



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0017880

(43) 공개일자 2022년02월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02N 11/00 (2006.01) F23B 30/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H02N 11/002 (2013.01)
F23B 1/00 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7023361
- (22) 출원일자(국제) 2020년01월16일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2021년07월22일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2020/050360
- (87) 국제공개번호 WO 2020/148709
국제공개일자 2020년07월23일
- (30) 우선권주장
62/794,515 2019년01월18일 미국(US)
(뒷면에 계속)

- (71) 출원인
브릴리언트 라이트 파워, 인크.
미합중국 뉴저지주 08512 크랜버리 올드 트렌톤
로드 493
- (72) 발명자
밀스, 랜들
미국 뉴저지주 08512, 크랜버리, 올드 트렌톤 로
드 493
- (74) 대리인
김해중

전체 청구항 수 : 총 21 항

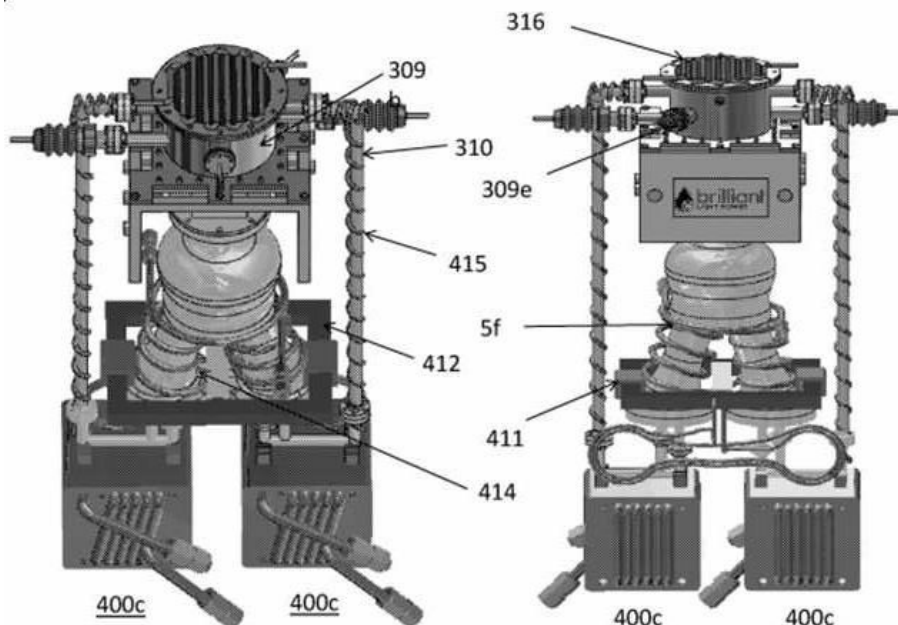
(54) 발명의 명칭 자기 유체 역학 수소 전기 발전기

(57) 요약

전기 및 열 전력 가운데 적어도 하나를 제공하는 발전기가 여기에 기술되는데, 이 발전기는 (i) 고유한 분석 및 분광법의 시그내처에 의해 식별가능한 원자 수소 및 수소 생성물들이 참여하는 반응들을 위한 적어도 하나의 반응 셀, (ii) 용융 금속 스트림을 반응 셀로 제공하는 전자석 펌프와 같은 적어도 하나의 펌프 그리고 상기 용융

(뒷면에 계속)

대표도



금속 스트립을 받는 적어도 하나의 저장소를 포함하는 용융 금속 주입 시스템 및 (iii) 저전압, 고전류의 전기 에너지를 적어도 하나의 용융 금속의 스트립에 제공하여 그 반응의 신속한 반응속도 및 에너지 취득을 개시하는 플라즈마를 점화시키는 전력 소스를 포함하는 점화 시스템을 포함한다. 일부 실시예에서, 이 발전기는 다음을 포함할 수 있다: (v) 플라즈마로 공급되는 H_2 및 O_2 의 소스, (vi) 용융 금속 회수 시스템 및 (vii) (a) 셀에서 흑체 방열기로부터 고전력 광 출력을 집광기 열광전지를 사용하여 전기로 변환시키거나 (b) 자기 유체 역학 변환기를 사용하여 에너지 함유 플라즈마를 전기로 변환시킬 수 있는 전력 변환기.

(52) CPC특허분류

F23B 2900/00003 (2013.01)

F23C 2900/99008 (2013.01)

(30) 우선권주장

62/803,283	2019년02월08일	미국(US)
62/823,541	2019년03월25일	미국(US)
62/828,341	2019년04월02일	미국(US)
62/839,617	2019년04월27일	미국(US)
62/844,643	2019년05월07일	미국(US)
62/851,010	2019년05월21일	미국(US)
62/868,838	2019년06월28일	미국(US)
62/871,664	2019년07월08일	미국(US)
62/879,389	2019년07월26일	미국(US)
62/883,047	2019년08월05일	미국(US)
62/890,007	2019년08월21일	미국(US)
62/897,161	2019년09월06일	미국(US)
62/903,528	2019년09월20일	미국(US)
62/929,265	2019년11월01일	미국(US)
62/935,559	2019년11월14일	미국(US)
62/948,173	2019년12월13일	미국(US)
62/954,355	2019년12월27일	미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

전기 에너지 및 열 에너지의 적어도 하나를 생성하는 전력 시스템에 있어서:

압력을 대기압 미만으로 유지할 수 있는 적어도 하나의 용기;

다음을 포함하는 용기에서 플라스마 형성에 충분한 에너지를 생산하는 반응을 일으킬 수 있는 반응물들:

a) 수소 기체 및 산소 기체의 혼합물 및/또는

수증기 및/또는

수소 기체 및 수증기의 혼합물;

b) 용융 금속;

적어도 하나의 반응물의 상기 용기로의 유속을 조절하는 질량 흐름 제어기;

하나 이상의 반응물들이 상기 용기 내로 흐를 때 상기 용기 내 압력을 대기압 미만으로 유지하는 진공 펌프;

용융 금속의 일부를 포함하는 적어도 하나의 저장소, 상기 저장소에 용융 금속을 전달하고 주입기 튜브를 통해 용융 금속 스트림을 제공하도록 구성된 용융 금속 펌프 시스템(예: 하나 이상의 전자기 펌프) 및 상기 용융 금속 스트림을 수용하기 위한 적어도 하나의 비주입기 용융 금속 저장소를 포함하는 용융 금속 주입기 시스템;

수소 기체 및/또는 산소 기체 및/또는 수증기가 용기 내로 흐를 때 반응을 점화하기 위해 적어도 하나의 용융 금속의 스트림에 전력을 공급하는 전력이나 점화 잔류의 소스를 포함하는 적어도 하나의 점화 시스템;

반응에서 소모되는 반응물을 보충하는 반응물 공급 시스템;

반응으로부터 생산되는 에너지(예: 플라스마로부터 출력된 광 및/또는 열)의 일부를 전력 및/또는 열 전력으로 변환하는 전력 변환기 혹은 출력 시스템을 포함하는 전력 시스템.

청구항 2

제1항의 전력 시스템에 있어서,

산소 및 수소 기체의 혼합을 위한 기체 혼합기 그리고 수소 및 산소 재결합기 및/또는 수소 해리기를 더 포함하는 전력 시스템.

청구항 3

제1항의 전력 시스템에 있어서,

상기 수소 및 산소 재결합기는 비활성 지지체 물질에 의해 지지되는 재결합기 촉매 금속을 더 포함하는 전력 시스템.

청구항 4

제1항의 전력 시스템에 있어서,

비활성 기체(예: 아르곤)가 용기 내로 주입되는 전력 시스템.

청구항 5

제1항의 전력 시스템에 있어서,

물을 용기 안으로 주입하도록 구성된 (예: 수증기를 포함하는 플라스마를 초래)물 미세 주입기를 포함하는 전력 시스템.

청구항 6

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용융 금속 주입 시스템은 용융 금속 저장소 및 비주입기 용융 금속 저장소에서 전극들을 더 포함하며; 그리고 점화 시스템은 주입기 및 비주입기 저장소 전극들에 반대 전압을 공급하기 위해 전력이나 점화 전류의 소스를 포함하는데 있어서, 상기 전력의 소스는 전류와 전력 흐름을 용융 금속의 스트림을 통해 공급하여 반응물들의 반응이 용기 내부에서 플라즈마를 형성하도록 야기하는 전력 시스템.

청구항 7

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용융 금속 펌프 시스템은 하나 이상의 전자기 펌프이며 각 전자기 펌프는,

- a) 전극을 통해 용융 금속에 공급되는 DC 또는 AC 전류원 및 일정한 또는 동-위상 교류 벡터 교차 자기장의 소스를 포함하는 DC 또는 AC 전도 유형, 또는
- b) 금속에 교류 전류를 유도하는 단락된 용융 금속 루프를 통한 교류 자기장 소스 및 동-위상 교류 벡터 교차 자기장 소스를 포함하는 유도 유형 중 하나를 포함하는 전력 시스템.

청구항 8

제1항의 전력 시스템에 있어서,

주입기 저장소는 그 안의 용융 금속과 접촉하는 전극을 포함하며, 비주입기 저장소는 주입기 시스템이 제공하는 용융 금속과 접촉하는 전극을 포함하는 전력 시스템.

청구항 9

제1항의 전력 시스템에 있어서,

비주입기 저장소는 주입기 위로(예: 수직되게) 정렬하며 주입기는 용융 금속 스트림의 용융 금속을 저장소에 수집하고 용융 금속 스트림이 비주입기 저장소 전극과 전기적 접촉이 이루어지도록 비주입기 저장소를 향하는 용융 스트림을 생산하도록 구성되는데, 용융 금속은 비주입기 저장소 전극 상에 모이는 전력 시스템.

청구항 10

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용기는 모래시계 지오메트리(예: 용기의 내부 표면적의 중간 부분에서 그 단면이 장축을 따라서 각각 원위단의 20% 또는 10% 또는 5% 이내의 단면보다 더 적은 지오메트리)를 포함하며, 단면에서 수직 방향으로 배향되는데(예: 용기의 장축이 중력과 대략 평행형), 저장소에서 용융 금속의 레벨이 모래시계의 허리에 대해 대략 근위에서 점화 전류 밀도를 증가시키도록 주입기 저장소가 허리 아래에 위치하는 전력 시스템.

청구항 11

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용융 금속이 물과 반응하여 원자 수소를 형성하는 전력 시스템.

청구항 12

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용융 금속은 갈륨이며 전력 시스템은 산화 갈륨(예: 반응에서 생산되는 산화 갈륨)으로부터 갈륨을 재생하는 갈륨 재생 시스템을 더 포함하는 전력 시스템.

청구항 13

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용기가 빛을 용기의 내부로부터 광전지 변환기로 투과시키는 투명 광전지(PV) 창과 적어도 하나의 용기 지오메

트리 그리고 스피닝 창을 포함하는 적어도 하나의 배플을 포함하는 전력 시스템.

청구항 14

제1항의 전력 시스템에 있어서,

전력 변환기나 출력 시스템은 용기에 연결된 노즐, 자기 유체 역학 채널, 전극, 자석, 금속 수집 시스템, 금속 재순환 시스템, 열 교환기 및 선택적으로 기체 재순환 시스템을 포함하는 자가 유체 역학(MHD) 변환기를 포함하는 전력 시스템.

청구항 15

제1항의 전력 시스템에 있어서,

용융 금속 펌프 시스템은 1단계 전자기 펌프 및 2단계 전자기 펌프를 포함하는데, 제1단계는 금속 재순환 시스템용 펌프를 포함하고, 제2단계는 금속 주입기 시스템용 펌프를 포함하는 전력 시스템.

청구항 16

제1항의 전력 시스템에 있어서, 그 반응은:

- a) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 및 $5500 \sim 6200 \text{ cm}^{-1}$ 의 하나 이상의 범위에서 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- b) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격이 있는 복수의 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- c) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 에서 적외선 피크를 갖는 수소 생성물;
- d) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격이 있는 복수의 적외선 피크를 갖는 수소 생성물;
- e) $0.23 \sim 0.3 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격을 갖는 $200 \sim 300 \text{ nm}$ 의 범위에서 복수의 UV 형광 방출 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- f) $0.2 \sim 0.3 \text{ eV}$ 의 정수배로 간격을 갖는 약 $200 \sim 300 \text{ nm}$ 범위에서 복수의 전자빔 방출 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- g) $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ 의 정수배로 간격을 갖는 약 $5000 \sim 20,000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 복수의 라만 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- h) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 연속 라만 스펙트럼을 갖는 수소 생성물;
- i) 상자성 및 나노입자 이동의 적어도 하나에 기인하는 $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위의 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- j) $490 \sim 525 \text{ eV}$ 범위의 에너지에서 X-선 광전자 분광법 피크를 갖는 수소 생성물;
- k) 높은장 MAS NMR 매트릭스 시프트를 유발하는 수소 생성물;
- l) TMS에 대해 약 -5 ppm 보다 큰 높은장 MAS NMR 혹은 액체 NMR 시프트를 갖는 수소 생성물;
- m) 거대 응집체 혹은 중합체 H_n (n 은 3보다 큰 정수)을 포함하는 수소 생성물;
- n) $16.12 \sim 16.13$ 의 비행시간형 2차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 피크를 갖는 거대 응집체 혹은 중합체 H_n (n 은 3보다 큰 정수)을 포함하는 수소 생성물;
- o) 금속 수소화물을 포함하는 수소 생성물에서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu 및 W 중 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- p) H_{16} 및 H_{24} 의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- q) n 이 정수인 $M(M_xX_yH_2)_n$ 에서 M 이 양이온이고 X 가 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ESI-ToF) 및 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 피크의 적어도 하나를 갖는 음이온인 경우 무기 화합물

M_xX_y 및 H_2 를 갖는 수소 생성물;

r) $K(K_2H_2CO_3)_n^+$ 및 $K(KOHH_2)_n^+$ 각각에 대한 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 및 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ESI-ToF) 피크 가운데 적어도 하나를 갖는 $K_2CO_3H_2$ 와 $KOHH_2$ 가운데 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;

s) 금속 수소화물과 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하는 자기 수소 생성물에 있어서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 반자성 금속의 적어도 하나를 포함하는 자기 수소 생성물;

t) 금속 수소화물과 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하는 수소 생성물에 있어서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 자기 서셉토메트리에 의해 자성을 발휘하는 반자성 금속의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;

u) 전자 상자성 공명(EPR) 분광법에서 활성이지 않은 금속을 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $2.0046 \pm 20\%$ 의 g 인자 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지와 같은 양자 분열의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;

v) 수소 분자 이항체인 $[H_2]_2$ 를 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 전자-전자 쌍극자 분열 에너지 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지의 적어도 하나를 보여주는 수소 생성물;

w) 수소 또는 헬륨 캐리어에서 음성 가스 크로마토그래피 피크를 갖는 기체를 포함하는 수소 생성물;

$$\frac{1.70127d_0^2}{p^2} \pm 10\%$$

x) P가 정수인 $\frac{1.70127d_0^2}{p^2} \pm 10\%$ 의 4배 모멘트/e를 갖는 수소 생성물;

y) 중수소를 포함하는 분자 이합체의 상응하는 회전 에너지가 양자를 포함하는 이합체의 상응하는 회전 에너지의 1/2이며 $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 정수 J에서 J + 1 전이의 양끝 회전 에너지를 갖는 분자 이합체를 포함하는 양자성 수소 생성물;

z) $1.028 \text{ Å} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 분리 거리, (ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는 분자 이합체를 포함하는 수소 생성물;

aa) (i) $1.028 \text{ Å} \pm 10\%$ 수소 분자의 분리 거리, (ii) 약 $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) 약 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는 고체를 포함하는 수소 생성물;

bb) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ Å} \pm 10\%$ 의 수소 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는 분자 수소당 $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는 수소 생성물;

cc) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ Å} \pm 10\%$ 의 수소 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는 분자 수소당 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는 고체 수소 생성물.

dd) 무결합 결합 에너지 영역에서 자성이며 자속 쿼텀 단위로 자속을 연계시키는 수소 수화물 이온을 포함하는 수소 생성물;

ee) 유기 컬럼 및 물을 포함하는 용매를 사용한 고압 액체 크로마토그래피(HPLC)가 캐리어 틸드 부피 시간의 정체 시간보다 더 긴 정체 시간을 가진 크로마토그래피의 피크를 갖는 수소 생성물에 있어서, ESI-ToF와 같은 질량 분석에 의한 피크의 검출이 적어도 하나의 무기화합물의 단편을 보여주는 수소 생성물 가운데 하나 이상으로

특성화되는 수소 생성물을 생성하는 전력 시스템.

청구항 17

전극 시스템이:

- a) 제1 전극 및 제2 전극;
 - b) 상기 제1 및 제2 전극과 전기적으로 접촉하는 용융 금속(예: 용융 은, 용융 갈륨 등)의 스트림;
 - c) 저장소로부터 상기 용융 금속을 인출해서 도관(예: 튜브)을 통해 운반하여 상기 도관을 나가는 상기 용융 금속의 스트림을 생산하는 펌프를 포함하는 순환 시스템;
 - d) 상기 제1 및 제2 전극 사이에 전위 차이를 제공하도록 구성된 전력의 소스를 포함하는데 있어서;
- 상기 용융 금속의 스트림이 상기 제1 및 제2 전극과 동시에 접촉하여 상기 전극들 사이에 전류를 생성하는 전극 시스템.

청구항 18

전기 회로가:

- a) 용융 금속의 생산을 위한 가열 수단;
 - b) 저장소로부터 상기 용융 금속을 도관을 통해 운반하여 상기 도관을 나가는 상기 용융 금속의 스트림을 생산하기 위한 펌핑 수단; 및
 - c) 제1 및 제2 전극으로서, 상기 제1 및 제2 전극에 걸친 전위 차이를 생성하는 전력 공급 수단과 전기적 소통이 되는 제1 및 제2 전극을 포함하는데 있어서;
- 상기 용융 금속의 스트림이 상기 제1 및 제2 전극과 동시에 접촉하여 상기 제1 및 제2 전극 사이에 전기 회로를 생성하는 전기 회로.

청구항 19

제1 및 제2 전극을 포함하는 전기 회로에서,

그에 따른 향상은 그 사이에 전류의 흐름을 허용하는 상기 전극들에 걸친 용융 금속의 스트림 통과를 포함하는 전기 회로.

청구항 20

플라즈마를 생산하는 시스템이:

- a) 금속 저장소로부터 용융 금속의 스트림을 생산하도록 구성된 용융 금속 주입기 시스템;
- b) 전류가 상기 용융 금속의 스트림을 통해 흐르도록 유도하기 위한 전극 시스템;
- c) (i) 측정된 부피의 물을 상기 용융 금속과 접촉하도록 구성된 물 주입 시스템에 있어서, 상기 물의 일부분과 상기 용융 금속의 일부분이 반응하여 상기 금속과 수소 기체의 산화물을 형성하는 물 주입 시스템, (ii) 과잉 수소 기체와 산소 기체의 혼합물 및 (iii) 과잉 수소 기체와 수증기의 혼합물 가운데 적어도 하나, 그리고
- d) 상기 전류를 공급하도록 구성된 전원을 포함하는데 있어서;

전류가 상기 금속 스트림을 통해 공급될 때 상기 플라즈마가 생산되는 시스템.

청구항 21

제20항의 시스템에 있어서:

- a) 상기 플라즈마의 생산 이후 수집된 금속을 상기 금속 저장소로 이전하도록 구성된 펌핑 시스템; 및
- b) 상기 산화 금속을 수집하여 상기 산화 금속을 상기 금속으로 변환시키도록 구성된 금속 재생 시스템에 있어서; 상기 금속 재생 시스템이 애노드, 캐소드, 전해질을 포함하고, 상기 애노드와 캐소드 사이에 전기적 바이어스가 공급되어 상기 산화 금속이 상기 금속으로 변환되는 금속 재생 시스템을 포함하며;

상기 금속 재생 시스템에서 재생된 금속이 상기 펌핑 시스템으로 이전되는 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 상호 참조

[0002] 본 출원은 2019년 1월 18일자 출원된 미국 출원 번호 62/794,515, 2019년 2월 8일자 출원된 미국 출원 번호 62/803,283, 2019년 3월 25일자 출원된 미국 출원 번호 62/823,541, 2019년 4월 2일자 출원된 미국 출원 번호 62/828,341, 2019년 4월 27일자 출원된 미국 출원 번호 62/839,617, 2019년 5월 7일자 출원된 미국 출원 번호 62/844,643, 2019년 5월 21일자 출원된 미국 출원 번호 62/851,010, 2019년 6월 28일자 출원된 미국 출원 번호 62/868,838, 2019년 7월 8일자 출원된 미국 출원 번호 62/871,664, 2019년 7월 26일자 출원된 미국 출원 번호 62/879,389, 2019년 8월 5일자 출원된 미국 출원 번호 62/883,047, 2019년 8월 21일자 출원된 미국 출원 번호 62/890,007, 2019년 9월 6일자 출원된 미국 출원 번호 62/897,161, 2019년 9월 20일자 출원된 미국 출원 번호 62/903,528, 2019년 11월 1일자 출원된 미국 출원 번호 62/929,265, 2019년 11월 14일자 출원된 미국 출원 번호 62/935,559, 2019년 12월 13일자 출원된 미국 출원 번호 62/948,173, 2019년 12월 27일자 출원된 미국 출원 번호 62/954,355에 대한 우선권을 주장하며, 이들 모두는 원용에 의해 본 출원에 포함된다.

[0003] 개시의 분야

[0004] 본 개시는 발전 분야에 관한 것으로, 특히 발전을 위한 시스템, 장치 및 방법에 관한 것이다. 더 구체적으로, 본 개시의 실시예는 광 전력, 플라스마 및 열 전력을 생산하고 자기 유체 역학 전력 변환기, 광-전력 변환기, 플라스마-전력 변환기, 광자-전력 변환기 또는 열-전력 변환기를 통해 전력을 생산하는 발전 장치 및 시스템뿐만 아니라 관련 방법에 관한 것이다. 또한, 본 개시의 실시예는 광전지 전력 변환기를 사용하여 광 전력, 기계 전력, 전력 및/또는 열 전력을 생산하기 위해 물 또는 물-기반 연료 공급원의 점화를 사용하는 시스템, 장치 및 방법을 설명한다. 이들 및 다른 관련된 실시예는 본 개시에서 상세하게 설명된다.

배경 기술

[0005] 발전은 플라스마로부터 전력을 이용하는 다양한 형태를 취할 수 있다. 플라스마의 성공적인 상업화는 효율적으로 플라스마를 형성하고 생성된 플라스마의 전력을 포획할 수 있는 발전 시스템에 의존할 수 있다.

[0006] 플라스마는 특정 연료의 점화 동안 형성될 수 있다. 이러한 연료는 물 또는 물-기반 연료 공급원을 포함할 수 있다. 점화 동안, 전자가 제거된 원자의 플라스마 구름이 형성되고, 높은 광 전력이 방출될 수 있다. 플라스마의 높은 광 전력은 본 개시의 전기 변환기에 의해 이용될 수 있다. 이온 및 여기 상태 원자는 재결합하여 전자 이완을 거쳐 광 전력을 방출할 수 있다. 광 전력은 광전지에 의해 전기로 변환될 수 있다.

발명의 내용

[0007] 본 개시는:

[0008] 압력을 대기압 미만으로 유지할 수 있는 적어도 하나의 용기;

[0009] 다음을 포함하는 용기에서 플라스마 형성에 충분한 에너지를 생산하는 반응을 일으킬 수 있는 반응물들:

[0010] a) 수소 기체 및 산소 기체의 혼합물 및/또는

[0011] 수증기 및/또는

[0012] 수소 기체 및 수증기의 혼합물;

[0013] b) 용융 금속;

[0014] 적어도 하나의 반응물의 상기 용기로의 유속을 조절하는 질량 흐름 제어기;

[0015] 하나 이상의 반응물들이 상기 용기 내로 흐를 때 상기 용기 내 압력을 대기압 미만으로 유지하는 진공 펌프;

[0016] 용융 금속의 일부를 포함하는 적어도 하나의 저장소, 상기 저장소에 용융 금속을 전달하고 주입기 튜브를 통해 용융 금속 스트림을 제공하도록 구성된 용융 금속 펌프 시스템(예: 하나 이상의 전자기 펌프) 및 상기 용융 금

속 스트림을 수용하기 위한 적어도 하나의 비주입기 용융 금속 저장소를 포함하는 용융 금속 주입기 시스템;

- [0017] 수소 기체 및/또는 산소 기체 및/또는 수증기가 용기 내로 흐를 때 반응을 점화하기 위해 적어도 하나의 용융 금속의 스트림에 전력을 공급하는 전력이나 점화 전류의 소스를 포함하는 적어도 하나의 점화 시스템;
- [0018] 반응에서 소모되는 반응물을 보충하는 반응물 공급 시스템;
- [0019] 반응으로부터 생산되는 에너지(예: 플라스마로부터 출력된 광 및/또는 열)의 일부를 전력 및/또는 열 전력으로 변환하는 전력 변환기 혹은 출력 시스템을 포함하는 전기 에너지 및 열 에너지의 적어도 하나를 생성하는 전력 시스템에 관한 것이다.
- [0020] 이 전력 시스템은 흑체 방열기 및 흑체 방열기로부터 빛을 출력하는 창을 포함할 수 있다. 이러한 실시예는 빛 생성(예: 조명에 이용)에 사용될 수 있다.
- [0021] 일부 실시예에서, 이 전력 시스템은 산소 및 수소 기체의 혼합을 위한 기체 혼합기 그리고 수소 및 산소 재결합기 및/또는 수소 해리기를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 이 전력 시스템은 수소 및 산소 재결합기를 포함할 수 있으며, 상기 수소 및 산소 재결합기는 비활성 지지체 물질에 의해 지지되는 재결합기 촉매 금속을 포함한다.
- [0022] 이 전력 시스템은 반응들, 구체적으로 플라스마 생성 및 순에너지 출력의 유지에 충분한 에너지를 출력할 수 있는 반응들을 최대화하는 매개변수들로써 작동할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 작동 동안 용기의 압력이 0.1 Torr ~ 50 Torr의 범위에 있다. 특정 구현에서는, 수소 질량 유속이 산소 질량 유속을 1.5 ~ 1000의 범위의 배만큼 초과한다. 일부 실시예에서, 그 압력은 50 Torr를 넘을 수 있으며 기체 재순환 시스템을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 일부 실시예에서, 비활성 기체(예: 아르곤)가 용기 내로 주입된다. 이 비활성 기체가 특정한 현장에 형성된 반응물들(신생의 물과 같은)의 수명을 연장시키는데 사용될 수 있다.
- [0024] 이 전력 시스템은 반응에 따른 출력 에너지에서 생산된 플라스마가 수증기를 포함하도록 물을 용기 안으로 주입하도록 구성된 물 미세 주입기를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 미세 주입기는 물을 용기 안으로 주입한다. 일부 실시예에서, H₂ 물 백분율은 수증기(예: 미세 주입기에 의해 주입된 수증기)의 물 백분율보다 1.5 ~ 1000배의 범위에 있다.
- [0025] 이 전력 시스템은 금속(예: 갈륨이나 은 또는 구리 또는 이들의 조합)을 용융시켜 용융 금속을 형성하는 히터를 더 포함할 수 있다. 이 전력 시스템은 비주입기 용융 금속 저장소로부터 오버플로우를 수집하는 용융 금속 오버플로우 채널을 포함하는 반응 후 용융 금속을 복구하도록 구성된 용융 금속 복구 시스템을 더 포함할 수 있다.
- [0026] 이 용융 금속 주입 시스템은 용융 금속 저장소 및 비주입기 용융 금속 저장소에서 전극들을 포함할 수 있다; 그리고 점화 시스템은 주입기 및 비주입기 저장소 전극들에 반대 전압을 공급하기 위해 전력이나 점화 전류의 소스를 포함하는데, 상기 전력의 소스는 전류와 전력 흐름을 용융 금속의 스트림을 통해 공급하여 반응물들의 반응이 용기 내부에서 플라스마를 형성하도록 야기한다.
- [0027] 이 전력의 소스는 전형적으로 반응물들이 반응하여 플라스마를 형성하도록 야기하는데 충분한 고전류 전기 에너지를 전달한다. 특정 실시예에 있어서, 전력의 소스는 적어도 하나의 슈퍼커패시터를 포함한다. 다양한 구현에 있어서, 용융 금속 점화 시스템 전력으로부터의 전류는 10 A ~ 50,000 A의 범위에 있다.
- [0028] 전형적으로 이 용융 금속 펌프 시스템은 용융 금속 저장소로부터 비주입기 저장소로 용융 금속을 펌핑하도록 구성되는데, 용융 금속의 스트림이 그들 사이에서 생성된다. 일부 실시예에서, 용융 금속 펌프 시스템은 하나 이상의 전자기 펌프이며 각 전자기 펌프는,
- [0029] a) 전극을 통해 용융 금속에 공급되는 DC 또는 AC 전류원 및 일정한 또는 동-위상 교류 벡터 교차 자기장의 소스를 포함하는 DC 또는 AC 전도 유형, 또는
- [0030] b) 금속에 교류 전류를 유도하는 단락된 용융 금속 루프를 통한 교류 자기장 소스 및 동-위상 교류 벡터 교차 자기장 소스를 포함하는 유도 유형 중 하나를 포함할 수 있다.
- [0031] 일부 실시예에서, 용융 금속 점화 시스템의 회로가 용융 금속 스트림에 의해 단혀져 점화가 점화를 더 야기하도록 유발한다(예: 10,000Hz 미만의 점화 주파수에 의해). 주입기 저장소는 그 안의 용융 금속과 접촉하는 전극

을 포함할 수 있으며, 비주입기 저장소는 주입기 시스템이 제공하는 용융 금속과 접촉하는 전극을 포함한다.

[0032] 다양한 구현에서, 이 비주입기 저장소는 주입기 위로(예: 수직되게) 정렬하며 주입기는 용융 금속 스트림의 용융 금속을 저장소에 수집하고 용융 금속 스트림이 비주입기 저장소 전극과 전기적 접촉이 이루어지도록 비주입기 저장소를 향하는 용융 스트림을 생산하도록 구성되는데, 용융 금속은 비주입기 저장소 전극 상에 모인다. 특정 실시예에서, 비주입기 저장소에 대한 점화 전류는 다음을 포함할 수 있다:

[0033] a) 용기를 관통하는 밀폐된 고온가능한 피드-스루;

[0034] b) 전극 버스 바 및

[0035] c) 전극.

[0036] 점화 전류 밀도는 용기 지오메트리가 궁극적인 플라즈마 형상과 관련있다는 적어도 그 이유로 인해 용기 지오메트리와 관련이 있을 수 있다. 다양한 구현에서, 용기는 모래시계 지오메트리(예: 용기의 내부 표면적의 중간 부분에서 그 단면이 장축을 따라서 각각 원위단의 20% 또는 10% 또는 5% 이내의 단면보다 더 적은 지오메트리)를 포함할 수 있으며 단면에서 수직 방향으로 배향되는데(예: 장축이 중력과 대략 평행형), 저장소에서 용융 금속의 레벨이 모래시계의 허리에 대해 대략 근위에서 점화 전류 밀도를 증가시키도록 주입기 저장소가 허리 아래에 위치한다. 일부 실시예에서, 이 용기는 수직의 장축에 대해 대칭이다. 일부 실시예에서, 이 용기는 모래시계 지오메트리를 가지며내화 금속 라이너를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 모래시계 지오메트리를 갖는 용기의 주입기 저장소는 점화 전류에 대해 양극을 포함할 수 있다.

[0037] 용융 금속은 은, 갈륨, 은-구리 합금, 구리 또는 이들의 조합 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 용융 금속은 700 ° C 미만의 융점을 갖는다. 예를 들어, 용융 금속은 비스무트, 납, 주석, 인듐, 카드뮴, 갈륨, 안티몬 또는 로즈 금속, 세로세이프, 우드 금속, 필드 금속(Field's metal), 셀룰로우 136, 셀룰로우 117, Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl 및 갈린스탄과 같은 합금 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 특정 양태에서, 이 용융 금속과 접촉하는 발전 시스템의 적어도 하나의 구성요소(예: 저장소, 전극)는 그 용융 금속과의 합금 형성에 저항하는 하나 이상의 합금 내성 물질로 클래딩되거나 코팅된다. 예시적 합금 내성 물질은 텅스텐, 탄탈, SS 347 및 세라믹이다. 일부 실시예에서, 용기의 적어도 한 부분은 세라믹 및/또는 금속으로 구성된다. 세라믹은 금속 산화물, 석영, 알루미늄, 지르코니아, 마그네시아, 하프니아, 탄화 규소, 탄화 지르코늄, 이붕소화 지르코늄, 질화 규소, 및 유리 세라믹 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 용기의 금속은 스테인레스강 및 내화 금속의 적어도 하나를 포함한다.

[0038] 용융 금속은 물과 반응하여 *현장*에 원자 수소를 형성할 수 있다. 다양한 구현에서, 용융 금속은 갈륨이며 전력 시스템은 산화 갈륨(예: 반응에서 생산되는 산화 갈륨)으로부터 갈륨을 재생하는 갈륨 재생 시스템을 더 포함한다. 갈륨 재생 시스템은 산화 갈륨을 갈륨으로 환원시키기 위한 수소 기체 및 원자 수소 중 적어도 하나의 소스를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 수소 기체가 발전 시스템에 대해 외부적인 소스로부터 갈륨 재생 시스템으로 전달된다. 일부 실시예에서, 수소 기체 및/또는 원자 수소는 *현장에서* 생성된다. 갈륨 재생 시스템은 반응에서 생산되는 갈륨(또는 갈륨/산화 갈륨의 조합)으로 전력을 전달하는 점화 시스템을 포함할 수 있다. 몇몇 구현에서, 그러한 전력은 갈륨 표면에서 산화 갈륨을 갈륨 금속으로 전기분해할 수 있다. 일부 실시예에서, 갈륨 재생 시스템은 전해질(예: 알칼리 또는 알칼리 토류 할로젠화물을 포함하는 전해질)을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 갈륨 재생 시스템은 염기성 pH의 수용성 전기분해 시스템, 산화 갈륨을 시스템으로 운반하는 수단 및 갈륨을 용기로(예: 용융 금속 저장소로) 회수하는 수단을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 갈륨 재생 시스템은 갈륨 표면으로부터 산화 갈륨을 제거하는 스키머 및 버켓 승강기를 포함한다. 다양한 구현에서, 전력 시스템은 배기 가스 스트림을 유지하기 위해 진공 펌프에 대한 배기 라인을 포함할 수 있으며 이것은 배기 가스 스트림에서 산화 갈륨 입자를 수집하기 위해 배기 라인에 전기 집진 시스템을 더 포함한다.

[0039] 일부 실시예에서, 이 전력 시스템은 적어도 하나의 열 교환기(예: 용기 벽의 벽에 결합된 열 교환기, 열을 용융 금속으로/으로부터 또는 용융 금속 저장소로/로부터 이전할 수 있는 열 교환기)를 더 포함할 수 있다.

[0040] 일부 실시예에서, 이 전력 시스템은 적어도 하나의 전력 변환기를 포함하거나 반응 전력 출력의 출력 시스템은 열광전지 변환기, 광전지 변환기, 광전자 변환기, 자기 유체 역학 변환기, 플라즈마 역학 변환기, 열이온 변환기, 열전기 변환기, 스틸링 엔진, 초임계 CO₂ 사이클 변환기, 브레이튼 사이클 변환기, 외연 유형 브레이튼 사이클 엔진 또는 변환기, 랭킨 사이클 엔진 또는 변환기, 유기 랭킨 사이클 변환기, 내연 유형 엔진 그리고 열 엔진, 히터 및 보일러의 군에서 적어도 하나를 포함한다. 용기는 빛을 용기의 내부로부터 광전지 변환기로 투과시키는 투명 광전지(PV) 창과 적어도 하나의 용기 지오메트리 그리고 스피닝 창을 포함하는 적어도 하나의 배

플을 포함할 수 있다. 이 스피닝 창은 수소 환원 시스템과 전기분해 시스템 가운데 적어도 하나를 포함하는 산화 갈륨을 환원시키는 시스템을 포함한다. 일부 실시예에서 이 스피닝 창은 석영, 사파이어, 불화 마그네슘 또는 이의 조합을 포함하거나 이로써 구성된다. 몇몇 구현에서, 이 스피닝 창은 갈륨 및 산화 갈륨 가운데 적어도 하나의 접착을 억제하는 코팅으로 도포된다. 스피닝 창의 코팅은 다이아몬드상 탄소, 탄소, 질화 붕소 및 알칼리 수산화물 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0041] 전력 변환기나 출력 시스템은 용기에 연결된 노즐, 자기 유체 역학 채널, 전극, 자석, 금속 수집 시스템, 금속 재순환 시스템, 열 교환기 및 선택적으로 기체 재순환 시스템을 포함하는 자기 유체 역학(MHD) 변환기를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 용융 금속은 은을 포함할 수 있다. 자기 유체 역학 변환기의 실시예에서, 자기 유체 역학 변환기는 용융 금속 스트림의 은과 상호작용시 산소 기체를 전달하여 은 나노입자(예: 약 10 nm 미만이나 약 1 nm 미만과 같은 분자 영역의 크기)를 형성할 수 있는데, 이 은 나노입자가 자기 유체 역학 노즐을 통해 가속화되어 그 반응으로부터 생성된 전력의 운동 에너지 인벤토리를 전한다. 이 반응물 공급 시스템은 변환기로 산소 기체를 공급하고 그 전달을 제어할 수 있다. 다양한 구현에서, 은 나노입자의 운동 에너지 인벤토리의 적어도 한 부분이 자기 유체 역학 채널에서 전기 에너지로 변환된다. 이러한 전기 에너지의 변환은 나노입자의 응집을 초래할 수 있다. 나노입자들은 자기 유체 역학 변환기의 응축 섹션(여기서 MHD 응축 섹션으로도 지칭함)에서 적어도 부분적으로 산소를 흡수하는 용융 금속으로 응집될 수 있으며, 흡수된 산소를 포함하는 용융 금속은 금속 재순환 시스템에 의해서 주입기 저장소로 회수된다. 일부 실시예에서, 용기의 플라즈마에 의해 산소가 금속으로부터 방출될 수 있다. 일부 실시예에서, 이 플라즈마는 자기 유체 역학 채널 및 금속 수집 시스템에서 유지되어 용융 금속에 의한 산소의 흡수를 강화시킨다.
- [0042] 용융 금속 펌프 시스템은 1단계 전자기 펌프 및 2단계 전자기 펌프를 포함할 수 있는데, 제1단계는 금속 재순환 시스템용 펌프를 포함하고, 제2단계는 금속 주입기 시스템용 펌프를 포함한다.
- [0043] 이 반응에 의해 유도되는 반응은 용기에서 플라즈마의 형성을 개시하는데 충분한 에너지를 생성한다. 이 반응들은 다음에서 하나 이상으로 특성화되는 수소 생성물을 생성할 수 있다:
- [0044] a) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 및 $5500 \sim 6100 \text{ cm}^{-1}$ 의 하나 이상의 범위에서 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0045] b) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격이 있는 복수의 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0046] c) $1900 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 에서 적외선 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0047] d) $0.23 \sim 0.25 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격이 있는 복수의 적외선 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0048] e) $0.23 \sim 0.3 \text{ eV}$ 의 정수배의 간격을 갖는 $200 \sim 300 \text{ nm}$ 의 범위에서 복수의 UV 형광 방출 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0049] f) $0.2 \sim 0.3 \text{ eV}$ 의 정수배로 간격을 갖는 약 $200 \sim 300 \text{ nm}$ 범위에서 복수의 전자빔 방출 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0050] g) $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ 의 정수배로 간격을 갖는 약 $5000 \sim 20,000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 복수의 라만 스펙트럼 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0051] h) $40 \sim 8000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 연속 라만 스펙트럼을 갖는 수소 생성물;
- [0052] i) 상자성 및 나노입자 이동의 적어도 하나에 기인하는 $1500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위의 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0053] j) $490 \sim 525 \text{ eV}$ 범위의 에너지에서 X-선 광전자 분광법 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0054] k) 높은장 MAS NMR 매트릭스 시프트를 유발하는 수소 생성물;
- [0055] l) TMS에 대해 약 -5 ppm 보다 큰 높은장 MAS NMR 혹은 액체 NMR 시프트를 갖는 수소 생성물;
- [0056] m) 거대 응집체 혹은 중합체 H_n (n 은 3보다 큰 정수)을 포함하는 수소 생성물;
- [0057] n) $16.12 \sim 16.13$ 의 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 피크를 갖는 거대 응집체 혹은 중합체 H_n (n 은 3보다 큰 정수)을 포함하는 수소 생성물;

- [0058] o) 금속 수소화물 및 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하는 수소 생성물에서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu 및 W 중 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- [0059] p) H_{16} 및 H_{24} 의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- [0060] q) n 이 정수인 $M(M_xX_yH_2)_n$ 에서 M 이 양이온이고 X 가 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ESI-ToF) 및 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 피크의 적어도 하나를 갖는 음이온인 경우 무기 화합물 M_xX_y 및 H_2 를 갖는 수소 생성물;
- [0061] r) $K(K_2H_2CO_3)_n^+$ 및 $K(KOHH_2)_n^+$ 각각에 대한 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 및 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ESI-ToF) 피크 가운데 적어도 하나를 갖는 $K_2CO_3H_2$ 와 $KOHH_2$ 가운데 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- [0062] s) 금속 수소화물과 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하는 자기 수소 생성물에 있어서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 반자성 금속의 적어도 하나를 포함하는 자기 수소 생성물;
- [0063] t) 금속 수소화물과 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하는 수소 생성물에 있어서 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 자기 서셉토메트리에 의해 자성을 발휘하는 반자성 금속의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- [0064] u) 전자 상자성 공명(EPR) 분광법에서 활성이지 않은 금속을 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $2.0046 \pm 20\%$ 의 g 인자 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지와 같은 양자 분열의 적어도 하나를 포함하는 수소 생성물;
- [0065] v) 수소 분자 이항체인 $[H_2]_2$ 를 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 전자-전자 쌍극자 분열 에너지 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지의 적어도 하나를 보여주는 수소 생성물;
- [0066] w) 수소 또는 헬륨 캐리어에서 음성 가스 크로마토그래피 피크를 갖는 기체를 포함하는 수소 생성물;
- [0067] x) P 가 정수인 $\frac{1.70127a_0^2}{P^2} \pm 10\%$ 의 4배 모멘트/e를 갖는 수소 생성물;
- [0068] y) 중수소를 포함하는 분자 이합체의 상응하는 회전 에너지가 양자를 포함하는 이합체의 상응하는 회전 에너지의 $1/2$ 이며 $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 정수 J 에서 $J + 1$ 전이의 양끝 회전 에너지를 갖는 분자 이합체를 포함하는 양자성 수소 생성물;
- [0069] z) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 분리 거리, (ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는 분자 이합체를 포함하는 수소 생성물;
- [0070] aa) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 수소 분자의 분리 거리, (ii) 약 $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) 약 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는 고체를 포함하는 수소 생성물;
- [0071] bb) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는 분자 수소당 $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는 수소 생성물;
- [0072] cc) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는

분자 수소당 0.019 eV $\pm$ 10%의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는 고체 수소 생성물.

- [0073] dd) 무결합 결합 에너지 영역에서 자성이며 자속 쿼텟 단위로 자속을 연계시키는 수소 수화물 이온을 포함하는 수소 생성물;
- [0074] ee) 유기 컬럼 및 물을 포함하는 용매를 사용한 고압 액체 크로마토그래피(HPLC)가 캐리어 틸드 부피 시간의 정 체 시간보다 더 긴 정 체 시간을 가진 크로마토그래피의 피크를 갖는 수소 생성물에 있어서, ESI-ToF와 같은 질 량 분석에 의한 피크의 검출이 적어도 하나의 무기화합물의 단편을 보여주는 수소 생성물.
- [0075] 일부 실시예에서, 상기 수소 생성물은 다음으로 특성화될 수 있다:
- [0076] a) 40 ~ 8000 cm^{-1} 의 범위에서 연속 라만 스펙트럼을 갖는 수소 생성물;
- [0077] b) 상자성 및 나노입자 이동의 적어도 하나에 기인하는 1500 ~ 2000 cm^{-1} 의 범위의 라만 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0078] c) 490 ~ 525 eV 범위의 에너지에서 X-선 광전자 분광법 피크를 갖는 수소 생성물;
- [0079] d) 전자 상자성 공명(EPR) 분광법에서 활성이지 않은 금속을 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $2.0046 \pm 20\%$ 의 g 인자 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지와 같은 양자 분열의 적어도 하 나를 포함하는 수소 생성물;
- [0080] e) 수소 분자 이항체인 $[\text{H}_2]_2$ 를 포함하는 수소 생성물에 있어서 EPR 스펙트럼이 약 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 전자-전 자 쌍극자 분열 에너지 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지의 적어도 하나를 보여주는 수 소 생성물;
- [0081] f) 무결합 결합 에너지 영역에서 자성이며 자속 쿼텟 단위로 자속을 연계시키는 수소 수화물 이온을 포함하는 수소 생성물.
- [0082] 특정한 구현에서 이 반응이 다음의 하나 이상으로 특성화될 수 있는 H_2 를 생성한다:
- [0083] a) $1940 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 에서 H_2 회전 에너지 및 다른 고 에너지 특징이 부재하는 핑거 프린트 영역에서 libation 대 역 중 적어도 하나를 포함하는 푸리에 변환 적외선 스펙트럼(FTIR)을 갖는다;
- [0084] b) 높은장 매트릭스 피크를 포함하는 양성자 매직 각도 방사 핵 자기 공명 스펙트럼(^1H MAS NMR)을 갖는다;
- [0085] c) $100^\circ \text{C} \sim 1000^\circ \text{C}$ 의 온도 영역에서 금속 수소화물 및 수소 중합체 가운데 적어도 하나의 분해를 보여주는 열 중량분석(TGA) 결과를 갖는다;
- [0086] d) 서로 0.23 eV ~ 0.3 eV의 간격을 갖는 복수의 피크를 포함하는 260 nm 영역에서 H_2 회전-진동 대역을 포함하 는 e-빔 여기 방출 스펙트럼을 갖는다;
- [0087] e) 0 K ~ 150 K범위의 극저온에서 피크들의 강도가 감소하며 0.23 eV ~ 0.3 eV의 간격을 갖는 일련의 피크를 포 함하는 260 nm 영역에서 H_2 회전-진동 대역을 포함하는 e-빔 여기 방출 스펙트럼을 갖는다;
- [0088] f) 서로 0.23 eV ~ 0.3 eV의 간격을 갖는 복수의 피크를 포함하는 260 nm 영역에서 2차 H_2 회전-진동 대역을 포 함하는 광발광 라만 스펙트럼을 갖는다;
- [0089] g) $1000 \pm 200 \text{ cm}^{-1}$ 의 정수배의 간격을 갖는 5,000 ~ 20,000 cm^{-1} 범위의 복수의 피크를 포함하는 2차 H_2 회전- 진동 대역을 포함하는 광발광 라만 스펙트럼을 갖는다;
- [0090] h) $1940 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 및 $5820 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 하나 이상에서 H_2 회전 피크를 포함하는 라만 스펙트럼을 갖는다;
- [0091] i) 40 ~ 8000 cm^{-1} 의 범위에서 연속 라만 스펙트럼을 갖는다;
- [0092] j) 상자성 및 나노입자 이동의 적어도 하나에 기인하는 1500 ~ 2000 cm^{-1} 의 범위의 라만 피크를 갖는다;

- [0093] k) 490 ~ 525 eV 범위의 전체 에너지에서 X-선 광전자 스펙트럼(XPS)을 갖는다;
- [0094] l) 상기 수소 생성물이 $K_2CO_3H(1/4)_2$ 및 $KOH(H_2)$ (예: 게터를 포함하는 실시예에서)와 상호작용하며, 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 스펙트럼(ESI-ToF) 및 비행시간형 이차 이온 질량 스펙트럼(ToF-SIMS)의 적어도 하나가 각각 $K(K_2H_2CO_3)_n^+$ 및 $K(KOH(H_2))_n^+$ 의 피크를 포함한다;
- [0095] m) $\frac{1.70127a_0^2}{4^2} \pm 10$ 의 4배 모멘트/e를 갖는다; 그리고
- [0096] n) 각각 $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$ 및 $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 의 범위에서 정수 J에서 J + 1 전이에 대한 양 끝 회전 에너지를 갖는다;
- [0097] o) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 분리 거리, (ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는다;
- [0098] p) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 H_2 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는 분자 수소당 $0.0011 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는다.
- [0099] 일부 실시예에서, 상기 수소 생성물은 고체 H_2 로 생성되고 다음으로 특성화될 수 있다:
- [0100] a) (i) $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자의 분리 거리, (ii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 수소 분자 사이의 진동 에너지 및 (iii) $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 $H_2(1/4)$ 분자 사이의 반데르발스 에너지의 군에서 적어도 하나의 매개변수를 갖는다;
- [0101] b) (i) $(J+1)44.30 \text{ cm}^{-1} \pm 20 \text{ cm}^{-1}$, (ii) $(J+1)22.15 \text{ cm}^{-1} \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ 및 (iii) $23 \text{ cm}^{-1} \pm 10\%$ 의 FTIR 및 라만 스펙트럼 시그내처 및/또는 $1.028 \text{ \AA} \pm 10\%$ 의 수소 분자 분리를 보여주는 X-선 혹은 중성자 회절 패턴 및/또는 분자 수소당 $0.019 \text{ eV} \pm 10\%$ 의 기화 에너지에 대한 열량분석 결정을 갖는다.
- [0102] 다양한 구현에서, 수소 생성물은 수증기를 포함하는 대기에서 와이어 폭발에 의해 형성되는 것과 같은 다양한 하이드리드 반응기로부터 형성되는 생성물로 유사하게 특징지을 수 있다. 그러한 생성물은 다음을 포함할 수 있다:
- [0103] a) 거대 응집체나 중합체 H_n 을 포함한다(n은 3보다 큰 정수);
- [0104] b) 약 16.12 ~ 16.13의 비행시간형 이차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 피크를 갖는 거대 응집체 혹은 중합체 H_n (n은 3보다 큰 정수)을 포함한다;
- [0105] c) 금속 수소화물과 산화금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하며 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu 및 W의 적어도 하나를 포함하고 수소가 H를 포함한다;
- [0106] d) H_{16} 및 H_{24} 의 적어도 하나를 포함한다;
- [0107] e) 무기 화합물 M_xX_y 및 H_2 를 포함하며, 여기서 M이 양이온이고 X가 음이온이며 전기 분무 이온화 비행시간형 이차 이온 질량 스펙트럼(ESI-ToF) 및 비행시간형 이차 이온 질량 스펙트럼(ToF-SIMS)의 적어도 하나가 n이 정수인 $M(M_xX_yH(1/4)_2)_n$ 의 피크들을 포함한다;
- [0108] f) 자성이며 금속 수소화물 및 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하며 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 반자성 금속 가운데 적어도 하나를 포함하며 수소가 $H(1/4)$ 이다;
- [0109] g) 금속 수소화물 및 산화 금속의 적어도 하나를 포함하고 수소를 더 포함하며 그 금속이 Zn, Fe, Mo, Cr, Cu, W 및 반자성 금속 가운데 적어도 하나를 포함하고 H가 $H(1/4)$ 이며 그 생성물이 자기 서셉토메트리에 의해 자성

을 발휘한다;

- [0110] h) 전기 상자성 공명(EPR) 분광법에서 활성이지 않은 금속을 포함하며, 그 EPR 스펙트럼이 약 $2.0046 \pm 20\%$ 의 g 인자 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지와 같은 양자 분열을 보여준다;
- [0111] i) 수소 분자 이합체 $[\text{H}_2]_2$ 을 포함하며, 그 EPR 스펙트럼이 약 $9.9 \times 10^{-5} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 전자-전자 쌍극자 분열 에너지 및 약 $1.6 \times 10^{-2} \text{ eV} \pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지의 적어도 하나를 보여준다;
- [0112] j) 수소나 헬륨 캐리어에서 음성 가스 크로마토그래피 피크를 가지는 H_2 기체(예: 수소 생성물)를 포함하거나 방출한다;
- [0113] 일부 실시예에서, 이 반응에 의해 형성되는 수소 생성물은 (i) 수소 이외의 원소, (ii) H^+ , 일반 H_2 , 일반 H^- 및 일반 H_3^+ 의 적어도 하나를 포함하는 일반 수소 중, (iii) 유기 분자 중 및 (iv) 무기 중 가운데 적어도 하나와 착물화된 수소 생성물을 포함한다. 일부 실시예에서, 이 수소 생성물은 옥시음이온 화합물을 포함한다. 다양한 구현에서, 이 수소 생성물(또는 게터를 포함하는 실시예로부터 복구된 수소 생성물)은 다음 군에서 선택된 식을 갖는 적어도 하나의 화합물을 포함할 수 있다:
- [0114] a) M은 알칼리 양이온이고 H 또는 H_2 는 수소 생성물인 MH , MH_2 또는 M_2H_2 ;
- [0115] b) n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고 H는 수소 생성물인 MH_n ;
- [0116] c) M은 알칼리 양이온이고, X는 할로젠 원자와 같은 중성 원자, 분자 또는 할로젠 음이온과 같은 단일 음전하 음이온이고, H는 수소 생성물인 MHX ;
- [0117] d) M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이며, H는 수소 생성물인 MHX ;
- [0118] e) M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 이중 음전하 음이온이고, H는 수소 생성물인 MHX ;
- [0119] f) M은 알칼리 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이고, H는 수소 생성물인 M_2HX ;
- [0120] g) n은 정수이고, M은 알칼리 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 MH_n ;
- [0121] h) n은 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 M_2H_n ;
- [0122] i) n은 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 M_2XH_n ;
- [0123] j) n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $\text{M}_2\text{X}_2\text{H}_n$;
- [0124] k) M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이고, H는 수소 생성물인 $\text{M}_2\text{X}_3\text{H}$;
- [0125] l) n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 이중 음전하 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 M_2XH_n ;
- [0126] m) M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이고, X'는 이중 음전하 음이온이며, H는 수소 생성물인 $\text{M}_2\text{XX}'\text{H}$;
- [0127] n) n은 1 내지 3의 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $\text{MM}'\text{H}_n$;
- [0128] o) n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이고, X는 단일 음전하 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $\text{MM}'\text{XH}_n$;

- [0129] p) M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이고, X 및 X'는 이중 음전하 음이온이고 H는 수소 생성물인 $MM'XH$;
- [0130] q) M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이고, X 및 X'는 단일 음전하 음이온이고, H는 수소 생성물인 $MM'XX'H$;
- [0131] r) n은 1 내지 5의 정수이고, M은 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 또는 이중 음전하 음이온이고, X'는 금속 또는 메탈로이드, 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 원소이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $MXX'H_n$;
- [0132] s) n은 정수이고, M은 양이온, 예컨대 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 원소이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 MH_n ;
- [0133] t) n은 정수이고, M은 양이온, 예컨대 알칼리 양이온, 알칼리 토류 양이온이고, X는 다른 양이온, 예를 들어 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 원소 양이온이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 MXH_n ;
- [0134] u) M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, m 및 n이 각각 정수이고, 화합물의 수소 함량 H_m 이 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MH_mMCO_3)_n$;
- [0135] v) M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, m 및 n이 각각 정수이고, X가 단일 음전하 음이온이고, 화합물의 수소 함량 H_m 이 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MH_mMNO_3)_n^+ nX^-$;
- [0136] w) M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, n이 정수이고, 화합물의 수소 함량 H가 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MHMNO_3)_n$;
- [0137] x) M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, n이 정수이고, 화합물의 수소 함량 H가 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MHMOH)_n$;
- [0138] y) m 및 n이 각각 정수이고, M 및 M'이 각각 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X가 단일 또는 이중 음전하 음이온이고, 이 화합물의 수소 함량 H_m 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MH_mM'X)_m$ 및
- [0139] z) m 및 n이 각각 정수이고, M 및 M'이 각각 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X 및 X'가 단일 또는 이중 음전하 음이온이고, 화합물의 수소 함량 H_m 은 적어도 하나의 수소 생성물을 포함하는 $(MH_mM'X')_n^+ nX^-$.
- [0140] 이 반응에 의해 형성되는 수소 생성물의 음이온은 할라이드 이온, 수산화물 이온, 탄산 수소 이온, 질산염 이온, 이중 음전하 음이온, 탄산염 이온, 옥사이드 및 황산염 이온을 포함하는 하나 이상의 단일 음전하 음이온을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 이 수소 생성물은 결정 격자(예: 예를 들어 용기나 배기 라인 내에 위치하는 K_2CO_3 와 같은 계터의 사용을 통해)에 매립된다. 예를 들어, 이 수소 생성물은 염 격자에 매립될 수 있다. 다양한 구현에서, 이 염 격자는 알칼리염, 알칼리 할라이드, 수산화 알칼리, 알칼리 토류 염, 알칼리 토류 할라이드, 알칼리 토류 하이드록사이드 또는 이의 조합들을 포함할 수 있다.
- [0141] 전극 시스템은 또 다음을 포함하여 제공된다:
- [0142] a) 제1 전극 및 제2 전극;
- [0143] b) 상기 제1 및 제2 전극과 전기적으로 접촉하는 용융 금속(예: 용융 은, 용융 갈륨 등)의 스트림;
- [0144] c) 저장소로부터 상기 용융 금속을 인출해서 도관(예: 튜브)을 통해 운반하여 상기 도관을 나가는 상기 용융 금속의 스트림을 생산하는 펌프를 포함하는 순환 시스템;
- [0145] d) 상기 제1 및 제2 전극 사이에 전위 차이를 제공하도록 구성된 전력의 소스;

- [0146] 여기서 상기 용융 금속의 스트림이 상기 제1 및 제2 전극과 동시에 접촉하여 상기 전극들 사이에 전류를 생성한다. 일부 실시예에서, 전력은 100 A를 초과하는 전류를 생성하는데 충분하다.
- [0147] 다음을 포함할 수 있는 전기 회로 또한 제공되며:
- [0148] a) 용융 금속의 생산을 위한 가열 수단;
- [0149] b) 저장소로부터 상기 용융 금속을 도관을 통해 운반하여 상기 도관을 나가는 상기 용융 금속의 스트림을 생산하기 위한 펌핑 수단;
- [0150] c) 제1 및 제2 전극으로서, 상기 제1 및 제2 전극에 걸친 전위 차이를 생성하는 전력 공급 수단과 전기적 소통이 되는 제1 및 제2 전극;
- [0151] 여기서 상기 용융 금속의 스트림이 상기 제1 및 제2 전극과 동시에 접촉하여 상기 제1 및 제2 전극 사이에 전기 회로를 생성한다. 예를 들어, 제1 및 제2 전극을 포함하는 전기 회로에서, 그에 따른 향상은 그 사이에 전류의 흐름을 허용하는 상기 전극들에 걸친 용융 금속의 스트림 통과를 포함할 수 있다.
- [0152] 그 밖에 플라스마를 생산하는 시스템들(여기서 기술된 발전 시스템에 사용될 수 있음)이 제공된다. 이 시스템은:
- [0153] a) 금속 저장소로부터 용융 금속의 스트림을 생산하도록 구성된 용융 금속 주입기 시스템;
- [0154] b) 전류가 상기 용융 금속의 스트림을 통해 흐르도록 유도하기 위한 전극 시스템;
- [0155] c) (i) 측정된 부피의 물을 상기 용융 금속과 접촉하도록 구성된 물 주입 시스템에 있어서, 상기 물의 일부분과 상기 용융 금속의 일부분이 반응하여 상기 금속과 수소 기체의 산화물을 형성하는 물 주입 시스템, (ii) 과잉 수소 기체와 산소 기체의 혼합물 및 (iii) 과잉 수소 기체와 수증기의 혼합물 가운데 적어도 하나, 그리고
- [0156] d) 상기 전류를 공급하도록 구성된 전원을 포함할 수 있으며;
- [0157] 여기서 전류가 상기 금속 스트림을 통해 공급될 때 상기 플라스마가 생산된다. 일부 실시예에서, 이 시스템은:
- [0158] 상기 플라스마의 생산 이후 수집된 금속을 상기 금속 저장소로 이전하도록 구성된 펌핑 시스템을 더 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 이 시스템은:
- [0159] 상기 산화 금속을 수집하여 상기 산화 금속을 상기 금속으로 변환시키도록 구성된 금속 재생 시스템을 포함할 수 있으며, 상기 금속 재생 시스템은 애노드, 캐소드, 전해질을 포함하여, 상기 애노드와 캐소드 사이에 전기적 바이어스가 공급되어 상기 산화 금속을 상기 금속으로 변환시킨다. 특정한 구현에서, 이 시스템은:
- [0160] a) 상기 플라스마의 생산 이후 수집된 금속을 상기 금속 저장소로 이전하도록 구성된 펌핑 시스템; 및
- [0161] b) 상기 산화 금속을 수집하여 상기 산화 금속을 상기 금속으로 변환시키도록 구성된 금속 재생 시스템에 있어서; 상기 금속 재생 시스템이 애노드, 캐소드, 전해질을 포함하고, 상기 애노드와 캐소드 사이에 전기적 바이어스가 공급되어 상기 산화 금속이 상기 금속으로 변환되는 금속 재생 시스템을 포함할 수 있으며;
- [0162] 상기 금속 재생 시스템에서 재생된 금속이 상기 펌핑 시스템으로 이전된다. 특정한 구현에서, 그 금속은 갈륨, 은 또는 이들의 조합이다. 일부 실시예에서, 그 전해질은 알칼리 수산화물이다(예: 수산화 나트륨, 수산화 칼륨).

