反応して、揮発性のGa₂Oを形成し得る。亜酸化ガリウムを形成する反応は、窓部のより低い温度で促進される。Ga₂Oは、660°Cを超える温度のような、反応セルチャンバ内のプラズマの高い温度で、GaとGa₂O₃とに分解し得る。一実施形態では、輸送要素は、ガリウムに添加されたアルミニウムである。アルミニウムはガス状のAl₂Oを形成し得る。別の実施形態では、アルミニウムをガリウムの代わりに使用され得るアルミニウムは熔融金属を含み得る。輸送反応物は、それが形成される高温領域からガスジェットシステムによってPV窓部表面に流れることが可能であり、ここで、輸送反応物は、PV窓部表面上のガリウムおよび酸化ガリウムのうちの少なくとも1つと反応する。生成物は揮発して窓を清浄にする。輸送化合物または溶媒と接触しているSunCell(登録商標)構成要素、例えば反応セルチャンバおよびEMポンプは、輸送剤またはGaCl₃もしくはGaBr₃といった溶媒による腐食に耐性のある材料を含み得る。SunCell(登録商標)構成要素は、ハロゲン化物による腐食に耐性のある、例示的な材料である石英または316またはSS625といったオーステナイト系ステンレス鋼を含み得る。石英EMポンプ管を含む実施形態は、誘導EMポンプを含み得る。

20

30

40

【0333】

一実施形態では、反応セルチャンバは、PV窓部からガリウムおよび酸化ガリウムなどの堆積物を除去する洗浄化合物を含む。洗浄化合物は、ガリウムおよび酸化ガリウムのうち

50

の少なくとも1つのための溶媒を含み得る。溶媒は、P V窓部の作動温度で液体である化合物を含み得る。洗浄化合物は、反応セルチャンバの動作温度でガスを含み得る。洗浄剤がP V窓部に結露する場合がある。洗浄化合物は、P V窓部上に堆積された材料を溶解、懸濁、および輸送することの少なくとも1つが可能である。SunCell（登録商標）は、次のようなガスジェットシステム、例えば、P V窓部の内面へのガスの衝突を引き起こす少なくとも1つのガスノズルを含むガス入口と少なくとも1つのガス出口を備えたガスポンプを含むものを、さらに含み得るもので、ここで、ガスは、P V窓部から堆積した材料を除去するべく高速であり得る。ガスジェットシステムは、反応セルチャンバガスを再循環させ得る。洗浄化合物はまた、ガスジェットによって、懸濁または溶解された堆積物と共に除去され得る。洗浄化合物は、Xがハロゲン化物であり、F、Cl、Br、またはIのうちの少なくとも1つである、 GaX_3 といった無機化合物を含み得る。例示的な実施形態では、臭化ガリウム（融点=121.5℃、沸点=278.8℃）へのガリウム金属の溶解度は14モル%である（M. A. Bredig, 「金属と熔融塩との混合物」（Mixtures of metals with molten salts）, Oak Ridge National Laboratory, Chemistry Division, U. S. Atomic Energy Commission, 1963, <http://molten salt.org/references/static/downloads/pdf/ORNL-3391.pdf>）。したがって、臭化ガリウムは、P V窓部に堆積したガリウムを溶解し得る。溶液は、蒸発または流動によって除去され得る。あるいは、洗浄化合物は、溶媒のような有機化合物を含み得る。例示的な溶媒は、ノナン（沸点=151℃）、デカン（沸点=174℃）、ウンデカン（沸点=196℃）、ドデカン（沸点=216℃）といった長鎖炭化水素、ヘキサメチルホスホルアミド、ジメチルスルホキシド、N、N'-テトラアルキル尿素DMPU（ジメチルプロピレン尿素）、DMI（1,3-ジメチル-2-イミダゾリジノン）、メタノール、イソプロピルアルコール、または他の溶媒、例えば、適切に高い沸点、P V窓部に堆積した化学種を溶解または懸濁する能力、および低い表面張力のリストからの少なくとも1つを有するものであり、それによりP V窓部を濡らして堆積した化学種を移動させるようにする。洗浄化合物は、金属水酸化物または金属酸化物、例えば、それぞれ $MGaO_2$ （MはLi、Na、K、Rb、Csのいずれかである）または $MgGa_2O_4$ といったスピネルを形成するべく、アルカリ金属の水酸化物もしくは酸化物またはMg、Zn、Co、Ni、もしくはCuの水酸化物または酸化物で、洗浄化合物は、複数の化合物を含み得る。洗浄化合物は、複数の化合物、例えば、金属水酸化物または酸化物および金属酸化物と酸化ガリウムとの反応生成物の溶媒、例えば水またはアルコールを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバ内の洗浄化合物の蒸気圧は、洗浄化合物のモル数を制限することおよびP V窓部の温度を制御することのうちの少なくとも1つによって制御され得る。洗浄剤の蒸気圧は、P V窓部の表面といった蒸気と接触する最も低い温度の表面によって決定され得る。蒸気圧は、P V窓部の温度での対応する液体の蒸気圧であり得る。

【0334】

一実施形態では、発火電源は、注入された熔融金属を通して大電流のバーストを提供するべく、少なくとも1つのコンデンサを含み得る。大電流は、注入された熔融金属の流れを妨げ得る強力な爆発を引き起こし得る。一実施形態では、注入器管561は、ハイドリノ反応からの爆発による注入された熔融金属流の中断を低減するために、異なる位置および角度に複数のノズルを備える。一実施形態では、反応セルチャンバは、ハイドリノ反応によって生成された圧力波を閉じ込める。この閉じ込めは、ハイドリノ反応速度を増加させ得る。

【0335】

一実施形態では、高い点火電流は、プラズマと注入された熔融金属流とのうちの少なくとも1つを不安定にする場合がある。不安定性は、ローレンツたわみと大電流ピンチ効果とのうちの少なくとも1つが原因となり得る。不安定性を回避するべく、注入電流を制限してもよい。あるいは、注入器は、不安定性を回避するべく、ノズル設計と複数のノズルと

10

20

30

40

50

のうちの少なくとも1つを含み得る。例えば、複数のノズルは、不安定性を回避するべく電流を分割し得る。あるいは、不安定性を排除するべく、電流を平行および逆平行経路の少なくとも1つに沿って向けてもよい。別の実施形態では、溶融金属注入速度は、ハイドリノ反応速度を制御し、プラズマ不安定性を抑制し、溶融金属流とプラズマとの間の電流の分割を低減するべく、増加、減少、および停止の少なくとも1つであり得る。別の実施形態では、イオン再結合に有利な溶融金属注入速度を増加させることによって、ハイドリノ反応速度を増加させることが可能である。SunCell（登録商標）は、EMポンプなどの複数の溶融金属注入器を含み得るもので、少なくとも1つのポンプが対極に注入するとともに、少なくとも1つの注入器が反応セルチャンバに注入し得る。複数の注入器は、溶融ガリウムを循環させ、反応セルチャンバ内のホットスポットから熱を除去して、SunCell（登録商標）への損傷を回避し得る。加えて、入力力率に対する出力電力および出力電力利得を制御するべく、点火電力を増加、減少、または停止させることによってハイドリノ反応速度を制御することが可能である。入力力率の増加によってハイドリノ反応速度は増加され得るが、出力電力利得は減少する。

10

20

30

40

50

【0336】

一実施形態では、電圧、電流、および電力といった点火プラズマパラメータの少なくとも1つは、プラズマ形成後よりも最初に高い値に維持可能であり、反応セルチャンバの温度が上昇した。電圧および電流といった少なくとも1つの点火電力パラメータは、高い初期レベルに維持され、その後、プラズマの始動後に減少されて、入力力率に対する出力電力利得を改善し得る。一実施形態では、プラズマが十分に高温になり、ハイドリノ反応が点火力のない状態でプラズマを維持できるようになると、点火電流が停止し得る。セル抵抗を下げて点火電圧を下げるには、SunCell（登録商標）は、(i) 貯留槽5c内の溶融金属に直接電力を供給する高導電性バスバー、(ii) 高導電性対極8または10、(iii) 水中電極、(iv) 大径のノズル5q、および(v) より短い電極間隔の少なくとも1つを含み得る。点火電流が注入器ポンプ管を横切る溶融金属としてガリウムを含む実施形態において、ポンプ管は、EMポンプ管の金属との反応による高抵抗のガリウム合金層の形成を回避するために、金属またはコーティングを含み得る。例示的な金属および金属コーティングは、ステンレス鋼、タンタル、タングステン、およびレニウムである。一実施形態では、ガリウムに接触する少なくとも1つのSunCell（登録商標）構成要素、例えば、EMポンプ管5k6、注入器管5k61、ガリウム貯留槽5cのバスバー、および電極8は、ガリウム合金の形成速度が遅い金属、またはガリウム合金の形成が好ましくない金属、例えばステンレス鋼、レニウム(Re)、タンタル、およびタングステン(W)の少なくとも1つを含むか、あるいはそれによりコーティングされてもよい。

【0337】

一実施形態では、SUNCELL（登録商標）は、真空ラインへの入口、真空ライン、トラップ、および真空ポンプを含む真空システムを備える。真空ポンプは、ルートポンプまたはスクロールポンプといった高いポンプ速度を有するものを含み得るもので、また、真空ポンプに先行する直列接続等、真空ポンプと直列または並列に接続され得る水蒸気用のトラップをさらに含み得る。水トラップは、固体乾燥剤またはクライオトラップといった吸水材料を含み得る。一実施形態では、ポンプは、クライオポンプ、クライオフィルタ、または冷却器のうちの少なくとも1つを含み、水蒸気のような少なくとも1つのガスをポンプに流入する前に冷却し、凝縮する。ポンピング能力および速度を増加させるために、ポンピングシステムは、反応セルチャンバに接続された複数の真空ラインと、マニホールドが真空ポンプに接続されている真空ラインに接続された真空マニホールドとを含み得る。一実施形態では、真空ラインへの入口は、反応セルチャンバ内の溶融金属粒子が真空ラインに入るのを阻止するためのシールドを含む。例示的なシールドは、入口を覆うが入口の表面から隆起している金属板またはドームを含み得るもので、反応セルチャンバから真空ラインへのガスの流れに選択的なギャップを提供する。真空システムは、真空ライン入口への粒子の流れ制限器、例えば、粒子の流れを遮断しながらガスの流れを可能にする一組のバップルをさらに含み得る。

【0338】

真空システムは、超高真空のうちの少なくとも1つが可能であり、反応セルチャンバの動作圧力を、約0.01トル～500トル、0.1トル～50トル、1トル～10トル、および1トル～5トルの少なくとも1つの低い範囲内に維持され得る。この圧力は、(i) 微量水として供給される微量H₂O触媒による、または、H₂と反応してH₂Oを形成するO₂によるH₂添加と、(ii) H₂O添加との少なくとも1つの場合、低く維持され得る。アルゴンといった希ガスも反応混合物に供給される場合、圧力は、約100トル～100気圧、500トル～10気圧、および1気圧～10気圧といった少なくとも1つの高い動作圧力範囲内に保たれてよく、アルゴンは、他の反応セルチャンバガスと比較して過剰であってもよい。アルゴン圧力は、H₂O触媒および原子Hの少なくとも1つの寿命を延ばすことが可能であり、かつ電極で形成されたプラズマが急速に分散するのを妨げることが可能であり、その結果、プラズマ強度が増大し得る。

10

【0339】

一実施形態では、反応セルチャンバは、反応セルチャンバ内の圧力変化に応答して体積を変化させることによって、反応セルチャンバの圧力を所望の範囲内に制御する手段を含む。この手段は、圧力センサ、機械的に拡張可能な部分、拡張可能部分を拡張および収縮するアクチュエータ、ならびに拡張可能部分の膨張と収縮によって生じる差分体積を制御するための制御器を備える。拡張可能部分は、ベローズを含み得る。アクチュエータは、機械アクチュエータ、空気圧アクチュエータ、電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータ、油圧アクチュエータ、および当技術分野で公知の他のアクチュエータを含み得る。

20

【0340】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、(i) ガス入口およびガス出口を有するガス再循環システム、(ii) ガス分離システム、例えば、アルゴンのような希ガス、O₂、H₂、H₂O、そしてGaX₃ (X=ハロゲン化物) またはNxO_y (x、y=整数) といった反応混合物の揮発性種の少なくとも2つとハイドリノガスと混合物の少なくとも2つのガスを分離することができるガス分離システム、(iii) 少なくとも1つの希ガス、O₂、H₂、およびH₂O分圧センサ、(iv) 流量調整器、(v) 少なくとも1つのマイクロ注入器、例えば、水を注入するマイクロ注入器、(vi) 少なくとも1つのバルブ、(vii) ポンプ、(viii) 排ガス圧力および流量制御器、ならびに、(ix) アルゴンのような希ガス、O₂、H₂、H₂O、およびハイドリノガスの圧力の少なくとも1つを維持するためのコンピュータを、備え得る。再循環システムは、分子ハイドリノガスといった少なくとも1つのガスを再循環ガスから除去することを可能にする半透膜を含み得る。一実施形態では、希ガスといった少なくとも1つのガスが選択的に再循環させられ得る。一方、反応混合物の少なくとも1つのガスは出口から流出されるよう排気を介して排出され得る。希ガスは、ハイドリノ反応速度を増加させ、反応セルチャンバ内の少なくとも1つの種の排気からの輸送速度を増加させる少なくとも1つであり得る。希ガスは、所望の圧力を維持するべく、過剰な水の排出速度を増加させ得る。希ガスは、ハイドリノが排出される速度を上げ得る。一実施形態では、アルゴンといった希ガスは、周囲雰囲気から容易に入手可能であり、かつ周囲雰囲気に容易に排出される、希ガスに近いガスの少なくとも1つによって、置き換えられ得る。希ガスに近いガスは、反応混合物との反応性が低くてもよい。希ガスに近いガスは、再循環システムによって再循環されるのではなく、大気から取得されて排出される可能性がある。希ガスに近いガスは、大気から容易に入手可能であり、大気に排出され得るガスから形成され得る。希ガスに近いガスは、反応セルチャンバに流入する前に酸素から分離され得る窒素を含んでもよい。あるいは、空気を希ガスに近いガスの供給源として使用することも可能であり、酸素を供給源からの炭素と反応させて二酸化炭素を形成し得る。窒素と二酸化炭素とのうちの少なくとも1つとが希ガスに近いガスとして機能し得る。あるいは、ガリウムといった熔融金属との反応によって酸素を除去することもできる。得られた酸化ガリウムは、ガリウム再生システム、例えば、水酸化ナトリウム水溶液と酸化ガリウムとの反応によりガリウムナトリウムを形成し、ガリウムナトリウムを、ガリウム金属と排出される酸素とに電気分解するシ

30

40

50

ステムで、再生され得る。

【0341】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応物 H_2O_2 、および H_2O の少なくとも1つを追加することで、操作されかつ顕著に閉じられ得るもので、ここで反応セルチャンバの雰囲気は、反応物と、アルゴンといった希ガスを含む。希ガスに近いガスは、10トル～100気圧の範囲内等、高圧に維持され得る。大気は、再循環システムによって連続的および定期的または断続的に排気または再循環されるものの少なくとも1つであり得る。脱気によって余分な酸素が除去され得る。 H_2 とともに反応物 O_2 を添加することは、 O_2 が副次的な化学種であり、過剰の H_2 と共に反応セルチャンバに注入されると本質的に HOH 触媒を形成するようなものであり得る。トーチは、即座に反応して HOH 触媒と過剰な H_2 反応物とを形成する H_2 と O_2 との混合物を注入し得る。一実施形態では、過剰な酸素は、水素還元、電解還元、熱分解の少なくとも1つ、および Ga_2O の揮発性による気化および昇華の少なくとも1つによって、酸化ガリウムから少なくとも部分的に放出され得る。一実施形態では、酸素存在量の少なくとも1つを制御することができ、酸素存在量は、水素の存在下で反応セルチャンバに断続的に酸素を流すことによって、 HOH 触媒を形成することを少なくとも部分的に許可され得る。一実施形態では、酸素存在量は、追加された H_2 との反応により、 H_2O として再循環され得る。別の実施形態では、過剰な酸素存在量は、 Ga_2O_3 として除去され、本開示のスキーマおよび電気分解システムのうちの少なくとも1つ等によって、本開示によって再生され得る。過剰酸素の供給源は、 O_2 添加および H_2O 添加のうちの少なくとも1つであり得る。

10

20

【0342】

一実施形態では、反応セルチャンバ内のガス圧は、ポンピング速度および再循環速度の少なくとも1つを制御することによって少なくとも部分的に制御され得る。これらの速度の少なくとも1つは、圧力センサおよび制御器によって制御される弁によって制御され得る。ガス流を制御するための例示的な弁は、上限目標圧力と下限目標圧力とに応じて開閉する電磁弁および可変流量制御バルブ、例えば、所望のガス圧力範囲を維持するために圧力センサと制御器によって制御されるバタフライバルブおよびスロットルバルブといった可変流量制御バルブである。

【0343】

一実施形態では、 Ga_2O のような酸化ガリウムは、 Ga_2O の揮発性のために、気化および昇華のうちの少なくとも1つによって反応セルチャンバから除去され得る。除去は、ガスを反応セルチャンバに流し、大気圧より低い圧力のような低圧を維持する少なくとも1つの方法によって達成され得る。ガス流は、本開示の再循環器によって維持され得る。低圧は、本開示の真空ポンプシステムによって維持され得る。酸化ガリウムは、本開示の凝縮器で凝縮され、反応セルチャンバに戻され得る。あるいは、酸化ガリウムは、本開示のシステムおよび方法によって除去および再生され得るクライオトラップといったフィルタまたはトラップに捕捉され得る。トラップは、再循環器の少なくとも1つのガスライン内であってもよい。一実施形態では、 Ga_2O は、真空システムのトラップに捕捉され得るもので、該トラップは、フィルタ、クライオトラップ、および電気集塵器のうちの少なくとも1つを含み得る。電気集塵装置は、プラズマを維持して Ga_2O 粒子を静電的に帯電させるべく帯電した粒子を捕捉するための高電圧電極を含み得る。例示的な実施形態では、電極の少なくとも1つのセットの各セットは、 Ga_2O 粒子を負に静電的に帯電させるコロナ放電を発生し得るワイヤと、荷反応セルチャンバからのガス流から電粒子を沈殿させるプレートまたはチューブ電極といった正に帯電した収集電極とを含み得る。機械的といった当技術分野で公知の手段によって各コレクタ電極から Ga_2O 粒子を除去可能であり、かつ Ga_2O をガリウムに変換して再使用することが可能である。ガリウムは、 $NaOH$ 溶液中での電気分解といったシステムおよび方法によって、 Ga_2O から再生され得る。

30

40

【0344】

静電沈降分離装置（ESP）は、反応セルチャンバからのガス流から少なくとも1つの所

50

望の種を沈殿させてそれを反応セルチャンバに戻す手段をさらに含み得る。沈降分離装置は、オーガ、コンベヤベルト、空気圧式、電気機械式、または沈降分離装置によって収集された粒子を反応セルチャンバに戻すために当技術分野で公知の他の輸送手段といった輸送手段を含み得る。沈降分離装置は、重力流によって所望の粒子を反応セルチャンバに戻す還流器を含む真空ラインの一部に取り付けられ得るもので、粒子は沈殿し、真空ライン内の流れのような重力流動によって反応セルチャンバに逆流し得る。真空ラインは、所望の粒子が重力戻り流を受けることを可能にする少なくとも一部において垂直に向けられ得る。

【0345】

例示的な試験実施形態では、反応セルチャンバを、4 mL / 分の H₂O 注入で約 1 ~ 2 気圧の圧力範囲内に維持した。直流電圧を約 30 V とし、直流電流は約 1.5 kA とした。反応セルチャンバを、図 25 に示すような、3.6 kg の溶融ガリウムを含む直径 6 インチのステンレス鋼球とした。電極は、直流 EM ポンプの 1 インチの水中 SS ノズルと、直径 4 cm、厚さ 1 cm の W 製ディスクと BN 製台座で覆われた直径 1 cm のリード線とを有する対極とを有するものとした。EM ポンプ速度は、約 30 ~ 40 mL / s であった。ガリウムは水中ノズルで正に分極され、W ペDESTAL 電極は負に分極された。EM ポンプ注入器によってガリウムが十分に混合された。SunCell (登録商標) の出力は、ガリウムと SS との反応器の質量、比熱、温度上昇の積を使用して測定すると、約 85 kW であった。

【0346】

別の試験実施形態では、2500 sccm の H₂ および 25 sccm の O₂ を、H₂ および O₂ ガス入口および反応セルチャンバに沿った外部チャンバに保持された約 2 g の 10 % Pt / Al₂O₃ ビーズに通して流した。さらに、能動的な真空ポンプの作動を適用しながら、アルゴンを反応セルチャンバに 50 トルのチャンバ圧力を維持する速度で流した。直流電圧を約 20 V、かつ直流電流を約 1.25 kA とした。SunCell (登録商標) の出力を、ガリウムと SS との反応器の質量、比熱、および温度上昇の積を用いて、測定すると、約 120 kW であった。

【0347】

一実施形態では、大気圧よりも低い圧力、大気圧、および大気圧よりも高い圧力の 1 つまたは複数で動作し得る、再循環システムまたは希ガス再循環システムといった再循環器は、(i) ガス移動装置、例えば、反応セルチャンバから少なくとも 1 つのガスを再循環させるための真空ポンプ、圧縮機、および送風機のうちの少なくとも 1 つと、(ii) 再循環ガスラインと、(iii) ハイドリノおよび酸素といった排ガスを除去するための分離システムと、(iv) 反応物供給システムとを備え得る。一実施形態では、ガス移動装置は、反応セルチャンバからガスを送り出し、分離システムにガスを押し込んで排ガスを除去し、再生ガスを反応セルチャンバに戻し得る。ガス移動装置は、同じユニットとして、ポンプ、コンプレッサ、およびブロワーのうちの少なくとも 2 つを含み得る。一実施形態では、ポンプ、コンプレッサ、ブロワー、またはそれらの組み合わせは、ガス移動装置に入る前のガスを冷却すること、および水蒸気といった少なくとも 1 つのガスを凝縮すること、の少なくとも 1 つを行うべく、クライオポンプ、クライオフィルタ、または冷却器の少なくとも 1 つを含み得る。再循環ガスラインは、真空ポンプからガス移動装置へのライン、排ガスを除去するためのガス移動装置から分離システムへのライン、および反応物供給システムと接続可能な反応セルチャンバへの排ガスを除去するための分離システムからのラインを含み得る。例示的な反応物供給システムは、アルゴンといった希ガス、酸素、水素、および水の少なくとも 1 つのための、少なくとも 1 つの反応混合ガス補給ラインを備えた反応セルチャンバへのラインとの少なくとも 1 つの結合を含む。H₂ との反応物 O₂ の添加は、O₂ が副次的な化学種であり、過剰の H₂ と共に反応セルチャンバに注入されると基本的に H₂O 触媒を形成する。トーチは H₂ と O₂ との混合物を注入し、すぐに反応して H₂O 触媒と過剰な H₂ 反応物とを形成する。反応物供給システムは、反応混合ガス供給ラインに接続されたガスマニホールドと、反応セルチャンバへの流出ラインと

10

20

30

40

50

を含み得る。

【0348】

排ガスを除去するための分離システムは、クライオフィルタまたはクライオトラップを含み得る。再循環ガスからハイドリノ生成ガスを除去するための分離システムは、半透膜を含み得るもので、再循環ガスから大気へ、または排気チャンバ、または流れへと、膜を横切る拡散によって、ハイドリノを選択的に排気する。再循環器の分離システムは、再循環ガスから酸素を除去する酸素スクラバシステムを含み得る。スクラバシステムは、容器と、該容器内にあり、アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄といった金属のような、酸素と反応するゲッターまたは吸着剤とのうちの少なくとも1つを含み得る。あるいは、活性炭または当技術分野で公知の別の脱酸素剤といった吸着剤は、酸素を吸収し得る。木炭吸着剤は、市販品のようなガス透過性カートリッジに密封され得る木炭フィルタを含むものであってもよい。カートリッジは取り外し可能であってもよい。スクラバシステムの酸素吸着剤は、当技術分野で公知の方法によって定期的に交換または再生され得る。再循環システムのスクラバ再生システムは、1つまたは複数の吸着剤加熱器と1つまたは複数の真空ポンプとのうちの少なくとも1つを含み得る。例示的な実施形態では、木炭吸着剤は、排出または収集された酸素を放出するべく、加熱器によって加熱されるものまたは真空ポンプによって与えられた真空に曝されるものの少なくとも1つであり、得られた再生木炭が再利用される。SunCell（登録商標）からの熱を使用して、吸着剤を再生することが可能である。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、少なくとも1つの熱交換器と、冷却剤ポンプと、木炭のような吸着剤を再生するためのスクラバ加熱器として機能する冷却剤フロー回路とを備える。スクラバは、大きい体積および面積を有することで、ガスの流れの抵抗を大幅に増加させずに効果的にスクラブし得る。流れは、再循環ラインに接続されたガス移動装置によって維持され得る。木炭を冷却することで、アルゴンのような希ガスを含む混合物といった、再循環ガスからスクラブされる化学種をより効果的に吸収し得る。木炭のような酸素吸着剤もまた、ハイドリノガスをスクラブまたは吸収し得る。分離システムは、複数のスクラバシステムを備え得るものであり、各々のスクラバシステムが、(i) ガスシールを維持できるチャンバと、(ii) 酸素のような排ガスを除去するための吸着剤と、(iii) チャンバを再循環ガスラインから隔離し、再循環ガスラインをチャンバから隔離し得る入口および出口バルブと、(iv) チャンバを再循環ラインに接続および切断するために制御器によって制御されるロボット機構といった手段と、(v) 加熱器および真空ポンプといった吸着剤を再生する手段であり、加熱器および真空ポンプがその再生中に少なくとも1つの他のスクラバシステムを再生するために共通であってもよい手段と、(vi) n 番目のスクラバシステムの切断、n+1 番目のスクラバシステムの接続、および n+1 番目のスクラバシステムが作動中のスクラバシステムとして機能している間、n 番目のスクラバシステムの再生を制御する制御装置と、を備えており、ここで、複数のスクラバシステムのうちの少なくとも1つは、他の少なくとも1つが所望のガスを能動的にスクラビングまたは吸収している間に、再生されてもよい。スクラバシステムは、定期的に制御された排気またはガス回収を伴う閉鎖排気条件下でSunCell（登録商標）が動作することを可能にするものであってもよい。例示的な実施形態では、水素および酸素は、対応するガスがほぼ別々に放出される異なる温度に加熱することによって、活性炭のような吸着剤から別々に収集され得る。

10

20

30

40

【0349】

反応セルチャンバガスの希ガスの分圧が水素の分圧を超える希ガス、水素、および酸素の反応セルチャンバのガス混合物を含む実施形態において、酸素分圧を増加させて、アルゴンのような希ガスの反応物濃度希釈効果によるH₂O触媒を形成するための水素と酸素との間の反応速度の低下を補償することが可能である。一実施形態では、H₂O触媒は、アルゴンのような希ガスと組み合わせる前に形成されてもよい。水素および酸素は、再結合器または再結合器触媒といった燃焼器、プラズマ供給源、またはフィラメントのような高温表面によって反応させることが可能である。再結合器触媒は、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、シリカ、またはゼオライトの粉末またはビーズ上の、Pt、Pd、またはIr

50

、あるいは、本開示の別の支持された再結合器触媒、あるいは、ラネーNi、Ni、ニオブ、チタン、または本開示または当技術分野で公知の他の解離作用を担う金属といった、セラミック担体に担持された貴金属を、粉末、マット、織り、布といった大表面積を提供する形で、を含み得る。例示的な再結合器は、Al₂O₃ビーズ上に10重量%のPtを含む。プラズマ供給源は、グロー放電、マイクロ波プラズマ、プラズマトーチ、誘導性または容量性結合RF放電、誘電体バリア放電、圧電直接放電、音響放電、あるいは本開示または当技術分野で公知の別の放電セルを含み得る。ホットフィラメントは、ホットタングステンフィラメント、PtまたはPt上のPd-黒のフィラメント、あるいは当技術分野で公知の別の触媒フィラメントを含み得る。

【0350】

水、水素、酸素、および希ガスのうちの少なくとも1つといった反応混合物種の入口流は、連続的または断続的であり得る。入口流量および排気または真空流量は、所望の圧力範囲を達成するように制御され得る。入口流は断続的であってもよく、流れは、所望の範囲の最大圧力で停止されるとともに、所望の範囲の最小圧力で開始され得る。反応混合ガスがアルゴンのような高圧希ガスを含む場合、反応セルチャンバを排気し、反応混合物で満たして、ほぼ静的な排気流条件下で作動させることが可能であり、水、水素、および酸素のうちの少なくとも1つといった反応物の入口流は、圧力を所望の範囲に維持するべく、連続的または断続的な流れ条件下で維持される。さらに、希ガスは、対応する排気ポンプ速度で経済的に実用的な流量で流れることが可能であり、または希ガスは、再循環システムまたは再循環器によって再生または洗浄されて再循環され得る。

【0351】

反応セルチャンバ5b31ガスは、H₂、アルゴンのような希ガス、O₂、およびH₂O、およびCO₂といった酸化物のうちの少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、反応セルチャンバ5b31の内圧は、大気圧より低くてもよい。圧力は、約1ミリトル〜750トル、10ミリトル〜100トル、100ミリトル〜10トル、および250ミリトル〜1トルのうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。SunCell（登録商標）は、加熱器および温度制御器付きの貯留槽、チャンネルまたは導管、および値を含む水蒸気供給システムを備え得る。一実施形態では、反応セルチャンバガスは、H₂O蒸気を含み得る。水蒸気は、水貯留槽の温度を制御することにより、チャンネルを介して反応セルチャンバに関連する外部水貯留槽によって供給され得るもので、ここで水貯留槽は、水蒸気供給システムの最も冷たい構成要素であり得る。水貯留槽の温度は、温度の関数としての水の分圧に基づいて水蒸気圧を制御し得る。水貯留槽は、蒸気圧を下げるための冷却装置をさらに備えてもよい。水は、添加剤、例えば、NaClまたは他のアルカリまたはアルカリ土類ハロゲン化物といった塩といった溶解した化合物、ゼオライトといった吸着剤、水和物を形成する材料または化合物、あるいは、蒸気圧を低下させる当業者に公知の別の材料または化合物を含み得る。蒸気圧を下げるための例示的なメカニズムは、合体効果または結合相互作用によるものである。一実施形態では、水蒸気圧源は、貯留槽に収容されて導管を介して反応セルチャンバ5b31に供給され得る氷を含み得る。氷は、氷からのH₂O触媒およびHの形成速度ならびにハイドリノ反応速度のうちの少なくとも1つを増加させるために、大きな表面積を有し得る。氷は、表面積を増やすために細かいチップ形状であってもよい。氷は、水蒸気圧を制御するために、0℃未満の所望の温度に維持され得る。H₂およびアルゴンのうちの少なくとも1つといったキャリアガスは、氷貯留槽を通過して反応セルチャンバに流れ得る。水蒸気圧はまた、キャリアガスの流量を制御することによって制御され得る。

【0352】

液体H₂O中のH₂のモル当量は55モル／リットルであり、ここで、標準温度と気圧（STP）でH₂ガスが22.4リットルを占める。一実施形態では、H₂は、反応物として反応セルチャンバ5b31に供給され、液体の水および蒸気のうちの少なくとも1つを含む形態でハイドリノを形成する。SunCell（登録商標）は、液体の水および蒸気の少なくとも一方の少なくとも1つの噴射器を備え得る。注入器は、水ジェットおよび蒸

10

20

30

40

50

気ジェットのうち少なくとも1つを含み得る。反応セルチャンバへの注入器オリフィスは、逆流を防ぐために小さくてもよい。注入器は、セラミックまたは別のものまたは本開示物のような耐酸化性の耐火性材料を含み得る。SunCell（登録商標）は、水と蒸気の少なくとも一方の供給源と、圧力および流れの制御システムとを備え得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、超音波処理器、噴霧器、エアロゾル器、またはネブライザをさらに含み、キャリアガス流と共に反応セルチャンバに流れ込むことが可能な小さな水滴を生成し得る。超音波処理器は、振動子と圧電素子とのうちの少なくとも1つを備え得る。キャリアガス流中の水の蒸気圧は、水蒸気源の温度または水源から反応セルチャンバへの流路の温度を制御することによって制御され得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、水素源と、CuO再結合器といった水素再結合器とをさらに備え得るもので、生成された水蒸気が反応セルチャンバに流れ込むように加熱された酸化銅再結合器といった再結合器に水素を流すことによって、反応セルチャンバ5b31に水を添加する。別の実施形態では、SunCell（登録商標）は、蒸気噴射器をさらに含み得る。蒸気噴射器は、蒸気およびセルガスの少なくとも1つの蒸気噴射器への流れを制御するための制御弁と制御装置とのうちの少なくとも1つと、収束ノズルへのガス入口と、収束-発散ノズルと、水源とオーバーフロー出口とに関連し得る結合コーンと、水源と、オーバーフロー出口と、送達コーンと、チェックバルブとを備え得る。制御値は、タイマー、セル圧力または水センサといったセンサ、あるいは手動作動装置によって制御され得る電子ソレノイドまたは他のコンピュータ制御値を含み得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、水を注入するためのポンプをさらに含み得る。SunCell（登録商標）からの熱がポンプ内の水を沸騰させないように、水は細い皮下注射針のような狭い断面の導管を通して供給されてもよい。ポンプは、シリンジポンプ、蠕動ポンプ、計量ポンプ、または当技術分野で公知の他のものを含み得る。シリンジポンプは、別のシリンジが注入しているときに少なくとも1つが補充され得るように、複数のシリンジを含み得る。シリンジポンプは、シリンジのプランジャーに比べて導管の断面がはるかに小さいため、導管内の水の力を増幅し得る。導管は、ポンプ内の水が沸騰するのを防ぐべく、ヒートシンクおよびクーリングの少なくとも1つをなし得る。

10

20

30

40

50

【0353】

一実施形態では、反応セルチャンバの反応セル混合物は、反応物の注入速度を制御することならびに反応混合物および生成物の過剰な反応物が反応セルチャンバ5b31から排出される速度を制御することのうち少なくとも1つの手段によって、反応セルチャンバ圧力を制御することによって制御される。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、バルブ、例えば、圧力センサ、真空ポンプ、真空ライン、バルブ制御器、および電磁バルブまたはスロットルバルブといった圧力作動バルブを含むもので、これは、センサによって測定された圧力を処理する制御器に応答して、反応セルチャンバから真空ポンプまでの真空ラインを開閉する。バルブは、反応セルチャンバガスの圧力を制御し得る。セル圧力が第1の高い設定値に達するまで、バルブは閉じたままになり、次に、バルブの作動が閉じられ得る第2の低い設定値に真空ポンプによって圧力が低下するまで作動して開く。一実施形態では、制御器は、反応セルチャンバ圧力、反応物注入速度、電圧、電流、および溶融金属注入速度といった少なくとも1つの反応パラメータを制御して、非パルス状またはほぼ定常または連続プラズマを維持し得る。

【0354】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、圧力センサと、反応混合物の少なくとも1つの反応物または種の供給源、例えば、 H_2O 、 H_2O_2 、およびアルゴンのような希ガスの供給源と、反応物ラインと、バルブ制御器と、センサによって測定された圧力を処理する制御器に応答して反応混合物の少なくとも1つの反応物または種の供給源および反応セルチャンバからの反応物ラインを開閉する弁、例えば、電磁弁またはスロットル弁といった圧力作動弁と、を備える。バルブは、反応セルチャンバガスの圧力を制御し得る。セル圧力が第1の高い設定値に達するまで、バルブが開いたままになることが可能であり、次に、バルブを作動し得る第2の低い設定値まで真空ポンプによって圧力が低下する

まで、バルブが作動して閉じられ得る。

【0355】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、マイクロポンプといった注入器を含み得る。マイクロポンプは、機械的または非機械的装置を含み得る。例示的な機械的装置は、作動およびマイクロバルブ膜ならびにフラップを含み得る可動部品を備える。マイクロポンプの駆動力は、圧電効果、静電効果、熱空気圧効果、空気圧効果、および磁気効果からなる群の少なくとも1つの効果を利用することによって発生し得る。非機械的ポンプは、電気流体力学的、電気浸透圧、電気化学的、超音波、毛細管、化学的、および当技術分野で知られている別の流れ生成メカニズムのうちの少なくとも1つと機能し得る。マイクロポンプは、圧電、電気浸透、横隔膜、蠕動、シリンジ、ならびにバルブレスマイクロポンプおよびキャピラリと、化学的に動力を与えられるポンプと、当技術分野で公知の別のマイクロポンプとのうちの少なくとも1つを含み得る。マイクロポンプといった注入器は、水のような反応物を連続的に供給してもよく、あるいはパルスモード等で断続的に反応物を供給してもよい。一実施形態では、水注入器は、マイクロポンプのようなポンプ、少なくとも1つのバルブ、および水貯留槽のうちの少なくとも1つを含み、さらに、事前に注入された水の過熱または沸騰を回避するために、冷却器、あるいは、反応セルチャンバの水貯留槽および弁を十分な距離だけ除去するための延長導管を、さらに含み得る。

10

【0356】

SunCell（登録商標）は、注入制御器と、少なくとも1つのセンサ、例えば、圧力、温度、プラズマ伝導率、またはその他の反応ガスもしくはプラズマパラメータを記録するセンサとを、備え得る。注入シーケンスは、少なくとも1つのセンサからの入力を使用して、過電力によるSunCell（登録商標）への損傷を回避しながら、必要な電力を供給する制御器によって制御され得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応セルチャンバ内の異なる領域に注入するための水注入器といった複数の注入器を備え、該注入器は、制御器によってアクティブ化され、プラズマホットスポットの位置を時間内に交互に切り替えて、SunCell（登録商標）への損傷を回避する。注入は、断続的、周期的断続的、連続的、または所望の電力、利得、および性能の最適化を達成する他の任意の注入パターンを含み得る。

20

【0357】

SunCell（登録商標）は、ポンプの注入および充填にตอบสนองして開閉するポンプ入口および出口弁などの弁を含み得、開閉の入口および出口弁の状態は、互いに180°位相が反転し得る。ポンプは、反応セルチャンバの圧力よりも高い圧力を発生させて、注入を達成し得る。ポンプ注入が反応セルチャンバ圧力の影響を受けやすい場合、SunCell（登録商標）は、ポンプに水を供給してポンプのヘッド圧力を反応セルチャンバのヘッド圧力に動的に一致させるガス接続を、反応セルチャンバと貯留槽との間に備える。

30

【0358】

反応セルチャンバの圧力がポンプの圧力よりも低い一実施形態では、ポンプは、該ポンプがアイドル状態のときに反応セルチャンバへの流れの停止を達成するべく、少なくとも1つの弁を含み得る。ポンプは、少なくとも1つの弁を含み得る。例示的な実施形態では、蠕動マイクロポンプは、直列の少なくとも3つのマイクロバルブを備える。これらの3つのバルブは、蠕動運動と呼ばれるプロセスで流体を入口から出口に引き込むために、順番に開閉される。一実施形態では、ソレノイドまたは圧電逆止弁といったバルブが能動的に作動してもよく、あるいは、チェックバルブ、例えば、ボール、スイング、ダイアグラム、またはダックビルチェックバルブの背圧によってバルブが閉じられるように、受動的に動作してもよい。

40

【0359】

反応セルチャンバに注入される水供給源と反応セルチャンバとの間に圧力勾配が存在する実施形態では、ポンプは、貯留槽バルブと反応セルチャンバルブとの2つのバルブを備え、180°位相が反転し定期的に開閉し得る。これらのバルブは、所望の注入量を有するポンプチャンバによって分離され得る。反応セルチャンバルブが閉じると、貯留槽バル

50

ブが水貯留槽に開いてポンプチャンバを満たし得る。貯留槽バルブが閉じると、反応セルチャンババルブが開いて、反応セルチャンバに所望の量の水が注入され得る。ポンプチャンバへの流入およびポンプチャンバからの流出は、圧力勾配によって駆動され得る。水の流量は、ポンプチャンバの容積と同期したバルブの開閉の周期を制御することによって制御され得る。一実施形態では、水マイクロ注入器は、2つのバルブ、すなわちマイクロチャンバまたは約 $10\text{ }\mu\text{L}\sim 15\text{ }\mu\text{L}$ の容積に対する入口バルブおよび出口バルブを備えるもので、該バルブのそれぞれが機械的に連結され、かつ開閉に関して 180° 位相が反転している。これらのバルブは、カムによって機械的に駆動され得る。

【0360】

別の実施形態では、反応セル混合物の別の種、例えば、 H_2O_2 、希ガス、および水の少なくとも1つは、水を置き換えるか、または水に追加され得る。反応セルチャンバに流入する種が室温のガスである場合、SunCell（登録商標）は、ガスの入力流を制御するための質量流量制御器を備えていてもよい。

【0361】

反応セルチャンバに注入される水供給源と反応セルチャンバとの間に圧力勾配が存在する別の実施形態では、水の入口流は、流量制御器または制限器、例えば、(i) ニードルバルブ、(ii) 細いまたは小内径(ID)の管、(iii) セルロース、綿、ポリエチレングリコールといった吸湿性材料、または当技術分野で公知の別の吸湿性材料、ならびに(iv) セラミック膜、フリット、または当技術分野で公知の別の半透膜といった半透膜の少なくとも1つを介して、連続的に供給され得る。綿のような吸湿性材料は、パッキングを含み得、ニードルバルブといった別の制限器に加えて、流れを制限するのに役立ち得る。SunCell（登録商標）は、吸湿性材料または半透膜用のホルダーを含み得る。流量制限器の流量を調整することが可能であり、また、真空ポンプと圧力制御排気バルブとが、さらに望ましい動的チャンバ圧力と水の流量とを維持し得る。別の実施形態では、 H_2O_2 、希ガス、および水の少なくとも1つといった反応セル混合物の別の種は、水を置き換えるか、または水に追加することが可能である。反応セルチャンバに流入する化学種が室温のガスである場合、SunCell（登録商標）は、ガスの入力流を制御するための質量流量制御器を備え得る。

【0362】

一実施形態では、反応セルチャンバ真空下で作動する注入器は、水の流量を制御するために長さおよび直径が制御されるニードルバルブまたは細管といった流量制限器を含み得る。例示的な小径管注入器は、約 $25\text{ }\mu\text{m}\sim 300\text{ }\mu\text{m}$ の範囲の内径(ID)を有するもの等、ESI-TOF注入システムに使用されるものと同様のものを含む。流量制限器は、バルブまたはポンプといった少なくとも1つの他の注入器要素と組み合わせられ得る。例示的な実施形態では、小径管の水上部圧力は、シリンジポンプといったポンプで制御される。注入速度は、管から反応セルチャンバへのバルブでさらに制御され得る。上部圧力は、ガスが圧縮性で水が非圧縮性である水面上でガスを加圧することによって加えられる。ガス加圧は、ポンプによって加えられ得る。水注入速度は、管の直径、長さ、上部圧力、ならびにバルブの開閉周波数およびデューティサイクルのうちの少なくとも1つによって制御され得る。管の直径は、約 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 10\text{ mm}$ の範囲内であってもよく、長さは約 $1\text{ cm}\sim 1\text{ m}$ の範囲内であってもよく、上部圧力は約1トル ~ 100 気圧の範囲内であってもよく、バルブの開閉周波数は約 $0.1\text{ Hz}\sim 1\text{ kHz}$ の範囲内であってもよく、さらに、デューティサイクルは、約 $0.01\sim 0.99$ の範囲内であってもよい。

【0363】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、水素ガスといった水素の供給源と、酸素ガスといった酸素の供給源とを備える。水素供給源と酸素供給源とのうちの少なくとも1つの供給源は、少なくとも1つ以上のガスタンク、流量調整器、圧力計、弁、および反応セルチャンバへのガスラインを含む。一実施形態では、 H_2O_2 触媒は、水素と酸素との燃焼から生成される。水素ガスおよび酸素ガスは、反応セルチャンバに流入され得る。水素および酸素のうちの少なくとも1つのような反応物の入口流は、連続的または断続的で

10

20

30

40

50

あり得る。流量および排気または真空流量は、所望の圧力を達成するように制御され得る。入口の流れは断続的であってもよく、流れは所望の範囲の最大圧力で停止されてもよく、さらに、所望の範囲の最小圧力で開始されてもよい。 H_2 圧力および流量と O_2 圧力および流量とのうちの少なくとも1つは、ハイドリノ反応からのパワーを制御および最適化すべく、 HOH および H_2 濃度または分圧のうちの少なくとも1つを所望の範囲内に維持するように制御され得る。一実施形態では、水素の存在量および流れのうちの少なくとも1つは、酸素の存在量および流れよりも著しく多くなり得る。 H_2 対 O_2 の分圧と H_2 対 O_2 の流量の少なくとも1つの比率は、約1.1~10,000、1.5~1000、1.5~500、1.5~100、2~50、および2~10のうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。一実施形態では、全圧は、高濃度の新生 HOH と原子 H とをサポートする範囲内、例えば、約1ミリトル~500トル、10ミリトル~100トル、100ミリトル~50トル、および1トル~100トルの少なくとも1つの圧力範囲内に維持され得る。一実施形態において、貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つは、オキシ水酸化ガリウムおよび水酸化ガリウムのうちの少なくとも1つの分解温度よりも高い作動温度に維持され得る。動作温度は、約200℃~2000℃、200℃~1000℃、および200℃~700℃の少なくとも1つの範囲内であり得る。オキシ水酸化ガリウムと水酸化ガリウムとの形成が抑制されている場合、水の存在量はガス状態で制御され得る。

10

【0364】

実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応セルチャンバに流入される水素および酸素といった少なくとも2つのガスを混合するガス混合器を備える。一実施形態では、水マイクロ注入器は、水素と酸素とを混合する混合器を備えており、混合物は、反応セルチャンバに入るときに HOH を形成する。混合器は、マスフロー制御器、例えば、各ガスまたは予混合ガスといったガス混合物のマスフロー制御器を少なくとも1つ、さらに備え得る。予混合ガスは、水素と酸素とを含む混合物等、その所望のモル比で各ガスを含み得る。 H_2O_2 混合物の H_2 モル百分率は、かなり過剰になり得るもので、例えば、 O_2 のモル百分率の1.5~1000倍である。質量流量制御器は、結果として生じる反応セルチャンバへのガス流が過剰の水素および HOH 触媒を含むように、水素および酸素の流れとそれに続く燃焼を制御して HOH 触媒を形成し得る。例示的な実施形態では、 H_2 モル百分率は、 HOH のモル百分率の約1.5~1000倍の範囲内である。混合器は、水素-酸素トーチを含み得る。トーチは、市販の水素-酸素トーチのような当技術分野で公知の設計を含み得る。例示的な実施形態では、酸素がガリウムセル構成要素または電解質と反応して酸化ガリウムを溶解し、 NaI 電解質または別の開示物といった即座の電気分解によるガリウムへのその再生を容易にすることを回避すべく、 O_2 と H_2 とがトーチ注入器によって混合され、 H_2 ストリーム内で O_2 が反応して HOH を形成する。あるいは、少なくとも10倍モル過剰の水素を含む H_2O_2 混合物は、トーチに供給する流量制御器が2つであるのに対して1つの流量制御器によって、反応セルチャンバに流入する。

20

30

【0365】

H_2O とガリウムを反応させて H_2 と Ga_2O_3 とを形成することによる、 H_2 の供給源としての水ではなく H_2 ガスとしての反応セルチャンバへの水素の供給は、形成される Ga_2O_3 を減量し得るガス混合器を含む水マイクロ注入器は、液体の流れよりもガスの流れをより正確に制御する能力により、非常に低い流量で正確な量の水を注入する能力を可能にするという好ましい特性を有し得る。さらに、 O_2 と過剰な H_2 との反応は、複数の水素結合水分子を含むバルク水および蒸気と比較して、初期生成物として約100%の新生水を形成し得る。一実施形態では、ガリウムは、酸化ガリウムを形成することによって HOH 触媒を消費する反応性が低い可能性があるように、100℃未満の温度に維持される。ガリウムは、冷却システム、例えば、貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つのための熱交換器または水浴を含む冷却システムによって、低温に維持され得る。例示的な実施形態では、SunCell（登録商標）は、99% H_2 / 1% O_2 といった微量 O_2 の流れを伴う大流量 H_2 の条件下で操作され、ここで、反応セルチャンバの圧力が約1~30トルの圧力範囲内に低く維持され、かつ所望の電力を生成するように制御され、

40

50

ここで、 H_2 (1/4) を形成することによる理論上の最大電力は、約 $1\text{ kW} / 30\text{ sccm}$ であり得る。得られた酸化ガリウムは、その場での水素プラズマと電解還元とによって還元され得る。真空システムが超高真空を達成し得る 75 kW の最大過剰電力を発生することができる例示的な実施形態では、動作条件は、酸化物を含まないガリウム表面と、低い動作圧力、例えば約 $1 \sim 5$ トルと、トーチ注入器を介して約 $10 \sim 20\text{ sccm}$ の酸素として供給される微量 HOH 触媒を使用した、例えば約 2000 sccm の高 H_2 フローとである。

【0366】

一実施形態では、ライナー、反応セルチャンバ壁、および貯留槽壁の少なくとも1つは、水素解離剤として機能すること、低い水素再結合係数または低い再結合能力を有すること、および **SunCell** (登録商標) の動作温度範囲内、例えば、約 $25^\circ\text{C} \sim 3500^\circ\text{C}$ 、 $75^\circ\text{C} \sim 2000^\circ\text{C}$ 、 $100^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 、 $100^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ 、 $100^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ 、および $100^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ の少なくとも1つの範囲内で、ガリウムからの攻撃に耐性があることの少なくとも1つおこなう材料を含む。材料が異なれば H 原子の再結合率も異なり、温度の関数として変化するため、**SunCell** (登録商標) は、水素原子の濃度を最適化する温度範囲で動作させられ得る。反応セルチャンバの壁、貯留槽、**EM** ポンプチューブの少なくとも1つといった **SunCell** (登録商標) 構成要素、あるいは **SunCell** (登録商標) 構成要素のコーティング、メッキ金属、またはクラディングとして機能し得る、ガリウムによる攻撃に耐性のある例示的な材料には、ステンレス鋼、インコネル625、 $Nb-5\text{ Mo}-1\text{ Zr}$ 合金、ジルコニウム705、約 $0.04\text{ wt\%}$ の C 、 $0.4\text{ wt\%}$ の Si 、 $1.4\text{ wt\%}$ の Mn 、 $0.03\text{ wt\%}$ の P 、 $18\text{ wt\%}$ の Cr 、 $8.1\text{ wt\%}$ の Ni 、および 0.045% の N を含む SS 、 $347Cr-Ni$ 型鋼および $430Cr$ 鋼、 Ta 、 W 、ニオブ、ジルコニウム、レニウム、 BN 、石英、アルミナ、ハフニア、ジルコニア、シリカ、ムライト、グラファイト、炭化ケイ素といったセラミック、ならびにその他の耐性材料、例えば、参照により援用される **L. R. Kelm**、**W. D. Wilkinson**, and **F. L. Yagee**, 「液体金属による攻撃に対する材料の耐性 (**Resistance of Materials to Attack by Liquid Metals**)」, **Argonne National Laboratory Report # ANL-4417 (1950)**; **P. R. Luebbers**, **W. F. Michaud**, and **O. K. Chopra**, 「ITER 候補構造材料と静的ガリウムとの適合性」 (**Compatibility of ITER Candidate Structural Material with Static Gallium**) , **Argonne National Laboratory Report # ANL-93/31**, December 1993 によって与えられるものが、含まれる。ガリウムとの合金形成にも耐性があり得るライナー、反応セルチャンバ壁、および貯留槽壁のうちの少なくとも1つを含み得る例示的な解離剤は、タンタル、チタン、ニオブ、レニウム、クロム、ステンレス鋼 (SS)、 347 型 SS 、 430 型 SS 、 $Fe-17Cr-1Mn-1Si-0.75Mo-1.1C$ といったクロム含有量の高いマルテンサイト系ステンレス鋼、インコネル625、 $SS316$ 、 $SS625$ 、 $Nb-5Mo-1Zr$ 合金といったインコネルといったニッケル含有量の高いステンレス鋼 (SS)、ならびに $Nb-5Mo-1Zr$ 合金である。

【0367】

一実施形態では、**SunCell** (登録商標) 構成要素、あるいは、ガリウムに接触する構成要素の表面、例えば、反応セルチャンバの壁、反応セルチャンバの上部、貯留槽の内壁、および **EM** ポンプ管の内壁の表面は、ガリウムと容易に合金を形成しないコーティング、例えば、ムライト、 BN 、または開示された別のものといったセラミック、あるいは W 、 Ta 、 Nb 、 Zr 、 Mo 、 TZM 、または開示された他のものといった金属で、コーティングされ得る。別の実施形態では、それらの表面は、ガリウムと容易に合金を形成しない材料、例えば炭素、 BN 、アルミナ、ジルコニア、石英、または開示された別のものといったセラミック、あるいは W 、 Ta 、または開示された他のものといった金属で、被

10

20

30

40

50

覆され得る。一実施形態では、コーティングは、電着、蒸着、および化学蒸着のうちの少なくとも1つによって適用され得る。後者の場合、タングステンコーティングは、表面上のタングステンヘキサカルボニルの熱分解によって適用され得る。タングステンは、当技術分野で公知の方法を使用して電気めっきされ得るもので、該方法として、例えば、参照によって援用される F i n k および J o n e s (C. F i n k, F. J o n e s, 「水溶液からのタングステンの電着」 (The Electrodeposition of Tungsten from Aqueous Solutions) , Journal of the Electrochemical Society, (1931) , pp. 461-481 頁) によって与えられたものがある。W は、蒸着のような方法によって、溶融ガリウムと接触状態にある S u n C e l l (登録商標) 構成要素、例えば、溶融ガリウムと接触している反応セルチャンバ、貯留槽、および E M ポンプ管の壁に、コーティングされ得るもので、W コーティングされた構成要素は、M o を含む。一実施形態では、反応セルチャンバ、貯留槽、および E M ポンプ管のうちの少なくとも1つは、N b、Z r、W、T a、M o、または T Z M を含み得る。一実施形態では、S u n C e l l (登録商標) 構成要素あるいは反応セルチャンバ、貯留槽、E M ポンプ管といった構成要素の一部は、合金を形成しない材料を含み得るが、接触するガリウムの温度が、約 400℃、500℃、600℃、700℃、800℃、900℃、および 1000℃ を超える極端な温度を超える場合を除く。S u n C e l l (登録商標) は、ガリウム合金の形成により生ずる温度に構成要素の一部が達しない温度で動作し得る。S u n C e l l (登録商標) の動作温度は、熱交換器またはウォーターバスといった冷却手段による冷却で制御され得る。ウォーターバスは、水マニホールドからのジェット、例えば、衝突する水ジェットを含み得る。ウォーターバスは、衝突するウォータージェット、例えば、水マニホールドからのジェットを含み得るもので、ここで、反応チャンバに入射するジェットの数および流量または各ジェットの少なくとも1つは、反応チャンバを所望の作動温度範囲内に維持するべく、制御器によって制御される。少なくとも1つの表面のウォータージェット冷却を含むものといった実施形態では、S u n C e l l (登録商標) の少なくとも1つの構成要素の外表面は、カーボンといった断熱材で覆われて、動作中の冷却を可能にしながら内部温度の上昇を維持することが可能である。S u n C e l l (登録商標) の動作中に達成される極端な温度を超えてガリウム合金を形成する表面は、ガリウムとの合金を容易に形成しない材料で選択的にコーティングまたは被覆され得る。ガリウムと接触し、かつステンレス鋼といった構成要素の材料の合金温度を超える S u n C e l l (登録商標) 構成要素の部分は、ガリウムとの合金を容易に形成しない材料で、覆われてもよい。例示的な実施形態では、反応セルチャンバの壁は、とりわけ反応セルチャンバの温度が最も高い電極の近くの領域で、W、T a、M o、T Z M、ニオブ、またはジルコニウムプレートあるいは石英といったセラミックで、覆われ得る。クラッドは、反応セルチャンバライナー 5 b 3 1 a を含み得る。ライナーは、ガリウムがライナーの後部に浸透するのを防ぐべく、ライナーと反応セルチャンバとの壁の間に配置されるガスケットまたはセラミックペーストといった他のガリウム不浸透性材料を含み得る。ライナーは、溶接、ボルト、または当技術分野で公知の別の留め具または接着剤のうちの少なくとも1つによって壁に取り付けられ得る。

10

20

30

40

【0368】

一実施形態において、10、5 k 2 の少なくとも1つといったバスバーと、該バスバーから点火および E M ポンプ電源の少なくとも1つへの対応する電気リードは、利用のために反応セルチャンバ 5 b 3 1 から熱を除去する手段として、役立ち得る。S u n C e l l (登録商標) は、バスバーと対応するリード線の少なくとも1つとから熱を除去するべく、熱交換器を備え得る。M H D 変換器を含む S u n C e l l (登録商標) の一実施形態では、バスバーおよびそのリード線で失われた熱は、バスバーから溶融銀に熱を伝える熱交換器によって反応セルチャンバに戻され、該溶融金属が M H D 変換器から反応セルチャンバへ E M ポンプにより戻され得る。