도면의 간단한 설명

- [0163] 본 명세서에 통합되어 본 명세서의 일부를 구성하는 첨부된 도면은 본 개시의 여러 실시예를 예시하고 설명과 함께 본 개시의 원리를 설명하는 역할을 한다. 도면에서:
- 도 1은 본 개시의 실시예에 따른 캐소드, 애노드, 절연체 및 버스 바 피드-스루 플랜지의 자기 유체 역학(MHD) 변환기 구성요소의 개략도이다.
- 도 2 내지 3은 본 개시의 실시예에 따라 경사 저장소 및 한 쌍의 MHD 복귀 EM 펌프를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) 변환기를 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 SunCell® 발전기의 개략도이다.
- 도 4는 본 개시의 실시예에 따른 단일 단계 유도 주입 EM 펌프의 개략도이다.
- 도 5는 본 개시의 실시예에 따라 경사 저장소, 구형 반응 셀 챔버, 직선 자기 유체 역학(MHD) 채널, 가스 추가

하우징, 및 주입을 위한 단일 단계 유도 EM 펌프와 단일 단계 유도 또는 DC 전도 MHD 복귀 EM 펌프를 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) SunCell® 발전기의 개략도이다.

도 6은 본 개시의 실시예에 따라 제 1 단계가 MHD 복귀 EM 펌프의 역할을 하고 제 2 단계가 주입 EM 펌프의 역할을 하는 2단계 유도 EM 펌프의 개략도이다.

도 7은 본 개시의 실시예에 따른 제1단계가 MHD 복귀 EM 펌프의 역할을 하며 제2단계가 주입 EM 펌프의 역할을 하며 그 로렌츠 펌핑 힘이 더욱 최적화된 2단계 유도 EM 펌프의 개략도이다.

도 8은 본 개시의 실시예에 따른 유도 점화 시스템의 개략도이다.

도 9 내지 10은 본 개시의 실시예에 따라 경사 저장소, 구형 반응 셀 챔버, 직선 자기유체 역학(MHD) 채널, 가스 추가 하우징, 강제 공기 냉각 시스템을 각각 갖는 주입 및 MHD 복귀 모두를 위한 2단계 유도 EM 펌프, 및 유도 점화 시스템을 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) SunCell® 발전기의 개략도이다.

도 11은 본 개시의 실시예에 따라 경사 저장소, 구형 반응 셀 챔버, 직선 자기 유체 역학(MHD) 채널, 가스 추가 하우징, 강제 액체 냉각 시스템을 각각 갖는 주입 및 MHD 복귀 모두를 위한 2단계 유도 EM 펌프, 유도 점화 시스템, 및 EM 펌프 튜브, 저장소, 반응 셀 챔버, 및 MHD 복귀 도관에 유도 결합된 가열 안테나를 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) SunCell® 발전기의 개략도이다.

도 12 내지 19은 본 개시의 실시예에 따라 경사 저장소, 구형 반응 셀 챔버, 직선 자기 유체 역학(MHD) 채널, 가스 추가 하우징, 공기 냉각 시스템을 각각 갖는 주입 및 MHD 복귀 모두를 위한 2단계 유도 EM 펌프, 및 유도 점화 시스템을 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) SunCell® 발전기의 개략도이다.

도 20은 본 개시의 실시예에 따라 SunCell®의 예시적 나선형 화염 히터 및 일련의 환상 고리를 포함하는 화염 히터를 도시하는 개략도이다.

도 21은 본 개시의 실시예에 따른 전해조의 개략도이다.

도 22는 본 개시의 실시예에 따른 경사 저장소 그리고 한 쌍의 MHD 복귀 EM 펌프 및 한 쌍의 MHD 복귀 가스 펌프나 압축기를 포함하는 자기 유체 역학(MHD) 변환기를 도시하는 액체 전극으로서 이중 EM 펌프 주입기를 포함하는 SunCell® 발전기의 개략도이다.

도 23은 본 개시의 실시예에 따라 Smithells Metals Reference Book-8th Edition, 11-20에서의 은-산소 상태도의 개략도이다.

도 24는 본 개시의 실시예에 따라 흑체 방열기를 포함하는 반응 셀로부터 열 전력을 수용하고 냉각제에 열을 전달하기 위해 내장형 냉각제 튜브를 구비한 벽을 갖는 반구형 셀-형상 복사 열 흡수기 열 교환기를 포함하는 것과 원주 원통형 열 교환기 및 보일러를 포함하는 것으로 구성된 2개의 SunCell® 열 발전기의 개략도이다.

도 25는 본 개시의 실시예에 따라 주입기 저장소 내의 단일 EM 펌프 주입기 및 역 페테스탈을 액체 전극으로 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 도시하는 개략도이다.

도 26 내지 28은 본 개시의 실시예에 따라 액체 전극으로 주입기 저장소 내의 단일 EM 펌프 주입기 및 부분적인 역 페테스탈 그리고 PV창의 금속화 역제를 위한 테이퍼진 반응 셀 챔버를 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 도시하는 개략도이다.

도 29는 본 개시의 실시예에 따라 주입기 저장소 내 단일 EM 펌프 주입기, 액체 전극으로 부분적인 역 페테스탈, 유도 점화 시스템 및 PV 창을 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 보여주는 개략도이다.

도 30은 본 개시의 실시예에 따라 라이너를 갖춘 입방형 반응 셀 챔버 및 주입기 저장소 내의 단일 EM 펌프 주입기 및 액체 전극으로 역 페테스탈을 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 보여주는 개략도이다.

도 31은 본 개시의 실시예에 따라 모래시계 형상의 반응 셀 챔버 라이너 및 주입기 저장소 내의 단일 EM 펌프 주입기 그리고 액체 전극으로 역 페테스탈을 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 보여주는 개략도이다.

도 32는 본 개시의 실시예에 따라 주입기 저장소 내의 단일 EM 펌프 주입기, 액체 전극으로 부분적인 역 페테스탈, 유도 점화 시스템 그리고 버켓 승강기 산화 갈륨 스키머를 포함하는 SunCell® 열 발전기의 세부사항을 보

여주는 개략도이다.

도 33은 본 개시의 실시예에 따라 반응물 소스 중 적어도 하나로서의 역할을 하기 위해 와이어를 폭발시키는 수단 및 분자 하이드리노와 같은 저에너지 수소 종을 형성하기 위해 하이드리노 반응을 전파하는 수단을 포함하는 하이드리노 반응 셀 챔버의 개략도이다.

도 34는 수용성 KOH에서 섬유의 성장과 표면으로의 부상을 허용하고 이를 여과에 의해 수집한 SunCell®에서 실행된 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 용해하여 형성된 백색의 고분자 화합물을 포함하는 저에너지 수소 종을 포함하는 하이드리노 반응 생성물의 전자 상자성 공명 분광법(EPR) 스펙트럼이다.

도 35a는 본 개시의 실시예에 따라 공기 내 수증기를 포함하는 대기에서 Zn 와이어의 폭발에 의해 형성되는 분자 하이드리노와 같은 저에너지 수소 종을 포함하는 반응 생성물의 푸리에 변환 적외선(FTIR) 스펙트럼이다.

도 35b는 수용성 KOH에서 섬유의 성장과 표면으로의 부상을 허용하고 이를 여과에 의해 수집한 SunCell®에서 실행된 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 용해하여 형성된 백색의 고분자 화합물에서 Thermo Scientific DXR SmartRaman 분광기와 780 nm 레이저를 사용하여 획득한 라만 스펙트럼이다.

도 35c 내지 d는 수용성 KOH에서 섬유의 성장과 표면으로의 부상을 허용하고 이를 여과에 의해 수집한 SunCell®에서 실행된 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 용해하여 형성된 백색의 고분자 화합물에서 Horiba Jobin Yvon LabRam ARAMIS 분광계와 325 nm 레이저를 사용하여 획득한 라만 스펙트럼이다.

도 36은 본 개시의 실시예에 따라 분자 하이드리노의 자성에 기인하는 -4.6 ppm에서 높은장 이동 매트릭스 피크를 보여주는 하이드리노 기체에 노출된 KCl 게터의 외부 TMS에 상대적인 1H MAS NMR 스펙트럼이다.

도 37은 본 개시의 실시예에 따라 공기 내 수증기를 포함하는 대기에서 Mo 와이어의 폭발에 의해 형성된 분자 하이드리노와 같은 저에너지 수소 종을 포함하는 반응 생성물의 진동 샘플 자력계 기록이다.

도 38은 본 개시의 실시예에 따라 1.3 MW의 평균 NIST 보정 광 전력을 나타내는 물 저장소로 적하하기 전에 은 용융물의 가스 처리로부터 흡수된 H_2 및 H_2O 를 포함하는 80 mg의 은 쇼트의 5 nm 내지 450 nm의 점화 영역에서의 절대 스펙트럼이며, 본질적으로 이들 모두는 자외선 및 극 자외선 스펙트럼 영역에 있다.

도 39는 본 개시의 실시예에 따라 대기가 은의 기화에 의해 UV 방사선에 대해 광학적으로 두꺼워졌을 때 5000 K 흑체 방사선으로 전환된 UV 라인 방출을 나타내는 약 1 Torr의 대기 H_2O 증기압을 갖는 대기 아르곤에서 W 전극으로 펌핑된 용융 은의 점화 스펙트럼(사파이어 분광계 윈도우로 인해 180 nm에서 컷오프를 갖는 100 nm 내지 500 nm 영역)이다.

도 40은 본 개시의 실시예에 따라 유지를 위해 약 8.6 GW/m^3 를 요구하는 $3.5 \times 10^{23} / \text{m}^3$ 의 전자 밀도 및 10% 이온화 분획에 상응하는 1.3 nm의 Stark 브로드닝을 도시하는 Pyrex SunCell®에서 하이드리노 반응에 의해 유지되는 800 Torr 아르곤-수소 플라즈마의 고분해능 가시광선 스펙트럼이다.

도 41은 본 개시의 실시예에 따라 $H_2(1/4)$ 의 회전-진동 P 브랜치를 포함하는 아르곤/ $H_2(1/4)$ 가스의 전자빔 여기로부터 얻어진 자외선 방출 스펙트럼이다.

도 42는 본 개시의 실시예에 따라 액체 아르곤 온도까지 냉각시킨 HayeSep® D 크로마토그래피 컬럼을 통해 기체 혼합물을 흐르게 하여 $H_2(1/4)$ 의 회전-진동 P 브랜치에서 그 강도가 크게 강화된, 아르곤/ $H_2(1/4)$ 기체의 전자빔 여기로부터 얻어진 자외선 방출 스펙트럼이다.

도 43은 본 개시의 실시예에 따라 결정 격자에서 $H_2(1/4)$ 회전-진동 P 브랜치를 도시하는 하이드리노 반응 생성물 가스로 포획된 KCl의 전자빔 여기로부터 얻어진 자외선 방출 스펙트럼이다.

도 44는 본 개시의 실시예에 따라, $H_2(1/4)$ 회전-진동 지정을 확인하며 온도에 따라 강도가 변화하는 결정 격자에서 $H_2(1/4)$ 회전-진동 P 브랜치를 도시하는 하이드리노로 포획된 KCl의 전자빔 여기로부터 얻어진 자외선 방출 스펙트럼이다.

도 45는 SunCell®에서 수집된 $Ga_2O_3:H_2(1/4)$ 의 열 분해로부터 얻은 기체에 노출된 KCl 게터의 라만 모드 이차 광발광 스펙트럼으로서, 이 스펙트럼은 Horiba Jobin Yvon LabRam ARAMIS 분광계 및 325 nm 레이저 그리고

8000-19,000 cm^{-1} 라만 시프트에 걸친 1200 격자를 사용하여 기록되었다.

도 46은 $\text{H}_2(1/4)$ (0.2414eV)의 자유 회전자 에너지와 일치하며 1982 cm^{-1} 에서의 역 라만 효과 피크를 도시하는 각각 30 mg 탈이온수와 혼합된 100 mg의 Cu를 포함하는, 아르곤 하에서 일련의 고체 연료 점화로부터 생성물 가스에 노출된 In 금속 포일에서 Thermo Scientific DXR Smart Raman 분광계와 780 nm 레이저를 사용하여 얻은 라만 스펙트럼이다.

도 47a 내지 b는 본 개시의 실시예에 따라 1 mole% H_2O 를 포함하는 80 mg 은 쇼트의 점화 전후에 구리 전극에서, Thermo Scientific DXR Smart Raman 분광계와 780 nm 레이저를 사용하여 얻은 라만 스펙트럼으로 여기서 폭발은 점 용접기로 12 V 35,000 A 전류를 인가하여 성취했으며, 그 스펙트럼은 $\text{H}_2(1/4)$ (0.2414 eV)의 자유 회전자 에너지와 일치하는 약 1940 cm^{-1} 에서 역 라만 효과 피크를 도시했다.

도 48a 내지 b는 본 개시의 실시예에 따라 DSC 팬에 밀봉된 고체 연료 100 mg Cu + 30 mg 탈이온수의 순차적 아르곤 대기 하 점화로부터 얻어진 가스에 노출된 인듐 금속 포일에서 기록된 XPS 스펙트럼이다. (a) 원소 In, C, O 및 미량의 K만의 피크가 존재함을 보여주는 조사 스펙트럼. (b) $\text{H}_2(1/4)$ 로 지정된 498.5 eV의 피크를 보여주는 고분해능 스펙트럼으로 본사 스캔에서 다른 모든 상응하는 1차 원소 피크들의 부재에 근거하여 다른 가능성들은 제거되었다.

도 49a 내지 b는 $\text{H}_2(1/4)$ 로 지정된 496 eV에서 피크를 갖는 Mo 하이드리노 중합체 화합물의 XPS 스펙트럼으로, 여기서 Mo, O 및 C의 피크들만이 존재하고 다른 후보 피크들은 부재하므로 Na, Sn 및 Zn과 같은 다른 가능성은 제거되었다. 본 개시의 실시예에 따라 $\text{H}_2(1/4)$ 496 eV 피크 또한 보여준 추가의 샘플들에서는 Mo3p보다 덜 강한 Mo 3s가 506 eV에 있었다. (a) 조사 스캔. (b) $\text{H}_2(1/4)$ 의 496 eV 피크 영역에서의 고분해능 스캔.

도 50a 내지 b는 본 개시의 실시예에 따라 1 mole % H_2O 를 포함하는 80 mg은 쇼트의 점화 후 구리 전극에서의 XPS 스펙트럼으로, 폭발은 점 용접기로 12 V 35,000 A의 전류를 인가하여 성취했다. 496 eV의 피크는 $\text{H}_2(1/4)$ 에 지정되었으며 Na, Sn 및 Zn와 같은 다른 가능성은 이러한 후보들에 상응하는 피크가 부재하므로 제거되었다. 폭발 후 라만 스펙트럼(도 46a-b)은 $\text{H}_2(1/4)$ (0.2414 eV)의 자유 회전자 에너지와 일치하는 약 1940 cm^{-1} 의 역 라만 효과 피크를 표시했다.

도 51a 내지 e는 본 개시의 실시예에 따라 Agilent 분자 시브 컬럼 및 헬륨 캐리어 가스 그리고 모든 H_2 피크가 포지티브가 되도록 60° C로 설정된 열 전도도 검출기(TCD)를 사용해서 HP 5890 시리즈 II 가스 크로마토그래피로 기록된 대조 기체의 크로마토그램이다. (a) 10분에서 포지티브 피크를 보여주는 1000 Torr 수소의 가스 크로마토그램. (b) 17분에서 작은 포지티브 H_2O 오염 피크 그리고 50.5분에서 포지티브 메탄 피크를 보여주는 1000 Torr 메탄의 가스 크로마토그램. (c) 10분에서 포지티브 수소 피크 그리고 50.2분에서 포지티브 메탄 피크를 보여주는 1000 Torr 수소(90%) 및 메탄(10%) 혼합물의 가스 크로마토그램. (d) 17.1분에서 매우 작은 포지티브 H_2O 피크, 17.6분에서 포지티브 산소 피크 그리고 35.7분에서 포지티브 질소 피크를 보여주는 760 Torr 공기의 가스 크로마토그램. (e) 어떠한 피크도 보여주지 않는 갈륨 금속을 950° C로 가열 시 기체의 가스 크로마토그램.

도 52a 내지 b는 SunCell®에서 실행한 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그램이다. 이 가스 크로마토그램들은 본 개시의 실시예에 따라 Agilent 분자 시브 컬럼 및 헬륨 캐리어 가스 그리고 모든 H_2 피크가 포지티브이도록 60° C로 설정된 열 전도도 검출기(TCD)를 사용하여 HP 5890 시리즈 II 가스 크로마토그래프로서 기체 방출 이후 즉시 기록되었다. (a) SunCell®에서 하이드리노 반응 실행으로부터 수집되고 NaOH-처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그램에서 10분에서 알려진 포지티브 수소 피크 그리고 각각 8.9분 및 9.3분의 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 가진 $\text{H}_2(1/4)$ 에 지정된 9분의 신규한 네거티브 피크를 보여준다. 알려진 어떤 기체도 H_2 나 He보다 빠른 이동 시간과 높은 열 전도도를 갖지 못하며 이는 하이드리노의 특성이며 하이드리노임을 파악하는 것으로, 64배 더 적은 부피와 16배 더 적은 탄도 단면적을 가진 예시적 $\text{H}_2(1/4)$ 에 기인하여 하이드리노가 훨씬 더

큰 평균 자유 경로를 갖기 때문이다. (b) $H_2(1/4)$ 로 지정된 네거티브 피크의 확대도.

도 53은 본 개시의 실시예에 따라 SunCell®에서 실행한 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 기체의 가스 크로마토그래프로서, 도 52 a-b에 나와있는 가스 크로마토그래프의 기록 시간 이후 용기에서 24시간 넘게 둔 다음 기록되었다. 10분에 수소 피크가 다시 관찰되었으나 수소보다 더 짧은 정체 시간을 가진 신규한 네거티브 피크가 부재했으며 이는 심지어 H_2 와 비교해서도 $H_2(1/4)$ 의 더 작은 크기 및 상응하는 높은 확산도와 일치한다. 37분의 포지티브 피크는 미량의 질소 오염에 상응했다.

도 54a 내지 b는 SunCell®에서 실행한 두 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프이다. 이 가스 크로마토그래프들은 본 개시의 실시예에 따라 Agilent 분자 시브 컬럼 및 헬륨 캐리어 가스 그리고 모든 H_2 피크가 포지티브이도록 60° C로 설정된 열 전도도 검출기(TCD)를 사용하여 HP 5890 시리즈 II 가스 크로마토그래프로서 기록되었다. (a) SunCell®에서 하이드리노 반응 실행으로부터 수집되고 NaOH-처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프에서 10분에서 알려진 포지티브 수소 피크, 42.4분에 모르는 포지티브 피크, 51.8분에 포지티브 메탄 피크 그리고 각각 8.66분 및 9.3분의 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 가진 $H_2(1/4)$ 에 지정된 8.76분의 신규한 네거티브 피크를 보여준다. 알려진 어떤 기체도 H_2 나 He보다 빠른 이동 시간과 높은 열 전도도를 갖지 못하며 이는 하이드리노의 특성이며 하이드리노임을 파악하는 것으로, 64배 더 적은 부피와 16배 더 적은 탄도 단면적을 가진 예시적 $H_2(1/4)$ 에 기인하여 하이드리노가 훨씬 더 큰 평균 자유 경로를 갖기 때문이다. (b) $H_2(1/4)$ 로 지정된 네거티브 피크의 확대도.

도 55a 내지 b는 SunCell®에서 실행한 세 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프이다. 이 가스 크로마토그래프들은 본 개시의 실시예에 따라 Agilent 분자 시브 컬럼 및 헬륨 캐리어 가스 그리고 모든 H_2 피크가 포지티브이도록 60° C로 설정된 열 전도도 검출기(TCD)를 사용하여 HP 5890 시리즈 II 가스 크로마토그래프로서 기록되었다. (a) SunCell®에서 하이드리노 반응 실행으로부터 수집되고 NaOH-처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프에서 10분에서 알려진 포지티브 수소 피크 그리고 51.9분의 포지티브 메탄 피크 그리고 각각 8.7분 및 9.3분의 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 가진 $H_2(1/4)$ 에 지정된 8.8분의 신규한 네거티브 피크를 보여준다. 알려진 어떤 기체도 H_2 나 He보다 빠른 이동 시간과 높은 열 전도도를 갖지 못하며 이는 하이드리노의 특성이며 하이드리노임을 파악하는 것으로, 64배 더 적은 부피와 16배 더 적은 탄도 단면적을 가진 예시적 $H_2(1/4)$ 에 기인하여 하이드리노가 훨씬 더 큰 평균 자유 경로를 갖기 때문이다. (b) $H_2(1/4)$ 로 지정된 네거티브 피크의 확대도.

도 56은 본 개시의 실시예에 따라 SunCell®에서 실행한 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 기체의 가스 크로마토그래프로, 도 55A-B에 나와 있는 가스 크로마토그래프의 기록 이후 기록되었으며 수소 및 메탄의 존재가 확인되었다. 메탄의 형성은 이례적인 것이며 미량의 CO_2 나 스테인레스강 반응기로부터의 탄소와 수소와의 반응을 초래하는 고에너지의 하이드리노 플라즈마에 기인했다.

도 57은 본 개시의 실시예에 따라 SunCell®에서 실행한 세 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 950° C로 가열 시 발생한 기체의 가스 크로마토그래프로, 도 55A-B에 나와있는 가스 크로마토그래프의 기록 시간 이후 용기에서 24시간 넘게 둔 다음 기록되었다. 10분의 수소 피크와 53.7분의 메탄 피크가 다시 관찰되었으나, 수소보다 짧은 정체 시간을 갖는 신규한 네거티브 피크가 부재했으며, 이는 심지어 H_2 와 비교해서도 $H_2(1/4)$ 의 더 작은 크기 및 상응하는 높은 확산도와 일치한다.

도 58은 본 개시의 실시예에 따라 SunCell®에서 실행한 네 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 Ga_2O_3 를 NaOH로 처리하여 발생한 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프로, 10분의 알려진 포지티브 수소 피크 그리고 $H_2(1/4)$ 에 지정된 7.4분의 신규한 포지티브 피크를 보여주는데 이는 알려진 어떤 기체도 H_2 나 He보다 빠른 이동 시간을 갖지 못하기 때문이다. $H_2(1/4)$ 피크의 포지티브 특성은 헬륨 캐리어 가스에서 하이드리노 기체의 더 낮은 농도를 가리켰다.

도 59는 SunCell®로부터 흘러서 용매인 액체 아르곤에 흡수된 다음 액체 아르곤의 온도가 27 ° C까지 올라가서 기화되도록 했을 때 방출되는 하이드리노 기체의 가스 크로마토그래프이다. 두 번째 HP 5890 시리즈II 가스 크로마토그래프를 열 전도도 검출기와 아르곤 캐리어 가스와 사용할 때 Agilent 컬럼 상에서, 12.58분에 관찰된 수소와 비교하여 하이드리노 피크는 8.05분에 관찰되었다.

도 60은 액체 아르곤 온도까지 냉각시킨 HayeSep® D 크로마토그래피 컬럼을 사용하여 농축시킨 분자 하이드리노 기체를 극저온 펌프 시스템으로 55 K까지 냉각시킨 밸브식 마이크로챔버를 사용하여 미량의 공기로 액화시킨 다음, 1000 Torr의 챔버 압력을 성취하기 위해 실온으로 올려서 기화시켜, 열 전도도 검출기를 갖춘 HP 5890 Series II 가스 크로마토그래프와 아르곤 가스를 사용하여 Agilent 컬럼 상에 주입하여 얻은 가스 크로마토그래프이다. 산소와 질소가 19 및 35분에 각각 관찰되었고, H₂(1/4)는 6.9분에 관찰되었다.

도 61은 수소 마이크로파 플라즈마로 썩은 텅스텐 필라멘트를 사용하여 KNO₃ 를 가열하고 H₂ 를 분리하여 형성된 하이드리노-반응-플라즈마의 파장 고정된 스펙트럼(3900-4090 Å)이다. 자속은 자속 쿼텀의 정수 단위로 H(1/2)에 연계된다는 요구조건으로 인해, 그 에너지가 양자화되고, H⁻(1/2) 형성에 의한 방출이 상승하는 무결함 대역에서 일련의 초미세 라인들을 포함하며, 여기서 에너지는 플럭손 에너지 E_{Φ} , 스핀-스핀 에너지 E_{ss} 및 관찰된 결합 에너지 피크 E_b^* 의 합인 $E_{HF} = (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 3.0563) \text{ eV}$ 로 주어지며, 여기서 4000 Å ~ 4060 Å의 영역에서 스펙트럼들은 예측된 방출 라인들과 일치했으며 본 개시의 실시예에 따라 질소와 같은 다른 종들은 배제되었다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0164] 여기에는 원자 수소와 관련있는 반응들의 출력 에너지를 전기 및/또는 열 에너지로 변환시키는 발전 시스템들 그리고 발전 방법들이 개시된다. 이 반응들은 전자각이 핵에 대해 더 가까운 위치에 있는 낮은 에너지 상태를 형성하기 위해 원자 수소로부터 에너지를 방출하는 촉매 시스템을 관여시킬 수 있다. 방출된 전력은 발전을 위해 이용되며, 추가로 새로운 수소 종 및 화합물이 원하는 생성물이다. 이들 에너지 상태는 고전 물리학 법칙에 의해 예측되며 대응하는 에너지 방출 전이를 겪도록 촉매가 수소로부터 에너지를 수용할 것을 요구한다.

[0165] 고전 물리학은 수소 원자, 수소화 이온, 수소 분자 이온 및 수소 분자의 폐쇄형 해법을 제공하며 분수의 주요 양자 수를 갖는 해당 종을 예측한다. 원자 수소는 원자 수소의 위치 에너지의 정수배인 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (여기서, m 은 정수)의 에너지를 수용할 수 있는, 자체적으로 포함하는 특정 종과의 촉매 반응을 겪을 수 있다. 예측된 반응은 그렇지 않으면 안정한 원자 수소로부터 에너지를 수용할 수 있는 촉매로의 공명, 비-방사 에너지 전달을 포함한다. 그 곱은 "하이드리노(Hydrino) 원자"라고 불리는 원자 수소의 분수 리드베르크(Rydberg) 상태인 H(1/p)이며, 여기서 $n = 1/2, 1/3, 1/4, \dots, 1/p$ ($p \leq 137$ 은 정수)은 수소 여기 상태에 대한 리드베르크 방정식에서 주어진 매개 변수(n 정수)를 대체한다. 각각의 하이드리노 상태는 또한 전자, 양성자 및 광자를 포함하지만, 광자로부터의 필드 기여는 흡수보다는 에너지 이탈에 대응하여 결합 에너지를 감소보다는 증가시킨다. 원자 수소의 위치 에너지가 27.2 eV이기 때문에, m H원자는 다른 $(m + 1)$ 차 H 원자의 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 촉매로서의 역할을 한다[R. Mills, *The Grand Unified Theory of Classical Physics*; September 2016 Edition, 게시된 웹사이트, <https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/> ("Mills GUTCP")]. 예를 들어, H 원자는 자기 또는 유도 전기 쌍극자-쌍극자 결합과 같은 공간-통과 에너지 전달을 통해 그로부터 27.2 eV를 받

아서 다른 H의 촉매로서 작용하여 단파장 컷오프 및 $m^2 \cdot 13.6 \text{ eV} \left(\frac{91.2}{m^2} \text{ nm} \right)$ 의 에너지를 갖는 연속체 대역의 방출로 분해되는 중간체를 형성할 수 있다. 원자 H 이외에 동일한 에너지에 의해 분자의 위치 에너지의 크기가 감소하면서 원자 H로부터 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 를 수용하는 분자는 또한 촉매로서의 역할을 할 수 있다. H₂O의 위치 에너지는 81.6 eV이다. 그런 다음, 동일한 메커니즘에 의해, 열역학적으로 유리한 금속 산화물의 환원에 의해 형성된 신생 H₂O 분자(고체, 액체 또는 기체 상태로 결합된 수소가 아닌)는 HOH 로의 81.6 eV 전달 및 10.1 nm(122.4 eV)에서의 컷오프(cutoff)를 갖는 연속체 방사의 방출을 포함하는, 204 eV의 에너지 방출로 H(1/4)를 형성하는 촉매로 작용하는 것으로 예측된다.

[0166] $H \left[\frac{a_H}{p=m+1} \right]$ 상태로의 전이를 포함하는 H 원자 촉매 반응에서, mH 원자는 다른 $(m+1)$ 차 H 원자의 $m \cdot 27.2$ eV 촉매로서의 역할을 한다. 그러면, m 원자가 $(m+1)$ 차 수소 원자로부터 공진적으로 그리고 비방사적으로 $m \cdot 27.2$ eV를 수용하여 mH 원자가 촉매로서의 역할을 하는 $m+1$ 수소 원자들 사이의 반응은 다음 식으로 주어진다:

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

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

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

[0170] 그리고, 전체 반응은 다음과 같다:

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

[0172] 신생 H_2O 의 위치 에너지에 관한 촉매 반응 ($m=3$)은 다음과 같다[R. Mills, *The Grand Unified Theory of Classical Physics*; September 2016 Edition, 게시된 웹사이트, <https://brilliantlightpower.com/book-download-and-streaming/>]:

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

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

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

[0176] 그리고, 전체 반응은 다음과 같다:

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

[0178] 촉매로의 에너지 전달 후에(식 (1) 및 (5)), H 원자 반경과 양성자 중심 필드의 $m+1$ 배의 중심 필드를 갖는

중간체 $H * \left[\frac{a_H}{m+1} \right]$ 가 형성된다. 반경은 전자가 $m^2 \cdot 13.6$ eV의 에너지를 방출하면서 비촉매 수소 원자의 $1/(m$

$+1)$ 의 반경을 갖는 안정한 상태로 반경 방향 가속을 겪을 때 감소할 것으로 예측된다.

(예를 들어, 식(2) 및 식(6))로 인한 극-자외선 연속체 방사 대역은 다음 식:

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

[0180] 에 의해 주어지는 단파장 컷오프와 에너지 $E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1} \right] \right)}$ 를 갖고 대응하는 컷오프보다 더 긴 파장으로 확장될

것으로 예측된다. 여기서, $H^*[a_H/4]$ 중간체의 분해로 인한 극-자외선 연속체 방사 대역은 $E = m^2 \cdot 13.6 = 9 \cdot 13.6 = 122.4 \text{ eV}$ (10.1 nm) [여기서 $p = m + 1 = 4$ 및 $m = 3$ 이다(식 (9))]에서 단파장 컷오프를 갖고 더 긴 파장으로 확장될 것으로 예측된다. 이론적으로 예측된 H의 낮은 에너지로의 전이, 소위 "하이드리노(hydrino)" 상태 $H(1/4)$ 에 대한 더 큰 파장으로 가는 10.1 nm에서 연속체 방사 대역은 약간의 수소를 포함하는 펄스형 편지 가스 배출에서만 발생하는 것으로 관찰되었다. 식 (1)과 (5)에 의해 예측된 다른 관찰은 빠른 H^+ 의 재결합으로부터 빠른 여기 상태의 H 원자의 형성이다. 빠른 원자는 발머(Balmer) α 방출의 확대를 야기한다. 특정 혼합 수소 플라즈마에서 이례적으로 높은 운동 에너지 수소 원자의 집단을 나타내는 50 eV 초과 발머 α 선 확대는 원인이 하이드리노의 형성에서 방출된 에너지로 인한 확립된 현상이다. 빠른 H는 연속체 방출 수소 편지 플라즈마에서 이전에 관찰되었다.

[0181] 하이드리노를 형성하기 위한 추가 촉매 및 반응이 가능하다. 특정 종들(예를 들어, He^+ , Ar^+ , Sr^+ , K , Li , HCl , 및 NaH , OH , SH , SeH , 신생 H_2O , $nH(n=\text{정수})$)은 프로세스를 촉진하기 위해서 원자 수소와 함께 존재할 것이 요구된다. 그 반응은 비-방사 에너지 전달을 수반하는데, 여기에는 이례적으로 고온인 여기된 상태의 H, 및 분수의 주 양자수에 대응하는 반응하지 않은 원자 수소보다 에너지가 낮은 수소 원자를 형성하기 위해서, H로의 $q \cdot 13.6 \text{ eV}$ 연속체 방사 또는 $q \cdot 13.6 \text{ eV}$ 전이가 이어진다. 즉, 수소 원자의 주요 에너지 준위에 대한 식에 있어서:

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

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

[0184] 여기서 a_H 는 수소 원자(52.947 pm)에 대한 보어 반지름이고, e 는 전자의 전하의 크기이고, ϵ_0 는 진공 유전율이며, 분수의 양자수들은:

$$n = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots, \frac{1}{p}; \quad (\text{여기에서 } p \leq 137 \text{은 정수}) \quad (12)$$

[0186] 여기된 상태의 수소에 대해 리드베르크 방정식에서 주지된 매개변수(n 정수)를 대체하고, 소위 "하이드리노(hydrino)"로 불리는 저에너지 상태 수소 원자를 나타낸다. $n = 1$ 수소 상태와 $n = 1/\text{정수}$ 수소 상태는 비-방사이지만, 두 비-방사 상태 사이의 전이, 즉 $n = 1$ 내지 $n = 1/2$ 는 비-방사 에너지 전달을 통해서 가능하다. 수소는 식(10) 및 (12)에 의해서 주어진 안정한 상태의 특별한 경우이고, 여기에서 수소 또는 하이드리노 원자의 대응하는 반경은

$$r = \frac{a_H}{p}, \quad (13)$$

[0188] 에 의해서 주어지고, 여기에서 $p = 1, 2, 3, \dots$ 이다. 에너지를 보존하기 위해서, 정상 $n = 1$ 상태에서 수소 원

자의 위치 에너지의 정수 단위로 수소 원자에서 촉매로 에너지가 전달되어야 하고, 반경은 $\frac{a_H}{m+p}$ 로 전이한다. 하이드리노는 통상의 수소 원자를

$$m \cdot 27.2 \text{ eV} \quad (\text{여기서, } m \text{은 정수}) \quad (14)$$

[0190] 의 순 반응 엔탈피를 갖는 적합한 촉매와 반응시킴으로써 형성된다. 순 반응 엔탈피가 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 에 더 근접하게 일치함에 따라 촉매 작용 속도가 증가한다고 여겨진다. $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 의 $\pm 10\%$, 바람직하게 $\pm 5\%$ 의 순 반응 엔탈피를 갖는 촉매가 대부분의 용례에 적합하다는 것이 밝혀졌다.

[0191] 촉매 반응은 2 단계의 에너지 방출을 포함한다. 즉, 반경이 대응하는 안정한 최종 상태로 감소함에 따라 촉매에 비-방사 에너지 전달에 이어서 추가 에너지 방출된다. 그러므로, 일반적인 반응은,

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

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

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

에 의해서 주어지고, 전체 반응은,

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

이고, q , r , m 및 p 는 정수이다. $H * \left[\frac{a_H}{(m+p)} \right]$ 는 수소 원자(분모에서 1에 대응함)의 반경 및 양성자의 중심

필드의 $(m+p)$ 배와 동등한 중심 필드를 가지며, $H \left[\frac{a_H}{(m+p)} \right]$ 은 H 의 반경의 $\frac{1}{(m+p)}$ 반경을 갖는 대응하는 안정한 상태이다.

촉매 생성물, $H(1/p)$ 는 하이드리노 수소화 이온 $\bar{H}(1/P)$ 를 형성하도록 전자와 또한 반응할 수 있거나, 2개의 $H(1/p)$ 가 대응하는 분자 하이드리노 $H_2(1/p)$ 를 형성하도록 반응할 수 있다. 특히, 촉매 생성물, $H(1/P)$ 는 결합 에너지 E_B :

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

를 갖는 신규한 수소화 이온 $\bar{H}(1/P)$ 를 형성하도록 전자와 또한 반응할 수 있으며, 여기서 $p = \text{정수} > 1$, $s =$

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

$1/2$, $\hbar$ 는 플랑크 상수 바이고, μ_e 는 진공의 투자율, m_e 는 전자의 질량, μ_p 는 (여기서, m_p 는 양

성자의 질량)에 의해 주어진 감소된 전자 질량이고, a_0 는 보어 반경이며, 이온 반경은 $r_1 = \frac{a_0}{p} \left(1 + \sqrt{s(s+1)} \right)$.

식(19)로부터, 수소화 이온의 계산된 이온화 에너지는 0.75418 eV 이고, 실험적인 값은 $6082.99 \pm 0.15 \text{ cm}^{-1}$ (0.75418 eV)이다. 하이드리노 수소화 이온들의 결합에너지는 X-선 광전자 분광법(XPS)에 의해서 측정될 것이다.

높은장 이동(Upfield-shifted) NMR 피크들은 보통의 수소화 이온에 비해 감소된 반경을 가지며 양성자의 반자성 차폐에서의 증가를 나타내는 저에너지 상태 수소의 존재의 직접적인 증거이다. 그 이동은 크기 p 의 광자 필드와 2개 전극의 반자성의 기여들의 합에 의해서 다음과 같이 주어진다(Mills GUTCP Eq. (7.87)):

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

[0203] 여기서, 첫 번째 항목은 $\bar{H}$ 에 대해 $p = 1$ 및 $\bar{H}(1/p)$ 에 대해 $p =$ 정수 >1 로 적용하고, a 는 미세 구조 상수이다. 예측된 하이드리노 수소화 피크는 보통의 수소화 이온에 비해서 이론적으로 높은장 이동을 나타낸다. 실시예에 있어서, 피크는 TMS의 높은장에 있다. TMS에 대한 NMR 이동은 단독 또는 화합물을 포함하는 보통의 $\bar{H}$, H , H_2 또는 H^+ 중 적어도 하나에 대해 알려진 것보다 클 수 있다. 그 이동은 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, 및 -40 ppm 중 적어도 하나보다 더 클 수 있다. 기본 양성자에 비해 절대적인 이동의 범위는 여기서 TMS의 이동이 기본 양성자에 비해 약 -31.5이고, ± 5 ppm, ± 10 ppm, ± 20 ppm, ± 30 ppm, ± 40 ppm, ± 50 ppm, ± 60 ppm, ± 70 ppm, ± 80 ppm, ± 90 ppm, 및 ± 100 ppm 중 적어도 하나의 범위 내에서 $-(p29.9 + p^2 2.74)$ ppm (식 (20))일 수 있다. 기본 양성자 대비 절대적 이동의 범위는 약 0.1% 내지 99%, 1% 내지 50%, 및 1% 내지 10% 중 대략 적어도 하나의 범위 내에서 $-(p29.9 + p^2 1.59 \times 10^{-3})$ ppm(식 (20))일 수 있다. 다른 실시예에서, NaOH나 KOH와 같은 수산화물의 매트릭스와 같은 고체 매트릭스에 있는 하이드리노 원자, 수소화 이온, 또는 분자와 같은 하이드리노 종들의 존재는 매트릭스 양성자가 높은장 이동하는 결과를 초래하게 된다. NaOH나 KOH의 것과 같은 매트릭스 양성자들은 교환될 것이다. 실시예에서, 그 이동은 매트릭스 피크가 TMS 대비 약 -0.1 ppm 내지 -5 ppm의 범위에 있게 할 수 있다. NMR 결정은 매직 각도 방사 1H 핵 자기 공명 분광법(MAS 1H NMR)을 포함할 수 있다.

[0204] $H(1/p)$ 은 양성자와 반응할 수 있으며, 2개의 $H(1/p)$ 은 각각 $H_2(1/p)^+$ 및 $H_2(1/p)$ 를 형성하도록 반응할 수 있다. 수소 분자 이온 및 분자 전하 및 전류 밀도 함수, 결합거리, 및 에너지는 비방사선의 제약조건하에서 타원형 좌표에서 라플라시안(Laplacian)으로부터 해결되었다.

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

[0206] 장축 타원체 분자궤도 함수의 각 포커스에서 tp 의 중앙 필드를 갖는 수소 분자 이온의 전체 에너지 E_T 는,

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} \frac{1}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}} \frac{1}{\mu} \right\} \\ = -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV} \quad (22)$$

[0208] 이고, 여기서 p 는 정수, c 는 진공에서 빛의 속도, 및 μ 는 감소된 핵질량이다. 장축 타원체 분자궤도 함수의 각 포커스에서 tp 의 중앙 필드를 갖는 수소분자의 전체 에너지는,

$$E_r = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] + p \sqrt{\frac{e^2}{m_e c^2} \frac{4\pi\epsilon_0 a_0^3}{m_e}} \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \frac{\hbar}{\mu} \left[\frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \frac{a_0}{p}} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) a_0 \right)} \right] \right\} \\ = -p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV} \quad (23)$$

이다.

수소분자 $H_2(1/p)$ 의 결합 해리 에너지, E_b 는 대응하는 수소 원자의 전체 에너지와 E_r 사이의 차이이다:

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

여기서,

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

E_D 는 식 (23-25) 따라 주어진다:

$$E_D = -p^2 27.20 \text{ eV} - E_r \\ = -p^2 27.20 \text{ eV} - (-p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV}) \\ = p^2 4.151 \text{ eV} + p^3 0.326469 \text{ eV} \quad (26)$$

$H_2(1/p)$ 은 X-선 광전자 분광법(XPS)에 의해서 확인될 수 있으며, 이때 이온화된 전자에 추가하여 이온화 생성물은 2개의 양성자 및 전자, 수소(H) 원자, 하이드리노 원자, 분자 이온, 수소분자 이온 및 $H_2(1/p)^+$ 을 포함하는 것과 같이 가능한 것들 중 적어도 하나일 수 있으며, 에너지는 매트릭스에 의해서 이동될 수 있다.

축매반응-생성물 가스의 NMR은 $H_2(1/p)$ 의 이론적으로 예측된 화학적 이동의 확정적인 테스트를 제공한다. 일반적으로, $H_2(1/p)$ 의 1H NMR 공명은 타원좌표에서 분수 반경으로 인해 H_2 의 것으로부터 높은장 이동될 것으로 예측

된다. $H_2(1/p)$ 에 대해 예측된 이동, $\frac{\Delta B_T}{B}$ 은 2개 전자의 반자성 및 크기 p의 양성자 필드의 기여의 합에 의해서 주어진다(Mills GUTCP 방정식들(11.415-11.416)):

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -\mu_0 \left(4 - \sqrt{2} \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} \right) \frac{pe^2}{36a_0 m_e} (1 + p\alpha^2) \quad (27)$$

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

여기에서, 첫 번째 항목은 H_2 에 대해 $p = 1$ 및 $H_2(1/p)$ 에 대해 $p = \text{정수} > 1$ 로 적용한다. -28.0 ppm의 실험적인 절대 H_2 가스상 공명 이동은 -28.01 ppm의 예측된 절대 가스상 이동(식 (28))과 우수하게 부합한다. 예측된 분자 하이드리노 피크는 보통의 H_2 에 비해서 이론적으로 높은장 이동을 나타낸다. 실시예에 있어서, 피크는 TMS의

높은장에 있다. TMS에 대한 NMR 이동은 단독 또는 화합물을 포함하는 보통의 H^- , H, H_2 또는 H^+ 중 적어도 하나에 대해 알려진 것보다 더 클 수 있다. 그 이동은 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, 및 -40 ppm 중 적어도 하나보다 더 클 수 있다. 기본 양성자에 비해 절대적인 이동의 범위는, 여기서 TMS의 이동이 기본 양성자에 비해 약 -31.5이고, ± 5 ppm, ± 10 ppm, ± 20 ppm, ± 30 ppm, ± 40 ppm, ± 50 ppm, ± 60 ppm, ± 70 ppm, ± 80 ppm, ± 90 ppm, 및 ± 100 ppm 중 적어도 하나의 범위 내에서 $-(p28.01 + p^2 2.56)\text{ppm}$ (식 (28))일 수 있다. 기본 양성자 대비 절대적 이동의 범위는 약 0.1% 내지 99%, 1% 내지 50%, 및 1% 내지 10% 중 대략 적어도 하나의 범위 내에서 $-(p28.01 + p^2 1.49 \times 10^{-3})\text{ppm}$ (식 (28))일 수 있다.

[0222] 수소타입 분자 $H_2(1/p)$ 의 $\tilde{O}=0$ 내지 $\tilde{O}=1$ 전이에 대한 진동 에너지, E_{vib} 는,

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

[0224] 여기서, p 는 정수이다.

[0225] 수소타입 분자 $H_2(1/p)$ 의 J 내지 J+1에 대한 회전에너지, E_{rot} 는,

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

[0227] 이며, 여기서, p 는 정수이고 I 는 관성 모멘트이다. $H_2(1/4)$ 의 회전-진동 방출은 가스에 존재하고 고체 매트릭스에 포획된 e-빔 여기 분자에서 관찰되었다.

[0228] 회전에너지의 p^2 의존도는 핵간 거리와 관성모멘트 I 에 대한 대응 충격에 의존하여 p 에 반비례하여 얻어진다. $H_2(1/p)$ 에 대해 예측된 핵간 거리 $2c'$ 는:

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

[0230] $H_2(1/p)$ 의 회전에너지와 진동에너지 중 적어도 하나는 전자-빔 여기 방출 분광법, 라만 분광법, 및 푸리에 변환 적외선(FTIR) 분광법 중 적어도 하나에 의해서 측정될 수 있다. $H_2(1/p)$ 는 MOH, MX 및 M_2CO_3 (M = 알칼리; X = 할로겐화물) 매트릭스 중 적어도 하나에서와 같이 측정을 위해 매트릭스에 포획될 것이다.

[0231] 실시예에서, 분자 하이드리노 생성물은 약 1950 cm^{-1} 에서 역 라만 효과(IRE) 피크로서 관찰된다. 이 피크는 IRE 피크를 나타내기 위해 표면 강화 라만 산란(SERS)을 지원하는 라만 레이저 파장에 필적하는 거칠기 피치 또는 입자 크기를 포함하는 전도성 재료를 사용함으로써 향상된다.

[0232] I. 촉매

[0233] 본 개시에서, 하이드리노 반응, H 촉매작용, H 촉매 반응, 수소를 지칭할 때의 촉매 작용, 하이드리노를 형성하기 위한 수소의 반응 및 하이드리노 형성 반응과 같은 용어는 모두 식(10) 및 (12)에 의해 주어지는 에너지 준위를 갖는 수소의 상태를 형성하기 위해 원자 H와 식(14)에 의해 형성되는 촉매의 식(15 내지 18)과 같은 반응을 지칭한다. 하이드리노 반응물, 하이드리노 반응 혼합물, 촉매 혼합물, 하이드리노 형성을 위한 반응물, 저에너지 상태 수소 또는 하이드리노를 생성 또는 형성하는 반응물과 같은 대응하는 용어는 또한 식(10) 및 (12)에 의해 주어지는 에너지 준위를 갖는 H 대 H 상태 또는 하이드리노 상태의 촉매 작용을 수행하는 반응 혼합물을 지칭할 때 서로 교환적으로 사용된다.

[0234] 본 개시의 촉매 저에너지 수소 전이는 비촉매 원자 수소의 위치 에너지, 27.2 eV , 의 정수 m 의 흡열 화학 반응의 형태일 수 있는 촉매를 요구하며, 이는 전이를 유발하기 위해 원자 H로부터의 에너지를 수용한다. 흡열 촉매 반응은 원자 또는 이온과 같은 종으로부터의 적어도 하나의 전자의 이온화(예를 들어, $Li \rightarrow Li^{2+}$ 에 대해 $m =$

3)일 수 있고, 초기 결합의 파트너의 하나 이상으로부터 적어도 하나의 전자의 이온화(예를 들어, $NaH \rightarrow Na2^+ + H$ 에 대해 $m = 2$)에 대한 결합 절단의 동시 반응을 더 포함할 수 있다. He^+ 는 촉매 기준, 즉 $2 \cdot 27.2$ eV인 54.417 eV에서 이온화하기 때문에, 27.2 eV의 정수 배와 같은 엔탈피 변화를 갖는 화학적 또는 물리적 프로세스를 만족한다. 정수의 수소 원자는 또한 27.2 eV 엔탈피의 정수배의 촉매로서의 작용할 수 있다. 촉매는 약 27.2 eV $\pm$ 0.5 eV 및 27.2/2 eV $\pm$ 0.5 eV 중 하나의 정수 단위로 원자 수소로부터 에너지를 수용할 수 있다.

[0235] 실시예에서, 촉매는 원자 또는 이온 M을 포함하며, 원자 또는 이온 M 각각으로부터 연속적인 에너지 준위로 t 전자의 이온화는 t 전자의 이온화 에너지의 합이 $m \cdot 27.2$ eV 및 $m \cdot \frac{27.2}{2} eV$ 중 대략 하나가 되게 하고, 여기서 m 은 정수이다.

[0236] 실시예에서, 촉매는 이원자 분자 MH를 포함하며, M-H 결합의 분해에 원자 M 각각으로부터 연속적인 에너지 준위로 t 전자의 이온화를 더한 값은 t 전자의 결합 에너지와 이온화 에너지의 합이 $m \cdot 27.2$ eV 및 $m \cdot \frac{27.2}{2} eV$ 중 대략 하나가 되게 하고, 여기서 m 은 정수이다.

[0237] 실시예에서, 촉매는 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 , 및 NO_3 의 분자로부터, 그리고 Li, Be, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Kr, Rb, Sr, Nb, Mo, Pd, Sn, Te, Cs, Ce, Pr, Sm, Gd, Dy, Pb, Pt, Kr, $2K^+$, He^+ , Ti^{2+} , Na^+ , Rb^+ , Sr^+ , Fe^{3+} , Mo^{2+} , Mo^{4+} , In^{3+} , He^+ , Ar^+ , Xe^+ , Ar^{2+} , 및 H^+ , 그리고 Ne^+ 및 H^+ 의 원자 또는 이온으로부터 선택되는 원자, 이온, 및/또는 분자를 포함한다.