【0369】

50

一実施形態では、反応セルチャンバの側壁、例えば、立方体反応セルチャンバの4つの垂直側面は、WまたはTaといった高融点金属で覆われているか、またはWまたはTaライナーといった高融点金属で覆われ得る。金属は、ガリウムとの合金形成に対する耐性を有し得る。反応セルチャンバの上部は、電気絶縁体で覆われるかまたはコーティングされるか、または電気絶縁ライナーを含み得る。例示的なクラッド、コーティング、およびライナー材料は、BN、石英、チタニア、アルミナ、イットリア、ハフニア、ジルコニア、炭化ケイ素、または $TiO_2-Yr_2O_3-Al_2O_3$ といった混合物のうちの少なくとも1つである。上部ライナーは、ペDESTAL 5c1用の貫通部を備え得る(図25)。上部ライナーは、上部電極8が反応セルチャンバの上部に電氣的に短絡するのを防ぐことが可能である。

10

【0370】

反応チャンバ壁およびライナーの少なくとも1つの温度は、分子状水素の解離を増加させて原子状水素の再結合を減少させる少なくとも1つのメカニズムによって原子状水素の濃度を最適化する範囲内に、維持され得る。解離剤の作動温度は、金属が水素を解離するために触媒作用を有する温度より高く、かつガリウムとの実質的な反応が起こる温度より低くてもよい。最適化範囲は、熱交換器および深冷器を含むものといった反応チャンバ壁およびライナー冷却システムのうちの少なくとも1つで維持することができる。一実施形態では、解離剤は、抵抗性加熱器、誘導結合加熱器、または当技術分野で公知の別の加熱器といった加熱器を含み得る。例示的な実施形態では、反応セルチャンバ壁は、NiまたはSS316といった高Ni含有量のステンレス鋼(SS)の場合、水素解離を引き起こすのに十分な温度、例えば約 $440 \pm 100^\circ C$ の範囲内に維持される。

20

【0371】

一実施形態では、反応セルチャンバはさらに解離剤チャンバを含むもので、該解離剤チャンバは、Pt、Pd、Ir、Reといった水素解離剤、あるいは、支持体上の他の解離剤金属、例えば、炭素またはセラミックビーズ、例えば Al_2PO_3 、シリカ、またはゼオライトビーズ、ランーNi、またはNi、ニオブ、チタン、あるいは本開示の他の解離金属を、粉末、マット、織り、布といった大表面積を提供する形で、収容する。解離剤チャンバは、ガス交換を可能にしながら反応セルチャンバから解離チャンバへのガリウムの流れを阻害する本開示のジグザグチャンネルといったガリウム阻止チャンネルによって、反応セルチャンバに接続され得る。水素ガスは、反応セルチャンバから解離チャンバに流れ得るもので、ここで、水素分子が原子に解離され、さらに原子状水素が反応セルチャンバに逆流してハイドリノを形成するための反応物として機能し得る。他の実施形態では、解離チャンバは、本開示の血漿解離剤またはフィラメント解離剤を収容し得る。一実施形態では、反応セルチャンバに流入する前にHOH触媒を形成する再結合器または燃焼器は、解離器チャンバをさらに含み得る。解離器チャンバへのガス入力は、水素、酸素、およびキャリアガスのうちの少なくとも1つを含み得る。キャリアガスは、反応セルチャンバに流入するときに、原子HおよびHOHの少なくとも1つを保存する機能を果たし得る。キャリアガスは、アルゴンといった希ガスを含み得る。解離器は、少なくとも1つの再結合器または燃焼器チャンバと直列または並列に流れ得る複数の解離チャンバを含み得る。一実施形態では、水素および酸素、ならびに任意にキャリアガスは、再結合器、燃焼器、または解離チャンバを含む第1のチャンバに流入し、ここで、水素ガスは酸素ガスを上回ってもよい。HOH、過剰水素、およびキャリアガスのうちの少なくとも1つは、第1のチャンバから解離チャンバといった第2のチャンバに流れてH原子を形成し、ここで、H原子およびHOHは、キャリアガスによって第2のチャンバから反応セルチャンバに運ばれる。キャリアガスは、第2のチャンバへの別個の入力ラインを通して第1のチャンバへの流れとは無関係に、第2のチャンバに導入され得る。

30

40

【0372】

別の実施形態では、 H_2 タンクといった水素源は、少なくとも2つのマスフロー制御器(MFC)に接続され得るマニホールドに接続され得る。第1のMFCは、 H_2 ラインおよびアルゴンタンクといった希ガス源からの希ガスラインを受け入れる第2のマニホールド

50

に H_2 ガスを供給し得る。第2のマニホールドは、 Pt/Al_2O_3 、 Pt/C といった触媒といった解離器あるいはハウジング内の本開示の別のものに接続されたラインに出力し得るもので、ここで、解離器の出力は、反応セルチャンバへのラインであり得る。第2のMFCは、 H_2 ラインおよび O_2 タンクといった酸素供給源からの酸素ラインを受け入れる第3のマニホールドに H_2 ガスを供給し得る。第3のマニホールドは、 Pt/Al_2O_3 、 Pt/C といった触媒といった再結合器へのライン、またはハウジング内の本開示の別のものに出力し得るもので、ここで、再結合器の出力は反応セルチャンバへのラインであってもよい。

【0373】

また、第2のMFCは、第1のMFCによって供給される第2のマニホールドに接続されてもよい。別の実施形態では、第1のMFCは、再結合器または再結合器と第2のMFCとに、水素を直接流すことができる。アルゴンは、アルゴンタンクのような供給源からガスを受け取るとともにアルゴンを反応セルチャンバに直接出力する第3のMFCによって、供給される。

【0374】

別の実施形態では、 H_2 は、 H_2 タンクのような供給源から、第1のマニホールドに出力する第1のMFCに流れ得る。 O_2 は、 O_2 タンクといったその供給源から、第1のマニホールドに出力する第2のMFCに流れ得る。第1のマニホールドは、第2のマニホールドに出力する再結合器／解離器に出力し得る。アルゴンといった希ガスは、アルゴンタンクといったその供給源から、反応セルチャンバに出力する第2マニホールドに流れ得る。他の流れの構図は、本開示の範囲内にあり、流れは、当技術分野で公知のガス供給、MFC、マニホールド、および接続によって、可能な順序だった並び替えで、反応ガスを送達する。

【0375】

一実施形態では、水素解離剤が反応セルチャンバに追加され、それは、ガリウムよりも密度が低く、ガリウムに濡れず、ガリウムと合金を形成しないという特性の1つまたは複数を含んでいる。解離剤は導電性であってもよい。触媒は、ニッケル、ニオブ、タンタル、チタンといった水素解離剤、または Pt 、 Pd 、 Ru 、 Rh 、 Re 、 Ir 、または Au といった貴金属を含み得る。水素解離剤は担持されてもよい。触媒は、炭素、 Al_2O_3 、シリカ、ゼオライトといったガリウムよりも密度が低い担体を含み得る。ガリウムよりも密度が低く、ガリウムによって濡れず、ガリウムと合金を形成しない触媒の例は、 Re ／炭素触媒、例えば、 $Riogen$ によって作られた $10\% Re/C$ (<https://shop.riogeninc.com/category.sc?categoryId=4>)である。ガリウムの表面に水素解離剤が浮遊する場合がある。一実施形態では、担体は、ガリウムによって濡れておらず、ガリウムと合金を形成し得るニッケルといった解離剤は、合金が形成されないように、非湿潤性担体によってガリウムとの接触から保護される。代表的な解離剤は、 $Riogen$ 製の $20\% Ni/C$ である。

【0376】

一実施形態では、溶融金属上に浮遊または懸濁するような解離剤は、溶融ガリウム表面上にある場合よりも酸化ガリウムを還元し得る。 Re/C といった例示的な解離剤は、水素スピルオーバー触媒を含み得るもので、原子状水素が炭素といった担体上にスピルオーバーして酸化ガリウムの H 還元反応を引き起こす。

【0377】

一実施形態では、解離器は、炭素、アルミナ、またはシリカといった支持体によって支持された、 Pt 、 Pd 、 Ir 、またはレニウムといった貴金属を含むものであってもよく、ここで解離器は、ライナーを含み得るか、または解離器は、反応セルチャンバに懸濁されたガス透過性容器を含み得るもので、該チャンバは、ガリウムによる湿潤に抵抗する炭素等の支持体上に支持されたレニウムといったガリウム合金形成に抵抗するような解離器を収容する。ガス透過性容器は、メッシュ、織り、発泡体、または解離器用の他の開いたハウジングを含み得る。ガス透過性容器は、レニウムまたはセラミックでコーティングされ

10

20

30

40

50

た金属のガリウム合金の形成に耐性を示すタングステンまたはタンタルといった金属を含んでもよい。

【0378】

一実施形態では、溶融金属、例えば、ガリウム、銀、銀銅合金、あるいは、ガリウム銀合金といったガリウムを含むものといった別の合金金属の少なくとも1つは、水素解離剤として機能する。水素解離に有利な金属の特徴は、対応する水素電極の高い交換電流密度と、貴金属と同様の金属-H結合とである。Ni、Co、Cu、Fe、およびAgの群の金属は、妥当な電流密度を示すけれども、金属-H結合エネルギーが低く、一方、金属W、Mo、Nb、およびTaは、より高い金属-H結合エネルギーを有する。一実施形態では、ガリウムまたはインジウムなどの溶融金属は、Ni、Co、Cu、Fe、Ag、W、Mo、Nb、Ta、およびZrの少なくとも1つなどの少なくとも1つの他の金属と合金化されて、解離速度を高める。解離速度は、溶融金属のM-H結合エネルギーを適切な方向に移動することによって貴金属の結合エネルギーに近づけて、増加し得る。溶融金属が水素を解離する速度を高める例示的な合金は、Ga-Nb、Ga-Ti、およびIn-Ni-Nb系のうちの少なくとも1つである。低融点の溶融金属、および該溶融金属と合金を形成して水素解離速度を増加させる金属は、参照により援用されるDatta et al. (Ravindra Datta, Yi Hua Ma, Pei-Shan Yen, Nicholas D. Deveau, Ilie Fishtik Ivan Mardilovich, 「水素分離用の担持溶融金属膜」 (Supported Molten Metal Membranes for Hydrogen Separation), February 20, 2014, United States: N. p., 2013. Web. doi: 10.2172/1123819)、特に第2節によって与えられる。

10

20

【0379】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、水または水素ガスといった水素の供給源、例えば水素タンク、水素質量流量制御器、圧力調整器といった供給源からの流量を制御する手段と、水素源から、チャンバ内の溶融金属レベルより下の貯留槽または反応セルチャンバの少なくとも1つまでの水素ガスラインといったラインと、制御器とのうちの少なくとも1つを備える。水素または水素ガスの供給源は、溶融金属に直接導入され得るので、その濃度または圧力は、金属の外部に導入することによって達成されるものよりも高くすることが可能である。濃度または圧力は、金属の外部への導入によって達成されるものよりも高くてもよい。より高い濃度または圧力は、溶融金属中の水素の溶解度を高め得る。水素は原子状水素として溶解され得るもので、ガリウムまたはガリウム合金といった溶融金属が解離剤として機能し得る。別の実施形態では、水素ガスラインは、貴金属のような水素解離剤を、支持体上の貴金属、例えば、Al₂O₃支持体上のPtを含み得る。原子状水素は、ハイドリノ反応を支持するべく、反応セルチャンバ内の溶融金属の表面から放出され得る。ガスラインは、溶融金属が質量流量制御器に逆流するのを防ぐべく、溶融金属への出口よりも高い位置にある水素源からの入口を有し得る。水素ガスラインは、溶融金属内に延在してもよく、水素ガスを分配するべく端部に水素ディフューザをさらに備え得る。水素ガスラインといったラインは、U部分またはトラップを含み得る。ラインは、溶融金属の上方で反応セルチャンバに入り、溶融金属表面の下で屈曲する部分を含み得る。水素タンク、レギュレータ、質量流量制御器といった水素源の少なくとも1つは、水素ガスラインのようなライン出口での溶融金属の頭部圧力に打ち勝って水素または水素ガスの所望の供給源を可能にするべく、水素または水素源の十分な圧力を提供し得る。

30

40

【0380】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、タンク、バルブ、レギュレータ、圧力計、真空ポンプ、制御器といった水素源を備え、さらに、水素源から原子状水素を形成するための少なくとも1つの手段、例えばRe/CまたはPt/Cといった開示の1つのような水素解離剤の少なくとも1つと、プラズマの供給源、例えば、ハイドリノ反応プラズマ、グロー放電プラズマを維持するべくSunCell (登録商標) 電極に印加し得る高

50

電圧電源、RFプラズマ源、マイクロ波プラズマ源、または反応セルチャンバ内に水素プラズマを維持するための本開示の別のプラズマ源と、を備える。水素源は、加圧水素を供給してもよい。加圧水素源は、反応セルチャンバを水素で可逆的および断続的に加圧することの少なくとも一方を実行し得る。加圧された水素は、ガリウムのような熔融金属に溶解し得る。原子状水素を形成する手段は、熔融金属中の水素の溶解度を高め得る。反応セルチャンバの水素圧力は、約0.01気圧～1000気圧、0.1気圧～500気圧、および0.1気圧～100気圧の少なくとも1つの範囲内であり得る。水素は、吸収を可能にする滞留時間後に排気することにより除去され得る。滞留時間は、約0.1秒～60分、1秒～30分、および1秒～1分の少なくとも1つの範囲であり得る。SunCell（登録商標）は、複数の反応セルチャンバと制御器とを備え得るもので、原子状水素が断続的に供給されること、および状況に応じた方法で水素により加圧および減圧されることの少なくとも一方が可能であり、ここで、各反応セルチャンバは、別のセルチャンバが加圧または原子状水素の供給、排気、またはハイドリノ反応を維持する動作中に水素を吸収し得る。水素を熔融ガリウムに吸収させるための例示的なシステムおよび条件は、参照により本明細書に組み込まれるCarreon (M. L. Carreon, 「プラズマ存在下での熔融ガリウムとのH₂およびN₂の相乗的相互作用」 (Synergistic interactions of H₂ and N₂ with molten gallium in the presence of plasma), Vol. 36, Issue 2, (2018), 021303 pp. 1-8; <http://doi.org/10.1116/1.5004540>) によって与えられている。例示的な実施形態では、SunCell（登録商標）は、高い水素圧、例えば0.5～10気圧で動作し、プラズマは、連続プラズマおよび点火電流よりもはるかに低い入力電力でパルス動作を示す。次に、圧力を約1トル～5トルに維持し、1500 sccm H₂ + 15 sccm O₂ を1gのPt/Al₂O₃に90℃以上で流してから、反応セルチャンバに流し、ここで、ガリウム温度の上昇に伴い、ガリウムからの追加のH₂ガス放出により、高出力が発生する。対応するH₂のロード（ガリウムの吸収）とアンロード（ガリウムからのH₂のガス放出）を繰り返してもよい。

10

20

30

40

50

【0381】

一実施形態において、水素源または水素ガス源は、熔融金属浴が電極として機能する一対の電極の対向電極に熔融金属を推進する方向に沿って、熔融金属に直接注入されてもよく、ここで、熔融金属槽は電極として機能する。ガスラインは注入器として機能し得るもので、あるいは、水素源またはH₂ガス注入といった水素注入源が少なくとも部分的に熔融金属注入器として機能し得る。EMポンプ噴射器は、少なくとも2つの電極および電源を備える点火システムの追加の熔融金属注入器として機能し得る。

【0382】

反応セルチャンバ内の熔融金属表面は、本開示の少なくとも1つの方法およびシステム、例えば、(i)スキマー装置による機械的除去と、(ii)電解および水素還元のための少なくとも1つによる酸化物還元、ならびに、HClサイクルといった本開示のサイクル等による酸化物除去とのうちの1つ以上によるものといった本開示の少なくとも1つの方法およびシステムによる酸化物除去とのうちの1つ以上によって、還元または清浄な金属状態に維持され得る。例えば、HClはGa₂O₃を揮発性GaCl₃（沸点＝201℃）として選択的に除去可能であり、一方、AgClの沸点が1547℃であるため、銀は保持される。ガリウム合金の銀および他の金属がNaOHといった塩基に溶解しない実施形態では、ガリウムが電気分解によって再生される前に、他の金属またはその酸化物を沈殿させて回収し得る。他の金属またはその酸化物が可溶性である実施形態では、それをガリウムとともに電気分解して合金が再生し得る。酸化ガリウムが合金の他の金属の酸化物よりも安定である実施形態では、本開示で与えられるような手段によって酸化ガリウムからガリウムのみが再生される必要があり、ここで、酸化されていない合金化金属はいずれも、酸化ガリウムをさらに含む混合物の酸化されていないガリウム部分の一部として、取り扱われる。ガリウムと合金をなし、かつガリウムと反応して酸化ガリウムを形成する酸化

物を有する金属の例として、Ni、Co、Cu、Fe、Ag、W、およびMoがある。対照的に、Nb、Ta、およびZrの例示的な酸化物は、酸化ガリウムよりも安定している。

【0383】

一実施形態において、SunCell（登録商標）は分子水素解離剤を含む。解離器は、反応セルチャンバ内に、または反応セルチャンバとガス連通する別個のチャンバ内に収容され得る。別体のハウジングは、ガリウムのような溶融金属に曝されることによる解離器の故障を防止し得る。解離器は、アルミナビーズ上のPtとのような支持されたPt、または本開示または当技術分野で既知の別の解離物質を含んでもよい。あるいは、解離器は、熱フィラメントまたはプラズマ放電源、例えば、グロー放電、マイクロ波プラズマ、プラズマトーチ、誘導的もしくは静電容量的に結合されたRF放電、誘電体バリア放電、圧電直接放電、音響放電、または本開示の別の放電セル、もしくは当技術分野で既知の放電セルを含んでもよい。熱フィラメントは、反応セルのチャンバ壁を貫通し、次にフィラメントを貫通する電氣的に絶縁されたフィードを通して電流を流す電源によって抵抗加熱され得る。

10

【0384】

別の実施形態では、点火電流を増加させて、水素解離速度およびプラズマイオン電子再結合速度の少なくとも一方を増加させることが可能である。一実施形態では、点火波形は、直流オフセット、例えば、約1V~100Vの範囲内の重畳交流電圧を伴う約1V~100Vの電圧範囲内の直流オフセットを、含み得る。直流電圧は、ハイドリノ反応混合物中にプラズマを形成するのに十分な交流電圧を増加させ得るものであり、また、交流成分は、プラズマの存在下で、例えば、約100A~100,000Aの範囲内の高電流を含み得る。交流変調を伴う直流電流により、点火電流は、対応する交流周波数、例えば、約1Hz~1MHz、1Hz~1kHz、および1Hz~100Hzの少なくとも1つの範囲内で、パルス化され得る。一実施形態では、EMポンピングが増加されることで、抵抗を減少させ、かつ電流および点火力の安定性を増加させる。

20

【0385】

一実施形態では、高圧グロー放電は、マイクロホロー陰極放電によって維持され得る。微小中空陰極放電は、直径約100ミクロンの開口部を有する2つの近接しながらも離間した電極間で維持され得る。典型的な直流放電は、ほぼ大気圧まで維持され得る。一実施形態では、高いガス圧での大量のプラズマは、並行して動作する個々のグロー放電の重ね合わせによって維持され得る。プラズマ中の電子密度は、イオン化ポテンシャルの低いセシウムといった金属種を添加することにより、所定の電流で増加させられ得る。電子密度は、レニウム金属および他の電子銃熱電子エミッタ、例えばトリエーテッド金属またはセシウム処理金属の少なくとも1つ等、電子が熱的に放出されるフィラメント材料といった種を加えることによって、増加させられ得る。一実施形態では、プラズマ電流の各電子が少なくとも1つのガス種と衝突することによって複数の電子を生じるように、プラズマ電圧が上昇される。プラズマ電流は、直流または交流のうちの少なくとも1つであり得る。

30

【0386】

一実施形態では、原子状水素濃度は、H₂OまたはH₂よりも解離しやすい水素源を供給することによって増加する。例示的な供給源は、メタン、炭化水素、メタノール、アルコール、Hを含む別の有機分子など、H原子あたりのより低いエンタルピーおよびより低い形成自由エネルギーのうちの少なくとも1つを有するものである。

40

【0387】

一実施形態において、解離器は、電極8、例えば、図25に示されるものを含み得る。電極8は、最高3200℃といった高温で動作可能な解離器を含み得る。また、ガリウムのような溶融金属との合金形成に耐性のある材料をさらに含んでもよい。例示的な電極は、WおよびTaの少なくとも1つを含む。一実施形態では、バスバー10は、平面プレートといったベーン解離器などの取り付けられた解離器を含み得る。プレートは、バスバー10の軸に沿った縁の面を固定することによって取り付けられ得る。ベーンはパドルホイー

50

ルパターンを含み得る。ペーンは、点火電流による抵抗加熱およびハイドリノ反応による加熱の少なくとも一方によって加熱され得るバスバー10からの伝導熱伝達によって、加熱され得る。ペーンのような解離器は、Hf、Ta、W、Nb、またはTiといった高融点金属を含み得る。

【0388】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、ほぼ単色（例えば、50nm未満または25nm未満または10nm未満または5nm未満のスペクトル帯域幅を有する光）の光源と、単色光の窓とを、備える。光は、反応セルチャンバ内の水素ガスといった水素ガスに入射し得る。 H_2 の基本振動数は 4161 cm^{-1} である。潜在的な複数の振動数のうちの少なくとも1つの振動数は、 H_2 の振動エネルギーとほぼ共鳴し得る。おおよその共鳴照射は H_2 に吸収され、選択的な H_2 結合解離を引き起こし得る。別の実施形態では、光の周波数は、(i) 3756 cm^{-1} での H_2O のOH結合の振動エネルギー、および、当業者に公知の他のエネルギー、例えば参照により組み込まれるLemus（R. Lemus, 「局所モデルの枠組みにおける H_2O の振動励起（Vibrational excitations in H_2O in the framework of a local model）, J. Mol. Spectrosc., Vol. 225, (2004), pp. 73-92）によって与えられるエネルギーと、(ii) 水素結合した H_2O 分子間の水素結合の振動エネルギーと、(iii) 水素結合した H_2O 分子間の水素結合エネルギーとのうちの少なくとも1つとほぼ共振し得るもので、ここで、光の吸収により、 H_2O 二量体およびその他の H_2O 多量体は、新生水分子に解離する。一実施形態では、ハイドリノ反応ガス混合物は、水二量体の水素結合と競合することによって新生HOHの濃度を増加させるために、 H_2O 分子と水素結合できる供給源からのアンモニアといった追加のガスを含み得る。新生HOHは、ハイドリノ触媒として機能し得る。

【0389】

一実施形態では、ハイドリノ反応は、電力、火力、プラズマ、光、圧力、電磁パルス、および衝撃波の群の少なくとも1つの反応徴候を生成する。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、少なくとも1つのセンサと少なくとも1つの制御システムとを備え、反応徴候を監視し、さらに、反応混合物の組成といった反応パラメータと、ハイドリノ反応速度を制御するための圧力や温度といった条件とを制御する。反応混合物は、 H_2O 、 H_2O_2 、アルゴンといった希ガス、および GaX_3 （ X =ハロゲン化物）の少なくとも1つまたはそれらの供給源を含み得る。例示的な実施形態では、電磁パルス（EMP）の強度と周波数とが感知され、反応パラメータは、EMPの強度と周波数とを増加させて反応速度を増加させるように制御され、その逆も同様である。別の例示的な実施形態では、2つの音響プローブ間の衝撃波の周波数、強度、および伝播速度の少なくとも1つが感知され、さらに、反応パラメータは、衝撃波の周波数、強度、および伝播速度の少なくとも1つを増加させて反応速度を増加させるように制御され、その逆も同様である。

【0390】

H_2O は、ガリウムのような溶融金属と反応して、 $H_2(g)$ と、 Ga_2O_3 および Ga_2O といった対応する酸化物、 $GaO(OH)$ のようなオキシ水酸化物、および $Ga(OH)$ のような水酸化物の少なくとも1つとを形成し得る。ガリウム温度を制御して、 H_2O との反応を制御することが可能である。例示的な実施形態では、ガリウムの温度を 100°C 未満に維持して、 H_2O がガリウムと反応するのを防ぐことおよび H_2O -ガリウム反応を遅い速度で発生させることの少なくとも1つをおこなうことが可能である。

【0391】

別の例示的な実施形態では、 H_2O -ガリウム反応を速い反応速度で生じさせるべく、ガリウムの温度は約 100°C 以上に維持され得る。反応セルチャンバ5b31における H_2O とガリウムとの反応は、HまたはHOH触媒といった少なくとも1つのハイドリノ反応物の形成を促進し得る。一実施形態では、水は、反応セルチャンバ5b31に注入され得るもので、 100°C を超える温度で維持され得るガリウムと反応して、(i) H_2 を形成して、Hの供給源として機能すること、(ii) H_2O 二量体にHOHモノマーまたは新

生 H O H を形成させて触媒として機能すること、ならびに、(i i i) 水蒸気圧を下げることの少なくとも1つを行う。

【 0 3 9 2 】

一実施形態では、 G a O O H は固体燃料ハイドリノ反応物として機能し、ハイドリノを形成するための反応物質として機能する H O H 触媒と H とのうちの少なくとも1つを形成する。一実施形態では、 $\text{G a}_2\text{O}_3$ または $\text{G a}_2\text{O}$ といった酸化物、 G a (O H)_3 といった水酸化物、および G a O O H 、 A l O O H 、または F e O O H といったオキシ水酸化物の少なくとも1つは、 $\text{H}_2 (1/4)$ といったハイドリノを結合するマトリックスとして、機能し得る。一実施形態では、 G a O O H およびステンレス鋼およびステンレス鋼-ガリウム合金といった金属酸化物の少なくとも1つが反応セルチャンバに加えられ、ハイドリノのゲッターとして機能する。ゲッターは、高温、例えば、約 $100^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ の範囲内の高温に加熱されて、 $\text{H}_2 (1/4)$ のような分子ハイドリノガスを放出し得る。

10

【 0 3 9 3 】

溶融ガリウムと水および酸素のうちの少なくとも一方との反応により反応セルチャンバ内で形成された酸化ガリウムは、金属ガリウムに還元され得る。この還元は、酸化ガリウムを分子水素および原子状水素の少なくとも一方と反応させることによって達成され得る。酸素は、 O_2 または H_2O といった形状で除去され得る。反応セルチャンバ 5 b 3 1 内で酸化ガリウムが還元され、酸素を含む $\text{G a}_2\text{O}_3$ 還元反応の生成物は、反応セルチャンバから除去され得る。あるいは、 $\text{G a}_2\text{O}_3$ は、反応セルチャンバから除去され、反応セルチャンバ 5 b 3 1 に戻されたガリウム金属とともに外部で還元され得る。酸化ガリウム (融点 = 1900°C) は、融点を超えるような高温で分解し得る。放出された酸素は、真空ポンプといった手段によって反応セルチャンバから排気され得る。一実施形態において、貯留槽の表面は、酸化ガリウムの分解温度よりも高く維持され得る。溶融金属上のガリウムおよび酸化ガリウムの表面は、高温の維持を容易にする正極として機能し得る。溶融金属の表面積は、プラズマを十分に濃縮して、酸化ガリウムの分解を引き起こす所望の表面温度を達成するように選択され得る。一実施形態において、表面積は調整可能であり得る。調整の手段は、可動セル壁を含み得る。一実施形態では、ハイドリノ反応によって発生した高エネルギー光が酸化ガリウムを分解できるように、セル圧力を、例えば 0.01 トル ~ 50 トルの範囲内に、低く維持することが可能である。一実施形態では、 $\text{G a}_2\text{O}_3$ はガリウムと反応して、熱分解する $\text{G a}_2\text{O}$ を形成する。反応温度が約 700°C であり得ることから、ガリウムの表面温度は 700°C より高い温度に維持され得る。さらに、 $\text{G a}_2\text{O}$ が 500°C で分解し始める可能性があることから $\text{G a}_2\text{O}$ が存在し得る反応セルチャンバ、貯留槽、およびペDESTALの少なくとも1つの温度は、 500°C 以上に維持され得る。

20

30

【 0 3 9 4 】

$\text{G a}_2\text{O}_3$ および $\text{G a}_2\text{O}$ のうちの少なくとも1つといった酸化ガリウムの還元および分解の少なくとも1つを促進するべく、水素ガスのような還元剤を反応セルチャンバに加えてもよい。水素還元反応温度は約 700°C であり、ガリウム表面温度は 700°C より高い温度に維持される。別の実施形態では、 $\text{G a}_2\text{O}$ は $\text{G a}_2\text{O}$ から $\text{G a} + \text{G a}_2\text{O}_3$ への反応を経るのに対して約 600°C 未満では水素還元を受ける可能性があることから、 $\text{G a}_2\text{O}$ が存在し得る反応セルチャンバ、貯留槽、ペDESTALの少なくとも1つの温度は、約 600°C 未満に維持され得る。一実施形態では、バスバー 10 および電極 8 の少なくとも1つは、 T a または W といった解離剤を含み得る。ペDESTAL 2 c 1 (図 25) は、還元された酸化ガリウムへの原子状水素の生成を促進するべく、バスバーを部分的に露出するように短くされてもよい。一実施形態では、バスバー 10 は、平面プレートといったベーン解離器といった付属解離器を含み得る。プレートは、バスバー 10 の軸に沿った縁の面を固定することによって取り付けられ得る。ベーンはパドルホイールパターンを含み得る。ベーンは、点火電流による抵抗加熱およびハイドリノ反応による加熱の少なくとも1つによって加熱され得るバスバー 10 からの伝導熱伝達によって、加熱される。ベーンといった解離剤は、 H f 、 T a 、 W 、 N b 、または T i といった高融点金属を含み得る。水素の

40

50

他に希ガスを添加してもよい。希ガスと水素のモル百分率は、任意の所望の比率でよい。例示的なガス混合物は、約80～99モル百分率の範囲内のアルゴンと、約1～20モル百分率の範囲内の水素とを含む。酸化ガリウムの分解を促進するべく、反応セルチャンバの圧力を低く維持してもよい。別の実施形態では、酸化ガリウムの水素還元を促進するべく、水素圧を高く維持してもよい。別の種、化合物、元素、またはNaOHといった塩基といった組成物を反応セルチャンバに追加することで、酸化ガリウムの熱分解および還元 of 少なくとも一方の速度を増加させるべく、ガリウム酸ナトリウムといった酸化ガリウムを含む生成物を形成し得る。

【0395】

別の実施形態では、反応セルチャンバ内の反応混合物は、酸化に対してガリウムを安定化 10
するべく、溶融金属添加物、例えば、NaClといったハロゲン化アルカリといった無機化合物といった材料または化合物を含む。別の実施形態では、溶融金属添加剤は、溶融金属を酸化に対して安定化させるべく、金属、例えば、溶融金属と合金を形成する金属を含む。溶融金属ガリウムを含む例示的な実施形態では、酸化ガリウム膜の熱分解および熱、水素、および電解還元の少なくとも1つを強化するべく、銀がガリウムに添加される。例示的な実施形態では、約5.6重量%の銀がガリウムに添加され、約30～40℃で溶融する合金を形成する。ガリウム-Agは、ガリウムの酸化を阻止し得る。

【0396】

一実施形態では、HClのような添加剤、金属ハロゲン化物、第13、14、15、または 20
16族ハロゲン化物といったハロゲン化物源、またはハロゲンガスを反応混合物に加えて、揮発および凝縮によって反応セルチャンバから除去され得る酸化ガリウムとの反応生成物、例えば揮発性物質を形成する。添加剤の生成物は、GaCl₃（融点=77.9℃、沸点=201℃）といったハロゲン化ガリウムを含み得る。ハロゲン化ガリウムは、SunCell（登録商標）の動作温度および圧力では揮発性であり得る。ハロゲン化ガリウムといった揮発性生成物の少なくとも1つを凝縮器に流して凝縮させることが可能である。ガリウム金属は、電気分解といった手段により再生し得る。一実施形態では、添加剤は、酸化ガリウム、例えばスキマーを含むものを除去するべく、揮発のような手段で、および、開示の手段によって、反応セルチャンバから除去され得る少なくとも1つの酸化ガリウム生成物を形成する。本開示の固体燃料および当技術分野で公知の他の反応は、ガリウムと添加された水および酸素の少なくとも一方との反応によって形成される反応セル 30
チャンバの酸化物存在量を除去するための反応をさらに含む。

【0397】

一実施形態では、ハロゲン化物の供給源を構成する添加剤は、注入された水と反応して無 40
水HClと水酸化亜鉛または酸化物を形成するZnCl₂である。HClおよびZnCl₂のうちの少なくとも1つがGa₂O₃と反応してGaCl₃（融点=77.9℃、沸点=201℃）を形成し得る。亜鉛生成物は、酸化ガリウムを除去するべく、本開示の手段によってセルから選択的に除去し得る。GaCl₃がセルから排出され、凝縮され得る。次に、GaCl₃を水と反応させて、HClおよびGa(OH)Cl、GaO(OH)、Ga(OH)₃、およびGa₂O₃のうちの少なくとも1つを形成することが可能である。HClを蒸留または蒸発によって水から分離することが可能であり、生成物はガリウム 40
を含み、さらに、酸素は、NaOH電解質といった塩基性水溶液中でガリウム金属に電気分解され得る。ガリウム金属は再利用されてもよい。HClは、酸化亜鉛および水酸化亜鉛の少なくとも1つと反応して、再利用可能な塩化亜鉛を形成し得る。

【0398】

別の例示的な実施形態では、Ga₂O₃は、注入された水およびO₂と反応して、HCl およびFe₂O₃を形成する添加剤である。HClおよびGa₂O₃の少なくとも1つは、Ga₂O₃と反応してGaCl₃を形成し得る。酸化ガリウムを除去するための本開示 50
の手段によって、Fe₂O₃をセルから選択的に除去することが可能である。GaCl₃は、セルから排出され、凝縮され得る。次に、GaCl₃を水と反応させることで、HCl およびGa(OH)Cl、GaO(OH)、Ga(OH)₃、およびGa₂O₃のうち

の少なくとも1つが形成され得る。HClは、蒸留または蒸発によって水から分離可能であり、ガリウムおよび酸素を含む生成物は、NaOH電解質といった塩基性水溶液中でガリウム金属に電気分解され得る。ガリウム金属は再利用され得る。HClはFe₂O₃と反応して、再利用可能なGa₂O₃を形成し得る。

【0399】

別の例示的な実施形態では、塩化スルフルル(SO₂Cl₂)は、注入された水と反応してHClとSO₃とを生成する添加剤である。HClおよびSO₂Cl₂のうちの少なくとも1つは、Ga₂O₃と反応してGaCl₃を形成し得る。GaCl₃とSO₃との両方がセルから排出され、選択的に凝縮され得る。ガリウムは、GaCl₃融液を電気分解してGaとCl₂にすることにより、GaCl₃から再生され得る。SO₂Cl₂は、SO₃のSO₂への分解、続いてSO₂とCl₂との反応によりSO₂Cl₂になることにより、SO₃から再生され得る。GaおよびSO₂Cl₂は、当技術分野で公知の他の方法によって再生されてもよい。

10

【0400】

別の例示的な実施形態では、ハライド添加剤は、硫黄ではなく燐を含むことができ、PX₃またはPX₅(Xはハライドである)、例えばPCl₃またはPCl₅が注入された水と反応してHClおよびPO₂を形成する。HClとPCl₃またはPCl₅との少なくとも1つがGa₂O₃と反応してGaCl₃を形成する。GaCl₃とPO₂との両方がセルから排出され、選択的に凝縮され得る。ガリウムは、GaCl₃融液を電気分解してGaとCl₂にすることにより、GaCl₃から再生され得る。PCl₃またはPCl₅は、PO₂の還元、続いてP₄とCl₂との反応によりPCl₃またはPCl₅になることにより、PO₂から再生され得る。

20

【0401】

HCl添加の場合、HClは選択的に酸化ガリウム膜と反応する。SunCell(登録商標)は、酸化ガリウム膜にHClを選択的に適用するためのアルミナノズルのような耐食性指向性ノズルといった手段を含み得る。ガリウムとHClとの反応を最小限にするべく、熔融金属注入器は、ガリウム酸化物膜およびガリウム上の任意の被膜とのHCl反応中に停止され得る。HClは、酸化ガリウムと反応して揮発性のGaCl₃およびH₂Oを形成し得る。GaCl₃は、反応セルチャンバから排出され得る。H₂Oはその場で(in situ)再利用され得る。排出され得るH₂Oの全てが液体水といったH₂Oの供給源あるいはH₂ガス供給源およびO₂供給源からのH₂およびO₂ガスによって、置き換えられ得る。ハロゲン化ガリウム生成物は、凝縮され、水に溶解して、HCl、Ga(OH)Cl、GaO(OH)、Ga(OH)₃、およびGa₂O₃のうちの少なくとも1つを形成し得る。HClは、陽極での電気分解によってさらに生成される。一実施形態では、参照により組み込まれるLiら(「水電解中の直接陽極塩酸および陰極苛性アルカリ生成」(Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis), Scientific reports, (2016); 6:20494、doi:10.1038/srep20494)に記載されているように、水電解中にMnO_{0.84}MoO_{0.16}O_{2.23}酸素発生電極のような酸素発生触媒を使用することにより、塩化物イオンを含む溶液を水電解して、陽極でHClを生成し得る。HClはガスとして除去され得る。ガリウム金属は、Ga(OH)Cl、GaO(OH)、Ga(OH)₃、およびGa₂O₃のうちの少なくとも1つの電解によって電解セルの陰極で生成され得るもので、ここで、電解質はNaOHを含み得る。Ga、ハロゲン化金属、HClといった再生生成物は再利用され得る。

30

40

【0402】

一実施形態では、ハロゲン化物の供給源は、ハロゲン化物を含む化合物を含み、その少なくとも1つである化学種がH⁺の供給源を含み、反応セルチャンバの動作温度で、酸化ガリウムと反応して気化し得るハロゲン化ガリウムとガスを形成する。ハロゲン化物の供給源は、ハロゲン化アンモニウム塩、例えば、アミンまたはアンモニアといったアンモニ

50

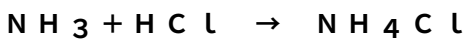
ウム化合物をHClのようなハロゲン化水素と反応させることによって形成されるハロゲン化アンモニウム塩を含み得る。一実施形態では、Ga₂O₃をGaCl₃として除去し、Gaを再生し、さらにGaを再利用する方法は、NH₄Clサイクルを含む。例示的な実施形態では、アンモニアをHClと反応させてNH₄Clを形成することが可能である。酸化ガリウムは、NH₄Clといったハロゲン化物供給源と反応してGaCl₃のようなハロゲン化ガリウムを形成し、気化によって反応セルチャンバから除去され得る。GaCl₃といったハロゲン化ガリウムは、凝縮器、例えば、コールドトラップといった真空ポンプへのラインにある凝縮器で、選択的に凝縮され得る。凝縮されたGaCl₃は、典型的な反応、すなわち、



に従って、溶融物の直接電気分解によってガリウムに変換される。塩素ガスは、UV照射を使用して、またはHClオープン内でのCl₂とH₂との反応、すなわち、



によって、H₂と反応させてもよい。アンモニアとHClとの反応、すなわち、



によって、塩化アンモニウムが生成され得る。別の実施形態では、NH₄ClではなくHClを、反応セルチャンバ内のガリウム表面の酸化ガリウムに直接添加してもよい。NH₄Clの送達部位は、GaCl₃の沸点(STPで沸点=201℃)より高く、かつNH₄Clの分解温度(338℃)未満の温度範囲に維持され得る。あるいは、反応セルチャンバは、放出されたHClが酸化ガリウムと反応し得るNH₄Clの分解温度よりも高い温度に維持されてもよい。

【0403】

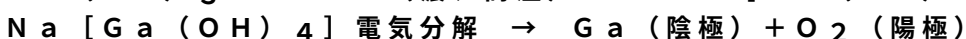
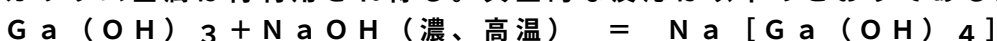
GaCl₃を形成するためのHCl添加の代替の再循環経路は、例示的な反応、すなわち、



に従って、GaCl₃を水に添加してHClを放出することである。HClガスが発生し再循環され得るとともに、オキシ水酸化ガリウムがNaOH溶液のような塩基水溶液中で電気分解され得る。一実施形態において、参照によって援用されるLinら(「水電解中の直接陽極塩酸および陰極苛性アルカリ生成」(Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis), Scientific reports, (2016); 6:20494, doi:10.1038/srep20494)によって説明されているように、水電解中にMn_{0.84}Mo_{0.16}O_{2.23}酸素発生電極のような酸素発生触媒を使用することにより、塩化物イオンを含む溶液の水電解によって陽極において、HClを形成することができる。あるいは、GaCl₃といったハロゲン化ガリウムと、酸化ガリウムと塩化アンモニウムとの反応によって形成されたアンモニアの少なくとも1つを水と反応させて、例示的な反応、すなわち、



によってオキシ水酸化ガリウムまたは水酸化ガリウムを形成してもよい。Ga(OH)₃沈殿物は、水性液体をデカントすること、または固体を濾過して収集することといった手段によって、水酸化ガリウムと塩化アンモニウムとの混合物から分離され得る。単離された水酸化ガリウムを、NaOH水溶液のような水性塩基に溶解し、さらに電気分解することで、陽極で酸素を放出させ、かつ陰極でガリウム金属を堆積させることが可能である。ガリウム金属は再利用され得る。典型的な反応は以下のとおりである。



水酸化ガリウムの分離後に残ったNH₄Clを、蒸発によって濃縮させ、0℃付近といった低温といった適切な温度下で結晶化させ、濾過して集めることが可能であり、またはN

H₄Clを水溶媒の蒸発後に収集することが可能である。NH₄Clは再利用され得る。NH₄Clは、酸化ガリウムと接触する前の約337.6℃での分解を回避するために、温度および注入速度の条件下で反応セルチャンバに追加され得る。これらの反応のNH₄Clサイクルは、連続プロセスまたはバッチプロセスとして実行され得る。

【0404】

HCl源からのHClは無水であってもよい。反応セルチャンバへの供給後、HClは無水のままであってもよく、ここで反応セルチャンバ内の水存在量はすべてガス状の水であり得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、ガリウムとの合金の形成、およびHCl、塩酸、またはNH₄Clとの反応の少なくとも1つに耐性のある構成要素を含む。例示的な実施形態では、反転電極はタンタルを含み得るもので、また、反応セルチャンバは、ステンレス鋼、ニッケル、ニッケル合金、ジルコニウム、タンタル、およびB-2およびB-3（登録商標）といったニッケルモリブデン合金のうちの少なくとも1つを含み得る。または、反応セルチャンバは、石英、セラミックライナーを含む、あるいは、アルミナ、ムライト、またはシリカといったセラミックコーティングでコーティングされ得る。一実施形態では、HClガスタンク、バルブ、ライン、圧力調整器、および反応セルチャンバの少なくとも1つは、SilcoNert（登録商標）のような当技術分野で公知のHCl耐食性コーティングで被覆され得る。典型的なHCl耐性金属は、モネル400のようなモネル金属である。

10

【0405】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は可変熱伝達ジャケットを含む。可変断熱材は、反応セルチャンバ5b31が所望の温度で作動できるように調整され得るもので、例えば、(i)形成され得るGa₂O₃またはGa₂Oといった酸化ガリウムの分解、(ii)ガリウムとの反応によるGa₂O₃からGa₂Oへの変換、および(iii)水素による酸化ガリウムの還元のうち1つ以上を可能にする可変断熱材である。可変熱伝達ジャケットを含むSunCell（登録商標）は、SunCell（登録商標）が浸漬される水浴といった熱交換器によって冷却され得る。熱可変熱伝達ジャケットは、熱交換器と反応セルチャンバの外側との間に真空が可能であり得る少なくとも1つのチャンバを含み得る。可変熱伝達ジャケットは、ガスまたは流体といった熱伝達冷却剤をチャンバに可逆的かつ制御可能に加えるポンプシステムを備え得る。ポンプシステムは、タンク、ポンプ、および制御器といった冷却剤供給源を含み得る。ポンプシステムは、反応セルチャンバの温度に応じて冷却剤の量を増減して、対応する熱伝達を制御することにより、冷却剤を所望の範囲内に制御し得る。冷却剤は、ヘリウムといった希ガス、本開示の1つといった溶融塩、およびガリウムのような溶融金属のうちの少なくとも1つを含み得る。

20

30

【0406】

代替の実施形態では、SunCell（登録商標）は、ポンプシステムを含む冷却液流熱交換器を備えるもので、それによって、流れるクーラントによって反応セルチャンバが冷却され、ここでは、所望の温度範囲内で動作するように反応セルチャンバを制御するべく、流量を変化させてもよい。熱交換器は、マイクロチャンネルプレートのようなチャンネルを備えたプレートを含み得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応セルチャンバ531、貯留槽5c、ペDESTAL5c1を備え、すべての構成要素がハドリノ反応プラズマと接触するものであり、1つまたは複数の構成要素がセルゾーンを含み得る。一実施形態では、流動冷却剤を含むものといった熱交換器は、対応するセルゾーンを独立した所望の温度に維持するべく、セルゾーンに編成された複数の熱交換器を含み得る。

40

【0407】

図30に示すような一実施形態では、SunCell（登録商標）は、溶融ガリウムレベルで反応セルチャンバ5b31の内側に固定された断熱材またはライナー5b31aを備えることで、高温のガリウムがチャンバ壁に直接接触するのを防止する。断熱材は、断熱材、電気絶縁材、およびガリウムといった溶融金属によるぬれに耐性のある材料のうちの少なくとも1つを含み得る。断熱材は、ガリウムの表面温度を上昇させること、および、反応セルチャンバ壁上にあり、該壁を溶融させ得る局所的なホットスポットを形成するこ

50

との少なくとも1つを可能にする。さらに、本開示の1つのような水素解離剤は、ライナーの表面に被覆されてもよい。別の実施形態では、壁の厚さの少なくとも1つを増加させ、銅ブロックといった熱拡散器を壁の外面に張り付けて、壁内の熱力を拡散させて、局所的な壁の溶融を防止する。より高い温度は、(i) Ga_2O_3 または Ga_2O の熱分解、(ii) Ga と Ga_2O_3 との反応による Ga_2O の形成、(iii) Ga_2O_3 および Ga_2O の少なくとも一方の水素還元、ならびに、 Ga_2O の揮発性による気化および昇華の少なくとも1つにとって好都合である。断熱材は、 BN 、 SiC 、炭素、ムライト、石英、溶融シリカ、アルミナ、ジルコニア、ハフニア、本開示の他のもの、および当業者に公知ものといったセラミックを含み得る。断熱材の厚さは、溶融金属および酸化ガリウム表面コーティングの所望の面積を達成するべく選択され得るもので、面積が小さいほど10
ハイドリノ反応プラズマの集中によって温度が上昇し得る。面積が小さいと電子とイオンの再結合率が低下する可能性があるため、ハイドリノの反応力を最適化しながら、酸化ガリウム膜の除去を優先するように面積が最適化され得る。長方形の反応セルチャンバを含む例示的な実施形態では、長方形の BN ブロックは、溶融ガリウムの表面の高さで反応セルチャンバの内壁に溶接されるねじ付きスタッドに対して、ボルトで固定される。 BN ブロックは、反応セルチャンバの内側のこの位置に連続的な隆起面を形成する。

【0408】

一実施形態では、ハイドリノ反応プラズマは、反応セルチャンバ内でほぼ対称的な分布に維持される。対称的な分布により、反応セルチャンバ壁に局所的なホットスポットが形成されるのを防ぐことが可能である。対称的なプラズマ分布は、円筒対称の要素を有する反20
応セルチャンバの中心対称軸に沿って注入された溶融金属を直線状に整列させることによって達成され得る。対応する点火電流の整列は、不均衡なローレンツ力によるプラズマの不安定性を引き起こすキンクのない所望のピンチ型磁場をもたらし得る。

【0409】

プラズマは、ガリウム上の酸化被膜に起因して、溶融ガリウム表面上の反応セルチャンバ壁に対して優先的に接触し得る。壁の位置は、電気抵抗を増加させる酸化被膜の厚さによって決定され得る。一実施形態では、壁の酸化被膜は、ビードブラスティングおよびワイヤブラッシングといった機械的摩耗のような少なくとも1つの手段によって、ならびに、弱酸エッチングのようなケミカルエッチングによって、除去される。別の実施形態では、貯留30
槽は、該貯留槽の底部の底板を貫通して溶融金属レベルより上に延びるような、少なくとも1つの電気リード線を含み得る。電気リード線は点火電流源に接続され得る。電気リード線は、注入器への点火電流に加えて、第2の電流を含む点火電流の代替経路を含み得る。第2の電流は、第2の電気経路の少なくとも1つを提供することによって、および第2の電流によって発生する磁場を提供することによって、反応セルチャンバ内の対称的なプラズマ分布を維持し得る。一実施形態では、反応セルチャンバは、該反応セルチャンバを接地および点火電源の少なくとも一方に接続する対応するスイッチを有し得る少なくとも1つの電流接続を含む。スイッチは、点火電流が少なくとも部分的に電流接続部を通して流れるように閉じることが可能であり、ここで、電流は、接続されている反応セルチャンバ壁を通して流れる。電流の流れにより、プラズマは少なくとも部分的に電流の流れの領域に向けられる。少なくとも1つの電流接続のスイッチは、対称的なプラズマ分布を維持40
するべく、制御器によって制御され得る。制御器は、少なくとも1つのプラズマ分布センサ、例えば少なくとも1つの熱電対から、入力を受け取ることが可能である。別の実施形態では、反応セルチャンバは、燃料噴射のバランスをとり、反応セルチャンバ内で対称的なプラズマ分布を達成するために、追加の反応混合物入口ポートを含み得る。

【0410】

一実施形態(図25および図30)では、SunCell(登録商標)は、貯留槽5cの底部にあるEMポンプの底板を通るバスバー5k2ka1を備える。バスバーは点火電流電源に接続され得る。バスバーは、溶融金属レベルよりも上に伸びていてもよい。バスバーは、ガリウムのような溶融金属の他、正極を兼ねていてもよい。溶融金属は、バスバーを放熱してバスバーを冷却し得る。バスバーは、溶融金属がガリウムを含む場合、溶融金50

属と合金を形成しない高融点金属、例えばWまたはTaを含み得る。ガリウム表面から突出したWロッドのようなバスバーは、プラズマをガリウム表面に集中させ得る。Wを含むような注入器ノズルは、熱損傷から保護されるべく、貯留槽内の溶融金属中に浸漬されてもよい。

【0411】

溶融金属が電極として機能するもの等、一実施形態（図25）では、電流密度を高めるべく、溶融電極として機能する断面積が最小化され得る。溶融金属電極は、注入器電極を含み得る。注入ノズルは、浸漬されてもよい。溶融金属電極は正極性であってもよい。溶融金属電極の面積は、ほぼ対極の面積とされ得る。溶融金属表面の面積を最小化して、大電流密度の電極として機能し得る。面積は、約 $1\text{ cm}^2 \sim 100\text{ cm}^2$ 、 $1\text{ cm}^2 \sim 50\text{ cm}^2$ 、および $1\text{ cm}^2 \sim 20\text{ cm}^2$ のうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。反応セルチャンバおよび貯留槽の少なくとも1つは、溶融金属レベルで断面積がより小さくなるようにテーパ状であってもよい。反応セルチャンバおよび貯留槽の少なくとも1つの少なくとも一部は、溶融金属レベルで、タングステン、タンタル、またはBNといったセラミックのような耐火性材料を含み得る。例示的な実施形態では、溶融金属レベルにある反応セルチャンバと貯留槽との少なくとも1つの面積は、高電流密度の正極として機能するように最小化され得る。例示的な実施形態では、反応セルチャンバは円筒形であり、レデューサ、円錐部位、または貯留槽への移行部をさらに含んでもよく、ここでガリウムといった溶融金属は、対応する溶融金属表面でのガリウム断面積は小さく、かつ電流が集中して電流密度が増加するように、貯留槽をあるレベルまで満たす。例示的な実施形態（図31）では、反応セルチャンバおよび貯留槽の少なくとも1つは、砂時計の形または1枚の双曲面を含み、ここで、溶融金属のレベルが最小断面積のレベルとほぼ同じである。この領域は、耐火物を含んでもよい。この領域は、炭素のような耐火性材料、WまたはTaのような耐火性金属、あるいはBN、SiC、または石英といったセラミックのライナー5b31aを含む。例示的な実施形態では、反応セルチャンバは、347SSといったステンレス鋼を含んでもよく、また、ライナーはWまたはBNを含んでもよい。

10

20

【0412】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、可逆的断熱材、例えば、アルミナビーズのようなビーズといった複数の断熱粒子と、断熱材容器またはハウジングとを、備えるもので、ここで粒子は、反応セルチャンバと貯留槽とのうちの少なくとも1つ等、断熱されるSunCell（登録商標）構成要素の周囲にある容器内にある。容器は、ビーズ容器を満たす入口とビーズ容器を空にする出口とを備え、さらに、オーガのような機械的コンベヤ等、ビーズをコンテナに出し入れする手段をさらに備え得る。一実施形態では、ビーズは重力によって容器から流し出すことが可能である。

30

【0413】

一実施形態において、点火電流および電圧のうちの少なくとも1つは、（i）反応セルのチャンバまたは貯留槽で形成され得る、 Ga_2O_3 または Ga_2O といった酸化ガリウムの分解、（ii）ガリウムとの反応による Ga_2O_3 から Ga_2O への変換、および（iii）水素による酸化ガリウムの還元の中の少なくとも1つを引き起こすのに十分な持続時間にわたって、断続的に増加され得る。酸化ガリウム膜は、金属ガリウムと酸化ガリウム粒子の混合物を含み得るもので、ここで、混合膜が形成されるのは、酸化ガリウムが金属ガリウムによって濡れ、酸化ガリウムはガリウムよりも密度が低いからである。酸化ガリウムは電気絶縁体で、金属ガリウムは電気伝導体なので、酸化ガリウムの含有量が増え、フィルムの電気抵抗が増加し、ここで点火電流は、面積が減少し、長さが増加するガリウムチャンネルに送り込まれる。断続的なパルス点火電流は、これらの高電気抵抗金属ガリウムチャンネルのガリウムを選択的に加熱して、ガリウムおよび混合酸化ガリウムを加熱させ得る。点火電流および電圧の少なくとも一方の断続的な増加は、印加電力のパルスを含み得る。点火電力の間欠パルスのデューティサイクルは、約 $1\% \sim 99\%$ 、 $1\% \sim 75\%$ 、 $1\% \sim 50\%$ 、 $1\% \sim 25\%$ 、および $1\% \sim 10\%$ のうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。 $\%$ 。電圧は、約 1000 V 、 100 V 、 75 V 、および 50 V のうちの

40

50

少なくとも1つに、または増加前の電圧値の約10倍、5倍、2倍、1.5倍、または1.25倍まで上昇され得る。電流は、約100kA、50kA、10kA、5kA、1kA、および500Aの少なくとも1つに、または増加前の電流値に対して約10倍、5倍、2倍、1.5倍、または1.25倍に増加され得る。一実施形態では、ハイドリノ反応による加熱が正極で選択的に発生するように、点火電極対の正極でハイドリノ反応が促進される。酸化ガリウム膜を構成するガリウムは、ハイドリノ反応によって酸化ガリウム膜を選択的に加熱するべく、正にバイアスされてもよい。一実施形態では、SunCell（登録商標）の陰極および陽極は、図25に示されるように逆ペDESTAL 5c2のようなペDESTAL電極と反対側の注入ノズル5qを備える。タングステンを含むような反転電極は、正極を含み得る。ハイドリノ反応により、非常に高い温度、例えば約1000℃～3000℃の温度範囲内等を選択的に加熱され、加熱された電極が酸化ガリウム膜を加熱する。電極の極性は、反転した電極の過熱を防ぎ、それによって熔融を防止すべく、電力の交流点火源によって交互に変えられ得る。逆電極による膜の加熱は、ガリウム表面からの離間距離を縮めることによって、増加され得る。反応セルチャンバは、BN、石英、または熔融シリカライナといったセラミックライナー5b31aを備え、ハイドリノ反応プラズマを電極に集束させられ得る。加熱によって、(i) 反応セルのチャンバまたは貯留槽で形成され得るGa₂O₃またはGa₂Oといった酸化ガリウムの分解、(ii) ガリウムとの反応によるGa₂O₃からGa₂Oへの変換、および(iii) 水素による酸化ガリウムの還元のうち少なくとも1つが促進され得る。