[0238] 다른 실시예에서, 전자를 수용체 A에 전달함으로써 제공되는 하이드리노를 생성하는 MH^- 형 수소 촉매, M-H 결합의 분해에 원자 M으로부터 각각의 연속 에너지 준위로의 t 전자의 이온화를 더한 값은 MH와 A의 전자 친화도(EA), M-H 결합 에너지 및 M으로부터의 t 전자의 이온화 에너지의 차이를 포함하는 전자 전달 에너지의 합이 대략 $m \cdot 27.2$ eV가 되게 하며, 여기서 m 은 정수이다. 대략 $m \cdot 27.2$ eV의 순 반응 엔탈피를 제공할 수 있는 MH^- 형 수소 촉매는 OH^- , SiH^- , CoH^- , NiH^- 및 SeH^- 이다.

[0239] 다른 실시예에서, 하이드리노를 생성하기 위한 MH^+ 형 수소 촉매는 음으로 대전될 수 있는 도너 A로부터 전자의 전달, M-H 결합의 분해 및 원자 M으로부터 각각의 전자의 연속 에너지 준위로의 이온화에 의해 제공되어, MH와 A의 이온화 에너지의 차이, 결합 M-H 에너지, 및 M으로부터의 t 전자의 이온화 에너지의 차이를 포함하는 전자 전달 에너지의 합이 대략 $m \cdot 27.2$ eV가 되며, 여기서 m 은 정수이다.

[0240] 실시예에서, 분자 또는 양이나 음으로 대전된 분자 이온 중 적어도 하나는 분자 또는 양이나 음으로 대전된 분자 이온의 위치 에너지의 크기의 감소와 함께 원자 H로부터 약 $m \cdot 27.2$ eV를 수용하는 촉매로서의 역할을 한다. 예시적인 촉매는 H_2O , OH, 아마이드 그룹 NH_2 및 H_2S 이다.

[0241] O_2 는 촉매 또는 촉매의 소스로서의 역할을 할 수 있다. 산소 분자의 결합 에너지는 5.165 eV이고, 산소 원자의 제 1, 제 2 및 제 3 이온화 에너지는 각각, 13.61806 eV, 35.11730 eV, 및 54.9355 eV이다. 반응들인 $O_2 \rightarrow O + O^{2+}$, $O_2 \rightarrow O + O^{3+}$, 및 $2O \rightarrow 2O^+$ 는 각각 약 2, 4, 및 1 배의 순 엔탈피 E_0 를 제공하며, 하이드리노의 형성을 위해 H로부터 이들 에너지를 수용하여 하이드리노를 형성하는 촉매 반응을 포함한다.

[0242] II. 하이드리노

[0243] $E_B = \frac{13.6 eV}{(1/p)^2}$ (여기서, p 는 1보다 큰 정수, 바람직하게 2 내지 137)에 의해 주어지는 결합 에너지를 갖는 수소 원자는 본 개시의 H 촉매 반응의 생성물이다. 이온화 에너지로도 알려진, 원자, 이온 또는 분자의 결합 에너지는 원자, 이온 또는 분자에서 하나의 전자를 제거하는데 요구되는 에너지이다. 식(10) 및 식(12)에서 주어진 결합 에너지를 갖는 수소 원자는 이후, "하이드리노 원자(hydrino atom)" 또는 "하이드리노(hydrino)"로서 지칭

된다. 반경 $\frac{a_H}{p}$ (여기서, a_H 는 일반 수소 원자의 반경이고 p 는 정수)의 하이드리노에 대한 지정은 $H\left[\frac{a_H}{p}\right]$ 이다. 반경 a_H 을 갖는 수소 원자는 이후, "일반 수소 원자" 또는 "정상 수소 원자"로서 지칭된다. 일반 원자 수소는 결합 에너지가 13.6 eV인 것을 특징으로 한다.

[0244] 본 개시에 따르면, 식(19)에 따른 결합 에너지를 갖는 하이드리노 수소화 이온 (H^-)는 $p = 2$ 내지 23에 대한 일반 수소화 이온의 결합 에너지(약 0.75 eV)보다 크며 $p = 24(H^-)$ 에 대해서는 그보다 작다. 식(19)의 $p = 2$ 내지 $p = 24$ 에 대하여, 수소화 이온 결합 에너지는 각각 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 및 0.69 eV이다. 신규한 수소화 이온을 포함하는 예시적인 조성물이 또한 여기에 제공된다.

[0245] 적어도 하나의 하이드리노 수소화 이온 및 적어도 하나의 다른 원소를 포함하는 예시적인 화합물이 또한 제공된다. 그러한 화합물을 "하이드리노 수소화 화합물"로서 지칭된다.

[0246] 보통 수소 종은 다음 결합 에너지 (a) 수소화 이온, 0.754 eV("일반 수소화 이온"); (b) 수소 원자("일반 수소 원자"), 13.6 eV; (c) 이원자 수소 분자, 15.3 eV ("일반 수소 분자"); (d) 수소 분자 이온, 16.3 eV("일반 수소 분자 이온"); 및 (e) H_3^+ , 22.6 eV ("일반 삼중수소 분자 이온")를 특징으로 한다. 여기서, 수소의 형태와 관련하여, "정상" 및 "일반"은 동의어이다.

[0247] 본 개시의 추가 실시예에 따르면, (a) 약 0.9 내지 1.1 배 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ (여기서, p 는 2 내지 137인 정수)의 범위 내에

서와 같은 약 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 의 결합 에너지를 갖는 수소 원자; (b) 약 0.9 내지 1.1 배

$$\text{Binding Energy} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right), \quad (\text{여기서, } p \text{는 } 2 \text{ 내지 } 24 \text{인 정수})$$

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

결합 에너지를 갖는 수소화 이온(H^-); (c) $H_2^+(1/p)$; (d) 약 0.9 내지 1.1 배 $\frac{22.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ (여기서, p 는 2 내지 137인

정수)의 범위 내에서와 같은 약 $\frac{22.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 의 결합 에너지를 갖는 삼중하이드리노 분자 이온, $H_3^+(1/p)$; (e) 약 0.9

내지 1.1배 $\frac{15.3 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ (여기서, p 는 2 내지 137인 정수)의 범위 내에서와 같은 약 $\frac{15.3 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 의 결합 에너지를 갖는 이중

하이드리노; (f) 약 0.9 배 내지 1.1 배 $\frac{16.3 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ (여기서, p 는 정수, 바람직하게 2 내지 137의 정수)의 범위 내에

서와 같은 약 $\frac{16.3 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 의 결합 에너지를 갖는 이중하이드리노 분자 이온과 같은 적어도 하나의 증가된 결합 에너지 수소 종을 포함하는 화합물이 제공된다.

[0248] 본 개시의 추가 실시예에 따르면, (a) 약 0.9 내지 1.1 배

$$E_r = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 (2a_H)^3} \frac{m_e}{m_e c^2}} \right] - \frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p} \right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p} \right)^3} \right\} - \frac{1}{2} \hbar \mu$$

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

[0249] (여기서, p 는 정수, $\hbar$ 는 플랑크 상수 바, m_e 는 전자의 질량, c 는 진공에서 빛 속도, μ 은 감소된 핵 질량)의 범위 내에서와 같은 약

$$E_r = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 (2a_H)^3} \frac{m_e}{m_e c^2}} \right] - \frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p} \right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p} \right)^3} \right\} - \frac{1}{2} \hbar \mu$$

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

[0250] 의 전체 에너지를 갖는 이중하이드리노 분자 이온; 및 (b) 약 0.9 내

$$E_r = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] \left[1 + p \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 (a_0)^3} \frac{m_e}{m_e c^2}} \right] - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{a_0}{p} \right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) a_0 \right)^3} \right\} - \frac{1}{2} \hbar \mu$$

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

지 1.1 배

[0251] (여기서, p 는 정수이고, a_0 는 보어 반경)의 범위 내에서와 같은 약

$$E_r = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] \left[1 + p \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 (a_0)^3} \frac{m_e}{m_e c^2}} \right] - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{a_0}{p} \right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) a_0 \right)^3} \right\} - \frac{1}{2} \hbar \mu$$

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

의 전체 에너지를 갖는 이중하이드리노 분자와 같은 적어도 하나의 증가된 결합 에너지 수소 종을 포함하는 화합물이 제공된다.

[0252] 화합물이 음으로 대전된 증가된 결합 에너지 수소 종을 포함하는 본 개시의 일 실시예에 따라서, 화합물은 적어도 하나의 양이온, 예컨대 양성자, 일반 H_2^+ 또는 일반 H_3^+ 를 더 포함한다.

[0253] 적어도 하나의 하이드리노 수소화 이온을 포함하는 화합물을 제조하는 방법이 여기서 제공된다. 그러한 화합물은 이후, "하이드리노 수소화 화합물"로서 지칭된다. 본 개시의 방법은 원자 수소를 약 $\frac{m}{2} \cdot 27 \text{ eV}$ (여기서, m 은 1

보다 큰 정수, 바람직하게 400 미만의 정수)의 순 반응 엔탈피를 갖는 촉매와 반응시켜, 약 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p} \right)^2}$ (여기서, p 는 정수이고, 바람직하게는 2 내지 137의 정수)의 결합 에너지를 갖는 증가된 결합 에너지 수소 원자를 제조하는 단계를 포함한다. 촉매의 추가 생성물은 에너지이다. 증가된 결합 에너지 수소 원자는 증가된 결합 에너지 수소화 이온을 생성하기 위해 전자 소스와 반응할 수 있다. 증가된 결합 에너지 수소화 이온은 적어도 하나의 양이온과 반응하여 적어도 하나의 증가된 결합 에너지 수소화 이온을 포함하는 화합물을 생성할 수 있다.

[0254] 실시예에서, 매우 높은 전력 및 에너지 중 적어도 하나는 원용에 의해 포함되는 Mills GUT Chp. 5에서 주어지는

것과 같은 불균화반응으로서 본 개시에서 지칭되는 프로세스에서 식 (18)의 높은 p 값을 갖는 하이드리노로의 전이를 겪는 수소에 의해 달성될 수 있다. 수소 원자 $[H(1/p)] (p = 1, 2, 3, \dots, 137)]$ 는 식 (10) 및 (12)에 의해 주어진 저-에너지 상태로의 추가 전이를 겪을 수 있으며, 하나의 원자의 전이는 그의 위치 에너지에서 수반되는 대향 전하에 의해 $m \cdot 27.2$ eV를 공진적으로 그리고 비방사적으로 2차적으로 수용하는 것에 의해 촉매화된다. 식 (32)에 의해 주어지는 $H(1/p')$ 로의 $m \cdot 27.2$ eV의 공진 전달에 의해 유도된 $H(1/p)$ 대 $H(1/(p+m))$ 의 전이에 대한 일반적인 전체 식은 다음과 같이 주어진다:

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

하이드리노 프로세스로부터의 EUV 광은 디하이드리노 분자를 해리시킬 수 있고, 결과적인 하이드리노 원자는 더 낮은 에너지 상태로 전이하는 촉매로서 작용할 수 있다. 예시적인 반응은 $H(1/4)$ 에 의한 촉매 H 대 $H(1/17)$ 를 포함하며, 여기서 $H(1/4)$ 는 HOH에 의한 다른 H 의 촉매 반응의 반응 생성물일 수 있다. 하이드리노의 불균형 반응은 X-선 영역의 특징을 발생시키는 것으로 예측된다. 식 (5 내지 8)로 나타낸 바와 같이, HOH 촉매의 반응 생

성물은 $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 이다. 제 1 수소형 원자 $H\left[\frac{a_H}{p}\right]$ 가 H 원자이고 촉매로서 작용하는 제 2 수용체 수소형 원자 $H\left[\frac{a_H}{p'}\right]$ 가 $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 인 H_2O 가스를 함유하는 수소 구름에서의 가능성 있는 전이 반응을 고려한다. $H\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 의 위치 에너지가 $4^2 \cdot 27.2 \text{ eV} = 16 \cdot 27.2 \text{ eV} = 435.2 \text{ eV}$ 이므로, 전이 반응은 다음과 같이 표시된다:

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

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

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

그리고, 전체 반응은 다음과 같다:

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

$H^*\left[\frac{a_H}{p+m}\right]$ 중간체(예를 들어, 식(16) 및 식 (34))에 기인한 극-자외선 연속체 방사 대역은 다음과 같이 주어지는 단파장 컷오프 및 에너지 $E_{H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p+m}\right]}$ 를 갖고 대응 컷오프보다 장파장으로 확장될 것으로 예측된다:

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

$$\lambda_{H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p+m}\right]} = \frac{91.2}{\left[(p+m)^2 - p^2 \right] \cdot 13.6 \text{ eV} - m \cdot 27.2 \text{ eV}} \text{ nm} \quad (37)$$

여기서, $H^*\left[\frac{a_H}{17}\right]$ 중간체의 붕괴로 인한 극-자외선 연속 방사 대역은 $E = 3481.6 \text{ eV}; 0.35625 \text{ nm}$ 에서 단파장 컷오프를 가지며 장파장으로 확장될 것으로 예측된다. 3.48 keV의 컷오프를 가진 넓은 X-선 피크는 공지된 임의의 원자 전이와 일치하지 않는 NASA의 찬드라 엑스선 관측선(Chandra X-ray Observatory)에 의한 페르세우스 성단(Perseus Cluster), 및 XMM-Newton[E. Bulbul, M. Markevitch, A. Foster, R. K. Smith, M. Loewenstein, S. W. Randall, "Detection of an unidentified emission line in the stacked X-Ray spectrum of galaxy clusters," The Astrophysical Journal, Volume 789, Number 1, (2014); A. Boyarsky, O. Ruchayskiy, D.

Iakubovskiy, J. Franse, "An unidentified line in X-ray spectra of the Andromeda galaxy and Perseus galaxy cluster," (2014), arXiv: 1402.4119 [astro-ph.CO]]에 의해 최근에 관찰되었다. BulBul 등에 의해 알려지지 않은 정체에 대한 암흑 물질에 할당된 3.48 keV 특징은

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

전이와 일치하고 암흑 물질의 정체로서 하이드리노를 추가로 확인한다.

물질의 신규 수소 조성물은 다음을 포함할 수 있다:

(a) (i) 대응하는 일반 수소 종의 결합 에너지보다 더 크거나,

(ii) 일반 수소 종의 결합 에너지가 대기 조건(표준 온도 및 압력, STP)에서의 열 에너지보다 더 적거나 음수이기 때문에, 대응하는 일반 수소 종이 불안정하거나 관찰되지 않는 임의의 수소 종의 결합 에너지보다 더 큰 결합 에너지를 갖는 적어도 하나의 중성, 양성 또는 음성 수소 종(이후, "증가된 결합 에너지 수소 종"); 및

(b) 적어도 하나의 다른 원소. 전형적으로 본 개시의 수소 생성물은 증가된 결합 에너지 수소 종이다.

이와 관련하여 "다른 원소"는 증가된 결합 에너지 수소 종 이외의 원소를 의미한다. 따라서, 다른 원소는 일반 수소 종 또는 수소 이외의 임의의 원소일 수 있다. 일 그룹의 화합물에서, 다른 원소와 증가된 결합 에너지 수소 종은 중성이다. 다른 그룹의 화합물에서, 다른 원소 및 증가된 결합 에너지 수소 종은 다른 원소가 균형 잡힌 전하를 제공하여 중성 화합물을 형성하도록 대전된다. 전자 그룹의 화합물은 분자 및 배위 결합을 특징으로 한다. 후자 그룹은 이온 결합을 특징으로 한다.

또한, 다음을 포함하는 신규한 화합물 및 분자 이온이 제공된다:

(a) (i) 대응하는 일반 수소 종의 전체 에너지보다 더 크거나,

(ii) 일반 수소 종의 전체 에너지가 대기 조건에서의 열 에너지보다 더 적거나 음수이기 때문에, 대응하는 일반 수소 종이 불안정하거나 관찰되지 않는 임의의 수소 종의 전체 에너지보다 더 큰 전체 에너지를 갖는 적어도 하나의 중성, 양성 또는 음성 수소 종(이후, "증가된 결합 에너지 수소 종"); 및

(b) 적어도 하나의 다른 원소.

수소 종의 전체 에너지는 수소 종에서 모든 전자를 제거하기 위한 에너지의 합이다. 본 개시에 따른 수소 종은 대응하는 일반 수소 종의 전체 에너지보다 더 큰 전체 에너지를 가진다. 본원에 따라 증가된 전체 에너지를 갖는 수소 종은 증가된 전체 에너지를 갖는 수소 종의 몇몇 실시예가 대응하는 일반 수소 종의 제 1 전자 결합 에너지보다 더 작은 제 1 전자 결합 에너지를 갖더라도 "증가된 결합 에너지 수소 종"으로서 또한 지칭된다. 예를 들어, 식 (19)의 수소화 이온은 일반 수소화 이온의 제 1 결합 에너지보다 더 작은 제 1 결합 에너지를 가지는 반면에, $p = 24$ 에 대한 식 (19)의 수소화 이온의 전체 에너지는 대응하는 일반 수소화 이온의 전체 에너지보다 훨씬 더 크다.

또한, 다음을 포함하는 신규 화합물 및 분자 이온이 여기서 제공된다:

(a) (i) 대응하는 일반 수소 종의 결합 에너지보다 더 크거나,

(ii) 일반 수소 종의 결합 에너지가 대기 조건에서의 열 에너지보다 더 적거나 음수이기 때문에, 대응하는 일반 수소 종이 불안정하거나 관찰되지 않는 임의의 수소 종의 결합 에너지보다 더 큰 결합 에너지를 갖는 복수의 중성, 양성 또는 음성 수소 종(이후, "증가된 결합 에너지 수소 종"); 및

(b) 선택적으로 하나의 다른 원소. 본 개시의 화합물은 이후 "증가된 결합 에너지 수소 화합물"로서 지칭된다.

증가된 결합 에너지 수소 종은 적어도 하나의 하이드리노 원자를 적어도 하나의 전자, 하이드리노 원자, 상기 증가된 결합 에너지 수소 종 중 적어도 하나를 함유하는 화합물, 및 적어도 하나의 다른 원자, 분자, 또는 증가된 결합 에너지 수소 종 이외의 이온과 반응시킴으로써 형성될 수 있다.

또한, 다음을 포함하는 신규 화합물 및 분자 이온이 여기서 제공된다:

(a) (i) 일반 분자 수소의 전체 에너지보다 더 크거나,

(ii) 일반 수소 종의 전체 에너지가 대기 조건에서의 열 에너지보다 더 적거나 음수이기 때문에, 대응하는 일반 수소 종이 불안정하거나 관찰되지 않는 임의의 수소 종의 전체 에너지보다 더 큰 전체 에너지를 갖는 복수의

중성, 양성 또는 음성 수소 종(이후, "증가된 결합 에너지 수소 종"); 및

[0284] (b) 선택적으로 하나의 다른 원소. 본 개시의 화합물은 이후 "증가된 결합 에너지 수소 화합물"로서 지칭된다.

[0285] 실시예에서, (a) $p = 2$ 내지 23에 대해 일반 수소화 이온의 결합 에너지(약 0.8eV)보다 크고 $p = 24$ 에 대해 그 미만인 식 (19)에 따른 결합 에너지를 갖는 수소화 이온("증가된 결합 에너지 수소화 이온" 또는 "하이드리노 수소화 이온"); (b) 일반 수소 원자의 결합 에너지(약 13.6 eV)보다 더 큰 결합 에너지를 갖는 수소 원자("증가된 결합 에너지 수소 원자" 또는 "하이드리노"); (c) 약 15.3 eV보다 더 큰 제 1 결합 에너지를 갖는 수소 분자("증가된 결합 에너지 수소 분자" 또는 "디하이드리노"); 및 (d) 약 16.3 eV보다 더 큰 결합 에너지를 갖는 분자 수소 이온("증가된 결합 에너지 분자 수소 이온" 또는 "디하이드리노 분자 이온")로부터 선택된 적어도 하나의 증가된 결합 에너지 수소 종을 포함하는 화합물이 제공된다. 본 개시에서, 증가된 결합 에너지 수소 종 및 화합물은 또한 저-에너지 수소 종 및 화합물로서 또한 지칭된다. 하이드리노는 증가된 결합 에너지 수소 종 또는 동등하게 저-에너지 수소 종을 포함한다.

[0286] III. 화학 반응기

[0287] 본 개시는 또한 본 개시의 증가된 결합 에너지 수소 종 및 화합물, 예컨대 디하이드리노 분자 및 하이드리노 수소화 화합물을 생성하기 위한 다른 반응기에 관한 것이다. 촉매작용의 추가 생성물은 전력 및 선택적으로 셀 유형에 따른 플라즈마 및 광이다. 그러한 반응기는 이후, "수소 반응기" 또는 "수소 셀"로서 지칭된다. 수소 반응기는 하이드리노를 제조하기 위한 셀을 포함한다. 하이드리노를 제조하기 위한 셀은 가스 방전 셀, 플라즈마 토치 셀 또는 마이크로파 전력 셀, 및 전기화학 셀과 같은 화학 반응기 또는 가스 연료 전지의 형태를 취할 수 있다. 실시예에서, 촉매는 HOH이고, HOH 및 H 중 적어도 하나의 소스는 얼음이다. 얼음은 표면적이 높아서 얼음으로부터의 HOH 촉매와 H 형성 속도 그리고 하이드리노 반응 속도 가운데 적어도 하나를 증가시킬 수 있다. 얼음은 그 표면적을 증가시키기 위해 작은 조각의 형태일 수 있다. 실시예에서, 셀은 아크 방전 셀을 포함하고, 적어도 하나의 전극에 얼음을 포함하여 방전이 얼음의 적어도 일부를 포함한다.

[0288] 실시예에서, 아크 방전 셀은 용기, 2개의 전극, 약 100 V 내지 1 MV 범위의 전압 및 약 1 A 내지 100 kA 범위의 전류와 같은 고전압 전원, 및 저장소와 같은 물 소스 및 H₂O 물방울을 형성하고 공급하기 위한 수단을 포함한다. 물방울은 전극들 사이로 이동할 수 있다. 실시예에서, 물방울은 아크 플라즈마의 점화를 개시한다. 실시예에서, 물 아크 플라즈마는 반응하여 하이드리노를 형성할 수 있는 H 및 HOH를 포함한다. 점화율 및 대응하는 전력율은 물방울의 크기 및 물방울이 전극에 공급되는 속도를 제어함으로써 제어될 수 있다. 고전압 소스는 고전압 전원에 의해 충전될 수 있는 적어도 하나의 고전압 캐패시터를 포함할 수 있다. 실시예에서, 아크 방전 셀은 광 및 열과 같은 하이드리노 프로세스로부터의 전기로 전력을 변환하기 위한 PV 변환기 및 열 엔진 중 적어도 하나와 같은 본 발명의 것과 같은 전력 변환기와 같은 수단을 더 포함한다.

[0289] 하이드리노 제조용 셀의 예시적인 실시예는 액체 연료 전지, 고체 연료 전지, 이중 연료 전지, CIHT 셀 및 SF-CIHT 또는 SunCell® 셀의 형태를 취할 수 있다. 이들 각각의 셀은 (i) 원자 수소의 소스를 포함하는 반응물들; (ii) 하이드리노 제조용 고체 촉매, 용융 촉매, 액체 촉매, 기체 촉매 또는 이들의 혼합물로부터 선택되는 적어도 하나의 촉매; 및 (iii) 하이드리노 제조용 수소 및 촉매를 반응시키기 위한 용기를 포함한다. 여기서 사용된 바와 같이 그리고 본 개시에서 고려되는 바와 같이, 용어 "수소"는 달리 특정되지 않는 한, 프로테움(proteum) (¹H)뿐만 아니라 중수소(²H) 및 삼중수소(³H)를 포함한다. 예시적인 화학 반응 혼합물 및 반응기는 본 개시의 SF-CIHT, CIHT 또는 열적 셀 실시예를 포함할 수 있다. 추가의 예시적인 실시예가 이러한 화학 반응기 섹션에 주어진다. 혼합물의 반응 동안 형성된 촉매로서 H₂O를 갖는 반응 혼합물의 예가 본 개시에 주어진다. 다른 촉매는 증가된 결합 에너지 수소 종 및 화합물을 형성하는 역할을 할 수 있다. 반응 및 조건은 반응물, 반응물 중량 %, H₂ 압력 및 반응 온도와 같은 매개변수에서 이들 예시적인 경우로부터 조정될 수 있다. 적합한 반응물, 조건 및 매개변수 범위는 본 개시의 반응물, 조건 및 매개변수 범위이다. 하이드리노 및 분자 하이드리노는 13.6 eV의 정수배의 예측된 연속체 방사 대역, 또는 H 라인의 도플러 라인 확장, H 라인의 역전, 분해된 필드 없이 플라즈마의 형성, 및 Mills Prior Publications에 보고된 바와 같은 비정상적인 잔여 플라즈마 지속시간에 의해 측정된 달리 설명될 수 없는 이례적인 높은 H 운동 에너지에 의해 본 개시의 반응기의 생성물임을 보여준다. CIHT 셀 및 고체 연료에 관한 것과 같은 데이터는 다른 연구자에 의해 현장 밖에서 독립적으로 검증되었다. 본 개시의 셀에 의한 하이드리노의 형성은 장기 지속 기간 동안 연속적으로 출력되는 전기 에너지에 의해 확인되는데, 이는 대부분의 경우에 대체 소스를 갖지 않는 10 배만큼 입력을 초과하는 전기 입력의 배수였다. 예측된 분자 하이드리노 H₂(1/4)는 약 -4.4 ppm의 예측된 높은장 이동 매트릭스 피크를 보여주는 MAS HNM에 의한 CIHT

셀과 고체 연료의 생성물, $m/e = M + n2$ 피크(여기서, M 은 모 이온의 질량, n 은 정수)로서 게터 매트릭스에 착물화된 $H_2(1/4)$ 을 보여주는 ToF-SIMS 및 ESI-ToFMS, H_2 의 16 또는 양자 수 $p = 4^2$ 배의 에너지를 갖는 $H_2(1/4)$ 의 예측된 회전 및 진동 스펙트럼을 보여주는 전자빔 여기 방출 분광법 및 광발광 방출 분광법, H_2 의 16 또는 양자 수 $p = 4^2$ 배의 회전 에너지인 1950 cm^{-1} 의 H_2 의 회전 에너지를 보여주는 라만 및 FTIR 분광법, 500 eV의 $H_2(1/4)$ 의 예측된 전체 결합 에너지를 보여주는 XPS, 및 제 3체인 H로 전달되는 에너지를 갖는 H 대 $H(1/4)$ 에 대한 예측된 에너지 방출에 일치하는 약 204 eV의 운동 에너지를 갖는 H에 대응하는 $m/e = 1$ 피크 이전의 도달 시간을 갖는 ToF-SIMS 피크로서 확인되었으며, 이들은 그 전체가 원용에 의해 본 개시에 포함되는 Mills Prior Publications 및 R. Mills X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell", International Journal of Energy Research, (2013), 및 R. Mills, J. Lotoski, J. Kong, G Chu, J. He, J. Trevey, "High-Power-Density Catalyst Induced Hydrino Transition (CIHT) Electrochemical Cell"(2014)에 보고되어 있다.

[0290] 수류 열량계 및 세타람(Setaram) DSC 131 시차 주사 열량계(DSC)를 사용하여, 열 전력을 발생시키기 위한 고체 연료를 포함하는 것과 같은 본 개시의 셀에 의한 하이드리노의 형성은 이론적인 최대 에너지를 60배만큼 초과하는 하이드리노 형성 고체 연료로부터 열 에너지의 관찰에 의해 확인되었다. MAS H NMR은 약 -4.4 ppm의 예측된 $H_2(1/4)$ 높은장 매트릭스 이동을 보여준다. 1950 cm^{-1} 에서 시작되는 라만 피크는 $H_2(1/4)$ 의 자유 공간 회전 에너지(0.2414 eV)와 일치했다. 이들 결과는 Mills Prior Publications 및 R. Mills, J. Lotoski, W. Good, J. He, "Solid Fuels that Form HOH Catalyst"(2014)에 보고되어 있으며, 이는 그 전체가 원용에 의해 본 개시에 포함된다.

[0291] IV. SunCell 및 전력 변환기

[0292] 전기 에너지 및 열에너지의 적어도 하나를 생성하는 전력 시스템(여기서 "SunCell"로도 지칭됨)은 다음을 포함할 수 있다:

[0293] 압력을 대기압 미만으로 유지할 수 있는 용기;

[0294] 다음을 포함하는 용기에서 플라즈마 형성에 충분한 에너지를 생산하는 반응을 일으킬 수 있는 반응물들:

[0295] c) 수소 기체 및 산소 기체의 혼합물 및/또는

[0296] 수증기 및/또는

[0297] 수소 기체 및 수증기의 혼합물;

[0298] d) 용융 금속;

[0299] 적어도 하나의 반응물의 상기 용기로의 유속을 조절하는 질량 흐름 제어기;

[0300] 하나 이상의 반응물들이 상기 용기 내로 흐를 때 상기 용기 내 압력을 대기압 미만으로 유지하는 진공 펌프;

[0301] 용융 금속의 일부를 포함하는 적어도 하나의 저장소, 상기 저장소에 용융 금속을 전달하고 주입기 튜브를 통해 용융 금속 스트림을 제공하도록 구성된 용융 금속 펌프 시스템(예: 하나 이상의 전자기 펌프) 및 상기 용융 금속 스트림을 수용하기 위한 적어도 하나의 비주입기 용융 금속 저장소를 포함하는 용융 금속 주입기 시스템;

[0302] 수소 기체 및/또는 산소 기체 및/또는 수증기가 용기 내로 흐를 때 반응을 점화하기 위해 적어도 하나의 용융 금속의 스트림에 전력을 공급하는 전력이나 점화 전류의 소스를 포함하는 적어도 하나의 점화 시스템;

[0303] 반응에서 소모되는 반응물을 보충하는 반응물 공급 시스템;

[0304] 반응으로부터 생산되는 에너지(예: 플라즈마로부터 출력된 광 및/또는 열)의 일부를 전력 및/또는 열 전력으로 변환하는 전력 변환기 혹은 출력 시스템.

[0305] 일부 실시예에서, 그 전체가 원용에 의해 포함되는 A. Sharma, V. Singh, T. L. Bougher, 및 B. A. Cola에 의해 보고된 "A carbon nanotube optical rectenna", Nature Nanotechnology, Vol.10, (2015), pp. 1027-1032, doi:10.1038/nnano.2015.220와 같은 광학 레크테나, 및 적어도 하나의 열-전력 변환기를 포함한다. 다른 실시예에서, 용기는 대기압, 대기압 초과 및 대기압 미만 중 적어도 하나의 압력을 가질 수 있다. 다른 실시예에서,

적어도 하나의 직접적인 플라스마-전기 변환기는 플라스마 역학 전력 변환기, $\vec{E} \times \vec{B}$ 직접 변환기, 자기 유체 역학 전력 변환기, 자기 미러 자기 유체 역학 전력 변환기, 전하 드리프트 변환기, 포스트 또는 베네치아 블라인드 전력 변환기(Post or Venetian Blind power converter), 자이로트론, 광자 다발 마이크로파 전력 변환기 및 광전 변환기의 그룹 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 적어도 하나의 열-전기 변환기는 열 엔진, 증기 엔진, 증기 터빈 및 발전기, 가스터빈 및 발전기, 랭킨 사이클 엔진, 브레이튼 사이클 엔진, 스텔링 엔진, 열이온 전력 변환기, 및 열전기 전력 변환기의 그룹 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 열을 주변 대기로 방출하는 폐쇄 냉각제 시스템이나 개방 시스템을 포함할 수 있는 예시적 열-전기 시스템에는 초임계 CO₂, 유기 랭킨 혹은 외연 가스 터빈 시스템이 있다.

[0306] 본 개시의 UV 광전 및 열 광전지에 더하여, SunCell®은 열이온, 자기 유체 역학, 터빈, 마이크로 터빈, 랭킨 또는 브레이튼 사이클 터빈, 화학 및 전기화학적 전력 변환 시스템과 같은 당업계에 공지된 다른 전기 변환 수단을 포함할 수 있다. 랭킨 사이클 터빈은 초임계 CO₂, 하이드로플루오로탄소 또는 플루오로탄소와 같은 유기물, 또는 증기 작동 유체를 포함할 수 있다. 랭킨 또는 브레이튼 사이클 터빈에서 SunCell®은 예열기, 복열기, 보일러, 및 터빈 시스템의 외연 유형 열 교환기 단계 중 적어도 하나에 열 전력을 제공할 수 있다. 실시예에서, 브레이튼 사이클 터빈은 터빈의 연소 섹션에 통합된 SunCell® 터빈 히터를 포함한다. SunCell® 터빈 히터는 압축기 및 복열기 중 적어도 하나로부터 공기 흐름을 받는 덕트를 포함할 수 있으며, 여기서 공기는 가열되고 덕트는 가열되고 압축된 흐름을 터빈의 입구로 안내하여 압력-체적 작업을 수행한다. SunCell® 터빈 히터는 가스 터빈의 연소실을 대체하거나 보충할 수 있다. 랭킨 또는 브레이튼 사이클은 폐쇄될 수 있으며, 여기서 전력 변환기는 응축기 및 냉각기 중 적어도 하나를 더 포함한다.

[0307] 변환기는 Mills의 종래 공보 및 Mills의 종래 출원에 제공된 변환기일 수 있다. H 소스 및 HOH 소스와 같은 하이드리노 반응물 및 SunCell® 시스템은 본 개시 또는 종래의 미국 출원, 예컨대 2008년 4월 24일자로 국제 출원된 PCT/US08/61455호의 수소 촉매 반응기; 2009년 7월 29일자로 국제 출원된 PCT/US09/052072호의 이중 수소 촉매 반응기; 2010년 3월 18일자로 국제 출원된 PCT/US10/27828호의 이중 수소 촉매 전력 시스템; 2011년 3월 17일자로 국제 출원된 PCT/US11/28889호의 전기 화학 수소 촉매 전력 시스템; 2012년 3월 30일자로 국제 출원된 PCT/US12/31369호의 H₂O-기반 전기 화학 수소-촉매 전력 시스템; 2013년 5월 21일자로 국제 출원된 PCT/US13/041938호의 CIHT 전력 시스템; 2014년 1월 10일자로 국제 출원된 PCT/IB2014/058177호의 발전 시스템 및 그에 관한 방법; 2014년 4월 1일자로 국제 출원된 PCT/US14/32584호의 광전지 발전 시스템 및 그에 관한 방법; 2015년 5월 29일자로 국제 출원된 PCT/US2015/033165호의 전기 발전 시스템 및 그에 관한 방법; 2015년 12월 15일자로 국제 출원된 PCT/US2015/065826호의 자외선 발전 시스템 및 그에 관한 방법; 2016년 1월 8일자로 국제 출원된 PCT/US16/12620호의 열광전지 전기 발전기; 2017년 12월 7일자로 국제 출원된 PCT/US2017/035025호의 열광전지 전기 발전기 네트워크; 2017년 1월 18일자로 국제 출원된 PCT/US2017/013972호의 열광전지 전기 발전기; 2018년 1월 5일자로 국제 출원된 PCT/US2018/012635호의 극 및 심 자외선 태양광 전지; 2018년 2월 12일자로 국제 출원된 PCT/US18/17765호의 자기 유체 역학 전기 발전기; 2018년 5월 29일자로 국제 출원된 PCT/US2018/034842호의 자기 유체 역학 전기 발전기; 2018년 12월 5일자로 국제 출원된 PCT/IB2018/059646호의 자기 유체 역학 전기 발전기("Mills의 종래 출원")를 포함할 수 있으며, 이들 출원 전체는 원용에 의해 본 명세서에 포함된다.

[0308] 실시예에서, H₂O는 점화되어 열적, 플라스마 및 전자기 (광) 전력 중 적어도 하나의 형태로 에너지의 높은 방출을 갖는 하이드리노를 형성한다. (본 개시에서의 "점화(ignition)"는 버스트, 펄스 또는 다른 형태의 고전력 방출로서 나타날 수 있는 H-하이드리노의 매우 높은 반응 속도를 나타낸다.) H₂O는 약 10 A 내지 100,000 A 범위의 것과 같은 높은 전류의 인가로 점화될 수 있는 연료를 포함할 수 있다. 이는 아크와 같은 고전도성 플라스마를 먼저 형성하기 위해 약 5,000 내지 100,000 V와 같은 고전압의 인가에 의해 달성될 수 있다. 대안적으로, 고전류가 H 및 HOH와 같은 하이드리노 반응물을 더욱 포함하는 은 등의 용융 금속과 같은 전도성 매트릭스 및 H₂O를 포함하는 화합물 또는 혼합물을 통과할 수 있으며, 여기서 고체 연료와 같은 결과적인 연료의 전도도가 높다. (본 개시에서, 고체 연료는 추가로 반응하여 하이드리노를 형성하는 HOH 및 H와 같은 촉매를 형성하는 반응 혼합물을 나타내는데 사용된다. 플라스마 전압은 최저 약 1 V 내지 100V의 범위와 같이 낮을 수 있다. 그러나, 반응 혼합물은 고체 이외의 다른 물리적 상태를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 혼합물은 용융된 은, 은-구리 합금 및 구리 중 적어도 하나와 같은 용융 금속, 고체, 슬러리, 졸 겔, 용액, 혼합물, 가스 현탁액, 공압 흐름과 같은 용융 전도성 매트릭스와 같은 가스, 액체 용융 매트릭스 중 적어도 하나의 상태 및 당업자에게 공

지된 다른 상태 중 적어도 하나일 수 있다.) 실시예에서, 매우 낮은 저항을 갖는 고체 연료는 H_2O 를 포함하는 반응 혼합물을 포함한다. 낮은 저항은 반응 혼합물의 전도체 성분에 기인할 수 있다. 실시예에서, 고체 연료의 저항은 약 10^{-9} 옴 내지 100 옴, 10^{-8} 옴 내지 10 옴, 10^{-3} 옴 내지 1 옴, 10^{-4} 옴 내지 10^{-1} 옴, 및 10^{-4} 옴 내지 10^{-2} 옴의 범위 중 적어도 하나이다. 다른 실시예에서, 높은 저항을 갖는 연료는 첨가된 화합물 또는 재료의 미량 또는 소량의 몰%를 포함하는 H_2O 를 포함한다. 후자의 경우에, 아크 또는 아크 플라즈마와 같은 고전도성 상태를 형성하도록 분해를 야기함으로써 점화를 달성하기 위해 연료를 통해 고전류가 흐를 수 있다.

[0309] 실시예에서, 반응물은 H_2O 의 소스 및 전도성 매트릭스를 포함하여 촉매 소스, 촉매, 원자 수소 소스 및 원자 수소 중 적어도 하나를 형성할 수 있다. 추가 실시예에서, H_2O 소스를 포함하는 반응물은 벌크 H_2O , 벌크 H_2O 이외의 상태, H_2O 를 형성하고 결합된 H_2O 를 방출하도록 반응하는 것 중 적어도 하나를 겪는 화합물 또는 화합물들 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 결합된 H_2O 는 H_2O 와 상호 작용하는 화합물을 포함할 수 있으며, H_2O 는 흡수된 H_2O , 결합된 H_2O , 물리 흡착된 H_2O 및 수화된 물 중 적어도 하나의 상태에 있다. 실시예에서, 반응물은 전도체 및 벌크 H_2O , 흡수된 H_2O , 결합된 H_2O , 물리 흡착된 H_2O 및 수화된 물의 방출 중 적어도 하나를 겪는 적어도 하나의 화합물 또는 재료를 포함할 수 있고, 반응 생성물로서 H_2O 를 갖는다. 다른 실시예에서, 신생 H_2O 촉매의 소스 및 원자 수소의 소스 중 적어도 하나는: (a) H_2O 의 적어도 하나의 소스; (b) 산소의 적어도 하나의 소스, 및 (c) 수소의 적어도 하나의 소스를 포함할 수 있다.

[0310] 실시예에서, 하이드리노 반응 속도는 고전류의 인가 또는 전개에 의존한다. SunCell®의 실시예에서, 하이드리노를 형성하기 위한 반응물은 매우 빠른 반응 속도 및 에너지 방출을 야기하는 저전압, 고전류, 고전력 펄스에 영향을 받는다. 예시적인 실시예에서, 60 Hz 전압은 15 V 피크 미만이고, 전류는 100 A/cm^2 내지 $50,000 \text{ A/cm}^2$ 피크이며, 전력 범위는 1000 W/cm^2 내지 $750,000 \text{ W/cm}^2$ 이다. 이들 매개변수의 약 1/100 배 내지 100배 범위의 다른 주파수, 전압, 전류 및 전력이 적합하다. 실시예에서, 하이드리노 반응 속도는 고전류의 인가 또는 전개에 의존한다. 실시예에서, 전압은 100 A 내지 1,000,000 A, 1 kA 내지 100,000 A, 10 kA 내지 50 kA 중 적어도 하나의 범위 내에 있는 높은 AC, DC 또는 AC-DC 혼합 전류를 발생시키도록 선택된다. DC 또는 피크 AC 전류 밀도는 100 A/cm^2 내지 $1,000,000 \text{ A/cm}^2$, 1000 A/cm^2 내지 $100,000 \text{ A/cm}^2$ 및 2000 A/cm^2 내지 $50,000 \text{ A/cm}^2$ 중 적어도 하나의 범위일 수 있다. DC 또는 피크 AC 전압은 약 0.1 V 내지 1000 V, 0.1 V 내지 100 V, 0.1 V 내지 15 V 및 1 V 내지 15 V 중에서 선택된 적어도 하나의 범위 내에 있을 수 있다. AC 주파수는 약 0.1 Hz 내지 10 GHz, 1 Hz 내지 1 MHz, 10 Hz 내지 100 kHz, 및 100 Hz 내지 10 kHz의 범위 내에 있을 수 있다. 펄스 시간은 약 10^{-6} 초 내지 10초, 10^{-5} 초 내지 1 초, 10^{-4} 초 내지 0.1 초, 및 10^{-3} 초 내지 0.01 초 중에서 선택되는 적어도 하나의 범위 내에 있을 수 있다.

[0311] 실시예에서, 원자 수소로 촉매된 상태에서 하이드리노 상태로의 에너지 전달은 촉매의 이온화를 초래한다. 촉매로부터 이온화된 전자는 반응 혼합물 및 용기에 축적되어 공간 전하 형성을 초래할 수 있다. 공간 전하는 반응 속도의 감소와 함께 원자 수소로부터 촉매로의 후속 에너지 전달을 위한 에너지 준위를 변화시킬 수 있다. 실시예에서, 고전류의 인가는 공간 전하를 제거하여 하이드리노 반응 속도를 증가시킨다. 다른 실시예에서, 아크 전류와 같은 고전류는 H 및 HOH 촉매의 소스로서 작용할 수 있는 물과 같은 반응물의 온도를 극도로 상승시키는 원인이 된다. 고온은 H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나에 대한 물의 열분해를 일으킬 수 있다. 실시예에서, SunCell®의 반응 혼합물은 H의 소스 및 nH (n은 정수) 및 HOH 중 적어도 하나와 같은 촉매 소스를 포함한다. nH 및 HOH 중 적어도 하나는 고체, 액체 및 가스상 물 중 적어도 하나와 같은 물의 적어도 하나의 물리적 상(phase)의 열분해 또는 열해리에 의해 형성될 수 있다. 열분해는 약 500 K 내지 10,000 K, 1000 K 내지 7000 K 및 1000 K 내지 5000 K 중 적어도 하나의 범위 내에 있는 온도와 같은 고온에서 발생할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 반응 온도는 원자 H의 몰 분율이 높아지도록 약 3500 내지 4000 K이며, 이는 원용에 의해 본 개시에 포함되는 J. Lede, F. Lapicque, 및 J. Villiermaux의 [J. Lédé, F. Lapicque, J. Villiermaux, "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, "The catalytic thermal decomposition of water and the production of hydrogen", International Journal of Hydrogen Energy, 1984, V9, pp. 677-688; S. Z. Baykara, "Hydrogen production by direct solar thermal decomposition of water, possibilities for

improvement of process efficiency", International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1451-1458; S. Z. Baykara, "Experimental solar water thermolysis", International Journal of Hydrogen Energy, 2004, V29, pp. 1459-1469]에 나타나 있다. 열분해는 셀 구성요소 중 적어도 하나인 고체 표면에 의해 보조될 수 있다. 고체 표면은 하이드리노 반응에 의해 유지되는 입력 전력 및 플라즈마에 의해 승온으로 가열될 수 있다. 점화 영역의 하향 스트림과 같은 열분해 가스는 냉각되어 재결합 또는 출발 물로 생성물의 역반응을 방지할 수 있다. 반응 혼합물은 생성물 가스의 온도보다 낮은 온도의 고체, 액체 또는 가스상 중 적어도 하나와 같은 냉각제를 포함할 수 있다. 열분해 반응 생성물 가스의 냉각은 생성물을 냉각제와 접촉시킴으로써 달성될 수 있다. 냉각제는 저온 증기, 물 및 얼음 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0312] 실시예에서, 연료 또는 반응물은 H 소스, H₂, 촉매 소스, H₂O 소스 및 H₂O 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 적합한 반응물은 전도성 금속 매트릭스, 및 알칼리 수화물, 알칼리 토류 수화물 및 전이 금속 수화물 중 적어도 하나와 같은 수화물을 포함한다. 수화물은 MgCl₂ · 6H₂O, BaI₂ · 2H₂O 및 ZnCl₂ · 4H₂O 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 대안적으로, 반응물은 은, 구리, 수소, 산소 및 물 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0313] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)를 낮은 압력에서 작동하여 높은 기체 온도를 성취할 수 있다. 다음 이 압력을 반응 혼합물 기체 소스 및 제어기에 의해 증가시켜 반응 속도를 증가시킬 수 있으며, 물 이합체의 H 결합 및 H₂ 공유 결합의 적어도 하나에 대한 열분해에 의한 고온은 신생 HOH 및 원자 H를 유지할 수 있다. 열분해를 성취하는 예시적인 임계 기체 온도는 약 3300° C이다. 약 3300° C보다 높은 온도를 갖는 플라즈마는 H₂O 이합체 결합을 파괴하여 하이드리노 촉매의 역할을 하는 신생 HOH를 형성할 수 있다. 반응 셀 챔버 H₂O 증기압, H₂ 압력 및 O₂ 압력의 적어도 하나가 약 0.01 Torr ~ 100 기압, 0.1 Torr ~ 10 기압 및 0.5 Torr ~ 1 기압 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. EM 펌핑 속도는 약 0.01 ml/s ~ 10,000 ml/s, 0.1 ml/s ~ 1000 ml/s 및 0.1 ml/s ~ 100 ml/s 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, 열분해를 성취할 목적으로 플라즈마와 셀을 가열하기 위해 높은 점화 전력 및 저압 중 적어도 하나를 초기에 유지할 수 있다. 이 초기 전력은 고주파수 펄스, 높은 듀티 사이클의 펄스, 더 높은 전압 및 더 높은 전류와 연속 전류 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 점화 전력을 감소시킬 수 있으며, 그 압력은 열분해의 성취를 위해 플라즈마와 셀의 가열 이후 증가시킬 수 있다. 다른 실시예에서, SunCell®은 열분해의 성취에 필요한 하이드리노 반응 플라즈마 및 셀의 가열을 위해 플라즈마 토치, 글로 방전, 마이크로파나 RF 플라즈마 소스와 같은 추가의 플라즈마 소스를 포함할 수 있다.

[0314] 실시예에서, 점화 시스템은 전류를 개시하고 점화가 달성되면 전류를 차단하는 것 중 적어도 하나를 수행하기 위한 스위치를 포함한다. 전류 흐름은 용융 금속 스트림의 접촉에 의해 개시될 수 있다. 스위칭은 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT), 실리콘 제어 정류기(SCR) 및 적어도 하나의 금속 산화물 반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET) 중 적어도 하나와 같은 수단에 의해 전자적으로 수행될 수 있다. 대안적으로, 점화는 기계적으로 스위칭될 수 있다. 전류는 입력 점화 에너지에 비례하여 출력 하이드리노 생성 에너지를 최적화하기 위해 점화 후에 차단될 수 있다. 점화 시스템은 제어 가능한 양의 에너지가 연료로 흘러서 폭발을 일으키고 플라즈마가 발생되는 단계 동안 전력을 차단하게 하는 스위치를 포함할 수 있다. 실시예에서, 고전류 전기 에너지의 쇼트 버스트를 전달하는 전력 소스는 다음 중 적어도 하나를 포함한다:

[0315] 100 A 내지 1,000,000 A, 1 kA 내지 100,000 A, 10 kA 내지 50 kA 중 적어도 하나의 범위 내에 있는 높은 AC, DC 또는 AC-DC 혼합 전류를 발생시키도록 선택된 전압;

[0316] 1 A/cm² 내지 1,000,000 A/cm², 1000 A/cm² 내지 100,000 A/cm² 및 2000 A/cm² 내지 50,000 A/cm² 중 적어도 하나의 범위 내에 있는 DC 또는 피크 AC 전류 밀도를 포함하며;

[0317] 상기 전압은 고체 연료의 전도율에 의해 결정되며, 전압은 원하는 전류에 고체 연료 샘플의 저항을 곱한 값으로 주어지며;

[0318] 상기 DC 또는 피크 AC 전압은 0.1 V 내지 500 kV, 0.1 V 내지 100 kV 및 1 V 내지 50 kV 중 적어도 하나의 범위 내에 있으며, 그리고

[0319] AC 주파수는 0.1 Hz 내지 10 GHz, 1 Hz 내지 1 MHz, 10 Hz 내지 100 kHz 및 100 Hz 내지 10 kHz 중 적어도 하나의 범위 내에 있다.

[0320] 시스템은 리튬 이온 배터리와 같은 배터리와 같은 시동 전력/에너지 소스를 더 포함한다. 대안적으로, 그리드

전력과 같은 외부 전력이 외부 전원으로부터 발전기로의 연결부를 통해 시동하는데 제공될 수 있다. 연결부는 전력 출력 버스 바를 포함할 수 있다. 시동 전력 에너지 소스는 용융 금속 전도성 매트릭스를 유지하는 히터로의 공급 전원, 주입 시스템의 공급 전원 및 점화 시스템의 공급 전원 가운데 적어도 하나일 수 있다.

[0321] SunCell®은 고압 수소를 제공하기 위해 고압 하에서 물을 갖는 양성자 교환 막(PEM) 전해조를 포함하는 것과 같은 고압 물 전해조를 포함할 수 있다. H_2 및 O_2 챔버 각각은 오염물(O_2 및 H_2)을 각각 제거하기 위한 재결합기를 포함할 수 있다. PEM은 애노드 및 캐소드 격실의 분리기 및 엄 브리지 중 적어도 하나로서 작용하여 캐소드에서 수소 및 애노드에서 산소가 별도의 가스로서 생성될 수 있게 한다. 캐소드는 디칼코게나이드 수소 발생 촉매, 예컨대 황을 추가로 포함할 수 있는 니오븀 및 탄탈 중 적어도 하나를 포함하는 촉매를 포함할 수 있다. 캐소드는 Pt 또는 Ni와 같은 당업계에 공지된 것을 포함할 수 있다. 수소는 고압에서 생성될 수 있고, 직접 또는 수소 투과막을 통한 투과에 의해 반응 셀 챔버(5b31)에 공급될 수 있다. SunCell®은 애노드 격실로부터 산소 가스가 저장 용기 또는 통풍구로 전달되는 지점까지 산소 가스 라인을 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 센서, 프로세서 및 전기 분해 전류 제어기를 포함한다.

[0322] 다른 실시예에서, 물의 전기분해, 천연 가스의 개질, H_2 및 CO 및 CO_2 의 형성을 위해 증기와 탄소의 반응에 의한 합성가스 반응 및 수성가스 전환 반응 가운데 적어도 하나 그리고 당업자에게 알려진 수소 생산의 다른 방법으로부터 수소 연료를 얻을 수 있다.

[0323] 다른 실시예에서, 수소는 공급된 물을 사용하는 열분해 및 SunCell®에 의해 생성된 열에 의해 생성될 수 있다. 열분해 사이클은 SnO/Sn 및 ZnO/Zn 중 적어도 하나와 같은 금속 및 그의 산화물에 기초한 것과 같은 본 개시 또는 당업계에 공지된 것을 포함할 수 있다. 유도 결합 히터, EM 펌프 및 점화 시스템이 시동 동안 전력만을 소비하는 실시예에서, 수소는 기생 전력 요건이 매우 낮도록 열분해에 의해 생성될 수 있다. SunCell®은 가스 센서와 같은 시스템 및 반응 플라즈마 가스용 시스템과 같은 제어 시스템을 구동하기 위한 전력을 제공하기 위해 리튬 이온 배터리와 같은 배터리를 포함할 수 있다.

[0324] 자기 유체 역학(MHD) 변환기

[0325] 교차 자기장에서 이온 또는 전기 전도성 매체의 질량 흐름 형성에 기초한 전하 분리는 자기 유체 역학(MHD) 전력 변환으로 주지되어 있다. 양이온과 음이온은 반대 방향으로 로렌츠의 방향을 겪으며 해당 MHD 전극에서 수신되어 그들 사이의 전압에 영향을 미친다. 이온의 질량 흐름을 형성하는 전형적인 MHD 방법은 노즐을 통해 이온으로 시딩된 고압 가스를 팽창시켜 편향 필드에 대해 교차된 MHD 전극 세트에 의해 교차 자기장을 통한 고속 흐름을 생성함으로써 편향된 이온을 수용하는 것이다. 실시예에서, 압력은 전형적으로 대기압보다 높으며, 방향성 질량 흐름이 하이드리노 반응에 의해 달성되어 플라즈마 및 고 전도성, 고압 및 고온의 용융 금속 증기를 형성하고 팽창되어 MHD 변환기의 교차 자기장 섹션을 통해 고속 흐름을 생성한다. 흐름은 MHD 변환기를 통과하여 축 방향 또는 반경 방향일 수 있다. 헬름홀츠 코일 또는 자기 병과 같은 한정된 자석으로 추가적인 방향성 흐름이 달성될 수 있다.

[0326] 구체적으로, 도 1 내지 도 22에 도시된 MHD 전력 시스템은 EM 펌프(5ka), 적어도 하나의 저장소(5c), 이중 용융 금속 주입기(5k61)를 포함하는 것과 같은 적어도 2개의 전극, HOH 촉매 및 H의 소스와 같은 하이드리노 반응물의 소스, 전극에 전압 및 전류를 인가하여 하이드리노 반응물로부터 플라즈마를 형성하기 위한 전력 소스(2)를 포함하는 점화 시스템, 및 MHD 전력 변환기를 포함하는 것과 같은 본 개시의 하이드리노 반응 플라즈마 소스를 포함할 수 있다. 실시예에서, 이 점화 시스템은 DC 전원 그리고 고전류 펄스용 용량을 가지며 펄스형 점화를 전달하는 커패시터 뱅크와 같은 전압 및 전류의 소스를 포함할 수 있다. 이중 용융 금속 주입기 실시예에서, 주입된 용융 금속 스트림들을 통해 전류가 흐르며 이 스트림들이 연결될 때 플라즈마를 점화한다. 하이드리노 반응 플라즈마 소스 및 MHD 변환기를 포함하는 MHD 전력 시스템의 구성요소는 내산화성 금속과 같은 내산화성 재료, 내산화성 코팅을 포함하는 금속 및 시스템이 공기 중에서 작동될 수 있게 하는 세라믹 중 적어도 하나로 구성될 수 있다.

[0327] 도 1 내지 도 22에 도시된 자기 유체 역학 전력 변환기는 MHD 변환기(300)를 통한 용융 금속 증기 및 플라즈마 흐름의 축 방향인 z-축에 횡 방향으로 자속의 소스를 포함할 수 있다. 전도성 흐름은 z-축을 따라 가스의 팽창으로 인해 z-축을 따른 우선적인 속도를 가질 수 있다. 헬름홀츠 코일 또는 자기 병과 같은 한정된 자석으로 추가적인 방향성 흐름이 달성될 수 있다. 따라서, 금속 전자 및 이온은 횡 방향 자속 영역으로 전파된다. 전파 전자 및 이온에 대한 로렌츠의 힘은 다음과 같이 주어진다:

[0328]
$$\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (38)$$

[0329] 힘은 전하의 속도와 자기장에 대해 횡 방향으로 그리고 양이온과 음이온에 대해 반대 방향이다. 따라서 횡 방향 전류가 형성된다. 횡 자계의 소스는 평행 속도 분산을 갖는 유동 전하의 교차 편향(식 (38))을 최적화하기 위해 z-축을 따른 위치의 함수로서 상이한 세기의 횡 방향 자계를 제공하는 성분을 포함할 수 있다.

[0330] 저장소(5c) 용융 금속은 액체 및 기체 상태 중 적어도 하나의 상태일 수 있다. 저장소(5c) 용융 금속은 MHD 작동 매체로 정의될 수 있으며, 그와 같이 지칭되거나 용융 금속으로서 지칭될 수 있으며, 이는 용융 금속이 액체 및 기체 상태 중 적어도 하나의 상태에 추가로 있을 수 있음을 암시한다. 다른 물리적 상태도 존재할 수 있는 용융 금속, 액체 금속, 금속 증기 또는 기체 금속과 같은 특정 상태가 또한 사용될 수 있다. 예시적인 용융 금속은 액체 및 기체 상태 중 적어도 하나에 있을 수 있는 은이다. MHD 작동 매체는 작동 온도 범위에서 액체 및 기체 상태 중 적어도 하나일 수 있는 첨가된 금속, 작동 온도 범위에서 액체 및 기체 상태 중 적어도 하나일 수 있는 본 개시 중 하나와 같은 화합물, 및 헬륨 또는 아르곤과 같은 영속 기체, 물, H₂ 및 본 개시의 다른 플라즈마 가스 중 적어도 하나와 같은 기체 중 적어도 하나를 포함하는 첨가제를 더 포함할 수 있다. MHD 작동 매체 첨가제는 MHD 작동 매체와 임의의 원하는 비율일 수 있다. 실시예에서, 매체 및 첨가제 매체의 비율은 MHD 변환기의 선택적 전기 변환 성능을 제공하도록 선택된다. 은 또는 은-구리 합금과 같은 작동 매체는 과포화 조건하에서 실행될 수 있다.

[0331] 실시예에서, MHD 전기 발전기(300)는 패러데이, 채널 홀 및 디스크 홀 유형 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 채널 홀 MHD 실시예에서, 팽창부 또는 발전기 채널(308)은 z-축을 따라 수직으로 지향될 수 있으며, 여기서 은 증기 및 플라즈마와 같은 용융 금속 플라즈마는 제한 또는 노즐 목부(307)와 같은 가속기 섹션 및 이어서 팽창 섹션(308)을 통해 유동한다. 채널은 x-축을 따라 흐름 방향으로 가로지르는 Halbach 어레이와 같은 초전도체 또는 영구 자석과 같은 솔레노이드 자석(306)을 포함할 수 있다. 자석은 MHD 자석 장착 브래킷(306a)에 의해 고정될 수 있다. 자석은 극저온 액체를 포함할 수 있거나 극저온 액체를 갖거나 갖지 않는 극저온 냉장고를 포함할 수 있다. 극저온 냉장고는 건조 회석 냉장고를 포함할 수 있다. 자석은 C 형상 또는 직사각형 백 요크와 같은 요크와 같은 자기장에 대한 복귀 경로를 포함할 수 있다. 예시적인 영구 자석 재료는 SmCo이고, 예시적인 요크 재료는 자기 CRS, 냉간 압연 강 또는 철이다. 발전기는 MHD 전극(304)을 가로질러 전압을 생성하는 횡 방향의 로렌츠 편향된 이온을 수용하기 위해 자기장(B)을 가로지르는 y-축을 따라 세그먼트화된 전극(304)과 같은 적어도 하나의 전극 세트를 포함할 수 있다. 발전기 채널(308)과 같은 적어도 하나의 채널은 원통형 벽 채널과 같은 평면 벽을 갖는 것 이외의 다른 지오메트리를 포함할 수 있다. 자기 유체 역학 발전은 Walsh의 [E. M. Walsh, Energy Conversion Electromechanical, Direct, Nuclear, Ronald Press Company, NY, NY, (1967), pp. 221-248]에 의해 설명되어 있으며, 그의 전체 개시는 본 명세서에 원용에 의해 포함된다. 로렌츠 힘은 자기장 강도를 증가시켜 원하는 정도로 증가시킬 수 있다. MHD 자석(306)의 자속을 증가시킬 수 있다. 실시예에서, 이 자속은 약 0.01 T ~ 15 T, 0.05 T ~ 10 T, 0.1 T ~ 5T, 0.1 T ~ 2 T 및 0.1 T ~ 1 T 중 적어도 한 범위일 수 있다.

[0332] 실시예에서, 디스크 발전기는 반응 셀 챔버에서 디스크의 중앙으로 플라즈마의 흐름을 유지시키는 플라즈마 입구, 용융 금속 및 재순환기에 의해 반응 셀 챔버로 재순환될 수 있는 기체들을 수집하는 가장자리를 둘러싼 도관 그리고 재순환기를 포함한다. 여기 자기장은 이 디스크 위와 아래에 있는 한 쌍의 원형 헬륨홀츠 코일을 포함할 수 있다. 자석은 다른 설계에 비해서 플라즈마에 상대적으로 더 가까울 수 있는 단순한 평행 자기장 선들을 공급할 수 있으며, 자기장 강도는 거리의 3승으로 증가한다. 패러데이 전류(Faraday currents)는 디스크의 주변의 주위 안에 내우 가깝게 흐를 수 있다. 디스크 MHD 발전기는 링 전극들을 더 포함할 수 있는데, 그 홀 효과 전류가 중앙 근처의 링 전극과 주변부 근처의 링 전극 사이를 흐를 수 있다.

[0333] 용융 금속 증기에 의해 MHD 전극이 전기적으로 단락되는 것을 피하기 위해, 전극(304, 도1)은 각각 스탠드오프 리드(305a, standoff lead)로서 기능을 하며 또한 발전기 채널(308)의 벽으로부터 전극의 스페이서로서 추가의 기능을 할 수 있는 전기 절연체 피복된 전도 포스트 또는 리드(305) 상에 장착된 전도체를 포함할 수 있다. 이 전극들은(304) 세그먼트화될 수 있고 캐소드(302) 및 애노드(303)를 포함할 수 있다. 스탠드오프(305)를 제외하고는, 전극들은 발전기 채널(308)에서 자유롭게 매달려있을 수 있다. 수직 축을 따라서 전극 간격이 용융 금속 단락의 방지를 위해 충분할 수 있다. 전극들은 W나 Mo 등의 내화 전도체를 포함할 수 있다. 리드(305a)는 BN과 같은 내화 절연체로서 절연된 와이어에 연결될 수 있다. 와이어는 금속을 포함할 수 있는 MHD 버스 바 피드-스루 플랜지(301)에서 채널을 관통하는 하네스에 합쳐질 수 있다. MHD 변환기의 외부에서, 하네스는 전력 통합기 및 인버터에 연결될 수 있다. 실시예에서, MHD 전극(304)은 액체 은 전극과 같은 액체 전극을

포함한다. 실시예에서, 점화 시스템은 액체 전극을 포함할 수 있다. 점화 시스템은 DC 혹은 AC일 수 있다. 반응기는 석영, 알루미늄, 지르코니아, 하프니아 또는 Pyrex와 같은 세라믹을 포함할 수 있다. 액체 전극은 은과 같은 용융 금속으로 로딩되는 미세 구멍을 더욱 포함할 수 있는 세라믹 프리트를 포함할 수 있다.

[0334] 실시예에서, 하이브리드 반응 혼합물은 산소, 수증기 및 수소 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. MHD 구성요소는 산화 분위기하에서 안정한 지르코니아 및 하프니아 중 적어도 하나와 같은 금속 산화물 또는 실리카 또는 석영과 같은 세라믹과 같은 재료를 포함할 수 있다. 세라믹 구성요소들 사이의 실은 흑연이나 세라믹 직물을 포함할 수 있다. 실시예에서, 전력 시스템의 적어도 한 구성요소는 세라믹을 포함할 수 있는데, 이 세라믹은 금속 산화물, 알루미늄, 지르코니아, 마그네시아, 하프니아, 탄화 규소, 탄화 지르코늄, 이붕소화 지르코늄, 질화 규소, 및 $\text{Li}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(LAS 시스템), $\text{MgO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(MAS 시스템), $\text{ZnO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(ZAS 시스템)과 같은 유리 세라믹 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. SunCell®의 세라믹 부품들은 두 개 이상의 세라믹 부품을 세라믹 글루, 세라믹과 금속 부품의 브레이즈, 슬립 너트 실, 가스켓 실 및 습식 실과 같은 본 개시의 수단에 의해 결합시킬 수 있다. 가스켓 실은 가스켓으로 밀봉된 두 개의 플랜지를 포함할 수 있다. 이 플랜지는 볼트와 같은 패스너로 함께 접합시킬 수 있다. 실시예에서, MHD 전극(304)은 작동 동안 부식이나 열화에 대해 덜 민감할 수 있는 물질을 포함할 수 있다. 실시예에서, MHD 전극(304)은 전도성 고체 산화물과 같은 전도성 세라믹을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, MHD 전극(304)은 액체 전극을 포함할 수 있다. 액체 전극은 전극 작동 온도에서 액체인 금속을 포함할 수 있다. 액체 금속은 용융 은과 같은 작동 매체 금속을 포함할 수 있다. 용융 전극 금속은 용융 금속이 함침된 매트릭스를 포함할 수 있다. 매트릭스는 W와 같은 금속, 탄소, 전도성일 수 있는 세라믹 또는 본 개시의 다른 내화 재료와 같은 내화 재료를 포함할 수 있다. 음극은 고체 내화 금속을 포함할 수 있다. 음극성은 음극이 산화되는 것을 방지할 수 있다. 양극은 액체 전극을 포함할 수 있다.

[0335] 실시예에서, 전도성 세라믹 전극은 ZrC, HfC 또는 WC 또는 ZrB_2 와 같은 붕소화물 또는 ZrC-ZrB₂, ZrC-ZrB₂-SiC 및 20% SiC 착화합물을 갖는 ZrB_2 와 같은 착화합물 등 본 개시의 하나를 포함할 수 있으며, 이것은 1800 ° C까지 작동할 수 있다. 전극은 탄소를 포함할 수 있다. 실시예에서, 복수의 액체 전극은 공통 매니폴드를 통해 액체 금속을 공급할 수 있다. 액체 금속은 EM 펌프에 의해 펌핑될 수 있다. 액체 전극은 산화 금속 매트릭스와 같은 세라믹 매트릭스와 같은 비반응성 매트릭스에 포획된 용융 금속을 포함할 수 있다. 대안적으로 이 액체 금속은 매트릭스를 통해 펌핑하여 용융 금속을 연속으로 공급할 수 있다. 실시예에서, 전극은 점화 전극과 같은 연속적으로 주입된 용융 금속을 포함할 수 있다. 주입기는 ZrO_2 등의 산화 금속과 같은 비반응성 내화성 물질을 포함할 수 있다. 실시예에서, 각 액체 전극은 MHD 채널 플라즈마에 노출된 용융 금속의 플로우 스트림을 포함할 수 있다.

[0336] MHD 자석(306)은 영구 자석 및 전자석 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 전자석(들)(306)은 상응하는 극저온 관리를 갖는 비냉각, 수랭 및 초전도 자석 중 적어도 하나일 수 있다. 예시적인 자석은 MHD 채널(308)을 자화할 수 있는 솔레노이드 또는 새들(saddle) 코일 및 디스크 채널을 자화할 수 있는 레이스 트랙 코일(racetrack coil)이다. 초전도 자석은 극저온 냉장고 및 극저온 듀어 시스템(cryogen-dewar system) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 초전도 자석 시스템(306)은 (i) 초전도체가 구리 도선과 같은 정상 도체에 피복될 수 있어서 일반적으로 YBCO-123 또는 간단히 YBCO로 지칭되는 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 과 같은 고온 초전도체(HTS) 또는 진동과 같은 수단에 의해 유도된 초전도체 상태의 과도 국부 쿼치로부터 보호될 수 있는, NbTi 또는 NbSn의 초전도체 와이어 권선을 포함할 수 있는 초전도 코일, (ii) 코일의 양쪽에 액체 헬륨을 제공하는 액체 헬륨 듀어, (iii) 액체 헬륨 및 액체 질소 듀어 모두가 구리, 스테인레스 강 및 알루미늄 중 적어도 하나를 포함할 수 있는 방사선 배플과 방사선 차폐물 및 벽에 고 진공 절연체를 포함할 수 있는, 솔레노이드 자석의 내외부 반경에 액체 질소를 갖춘 액체 질소 듀어, 및 (iv) 그의 출력 전원 단자를 통해 SunCell® 발전기의 전력 출력으로 전력을 공급받을 수 있는 크라이오펌프와 압축기가 부착될 수 있는 각각의 자석용 입구를 포함할 수 있다.

[0337] 일 실시예에서, 자기 유체 역학 전력 변환기는 세그먼트화된 패러데이 발전기이다. 다른 실시예에서, 이온 흐름의 로렌츠 편향에 의해 형성된 횡 방향 전류는 적어도 제 1 MHD 전극과 z-축을 따라 상대적으로 변위된 제 2 MHD 전극 사이에 홀 전압을 생성하기 위해 이온의 입력 흐름(z-축)에 평행한 방향으로 추가 로렌츠 편향을 겪는다. 그러한 장치는 자기 유체 역학 전력 변환기의 홀 발전기 실시예로서 당업계에 공지되어 있다. xy-평면에서 z-축에 대해 각이진 MHD 전극을 갖는 유사한 장치는 본 개시의 다른 실시예를 포함하며 "원도우 프레임" 구조를 갖는 대각선 발전기로 불린다. 각각의 경우에, 전압은 전기 부하를 통해 전류를 구동할 수 있다. 세그먼트화된, 패러데이 발전기, 홀 발전기 및 대각선 발전기의 실시예는 Petrick의 [J. F. Louis, V. I. Kovbasyuk,

Opencycle Magnetohydrodynamic Electrical Power Generation, M Petrick, and B. Ya Shumyatsky, Editors, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, (1978), pp. 157-163]에 나와있으며, 그의 전체 개시는 원 용에 의해 본 명세서에 포함된다.

[0338]

SunCell®은 적어도 하나의 MHD 작동 매체 복귀 도관(310), 하나의 복귀 저장소(311) 및 상응하는 펌프(312)를 포함할 수 있다. 펌프(312)는 전자기(EM) 펌프를 포함할 수 있다. SunCell®은 이중 용융 금속 도관(310), 복귀 저장소(311) 및 대응하는 EM 펌프(312)를 포함할 수 있다. 가장 낮은 저장소의 용융 금속 레벨의 높이에서 개 구를 가진 입구를 포함하는 상응하는 입구 라이저 튜브(5qa)는 각 복귀 저장소(311)에서 용융 금속 레벨을 제어 할 수 있다. 복귀 EM 펌프(312)는 MHD 응축기 채널(309)의 단부로부터 MHD 작동 매체를 펌핑시켜 저장소(311) 로 복귀시킨 다음 대응하는 주입기 저장소(5c)로 펌핑할 수 있다. 실시예에서, MHD 채널(308) 벽은 은의 융점 보다 높은 온도와 같은 온도로 유지되어 액체 고형화를 피할 수 있다. 다른 실시예에서, 용융 금속 복귀 흐름 은 복귀 도관(310)을 통해 상응하는 복귀 EM 펌프(312)로 그리고 이어서 해당 주입기 저장소(5c)로 직접적으로 전달된다. 실시예에서, 은과 같은 MHD 작동 매체는 약 10 기압과 같은 압력 구배에 대해 펌핑되어 주입, 점화, 팽창 및 복귀 흐름을 포함하는 용융 금속 흐름 회로를 완성한다. 고압을 달성하기 위해, EM 펌프는 일련의 단 계를 포함할 수 있다. SunCell®은 대응하는 저장소(5c)에서 용융 금속 레벨을 제어하기 위해 EM 펌프 주입기 (5ka 및 5k61) 및 입구 라이저 튜브(5qa)를 각각 포함하는 한 쌍의 저장소(5c)를 포함하는 이중 용융 금속 주입 기 시스템을 포함할 수 있다. 복귀 흐름은 대응하는 EM 펌프 조립체(5kk)의 기저부(5kk1)로 유입될 수 있다.

[0339]

MHD 발전기는 팽창 흐름을 수용하는 응축기 채널 섹션(309)을 포함할 수 있고 발전기는 복귀 흐름 채널 또는 도 관(310)을 더 포함하며, 여기서 은 증기와 같은 MHD 작동 매체는 응축기 섹션에서 온도, 압력 및 에너지 중 적 어도 하나를 잃을 때 냉각되고 채널 또는 도관(310)을 통해 저장소로 다시 흐른다. 발전기는 저장소(5c) 및 EM 펌프 주입기(5ka)로의 복귀 흐름을 펌핑하기 위해 적어도 하나의 복귀 펌프(312) 및 복귀 펌프 튜브(313)를 포 함할 수 있다. 복귀 펌프 및 펌프 튜브는 액체, 증기 및 가스 중 적어도 하나를 펌핑할 수 있다. 복귀 펌프 (312) 및 복귀 펌프 튜브(313)는 전자기(EM) 펌프 및 EM 펌프 튜브를 포함할 수 있다. EM 펌프로의 입구는 펌프 출구 압력을 증가시키기 위해 출구 펌프 튜브 직경보다 큰 직경을 가질 수 있다. 실시예에서, 복귀 펌프는 EM 펌프-주입기 전극(5ka)의 주입기를 포함할 수 있다. 이중 용융 금속 주입기 실시예에서, 발전기는 각각 복귀 EM 펌프(312)와 같은 대응하는 복귀 펌프를 구비한 복귀 저장소(311)를 포함한다. 복귀 저장소(311)는 용융된 은 흐름과 같은 복귀 용융 금속의 나머지 및 액체 은과 혼합된 응축 또는 분리된 은 증기 중 적어도 하나일 수 있 다. 저장소(311)는 은 증기를 응축시키기 위한 열 교환기를 포함할 수 있다. 저장소(311)는 액체 은을 우선적으 로 펌핑하여 기체 은으로부터 액체를 분리하기 위한 1 단계 전자기 펌프를 포함할 수 있다. 실시예에서, 액체 금속은 원심력에 의해 복귀 EM 펌프(312)로 선택적으로 주입될 수 있다. 복귀 도관 또는 복귀 저장소는 원심 분 리기 섹션을 포함할 수 있다. 원심 분리기 저장소는 입구에서 출구로 테이퍼질 수 있어서, 원심력이 바닥에서보 다 최상부에서 더 커져서 용융 금속을 바닥으로 강요하고 금속 증기 및 임의의작동 매체 가스와 같은 가스로부 터 분리시킨다. 대안적으로, SunCell®은 액체 및 기체 중을 분리하기 위한 원심력을 생성하기 위해 복귀 용융 금속의 흐름 방향에 수직인 축을 중심으로 회전하는 원심 분리기 테이블에 장착될 수 있다.

[0340]

실시예에서, 응축된 금속 증기는 2개의 독립적인 복귀 저장소(311)로 흐르고, 각각의 복귀 EM 펌프(312)는 용융 금속을 해당 저장소(5c)로 펌핑한다. 실시예에서, 2개의 복귀 저장소(311) 및 EM 펌프 저장소(5c) 중 적어도 하 나인 입구 라이저(5qa)와 같은 본 개시의 것과 같은 레벨 제어 시스템을 포함한다. 실시예에서, 복귀 용융 금속 은 복귀 저장소의 레벨에 따라 더 높거나 낮은 비율로 인해 복귀 저장소(311)로 흡입될 수 있으며, 흡입 속도는 입구 라이저와 같은 해당 레벨 제어 시스템에 의해 제어된다.

[0341]

실시예에서, MHD 변환기(300)는 유도 결합 히터와 같은 적어도 하나의 히터를 더 포함할 수 있다. 히터는 반응 셀 챔버(5b31), MHD 노즐 섹션(307), MHD 발전기 섹션(308), MHD 응축 섹션(309), 복귀 도관(310), 복귀 저장 소(311), 복귀 EM 펌프(312) 및 복귀 EM 펌프 튜브(313) 중 적어도 하나와 같은 MHD 작동 매체와 접촉하는 구성 요소를 예열할 수 있다. 히터는 히터를 결합 및 수축시키기 위한 적어도 하나의 작동기를 포함할 수 있다. 히터 는 복수의 코일 및 코일 섹션 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 코일은 당업계에 공지된 것을 포함할 수 있다. 코일 섹션은 본 개시의 것과 같은 적어도 하나의 분할 코일을 포함할 수 있다. 실시예에서, MHD 변환기는 열 교 환기(316)와 같은 적어도 하나의 냉각 시스템을 포함할 수 있다. MHD 변환기는 챔버(5b31), MHD 노즐 섹션 (307), MHD 자석(306), MHD 전극(304), MHD 발전기 섹션(308), MHD 응축 섹션(309), 복귀 도관(310), 복귀 저 장소(311), 복귀 EM 펌프(312) 및 복귀 EM 펌프 튜브(313)의 그룹 중 적어도 하나와 같은 적어도 하나의 셀 및 MHD 구성요소용 냉각기를 포함할 수 있다. 냉각기는 챔버(5b31), MHD 노즐 섹션(307), MHD 발전기 섹션(308) 및 MHD 응축 섹션(309) 중 적어도 하나로부터 손실된 열과 같은 MHD 흐름 채널로부터 손실된 열을 제거할 수 있다.

냉각기는 복귀 도관(310), 복귀 저장소(311), 복귀 EM 펌프(312) 및 복귀 EM 펌프 튜브(313) 중 적어도 하나와 같은 MHD 작동 매체 복귀 시스템으로부터 열을 제거할 수 있다. 냉각기는 주변 대기로의 열을 방출할 수 있는 복사 열 교환기를 포함할 수 있다.

[0342] 실시예에서, 냉각기는 응축 섹션(309)으로부터 저장소(5c), 반응 셀 챔버(5b31), 노즐(307) 및 MHD 채널(308) 중 적어도 하나로 에너지를 전달하는 재순환기 또는 복열기를 포함할 수 있다. 열과 같은 전달된 에너지는 남은 열 에너지, 압력 에너지, 및 작동 매체의 기화열 중 적어도 하나, 예컨대 기화된 금속, 동역학적 에어로졸, 및 영족 기체와 같은 가스를 포함하는 것을 포함할 수 있다. 열 파이프는 수십도 온도 강하로써 수 미터 거리에서 최대 20 MW/m^2 와 같은 큰 열 유속을 전달할 수 있는 수동 2-상 장치이며, 따라서 소량의 작동 유체만 사용하여 재료의 열 응력을 크게 감소시킨다. 나트륨 및 리튬 열 파이프는 큰 열 연도(heat flue)를 전달할 수 있으며 추방향을 따라 거의 등온으로 유지된다. 리튬 열 파이프는 최대 200 MW/m^2 까지 전달할 수 있다. 실시예에서, W와 같은 내화 금속에 봉입된 나트륨 또는 리튬과 같은 액체 알칼리 금속과 같은 용융 금속과 같은 열 파이프는 응축기 (309)로부터 열을 전달하여 이를 반응 셀 챔버(5b31) 또는 노즐(307)로 재순환시킬 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 열 파이프는 기화 중의 온 열을 회수하고 이를 재순환시켜 회수된 열 전력이 MHD 채널(308)에 입력된 전력의 일부가 되게 한다.

[0343] 실시예에서, MHD 변환기를 포함하는 것과 같은 SunCell®의 구성요소 중 적어도 하나는 SunCell® 발전기의 한 부품으로부터 다른 부품으로의 열 전달 및 유도 결합 히터와 같은 히터로부터 EM 펌프 튜브(5k6), 저장소(5c), 반응 셀 챔버(5b31) 및 MHD 용융 금속 복귀 시스템, 예컨대 MHD 복귀 도관(310), MHD 복귀 저장소(311), MHD 복귀 EM 펌프(312) 및 MHD 복귀 EM 튜브와 같은 SunCell® 구성요소로의 열 전달 중 적어도 하나에 대한 열 파이프를 포함할 수 있다. 대안적으로, SunCell® 또는 적어도 하나의 구성요소는 당업계에 공지된 것과 같은 오픈 내에서 가열될 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 SunCell® 구성요소는 적어도 작동 개시를 위해 가열될 수 있다.

[0344] SunCell® 히터(415)는 저항 히터나 유도 결합 히터일 수 있다. 예시적 SunCell® 히터(415)는 Kanthal A-1(칸탈) 저항 가열 와이어를 포함하며, 이는 1400°C 의 작동 온도까지 작동할 수 있으며 높은 저항과 양호한 산화 저항을 갖는 철-크롬-알루미늄 합금(FeCrAl 합금)이다. 적합한 가열 요소를 위한 추가의 FeCrAl 합금은 Kanthal APM, Kanthal AF, Kanthal D 및 Alkrothal 가운데 적어도 하나이다. 저항 와이어 요소와 같은 가열 요소는 Nikrothal 80, Nikrothal 70, Nikrothal 60 및 Nikrothal 40 가운데 적어도 하나와 같은 $1100^\circ \text{C} \sim 1200^\circ \text{C}$ 범위에서 작동할 수 있는 NiCr 합금을 포함할 수 있다. 대안적으로, 히터(415)는 산화 대기 및 $1500^\circ \text{C} \sim 1800^\circ \text{C}$ 의 범위 하에서 작동할 수 있는 Kanthal Super 1700, Kanthal Super 1800, Kanthal Super 1900, Kanthal Super RA, Kanthal Super ER, Kanthal Super HT 및 Kanthal Super NC 가운데 적어도 하나와 같은 이규화 몰리브덴(MoSi_2)을 포함할 수 있다. 가열 요소는 알루미늄과 합금이 된 이규화 몰리브덴(MoSi_2)을 포함할 수 있다. 가열 요소는 알루미늄 코팅과 같은 산화 내성의 코팅을 가질 수 있다. 저항 히터(415)의 가열 요소는 1625°C 까지의 온도에서 작동할 수 있는 SiC를 포함할 수 있다.

[0345] SunCell® 히터(415)는 외부에 대해서는 개방되지만 SunCell® 구성요소의 내부에 대해서는 닫힌 구성요소 벽의 열전대 보호관이나 함요 부위를 통해 도입될 수 있다. SunCell® 히터(415)는 내부 저항 히터를 포함할 수 있으며 여기서 가열된 SunCell® 구성요소의 벽 전체에서 발생하는 자기 유도에 의해 혹은 가열된 SunCell® 구성요소의 벽을 통과하는 액체 전극에 의해 내부 히터와 전력이 결합될 수 있다.

[0346] SunCell® 히터는 그 효율 및 효과 가운데 적어도 하나를 증가시키는 절연체를 포함할 수 있다. 절연체는 알루미늄-실리케이트를 포함하는 절연체와 같은 당업자에게 알려진 세라믹을 포함할 수 있다. 절연체는 제거가능하거나 가역적이거나 가운데 적어도 하나일 수 있다. 이 절연체는 기계적으로 제거할 수 있다. 이 절연체는 진공 작업이 가능한 챔버와 펌프를 포함할 수 있으며, 진공을 만들어 절연이 적용되고 헬륨과 같은 영족 기체 등의 열 전달 기체를 추가하여 절연이 가역적이게 된다. 추가나 펌핑으로 제거 가능한 헬륨과 같은 열 전달 기체를 갖춘 진공 챔버는 조절가능한 절연체의 역할을 할 수 있다. SunCell®은 열 절연 모드에서 비 열 절연 모드로 변경시키는 활성화로 강제 대류에 의한 열 전달을 유발시키는 기체 순환 시스템을 포함할 수 있다.

[0347] 다른 실시예에서, SunCell®은 입자 절연체 그리고 SunCell®의 예열 동안 절연체를 담기 위해 열 절연할 구성 요소에 관한 적어도 하나의 챔버를 갖는 적어도 하나의 절연체 저장소를 포함할 수 있다. 예시적 입자 절연체는 모래 그리고 알루미늄과 같은 세라믹 비드나 멀라이트 비드와 같은 알루미늄-실리케이트 비드 가운데 적어도 하나를 포함한다. 이 비드는 예열 이후 제거될 수 있다. 비드는 중력 흐름에 의해 제거될 수 있으며 여기서 그 하

우징은 비드 제거용 슈트(shoot)를 포함할 수 있다. 비드는 또한 오거, 컨베이어 또는 공압 펌프와 같은 비드 운반장치로 기계적으로도 제거할 수 있다. 입자 절연체는 절연체 저장소를 채울 때 흐름을 증가시키는 물과 같은 액체 등의 유동화제를 더욱 포함할 수 있다. 이 액체는 가열 전에 제거하고 절연체 운반 동안 추가할 수 있다. 절연체-액체 혼합물은 슬러리를 포함할 수 있다. SunCell®은 절연체 저장소에서 절연체를 충전하거나 비우기 위한 적어도 하나의 추가 저장소를 포함할 수 있다. 충전 저장소는 교반기와 같은 슬러리를 유지하는 수단을 포함할 수 있다.

[0348] 실시예에서, SunCell®은 절연하는 구성요소 주위에 있는 액체 절연체 저장소, 액체 절연체 그리고 시동 후 배수되거나 펌프로 제거될 수 있는 액체를 포함할 수 있는 가역적 절연체를 위한 펌프를 더욱 포함할 수 있다. 액체 절연체 저장소는 벽이 얇은 석영을 포함할 수 있다. 예시적 액체 절연체는 열전달 계수가 29 W/m K인 갈륨이며, 다른 것으로 8.3 W/m K의 열전달 계수를 갖는 수은이다. 액체 절연체는 적어도 하나의 복사 차폐부를 포함할 수 있으며 갈륨과 같은 액체가 복사를 반사한다. 다른 실시예에서, 액체 절연체는 알칼리 및 알칼리 토류 할로젠화물, 탄산염, 수산화물, 산화물, 황산염 및 질산염 중 적어도 두 가지의 복수의 혼합물과 같은 염의 용융 공융 혼합물과 같은 용융 염을 포함할 수 있다. 액체 절연체는 CO₂나 물과 같은 가압된 액체나 초임계 액체를 포함할 수 있다.

[0349] 실시예에서, 가역적 절연체는 적어도 은과 같은 용융 금속의 용점 근처 내지 SunCell® 작동 온도 근처의 범위에 속하는 온도에 따른 열 전도율을 유의하게 증가시키는 물질을 포함할 수 있다. 가역적 절연체는 가열 동안 절연시킬 수 있으며 희망하는 시동 온도 이상의 온도에서 열적으로 전도성이 되는 고체 화합물을 포함할 수 있다. 석영은 은의 용점부터 약 1000 °C ~ 1600 °C의 석영 SunCell®의 희망하는 작동 온도까지의 온도 범위에 걸쳐 열 전도율의 유의한 증가를 갖는 예시적 절연 재료이다. 석영 절연체 두께는 시동 동안 그리고 작동 동안 부하로의 열 전달에 대해 희망하는 거동을 성취하도록 조절할 수 있다. 다른 예시적 실시예는 고도로 다공성인 반투명 세라믹 재질을 포함한다.

[0350] 다른 실시예에서, 가열된 SunCell®로부터 열 손실은 주로 복사에 의한 것이다. 절연체는 SunCell® 하우징인 진공 챔버 및 복사 차폐부 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 복사 차폐부는 시동 후 제거할 수 있다. SunCell®은 열 차폐의 회전 및 병진 가운데 적어도 하나에 대한 장치를 포함할 수 있다. 열 차폐부는 실리카나 알루미늄 절연체와 같은 절연체의 뒤판 층을 더욱 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 복사 차폐부는 반사 표면적을 감소시키기 위해 회전시킬 수 있다. 다른 실시예에서, 복사 차폐부는 MoSi₂ 가열 요소와 같은 가열 요소를 더욱 포함할 수 있다.

[0351] 실시예에서, EM 펌프 튜브 섹션들(405 및 406)에서 유도되는 것과 같은 유도 전류는 EM 펌프 섹션(405)에서 저항 가열에 의해 은의 용융을 초래할 수 있다. 전류는 EM 펌프 변압기 권선(401)에 의해 유도될 수 있다. EM 펌프 튜브 섹션(405)에는 시동 전에 은을 미리 로딩할 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 반응의 열은 하나의 SunCell® 구성요소를 가열할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 유도 결합 히터와 같은 히터는 EM 펌프 튜브(5k6), 저장소(5c) 및 반응 셀 챔버(5b31)의 적어도 바닥 부분을 가열한다. 적어도 하나의 다른 구성요소는 반응 셀 챔버(5b31)의 최상부, MHD 노즐(307), MHD 채널(308), MHD 응축 섹션(309), 및 MHD 용융 금속 복귀 시스템, 예컨대 MHD 복귀 도관(310), MHD 복귀 저장소(311), MHD 복귀 EM 펌프(312) 및 MHD 복귀 EM 튜브 중 적어도 하나와 같은 하이드리노 반응의 열 방출에 의해 가열될 수 있다.

[0352] H₂O, H₂ 및 O₂ 중 적어도 하나와 같은 하이드리노 반응물 소스는 셀 챔버(5b31), 저장소(5c), MHD 팽창 채널(308) 및 MHD 응축 섹션(309) 중 적어도 하나와 같은 투과성 셀 구성요소를 통해 투과될 수 있다. 하이드리노 반응 가스는 EM 펌프 튜브(5k6), MHD 팽창 채널(308), MHD 응축 섹션(309), MHD 복귀 도관(310), 복귀 저장소(311), MHD 복귀 펌프(312), 및 MHD 복귀 EM 펌프 튜브(313)를 통하는 것과 같은 적어도 하나의 위치에서 용융 금속 스트림으로 도입될 수 있다. 질량 흐름 제어기와 같은 가스 주입기는 EM 펌프 튜브(5k6), MHD 복귀 펌프(312) 및 MHD 복귀 EM 펌프 튜브(313) 중 적어도 하나를 통해 MHD 변환기의 고압 측에 고압으로 주입할 수 있다. 가스 주입기는 MHD 응축 섹션(309), MHD 복귀 도관(310) 및 복귀 저장소(311)를 통하는 것과 같은 적어도 하나의 위치와 같은 MHD 변환기의 저압 측의 저압에서 하이드리노 반응물을 주입할 수 있다. 실시예에서, 물 및 수증기 중 적어도 하나는 압력 어레스터 및 역류 체크 밸브를 더 포함할 수 있는 질량 흐름 제어기와 같은 흐름 제어기에 의해 EM 펌프 튜브(5k4)를 통해 주입될 수 있으며, 이는 용융된 금속이 물 공급기로 다시 유입되는 것을 방지한다. 물은 세라믹 또는 탄소 막과 같은 선택적 투과성인 막을 통해 주입될 수 있다.

[0353] 실시예에서, 변환기는 PV 변환기를 포함할 수 있으며, 하이드리노 반응물 주입기는 전달 부위의 작동 압력에서

침투부 또는 주입부와 같은 수단 중 적어도 하나에 의해 반응물을 공급할 수 있다. 다른 실시예에서, SunCell®은 수소 가스 소스 및 산소 가스 소스를 더 포함할 수 있고, 여기서 2개의 가스는 반응 셀 챔버(5b31)에서 수증기를 제공하도록 조합된다. 수소 소스 및 산소 소스는 상응하는 탱크, 가스를 반응 셀 챔버(5b31) 내로 직접 또는 간접적으로 유동시키는 라인, 흐름 조절기, 흐름 제어기, 컴퓨터, 유량 센서, 및 적어도 하나의 밸브 중 적어도 하나를 각각 포함할 수 있다. 후자의 경우, 가스는 EM 펌프(5ka), 저장소(5c), 노즐(307), MHD 채널(308) 및 다른 MHD 변환기 구성요소, 예컨대 임의의 복귀 라인(310a), 도관(313a) 및 펌프(312a) 중 적어도 하나와 같은 반응 셀 챔버(5b31)와 가스 연속성으로 챔버 내로 유동될 수 있다. 실시예에서, H₂ 및 O₂ 중 적어도 하나는 EM 펌프 튜브(5k61)의 주입 섹션으로 주입될 수 있다. O₂ 및 H₂는 이중 EM 펌프 주입기의 개별 EM 펌프 튜브를 통해 주입될 수 있다. 대안적으로, 산소 및 수소 중 적어도 하나와 같은 가스는 MHD 채널(308) 또는 MHD 응축 섹션(309)과 같은 응기압이 낮은 영역에서 주입기를 통해 셀 내부에 첨가될 수 있다. 수소 및 산소 중 적어도 하나는 나노-다공성 세라믹 막과 같은 세라믹 막과 같은 선택적 막을 통해 주입될 수 있다. 산소는 산소 투과율을 증가시키기 위해 Bi₂₆Mo₁₀O₆₉로 코팅될 수 있는 BaCo_{0.7}Fe_{0.2}Nb_{0.1}O_{3-δ} (BCFN) 산소 투과성 막과 같은 본 개시의 것과 같은 산소 투과성 막을 통해 공급될 수 있다. 수소는 팔라듐-은 합금 막과 같은 수소 투과성 막을 통해 공급될 수 있다. SunCell®은 고압 전해조와 같은 전해조를 포함할 수 있다. 전해조는 캐소드 격실에 의해 순수한 수소가 공급될 수 있는 양성자 교환 막을 포함할 수 있다. 애노드 격실에 의해 순수한 산소가 공급될 수 있다. 실시예에서, EM 펌프 부품은 비산화 코팅 또는 산화 보호 코팅으로 코팅되고, 수소 및 산소는 2개의 질량 흐름 제어기를 사용하여 제어된 조건하에서 개별적으로 주입되며, 여기서 흐름은 대응하는 가스 센서에 의해 감지된 셀 농도에 기초하여 제어될 수 있다.

[0354] 반응 셀 챔버(5b31)의 하이드리노 반응 혼합물은 H₂O 및 산소를 포함하는 화합물 중 적어도 하나와 같은 산소 소스를 더 포함할 수 있다. 산소를 포함하는 화합물과 같은 산소 소스는 거의 일정한 산소 소스 인벤토리를 유지하기 위해 과잉일 수 있으며, 셀 작동 동안 소량의 부분은 H₂ 가스와 같은 공급된 H 소스와 가역적으로 반응하여 HOH 촉매를 형성한다. 산소를 포함하는 예시적 화합물은 Ga(OH)₃, 수화된 갈륨 산화물, Al(OH)₃와 같은 수산화물, GaOOH, AlOOH 및 FeOOH와 같은 옥시수산화물, MgO, CaO, SrO, BaO, ZrO₂, HfO₂, Al₂O₃, Li₂O, LiVO₃, Bi₂O₃, Al₂O₃, WO₃와 같은 산화물 그리고 본 개시의 다른 것들이다. 산소 소스 화합물은 이트리아 또는 하프니아와 같은 산화 세라믹, 예컨대 이트륨 산화물(Y₂O₃), 산화 마그네슘(MgO), 산화 칼슘(CaO), 산화 스트론튬(SrO), 탄탈륨 산화물(Ta₂O₅), 산화 붕소(B₂O₃), TiO₂, 산화 세륨(Ce₂O₃), 스트론튬 지르코네이트(SrZrO₃), 마그네슘 지르코네이트(MgZrO₃), 칼슘 지르코네이트(CaZrO₃) 및 바륨 지르코네이트(BaZrO₃)을 안정화하는데 사용되는 것일 수 있다.

[0355] 실시예에서, 수소는 기체 주입기를 통해 기체로서 주입될 수 있다. 수소 기체는 1 ~ 100 기압의 범위와 같은 상승된 압력에서 유지하여 원하는 전력을 유지하는데 요구되는 유속을 감소시킬 수 있다. 다른 실시예에서, 산소는 투과성 막에 걸친 투과나 확산에 의해 반응 셀 챔버(5b31)로 공급될 수 있다. 이 막은 중합체, 실리카, 제올라이트, 알루미늄, 지르코니아, 하프니아, 탄소와 같은 세라믹 또는 Pd-Ag 합금, 니오븀, Ni, Ti, 스테인레스강 또는 그 전문이 참고문헌으로 포함되며 McLeod에 의해 [L. S. McLeod, "미세제조된 백금-은 합금 막을 통한 수소 투과", 박사학위 논문Georgia Institute of Technology, 12월, (2008),

[0356] https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/31672/mcleod_logan_s_200812_phd.pdf]에서 보고된 것과 같은 당업계에 알려진 다른 수소 투과성 재질을 포함할 수 있다. H₂ 투과 속도는 Pd 혹은 Pd-Ag 막과 같은 H₂ 투과성 막의 공급 측과 반응 셀 챔버(5b31) 사이의 압력 차이에 대한 증가, 막의 표면적 증가, 막의 두께 감소 및 막의 온도 상승 가운데 적어도 하나에 의해 증가될 수 있다. 그 막은 약 1 ~ 500 기압 범위와 같은 더 높은 압력 차이, 약 0.01 cm² ~ 10 m² 범위와 같은 더 넓은 면적, 10 nm ~ 1 cm 범위와 같은 감소된 두께 및 약 30 °C ~ 3000 °C의 범위와 같은 상승된 온도 가운데 적어도 하나의 조건 하에서 작동하도록 구조적 지지대를 제공하는 격자나 다공의 뒤판을 포함할 수 있다. 이 격자는 수소와 반응하지 않는 금속을 포함할 수 있다. 격자는 수소 취화에 내성일 수 있다. 예시적 실시예에서, 투과 계수 $5 \times 10^{-11} \text{ m m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, 면적 $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 및 두께 $1 \times 10^{-4} \text{ m}$ 를 갖는 Pd-Ag 합금 막이 $1 \times 10^7 \text{ Pa}$ 의 압력 차이와 300 °C의 온도에서 작동하여 약 0.01 moles/s의 H₂ 유속을 제공한다. 실시예에서, 투과 속도는 투과성 막의 외부 표면 상에서 플라즈마를 유지하여 증가될 수 있다.

[0357] 실시예에서, 저장소(5c)와 같은 내부 격실, 반응 셀 챔버(5b31), 노즐(307), MHD 채널(308), MHD 응축 섹션(309) 및 다른 MHD 변환기 구성요소, 예컨대 임의의 복귀 라인(310a), 도관(313a) 및 펌프(312a)를 포함하는 SunCell® 및 MHD 변환기의 적어도 하나의 구성요소는 가스 밀봉 하우징 또는 챔버에 수용되며, 챔버 내의 가스는 가스 투과성 및 은 증기 불투과성 막을 가로 질러 확산함으로써 내부 셀 가스와 평형을 이룬다. 가스 선택적 막은 본 개시의 하나와 같은 반투과성 세라믹을 포함할 수 있다. 셀 가스는 수소, 산소 및 아르곤 또는 헬륨과 같은 영족 기체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 외부 하우징은 각각의 가스에 대한 압력 센서를 포함할 수 있다. SunCell®은 각각의 가스에 대한 소스 및 제어기를 포함할 수 있다. 아르곤과 같은 영족 기체의 소스는 탱크를 포함할 수 있다. 수소 및 산소 중 적어도 하나의 소스는 고압 전해조와 같은 전해조를 포함할 수 있다. 가스 제어기는 흐름 제어기, 가스 조절기 및 컴퓨터 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 하우징 내의 가스 압력은 저장소, 반응 셀 챔버 및 MHD 변환기 구성요소와 같은 셀 내부의 각각의 가스의 가스 압력을 제어하도록 제어될 수 있다. 각각의 가스의 압력은 약 0.1 Torr 내지 20 기압의 범위일 수 있다. 도 9 내지 도 21에 도시된 예시적인 실시예에서, 직선형, 발산형 또는 수렴형일 수 있는 MHD 채널(308) 및 MHD 응축 섹션(309)은 가스 하우징(309b), 압력 게이지(309c), 그리고 가스 입구 라인, 가스 출구 라인 및 플랜지를 포함하는 가스 공급 및 배출 조립체(309e)를 포함하며, 여기서 가스 투과성 막(309d)은 MHD 응축 섹션(309)의 벽에 장착될 수 있다. 장착부는 소결 조인트, 금속화 세라믹 조인트, 브레이징 조인트 또는 본 개시의 다른 것을 포함할 수 있다. 가스 하우징(309b)은 액세스 포트를 더 포함할 수 있다. 가스 하우징(309b)은 SS 625와 같은 내산화성 금속과 같은 금속 또는 몰리브덴과 같은 적합한 CTE의 금속 상의 이리듐 코팅과 같은 내산화성 코팅을 금속 상에 포함할 수 있다. 대안적으로, 가스 하우징(309b)은 지르코니아, 알루미늄, 마그네시아, 하프니아, 석영 또는 본 개시의 다른 것과 같은 금속 산화물 세라믹과 같은 세라믹을 포함할 수 있다. MHD 복귀 도관(310)과 같은 금속 가스 하우징(309b)을 통한 세라믹 관통부는 냉각될 수 있다. 관통부는 탄소 실을 포함할 수 있으며, 여기서 실 온도는 금속의 탄화 온도 및 세라믹의 탄소 환원 온도보다 더 낮다. 고온 용융 금속이 냉각되도록 실이 제거될 수 있다. 실은 수동 또는 강제 공랭 또는 수랭과 같은 냉각을 포함할 수 있다.

[0358] 예시적인 실시예에서, 전기로의 MHD 변환 동안 흑체 플라스마 초기 및 최종 온도는 3000 K 및 1300 K이다. 실시예에서, MHD 발전기는 플라스마 흐름을 유지하기 위해 저압 측에서 냉각된다. 홀 또는 발전기 채널(308)은 냉각될 수 있다. 냉각 수단은 본 개시의 것일 수 있다. MHD 발전기(300)는 복사 열 교환기와 같은 열 교환기(316)를 포함할 수 있으며, 열 교환기는 약 1000 °C 내지 1500 °C의 범위와 같은 원하는 최저 채널 온도 범위를 유지하기 위해 온도의 함수로서 전력을 방출하도록 설계될 수 있다. 복사 열 교환기는 그 크기 및 중량 중 적어도 하나를 최소화하기 위해 높은 표면을 포함할 수 있다. 복사 열 교환기(316)는 복사 표면적을 증가시키기 위해 피라미드형 또는 프리즘 면으로 구성될 수 있는 복수의 표면을 포함할 수 있다. 복사 열 교환기는 공기 중에서 작동할 수 있다. 복사 열 교환기의 표면은 (i) 내화 재료와 같은 고온 작동이 가능하며, (ii) 높은 방사율을 가지며, (iii) 산화에 안정하고 방출이 방해받거나 막히지 않는 텍스처 표면과 같은 높은 표면적을 제공하는 그룹 중 적어도 하나의 특성을 갖는 재료로 코팅될 수 있다. 예시적인 재료는 MgO, ZrO₂, HfO₂, Al₂O₃와 같은 산화물과 같은 세라믹 및 ZrC-ZrB₂ 및 ZrC-ZrB₂-SiC 착화합물과 같은 다른 산화 안정화 세라믹이다.

[0359] 발전기는 재생기 또는 재생 열 교환기를 더 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 온도를 유지하기 위해 셀 반응 챔버(5b31) 내로 주입된 금속을 예열하기 위해 팽창 섹션(308) 또는 다른 열 손실 영역에서 열을 수용하기 위해 역류 방식으로 통과 후 주입 시스템으로 흐름이 복귀된다. 실시예에서, 은 및 귀금속 중 적어도 하나와 같은 작동 매체, 저장소(5c)와 같은 셀 구성요소, 반응 셀 챔버(5b31), 및 MHD 변환기 구성요소, 예컨대 저장소(5c), 반응 셀 챔버(5b31), MHD 노즐 섹션(307), MHD 발전기 섹션(308) 및 MHD 응축 섹션(309) 중 적어도 하나와 같은 다른 고온 구성요소 중 적어도 하나는 적어도 하나의 다른 셀 또는 MHD 구성요소, 예컨대 저장소(5c), 반응 셀 챔버(5b31), MHD 노즐 섹션(307), MHD 발전기 섹션(308) 및 MHD 응축 섹션(309)의 그룹 중 적어도 하나로부터의 열을 수용하는 열 교환기에 의해 가열될 수 있다. 재생기 또는 재생 열 교환기는 열을 하나의 구성요소로부터 다른 구성요소로 전달할 수 있다.

[0360] 실시예에서, SunCell®은 오버플로우 탱크, 적어도 하나의 펌프, 셀 용융 금속 인벤토리 센서, 용융 금속 인벤토리 제어기, 히터, 온도 제어 시스템 및 적어도 하나의 센서 및 제어기에 의해 결정될 수 있는 바와 같이 SunCell®에 필요한 용융 금속을 저장 및 공급하기 위한 용융 금속 인벤토리를 포함하는 것과 같은 용융 금속 오버플로우 시스템을 더 포함할 수 있다. 오버플로우 시스템의 용융 금속 인벤토리 제어기는 입구 라이저 튜브 및 EM 펌프와 같은 본 개시의 용융 금속 레벨 제어기를 포함할 수 있다. 오버플로우 시스템은 MHD 복귀 도관(310), 복귀 저장소(311), 복귀 EM 펌프(312) 및 복귀 EM 펌프 튜브(313) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0361] 전자기 펌프는 각각 액체 금속을 위한 다음의 2가지 주요 유형의 전자기 펌프 중 하나를 포함할 수 있다: AC 또는 DC 자기장이 액체 금속을 수용하는 튜브를 가로지르게 설정되고 AC 또는 DC 전류가 각각 튜브 벽에 각각 연결된 액체 관통 전극으로 공급되는 AC 또는 DC 전도 펌프; 및 전류가 인가된 AC 전자기장과 교차될 수 있는 유도 모터에서와 같이 이동 필드가 요구 전류를 유도하는 유도 펌프. 유도 펌프는 환형 선형, 편평한 선형 및 나선형의 3가지 주요 형태를 포함할 수 있다. 펌프는 기계식 및 열전 펌프와 같은 당업계에 공지된 다른 것을 포함할 수 있다. 기계식 펌프는 모터 구동식 임펠터를 구비한 원심 펌프를 포함할 수 있다. 전자기 펌프에 대한 전력은 일정하거나 펄스형으로 이루어져 상응하는 용융 금속의 일정하거나 펄스형 주입을 초래할 수 있다. 펄스형 주입은 프로그램이나 함수 발생기에 의해 구동될 수 있다. 펄스형 주입은 반응 셀 챔버에서 펄스형 플라즈마를 유지할 수 있다.
- [0362] 실시예에서, EM 펌프 튜브(5k6)는 간헐적 또는 펄스형 용융 금속의 주입을 초래하는 플로우 초퍼(flow chopper)를 포함한다. 이 초퍼는 제어기를 더 포함하는 전자적으로 제어되는 밸브와 같은 밸브를 포함할 수 있다. 이 밸브는 솔레노이드 밸브를 포함할 수 있다. 대안적으로 초퍼는 주기적으로 회전하여 용융 금속의 흐름을 가로지름으로써 용융 금속이 통로를 통해 흐를 수 있도록 하는 적어도 하나의 통로를 갖춘 회전 디스크를 포함할 수 있는데, 이 통로에서 그 흐름이 통로를 포함하지 않는 회전 디스크의 부분들에 의해 차폐된다.
- [0363] 용융 금속 펌프는 그 전체가 원용에 의해 포함되는, MG Hvasta, WK Nollet, MH Anderson의 "Designing moving magnet pumps for high-temperature, liquid-metal systems", Nuclear Engineering and Design, Volume 327, (2018), pp. 228-237에 설명된 것과 같은 이동 자석 펌프(MMP)를 포함할 수 있다. MMP는 영구 자석 및 다상 필드 코일의 스피닝 어레이 중 적어도 하나를 갖는 이동 자기장을 생성할 수 있다. 실시예에서, MMP는 MHD 재순환 및 점화 분사를 위한 2단계 펌프와 같은 다단계 펌프를 포함할 수 있다. 2단계 MMP 펌프는 샤프트를 회전시키는 전기 모터와 같은 모터를 포함할 수 있다. 2단계 MMP는 각각의 드럼 표면에 고정된 교번 극성의 원주 방향으로 장착된 자석 세트 및 드럼을 수용하는 U 자형 부분을 갖는 세라믹 용기를 포함하는 2개의 드럼을 더 포함할 수 있으며, 각각의 드럼은 세라믹 용기에 용융 금속이 흐르게 야기하는 샤프트에 의해 회전될 수 있다. 다른 MMP 실시예에서, 교번 자석의 드럼은 디스크의 회전에 의해 펌핑되는 용융 금속을 수용하는 사이에 끼인 스트립 세라믹 용기의 대향하는 부위에 있는 각각의 디스크 표면상의 교번 극성 자석의 2개의 디스크로 대체된다. 다른 실시예에서, 용기는 본 개시의 것과 같은 스테인레스 강 또는 세라믹과 같은 비철 금속과 같은 자기장 투과성 재료를 포함할 수 있다. 자석은 승온에서의 작동을 허용하기 위해 공랭 또는 수랭과 같은 수단에 의해 냉각될 수 있다.
- [0364] 예시적인 상업용 AC EM 펌프는 CMI Novacast CA15이며, 여기서 가열 및 냉각 시스템은 용융된 은의 펌핑을 지원하도록 변형될 수 있다. 입구 및 출구 섹션을 포함하는 EM 펌프 튜브의 히터 및 은을 수용하는 용기는 저항 또는 유도 결합 히터와 같은 본 개시의 히터에 의해 가열될 수 있다. 저항 또는 유도 결합 히터와 같은 히터는 EM 펌프 튜브의 외부에 있을 수 있고 히터에서 EM 펌프 튜브로 열을 전달하기 위한 열 파이프와 같은 열 전달 수단을 더 포함한다. 열 파이프는 리튬 작동 유체를 갖는 것과 같은 고온에서 작동할 수 있다. EM 펌프의 전자석은 수랭식 루프 및 냉각기와 같은 본 개시의 시스템에 의해 냉각될 수 있다.
- [0365] 실시예에서(도4 내지 도 22), EM 펌프(400)는 은에 대한 로렌츠 힘이 은을 통한 시변 전류 및 교차 동기화된 시변 자기장에 의해 생성되는 AC 유도 유형을 포함할 수 있다. 은을 통한 시변 전류는 EM 펌프 변압기 권선 회로(401a)에 의해 생성된 제 1 시변 자기장의 패러데이 유도에 의해 생성될 수 있다. 제 1 시변 자기장의 소스는 1차 변압기 권선(401)을 포함할 수 있고, 은은 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션 및 EM 펌프 전류 루프 복귀 섹션(406)을 포함하는 단일 턴 단락 권선과 같은 2차 변압기 권선으로서 작용할 수 있다. 1차 권선(401)은 AC 전자석을 포함할 수 있으며, 여기서 제 1 시변 자기장은 자기 회로 또는 EM 펌프 변압기 요크(402)에 의해 은(405 및 406)의 원주 루프, 유도 전류 루프를 통해 전도된다. 은은 질화규소(MP 1900°C), 석영, 알루미늄, 지르코니아, 마그네시아 또는 하프니아와 같은 본 개시의 세라믹을 포함하는 것과 같은 세라믹 용기(405 및 406)와 같은 용기에 수용될 수 있다. 제어된 수동 산화에 의해 실리콘 아질산염 상에 보호 SiO_2 층이 형성될 수 있다. 용기는 자기 회로 또는 EM 펌프 변압기 요크(402)를 둘러싸는 채널(405 및 406)을 포함할 수 있다. 용기는 평탄화된 섹션(405)을 포함하여, 유도 전류가 동기화된 시변 자기장에 수직 방향으로 유동 성분 및 대응하는 로렌츠 힘에 따라 원하는 펌프 유동 방향을 갖도록 할 수 있다. 교차 동기화된 시변 자기장은 AC 전자석(403) 및 EM 펌프 전자기 요크(404)를 포함하는 EM 펌프 전자기 회로 또는 조립체(403c)에 의해 생성될 수 있다. 자기 요크(404)는 은을 포함하는 용기(405)의 평평한 섹션에서 갭을 가질 수 있다. EM 펌프 변압기 권선 회로(401a)의 전자석(401) 및 EM 펌프 전자기 조립체(403c)의 전자석(403)은 단일 위상 AC 전원 또는 당업계에 공지된 다른 적절한 전원에 의해 전력을 공급받을 수 있다. 자석은 원하는 전류 벡터 성분이 존재하도록 루프 굴곡부에 가깝게

위치될 수 있다. 변압기 권선(401) 및 전자석 권선(403)에 전력을 공급하는 AC 전류의 위상은 로렌츠 펌핑 힘의 원하는 방향을 유지하도록 동기화될 수 있다. 변압기 권선(401) 및 전자석 권선(403)을 위한 전원은 동일하거나 별도의 전원일 수 있다. 유도 전류와 자기장(B)의 동기화는 당업계에 알려진 지연 라인 구성요소와 같은 아날로그 수단 혹은 디지털 수단에 의해 실행할 수 있다. 실시예에서, EM 펌프는 폐쇄 전류 루프(405 및 406)에서 전류의 유도를 제공하며 또한 전자석과 요크(403 및 404)로서 역할을 하기 위해 복수의 요크를 갖춘 단일 변압기를 포함할 수 있다. 단일 변압기의 사용으로 인해, 상응하는 유도 전류와 AC 자기장은 위상이 일치할 수 있다.