10

20

30

40

50

【0414】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、電解システムを含む、酸化ガリウムをガリウムに変換するガリウム再生システムを備え、該電解システムは、陽極と、直流電源のような電源と、酸化ガリウムを含む電解質とを備え、酸化ガリウム、または、ガリウム酸ナトリウムのような酸化ガリウムを含む種を、貯留槽および反応セルチャンバの熔融金属の少なくとも1つの表面で、直接、ガリウム金属に、電気分解する。電解質は熔融酸化ガリウムを含んでもよく、ここでイオンはガリウムおよび酸化物イオンを含む。電解質は、(i) アルミナまたはアルカリまたはアルカリ土類酸化物といったSunCell（登録商標）操作条件下で安定していること、(ii) 酸化ガリウムのみよりも融点の低い混合物を形成すること、(iii) 熔融膜の酸化物およびガリウムイオンを選択的に電気分解してガリウム金属および酸素ガスに変換し得るほど酸化ガリウムよりも熱力学的に安定していることの、少なくとも1つである電解質であり、ここで、熔融塩混合物は電解質を含む。電解質は、イオン供給源、例えば、熔融NaOHのようなNaOH、Na₂O、LiOH、またはLi₂Oといった塩基、ガリウムの表面上のNaFまたはCsF電解質といったアルカリ金属ハロゲン化物のような金属ハロゲン化物、あるいは当技術分野で公知の別の安定な電解質を含み得る。電解質は、混合物としての酸化ガリウムの融点を下げる塩の混合物を含み得る。電解質は、塩または塩の混合物に溶解した酸化ガリウム、例えば、ガリウム、アルミニウム、および、NaF、LiF、KF、CsF、NaI（融点=661℃）、ハロゲン化物塩混合物、AlF₃、氷晶石（Na₃AlF₆）、Na₃GaF₆といったハロゲン化物の少なくとも1つを含むものを、含み得る。NaIのようなハロゲン化アルカリといった溶媒塩は、反応セル混合物のガリウムおよびH₂Oに対して熱力学的に安定であり得る。Ga₂O₃を溶解し、酸化ガリウムを電解還元してガリウムにする電解質として機能する電解質は、酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、およびNaOH-NaClといった混合物のうち少なくとも1つを含み得る。電解質は、塩または塩混合物、例えば、酸化ガリウムを溶解し、酸化ガリウムに対して安定である共融塩混合物を含み得る。典型的な共融混合物は、(i) 454℃の融点と1570℃の沸点とを有し、比率が46.5～11.5～42mol%であるFLiNaKのような三元共融金属フッ化物混合物LiF-NaF-KF、(ii) 265℃の融点を有し、比率が57.5-13.2-29.2mol%である三元共融金属塩化物混合物LiCl-KCl-CsCl、(iii) 420℃の融点を有し、モル比がNaI/(CsI+NaI)=0.484であるCsI-NaI、(iv) 283℃の融点を有し、モル比がLiI/(KI+LiI)

$= 0.635$ である $KI-LiI$ 、および(v) $209^{\circ}C$ の融点を有し、モル比が $LiI / (CsI + LiI) = 0.657$ である $CsI-LiI$ である。フッ素イオンを含む更なる例示的な電解質塩は、 $22LiF-BeF_2$ 、 $LiF-BeF_2-ZrF_4$ (64.5-30.5-5)、 $NaF-BeF_2$ (57-43)、 $LiF-NaF-BeF_2$ (31-31-38)、 $LiF-ZrF_4$ (51-49)、 $NaF-ZrF_4$ (59.5-40.5)、 $LiF-NaF-ZrF_4$ (26-37-37)、 $KF-ZrF_4$ (58-42)、 $RbF-ZrF_4$ (58-42)、 $LiF-KF$ (50-50)、 $LiF-RbF$ (44-56)、 $LiF-NaF-KF$ (46.5-11.5-42)、および $LiF-NaF-RbF$ (42-6-52)である。一実施形態では、電解質のモル数と酸化ガリウムのモル数との比は、約0.1~1000、0.5~100、0.5~50、0.75~10、0.75~5、および0.75~2のうちの少なくとも1つの範囲内にある。 NaI が電解質であり、また、 Ga_2O_3 の定常状態のモル数が3.44gの Ga_2O_3 (MW=188)を生成する1mLの H_2O または酸素当量に相当する例示的な実施形態では、 NaI (MW=150)電解質のモル数と Ga_2O_3 のモル数との比が1であることは、反応セルチャンバに加えられた NaI 2.74gに相当する。1mLの H_2O または酸素当量の還元には、180Aの点火花電流によって提供される電解電流を必要とする。

10

20

30

40

50

【0415】

I^- といったハロゲン化物イオンといった電解質の陰イオンが電解陽極で O_2^- を介して酸化される場合、陰イオンは、 O_2^- よりも酸化に対してより安定であるように選択され得る。 CsF (融点= $682^{\circ}C$)は、安定したハロゲン化物アニオンとして F^- を有する例示的な塩である。一実施形態では、反応セルチャンバは、分子水素および原子状水素の少なくとも1つを含んでもよく、ここで、陽極での O_2^- 電解酸化は、酸素生成物が分子水素および原子状水素の少なくとも1つと反応して水を生成する反応によることから、熱力学的により有利になる。陽極反応は、 $O_2^- + 2H$ から $H_2O + 2e^-$ の反応を含み得る。 I^- といったハロゲン化物イオンといった電解質の陰イオンが酸化されたり、高温で反応したりすると、反応セルチャンバの少なくとも1つは、ヨードデルの場合、例えば、約 $700^{\circ}C$ 未満の陰イオン反応または分解温度で、操作され、さらに、陰イオンは、高温で安定するように選択され得る。 F^- は、より安定なハロゲン化物アニオンの一例である。アニオンが熱だけでなく点火花電流による電気分解といった手段によって酸化される一実施形態では、得られた気体、液体、または固体は、ハロゲン再循環器によって再循環されるハロゲン再循環器は凝縮器を含んでもよい。濃縮器は、真空システムの真空ラインと一致してもよい。真空システムは、粒子の流れを遮断しながらガスの流れを可能にするバッフルのセット等、真空ライン入口への粒子の流れ制限器をさらに備えてもよい。例示的な実施形態では、ハロゲン化物イオンは I^- であり、 I_2 (融点= $113.7^{\circ}C$ 、沸点= $184.3^{\circ}C$)に酸化され、濃縮器内で凝縮して重力によって反応セルチャンバに戻される、あるいは輸送装置、例えば、固形ヨウ素用のコンベヤまたは液体ヨウ素用のポンプによって、濃縮ヨウ素が積極的に輸送されて溶融金属と接触する。例示的な実施形態においては、ヨウ素が液体として逆流して溶融金属を収縮させてナトリウムと反応させることで NaI が再生するように、反応セルチャンバを周期的に冷却してもよい。

【0416】

SunCell (登録商標)は、電解質による腐食に耐性のある反応セルチャンバのような構成要素、例えば $FLiNaK$ のような少なくとも1つのアルカリ金属ハロゲン化物を含む構成要素を含み得る。反応セルチャンバは、 BN 、石英、溶融シリカ、 MgO 、 HfO_2 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 といったセラミックライナーのようなライナー5b31aを含み得る。反応セルチャンバは、モネル400のようなモネル金属といった耐食性金属、ハステロイNまたはインコネルといった耐食性ステンレス鋼、炭素複合材料、0.5%のチタンおよびジルコニウム0.08%、残部モリブデンで構成されるチタン-ジルコニウム-モリブデン合金(TZM)のようなモリブデン合金、炭化物、ならびに高融点金属ベースまたは酸化物分散強化合金(ODS)合金を、含む。一実施形態では、ガリウムといった溶融金属が反応セルチャンバ壁を濡らし、このことが電解質の低密度と組み合わせ

て電解質とその壁との接触を防ぎ、電解質による壁の腐食を防止する。

【0417】

SunCell (登録商標) は、反応セルチャンバまたはガリウム再生システムから排出されるハロゲンまたは水素ハロゲンガス用のトラップを含んでもよい。NaOHといった塩基を含む例示的なトラップは、揮発性HFと反応して、トラップされるNaFを形成し得る。トラップは真空ポンプに接続され得る。一実施形態において、酸化ガリウムは、Alに変換されるAl₂O₃へのGa₂O₃の変換のように電気分解される別の酸化物に変換されてもよく、ここで電解質は氷晶石を含んでもよい。典型的な移動イオンは、酸化物、過酸化物、超酸化物、OH⁻、Na⁺といったアルカリイオン、Ga(OH)₄⁻といった水酸化物複合体、およびGaF(OH)₃⁻またはGaFO(OH)⁻を含み得る。

10

【0418】

一実施形態では、ガリウム金属が電解形成される陰極は、溶融金属表面を含む。電解質は、(i) 酸化ガリウム、(ii) オキシ水酸化ガリウム、(iii) 水酸化ガリウム、(iv) 酸化ガリウム、オキシ水酸化ガリウム、水酸化ガリウムとNaOH、KOH、金属ハロゲン化物といった少なくとも1つの追加イオン供給源とNaOH-NaClのような水酸化物-ハロゲン化物塩混合物のような混合物との少なくとも1つのうちの、少なくとも1つを含む。陽極は、溶融金属表面上の酸化ガリウム膜の表面上の導体を含み得る。電解質は、没食子酸ナトリウムのような水酸化物イオン伝導体を含んでもよく、または、K⁺イオン伝導体を含み得る没食子酸カリウムを含んでもよい。一実施形態では、電解質は、酸化物、水酸化物、およびオキシ水酸化物のうちの少なくとも1つを含む添加剤を含んでもよい。アルミナのような添加酸化物は、酸化ガリウムよりも安定し得るもので、ここで添加酸化物と酸化ガリウム表面膜との間に塩混合物が形成され、混合物は酸化ガリウムよりも低い融点を有し得る。フィルムの酸化物およびガリウムイオンは、ガリウム金属および酸素ガスに選択的に電気分解され得るもので、ここで、溶融塩混合物は電解質を含む。一実施形態では、反応セルチャンバの温度、圧力、電圧、電流、注水率の少なくとも1つといった、SunCell (登録商標) 操作条件は、オキシ水酸化ガリウムの形成を支持するものであり、ここで、水酸化物は、移動する電解質イオンとして機能し得る。一実施形態では、水の注入速度および位置は、オキシ水酸化ガリウムの定常状態濃度を維持するように制御され得る。一実施形態では、水の注入は、電解質の移動イオンとして機能する水酸化物イオンの形成を支持するべく、溶融ガリウム表面に向けられてもよい。点火システムは、ガリウム再生システムの電極として機能する溶融金属に正または負のバイアスを提供し得る。例示的な実施形態では、陰極の負のバイアスは、点火システムによって提供され得るもので、ここで、注入器は負電極を備えてもよく、溶融ガリウム金属表面の下に浸漬され得る。陽極は、溶融ガリウムの表面に浮く炭素またはステンレス鋼といった導体を含み得る。あるいは、電解セルは、酸化ガリウムおよび水の少なくとも1つからの酸素と反応して消費され、かつ真空ポンプのような手段によって排出されるCOおよびCO₂のうちの少なくとも1つを生成する、炭素陽極を含み得る。

20

30

【0419】

一実施形態では、電解システムの陰極および陽極は、点火システムの電極を含み得る。反応セルチャンバ内のプラズマは、電解質を含み得るもので、電解質が電極間でイオンを輸送する一方で、電子は電極と点火用電源との間の外部回路に点火電流を担う。一実施形態では、プラズマは、反応セルチャンバ内の溶融ガリウムの表面および貯留槽のうちの少なくとも一つの上の酸化ガリウム膜と接触する電解電極を含み得るもので、また、酸化ガリウム膜を支持するガリウムは、対極を構成し得る。点火電流は、直流、交流、または直流と交流との任意の組み合わせであり得、酸化ガリウム膜の電解還元を容易にする任意の波形を含み得る。一実施形態では、電極分離は、酸化ガリウム膜の電解反応を補助するべく電圧を上げること、および、プラズマ反応量を増加させることの少なくとも一つのために調整され得るもので、それにより、SunCell (登録商標) 出力が増加し得る。

40

【0420】

一実施形態では、SunCell (登録商標) は、反応セルチャンバへの真空ラインと、

50

反応セルチャンバからガスを断続的または連続的に排気する真空ポンプとを含む真空システムを備える。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、少なくとも1つのハイドリノ反応反応物または生成物を凝縮するための凝縮器を含む。凝縮器は、真空ポンプと直列であってもよいし、真空ポンプとのガス導管接続を備えていてもよい。真空システムは、反応セルチャンバから流れる少なくとも1つの反応物または生成物を凝縮するための凝縮器をさらに備え得る。凝縮器は、凝縮物、凝縮された反応物または生成物を反応セルチャンバに選択的に逆流させ得る。凝縮器は、凝縮液を反応セルチャンバに選択的に戻す温度範囲に維持され得る。流れは、それぞれポンピングまたは重力流等による能動輸送または受動輸送の手段となり得る。一実施形態では、凝縮器は、ガリウムまたは酸化ガリウムのナノ粒子といった粒子が反応セルチャンバから真空システムへと流れるのを防止する手段、例えばフィルタ、ジグザグチャネル、および電気集塵器のうちの少なくとも1つを含み得る。

10

【0421】

一実施形態では、電解質は、酸化ガリウムと反応して、ガリウムイオンと、酸化ガリウムを金属ガリウムに還元するべく電解反応に移動および参加できる酸素を含むイオン、例えば酸化物または水酸化物イオンと、含む。塩基は、(i) 塩基の融点が反応セルチャンバの動作温度より低いこと、(ii) ベースの沸点が真空システムの動作温度より高いこと、(iii) 塩基の融点が、対応する塩基の金属の沸点よりも低いこと、(iv) 塩基の対応する任意の金属がH₂Oまたは酸素と反応して塩基を再生することができること、(v) 塩基の融点が水の沸点より高いこと、(vi) 塩基の対応する任意の金属の沸点が水の沸点より高いこと、の少なくとも1つとなるように選択され得る。例示的な実施形態では、電解質は、融点が323℃、沸点が1388℃のNaOHを含み、対応する金属であるナトリウムの融点は97.8℃であり、かつ水の沸点100℃であるのに対して沸点は883℃である。凝縮器は、NaOHとNaとを凝縮し、これらの凝縮物を反応セルチャンバに戻し、過剰な水蒸気といった揮発性ガスを反応セルチャンバから排出する。戻されたNaは、反応セルチャンバまたは凝縮器内でH₂Oまたは酸素の少なくとも1つと反応して、再生および再循環され、凝縮器は324℃～882℃の温度範囲内に維持される。凝縮器は、ナトリウムを溶融金属ナトリウムおよび溶融NaOHの少なくとも1つの形態で反応セルチャンバに選択的に戻すべく、約324℃より高いまたは882℃未満の温度範囲内に維持され得る。

20

30

【0422】

一実施形態では、ガリウム再生システムは、溶融金属表面を横断し、溶融金属に浸透して陽極と陰極とを電氣的に分離する塩橋をさらに備えてもよいけれども、塩橋を介したイオン伝導による場合を除く。この塩橋は、本開示の1つ、例えば、ベータ固体アルミナ電解質(BASE)またはガレートカリウム等を含み得る。

【0423】

一実施形態では、溶融ガリウム金属表面は負にバイアスされ、溶融ガリウムに還元電位を提供して、水との反応といった酸化反応を抑制する。負のバイアスは点火システムによって提供され得るもので、ここで、注入器は負電極を備えてもよく、溶融ガリウム金属表面の下に沈められる。

40

【0424】

一実施形態では、反応セルチャンバは、電気絶縁壁または電気絶縁被覆壁を備え、点火電流を少なくとも部分的に酸化ガリウム被膜に流す。壁またはコーティングは、ガリウムによる濡れにさらに耐え得る。例示的な壁またはコーティングは、BN、サファイア、MgF₂、SiC、または石英を含む。別の実施形態では、電極は壁から十分な距離を置いて配置されているため、点火電流は壁を回避しての電極間の経路を優先する。点火電流は、反応セルチャンバ内のプラズマを介して酸化ガリウム表面に流れ得るもので、ここでペDESTAL 5c1の電極8とプラズマとが電解陽極として機能可能であり、酸化被膜の下に溶融ガリウム金属と浸漬され得る注入器とが電解陰極を含み、さらに、点火電流が少なくとも部分的に電解電流として機能し得ることで、陰極で酸化ガリウムをガリウムに還元する

50

。また、極性を反転させて、陽極で放出された酸素が酸化ガリウムを拡散してセルガスとともに排出されるようにしてもよい。点火電流は、ガリウムへの水の添加により形成された酸化ガリウムを電気分解できる十分なレベルに維持され得る。一実施形態では、反応セルチャンバは、酸素用のゲッター、例えば炭素を含み得る。例示的な実施形態では、 H_2O を毎分1 mL加えると、 Ga_2O_3 が毎分3.44 gまたは0.533 mL生成され、酸化ガリウムをガリウムに還元するには180 Aの電流を必要とする。イオン移動を提供することで電解回路を完成させるべく、イオン化合物といった電解質イオン供給源を反応セルチャンバに加えてもよい。イオン性化合物は、 NaOH といった塩基または NaF といったハロゲン化アルカリを含み得る。一実施形態では、注入電流は、酸化ガリウムを流れる電流を有利にするために、減少または停止され得る。酸化ガリウムの還元率が連続プラズマ対断続プラズマといった所望のプラズマ条件を維持するのに十分であり得るように、水の注入の速度またはパターンを制御して、酸化ガリウムの形成速度を制御してもよい。例示的な実施形態では、注入と注入との間に酸化ガリウムがほぼ還元されるように、水が断続的に注入される。一実施形態では、水素を添加して、酸化ガリウム表面膜の電解還元および熱分解の少なくとも一方を触媒する。ハイドリノ反応プラズマは、活性Hを提供して、酸化ガリウムのガリウムへの反応を促進する。

10

【0425】

電気絶縁壁を有する別の実施形態では、高電流を酸化ガリウム層に流すことで、酸化ガリウム層を過熱して、添加した H_2 による水素還元と熱分解との少なくとも一方を酸化ガリウムに行わせる。酸化ガリウムを流れる電流を増やすべく、EM注入ポンプのような注入ポンプを弱めるまたは停止させてもよい。プラズマの電圧は、対応する導電率の低下に起因すると思われるポンピング低減またはポンプ停止の状態に合わせて、調整され得る。例示的な実施形態では、電圧は、ポンピング低減またはポンプ停止の状態の前とほぼ同じ電流を維持するべく、約5~10 V増加される。注入された溶融金属によって提供される導電率に加えて、またはその代わりに、高いガス導電率および対応する高いイオン電子再結合率を維持して高いハイドリノ反応率を維持する銀ナノ粒子を形成するべく、銀がガリウムに添加されてもよい。一実施形態では、酸化ガリウムを還元するための活性化された形態の水素として原子Hを提供するべく、貴金属、Ni、Ti、Nb、炭素、セラミック、またはゼオライト支持貴金属といった水素解離剤、希土類金属、および当技術分野で公知の別の水素解離剤を、反応セルチャンバに添加してもよい。別の実施形態では、ハイドリノ反応プラズマによって原子状水素を提供することで酸化ガリウムが還元され得る。水素圧は、約0.1トル~10気圧、0.5トル~5気圧、および0.5トル~1気圧の少なくとも1つの範囲内に維持され得る。水素を流してもよく、その速度は、毎分約0.1標準立方センチメートル (sccm) ~毎分100リットル、毎分1 sccm ~毎分10リットル、および毎分10 sccm ~毎分1リットルのうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。

20

30

【0426】

試験された例示的な実施形態では、反応セルチャンバは、10 sccmの H_2 を流しながら、かつアクティブ真空ポンピングを適用しながら毎分4 mLの H_2O を注入しながら、約1トル~20トルの圧力範囲内に維持された。直流電圧を約28 V、直流電流を約1 kAとした。反応セルチャンバを、47 kgの溶融ガリウムを含む、長さ9インチの縁部を有するSS立方体とした。電極は、交流EMポンプの1インチの浸漬SSノズルと、BNペDESTALで覆われた直径1 cmのリード線を有する直径4 cm、厚さ1 cmのWディスクを含む対極とを備えた。EMポンプ速度を約30~40 mL/sとした。ガリウムを正に分極させ、WペDESTAL電極を負に分極させた。SunCell (登録商標) の出力電力は、質量、比熱、およびガリウムおよびSS反応器の温度上昇の製品を使用しての測定で約150 kWであった。

40

【0427】

図5および図9に示すSunCell (登録商標) のような、極性が反対の電極として機能する2つの貯留槽および注入器を含むSunCell (登録商標) の実施形態では、フ

50

ィルムを介した電流の流れによって第1の注入器の全ての酸化ガリウム被膜が除去され得るように、第1の注入器のポンピングは低減または停止され、一方で第2の注入器は、ポンプによって熔融金属を第1の貯留槽に送り込むのに十分に維持される。逆に、フィルムを介した電流の流れによって第2の注入器の全ての酸化ガリウム被膜が除去され得るように、第2の注入器のポンピングは低減または停止され、一方で第1の注入器のポンピングは、ポンピングによって熔融金属を第2の貯留槽に送り込むのに十分に維持される。あるいは、ハイドリノ反応プラズマが電極間に電流接続を少なくとも部分的に提供することで電流が少なくとも1つ貯留槽の酸化ガリウム膜を通して流れるように、両方の注入器のポンピングを低減または停止させてもよい。酸化ガリウム膜の還元を促進するべく、電解質を添加してもよい。

10

【0428】

一実施形態では、EMポンプ注入器は、酸化ガリウム表面膜を含む熔融ガリウム金属表面下に浸漬された複数のノズルを含む。複数の浸漬ノズルは、貯留槽内の異なる位置に、熔融金属表面に対して異なる角度で配置され、点火中に対応する噴射流が酸化膜を貫通する際に酸化ガリウム膜を破壊する。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、複数の熔融金属注入ポンプと、浸漬可能な対応するノズルを備えるもので、ここで、注入された熔融金属は、表面の酸化ガリウム膜を破壊し得る。浸漬の深度は、酸化ガリウム膜の分解を最適化するべく調整され得る。一実施形態では、少なくとも1つの非浸漬ノズルは、対極に向けられた少なくとも1つの出口と、酸化膜の破壊を助けるために酸化ガリウムの表面に向けられる少なくとももう1つの出口とを備える。

20

【0429】

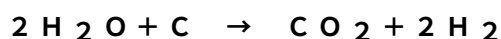
一実施形態では、熔融金属上に形成され得る電気絶縁膜と反応するべく、貯留槽と反応セルチャンバとのうちの少なくとも1つに反応物が加えられ、ここで反応生成物は、電気絶縁性が低いことおよび連続的な電気絶縁膜を形成しにくいことのうちの少なくとも1つを示す。一実施形態では、貯留槽と反応セルチャンバとのうちの少なくとも1つにNaOHといった塩基が加えて、酸化ガリウムと反応させてNaGaO₂といった生成物を形成し、熔融酸化ガリウム上の連続する電気絶縁表面層表面を減少または除去する。例示的な実施形態では、NaOHと酸化ガリウムとの反応により、熔融ガリウム上の電気絶縁性のGa₂O₃膜が破壊され得る。別の実施形態では、ポンプ噴射ノズルの直径と深さとのうちの少なくとも1つとEMポンピング速度の増加とを調整して、熔融ガリウムの表面上の酸化ガリウムコートといった熔融ガリウム上の電気絶縁膜を十分に破壊し、それがプラズマ点火電流を妨害しないようにする。

30

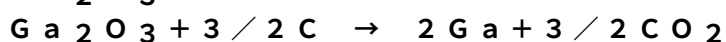
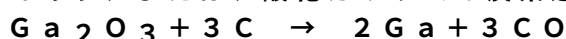
【0430】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、グラファイト、コークス、または木炭粉末のような炭素粉末といった炭素源を含む。炭素供給源は、炭素貯蔵器、弁、および炭素貯蔵器と反応セルチャンバとの間の接続または導管を含み得るとともに、重力流または供給に加えて、炭素を反応セルチャンバに機械的に輸送する手段をさらに含み得る。炭素は、ガリウム表面を被覆して、酸素および水の少なくとも一方といったハイドリノ反応混合物の任意の酸化種とガリウムとの反応を減少させて、酸化ガリウムを形成し得る。NaOHの添加、水素還元、電解還元、熱分解、または熔融ガリウム上の酸化ガリウム表面被覆を除去するためのGa₂Oの揮発性による気化および昇華の少なくとも1つの代替として、反応セルチャンバ内の反応混合物は、供給源からの炭素を含む。炭素は、添加されたH₂OおよびGa₂O₃の少なくとも一方と反応して、真空ポンプによって排気され得るCOおよびCO₂の少なくとも一方を形成し得る。炭素反応は、水合成ガス反応、水性ガスシフト反応、および排出される可能性のあるガリウム金属およびCOおよびCO₂への酸化ガリウムの炭素熱還元反応のうちの少なくとも1つを含み得る。典型的な反応は、

40



であり、または、酸化ガリウムの炭素還元反応は、



50

である。別の実施形態では、酸化ガリウムの炭素熱還元を別の反応と組み合わせて、酸化ガリウムをガリウムに還元する炭素熱反応の組み合わせといった反応の組み合わせを含み得る。

【0431】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、 Ga_2O_3 をガリウム金属に還元する一方で、酸素を含むものといった Ga_2O_3 還元生成物を排出し、ガリウム金属を反応セルチャンバに戻すシステムを備える。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応セルチャンバから Ga_2O_3 膜または層を除去する手段、ガリウム再生システム、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生系への酸化ガリウム流路、酸化ガリウムを反応セルチャンバ5b31からガリウム再生システムに輸送する輸送器、酸化ガリウムからのガリウムの再生から他の生成物、例えば酸素を排出する手段、再生ガリウムの貯留槽、ガリウム再生貯留槽から反応セルチャンバまでのガリウムチャンネル、導管、または管、再生ガリウムの貯留槽から貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31へのガリウム輸送器、ならびに、上記手段の各々のための制御システムを備える。(i)貯留槽5cまたは反応セル室5b31内の液体ガリウムの表面から Ga_2O_3 膜を除去する手段、(ii)酸化ガリウムをそのチャンネル内で輸送する輸送器、および(iii)ガリウムをそのチャンネルで輸送する輸送器は、機械式、電磁式、油圧式、または空圧式の移動装置またはスキマー、機械式またはEMポンプといったポンプ、少なくとも1つのガスジェットといったジェット、溶融金属ジェット、ウォータージェット、少なくとも1つのオーガ、電磁または圧電振動器といった攪拌器または振動器、ならびにコンベヤベルトまたはメッシュといった少なくとも1つの搬送器を、含み得る。一実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面から Ga_2O_3 フィルムを除去するためのジェット、例えば溶融金属ジェットは、溶融ガリウムの表面で酸化ガリウムを選択的に移動させるのに適した角度で表面に衝突し得る。例示的な実施形態では、ジェットはガリウム表面の下から衝突し得る。

10

20

【0432】

一実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面から Ga_2O_3 膜を除去する手段は、機械式表面スキマーを動かすアクチュエータ、あるいは、電磁石または冷却された永久磁石等、セルの外部にある少なくとも1つの磁石で操作または駆動され得るスクレーパを含み、ここで、アクチュエータは、鉄またはコバルトといった高いキュリー温度を有する強磁性材料を含み得る。別の実施形態では、スキマーは、当技術分野で公知のもの、例えば、真空対応の密閉貫通路および外部駆動機構を含み得る。

30

【0433】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、酸化ガリウムに波を発生させて貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面から Ga_2O_3 膜を押し出し、酸化ガリウムチャンネルへの酸化物の流れを引き起こす表面機械的波動発生器を、備え得る。音波音源といった供給源は、例えば、ソナーブーマのような電磁駆動ソナー音源といったソナー装置である。供給源は、貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つまたは複数の外壁上、および貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つの内部に配置され得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、溶融ガリウム表面から除去された酸化ガリウムといくらかの溶融ガリウムとのうちの少なくとも1つを受け取り、ガリウムを貯留槽または反応セルチャンバのような供給源に戻す一方で、酸化ガリウムを選択的に保持するフィルタまたはふるいをさらに備え得る。フィルタまたはふるいは、表面から高く持ち上げられ得るくぼみを含んでもよい。くぼみは、表面波源の作用により、酸化ガリウムおよびガリウムの少なくとも一方を受け取り得る。くぼみは、反応セルチャンバの片側に沿って走ることが可能である。くぼみの底は、ガリウムがその供給源に排出されるようにするための穴を有し得る。くぼみはさらに、オーガなどの輸送器を備えていてもよい。オーガは、真空対応の密閉された貫通部または磁気カプラ、および外部駆動機構、例えば当技術分野で公知のものを備え得る。オーガは、反応セルチャンバ5c1からガ

40

50

リウム再生システムへのガリウム酸化物チャンネルにガリウム酸化物を輸送し得る。

【0434】

一実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、表面酸化物に電力を供給する一連の電極を含む。電極は、時間遅延連続高電圧パルスで酸化ガリウムを酸化物で覆われた表面に押し込み、アーク電流の進行波を発生し、それに対応する進行熱波を貯留槽表面に発生させる。熱波は次に、酸化ガリウムを酸化物チャンネルに押し込む力の波を発生する。酸化ガリウム表面を除去するメカニズムは、熱泳動を含み得る。

【0435】

一実施形態では、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生システムへの輸送器は、反応セルチャンバ5c1とガリウム再生システムとの間に熔融金属柱を含むシールのようなシールを維持する電磁ポンプのようなポンプを備えていてもよい。一実施形態では、ガリウム再生システムから反応セルチャンバ5c1への輸送器は、ガリウム再生システムと反応セルチャンバ5c1との間に熔融金属柱を含むシールのようなシールを維持する電磁ポンプのようなポンプを含み得る。シールは、反応セルチャンバ5c1およびガリウム再生システムのガスおよび圧力の少なくとも1つの分離を可能にし得る。別の実施形態では、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生システムへの輸送器は、重力流を可能にするチャンネルのような受動装置を含み得る。Pトラップを含むチャンネルのようなチャンネルは、反応セルチャンバ5c1とガリウム再生システムとの間に熔融金属カラムを含むシールのようなシールを維持し得る。チャンネルは、輸送されたガリウムから熱を回収し、ガリウムを冷

【0436】

貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、反応セルチャンバ5c1からの酸化ガリウムチャンネルまたは導管への酸化物の流れにより、熔融金属の流れをガリウム再生システムに引き起こし得る。熔融金属の流れは、酸化物をチャンネルまたは導管に流し込み、詰まることなく、輸送器による再生システムへの輸送を可能にするのに十分であり得る。再生システムは、電解システム、例えば、水性ベース電解質、ステンレス鋼電極といった2つの電極、および陰極およびガリウム再生貯留槽から反応セルチャンバへのガリウムチャンネル、導管、または管の入口に向かって傾斜する床部を有する電解セルを含む電解システムを、備え得る。酸化物を洗い流す役割を果たす熔融金属は、傾斜した床部に沿ってガリウムチャンネルの入口に流れ込み、貯留槽または反応セルチャンバに輸送される。輸送は、再生ガリウムによるものであってもよい。例示的な実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、電磁ポンプによって供給され得る熔融金属ジェットを含むもので、ここで、熔融金属の供給源は、再生システムおよび貯留槽の少なくとも一方を含み得る。ジェットへの熔融金属の圧送速度は、酸化ガリウムを洗い流すのに必要な量に基づいて、制御器によって調整され得る。酸化ガリウムを洗い流すのに必要な量は、形成される量に依存し得る。形成された酸化ガリウムの量に関する制御器へのパラメータ入力は、水の注入量を含む。別の実施形態では、液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、SunCell（登録商標）が取り付けられている攪拌器テーブルを備える。攪拌器テーブルの揺動動作により、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生システムへの酸化ガリウムチャンネルに酸化ガリウムを押し込むことが可能である。別の実施形態では、液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、SunCell（登録商標）が取り付けられている回転プラットフォームを備え得るもので、ここで、テーブルの回転による遠心力により、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生システムへの酸化ガリウムチャンネルに酸化ガリウムが押し込まれる。

【0437】

一実施形態では、反応セルチャンバ5c1からガリウム再生システムへの輸送器は、再生ガリウムの貯留槽から貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31へのガリウム輸送器を含み得る。後者の輸送器は、酸化ガリウムチャンネルに吸引力を生み出し得る。例示的な実

10

20

30

40

50

施形態では、対応するEMポンプ輸送器による再生ガリウム貯留槽からのガリウムのポンピングにより、酸化ガリウムチャンネルに沿って部分的な真空状態が生じることで、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31からガリウム再生システムにガリウム酸化物が吸引される。反応セルチャンバまたは貯留槽と再生システムを含むSunCell（登録商標）構成要素を接続する少なくとも1つの導管内の流れ抵抗は、対応するチャンバ間のシーリングを維持するのに十分であり得る。

【0438】

酸化する溶融金属を含む実施形態では、プラズマ反応は、導電性の低い酸化金属表面よりも金属表面に有利である。例えば、ハイドリノ反応速度論の大幅な増加を伴うイオン電子再結合に有利なアーク電流形成は、追加された水蒸気と金属ガリウムとの反応により経時的に形成される酸化ガリウム表面よりも、金属ガリウム表面に有利になり得る。ガリウム表面を酸化ガリウムからリフレッシュするために、SunCell（登録商標）は、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段を含み得る。表面の酸化物被膜を除去する手段の一例としては、(i)貯留槽のガリウム液面にある反応セルチャンバの内側の傾斜した平面スクリーンのような傾斜した穴あきプラットフォームといった収集器と、(ii)ガリウムがスクリーンを通して流れて貯留槽に戻る間に酸化ガリウムを選択的に収集するスクリーン上に酸化ガリウムを押し込む、反応セルチャンバの反対側にある不活性ガスまたは溶融ガリウムの噴流とを含み得る。回収された酸化ガリウムは、さらに輸送器によってガリウム再生システムに輸送されてもよい。

【0439】

一実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段は、溶融金属噴流を含む。一実施形態において、少なくとも1つの溶融金属噴流は、少なくとも1つの注入された溶融金属流を溶融ガリウムといった貯留槽金属上の酸化物表面コーティングに適用する電磁ポンプのような溶融金属ポンプの出口ノズルを含み得る。注入された流れの力は、酸化物コーティングを、ガリウム再生システムへの輸送器といった所望の場所に押し出し得る。溶融金属噴流ポンプの入口は、貯留槽の溶融金属およびガリウム再生システムの溶融金属の少なくとも一方と連続していてもよい。例示的な実施形態では、溶融金属噴流は、Ga₂O₃、Ga₂O、およびGaの少なくとも1つを含む貯留槽の表面層を、NaOH水溶液のような塩基性電解質および電解システムを含み得るガリウム再生システムへの導管に押し込む。Ga₂Oは、電解システムの陽極で発生した酸素との反応によって酸化されて、Ga₂O₃になり得る。Ga₂O₃は、ガリウム酸ナトリウムのような対応するガリウム酸塩を形成可能であり、Gaは陰極で貯留槽に流入可能であり、ガリウムは、貯留槽および反応セルチャンバに輸送することおよび溶融金属噴流ポンプの入口に流れ込むことの少なくとも1つが可能である。一実施形態では、NaOHといった化学薬品を貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つに加えて、酸化ガリウムと反応させて、ガリウム酸ナトリウムのような生成物が形成可能であり、該生成物は、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段によって、貯留槽溶融金属の表面からより容易に除去される。

【0440】

一実施形態では、貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31内の液体ガリウムの表面からGa₂O₃膜を除去する手段によって、溶融金属の表面からより容易に除去されるGa₂Oのようなより少ない酸化物に、Ga₂O₃が還元され得る。Ga₂O₃からGa₂Oのような別の酸化物への変換は、(i)任意の酸化ガリウム、例えばGa₂O₃からGa₂Oへの熱分解、(ii)ガリウムとの反応によるGa₂O₃からGa₂Oへの変換、(iii)水素によるGa₂O₃の還元、(iv)炭素熱還元によるGa₂O₃の還元、(v)即座の電解によるGa₂O₃の還元、および本開示の他の方法によるGa₂O₃の還元のうちの1つまたは複数によってなされ得るもので、ここで、水素、炭素、および電解電解質といった対応する還元剤と電解電流とが反応セルチャンバに加えられ、温度が、望

ましい還元反応と熱分解の少なくとも1つを可能にする温度に維持される。一実施形態では、 Ga_2O は、溶融ガリウムの表面上の Ga_2O_3 膜に埋め込まれる粒子を形成し得る。 Ga_2O 粒子は、液体ガリウムの表面から Ga_2O_3 膜を除去する手段によって輸送されるにともなって、 Ga_2O_3 膜を運び得る。例示的な実施形態では、溶融ガリウムの表面上の Ga_2O_3 膜に埋め込まれた Ga_2O 粒子により、少なくとも1つのEMポンプによって生成される噴流または流れによって膜が輸送される。噴流または流れを引き起こすべく使用されるガリウム金属は、酸化ガリウムから分離して再循環させられ得る。

【0441】

酸化ガリウム膜を除去するポンプは、酸化ガリウムの吸引と、密度が低いことによる酸化ガリウム表面層の選択的除去とをなし得る。例示的な機械式スキマーは、シャフト、機械式リンク機構、および電源および制御器を備えた外部駆動モータを含むものである。別の例示的なスキマーの実施形態は、反応セルチャンバの内側に、内部攪拌バーと同相の外部スピニング磁石によってスピンされる攪拌バーを含む。攪拌バーは、高いキュリー温度を有するコバルトまたは鉄といった磁性または強磁性材料を含み得る。反応セルチャンバは、立方体または長方形の反応セルチャンバの壁の1つ等、少なくとも1つの平坦な垂直壁を備えてもよく、攪拌バーは、壁に平行な平面内で作動する。攪拌バーは、ガリウム再生システムへのチャンネルに Ga_2O_3 を押し進めることが可能である。別の例示的な実施形態では、SunCell（登録商標）は、貯留槽5c内の液体金属の表面全体に少なくとも水平方向の力成分を提供するべく、ガス噴流を含む。一実施形態では、貯留槽5c内のガリウムの上に浮かぶ酸化ガリウム層は、反応セルチャンバ5b31のガスのガス噴流といったガス噴流によって、電解システムといったガリウム再生システムへのチャンネルに押し込まれる。ガス噴流は、ガス入口、ガス出口、ノズルの方向が制御可能である少なくとも1つのノズル、ならびにガス流およびノズル方向の少なくとも1つの制御システムを含み得る。別の実施形態では、SunCell（登録商標）は、浮遊酸化ガリウム層で遠心力を発生させて、酸化ガリウム層を円周方向に、かつ電解システムへのチャンネル内に流動させる手段を含む。SunCell（登録商標）は、該SunCell（登録商標）が搭載される回転テーブルといった回転手段を備え得る。ガリウム再生システムは、電解セルを備え得る。電解セルは、少なくとも2つの電極、電解質、電解電源、電解制御器、および金属ガリウムの貯留槽、貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも1つからのチャンネルおよびそこへのチャンネルを含む入口および出口チャンネルを含み得る。

【0442】

ガリウム再生システムは、 Ga_2O_3 還元システムを含み得る。ガリウム再生システムは、水性または溶融塩電解セルといった Ga_2O_3 電解セルを含み得る。 Ga_2O_3 は陰極でガリウム金属に電気分解され、 Ga_2O_3 電解セルから選択的に排出される O_2 、 H_2O 、あるいは CO_2 のような揮発性またはガス状酸化物といった別の酸化物の少なくとも1つが陽極で電気分解され得る。後者の場合、陽極といった少なくとも1つの電極は炭素を含み得る。 O_2 、 H_2O 、あるいは CO_2 のような揮発性またはガス状酸化物といった別の酸化物は、選択的に排出され得る。酸化ガリウムからのガリウムの再生からの酸素といった他の生成物を排出する手段は、タンクまたは排気口への排出管、および陽極を少なくとも部分的に覆うガスを集めて排出管に流入させるハウジングを含み得る。ハウジングは、ベルジャーを含み得る開いた下端の選択的な塩橋等、電解質イオンの流れに対して透過性である部分を少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、 Ga_2O_3 は、水酸化ナトリウム溶液のような水酸化アルカリといった水酸化物で処理されて、ステンレス鋼陰極のような陰極でガリウム金属溶液を電気分解することにより、陰極でガリウム金属に還元され得るガリウム酸ナトリウムを形成する。一実施形態では、少なくとも1つの電極は、ステンレス鋼、ニッケル、炭素、Pd、Pt、Au、Ru、Rh、Irといった貴金属、寸法安定化電極、および当業者に公知の塩基で安定な他の陽極のうちの少なくとも1つを含み得る。例示的な実施形態では、ガリウム金属を選択的にポンピングして戻すEMポンプによって、ガリウム金属を貯留槽5cおよび反応セルチャンバ5b31の少なくとも1つに戻し得る。

10

20

30

40

50

【0443】

酸化ガリウムを移動させる例示的なスキマーシステムは、酸化ガリウムを蓄積する溶融金属表面の断面にまたがる有孔可動プレートを含み得るとともに、スキマーが酸化ガリウムを移動させる方向にほぼ垂直な方向に沿って酸化ガリウムを移動させる横方向輸送器をさらに含み得る。スキマーは、点火電流またはプラズマの短絡を避けるために非導電性のものであってもよく、例えば、BNスキナーのようなセラミックスキマー、ムライト、アルミナ、またはBNコーティングされたステンレス鋼、タングステン、またはタンタルスキマーのようなセラミックコーティングされた金属スキマーであってもよい。EMポンプは、非溶接貫通を回避する油圧スキマードライバとして機能し得る。EMポンプは、アクチュエータとして油圧ピストンを駆動し、または、油圧モータを駆動し得る。スキマーは、油圧モータのような可逆モータ、例えば、EMポンプを含むものによって、駆動され得る。スキマーは、酸化ガリウムを一方の壁に押圧し、次に方向を逆にして、酸化ガリウムを反対側の壁に押圧する。スキマーは、スキミングされた酸化ガリウムをスキマーの方向に垂直な方向に沿って移動させるべく、少なくとも1つの壁に沿った横方向輸送器を含み得る。輸送器は、液体ガリウムがオーガの周囲を流れるようにしながら酸化物を隅に選択的に押圧する、液体ガリウムに部分的に吊るされたねじまたはオープンオーガを含み得る。スキマーシステムは、横方向輸送器がEMポンプ油圧モータのような同じ駆動装置によって駆動されるように、スキマーと少なくとも1つの横方向輸送器との間に少なくとも1つの機械的リンク機構を備える。一実施形態では、スキマーは、オープンオーガといったオーガを含む。横方向輸送器は、横方向スキマーを含む本開示のスキマーを含み得る。横方向スキマーの動作は、スキマーから酸化物を受け取り、2つのスキマー間の干渉なしに酸化物チャンネルに移動する適切な位置になるように、スキマーの動きと同期させられ得る。

10

20

【0444】

一実施形態では、スキマーは、ハブとスポークの酸化ガリウム膜スキマーとを含み得るので、開いたハブを介して注入がなされ得る。スキマーは、EMポンプ駆動モータのような油圧モータといったモータによって動力が供給されるハブの周囲を回転し得る。スキマーは、酸化ガリウムがすくい取られる周辺酸化ガリウムチャンネルを含む円筒形反応セルチャンバの表面にまたがってもよい。回転は、すくい取られた酸化ガリウムがスキマーのスポークに沿って酸化ガリウムチャンネルに流れ込む遠心力を発生するように、高速であり得る。

30

【0445】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、酸化ガリウムが搬送される酸化ガリウム保管貯留槽を備え、さらに、動作中に酸化ガリウムを形成するガリウムを補給する補給ガリウム貯留槽を備える。SunCell（登録商標）は、酸化ガリウム貯蔵貯留槽の底部にガリウム戻し輸送器を備え、この貯留槽に蓄積されたガリウムを反応器貯留槽5cまたは反応セルチャンバ5b31に戻すことが可能である。ガリウム戻し輸送器は、酸化ガリウムをブロックする入口フィルタをさらに含み得るEMポンプといったポンプを備え得る。酸化ガリウム保管貯留槽に経時的に収集された酸化ガリウムは、本開示の再生システム、例えば、ガリウム酸ナトリウム電解システムでバッチ再生され得る。SunCell（登録商標）は、酸化ガリウムを酸化ガリウム保管貯留槽からガリウム再生システムに輸送するための本開示の1つのようなタンク排出輸送器をさらに含み得る。例示的な実施形態では、約50kWの理論ハイドリノ出力に対応する、1分間に注入された水1ミリリットルあたりの酸化ガリウムの蓄積速度は、3.4g/分（0.54mL/分）である。

40

【0446】

一実施形態では、スキマーは、コンベヤ、例えば、少なくとも1つのベルトまたは一組のケーブルまたは一組のチェーン701を含み、少なくとも1つの穴あき容器またはパドル702がベルトまたはケーブルまたはチェーンの間に取り付けられているコンベヤを含み得る（図32）。容器は、すくい取られた酸化ガリウムを酸化ガリウム貯蔵容器5b33に持ち上げるためのスキマーおよび容器昇降器のうちの少なくとも1つとして機能する。容器は、セラミック、W、またはTaといった、ガリウムとは合金化または反応しない耐

50

火性材料を含み得る。タンタルおよびセラミックBNは、機械加工可能な代表的な材料である。1つのベルトまたは一組のケーブルもしくはチェーンのそれぞれは、スプロケット、コグ、またはプリー703の少なくとも1つで駆動および誘導され得るもので、ここで、スプロケット、歯車、または滑車の少なくとも1つが、電気、空気圧、油圧、または電磁ポンプモータといったモーターによって回転する。コンベヤベルト、ケーブル、またはチェーンは、少なくとも1つの容器を、溶融ガリウム表面に沿って、反応セルチャンバ5b31または貯留槽の第1の壁から反対側の壁まで移動させ、次にコンベヤの上部まで傾斜面を移動させ得るもので、ここで、すくい取られた酸化ガリウムは、酸化ガリウム保管貯留槽5b33に投棄される。コンベヤは容器を第1の壁に戻し、すくい取りサイクルを繰り返し得る。溶融金属注入器、例えば、ノズル5qを備える溶融金属注入器は、容器をより浅い深度で浸漬させ、かつノズル5qの上を通過させるべく、反応セルチャンバ5b31または貯留槽5cの溶融ガリウムに十分に浸漬され得る。反応セルチャンバは、コンベヤおよび酸化ガリウム保管貯留槽5b33の傾斜または容器昇降器用のハウジング5b32を含み得る。酸化ガリウム貯蔵貯留槽5b33は、コンベヤの容器昇降器部分から酸化ガリウムを受け取るべく、上部に開口部を含み得る。反応セルチャンバ5b31または貯留槽の反対側の壁は、反応セルチャンバまたは貯留槽内の溶融ガリウムを部分的に遮断しながら容器スキマーの通過を可能にする開口部を含む容器通路704を含み得る。酸化ガリウム保管貯留槽5b33の上部開口部までの高さは、その壁を、溶融ガリウム内で発生した機械的波によって容器通路を通過し得る流動溶融ガリウムが容器エレベータに向かって突破するのを十分に防ぐことが可能である。酸化ガリウム保管貯留槽5b33は、フランジ5b33aと、酸化ガリウム保管貯留槽5b33を除去するために取り外し可能な嵌合フランジプレート5b33bとを含み得るもので、それにより、収集された酸化ガリウムを除去して再生することが可能であり、空の酸化ガリウム保管貯留槽5b33が再組み立てられる。

10

20

30

40

50

【0447】

一実施形態では、酸化ガリウム膜の形成は、点火電流が一定の点火電圧で減少するか、または点火電圧が増加して点火電流を一定に維持するように、点火電流抵抗を増加させる。一実施形態では、スキマーは、電流、点火電圧、および点火電流抵抗という点火パラメータの少なくとも1つを監視し、スキマーを作動させて酸化被膜を除去し、点火パラメータを所望の範囲内に維持する制御器を備える。

【0448】

一実施形態では、貯留槽および反応セルチャンバの少なくとも一方は、オキシ水酸化ガリウムおよび水酸化ガリウムのうちの少なくとも1つの分解温度よりも高い動作温度に維持され得る。動作温度は、約200℃～2000℃、200℃～1000℃、および200℃～700℃の少なくとも1つの範囲内であってよい。オキシ水酸化ガリウムおよび水酸化ガリウムの生成が抑制される場合、すくい取られる化学種は、酸化ガリウムに限定されてもよい。

【0449】

反応混合物は、反応混合物からこれらの成分の一部を除去するために、即座（すなわち、反応チャンバ内）に存在する酸素または水の一部と反応し得る添加剤を含んでもよい。いくつかの実施形態では、添加剤を使用して、これらの成分を再生システムに輸送し得る。最終的には、添加物と反応した酸素および水が再生システムを介して排出（すなわち、システム全体から放出）され得る。特定の実施形態では、添加剤は、酸素および／または水によって酸化することができる。例えば、酸化添加剤（例えば、酸化ガリウムのような金属酸化物）は、反応チャンバへの添加剤（例えば、銀溶融金属中のガリウム添加剤）の添加から反応チャンバ内に形成され得る。その生成に続いて、酸化された添加剤は、再生システム（例えば、還元システム）に輸送されてもよい。ひとたび再生システムに輸送されると、酸化された添加剤は還元されて、再生された添加剤と、反応チャンバ内に以前から存在していた酸素および／または水とをもたらし得る。次に、添加剤は、さらなる使用のために反応チャンバに戻されることが可能であり、また、反応チャンバに以前に存在した

酸素および／または水が排出され得る。

【0450】

一実施形態では、反応混合物は、酸素および水の少なくとも一方と反応する金属または化合物といった種を含む添加剤を含んでもよい。添加剤は再生可能である。この再生は、SunCell（登録商標）の少なくとも1つのシステムによって達成され得る。再生システムは、熱、プラズマ、および電解システムのうちの少なくとも1つを含み得る。添加剤は、溶融銀を含む反応混合物に加えてもよい。一実施形態では、添加剤は、溶融銀に添加され得るガリウムを含むものであってもよく、溶融金属を含む。一実施形態では、反応セルチャンバに水を供給してもよい。水は注入器によって供給され得る。ガリウムは、反応混合物に供給される水と反応して、水素およびガリウムを形成し得る。水素は、ハイドリノ触媒として機能する残留H₂Oと反応し得る。酸化ガリウムは、本開示の電解システムによって再生され得る。電気分解システムによって製造低減されるガリウム金属および酸素を、それぞれ、ポンピングによって反応セルチャンバに戻し、セルのために排出することが可能である。

10

【0451】

一実施形態では、Ga₂O₃の電解を行う電解質は、アルカリハロゲン化物とGaF₃といったハロゲン化ガリウムを含む。電解質は、溶融塩、例えば、Alの代わりにGaを有する氷晶石の類似体、例えばNa₃GaF₆を、含み得る。一実施形態では、Ga₂O₃は、HClのようなHX（x＝ハライド）と反応して、GaCl₃を形成し得る。GaCl₃の溶融物を電気分解して、陰極でGa金属を形成し、陽極でCl₂ガスを形成することが可能である。塩素ガスは、水の電気分解からのH₂のような供給源からの水素と反応して、HClを形成し得る。

20

【0452】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、Ga₂O₃を少なくとも1つの反応物と反応させて揮発性生成物を形成するシステム、揮発性生成物コンデンサ、電解セルといったガリウム再生システム、ならびに、それぞれ揮発性生成物および再生ガリウムをガリウム再生システムに送るチャネルおよび輸送器を備える。反応物は、HX（X＝ハロゲン化物）のような酸を含んでもよい。Ga₂O₃は、HX（X＝ハライド）のような酸と反応して、揮発性であってもよいGaX₃を形成し得る。ガス状のGaX₃は、ガリウム再生システムの構成要素を含み得る凝縮器内で凝縮され得る。GaCl₃またはGaBr₃といったGaX₃を電気分解して、陰極でGa金属を形成し、陽極でX₂ガスを形成することが可能である。X₂ガスは、H₂Oの電気分解からのH₂といった供給源からの水素と反応して、HXを形成し得る。SunCell（登録商標）は、Ga₂O₃が輸送されてHXと反応することでガリウム金属が形成されるガリウム再生貯留槽をさらに備え得る。HXガスは、貯留槽、反応セルチャンバ、および再生貯留槽の少なくとも1つに放出されて、GaX₃およびH₂Oを形成することが可能である。

30

【0453】

一実施形態では、溶融金属は、任意の溶融金属を含み得る。溶融金属が金属酸化物といったハイドリノ反応混合物の成分と反応することによって生成物を形成する場合には、溶融金属は再生可能なものを含み得る。一実施形態では、SunCell（登録商標）は、溶融金属を再生して再利用するための手段を備える。一実施形態では、溶融金属は、水素還元および電解のうちの少なくとも1つによって再生できる酸化物を形成するものを含み得るもので、金属再生手段は、電解セルおよび水素還元反応器のうちの少なくとも1つを含む。金属を再生するシステムは、金属酸化物を金属に還元し、再生溶融金属を再循環または再利用するための水素源をさらに含んでもよい本開示の電解再生システムを含み得る。水素還元により再生可能な金属の例は、銅およびニッケルである。一実施形態では、電解チャンバを水素還元チャンバに置き換えてもよい。別の実施形態では、ガリウムはアルミニウムで置き換えることができ、再生システムは、アルミナ電解セル、例えば、炭素電極および氷晶石（Na₃AlF₆）といった溶融塩電解質を含むものを備え得る。

40

【0454】

50

一実施形態では、注入された水とガリウムとの反応によって形成された酸化ガリウム膜を除去するべく、水素ガスを反応混合物に加えてもよい。別の実施形態では、アルゴンのような希ガス、窒素、 CO_2 、メタンやプロパンといった炭化水素、または本開示の別のガスといった添加ガスを加えて、酸化ガリウム膜の除去を支援し得る。添加ガスは、 $\text{H}_2\text{O} + \text{Ga} \rightarrow \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{H}_2$ 反応由来の原子水素を増加させ得る。アルゴンのような添加ガスはハイドリノ反応速度を高めることが可能であり、放出された高エネルギーが酸化ガリウム膜の分解を促進する。添加ガスは、 H_2O 、 OH^- 、 Ga_2O_3 、 OH 、および Ga_2O の少なくとも1つといった反応セルチャンバ内の種と反応して、酸化ガリウム膜の電解還元を促進する電解質を形成し得る。希ガスのような添加ガスは、プラズマのイオン化率を増加させて、その伝導率を増加させ、酸化ガリウムを流れる還元電流を増加させ得る。添加ガスは、質量が大きいといった特性により、他のガスに比べて反応セルチャンバ内の半減期が長い場合がある。添加された水素または添加ガスは、酸化ガリウム膜の還元を達成する任意の所望の量であってよい。反応セルチャンバ内の水素または添加ガスの少なくとも1つは、約0.1トル〜100気圧、1トル〜1気圧、および1トル〜10トルの少なくとも1つの圧力範囲にあってもよい。水素または添加ガスの少なくとも1つは、反応セルチャンバ容積1リットルあたり少なくとも約0.001 sccm〜10リットル／分、0.001 sccm〜10リットル／分、0.001 sccm〜10リットル／分の範囲内の速度で、反応セルチャンバに流入され得る。

10

【0455】

一実施形態では、 H_2O 注入器は、電極間の領域等、反応セルチャンバのハイドリノプラズマ領域に H_2O を注入し得る。プラズマ注入は、ハイドリノプラズマが最も強い正電極の近傍であってもよい。プラズマへの H_2O の注入は、出力電力を向上させること、水がガリウムと酸化物を形成することを防止すること、および酸化ガリウムの還元または分解に寄与することのうちの少なくとも1つを行うことが可能である。注入器は、反応セルチャンバの壁にオリフィス、または、溶融金属注入器の上のガリウム表面といった所望の位置に水を導き得る反応セルチャンバの内部にノズルを含み得る。ノズルは、所望の位置への所望の送達を達成する位置および角度で、入り得る。例示的な実施形態では、ノズルはセルの上部に配置され、注入された水をガリウム表面のプラズマの中心に向けて下向きにするものであってもよく、あるいは、耐火性ノズルは、溶融ガリウムを通る導管を含むとともに、水をガリウム表面に向けるアークをさらに含む。ノズルは、小さな開口、収束発散ノズル、または水を所望の位置に向けるための当技術分野で公知の他のノズルを含み得る。ノズルは、液体を加熱して少なくともいくつかの気相の水に変換する加熱器および熱交換器といった手段を含み得る。気相の水への変換は、水を所望の場所に噴射するための推進剤として機能し得る圧力の上昇をもたらし得る。一実施形態では、注入された水滴または粒子は、帯電、例えば、静電気のような手段によって負に帯電し得る。粒子は、ノズル出口の電極、噴射時に粒子が通過するコロナ放電、および粒子とノズルといった帯電材料または構造との摩擦の少なくとも1つによって、帯電され得る。注入された水がガリウム表面に引き付けられるように、ガリウムは正に帯電する等、反極性に帯電し得る。注入された粒子は、電極の軸に沿った領域に向けられてもよい。

20

30

【0456】

一実施形態では、水素が触媒として機能し得る。触媒となる $n\text{H}$ (n は整数)とハイドリノを形成する H 原子を供給する水素源は、高圧水電解槽からの水素の流れを制御するべく質量流量制御器を使用して Pd または $\text{Pd}-\text{Ag}$ といった水素透過性膜、例えば、 EM ポンプ管5k4壁の23% $\text{Ag}/77\%\text{Pd}$ 合金膜を通して供給され得る H_2 ガスを、含み得る。 HOH 触媒の代わりに水素を触媒として使用することにより、炭素反応セルチャンバ5b31といった少なくとも1つのセル構成要素の酸化反応を回避することが可能である。反応セルチャンバ内に維持されたプラズマは、 H_2 を解離して H 原子を提供し得る。炭素は、炭素と水素との間の反応を抑制するために熱分解炭素を含んでもよい。

40

【0457】

固形燃料 SunCell (登録商標)

50

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応により少なくとも1つの反応物を形成してハイドリノを形成する固体燃料を含む。ハイドリノ反応物は、原子状水素およびハイドリノを形成するための触媒を含み得る。この触媒は、新生水、HOHを含み得る。反応物は、SunCell（登録商標）内で少なくとも部分的に即座に再生され得る。固体燃料は、反応セルチャンバ5b31内のプラズマまたは熱駆動反応により再生され得る。この再生は、反応セルチャンバ5b31内に維持および放出されるプラズマおよび熱の少なくとも1つによって達成され得る。固体燃料反応物は、ハイドリノまたは低エネルギー水素化合物および物質組成物といったハイドリノを含む生成物の形成において消費される元素の供給源を供給することによって、再生され得る。SunCell（登録商標）は、SunCell（登録商標）内でのハイドリノ反応の伝播中に固体燃料によって失われたものを置き換えるために、Hおよび酸素の供給源のうちの少なくとも1つを含み得る。HおよびOの少なくとも1つの供給源は、 H_2 、 H_2O 、および O_2 の少なくとも1つを含み得る。例示的な再生実施形態では、 H_2 （1/4）を形成するために消費される H_2 は、 H_2 および H_2O の少なくとも1つの添加によって置き換えられ、 H_2O はさらに、HOH触媒および O_2 の少なくとも1つの供給源として機能し得る。最適には、 CO_2 およびアルゴンのような希ガスの少なくとも1つが反応混合物の成分であり、 CO_2 は、HOH触媒を形成するための酸素供給源として機能し得る。

10

【0458】

一実施形態では、SunCell（登録商標）は、反応セルチャンバ内で形成された生成物から少なくとも1つの出発物質の少なくとも一部を再生する電解セルを、さらに含む。出発物質は、固体燃料の反応体の少なくとも1つを含み得るもので、ここで、ハイドリノ反応体を形成するべく、固体燃料反応によって生成物が形成され得る。出発物質は、ガリウムまたは銀といった溶融金属を含み得る。一実施形態では、溶融金属は溶融金属と非反応性である。例示的な非反応性溶融金属は、銀を含む。電解セルは、貯留槽5c、反応セルチャンバ5b31の少なくとも1つ、ならびに貯留槽5cおよび反応セルチャンバ5b31の少なくとも1つの外部の別個のチャンバを含み得る。電解セルは、(i) 2つの電極と、(ii) 独立したチャンバの入口チャンネルおよび出口チャンネルならびに輸送器と、(iii) 溶融金属と、貯留槽、反応セルチャンバ、および別個のチャンバのうちの少なくとも1つにおける反応物および生成物との少なくとも1つを含み得る電解質と、(iv) 電解電源と、(v) 電解用の制御装置ならびに電解セルに出入りする輸送器用の制御装置および電源（適用可能な場合）とを、少なくとも備え得る。輸送器は、本開示の1つを含み得る。

20

30

【0459】

一実施形態において、固体燃料反応は、生成物または中間反応生成物として、 H_2O およびHを形成する。 H_2O は、ハイドリノを形成するための触媒として機能し得る。反応物は少なくとも1つの酸化剤および1つの還元剤を含み、反応は少なくとも1つの酸化還元反応を含む。還元剤は、アルカリ金属といった金属を含み得る。反応混合物は、水の供給源および H_2O の供給源をさらに含み得るもので、さらに、任意選択で、炭素、炭化物、ホウ化物、窒化物、TiCNのようなカルボニトリル、またはニトリルといった、担体を含み得る。支持体は金属粉末を含んでもよい。Hの供給源は、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、希土類水素化物、および本開示の水素化物の群から選択され得る。水素の供給源は、炭素またはアルミナといった支持体上の貴金属といった本開示のものといった解離剤および本開示の他のものをさらに含み得る水素ガスであってもよい。水源は、Al、Zn、Sn、Cr、Sb、Pbの水酸化物または水酸化物複合体といった脱水化合物を含み得る。水の供給源は、水素の供給源および酸素の供給源を含み得る。酸素供給源、酸素含有化合物を含み得る。化合物または分子の例は、 O_2 、アルカリまたはアルカリ土類酸化物、過酸化物、または超酸化物、 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_xHyPO_4 （ $x, y = \text{整数}$ ）、 $POBr_2$ 、 $MClO_4$ 、 MNO_3 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 、 N_2O_3 、 Cl_2O_7 、および O_2 （ $M = \text{アルカリ}$ 、さらに、アルカリ土類

40

50

または他の陽イオンがMの代わりに使用可能)である。他の典型的な反応物は、Li、LiH、LiNO₃、LiNO、LiNO₂、Li₃N、Li₂NH、LiNH₂、LiX、NH₃、LiBH₄、LiAlH₄、Li₃AlH₆、LiOH、Li₂S、LiHS、LiFeSi、Li₂CO₃、LiHCO₃、Li₂SO₄、LiHSO₄、Li₃PO₄、Li₂HPO₄、LiMoO₄LiNbO₃、Li₂B₄O₇ (四ホウ酸リチウム)、LiBO₂、Li₂WO₄、LiAlCl₄、LiGaCl₄、Li₂CrO₄、Li₂Cr₂O₇、Li₂TiO₃、LiZrO₃、LiAlO₂、LiCoO₂、LiGaO₂、Li₂GeO₃、LiMn₂O₄、Li₄SiO₄、Li₂SiO₃、LiTaO₃、LiCuCl₄、LiPdCl₄、LiVO₃、LiIO₃、LiBrO₃、LiXO₃ (X=F、Br、Cl、I)、LiFeO₂、LiIO₄、LiBrO₄、LiIO₄、LiXO₄ (X=F、Br、Cl、I)、LiScO_n、LiTiO_n、LiVO_n、LiCrO_n、LiCr₂O_n、LiMn₂O_n、LiFeO_n、LiCoO_n、LiNiO_n、LiNi₂O_n、LiCuO_n、LiZnO_n (ここで、n=1、2、3、または4、オキシアニオン、強酸のオキシアニオン)、オキシアニオン、強酸のオキシアニオン、酸化剤、V₂O₃、I₂O₅、MnO₂、Re₂O₇、CrO₃、RuO₂、AgO、PdO、PdO₂、PtO、PtO₂、およびNH₄X (Xは硝酸塩またはCRCで与えられる他の適切な陰イオン)といった分子酸化剤、ならびに還元剤からなる群から選択される。他のアルカリ金属または他の陽イオンが、Liの代わりに使用されてもよい。追加の酸素供給源は、MCoO₂、MGaO₂、M₂GeO₃、MMN₂O₄、M₄SiO₄、M₂SiO₃、MTaO₃、MVO₃、MIO₃、MFeO₂、MIO₄、MC1O₄、MScO_n、MTiO_n、MVO_n、MCrO_n、MCr₂O_n、MMN₂O_nFe、MMN₂O_n、MNiO_n、MNi₂O_n、MCuO_n、およびMZnO_n (ここで、Mはアルカリおよびn=1、2、3、または4)、オキシアニオン、強酸のオキシアニオン、酸化剤、V₂O₃、I₂O₅、MnO₂、Re₂O₇、CrO₃、RuO₂、AgO、PdO、PdO₂、PtO、PtO₂、I₂O₄、I₂O₅、I₂O₉、SO₂、SO₃、CO₂、N₂O、NO、NO₂、N₂O₅、N₂O、Cl₂O、ClO₂、Cl₂O₃、Cl₂O₆、Cl₂O₇、PO₂、P₂O₃、P₂O₅といった分子酸化剤からなる群から選択され得る。反応体は、ハイドリノを形成する任意の所望の比率であってよい。典型的な反応混合物は、0.33gのLiH、1.7gのLiNO₃、および1gのMgH₂、および4gの活性化C粉末の混合物である。反応H₂O触媒およびH₂の少なくとも1つを形成するためのさらなる適切な例示的な反応を、表2、3、および4に示す。

10

20

30

40

50

【表 2 - 1】

表 2. H_2O 触媒と H_2 に関する熱可逆反応サイクル。[L.C. Brown, G.E. Besenbruch, K.R. Schultz, A.C. Marshall, S.K. Showalter, P.S. Pickard and J.F. Funk, 「熱化学的水分解サイクルを使用した水素の原子力生産 (Nuclear Production of Hydrogen Using Thermochemical Water-Splitting Cycles)」、International Congress on Advanced Nuclear Power Plants (ICAPP) in Hollywood, Florida, June 19-13, 2002, 予稿集に掲載。]

サイクル名	T/E*	T(°C)	反応	
1 ウェスティングハウス (Westinghouse)	T	850	$2H_2SO_4(g) \rightarrow 2SO_2(g) + 2H_2O(g) + O_2(g)$	10
	E	77	$SO_2(g) + 2H_2O(a) \rightarrow H_2SO_4(a) + H_2(g)$	
2 イスプラマーク13 (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 東京大学 (UT-3 Univ. of Tokyo)	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	$Fe_3O_4 + 8HBr \rightarrow Br_2 + 3FeBr_2 + 4H_2O$	
4 ヨウ化硫黄	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 ユーリッヒセンターEOS (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 東京工業大学フェライト (Tokyo Inst. Tech. Ferrite)	T	1000	$2MnFe_2O_4 + 3Na_2CO_3 + H_2O$	20
			$\rightarrow 2Na_3MnFe_2O_6 + 3CO_2(g) + H_2(g)$	
	T	600	$4Na_3MnFe_2O_6 + 6CO_2(g) \rightarrow 4MnFe_2O_4 + 6Na_2CO_3 + O_2(g)$	
7 ハレットエアプロダクツ1965 (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 フランスガス公社 (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 ニッケルフェライト (Nickel Ferrite)	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 アーヘン大学ユーリッヒ1972 (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 イスプラマーク1C (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 イスプラマーク8 (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 イスプラマーク6 (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	$2FeCl_3 \rightarrow Cl_2(g) + 2FeCl_2$	40

【表 2 - 2】

15 イスプラマーク4 (Ispra Mark 4)	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	100	$2\text{FeCl}_2 + 2\text{HCl} + \text{S} \rightarrow 2\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{S}$	
	T	420	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$	
	T	800	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{H}_2(\text{g})$	
16 イスプラマーク3 (Ispra Mark 3)	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	170	$2\text{VOCl}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{VOCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	200	$2\text{VOCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{VOCl}_2$	
17 イスプラマーク2 (1972) (Ispra Mark 2 (1972))	T	100	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{a}) + \text{MnO}_2$	10
	T	487	$4\text{MnO}_2(\text{s}) \rightarrow 2\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	800	$\text{Mn}_2\text{O}_3 + 4\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MnO}_2 + \text{H}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	
18 イスプラCO/Mn3O4 (Ispra CO/Mn3O4)	T	977	$6\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	700	$\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	700	$\text{CO}(\text{g}) + 2\text{Mn}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{C} + 3\text{Mn}_2\text{O}_3$	
19 イスプラマーク7B (Ispra Mark 7B)	T	1000	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{FeCl}_3 + 3\text{O}_2(\text{g})$	
	T	420	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$	
	T	650	$3\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	350	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	
	T	400	$4\text{HCl} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$	
20 塩化バナジウム (Vanadium Chloride)	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	20
	T	25	$2\text{HCl} + 2\text{VCl}_2 \rightarrow 2\text{VCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	700	$2\text{VCl}_3 \rightarrow \text{VCl}_4 + \text{VCl}_2$	
	T	25	$2\text{VCl}_4 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{VCl}_3$	
21 イスプラマーク7A (Ispra Mark 7A)	T	420	$2\text{FeCl}_3(\text{l}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$	
	T	650	$3\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	350	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	
	T	1000	$6\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{FeCl}_3(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g})$	
	T	120	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}(\text{a}) \rightarrow 2\text{FeCl}_3(\text{a}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	
22 GAサイクル23 (GA Cycle 23)	T	800	$\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{S}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	850	$2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	700	$3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g})$	
	T	25	$3\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{a}) + \text{S}$	
23 US-塩素 (US -Chlorine)	T	25	$\text{S}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g})$	30
	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	200	$2\text{CuCl} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{CuCl}_2 + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	500	$2\text{CuCl}_2 \rightarrow 2\text{CuCl} + \text{Cl}_2(\text{g})$	
24 イスプラマーク (Ispra Mark)	T	420	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$	
	T	150	$3\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 12\text{HCl} \rightarrow 6\text{FeCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2(\text{g})$	
25 イスプラマーク6C (Ispra Mark 6C)	T	650	$3\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	
	T	170	$2\text{CrCl}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{CrCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$	
	T	700	$2\text{CrCl}_3 + 2\text{FeCl}_2 \rightarrow 2\text{CrCl}_2 + 2\text{FeCl}_3$	
	T	500	$2\text{CuCl}_2 \rightarrow 2\text{CuCl} + \text{Cl}_2(\text{g})$	
	T	300	$\text{CuCl} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{FeCl}_2$	

* T = 熱化学、E = 電気化学

40

【表 3】

表 3. H_2O 触媒と H_2 とに関する熱可逆反応サイクル。[C. Perkins and A.W. Weimer, 「再生可能な水素の太陽熱生産(Solar-Thermal Production of Renewable Hydrogen)」, AIChE Journal, 55 (2), (2009), pp. 286-293]

サイクル	反応ステップ
高温サイクル	
Zn/ZnO	$ZnO \xrightarrow{1600-1800\text{ }^{\circ}\text{C}} Zn + \frac{1}{2}O_2$
	$Zn + H_2O \xrightarrow{400\text{ }^{\circ}\text{C}} ZnO + H_2$
FeO/Fe ₃ O ₄	$Fe_3O_4 \xrightarrow{2000-2300\text{ }^{\circ}\text{C}} 3FeO + \frac{1}{2}O_2$
	$3FeO + H_2O \xrightarrow{400\text{ }^{\circ}\text{C}} Fe_3O_4 + H_2$
炭酸カドミウム	$CdO \xrightarrow{1450-1500\text{ }^{\circ}\text{C}} Cd + \frac{1}{2}O_2$
	$Cd + H_2O + CO_2 \xrightarrow{350\text{ }^{\circ}\text{C}} CdCO_3 + H_2$
	$CdCO_3 \xrightarrow{500\text{ }^{\circ}\text{C}} CO_2 + CdO$
ハイブリッドカドミウム	$CdO \xrightarrow{1450-1500\text{ }^{\circ}\text{C}} Cd + \frac{1}{2}O_2$
	$Cd + 2H_2O \xrightarrow{25\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{electrochemical}} Cd(OH)_2 + H_2$
	$Cd(OH)_2 \xrightarrow{375\text{ }^{\circ}\text{C}} CdO + H_2O$
マンガンナトリウム	$Mn_2O_3 \xrightarrow{1400-1600\text{ }^{\circ}\text{C}} 2MnO + \frac{1}{2}O_2$
	$2MnO + 2NaOH \xrightarrow{627\text{ }^{\circ}\text{C}} 2NaMnO_2 + H_2$
	$2NaMnO_2 + H_2O \xrightarrow{25\text{ }^{\circ}\text{C}} Mn_2O_3 + 2NaOH$
M-フェライト (M = Co, Ni, Zn)	$Fe_{3-x}M_xO_4 \xrightarrow{1200-1400\text{ }^{\circ}\text{C}} Fe_{3-x}M_xO_{4-\delta} + \frac{\delta}{2}O_2$
	$Fe_{3-x}M_xO_{4-\delta} + \delta H_2O \xrightarrow{1000-1200\text{ }^{\circ}\text{C}} Fe_{3-x}M_xO_4 + \delta H_2$
低温サイクル	
硫黄-ヨウ素	$H_2SO_4 \xrightarrow{850\text{ }^{\circ}\text{C}} SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2$
	$I_2 + SO_4 + 2H_2O \xrightarrow{100\text{ }^{\circ}\text{C}} 2HI + H_2SO_4$
	$2HI \xrightarrow{300\text{ }^{\circ}\text{C}} I_2 + H_2$
ハイブリッド硫黄	$H_2SO_4 \xrightarrow{850\text{ }^{\circ}\text{C}} SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2$
	$SO_2 + 2H_2O \xrightarrow{77\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{electrochemical}} H_2SO_4 + H_2$
ハイブリッド塩化銅	$Cu_2OCl_2 \xrightarrow{550\text{ }^{\circ}\text{C}} 2CuCl + \frac{1}{2}O_2$
	$2Cu + 2HCl \xrightarrow{425\text{ }^{\circ}\text{C}} H_2 + 2CuCl$
	$4CuCl \xrightarrow{25\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{electrochemical}} 2Cu + 2CuCl_2$
	$2CuCl_2 + H_2O \xrightarrow{325\text{ }^{\circ}\text{C}} Cu_2OCl_2 + 2HCl$

【表 4 - 1】

表 4. H₂O 触媒および H₂ に関する熱可逆反応サイクル。[S. Abanades, P. Charvin, G. Flamant, P. Neveu, 「集中太陽エネルギーによる水素生産にとって潜在的に魅力的な水分解熱化学サイクルのスクリーニング (Screening of Water-Splitting Thermochemical Cycles Potentially Attractive for Hydrogen Production by Concentrated Solar Energy)」, Energy, 31, (2006), pp. 2805–2822]

ID 番号	サイクル名	元素 リスト	化学 ステップ 番号	最高温度 (°C)	反応	
6	ZnO/Zn	Zn	2	2000	ZnO → Zn + 1/2O ₂ Zn + H ₂ O → ZnO + H ₂	(2000 °C) (1100 °C)
7	Fe ₃ O ₄ /FeO	Fe	2	2200	Fe ₃ O ₄ → 3FeO + 1/2O ₂ 3FeO + H ₂ O → Fe ₃ O ₄ + H ₂	(2200 °C) (400 °C)
194	In ₂ O ₃ /In ₂ O	In	2	2200	In ₂ O ₃ → In ₂ O + O ₂ In ₂ O + 2H ₂ O → In ₂ O ₃ + 2H ₂	(2200 °C) (800 °C)
194	SnO ₂ /Sn	Sn	2	2650	SnO ₂ → Sn + O ₂ Sn + 2H ₂ O → SnO ₂ + 2H ₂	(2650 °C) (600 °C)
83	MnO/MnSO ₄	Mn, S	2	1100	MnSO ₄ → MnO + SO ₂ + 1/2O ₂ MnO + H ₂ O + SO ₂ → MnSO ₄ + H ₂	(1100 °C) (250 °C)
84	FeO/FeSO ₄	Fe, S	2	1100	FeSO ₄ → FeO + SO ₂ + 1/2O ₂ FeO + H ₂ O + SO ₂ → FeSO ₄ + H ₂	(1100 °C) (250 °C)
86	CoO/CoSO ₄	Co, S	2	1100	CoSO ₄ → CoO + SO ₂ + 1/2O ₂ CoO + H ₂ O + SO ₂ → CoSO ₄ + H ₂	(1100 °C) (200 °C)
200	Fe ₃ O ₄ /FeCl ₂	Fe, Cl	2	1500	Fe ₃ O ₄ + 6HCl → 3FeCl ₂ + 3H ₂ O + 1/2O ₂ 3FeCl ₂ + 4H ₂ O → Fe ₃ O ₄ + 6HCl + H ₂	(1500 °C) (700 °C)
14	FeSO ₄ ユーリッヒ	Fe, S	3	1800	3FeO(s) + H ₂ O → Fe ₃ O ₄ (s) + H ₂ Fe ₃ O ₄ (s) + FeSO ₄ → 3Fe ₂ O ₃ (s) + 3SO ₂ (g) + 1/2O ₂ 3Fe ₂ O ₃ (s) + 3SO ₂ → 3FeSO ₄ + 3FeO(s)	(200 °C) (800 °C) (1800 °C)
85	FeSO ₄	Fe, S	3	2300	3FeO(s) + H ₂ O → Fe ₃ O ₄ (s) + H ₂ Fe ₃ O ₄ (s) + 3SO ₂ (g) → 3FeSO ₄ + 1/2O ₂ FeSO ₄ → FeO + SO ₃	(200 °C) (300 °C) (2300 °C)
109	C7 IGT	Fe, S	3	1000	Fe ₂ O ₃ (s) + 2SO ₂ (g) + H ₂ O → 2FeSO ₄ (s) + H ₂ 2FeSO ₄ (s) → Fe ₂ O ₃ (s) + SO ₂ (g) + SO ₃ (g) SO ₃ (g) → SO ₂ (g) + 1/2O ₂ (g)	(125 °C) (700 °C) (1000 °C)
21	シェルフ プロセス	Cu, S	3	1750	6Cu(s) + 3H ₂ O → 3Cu ₂ O(s) + 3H ₂ Cu ₂ O(s) + 2SO ₂ + 3/2O ₂ → 2CuSO ₄ 2Cu ₂ O(s) + 2CuSO ₄ → 6Cu + 2SO ₂ + 3O ₂	(500 °C) (300 °C) (1750 °C)
87	CuSO ₄	Cu, S	3	1500	Cu ₂ O(s) + H ₂ O(g) → Cu(s) + Cu(OH) ₂ Cu(OH) ₂ + SO ₂ (g) → CuSO ₄ + H ₂ CuSO ₄ + Cu(s) → Cu ₂ O(s) + SO ₂ + 1/2O ₂	(1500 °C) (100 °C) (1500 °C)
110	LASL BaSO ₄	Ba, Mo, S	3	1300	SO ₂ + H ₂ O + BaMoO ₄ → BaSO ₃ + MoO ₃ + H ₂ O BaSO ₃ + H ₂ O → BaSO ₄ + H ₂ BaSO ₄ (s) + MoO ₃ (s) → BaMoO ₄ (s) + SO ₂ (g) + 1/2O ₂	(300 °C) (1300 °C)
4	マーク 9	Fe, Cl	3	900	3FeCl ₂ + 4H ₂ O → Fe ₃ O ₄ + 6HCl + H ₂ Fe ₃ O ₄ + 3/2Cl ₂ + 6HCl → 3FeCl ₃ + 3H ₂ O + 1/2O ₂ 3FeCl ₃ → 3FeCl ₂ + 3/2Cl ₂	(680 °C) (900 °C) (420 °C)
16	ユートラム 1972	Fe, Cl	3	1000	H ₂ O + Cl ₂ → 2HCl + 1/2O ₂ 2HCl + 2FeCl ₂ → 2FeCl ₃ + H ₂ 2FeCl ₃ → 2FeCl ₂ + Cl ₂	(1000 °C) (600 °C) (350 °C)
20	Cr, Cl ユーリッヒ	Cr, Cl	3	1600	2CrCl ₂ (s, T _f = 815 °C) + 2HCl → 2CrCl ₃ (s) + H ₂ 2CrCl ₃ (s, T _f = 1150 °C) → 2CrCl ₂ (s) + Cl ₂ H ₂ O + Cl ₂ → 2HCl + 1/2O ₂	(200 °C) (1600 °C) (1000 °C)
27	マーク 8	Mn, Cl	3	1000	6MnCl ₂ (l) + 8H ₂ O → 2Mn ₃ O ₄ + 12HCl + 2H ₂ 3Mn ₃ O ₄ (s) + 12HCl → 6MnCl ₂ (s) + 3MnO ₂ (s) + 6H ₂ O 3MnO ₂ (s) → Mn ₃ O ₄ (s) + O ₂	(700 °C) (100 °C) (1000 °C)
37	Ta フランク	Ta, Cl	3	2200	H ₂ O + Cl ₂ → 2HCl + 1/2O ₂ 2TaCl ₂ + 2HCl → 2TaCl ₃ + H ₂ 2TaCl ₃ → 2TaCl ₂ + Cl ₂	(1000 °C) (100 °C) (2200 °C)
78	マーク 3 ユートラム JRC イスラ (イタリヤ)	V, Cl	3	1000	Cl ₂ (g) + H ₂ O(g) → 2HCl(g) + 1/2O ₂ (g) 2VOCl ₂ (s) + 2HCl(g) → 2VOCl ₃ (g) + H ₂ (g) 2VOCl ₃ (g) → Cl ₂ (g) + 2VOCl ₂ (s)	(1000 °C) (170 °C) (200 °C)

10

20

30

40

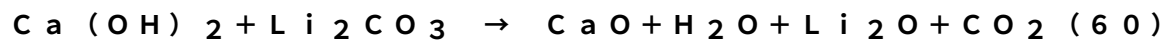
【表 4 - 2】

144	Bi, Cl	Bi, Cl	3	1700	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ $2BiCl_2 + 2HCl \rightarrow 2BiCl_3 + H_2$ $2BiCl_3(T_f = 233^\circ C, T_{eb} = 441^\circ C) \rightarrow 2BiCl_2 + Cl_2$	(1000 °C) (300 °C) (1700 °C)	10
146	Fe, Cl ユーリッヒ	Fe, Cl	3	1800	$3Fe(s) + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + 4H_2$ $Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ $3FeCl_2 + 3H_2 \rightarrow 3Fe(s) + 6HCl$	(700 °C) (1800 °C) (1300 °C)	
147	Fe, Cl ケルン	Fe, Cl	3	1800	$3/2FeO(s) + 3/2Fe(s) + 2.5H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + 2.5H_2$ $Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ $3FeCl_2 + H_2O + 3/2H_2 \rightarrow 3/2FeO(s) + 3/2Fe(s) + 6HCl$	(1000 °C) (1800 °C) (700 °C)	
25	マーク 2	Mn, Na	3	900	$Mn_2O_3(s) + 4NaOH \rightarrow 2Na_2O \cdot MnO_2 + H_2O + H_2$ $2Na_2O \cdot MnO_2 + 2H_2O \rightarrow 4NaOH + 2MnO_2(s)$ $2MnO_2(s) \rightarrow Mn_2O_3(s) + 1/2O_2$	(900 °C) (100 °C) (600 °C)	
28	Li, Mn LASL	Mn, Li	3	1000	$6LiOH + 2Mn_3O_4 \rightarrow 3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 2H_2O + H_2$ $3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 6LiOH + 3Mn_2O_3$ $3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + 1/2O_2$	(700 °C) (80 °C) (1000 °C)	
199	Mn PSI	Mn, Na	3	1500	$2MnO + 2NaOH \rightarrow 2NaMnO_2 + H_2$ $2NaMnO_2 + H_2O \rightarrow Mn_2O_3 + 2NaOH$ $Mn_2O_3(l) \rightarrow 2MnO(s) + 1/2O_2$	(800 °C) (100 °C) (1500 °C)	
178	Fe, M ORNL	Fe, (M = Li, K, Na)	3	1300	$2Fe_3O_4 + 6MOH \rightarrow 3MFeO_2 + 2H_2O + H_2$ $3MFeO_2 + 3H_2O \rightarrow 6MOH + 3Fe_2O_3$ $3Fe_2O_3(s) \rightarrow 2Fe_3O_4(s) + 1/2O_2$	(500 °C) (100 °C) (1300 °C)	
33	Sn スリット	Sn	3	1700	$Sn(l) + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 2H_2$ $2SnO_2(s) \rightarrow 2SnO + O_2$ $2SnO(s) \rightarrow SnO_2 + Sn(l)$	(400 °C) (1700 °C) (700 °C)	
177	Co ORNL	Co, Ba	3	1000	$CoO(s) + xBa(OH)_2(s) \rightarrow Ba_xCoO_y(s) + (y-x-1)H_2 + (1+2x-y)H_2O$ $Ba_xCoO_y(s) + xH_2O \rightarrow xBa(OH)_2(s) + CoO(y-x)(s)$ $CoO(y-x)(s) \rightarrow CoO(s) + (y-x-1)/2O_2$	(850 °C) (100 °C) (1000 °C)	20
183	Ce, Ti ORNL	Ce, Ti, Na	3	1300	$2CeO_2(s) + 3TiO_2(s) \rightarrow Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 1/2O_2$ $Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 6NaOH \rightarrow 2CeO_2 + 3Na_2TiO_3 + 2H_2O + H_2$ $CeO_2 + 3NaTiO_3 + 3H_2O \rightarrow CeO_2(s) + 3TiO_2(s) + 6NaOH$	(800-1300 °C) (800 °C) (150 °C)	
269	Ce, Cl GA	Ce, Cl	3	1000	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ $2CeO_2 + 8HCl \rightarrow 2CeCl_3 + 4H_2O + Cl_2$ $2CeCl_3 + 4H_2O \rightarrow 2CeO_2 + 6HCl + H_2$	(1000 °C) (250 °C) (800 °C)	

【0460】

H₂O 触媒を形成する反応物は、O 種といった O 供給源および H 供給源を含み得る。O 種の供給供給源は、O₂、空気、および O 含有化合物または O 含有化合物の混合物の少なくとも 1 つを含み得る。酸素含有化合物は、酸化剤を含み得る。酸素含有化合物は、酸化物、オキシ水酸化物、水酸化物、過酸化物、および超酸化物のうちの少なくとも 1 つを含み得る。適切な金属酸化物の例は、Li₂O、Na₂O、K₂O といったアルカリ酸化物、MgO、CaO、SrO、BaO といったアルカリ土類酸化物、NiO、Ni₂O₃、FeO、Fe₂O₃、CoO といった遷移酸化物、ならびに内部遷移および希土類金属酸化物、ならびにその他の金属および半金属の金属酸化物、例えば Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、および Te の金属酸化物、ならびにこれらおよび他の元素の酸素を含む混合物である。酸化物は、酸化物陰イオン、例えば、金属酸化物陰イオンといった本開示のもの等、および、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、希土類金属といった陽イオン、および、Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、Te といった他の金属および半金属、例えば、MM'₂xO_{3x+1} または MM'₂xO₄ (M = アルカリ土類、M' = Fe または Ni といった遷移金属または Mn、x = 整数)、および M₂M'₂xO_{3x+1} または M₂M'₂xO₄ (M = アルカリ、M' = Fe または Ni といった遷移金属または Mn、x = 整数) を、含み得る。適切な例示的な金属オキシ水酸化物は、AlO(OH)、ScO(OH)、YO(OH)、VO(OH)、CrO(OH)、MnO(OH) (α-MnO(OH) グラウタイトおよび γ-MnO(OH) マンガナイト)、FeO(OH)、CoO(OH)、NiO(OH)、RhO(OH)、GaO(OH)、InO(OH)、Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O(OH)、ならびに Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O(OH) である。適切な例示的な水

酸化物は、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、および希土類金属といった金属の水酸化、ならびに、Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、Te、およびそれらの混合物以外の他の金属および半金属である。適切な複合イオン水酸化物は、 $\text{Li}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiCr}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaCr}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 、及び $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ である。さらなる例示的な適切な水酸化物は、 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 、他の遷移金属水酸化物、 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 、および $\text{Pb}(\text{OH})$ からの少なくとも1つである。適切な過酸化物の例は、 H_2O_2 、有機化合物のもの、および M_2O_2 （ここで、Mは Li_2O_2 、 Na_2O_2 、 K_2O_2 、といったアルカリ金属）のような金属のもの、他のイオン性過酸化物、例えば、Ca、Sr、またはBa過酸化物といったもの、他の電気陽性金属の過酸化物、例えばランタニドのもの、ならびに、共有結合金属過酸化物、例えばZn、Cd、およびHgのものである。適切な超酸化物の例は、金属 MO_2 （ここで、Mは NaO_2 、 KO_2 、 RbO_2 、および CsO_2 といったアルカリ金属）、およびアルカリ土類金属超酸化物である。一実施形態では、固体燃料は、アルカリ過酸化物および水素化物、炭化水素といった水素供給源、または BH_3NH_3 といった水素貯蔵材料を含む。反応混合物は、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、希土類金属といった水酸化物、および、Al、Ga、In、Sn、Pb、および水酸化物を形成する他の元素、ならびに、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、希土類金属、およびAl、Ga、In、Sn、Pbを含むもののような炭酸塩といった、オキシアニオンを少なくとも1つ含む化合物のような酸素供給源、さらに、本開示のその他のものを、含み得る。酸素を含む他の適切な化合物は、アルミネート、タングステン酸塩、ジルコン酸塩、チタン酸塩、硫酸塩、リン酸塩、炭酸塩、硝酸塩、クロム酸塩、重クロム酸塩、およびマンガン酸塩、酸化物、オキシ水酸化物、過酸化物、超酸化物、ケイ酸塩、チタン酸塩、タングステン酸塩、および本開示の他のものからなる群の少なくとも1つのオキシアニオン化合物である。水酸化物と炭酸塩との典型的な反応は、



によって与えられる。

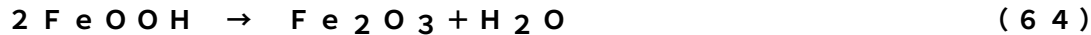
【0461】

他の実施形態では、酸素供給源はガス状であるか、または NO_2 、 NO 、 N_2O 、 CO_2 、 P_2O_3 、 P_2O_5 、および SO_2 といったガスを容易に形成する。C、N、 NH_3 、P、またはSといった H_2O 触媒の形成からの還元された酸化物生成物は、Mills先行出願に示されるように、酸素またはその供給源との燃焼によって再び酸化物に変換される。セルは、加熱用途に使用され得る余剰熱を生成するか、ランキン（Rankine）システムまたはブレイトン（Brayton）システムといった手段によって熱を電気に変換され得る。あるいは、セルは、分子ハイドリノおよびハイドリノ水素化物イオンおよび対応する化合物といった低エネルギー水素種を合成するべく使用されてもよい。

【0462】

一実施形態では、低エネルギー水素種および化合物の生成ならびにエネルギーの発生の中の少なくとも1つのためのハイドリノを形成する反応混合物は、原子状水素の供給源と、HおよびOの少なくとも1つを含む触媒の供給源、例えば、 H_2O 触媒といった本開示のものを含む。反応混合物は、 H_2SO_3 、 H_2SO_4 、 H_2CO_3 、 HNO_2 、 HNO_3 、 HClO_4 、 H_3PO_3 、および H_3PO_4 といった酸あるいは酸無水物または無水酸といった酸供給源を、さらに含み得る。後者は、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 、 NO_2 、 N_2O_3 、 N_2O_5 、 Cl_2O_7 、 PO_2 、 P_2O_3 、および P_2O_5 からなる群の少なくとも1つを含み得る。反応混合物は、塩基と塩基性無水物、例えば M_2O （M＝アルカリ）、 $\text{M}'\text{O}$ （ M' ＝アルカリ土類）、 ZnO または他の遷移金属酸化物、 CdO 、 CoO 、 SnO 、 AgO 、 HgO 、または Al_2O_3 とのうちの少なくとも1つを、含み得る。さらなる例示的な無水物は、 H_2O に対して安定な金属、例えば、Cu、Ni、Pb、S

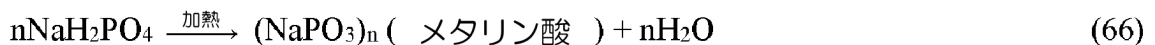
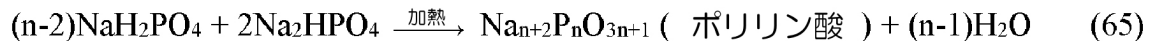
b、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn、W、Al、V、Zr、Ti、Mn、Zn、Cr、およびInを含む。無水物はアルカリ金属またはアルカリ土類金属の酸化物であってもよく、水和化合物は水酸化物を含んでもよい。反応混合物は、FeOOH、NiOOH、またはCoOOHといったオキシ水酸化物を含んでもよい。反応混合物は、H₂OとH₂Oの供給源とのうちの少なくとも1つを含み得る。H₂Oは、原子状水素の存在下での水和および脱水の反応によって、可逆的に形成され得る。H₂O触媒を形成する典型的な反応は、以下のとおりである。



【0463】

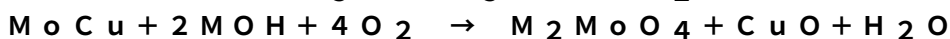
一実施形態では、H₂O触媒は、少なくとも1つの化合物の脱水によって形成され、該化合物は、リン酸塩、リン酸水素塩といったリン酸塩、陽イオンのものといったリン酸二水素、例えば、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、希土類金属といった金属を含む陽イオン、および、他の金属および半金属のもの、例えば、Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、Te、および縮合リン酸塩を形成する混合物、例えば、[P_nO_{3n+1}]⁽ⁿ⁺²⁾⁻といったポリリン酸塩、[(PO₃)_n]ⁿ⁻といった長鎖メタリン酸塩、[(PO₃)_n]ⁿ⁻ (nは3以上)といった環状メタリン酸塩、およびP₄O₁₀といった超リン酸塩の少なくとも1つを、含む。典型的な反応は以下のとおりである。

【数44】



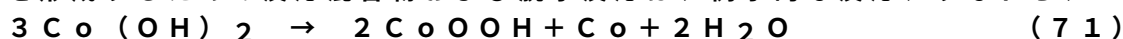
【0464】

脱水反応の反応物は、Al(OH)₃およびAl₂O₃の少なくとも1つを含み得るR-Niであってもよい。反応物は、アルカリ金属といった本開示のものといった金属M、金属水素化物MH、アルカリ水酸化物といった本開示のものといった金属水酸化物、ならびにH₂といった水素供給源および固有水素を、さらに含み得る。典型的な反応は以下のとおりである。



【0465】

反応生成物は合金を含んでもよい。R-Niは、再水和によって再生し得る。H₂O触媒を形成するための反応混合物および脱水反応は、例示的な反応、すなわち、



に示されるような本開示のものといったオキシ水酸化物を含み、かつ伴うものであってもよい。

【0466】

原子状水素は、解離によってH₂ガスから生成され得る。水素解離器は、本開示のもの1つ、例えば、R-Niまたは支持体上の貴金属もしくは遷移金属、例えば、炭素またはAl₂O₃。上のNiまたはPtまたはPdであり得る。あるいは、原子状水素は、本開示のものといった膜を透過する水素であってもよい。一実施形態では、セルは、H₂Oの拡散を防ぎながらH₂を選択的に拡散させるセラミック膜といった膜を備える。一実施形

10

20

30

40

50

態では、 H_2 および原子状水素の少なくとも1つは、 H_2O を含む水性または熔融電解質といった水素供給源を含む電解質の電気分解によって、セルに供給される。一実施形態では、 H_2O 触媒は、酸または塩基の無水物への脱水によって可逆的に形成される。一実施形態では、触媒 H_2O およびハイドリノを形成する反応は、セルのpHまたは活性、温度、および圧力の少なくとも1つを変更することによって伝播され、温度を変えることで圧力が変化し得る。酸、塩基、または無水物といった化学種の活性は、当業者に公知のように、塩を添加することによって変更され得る。一実施形態では、反応混合物は、ハイドリノを形成するために、 H_2 または酸無水物ガスといったガスを吸収するか、反応への供給源となり得る炭素といった材料を含んでもよい。反応物は、任意の所望の濃度および比であってよい。反応混合物は熔融しているか、水性スラリーを含んでもよい。

10

【0467】

別の実施形態において、 H_2O 触媒の供給源は、ハロゲン化水素酸、硫酸、硝酸、および亜硝酸の少なくとも1つと塩基との間の反応といった酸と塩基との間の反応である。他の適切な酸反応物は、 H_2SO_4 、 HCl 、 HX (X =ハライド)、 H_3PO_4 、 $HClO_4$ 、 HNO_3 、 HNO 、 HNO_2 、 H_2S 、 H_2CO_3 、 H_2MoO_4 、 $HNbO_3$ 、 $H_2B_4O_7$ (M =四ほう酸塩)、 HBO_2 、 H_2WO_4 、 H_2CrO_4 、 $H_2Cr_2O_7$ 、 H_2TiO_3 、 $HZrO_3$ 、 $MAIO_2$ 、 HMN_2O_4 、 HIO_3 、 HIO_4 、 $HClO_4$ 、またはギ酸もしくは酢酸といった有機酸の水溶液である。適切な例示的な塩基は、水酸化物、オキシ水酸化物、または酸化物であり、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、または希土類金属、あるいは Al 、 Ga 、 In 、 Sn 、または Pb が含まれる。

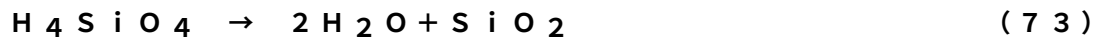
20

【0468】

一実施形態では、反応物は、それぞれ塩基または酸無水物と反応して H_2O 触媒を形成する酸または塩基と、それぞれ、塩基の陽イオンと酸無水物の陰イオンまたは塩基性無水物の陽イオンと酸の陰イオンの化合物とを、含む。酸無水物 SiO_2 と塩基性 $NaOH$ との典型的な反応は、



であり、ここで、対応する酸の脱水反応は、



である。

【0469】

他の適切な例示的な無水物は、元素、金属、合金、または混合物、例えば、 Mo 、 Ti 、 Zr 、 Si 、 Al 、 Ni 、 Fe 、 Ta 、 V 、 B 、 Nb 、 Se 、 Te 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Hf 、 Co 、 Mg からなる群からの1つを、含み得る。対応する酸化物は、 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 、および MgO の少なくとも1つを含み得る。例示的な実施形態では、塩基は、水酸化物、例えば、 Li_2O といった M_2O といった対応する塩基性酸化物を形成し得る $LiOH$ といった MOH (M =アルカリ)といったアルカリ水酸化物と、 H_2O とを、含む。塩基性酸化物は無水物酸化物と反応して生成物酸化物を形成し得る。 H_2O の放出を伴う $LiOH$ と無水酸化物との典型的な反応において、生成物酸化物化合物は、 Li_2MoO_3 または 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 、 $LiCoO_2$ 、および MgO を含み得る。他の適切な例示的な酸化物は、 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 、および P_2O_5 からなる群の少なくと

30

40

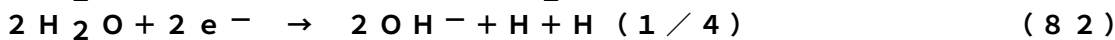
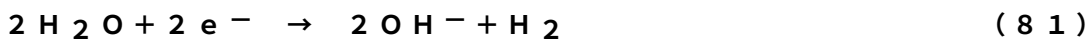
50

も1つと当業者に公知の他の同様の酸化物である。別の例は、式(91)によって与えられる。金属酸化物の適切な反応は、



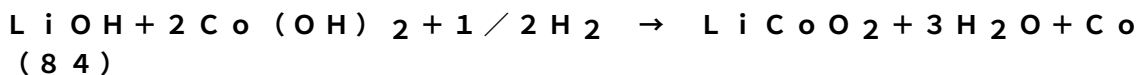
である。

Fe、Cr、Tiといった他の遷移金属、内部遷移、および希土類金属、およびAl、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Biといった他の金属または半金属、Se、Teは、Niの代わりになり得るもので、また、Li、Na、Rb、Csといった他のアルカリ金属は、Kの代わりになり得る。一実施形態では、酸化物は、Moを含み得るもので、ここで、H₂Oを形成する反応中に、新生H₂O触媒およびHは、さらに反応してハイドリノを形成し得る。例示的な固体燃料反応と考えられる酸化還元経路とを以下に示す。



【0470】

反応は、水素ガスといった水素源およびPd/Al₂O₃といった解離剤をさらに含む得る。水素は、プロチウム、重水素、またはトリチウムのいずれか、またはそれらの組み合わせであってもよい。H₂O触媒を形成する反応は、水を形成する2つの水酸化物の反応を含み得る。水酸化物の陽イオンは、異なる酸化状態、例えば、アルカリ金属水酸化物と遷移金属またはアルカリ土類水酸化物との反応のものを、有し得る。反応混合物および反応は、例示的な反応、すなわち、



に示されるように、供給源からのH₂をさらに含み、かつ伴うものであってもよい。

【0471】

反応混合物および反応は、例示的な反応、すなわち、



で示されるように、アルカリまたはアルカリ土類金属といった金属Mをさらに含み、かつ伴うものであってもよい。

【0472】

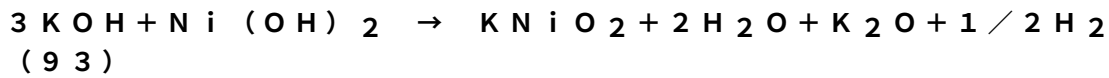
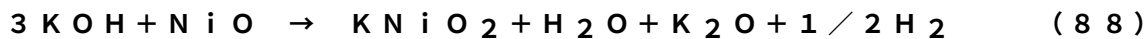
一実施形態において、反応混合物は、Hの供給源および任意選択で別のHの供給源として機能し得る金属酸化物および水酸化物を含むもので、ここで、金属酸化物のFeのような金属は、反応中に酸化還元反応を受けてH₂Oを形成し、Hと反応してハイドリノを形成する触媒として機能するように、複数の酸化状態を有し得る。一例は、触媒を形成する反応中にFe²⁺がFe³⁺に酸化され得るFeOである。典型的な反応は以下のとおりである。



【0473】

一実施形態では、金属酸化物、水酸化物、またはオキシ水酸化物といった少なくとも1つの反応物が酸化剤として機能し、ここで、Fe、Ni、Mo、またはMnといった金属原子は、他の可能な酸化状態よりも高い酸化状態にあり得る。触媒とハイドリノとを形成する反応により、原子が少なくとも1つの低い酸化状態に還元され得る。金属酸化物、水酸化物、およびオキシ水酸化物がH₂O触媒を形成する典型的な反応は、以下のとおりであ

る。



【0474】

Ni、Fe、Cr、およびTiといった他の遷移金属、内部遷移、および希土類金属、さらには他の金属または半金属、例えばAl、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、およびTeは、NiまたはFeの代わりに使用可されてもよく、また、Li、Na、K、Rb、およびCsといった他のアルカリ金属は、KまたはNaの代わりに使用されてもよい。一実施形態では、反応混合物は、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、およびInといったH₂Oに対して安定な金属の酸化物および水酸化物のうちの少なくとも1つを含む。さらに、反応混合物は、H₂ガスといった水素源および任意選択で担体上の貴金属といった解離剤を含む。一実施形態では、固体燃料またはエネルギー物質は、FeBr₂といった臭化物のような遷移金属ハロゲン化物のうちの少なくとも1つといった金属ハロゲン化物のうちの少なくとも1つと、オキシ水酸化物、水酸化物、または酸化物およびH₂Oを形成する金属との混合物を含む。一実施形態では、固体燃料またはエネルギー材料は、金属酸化物、水酸化物、およびNi₂O₃およびH₂Oといった遷移金属酸化物の少なくとも1つのようなオキシ水酸化物の少なくとも1つの混合物を含む。

【0475】

塩基性無水物NiOと酸HClとの典型的な反応は、



であり、ここで、対応する塩基の脱水反応は、



である。反応物は、ルイス酸または塩基およびブレンステッド・ローリー酸または塩基のうちの少なくとも1つを含み得る。反応混合物および反応は、酸素を含む化合物を含み、かつ伴うものであってもよく、酸は酸素を含む化合物と反応して、典型的な反応、すなわち、



(X=ハライド)で示されるように水を形成する。PがSで置き換えられたもの等、POX₃と同様の化合物が適する。他の適切な例示的な無水物は、酸に可溶な元素、金属、合金、または混合物の酸化物、例えば水酸化物、オキシ水酸化物、または、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、または希土類金属を含む酸化物、またはAl、Ga、In、Sn、またはPb、例えば、Mo、Ti、Zr、Si、Al、Ni、Fe、Ta、V、B、Nb、Se、Te、W、Cr、Mn、Hf、Co、Mgからなる群の1つを、含み得る。対応する酸化物は、MoO₂、TiO₂、ZrO₂、SiO₂、Al₂O₃、NiO、FeOまたはFe₂O₃、TaO₂、Ta₂O₅、VO、VO₂、V₂O₃、V₂O₅、B₂O₃、NbO、NbO₂、Nb₂O₅、SeO₂、SeO₃、TeO₂、TeO₃、WO₂、WO₃、Cr₃O₄、Cr₂O₃、CrO₂、CrO₃、MnO、Mn₃O₄、Mn₂O₃、MnO₂、Mn₂O₇、HfO₂、Co₂O₃、CoO、Co₃O₄、Co

10

20

30

40

50

ZnO 、および dMgO であり得る。他の適切な例示的な酸化物は、 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 、および In の群のものの酸化物である。例示的な実施形態では、酸はハロゲン化水素酸を含み、生成物は H_2O および酸化物のハロゲン化金属である。反応混合物は、 H_2 ガスといった水素源および Pt/C といった解離剤をさらに含み、 H および H_2O 触媒が反応してハイドリノを形成する。

【0476】

一実施形態では、固体燃料は、透過膜または H_2 ガスなどの H_2 源、および Pt/C などの解離剤、および H_2O に還元される酸化物または水酸化物を含む H_2O 触媒源を含む。酸化物または水酸化物の金属は、 H の供給源として機能する金属水素化物を形成し得る。

10

LiOH または Li_2O などの水酸化アルカリと酸化物の典型的な反応は、



である。

反応混合物は、 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 、および In といった H_2O への水素還元を受ける金属の酸化物または水酸化物、および H_2 ガスのような水素源および Pt/C のような解離剤を含み得る。

20

【0477】

別の実施形態では、反応混合物は、 H_2 ガスのような H_2 供給源、および、 Pt/CT のような解離剤、さらには、分解して H_2O 触媒と O_2 といった酸素を含む生成物を生成する H_2O_2 といった過酸化物化合物を含む。一部の H_2 と O_2 といった分解生成物が反応して、 H_2O 触媒を形成し得る。

【0478】

一実施形態では、触媒としての H_2O を生成する反応は、糖のような多価アルコールといったアルコール類からアルデヒド類への有機脱水反応及び H_2O といった有機脱水反応を含む。一実施形態では、脱水反応は、末端アルコールからの H_2O の放出を伴い、アルデヒドを形成する。末端アルコールは、触媒として機能し得る H_2O を放出する糖またはその誘導体を含み得る。適切なアルコールの例は、メソエリスリトール、ガラクトールまたはズルシトール、およびポリビニルアルコール (PVA) である。例示的な反応混合物は、糖 + 水素解離剤、例えば、 $\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2$ を含む。あるいは、反応は、少なくとも1つの水和水を有するもの等の金属塩の脱水を含む。一実施形態では、脱水は、アクアイオン等の水和水および $\text{BaI}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ および $\text{EuBr}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 等の塩水和水からの触媒として機能する H_2O の喪失を含む。

30

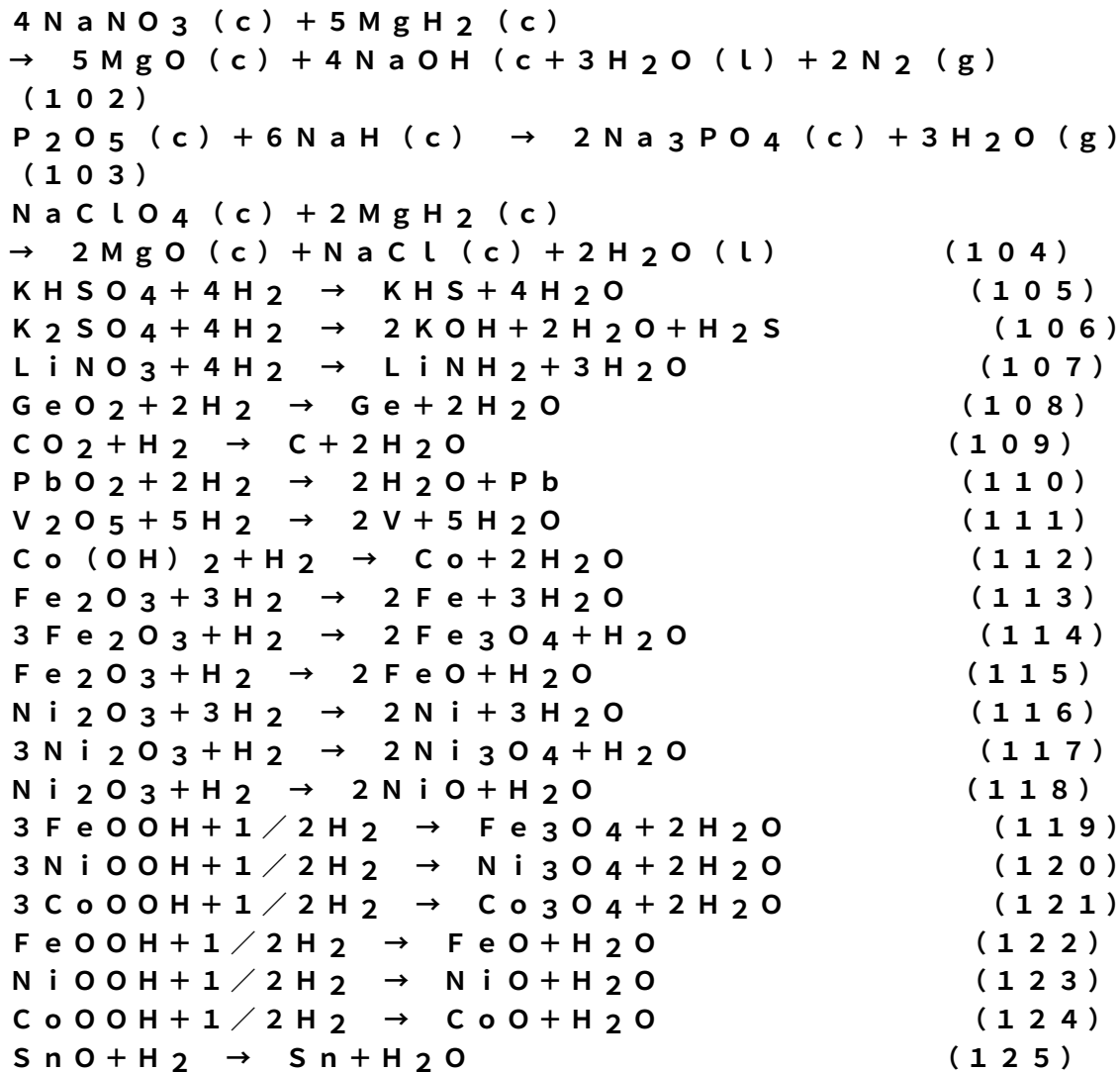
【0479】

一実施形態では、 H_2O 触媒を形成する反応は、 CO といった酸素を含む化合物、 MNO_3 (M =アルカリ) といったオキシアニオン、 NiO 、 Ni_2O_3 、 Fe_2O_3 、または SnO といった金属酸化物、 $\text{Co}(\text{OH})_2$ といった水酸化物、 FeOOH 、 CoOOH 、 NiOOH といったオキシ水酸化物、および、化合物、オキシアニオン、酸化物、水酸化物、オキシ水酸化物、過酸化物、超酸化物、さらには、酸素を含む他の組成物、例えば、 H_2O に還元可能な水素である本開示のものを含む。酸素またはオキシアニオンを含む例示的な化合物は、 SOCl_2 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 、 NaMnO_4 、 POBr_3 、 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 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 、および KHSO_4 である。水素還元のための水素源は、 H_2 ガスおよび本開示のものといった金属水素化物のような水素化物のうちの少なくとも1つであってもよい。反応混合物は、酸素を含む化合物またはイオンを形成し得る還元剤をさらに含み得る。オキシアニオンの陽イオンは、ハロゲン化物、他のカルコゲンニド、リン化物、他のオキシアニオン、窒化物、シリサイド、ヒ化物、または本開示の他

40

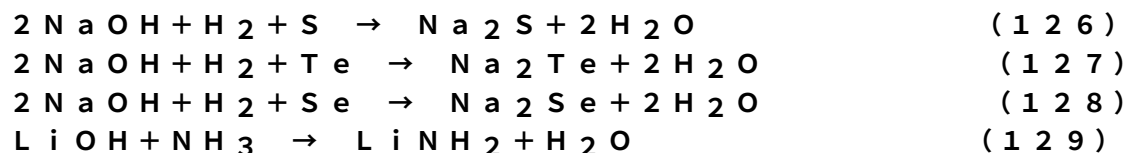
50

のアニオンといった別のアニオンを含む生成物化合物を形成し得る。典型的な反応は以下のとおりである。



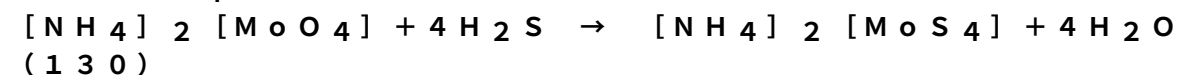
【0480】

反応混合物は、陰イオンまたは陰イオン供給源および酸素または酸素供給源、例えば酸素を含む化合物を含み得るもので、ここで、 H_2O 触媒を形成する反応は、酸素と反応して H_2O を形成する供給源からの任意選択の H_2 との陰イオン酸素交換反応を含む。例示的な反応は以下のとおりである。



【0481】

別の実施形態では、反応混合物は、カルコゲニド間の交換反応、例えば、OとSとを含む反応物間の交換反応を含む。四面体テトラチオモリブデン酸アンモニウムのような典型的なカルコゲナイド反応物は、 $([\text{MoS}_4]^{2-})$ 陰イオンを含む。新生 H_2O 触媒および任意選択で H_2OH を形成する例示的な反応には、アンモニアの存在下でのモリブデン酸塩 $[\text{MoO}_4]^{2-}$ と硫化水素との反応、すなわち、