[0366] 실시예(도2 내지 도 22)에서, 유도 전류 루프는 입구 EM 펌프 튜브(5k6), 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션, 출구 EM 펌프 튜브(5k6), 및 이들 구성요소를 포함하는 입구 라이저(5qa) 및 주입기(561)의 벽을 포함할 수 있는 저장소(5c)의 은을 통과하는 경로를 포함할 수 있다. EM 펌프는 펌핑 매개변수를 갖는 1차 권선의 전류와 전압 및 SunCell 발전의 피드백 제어를 위한 것과 같은 모니터링 및 제어 시스템을 포함할 수 있다. 예시적인 측정 피드백 매개변수는 반응 셀 챔버(5b31)에서의 온도 및 MHD 변환기에서의 전기일 수 있다. 모니터링 및 제어 시스템은 대응하는 센서, 제어기 및 컴퓨터를 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 셀폰과 같은 무선 장치에 의한 모니터링 및 제어 가운데 하나가 될 수 있다. SunCell®은 데이터를 송신 및 수신하고 신호를 제어하기 위해 안테나를 포함할 수 있다.

[0367] 오직 한 쌍의 전자기 펌프(400)를 갖는 MHD 변환기 실시예에서, 각각의 MHD 복귀 도관(310)은 연장되어 대응하는 전자기 펌프(5kk)의 입구에 연결된다. 연결부는 MHD 복귀 도관(310)의 입력을 갖는 Y-조합체와 같은 조합체 및 저장소 기저부 판 조립체(409)와 같은 저장소의 기저부의 보스(308)를 포함할 수 있다. MHD 변환기를 갖는 가압된 SunCell®을 포함하는 실시예에서, EM 펌프의 주입 측, 저장소 및 반응 셀 챔버(5b31)는 MHD 복귀 도관(310)에 대해 고압 하에서 작동한다. 각각의 EM 펌프로의 입구는 MHD 복귀 도관(310)만을 포함할 수 있다. 연결부는 MHD 복귀 도관(310)의 입력을 갖는 Y-조합체와 같은 조합체 및 저장소의 기저부의 보스를 포함할 수 있으며, 여기서 펌프 전력은 저장소로부터 MHD 복귀 도관(310)으로 입구 유동이 역류하는 것을 방지한다.

[0368] MHD 발전기 실시예에서, 주입 EM 펌프 및 MHD 복귀 EM 펌프는 DC 또는 AC 전도 펌프 및 AC 유도 펌프와 같은 본 개시의 것 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 예시적인 MHD 발전기 실시예(도 5)에서, 주입 EM 펌프는 유도 EM 펌프(400)를 포함할 수 있고, MHD 복귀 EM 펌프(312)는 유도 EM 펌프 또는 DC 전도 EM 펌프를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 분사 펌프는 또한 MHD 복귀 EM 펌프로서 기능을 할 수 있다. MHD 복귀 도관(310)은 입구보다 낮은 압력 위치에서 저장소로부터 EM 펌프로 입력될 수 있다. MHD 복귀 도관(310)으로부터의 입구는 MHD 응축 섹션(309) 및 MHD 복귀 도관(310)에서의 저압에 적합한 위치에서 EM 펌프로 유입될 수 있다. 저장소(5c)로부터의 입구는 압력이 원하는 반응 셀 챔버(5b31) 작동 압력인 위치와 같이 압력이 더 높은 EM 펌프 튜브의 위치에서 진입할 수 있다. 주입기 섹션(5k61)에서의 EM 펌프 압력은 적어도 원하는 반응 셀 챔버 압력의 EM 펌프 압력일 수 있다. 입구는 튜브 및 전류 루프 섹션(5k6, 405 또는 406)에서 EM 펌프에 부착될 수 있다.

[0369] EM 펌프는 다단 펌프(도 6 내지 도 21)를 포함할 수 있다. 다단 EM 펌프는 MHD 복귀 도관(310)으로부터 및 저장소(5c)의 기저부로부터 다른 펌프 단계에서의 것과 같은 입력 금속 유동을 수용할 수 있으며, 각각은 실질적으로 순방향으로 용융 금속이 EM 펌프 출구 및 주입기(5k61) 밖으로 흐르도록 허용하는 압력에 대응한다. 실시예에서, 다단 EM 펌프 조립체(400a)(도 6)는 유도 전류 루프(405 및 406)를 통해 변압기 권선(401) 및 변압기 요크(402)를 포함하는 적어도 하나의 EM 펌프 변압기 권선 회로(401a)를 포함하며 AC 전자석(403) 및 EM 펌프 전자기 요크(404)를 포함하는 적어도 하나의 AC EM 펌프 전자기 회로(403c)를 더 포함한다. 유도 전류 루프는 EM 펌프 튜브 섹션(405) 및 EM 펌프 전류 루프 복귀 섹션(406)을 포함할 수 있다. 전자기 요크(404)는 용기의 평탄화된 섹션 또는 은과 같은 펌핑된 용융물을 수용하는 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션에 겹을 가질 수 있다. 도 7에 나와 있는 실시예에서, EM 펌프 튜브 섹션(405)을 포함하는 유도 전류 루프는, 전류와 자속 모두에 대해 횡방향인 로렌츠 펌핑 힘을 최적화하기 위해 전류가 전자석(403a 및 403b)의 자속에 대해 더 횡방향이 되도록 섹션(406)의 복귀 흐름을 위한 굴곡부에 대해 오프셋되게 위치하는 입구 분출구를 가질 수 있다. 펌핑된 금속은 섹션(405)에서는 용융 상태 그리고 EM 펌프 전류 루프의 복귀 섹션(406)에서는 액체일 수 있다.

[0370] 실시예에서, 다단 EM 펌프는 전류 및 금속 흐름 모두에 수직인 자속을 공급하는 복수의 AC EM 펌프 전자기 회로(403c)를 포함할 수 있다. 다단 EM 펌프는 입구 루프가 펌프의 전방 펌프 흐름을 달성하기 위한 국부 펌프 압력에 적합한 위치에서 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션을 따라 입구를 수용할 수 있으며, 여기서 압력은 다음 AC EM 펌프 전자기 회로(403c) 단계에서 증가한다. 예시적인 실시예에서, MHD 복귀 도관(310)은 AC 전자석(403a) 및 EM 펌프 전자기 요크(404a)를 포함하는 제 1 AC 전자석 회로(403c) 이전의 입구에서 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션과 같은 전류 루프로 유입된다. 저장소(5c)로부터의 유입 흐름은 AC 전자석(403b) 및 EM 펌프 전자기 요크(404b)를 포함하는 제 1 AC 전자석 회로(403c) 이후 및 제 2 AC 전자석 회로(403c) 이후에 유

입될 수 있으며, 여기서 펌프는 각각의 입구로부터 다음 펌프 단계 또는 펌프 출구 및 주입기(5k61)로 원하는 흐름을 유지하는 전류 루프(405)에서 용융 금속 압력을 유지한다. 각각의 펌프 단계의 압력은 AC 전자석 회로의 해당 AC 전자석의 전류를 제어함으로써 제어될 수 있다. 예시적인 변압기는 실리콘 강이 적층된 변압기 코어(402)를 포함하고, 예시적 EM 펌프 전자석 요크(404a 및 404b)는 각각 적층된 실리콘 강(방향성 강) 시트 스택을 포함한다.

[0371] 실시예에서, 세라믹 채널과 같은 EM 펌프 전류 루프 복귀 섹션(406)은 용융 금속 흐름 제한기를 포함할 수 있거나 EM 펌프 튜브의 고압 섹션으로부터 저압 섹션으로 용융 금속의 역류를 방지하면서 전류 루프의 전류가 완료되도록 고체 전기 도체로 충전될 수 있다. 고체는 Haynes 230, Pyromet® 합금 625, Carpenter L-605 합금, BioDur® Carpenter CCM® 합금, Haynes 230, 310 SS 또는 625 SS와 같은 본 개시의 스테인레스 강과 같은 금속을 포함할 수 있다. 고체는 내화 금속을 포함할 수 있다. 고체는 내산화성인 금속을 포함할 수 있다. 고체는 고체 전도체의 산화를 피하기 위해 금속 또는 전도성 캡 층 또는 이리듐과 같은 코팅을 포함할 수 있다.

[0372] 실시예에서, 복귀 전류 경로를 제공하지만 은 역류를 방지하는 도관(406)의 고체 도전체는 고체 은과 같은 고휘용 금속을 포함한다. 고휘 은은 도관(406)의 경로를 따라 하나 이상의 위치에서 은의 융점 미만으로 온도를 유지함으로써 유지될 수 있으며 이에 따라 도관(406)의 적어도 일부분에서 고체 상태가 유지되어 도관(406)에서의 은 흐름을 방지하게 된다. 도관(406)은 도관(406)의 적어도 한 부분에서의 온도가 용융 금속의 융점 미만으로 유지되도록 미량 가열이나 절연이 부재하는 냉각제 루프와 같은 열 교환기 및 핫 섹션(405)으로부터 떨어진 섹션 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0373] 실시예에서, 변압기 및 전자석 중 적어도 하나의 자기 권선은 변압기 자기 요크(402) 및 전자기 회로 요크(404) 중 적어도 하나의 연장부에 의해 흐르는 금속을 포함하는 전류 루프(405)의 EM 펌프 튜브 섹션으로부터 이격된다. 연장부는 EM 펌프 튜브(405)의 유도 결합 가열과 같은 보다 효율적인 가열, 및 변압기 권선(401), 변압기 요크(402) 및 AC 전자석(403)과 EM 펌프 전자기 요크(404)를 포함하는 전자기 회로(403c) 중 적어도 하나의 보다 효율적인 냉각 중 하나를 허용한다. 2단계 EM 펌프의 경우, 자기 회로는 AC 전자석(403a 및 403b) 및 EM 펌프 전자기 요크(404a 및 404b)를 포함할 수 있다. 변압기 요크(402) 및 전자기 요크(404) 중 적어도 하나는 철 또는 코발트와 같은 높은 큐리 온도를 갖는 강자성 재료를 포함할 수 있다. 권선은 Ceramawire HT와 같은 니켈 클래드 구리 와이어와 같은 세라믹 코팅된 클래드 와이어 등 고온 절연 와이어를 포함할 수 있다. EM 펌프 변압기 권선 회로 및 조립체(401a) 및 EM 펌프 전자기 회로 및 조립체(403c) 중 적어도 하나는 DC 전도 EM 펌프의 자석(5k4)들 중 하나와 같은 본 개시의 것과 같은 수랭 시스템을 포함할 수 있다(도 2 및 도 3). 유도 EM 펌프(400b)들 중 적어도 하나는 공랭 시스템(400b)을 포함할 수 있다(도 9 및 도 10). 유도 EM 펌프(400c)들 중 적어도 하나는 수랭 시스템을 포함할 수 있다(도 11). 냉각 시스템은 본 개시의 것과 같은 히트 파이프를 포함할 수 있다. 냉각 시스템은 냉각제 도관의 역할을 하는 세라믹 재킷을 포함할 수 있다. 냉각 시스템은 열을 부하나 주위로 방출하는 냉각제 펌프 및 열 교환기를 포함할 수 있다. 재킷은 냉각시키는 구성요소의 적어도 일부의 하우징이 될 수 있다. 요크 냉각 시스템은 내부 냉각제 도관을 포함할 수 있다. 냉각제는 물을 포함할 수 있다. 냉각제는 실리콘유를 포함할 수 있다.

[0374] 예시적인 변압기는 실리콘 스틸 적층 변압기 코어를 포함한다. 점화 변압기는 (i) 약 10 내지 10,000, 100 내지 5000, 및 500 내지 25,000 턴 중 적어도 하나의 범위에서의 권선 수; (ii) 약 10W 내지 1MW, 100W 내지 500kW, 1kW 내지 100kW 및 1kW 내지 20kW 중 적어도 하나의 범위의 전력, 및 (iii) 약 0.1 A 내지 10,000 A, 1 A 내지 5 kA, 1 A 내지 1 kA, 및 1 내지 500 A 중 적어도 하나의 범위의 1차 권선 전류를 포함할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 점화 전류는 약 6V 내지 10V의 전압 범위에 있고 전류는 약 1000A이고; 따라서 50 턴의 권선은 약 500V 및 20A에서 작동하여 1000A에서 10V의 점화 전류를 제공한다. EM 펌프 전자석은 약 0.01 T 내지 10 T, 0.1 T 내지 5 T 및 0.1 T 내지 2 T 중 적어도 하나의 범위의 자속을 포함할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 약 0.5 mm 직경의 자석 와이어는 약 200°C 미만으로 유지된다.

[0375] 셀 작동 온도에서 합금을 형성하지 않거나 알루미늄과 반응하지 않는 SunCell®을 포함하는 실시예에서, 용융 금속은 알루미늄을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 도 4-21에 보이는 것과 같은 SunCell®은 반응 셀 챔버(5b31)와 같은 용융 알루미늄 금속과 접촉하는 구성요소들 그리고 석영이나 세라믹을 포함하는 EM 펌프 튜브(5k6)을 포함하며, SunCell®은 유도 EM 펌프와 유도 점화 시스템을 더욱 포함한다.

[0376] MHD 복귀 도관(310), EM 펌프 저장소 라인(416) 및 EM 펌프 주입 라인(417) 중 적어도 하나와 같은 적어도 하나의 라인(도9-21)은 저항 또는 유도 결합 히터와 같은 히터에 의해 가열될 수 있다. 유도 결합 히터는 안테나가 수랭될 수 있는 라인 주위에 감겨진 안테나(415)를 포함할 수 있다. 5f 및 415와 같은 유도 결합 히터 안테나

로 감싸진 구성요소는 내부 절연층을 포함할 수 있다. 유도 결합 히터 안테나는 해당 구성요소의 원하는 온도를 유지하기 위해 이중 기능 또는 가열 및 수랭 기능을 수행할 수 있다. SunCell은 MHD 자석 하우징(306a), MHD 노즐(307), MHD 채널(308), 전기 출력, 센서, 및 구조적 지지대(418)에 장착될 수 있는 제어 라인(419), M 펌프 저장소 라인(416) 및 EM 펌프 주입 라인(417)에 대한 420과 같은 열 차폐물과 같은 구성요소를 고정하는 구조적 지지대(418)를 더 포함할 수 있다.

[0377] 실시예에서, 5k2a와 같은 점화 버스 바는 저장소(5c)에 있는 습식 실 조인트의 고형화 용융 금속의 일부와 접촉하는 전극을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 점화 시스템은 유도 시스템(도 8 내지 도 21)을 포함하며, 여기서 하이드리노 반응의 점화를 유발하기 위해 전도성 용융 금속에 인가된 전기 소스는 유도 전류, 전압 및 전력을 제공한다. 점화 시스템은 무전극 시스템을 포함할 수 있으며, 여기서 점화 전류는 유도 점화 변압기 조립체(410)에 의해 유도에 의해 인가된다. 유도 전류는 EM 펌프(400)와 같은 펌프에 의해 유지되는 복수의 주입기로부터 교차하는 용융 금속 스트림을 통해 흐를 수 있다. 실시예에서, 저장소(5c)는 저장소(5c)의 기저부 사이의 채널과 같은 세라믹 교차 연결 채널(414)을 더 포함할 수 있다. 유도 점화 변압기 조립체(410)는 저장소(5c), 복수의 용융 금속 주입기로부터의 교차 용융 금속 스트림 및 교차 연결 채널(414)에 의해 형성된 유도 전류 루프를 통해 연장될 수 있는 유도 점화 변압기 권선(411) 및 유도 점화 변압기 요크(412)를 포함할 수 있다. 유도 점화 변압기 조립체(410)는 EM 펌프 변압기 권선 회로(401a)와 유사할 수 있다.

[0378] 실시예에서, 점화 전류원은 은과 같은 용융 금속에서의 전류가 은을 통한 시변 자기장의 패러데이 유도에 의해 생성되는 AC 유도 유형을 포함할 수 있다. 시변 자기장의 소스는 1차 변압기 권선, 유도 점화 변압기 권선(411)을 포함할 수 있고, 은은 단일 턴 단락 권선과 같은 2차 변압기 권선으로서 적어도 부분적으로 작용할 수 있다. 1차 권선(411)은 AC 전자석을 포함할 수 있으며, 유도 점화 변압기 요크(412)는 용융된 은을 포함하는 원주 방향 전도 루프나 회로를 통해 시변 자기장을 전도한다. 실시예에서, 유도 점화 시스템은 용융 은 회로를 포함하는 2차를 통해 시변 자속을 유지하는 복수의 폐쇄 자기 루프 요크(412)를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 요크 및 상응하는 자기 회로는 권선(411)을 포함하며, 권선(411)을 갖춘 복수의 요크(412) 각각의 가법성 자속은 평행된 유도 전류와 전압을 생성할 수 있다. 각 요크(412) 권선(411)의 1차 권선 턴 숫자는 각 권선에 인가되는 전압으로부터 바람직한 2차 전압을 성취하도록 선택할 수 있으며, 바람직한 2차 전류는 상응하는 권선(411)을 가진 폐쇄 루프 요크(412)의 숫자를 선택하여 성취할 수 있고, 여기서 그 전압은 요크 및 권선의 숫자에 대해 독립적이고 평행 전류는 가법성이다.

[0379] 변압기 전자석은 단상 AC 전원 또는 당업계에 공지된 다른 적절한 전원에 의해 전력을 공급받을 수 있다. 변압기 주파수는 변압기 요크(412)의 크기를 감소시키기 위해 증가될 수 있다. 변압기 주파수는 적어도 약 1Hz 내지 1MHz, 1Hz 내지 100kHz, 10Hz 내지 10kHz 및 10Hz 내지 1kHz의 범위일 수 있다. 변압기 전원은 VFD-가변 주파수 드라이브를 포함할 수 있다. 저장소(5c)는 2개의 저장소(5c)를 연결하는 교차 연결 채널(414)과 같은 용융 금속 채널을 포함할 수 있다. 변압기 요크(412)를 둘러싸는 전류 루프는 저장소(5c)에 포함된 용융 은, 교차 연결 채널(414), 주입기 튜브(5k61) 내의 은, 및 유도 전류 루프를 완성하기 위해 교차하는 용융 은의 주입된 스트림을 포함할 수 있다. 유도 전류 루프는 입구 라이저(5qa), EM 펌프 튜브(5k6), 보스 및 주입기(5k61)와 같은 EM 펌프 구성요소 중 적어도 하나에 포함된 용융 은을 적어도 부분적으로 더 포함할 수 있다.

[0380] 교차 연결 채널(414)은 저장소에서 은과 같은 용융 금속의 원하는 레벨에 있을 수 있다. 대안적으로, 교차 연결 채널(414)은 작동 중에 채널이 용융 금속으로 연속적으로 채워지도록 원하는 저장소 용융 금속 레벨보다 낮은 위치에 있을 수 있다. 교차 연결 채널(414)은 저장소(5c)의 기저부를 향해 위치될 수 있다. 채널은 유도 전류 루프 또는 회로의 일부를 형성할 수 있고, 양쪽 저장소(5c)에서 원하는 레벨을 유지하기 위해 더 높은 은 레벨을 갖는 하나의 저장소로부터 다른 레벨로의 용융 금속 흐름을 더욱 용이하게 할 수 있다. 용융 금속 헤드 압력의 차이로 인해 저장소 사이의 금속 흐름이 각각 원하는 레벨을 유지하게 할 수 있다. 전류 루프는 교차하는 용융 금속 스트림, 주입기 튜브(5k61), 저장소(5c) 내의 용융 금속의 열, 및 저장소(5c)를 원하는 용융 은 레벨 또는 원하는 레벨보다 더 낮은 레벨에서 연결하는 교차 연결 채널(414)을 포함할 수 있다. 전류 루프는 패러데이 유도에 의해 전류를 생성하는 변압기 요크(412)를 둘러쌀 수 있다. 다른 실시예에서, 적어도 하나의 EM 펌프 변압기 요크(402)는 교차 용융 금속 스트림 및 저장소와 교차 연결 채널(414)에 포함된 용융 금속에 의해 형성된 것과 같은 점화 용융 금속 루프를 통해 시변 자기장을 추가로 공급함으로써 유도 점화 전류를 생성하기 위한 유도 점화 변압기 요크(412)를 더 포함한다. 저장소(5c) 및 채널(414)은 세라믹과 같은 전기 절연체를 포함할 수 있다. 유도 점화 변압기 요크(412)는 전기 절연체 및 열 절연체 중 적어도 하나를 포함할 수 있는 세라믹 커버와 같은 커버(413)를 포함할 수 있다. 나선형 코일과 같이 원주 방향으로 감겨진 유도 결합 히터 안테나를 포함할 수 있는 저장소 사이에서 연장되는 유도 점화 변압기 요크(412)의 섹션은 커버(413)에 의해 열적으로 또

는 전기적으로 차폐될 수 있다. 저장소(5c), 채널(414) 및 커버(413) 중 적어도 하나의 세라믹은 실리콘 질화물(MP 1900 °C), 용융 석영과 같은 석영, 알루미늄, 지르코니아, 마그네시아 또는 하프니아와 같은 본 개시 중 하나일 수 있다. 제어된 수동 산화에 의해 실리콘 아질산염 상에 보호 SiO₂ 층이 형성될 수 있다.

[0381] 실시예에서, 교차 연결 채널(414)은 저장소 은 레벨을 거의 일정하게 유지한다. SunCell®은 주입기(5k61)의 침지 노즐(5q)을 더 포함할 수 있다. 각각의 침지 노즐의 깊이, 따라서 주입기가 주입하는 헤드 압력은 각각의 저장소(5c)의 대략 일정한 용융 금속 레벨로 인해 본질적으로 일정하게 유지될 수 있다. 교차 연결 채널(414)을 포함하는 실시예에서, 입구 라이저(5qa)는 저장소 보스(408) 또는 EM 펌프 저장소 라인(416)으로의 포트에 의해 제거 및 교체될 수 있다.

[0382] SunCell®은 작동 시동 시 적어도 한 구성요소를 가열하는 열 소스를 포함할 수 있다. 열 소스는 유도 EM 펌프와 유도 점화 시스템 가운데 적어도 하나의 요크에 대한 과도한 가열을 적어도 피하도록 선택할 수 있다. 열 소스는 SunCell®의 열 전력 소스 실시예의 외부 열 교환기로의 고효율 열 전달을 허용할 수 있다. 이 열은 EM 펌프를 포함하는 이중 용융 금속 주입 시스템과 같은 용융 금속 주입 시스템을 위한 용융 금속을 유지할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 촉매 화학 열 소스와 같은 화학 열 소스, 화염이나 연소 열 소스, 내화성 필라멘트 히터와 같은 저항 히터, 열 램프와 같은 적외선 광원이나 고전력 다이오드 광원과 같은 방사 가열 소스 및 유도 결합 히터 중 적어도 하나와 같은 히터 또는 가열용 소스를 포함한다.

[0383] 방사 가열 소스는 가열 대상의 표면에 대한 방사 전력을 스캔하는 수단을 포함할 수 있다. 스캐닝 수단은 스캐닝 미러를 포함할 수 있다. 스캐닝 수단은 적어도 하나의 미러를 포함할 수 있으며, 기계식, 공압식, 전자식, 압전식, 유압식 및 기타 당업계에서 주지된 액추에이터와 같은, 복수의 위치에 대해 미러를 이동시키는 수단을 더욱 포함할 수 있다.

[0384] 실시예에서, 히터(415)는 칸탈과 같은 와이어를 포함하는 것과 같은 저항 히터 또는 본 개시의 다른 것을 포함할 수 있다. 저항 히터는 가열 대상의 구성요소 주위를 감을 수 있는 내화성 저항 필라멘트나 와이어를 포함할 수 있다. 예시적 저항 히터 요소 및 구성요소는 탄소, 니크롬, 300 시리즈 스테인레스 강, 인코로이 800 및 인코넬 600, 601, 718, 625, 헤인즈 230, 188, 214, 니켈, 하스텔로이 C, 티탄, 탄탈, 몰리브덴, TZM, 레늄, 니오븀 및 텅스텐과 같은 고온 전도체를 포함할 수 있다. 필라멘트나 와이어는 산화로부터의 보호를 위해 포팅 화합물에 포팅할 수 있다. 필라멘트, 와이어 또는 메시 형태의 가열 요소는 산화로부터의 보호를 위해 진공에서 작동시킬 수 있다. 예시적 히터는 1400° C까지의 온도에서 작동할 수 있으며 높은 저항률과 양호한 산화 내성을 갖는 Kanthal A-1(칸탈) 저항 가열 와이어, 철-크롬-알루미늄 합금(FeCrAl 합금)을 포함한다. 다른 예시적 필라멘트는 산화와 침탄 환경에 대한 내성이 있는 내식성 산화물 코팅을 형성하며 1475° C까지에서 작동할 수 있는 Kanthal APM이다. 1375 K 및 1의 방사율에서의 열 손실 속도는 200 kW/m² 또는 0.2 W/cm²이다. 1475 K까지에서 작동하는 상용 저항 히터는 4.6 W/cm²의 전력을 갖는다. 가열 요소의 외부에 절연체를 사용하면 가열이 증가할 수 있다.

[0385] 예시적 히터(415)는 Kanthal A-1(칸탈) 저항 가열 와이어를 포함하며, 이는 1400 ° C의 작동 온도까지 작동할 수 있으며 높은 저항과 양호한 산화 저항을 갖는 철-크롬-알루미늄 합금(FeCrAl 합금)이다. 적합한 가열 요소를 위한 추가의 FeCrAl 합금은 Kanthal APM, Kanthal AF, Kanthal D 및 Alkrothal 가운데 적어도 하나이다. 가열 와이어 요소와 같은 가열 요소는 Nikrothal 80, Nikrothal 70, Nikrothal 60 및 Nikrothal 40 가운데 적어도 하나가 같은 1100 ° C ~ 1200 ° C 범위에서 작동할 수 있는 NiCr 합금을 포함할 수 있다. 대안적으로, 히터(415)는 산화 대기 및 1500 ° C ~ 1800 ° C의 범위 하에서 작동할 수 있는 Kanthal Super 1700, Kanthal Super 1800, Kanthal Super 1900, Kanthal Super RA, Kanthal Super ER, Kanthal Super HT 및 Kanthal Super NC 가운데 적어도 하나와 같은 이규화 몰리브덴(MoSi₂)을 포함할 수 있다. 가열 요소는 알루미늄과 합금이 된 이규화 몰리브덴(MoSi₂)을 포함할 수 있다. 가열 요소는 알루미늄 코팅과 같은 산화 내성의 코팅을 가질 수 있다. 저항 히터(415)의 가열 요소는 1625 ° C까지의 온도에서 작동할 수 있는 SiC를 포함할 수 있다. 히터는 그 효율 및 효과 가운데 적어도 하나를 증가시키는 절연체를 포함할 수 있다. 절연체는 알루미늄-실리케이트를 포함하는 절연체와 같은 당업자에게 주지된 세라믹을 포함할 수 있다. 절연체는 제거가능과 가역적인 것 가운데 적어도 하나일 수 있다. 절연체는 시동 후 주위 환경이나 열 교환기와 같은 바람직한 리시버로 열을 보다 효과적으로 전달하기 위해 제거할 수 있다. 절연체는 기계적으로 제거할 수 있다. 이 절연체는 진공 작업이 가능한 챔버와 펌프를 포함할 수 있으며, 진공을 만들어 절연이 적용되고 헬륨과 같은 영족 기체 등의 열 전달 기체를 추가하여 절연이 가역된다. 추가나 펌핑으로 제거 가능한 헬륨과 같은 열 전달 기체를 갖춘 진공 챔버는 조절가능한 절연

체의 역할을 할 수 있다.

- [0386] 저항 히터 (415)는 SunCell® 상이한 구성 요소를 선택적으로 가열하기 위해 직렬 및 병렬 유선 회로 중 적어도 하나에 의해 전력을 공급받을 수 있다. 저항 가열 와이어는 적어도 하나의 유도 EM 펌프, 유도 점화 시스템 및 전자석과 같은 유도 시스템과 같은 시변 필드를 야기하는 시스템에 의한 간섭을 방지하기 위해 꼬인 쌍을 포함할 수 있다. 저항 가열 와이어는 임의의 연결된 시변 자속이 최소화되도록 배향될 수 있다. 와이어 배향은 임의의 폐쇄 루프가 자속과 평행한 평면에 있도록 하는 것일 수 있다.
- [0387] 촉매 화학 열 소스 및 화염이나 연소 열 소스 가운데 적어도 하나는 프로판과 같은 탄화수소 등의 연료 그리고 산소 또는 수소 및 산소를 포함할 수 있다. SunCell®은 약 H_2 및 O_2 의 약 화학양론적 화합물을 공급할 수 있는 전해기를 포함할 수 있다. 전해기는 H_2 나 O_2 가운데 적어도 하나를 별도로 공급하는 가스 분리기를 포함할 수 있다. 전해기는 H_2 및 O_2 의 적어도 하나에 대한 별도의 소스를 위한 양성자 교환 막을 갖는 것과 같은 고압 전기분해부를 포함할 수 있다. 전기분해부는 시동 동안 배터리에 의해 전력이 제공될 수 있다. SunCell®은 H_2O 전기분해로부터 얻어진 H_2 및 O_2 의 가스 저장소와 공급 시스템을 포함할 수 있다. 가스 저장소는 시간이 지나면서 H_2O 전기분해로부터 얻어진 H_2 및 O_2 가운데 적어도 하나를 저장할 수 있다. 시간에 따른 전기분해 전력은 SunCell®이나 배터리에 의해 제공될 수 있다. 저장소는 배터리로부터 가용한 전력보다 더 높은 전력을 성취하는 비율로 연료로서 가스를 히터에 방출할 수 있다. 전기분해는 효율이 90% 이상일 수 있다. 촉매 상에서 연소 시 수소-산소 재결합은 거의 100% 효율적일 수 있다. 화염 히터는 적어도 하나의 버너 그리고 화염이 더 큰 영역을 커버하도록 복수의 위치에 걸쳐 적어도 하나의 버너를 이동하거나 스캐닝하는 수단을 포함할 수 있다. 스캐너는 캠 그리고 기계, 공압, 전자기, 압전, 유압 액추에이터 및 기타 업계에 주지된 액추에이터 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0388] 실시예에서, 가열 시스템은 파이프, 매니폴드 그리고 적어도 하나의 하우징 중 적어도 하나를 포함하여 가열 소스의 역할을 하도록 적어도 하나의 SunCell® 구성요소의 표면에서 연료 가스를 연소하기 위해 H_2 및 O_2 가운데 적어도 하나와 같은 연료나 연료 혼합물 중 적어도 하나를 촉매로 합침된 표면에 공급한다. 수소와 산소의 화학양론적 혼합물의 최대 온도는 약 $2800^\circ C$ 이다. 가열되는 임의의 구성요소의 표면은 레이니 니켈, 산화 구리 또는 백금, 필라듐, 루테튬, 이리듐, 레늄 또는 로듐과 같은 귀금속과 같은 수소-산소 재결합기 촉매로 도포할 수 있다. 예시적 촉매 표면은 Pd, Pt 또는 Ru 코팅된 알루미늄, 실리카, 식염 및 알루미늄-실리케이트 가운데 적어도 하나이다. 화염 히터는 필라멘트의 상승된 온도가 수소-산소 재결합 반응에 의해 적어도 부분적으로 유지될 수 있는 가열된 필라멘트를 포함할 수 있다.
- [0389] 실시예에서, $H_2 + O_2$ 가스의 소스는 Honguang H160 수소 산소 HHO 가스 화염 생성기 등 산업용 장치와 같은 설계를 포함하는 것과 같은 산수소 토치 시스템을 포함할 수 있다. H_2O 의 전기분해 전압이 1.48 V 그리고 전형적인 전기분해 효율이 약 90%라는 조건 하에서, 요구되는 전류는 1 W 버너 당 약 0.75 A이다. 실시예에서, 복수의 버너는 화학양론적 $H_2 + O_2$ 를 공급하는 것과 같은 일반 가스 라인에 의해 공급될 수 있다. 화염 히터는 복수의 그러한 가스 라인과 버너를 포함할 수 있다. 라인과 버너는 SunCell® 구성요소의 바람직한 가열을 성취하기 위해 적절한 구조로 배열될 수 있다. 이 구조는 하나의 가스 라인(424) 그리고 복수의 버너와 노즐(425)을 갖춘 도 20 및 21에 나와 있는 단일 나선형 산수소 화염 히터(423)와 같은 적어도 하나의 나선을 포함할 수 있다. 도 20 및 21에 함께 나와 있는 대안적 설계에서, 산수소 화염 히터(423)은 가열되는 SunCell® 구성요소에 대해 일련의 환상 고리들을 성취하기 위해 복수의 가스 라인(424)과 복수의 버너나 노즐(425)을 포함할 수 있다. SunCell® 구성요소에서 양호한 가열 표면 범위를 제공하는 추가의 예시적 구조는 DNA와 유사한 이중 나선이나 삼중 나선이다. MHD 복귀 도관(310)과 같은 직선 형상의 구성요소는 적어도 하나의 직선 버너 구조에 의해 가열할 수 있다.
- [0390] 실시예에서, 저항 버너 또는 열 교환기 유형과 같은 히터는 예를 들어 저장소의 바닥에 구조될 수 있는 내부 웰을 통해 저장소(5c) 내부와 같은 SunCell® 구성요소의 내부로부터 가열할 수 있다.
- [0391] 점화 전류는 약 60Hz AC와 같은 시변 전류일 수 있지만, 1Hz 내지 1MHz, 10Hz 내지 10kHz, 10Hz 내지 1kHz 및 10Hz 내지 100Hz 중 적어도 하나의 범위의 주파수, 약 1A 내지 100mA, 10A 내지 10MA, 100A 내지 1MA, 100A 내지 100kA 및 1kA 내지 100kA의 적어도 하나의 범위에 속하는 피크 전류, 및 약 1V 내지 1MV, 2V 내지 100kV, 3V 내지 10kV, 3V 내지 1kV, 2V 내지 100V 및 3V 내지 30V 중 적어도 하나의 범위에서 피크 전압을 갖는 파형과 같은 다른 특성 및 파형을 가질 수 있으며, 여기서 파형은 사인파형, 구형파형, 삼각파형, 또는 1% 내지 99%,

5% 내지 75%, 및 10% 내지 50% 중 적어도 하나의 범위와 같은 듀티 사이클을 포함할 수 있는 다른 원하는 파형을 포함할 수 있다. 고주파수에서의 표면 효과를 최소화하기 위해, 점화 시스템의 411과 같은 권선은 편조, 복수가닥 및 Litz 와이어 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0392] 실시예에서, 점화 전류의 주파수를 제어하면 하이드리노 반응의 반응 속도를 제어하게 된다. 유도 전류 권선(411)의 전압의 주파수를 제어하면 점화 전류의 주파수를 제어할 수 있다. 유도 전류는 시변 자기장에 의해 야기되는 유도 전류일 수 있다. 시변 자기장은 하이드리노 반응 속도에 영향을 줄 수 있다. 실시예에서, 시변 자기장의 강도 및 주파수 가운데 적어도 하나를 제어하여 하이드리노 반응 속도를 제어한다. 시변 자기장의 강도 및 주파수는 유도 점화 권선(411)의 전원을 제어하여 제어할 수 있다.

[0393] 실시예에서, 점화 주파수는 반응 셀 챔버(5b31) 및 MHD 채널(308) 중 적어도 하나에서 상응하는 하이드리노 발전 주파수를 발생시키도록 조정된다. 약 60Hz AC와 같은 전력 출력의 주파수는 점화 주파수를 제어함으로써 제어될 수 있다. 점화 주파수는 유도 점화 변압기 조립체(410)의 시변 자기장의 주파수를 변화시킴으로써 조정될 수 있다. 유도 점화 변압기 조립체(410)의 주파수는 유도 점화 변압기 권선(411)의 전류의 주파수를 변화시킴으로써 조정될 수 있으며, 여기서 권선(411)으로의 전력의 주파수는 변화될 수 있다. MHD 채널(308)에서의 시변 전력은 에어로졸 제트 흐름의 충격 형성을 방지할 수 있다. 다른 실시예에서, 시변 점화는 시변 전력 출력을 초래하는 시변 하이드리노 발전을 구동할 수 있다. MHD 변환기는 DC 구성요소를 또한 포함할 수 있는 AC 전기를 출력할 수 있다. AC 구성요소는 하나 이상의 변압기의 적어도 하나와 같은 적어도 하나의 권선 및 EM 펌프 변압기 권선 회로(401a)의 권선 및 EM 펌프 전자기 회로(403c)의 전자석의 권선 중 적어도 하나와 같은 전자석 권선에 전력을 공급하는데 사용될 수 있다.

[0394] MHD 변환기를 갖는 가압된 SunCell®은 중력에 의존하지 않고 작동할 수 있다. 2단계 공랭식 EM 펌프(400b)와 같은 EM 펌프(400)는 패킹 및 용융 금속 입구 및 출구 도관 또는 라인 중 적어도 하나를 최적화하는 위치에 위치될 수 있다. 예시적인 패키징은 EM 펌프가 MHD 응축 섹션(309)의 단부와 저장소(5c)의 기저부 사이의 중간에 위치하는 패키지이다(도 12 내지 도 19).

[0395] 실시예에서, 작동 매체는 저온에서 용융 금속에 용해되고 고온에서 용융 금속에 불용성 또는 덜 용해성인 금속 및 가스를 포함한다. 예시적인 실시예에서, 작동 매체는 은 및 산소 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 내의 산소 압력은 은 형태와 같은 용융 금속이 기화되는 것을 실질적으로 방지하는 압력으로 유지된다. 하이드리노 반응 플라즈마는 산소 및 액체 은을 3500 K와 같은 희망하는 온도로 가열할 수 있다. 작동 매체를 포함하는 혼합물은 테이퍼진 MHD 채널을 통해 25 기압과 같은 압력하에서 흐를 수 있으며, 열 에너지가 전기로 변환될 때 압력 및 온도 강하가 발생한다. 온도가 감소함에 따라, 은과 같은 용융 금속은 산소와 같은 가스를 흡수할 수 있다. 그 후, 액체는 저장소로 펌핑되어 반응 셀 챔버에서 재순환될 수 있으며, 플라즈마 가열은 산소를 방출하여 원하는 반응 셀 챔버 압력 및 온도 조건을 유지하여 MHD 변환을 구동시킨다. 실시예에서, MHD 채널의 출구에서 은의 온도는 용융 금속의 융점 부근이며, 산소의 용해도는 1 기압의 O_2 에서 1 cm^3 의 은에 대해 약 20 cm^3 의 산소(STP)이다. 용해된 가스를 포함하는 액체에 대한 재순환 펌핑 전력은 자유 가스의 것보다 훨씬 적을 수 있다. 또한, 열역학적 전력 사이클 동안 자유 가스의 압력 및 온도를 낮추기 위한 가스 냉각 요건 및 MHD 변환기 부피가 실질적으로 감소될 수 있다.

[0396] 실시예에서, 작동 매체 금속은 나노입자의 에어로졸을 형성할 수 있다. 나노입자 형성은 작동 매체와 접촉하는 기체의 존재에 의해 원활하게 될 수 있다. 실시예에서, 용융 금속과 작동 매체는 산소의 존재 하에서 은 나노입자를 형성하는 은을 포함한다. 이 나노입자는 MHD 노즐(307)에서 가속화될 수 있는데, MHD 채널(308)에서 흐르는 제트의 운동 에너지가 전기로 변환된다. 노즐(307)에서 산소의 압력이 가속기 기체의 역할을 하는데 충분할 수 있다. 실시예에서, 은 에어로졸은 MHD 노즐(307)의 출구에서 거의 순수한 액체 그리고 산소이다. 은에서 산소 원자의 용해도는 온도가 그 융점을 접근함에 따라 증가하는데, 그 용해도는 최고 25%의 몰 분율이다[J. Am Ceram. Soc. Vol. 80 (12), (1997), pp. 3054-3060]. 은은 출구에서와 같이 MHD 채널(308)에서 산소를 흡수하고 액체 은과 산소는 모두 재순환된다. 가스는 용융된 은에 흡수된 가스로서 재순환될 수 있다. 실시예에서, 산소는 반응 챔버(5b31)에서 방출되어 사이클을 재생시킨다. 융점을 초과하는 은의 온도는 또한 열 전력의 재순환 또는 재생 수단으로서 작용한다. 실시예에서, 은 에어로졸이 산소 및 아르곤이나 헬륨 등의 영속 기체 가운데 적어도 하나와 같은 가스에 의해 de Laval노즐과 같은 수렴-발산형 노즐에서 가속화된다. MHD 작동 매체란 운동 에너지와 전기 전도율을 소유하는 MHD 채널을 통해 흐르는 매체이며, 은 에어로졸, 가속화하는 가스 및 은 증기

를 포함할 수 있다. 작동 매체가 산소와 은을 포함하는 경우,

[0397] 작동 매체는 미세한 액체 입자나 에어로졸의 형태일 수 있는 액체 은에 더욱 흡수될 수 있다. 작동 매체는 EM 펌프(312) 및 압축기(도22)와 같은 적어도 하나의 펌프와 같은 재순환기에 의해 MHD 채널의 단부에서 재순환될 수 있다. MHD 복귀 가스 펌프나 압축기(312a)를 포함하는 재순환기는 MHD 복귀 가스 도관(310a), MHD 복귀 기체 저장소(311a) 및 MHD 복귀 가스 튜브(313a)를 더 포함할 수 있다. 재순환기는 작동 매체의 은 증기, 액체 은 및 가속화 기체의 적어도 하나를 재순환시킬 수 있다. 액체 은은 작동 매체의 거의 모든 종들의 재순환이 압축기와 같은 가스 펌프로 이루어질 수 있도록 에어로졸 형태일 수 있다. 가속화 가스는 가스 펌프에 의한 재순환을 원활히 하기 위해 액체 은이 은을 형성하거나 은으로 유지되도록 산소를 포함할 수 있다. 산소와 같은 가속화 가스는 작동 매체의 물 분율의 대부분을 포함할 수 있다. 가속화 가스의 물 분율은 약 50-99 mol%, 50-95 mol% 및 50-90 mol%의 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 다른 실시예에서, 액체 은 EM 펌프와 같은 본 개시의 하나와 같은 액체 금속 펌프에 의해 재순환될 수 있다. 실시예에서, 산소와 같은 적어도 하나의 가속화 가스와 은과 같은 액체 금속이 EM 펌프에 의해 재순환되는데, 산소가 용융 은에 의해 흡수되어 EM 펌프에 의한 펌핑을 원활하게 할 수 있다.

[0398] 실시예에서, MHD 변환기는 노즐(307)로부터의 전도성 플라즈마 제트의 운동 에너지가 MHD 채널(308)에 의해 전기로 변환되는 액체 금속 자기 유체 역학(LMMHD) 변환기의 한 유형을 포함한다. MHD 채널에서 운동 에너지 입력 전력(P_{input})은 그 속력 v 에서 질량 유속 $\dot{m}$ 에 의해 주어진다:

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

[0400] 로렌츠 힘(F_L)은 유속에 비례한다:

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

[0402] 여기서 σ 는 유동 전도도이며, v 는 유속이며, B 는 자기장 세기이며, W 는 부하 계수(개방 회로 전기장에 대한 부하를 가로지르는 전기장의 비율)이며, d 는 전극 분리이며, dx 는 채널 축에 따른 차동 거리이다. 다음 채널 거리에 대한 속도의 변화는 채널 거리에 비례한다:

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

[0404] 여기서, 근사치 k 가 다음 경계 조건에 의해 결정되는 상수로 처리된다:

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

[0406] 이 상수는 다음과 같이 재배열할 수 있는 로렌츠 힘(식 (40))로부터 결정된다:

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

[0408] 또는

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

[0410] 식 (6)과 식 (3)의 비교에 의해서 이 상수는 다음과 같다:

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

[0412] 식 (42)와 식 (45)의 조합에 의해서, 채널 거리의 함수로서의 속도는 다음과 같다:

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

MHD 채널에서 전력($P_{electric}$) 변환은 다음에 의해 주어진다:

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

여기서, V 는 MHD 채널 전압, I 는 채널 전류, E 는 채널 전기장, J 는 채널 전류 밀도, L 은 채널 길이, A 는 전류 단면적(노즐 출구 영역)이다. 식 (46-47)로부터, 채널의 상응하는 전력은 다음에 의해 주어진다:

$$\begin{aligned} P &= \int_0^L \sigma v_0^2 e^{-\frac{2\sigma B^2 (1-W)^2 d^2}{m} x} B^2 W(1-W)d^2 dx \\ &= 0.5mv_0^2 W \left(1 - e^{-\frac{2\sigma B^2 (1-W)^2 d^2}{m} L} \right) \end{aligned} \quad (48)$$

ANSYS 모델링에 의해 결정된 고압 은 증기 플라즈마의 전도도는 10^6 S/m이다. 질량 유량($\dot{m}$)이 0.5 kg/s인 경우, 전도도(σ)는 50,000 S/m이며, 속도는 1200 m/s, 자속(B)은 0.1T, 부하 계수(W)는 0.7, 채널 폭 및 예상적인 직선 정사각형 직사각형 채널의 전극 분리(d)는 0.1 m이며, 채널 길이(L)는 0.25 m이며, 전력 매개변수는 다음과 같다:

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

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

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

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

여기서 $P_{electric}$ 는 외부 부하에 적용된 전력, $P_{density}$ 는 전력 밀도 그리고 η 은 전력 변환 효율이다. 속도와 전도도가 높은 경우, 그 효율은 MHD 채널의 부하 계수(W)에 수렴하고, 부하 적용된 전력은 MHD 채널에 대한 운동 에너지 전력 입력인 $0.5mv^2$ 급하기 MHD 채널의 부하 계수(W)에 수렴한다. 이 전력의 나머지는 내부 MHD 채널 저항에서 소멸된다.

실시예에서, LMMHD 유형의 사이클은 융점에서 은과 산소의 두 가지 고유한 물성에 의해 원활하게 되는 은 나노 입자를 포함하는 강력하고 전도도가 높은 제트 흐름 형태들을 포함한다. 산소의 존재 하에서, 용융 은은 나노 입자를 높은 속도로 형성하며 이는 이상 기체 법칙을 근사하게 따르는 커다란 분자와 유사하게 거동한다. 은의 융점(962 ° C)에서 에어로졸이 형성된다; 그러므로 은 원자에 유사한 열역학적 물성을 갖는 분자 기체는 은의 비등점인 2162 ° C보다 훨씬 아래의 온도에서 형성될 수 있다. 이러한 은의 고유한 물성은 기존의 기체 팽창 사이클의 응축 및 순환 동안 MHD 채널 단부에서 소실되는 매우 높은 기화열 254 kJ/mole의 입력을 피하는 열역학 사이클을 원활하게 한다. 더욱이 용융 은은 그 융점 온도에서 MHD 채널의 단부에서 용융물에 용해되어 반응 셀 챔버로 재순환되는 용융 은과 함께 전자기적으로(EM) 펌핑될 수 있는 거대한 양의 산소를 흡수할 수 있다. 반응 셀 챔버의 고온은 이 산소의 방출을 야기하며 생겨나는 산소 및 은 에어로졸의 가속기 가스의 역할을 하게 한다.

반응 셀 챔버의 하이드리노 반응에 의해 방출되는 열 전력은 고압 상승을 야기하며 고전력의 은 플라즈마 제트가 MHD 노즐을 나가서, MHD 운동 에너지의 전력 변환이 발생하는 MHD 채널에 진입한다. 그 효율은 매우 높을 수 있는데, 이는 (i) 채널 효율이 식 (52)가 보여주는 부하 계수에 접근하며, (ii) 채널에서 소모되는 잔류 운동 에너지가 MHD 채널 단부에서 응축되거나 응집되어 총 열 인벤토리와 함께 반응 셀 챔버로 복귀하는 에어로졸

의 열 에너지 인벤토리에 대한 추가로서 보존되는 에어로졸을 가열하며, 또한 (iii) 에너지 소비가 큰 다단계 중간냉각형 가스 압출 대신 용액에 기체를 운반하는 가속기 가스가 복귀되기 때문이다. 252 KW의 전기를 제공할 수 있는 0.5 kg/s의 은 에어로졸 흐름에 대한 펌프 전력(P_{pump}) (식 (50))은 질량 유량($\dot{m}$) 곱하기 반응 챔버 압력(P) $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ (식 (56))의 곱을 은의 밀도(ρ) 10.5 g/cm^3 로 나누어 얻어진다:

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

은에서 기압 산소의 용해도는 그 용점 온도에 접근함에 따라 증가하며, 용점에서의 용해도는 산소 부피로 최대 은 부피의 40 ~ 50배이다(도 23). 더욱이 은에서 산소의 용해도는 용존 산소와 평형 상태에 있는 산소 대기압에 따라 증가한다. 은에서 산소의 높은 몰 분율은 다음에서와 같이 O_2 고압에서 성취될 수 있다: J. Assal, B. Hallstedt, and L. J. Gauckler, "Thermodynamic assessment of the silver-oxygen system", J. Am Ceram. Soc. Vol. 80 (12), (1997), pp. 3054-3060. 예를 들면, 804 K의 온도, 526 바($5.26 \times 10^7 \text{ Pa}$)의 산소 분압 및 0.25의 액상에서의 산소 몰 분율에서 Ag와 Ag_2O 사이에는 공용이 존재한다.

산소 원자의 은으로의 포함은, 주어진 산소 압력 및 은 온도 하에서 분자 산소의 원자 산소로의 변환에 의한 기체 용매화에 의해서 성취할 수 있는 정도를 넘어 극적으로 증가된다: de Rooij, "The oxidation of silver by atomic oxygen", Product Assurance and Safety Department, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA Journal 1989, (Vol. 13), pp. 363-382]. 액체 은에서 산소 용해도의 관계는 대략 기체 산소 압력의 $\frac{1}{2}$ 승에 비례하는데, 이는 산소가 은을 원자로서 흡수하기 때문이다. 은과의 산화 반응에 O_2 분자 대신 O 분자가 관여하면, 매우 낮은 O_2 압력에서는 AgO는 물론 Ag_2O 로 산화하는 것이 열역학적으로 가능한데, 이는 O_2 분자와는 불가능할 것이다. MHD 사이클 동안 O 원자의 탁월한 용해도를 이용하기 위해, MHD 채널 플라즈마 제트를 하이드리노 반응에 의해 유지하여 O_2 분자로부터 O 원자의 형성을 유지할 수 있다. 용융 은에 함유된 0.25 몰 분획 수소를 포함하는 공용과 같은 조성물은 MHD 채널의 단부에 형성하여 반응 셀 챔버로 펌핑함으로써 은과 산소를 재생할 수 있다. MHD 사이클은 하이드리노 반응과 이후의 MHD 채널에서 에어로졸 제트 및 제트의 거의 등압 흐름을 형성하기 위한 MHD 노즐에서의 등엔탈피 팽창으로 인해 온도와 압력의 극적인 상승을 통해 반응 셀 챔버에서 산소의 방출을 더 포함한다.

반응 셀 챔버에서 열 및 압력-부피 에너지 인벤토리를 등엔탈피 팽창에 의해 MHD 채널에서 운동 에너지로 성공적으로 변환시키려면, 수렴-확산 노즐에서 산소가 은을 효과적으로 가속화해야 한다. LMMHD의 주요 실패 방식의 하나는 커다란 액체 금속 입자를 지나치는 가속기 가스의 미끄러짐이다. 이상적으로 금속 입자는 분자로 거동하며, MHD 채널 안으로 흐르는 플라즈마 제트의 열 에너지에서 운동 에너지로의 변환은 가능한 가장 효율적인 수단인 등엔탈피 팽창에 대해 이상 기체 법칙을 대략 따른다. 반응 셀 챔버의 분위기가 산소이고, 주입된 용융 금속이 은이며, 산소가 은 나노입자의 에어로졸의 형성을 촉진시키는 경우를 고려한다. 은 나노입자가 부유 기체의 평균 자유 경로에 비해 작을 때, 이 입자들은 자유 분자 영역에 있다. 수학적으로, 크누센수 K_n 는 다음에 의해 주어지며,

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

여기서 $K_n \gg 1$ 이고 $\bar{\lambda}$ 는 부유 산소 기체의 평균 경로, d_{Ag} 는 은 입자의 직경이다. Levine [I. Levine, Physical Chemistry, McGraw-Hill Book Company, New York, (1978), pp. 420-421.]에 의하면, 직경이 d_B 이고 몰 분율이 f_B 인 제2 기체 B와 충돌하는 직경이 d_A 인 기체 A의 평균 경로 $\bar{\lambda}_A$ 는 다음에 의해 주어진다:

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

온도 T가 6000 K, 압력 P가 5 기압($5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$), 기체 분율 f_{O_2} 0.25에 상응하는 25 mole% 산소 및 은 기체 분

을 f_{Ag} 0.75에 상응하는 75 mole% 은의 기체 매개변수에 있어서, 직경 d_{Ag} 가 5×10^{-9} m인 은 입자와 충돌하는 분자 직경 d_{O_2} 가 1.2×10^{-10} m인 부유 기체 산소의 평균 경로 λ_{O_2} 는 식(55)에 의해 주어진다.

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

여기서 k_B 는 볼츠만 상수이다. 이 분자 영역은 5 nm 직경을 가진 은 에어로졸 입자(약 3800개의 은 원자)에 대해 만족된다. 이것은 영역에 있어서, 입자는 기체 분자의 탄성 충돌을 통해 부유 기체와 상호작용한다. 이로써 입자는 기체 분자와 유사하게 거동하며 여기서 기체 분자와 입자는 연속적이며 무작위 동작을 취하며 입자의 입자들의 충돌시 운동 에너지의 손실이나 취득이 없고, 입자와 분자 모두의 평균 운동 에너지가 동일하며 평균 운동 에너지는 공통 온도에 대한 함수이다.

예시적 MHD 열역학적 사이클: (i) 은 나노입자가 반응 셀 챔버에서 형성되며 이 나노분자가 분자 영역에 있는 것들을 선택하는 열영동 및 열 구배 가운데 적어도 하나에 의해 운반될 수 있다; (ii) 방출된 O의 존재 하에서 하이브리드 플라즈마 반응은 노즐 입구 안으로 흐르는 25 mole% O - 70 mole% 은 나노 입자를 형성한다; (iii) 25 mole% O - 75 mole% 은 나노입자 기체는 노즐 팽창을 거친다; (iv) 그에 따른 제트의 운동 에너지는 MHD 채널에서 전기로 변환된다; (v) MHD 채널에서 나노입자의 크기가 증가되며 MHD 채널의 단부에서는 액체로 응집한다; (vi) 액체 은이 25 mole% O를 흡수한다; 그리고 (vii) EM 펌프들이 액체 혼합물을 다시 반응 셀 챔버로 펌핑한다.