が含まれる。

【0482】

一実施形態では、反応混合物は、水素供給源、酸素を含む化合物、および反応混合物の少

10

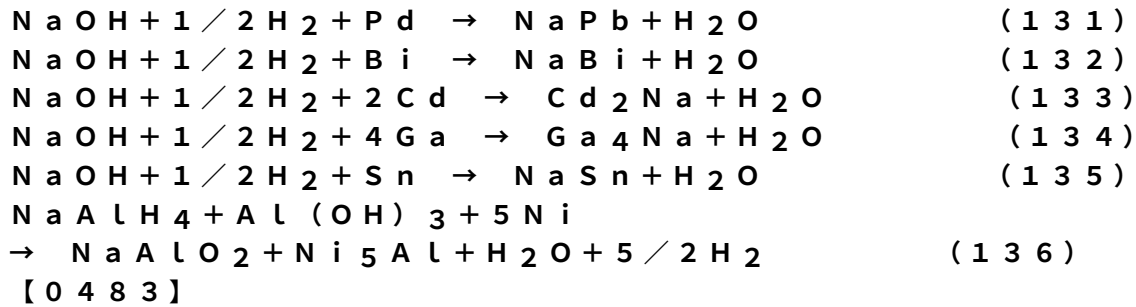
20

30

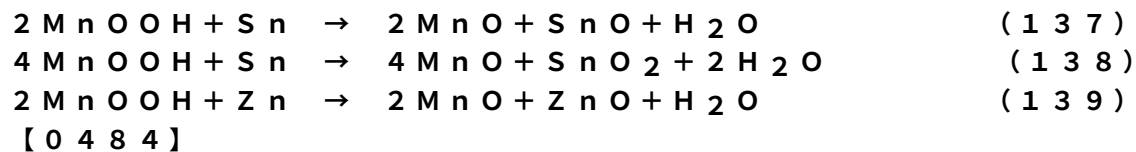
40

50

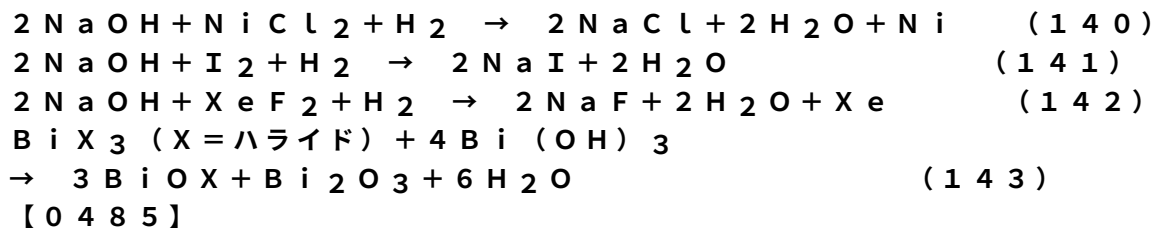
なくとも1つの他の元素と合金を形成することができる少なくとも1つの元素を含む。H₂O触媒を形成する反応は、酸素と酸素化合物の陽イオンと合金を形成することができる元素とを含む化合物の酸素の交換反応を、含み得るもので、酸素が供給源からの水素と反応してH₂Oを形成する。例示的な反応は以下のとおりである。



一実施形態において、反応混合物は、オキシ水酸化物といった酸素を含む化合物と、酸化物を形成する金属といった還元剤とを含む。H₂O触媒を形成する反応は、オキシ水酸化物と金属との反応により金属酸化物およびH₂Oを形成することを含み得る。典型的な反応は、以下のとおりである。



一実施形態において、反応混合物は、水酸化物といった酸素を含む化合物、水素供給源、およびハロゲン化物または別の元素といった異なる陰イオンを含む少なくとも1つの他の化合物を含む。H₂O触媒を形成する反応は、水酸化物と他の化合物または元素との反応を含み得るもので、ここで、陰イオンまたは元素が水酸化物と交換されて、陰イオンまたは元素の別の化合物になり、さらに、水酸化物とH₂とが反応してH₂Oが生成される。陰イオンはハロゲン化物を含み得る。典型的な反応は、以下のとおりである。



水酸化物およびハロゲン化物化合物は、反応がH₂Oを形成するようにして選択可能であり、別のハロゲン化物は熱的に可逆的である。一実施形態では、一般的な交換反応は、



であり、ここで、例示的な化合物M_xCl_yは、AlCl₃、BeCl₂、HfCl₄、KAgCl₂、MnCl₂、NaAlCl₄、ScCl₃、TiCl₂、TiCl₃、UCl₃、UCl₄、ZrCl₄、EuCl₃、GdCl₃、MgCl₂、NdCl₃、およびYCl₃である。式(171)の反応は、高温、例えば約100℃～2000℃の範囲内では、エンタルピーおよび自由エネルギーの少なくとも1つが約0kJであり、かつ該反応が可逆的である。可逆温度は、各反応の対応する熱力学的パラメータから計算される。典型的な温度範囲は、NaCl-ScCl₃が約800K～900K、NaCl-TiCl₂が約300K～400K、NaCl-UCl₃が約600K～800K、NaCl-UCl₄が約250K～300K、NaCl-ZrCl₄が約250K～300K、NaCl-MgCl₂が約900K～1300K、NaCl-EuCl₃が約900K～1000K、NaCl-NdCl₃が約>1000K、およびNaCl-YCl₃が約>1000Kである。

【0486】

反応混合物は、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、希土類金属酸化物といった金

10

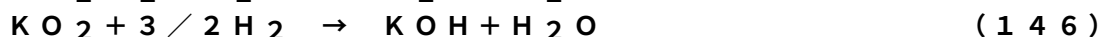
20

30

40

50

属酸化物といった酸化物、および、Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se、Teといった他の金属および半金属のもの、 M_2O_2 （Mはアルカリ金属）は、 Li_2O_2 、 Na_2O_2 、および K_2O_2 といった過酸化物、および、 MO_2 （Mはアルカリ金属）は、 NaO_2 、 KO_2 、 RbO_2 、 CsO_2 といった超酸化物、および、アルカリ土類金属の超酸化物、さらに、水素供給源を含む。イオン性過酸化物は、Ca、Sr、またはBaのものをさらに含んでもよい。 H_2O 触媒を形成する反応は、 H_2O を形成するための酸化物、過酸化物、またはスーパーオキシドの水素還元を含み得る。典型的な反応は、以下のとおりである。



【0487】

一実施形態において、反応混合物は水素供給源、例えば、 H_2 と、水素化物、例えば、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、および希土類金属のうちの少なくとも1つの水素化物と、および本開示のもの、および金属アミドといった可燃性水素を含む水素供給源または他の化合物の少なくとも1つの水素供給源と、 O_2 のような酸素供給源を含む。 H_2O 触媒を形成する反応は、 H_2 、水素化物、または金属アミドといった水素化合物を酸化して H_2O を形成することを含み得る。例示的な反応は、以下のとおりである。



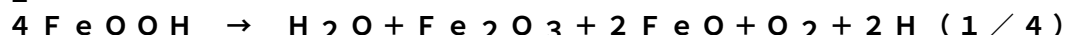
【0488】

一実施形態では、反応混合物は、水素源および酸素源を含む。 H_2O 触媒を形成する反応は、 H_2O を形成するための水素源および酸素源の少なくとも1つの分解を含み得る。典型的な反応は、以下のとおりである。



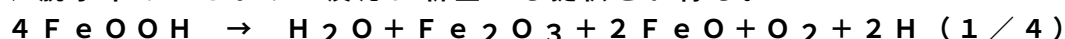
【0489】

本明細書に開示された反応混合物は、さらに、ハイドリノを形成するための水素の供給源を含む。この供給源は、水素解離剤および H_2 ガスといった原子状水素供給源、または本開示の解離剤および金属水素化物といった金属水素化物であってもよい。原子状水素を提供する水素供給源は、水酸化物またはオキシ水酸化物といった水素を含む化合物であり得る。反応してハイドリノを形成するHは、1つまたは複数の反応物質の反応によって形成された新生Hであり得るもので、少なくとも1つは、水酸化物と酸化物の反応といった水素源を含む。この反応は、 H_2O 触媒を形成することもある。酸化物および水酸化物は、同じ化合物を含んでもよい。例えば、 $FeOOH$ といったオキシ水酸化物は、脱水して H_2O 触媒を提供し、脱水中のハイドリノ反応、すなわち、



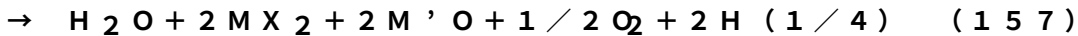
(155)

に新生Hも提供し得るもので、ここで、反応中に形成された新生Hが反応してハイドリノになる。他の典型的な反応は、水酸化ナトリウムとオキシ水酸化物または酸化物、例えば $NaOH + FeOOH$ または Fe_2O_3 との反応であり、 $NaFeO_2 + H_2O$ といったアルカリ金属酸化物を形成するもので、ここで、反応中に生成された新生Hは、 H_2O が触媒として機能するハイドリノを形成し得る。酸化物および水酸化物は、同じ化合物を含み得る。例えば、 $FeOOH$ といったオキシ水酸化物は、脱水して H_2O 触媒を提供し、脱水中のハイドリノ反応に新生Hも提供され得る。

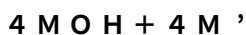


(156)

反応中に形成された新生Hが反応してハイドリノになる。他の典型的な反応は、水酸化ナトリウムとオキシ水酸化物、または $\text{NaOH} + \text{FeOOH}$ または Fe_2O_3 といった酸化物との反応であり、 $\text{NaFeO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ といったアルカリ金属酸化物を形成し、反応中に形成される新生Hは、 H_2O が触媒として機能するハイドリノを形成し得る。 H_2O と酸化物イオンとを形成する際に、水酸化物イオンの還元および酸化の両方がなされる。酸化物イオンは H_2O と反応して OH^- を形成し得る。同じ経路は、水酸化物-ハロゲン化物交換反応、例えば以下のような反応によって、得られ得る。



ここで、MおよびM'金属の例は、それぞれアルカリ土類金属および遷移金属、例えば、 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{FeBr}_2$ 、 $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{CuBr}_2$ 、または $\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{CuBr}_2$ である。一実施形態では、固体燃料は、少なくとも1つの金属がFeである金属水酸化物および金属ハロゲン化物を含み得る。反応体を再生するべく、 H_2O および H_2 の少なくとも1つが添加され得る。一実施形態では、MおよびM'は、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、希土類金属、Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、13、14、15、および16族元素、ならびに本開示のものといった水酸化物またはハロゲン化物の他の陽イオンからなる群から選択され得る。HOH触媒、新生H、およびハイドリノの少なくとも1つを形成する典型的な反応は、



である。

【0490】

一実施形態では、反応混合物は、本開示のものといった水酸化物およびハロゲン化物化合物の少なくとも1つを含む。一実施形態では、ハロゲン化物は、新生HOH触媒およびHのうちの少なくとも1つの形成および維持の少なくとも1つを促進する働きをなし得る。一実施形態では、この混合物は、反応混合物の融点を下げる作用をし得る。

【0491】

酸塩基反応は、 H_2O 触媒への別のアプローチである。例示的なハロゲン化物および水酸化物の混合物は、Bi、Cd、Cu、Co、Mo、およびCdのもの、およびCu、Ni、Pb、Sb、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn、W、Znからなる群の低い水反応性を有する金属の水酸化物およびハロゲン化物の混合物である。一実施形態において、反応混合物は、Hおよび新生 H_2O のような触媒とのうちの少なくとも1つの供給源として機能し得る H_2O をさらに含む。水は、反応中に分解またはさもなければ反応する水和物の形態であり得る。

【0492】

一実施形態では、固体燃料は、 H_2O と、新生Hおよび新生 H_2O を形成する無機化合物との反応混合物を含む。無機化合物は、 H_2O と反応する金属ハロゲン化物のようなハロゲン化物を含み得る。反応生成物は、水酸化物、オキシ水酸化物、酸化物、オキシハロゲン化物、ヒドロキシハロゲン化物、および水和物のうちの少なくとも1つであり得る。他の生成物は、酸素と XO^- 、 XO_2^- 、 XO_3^- 、および XO_4^- （X=ハロゲン）といったハロゲンを含む陰イオンを含み得る。生成物は、還元された陽イオンおよびハロゲンガスの少なくとも一方であってもよい。ハロゲン化物は、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、希土類金属、およびAl、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge、B、およびハロゲン化物を形成するその他の元素であり得る。金属または元素はさらに、水酸化物、オキシ水酸化物、酸化物、オキシハロゲン化物、ヒドロキシハロゲン化物、水和物の少なくとも1つを形成するもの、ならびに、酸素および XO^- 、 XO_2^- 、 XO_3^- 、および XO_4^- （X=ハロゲン）といったハロゲンを含む陰イオンを有する化合物を形成するものであってもよ

10

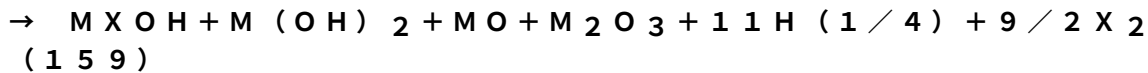
20

30

40

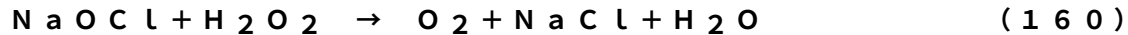
50

い。適切な例示的な金属および元素は、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、および希土類金属、ならびにAl、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge、およびBのうちの、少なくとも1つである。例示的な反応は、



であり、ここで、MはCuといった遷移金属といった金属であり、XはClのようなハロゲンである。

一実施形態では、固体燃料またはエネルギー物質は、一重項酸素源を含む。一重項酸素を生成する反応の例は、



である。

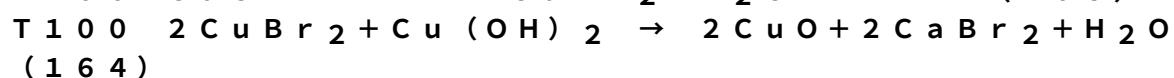
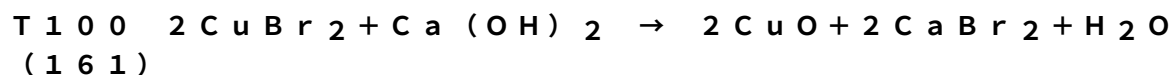
別の実施形態では、固体燃料またはエネルギー物質は、H₂O₂といったフェントン反応の供給源または試薬を含む。

【0493】

固体燃料および反応は、SunCell（登録商標）プラズマまたは熱出力および本明細書に開示される方法、さらにはMillsの先行出願によって、再生および可逆性のものの少なくとも1つであり得るもので、該先行出願は、例えば、水素触媒反応器（Hydrogen Catalyst Reactor）、PCT/US08/61455（2008年4月24日PCT出願）、不均一水素触媒反応器（Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor）、PCT/US09/052072（2009年7月29日PCT出願）、不均一水素触媒発電システム（Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System）、PCT/US10/27828（2010年3月18日PCT出願）、電気化学水素触媒発電システム（Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System）、PCT/US11/28889（2011年3月17日PCT出願）、H₂Oベースの電気化学的水素触媒発電システム（H₂O-Based Electrochemical Hydrogen-Catalyst Power System）、PCT/US12/31369（2012年3月30日出願）、およびCIHT発電システム（CIHT Power System）、PCT/US13/041938（13年5月21日出願）が挙げられ、それらの全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0494】

一実施形態において、Cu(OH)₂+CuBr₂といった水酸化物およびハロゲン化合物の混合物の再生反応は、H₂およびH₂Oのうちの少なくとも1つを添加することによって可能である。例示的な熱可逆固体燃料サイクルは、以下のとおりである。



【0495】

一実施形態では、ここで、KまたはLiといったアルカリ金属M、ならびにnH（n＝整数）、OH、O、2O、O₂、およびH₂Oの少なくとも1つは、触媒として機能するので、Hの供給源は、MHのような金属水素化物MHと、金属Mおよび金属水素化物MHの少なくとも1つとHの供給源との反応によるHの形成との、少なくとも1つである。1

10

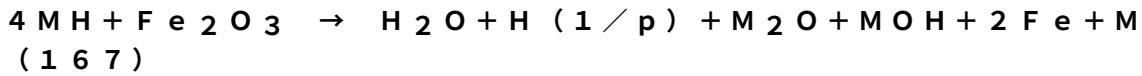
20

30

40

50

つの生成物は、酸化物または水酸化物のような酸化されたMであり得る。原子状水素および触媒の少なくとも一方を生成する反応は、電子移動反応または酸化還元反応であり得る。反応混合物は、 H_2 、あるいはSunCell（登録商標）の少なくとも1つであるような H_2 解離剤、およびNiスクリーンまたはR-Niといった本開示の解離剤、これらの解離器およびその他といった導電性支持体、ならびに炭素、炭化物、ホウ化物、および炭窒化物といった本開示の支持体、の少なくとも1つをさらに含み得る。MまたはMHの例示的な酸化反応は、



であり、ここで、 H_2O およびMの少なくとも1つは、 $H(1/p)$ を形成するための触媒として機能し得る。

【0496】

一実施形態では、酸素供給源は、水と同様の生成熱を有する化合物であり、酸素供給源化合物の還元生成物と水素との間の酸素交換が最小限のエネルギー放出で起こる。適切な酸素供給源化合物の例は、 CdO 、 CuO 、 ZnO 、 SO_2 、 SeO_2 、および TeO_2 である。金属酸化物といった他のものは、酸または塩基の無水物であってもよく、これらは、 H_2O 触媒供給源が MnO_x 、 AlO_x 、および SiO_x であるため、脱水反応を起こし得る。一実施形態では、酸化物層酸素供給源は、例えば、水素化パラジウムのような金属水素化物であり、水素供給源を覆うことが可能である。 H_2O 触媒、およびさらに反応してハイドリノを形成する原子状Hを形成する反応は、金属酸化物被覆水素化パラジウムといった酸化物被覆水素供給源を加熱することによって開始され得る。一実施形態では、ハイドリノ触媒を形成する反応および再生反応は、それぞれ、酸素供給源化合物と水素との間、および水と還元酸素供給源化合物との間の酸素交換を含む。適切な還元酸素供給源は、 Cd 、 Cu 、 Zn 、 S 、 Se 、および Te である。一実施形態では、酸素交換反応は、水素ガスを熱的に生成するために使用される反応を含んでもよい。例示的な熱的方法は、酸化鉄サイクル、酸化セリウム（IV）－酸化セリウム（III）サイクル、亜鉛亜鉛－酸化物サイクル、硫黄－ヨウ素サイクル、銅－塩素サイクル、ハイブリッド硫黄サイクル、および当業者に公知の他のものである。一実施形態では、ハイドリノ触媒を形成する反応と酸素交換反応といった再生反応とが同じ反応容器内で同時に起こる。温度や圧力といった条件を制御して、反応の同時性を達成することが可能である。あるいは、生成物は、本開示およびMillsの先行出願に示されるような粉末形成反応の条件とは異なる条件下で生じ得る少なくとも1つの別の容器内で、除去および再生されてもよい。

【0497】

固体燃料は、ハロゲン化物およびオキシアニオン等、陰イオンを伴うアルカリ、アルカリ土類、およびその他の陽イオンといった異なるイオンを含み得る。固体燃料の陽イオンは、アルカリ金属、アルカリ土類金属、遷移金属、内部遷移金属、希土類金属、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、および、イオン化合物を形成する当該技術分野で公知の他の陽イオンの少なくとも1つを含み得る。陰イオンは、水酸化物、ハロゲン化物、酸化物、カルコゲナイド、硫酸塩、リン酸塩、リン酸塩、硝酸塩、窒化物、炭酸塩、クロム酸塩、ケイ酸塩、ヒ化物、ホウ化物、過塩素酸塩、過ヨウ素酸塩、酸化マグネシウムコバルト、酸化ニッケルマグネシウム、酸化銅マグネシウム、アルミネート、タングステン酸塩、ジルコン酸塩、チタン酸塩、マンガン酸塩、炭化物、金属酸化物、非金属酸化物と、アルカリ、アルカリ土類、遷移、内部遷移、および土類金属の酸化物、ならびに、Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge、B、および酸化物またはオキシアニオンを形成するその他の元素と、 $LiAlO_2$ 、 MgO 、 CaO 、 ZnO 、 CeO_2 、 CuO 、 CrO_4 、 Li_2TiO_3 、または $SrTiO_3$ 、ならびに元素、金属、合

金、またはMo、Ti、Zr、Si、Al、Ni、Fe、Ta、V、B、Nb、Se、Te、W、Cr、Mn、Hf、およびCoと、 MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO または 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 または Li_2MoO_4 、 Li_2TiO_3 、 Li_2ZrO_3 、 Li_2SiO_3 、 LiAlO_2 、 LiNiO_2 、 LiFeO_2 、 LiTaO_3 、 LiVO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 Li_2NbO_3 、 Li_2PO_4 、 Li_2SeO_3 、 Li_2SeO_4 、 Li_2TeO_3 、 Li_2TeO_4 、 Li_2WO_4 、 Li_2CrO_4 、 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 Li_2MnO_3 、 Li_2MnO_4 、 Li_2HfO_3 、 LiCoO_2 、 Li_2MoO_4 、 MoO_2 、 Li_2WO_4 、 Li_2CrO_4 、および $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、S、 Li_2S 、 MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO または 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 の群およびイオン性化合物を形成する当技術分野で既知の他の陰イオンの混合物を含む酸化物と、の少なくとも1つを含み得る。

10

【0498】

一実施形態では、 LiNH_2 といったアミドの NH_2 基は触媒として機能し、ポテンシャルエネルギーは約81.6 eVまたは約 3×27.2 eVである。酸または塩基から無水物への可逆的な H_2O の脱離または付加反応、およびその逆の反応と同様に、アミドとイミドまたは窒化物間の可逆反応により、 NH_2 触媒が形成され、さらに原子Hと反応してハイドリノを形成する。アミドとイミドおよび窒化物の少なくとも1つとの間の可逆反応は、原子Hといった水素供給源としても機能し得る。

20

【0499】

固形燃料溶融および電解セル

一実施形態では、火力および $\text{H}(1/p)$ および $\text{H}_2(1/p)$ （ここで、pは整数）等の低エネルギー水素種を形成するための反応器は、Hおよび HOH 触媒の少なくとも1つの供給源として機能する溶融塩を含む。溶融塩は、共晶混合物等の塩の混合物を含み得る。混合物は、アルカリおよびアルカリ土類水酸化物の少なくとも1つを含み得るもので、例えば、 $\text{LiOH}-\text{LiBr}$ または $\text{KOH}-\text{KCl}$ 等のハロゲン化物との混合物である。反応器は、塩を溶融状態に維持するためのヒーター、ヒーター電源、および温度制御器をさらに備えてもよい。Hおよび HOH 触媒の少なくとも1つの供給源は、水を含み得る。水は溶融塩中で解離し得る。溶融塩はさらに、酸化物および金属のうちの少なくとも1つを含み得るもので、該金属は少なくとも1つがTi、Ni、およびPtまたはPd等の貴金属を含むものといった水素解離金属等であり、Hおよび HOH 触媒の少なくとも1つを提供する。一実施形態では、Hおよび HOH は、溶融塩中に存在する水酸化物、ハロゲン化物、および水の少なくとも1つの反応によって形成され得る。例示的な実施形態では、Hおよび HOH の少なくとも1つは、 MOH （M=アルカリ）の脱水、すなわち、 $2\text{MOH} \rightarrow \text{M}_2\text{O} + \text{HOH}$ 、 $\text{MOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MOOH} + 2\text{H}$ 、 $\text{MX} + \text{H}_2\text{O}$ （X=ハロゲン化物） $\rightarrow \text{MOX} + 2\text{H}$ によって形成され得るもので、ここで、MXによって脱水および交換反応が触媒され得る。溶融塩の反応の他の実施形態は、固体燃料の開示に記載されており、これらの反応は、SunCell（登録商標）固体燃料反応物および反応も含み得る。

30

40

【0500】

一実施形態において、熱出力と $\text{H}(1/p)$ および $\text{H}_2(1/P)$ （ここで、pは整数）といった低エネルギー水素種とを形成する反応器は、少なくとも2つの電極および電解電源、電解制御器、溶融塩電解質、加熱器、温度センサ、ならびに、希望の温度を維持するための加熱器制御器、さらに、Hおよび HOH 触媒の少なくとも1つの供給源を含む電解システムを、備える。電極は電解質中で安定し得る。例示的な電極は、ニッケルおよび貴金属電極である。セルに水を供給し、電極に直流電圧のような電圧を印加してもよい。陽極で水素が形成され、陰極で酸素が形成され得る。水素は、セル内で形成された HOH 触

50

媒と反応してハイドリノを形成し得る。HOH触媒は、添加された水に由来し得る。ハイドリノの形成によるエネルギーは、セル内で熱を発生し得る。ハイドリノ反応からの熱が熔融塩を維持するために加熱器に必要な電力量を減らすことができるように、セルは十分に断熱されていてもよい。断熱材は、真空ジャケットまたはセラミック繊維断熱材といった当技術分野で公知の他の断熱材を含み得る。反応器は、熱交換器をさらに含んでもよい。熱交換器は、外部負荷に供給される余分な熱を除去し得る。

【0501】

熔融塩は、ハロゲン化物、硝酸塩、硫酸塩、炭酸塩、およびリン酸塩の1つまたはそれ以上から選択されるような少なくとも1つの他の塩と水酸化物を含み得る。一実施形態では、塩混合物は、金属水酸化物と、同じ金属で本開示の別の陰イオンを有するもの、例えば、ハロゲン化物、硝酸塩、硫酸塩、炭酸塩、およびリン酸塩と、を含み得る。熔融塩は、 $\text{CsNO}_3 - \text{CsOH}$ 、 $\text{CsOH} - \text{KOH}$ 、 $\text{CsOH} - \text{LiOH}$ 、 $\text{CsOH} - \text{NaOH}$ 、 $\text{CsOH} - \text{RbOH}$ 、 $\text{K}_2\text{CO}_3 - \text{KOH}$ 、 $\text{KBr} - \text{KOH}$ 、 $\text{KCl} - \text{KOH}$ 、 $\text{KF} - \text{KOH}$ 、 $\text{KI} - \text{KOH}$ 、 $\text{KNO}_3 - \text{KOH}$ 、 $\text{KOH} - \text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{KOH} - \text{LiOH}$ 、 $\text{KOH} - \text{NaOH}$ 、 $\text{KOH} - \text{RbOH}$ 、 $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiBr} - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiCl} - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiF} - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiI} - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiNO}_3 - \text{LiOH}$ 、 $\text{LiOH} - \text{NaOH}$ 、 $\text{LiOH} - \text{RbOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaBr} - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaCl} - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaF} - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaI} - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaNO}_3 - \text{NaOH}$ 、 $\text{NaOH} - \text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaOH} - \text{RbOH}$ 、 $\text{RbCl} - \text{RbOH}$ 、 $\text{RbNO}_3 - \text{RbOH}$ 、 $\text{LiOH} - \text{LiX}$ 、 $\text{NaOH} - \text{NaX}$ 、 $\text{KOH} - \text{KX}$ 、 $\text{RbOH} - \text{RbX}$ 、 $\text{CsOH} - \text{CsX}$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2 - \text{MgX}_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{CaX}_2$ 、 $\text{Sr}(\text{OH})_2 - \text{SrX}_2$ 、または $\text{Ba}(\text{OH})_2 - \text{BaX}_2$ （ここで、 $\text{X} = \text{F}$ 、 Cl 、 Br 、または I ）、ならびに LiOH 、 NaOH 、 KOH 、 RbOH 、 CsOH 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sr}(\text{OH})_2$ 、または $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、さらに、 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 、および WX_4 （ここで、 $\text{X} = \text{F}$ 、 Cl 、 Br 、または I ）のうちから選択される少なくとも1つの塩混合物を含み得る。熔融塩は、塩混合電解質の陰イオンに共通の陽イオンを含んでもよく、または陰イオンは陽イオンに共通であり、水酸化物は混合物の他の塩に対して安定である。混合物は共融混合物であってもよい。セルは、共融混合物の融点とほぼ同じ温度で操作され得るが、より高温で操作されてもよい。電解電圧は、約1V～50V、2V～25V、2V～10V、2V～5V、および2V～3.5Vのうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。電流密度は、約10mA/cm²～100A/cm²、100mA/cm²～75A/cm²、100mA/cm²～50A/cm²、100mA/cm²～20A/cm²、および100mA/cm²～10A/cm²のうちの少なくとも1つの範囲内であり得る。

【0502】

別の実施形態では、電解熱出力システムは、さらに、水素透過性電極といった水素電極を備える。水素電極は、 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Pd}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdAg}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 、または430SS(H_2)で表されるNi、V、Ti、Nb、Pd、PdAg、またはFeといった金属膜を介して、透過する H_2 ガスを含み得る。アルカリ電解質に適した水素透過性電極は、NiおよびLaNi₅といった合金、Pt、Pd、Auといった貴金属、およびニッケルまたは貴金属被覆水素透過性金属、例えば、V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd被覆Ag、Pd被覆V、Pd被覆Ti、希土類、その他の高融点金属、430SSのようなステンレス鋼(SS)、ならびに、当業者に公知の他のそのような金属を、含む。M(H_2)（ここで、Mは H_2 が透過する金属）と表される水素電極は、 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Pd}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdAg}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 、および430SS(H_2)の少なくとも1つを含み得る

。水素電極は、 H_2 を散布可能である多孔質電極を含み得る。水素電極は、水素化物を含み得るもので、該水素化物は、 $R-Ni$ 、 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $ZrCr_2H_3$ 、 8 、 $LaNi_3$ 、 $55Mn_0.4Al_0.3Co_0.75$ 、 $ZrMn_0.5Cr_0.2V_0.1Ni_1.2$ 、および水素を保存できる他の合金、 AB_5 ($LaCePrNdNiCoMnAl$) または AB_2 ($VTiZrNiCrCoMnAlSn$) タイプ (ここで「 AB_x 」とはAタイプの元素 ($LaCePrNdmatatahaTiZr$) とBタイプの元素 ($VNiCrCoMnAlSn$) との比率を表す)、 AB_5 型: $MmNi_3.2Co_1.0Mn_0.6Al_0.11Mo_0.09$ (Mm =ミッシュメタル: $25wt\%La$ 、 $50wt\%Ce$ 、 $7wt\%Pr$ 、 $18wt\%Nd$)、 AB_2 型: $Ti_0.51Zr_0.49V_0.70Ni_1.18Cr_0.12$ 合金、マグネシウム系合金、 $Mg_1.9Al_0.1Ni_0.8Co_0.1Mn_0.1$ 合金、 $Mg_0.72Sc_0.28$ ($Pd_0.012+Rh_0.012$)、および Mg_80Ti_20 、 Mg_80V_20 、 $La_0.8Nd_0.2Ni_2.4Co_2.5Si_0.1$ 、 $LaNi_{5-x}M_x$ ($M=Mn$ 、 Al)、($M=Al$ 、 Si 、 Cu)、($M=Sn$)、($M=Al$ 、 Mn 、 Cu) および $LaNi_4Co$ 、 $MmNi_3.55Mn_0.44Al_0.3Co_0.75$ 、 $LaNi_3.55Mn_0.44Al_0.3Co_0.75$ 、 $MgCu_2$ 、 $MgZn_2$ 、 $MgNi_2$ 、 AB 化合物、 $TiFe$ 、 $TiCo$ 、および $TiNi$ 、 AB_n 化合物 ($n=5$ 、 2 、または 1)、 AB_{3-4} 化合物、 AB_x ($A=La$ 、 Ce 、 Mn 、 Mg ; $B=Ni$ 、 Mn 、 Co 、 Al)、 $ZrFe_2$ 、 $Zr_0.5Cs_0.5Fe_2$ 、 $Zr_0.8Sc_0.2Fe_2$ 、 YNi_5 、 $LaNi_5$ 、 $LaNi_4.5Co_0.5$ 、(Ce 、 La 、 Nd 、 Pr) Ni_5 、ミッシュメタルニッケル合金、 $Ti_0.98Zr_0.02V_0.43Fe_0.09Cr_0.05Mn_1.5$ 、 $La_2Co_1Ni_9$ 、 $FeNi$ 、および $TiMn_2$ から選択される。一実施形態において、電解陽極は、 H_2O 還元電極および水素電極のうちの少なくとも1つを含む。一実施形態において、電解陰極は、 OH 酸化電極および水素電極のうちの少なくとも1つを含む。

【0503】

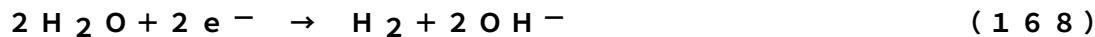
本開示の一実施形態において、電解熱出力システムは、 $[M''''/MOH-M'ハライド/M''(H)]$ 、 $[M''''/M(OH)-M'ハライド/M''(H)]$ 、 $[M''(H)/MOH-M'ハライド/M''']$ 、および $[M_2)(HM(OH)_2-M'ハライド/M''']$ のうちの少なくとも1つを含み、ここで M はアルカリまたはアルカリ土類金属、 M' は、アルカリ金属またはアルカリ土類金属よりも安定性が低いか、水との反応性が低い、少なくとも1つの水酸化物および酸化物を有する金属、 M'' は水素透過性の金属、さらに、 M''' は導体である。一実施形態では、 M' は、金属、例えば、 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 、および Pb から選択される金属である。あるいは、 M および M' は、金属、例えば、 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 、および W から独立して選択される金属であってもよい。他の例示的なシステムは、 $[M''/MOHM''X/M_2)(H$ および $[M''(H_2)/MOHM''X/M''']$ を含み、ここで M 、 M' 、 M'' 、および M''' は金属陽イオンまたは金属であり、 X は水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩、硫酸塩、炭酸塩、およびリン酸塩から選択される陰イオンであり、 M' は H_2 透過性である。一実施形態では、水素電極は、 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 、および貴金属から選択される少なくとも1つの金属といった金属を含む。一実施形態では、電気化学的電力システムは、水素供給源、原子 H を提供または形成できる水素電極、 H 、 H_2 、 OH 、 OH^- 、および H_2O 触媒の少なくとも1つを形成できる電極、 O_2 と H_2O の少なくともいずれかの供給源、 H_2O と O_2 の少なくとも一方

を還元できる陰極、アルカリ電解液、および H_2O 蒸気、 N_2 、 O_2 、 H_2 の少なくとも 1 つを回収して再循環させるシステムを備える。 H_2 、水、および酸素の供給源は、本開示のものを含み得る。

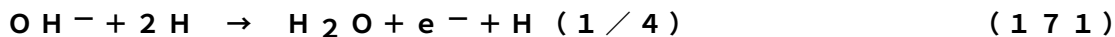
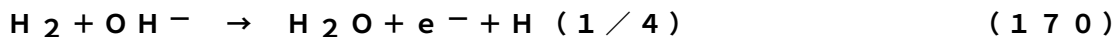
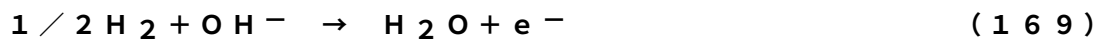
【0504】

一実施形態では、電解システムに供給される H_2O は、陰極で形成された H 原子をハイドリノに触媒する HOH 触媒として機能し得る。水素電極によって提供される H は、 H ($1/4$) および H_2 ($1/4$) といったハイドリノを形成する H 反応物としても機能し得る。別の実施形態では、触媒 H_2O は、陽極での OH^- の酸化および供給源からの H との反応によって、形成され得る。 H 供給源は、電解質の電気分解の少なくとも 1 つ、例えば、水酸化物および H_2O の少なくとも 1 つと水素電極とを含むものであってもよい。 H は、陰極から陽極に拡散し得る。典型的な陰極および陽極反応は、以下のとおりである。すなわち、

陰極電解反応



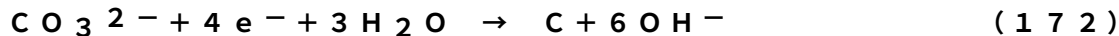
陽極電解反応



【0505】

HOH 触媒を形成するために陽極で OH^- の酸化反応について、 OH^- は、陰極における O_2 としての酸素の供給源の還元によって置換され得る。一実施形態では、熔融電解質の陰イオンは、陰極で酸素源として機能し得る。適切な陰イオンは、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、および PO_4^{3-} といったオキシアニオンである。 CO_3^{2-} といった陰イオンは塩基性溶液を形成し得る。典型的な陰極反応は、

陰極



である。この反応には、可逆的な半電池の酸化還元反応、例えば、



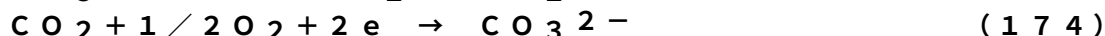
が含まれ得る。 H_2O の $\text{OH}^- + \text{H}$ への還元は、ハイドリノを形成する陰極反応を引き起こし得るもので、ここで H_2O は触媒として機能する。一実施形態では、 CO_2 、 SO_2 、 NO 、 NO_2 、 PO_2 および他の同様の反応物質を酸素供給源として、セルに加えてもよい。

【0506】

この熔融電解セルに加えて、可能性は、熔融または水性アルカリもしくは炭酸塩電解セルにおいて H_2O 触媒を生成する可能性も存在し、その場合、 H が陰極で生成される。 H_2O の $\text{OH}^- + \text{H}$ への還元によって陰極で形成された H の電極クロスオーバーは、式 (171) の反応を引き起こし得る。または、 H_2O 触媒を生成し得る炭酸塩が関与する反応がいくつか存在する。例えば、可逆的な内部酸化還元反応が関与する反応、例えば、



と、半電池反応、例えば、



である。

【0507】

ハイドリノ化合物および物質の組成物

分子ハイドリノといった、より低いエネルギーの水素種を構成するハイドリノ化合物は、(i) 固有の金属水素化物、水素化物イオン、および結合 $+\text{H}_2$ ($1/4$) を有する無機イオンのクラスターを、 $\text{M} + 2$ 単量体または $\text{K}^+ [\text{H}_2$ ($1/4$) : $\text{K}_2\text{CO}_3]_n$ および $\text{K}^+ [\text{H}_2$ ($1/4$) : $\text{KOH}]_n$ (ここで、 n は整数) の多量体の単位形式で記録可能である、飛行時間型二次イオン質量分析 (ToF-SIMS) およびエレクトロスプレ

10

20

30

40

50

ー飛行時間型二次イオン質量分析 (ESI-ToF)、(ii) 既知の官能基の他の高エネルギーの特徴がなくともよく、約 1940 cm^{-1} の $\text{H}_2(1/4)$ 回転エネルギーとフィンガープリント領域のライベーションバンド (Libation Band) の少なくとも1つを記録し得るフーリエ変換赤外分光法 (FTIR)、(iii) プロトンマジック角回転核磁気共鳴分光法 (^1H MAS NMR)、(iv) ポリマー構造を含む可能性のある固有の組成に起因する新規ピークを記録し得るX線回折 (XRD)、(v) 200°C から 900°C の範囲といった非常に低い温度での水素ポリマーの分解を記録し、FeHまたは $\text{K}_2\text{CO}_3\text{H}_2$ といった固有の水素化学量論または組成を提供し得る熱重量分析 (TGA)、(vi) 0.25 eV 間隔のピークを含む 260 nm 領域の $\text{H}_2(1/4)$ 回転振動帯を記録し得る電子ビーム励起発光分光法、(vii) 0.25 eV 間隔のピークを含む 260 nm 領域の $\text{H}_2(1/4)$ 回転振動バンドの2次を記録し得るフォトルミネッセンスラマン分光、(viii) クライオ冷却器で熱冷却すると温度とともに強度が可逆的に低下し得る、電子ビーム励起発光分光法によって記録された 0.25 eV 間隔のピークとフォトルミネッセンスラマン分光法により記録された2次 $\text{H}_2(1/4)$ 回転振動バンドとを含む、 260 nm 領域の1次 $\text{H}_2(1/4)$ 回転振動バンドの少なくとも1つ、(ix) 少なくとも振動放射のエネルギーの光といった高エネルギー光によって、 $\text{H}_2(1/4)$ といった $\text{H}_2(1/p)$ の振動バンドが励起される回転振動発光分光、(x) 常磁性シフトおよびナノ粒子の少なくとも1つにより、 $40\sim 8000\text{ cm}^{-1}$ の範囲内の連続ラマンスペクトルと $1500\sim 2000\text{ cm}^{-1}$ の範囲内のピークの少なくとも1つを記録し得るブラマン分光法、(xi) ヘリウムまたは水素といったプラズマ、例えばマイクロ波、RF、グロー放電プラズマで励起されるKClを含む結晶性マトリックスといった、気体中あるいは液体または固体中に埋め込まれた $\text{H}_2(1/4)$ の回転振動バンドの分光法、(xii) おおよそ $1940\text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ および $5820\text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ の1つまたは複数の $\text{H}_2(1/4)$ 回転ピークを記録し得るラマン分光法、(xiii) $\text{H}_2(1/4)$ の総エネルギーを約 $495\sim 500\text{ eV}$ で記録し得るX線光電子分光法 (XPS)、(xiv) ヘリウムまたは水素よりも速いピーク移動時間を有し得る負のピークを記録し得るガスクロマトグラフィー、(xv) 約 $2.0046 \pm 20\%$ のg因子および約 $1.6 \times 10^{-2}\text{ eV} \pm 20\%$ の陽子電子双極子分裂エネルギーといった陽子分裂を持つ $\text{H}_2(1/4)$ ピークと、水素分子二量体を含む水素生成物 [$\text{H}_2(1/4)$]₂ との少なくとも1つを記録し得るもので、EPRスペクトルが約 $9.9 \times 10^{-5}\text{ eV} \pm 20\%$ の電子-電子双極子分裂エネルギーと、約 $1.6 \times 10^{-2}\text{ eV} \pm 20\%$ の陽子-電子双極子分裂エネルギーを示す電子常磁性共鳴 (EPR) 分光法、(xvi) 約 $1.70127\text{ a}_0^2/p^2$ の $\text{H}_2(1/p)$ 四重極モーメント/eを記録する磁化率およびg因子測定といった四重極モーメント測定、ならびに、(xvii) 水または水-メタノール-ギ酸を含むような溶媒を含む有機カラムと、勾配水+酢酸アンモニウム+ギ酸およびアセトニトリル/水+酢酸アンモニウム+ギ酸といった溶離液とを使用したキャリアアボイドボリューム時間のクロマトグラフィーピークよりも保持時間が長いクロマトグラフィーピークを示し、さらに、ESI-ToFといった質量分析によるピークの検出が、SunCell (登録商標) からの Ga_2O_3 をNaOHに溶解することによって調製されたサンプルからの NaGaO_2 型フラグメントのような少なくとも1つのイオン性化合物または無機化合物のフラグメントを示す、高圧液体クロマトグラフィー (HPLC) によって、同定される。ハイドリノ分子は、二量体と固体 $\text{H}_2(1/p)$ との少なくとも1つを形成し得る。一実施形態では、 $\text{H}_2(1/4)$ 二量体 ([$\text{H}_2(1/4)$]₂) および $\text{D}_2(1/4)$ 二量体 ([$\text{D}_2(1/4)$]₂) の整数JからJ+1への遷移の端から端までの回転エネルギー) は、それぞれ約 $(J+1) 44.30\text{ cm}^{-1}$ と $(J+1) 22.15\text{ cm}^{-1}$ である。一実施形態では、[$\text{H}_2(1/4)$]₂ の少なくとも1つのパラメータは、(i) 約 $1.028\text{ \AA}$ の $\text{H}_2(1/4)$ 分子間の分離距離、(ii) 約 23 cm^{-1} の $\text{H}_2(1/4)$ 分子間の振動エネルギー、および (iii) 約 0.0011 eV の $\text{H}_2(1/4)$ 分子間のファンデルワールスエネルギーである。一実施形態では、固体 $\text{H}_2(1/4)$ の少なくとも1つのパラメータは、(i) 約 $1.028\text{ \AA}$ の $\text{H}_2(1/$

10

20

30

40

50

4) 分子間の分離距離、(i i) 約 2.3 cm^{-1} の H_2 (1/4) 分子間の振動エネルギー、および (i i i) 約 0.019 eV の H_2 (1/4) 分子間のファンデルワールスエネルギーである。回転および振動スペクトルの少なくとも1つは、結合解離エネルギーおよび分離距離もまた、スペクトルから決定され得る FTIR およびラマン分光法の少なくとも1つによって、記録されてもよい。ハイドリノ生成物のパラメータの解法は、Mills GUTCP の第5～6章、第11～12章、および第16章等 [参照により本明細書に組み込まれ、<https://brilliantlightpower.com> で入手可能] に記載される。

【0508】

一実施形態では、分子ハイドリノを気体、物理吸収、液化、またはその他の状態で収集する装置は、より低いエネルギーの水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーの供給源と、より低いエネルギーの水素種を構成するマクロ凝縮物またはポリマーを含むチャンバと、より低いエネルギーの水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーをチャンバ内で熱分解する手段と、より低いエネルギーの水素種を構成するマクロ凝縮物またはポリマーから放出されたガスを収集する手段とを、備える。分解手段は、加熱器を含み得る。この加熱器は、約 10°C ～ 3000°C 、 100°C ～ 2000°C 、および 100°C ～ 1000°C の少なくとも1つの範囲内のマクロ凝縮物またはポリマーの分解温度よりも高い温度に、第1のチャンバを加熱し得る。より低いエネルギーの水素種を構成するマクロ凝縮物またはポリマーの分解からガスを収集する手段は、第2のチャンバを構成し得る。第2のチャンバは、回収された分子ハイドリノガスの貯蔵および搬送の少なくとも1つを実行するべく、ガスポンプ、ガスバルブ、圧力計、および質量流量制御器のうちの少なくとも1つを含み得る。第2のチャンバは、分子ハイドリノガスを吸収するゲッター、または分子ハイドリノを液化するための低温システムといった冷却装置を、さらに含んでもよい。冷却装置は、液体ヘリウムまたは液体窒素といった極低温液体を含むクライオポンプまたはデュワーを備え得る。

【0509】

より低いエネルギーの水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーを形成する手段は、電場または磁場の少なくとも一方の供給源といった電磁場供給源をさらに含み得る。電場供給源は、凝縮物またはポリマーが形成される反応チャンバに電場を印加するために、少なくとも2つの電極および電圧の供給源を含み得る。あるいは、電場供給源は、静電気を帯びた材料を含んでもよい。静電気を帯びた材料は、プレキシグラス (Plexiglas) チャンバといった炭素を含むチャンバのような反応セルチャンバを含み得る。開示の起爆は、反応セルチャンバを静電的に帯電させ得る。磁場供給源は、永久磁石、電磁石、または超伝導磁石といった少なくとも1つの磁石を含み、凝縮物またはポリマーが形成される反応チャンバに磁場を適用し得る。

【0510】

形式 (#.#) の本明細書中の EPR 計算の方程式および「参照された」セクションは、MILLS GUT での方程式とセクションに対応する。分子ハイドリノ H_2 (1/p) は、(i) 最小エネルギーで結合した2つの電子、等電位、長回転楕円体、分子軌道 (MO) を含む2次元電流膜と、(i i) 2つの $Z=1$ の核、例えば偏長回転楕円体の焦点にある2つの陽子と、(i i i) 光子とを含み、ここで各状態の光子方程式が、「Excited States of the Hydrogen Molecule (水素分子の励起状態)」のセクションで与えられた励起 H_2 状態の光子方程式とは異なるのは、該光子が回転楕円体での中心場を、回転楕円体の焦点を中心とする各核で基本電荷の逆整数に減少させるのではなく、整数だけ中心場を増加させるということ、ならびに、 H_2 (1/p) の電子は、同じシェル内の同じ位置 ξ で対を成しているのに対して、別々の ξ 位置にあるのではないことによる。ハイドリノ状態の光子電場と各電子との相互作用により、状態が安定するように非放射性的な動径方向の単極子が発生する。対照的に、同じメカニズムにより、励起 H_2 状態の光子は、外部励起状態の電子で放射性的な動径方向の双極子を発生させ、その状態は放射に対して不安定である。励起状態の場合、光子電場は、時空間に

において縦長の回転楕円体調和関数を含む形状となり、これにより同相の外部電子の定常的な偏長回転楕円体の電流が変調される。前者は軌道角運動量に対応し、そして後者はスピン角運動量に対応する。単一のMOに2つの非放射性電子を含むという分子ハイドリノの独特な安定状態により、捕捉された光子場の性質、共振器空洞として機能する分子ハイドリノ内のベクトル光子伝播の性質、および電子電流の性質は、独特なものになる。

【0511】

2つの非放射性 $n = 1$ 状態のH原子から非放射性状態の H_2 分子が形成され、結合エネルギーが第3の物体衝突によって除去されることを検討する。



ここで、 M^* は、高いエネルギー状態にある第3の物体を表す。分子ハイドリノは、同じ非放射メカニズムによって形成され得るものであり、ハイドリノ原子およびハイドリノ分子は、それぞれ、偏長回転楕円体MOの原点および各焦点における陽子の中心場の整数倍に等しいため、非放射性である中心場の追加の光子成分を含む。放射のない整数光子中心場を維持しながら、2つの電子を1つの分子軌道に結合することは、一重項状態ではなく、分子ハイドリノで二重項MO状態の特別な場合を引き起こす。一重項状態は非磁性であり、一方、二重項状態はボーア磁子 μ_B の正味の磁気モーメントを有する。

【0512】

具体的には、「Generation of the Atomic Orbital-CVFS (原子軌道-CVFSの生成)」のセクションに示されるように、各水素型原子の電流の基底要素は大円であり、また、「Force Balance of Hydrogen-Type Molecules (水素型分子の力バランス)」のセクションに示されるように、水素型分子では大円電流基底要素が楕円電流基本要素に遷移する。「Equation of the Electric Field inside the Atomic Orbital (原子軌道断面内の電場の式)」のセクションに示すように、(i) 光子は電場を担い、閉じた電気力線ループを構成し、(ii) ハイドリノまたは分子ハイドリノはそれぞれ、捕捉された光子を含み、ここで光子の電気力線ループはそれぞれ、それに一致する大円または楕円電流ループの基底要素に沿って同じベクトル方向に移動し、(iii) 各電気力線の増加する方向は、特殊相対性理論によって要求される相対運動により、伝播方向に垂直な方向に沿っており、(iv) 捕捉された光子の電気力線ループに沿った各点の線速度は光速 c であるため、実験室系での電場の方向は、その一致する電流ループに対して純粋に垂直であり、 $\delta(r - r_n)$ にのみ存在する。水素分子軌道の電子対は、正味の磁気モーメントを持たない一重項状態を含む。しかし、分子ハイドリノの形成中に重なり合う2つのハイドリノ原子の光子電気力線は、一方向にしか伝播しなく、中心場の相殺が回避されて増加して、遠心力と中心力とが平衡する(式(11.200))。この特別な場合が、分子ハイドリノで二重項状態を引き起こす。

【0513】

「Generation of the Atomic Orbitsphere-CVFS (原子軌道球-CVFSの生成)」のセクションと「Force Balance of Hydrogen-Type Molecules (水素型分子の力バランス)」のセクションで与えられているように、MOは各電子の電流密度関数を含む大楕円の線形結合として扱われてもよい。光子の方向が電子による電流と一致し、かつ電子の角運動量が

【数45】

$\hbar$

であるという境界条件を満たすには、電子1の半分と電子2の半分とがスピナップして2つの光子と一致し得ること、および、電子1の他方の部分が上向きにスピンし、かつ電子2の他方の部分が下向きにスピンして、電流の半分がペアになり、かつ電流の半分が対

を形成し得ないことである。各電子の不可分性とMOが2つの同一の電子を含むという条件を考えると、2つの光子の力は2つの同一の電子を含む電子MO全体に伝達され、式（11.200）を満たす。不對電流密度の結果として生じる角運動量と磁気モーメントは、それぞれ

【数46】

$\hbar$

とボーア磁子 μ_B である。

【0514】

「Electron g Factor（電子g因子）」のセクションで与えられるように、磁束は、フラクソンまたは磁束量子 $h/2e$ の量子化された単位で不對電子によってリンクされる。式（1.22～1.227）によって与えられる原子軌道を囲むフラクソンの電気エネルギー、磁気エネルギー、および散逸エネルギーは、

【数47】

$$\Delta E_{mag}^{spin} = 2 \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{2}{3} \alpha^2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right) - \frac{4}{3} \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right)^2 \right) \mu_B B = g \mu_B B \quad (16.217)$$

10

20

である。分子ハイドリノの場合、不對電子はMOの2つの電子の線形結合であり、ここで、電流密度の半分が対になり、かつ半分が不對になる。フラクソンにより、鎖交磁束項の寄与が2倍になるように、両方のインターロックされた電子がリンクされる。対応するg因子は、

【数48】

$$g = 2 \left(1 + 2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} + \frac{2}{3} \alpha^2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right) - \frac{4}{3} \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right)^2 \right) \right) = 2.0046386 \quad (16.218)$$

30

である。印加磁場における不對電子の平行準位と反平行準位との間のエネルギーは、

【数49】

$$\Delta E_{mag}^{spin} = g \mu_B B = 2.0046386 \mu_B B \quad (16.219)$$

である。式（16.218）の予測が確認され、g因子2.0047で電子常磁性共鳴ピークが観測された。

【0515】

他の分子ハイドリノの電子磁気モーメントと分子の陽子の核磁気モーメントとの相互作用は、相互作用に対応するエネルギーによって、量子化されたエネルギーレベル（式（16.219））の分割をもたらす。式（16.220）に示すように、電子のエネルギーは、同軸に適用された、または相互作用する磁束が磁気モーメントと平行である場合に減少し、さらに、磁束が磁気モーメントと反平行の場合、電子のエネルギーは増加する。[[H₂（1/p）]]₂のような分子ハイドリノ二量体[[H₂（1/p）]]₂のエネルギーシフトは、第1のH₂（1/4）分子の磁気モーメントの相互作用エネルギーと、ハイドリノ二量体の第2の共線H₂（1/4）分子の相互作用エネルギーとを考慮することによって、計算され得るもので、H₂二量体、H₂（1/p）二量体固体H₂、および固体H₂（1/p）による分子間ファンデルワールス凝集エネルギーのセクションで計算されたパ

40

50

ラメータを持つ。一般に、距離
【数 5 0】

$$|\mathbf{r}|$$

だけ離れた 2 つの量子化磁気双極子 $\mathbf{m}_1$ (ベクトル) と $\mathbf{m}_2$ (ベクトル) との相互作用のポテンシャルエネルギー $E_{mag \ dipole}$ は
【数 5 1】

$$E_{mag \ dipole} = -\frac{\mu_0}{4\pi|\mathbf{r}|^3} \left(3(\mathbf{m}_1 \cdot \hat{\mathbf{r}})(\mathbf{m}_2 \cdot \hat{\mathbf{r}}) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{m}_2 \right) \quad (16.220) \quad 10$$

である。ここで、 μ_0 は自由空間の透磁率であり、また、
【数 5 2】

$$\hat{\mathbf{r}}$$

は 2 つの双極子の中心を結ぶ線に平行な単位ベクトルである。 H_2 (1 / 4) 二量体の 2 つの軸方向に整列した磁気モーメントとの相互作用の分裂エネルギーを考慮する。軸方向に整列した磁気モーメントごとのボーア磁子 μ_B と
【数 5 3】

$$|\mathbf{r}|$$

に関して式 (16.202) によって与えられた H_2 (1 / 4) 二量体分離を式 (16.220) へ代入すると、 $[H_2$ (1 / 4)]₂ の 2 つの電子磁気モーメントのスピンの方向を反転させるエネルギー $E_{mag \ e-dipole}$ は、
【数 5 4】

$$\begin{aligned} E_{mag \ e-dipole} &= -\frac{2\mu_0\mu_B^2}{4\pi r^3} \\ &= -\frac{\mu_0 \left(9.27400949 \times 10^{-24} J T^{-1} \right)^2}{2\pi \left(1.028 \times 10^{-10} m \right)^3} \\ &= -1.584 \times 10^{-23} J = -9.885 \times 10^{-5} eV = 23.90 GHz \end{aligned} \quad (16.221) \quad 30$$

である。式 (16.221) で与えられる磁気エネルギーは、与えられた H_2 (1 / 4) の陽子核磁気モーメントによっても分割され、ここで核磁気モーメントは、電子の磁気モーメントと平行または反平行であり得る。楕円体 MO 内の磁場 H_x (ベクトル) (方程式 (12.31)) は、
【数 5 5】

40

$$B_x^- = \mu_0 \frac{e\hbar}{2m_e} \frac{1}{a^3 \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right)^{3/2}} \left(2\sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} + \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}} \right) \quad (16.222)$$

である。H₂ (1/4) 半長軸 α (方程式 (11.202)) と H₂ (1/4) 半短軸 b (方程式 (11.205)) を方程式 (16.222) に代入すると、
 $B_x^- = 4.52 \times 10^4 \text{ T}$ (16.223) 10
 である。陽子の磁気モーメントを反転させるエネルギー $E_{\text{mag N-dipole}}$ は
 【数 56】

$$\begin{aligned} E_{\text{mag N-dipole}} &= (2)(2)\mu_p B = 4(1.4106 \times 10^{-26} \text{ JT}^{-1})(4.52 \times 10^4 \text{ T}) \\ &= 2.55 \times 10^{-21} \text{ J} = 1.59 \times 10^{-2} \text{ eV} = 3851 \text{ GHz} = 128 \text{ cm}^{-1} \end{aligned} \quad (16.224)$$