산소와 은 나노입자의 기체 혼합물에 있어서, 자유 분자 영역에 있는 산소와 은 나노입자의 온도가 동일하므로, 이상기체 방정식이 적용되어 노즐 팽창에서의 기체 혼합물의 가속을 추정하고 O₂와 나노입자의 혼합물이 공통 온도에서 공통 운동 에너지를 가지게 된다. 수렴-확산 노즐에서 은 나노입자와 같은 용융 금속 나노입자를 포함하는 가스 혼합물의 가속화는 수렴-확산 노즐에서 이상 기체/증기의 등엔트로피 팽창으로 처리될 수 있다. 정체 온도 T₀; 정체 압력 p₀; 기체 상수 R_v; 및 비열 비율 k의 조건 하에서, 열역학적 매개변수는 Liepmann 및 Roshko의 방정식을 사용하여 계산할 수 있다: [Liepmann, H.W. and A. Roshko Elements of Gas Dynamics, Wiley (1957)]. 정체 음속 c₀ 및 밀도 ρ₀는 다음과 같이 주어진다:

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

노즐 목부 조건(마하 수 Ma* = 1)은 다음과 같이 주어진다:

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

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

(58)

여기서 u는 속도, m은 질량 흐름 그리고 A는 노즐 단면적이다. 노즐 출구 조건(출구 마하 수 = Ma)은 다음과 같이 주어진다:

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

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

(59)

나노입자의 높은 분자량으로 인해, MHD 변환 매개변수들은 액체 LMMHD와 유사하며, MHD 작동 매체는 밀도가 높

고 기체 팽창에 비해 낮은 속도로 이동한다.

- [0444] 분자 영역에서 터보 기계의 사용 없이 적합한 나노입자를 형성하고 적합한 양의 산소를 흡수하여 가속기 가스 (이 경우는 산소)를 재생하는 은의 능력 하에서, 산소 및 은 나노입자 에어로졸 MHD 사이클의 가능성은 에어로졸 형성 속도와 산소가 용융 은에 흡수되어 그로부터 기체 제거될 수 있는 속도의 동역학에 의존한다. 상응하는 동역학적 연구를 수행했으며 이러한 동역학이 충분한 것으로 밝혀졌다. 실시예에서, 갈륨 금속과 갈륨 나노입자와 같은 다른 금속이 은 금속과 은 나노입자를 대체할 수 있다.
- [0445] 실시예에서, 은에서 산소의 용해도가 전기장, 전위 및 플라즈마의 적어도 하나를 용융 은에 적용함으로써 주어진 산소압에서 기체 용매화에 의해 성취될 수 있는 것 이상으로 증가될 수 있다. 실시예에서, 전기분해나 플라즈마를 용융 은에 적용하여 액체 은에서의 O_2 용해도를 증가시킬 수 있는데, 이 용융 은은 전기분해나 플라즈마 전극으로 포함될 수 있다. O_2 전기분해나 플라즈마의 적용과 같은 전기장, 전위 및 플라즈마 가운데 적어도 하나의 용융 은에 대한 적용은 은에 O_2 가 용해되는 속도 또한 증가시킬 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 용융 은에 대한 전기장, 전위 및 플라즈마의 적어도 하나의 소스를 포함할 수 있다. 그 소스는 전극 그리고 전력과 글로 방전, RF 또는 마이크로파 플라즈마 전력과 같은 플라즈마 전력 가운데 적어도 하나의 소스를 포함할 수 있다. 용융 은이 캐소드와 같은 전극을 포함할 수 있다. 용융이나 고정 은은 애노드를 포함할 수 있다. 산소는 애노드에서 환원되고 흡수 대상의 은과 반응할 수 있다. 다른 실시예에서, 용융 은이 애노드를 포함할 수 있다. 은이 애노드에서 산화되어 산소와 반응함으로써 산소 흡수를 유발할 수 있다.
- [0446] 실시예에서, SunCell®은 산소 센서 그리고 영속 기체에 의한 산소의 회석 및 영속 기체의 펌핑하여 보내는 것 가운데 적어도 하나를 위한 수단과 같은 산소 제어 시스템을 더 포함한다. 전자는 영속 기체 탱크, 밸브, 조절기, 펌프 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 후자는 밸브 및 펌프 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0447] MHD 응축 섹션(309)의 분위기는 매우 낮은 은 증기압을 포함할 수 있고, 주로 산소를 포함할 수 있다. 은 증기압은 약 $970^{\circ}C \sim 2000^{\circ}C$, $970^{\circ}C \sim 1800^{\circ}C$, $970^{\circ}C \sim 1600^{\circ}C$ 및 $970^{\circ}C \sim 1400^{\circ}C$ 의 적어도 한 범위와 같은 매우 낮은 작동 온도로 인해 낮을 수 있다. SunCell®은 MHD 응축 섹션(309)에서 임의의 은 에어로졸을 제거하는 수단을 포함할 수 있다. 에어로졸 제거의 수단은 사이클론 분리기와 같은 은 에어로졸을 응집하는 수단을 포함할 수 있다. 사이클론 분리기는 MHD 복귀 저장소(311) 혹은 MHD 복귀 가스 저장소(311a)를 포함할 수 있다. 용존 산소를 포함하는 은은 펌핑에 의해 반응 셀 챔버(5b31)로 재순환될 수 있으며, 펌프는 전자기 펌프를 포함할 수 있다. 보다 높은 온도 그리고 용융 은에 인가되는 전기장, 전위 및 플라즈마 가운데 적어도 하나의 부재는 반응 셀 챔버에서 산소가 은으로부터 방출되도록 야기할 수 있다. 예시적 실시예에서, 약 $1200^{\circ}C$ 와 같은 낮은 작동 압력으로 인해 MHD 응축 섹션에서 은 압력이 매우 낮으며, 사이클론 분리기를 사용하여 은 에어로졸을 은 액체로 응집시키며 이 액체는 다시 O_2 를 액체 은으로 전기분해하는 음극의 역할을 한다.
- [0448] 실시예에서, MHD 사이클은 MHD 채널(308)에서 에어로졸 제트 및 제트의 등압 흐름을 형성하기 위해 MHD 노즐 섹션(307)에서의 등엔탈피 팽창을 포함한다. 에어로졸은 H_2 , O_2 , H_2O 또는 영속 기체의 적어도 하나와 같은 가속기 가스에 의해 노즐(307)에서 가속화될 수 있다. 실시예에서, MHD 응축 섹션(309)에 있는 가속기 가스의 압력은 압축기 가스의 플라즈마를 유지할 수 있으며, 여기서 반응 챔버 및 MHD 응축 섹션의 압축기 가스의 압력 비율은 1보다 크다. 압력 비율은 약 1.5 ~ 1000, 2 ~ 500 및 10 ~ 20의 적어도 한 범위에 있을 수 있다. 반응 챔버 및 MHD 응축 섹션의 산소 가속기 가스의 예시적 압력은 각각 약 1 ~ 10 기압 그리고 0.1 ~ 1 기압의 범위에 있다. 반응 셀 챔버는 가속기에 의해 야기된 제트 운동 에너지의 상응하는 증가를 가진 증기 상의 증가를 위해 일부 방출되어 플라즈마에 의해 유지되는 0 대 O_2 를 포함할 수 있다. 일부 0는 MHD 채널(308) 및 MHD 응축 섹션(309)의 적어도 하나에서 O_2 와 재결합하여 반응 셀 챔버로부터 MHD 응축 섹션(309)까지의 압력 구배를 증가시키며 또한 제트 운동 에너지와 변환된 전력을 증가시킬 수 있다. 반응 셀 챔버와 MHD 응축 섹션의 적어도 하나의 가스 온도는 은 증기의 경우 $2200^{\circ}C$ 미만과 같은 금속 증기압이 낮아지는 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, 은과 같은 용융 금속에 비해 산소와 같은 가속기 가스의 몰 분율은 약 1 ~ 95 mole %, 10 ~ 90 mole % 및 20 ~ 90 mole% 가운데 적어도 하나의 범위에 있다. MHD 노즐(307)의 출구에서 더 높은 mole % 가속기 가스가 더 높은 제트 운동 에너지를 제공할 수 있다.
- [0449] 실시예에서, 에어로졸이 은이나 갈륨 나노입자와 같은 용융 금속 나노입자를 포함할 수 있다. 입자는 약 1 nm ~ 100 나노미터, 1 nm ~ 10 나노미터, 1 nm ~ 1 마이크로미터, 1 nm ~ 100 nm 및 1 nm ~ 10 nm 가운데 적어도 하나의 범위에 있는 직경을 가질 수 있다. 실시예에서, MHD 변환기의 작동 매체는 은 나노입자와 같은 금속 나노입자 그리고

운반체나 팽창 지원 가스 가운데 적어도 하나 그리고 나노입자의 안정성 형성이나 유지의 지원 가운데 적어도 하나의 역할을 할 수 있는 산소 기체와 같은 가스의 혼합물을 포함한다. 다른 실시예에서, 작동 매체가 금속 나노입자를 포함할 수 있다. 나노입자 분위기는 나노입자의 공기압을 약 1 ~ 100 기압, 1 ~ 20 기압 및 1 ~ 10 기압 중 적어도 하나의 범위에서 바람직한 증기압으로 유지하는 온도를 초과하는 온도에서 셀 및 플라즈마 온도 가운데 적어도 하나를 유지함으로써 유지할 수 있다. 셀 및 플라즈마 온도 가운데 적어도 하나는 약 1000° C ~ 6000° C, 1000° C ~ 5000° C, 1000° C ~ 4000° C, 1000° C ~ 3000° C 및 1000° C ~ 2500° C 가운데 적어도 한 범위 이내에 있을 수 있다.

[0450] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)의 분위기는 산소 분압, 총 압력, 온도, 산소, 수소 및 수증기 가운데 적어도 하나의 추가 외에 영족 기체의 추가와 같은 기체 성분 및 분자 영역에 충분히 작은 크기의 에어로졸 입자의 형성을 촉진시키는 하이드리노 반응 유량과 같은 매개변수들로 유지된다. 실시예에서, 은과 같은 부유 가스 그리고 은 입자와 같은 입자 가운데 적어도 하나가 전기적으로 충전되어 가스 혼합물이 분자 영역의 거동을 나타내도록 중 사이의 충돌이 억제될 수 있다. 은은 입자 충전을 촉진하는 첨가제를 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 크기별로 나노입자의 흐름을 분리하는 크기 선택 수단을 포함할 수 있다. 크기 선택 수단은 노즐(307) 입구로 들어가는 분자 영역 거동에 적절한 크기를 갖는 나노입자의 흐름을 선택적으로 유지할 수 있다. 분자 영역 크기의 입자를 선택하는 크기 선택 수단은 사이클론 분리기, 중력 분리기, 배플 시스템, 스크린, 열영동 분리기 또는 노즐(307)로의 진입 전의 전기장이나 자기장 분리기와 같은 전기장을 포함할 수 있다. 열영동의 경우, 큰 입자는 긍정적인 열확산 효과를 나타낼 수 있으며 큰 나노입자가 플라즈마의 뜨거운 중앙 영역으로부터 보다 차가운 반응 챔버 셀(5b31)의 벽으로 이동한다. 플라즈마를 뜨거운 중앙 부분에서 노즐 입구로 흐르도록 선택적으로 지향시키거나 배관을 사용할 수 있다.

[0451] 나노입자는 냉각이 신속한 반응 셀 챔버(5b31)의 한 섹션에서 그리고 온도가 주위 압력에서 금속의 비등점 아래에 있을 수 있는 반응 셀 챔버의 온도가 더 낮은 다른 섹션에서 하이드리노 반응의 강렬한 국소적 전력 밀도에 의해 금속의 기화에 의해 형성될 수 있다. 실시예에서, 은이나 갈륨 나노입자와 같은 나노입자는 산화물 층이 나노입자의 표면에 형성될 수 있는 산소를 포함하는 분위기에서 금속의 기화 및 응축에 의해 형성될 수 있다. 산화물 층은 에어로졸 상태에 있는 나노입자의 응집을 방지할 수 있다. 산소 농도, 금속 기화의 속도, 반응 셀 챔버의 온도 및 압력 그리고 온도 및 압력의 구배 가운데 적어도 하나를 제어하여 나노입자의 크기를 제어할 수 있다. 크기는 나노입자의 크기가 분자 영역에 있도록 제외될 수 있다. 나노입자는 MHD 섹션(307)에서 가속화될 수 있으며, 상응하는 운동 에너지는 MHD 채널 섹션(308)에서 전기로 변환될 수 있고 또한 나노입자는 MHD 응축 섹션(309)에서 응집되도록 야기될 수 있다. SunCell®은 응축 섹션에 응집 표면을 포함할 수 있다. 나노입자는 응집 표면에 영향을 미쳐 응집될 수 있으며, 흡수된 산소를 포함할 수 있는 그에 따른 액체 금속이 MHD 복귀 EM 펌프(312) 안으로 흘러 반응 셀 챔버(5b31)로 펌핑되도록 할 수 있다.

[0452] 실시예에서, SunCell®은 금속 나노입자 상의 산화물 코팅을 적어도 부분적으로 환원시키는 환원 수단을 포함할 수 있다. 환원은 나노입자의 응고나 응집을 허용할 수 있다. 응집은 생겨나는 액체가 MHD 복귀 EM 펌프(312)에 의해 반응 셀 챔버(5b31)로 다시 펌핑되도록 허용할 수 있다. 환원 수단은 수소 플라즈마와 같은 원자 수소 소스 또는 원자 수소의 화학 해리기 소스를 포함할 수 있다. 플라즈마 소스는 글로, 아크, 마이크로파, RF 또는 당업계에 알려지거나 본 개시의 다른 플라즈마 소스를 포함할 수 있다. 수소 플라즈마 소스는 본 개시의 하나와 같은 1기압과 같은 고압에서 작동할 수 있는 복수의 미세 중공 캐소드를 포함하는 글로 방전 플라즈마 소스를 포함할 수 있다. 원자 수소 소스로 기능하는 화학 해리기는 본 개시의 하나와 같은 알루미늄이나 실리카 비드상의 Pt와 같은 세라믹에 의해 지지된 귀금속 수소 해리기를 포함할 수 있다. 화학 해리기는 $H_2 + O_2$ 를 재결합시킬 수 있다. 수소 해리기는 (i) SiO_2 에 지지되는 Pt, Ni, Rh, Pd, Ir, Ru, Au, Ag, Re, Cu, Fe, Mn, Co, Mo 또는 W, (ii) 제올라이트에 지지되는 Pt, Rh, Pd, Ir, Ru, Au, Re, Ag, Cu, Ni, Co, Zn, Mo, W, Sn, In, Ga 및 (iii) 멀라이트, SiC, TiO_2 , ZrO_2 , CeO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 및 혼합 산화물의 적어도 하나에 의해 지지되는 귀금속, 귀금속 합금, 귀금속 혼합물 및 회토류 금속 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 수소 해리기는 Pt, Pd, Ir, Rh 및 Ru를 포함하는 것과 같은 지지되는 이중금속을 포함할 수 있다. 수소 해리기의 예시적 이중금속 촉매에는 지지된 Pd-Ru, Pd-Pt, Pd-Ir, Pt-Ir, Pt-Ru 및 Pt-Rh가 포함된다. 촉매 수소 해리기는 지지된 Pt와 같은 촉매 변환기의 재질을 포함할 수 있다. 환원 수단은 MHD 응축 섹션(309) 및 MHD 복귀 저장소(311) 가운데 적어도 하나에 위치할 수 있다.

[0453] 실시예에서, MHD 섹션(307)에서 가속화되는 에어로졸은 산소, 수소 및 불활성 기체 중의 적어도 하나와 같은 가스, 분자 영역에 있는 은이나 갈륨 나노입자 그리고 약 10 nm ~ 1 mm의 직경 범위에 있는 은이나 갈륨 입자와

같은 더 큰 입자의 혼합물을 포함한다. 가스와 분자 영역의 나노입자 가운데 적어도 하나가 캐리어 가스의 역할을 하여 더 큰 입자를 가속화할 수 있으며 이때 가스와 분자 영역의 나노입자 가운데 적어도 하나가 MHD 노즐 섹션(307)에서 가속화한다. 가스와 분자 영역의 나노입자가 반응 셀 챔버(5b31)에서 에어로졸의 압력과 열 에너지 인벤토리에 대한 높은 운동 에너지 변환의 성취를 위한 충분한 물 분율을 포함할 수 있다. 가스와 분자 영역의 나노입자의 물 백분율은 약 1% ~ 100%, 5% ~ 90%, 5% ~ 80%, 5% ~ 70%, 5% ~ 60%, 5% ~ 50%, 5% ~ 40%, 5% ~ 30%, 5% ~ 20% 및 5% ~ 10% 가운데 적어도 하나의 범위를 포함할 수 있다.

[0454] 실시예에서, 나노입자는 열영동 혹은 열 구배 그리고 전기장 및 자기장의 적어도 하나와 같은 장 가운데 적어도 하나에 의해 운반될 수 있다. 나노입자는 전기장이 유효하도록 충전될 수 있다. 이러한 충전은 산소의 제어된 첨가에 의해 산화물 코팅과 같은 코팅을 도포하여 성취될 수 있다.

[0455] 실시예에서, 전기장, 전위 또는 플라즈마가 산소 기체에 인가되어 산소가 은에 흡수된 다음 반응 셀 챔버로 재 활용되도록 MHD 응축 섹션(309)에서 주위 대기의 전도율이 성취되어 MHD 응축 섹션(309)에서 적어도 하나의 은 에어로졸은 응집되고 하이드리노 반응 플라즈마가 유지되지 않는다. 실시예에서, SunCell®은 MHD 응축 섹션(309)에서 증기상에 방전을 인가하는 수단을 포함할 수 있다. 이러한 방전은 글로, 아크, RF, 마이크로파, 레이저 및 O₂를 0 원자로 해리시킬 수 있는 당업계에 주지된 기타 플라즈마 형성 수단이나 방전 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 방전 수단은 방전 전원이나 플라즈마 생성기, 방전 전극이나 적어도 하나의 안테나 그리고 액체 전극 침투부와 유도 결합 전력 커넥터와 같은 벽 침투부 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 원자 산소의 소스는 과열 발전기를 포함할 수 있으며 여기서 O₂가 은 막의 표면에 흡수되고 원자 O로 해리된 다음 막을 통해 확산되어 반대 표면에서 0 원자가 제공된다. 산소 원자는 탈착된 다음 용융 은에 의해 흡수될 수 있다. 탈착의 수단은 저 에너지 전자빔을 포함할 수 있다.

[0456] 실시예에서, 고압 글로 방전은 미세 증공 캐소드 방전의 수단에 의해 유지될 수 있다. 미세 증공 캐소드 방전은 개구의 직경이 약 100미크론인 두 개의 간격이 밀접한 전극들 사이에서 유지될 수 있다. 예시적 직류 방전은 약 대기 압력까지 유지될 수 있다. 실시예에서, 높은 기체 압력에서 대용량 플라즈마는 평행으로 작동하는 개별 글로 방전의 중첩을 통해 유지될 수 있다. 플라즈마의 전자 밀도는 이온화 전위가 낮은 세슘과 같은 금속 등의 종을 추가하여 주어진 전류에서 증가될 수 있다. 전자 밀도는 또한 적어도 하나의 레늄 금속과 같이 열적으로 전자가 방출되거나 토륨 처리나 세슘 처리 금속과 같은 기타 전자 총 열 전자 이미터의 필라멘트 물질과 같은 종을 첨가하여 증가될 수 있다. 실시예에서, 플라즈마 전압은 플라즈마의 전자 하나 하나가 은 에어로졸 입자, 가속기 가스, 또는 세슘 증기와 같은 추가된 가스나 종 가운데 적어도 하나와 충돌함으로써 복수의 전자가 생성되도록 상승된다. 플라즈마 전류는 DC 혹은 AC 가운데 적어도 하나일 수 있다. AC 전력은 MHD 응축 섹션의 챔버 외부 및 내부에 각각 있는 유도 전원과 리시버에 의해 전달될 수 있다.

[0457] 실시예에서, MHD 변환기는 반응 셀 챔버(5b31)로 재활용 이전에 흡수될 산소의 드웰 시간 및 은 영역 가운데 적어도 하나를 증가시키기 위해 MHD 복귀 저장소(311a) 혹은 MHD 복귀 가스 저장소(319)와 같은 저장소를 포함할 수 있다. 저장소의 크기는 바람직한 산소 흡수를 성취하기 위해 선택할 수 있다. MHD 복귀 저장소(311) 또는 MHD 복귀 가스 저장소(311a)는 사이클론 분리기를 더욱 포함할 수 있다. 사이클론 분리기는 은 에어로졸 입자를 응집시킬 수 있다. 저장소는 전자분해나 플라즈마 방전 챔버를 포함할 수 있다.

[0458] 실시예에서, SunCell®은 은이나 갈륨 나노입자와 같은 금속 나노입자 상의 산화물 코팅을 적어도 부분적으로 환원시키는 수단을 포함할 수 있다. 산화물 코팅의 부분적 제거는 MHD 응축 섹션(309)에서와 같은 SunCell®의 바람직한 영역에서 나노입자의 응집을 촉진시킬 수 있다. 이러한 환원은 입자와 수소를 반응시켜 성취할 수 있다. 부분 환원을 성취하기 위해 수소 가스를 MHD 응축 섹션에 제어된 압력 및 온도로 들여보낼 수 있다. SunCell®은 적어도 부분적으로 산화물 코팅을 환원시키는 수소를 포함하는 플라즈마를 유지하기 위해 본 개시의 수단을 포함할 수 있다. 수소에 의해 환원되지 않는 추가의 산소는 응집된 용융 금속에 흡수되어 반응 셀 챔버(5b31)로 펌프에 의해 복귀됨으로써 나노입자의 표면 산화물 형성 및 환원의 사이클을 위한 산소를 제공할 수 있다.

[0459] 폐쇄 액체 자기 유체 역학 사이클의 실시예에서, 교차형 전극을 갖춘 이동하는 도체나 이동하는 부품이 없는 자기장에 대한 가장 간단한 로렌츠 법칙의 적용 시, MHD 전력 변환 효율의 가능성은 부하 계수 W(부하에 걸친 전기장 대 개방 회로 전기장의 비율)에 접근한다. MHD 효율이 W = 1에 접근할 수 있으므로, 플라즈마의 전력에서 전기로의 전기적 변환이 압력-열에서 운동 에너지로의 변환 효율에 접근할 수 있는데, 99%의 상응하는 노즐 효율이 실현된다. 예시적 작동 매개변수들은 적어도 100기압의 배경 O₂ 압력, MHD 채널의 단부에서 25 mole%의

은에 대한 O의 몰분율 흡수 25 mole%, $N = 20$ 의 나노입자당 은 원자 수, $W = 0.98$, 1 kg/s의 질량 유량, 10^6 S/m의 기체 전도도, 2 T의 균일 자기장 그리고 각각 1기압, 1000 K 및 1000 m/s인 입구 압력, 온도 및 속도이다. 이 매개변수들은 최대 단면적이 4 cm^2 인 길이 16 cm 채널과 가스 출구 온도 1800 K로부터 471 kW의 MHD 전력 추출을 초래하는데, 여기서 그 열 인벤토리가 용융 은에서 기체 흡수에 의해 복구된다. 움직이는 부품이 없는 전자기 펌프를 사용하여 미미한 전력으로 은이 재생된다. 채널 부피가 20.4 cm^3 이므로, 상응하는 MHD 전력 밀도가 23.1 kW/cm^3 (23.1 MW/리터)이며, 이는 첨단 고속 헤비듀티 디젤 엔진의 경우 약 30 kW/리터 의 약소한 전형적인 전력 밀도와 비교시 매우 유리하다. 다른 실시예에서, 나노입자당 은 원자 숫자인 N 의 증가는 유사한 전력 변환을 성취하는데 더 긴 채널을 초래하며, 이는 고정된 운동 에너지 인벤토리에 대한 더 낮은 속도 그리고 상응하는 감속 로렌츠 힘의 감소에 기인한다.

[0460]

실시예에서, 용융 금속은 당업계에 주지된 임의의 도전성 금속이나 합금을 포함할 수 있다. 이 용융 금속이나 합금은 낮은 융점을 가질 수 있다. 예시적 금속 및 합금은 갈륨, 인듐, 주석, 아연 및 갈리나 합금이며 그 전형적인 공용 혼합물의 예는 68% Ga, 22% In 및 10% Sn(중량 기준)이지만 비율은 62-95% Ga, 5-22% In, 0-16% Sn(중량 기준) 범위에서 변동할 수 있다. 이 금속이 수소 및 물의 적어도 하나와 반응하여 상응하는 산화 금속을 형성할 수 있는 실시예에서, 하이드리드 반응 혼합물은 용융 금속, 산화 금속 및 수소를 포함할 수 있다. 산화 금속은 금속으로 열 분해되어 산소를 방출하는 Sn, Zn 및 Fe 산화물의 적어도 하나와 같은 것을 포함할 수 있다. 산화 금속은 HOH 촉매를 형성하는 산소 소스의 역할을 할 수 있다. 산소는 금속 산화물과 HOH 촉매 사이에 재활용될 수 있으며 하이드리드 형성에 소비되는 수소는 재공급될 수 있다. 셀 재질은 셀의 작동 온도에서 비 반응성이 되도록 선택될 수 있다. 대안적으로, 이 재질이 H_2 , O_2 및 H_2O 의 적어도 하나와 반응하는 온도 미만의 온도에서 작동될 수 있다. 셀 재질은 스테인레스 강, 실리콘 질화물, SiC, BN, YB_2 와 같은 붕소화물, 규화물과 같은 세라믹, 및 Pyrex, 석영, MgO , Al_2O_3 및 ZrO_2 와 같은 산화물 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 셀은 그 작동 온도가 약 $500 \sim 600^\circ \text{C}$ 미만인 BN 및 탄소 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 실시예에서, 전력 시스템의 적어도 한 구성요소는 세라믹을 포함할 수 있으며, 이 세라믹은 산화 금속, 알루미늄, 지르코니아, 마그네시아, 하프니아, 탄화 규소, 탄화 지르코늄, 이붕소화 지르코늄, 질화 실리콘 그리고 $\text{Li}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(LAS 시스템), $\text{MgO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(MAS 시스템), $\text{ZnO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{SiO}_2$ 시스템(ZAS 시스템)과 같은 유리 세라믹 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0461]

실시예에서, 주입 금속은 비스무트, 납, 주석, 인듐, 카드뮴, 갈륨, 안티몬 또는 로즈 금속, 세로세이프, 우드 금속, 필드 금속(Field's metal), 셀룰로우 136, 셀룰로우 117, Bi-Pb-Sn-Cd-In-Tl 및 갈리나와 같은 합금 가운데 적어도 하나와 같은 융점이 700°C 미만인 것과 같은 저융점을 가질 수 있다. 저장소(5c)와 같은 적어도 한 구성요소는 지르코니아, 알루미늄, 석영 또는 Pyrex와 같은 세라믹을 포함할 수 있다. 저장소의 단부는 금속화되어 금속 저장소 기저부 판이나 전자기 펌프 조립체(5kk1)의 기저부에 용이하게 연결될 수 있다. 저장소와 전자기 펌프 조립체(5kk1)의 기저부 사이의 조합체는 브레이즈나 은 뱀납과 같은 뱀납을 포함할 수 있다. 대안적으로, 이 조합체는 가스켓이 있는 플랜지 실을 포함할 수 있다. TEM 펌프는 pumps may comprise 금속 EM 펌프 튜브(5k6), 점화 전자기 펌프 버스 바(5k2), 및 점화 전자기 펌프 버스 바(5k2)와 같은 점화 연결을 포함할 수 있다. 용융 금속 주입 및 점화 가운데 적어도 하나는 DC 전류에 의해 구동될 수 있는데, 주입 펌프는 DC EM 펌프를 포함할 수 있다. DC EM 펌프 튜브(5k6), 저장소 지지대(5kk1), EM 펌프 버스 바(5k2) 및 점화 버스 바(5k2a)의 적어도 하나는 스테인레스 강과 같은 금속을 포함할 수 있다. 점화 버스 바(5k2a)는 저장소 지지대(5kk1) 및 DC EM 펌프 튜브(5k6)의 적어도 하나와 연결될 수 있다. 반응 셀 챔버(5b31)은 지르코니아, 알루미늄, 석영 또는 Pyrex와 같은 세라믹을 포함할 수 있다. 대안적으로 반응 셀 챔버(5b31)는 SiC 코팅된 탭소를 포함할 수 있다. SunCell®은 저장소 레벨이 내려가는 동안 흘러 들어오는 용융 금속을 스로틀링하는, 위로부터 아래까지의 조작된 채널이나 혹은 복수의 구멍을 가진 것과 같은 입구 라이저(5qa)를 포함할 수 있다. 이 스로틀링은 저장소 레벨의 극적인 차이를 피하면서 그 레벨의 균형을 맞추는 역할을 할 수 있다. 초기의 용융 금속 충전 레벨과 입구에서 바닥의 높이를 선택하여 최대 및 최소 저장소 높이를 선택할 수 있다.

[0462]

실시예에서, 용융 금속은 갈륨이나 Ga-In-Sn 합금과 같은 합금을 포함한다. 300°C 미만에서 용융하는 것과 같은 융점이 낮은 금속을 가진 SunCell®은 용융 금속을 반응 셀 챔버(5b31)로 주입하는 기계적 펌프를 포함할 수 있다. 기계적 펌프의 최대 용량 미만의 작동 온도에서는 기계적 펌프가 유도 펌프(400)와 같은 EM 펌프를 교체할 수 있으며, 작동 온도가 더 높은 경우 EM 펌프가 사용될 수 있다. 일반적으로 기계적 펌프는 약 300°C 의 온도 한도까지 작동하지만, 세라믹 기어 펌프는 1400°C 까지 작동한다. 300°C 미만과 같은 더 낮은 온도에서의

작동은 온수와 저압 수증기 용도에 매우 적합하며 여기서 SunCell® 히터는 도 24의 것과 같은 열 교환기(114)를 포함한다. H_2 및 O_2 와 같은 반응물 가스는 탱크(422) 및 라인(422)으로부터 가스 투과성 막(309d)을 통한 확산에 의해 반응 셀 챔버(5b31)와 같은 셀로 첨가될 수 있다.

[0463] SunCell® 히터 또는 열 발전기 실시예(도 24)는 구형 반응기 (5b4)로부터의 복사에 의해 열을 받는 패널 또는 섹션(114a)을 포함하는 공간적으로 분리된 원주 반구형 열 교환기(114)를 갖는 구형 반응기 셀(5b31)을 포함한다. 각각의 패널은 구의 극을 통한 2개의 큰 원으로 한정된 구형 표면의 섹션을 포함할 수 있다. 열 교환기(114)는 열 교환기의 각각의 패널(114a)로부터 냉각제 라인(114c)을 갖는 토로이드 매니폴드와 같은 매니폴드(114b) 및 매니폴드 냉각제 출구(114f)를 더 포함할 수 있다. 각각의 냉각제 라인(114c)은 냉각제 입구 포트(114d) 및 냉각제 출구 포트(114e)를 포함할 수 있다. 열 발전기는 입구 및 출구(309e)를 갖는 가스 실린더(421) 및 열 교환기(114)의 상부를 통해 구형 셀(5b31)의 상부에서 가스 투과성 막(309d)으로 연장되는 가스 공급 튜브(422)를 더 포함할 수 있다. 가스 공급 튜브(422)는 열 교환기(114)의 상부에서 냉각제 수집 매니폴드(114b)를 통과할 수 있다. 가스 공급 튜브(422)는 열 교환기(114)의 상부에 있는 냉각제 수집 매니폴드(114b)를 지나갈 수 있다. 다른 SunCell® 히터 실시예(도 224)에서, 반응 셀 챔버(5b31)는 원통형 열 교환기(114)를 갖는 원통형일 수 있다. 가스 실린더(421)는 열 교환기(114)의 외부에 있을 수 있으며, 가스 공급 튜브(422)는 열 교환기(114)를 통과함으로써 반응 셀 챔버(5b31)의 상부에서 반투과성 가스 막(309d)에 연결된다. 반응 셀 챔버(5b31), 반응 셀 챔버(5b31)의 상부에 있는 가스 막(309d) 그리고 가스 공급 튜브(422)의 적어도 일부 가운데 적어도 하나는 세라믹을 포함할 수 있다. 가스 실린더(421)에 연결되는 가스 공급 튜브(422)는 스테인레스강과 같은 금속을 포함할 수 있다. 가스 공급 튜브(422)의 세라믹 및 금속 부분은 탄소 개스킷과 같은 개스킷을 포함할 수 있는 가스 공급 튜브 세라믹-금속 플랜지(422a)에 의해 조합될 수 있다. 냉수는 입구(113)로 공급될 수 있고 열 교환기(114)에서 가열되어, 보일러(116)에서 수집되고 증기 출구(111)를 빠져 나가는 증기를 형성한다. 열 발전기는 유도 EM 펌프(400), 저장소(5c) 및 반응 셀 챔버(5b31)를 포함하는 이중 용융 금속 주입기를 더 포함할 수 있다.

[0464] 점화 전자기 펌프 버스 바(5k2a)와 같은 점화 버스 바를 포함하는 점화 시스템을 포함하는 SunCell®의 실시예에서, 점화 전류를 증가시켜 그 저항을 감소시킨다. SunCell®은 저장소(5c)에 있는 용융 금속과 같은 용융 금속을 직접 접촉하는 점화 버스 바를 포함할 수 있다. 점화 버스 바는 은이나 갈륨과 같은 용융 금속에 직접 접촉하는 저장소 지지 플레이트(5b8)의 침투부를 포함할 수 있다. SunCell®은 저장소 용융 금속과 상응하는 전자기 펌프에 의해 생성되는 용융 금속 스트림 사이의 직접적 전기 접촉을 제공하는 침지된 EM 펌프 주입기(5k61)와 같은 침지된 전극을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 주입된 용융 금속 스트림의 전기 회로는 저장소 지지 플레이트(5b8)를 침투하는 점화 버스 바(5k2a), 저장소(5c) 안에 용융 금속 및 침지된 EM 펌프 주입기로부터 나오는 상응하는 스트림에 접촉하는 저장소 용융 금속을 포함할 수 있으며, 스트림은 용융 금속을 침투하여 상대 스트림이나 대응하는 대향 전극에 도달한다. 저장소는 주입의 변동을 피하기 위해 충분한 용융 금속의 부피를 제공하는 상부에 충분한 면적을 포함하며 부피는 면적과 침지 깊이를 곱하여 결정된다. 주입의 변동은 복귀 용융 금속 스트림의 유량에 대한 변화에 기인할 수 있으며 침지 깊이와 용융 금속 표면에서의 난류 가운데 적어도 하나에 영향을 준다.

[0465] 하이브리드 반응 속도를 크게 증가시키는 이온 재결합의 아크 전류 기전에 근거하여 예측되는 바와 같이 플라스마 반응이 양극에서 훨씬 더 강렬한 것으로 관찰되었다. 하이브리드 반응기에서는, 음극에서 플라스마 전력이 소멸되며 글로가 생성되는 글로 방전에 비해 양극이 독특하다. 실시예에서, 주입기 저장소(5c)가 반응 셀 챔버(5b31)의 바닥 부분을 더욱 포함할 수 있으며, 여기서 대향 전극은 주입기 저장소 및 전극으로부터 전기적으로 절연된 상승한 페데스탈 전극을 포함하는 연장부나 페데스탈(5c1)을 포함하는 비주입기 저장소를 포함할 수 있다. 대향 전극이나 비주입기 전극은 전기 절연체를 포함할 수 있으며 전기적 절연을 제공하는 드립 에지를 더욱 포함할 수 있다. 주입기 전극과 대향 전극은 각각 음극 및 양극일 수 있다.

[0466] 다른 예시적 실시예에서, 도 25에 나와 있는 페데스탈 전극을 가진 SunCell®은 다음을 포함한다: (i) 주입기 저장소(5c), EM 펌프 튜브(5k6) 및 노즐(5q), 저장소 기저부 판(409a) 그리고 구형 반응 챔버 셀(5b31) 돔, (ii) 슬리브 저장소(409d)의 단부에 있는 슬리브 저장소 플랜지(409e)로써 하부 반구(5b41)에 용접된 SS를 포함할 수 있는 슬리브 저장소(409d)를 포함하는 비주입기 저장소, (iii) 상부에는 페데스탈(5c1) 그리고 슬리브 저장소 플랜지(409e)와 맞물리는 하부의 인서트 저장소 플랜지(409g)를 포함하는 전기 절연체 인서트 저장소(409f)로서, 인서트 저장소(409f), 드립 에지(5c1a)를 더욱 포함할 수 있는 페데스탈(5c) 및 인서트 저장소 플랜지(409g)는 질화 붕소, BN-CaO 또는 BN-ZrO₂와 같은 안정화 BN, 탄화 실리콘, 알루미늄, 지르코니아, 하프니아

또는 석영같은 세라믹 또는 SiC나 ZrB₂ 탄소를 포함하는 것 같은 SiC나 ZrB₂ 등의 보호 코팅을 가진 내화성 금속, 탄소 또는 세라믹을 포함할 수 있음, 그리고 (iv) 점화 버스 바(10a1)에 대한 관통부를 갖는 SS를 포함하는 것과 같은 저장소 기저부 판(409a) 및 점화 버스 바(10), 여기서 기저부 판이 슬리브 저장소 플랜지(409e)에 볼트로 연결되어 인서트 저장소 플랜지(409g)를 사이에 끼운다. 실시예에서, SunCell®은 슬리브 저장소 플랜지(409e), 인서트 저장소 플랜지(409g) 및 저장소 기저부 판(409a)을 포함하는 조인트를 둘러싸고 밀봉하는 진공 하우징을 포함할 수 있으며, 여기서 하우징은 전극 버스 바(10)에서 전기적으로 절연된다.

[0467] 도 25에 나와 있는 실시예에서, 역 페테스탈(5c2) 그리고 점화 버스 바 및 전극(10)은 셀(5b3)의 중심에 대해 지향되거나 음의 z-축과 정렬되는 것 가운데 적어도 하나이며, 여기서 적어도 하나의 대향 주입기 전극(5k61)이 그 저장소(5c)에서 양의 z-방향으로 용융 금속을 주입한다(해당되는 경우). 해당되는 경우, 주입된 용융 스트림은 중력에 반하여 용융 금속의 코팅이나 풀을 페테스탈(5c2)에 유지할 수 있다. 풀이나 코팅은 전극(10)을 적어도 부분적으로 덮을 수 있다. 풀이나 코팅은 부식이나 용융과 같은 손상으로부터 전극을 보호할 수 있다. 후자의 경우, EM 펌핑 속도를 증가시켜 주입된 용융 금속의 흐름에 의한 전극 냉각을 증가시킬 수 있다. 전극 면적과 두께 또한 증가시켜 용융 방지를 위해 국소 핫 스팟을 소멸시킬 수 있다. 페테스탈은 양의 바이어스가 될 수 있고 주입기 전극은 음의 바이어스가 될 수 있다. 다른 실시예에서, 페테스탈은 음의 바이어스가 될 수 있고 주입기 전극은 양의 바이어스가 될 수 있으며, 주입기 전극은 용융 금속에 침지될 수 있다. 갈륨과 같은 용융 금속은 반응 셀 챔버(5b31)의 하부 부분의 일부를 채울 수 있다. 주입된 용융 금속의 코팅이나 풀 외에도, W 전극과 같은 전극(10)은 인가된 음의 바이어스에 의해 부식으로부터 안정화될 수 있다. 실시예에서, 전극(10)은 전극을 부식으로 보호하기 위해 레늄 코팅과 같은 비활성의 전도성 코팅 등의 코팅을 포함할 수 있다. 실시예에서 이 전극은 냉각될 수 있다. 코팅은 전극의 부식 속도와 용융 금속과의 합금 형성 속도 가운데 적어도 하나를 감소시킬 수 있다. 냉각은 중심선 수랭과 같은 수단에 의해 성취될 수 있다. 실시예에서, 역 전극의 표면적은 플라즈마 및 주입기 전극으로부터의 용융 금속 스트림 중 적어도 하나와 접촉하는 표면의 크기를 증가시켜 증가된다. 예시적 실시예에서, 커다란 판이나 컵이 전극(10)의 단부에 부착된다. 다른 실시예에서, 주입기 전극을 침지하여 대향 전극의 면적이 증가될 수 있다. 도25는 예시적 구형 반응 셀 챔버를 보여준다. 직사각형, 입방형, 원통형 및 원뿔형과 같은 기타 지오메트리들은 본 개시의 범위에 속한다. 실시예에서, 저장소의 상부와 연결되는 반응 셀 챔버의 기저부를 원뿔 형상으로 경사지게 하여 용융 금속이 EM 펌프의 입구로 진입 시 그 혼합을 원활히 할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버의 외부 표면의 적어도 한 부분을 구리와 같은 열전달 계수가 높은 물질로 덮어서 반응 셀 챔버 벽의 핫 스팟을 피할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버의 플라즈마가 벽을 용융시키는 것을 방지하며 용융 금속 벽을 유지하기 위해 반응 셀 챔버 벽으로 용융 금속을 주입하는 EM 펌프와 같은 복수의 펌프를 포함한다. 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버 벽은 BN, 융합 실리카 또는 석영 라이너와 같은 라이너(5b31a)를 포함하여 핫 스팟을 피한다. 예시적 반응 셀 챔버는 석영 판으로 라이닝된 입방형 상부 섹션 그리고 하단의 EM 펌프를 포함하는 하부 구형 섹션을 포함하며, 여기서 구형 섹션은 용융 금속의 혼합을 촉진시킨다.

[0468] 실시예에서, 슬리브 저장소(409d)는 용융 금속이 역 페테스탈(5c2)의 단부에 있는 컵이나 드립 에지(5c1a)에 거의 전적으로 수용되도록 점화 버스 바 및 전극(10) 사이에 억지 끼워맞춤되는 전기 절연체를 포함할 수 있다. 인서트 저장소 플랜지(409g)를 갖는 인서트 저장소(409f)는 저장소 기저부 판(409a), 슬리브 저장소(409d) 및 슬리브 저장소 플랜지(409e)에 의해 셀 챔버(5b3)에 장착될 수 있다. 전극은 전극 관통부(10a1)를 통해 저장소 기저부 판(409a)을 관통할 수 있다.

[0469] 다른 실시예에서, 인서트 저장소 플랜지(409g)는 피드-스루 및 페테스탈(5c1) 또는 인서트 저장소(409f)의 버스 바(10)를 저장소 기저부 판(409a)으로부터 전기적으로 절연시키는 저장소 기저부 판(409a)에 장착된 피드-스루로 대체할 수 있다. 이 피드-스루는 저장소 기저부 판에 용접될 수 있다. 버스 바(10)를 포함하는 예시적 피드-스루는 Solid Sealing Technology, Inc. #FA10775이다. 버스 바(10)는 전극(8)에 결합될 수 있거나, 또는 버스 바(10) 및 전극(8)은 단일 편을 포함할 수 있다. 저장소 기저부 판은 슬리브 저장소 플랜지에 직접 결합될 수 있다. 조합체는 개입 가스켓과 함께 볼트로 결합되는 Conflat 플랜지를 포함할 수 있다. 이 플랜지는 구리 가스켓과 같은 무른 금속 가스켓을 밀봉하는 나이프 에지를 포함할 수 있다. 인서트 저장소(409f)를 포함하는 세라믹 페테스탈(5c1)은 대향하는 천공된 저장소 기저부 판(409a) 안으로 대향하여 침강할 수 있는데, 페테스탈과 저장소 기저부 판 사이의 조합체는 탄소 가스켓이나 본 개시의 다른 것과 같은 가스켓으로 밀봉할 수 있다. 전극(8) 및 버스 바(10)는 플라즈마 방전이 발생하는 단부에서 엔드플레이트를 포함할 수 있다. 페테스탈과 저장소 기저부 판 사이의 조합체를 밀봉하는 가스켓에 압력을 인가할 수 있으며, 디스크를 누르면 이에 따라 가스켓에 압력이 인가된다. 디스크를 돌리면 가스켓에 압력이 인가되도록 디스크를 전극(8)의 단부에 나사

식으로 끼울 수 있다. 피드-스루는 버스 바와 전극에 연결되는 환형 칼라를 포함할 수 있다. 환형 칼라는 조이면 전극을 제 위치에 잠그는 나사산이 있는 고정 나사를 포함할 수 있다. 그 위치는 엔드 디스크를 페데스탈 쪽으로 당김으로써 인가되는 장력 하에서 가스켓으로 잠글 수 있다. 페데스탈(5c1)은 고정 나사에 접근하기 위한 축을 포함할 수 있다. 이 축은 BN 고정나사와 같은 세라믹 고정 나사 등의 비전도성 고정 나사로써 페데스탈의 외부 표면에 밀봉될 수 있도록 나사산을 가질 수 있으며, 페데스탈은 BN-ZrO₂와 같은 BN을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 버스 바(10) 및 전극(8)은 맞댐으로 연결될 수 있는 로드를 포함할 수 있다. 실시예에서, 페데스탈(5c1)은 두 개 이상의 나사산이 있는 금속축을 포함할 수 있으며, 각각 버스 바(10)나 전극(8)을 조임으로써 장력 하에서 제 위치에 잠그는 고정 나사를 갖는다. 이 장력은 버스(10) 및 전극(8)의 연결들 중 적어도 하나를 제공하여 가스켓에 압력을 가할 수 있다. 대안적으로 대향 전극은 단축 절연 페데스탈(5c1)을 포함하며, 전극(8) 및 버스 바(10)의 적어도 하나가 수 나사, 와셔 및 상응하는 암 너트를 포함하여 너트와 와셔가 단축 절연 페데스탈(5c1)에 대해 조여진다. 대안적으로 전극(8)은 버스 바(10)의 한쪽 단부에 있는 상응하는 암 나사로 끼워지는 수 나사를 한 단부에 포함할 수 있으며, 전극(8)은 단축 절연 페데스탈(5c1)을 페데스탈 와셔와 대향하여 침강할 수 있는 저장소 기저부 판(409a)에 대해 단축 절연 페데스탈(5c1)을 조이는 고정 와셔를 더 포함한다. 대향 전극은 당업자에게 알려진 페데스탈, 버스 바 및 전극의 체결을 위한 다른 수단들을 포함할 수 있다.

[0470] 다른 실시예에서, (i) 인서트 저장소 플랜지(409g)와 슬리브 저장소 플랜지(409e) 사이의 것 그리고 (ii) 저장소 기저부 판(409a)과 슬리브 저장소 플랜지(409e) 사이의 것과 같은 적어도 하나의 실이 습식 실을 포함할 수 있다(도 25). 후자의 경우 인서트 저장소 플랜지(409g)는 피드-스루의 버스 바(10) 및 페데스탈(5c1)을 저장소 기저부 판(409a)으로부터 전기적으로 절연시키는 저장소 기저부 판(409a)에 장착된 피드-스루로 대체할 수 있으며, 습식 실은 저장소 기저부 판(409a)과 피드-스루 사이의 것을 포함할 수 있다. 갈륨이 1900 ° C의 융점을 갖는 산화물을 형성하므로, 이 습식 실은 고품질의 산화 갈륨을 포함할 수 있다.

[0471] 실시예에서, 수소가 구조적으로 강화된 Pd-Ag나 니오븀 막과 같은 수소 투과성 막을 통해 셀로 공급될 수 있다. 수소 투과성 막을 통한 수소 투과율은 투과성 막의 외부 표면에 플라즈마를 유지하여 증가시킬 수 있다. SunCell®은 플라즈마 셀의 캐소드와 같은 플라즈마 셀의 전극을 포함할 수 있는 반투과성 막을 포함할 수 있다. 도25에 나와 있는 것과 같은 SunCell®은 셀(5b3)의 벽의 일부를 둘러싸는 외부 벽을 포함하는 외부의 밀봉된 플라즈마 챔버를 더 포함할 수 있는데, 셀(5b3)의 금속 벽의 일부가 플라즈마 셀의 전극을 포함한다. 밀봉된 플라즈마 챔버는 하우징과 같은 셀(5b3) 주위의 챔버를 포함할 수 있으며, 셀(5b3)의 벽은 플라즈마 셀 전극과 하우징을 포함할 수 있거나 혹은 챔버의 독립 전극이 대향 전극을 포함할 수 있다. SunCell®은 플라즈마 전원과 플라즈마 제어 시스템, 수소 가스 공급 탱크와 같은 가스 소스, 수소 공급 모니터 및 조절기 그리고 진공 펌프를 더 포함할 수 있다.

[0472] 실시예에서, SunCell®은 점화 회로에 대한 전력의 소스와 EM 펌프(5kk)에 대한 전력의 소스 사이의 임의의 간섭을 완화하거나 제거하는 수단을 포함하는 간섭 제거기를 포함한다. 이 간섭 제거기는 두 개의 상응하는 공급 장치 사이의 간섭을 방지하기 위해 하나 이상의 회로 요소 그리고 점화부의 상대 전압, 전류, 극성, 파형 및 듀티 사이클 및 EM 펌프 전류를 조절하는 하나 이상의 조절기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0473] 실시예에서, SunCell®은 EM 펌프 튜브(5k61)의 주입기 섹션에서 금속 스트립의 전기적 저항을 증가시키는 수단을 포함한다. 이 전기적 저항을 증가시키는 수단은 EM 펌프(5kk)에 대한 금속 흐름의 충격이 최소인 전류 저항기를 포함할 수 있다. 전류 저항기가 전류 저항기 이후 금속 스트립으로 공급될 수 있는 점화 전류를 방해하지 않도록 전류 저항기는 EM 펌프 자석(5k4)과 버스 바(5k2)에 가깝게 위치할 수 있다. 전류 저항기는 스펀함으로써 용융 금속 흐름을 허용하는 복수의 베인이나 패들을 포함할 수 있다. 이 패들이나 베인은 축 상에 장착될 수 있다. 패들이나 베인은 질화 붕소, 석영, 알루미늄, 지르코니아, 하프니아 또는 본 개시나 당업계에 알려진 기타 세라믹과 같은 세라믹의 절연체를 포함할 수 있다. 실시예에서, 전류 저항기는 BN과 같은 세라믹 등의 절연체 패들 휠과 같은 EM 펌프에 대한 전류 인터럽터를 포함한다. 이 전류 인터럽터는 EM 펌프 튜브(5k61)의 주입기 섹션의 한 섹션에 돌출부를 포함하는 하우징에 수용될 수 있다. 패들 휠의 축은 하우징의 내부 벽에 고정될 수 있다. 회전 방향을 원하는 방향으로 편향하는 실시예에서, 패들이나 베인의 적어도 하나가 곡선이나 겹의 모양을 가질 수 있으며 패들 휠은 EM 펌프 튜브 흐름의 중심으로부터 오프셋될 수 있다. 하우징은 그러한 오프셋을 수용할 수 있다. 실시예에서, 전류 인터럽터는 EM 펌프의 입구 그리고 주입 출구 쪽 중 적어도 하나에 위치할 수 있다. EM 펌프 튜브는 불안정한 용융 금속 흐름을 완화시키는 흐름 조절기를 포함하는 저장소를 형성하기 위해 더 큰 직경의 돌출부 또는 섹션을 포함할 수 있다. 저장소는 전류 인터럽터를 통한 통과 이후 흐름을 받을 수 있다. 실시예에서, 전류 인터럽터는 EM 펌프 튜브의 입구와 출구 모두에서 용융 금속을 통과하

는 전류를 차단하는 기능을 할 수 있다. 전류 인터럽터는 휠의 반쪽에서는 입구 흐름을 다른 반쪽에서는 출구 흐름을 받는 단일 패들 휠을 포함할 수 있다. 입구 및 출구 튜브의 각각 흐름의 하류에서 저장소를 포함할 수 있다. 출구 흐름은 휠의 회전을 도우므로 그렇지 않으면 패들 휠과 같은 전류 인터럽터에 의해 폐쇄될 수 있는 입구 흐름을 원활히 할 수 있다.

[0474] 실시예에서, 전기적 전류 저항기는 그 축이 흐름의 방향에 정렬되며 흐름의 방향에 근거하여 원하는 오거 축 회전을 원활하게 하는 나선형 피치를 포함하는 오거를 EM 펌프 튜브 내부에 포함할 수 있다. 이 전기적 전류 저항기는 EM 펌프에 의해 추진되는 용융 금속 흐름에 의해 그 회전이 성취되는 아르키메데스식 스크류 펌프 유형을 포함할 수 있다. 오거는 본 개시의 것과 같은 세라믹 등의 전기적 절연체를 포함할 수 있다. 오거는 알루미늄, 실리카, 멀라이트, BN 또는 본 개시의 다른 것과 같은 세라믹 등의 절연체로 도포할 수 있는 스테인레스강과 같은 금속이나 탄소를 포함할 수 있다. 오거의 용접 미만과 같은 저온 작동의 경우, 오거는 테플론, 바이튼, 델린 또는 당업자에게 알려진 다른 고온 폴리머를 포함할 수 있다. 실시예에서, 오거를 수용하는 EM 펌프 튜브 섹션은 용융 금속 흐름에 대한 저항을 감소시키기 위해 직경이 더 큰 오거에 필요한 더 큰 직경을 포함할 수 있다. 오거는 제 위치에 고정시키고 회전을 허용하는 받침대를 포함할 수 있다. 각 단부의 오거 받침대는 각각 오거를 수용하는 EM 펌프 섹션의 하우징의 직경에 걸쳐 샤프트 상의 슬립 베어링을 포함할 수 있다. 이 받침대는 스테인레스강, 탄탈 또는 텅스텐과 같은 갈륨과의 합금 형성에 내성이 있는 물질을 포함할 수 있다. 실시예에서, EM 펌프 튜브의 주입 섹션은 세라믹과 같은 전기적 절연체를 포함한다. 점화 전력과 상응하는 주입된 용융 금속 스트림 사이의 전기적 접촉을 우선적으로 만들기 위해 노즐이 침지될 수 있다.

[0475] 실시예에서, SunCell®은 상응하는 전원을 갖춘 적어도 하나의 EM 펌프 그리고 상응하는 전원을 갖춘 적어도 하나의 점화 시스템을 포함한다. 실시예에서, 공통 전기적 접촉부로서 용융 금속을 가진 것과 같은 공통 도전 회로가 존재할 때 그 공급부로부터의 점화 전력이 그 공급부로부터의 EM 펌프 전력으로부터 분리되도록 상응하는 전원들은 상이한 주파수를 갖는다. 예시적 실시예에서, AC 전도 EM 펌프가 DC 전도 점화 전류로부터 분리될 수 있거나, DC 전도 EM 펌프가 AC 전도 점화 전류로부터 분리될 수 있다. 대안적으로 적어도 하나의 EM 펌프와 점화 전류가 상응하는 AC 변압기에 의해 유지되는 유도 AC 전류를 포함할 수 있는데, 여기서 복수의 변압기들이 결합되지 않도록 설계된다. 자기 결합, 임펠러, 피스톤, 회전 자석, 연동식 펌프 또는 당업계에서 알려진 다른 유형의 기계식 펌프와 같은 기계식 펌프 또는 직선형 유도 EM 펌프를 포함하는 실시예에서 전기적 결합이 제거될 수도 있는데, 점화 전류의 주파수와 상응하는 전원이 임의의 주파수를 포함하며 그 전류는 전도형이나 유도형일 수 있다.