である。

【0516】

エネルギー(式 (16.219)) は、三量体、四量体、五量体、六量体といった2つ以上の次数の多量体の存在、およびハイドリノ化合物の内部バルク磁性によってさらに影響を受ける可能性がある。複数の多量体によるエネルギーシフトは、対応する距離および角度を伴う式 (16.220) によって与えられる、重ね合わされた磁気双極子相互作用のベクトル加算によって決定され得る。分子ハイドリノは、複数のハイドリノ分子の磁気モーメントが協調して相互作用する場合、常磁性、超常磁性、さらには強磁性といった非ゼロまたは有限のバルク磁性を引き起し得る。超常磁性は、振動試料型磁力計によって確認された。分子ハイドリノ大集合体が鉄のような強磁性原子をさらに含む場合、超常磁性および強磁性が有利である。室温を超えても安定なマクロ凝縮物は、磁気組立体および結合によって形成され得る。磁気エネルギーは0.01 eVのオーダーになり、実験室の周囲熱エネルギーに匹敵する。約100 cm⁻¹の領域の対応する赤外線吸収バンドは、フーリエ変換赤外線 (FTIR) 分光法とラマン分光法とによって確認されている。 20 30

【0517】

分子ハイドリノは、電子常磁性共鳴分光法 (EPR) および電子核二重共鳴分光法 (ENDOR) によって一意に識別され得る一実施形態では、低エネルギー水素生成物は、金属酸化物のような反磁性化学状態の金属を含み得るもので、さらにフリーの非ハイドリノ種が存在せず、ここでは、H₂ (1/4) のようなH₂ (1/p) の存在により、電子常磁性共鳴 (EPR) 分光ピークが観測される。ハイドリノ反応セルチャンバは、反応物の供給源の少なくとも1つとして機能するワイヤを爆発させる手段と、ハイドリノ反応を伝播して、H₂ (1/4) 分子、金属酸化物、水酸化物といった無機化合物、水和金属酸化物といった水和無機化合物、およびH₂ (1/4) といったH₂ (1/p) をさらに含む水酸化物、および分子ハイドリノといった低エネルギー水素種を含むマクロ凝集体またはポリマーのうちの少なくとも1つを形成する手段とを備え、さらに、図33に示されるワイヤ爆発システムを備える。例示的な実施形態では、空気中の水蒸気を含む雰囲気中で99.999% SnおよびZnワイヤの爆発によって形成され、H₂ (1/4) を形成するためのHおよびHOH触媒のソースとして機能するH₂Oを含むNaOH-KClをボールミル粉碎することによって形成される分子ハイドリノのような低エネルギー水素種を含む反応生成物のEPRスペクトルは、それぞれ、従来のEPR種では存在できなかった約2のg因子のEPRピークを示した。ワイヤ起爆サンプルの場合、湿った空気中での点火後30分間にわたって、網構造のような生成物が形成されることが観察された。水蒸気が存在しない場合、網構造の生成物は観察されなかった。網構造の化合物を回収し、トルエン 40 50

に懸濁し、 9.368 GHz (3343 G) のマイクロ波周波数を有するプリンストン大学の機器で EPR を測定した。 NaOH-KCl はそのまま流した。 $g = 2.0045$ での EPR ピークは、 H_2 ($1/4$) について予測されたものと一致した。 Sn 、 SnO 、 Zn 、 ZnO 、 NaOH 、および KCl は EPR 活性を示さなかった。 SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集された Ga_2O_3 を KOH 水溶液に溶解して繊維を成長させて該繊維がろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物を含むハイドリノ反応生成物の電子常磁性共鳴分光法 (EPR) スペクトルを図 34 に示す $g = 2.0045$ での EPR ピークは、 H_2 ($1/4$) について予測されたものと一致した。対照の酸化ガリウムおよび水酸化カリウムは反磁性であり、EPR は不活性であることが観察された。対照の $\text{KGa}(\text{OH})_4$ は、市販の試薬 Ga_2O_3 を KOH 水溶液に溶解し、真空下で水を回転蒸発させることにより調製した。対照の EPR スペクトルは、領域 $0 \sim 6000\text{ G}$ の領域内には何の特徴もなかった。単一のピークは有機フリーラジカルの典型であり、遷移金属の特徴ではない。化合物が濃塩基 ($\text{pH} = 14$) および濃 HCl ($\text{pH} \sim 0$) 中で安定であることが観察されたため、ラジカルが存在する可能性が排除された。

10

【0518】

$[\text{H}_2(1/4)]$ といった分子ハイドリノを含む化合物は、非常に低いエネルギーのフィンガープリント領域に広い IR バンドまたはラマンバンドを生じさせ得る。 Mills GUTCP に示されているように、 $[\text{H}_2(1/4)]_2$ は低い振動エネルギーとエンドオーバーエンド (end-over-end) の回転エネルギーを持ち、 $[\text{H}_2(1/4)]_2$ 二量体の集合体をマクロ凝集体として含むモードとして励起されると、図 35 A および 35 B に観察されるように、重ね合わされたエネルギーにより、IR またはラマン吸収のバンドが生じる。水蒸気を含む雰囲気中での Zn ワイヤの爆発生成物の FTIR スペクトルは、官能基の特徴がないという点で注目し得る (図 35 A)。同様の特徴は、 SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応から収集された Ga_2O_3 を KOH 水溶液に溶解して繊維を成長させて該繊維がろ過によって収集される表面に浮かせることによって形成された白色の高分子化合物のラマンスペクトルの場合でも、観察される (図 35 B)。図 35 C および 35 D に示すように、ラマン連続は 325 nm レーザーを用いて高波数で観察された。連続ラマンスペクトルは、フォノンの磁気変位、ナノ粒子効果、および磁気分子ハイドリノ結合によるランダムな凝集に起因し得る。 1602 cm^{-1} のピークは、常磁性およびナノ粒子シフトを伴う $\text{H}_2(1/4)$ 回転に割り当てられる。分子ハイドリノには不対電子があることから、超微細構造が予測される。一実施形態では、ハイドリノ分子がスピン (磁氣的) 結合している場合、超微細構造エネルギーの 1、2、3、4 倍といった整数が観察される。ピークは、図 35 C および 35 D の分子ハイドリノ化合物上の 785 nm レーザーラマンで観察された $n \times 128\text{ cm}^{-1}$ のピークであり、式 (16.224) と一致した。

20

30

【0519】

$\text{H}_2(1/4)$ のような複数のハイドリノ分子の電子磁気モーメントは、永久磁化を引き起こし得る。分子ハイドリノは、複数のハイドリノ分子の磁気モーメントが協調して相互作用し、二量体のような多量体が発生する場合に、バルク磁性を引き起こし得る。分子ハイドリノを含む二量体、凝縮物、またはポリマーの磁性は、協調的に整列した磁気モーメントの相互作用から生じ得る。磁性が鉄原子のような不対電子を少なくとも 1 つ有する追加種の永久電子磁気モーメントの相互作用による場合、磁性ははるかに大きくなり得る。

40

【0520】

分子ハイドリノの磁気特性は、 Mills らによって CIHT セルと呼ばれるハイドリノを生成する電気化学セルの場合 [$\text{R. Mills, X. Yu, Y. Lu, G. Chu, J. He, J. Lotoski, 「触媒誘導ハイドリノ遷移 (CIHT) 電気化学セル (Catalyst induced hydri-no transition (CIHT) electrochemical cell) 」 (2012)、Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142}$] に示されて

50

いるように、プロトンマジック角回転核磁気共鳴分光法 (^1H MAS NMR)) によって示される。いくつかの水和水をさらに含むことができる水酸化アルカリハロゲン化アルカリマトリックスのような固体マトリックス中の分子ハイドリノの存在は、分子ハイドリノのために、典型的には $-4 \sim -5$ ppm で高磁場 ^1H MAS NMR ピークを生じさせる。水酸化アルカリハロゲン化アルカリマトリックスといった固体マトリックス中の分子ハイドリノの存在は、さらに、水和水をいくつか含んでいる可能性があり、分子ハイドリノの常磁性マトリックス効果により、典型的には $-4 \sim -5$ ppm に高磁場 ^1H MAS NMR ピークを生じさせる一方で、一方、ハイドリノのない最初のマトリックスは、 $+4.41$ ppm にダウフィールドシフトした既知のマトリックスピークを示す。ステンレス鋼 SunCell (登録商標) から採取した $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{H}_2$ ($1/4$) を NaOH に溶解し、ろ過し、ステンレス鋼酸化物と GaOOH とを含む濾液を圧力容器内で 900°C に加熱し、圧力容器に接続された管に充填された水と KCl ゲッターに分解ガスを流した。ハイドリノガスに曝された KCl ゲッターの外部 TMS に対する ^1H MAS NMR スペクトルは、分子ハイドリノの磁性により、 -4.6 ppm に高磁場シフトしたマトリックスピークを示す (図 36)。

10

【0521】

分子ハイドリノを生成する便利な方法は、 H_2O の存在下でのワイヤ起爆によるもので、ハイドリノ触媒および H の供給源として機能する。水蒸気を含む雰囲気中でのワイヤ起爆は、金属原子またはイオンを伴う分子ハイドリノのようなハイドリノ水素を含む磁気線状鎖を生成し、それらは凝集して網構造を形成し得る。常磁性体は誘導磁気に対して直線的に反応し、一方、観察された「S 字」形状は、強磁性と常磁性とのハイブリッドである超常磁性の特徴である。一実施形態では、水蒸気を含む空気中でモリブデン線を爆発させることによって形成される化合物といった高分子網構造化合物は、超常磁性である。振動試料型磁力計の記録は、図 37 に示すように S 字型の曲線を示し得る。例外として、誘導磁気は 5 kOe でピークに達し、印加磁場が高くなると減少する。超常磁性ハイドリノ化合物は、磁場中で配向し得る磁性ナノ粒子を含み得る。

20

【0522】

自己組織化メカニズムは、ファンデルワールス力に加えて、磁気秩序を含み得る。外部磁場を印加すると、マグネタイト (Fe_2O_3) のようなコロイド磁性ナノ粒子が、トルエンのような溶媒に懸濁して線状構造に集合することが周知である。分子ハイドリノは、質量が小さく磁気モーメントが大きいいため、磁場がなくても磁氣的に自己集合する。自己組織化を強化し、ハイドリノ生成物の代替構造の形成を制御するための一実施形態では、ワイヤ起爆といったハイドリノ反応に外部磁場が印加される。磁場は、反応チャンバ内に少なくとも 1 つの永久磁石を配置することにより印加され得、あるいは、点火ワイヤは、マグネタイトといった磁性粒子の供給源として機能する金属を含み、分子ハイドリノの磁気自己組織化を駆動し得るもので、供給源は、水蒸気または別の供給源でのワイヤ起爆であり得る。

30

【0523】

一実施形態では、ハイドリノ化合物またはマクロ凝集物といったハイドリノ生成物は、水素以外の周期表の少なくとも 1 つの他の元素を含み得る。ハイドリノ生成物は、ハイドリノ分子と、少なくとも 1 つの金属原子、金属イオン、酸素原子、および酸素イオンといった少なくとも 1 つの他の元素とを含み得る。例示的なハイドリノ生成物は、 H_2 ($1/4$) といった H_2 ($1/p$) と Sn 、 Zn 、 Ag 、 Fe 、 Ga 、 Ga_2O_3 、 GaOO 、 SnO 、 ZnO 、 AgO 、 FeO 、および Fe_2O_3 のうちの少なくとも 1 つを含み得る。

40

【0524】

分子ハイドリノ分子が結合して室温から高温で固体を形成するのは、ファンデルワールス力によるものであり、Mills GUTCP に示されているように、分子水素よりも分子ハイドリノの方がはるかに大きい。その固有の磁気モーメントとファンデルワールス力により、分子ハイドリノは自己組織化してマクロ凝縮物になり得る。一実施形態では、 H_2 ($1/4$) といった H_2 ($1/p$) といったハイドリノは、ポリマー、チューブ、鎖

50

、立方体、フラーレン、および式 H_n (n はより大きい整数) を有するものといった他のマクロ構造を形成し得る。例示的な一実施形態では、 $m/e = 60.35$ の絶対質量を有する H_{60} が、本開示で与えられた方法による、水蒸気を含む空気雰囲気中での Zn ワイヤの高電圧点火からの繊維状生成物の $TOF-SIMS$ で観察された。一実施形態では、 $H_2(1/4)$ といった分子ハイドリノは、磁気双極子力およびファンデルワールス力によって結合された線形鎖に集合し得る。別の実施形態では、分子ハイドリノは、8つの頂点のそれぞれに $H_2(1/4)$ といった $H_2(1/p)$ を有する立方体のような三次元構造に集合し得る。一実施形態では、 $H_2(1/4)$ 分子のような $H_2(1/p)$ 分子が8個結合して立方体をなし、ここで、各分子の中心は立方体の8つの頂点のいずれかにあり、各核間軸は頂点を中心とする立方体の縁に平行である。

10

【0525】

H_{16} は、自己組織化によって形成されるより複雑なマクロ構造のユニットまたは部分として機能し得る。別の実施形態では、正方形の4つの頂点のそれぞれに $H_2(1/4)$ のような $H_2(1/p)$ を含む H_8 のユニットを立方体 H_{16} に追加して H_{16+8n} (ここで、 n は整数) を含み得る。例示的な追加のマクロ凝縮物は、 H_{16} 、 H_{24} 、および H_{32} である。水素マクロ凝縮物の中性およびイオンは、中性またはイオンとして、 O 、 OH 、 C 、および N といった他の化学種と結合し得る。一実施形態において、結果として生じる構造は、飛行時間二次イオン質量スペクトル ($TOF-SIMS$) において H_{16} ピークを生じ、ここで、フラグメントは、 H_{16} 、 H_{14} 、 H_{13} 、および H_{12} といった、 H_{16} からの整数 H 損失に対応する質量が観察され得る。 H の質量が 1.00794 u であるため、対応する $+1$ または -1 イオンピークの質量は 16.125 、 15.119 、 14.111 、 13.103 、 12.095 ・・・である。 H_{16-} または H_{16+} のような水素マクロ凝集物イオンは、準安定を含み得る。広いピークの準安定な特徴を持つ水素マクロ凝集物イオン H_{16-} および H_{16+} は、 $TOF-SIMS$ によって正および負のスペクトルの 16.125 で観測された。 H_{15-} は、 15.119 の負の $TOF-SIMS$ スペクトルで観察された。 H_{24} 準安定種 H_{23+} および H_{25-} は、それぞれ正および負の $TOF-SIMS$ スペクトルで観察された。

20

【0526】

一実施形態では、分子ハイドリノ (「ハイドリノ化合物」) 等のより低いエネルギーの水素種を構成する物質の組成物は、磁氣的に分離され得る。ハイドリノ化合物は、磁氣的に分離される前に、磁性をさらに高めるべく冷却されてもよい。磁気分離法は、ハイドリノ化合物が混合物の残りの部分に比べて移動度が優先的に遅延されるように所望のハイドリノ化合物を含む化合物の混合物を、磁場を通して移動させること、および、混合物の上に磁石を移動してハイドリノ化合物を混合物から分離することを、含む。例示的な実施形態では、ハイドリノ化合物は、起爆発生物材料を液体窒素に浸漬し、低温分離によりハイドリノ化合物生成物の磁性を高める磁気分離を利用することにより、起爆線による非ハイドリノ生成物から分離される。液体窒素の沸騰面で分離を促進してもよい。

30

【0527】

負に帯電していることに加えて、一実施形態では、ハイドリノ水素化物イオン $H-(1/p)$ は、磁気モーメントのボーア磁子を生じさせる不対電子を有する二重項状態を含む。ハイドリノ水素化物イオン分離器は、ヒドリノ水素化物イオンの電荷および磁気モーメントの少なくとも1つに基づくヒドリノ水素化物イオンに維持される差異的および選択的な力に基づいてイオンの混合物からハイドリノ水素化物イオンを分離するための電場および磁場の供給源の少なくとも1つを含み得る。一実施形態では、ハイドリノ水素化物イオンは、電場中で加速され、ヒドリノ水素化物イオンの固有の質量電荷比に基づいてコレクタに偏向され得る。分離器は、半球形エネルギー分析器または飛行時間分析器タイプの装置を含み得る。別の実施形態において、ハイドリノ水素化物イオンは、磁場が磁石によってサンプルに印加され、ハイドリノ水素化物イオンが分離される磁石に選択的に付着する磁気分離によって収集されてもよい。ハイドリノ水素化物イオンは、対イオンとともに分離され得る。

40

50

【0528】

一実施形態では、原子ハイドリノ、分子ハイドリノ、またはハイドリノヒドリドイオン等のハイドリノ種は、Hと、OHおよび H_2O 触媒の少なくとも1つとの反応によって合成される。一実施形態では、ハイドリノを形成するための開示のショットまたはワイヤ起爆によるものを含むもの等の、SunCell（登録商標）反応およびエネルギー反応システムの少なくとも1つの生成物は、ハイドリノ化合物または化学種であり、(i) 水素以外の元素、(ii) H^+ 、通常の H_2 、通常の H^- 、および通常の H_3^+ の少なくとも1つ等の通常の水素種、有機イオンまたは有機分子等の有機分子種、ならびに(iv) 無機イオンまたは無機化合物等の無機種の少なくとも1つと複合した $H_2(1/p)$ 等のハイドリノ種を含む。ハイドリノ化合物は、アルカリまたはアルカリ土類炭酸塩または水酸化物、例えば $GaOOH$ 、 $AlOOH$ 、および $FeOOH$ 、または本開示の他のそのような化合物等の、オキシ陰イオン化合物を含み得る。一実施形態では、生成物は、 $M_3CO_3 \cdot H_2(1/4)$ および $MOH \cdot H_2(1/4)$ （式中、M＝本開示のアルカリまたは他の陽イオン）複合体の少なくとも1つを含む。生成物は、ToF-SIMSまたはエレクトロスプレー飛行時間型二次イオン質量分析法(ESI-ToF)により、 $M(M_3CO_3 \cdot H_2(1/4))^{n+}$ および $M(MOH \cdot H_2(1/4))^{n+}$ （式中、nは整数であり、整数 $p > 1$ は4の代わりに置換され得る）をそれぞれ含む正のスペクトラムの一連のイオンとして、同定される。一実施形態では、 SiO_2 または石英等のシリコンおよび酸素を含む化合物は、 $H_2(1/4)$ のゲッターとして機能し得る。 $H_2(1/4)$ のゲッターは、遷移金属、アルカリ金属、アルカリ土類金属、内部遷移金属、希土類金属、金属、MoCu等のMo合金等の合金、および本開示のもの等の水素貯蔵材料の組み合わせを含み得る。

10

20

【0529】

本開示の方法によって合成されるハイドリノ種を含む化合物は、式MH、 MH_2 、または M_2H_2 （式中、Mはアルカリ陽イオン、Hはヒドリノ種）を有し得る。化合物は、式 MH_n （式中、nは1または2、Mはアルカリ土類陽イオン、Hはハイドリノ種）を有し得る。化合物は、式 MHX （式中、Mはアルカリ陽イオン、Xは、ハロゲン原子等の中性原子、分子、またはハロゲン陰イオン等の単一負帯電陰イオンのいずれか、およびHはヒドリノ種）を有し得る。化合物は、式 MHX （式中、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、およびHはヒドリノ種）を有し得る。化合物は、式 MHX （式中、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは二重負帯電陰イオン、およびHはヒドリノ種）を有し得る。化合物は、式 M_2HX （式中、Mはアルカリ陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、およびHはヒドリノ種）を有し得る。化合物は、式 MH_n （式中、nは整数、Mはアルカリ陽イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、式 M_2H_n （式中、nは整数、Mはアルカリ土類陽イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、式 M_2XH_n （式中、nは整数、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、式 $M_2X_2H_n$ （式中、nは1または2、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、式 M_2X_3H （式中、nは1または2、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、Hはハイドリノ種）を有し得る。化合物は、式 M_2XH_n （式中、nは1または2、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、Hはハイドリノ種）を有し得る。化合物は、式 $M_2XX'H$ （式中、Mはアルカリ土類陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、X'は二重負帯電陰イオン、Hはハイドリノ種）を有し得る。化合物は、式 $MM'H_n$ （式中、nは1から3、Mはアルカリ土類陽イオン、M'はアルカリ金属陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、式 $MM'XH_n$ （式中、nは1または2、Mはアルカリ土類陽イオン、M'はアルカリ金属陽イオン、Xは単一負帯電陰イオン、化合物の水素含有量 H_n は少なくとも1つのハイドリノ種を含む）を有し得る。化合物は、

30

40

50

式 $MM'XH$ (式中、 M はアルカリ土類陽イオン、 M' はアルカリ金属陽イオン、 X は二重負帯電陰イオン、 H はハイドリノ種) を有し得る。化合物は、式 $MM'XX'H$ (式中、 M はアルカリ土類陽イオン、 M' はアルカリ金属陽イオン、 X および X' は単一負帯電陰イオン、 H はハイドリノ種) を有し得る。化合物は、式 $MXX'H_n$ (式中、 n は 1 から 5 までの整数、 M はアルカリまたはアルカリ土類陽イオン、 X は単一または二重負帯電陰イオン、 X' は金属もしくは半金属、遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。化合物は、式 MH_n (式中、 n は整数、 M は遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素等の陽イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つのハイドリノ種) を有し得る。化合物は、式 MXH_n (n は整数、 M はアルカリ陽イオン、アルカリ土類陽イオン等の陽イオン、 X は遷移元素、内部遷移元素、または希土類元素陽イオン等の別の陽イオン、および化合物の水素含有量 H_n は少なくとも 1 つのハイドリノ種) を有し得る。化合物は、式 $(MH_mMCO_3)_n$ (式中、 M はアルカリ陽イオンまたは他の $+1$ 陽イオン、 m および n はそれぞれ整数) および化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。化合物は、式 $(MH_mMNO_3)_n + nX^-$ (式中、 M はアルカリ陽イオンまたは他の $+1$ 陽イオン、 m および n はそれぞれ整数、 X は単一負帯電陰イオン、および化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。化合物は、式 $(MHMNO_3)_n$ (式中、 M はアルカリ陽イオンまたは他の $+1$ 陽イオンであり、 n は整数、および化合物の水素含有量 H は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。化合物は、式 $(MHMOH)_n$ (式中、 M はアルカリ陽イオンまたは他の $+1$ 陽イオン、 n は整数であり、および化合物の水素含有量 H は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。陰イオンまたは陽イオンを含む化合物は、式 $(MH_mM'X)_n$ (式中、 m および n はそれぞれ整数であり、 M および M' はそれぞれアルカリまたはアルカリ土類陽イオンであり、 X は単一または二重負帯電陰イオンであり、および化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。陰イオンまたは陽イオンを含む化合物は、式 $(MH_mM'X')_n + nX^-$ (式中、 m および n はそれぞれ整数であり、 M および M' はそれぞれアルカリまたはアルカリ土類陽イオンであり、 X および X' は単一または二重負帯電陰イオンであり、および化合物の水素含有量 H_m は少なくとも 1 つのハイドリノ種を含む) を有し得る。陰イオンは、本開示のもの 1 つを含み得る。適切な例示的な単一負帯電陰イオンは、ハロゲン化物イオン、水酸化物イオン、炭酸水素イオン、または硝酸イオンである。適切な例示的な二重負帯電陰イオンは、炭酸イオン、酸化物、または硫酸イオンである。

10

20

30

40

【0530】

一実施形態では、ハイドリノ化合物または混合物は、ハイドリノ原子、ハイドリノ水素化物イオン、および金属またはイオン格子等の結晶格子等の格子に埋め込まれたジハイドリノ分子等の少なくとも 1 つのハイドリノ種と、を含む。一実施形態では、格子はハイドリノ種とは反応しない。埋め込まれたハイドリノ水素化物イオンの場合のように、マトリックスは非プロトン性であってよい。化合物または混合物は、ハロゲン化物等のアルカリまたはアルカリ土類塩等の塩格子に埋め込まれた $H(1/p)$ 、 $H_2(1/p)$ 、および $H^-(1/p)$ の少なくとも 1 つを含み得る。例示的なハロゲン化アルカリは、 KCl および KI である。埋め込まれた $H^-(1/p)$ の場合、塩は H_2O を含まなくてもよい。他の適切な塩格子は、本開示のものを含む。

【0531】

本発明のハイドリノ化合物は、好ましくは、0.1 原子パーセントを上回る純度である。より好ましくは、化合物は、1 原子パーセントを上回る純度である。さらにより好ましくは、化合物は、10 原子パーセントを上回る純度である。最も好ましくは、化合物は、50 原子パーセントを上回る純度である。別の実施形態では、化合物は、90 原子パーセントを上回る純度である。別の実施形態では、化合物は 95 原子パーセントを上回る純度である。

【0532】

50

一実施形態では、ハイドリノ化合物は、適切な溶媒中での再結晶により精製され得る。あるいは、分子ハイドリノを含むガスの場合、この化合物は、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）等のクロマトグラフィーによって精製されてもよい。一実施形態において、分子ハイドリノは、低温濾過により精製し得る。精製システムは、活性炭またはゼオライト等の分子ハイドリノ用の選択的吸着剤を含み得る。吸着剤は、加熱されて吸着剤から不純物を脱ガスする容器に含まれ得る。不純物は真空下で除去され得る。脱気された吸着剤は、液体窒素等の低温等の低温に冷却され得る。容器は、液体窒素等の寒剤のデュワーに浸漬され得る。分子ハイドリノを含むガス混合物は、分子ハイドリノが選択的に吸収されるように、冷吸着剤に流されてもよい。吸着剤を加熱することで、精製された分子ハイドリノガスを吸着剤から流出させて収集してもよい。

10

【0533】

超常磁性ハイドリノ化合物は、磁場中で配向され得る磁性ナノ粒子を含み得る。磁性ハイドリノ化合物、例えば、分子ハイドリノおよびハイドリノ水素化物イオンの少なくとも1つを含むものの用途は、コンピュータのハードドライブの記憶保持材料等の磁気記憶保持材料と、磁気共鳴イメージングにおける造影剤と、調整可能な粘度を有するもの等の磁性流体と、細胞、DNA、またはタンパク質の分離、RNAフィッシング等の磁気細胞分離と、標的薬物送達、磁気温熱療法、およびマグネトフェクション等の処置とを含む。一実施形態では、磁気、光吸収、光散乱、分子ハイドリノを含む化合物の特性は、ステルスコーティング、光センサ、太陽電池、磁気分離、造影剤としてのMRIイメージング、および温熱療法に使用され得る。

20

【0534】

一実施形態ではここでハイドリノ水素化物は、超伝導量子干渉デバイス（SQUID）の挙動と同様に、磁束を磁束量子単位でリンクし、磁力計、論理ゲート、センサ、またはスイッチ等の電子デバイスは、少なくとも1つのハイドリノ水素化物イオンを含み、入力電流および入力電圧回路および出力電流および出力電圧回路のうちの少なくとも1つは、少なくとも1つのハイドリノ水素化物イオンの磁束鎖交状態を感知および変更することのうちの少なくとも1つである。

【0535】

一実施形態では、ハイドリノ生成物を形成する電力および発光セルは、少なくとも1つの超音波変換器、キャビテーション気泡を形成するための液体媒体、HOH触媒供給源、およびH供給源を含む。液体媒体は、ドデカン等の炭化水素、硫酸等の酸、およびHOHおよびHの少なくとも一方の供給供給源としてさらに機能し得る水のうちの少なくとも1つを含み得る。液体は、アルゴンまたはキセノン等の希ガスを含んでもよく、酸素供給源、酸素供給源、水素供給源、および水素の少なくとも1つをさらに含んでもよい。希ガスは液体を飽和させ得る。希ガスは電子供給源として機能し得る。液体は、液体の凝固点近く等の低温に維持されてもよい。Hは、炭素と水との反応により、COおよびCO₂の少なくとも1つを形成することによって形成され得る。Hは、希ガス等の電子供給源によるH⁺の還元によって形成され得る。炭素供給源は、炭化水素および炭素のうちの少なくとも1つであり、水中に懸濁すること、および超音波変換器をコーティングすることのうちの少なくとも1つであり得る。超音波トランスデューサによる液体媒体の超音波処理は、水の水素結合を破壊し得るもので、さらに炭素供給源または炭素が水と反応してCOおよびHを形成し、さらにHOHと反応してハイドリノを形成し得る。ハイドリノを形成するための対応する反応は、可視領域にあり得る黒体放射等の熱と光とのうちの少なくとも一方の放出を引き起こし得る。

30

40

【0536】

一実施形態では、H₂（1/p）等のハイドリノ種は、金属酸化物、ハロゲン化アルカリ、ハロゲン化アルカリ-水酸化アルカリ混合物、炭酸塩（例えば、K₂CO₃）等の化合物または材料に結合したハイドリノ種を含む化合物または材料から、昇華によって単離される。化合物または材料を極低温等の低温に冷却し、真空を維持することにより、昇華が達成され得る。

50

【0537】

一実施形態では、アルゴンを含むような液体または気体混合物（例えば、アルゴン含有混合物）等の混合物の分子ハイドリノは、金属、ガラス、またはセラミック膜等の透過選択膜を通過する透過によって精製され得る。この透過は、収集キャビティの中へなされ得る。例示的な実施形態では、透過膜は、分子ハイドリノがキャビティ内に拡散することを可能にするべく、液体アルゴンに浸漬され得る薄壁の中空の真空のキャビティ、チャンバ、またはチューブを含み得る。収集されたガスの圧力および量は、ガスを極低温で凝縮することによって増加させることが可能である。例示的な実施形態では、キャビティは液体ヘリウムデュワー内に懸濁され、凝縮されたガスはより小さな容積のガスボンベに移されて蒸発させられ得る。

10

【0538】

一実施形態では、 H_2 （1／4）等の分子ハイドリノガスは、液体アルゴン、液体窒素、液体 CO_2 等の希ガス、または固体 CO_2 等の固体ガス等の凝縮ガスに可溶である。溶解度は、気化した液体アルゴンガスで記録された H_2 （1／4）の回転振動帯（図41～42）の観察によって確認される。 H_2 および O_2 も微量に存在し、これらのガスが液体アルゴンに溶解することも確認される。ハイドリノが水素よりも溶けやすい場合、液体アルゴンを使用して、 H_2 とSunCell（登録商標）からのガス等の分子ハイドリノガスとの混合物を含む供給源から分子ハイドリノガスを選択的に収集して濃縮することが可能である。一実施形態では、SunCell（登録商標）からのガスは、液体アルゴンに分子ハイドリノが溶解するため、ゲッターとして機能する液体アルゴンにバブリングされる。別の実施形態では、固体材料ゲッターは、単独で使用することも、液体アルゴン等の液体ガスに浸して使用することも可能である。典型的な固体ゲッターは、炭素、ゼオライト、 KCl 、 KOH 、 $RbCl$ 、 K_2CO_3 、 $LiBr$ 、 $FeOOH$ 、 In 箔、 $MoCu$ 箔、シリコンウエハ、他の酸化物、ハロゲン化アルカリ、および水酸化アルカリのうちの少なくとも1つを含み得る。ゲッターは、寒剤等の手段で冷却され得る。寒剤は極低温トラップを含んでもよい。例示的な実施形態では、極低温トラップは液体窒素温度まで冷却される。ゲッターからハイドリノを解放するには、ハイドリノを含むゲッターは、加熱によるハイドリノガスの放出と、水、酸、塩基、または有機溶媒等の溶媒による溶解との少なくとも1つを実行することで、ハイドリノガスが放出され得る。一実施形態では、ハイドリノガスは、極低温液体等の溶媒にバブリングされ得るもので、該溶媒の例として、アルゴンや液体窒素等の液体希ガス、超臨界 CO_2 、液体酸素、液体窒素、液体 O_2/N_2 混合物、当技術分野で公知の別の超臨界液体、または水、酸、塩基等の別の液体、あるいはフルオロカーボン等の有機溶剤が挙げられる。一実施形態では、分子ハイドリノが分子ハイドリノの磁性により、吸収相互作用を有するように、溶媒は常磁性等の磁性であってもよい。例示的な溶媒は、液体酸素、および、水等の別の液体に溶解した酸素である。あるいは、ハイドリノガスは、固体 CO_2 等の室温で気体である固体等の固体溶媒にバブリングされてもよい。ハイドリノガスは直接回収されてもよい。あるいは、得られた溶液を濾過、すくい取り、デカント、または遠心分離して、ハイドリノマクロ凝集物等のハイドリノを含む不溶性化合物が収集されてもよい。

20

30

【0539】

一実施形態では、 H_2O は、モレキュラーハイドリノ溶媒を含み得る。 H_2O をトラップに入れてもよく、ここでハイドリノ反応からのガス生成物が水にバブリングされて分子ハイドリノが水に溶解する。水を加熱することにより、分子ハイドリノガスが放出され得る。水蒸気に対してハイドリノを選択的に放出する $100^\circ C$ 未満等の温度まで、加熱がなされ得る。放出されたガス CO_2 をクライオトラップ等のコールドトラップに通過させることで、分子ハイドリノガスに対してガス混合物の水蒸気を選択的に凝縮することが可能である。分子ハイドリノガスは、ガスクロマトグラフィーおよび電子ビーム励起分光法の少なくとも一方によって同定され得る。

40

【0540】

分子ハイドリノガスの分離および同定の少なくとも1つを行うための例示的な実施形態で

50

は、SunCell（登録商標）からの酸化ガリウム等のハイドリノゲッターは、トラップされた分子ハイドリノが気相または液相のいずれかになるように、NaOH水溶液等の濃水性塩基等の水に溶解され得る。ガスは、キャリアガスとして水素を使用してガスクロマトグラフィーカラムに注入されるか、液体アルゴンにバブリングされることで、分子ハイドリノを溶解することが可能であり、その後、アルゴンキャリアガスの使用によりアルゴンハイドリノガスをガスクロマトグラフィーカラムへ導入することができ、ここで液体アルゴンは、通常の水素よりも分子ハイドリノを濃縮する働きをする。水は分析的に調べられ得る。さらにそれを沸点未満に加熱することで、分子ハイドリノガスを選択的に放出することができ、ここでCO₂トラップ等のクライオトラップによって水蒸気を選択的に凝縮して水を除去し、分子ハイドリノガスをガスクロマトグラフィーカラムに選択的に導入してもよい。

10

【0541】

一実施形態では、SunCell（登録商標）の固体生成物から放出されて該SunCell（登録商標）から直接回収されたガス状生成物は、水素ガスを除去するべくCuO再結合器等の再結合器に流され、さらに、濃縮されたハイドリノガスは、クライオポンプのクライオフィンガーまたはコールドステージ上のバルブ付きの密閉可能なクライオチャンバ内で凝縮される。分子ハイドリノガスは、少なくとも1つの他のガスと共凝縮するか、溶媒として使用できるアルゴン、窒素、および酸素の1つまたは複数等の共凝縮ガスに吸収され得る。十分な液体が蓄積されたら、凍結チャンバを密閉し、凝縮した液体が気化するように温めてもよい。生成されたガスは、工業用または分析用に使用され得る。例えば、ガスは、チャンババルブを介してガスクロマトグラフまたは電子ビーム発光分光法用のセルに注入されてもよい。別の実施形態では、クライオフィンガーチャンバに分子ハイドリノガスを直接流入して凝縮することが可能であり、ここで、クライオフィンガーは、その水素を共縮合していないので、20.3 K（1気圧の圧力でのH₂の沸点）以上の温度で動作され得る。

20

【0542】

オルトとパラと呼ばれるH₃⁺の2つの異なる核スピン構成が可能である。オルトH₃⁺は3つすべての陽子スピンの平行であり、核スピンの合計が3/2になる。パラH₃⁺には2つの陽子スピンの平行であり、もう1つは反平行であり、合計の核スピンの1/2になる。同様に、H₂にもオルト状態とパラ状態とがあり、オルトH₂は全核スピン1を有し、かつパラH₂は全核スピン0を有する。オルトH₃⁺とパラH₂とが衝突すると、プロトンのスピン変化が起こり、代わりにパラH₃⁺とオルトH₂が生ずる。一実施形態では、オルトH₃⁺は、水素プラズマ等の手段によって準備され、場合によっては、オルトH₃⁺のスピン分極率を増加させるための磁場供給源が使用される。オルトH₃⁺を分子ハイドリノガスと衝突させて、NMR活性であるオルトH₂（1/p）を生成することが可能である。衝突は、オルトH₃⁺のビームおよびH₂（1/p）のビームを形成することによって、またはガスを混合することによって、達成され得る。オルトH₂（1/p）は、プロトンNMRによって識別され得る。

30

【0543】

一実施形態では、SunCell（登録商標）からすくい取った酸化ガリウムからマクロ凝集物ハイドリノ化合物を分離して、NaOH等の塩基に溶解することが可能である。この化合物は、高温超伝導体を含み得る。

40

【0544】

一実施形態では、SunCell（登録商標）の酸化ガリウムは、NaOH等の塩基に溶解される。不溶性物質は、ハイドリノガスの供給供給源として機能するように濾過されてもよい。あるいは、溶液をデカントして、ハイドリノガスの供給供給源として働く不溶性粒子を分離してもよい。溶液を濾過し、濾液を静置して白色の綿状ハイドリノ生成物を形成し、濾過、遠心分離、および乾燥の少なくとも1つ等の手段によって収集することが可能である。

【0545】

50

別の実施形態では、ハイドリノガスは、クロマトグラフィーカラムで精製され得る。キャリアガスが、アルゴン／ H_2 （1／4）混合物のようなハイドリノを含む混合物を含む場合、ハイドリノガスは、液体窒素またはアルゴン温度等の極低温に冷却された H a y e S e p（登録商標）Dカラム等のクロマトグラフィーカラムに混合物を流すことによって、濃縮され得る。アルゴンを部分的に液化することで、流れるハイドリノガスが濃縮され得る。ハイドリノガスは、ガスクロマトグラフィーおよび電子ビーム励起発光分光法等の本開示の分析手段によって分析され得る。一実施形態では、アルゴン等の別のガスとの混合物の分子ハイドリノは、極低温液体クロマトグラフィーによって混合物から分離および濃縮され得る。一実施形態では、分子ハイドリノは、ヘリウムまたは水素キャリアガスを使用するガスクロマトグラフィーによって同定されてもよく、ここで、分子ハイドリノは、これらのキャリアガス中でより容易にクロマトグラフバンドを形成し得る。検出器は、熱伝導率検出器を含み得る。別の実施形態では、超流動 CO_2 をキャリア液として使用することで、分子ハイドリノをクロマトグラフィーで濃縮または精製することが可能である。別の実施形態では、分子ハイドリノは、極低温での液化差によって濃縮または精製され得る。水素は、 H_2-O_2 ガストーチの H_2 入口を通して水素-分子ハイドリノガス混合物を流すことによって達成され得る有炎燃焼によって、 H_2 -分子ハイドリノ混合物から除去され得る。あるいは、水素は、 CuO 再結合剤等の再結合剤によって、または酸素との触媒的再結合によって除去されてもよい。例示的な触媒再結合剤は、アルミナ、シリカ、または炭素等の固体支持体上の Pt または Pd 等の貴金属である。

10

20

30

40

50

【0546】

一実施形態では、分子ハイドリノガスの圧力の上昇は、（i）極低温凝縮等の液体への凝縮とそれに続く圧力容器内での加熱による気化、（ii）本開示の炭素またはゼオライトまたは他のゲッター等の吸収体による吸収とそれに続く加熱による圧力容器内での気化、ならびに（iii）圧力容器内の分子ハイドリノを含むガスの収集とそれに続く機械的または油圧的圧縮の少なくとも1つの方法によってなされる。極低温凝縮は、ハイドリノを凝縮するのに十分な温度を達成できる超低温トラップまたはクライオポンプを備えた凝縮容器内で達成され得る。極低温凝縮は、液体アルゴン、液体窒素、および液体ヘリウム温度のうちの少なくとも1つで達成され得る。一実施形態では、凝縮温度を上げるために、凝縮容器に磁場を印加してもよい。磁場は、凝縮容器の内側または外側に配置され得るネオジムまたはコバルトサマリウム磁石等の電磁石および永久磁石の少なくとも1つを使用して印加されてもよい。水圧圧縮は、水等の非圧縮性液体等の液体を容器内にポンプで送り込んで、容積を移動させ、分子ハイドリノガスを圧縮することによって達成され得る。分子ハイドリノは、液体への溶解度が低くてもよい。容器への導管およびポンプ等の液体送達システムを介した分子ハイドリノガスの拡散損失を回避するべく、液体を容器の底部にポンプで送り込んでもよい。ハイドリノガスを含む圧縮ガスが少なくとも1つの他の望ましくないガスを含む場合、望ましくないガスは、混合物を H a y e S e p（登録商標）Dカラム等のクロマトグラフィーカラムに通す等の手段によって除去され得る。例示的な実施形態では、分子ハイドリノは、液体アルゴン温度等の極低温で H a y e S e p（登録商標）Dカラムに混合物を流すことにより、アルゴンから分離される。

【0547】

一実施形態では、ハイドリノは、再結合触媒を使用して、アルゴン中で水素と酸素とを気体または液体状態の反応物と再結合させることにより触媒的に形成される。例示的な再結合触媒は、セラミック等の支持体上に支持され得る、Pt または Pd 等の貴金属である。セラミック支持体は、アルミナビーズ等のアルミナを含み得る。ハイドリノは、液体アルゴン中で共凝縮酸素とともに形成され、Pd または Pt 等の再結合触媒の存在下で H_2 を添加することによって除去され得る。

【0548】

H_2 （1／4）等のハイドリノを含むアルゴンは、 $p > 4$ のハイドリノ H （1／p）および H_2 （1／p）を形成するための燃料として使用され得るもので、ここで H_2 （1／4）を含むアルゴンは、反応物として S u n C e l l（登録商標）の反応セルチャンバに流

される。反応セルチャンバ内に維持されたハイドリノプラズマは、 H_2 (1 / 4) の結合を切断して H (1 / 4) を形成し得る。

【0549】

一実施形態では、1 kV を超える電圧でのアーク放電等の水中への高電圧放電により、 H_2 (1 / 4) 等のハイドリノ種が形成される。ハイドリノ種は、少なくとも1つの水と相互作用し、互いに作用を及ぼし合うことが可能である。この相互作用により、表面張力が変化し得る水に対して、表面コーティングが形成され得る。表面コーティングは、界面活性剤として機能し得る。界面活性剤は水の表面張力を低下させることが可能である。表面のコーティングは、水が2つの移動した貯留槽の間に橋を形成する水の能力として、現れることが可能である。例えば、石鹼は水の表面張力を低下させ、2つの貯留槽間に変形可能な橋を形成し得る。

10

【0550】

一実施形態では、エネルギーの高いハイドリノプラズマは、 H_2O および H_2 の少なくとも1つと、炭素、 CO 、および CO_2 の少なくとも1つとの反応を促して、メタンを形成し得る。原子ハイドリノおよび分子ハイドリノの少なくとも1つは、 H_2O および H_2 の少なくとも1つと炭素、 CO 、および CO_2 の少なくとも1つとの反応を触媒して、メタンを形成し得る。エネルギーの高いハイドリノプラズマは、 $H_2O \rightarrow H_2 + (1 / 2) O_2$ への反応を促して、水素ガスを生成し得る。水素ガスと酸素ガスを分離・回収し、産業ガスとして使用することが可能である。ハイドリノ反応の出力は、 H_2 、メタン、および炭化水素のうちの少なくとも1つ等、他の形態の燃料に変換され得る。

20

【0551】

一実施形態では、XRD、EDS、NMR、および質量分析等の手段によるメタンまたは炭素の同定が分子ハイドリノを含むサンプルをスクリーニングする手段を含むように、 H_2 (1 / 4) (FIG. 52A) のような分子ハイドリノガスクロマトグラフィーのピークがメタンで観測される。スクリーニングするサンプルの例は、SunCell (登録商標) からの酸化ガリウムおよび $NaOH$ で処理された酸化ガリウムのサンプルである。一実施形態では、分子ハイドリノをトラップするために、ハイドリノ反応混合物に炭素を加えてもよい。反応でメタンが生成することもあり、炭素分子ハイドリノ結合を強化するメタンのインターカレーションによるハイドリノの炭素捕捉をさらに助長し得る。一実施形態では、EPR、FTIR、ラマン、XPS、および本開示の他の分子ハイドリノシグネチャ等の分子ハイドリノに特有の追加のシグネチャは、分子ハイドリノの存在についてサンプルをスクリーニングするために使用され得る。

30

【0552】

一実施形態では、反応器は、 H (1 / p) および H_2 (1 / p) 等の低エネルギー水素種を形成するもので、ここで、p は、 H および HOH 触媒の少なくとも1つの供給源として機能する溶融塩を含む整数である。溶融塩は、共融混合物等の塩の混合物を含み得る。混合物は、水酸化物およびハロゲン化物の少なくとも1つ、例えば、 $LiOH-LiBr$ または $KOH-KCl$ 等のアルカリおよびアルカリ土類水酸化物およびハロゲン化物の少なくとも1つの混合物を含み得る。反応器は、加熱器、加熱器電力供給源、および塩を溶融状態に維持するための温度制御器をさらに含んでもよい。反応器は、少なくとも2つの電極および電力供給源を含む電解システムをさらに含み得る。電極は電解質中で安定し得る。例示的な電極は、ニッケルおよび貴金属電極である。セルに水を供給し、電極に直流電圧等の電圧を印加してもよい。陰極で水素が形成され、陽極で酸素が形成され得る。水素は、セル内で形成された HOH 触媒と反応してハイドリノを形成し得る。ハイドリノの形成によるエネルギーは、セル内で熱を生成し得る。ヒーターが溶融塩を維持するために必要な電力量がハイドリノ反応からの熱によって減少するように、セルは十分に絶縁され得る。反応器は、熱交換器をさらに含んでもよい。熱交換器は、外部負荷に供給される余分な熱を除去し得る。

40

【0553】

実験

50

SunCell (登録商標) 発電システムは、燃料点火反応によって発生させたプラズマ光子を捕捉し、それらを使用可能なエネルギーに変換するように構成された光起電力変換器を、概して備える。いくつかの実施形態では、高い変換効率が望ましい場合があり得る。反応器は、複数の方向、例えば、少なくとも2つの方向にプラズマを放出してもよく、反応の半径は、約数ミリメートル～数メートル、例えば、半径約1mm～約25cmの規模であり得る。さらに、燃料の点火によって発生させたプラズマのスペクトルは、太陽によって生成されたプラズマのスペクトルに類似していてもよく、および／または追加の短波長放射を含み得る。図38は、溶融銀がショットに冷却されると1.3MWの平均光電力を示すように、溶融銀に水を加えて吸収させたH₂Oを含む80mgの銀ショットの点火の5nm～450nm領域での例示的な絶対スペクトルを示しており、このスペクトルは基本的にすべて紫外線および極端紫外線領域にある。点火は、Taylor-WinfieledモデルND-24-75スポット溶接機を使用して、低電圧、高電流で達成された。ショットの両端の電圧降下は1V未満で、電流は約25kAであった。高強度UV放射の持続時間は約1msであった。対照スペクトルは、UV領域で平坦であった。スペクトル線および黒体放射の少なくとも1つのような固体燃料の放射は、約2～200,000sun、10～100,000sun、100～75,000sunのうちの少なくとも1つの範囲の強度を有し得る。一実施形態では、溶接機点火回路のインダクタンスを増加させて、点火後の電流減衰時間が延長し得る。減衰時間が長くなると、ハイドリノプラズマ反応が維持され、エネルギー発生が増加し得る。予測された10.1nmのカットオフを持つ連続放射線によって、H(1/4)の生成が確認される。

10

20

【0554】

起爆の前後に、XPSおよびラマンを電極上で実行した。起爆後の各電極は、図46および47Bに示されるもの等の非常に大きな1940cm⁻¹のラマンピークを示した。起爆後のXPSは、図48A～Bに示されるもの等の496eVの大きなピークを示し、H₂(1/4)の総エネルギーと一致した。唯一の代替割り当てであるNa、Sn、またはZnの他の主要元素ピークは存在せず、これは、H₂(1/4)が非常に激しい反応の生成物であることを裏付けている。起爆ごとの電極の、ラマンまたはXPSスペクトルのそれぞれにおける1940cm⁻¹または496eV領域で、ラマンまたはXPSピークは観測されなかった。

【0555】

UVおよびEUVスペクトルは黒体放射に変換され得る。変換は、UVおよびEUV光子のうちの少なくとも1つの伝搬のためにセル雰囲気を光学的に厚くすることによって達成され得る。燃料金属等の金属をセル内で蒸発させることにより、光学的厚さを増加させ得る。光学的に厚いプラズマは黒体を含み得る。ハイドリノ反応の非常に高い電力密度容量とハイドリノ反応によって放出される光子の高エネルギーのために、黒体温度は高くなり得る。図39に、周囲のH₂O蒸気圧が約1トルの大気アルゴン中のW電極にポンプで注入された溶融銀の点火のスペクトル(サファイア分光計のウィンドウにより180nmにカットオフを有する100nm～500nmの領域)を示す。電源2は、直列に接続された2つのコンデンサ(Maxwell Technologies K2超コンデンサ2.85V/3400F)の2つのセットを備え、これらのコンデンサは並列に接続されて、約1kHz～2kHzの周波数で5kAに電流パルスを重ね合わせて約5～6Vおよび300Aの定電流を供給した。W電極への平均入力電力(1cm×4cm)は約75Wであった。ハイドリノ反応電力による銀の蒸発により大気がUV放射に対して光学的に厚くなると、最初のUV線放出は5000K黒体放射に移行した。蒸発した銀の放射率が0.15である5000K黒体放射体の電力密度は5.3MW/m²である。観測されたプラズマの面積は約1m²であった。本開示の熱光起電力実施形態では、黒体放射は、PV変換器26aへの黒体放射体として機能し得る上部カバー5b4等のセル26の構成要素を加熱し得る。

30

40

【0556】

酸素源を含む溶融物の例示的な試験は、絶対分光法によって決定される光電力を用いて、

50

アルゴン／5 mole % H_2 雰囲気中での80 mg 銀／1 wt % ホウ砂無水物ショットの点火を含んだ。溶接機（Acme 75 KVA スポット溶接機）を使用して、約1 Vの電圧降下で約12 kAの高電流を印加すると、250 kWの電力が約1 msの間観測された。酸素源を含む溶融物の別の例示的な試験では、絶対分光法によって決定される光電力を用いて、アルゴン／5 mole % H_2 雰囲気中での80 mg 銀／2 mole % Na_2O 無水物ショットの点火を含んだ。溶接機（Acme 75 KVA スポット溶接機）を使用して、約1 Vの電圧降下で約12 kAの高電流を印加すると、370 kWの電力が約1 msの間観測された。酸素源を含む溶融物の別の例示的な試験では、絶対分光法によって決定される光電力を用いて、アルゴン／5 mole % H_2 雰囲気中での80 mg の銀／2 mole % Li_2O 無水物ショットの点火を含んだ。溶接機（Acme 75 KVA スポット溶接機）を使用して、約1 Vの電圧降下で約12 kAの高電流を印加すると、500 kWの電力が約1 msの間観測された。

10

【0557】

エドガートロニクス（Edgertronics）高速ビデオカメラで記録されたプラズマのサイズに基づけば、ハイドリノ反応と電力は反応容量に依存する。銀ショット等の約30～100 mgのショットと、水和等のHおよびHOH触媒の源を点火するには、反応電力とエネルギーを最適化するために、約0.5～10リットル等のように、容量が最小になる必要があり得る。ショット発火から、非常に高い銀圧ではハイドリノ反応率が高くなる。一実施形態では、ハイドリノ反応は、高いプラズマ圧力で高い反応速度を有し得る。高速分光およびEdgertronicsデータに基づけば、ハイドリノ反応率は、プラズマ容量が最も低く、Ag蒸気圧が最も高い開始時に最も高くなる。溶融すると、直径1 mmのAgショットが発火する（ $T=1235\text{ K}$ ）。80 mg（ 7.4×10^{-4} モル）ショットの初期容量は 5.2×10^{-7} リットルである。対応する最大圧力は約 1.4×10^5 気圧である。例示的な実施形態では、反応は、約0.5 msの反応持続時間の間、ほぼ音速（ 343 m/s ）で拡大することが観測された。最終的な半径は約1.7 cmであった。背圧のない最終容量は約20リットルであった。最終的なAg分圧は約 3.7×10^{-3} 気圧であった。反応は高圧でより高い反応速度を持ち得るため、電極圧力を適用し、プラズマが電極間軸に垂直に膨張することを可能にすることにより、電極閉じ込みにより反応速度が増加し得る。

20

【0558】

97%アルゴン／3%水素の雰囲気の下で、 2.5 mL/s でSunCell（登録商標）の点火電極に注入された溶融銀に1 mole %または0.5 mole %の酸化ビスマスを追加することによって生じるハイドリノ反応によって放出されるエネルギー出力を測定した。酸化物の追加に対応するハイドリノ反応エネルギー出力の寄与の追加前後の一時的な反応セルの注水冷却温度の勾配の相対的变化に、内部標準として機能する一定の初期入力エネルギーを掛けた。重複した実行の場合、酸素源を追加した後のハイドリノエネルギー出力の寄与を伴う合計セルエネルギー出力は、7540 W、8300 W、8400 W、9700 W、8660 W、8020 W、10,450 Wの合計エネルギー入力に対応する97、119、15、538、181、54、および27の一時的な冷却温度応答の勾配の比の積によって決定された。熱バーストエネルギー出力は、それぞれ731, 000 W、987, 700 W、126, 000 W、5, 220, 000 W、1, 567, 000 W、433, 100 W、および282, 150 Wであった。

30

40

【0559】

2.5 mL/s のSunCell（登録商標）の点火電極に注入された溶融銀に、97%アルゴン／3%の水素雰囲気の下で、1 mole %の酸化ビスマス（ Bi_2O_3 ）、1 mole %のバナジウム酸リチウム（ $LiVO_3$ ）、または0.5 mole %のバナジウム酸リチウムを追加することによって生じるハイドリノ反応によって放出されるエネルギー出力を測定した。酸化物の追加に対応するハイドリノ反応エネルギー出力の寄与の追加前後の一時的な反応セルの冷却水温度の勾配の相対的变化に、内部標準として機能する一定の初期入力エネルギーを掛けた。重複した実行の場合、酸素源を追加した後のハイド

50

リノエネルギー出力の寄与を伴う合計セルエネルギー出力は、6420W、9000W、および8790Wの合計入力エネルギーに対応する497、200、および26の一時的な冷却温度応答の勾配の比の積によって決定された。熱バーストエネルギー出力は、それぞれ3.2MW、1.8MW、および230,000Wであった。

【0560】

例示的な実施形態では、点火電流は、約0.5での約0Vから1Vへの電圧増加に対応して、約0Aから2000Aに上昇し、その電圧でプラズマは点火した。次に、電圧をステップとして約16Vに上げ、約0.25秒間保持し、そこで約1kAが溶融物に流れ、1.5kAが電極8以外の別の接地ループを介してプラズマの大部分を直列に流れた。9L/秒の流量でAg(0.5mol% LiVO₃)とアルゴン-H₂(3%)を含むSunCell(登録商標)への入力エネルギーが約25kWの場合、エネルギー出力は1MWを超えた。点火シーケンスは約1.3Hzで繰り返された。

10

【0561】

例示的な実施形態では、点火電流は約500Aの定電流であり、電圧は約20Vであった。9L/秒の流量でAg(0.5mol% LiVO₃)とアルゴン-H₂(3%)とを含むSunCell(登録商標)への入力エネルギーが約15kWの場合、エネルギー出力は1MWを超えた。

【0562】

一実施形態では、ガス流量、アルゴン-水素混合気の組成物等のガス組成物、ガス流量、スケール、形状、EMポンピング速度、動作温度、点火波形、電流、電圧、電力等の動作パラメータが最適化される。一連の実験用SunCells(登録商標)を、25~30Vの直流点火電圧と1500A~3000Aの電流とを用いて試験し、ここでは、各々が(i)図25に示すような、台座電極が正の倒立台座(ii)200g/sで圧送される溶融金属としてのガリウム、ならびに、(iii)反応セルチャンバ内でHOH触媒およびHの供給源として、トーチで混合されて90℃を上回る温度で1gの10%Pt/Al₂O₃を通して3000sccmで流れるH₂および30sccmで流れるO₂を含む。最適なスケールの順位は、直径6インチの球体>直径8インチの球体>直径12インチの球体、および4インチ角の立方体>6インチ角の立方体>9インチ角の立方体であることがわかった。

20

【0563】

溶融金属としてガリウムを含む直径6インチの球形セルの実施形態では、ハイドリノ反応には、酸水素トーチ内で混合されて1gの10%Pt/Al₂O₃を含む再結合器チャンバを通して流れた750sccmのH₂および30sccmのO₂が、セルに流入する前に90℃を超える温度で、供給された。さらに、反応セルチャンバには、セルに流入する前に90℃を超える温度で1gの10%Pt/Al₂O₃を含む第2の再結合器に流された1250sccmのH₂が、供給された。3つのガス供給のそれぞれは、対応する質量流量コントローラによって制御された。H₂とO₂との合流により、HOH触媒と原子Hとが提供され、第2のH₂供給により追加の原子Hが提供された。ハイドリノ反応プラズマは、約30~35Vおよび約1000Aの直流入力で維持された。積V・Iによって測定された入力電力は34.6kWであり、かつ129.4kWの出力電力が溶融金属浴熱量測定によって測定され、ここで、貯留槽および反応セルチャンバ内のガリウムとバスとして機能した。