[0476] SunCell®은 광전지(PV) 변환기와 광을 PV 변환기로 투과하는 창을 더욱 포함할 수 있다. 도 26-27에 나와있는 실시예에서, SunCell®은 수직 축을 따라 단면적이 테이퍼 형상을 띠며 테이퍼의 정점에 PV 창(5b4)이 있는 반응 셀 챔버(5b31)를 포함한다. 상응하는 테이퍼를 가지는 창은 원형(도 26) 혹은 정사각형이나 직사각형(도 27)과 같은 PV 어레이(26a)를 수용하는 임의의 바람직한 지오메트리를 포함할 수 있다. 이 테이퍼는 PV 창(5b4)의 금속화를 억제하며 광전지(PV) 변환기(26a)에 의한 효율적인 광-전기 변환을 허용할 수 있다. PV 변환기(26a)는 본 개시의 PV 셀과 같은 집광기 PV 셀의 밀집한 어레이의 수집기를 포함할 수 있으며, 마이크로 채널 플레이트를 포함하는 것과 같은 냉각 시스템을 더욱 포함할 수 있다. PV 창(5b4)은 금속화를 억제하는 코팅을 포함할 수 있다. PV 창은 PV 창 코팅의 열 분해를 방지하기 위해 냉각될 수 있다. SunCell®은 도 25에 나와 있는 것과 유사하게 역 페데스탈(5c2)의 단부에 컵이나 드립 에지(5c1a)를 갖는 적어도 하나의 부분적인 역 페데스탈(5c2)을 포함할 수 있으나, 각 페데스탈의 수직 층과 전극(10)이 수직이나 z-축에 대해 각도를 가지고 배향되는 것은 제외된다. 이 각도는 1° ~ 90°의 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, 해당되는 경우 적어도 하나의 대향 주입기 전극(5k61)이 그 저장소(5c)로부터 용융 금속을 비스듬히 중력에 반해 양의 z-방향으로 주입한다. 주입 펌핑은 EM 펌프 조립체 슬라이드 테이블(409c) 상에 장착된 EM 펌프 조립체(5kk)에 의해 제공될 수 있다. 예시적 실시예에서, 부분적인 역 페데스탈(5c2) 및 대향 주입기 전극(5k61)이 도 26에 나와 있는 바와 같이 수평 혹은 x-축에 대해 135°로 축에 정렬하거나, 도 27에 나와 있는 바와 같이 수평 또는 x-축에 대해 45°로 축에 정렬된다. 인서트 저장소 플랜지(409g)를 가진 인서트 저장소(409f)는 저장소 기저부 판(409a), 슬리브 저장소(409d) 및 슬리브 저장소 플랜지(409e)에 의해 셀 챔버(5b3)에 장착될 수 있다. 전극은 전극 관통부(10a1)를 통해 저장소 기저부 판(409a)을 관통할 수 있다. 주입기 전극의 노즐(5q)은 반응 셀 챔버(5b31) 및 저장소(5c)의 바닥에 포함되는 액체 갈륨과 같은 액체 금속에 침지될 수 있다. 가스는 반응 셀 챔버(5b31)에 공급될 수 있거나 챔버는 409h와 같은 기체 포트를 통해 비울 수 있다.

[0477] 도 28에 나와 있는 대안적 실시예에서, SunCell®은 음의 수직 축을 따라 테이퍼진 단면적을 가진 반응 셀 챔버(5b31) 그리고 반응 셀 챔버(5b31)의 상부를 포함하는 테이퍼(도 26-27에 나와 있는 실시예의 반대쪽 테이퍼)의

더 큰 직경의 단부에 위치한 PV 창(5b4)을 포함한다. 실시예에서, SunCell®은 원통형 지오메트리를 포함하는 반응 셀 챔버(5b31)을 포함한다. 주입기 노즐과 페테스탈 대향 전극은 원통의 대향 단부에서 수직 축 상에 또는 수직축에 경사진 선을 따라 정렬될 수 있다.

[0478] 실시예에서, PV 창은 함께 묶을 수 있는 복수의 좁은 채널들이나 튜브들을 포함할 수 있다. 각 채널은 반응 셀 챔버로부터 떨어진 단부에 있는 PV 창을 포함할 수 있다. 이 채널들은 수직으로 향할 수 있다. 채널의 축을 따라 추진되는 용융 금속은 튜브 내 기체의 기계 리액턴스와 중력 중 적어도 하나에 의해 PV 창에 도달하는 것으로부터 차단될 수 있다. 위로 이동하는 입자의 초기 운동 에너지는 상향 운동이 중단되도록 중력 에너지로 변환될 수 있다. 채널 면적은 약 $0.01 \text{ cm}^2 \sim 10 \text{ cm}^2$, $0.05 \text{ cm}^2 \sim 5 \text{ cm}^2$ 및 $0.1 \text{ cm}^2 \sim 1 \text{ cm}^2$ 중 적어도 한 범위에 있을 수 있다.

[0479] 실시예에서, PV 창은 광에 투명한 창 그리고 용융 금속이 광에 투명한 창을 코팅하는 것을 물리적으로 차단하는 반면 광이 간접적 경로를 이동함으로써 광이 투명한 창에 입사하는 방식으로 광을 반사시키는 적어도 하나의 거울이나 반사기를 포함한다. 이 광에 투명한 창은 석영, 사파이어, 유리 또는 본 개시의 다른 창 물질을 포함할 수 있다. 셀의 용융 금속은 용융 갈륨이나 용융 은과 같은 반사율이 낮은 것을 포함할 수 있다. 반사기는 도포된 표면의 실로부터의 입사광을 주로 반사하여 그 광을 창에 입사되도록 용융 금속으로 도포된 표면을 포함할 수 있다. 반사기는 매끄러울 수 있는 금속 판과 같은 복수의 그러한 표면을 포함할 수 있다. 금속 입자는 직선의 궤도를 따라 흐를 수 있으며 복수의 반사기로부터 튕겨나지 않는다. 그러므로 반사판은 창으로의 금속 흐름을 차단한다. 반사기는 창으로 간접적 광 경로를 제공하면서 금속 입자의 창으로의 직진 경로를 차단하는 임의의 원하는 배열과 임의의 원하는 각도로서 배향시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, 금속 판과 같은 반사기는 각 판이 수직 축에 대해 대략 같은 경사 각도를 가지는 대략 평행 면을 포함하는 쌍으로 배열할 수 있으며, 상기 쌍의 제2 판은 제1 판에 대해 가로 방향으로 오프셋된다. 복수의 그러한 쌍들은 서로에 대해 횡 방향으로 오프셋되거나 서로에 대해 수직 방향으로 오프셋되는 것 가운데 적어도 하나일 수 있다. 반사 동안 입사광의 각도는 반사각과 거의 같을 수 있다. 이 광은 적어도 한 쌍의 반사기로부터 복수의 반사 이후 진행성 수직 궤도를 따라 이동하면서 횡방향으로 변위될 수 있다. 반사기들은 임의의 횡방향 광 변위를 적어도 부분적으로 반전시키도록 배열될 수 있다. 예시적 실시예에서, 반사기들은 양의 z-방향으로 이동하는 광이 제1 반사기로부터 횡방향으로 반사된 다음 제2 반사기에 의해 양의 z-방향으로 반사되도록 배열될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사기들은 입사광의 궤도가 z-방향으로 진행함에 따라 횡방향으로 그리고 교번적으로 전후 방향으로 반사되도록 배열될 수 있다. 예시적 실시예에서, z-방향으로 전파되는 광은 다음의 반사 순서를 거친다: (i) x-방향과 같은 횡방향, (ii) 양의 z-방향, (iii) 음의 x-방향과 같은 반대의 횡방향 그리고 (iv) 양의 z-방향. 이 광은 수직적 지그재그를 포함하는 광 경로를 가로지르게 될 수 있다. 지그재그 경로는 복수의(정수 n) 적층된 반사기 쌍들을 사용하여 원하는 거리만큼 수직적으로 연장될 수 있다. 각 쌍의 구성요소는 서로에 대해 평행일 수 있다. 연속으로 제n 쌍마다 제(n-1) 쌍에 대해 수직으로 배향되어 지그재그 광 채널을 형성할 수 있다. 지그재그 채널의 x-너비, y-너비 및 z-높이의 적어도 하나는 금속 입자로부터 광을 선택적으로 분리하도록 제어할 수 있다. x-너비, y-너비 및 z-높이의 적어도 하나는 $1 \text{ mm} \sim 1 \text{ m}$, $5 \text{ mm} \sim 100 \text{ cm}$ 및 $1 \text{ cm} \sim 50 \text{ cm}$ 중 적어도 한 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, 채널 x-너비 또는 y-너비의 적어도 하나는 수직 위치나 z-방향을 함수로서 변동할 수 있다. 이 채널은 테이퍼, 확대 및 너비와 높이 중 적어도 하나에 대해 변동 가운데 적어도 하나에 해당될 수 있다. 채널은 정사각형 채널과 같은 직사각형 채널을 포함할 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 반사기는 높은 반사도를 유지하기 위해 표면 위로 흐르는 갈륨과 같은 용융 금속의 소스를 포함할 수 있다. 용융 금속의 소스는 적어도 하나의 EM 펌프와 하나의 용융 금속 저장소를 포함할 수 있다. 이 저장소는 저장소(5c)를 포함할 수 있다.

[0480] SunCell은 창에 투명한 파장의 광원 역할을 하는 투명 창을 포함할 수 있다. SunCell은 흑체 광원의 역할을 할 수 있는 흑체 방열기(5b4)를 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 광원(예: 반응으로부터의 플라즈마)을 포함하는데, 창을 통해 방출된 하이드리노 플라즈마 광은 방, 실내, 거리, 상업용, 산업용 조명과 같은 원하는 조명 용도에서 또는 화학적 처리나 리소그래피와 같은 가열이나 가공을 위해 활용된다.

[0481] 실시예에서, SunCell®은 저장소 교차 연결 채널(414)을 갖는 유도 점화 시스템, 주입기 저장소에 있는 유도 EM 펌프, 전도 EM 펌프 혹은 기계적 펌프와 같은 펌프 그리고 대향 전극의 역할을 하는 비주입기 저장소를 포함한다. 저장소의 교차 연결 채널(414)은 비주입기 저장소의 충전이 유지될 수 있도록 하는 제약된 흐름 수단을 포함할 수 있다. 실시예에서, 저장소의 교차 연결 채널(414)은 고형 은과 같은 고체 전도체 등 흐르지 않는 전도체를 포함할 수 있다.

- [0482] 실시예에서(도 29), SunCell®은 캐소드와 애노드 버스 바나 커넥터들 사이에 전류 커넥터 또는 저장소 점퍼 케이블(414a)을 포함한다. 셀 몸체(5b3)는 비도전체를 포함할 수 있으며, 셀 몸체(5b3)는 스테인레스강과 같은 도전체를 포함할 수 있는데 유도 전류가 전극들 사이를 강제로 흐르도록 적어도 하나의 전극이 셀 몸체(5b3)로부터 전기적으로 절연된다. 전류 커넥터나 점퍼 케이블은 적어도 하나의 페데스탈 전극(8) 및 적어도 하나의 전기적 커넥터를 EM 펌프 그리고 EM 펌프의 저장소(5c)에 있는 금속과 접촉되는 버스 바에 연결시킬 수 있다. z-축에 대해 일정 각도로 경사지게 구비된 역 페데스탈(5c2) 또는 페데스탈(5c2)과 같은 페데스탈을 포함하는 도 25-28에 나와 있는 것과 같은 SunCell®의 캐소드 및 애노드는 적어도 하나의 EM 펌프(5kk)에 의해 주입되는 용융 금속 스트림에 의해 폐쇄 전류 루프를 형성하는 애노드와 캐소드 사이에 전류 커넥터를 포함할 수 있다. 이 금속 스트림은 용융 금속 EM 펌프 주입기(5k61 및 5q) 또는 저장소(5c)의 금속 및 페데스탈의 전극 중 적어도 하나에 접촉하여 전기 도전성 루프를 폐쇄할 수 있다. SunCell®은 단일 루프 단락된 2차측의 역할을 하는 루프의 용융 금속에서 전류를 유도하는 폐쇄 전도성 루프에서 그 요크(402)를 갖는 점화 변압기(401)를 더 포함할 수 있다. 변압기(401, 402)는 폐쇄 전류 루프에서 점화 전류를 유도할 수 있다. 예시적 실시예에서, 1차측은 약 1 Hz ~ 100 kHz, 10 Hz ~ 10 kHz 및 60 Hz ~ 2000 Hz 중 적어도 하나의 주파수 범위에서 작동할 수 있으며, 입력 전압은 약 10 V ~ 10 MV, 50 V ~ 1 MV, 50 V ~ 100 kV, 50 V ~ 10 kV, 50 V ~ 1 kV 및 100 V ~ 480 V 중 적어도 하나의 범위에서 작동할 수 있으며, 입력 전류는 약 1 A ~ 1 MA, 10 A ~ 100 kA, 10 A ~ 10 kA, 10 A ~ 1 kA 및 30 A ~ 200 A 중 적어도 하나의 범위에서 작동할 수 있으며, 점화 전압은 약 0.1 V ~ 100 kV, 1 V ~ 10 kV, 1 V ~ 1 kV 및 1 V ~ 50 V 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있으며, 점화 전류는 약 10 A ~ 1 MA, 100 A ~ 100 kA, 100 A ~ 10 kA 및 100 A ~ 5 kA 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, 플라스마 가스는 영족 기체, 수소, 수증기, 이산화탄소, 질소, 산소 및 공기 중 적어도 하나와 같은 임의의 기체를 포함할 수 있다. 이 기체의 압력은 약 1 microTorr ~ 100기압, 1 milliTorr ~ 10기압, 100 milliTorr ~ 5 기압 및 1 Torr ~ 1 기압 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다.
- [0483] 하이드리노 플라스마 반응의 충격과 및 주입된 금속 스트림의 불안정 중 적어도 하나와 같은 작용에 의해 유발되는 전극간 용융 스파에서의 중지나 중단으로 인해 2차측이 개방된 회로이면, 1차측에서 자속이 축적되어 플라스마가 복귀될 때까지 2차측에서 전압의 상승을 야기할 수 있다. 플라스마가 시작되면, 1차측에서의 자속에 맞서는 2차측에서 생겨난 높은 전류로 인해 전압이 하락할 수 있다. 그러므로 실시예에서, 적어도 하나의 용융 금속 스트림, 적어도 하나의 EM 펌프 저장소, 적어도 하나의 용융 금속 EM 펌프 주입기 및 각 단부가 상응하는 전극 버스 바에 연결되어 변압기 1차측을 통해 통과하는 점퍼 케이블을 포함하는 전류 루프는 전압을 내적으로 조절하여 입력 전력을 최소화하면서 플라스마 점화를 성취할 수 있다.
- [0484] 실시예에서, 유도 자속이 챔버를 관통하여 반응 셀 챔버의 용융 금속 스트림에 대해 직접적으로 유도 전압을 야기하도록, 반응 셀 챔버는 전기적으로 전도성이 아닌 벽들을 포함한다. 이 직접적 유도는 예를 들어, 변압기로부터 외적으로 인가된 전압에 대하여 점화 전류의 연속적 성격을 증가시킬 수 있다. 셀 벽은 석영 혹은 알루미늄, 하프니아 또는 지르코니아와 같은 세라믹 또는 본 개시의 다른 물질을 포함할 수 있다. 도 25-32에 나와 있는 예시적인 것들과 같은 SunCell®은 금속 플랜지(409g) 그리고 저장소(5c)에서 셀 챔버(5b3)의 연결에서 금속 플랜지를 갖춘 세라믹이나 석영 셀 챔버(5b3)와 같은 전기 절연체를 포함할 수 있다. 이 플랜지는 본 개시의 것이나 당업계에서 알려진 것과 같은 금속-석영 실 또는 금속-세라믹 실에 의해서 전기 절연체에 부착될 수 있다. 전기 버스 바(10)는 플랜지(409g)에 볼트로 체결된 판(409a)으로 용접한 다음 구리 가스켓과 같은 가스켓으로 밀봉할 수 있다. 이 버스 바(10)는 BN을 포함하는 것과 같은 전기 절연체 페데스탈(5c1)로 덮을 수 있다. 챔버 벽(5b3)이 전기적으로 전도성인 다른 실시예에서, 자속이 주입된 용융 금속 스트림을 관통하여 연결될 수 있도록 이 벽은 얇거나 비자기성 가운데 적어도 하나일 수 있다. 유도 주파수는 더 나은 자속의 관통을 허용하기 위해 낮출 수 있다.
- [0485] 다른 실시예에서, 셀 챔버(5b3)는 전기적으로 전도성 및 비전도성 섹션을 포함한다. 셀 챔버(5b3)는 점화 변압기 1차측으로부터의 자속의 최소량을 차단하는 섹션을 위해 스테인레스강과 같은 전기적 도체를 포함할 수 있으며, 또한 유도 점화 변압기의 1차측으로부터의 자속의 자속선에 대략 수직인 섹션들을 위해 전기 절연체를 포함할 수 있다. 시변 자속의 관통은 셀 챔버 벽의 투자율에 고도로 의존하며, 이는 Yang et al. (D. Yang, Z. Hu, H. Zhao, H. Hu, Y. Sun, B. Hou, "Through-Metal-Wall Power Delivery and Data Transmission for Enclosed Sensors: A Review", Sensors, (2015), Vol. 15, pp. 31581-31605; doi:10.3390/s151229870)이 보고한 것으로 참고문헌으로 포함되며, 특히 2.1절 K의 상대적 투자율 ~ 스테인레스강 304 및 316은 통상적으로 그 어닐링 상태에서 1.002에서 1.005인 것으로 보고된다(<https://www.mtm-inc.com/ac-20110117-how-nonmagnetic-are-304-and-316-stainless-steels.html>); 반면 석영은 반자성이며 갈륨의 투자율은 $-21.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{mol}$ (290

K)이다. 입방형 지오메트리의 반응 챔버를 포함하는 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버는 점화 변압기의 1차측으로부터의 자속의 자속선을 최대값으로 차단하는 2개의 대향측에 있는 SS 플랜지에 장착된 석영 창과 같은 자속을 통과시키는 창을 포함한다. 각 창은 SS 면에 용접되고 볼트로 체결된 상응하는 플랜지로 상응하는 셀 면에 밀봉될 수 있다. 갈륨과 같은 용융 금속이 창을 코팅하는 경우, 자속 관통에 대한 영향은 최소인 것으로 기대되는데 이는 예시적 용융 금속인 갈륨과 은이 반자기성이며 각 코팅이 매우 얇을 수 있기 때문이다. 자속이 반응 셀 챔버를 관통하고 반응 셀 챔버의 플라스마 및 EM 펌프로부터의 주입된 용융 금속 스트림 중 적어도 하나에서 전기장을 최대로 직접 유도하도록 창을 위치를 정할 수 있다.

[0486] 예시적인 시험 실시예는 도 10에 나와 있는 SunCell®과 같은 두 개의 교차된 EM 펌프 주입기를 갖춘 석영 SunCell®을 포함한다. 각각 예시적 Fe 기반의 비정질 코어를 포함하는 유도형 전자기 펌프를 포함하는 두 개의 용융 금속 주입기에서 스트림들이 교차하여 1000 Hz 변압기 1차측에 연계되는 삼각형 전류 루프를 생성하도록 갈륨스탄 스트림이 펌핑되었다. 이 전류 루프는 스트림들, 두 개의 갈륨스탄 저장소 및 저장소 바닥에 위치한 교차 채널을 포함했다. 이 루프는 1000 Hz 변압기 1차측에 대한 단락된 2차측의 역할을 했다. 2차측에서 유도된 전류는 저전력 소비로 대기에서 플라스마를 유지했다. 유도 시스템은 본 개시의 은 기반 작동 유체 SunCell® 자기 유체 역학 발전기를 가능케 하는데, 여기서 본 개시에 따라 하이드리노 반응물들이 반응 셀 챔버로 공급된다. 구체적으로, (i) 점화 변압기의 1차측 루프는 1000 Hz에서 작동했으며, (ii) 입력 전압은 100 V ~ 150 V이었고, (iii) 입력 전류는 25 A이었다. EM 펌프 전류 변압기의 60 Hz 전압과 전류는 각각 300 V 및 6.6 A였다. 각 EM 펌프의 전자석에는 시리즈 299 μ F의 커패시터를 통해 60 Hz, 15-20 A의 전력이 공급되어, 생성된 자기장의 위상이 EM 펌프 전류 변압기의 로렌츠 교차 전류와 일치되었다.

[0487] 이 변압기는 1000 Hz AC 전원으로 전력이 공급되었다. 실시예에서, 그 점화 변압기는 단상 가변 주파수 드라이브(VFD)와 같은 가변 주파수 드라이브에 의해 전력을 공급할 수 있다. 실시예에서, VFD 입력 전력은 원하는 점화 전압 및 전류를 더 제공하는 출력 전압 및 전류를 제공하도록 맞춰지는데, 여기서 턴의 숫자와 와이어 게이지는 VFD의 상응하는 출력 전압 및 전류를 위해 선택된다. 유도 점화 전류는 약 10 A ~ 100 kA, 100 A ~ 10 kA 및 100 A ~ 5 kA 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 유도 점화 전압은 0.5 V ~ 1 kV, 1 V ~ 100 V 및 1 V ~ 10 V 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 주파수는 약 1 Hz ~ 100 kHz, 10 Hz ~ 10 kHz 및 10 Hz ~ 1 kHz 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 예시적 VFD는 ATO 7.5 kW, 220 V ~ 240 V 출력 단상 500 Hz VFD이다.

[0488] 다른 예시적 시험 실시예는 하나의 EM 펌프 주입기 전극과 페테스탈 전극 그리고 그 사이를 연결하는 점퍼 케이블(414a)를 갖춘 도 29에 나와 있는 SunCell®과 같은 Pyrex SunCell®을 포함한다. DC형 전자기 펌프를 포함하는 용융 금속 주입기에서 스트림, EM 펌프 저장소 그리고 단부마다 상응하는 전극 버스 바에 연결되며 60 Hz 변압기 1차측을 통해 통과하는 점퍼 케이블을 포함하는 전류 루프를 폐쇄하기 위해 페테스탈 대향 전극에 연결된 갈륨스탄 스트림이 펌핑되었다. 이 루프는 60 Hz 변압기 1차측에 대한 2차측의 역할을 했다. 2차측에서 유도된 전류는 저전력 소비로 대기에서 플라스마를 유지했다. 유도 점화 시스템은 본 개시의 은 또는 갈륨 기반의 용융 금속 SunCell® 발전기를 가능케 하는데, 여기서 본 개시에 따라 하이드리노 반응물들이 반응 셀 챔버에 공급된다. 구체적으로, (i) 점화 변압기의 1차측 루프는 60 Hz에서 작동했으며, (ii) 입력 전압은 300 V 피크, 그리고 (iii) 입력 전류는 29 A 피크였다. 최대 유도 플라스마 점화 전류는 1.38 kA였다.

[0489] 실시예에서, 전력 소스나 점화 전력 소스는 펄스형 또는 교번 전류(AC) 소스와 같은 시간 의존 전류 소스와 같은 비 직류(DC) 소스를 포함한다. 피크 전류는 10 A ~ 100 MA, 100 A ~ 10 MA, 100 A ~ 1 MA, 100 A ~ 100 kA, 100 A ~ 10 kA 및 100 A ~ 1 kA와 같은 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 피크 전압은 0.5 V ~ 1 kV, 1 V ~ 100 V 및 1 V ~ 10 V의 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 실시예에서, EM 펌프 전력 소스와 AC 점화 시스템은 비효율적인 EM 펌핑과 원하는 점화 파형의 왜곡 중 적어도 하나를 초래할 것이라는 추론을 피하기 위해 선택할 수 있다.

[0490] 실시예에서, 점화 전류를 공급하는 전력의 소스나 점화 전력 소스는 DC, AC 그리고 DC 및 AC 전기 중 적어도 하나에 의해 전력이 공급되는 것과 같은 AC, DC, 그리고 DC 및 AC 전원 중 적어도 하나를 포함할 수 있으며, 스위칭 전원, 가변 주파수 드라이브(VFD), AC/AC 변환기, DC/DC 변환기, AC/DC 변환기, DC/AC 변환기, 정류기, 전파 정류기, 인버터, 광전지 어레이 발전기, 자기 유체 역학 발전기 그리고 랭킨이나 브레이튼 사이클 구동 발전기와 같은 기존의 발전기, 열이온 발전기 및 열전기 발전기 등이다. 점화 전력 소스는 트랜지션, IGBT, 인덕터, 변압기, 커패시터, 정류기, H-브리지 등의 브리지, 저항기, 연산 증폭기 또는 원하는 점화 전류를 생산하는 당업계에 알려진 다른 회로 소자나 전력 처리 장치 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적

실시예에서, 점화 전력 소스는 약 50% 듀티 사이클 이상에서 양의 구형파 펄스를 공급하는 것과 같은 전파 정류된 고주파 소스를 포함할 수 있다. 그 주파수는 약 60 Hz ~ 100 kHz의 범위일 수 있다. 예시적 공급부는 약 10 kHz ~ 40 kHz 범위의 주파수에서 약 30-40 V 및 3000-5000 A를 제공한다. 실시예에서, 점화 전류를 공급하는 전력은 AC 변압기나 전원과 직렬 연결될 수 있는 1 V ~ 100 V 범위의 커패시터 뱅크와 같은 초기 오프셋 전압으로 충전된 커패시터 뱅크를 포함할 수 있으며, 그에 따른 전압은 AC 변조를 갖춘 DC 전압을 포함할 수 있다. DC 성분은 정상 방전 시간 상수에 의존하는 속도로 감소될 수 있으며, 그 방전 시간은 증가되거나 제거될 수 있는데, 점화 전력 소스는 커패시터 뱅크를 재충전시키는 DC 전원을 더 포함한다. DV 전압 성분은 플라스마 개시를 보조할 수 있으며, 그 플라스마는 그 이후 더 낮은 전압에서 유지될 수 있다.

[0491] 실시예에서, SunCell®은 하이드리노 반응 속도를 증가시키기 위해 주입기 전극과 대향 전극을 포함하는 세트와 같은 전극들 사이의 전류 밀도를 집중시키는 수단을 포함한다. 높은 전류 밀도는 입력 전력을 추가로 낮추는 아크 전류를 형성하여 하이드리노 반응에 기인하는 전력 개인을 증가시킬 수 있다. 도 25에 나와 있는 것과 같은 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)의 셀 챔버(5b3) 또는 벽은 비전도성으로 하이드리노 반응 플라스마가 높은 점화 전류 밀도로서 고도 집중된다. 저장소(5c), 셀 챔버(5b3) 및 반응 셀 챔버(5b31) 가운데 적어도 하나가 석영, 융합 실리카, 알루미늄, 하프니아, 지르코니아와 같은 세라믹 또는 본 개시의 다른 비전도체를 포함할 수 있다. 대향 전극의 플랜지와 저장소 플랜지는 본 개시에 공개된 금속과 석영이나 Pyrex와 같은 비전도체에 결합된 금속을 포함할 수 있다. 반응 챔버와 저장소가 석영이나 실리카와 같은 비전도체를 포함할 수 있는 도 25에 나와 있는 것과 같은 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31), 저장소(5c) 및 기체 포트(409h)의 적어도 하나는 석영-금속 고온 플랜지를 포함하여 (i) 플랜지(409a), 버스 바(10), 전극(8) 및 페데스탈(5c1)을 포함하는 것과 같은 페데스탈 전극 조립체에 반응 셀 챔버를 연결하고, (ii) 기저부 판, 선택적 스크린(5qa1)이나 라이저 튜브(5qa)를 구비한 EM 펌프 입구 및 EM 펌프 주입기 튜브를 포함하는 EM 펌프 조립체에 저장소(5c)의 하부를 연결하고, (iii) 기체 공급 및 진공 포트의 적어도 하나를 상응하는 가스 및 진공 라인에 연결할 수 있다. 실, 플랜지, 연결부, 가스켓 및 패스너는 본 개시의 것이거나 당업계에 알려진 것들이다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 벽은 BN, 멀라이트, 알루미늄, 실리카 또는 본 개시의 다른 것과 같은 비전도체 코팅을 포함하는 스테인레스강 등의 금속과 같은 전도체를 포함할 수 있는데, 반응 셀 챔버의 외부에서 내부로 관통하는 전기 리드는 전기적으로 절연된다.

[0492] 실시예에서, 하이드리노 플라스마와 점화 전류 중 적어도 하나는 아크 전류를 포함할 수 있다. 아크 전류는 전류가 높을수록 그 전압이 낮아지는 특성을 가질 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 벽과 전극 중 적어도 하나가 하이드리노 플라스마 전류 그리고 매우 높은 전류에서 매우 낮은 전압을 갖는 아크 전류를 포함하는 점화 전류 중 적어도 하나를 형성하고 지지하기 위해 선택된다. 도 25에 나와 있는 것과 같은 단일 주입기 셀 설계의 실시예에서, 비주입기 전극(8)은 양극일 수 있다. 하이드리노 반응은 양극에서 발생할 수 있다. 비주입기 전극을 양극으로 만들면 하이드리노 반응의 동역학이 가장 높은 반응 셀 챔버의 영역에서 전류 밀도를 증가시킬 수 있다. 이 전극(8, 도 25)은 열 손상으로부터 전극(8)을 보존하기 위해 갈륨 풀링(pooling)을 지지할 목적으로 하이드리노 반응에 노출된 그 단부(5c1)가 볼록할 수 있다. 실시예에서, 주입기 전극은 플라스마를 집중시키고 전류 밀도를 증가시키기 위해, 침지되지 않을 수 있다. 주입기 전극은 텅스텐 등의 내화 금속과 같은 내화 물질을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버와 저장소 중 적어도 하나와 같은 반응 셀 챔버 용적 및 용융 금속 표면적 중 적어도 하나는 점화 전류 밀도를 증가시키기 위해 최소화할 수 있다. 그 전류 밀도는 약 $1 \text{ A/cm}^2 \sim 100 \text{ MA/cm}^2$, $10 \text{ A/cm}^2 \sim 10 \text{ MA/cm}^2$, $100 \text{ A/cm}^2 \sim 10 \text{ MA/cm}^2$ 및 $1 \text{ kA/cm}^2 \sim 1 \text{ MA/cm}^2$ 중 적어도 한 범위에 있을 수 있다. 전류 밀도를 증가시키는 예시적 실시예에서, 비주입기 전극(8)은 양극 혹은 음극일 수 있으며, BN 페데스탈(5c2)의 볼록한 페데스탈 드립 예지(5c1) 안으로 적어도 부분적으로 돌출하는 W나 Ta 로드와 같은 내화 금속 부분 등의 부분을 포함할 수 있다. 실시예에서, BN 페데스탈(5c2)의 볼록한 페데스탈 드립 예지(5c1)는 본 개시의 것과 같은 세라믹 또는 텅스텐, 탄탈, 몰리브덴 또는 본 개시의 다른 것과 같은 내화 금속과 같은 내화 물질을 포함할 수 있다. 페데스탈(5c2)의 상부 부분은 반응 챔버 벽과의 단락을 방지하기 위해 버스 바(10) 상의 전기적 절연체를 포함할 수 있다. 이 절연체는 BN 또는 본 개시의 다른 것과 같은 세라믹을 포함할 수 있다. H_2 흐름은 전류 밀도의 증가에 따라 증가되어 더 높은 출력 전력 및 개인 가운데 하나를 생성할 수 있고 플라스마 및 주입기 전극으로부터의 용융 금속 스트림 중 적어도 하나와 접촉하는 표면의 크기를 증가시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, 커다란 판이나 컵이 전극(10)의 단부에 부착된다. 다른 실시예에서, 대향 전극의 면적을 증가시키기 위해 주입기 전극을 침지할 수 있다. 도 25에 나와 있는 것과 같은 구형 셀을 포함하는 실시예에서, 하이드리노 반응에서 나가는 충격파의 정상 입사 반사에 의해 하이드리노 반응 플라스마를 강화하기 위해 점화가 구형 반응 셀 챔버의 중앙에서 발생하도록 전극들이 배치된다.

- [0493] 실시예에서, 용융 금속은 하이드리노 반응의 높은 계인을 지지하는 적어도 하나의 물성을 갖는 금속이나 합금을 포함할 수 있다. 이 용융 금속은 입력 전압의 감소의 계인의 향상을 위한 높은 전도도, 더 강렬한 하이드리노 반응을 지원하기 위해 EM 펌핑을 향상시키며, SunCell® 전극들 사이의 전도성 향상을 위해 산화물 코팅의 형성을 견디는 낮은 점성의 균의 적어도 한 속성을 갖는 것을 포함할 수 있으며, PV 창을 습윤시키는 경향이 낮다. 예시적 실시예에서, 용융 금속은 갈린스탄을 포함할 수 있다. 갈린스탄의 갈륨 성분은 In_2O_3 및 SnO_2 중 적어도 하나와 같은 합금의 다른 산화물을 환원시켜 산화 갈륨을 형성할 수 있다. 산화 갈륨은 수소 환원과 같은 본 개시의 수단에 의해 갈륨 금속으로 다시 변환되거나 제거될 수 있다. 실시예에서, 용융 금속은 갈린스탄과 하나 이상의 비스무트와 안티몬과 같은 적어도 하나의 다른 금속을 소량(2 wt% 미만 등)을 포함할 수 있다. 다른 금속이나 금속들은 PV 창 습윤의 감소, 유동성 증가, 산화 감소 및 용융 금속의 비등점 증가 가운데 적어도 하나를 초래할 수 있다. 예시적 실시예에서, 공용 합금을 포함하는 용융 금속은 68-69 wt% Ga, 21-22 wt% In 및 9.5-10.5 wt% Sn 그리고 소량의 Bi와 Sb(각각 0-2 wt%) 및 0.001% 수준의 불순물을 포함하는데, 그 융점은 약 -19.5°C 이며 비등점은 1800°C 을 초과한다. 다른 실시예에서, 용융 금속은 비스무트, 인듐 및 주석의 공용 혼합물을 포함하는 필드 합금(Field's alloy)을 포함한다.
- [0494] 실시예에서, 점화 시스템은 높은 개시 전력을 플라스마에 인가한 다음 저항이 하락한 이후 점화 전력을 감소시킬 수 있다. 이 저항은 전극들이나 용융 금속 스트립 상에서 점화 회로에서 발생하는 임의의 산화물에 기인하는 전도도의 증가 및 플라스마의 형성 가운데 적어도 하나로 인해 하락할 수 있다. 예시적 실시예에서, 점화 시스템은 고전력 DC의 AC 변조를 생산하는 AC와 직렬로 연결된 커패시터 뱅크를 포함하는데, DC 전압은 커패시터의 방전에 따라 감소하며 더 낮은 AC 전력만 남게 된다.
- [0495] 실시예에서, 펌핑된 용융 금속이 5c1a와 같은 포켓을 채워서 페테스탈 전극(8)과 접촉하는 용융 금속의 풀을 동적으로 형성하는 인서트 저장소(409f)에서 페테스탈 전극(8)이 오목할 수 있다. 페테스탈 전극(8)은 SunCell®의 작동 온도에서 갈륨과 같은 용융 금속과 합금을 형성하지 않는 도체를 포함할 수 있다. 예시적 페테스탈 전극(8)은 텅스텐, 탄탈, 스테인레스강 또는 몰리브덴을 포함하며, Mo는 600°C 의 작동 온도 미만에서 갈륨과 Mo_3Ga 와 같은 합금을 형성하지 않는다. 실시예에서, EM 펌프의 입구는 갈륨의 진입을 허용하는 반면 합금 입자를 차단하는 스크린이나 메시와 같은 필터(5qa1)를 포함할 수 있다. 필터는 그 표면적을 증가시키기 위해 수직 및 수평 가운데 하나로 연장하여 입구에 연결될 수 있다. 필터는 스테인레스강(SS), 탄탈 또는 텅스텐과 같은 갈륨과의 합금 형성을 견디는 물질을 포함할 수 있다. 예시적 입구 필터는 입구와 동일한 직경을 갖지만 수직으로 상승된 SS 원통을 포함한다. 필터는 일상 보수유지의 일환으로 주기적으로 청소할 수 있다.
- [0496] 실시예에서, 비주입기 전극은 냉각을 위해 용융 금속에 간헐적으로 침지할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 주입기 EM 펌프와 그 저장소(5c) 그리고 적어도 하나의 추가 EM 펌프를 포함하며, 추가 EM 펌프를 위한 다른 저장소를 포함할 수 있다. 이 추가 저장소를 사용하여, 추가의 EM 펌프는 (i) 비주입기 전극의 냉각을 위해 용융 금속을 반응 셀 챔버로 가역적으로 펌핑하여 간헐적으로 전극을 침지하거나 (ii) 비주입기 전극의 냉각을 위해 그 위로 용융 금속을 펌핑하거나 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다. SunCell® 냉각제의 냉각제 탱크, 냉각제를 비주입기 전극을 통해 순환시키는 냉각제 펌프 및 냉각제로부터 열을 방출하는 열 교환기를 포함할 수 있다. 실시예에서, 비주입기 전극은 비주입기 전극을 냉각시키기 위해 물, 용융 염, 용융 금속 또는 당업계에 알려진 다른 냉각제와 같은 냉각제를 채널이나 캐놀라에서 포함할 수 있다.
- [0497] 도25에 나와 있는 역 실시예에서, SunCell®은 비주입기 전극이 셀의 하부에 위치하고 주입기 전극이 반응 셀 챔버의 상부에 위치하여 용융 금속 주입이 음의 z-축을 따라 이루어지도록 180도만큼 회전시킨다. 비주입기 전극과 주입기 전극 중 적어도 하나가 상응하는 판에 장착되어 상응하는 플랜지 실에 의해 반응 셀 챔버에 연결될 수 있다. 이 실은 Ta, W 또는 본 개시의 것이나 당업계에서 알려진 것 중 하나와 같은 세라믹 등 갈륨과 합금을 형성하지 않는 물질을 포함하는 가스켓을 포함할 수 있다. 하부에 있는 반응 셀 챔버 섹션은 저장소의 역할을 할 수 있으며, 이전 저장소는 제거할 수 있고, EM 펌프는 하부의 기저판을 관통하여 EM 펌프 튜브에 연결한 다음 용융 금속 흐름을 EM 펌프에 제공할 수 있는 새로운 하부 저장소에 구비된 입구 라이저를 포함할 수 있으며, EM 펌프 튜브의 출구 부분은 상부 판을 관통하여 반응 셀 챔버의 노즐 내부에 연결된다. EM 펌프는 작동 동안 하부 저장소로부터 용융 금속을 펌핑하여 반응 셀 챔버의 하부에 있는 비주입기 전극(8)으로 주입할 수 있다. 역 SunCell®은 주입기 전극에서 셀의 상부로 주입한 갈륨의 높은 흐름에 의해 냉각될 수 있다. 비주입기 전극(8)은 전극을 보다 잘 냉각하기 위해 갈륨을 모으는 오목한 공동을 포함할 수 있다. 실시예에서, 비주입기 전극은 양극의 역할을 할 수 있다; 하지만 반대 극성 또한 본 개시의 실시예이다.
- [0498] 실시예에서, 복사의 방출에 의해 전극(8)을 냉각시킬 수 있다. 열 전달의 증가를 위해, 복사 표면적을 증가시

킬 수 있다. 실시예에서, 버스 바(10)는 평면 판과 같은 베인 방열기들이 부착된 방열기를 포함할 수 있다. 이 판은 버스 바(10)의 축을 따라 가장자리의 면을 체결하여 부착될 수 있다. 베인은 패들 휠 시스템을 포함할 수 있다. 베인은 점화 전류에 의한 저항 가열 및 하이드리노 반응에 의한 가열 중 적어도 하나에 의해 가열될 수 있는 버스 바(10)로부터 전도성 열 전달에 의해 가열될 수 있다. 베인과 같은 방열기는 Ta나 W와 같은 내열 금속을 포함할 수 있다.

[0499] 실시예에서, SunCell®은 전류 밀도의 증가를 위해 점화 전류 및 플라스마 전류 중 적어도 하나를 제약하는 수단을 포함한다. 이 제약 수단은 플라스마 제약 자석을 포함할 수 있다. SunCell®은 전류 밀도의 증가를 위해 플라스마의 제약 및 안정화 가운데 적어도 하나를 실행하는 자석을 더 포함할 수 있다. 이 제약 수단은 자기 핀치 효과를 야기하는데 충분히 높은 전류의 점화 전류 소스를 포함할 수 있다. 이 전류는 전류가 핀치되면 아크 전류가 초래되도록 선택할 수 있으며 그 전압은 증가하는 전류에 따라 하락한다. 아크 전류는 전력 계인을 증가시킬 수 있다. 핀치 플라스마는 전극에 DC나 AC 전력을 인가하거나 본 개시의 유도 점화 시스템에서 이중 주입된 용융 금속 스트립을 포함하는 것과 같은 전류 루프에서 유도 전류를 유지하여 형성될 수 있다. SunCell®은 고밀도 플라스마 집속 장치를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 전극의 역할을 할 수 있으며, 주입기 전극에 의해 형성된 금속 스트립은 점화 전력의 인가가 고밀도 집속 플라스마로 거동하는 두 전극 사이의 플라스마를 야기하도록 대향 전극을 포함할 수 있다. 도 25에 나와 있는 것과 같은 실시예에서, 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나는 석영이나 본 개시의 다른 세라믹과 같은 비전도체를 포함할 수 있으며, 비주입기 전극은 주입기 전극으로부터 전기적으로 절연된 반응 셀 챔버의 라이너(5b31a)를 포함할 수 있다. 이 라이너는 전극(8)에 전기적으로 연결될 수 있다. 용융 금속 스트립과 라이너 전극은 플라스마 집속 장치와 같은 핀치 플라스마 장치의 중심 전극들을 포함할 수 있다. 점화 전력은 두 전극 사이의 플라스마의 핀치 효과를 야기하는데 충분한 전압, 전류 및 전력 중 적어도 하나를 제공할 수 있다. 점화 전력은 제어기에 의해 연속적으로나 간접적으로 인가될 수 있다.

[0500] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)의 하이드리노 반응에 의해 생성된 광의 광전지(PV) 전력 변환기로의 투과를 위한 PV 창은 역 페데스탈(도 25)의 뒤에 위치할 수 있다. 역 페데스탈은 금속에서 PV 창으로의 흐름을 차단하여 창 불투명화를 방지할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 금속 입자의 PV 창으로의 흐름을 방지하는 반면 하이드리노 반응에 의해 형성되는 광방출 플라스마의 투과를 허용하는 적어도 하나의 플라스마 투과성 배플이나 스크린을 더 포함할 수 있다. 이 배플이나 스크린은 스테인레스 강이나 금속이나 세라믹 등 가타 내화성 부식 방지 물질을 포함하는 것과 같은 격자나 천 중 적어도 한 가지를 하나 이상 포함할 수 있다.

[0501] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)는 금속 입자에 의한 광전지(PV) 창 금속화를 방지하는 일련의 배플을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버는 원통형 지오메트리를 포함할 수 있다. 이 배플을 금속 입자의 궤도나 흐름을 주로 차단하는 반면 광 투과 플라스마가 PV 창(5b4)을 통해 광을 방출하는 영역으로 흐를 수 있도록 배치될 수 있다. 실시예에서, 배플은 적어도 일부가 수직축 또는 z-축에 대해 직교하는 평면 상에서 돌출부를 갖도록 배향될 수 있다. PV 창은 z-축에 대해 직교하는 평면에 있을 수 있다. 배플들은 바닥에서 PV 창까지 나선형으로 배열될 수 있다. 배플들은 나선형 계단 지오메트리를 포함할 수 있다. 플라스마는 나선형의 배플 주위를 흐를 수 있으며 금속 입자는 차단된다.

[0502] 실시예에서, 셀 챔버(5b3)의 상부는 PV 창을 포함할 수 있으며, 반응 셀 챔버(5b31)의 상부에서의 기체 흐름은 창 평면에 대해 평행인 대부분의 흐름, 적은 축 방향 흐름 및 적은 흐름 가운데 적어도 하나의 성질을 갖는다. 실시예에서, 셀 챔버(5b3)는 테이퍼진 벽, 원통형 대칭 그리고 사이클론의 생성을 위해 기체 흐름을 반응 셀 챔버(5b31)로 향하게 하는 일련의 나선형 배플(409j, 도 28)과 같은 수단 가운데 적어도 하나를 포함한다. 테이퍼진 셀 챔버(5b3)는 PV 창이 셀의 상부에 있는 방향으로 위치하도록 큰 직경의 단부에 PV 창을 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)의 배플들은 사이클론을 생성할 수 있으며, 여기서 축 방향 기체 흐름이 일차적으로 셀 챔버(5b3)의 테이퍼진 부분을 따라 이루어지며, 적은 직경의 단부나 하부에서는 기체 흐름이 역전되어 중간 섹션을 향해 흐른다. 사이클론은 흐름을 다시 하방으로 강제하여 반응 셀 챔버(5b31)의 하부와 중간 섹션 사이의 축 방향 순환을 생성할 수 있다.

[0503] AC 전류와 같은 시간 의존 점화 전류를 포함하는 실시예에서, 용융 금속이 PV 창 주위로부터 반발되어 PV 창이 용융 금속에 의해 도포되는 것을 차단하도록, 배플 및 PV 창 중 적어도 하나가 교류 전류에 의해 충전되는 원주 방향 프레임을 포함한다.

[0504] 실시예에서, SunCell®은 갈륨과 같은 용융 금속을 포함할 수 있다. SunCell®은 광전지(PV) 변환기와 PV 변환기로 광을 투과하는 창을 더 포함할 수 있으며, 또한 플라스마 광 창을 통해 PV 변환기로 투과할 수 있도록

플라즈마와 용융 금속을 제약시키는 로렌츠 힘을 생성하기 위해 점화 전류에 직교하는 자기장을 생성하는 적어도 한 세트의 자석을 포함하는 것과 같은 Mills의 이전 출원서의 전극 EM 펌프나 두 번째 전극 EM 펌프로써 개시된 것 등의 점화 EM 펌프를 더 포함할 수 있다. 점화 전류는 x-축을 따라 수 있고, 자기장은 y-축을 따라 수 있으며, 로렌츠 힘은 음의 z-축을 따라 수 있다. 다른 실시예에서, 광전지(PV) 변환기 및 PV 변환기로 광을 투과하는 창을 포함하는 SunCell®은 작동 동안 창 표면에 축적될 수 있는 용융 금속을 제거하는 기계식 창 클리너와 가스 제트 또는 에어 나이프 중 하나를 더 포함한다. 가스 제트나 나이프의 기체는 반응물들, 수소, 산소, 수증기 및 영족 기체 중 적어도 하나와 같은 반응 셀 챔버 기체를 포함할 수 있다. 실시예에서, PV 창은 갈륨과 같은 용융 금속이 들러붙는 것을 방지하는 본 개시의 것과 같은 코팅을 포함하는데 이 코팅의 두께는 전기로 PV 변환되는 광에 대해 고도로 투명하도록 충분히 얇다. 석영 반응 셀 챔버 섹션을 위한 예시적 코팅은 박막의 질화 붕소 및 탄소이다. 석영은 그 자체로 반응 셀 챔버 벽과 PV 창 물질의 역할을 하기 위해 적합할 수 있다.

[0505] 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버는 침착된 갈륨 금속 및 산화 갈륨의 적어도 하나를 PV 창 표면으로부터 제거하는 용매나 운반 제제, 운반 반응물, GaCl_3 나 GaBr_3 와 같은 GaX_3 (X = 할라이드) 등의 운반 화합물 또는 장쇄 탄화수소를 포함할 수 있다. 용매나 운반 제제는 침착된 갈륨 금속과 산화 갈륨의 적어도 하나에 대한 제거를 야기하는 용해, 부유 및 운반 중 하나를 실행할 수 있다. 이 제거는 가스 제트나 나이프에 의해 강화될 수 있다. 실시예에서, 창은 석영과 같은 갈륨 금속에 의한 습윤을 저항하는 물질 그리고 본 개시의 다른 비습윤성 물질들을 포함한다. 이 용매나 GaX_3 (X = 할라이드)와 같은 운반 제제는 나머지 정제된 갈륨 금속이 뭉쳐져서 종력, 가스 제트, 와이퍼, 진동 및 원심력과 같은 수단에 의해 기계적으로 쉽게 제거되도록 산화 갈륨을 용해하여 제거할 수 있다. 이 제거는 본 개시의 것들과 같은 수단에 의할 수 있다. Ga_2O_3 는 용매나 GaX_3 (X = 할라이드)와 같은 운반 제제와의 반응에 의해 선택적으로 제거될 수 있다. 그 반응 생성물은 갈륨 옥시할라이드와 같은 옥시할라이드를 포함할 수 있다. 옥시할라이드는 휘발성일 수 있다. PV 창은 PV 창 표면으로부터 옥시할라이드의 기화를 야기시키는 온도에서 작동할 수 있다.

[0506] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)에서 하이드리노를 형성하는 반응 혼합물은 H_2O 이합체와 반응하여 하이드리노 촉매의 역할을 할 수 있는 신생 HOH를 생산하는 기체 분자를 형성하는 GaX_3 (X = 할라이드)를 포함한다. $\text{GaX}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 이합체 반응 생성물은 산화 갈륨과 갈륨 옥시할라이드 중 적어도 하나일 수 있다. 신생 HOH 촉매의 형성을 위한 H_2O 이합체의 파괴는 하이드리노 반응 속도를 증가시킬 수 있다. 다른 실시예에서, GaCl_3 과 같은 GaX_3 는 물과 반응하여 하이드리노 형성의 촉매 역할을 할 수 있는 신생 HOH를 형성하는 재생 사이클을 유지할 수 있다. 이 재생 반응 혼합물은 GaX_3 , Ga, H_2O 및 H_2 중 적어도 두 개를 포함할 수 있다. 다음은 예시적 반응이다: $2\text{Ga} + \text{GaCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{GaOCl} + 3\text{H}_2$ 및 $3\text{GaOCl} + 3\text{H}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}(\text{신생}) + \text{GaCl}_3 + 2\text{Ga}$. 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버(5b31) 및 온도 제어기에 대한 가스 연결부를 포함하는 콜드 트랩, 저온 저장소 또는 콜드 핑거를 포함할 수 있으며, 갈륨 할라이드와 갈륨 옥시할라이드 중 적어도 하나의 증기압이 콜드 트랩의 온도를 제어하여 제어될 수 있다. 예시적 실시예에서, 산화 갈륨과 같은 산소의 소스 및 염화나 브롬화 갈륨을 포함하는 반응 셀 챔버 안으로 수소가 흐르는데, 반응 셀 챔버에 대해 기체 연통되어 있으나 외부에 배치되는 갈륨 할라이드를 위한 저온 저장소의 온도를 제어하여 갈륨 할라이드의 증기압이 제어된다.

[0507] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31) 및 PV 창 중 적어도 하나는 작동 동안 PV 창에 축적될 수 있는 용융 금속의 용매화를 위해 PV 창 표면에 있거나 응축할 수 있는 용매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 갈륨 위 산화 갈륨의 코팅으로 인해 PV 창이나 배플의 도면에 집착된 갈륨을 산화 갈륨 코팅을 용해하는 용매에 의해 제거할 수 있다. 이 용매는 수산화 나트륨이나 갈륨과 같은 수산화물을 포함할 수 있다. 이 수산화물은 수용성일 수 있다. SunCell®은 창이나 챔버를 제거하는 수단, 창을 청소하는 수단, 수용성 수산화 용액과 같은 청소 용액, 갈륨과 임의의 용해된 산화 갈륨을 청소 용액으로부터 분리하는 수단 및 청소 이후 창을 대체하는 수단 가운데 적어도 하나를 포함하는 PV 창이나 배플 청소 시스템을 포함할 수 있다. 실시예에서, PV 창이나 배플 청소 시스템은 수용액과 같은 수산화 용액으로 창을 청소할 수 있고, 갈륨, 산화물 용매화 생성물 및 용액이 분리될 수 있으며, 갈륨 및 산화물 용매화 생성물 중 적어도 하나가 반응 셀 챔버나 갈륨 재생 시스템으로 복귀될 수 있다. PV 창이 영구적 위치에 있는 상태에서 청소를 할 수 있거나 창을 제거하여 청소한 다음 복귀시킬 수 있다. PV 창이나 배플 청소 시스템은 복수의 창을 포함할 수 있는데, 하나는 작동 중인 창 역할을 할 수 있으며 적어도 다른 하나가 청소 중이 된다. 이 청소는 별개의 챔버에서 혹은 반응 셀 챔버와 연결된 챔버에서 발생할 수 있다. PV 창이나 배플의 제거 및 대체의 수단은 기계, 전자기, 공압 또는 유압 시스템과 같은 당업계

에서 알려진 것을 포함할 수 있다. 갈륨과 용매를 분리하는 수단은 여과와 원심분리 시스템과 같은 당업계에서 알려진 것일 수 있다.