30

40

【0564】

2500sccmのH₂および70sccmのO₂が事前に装填され、反応セルチャンバの壁にTalaイナーを含み、側面が4インチのセルの実施形態では、3000A~1500Aの範囲内の電流が、50Vに充電されたコンデンサバンクから供給された。コンデンサバンクは、18個のコンデンサ(Maxwell Technologies K2Ultracapacitor 2.85V/3400F)が直列となった並列バンク3つを含み、これにより、51.3Vの合計バンク電圧性能と566.7ファラッドの合計バンク静電容量が得られた。入力電力は83kW、出力電力は338kWであった。40

50

00 sccm H₂ および 60 sccm O₂ が供給される直径 6 インチの球形セルの実施形態では、3000 A ~ 1500 A の範囲内の電流が、50 V に充電されたコンデンサバンクから供給された。入力電力は 104 kW であり、かつ出力電力は 341 kW であった。

【0565】

2 リットルの Pyrex SunCell (登録商標) で実行されたハイドリノ反応によって発生した異常なエネルギー出力密度は、図 40 に示す 1.3 nm の H アルファ線の観測された極端な Stark 広がりから、明らかである。広がり $3.5 \times 10^{23} / m^3$ の電子密度に対応する。SunCell (登録商標) のガス密度は 2 と計算された。アルゴン H₂ 圧力 800 トル、温度 3000 K に基づく 5×10^{25} 原子 / m³。対応するイオン化率は約 10 % であった。アルゴンと H₂ のイオン化エネルギーが約 15.5 eV で、
10
高圧での再結合寿命が 100 μs 未満である場合、イオン化を維持するためのエネルギー出力密度は

【数 57】

$$P = \left(\frac{3.5 \times 10^{23} \text{ 電子}}{m^3} \right) (15.5 \text{ eV}) \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} J}{eV} \right) \left(\frac{1}{10^{-4} s} \right) = \frac{8.7 \times 10^9 W}{m^3}$$

である。

【0566】

図 34 に示す実施形態では、より低いエネルギーの水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーを形成するシステム 500 は、Plexiglas チャンバのようなチャンバ 507、金属線 506、高電圧直流電源 503 によって充電される接地接続 504 を備えた高電圧コンデンサ 505、ならびに、コンデンサからの回路を閉じてワイヤを起爆させるべく、ソケット 507 内の金属ワイヤ 506 に至る 12 V 電気スイッチ 502 およびトリガースパークギャップスイッチ 50 等のスイッチと、を備える。水蒸気は、水蒸気および大気または希ガス等のガスを含んでもよい。

【0567】

低エネルギー水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーを形成する例示的なシステムは、長さが 46 cm、幅と高さが 12.7 cm の閉じた長方形の直方体の Plexiglas チャンバと、チャンバの床から 9 cm の距離にあるステンレスナットで 2 つのステンレスボールの間に取り付けられた、長さ 10.2 cm、直径 0.22 ~ 0.5 mm の金属線と、557 J に対応する約 4.5 kV に充電される 15 kV コンデンサ (Westinghouse モデル 5PH349001AAA、55 μF) と、該コンデンサを充電するための 35 kV 直流電源と、コンデンサからチャンバ内の金属ワイヤまでの回路を閉じてワイヤを起爆させるトリガースパークギャップスイッチを備えた 12 V スwitch (Information Unlimited、モデル-Trigatron 10.3 kJ) と、
30
を備える。ワイヤは、Mo (モリブデンゲージ、直径 0.305 mm のワイヤから 20 メッシュ、99.95 %、Alpha Aesar)、Zn (直径 0.25 mm、99.993 %、Alpha Aesar)、Fe-Cr-Al 合金 (73 % - 22 % - 4.8 %、31 ゲージ、0.226 mm 直径、KDCr-Al-Fe 合金ワイヤ部品番号 # 1231201848、Hyndman Industrial Products Inc.)、または Ti (直径 0.25 mm、99.99 %、Alpha Aesar) ワイヤを含む。例示的な運転動作では、チャンバには約 20 トルの水蒸気を含む空気を充填した。トリガースwitch を閉じる前に、高電圧直流電源をオフにした。5 kA のピーク電流で約 300 μs を超える減衰高調波発振器として、約 4.5 kV のピーク電圧を放電した。ワイヤ起爆の約 3 ~ 10 分後に、より低いエネルギーの水素種を含むマクロ凝縮物またはポリマーが形成された。チャンバの床および壁から分析サンプルを回収するとともに、該チャンバ内に設置された Si ウェーハからも分析サンプルを回収した。分析結果は、開示の
40
ハイドリノシグネチャと一致した。
50

【0568】

図41に示す実施形態では、ハイドリノ回転振動スペクトルは、アルゴンガス等の不活性ガスと原子状水素のH O H触媒の供給源H O H (O Hバンド309 nm、O 130.4 nm、H 121.7 nm)としてのHおよびOの再結合によって形成されるH₂ (1/4)を含む反応混合ガスの電子ビーム励起によって観測される。アルゴンは、約100トル～10気圧の圧力範囲にあってよい。水蒸気は、約1マイクロトル～10トルの範囲であり得る。電子ビームエネルギーは、約1 keV～100 keVの範囲であり得る。回転線は、窒化ケイ素の窓を通してチャンバ内のガスに入射された12 keV～16 keVの電子ビームによって励起されたH₂ (1/4)を含む大気圧のアルゴンプラズマからの145～300 nmの領域で観測された。反応ガスチャンバの別の窓であるMgF₂を通して放出が観測された。水素のエネルギー間隔の42倍のエネルギー間隔は、核間距離をH₂の1/4として確立し、H₂ (1/4)を特定した(式(29～31))。該間隔シリーズはP(1)、それぞれ154.8、160.0、165.6、171.6、177.8で観測されたP(2)、P(3)、P(4)、およびP(5)を含むH₂ (1/4)振動遷移 $v=1 \rightarrow v=0$ のH₂ (1/4)のP分岐に一致した。別の実施形態では、ハイドリノを含む物質の組成物、例えば本開示の1つのものは、熱分解され、H₂ (1/4)等のハイドリノを含む分解ガスが反応ガスチャンバに導入され、ハイドリノガスが電子ビームで励起されて回転振動発光スペクトルが記録される。

10

【0569】

アルゴン雰囲気中の担持された貴金属触媒上での水素と酸素の再結合によって形成されたアルゴン/H₂ (1/4)混合物のH₂ (1/4)ガスを、液体アルゴン中で極低温に冷却された長さ35 m、内径2.5 mmのHayeSep(登録商標)Dクロマトグラフカラムに混合物を流すことによって濃縮した。図42に示すように、電子ビーム励起発光分光法で観察されたH₂ (1/4)の回転振動P分岐の劇的な増加によって示されるように、アルゴンは部分的に液化され、流れる分子ハイドリノガスが濃縮された。

20

【0570】

アルゴンガスを、不純物を取り除く高温のチタンリボンで処理した。精製アルゴンを用いて電子線スペクトルを繰り返したところ、H₂ (1/4)のP分岐が観測されなかった。H₂ (1/4)ガスを除去するために使用されたTiリボンをラマン分光法にかけ、ピーク時に、H₂ (1/4)の回転エネルギーとの一致が1940 cm⁻¹で観測され、図41に示す150～180 nmの範囲の一連のスペクトル線の供給源であることを確認した。1940 cm⁻¹のピークは、図46に示すピークと一致した。

30

【0571】

別の実施形態では、H₂ (1/4)等のハイドリノガスは、ハロゲン化アルカリまたはアルカリハライドアルカリ水酸化物マトリックス等のゲッターに吸収される。回転振動スペクトルは、真空中のゲッターの電子ビーム励起によって観測可能である(図43)。電子ビームエネルギーは、約1 keV～100 keVの範囲であり得る。ピーク間の回転エネルギーの間隔は、式(30)によって与えられ得る。式(29)によって与えられる振動エネルギーは、結晶マトリックスによって引き起こされる有効質量が高いため、より低いエネルギーにシフトし得る。例示的な実験例では、ゲッターの結晶格子に閉じ込められたH₂ (1/4)の回転振動放出を、約5×10⁻⁶トルの圧力範囲で、ビーム電流10～20 μAの入射6 keV電子銃によって励起し、窓なしのUV分光法によって記録した。Millsら[参照により援用されるR. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「触媒誘起ヒドリノ遷移(CIHT)電気化学セル」(Catalyst induced hydri no transition (CIHT) Electrochemical Cell) (2013)、DOI:10.1002/er.3142]の5WCIHTセルスタックでゲッターとして機能するUV透明マトリックスKClのH₂ (1/4)(いわゆる260 nmバンド)の分解回転振動スペクトルは、258 nmにピークの最大値を含み、222.7、233.9、245.4、258.0、272.2、および287.6 nmにピークの代表的な位置

40

50

があり、等間隔が 0.2491 eV であった。一般に、エネルギー対ピーク数のプロットは、 $R2 = 0.999$ 以上で $y = -0.249 \text{ eV} + 5.8 \text{ eV}$ で与えられるスペクトル線を生成し、遷移の $\text{H}_2(1/4)$ の予測値 $v=1 \rightarrow v=0$ ならびに $Q(0)$ 、 $R(0)$ 、 $R(1)$ 、 $R(2)$ 、 $P(1)$ 、 $P(2)$ 、 $P(3)$ 、および $P(4)$ と非常によく一致し、ここで、 $Q(0)$ が一連のピークでの最も激しいピークとして識別可能である。

【0572】

回転振動励起バンドは、サンプルを冷却することにより、過疎化され、励起が抑制される。分子ハイドリノは、H および HOH ハイドリノ触媒のソースとして機能する水和水を含む KCl 結晶で形成された。結晶格子 (260 nm バンド) に閉じ込められた $\text{H}_2(1/4)$ の見慣れた回転振動発光が窓なし UV 分光法によって観測され (図 44)、ペレット状のサンプルが $25 \mu\text{A}$ のビーム電流で 6 KeV の入射電子銃によって励起された。電子ビームペレットサンプルを、 $297 \text{ K} - 155 \text{ K} - 296 \text{ K}$ から熱サイクルし、クライオポンプシステムを使用してサンプルの冷却を実施した (Helix Corp.、CTI-Cryogenics モデル SC コンプレッサ、TRI-Research モデル T-2000D-IEEE コントローラ、Helix Corp.、CTI-Cryogenics モデル 22 クライオダイナミクス)。 0.25 eV 間隔の一連のピークは、電子ビーム電流を一定に保ちながら、低温で強度を可逆的に減少した。強度の低下は、 260 nm バンドエミッターの変化によるものであった。これは、 310 nm を超えるスペクトル領域のバックグラウンドが低温で実際に増加したためである。これらの結果は、放出の原因が $\text{H}_2(1/4)$ の回転エネルギーにほぼ完全に一致する回転振動によるものであることを裏付ける。そのことは Mills によって示され、 $\text{H}_2(1/4)$ に割り当てられたスペクトル線に、高精度可視分光法を 2 次精度 $\pm 1 \text{ \AA}$ で使用する構造が認められず、 $\text{H}_2(1/4)$ 回転振動への割り当てをさらに裏付けた [R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「触媒誘起ヒドリノ遷移 (CIHT) 電気化学セル」 (Catalyst induced hydrino transition (CIHT) Electrochemical Cell) (2013), DOI: 10.1002/er.3142]。

【0573】

ハイドリノスペクトルの検索で成功したもう 1 つの相互確認手法には、ラマン分光計を使用して、 $\text{H}_2(1/4)$ の回転振動を、以前に観測された紫外の一次スペクトル (260 nm 電子ビーム帯) と一致する二次蛍光として、記録することが含まれた [R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「触媒誘起ヒドリノ遷移 (CIHT) 電気化学セル」 (Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell) (2013), DOI: 10.1002/er.3142]。ステンレス鋼 SunCell (登録商標) で形成された $\text{H}_2(1/4)$ を、2 つの方法、すなわち、(i) ハイドリノプラズマ反応を維持するべく、SunCell (登録商標) への水の添加によって形成された酸化物混合物を 900°C で加熱する方法であって、該加熱により混合物の $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{H}_2(1/4)$ が分解された方法、および、(ii) NaOH 中に溶解した酸化物混合物の濾液の 900°C で加熱する方法によって、ガスとして放出した。ファンデルワールス結合 $\text{H}_2(1/4)$ ガスを含む酸化ガリウムまたは酸化ガリウムの NaOH 溶解生成物の濾液の少なくとも 1 つの熱分解からのガスの KCl ゲッターのラマンスペクトルを、Horiba Jobin Yvon LabRAM Aramis Raman 分光計と HeCd 325 nm レーザーを顕微鏡モードとを用いて倍率 40 倍で記録した。具体的には、SunCell (登録商標) から収集された $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{H}_2(1/4)$ を含む圧力容器に接続されたチューブに、KCl を充填し、 $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{H}_2(1/4)$ を 900°C に加熱した分解ガスを KCl ゲッターに流した。KCl 出発物質のラマンスペクトル目立つ物ではなく、一方、KCl ゲッターラマンは、 $8000 \text{ cm}^{-1} \sim 18,000 \text{ cm}^{-1}$ の領域で観察された一連の 1000 cm^{-1} (0.1234 eV) の等エネルギー間隔のラマンピークを含んだ。ラマンスペクトルを蛍光またはフォトルミネセン

10

20

30

40

50

スペクトルに変換すると、電子ビーム励起で最初に観測された260 nmバンドに対応する $H_2(1/4)$ の2次回転振動スペクトルと一致することが明らかになった[R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「触媒誘起ヒドリノ遷移(CIHT)電気化学セル」(Catalyst induced hydride transition (CIHT) electrochemical cell) (2013), DOI: 10.1002/er.3142]。Q(0)を最も強いピークに割り当てると、図45示されるスペクトルのQ、R、およびP分岐に対する表5で与えられたピークの割り当ては、13, 188、12, 174、11, 172、10, 159、9097、8090、14, 157、15, 106、16, 055、16, 975、および17, 873 cm^{-1} にてそれぞれ観測されたQ(0)、R(0)、R(1)、R(2)、R(3)、R(4)、P(1)、P(2)、P(3)、P(4)、およびP(5)である。観測されたラマンスペクトルと比較してピークが割り当てられた理論的な遷移エネルギーを表5に示す。

10

【表5】

表5. 理論上の遷移エネルギーおよび遷移の割り当てと観測されたラマンピークとの比較。

割り当て	計算値 (cm^{-1})	実験値 (cm^{-1})	差 (%)
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

20

30

【0574】

アルミニウムDSC皿密封された100 mg Cu + 30 mg 脱イオン水を含む固体燃料の点火により生じたガスに対して、Inホイルを曝した。予測ヒドリノ生成物 $H_2(1/4)$ をラマン分光法およびXPSにより同定した。サーモサイエンティフィック(Thermo Scientific) DXRスマートラマン(Smart Raman)と780 nmダイオードレーザーの併用により、 $H_2(1/4)$ の自由空間回転エネルギー(0.2414 eV)に一致するインジウム金属ホイル上に幅が40 cm^{-1} である1982 cm^{-1} の吸収ピークが観測された(図46)。ここでは、OおよびInのみがXPSによって観測され、これらの元素の化合物は観測されたピークを生じさせなかった。さらに、XPSスペクトルによりヒドリノの存在が確認された。Scienta 300 XPS分光計を使用して、リーハイ(Lehigh)大学のInホイルサンプルでXPSを実行した。498.5 eV(図48A~B)に強いピークが観測されたが、既知の元素には割り当てることができなかった。ピークは、分子ヒドリノ $H_2(1/4)$ の理論上許容される二重イオン化のエネルギーと一致した。図49A~Bにそれぞれ示すように、 $H_2(1/4)$ の496 eV XPSピークは、FeおよびMoワイヤのワイヤ起爆のために形成された高分子ヒドリノ化合物にも記録された。

40

【0575】

$H_2(1/4)$ 回転エネルギー遷移は、図47A~Bに示すように、1 mol%の H_2O を含む80 mg 銀ショットの前および起爆前の銅電極でさらに確認された。サーモサイエ

50

ンティフィック (Thermo Scientific) DXRスマートラマン (Smart Raman) 分光計と780nmレーザーを使用して得られたラマンスペクトルは、 H_2 (1/4) (0.2414 eV) の自由回転子エネルギーと一致する点火によって形成された逆ラマン効果ピークを 1940 cm^{-1} で示した。絶対分光法を使用して、点火されたショットで20MWのピークエネルギー出力の測定を、22.8~647nmの領域で実施し、ここで、発光エネルギーが印加エネルギーの250倍であった [参照により援用されるR. Mills, Y. Lu, R. Frazer, 「水和銀ショットの超低磁場点火のエネルギー出力決定とハイドリノ製品の特性評価 (Power Determination and Hydrino Product Characterization of Ultra-low Field Ignition of Hydrated Silver Shots)」、Chinese Journal of Physics, Vol. 56, (2018), pp. 166-1717頁]。スポット溶接機で12V35,000Aの電流を印加することで起爆が達成された1mol% H_2O を含む80mg 銀ショットの点火後の銅電極の対応するXPSスペクトルを、図50A~Bに示す。496eVのピークは H_2 (1/4) に割り当てられ、これらの候補の対応するピークが存在しないため、Na、Sn、Zn等の他の可能性が排除された。

10

【0576】

図45で観測された H_2 (1/4) 回転振動スペクトルの励起は、レーザーの高エネルギーUVならびにEUVHeおよびCd放出によるものと見なされた。全体として、0.241eV (1940 cm^{-1}) のラマン逆ラマン効果のピークと、260nmの電子ビームスペクトルに一致する0.2414eV間隔のラマンフォトルミネセンスバンドの観測等のラマン結果は、分子ハイドリノが、核間距離が H_2 の1/4であることを強く裏付けている。ラマン分光法による分子ハイドリノの割り当て、 1982 cm^{-1} を中心とする逆ラマン効果吸収ピーク、およびXPSによって498.5eVで観測された分子ハイドリノ H_2 (1/4) の二重イオン化によって、HのHOH触媒作用のハイドリノ生成物が確認される。

20

【0577】

さらに、ハイドリノ反応生成物ガスを吸収したゲッターの陽イオンToF-SIMSスペクトルは、構造の一部として二水素を含むマトリックス化合物の多量体クラスター $M:H_2$ (1/p) ($M=KOH$ または K_2CO_3) を示した。具体的には、 KOH および K_2CO_3 を含む [R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G. Chu, J. He, J. Trevey, 「触媒誘起ヒドリノ遷移 (CIHT) 電気化学セル」 (Catalyst induced hydrino transition (CIHT) Electrochemical Cell) (2013), DOI:10.1002/er.3142]、または、これらの化合物をハイドリノ反応生成ガスのゲッターとして持つ以前のハイドリノ反応生成物の正イオンスペクトルは、 $K^+(H_2:KOH)_n$ および $K^+(H_2:K_2CO_3)_n$ が構造内の複合体として H_2 (1/p) と一致することを示した。

30

【0578】

一実施形態では、分子ハイドリノガスは、水素と酸素の反応によって形成され得、ここで、HおよびHOH触媒は、反応によって維持される。水素および酸素は、燃焼によって、またはPt/ Al_2O_3 等の再結合触媒または本開示の別のもの等による触媒再結合によって再結合され得る。反応混合物は、水素、酸素、燃焼剤、または再結合器を含み、さらに、原子HおよびHOH触媒のうちの少なくとも1つの寿命および濃度のうちの少なくとも1つを増加させるべく、必要に応じて不活性ガスを含み得る。一実施形態では、ハイドリノガスを生成するための反応器は、水性電解セルおよび再結合器を含み、水素および酸素の化学量論的混合物の生成を支持するための不活性ガスをさらに含んでもよく、それが再結合器と電気分解とによるHおよびHOHの生成による再結合を起こし、HとHOHが分子ハイドリノを形成する。反応器の雰囲気はハイドリノガスで富化するには、反応器を閉じて所望の期間連続して操作するとよく、ハイドリノガスに富むガスを、収集システム

40

50

によってバルブ付き出口を介して反応器から収集することが可能であり、必要に応じて、クロマトグラフィーカラム等のガス精製システムによってハイドリノガスにさらに富化させてもよい。

【0579】

例示的な実施形態では、アルゴン中の分子ハイドリノは、酸素と水素の接触再結合によって生成される。希ガスのうち、アルゴンには精製中の汚染に起因する微量のハイドリノガスが特異的に含まれる。空気の低温蒸留中にアルゴンと酸素が共凝縮し、プラチナ／ Al_2O_3 等の再結合触媒上で水素と反応することにより酸素が除去され、その後の H_2O 触媒と H_2 との反応により再結合反応中にハイドリノが形成される。アルゴンガスの電子ビーム励起発光は、 HI 、 OI 、および O_2 バンドの既知のピークを示している（図41）。未知のピークは分子ハイドリノ（ H_2 （1／4）Pブランチ）と一致し、スペクトルに他の割り当てられていないピークは存在しない。別の実施形態では、 H_2 （1／4）等のハイドリノガスは、大気ガスまたはSunCell（登録商標等の別の供給源から低温蒸留によって富化され得る。あるいは、ハイドリノガスは、 H_2O を含むプラズマ、例えばアルゴン等の希ガス中の H_2O を維持することによって、元の位置で形成されたもの少なくとも1つである。プラズマは、約0.1ミリトル～1000トルの圧力範囲内であってよい。 H_2O プラズマは、アルゴン等の希ガス等の別のガスを含み得る。例示的な実施形態では、1トルの H_2O 蒸気を含む大気圧アルゴンプラズマは、電子ビーム、グロー、RF、またはマイクロ波放電供給源等の本開示の1つ等のプラズマ供給源によって維持される。

10

20

【0580】

一実施形態では、本開示の1つ等のハイドリノを含む物質の組成物は熱分解され、ガスクロマトグラフィーは、 H_2 （1／4）等のハイドリノガスを含む分解ガスに対して行われる。例示的な実施形態では、 H_2 （1／4）ガスは、本開示による水蒸気を含む大気中のZnまたはSn線の起爆からのもの等のハイドリノ化合物の熱分解から得られてもよい。ガスサンプルは、非常に小さい H_2 （1／4）ガスが真空気密圧力容器からの急速な拡散により約800℃等の高温での圧力の急激な低下が見られるため、GCに迅速な負荷をかける必要があり得る。サイズが小さく、平均自由行程が大きいと、 H_2 （1／p）は H_2 キャリアガスよりも熱伝導性が高いと思われ、負のピークが観測される。水素よりも熱伝導性の高いガスは知られていないことから、水素に比べて速くかつ負であるピークは特徴的であり、 H_2 （1／4）等の分子ハイドリノを一意に識別する。

30

【0581】

熱伝導度検出器（TCD）を備えたHP5890シリーズIIガスクロマトグラフを使用して、SunCell（登録商標プラズマランから収集された NaOH 処理 Ga_2O_3 に結合したハイドリノガスの熱分解によって放出されたガスに対して、クロマトグラフィーを実行し、さらに、既知のガスの移動時間を特定した対照ガスと比較能した。60℃のTCDでキャピラリカラム（Agilentモレキュラーシーブ5Å、（50m×0.32、df=30μm）、303K（30℃）でのヘリウムキャリアガスの流れに対して、圧力コントローラを手動で10PSIに設定した。6方向バルブを使用して加圧ガスサンプル容器からカラムへ、ガスサンプルを直接注入した。注入量が1.74mLに調節されたガスサンプルを、長さが8インチおよび直径0.065インチの銅管に充填して提供した。

40

【0582】

図25に示す分子ハイドリノガスを生成するプラズマ反応器は、DC電磁（EM）ポンプ注入器を備えた直径6インチのステンレス鋼球を備えたもので、該注入器はステンレス鋼の注入管を有するとともに、陰極として機能する球の負のz軸極にあるモリブデンノズルと、陽極として機能する球の正のz軸極に中央のモリブデンロッドを有する窒化ホウ素ペDESTALとを有する。反応器には、運転中に溶融し、EMポンプ注入器によって注入された3.5kgのガリウムが含まれた。SunCell（登録商標をアルゴンで800トルまで加圧し、 H_2 ガスを100sccmで流し、さらに250μLの H_2O を注入した。

50

セル内の約 10 mg の酸化ガリウムは、ハイドリノ反応物の原子状水素の供給源としても機能する H_2 ガスによる HOH 触媒の酸素供給源として機能した。ガリウムのポンピング速度は約 $30\text{ cm}^3/\text{s}$ であり、プラズマを約 100 kW の過剰電力に維持するためのプラズマ直流点火電圧と電流とがそれぞれ 50 V と 1000 A であった。

【0583】

5 分間のプラズマ運転の後、SunCell (登録商標から 3 グラムの酸化ガリウムを収集し、固体を過剰の 1 M NaOH と 24 時間混合し、水溶液をデカントし、不溶性固体を多孔質の薄壁セラミックるつぼに入れた。るつぼを 65 ミリリットルのステンレス鋼容器に入れ、銅ガasket と 2 つの溶接ポート (1 つの入口/出口ポートと試験中および試験後の圧力変化を監視するためのポート) を備えたステンレス鋼ナイフエッジフランジプレートを使用して真空密閉した。密閉された鋼製容器を排気し、漏れをチェックし、製錬炉 (ProCast (登録商標) 3 kg 110 ボルト米国電気溶解炉 2102 °F) に充填し、25 ~ 40 分の時間間隔で 950 °C に加熱し、ここで圧力を水銀柱 - 30 から 15 ~ 25 PSI の間に上昇させた。次に、ステンレス鋼の容器を銅のサンプル管とガスクロマトグラフの 6 方向バルブとに接続した。好ましくは、銅のサンプル管内の圧力を少なくとも 1000 トルを維持させた。ガリウムも、NaOH 処理した Ga_2O_3 と同じプロトコルにかけて、コントロールガスとして機能させた。

【0584】

SunCell (登録商標) からの NaOH 処理酸化物の加熱によるハイドリノガスと、酸素 (20%)、窒素 (80%)、および微量の水を含む空気に加えて、Atlantic State Specialty Gas から入手した対照ガス (水素超高純度 (UHP)、メタン (UHP)、および水素 (HUP) / メタン (UHP) (90 / 10%) をヘリウムキャリアガスとともに試験した。残留ガス分析装置 (Ametek Dycor Residual Gas Analyzer Model: Q100M) を使用したガスクロマトグラフィー (GC) 分析に続いて、質量分析をハイドリノガスで実施した。ハイドリノガスサンプルを、室温で少なくとも 24 時間放置した後、ガスクロマトグラフィーによって繰り返し分析し、真空気密容器から拡散した種があるかどうかを判断した。

【0585】

Snavely と Subramaniam (K. Snavely, B. Subramaniam, 「ヘリウムキャリアガスと HayeSep (登録商標) D カラムを使用した水素の熱伝導度検出器分析 (Thermal conductivity detector analysis of hydrogen using helium carrier gas and HayeSep (登録商標) D columns)」, Journal of Chromatographic Science, Vol. 36, (1998), pp. 191-196 頁) に示されるように、130 °C 未満の温度で TCD による HP5890 上でのすべてのピーク強度に対して、正である。 H_2 (1 / 4) 等の分子ハイドリノガス H_2 (1 / p) は、通常の H_2 よりも体積が p^3 小さいため、弾道衝突の平均自由行程が p^2 小さくなり、 H_2 よりも熱伝導率が高くなる。通常の H_2 に比べて分子ハイドリノガスのサイズが小さく熱伝導率が高いため、 H_2 (1 / 4) のクロマトグラフィーピークは保持時間が短くなり、低濃度では正、高濃度では負になると予想される。したがって、正の前縁と後縁を有する可能性があり、かつリウムキャリアガス中の分子ハイドリノバンドの最大濃度に対応する最大で負の強度を有する可能性がある H_2 ピークの前のピークは、ヘリウムがヘリウムキャリアガスにピークを生成せず、かつ水素またはヘリウムよりも保持時間が短くて熱伝導率が高い既知のガスがないことから、ハイドリノのみである。

【0586】

ヘリウムキャリアガスを有する Agilent モレキュラーシーブカラムと 60 °C に設定された熱伝導検出器 (TCD) とを使用して HP5890 シリーズ EI ガスクロマトグラフィーによりコントロールガスクロマトグラフを記録したところ、すべての水素ピークが

10

20

30

40

50

正であったことが図5 1 A～Eに示されており、ここで、1 0 0 0トルの水素は、1 0分で正のピークを示し、1 0 0 0トルのメタンは、1 7分に小さな正のH₂O汚染ピークを示すとともに5 0．5分に正のメタンピークを示し、1 0 0 0トルの水素（9 0％）とメタン（1 0％）の混合物は、1 0分で正の水素ピークを示すとともに5 0．2分で正のメタンピークを示し、7 6 0トルの空気は、1 7．1分に非常に小さな正のH₂Oピーク、1 7．6分に正の酸素ピーク、および3 5．7分に正の窒素ピークを示し、さらに、ガリウム金属を9 5 0℃に加熱したガスはピークを示さなかった。SunCell（登録商標で実行されたハイドリノ反応から収集されて9 5 0℃に加熱されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフを、図5 2 A～Bに示す。既知の正の水素ピークは1 0分に観察され、さらに、8．9分と9．3分とにそれぞれ正の前縁と後縁とを有する9分に観察された新しい負のピークは、H₂（1／4）に割り当てられた。ハイドリノの特徴でありハイドリノを識別するH₂またはHeよりも移動時間が速く熱伝導率が高いガスは知られておらず、その理由は、例示的なH₂（1／4）が6 4倍小さい体積および1 6倍小さい弾道断面を有するために、それがはるかに大きい平均自由行程を有するからである。図5 2 A～Bに示すガスクロマトグラフの記録後、水素およびH₂（1／4）を含むガスを2 4時間以上容器内に放置した。水素ピークは1 0分に再び観察され、3 7．4分には小さなN₂汚染ピークがあったけれども、図5 3に示すように、H₂（1／4）H₂と比較しても、水素よりも保持時間が短い新しい負のピークは存在せず、このことは、H₂と比較しても、H₂（1／4）のより小さなサイズおよび対応する高い拡散性と一致している。

10

20

【0 5 8 7】

H₂またはヘリウムがH₂（1／4）に割り当てられた、より速い移動時間と高い熱伝導率とに対応する初期の負のピークのガスクロマトグラフィ結果がSunCell（登録商標）での2回目および3回目のハイドリノ反応実行で再現された。SunCell（登録商標で実行された2回目のハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフの結果を図5 4 A～Bに示す。既知の正の水素ピークは1 0分に観察され、正の未知のピークが4 2．4分に観察され、正のメタンピークが5 1．8分に観察され、さらに、H₂（1／4）に割り当てられた新規の負のピークは、8．7 6分に観察され、正の前縁および後縁は、それぞれ8．6 6分および9．3分にあった。SunCell（登録商標で実行された3回目のハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフの結果を図5 5 A～Bに示す。既知の正の水素ピークは1 0分に観察され、正のメタンピークは5 1．9分に観察され、さらに、H₂（1／4）に割り当てられた新規の負のピークは8．8分で観察され、正の前縁および後縁は、それぞれ8．7分および9．3分にあった。

30

【0 5 8 8】

ガスの質量スペクトル（図5 6）は、SunCell（登録商標）で実行され、かつ9 5 0℃に加熱されたハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から得たもので、図5 5 A～Bに示すガスクロマトグラフの記録後に記録され、水素とメタンとの存在が確認された。メタンの形成は異常であり、ステンレス鋼の反応器からの微量のCO₂または炭素と水素の反応を引き起こす高エネルギーのハイドリノプラズマに起因する。図5 5 A～Bに示すガスクロマトグラフの記録後、水素およびH₂（1／4）を含むガスを2 4時間以上容器内に放置した。1 0分での水素ピークと5 3．7分でのメタンピークとが再び観察されたが、図5 7に示すように、水素よりも保持時間が短い新たな負のピークはなく、このことはH₂と比較しても、H₂（1／4）のより小さなサイズおよび対応する高い拡散性と一致している。

40

【0 5 8 9】

SunCell（登録商標）で実行された4回目のハイドリノ反応から収集されたNaOH処理Ga₂O₃から発生したハイドリノガスのガスクロマトグラフの結果を図5 8に示す。1 0分に観察された既知の正の水素ピークの前に、7．4分に新たな正のピークがあった。H₂またはHeよりも移動時間が速い既知のガスはないため、速いピークをH₂（

50

1 / 4) に割り当てた。H₂ (1 / 4) ピークの正の性質は、そのサンプルのヘリウムキャリアガス中のハイドリノガスの濃度が低いことを示した。第1のピークと、該第1のピークが高濃度で負のピークであることは、ハイドリノ以外の他のガス割り当てを排除し得る。

【0590】

一実施形態では、水は、動的真空によって維持される10トル未満等の低圧で反応セルチャンバに注入されて、電力を発生し、表面に酸化ガリウムを形成し得るもので、該酸化ガリウムを収集してハイドリノガスの供給源として役立てることが可能である。例示的な実施形態では、酸化ガリウムは、(i) 直径15.24 cmの304ステンレス鋼反応セルチャンバと、約3.5 kgの溶融ガリウムを含む内径6 cmかつ高さ6.35 cmの底部貯留槽と、(ii) 底部にWノズルを備えたDCEMポンプと、(iii) 上端のフランジに取り付けられた真空対応フィードスルーに接続された直径1.27 cmのWバスバーと中心が深さ約2.54 cm、下端が直径3.8 cmの凹状の放物線状の空洞とを有する上部のBN絶縁台座対電極とを備えるSunCell (登録商標) の稼働後、溶融ガリウム表面から酸化ガリウムをすくい取った。反応セルチャンバの融解を防ぐために、1000 Aおよび直流25~30 Vで30秒間隔にわたりSunCellを、稼働間の冷却を可能にする200 g/s EMポンプ速度で、3回稼働した。貯水槽へのニードルバルブと流れを制御する制御器付きのソレノイドを使用して、10トル未満の圧力を維持する動的真空下で、約4 mL/分で反応セルチャンバに水を注入した。セル出力を約120 kW、入力を約28 kWとした。約15 gの酸化ガリウムを約500 mLの1 M NaOH水溶液に溶解し、室温で72時間放置した。溶液に懸濁した不溶性物質をスキミングにより除去した。固体を密閉された65 cm³のステンレス鋼(SS)容器に入れ、600℃に加熱して6.8気圧のガスを放出させた。6方向バルブを使用して2気圧のガスをガスクロマトグラフに注入した。スペクトルは、図52Aに示されているものと同等であり、ここでH₂ (1 / 4) に割り当てられた初期の負のピークが9分の保持時間で観察された。初期ピークは、水素ピークの前にも正のピークとして観察され、ここでは、キャリアガスがアルゴンでTCDが85℃であった。

【0591】

別の実験的实施形態では、HOH触媒とH原子供給源とは、3000 sccmのH₂と30 sccmのO₂とを、90℃を超える温度に保たれた1 gのPt / 2O₃再結合触媒に流して反応セルチャンバに供給することによって、提供された。入力電力を約25 kWとし、出力電力と約100 kWとした。SunCell (登録商標) の稼働後に溶融ガリウム表面からスキムされたGa₂O₃を1 M NaOHに溶解し、液体をデカントして不溶性の固体を収集し、得られたサンプルを排気した65 cm³ SS容器で加熱して、ハイドリノガスをガスクロマトグラフカラムに放出させたところ、H₂ (1 / 4) に割り当てられた初期の負のピークが約9分の保持時間で観察された。一実施形態では、極低温のHaysepカラムは、H₂ (1 / 4) ガスとH₂ ガスとを分離して使用され得る。ハイドリノの回転振動スペクトルは、図41に示すように、アルゴンエキシマーを形成して回転振動バンドを励起する約1気圧のアルゴンを含むチャンバ内での電子ビーム励起発光によって、観察され得る。

【0592】

SunCell (登録商標) (図25) の稼働は、1200 sccmのH₂と20 sccmのO₂とを、90℃を超える温度に維持された1 gのPt / Al₂O₃再結合触媒を通して反応セルチャンバに流すことによって、行った。セルは、ガスを排気ポートから流出させ、外部の液体窒素デュワーによって冷却された真空ラインと直列の容器内の液体アルゴンの薄層を通してそれらをバブリングし、さらに、真空ポンプを使用してそれらを排気することによって、1~5トルの圧力で稼働させた。分子ハイドリノは、H₂ よりも液体アルゴンへの溶解度が高く、H₂ (1 / 4) ガス濃縮の手段を提供する。図59は、SunCell (登録商標) から流出し、溶媒として液体アルゴンに吸収され、27℃に温めるときに液体アルゴンを気化させることによって放出される分子ハイドリノガスのガスク

ロマトグラフを示す。85℃の熱伝導度検出器と19PSIのアルゴンキャリアガスとを有する第2のHP5890シリーズIIガスクロマトグラフを使用して、ハイドリノピークは8.05分に観察されたのに対し、アジレントカラム（アジレントモレキュラーシーブ5Å、(50m×0.32、df=30μm)、303K(30℃)では12.58分に水素が観察された。

【0593】

アルゴン雰囲気中で担持された貴金属触媒上で水素と酸素の再結合によって形成されたアルゴン/H₂(1/4)混合物のH₂(1/4)ガスを、液体窒素中で極低温に冷却された長さ35m、内径2.5mmのHayeSep(登録商標)Dクロマトグラフィーカラムに流すことによって、濃縮した。図42に示すように電子ビーム励起発光分光法によって観察されたH₂(1/4)の回転振動P分岐の劇的な増加によって示されるように、劇的な増加によって示されるように富化されるべき分子ハイドリノガスの流れを可能にするべく、アルゴンを部分的に液化した。クロマトグラフィーカラムからの分子ハイドリノガスも、クライオポンプシステム(Helix Corp.、CTI-極低温モデルSC圧縮器; TRI-ResearchモデルT-2000D-IEEE制御器、Helix Corp.、CTI-極低温モデル22クライオダイナ)によって55Kに冷却されたバルブ付きマイクロチャンバに流された際に、微量空気で液化した。1000トルのチャンバ圧力を達成するべく液化ガスを室温まで温め、アルゴンキャリアガスとともにAgilentカラムに注入した。酸素と窒素とがそれぞれ19分と35分とに観察された。H₂(1/4)は6.9分で観察された(図60)。

【0594】

ここでの形式(#.#)の水素化物ハイドリノイオン計算の方程式および参照されるセクションは、MILLS GUTの方程式に対応する。通常の水素化物イオンH⁻の場合、連続体は、結合自由連続体と呼ばれるイオン化または結合エネルギーのより短い波長で観察される。光球の典型的な条件については、Stix[M. Stix, 太陽(The Sun), Springer-Verlag, Berlin, (1991), p. 136]の図4.5は太陽の連続吸収係数κ_c(λ)を示す。可視および赤外スペクトルでは、水素化物イオンH⁻が主要な吸収体である。その自由-自由連続体はλ=1.645μmで始まり、H⁻のイオン化エネルギー0.745eVに対応し、遠赤外線に向かって吸収が大幅に増加する。太陽に記録された通常の水素化物スペクトルは、非常に高温のプラズマにおける水素化物スペクトルを表す。

【0595】

水素原子と第2の電子が反応して、単一のシェルに2つの対の電子を含む通常の水素化物イオンが形成されると、水素原子の第2の電子の結合エネルギーがカットオフされてより長い波長に連続放射が放出されることは、Stix[M. Stix, 太陽(The Sun), Springer-Verlag, Berlin, (1991), p. 136]によって示されているとおりである。ただし、水素化ヒドリノイオンとそれに対応する第2の電子に結合するヒドリノ原子の放出は独特である。ハイドリノハイドライドイオンは、不対電子を含み、フラクソンまたは磁束量子h/2eの磁束増分の結合に基づいて、エネルギーの追加の量子化された単位で放出される第2の電子の結合エネルギーの放出をもたらす。具体的には、ハイドリノH⁻(1/p)は、(i)H⁻(1/p)の電子が同じシェルの同じ位置yで不対電子であり、最小エネルギーで等電位の球形2次元電流膜に結合した2つの電子と、(ii)球の原点を中心とする原子核の基本電荷の整数だけ中心場を増加させる光子とを、含む。ハイドリノ状態の光子電場と各電子との相互作用により、状態が安定するような非放射性の動径方向への単極子が生じる。無放射整数光子中心場を維持しながら2つの電子を単一の原子軌道(AO)に結合すると、通常の水素化物イオンの場合のように一重項状態ではなく、水素化ヒドリノイオンの二重項AO状態の特殊な場合が発生する。一重項状態は非磁性であり、一方、二重項状態はボーア磁子の正味の磁気モーメントμ_Bを有する。

【0596】

10

20

30

40

50

具体的には、原子軌道の電流の基底要素は、「Generation of the Atomic Orbital-CVFS（原子軌道-CVFSの生成）」のセクションに示されているように大円である。「Equation of the Electric Field inside the Atomic Orbital（原子軌道断面内の電場の式）」のセクションに示されているように、（i）光子は電場を担い、閉じた電気力線ループを構成し、（ii）光子電気力線ループがそれぞれ、それに一致した大円電流ループ基底要素に沿って同じベクトル方向に移動し、ハイドリノ原子は捕捉された光子を構成し、（iii）各電気力線の方法は、特別な相対性によって要求される相対運動で、伝搬方向に垂直な方向に増加し、ならびに、（iv）捕捉された光子の電気力線ループに沿った各点の線速度は光速度 c であるため、実験室系に対する電場方向は、その結合電流ループに対して純粋に垂直であり、 $\delta(\gamma - \gamma_n)$ にのみ存在する。H-原子軌道の対電子は、正味の磁気モーメントを持たない一重項状態を含む。ただし、ハイドリノ水素化物イオンの光子電気力線は、打ち消されないよう一方向にのみ伝播し、遠心力と中心力との間の力のバランスを提供するべく中心場を生じさせることができる（式（7.72））。この特殊な場合では、ハイドリノ水素化物イオンの二重項状態が発生する。

10

【0597】

ハイドリノ水素化物AOは、「Generation of the Atomic Orbital-CVFS（原子軌道-CVFSの生成）」のセクションで与えられているように、各電子の電流密度関数を含む大円の線形結合として扱われてもよい。光子の方向が電子の流れと一致し、かつ電子の角運動量が

20

【数58】

$\hbar$

であるという境界条件を満たすには、電子1の半分と電子2の半分とがスピン上向きで2つの光子と一致し得ること、および、電子1の他方の部分のスピンが上向きで、かつ電子2の他方の部分のスピンが下向きであり、電流の半分が対を形成し、かつ電流の半分が対を形成し得ないことである。各電子の不可分性とAOが2つの同一の電子を含むという条件を考えると、2つの光子の力は2つの同一の電子を含む電子AO全体に伝達され、式（7.72）を満たす。不對電流密度の結果として生じる角運動量および磁気モーメントは、それぞれ

30

【数59】

$\hbar$

およびボーア磁子 μ_B である。電子 g 因子のセクションで与えられるように、磁束は、フラクソンまたは磁束量子 $h/2e$ の量子化された単位で不對電子によってリンクされる。

40

【0598】

水素またはハイドリノ原子と運動エネルギー分布を持つ自由電子との反応によって形成された水素化物イオンは、電子の運動エネルギーおよび水素化物イオン結合エネルギーの放出によるイオン化または結合エネルギーよりも短い波長への結合自由発光バンドを生じさせる。式（7.74）と比較して式（7.74）で示されるように、ハイドリノ水素化物イオン形成のエネルギーははるかに大きく、十分な分光学的分解能があれば、ハイドリノ水素化物イオンの形成中の自由電子と結合電子との相互作用により、対応する結合自由バンドの固有の超微細構造を分解することが可能であり得る。固有の二重項状態の超微細線の導出は、ハイドリノ水素化物イオン超微細線のセクションに記載される。

【0599】

2つのOのイオン化、2つのHのイオン化、 R^+ のイオン化、および2つの K^+ イオン間

50

の電子移動（式（5.6～5.9））は、水素原子の位置エネルギーの整数倍の正味エンタルピー 27.2 eV を反応に提供する。対応するグループ I 硝酸塩は、これらの反応物を、直接揮発イオンとして、またはプラズマ中でイオン化される対応する金属への分解または還元を受けることによって原子として、提供する。 27.2 eV のエンタルピーを提供すると特定された各反応物の存在により、水素原子内に低印加温度の超低電圧プラズマが形成され、このプラズマは、共鳴移動または強い真空紫外線（VUV）発光を有する rte -プラズマと呼ばれる。 Rb^+ と 2 つの K^+ との触媒生成物 $\text{H} (1/2)$ は、さらに反応してハイドリノ水素化物イオン $\text{H}^- (1/2)$ を形成する反応性の高い中間体であると予測された。

【0600】

$\text{H}^- (1/2)$ イオンは、 $\text{H} (1/2)$ 原子と運動エネルギー分布を持つ自由電子との反応によって形成される。電子運動エネルギーとハイドリノ水素化物イオン結合エネルギーとが放出されることにより、対応する水素化物イオンのイオン化、または、結合エネルギーよりも短い波長への結合のない発光バンドが生じる。磁束は磁束量子の整数単位で $\text{H}^- (1/2)$ によりリンクされる必要があるため、エネルギーが量子化されるとともに、 $\text{H}^- (1/2)$ 形成による発光は対応する束縛のないバンドの一連の超微細線を含む。電子の g 因子から、かつ観測された結合エネルギーのピーク E_B^* を使用することにより、自由電子と束縛電子との相互作用による束縛のない超微細構造線は、フラクソンエネルギー E_ϕ 、スピンスピンエネルギー E_{ss} 、および観測された結合エネルギーピーク E_B^* の合計によって与えられるエネルギー E_{HF} 、すなわち

【数60】

$$\begin{aligned} E_{HF} &= E_\phi + E_{ss} + E_B^* \\ &= j^2 2(g-2) \frac{\mu_B}{\sqrt{s(s+1)}} \frac{\mu_0}{r^3} \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right) + g \frac{\mu_0}{r^3} \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right)^2 + E_B^* \\ &= (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 0.011223 + 3.0451) \text{ eV} \\ &= (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 3.0563) \text{ eV} \end{aligned} \quad (7.97)$$

を予測した。ここで、 j = 整数である。これは、式（7.73）および（7.74）によって与えられた摂動されていない E_B を使用した $E_{HF} = (j^2 3.0213 \times 10^{-5} + 3.083) \text{ eV}$ と比較される。予測されるスペクトルは、増加する波長で収束し、 3.0563 eV で終了する逆リュードベリ型系列であり、微細構造を持つ水素化物結合エネルギーとスピンペアリングエネルギーである。図61に示す $4000 \text{ \AA} \sim 4060 \text{ \AA}$ の領域の高解像度の可視プラズマ輝スペクトルは、予測された輝線を 10^5 分の1に一致させた。

具体的には、予測された $\text{H}^- (1/2)$ の結合エネルギー 3.0471 eV は 3.047 eV ($\lambda_{air} = 4068 \text{ \AA}$) での連続閾値として観察された。 $4070.6 \text{ \AA}$ (空気波長) での実験的な $\text{H}^- (1/2)$ ピーク E_B^* を使用して、対応するエネルギー 3.0451 eV を E_B の式（7.97）に代入することにより、境界のない超微細線のピーク位置を計算し、 $\text{H}^- (1/2)$ の境界のない超微細構造線を得た。 3.0563 eV から 3.1012 eV までの逆リュードベリ型系列を含む $3995 \text{ \AA}$ から $4060 \text{ \AA}$ までの領域の高解像度可視プラズマ輝線は、 $3996.3 \text{ \AA}$ から 10^5 分の1に到るまでの一続きのエッジ (series edge) を有する $j = 1 \sim j = 39$ についての式（7.97）によって与えられる予測された超微細分割発光エネルギー E_{HF} と一致した [R. L. Mills, P. Ray, 「新規水素化物イオン、水素、窒素、および空気の束縛されていない超微細レベルのスペクトルの包括的研究 (A Comprehensive Study of Spectra of the Bound-Free Hyperfine