- [0508] 실시예에서, 비등점이 낮은 세슘과 같은 금속은 제1 온도에서 갈륨과 합금을 형성하며 운반 제제는 갈륨이 첨가되는 온도보다 더 높은 온도에서 합금으로부터 별도로 끓는다. 세슘과 같은 금속은 그 비등점에서 선택적으로 끓고 PV 창에 액체로 응축되며 이 액체는 창에 침착되는 갈륨과 합금을 형성하여 그것을 용해시킨다. 이 합금은 흐름이나 에어 제트나 기계적 와이퍼와 같은 수단에 의한 보조 제거로 제거할 수 있다.
- [0509] 실시예에서, 용융 금속은 순수 금속보다 배플이나 PV 창에 대한 습윤이 덜한 합금을 포함할 수 있다. 이 합금은 갈륨 그리고 Pt, Pd, Ir, Re, Ru, Rh, Au, Cu 및 Ni 중 하나와 같은 H₂O에 의해 산화되지 않는 귀금속 또는 금속을 포함할 수 있다. 이러한 습윤 거동을 변화시켜 부착을 방지하는 예시적 실시예에서, 순수 금속은 갈륨을 포함하고 합금은 은 합금을 포함하는데 여기서 은은 그렇지 않으면 석영, 사파이어 및 MgF₂나 본 개시의 다른 것과 같은 배플이나 창의 재료에 대한 갈륨의 높은 습윤을 초래하는 산화물 코팅의 형성을 억제한다.
- [0510] 실시예에서, 갈륨은 전기장의 인가에 대응할 수 있으며 이는 Chrimes et al.이 보고한 바와 같다 [<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26820807>]. 반응 셀(5b3)은 플라즈마를 회망하는 방향으로 향하도록 반응 셀 챔버(5b31)에 포함된 플라즈마에서 전기장을 유도하기 위해 전기장의 소스 및 외부 자석 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 전기장의 소스는 하나 이상의 유도 코일, 전기 피드-스루, 전극, 전원 및 전원 제어기 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 플라즈마의 방향 제어는 반응 셀 챔버에서 회망하는 영역으로의 플라즈마 가열 전력의 지향 및 PV 창으로부터의 갈륨 금속 입자 흐름의 지향 가운데 적어도 하나일 수 있다. 이 방향 제어는 반응 셀(5b3)에서 핫 스팟의 생성의 방지 그리고 PV 창의 금속화 방지 가운데 적어도 하나일 수 있다.
- [0511] 실시예에서, 플라즈마는 자기장, 전기장 또는 유도된 전기장이나 자기장과 같은 외부 장에 의해서 회망하는 위치로 향할 수 있다. 플라즈마 지향은 배플의 성능을 강화시켜 PV 창의 금속화를 감소시킬 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 PV 창(5b4)에 전하를 인가하는 수단을 포함한다. 전하는 반응 셀 챔버(5b31)에서 동일하게 하전된 금속 입자를 밀어내어 PV 창의 금속화를 감소시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)는 음으로 하전될 수 있으며 음전하는 음으로 하전된 주입 저장소와의 연결에 의해 인가될 수 있고, PV 창(5b4)은 음으로 하전되어 반응 셀 챔버(5b31)의 갈륨 및 산화 갈륨 입자 중 적어도 하나와 같은 용융 금속 입자를 밀어내어 PV 창의 금속화를 감소시킬 수 있다. PV 창은 금속 그리드와 같은 적어도 하나의 전극과 같은 창의 내부 표면 상의 전기 도체를 포함하여 PV 창을 충전하는 수단의 역할을 할 수 있다. 대안적으로 이 창은 인듐 주석 산화물과 같은 전도성 물질이나 코팅을 포함하여 창을 음으로 충전하는 것과 같이 창을 충전시킬 수 있다. 창의 내부 표면 상의 금속 그리드와 같은 전기 도체는 반응 셀 챔버(5b31)와 접촉하여 충전될 수 있다. 다른 실시예에서, PV 창은 PV 창을 관통하는 적어도 하나의 핀과 같은 적어도 하나의 전기 도체를 포함할 수 있다. SunCell®은 도체의 충전을 위해 전력 소스를 포함할 수 있다.
- [0512] 실시예에서, 이 창은 반발성 전기장과 같은 반발성 장의 소스를 포함할 수 있다. 이 소스는 플라즈마에 가장 가까운 내부 전극 그리고 PV 창에 가장 가까운 외부 전극을 포함할 수 있다. 이 소스는 적어도 하나의 전위 소스를 포함할 수 있다. 이 전극들 사이에 전위 차이 및 상응하는 전기장이 존재하도록 내부 전극은 한 전위에 유지할 수 있고 외부 전극은 더 높은 전위와 같은 다른 전위에 유지할 수 있다. 이 전극들은 복사가 통과할 수 있도록 적어도 부분적으로 개방될 수 있다. 예시적 전극은 W 메시와 같은 내화 금속 메시 등의 금속 메시를 포함한다. 예시적 실시예에서, 내부 전극은 약 100 V에 유지되고, 외부 전극은 약 300 V에 유지된다.
- [0513] 실시예에서, PV 창은 석영, 인산 갈륨, 지르코산 티탄산 납(PZT) 또는 전기석과 같은 결정성 규산 붕소 등의 적어도 하나의 투명 압전 결정을 포함할 수 있다. 전기의 생성을 위해 적어도 하나의 기계적 변형을 PV 창에 인가할 수 있으며, 전기를 PV 창과 접촉하는 전극에 인가하여 창의 기계적 운동을 야기할 수 있다. 생성된 전기 및 야기된 기계적 운동 중 적어도 하나가 PV 창으로부터 금속화의 제거를 야기할 수 있다. 다른 실시예에서, 하이드리노 반응의 강력한 플라즈마가 PV 창의 내부 표면을 가열하여 금속화부를 기화시킬 수 있다. 실시예에서, 이 PV 창이나 배플은 압전 직접 방전(PDD) 시스템을 포함한다. PDD 시스템에 의해 반응 셀 챔버의 기체에 형성되는 높은 전압 및 플라즈마 중 적어도 하나가 PV 창으로부터 갈륨 입자의 부착 억제 및 제거 원활화 중 적어도 하나를 실행할 수 있다. PDD 시스템은 PV 창이나 배플에 입사하는 하이드리노 반응 플라즈마 광을 유의하게 차단하지 않는 것과 같은 적어도 하나의 코로나 전극을 포함할 수 있다. 코로나 전극은 텅스텐, 탄탈, 레늄과 같은 내화 금속을 포함하는 적어도 하나의 와이어를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 수소를 포함할 수 있으며, PPD 시스템은 수소 해리를 야기할 수 있다. 그에 따른 원자 수소는 산화 갈륨을 환원시켜

PV 창에 대한 습윤을 감소시킬 수 있다.

[0514] PV 창은 열적 창 고장을 방지하기 위해 외부 표면을 냉각시킬 수 있다. PV 창은 가장 강력한 가열 영역으로부터 떨어진 위치에 배치하기 위해 반응 셀 챔버 연장부 상에 장착할 수 있다. 실시예에서, 압전 PV 창은 전극들은 광의 창 관통을 허용하는 그리드 와이어를 포함할 수 있다. 이 전극들은 그래핀, 인듐 주석 산화물(ITO), 인듐 도핑된 산화 카드뮴(ICdO), 알루미늄 도핑된 산화 아연(AZO), 갈륨 도핑된 산화 아연(GZO), 인듐 도핑된 산화 아연(IZO), 인듐 텅스텐 산화물(IWO), ITO, ICdO, AZO, GZO, IZO 또는 IWO 상에 도포된 산화 텅스텐의 표면 코팅과 같은 투명 전도체 또는 당업자에게 알려진 다른 투명 전도체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 이 전극은 PV 창을 가장자리에서 따라갈 수 있다. PV 변환기는 PV 셀 어레이로 음과 전파를 방지하기 위해 PV 창과 PV 변환기의 PV 셀 어레이 사이에 진공 챔버와 같은 챔버를 더 포함할 수 있다.

[0515] 실시예에서, PV 창은 유리, Pyrex, 또는 Guerilla 유리와 같은 변형가능하며 투명한 물질을 포함할 수 있다. 이 변형가능한 창은 기계적으로 여기 또는 진동시켜 금속화를 제거하거나 방지할 수 있다. 기계적 PV 창 여기란 기계식, 공압식, 압전식, 유압식 그리고 당업자에게 알려진 기타 여기 수단 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. PV 창-PV 변환기는 표면 유형 탈자기와 같은 탈자기를 포함할 수 있으며, 그 예는 Industrial Magnetics, Inc. DSC423-120이다. PV 창은 Fe, Ni, Co, AlNiCo 및 희토류 금속 및 합금 중 적어도 하나와 같은 적어도 하나의 강자성 물질을 포함할 수 있으며, 이 창은 탈자기의 적용에 의해 진동될 수 있다. 이 강자성 물질은 창을 적어도 하나의 표면에 결합되거나 체결됨, 창 층들 사이에 끼임 및 창에 매립된 가운데 적어도 하나인 적어도 하나의 스트립이나 와이어를 포함할 수 있다. 예시적 탈자기는 xy-평면에서 PV 창을 강자성 물질의 z-축을 따라 교대로 상향과 하향하는 자력을 생성하며 PV 창이 교대로 상향 및 하향 편향하도록 야기하는 AC 전기장에 의해 전력이 공급되는 솔레노이드 코일을 포함한다. 이 진동은 PV 창을 표면에 접촉된 물질을 떨어뜨린다. 탈자기는 광의 PV 창을 통한 PV 셀까지의 이동을 차단하는 것을 방지하기 위해 PV 셀 어레이 뒤에 배치될 수 있다.

[0516] 실시예에서, PV 창은 반응 셀 챔버를 대향하는 표면용 와이퍼를 포함할 수 있다. 이 와이퍼는 흑연과 같은 부드럽고 화학적으로 또한 열적으로 내성인 물질을 포함할 수 있다. PV 창은 가스 나이프를 더 포함할 수 있다. 이 가스는 재활용된 반응 셀 가스를 포함할 수 있다. 실시예에서, PV 창은 가스 펌프 및 가스 소스나 가스 입구 및 내부 창 표면을 고속 가스로 충돌시키는 적어도 하나의 노즐을 포함하는 적어도 하나의 가스 제트를 더 포함한다. PV 창은 표면 위로 가스 흐름을 원활히 하기 위해 돔과 같은 지오메트리를 포함할 수 있다. 이 가스는 입구를 통해 적어도 하나의 노즐을 나가도록 하는 펌핑에 의해 재순환될 수 있다. 입구 흐름을 방해할 수 있는 임의의 금속이나 산화 금속을 입구에서 치우는 제어기가 가스 흐름을 역전시킬 수 있다. 실시예에서 가스 제트의 가스가 PV 창 위의 금속에 충격을 가하여 제거하는 입자를 포함할 수 있다. 이 입자는 반응 셀 챔버로 그리고 이로부터 재활용되거나, 소모를 위해 반응 셀 챔버의 외부로부터 유입될 수 있다. 전자 및 후자 경우에 대한 예시적 실시예는 각각 미세한 탄소 입자 및 얼음 결정이다.

[0517] 실시예에서, SunCell®은 원심력을 제공하기 위해 회전하는 적어도 하나의 투명한 배플을 포함한다. 이 배플은 PV 창 앞쪽에 위치하여 용융 갈륨 및 산화 갈륨 중 적어도 하나가 창에 침착되는 것을 차단할 수 있다. SunCell®의 작동 동안 원심력은 배플에 침착되는 용융 갈륨과 산화 갈륨을 제거할 수 있다. 배플은 갈륨 및 산화 갈륨 중 적어도 하나에 의한 습윤에 내성이 있는 석영과 같은 본 개시의 물질을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버(5b31)는 배플 침착물의 제거를 원활히 하기 위해 갈륨 할라이드와 물과 같은 용매 그리고 운반 체제 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 운반 체제는 산화 갈륨 및 갈륨 중 적어도 하나와 반응하여 원심력에 의해 더 쉽게 제거되는 생성물을 형성할 수 있다. 갈륨 할라이드는 반응 셀 챔버 내에서 재활용될 수 있다. 물은 주입되어 하이드리노를 형성하는 H 및 H₂O 촉매의 적어도 하나의 소스를 제공할 수 있다. 가스 제트는 투명 배플에 인가되어 침착물의 제거를 더 원활히 할 수 있다. 예시적 투명 배플은 평평한 원판을 포함하며, 오목 또는 볼록 원판, 원뿔 형상 또는 다른 원통형의 대칭 형상과 같은 다른 형상과 지오메트리를 포함할 수 있다. 배플은 그 중앙에서 부착된 샤프트, PV 창에서 밀봉된 베어링을 갖춘 밀봉된 샤프트 관통부, 그리고 SunCell®의 PV 창 및 반응 셀 챔버의 외부에 구비된 샤프트 드라이브, 모터 및 제어기를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 배플은 전기적으로 혹은 공압적으로 회전할 수 있다. 디스크는 DC 자기 결합이나 AC 자기 유도에 의해 회전할 수 있다. 디스크는 PV 창 및 셀의 외부에 각각 적어도 하나의 DC 자석이나 유도 코일을 갖춘 적어도 하나의 DC 자석이나 유도 코일을 포함할 수 있다. 외부DC자석은 화전 수단에 의해 회전시킬 수 있다. 유도 코일은 배플에 대해 회전력을 야기하기 위해 유도 전력 소스 및 제어기에 의해 시간적 및 공간적 방식 중 적어도 하나의 방식으로 전력이 공급될 수 있다. 실시예에서, 회전 배플은 PV 창을 포함할 수 있다. 회전 배플 및 회전 PV 창 중 적어도 하나는 SunCell®이 작동 조건에 적합한 상업용 설계의 이용을 포함할 수 있다. 이러한 이용

가능한 설계를 가진 예시적 상업용 제품은 Cornell Carr(<http://www.cornell-carr.com/products/clear-view-screens.html>)의 Clear-View-Screens 또는 Visiport(<http://www.visiport.com/>)의 스핀 윈도우 시스템이 있으며 이들은 여기에 참고문헌으로 포함된다. 실시예에서, (i) 실, 베어링 및 프레임은 스테인레스강, 탄탈 및 텅스텐과 같은 갈륨과의 합금 형성에 내성인 물질을 포함하며, (ii) 창은 석영이나 본 개시의 다른 비습윤 물질과 같은 갈륨에 의한 습윤에 대해 내성인 물질을 포함하며 그리고 (iii) 실은 상승된 온도에서 진공 및 상승된 온도 가운데 적어도 하나가 가능하다.

[0518] 실시예에서, PV 창 시스템은 밀봉된 정지 창의 앞에 있는 투명한 회전 배플(둘 모두 z-축을 따라 전파하는 광에 대해 xy-평면에 있음) 그리고 z-축을 따라 전파하는 광에 대해 xy-평면에서 회전할 수 있는 창 가운데 적어도 하나를 포함한다. 예시적 실시예는 배플 및 창 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있는 투명한 뷰 스크린(https://en.wikipedia.org/wiki/Clear_view_screen)과 같은 스피닝 투명 디스크를 포함한다. 다른 실시예에서, PV 창 시스템은 xy-평면에서 창을 포함할 수 있으며 또한 창의 앞에 패들-휠 유형이나 베인-펌프 유형 배플을 포함하는데, 배플은 z-축을 따라 전파되는 광에 대해 xy-평면의 한 축을 따라 배향된 회전 샤프트에 견고하게 부착된 복수의 투명한 베인들을 포함한다. 다른 실시예에서, 베인-펌프 유형의 PV창은 z-축을 따라 전파되는 광의xy-면에서 축을 따라 배향된 회전 샤프트에 견고하게 부착된 복수의 투명 베인을 포함한다. PV 창 시스템은 베인-펌프 유형 배플과 베인-펌프 유형 PV 창을 모두 포함할 수 있다. 실시예에서, 회전 샤프트 상의 베인 간격으로 인해, 베인이 창에 대해 회전함에 따라 창이 항상 인접한 베인들의 조합에 의해 덮이게 된다. 배플과 창 모두가 회전하는 베인-펌프 유형인 실시예에서, 두 세트의 베인이 회전함에 따라 인접한 배플 베인들의 조합에 의해 창이 항상 덮이도록 각 회전 샤프트 상의 베인 간격과 샤프트 회전이 동기화된다. 베인들은 직선 블레이드, 곡선 블레이드 또는 입자의 차단, 광의 투과 및 제거된 입자의 펌핑을 원활하게 하는 기타 지오메트리일 수 있다. 투명한 베인은 갈륨 입자와 같은 입자에 의한 습윤에 대해 내성인 본 개시의 물질을 포함할 수 있다. 예시적 물질은 석영 및 다이아몬드상 탄소(DLC) 도포된 유리, Pyrex 또는 게릴라 유리이다. 회전하는 베인으로부터의 원심력은 침착된 입자의 입자가 제거되도록 야기할 수 있다. 회전 속도는 침착된 입자를 제거하기에 충분한 원심력의 생성에 충분할 수 있다. 회전 속도는 약 1 RPM ~ 10,000 RPM, 10 RPM ~ 5,000 RPM 및 100 RPM ~ 3,000 RPM 가운데 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다.

[0519] 회전 디스크, 베인-펌프 유형 배플 및 베인-펌프 유형 창은 각각 구동 장치와 제어기를 포함할 수 있다. 구동 시스템은 공압, 기계, 유압 또는 전기 구동 시스템 또는 당업계에서 알려진 다른 것을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 PV 창 시스템은 각각 PV 창 시스템을 가진 복수의 채널들 가운데 한 채널의 상부에 장착할 수 있다. 이 채널은 PV 창 시스템에 대해 입자의 흐름을 멀리 보내도록 야기하는 적어도 하나의 가스 제트를 더 포함할 수 있다. 이 채널은 본 개시의 지그재그 채널을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버는 배플 및 창 중 적어도 하나에 접촉할 수 있는 입자를 PV 창 시스템으로부터 더 청소하는 본 개시의 용매나 운반 체제를 더 포함할 수 있다.

[0520] 베인-펌프 유형 배플이나 창은 베인-펌프 유형 배플이나 창의 회전에 의해 제거된 입자를 다시 반응 셀 챔버로 펌핑하도록 하우징을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, PV 창 시스템은 투명한 석영이나 DLC도포된 Pyrex 베인을 갖춘 베인-펌프 유형을 포함하는 배플을 포함하는데, 회전 샤프트가 수평 축을 따라 위치하고 창은 수평면에 있으며, 작동 동안 연속적인 베인들의 조합이 항상 창을 덮도록 베인 간격이 이루어지며, 회전 속도가 침착된 입자를 제거하기에 충분하며, 배플이 재그재그 채널과 같은 채널의 상부에 창을 갖춘 채널에 장착되며 또한 입자를 반응 셀 챔버로 다시 펌핑하는 것을 원활히 하는 하우징에 수용된다.

[0521] 실시예에서, 스피닝 PV 창이나 배플은 PV 창이나 배플에 입자의 형성을 방지하기 위해 비습윤성 물질의 박막을 도포하는 브러시와 같은 도포기를 포함한다. 예시적 실시예에서, 이 도포기는 상응하는 비습윤성 박막을 PV 창이나 배플 표면에 연속적으로 도포하는 질화 붕소, 흑연 및 이황화 물리브텐 브러시 중 적어도 하나를 포함한다.

[0522] 실시예에서, 스피닝 디스크와 같은 PV 창은 코팅을 포함할 수 있다. 이 코팅은 갈륨이나 산화 갈륨의 창에 대한 접촉을 감소하거나 방지하는 물질을 포함할 수 있다. 이 코팅은 산화 갈륨과 작용하여 갈륨에 의한 습윤을 방지할 수 있는데 창은 산화 갈륨의 부재 하에서 갈륨 습윤에 내성인 물질을 포함한다. 예시적 코팅과 창은 각각 NaOH 및 석영이다. 이 코팅은 물, 산성수, 염기성수 및 알칼리와 같은 유기 화합물 또는 이소프로판올과 같은 알코올 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 코팅은 도포기에 의해 도포될 수 있다. 코팅의 도포는 창이나 배플의 스피닝 동작에 의해 성취될 수 있다. 코팅은 창이나 배플의 표면에서 응축되거나 흡수되는 것 중 적어도 하나일 수 있는 적어도 하나의 성분을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 창이나 배플 코팅 성분의 소스는 반응 셀 챔버(5b31) 가스를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 물과 무수산을 포함하는 기체를 포함한다. 창이나 배플은 표면에서 물의 응축 그리고 산 무수물의 물에 흡수를 허용하는 온도에서 유지될 수

있다. 실시예에서, 이 산성수는 PV 창이나 배플의 표면에 갈륨이 접촉되는 것을 방지한다. 이 산은 갈륨이 표면에 접촉되는데 필요한 산화 갈륨 코팅과 반응할 수 있다. 표면 코팅은 반응 셀 챔버 가스의 적어도 한 종과 열역학적 또는 동적 평형 상태에 있을 수 있다. 표면 코팅은 H_2SO_3 , H_2SO_4 , H_2CO_3 , HNO_2 , HNO_3 , HClO_4 , H_3PO_3 및 H_3PO_4 와 같은 수용성 산 또는 산 무수물이나 무수산의 소스를 포함할 수 있다. 후자는 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 및 P_2O_5 의 군의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 산의 소스는 NO_2 , NO , N_2O , CO_2 , P_2O_3 , P_2O_5 및 SO_2 와 같은 기체를 포함할 수 있다.

[0523] 다른 실시예에서, 코팅은 염기를 포함할 수 있다. 코팅은 창이나 배플 상에서 응축 및 흡수되는 것 중 하나일 수 있는 적어도 하나의 성분을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 창이나 배플 표면 코팅 성분의 소스는 반응 셀 챔버(5b31) 가스를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 물과 염기성 무수물을 포함하는 기체를 포함한다. 창이나 배플은 물이 표면에서 응축하고 염기성 무수물이 물로 흡수되는 것을 허용하는 온도로 유지될 수 있다. 실시예에서, 염기성 물은 PV 창이나 배플의 표면에 갈륨이 접촉되는 것을 방지한다. 염기는 갈륨이 표면에 접촉하는데 필요한 산화 갈륨 코팅과 반응할 수 있다. 이 표면 코팅은 반응 셀 챔버 가스의 적어도 한 종과 열역학적 또는 동적 평형 상태일 수 있다. 이 표면 코팅은 NH_3 , $\text{M}_2\text{O}(\text{M} = \text{알칼리})$, $\text{M}'\text{O}(\text{M}' = \text{알칼리 토류})$, ZnO 또는 다른 전이 금속 산화물, CdO , CoO , SnO , AgO , HgO 또는 Al_2O_3 와 같은 염기성 무수물 등의 염기와 같은 수용성 염기를 포함할 수 있다. 추가의 예시적 무수물은 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 및 In 과 같은 H_2O 에 안정한 금속을 포함한다. 이 무수물은 알칼리 금속이나 알칼리 토류 금속일 수 있으며, 수화된 화합물은 수산화물을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 코팅은 FeOOH , NiOOH 또는 CoOOH 와 같은 옥시수산화물을 포함할 수 있다. 염기의 소스는 염기 NH_4OH 에 상응하는 NH_3 와 같은 기체를 포함할 수 있다.

[0524] 반응 혼합물은 H_2O 의 소스 및 H_2O 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 산, 염기, 옥시수산화물 또는 상응하는 무수물은 수화 및 탈수 반응에 의해 가역적으로 형성될 수 있다. 창이나 배플은 산이나 염기를 형성하는 온도에서 유지될 수 있으며, 반응 셀 챔버의 온도는 이 산 또는 염기의 분해 온도를 초과한다. 분해 생성물은 창 코팅으로 재생시킬 수 있는 염기의 상응하는 산을 포함할 수 있다. 250°C 이상에서 질산 갈륨($\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$)이 델타 산화 갈륨(Ga_2O_3) 및 N_xO_y (x 및 y 는 정수)로 분해되는 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)는 250°C 초과로 유지되며 창이나 배플은 250°C 미만으로 유지된다.

[0525] 다른 실시예에서, 코팅은 산, 산 무수물, 염기 및 염기 무수물 중 적어도 하나를 포함하는 고형 화합물을 포함한다. 이 코팅은 산화 갈륨과 반응하여 창이나 배플에 접촉되는 것을 방지할 수 있다. 이 코팅은 물과 반응하여 산화 갈륨과의 반응 후 재생될 수 있다. 예시적 산성의 고형 화합물 코팅은 Nafion과 같은 양자 교환 막 코팅이다. 코팅을 재생하는 물의 소스는 반응 셀 챔버 가스이다.

[0526] 실시예에서, SunCell®은 N_xO_y (x 및 y 는 정수)와 같은 질소와 산소를 포함하는 적어도 하나의 화합물의 소스 그리고 H_2O 의 소스를 포함한다. 실시예에서, 반응 혼합물은 Ga_2O_3 와 같은 산화 갈륨과 질산 갈륨 사이의 재생 사이클을 유지할 수 있는 N_xO_y 및 H_2O 를 포함한다. 예시적 실시예에서, NO_2 가스는 물과 반응하여 질산을 형성하며 이것은 산화 갈륨과 반응하여 물과 질산 갈륨을 형성하고 질산 갈륨은 산화 갈륨과 NO_2 로 분해된다. 재생 사이클은 (i) 산화물 제거에 의해 갈륨의 습윤을 감소시켜 PV 창이나 배플로부터 갈륨의 제거 지원 그리고 (ii) 원자 H와 반응하여 하이드리노를 형성하는 촉매의 역할을 할 수 있는 신생 HOH의 형성에 대한 원활화 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0527] 실시예에서, NO_x (x = 정수)의 화학적 성질은 PV 창에 산화 갈륨-갈륨 입자의 제거 그리고 하이드리노를 위한 HOH 촉매의 촉매 형성에 의해 하이드리노 반응 속도의 가속화 가운데 적어도 하나를 원활하게 한다. 실시예에서, SunCell®은 N_2 기체와 같은 질소의 소스 그리고 반응 셀 챔버(5b31)에서 하이드리노 반응 혼합물에 질소를 제어 가능하게 공급하는 가스 라인 및 흐름 제어기와 같은 수단을 포함한다. 하이드리노 반응 혼합물은 용융 갈륨, 산화 갈륨, 수소, 아르곤과 같은 영족 기체, 수증기, 수소 및 질소 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 반응 혼합물은 하이드리노 반응을 전파할 수 있으며 이 반응은 다시 반응 셀 챔버에서 플라스마를 유지한다. 플라스마와 반응 셀 혼합물은 NO_x (x = 정수)를 형성할 수 있다. 예시적 화학성 실시예에서, Ga_2O_3 는 Ga 및 수소 중 적어도 하나와 반응하여 Ga_2O 를 형성할 수 있으며 이것은 수소와 함께 강력한 환원제로 작용하여

NH₃를 더 형성할 수 있는데, 이것은 산소와 반응하여 NO 및 NO₂를 형성할 수 있으며, 산소의 소스는 O₂ 및 H₂O 가운데 적어도 하나일 수 있다. 반응 셀 챔버는 Pt 등 귀금속과 같은 질소 화학성 촉매를 더 포함하여 NH₃, NO 및 NO₂ 중 적어도 하나의 형성을 원활하게 할 수 있다. 이 질소 화학성 촉매는 용융 갈륨으로부터 보호될 수 있는 반면 반응 혼합물의 가스에 대해 노출됨으로써 갈륨과의 합금 형성을 피한다. 실시예에서, 반응 셀 혼합물의 질소는 갈륨과 반응하여 질화 갈륨을 형성할 수 있으며, 이것은 물과 반응하여 Ga 로 재생가능한 Ga₂O₃와 같은 생성물을 형성할 수 있다. 실시예에서, GaN은 하이드리노 플라즈마 광을 사용하여 광촉매로 역할할 수 있다. 이 광촉매 반응은 원소 H 및 HOH 촉매와 같은 적어도 하나의 하이드리노 반응 반응물의 역할을 할 수 있다. 전극과 같은 텅스텐 SunCell®의 구성 요소는 산소 및 물 가운데 적어도 하나와 반응하여 광촉매의 역할을 하는 WO₃를 형성할 수 있다. 반응 셀 챔버는 광촉매를 포함하는 반응 혼합물에 추가된 종을 더 포함할 수 있다.

[0528] 실시예에서, 산화 갈륨과 반응하는 NaOH나 KOH와 같은 수산화물은 결정화되어 PV 창이나 배플의 표면에서 코팅을 형성한다. 이 결정은 투명하다. 산화 갈륨과 수산화물의 반응 생성물은 수산화물의 금속 그리고 갈산 나트륨(NaGaO₂)이나 갈산 칼륨(KGaO₂)과 같은 갈레이트 이온(GaO₂⁻)을 포함할 수 있다. NaOH와 Ga₂O₃의 예시적 반응은 다음과 같다:

[0529]
$$\text{Ga}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{NaGaO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

[0530] 수증기를 포함하는 반응 셀 챔버 분위기를 포함하는 실시예에서, 수증기 압력은 약 0.01 Torr ~ 50 Torr, 0.01 Torr ~ 10 Torr, 0.01 Torr ~ 5 Torr 및 0.01 Torr ~ 1 Torr 가운데 적어도 하나의 범위에 있는 수증기 압력과 같이 낮게 유지할 수 있다. 수산화물과 산화 갈륨의 반응은 물을 생성물로 형성할 수 있다. 실시예에서, PV 창의 수산화물 코팅은 회망하는 양의 흡수되거나 유지된 물을 유지하기 위해 상승된 온도에서 유지할 수 있다. 예시적 실시예에서, PV 창은 NaOH(융점 = 318 ° C) 또는 KOH(융점 = 360 ° C)와 같은 수산화물 융점의 미만으로 유지되면서 물의 흡수 또는 유지를 방지하는 상승된 온도로 유지된다. 실시예에서, 수산화물이 상당히 소모된 경우 일상적 보수유지로 PV 창을 수산화물로 교체하거나 재도포할 수 있다. 실시예에서, 스피닝 창, 지그재그 채널 및 배플과 같은 PV 창의 적어도 다른 하나의 구성요소를 NaOH 등의 염기와 같은 산화 갈륨을 갖는 반응물로 도포할 수 있다. 실시예에서, NaOH 코팅과 같은 코팅은 우무와 다른 그러한 폴리머, 제올라이트, 글래스 프리트 및 당업계에서 알려진 투명한 지지체와 매트릭스와 같은 투명할 수 있는 매트릭스등의 구조적 지지체 안에 함침되거나 매립되는 NaOH와 같은 염기를 포함하는 것과 같은 교체가 가능한 판을 포함할 수 있다. 이 판은 일상적 보수유지 동안 교체할 수 있다. 실시예에서, NaOH 등의 염기와 같은 산화 갈륨이 포함된 반응물은 고체, 액체, 용융 또는 수용성 가운데 적어도 하나일 수 있는데, NaOH와 같은 반응물은 지지체나 매트릭스에 흡수되거나 달리 결합되어 판의 형태를 유지할 수 있다. 예시적 실시예에 있어서, 이 판은 Neosepta® AHA 막과 같은 OH⁻ 전도체 막을 포함하는데 이 막은 1 M KOH나 NaOH 용액과 같은 염기로 처리하여 염소 이온(Cl⁻)을 수산화 이온(OH⁻)으로의 치환을 허용할 수 있다.

[0531] 실시예에서, SunCell®은 캐소드, 애노드, 투명한 창 및 투명한 전해질을 포함하는 PV 창이나 배플 전기분해 시스템을 포함한다. 전해질은 PV 창 전기분해 셀로 공급될 수 있으며 H₂O나 H₂로부터 유래하는 다음 이온 중의 하나에 대한 전도체를 포함할 수 있다: H⁺, OH⁻ 및 H⁻. 전극들은 PV 창에 의해 분리될 수 있거나, 두 개 모두 반응 셀 챔버로 향하는 면을 포함하는 PV 창의 앞 면에 있을 수 있다. 실시예에서, 전해질은 공용 염 혼합물과 같은 공용 염과 같은 하이드리노 이온 전도체를 포함할 수 있으며, 전해질은 하이드리노를 더 포함할 수 있다. 이 염은 LiH와 같은 하이드리노를 더 포함할 수 있는 혼합물 LiCl/KCl와 같은 하나 이상의 할라이드를 포함할 수 있다. 할라이드 외에도, 하이드라이드 이온을 전도할 수 있는 다른 적합한 공용 염 전해질은 KOH 내 KH, NaOH 내 NaH 또는 NaAl(Et)₄ 내 NaH 등의 금속유기 시스템과 같은 수산화물에 용해된 하이드라이드를 포함한다. 이 전해질은 알칼리 할라이드와 알칼리 토류 할라이드 군의 두 개 이상의 화합물 등 두 개 이상의 할라이드의 공용 염을 포함할 수 있다. 예시적 염 혼합물은 LiF-MgF₂, NaF-MgF₂, KF-MgF₂ 및 NaF-CaF₂를 포함한다. 기타 적합한 전해질은 금속 수소화붕소와 금속 알루미늄 하이드라이드에 기반하는 유기 염화 알루미늄산염 용융염이다. 용융 공용염과 같은 용융 혼합물일 수 있는 추가의 적합한 전해질은 표 1에 나열되어 있다.

[0532] [표 1] 용융염 전해질

AlCl ₃ -CaCl ₂	AlCl ₃ -CoCl ₂	AlCl ₃ -FeCl ₂	AlCl ₃ -KCl	AlCl ₃ -LiCl
AlCl ₃ -MgCl ₂	AlCl ₃ -MnCl ₂	AlCl ₃ -NaCl	AlCl ₃ -NiCl ₂	AlCl ₃ -ZnCl ₂
BaCl ₂ -CaCl ₂	BaCl ₂ -CsCl	BaCl ₂ -KCl	BaCl ₂ -LiCl	BaCl ₂ -MgCl ₂
BaCl ₂ -NaCl	BaCl ₂ -RbCl	BaCl ₂ -SrCl ₂	CaCl ₂ -CaF ₂	CaCl ₂ -CaO
CaCl ₂ -CoCl ₂	CaCl ₂ -CsCl	CaCl ₂ -FeCl ₂	CaCl ₂ -FeCl ₃	CaCl ₂ -KCl
CaCl ₂ -LiCl	CaCl ₂ -MgCl ₂	CaCl ₂ -MgF ₂	CaCl ₂ -MnCl ₂	CaCl ₂ -NaAlCl ₄
CaCl ₂ -NaCl	CaCl ₂ -NiCl ₂	CaCl ₂ -PbCl ₂	CaCl ₂ -RbCl	CaCl ₂ -SrCl ₂
CaCl ₂ -ZnCl ₂	CaF ₂ -KCaCl ₃	CaF ₂ -KF	CaF ₂ -LiF	CaF ₂ -MgF ₂
CaF ₂ -NaF	CeCl ₃ -CsCl	CeCl ₃ -KCl	CeCl ₃ -LiCl	CeCl ₃ -NaCl
CeCl ₃ -RbCl	CoCl ₂ -FeCl ₂	CoCl ₂ -FeCl ₃	CoCl ₂ -KCl	CoCl ₂ -LiCl

[0533]

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

[0534]

KI-RbI	KMgCl3-LiCl	KMgCl3-NaCl	KMnCl3-NaCl	KNO3-K2SO4
KNO3-KOH	KNO3-LiNO3	KNO3-NaNO3	KNO3-RbNO3	KOH-K2SO4
KOH-LiOH	KOH-NaOH	KOH-RbOH	LaCl3-KCl	LaCl3-LiCl
LaCl3-NaCl	LaCl3-RbCl	Li2CO3-Li2SO4	Li2CO3-LiF	Li2CO3-LiNO3
Li2CO3-LiOH	Li2CO3-Na2CO3	Li2SO4-Na2SO4	LiAlCl4-NaAlCl4	LiBr-LiCl
LiBr-LiF	LiBr-LiI	LiBr-LiNO3	LiBr-LiOH	LiBr-NaBr
LiBr-RbBr	LiCl-Li2CO3	LiCl-Li2SO4	LiCl-LiF	LiCl-LiI
LiCl-LiNO3	LiCl-LiOH	LiCl-MgCl2	LiCl-MnCl2	LiCl-NaCl
LiCl-NiCl2	LiCl-RbCl	LiCl-SrCl2	LiF-Li2SO4	LiF-LiI
LiF-LiNO3	LiF-LiOH	LiF-MgF2	LiF-NaCl	LiF-NaF
LiF-RbF	LiI-LiOH	LiI-NaI	LiI-RbI	LiNO3-Li2SO4
LiNO3-LiOH	LiNO3-NaNO3	LiNO3-RbNO3	LiOH-Li2SO4	LiOH-NaOH
LiOH-RbOH	MgCl2-MgF2	MgCl2-MgO	MgCl2-MnCl2	MgCl2-NaCl
MgCl2-NiCl2	MgCl2-RbCl	MgCl2-SrCl2	MgCl2-ZnCl2	MgF2-MgO
MgF2-NaF	MnCl2-NaCl	MnCl2-NiCl2	Na2CO3-Na2SO4	Na2CO3-NaF
Na2CO3-NaNO3	Na2CO3-NaOH	NaBr-NaCl	NaBr-NaF	NaBr-NaI
NaBr-NaNO3	NaBr-NaOH	NaBr-RbBr	NaCl-Na2CO3	NaCl-Na2SO4

[0535]

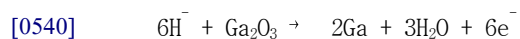
NaCl-NaF	NaCl-NaI	NaCl-NaNO3	NaCl-NaOH	NaCl-NiCl2
NaCl-PbCl2	NaCl-RbCl	NaCl-SrCl2	NaCl-ZnCl2	NaF-Na2SO4
NaF-NaI	NaF-NaNO3	NaF-NaOH	NaF-RbF	NaI-NaNO3
NaI-NaOH	NaI-RbI	NaNO3-Na2SO4	NaNO3-NaOH	NaNO3-RbNO3
NaOH-Na2SO4	NaOH-RbOH	RbBr-RbCl	RbBr-RbF	RbBr-RbI
RbBr-RbNO3	RbCl-RbF	RbCl-RbI	RbCl-RbOH	RbCl-SrCl2
RbF-RbI	RbNO3-RbOH	CaCl2-CaH2		

[0536]

[0537] 표 1에 열거된 예시적 염 혼합물과 같은 용융 염 전해질은 H^- 이온 전도체이다. 실시예에서, LiH, NaH 또는 KH 등의 알칼리 하이드라이드와 같은 H^- 의 소스가 H^- 이온 전도성을 향상시키기 위해 용융 염 전해질에 첨가될 수 있음이 본 개시에 내포되어 있다.

[0538] 실시예에서, H^- 가 전해질에서 이동하는 이온이다. H^- 는 캐소드에서 형성되어 애노드로 이동할 수 있다. 전해질은 LiCl-KCl 등의 알칼리 할라이드의 혼합물과 같은 공용 혼합물과 같은 하이드라이드 이온 전도체일 수 있다. 캐소드는 $Ni(H_2)$ 와 같은 수소 투과성 막일 수 있다. 애노드는 산화 갈륨 및 H^- 를 갈륨과 H_2O 로 산화시킬 수 있으며 그로 인해 습윤 제제인 산화 갈륨의 소모와 함께 PV 창의 갈륨 습윤이 제거된다. 실시예에서, PV 전기분해 셀은 H^- 전도체인 용융 수산화물-할라이드 전해질, $Ni(H_2)$ 등의 수소 투과성 캐소드와 같은 하이드라이드 이온을 형성하는 H^- 의 소스 그리고 산화 갈륨과 하이드라이드 이온을 갈륨과 H_2O 로 선택적으로 산화하는 애노드를 포함할 수 있다. 이 반응들은 다음과 같다:

[0539] 애노드:



[0541] 캐소드:



[0543] 예시적 셀은 $[Pt/MOH-M'X/M''(H_2)]$ 이며, 여기서 캐소드 M'' 은 Ni, Ti, V, Nb, Pt 및 PtAg와 같은 수소 투과성 금속을 포함할 수 있고, 전해질은 MOH-M'X ($M, M' =$ 알칼리; $X =$ 할라이드)와 같은 하이드록사이드 및 할라이드의 혼합물을 포함하고, 다른 귀금속과 지지체는 Pt 애노드를 대체할 수 있다. 전해질은 알칼리 금속 하이드라이드

와 같은 적어도 하나의 다른 염을 더 포함할 수 있다. 대안적 실시예에서, 전해질은 $\text{CaCl}_2\text{-CaH}_2$ 와 같은 하이드라이드 이온 전도성 고체 전해질을 포함할 수 있다. 예시적 하이드라이드 이온 전도성 고체 전해질에는 $\text{CaCl}_2\text{-CaH}_2$ (5 ~ 7.5 mol%) 그리고 $\text{CaCl}_2\text{-LiCl-CaH}_2$ 가 있다.

[0544]

대안적 실시예에서, SunCell® 창이나 배플은 적어도 두 개의 전극, 전력 소스 그리고 산화 갈륨으로 인해 갈륨이 창이나 배플에 대한 접촉을 야기하지 못하도록 방지하는 산화 갈륨의 환원에 필요한 제어기를 포함하는 전기분해 시스템을 포함한다. 이 창이나 배플은 그리드 전극 혹은 인듐 주석 산화물을 포함하는 것과 같은 패턴을 가진 투명하고 전기적으로 전도성인 박막을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 전극이 메시나 스크린을 포함할 수 있다. 실시예에서, 전해질은 산과 염기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 전해질은 NaOH 등의 수산화물을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 전해질은 박막 및 투명성 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있는 베타 알루미늄과 같은 고체를 포함할 수 있다. 전기분해 전압은 약 0.1 V ~ 50 V, 0.25 V ~ 5 V 및 0.5 V ~ 2 V 가운데 적어도 한 범위에 있을 수 있다.

[0545]

창이나 배플은 전해질에 의해 분리되고 전력의 소스에 의해 전력이 공급되는 음극과 양극을 포함하는 전기분해 시스템을 포함할 수 있는데, 창이나 배플의 표면에 접촉되는 갈륨이 창의 음극에 접촉하고, 전류가 전해질을 통해 분리된 양극으로 운반되어 접촉된 갈륨의 산화 갈륨을 환원시킨다. 창이나 배플의 표면에 대한 갈륨의 접촉을 방지하기 위해 산화 갈륨을 환원시키는 창이나 배플 전기분해 시스템의 실시예에서, 창이나 배플은 플라즈마로부터 먼 측의 창이나 배플의 뒷면에 있는 애노드 또는 애노드의 복합체와 같은 전극들의 복합체 또는 후면 전기분해 전극을 포함할 수 있다. 음영 효과를 최소화하기 위해, 후면 전기분해 전극은 (i) 창이나 배플에 대해 원주상에 위치함, (ii) 그리드 와이어를 포함함 그리고 (iii) 인듐 주석 산화물과 같은 투명한 전도체를 포함함 가운데 적어도 하나에 해당할 수 있다. 전해질은 창이나 배플의 뒷면 상에 투명한 층이나 막을 포함할 수 있다. 전해질은 투명할 수 있고 NaOH나 KOH 등의 MOH(M = 알칼리)와 같은 염기 또는 물 및 암모니아 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있는데, 기체 암모니아는 용매화된 암모니아와 평형 상태에 있고, 암모니아 가스는 애노드를 수용하는 투명한 챔버에 포함될 수 있다. 앞면은 앞면의 적어도 일부에 있는 그리드 와이어나 전극 혹은 전도성 층이나 막과 같은 전기적 연결부를 포함하는 캐소드 또는 캐소드의 복합체와 같은 전극들의 복합체 또는 전면 전기분해 전극을 포함할 수 있다. 이 막은 표면을 덮거나 그리드 리드와 복합체의 전극의 형태일 수 있는 인듐 주석 산화물과 같은 투명한 전도체일 수 있다. 전극들은 그래핀, 인듐 주석 산화물(ITO), 인듐 도핑된 산화 카드뮴(ICdO), 알루미늄 도핑된 산화 아연(AZO), 갈륨 도핑된 산화 아연(GZO), 인듐 도핑된 산화 아연(IZO), 인듐 텅스텐 산화물(IWO), ITO, ICdO, AZO, GZO, IZO 또는 IWO 상에 도포된 산화 텅스텐의 표면 코팅과 같은 투명한 전도체 또는 당업자에게 알려진 다른 투명한 전도체를 포함할 수 있다. 코팅이 전기 변색성인 경우, 전류를 인가하여 산화물 코팅의 환원에 의해 갈륨을 제거할 수 있으며, 간헐적 재생 기간 동안 전류를 반전시켜 투명한 PV 코팅이 재생될 수 있다. 다른 실시예에서, 전기분해 전극이나 갈륨에 접촉하는 전극들의 복합체는 스테인레스강(SS), 텅스텐(W) 또는 탄탈(TA)과 같은 갈륨과의 합금 형성에 내성인 물질을 포함할 수 있다. 이 전극들은 SS, Ta 또는 W와 같은 갈륨 습윤에 내성일 수 있다. 나피온과 같은 산성 전해질의 경우 Pt, Ir, Rh, Re, Pd 또는 Au 등의 귀금속과 같은 전극들은 전해질과의 반응에 대해 안정할 수 있다. 염기성 전해질과 접촉하는 전기분해 전극이나 전극들의 복합체는 염기와의 부식에 내성인 구리, 스테인레스강, 니켈, 귀금속 또는 탄소와 같은 물질을 포함할 수 있다. 이 전극은 그리드, 메시 또는 스크린을 포함할 수 있는 와이어와 같은 요소들을 포함할 수 있다. 와이어와 같은 요소는 PV 창을 통해 PV 변환기로 투과되는 광의 음영을 최소화하도록 형상을 만들 수 있다. 예시적 형상은 정점이 광원으로 향하는 사각뿔인데, 광이 PV 창이나 배플의 다른 음영되지 않는 영역으로 반사될 수 있다. 창이나 배플을 적어도 하나의 전극에 부착시키기 위해 세라믹이나 플라스틱 볼트와 같은 비전도성 패스너를 포함할 수 있다. 창이나 배플은 창이나 배플의 적어도 한 부분에 걸쳐 복수의 직경이 작은 관통부들과 같은 적어도 하나의 관통부를 포함할 수 있으며 이것은 애노드와 캐소드 사이의 전해질과 전기적 접촉을 갖는 복수의 도관의 역할을 한다.

[0546]

다른 실시예에서, 전기분해 시스템 구성요소들은 플라즈마의 방향으로부터 애노드, 전해질 및 캐소드의 순서일 수 있는데, 애노드와 캐소드는 공간적으로 분리되고, 애노드는 창이나 배플에 대해 원주방향일 수 있고, 전해질은 창이나 배플의 표면에 접촉될 수 있다. 전해질은 NaOH나 KOH 등 MOH(M = 알칼리)와 같은 염기를 포함할 수 있다. 창이나 배플은 전해질과 표면의 결합을 도울 수 있는 거친 표면을 포함할 수 있다. 창이나 배플은 전해질에 결합시키는 친수성 코팅을 포함할 수 있다. 이 전해질은 낮은 수증기압을 가질 수 있다. 전해질은 적어도 하나의 고농도 염기 그리고 수증기압을 감소시키는 친수성 화합물과 같은 적어도 하나의 화합물을 포함할 수 있다. 전해질은 NaOH나 KOH의 하나와 같은 슬러리나 페이스트를 포함할 수 있다. 전해질은 폴리머와 같은 결합 화합물 또는 MgO와 같은 세라믹 산화물 또는 우무와 같은 염 도핑된 매트릭스 또는 폴리에틸렌 옥사이드와

같은 폴리머를 포함할 수 있다.

[0547] 전해질은 고체 전해질을 포함할 수 있다. 전해질은 PV 창에 접착된 입자를 제거하는 희망하는 애노드 산화 및 캐소드 환원에 적합한 이온 전도체를 포함할 수 있다. 예시적 고체 전해질은 Na^+ 전도체 베타-알루미나 고체 전해질(BASE), Na^+ 또는 OH^- 전도체인 갈산 나트륨, K^+ 또는 OH^- 전도체인 갈산 칼륨, 산화물 이온 전도체 이트리아-안정화된 지르코니아, 나트륨 이온 전도체인 NASICON($\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$), H^+ 전도체인 Nafion인데, 여기서 산화 및 환원 반응을 전해질에 일치시킨다. 고체 전해질은 OH^- 전도체인 층상 이중 수산화물(LDH)을 포함할 수 있다. 실시예에서, LDH는 음이온성 점토를 포함하며, LDH의 일반식은 $[\text{M}^{\text{II}}_{1-x} \text{M}^{\text{III}}_x(\text{OH})_2][(\text{A}^{n-})_{x/n} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ 이고, 여기서 M^{II} 는 Ni^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} 등과 같은 이가 양이온이며, M^{III} 은 Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} 등과 같은 삼가 양이온이며, A^{n-} 은 CO_3^{2-} , Cl^- , OH^- 등과 같은 음이온이다. OH^- 전도체인 예시적 고체 전해질에는 KOH-Al-Mg 층상 이중 수산화물인 $\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}$ 과 같은 층상 이중 수산화물(LDH), Neosepta® AHA 막과 같은 이온 교환막에 있어서 수산화 이온(OH^-)의 염화 이온(Cl^-)으로의 치환을 허용하는 1 M KOH 용액과 같은 염기로 처리할 수 있는 이온 교환 막, (20-70 wt %) 등의 폴리설폰 매트릭스에 매립된 SiO_2 /치밀 사가 암모늄 관능성 폴리스티렌으로 구성된 나노입자 및 테트라에틸암모늄 하이드록사이드(TEAOH) 폴리아크릴아마이드(PAM)가 있다. 용융 금속이 은이나 갈륨-은과 같은 합금을 포함할 수 있는 실시예에서, 전해질은 은 이온에 대해 고급 초이온성 전도체를 포함할 수 있으며, 이는 RbAg_4I_5 , KAg_4I_5 , $\text{NH}_4\text{Ag}_4\text{I}_5$, $\text{K}_{1-x}\text{Cs}_x\text{Ag}_4\text{I}_5$, $\text{Rb}_{1-x}\text{Cs}_x\text{Ag}_4\text{I}_5$, $\text{CsAg}_4\text{Br}_{1-x}\text{I}_{2+x}$, $\text{CsAg}_4\text{ClBr}_2\text{I}_2$, $\text{CsAg}_4\text{Cl}_3\text{I}_2$, $\text{RbCu}_4\text{Cl}_3\text{I}_2$, KCu_4I_5 및 황화은의 적어도 하나일 수 있다.

[0548] 실시예에서, NaF 등의 알칼리 할라이드와 같은 전해질은 대략 중성 pH를 가질 수 있다. 대략 중성 pH의 전해질은 창에 접착된 갈륨 상의 산화 갈륨 코팅의 용해를 피할 수 있다.

[0549] 실시예에서, NaOH와 같은 PV 창 전해질이 보충되며, 반응 혼합물에 소실된 전해질은 전기분해와 같은 수단에 의해 갈륨의 순환 동안 복구될 수 있다.

[0550] 갈륨 습윤을 방지하기 위해 산화 갈륨을 산화시키는 예시적 전기분해 시스템은 (i) 창의 뒤쪽에 있는 환형 SS 애노드; (ii) 창의 뒤에 있는 NaOH 슬러리; (iii) 전해질을 위한 다수의 작은 채널을 갖춘 창 그리고 (iv) 갈륨과 접촉하여 환원시키는 창의 앞면에 있는 SS 메시나 스크린 캐소드를 포함한다. (i) 갈륨이 스테인레스강, tantal 또는 텅스텐과 같은 산화물이 포함된 금속에 접촉하지 않고, (ii) 산화물 코팅을 포함하는 금속이 캐소드를 포함하고, (iii) 작동 동안 산화 금속 코팅이 환원되는 실시예에서, 전기분해 셀의 극성을 주기적으로 반전시켜 캐소드 금속의 산화물 코팅을 재생할 수 있다.

[0551] 실시예에서, 전면 전극은 애노드를 포함할 수 있으며, 캐소드는 PV 창의 앞의 주변 및 뒤 가운데 하나에 있을 수 있다. 후자의 경우, PV 창은 전해질을 위한 구멍을 포함할 수 있다. PV 창에 접착된 갈륨과 접촉하는 애노드에 대한 양 전위의 인가 그리고 캐소드에 대한 음 전위의 인가는, 수집된 갈륨이 제거되어 재생될 수 있는 캐소드로의 이동을 야기할 수 있다. SunCell®은 제거 수단, 상응하는 채널을 더 포함할 수 있는 운반 수단 및 수집된 갈륨의 재생 수단을 포함할 수 있다. 예시적 제거 수단은 스크래퍼, 가스 제트, 펌프 및 본 개시의 다른 제거 수단에 의한 것과 같은 기계적 수단이다. 갈륨은 제거된 다음 운반 수단 및 상응하는 채널을 사용하여 본 개시의 반응 셀 챔버, 저장소 및 갈륨 재생 시스템의 적어도 하나로 운반될 수 있다.

[0552] 실시예에서, 창이나 배플은 창이나 배플의 표면에서 플라즈마를 유지하는 플라즈마 방전 시스템을 포함한다. 플라즈마 방전 시스템은 창이나 배플 표면 상에 혹은 근접한 곳의 전극 그리드 와이어, 메시 또는 스크린, 대향 전극 및 글로 방전 소스와 같은 방전 전력 소스를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 플라즈마 소스는 마이크로파, 유도 또는 정전용량 방식으로 결합된 RF 방전, 유전체 장벽 방전, 압전 직접 방전 및 음향 방전 셀 플라즈마 소스와 같은 다른 알려진 플라즈마 소스를 포함한다. 플라즈마 시스템은 상응하는 플라즈마가 산화 갈륨을 환원시켜 접착되는 갈륨 입자의 창이나 배플 표면으로부터의 제거를 야기하도록 구성될 수 있다. 대안적으로, 플라즈마는 수소의 소스로부터 원자 수소를 형성할 수 있는데, 원자 수소는 산화 갈륨을 갈륨으로 환원시켜 비습윤성이 되도록 야기한다. 다른 실시예에서, 창이나 배플은 하이드리노 반응이 창이나 배플의 표면의 근접한 곳에서 하이드리노 반응에 의해 플라즈마가 유지되도록 하는 영구 자석이나 전자석과 같은 자기장의 소스를 포함한다. 플라즈마는 수소의 소스로부터 원자 수소를 형성할 수 있는데 이 원자 수소가 산화 갈륨을 갈륨으로 환원하여 비습윤성이 되도록 야기한다. 실시예에서, 창이나 배플은 고온 필라멘트 등의 본 개시의 것과 같은

수소 해리기 또는 레늄, 탄탈, 니오븀, 티탄 또는 본 개시의 다른 것과 같은 금속 해리기를 포함한다. 아르곤-수소-미량의 H_2O 가스 혼합물과 같은 수소를 포함하는 반응 혼합물인 반응 챔버 가스는 갈륨 입자의 산화물 코팅을 환원시켜, 갈륨이 PV 창에 대한 접착 방지 및 PV 창에서 입자의 제거 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다. 창이나 배플은 필라멘트 위로 수소가 흘러서 원자 수소가 PV 창으로 더 흐르도록 야기하는 가스 제트를 포함할 수 있다.

[0553] 실시예에서, 배플이나 PV 창은 탄소와 같은 지지체 또는 Al_2O_3 , 실리카, 제올라이트 비드 등의 세라믹 비드 상의 Pt, Pd, Ir, Re 또는 다른 해리기 금속과 같은 수소 해리기, 레이니 Ni, 또는 Ni, 니오븀, 티탄, 또는 본 개시의 다른 해리기 금속을 분말, 매트, 직물 또는 천과 같은 높은 표면적을 제공하는 형태로 수용하는 해리기 챔버를 포함한다. 이 해리기 챔버는 반응 셀 챔버로부터 해리기 챔버로의 갈륨의 흐름을 억제하는 반면 가스 교환을 허용하는 본 개시의 지그재그 채널과 같은 갈륨 차단 채널에 의해서 배플이나 PV 창의 위치에서 반응 셀 챔버에 연결될 수 있다. 수소 가스가 반응 셀 챔버에서 해리 챔버 안으로 흐를 수 있는데, 여기서 수소 분자가 원자로 해리되고 원자 수소가 반응 셀 챔버로 다시 흘러서 PV 창에서 산화 갈륨을 환원시키는 반응물의 역할을 할 수 있다. 다른 실시예에서, 이 해리 챔버는 본 개시의 플라즈마 해리거나 필라멘트 해리기를 수용할 수 있다. 실시예에서, 가스 제트가 해리기 위로 수소를 흘려보내 그에 따른 H 원자 흐름이 배플이나 PV 창의 표면에 충돌한다.

[0554] PV 창은 적어도 하나의 압전 변압기(PT) 및 선택적으로 적어도 하나의 와이어 전극과 같은 적어도 하나의 인접한 전극을 포함할 수 있는데, PT의 고유한 전자기계적 공명을 사용하여 전압을 증폭함으로써 그 모서리에서 혹은 인접한 전극에서 코로나형 방전을 생성할 수 있는 커다란 표면 전압이 압전기의 표면에서 나타난다. 예시적인 전압 증폭은 7 V에서 kV 미만이다. 소위 압전 직접 방전의 구성을 사용하여 이온 바람이라 불리는 벌크 기류를 생성할 수 있으며, 이는 다음에 보고된 바 있다: Johnson end Go [M. Johnson, D. B. Go, "Piezoelectric transformers for low-voltage generation of gas discharges and ionic winds in atmospheric air", Journal of Applied Physics, Vol. 118, December, (2015), pp. 243304-1 - 243304-10, doi: 10.1063/1.493849]. 실시예에서, 압전 직접 방전은 PV 창에 대한 갈륨 입자의 접착을 제거하거나 감소시키는 이온 바람을 생성하는 전극 구성을 포함한다. 실시예에서, 갈륨 입자의 PV 창에 대한 접착의 방지 그리고 PV 창으로부터 접착하는 갈륨 입자의 청소 가운데 적어도 하나를 실행하는 가스 제트는 송풍기를 포함하는 것과 같은 재순환기와 적어도 하나의 가스 노즐을 포함할 수 있다. 세척되어 재순환된 영족 기체 그리고 세척되고 재순환되어 반응 셀 챔버로 주입되는 수소를 포함하는 보충용 수소 가운데 적어도 하나가, 가스 흐름으로 하여금 PV 창으로부터 갈륨 입자를 강제로 떨어뜨리거나, 갈륨 입자의 산화물 코팅의 환원을 위해 원자 수소를 제공하는 것 가운데 하나를 야기하여, 입자의 접착 방지 및 PV 창으로부터의 입자의 제거 야기 중 하나가 이루어지도록 반응 셀 챔버의 한 영역으로 향하게 될 수 있다. 후자의 경우, 재순환되는 영족 기체 및 보충용 수소 가운데 적어도 하나를 PV 창에 충돌하도록 만들 수 있는데, 수소를 포함하는 가스를 해리기 금속, 플라즈마