10

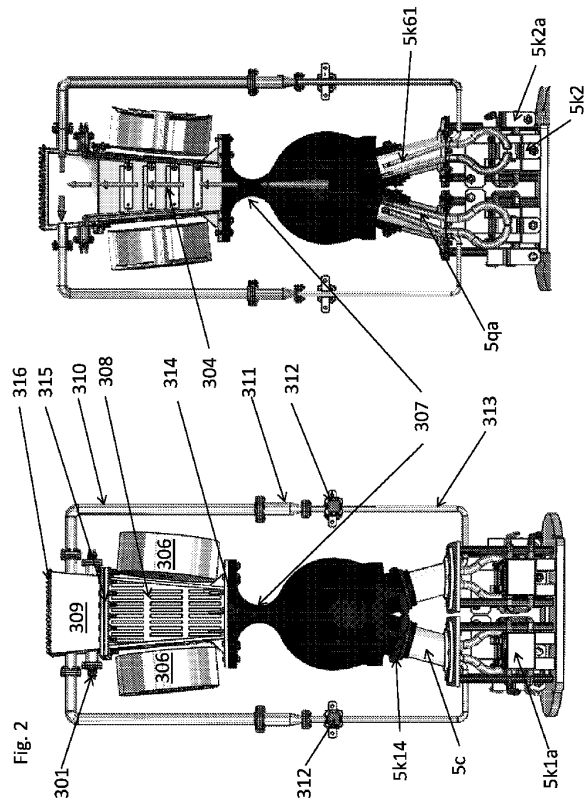
20

30

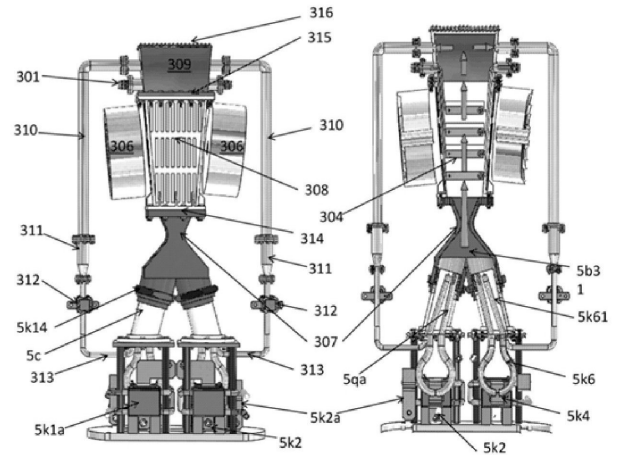
40

50

【図】



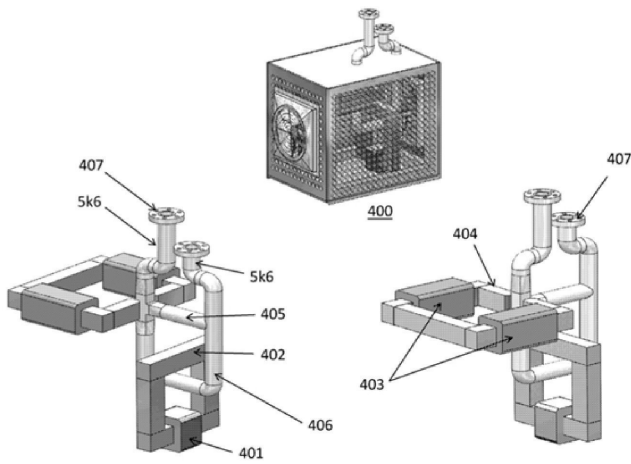
【図 3】



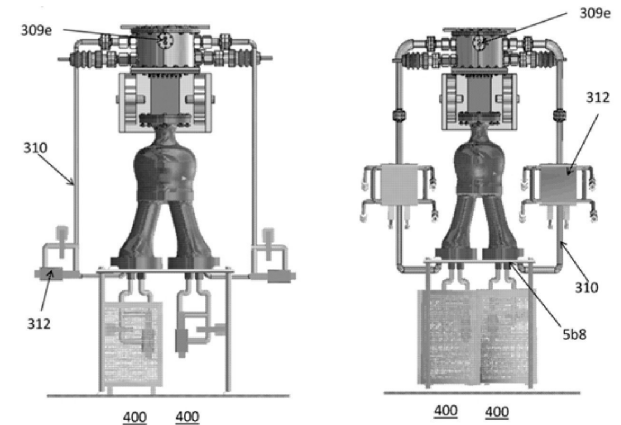
10

20

【図 4】



【図 5】

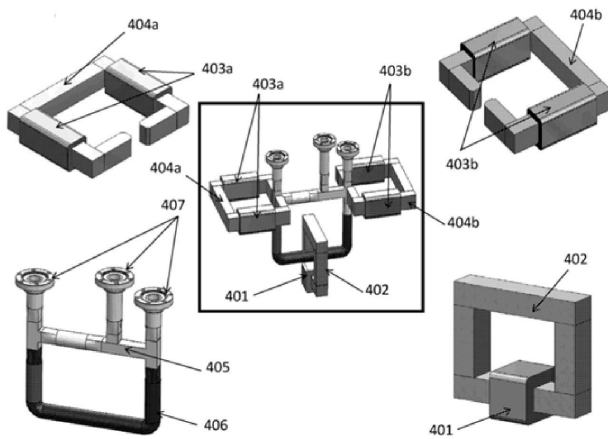


30

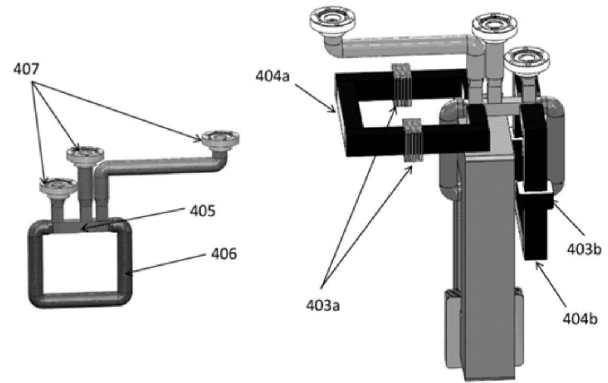
40

50

【図 6】

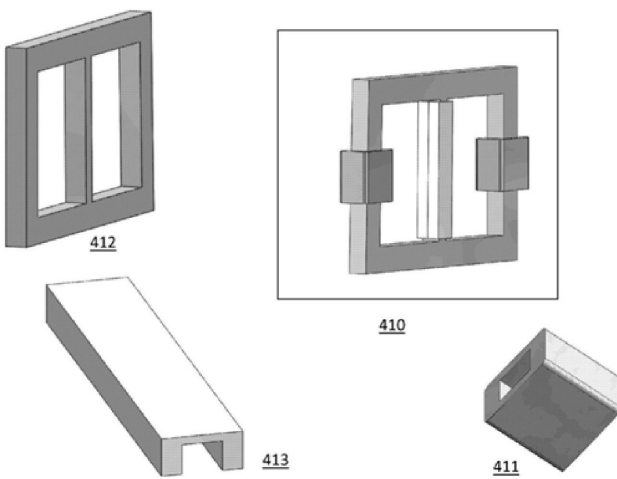


【図 7】

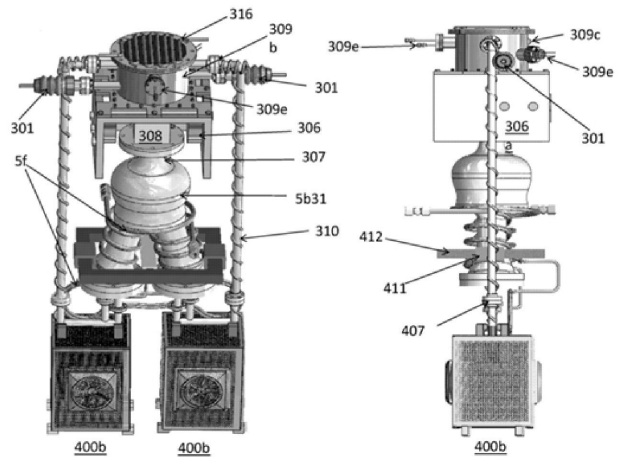


10

【図 8】



【図 9】



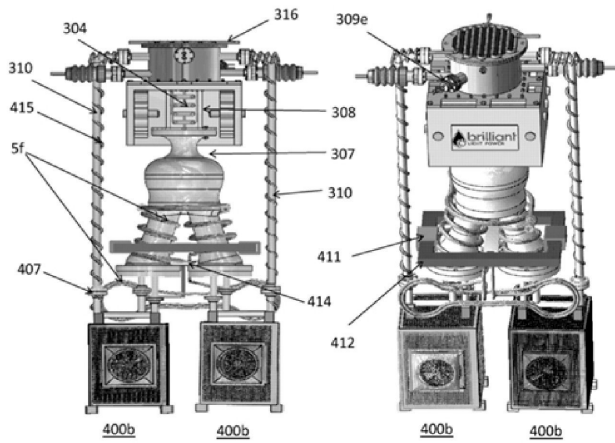
20

30

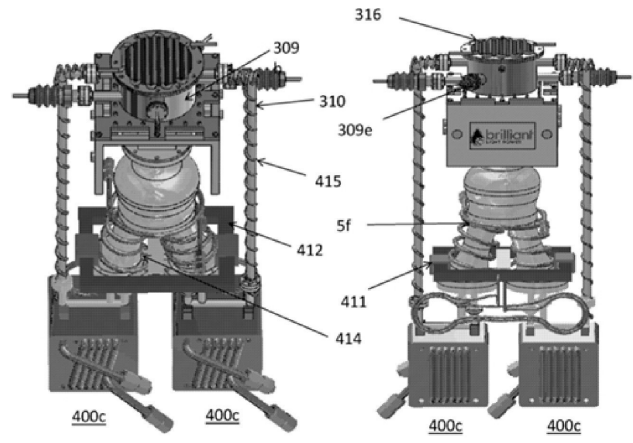
40

50

【図 10】

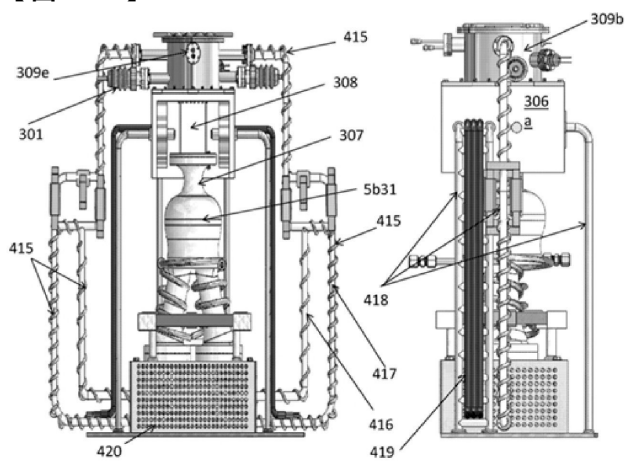


【図 11】

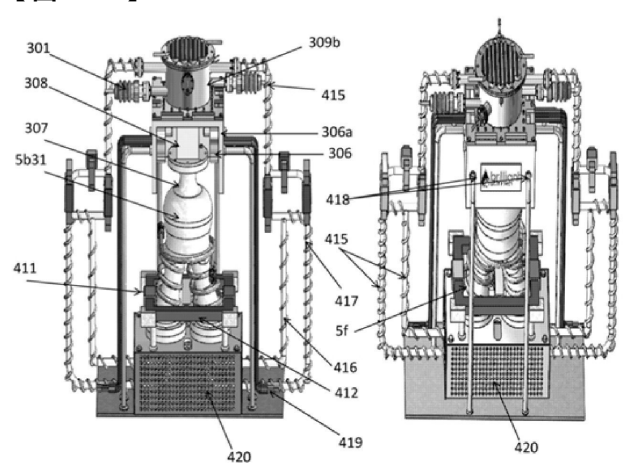


10

【図 12】



【図 13】



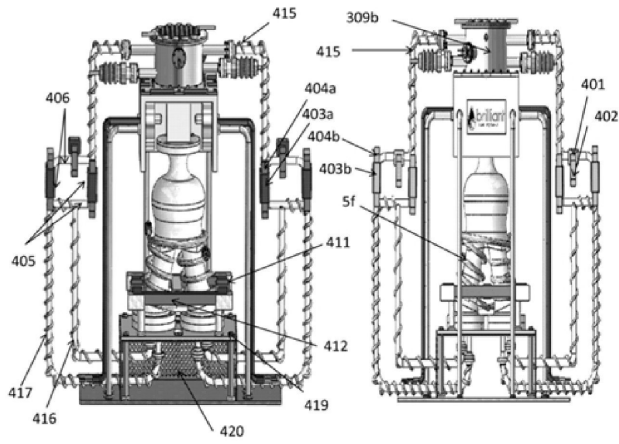
20

30

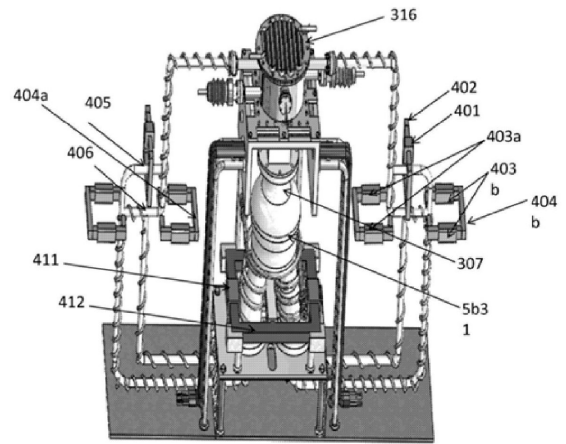
40

50

【図 14】

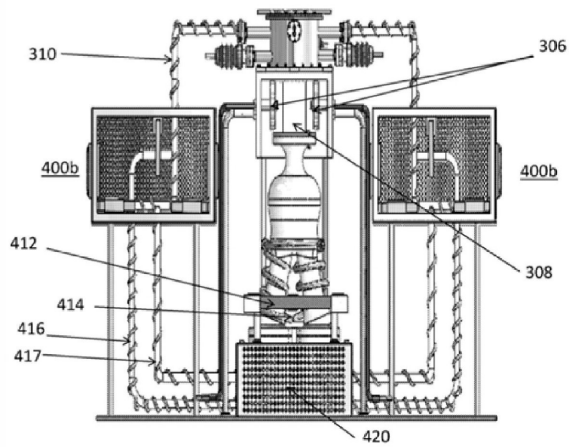


【図 15】

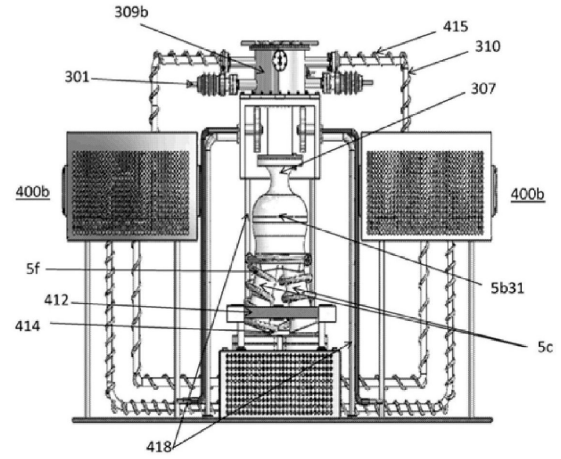


10

【図 16】



【図 17】



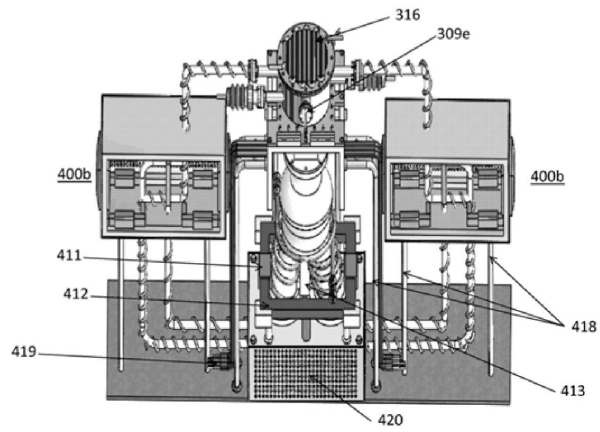
20

30

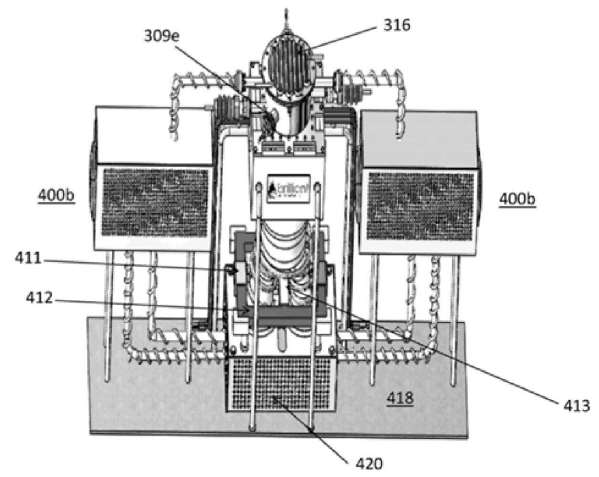
40

50

【図 18】

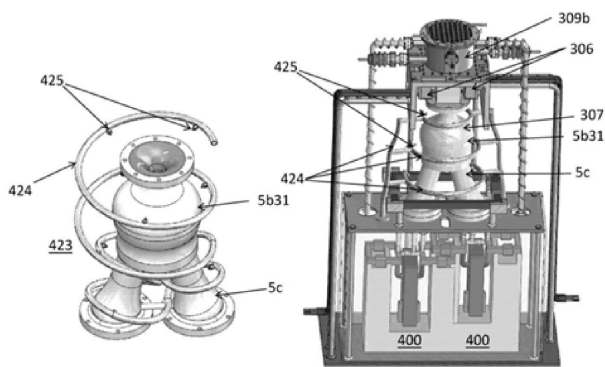


【図 19】

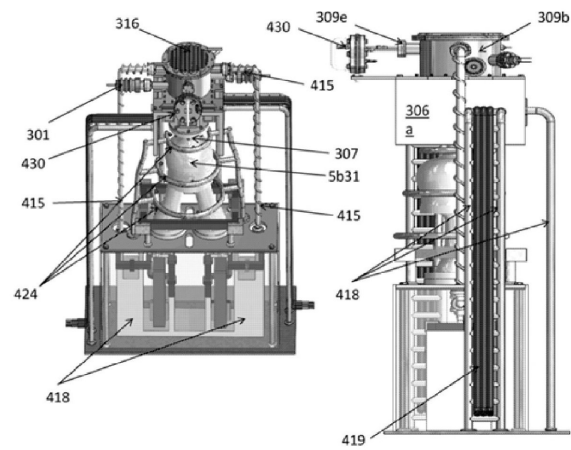


10

【図 20】



【図 21】



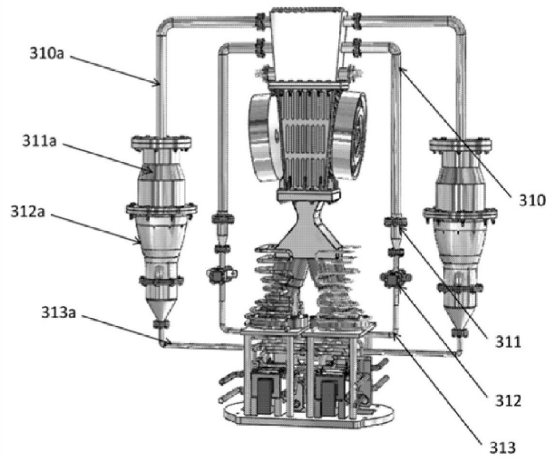
20

30

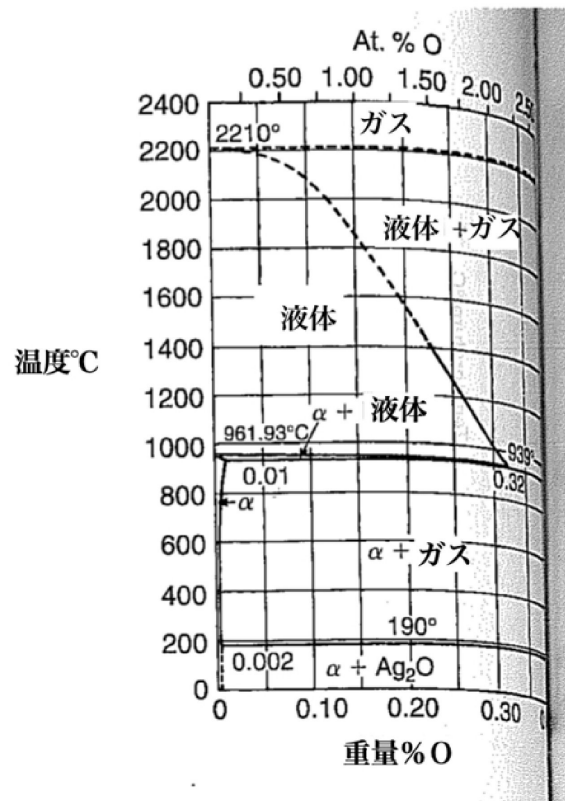
40

50

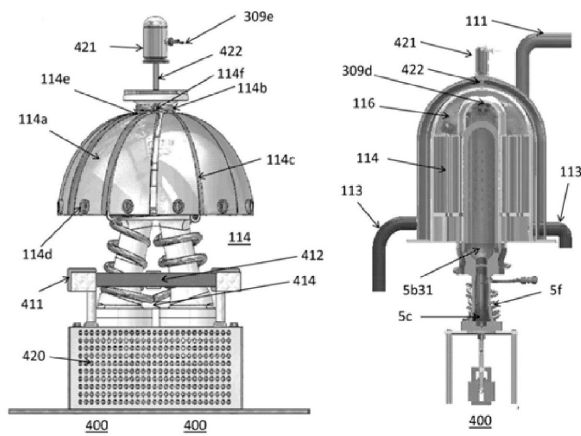
【図 2 2】



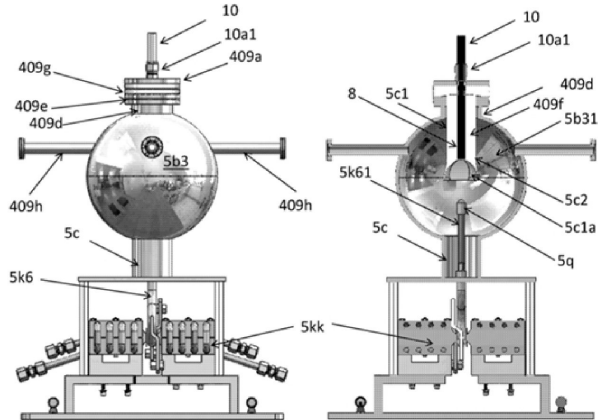
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



10

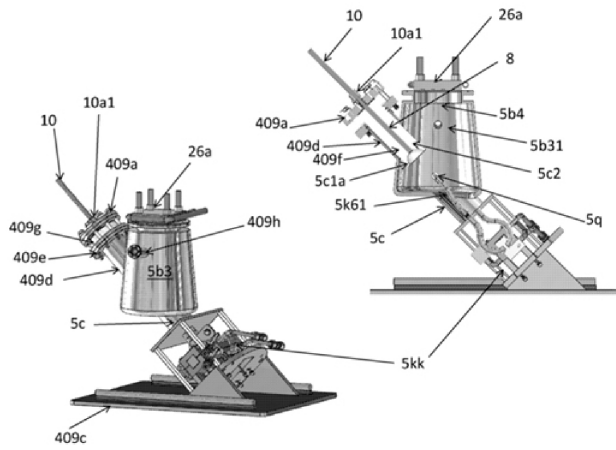
20

30

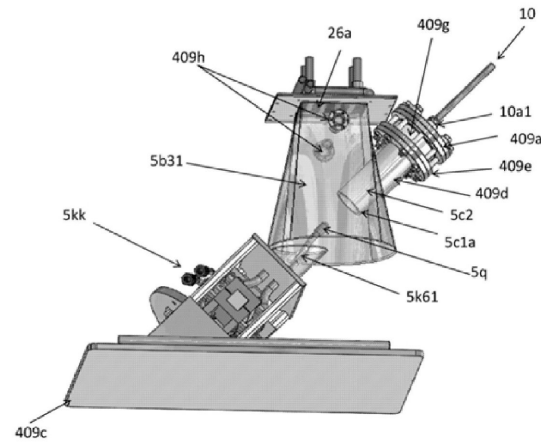
40

50

【図 26】

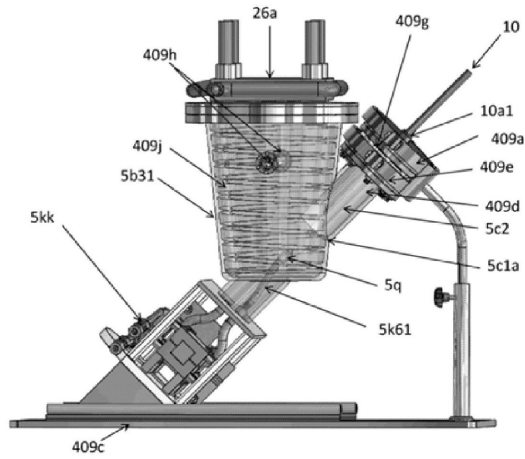


【図 27】

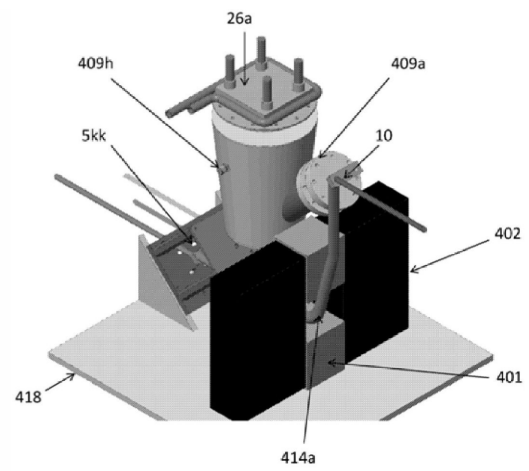


10

【図 28】



【図 29】



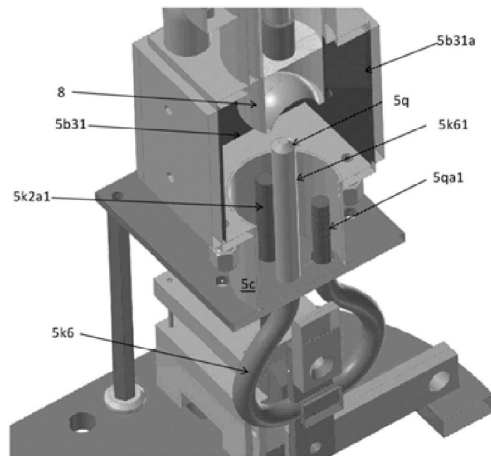
20

30

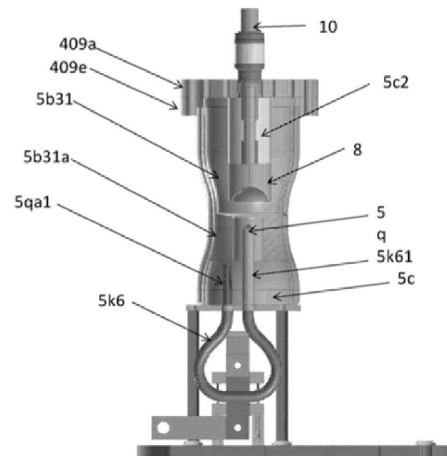
40

50

【図 30】

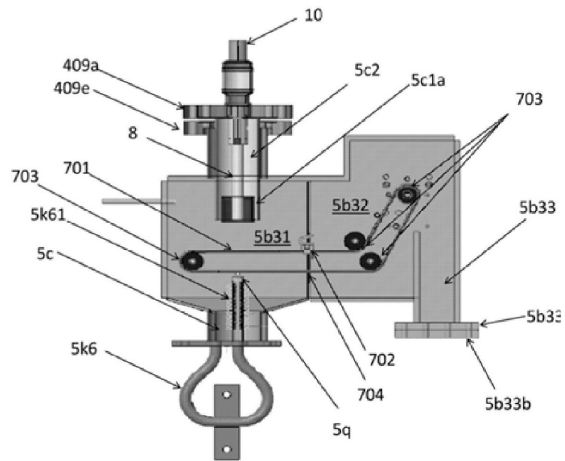


【図 31】

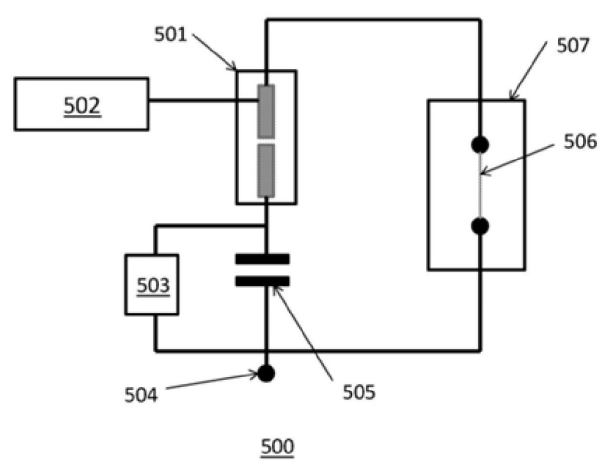


10

【図 32】



【図 33】



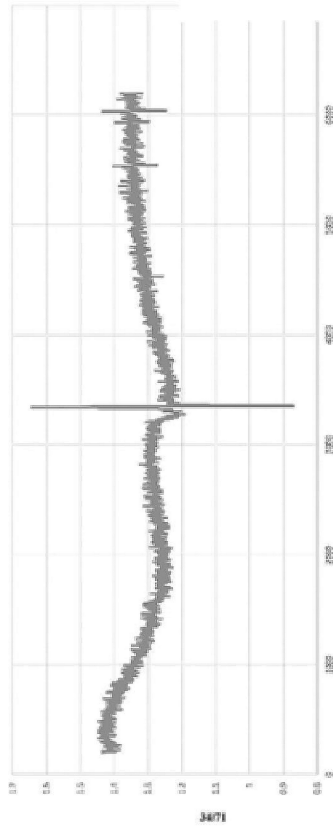
20

30

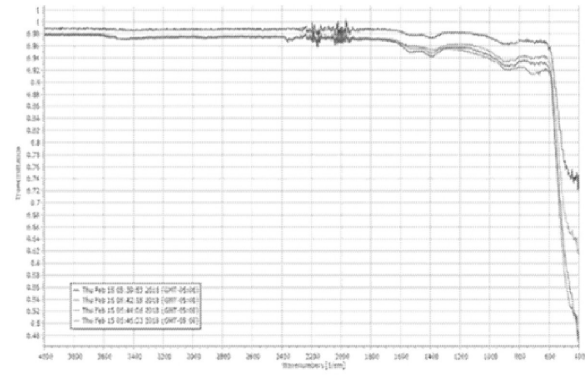
40

50

【図 3 4】



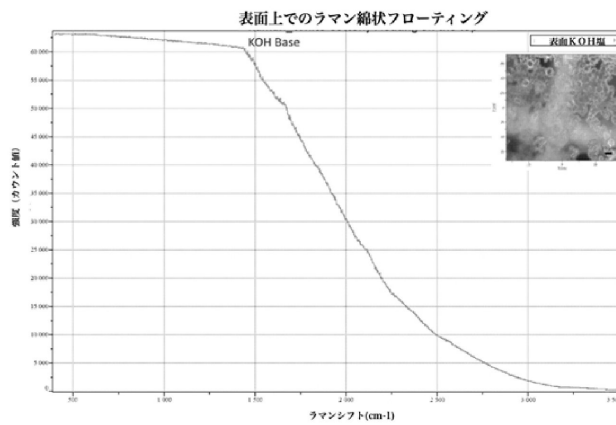
【図 3 5 A】



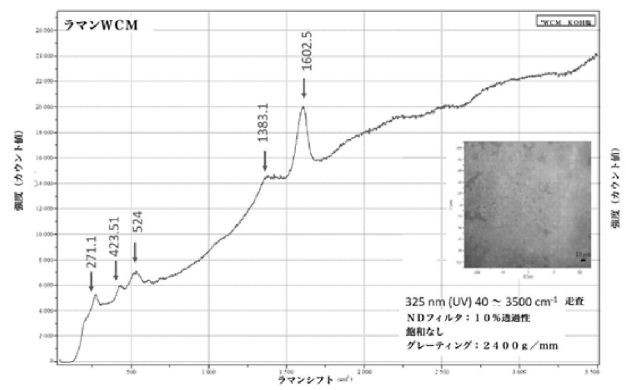
10

20

【図 3 5 B】



【図 3 5 C】

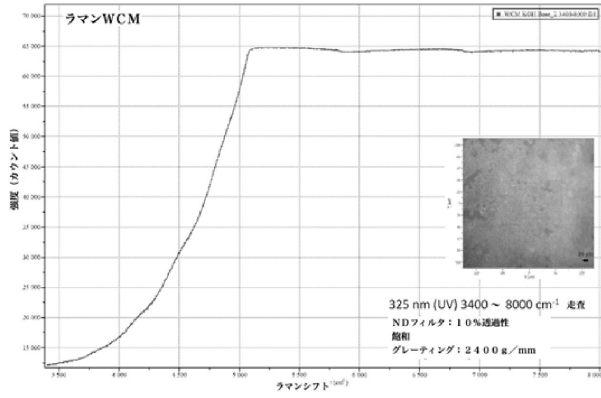


30

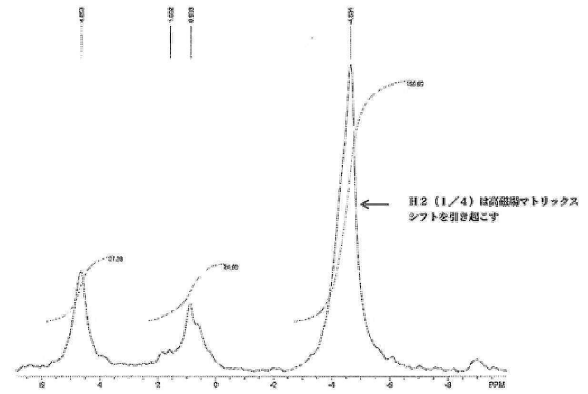
40

50

【図 35 D】

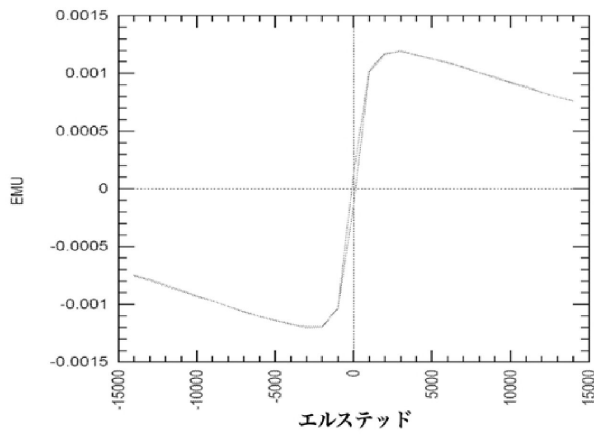


【図 36】

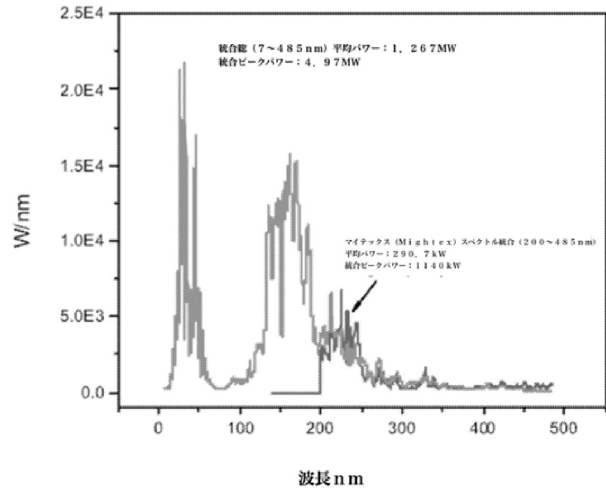


10

【図 37】



【図 38】



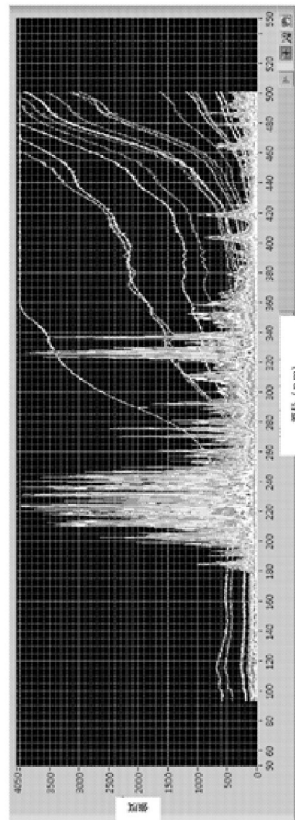
20

30

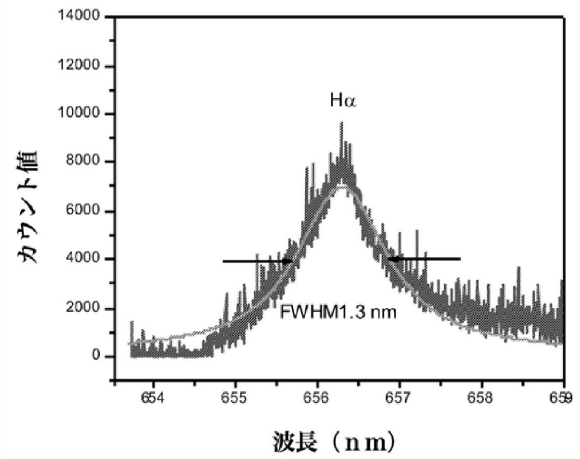
40

50

【図 39】



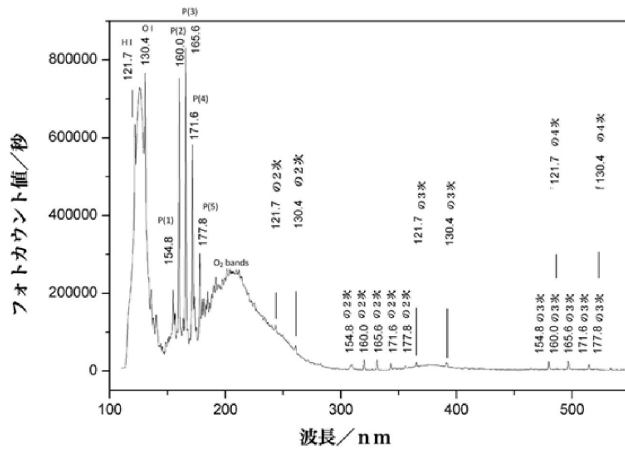
【図 40】



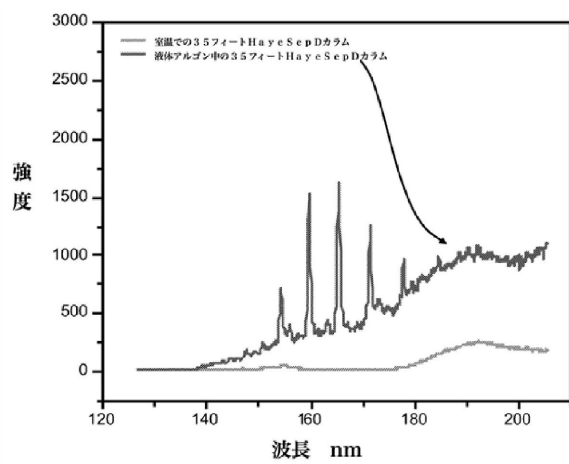
10

20

【図 41】



【図 42】

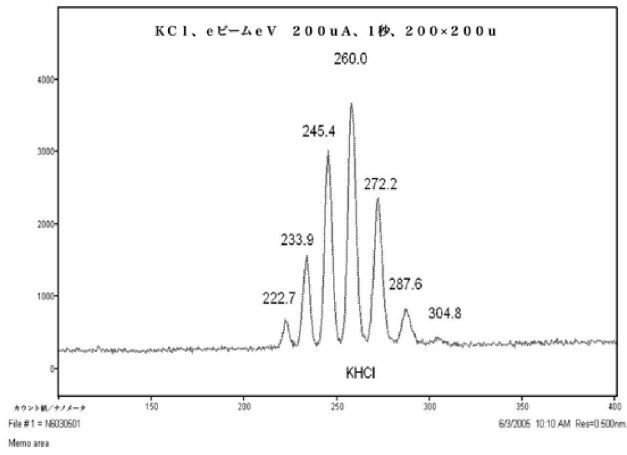


30

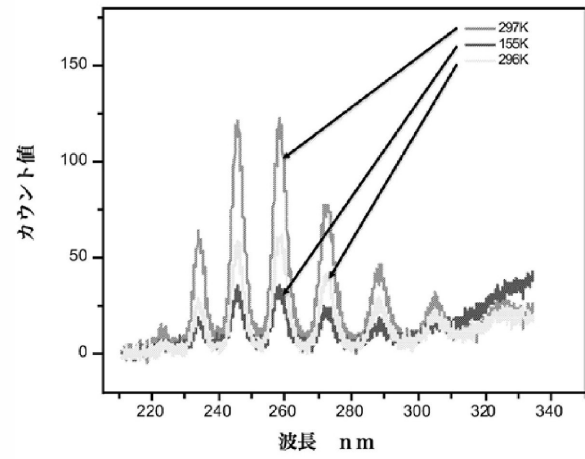
40

50

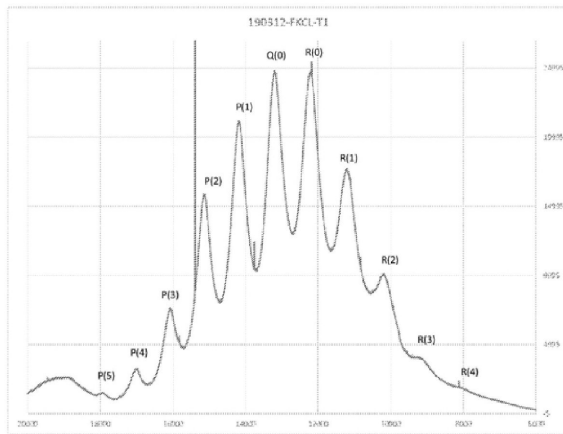
【図 4 3】



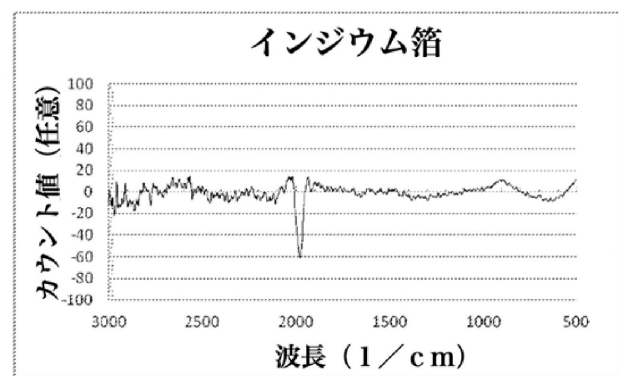
【図 4 4】



【図 4 5】



【図 4 6】



10

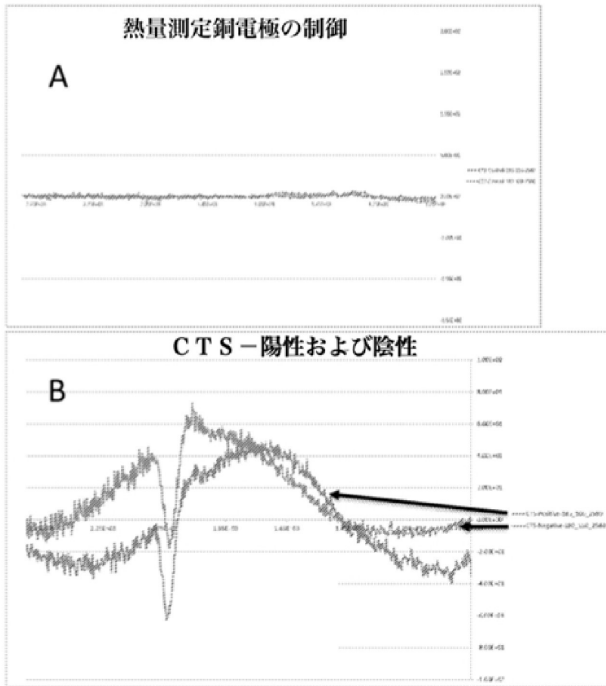
20

30

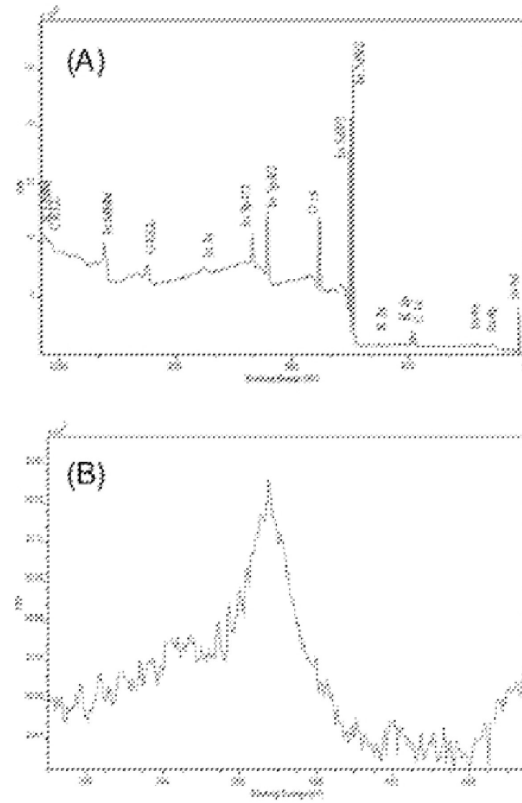
40

50

【図 47】



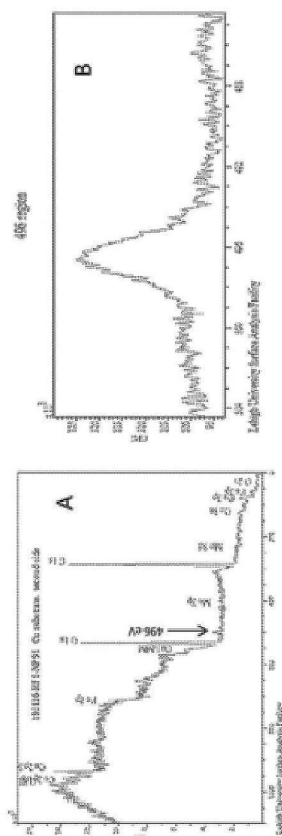
【図 48】



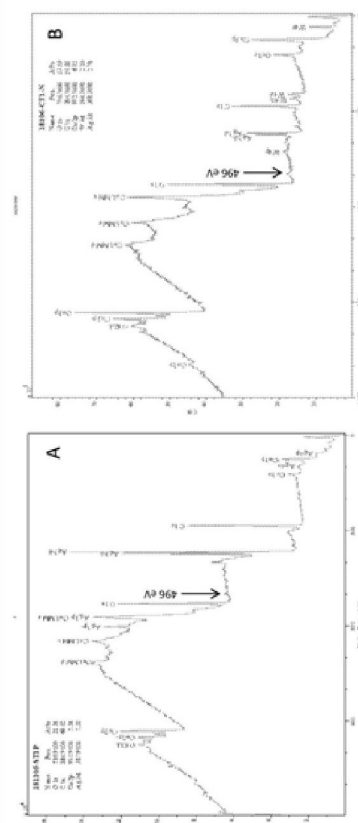
10

20

【図 49】



【図 50】

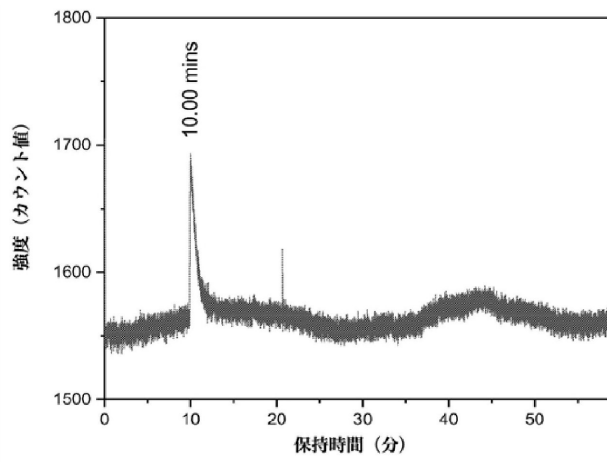


30

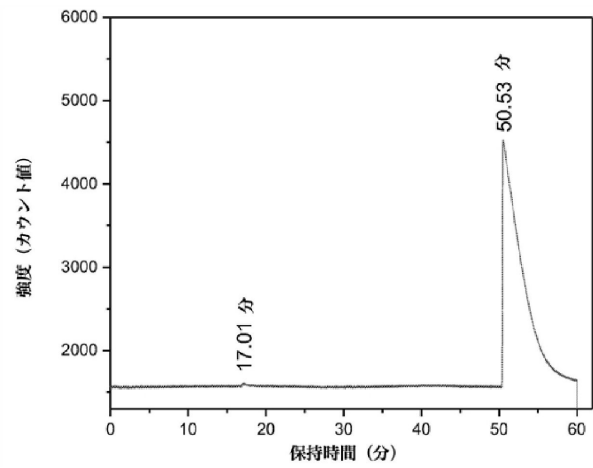
40

50

【図 5 1 A】

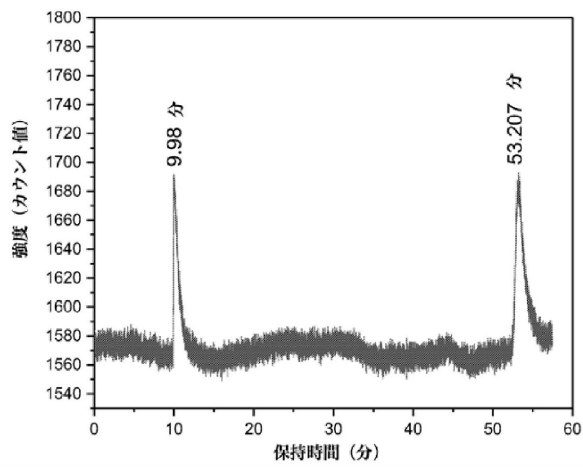


【図 5 1 B】

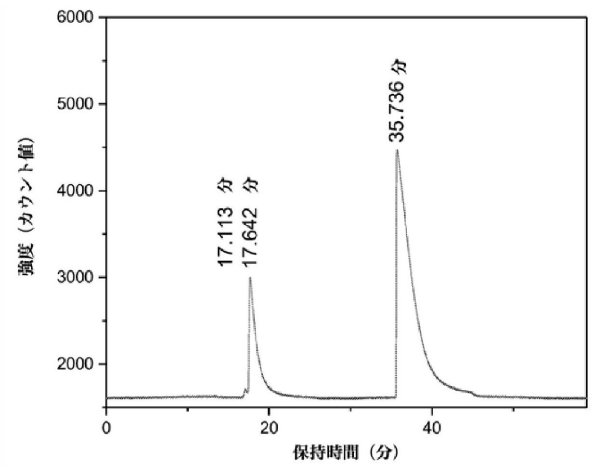


10

【図 5 1 C】



【図 5 1 D】



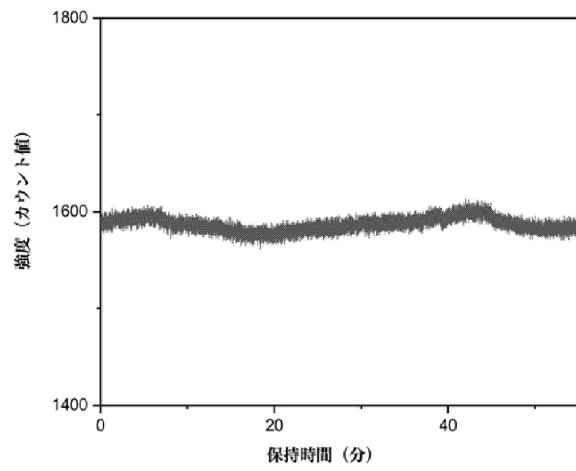
20

30

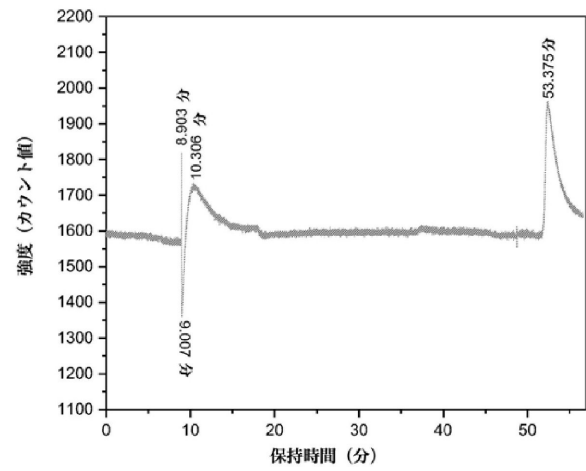
40

50

【図 5 1 E】

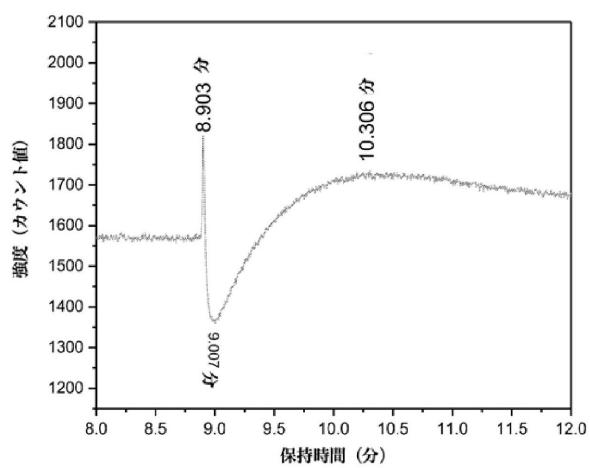


【図 5 2 A】

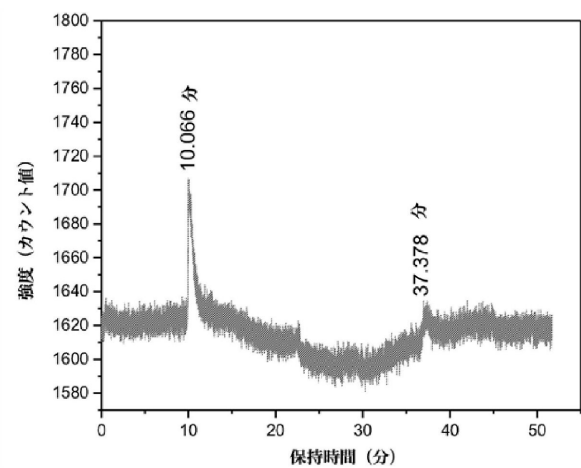


10

【図 5 2 B】



【図 5 3】



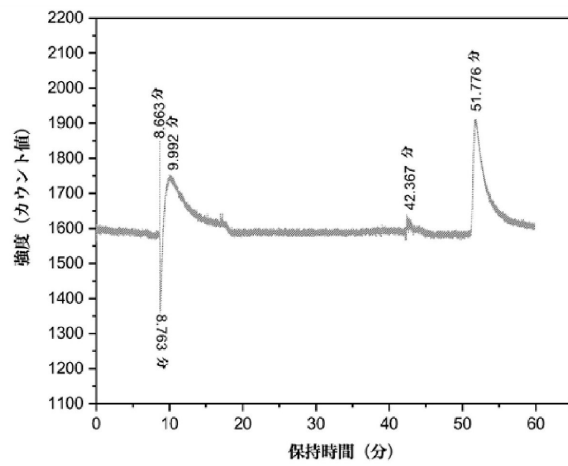
20

30

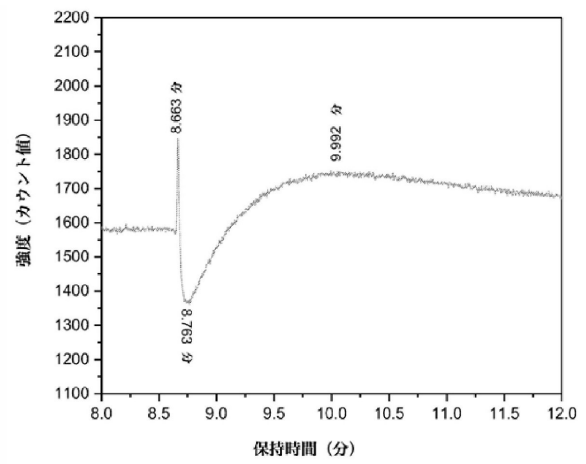
40

50

【図 5 4 A】

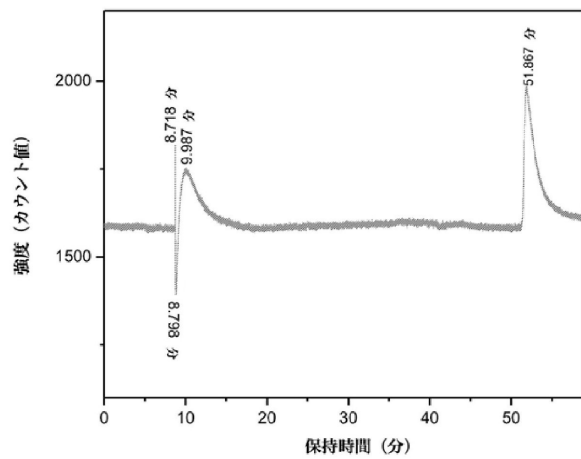


【図 5 4 B】

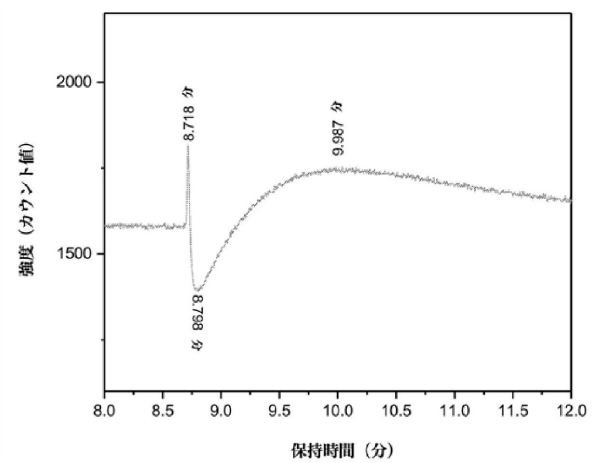


10

【図 5 5 A】



【図 5 5 B】



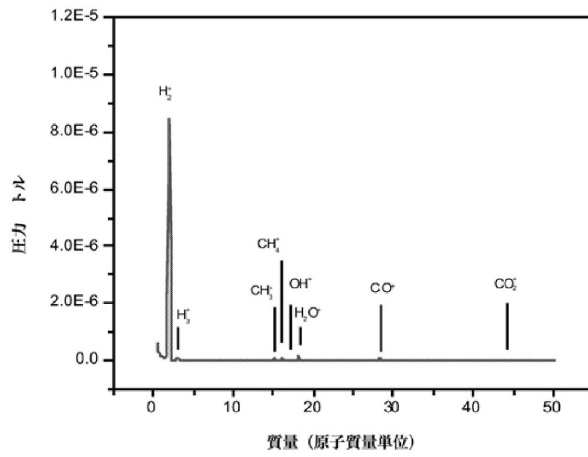
20

30

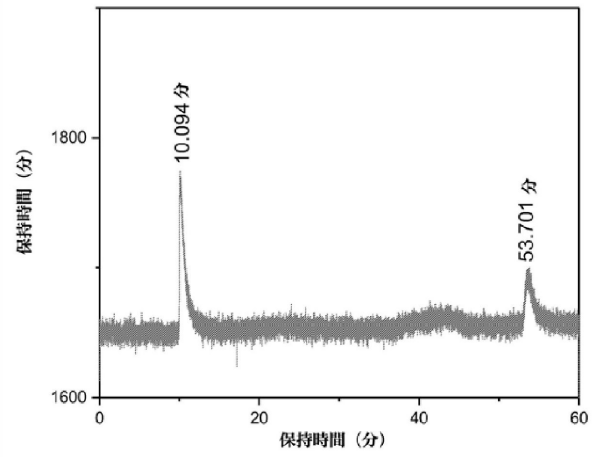
40

50

【図 5 6】

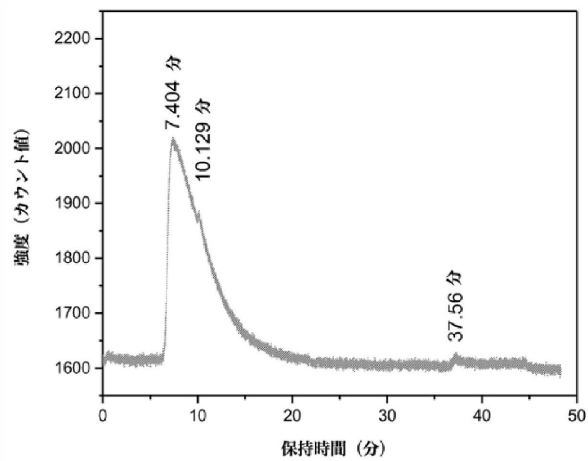


【図 5 7】

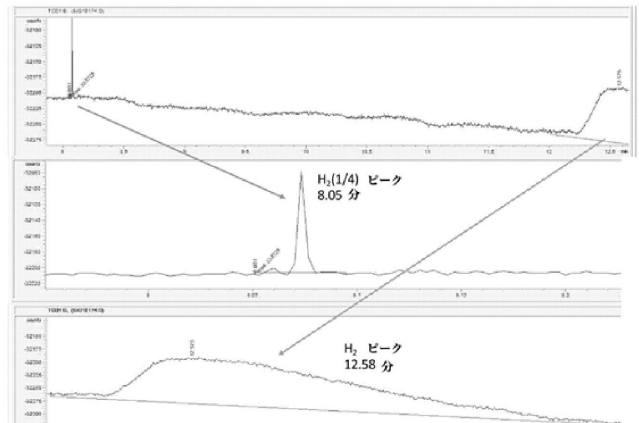


10

【図 5 8】



【図 5 9】



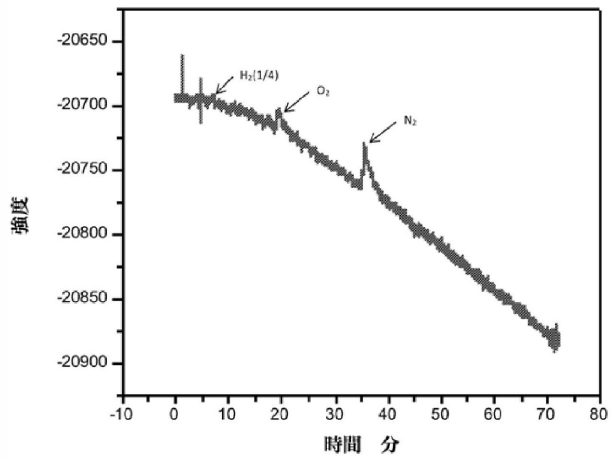
20

30

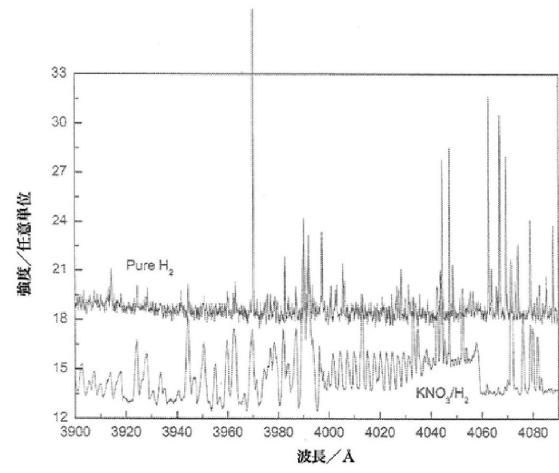
40

50

【図 60】



【図 61】



10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/B 20/50360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC - C25B 1/04; C01B 3/10, 3/08 (2020.01)

CPC - C25B 1/04, 1/06, 9/00, 15/00; C01B 3/10, 3/06, 3/08; B01J 7/02; H05H 1/24; Y02E 60/36, 60/366

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — A	WQ 2018/203953 A2 (BRILLIANT LIGHT POWER, INC.) 08 November 2018 (08.11.2018) entire document; especially Pg. 2-7, Pg. 103, Pg. 134	1-12, 14-21 ----- 13
A	US 6,501,578 B1 (BERNSTEIN et al.) 31 December 2002 (31.12.2002) entire document; especially col 3, ln 46-48	13
A	US 2017/0104426 A1 (BRILLIANT LIGHT POWER, INC.) 14 April 2017 (14.04.2017) entire document	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"D" document cited by the applicant in the international application

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 July 2020

Date of mailing of the international search report

28 JUL 2020

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents
P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450
Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer

Lee Young

Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

フロントページの続き

- (32)優先日 平成31年3月25日(2019.3.25)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/828,341
(32)優先日 平成31年4月2日(2019.4.2)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/839,617
(32)優先日 平成31年4月27日(2019.4.27)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/844,643
(32)優先日 令和1年5月7日(2019.5.7)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/851,010
(32)優先日 令和1年5月21日(2019.5.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/868,838
(32)優先日 令和1年6月28日(2019.6.28)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/871,664
(32)優先日 令和1年7月8日(2019.7.8)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/879,389
(32)優先日 令和1年7月26日(2019.7.26)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/883,047
(32)優先日 令和1年8月5日(2019.8.5)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/890,007
(32)優先日 令和1年8月21日(2019.8.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/897,161
(32)優先日 令和1年9月6日(2019.9.6)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/903,528
(32)優先日 令和1年9月20日(2019.9.20)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 62/929,265
(32)優先日 令和1年11月1日(2019.11.1)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/935,559

(32)優先日 令和1年11月14日(2019.11.14)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/948,173

(32)優先日 令和1年12月13日(2019.12.13)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/954,355

(32)優先日 令和1年12月27日(2019.12.27)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW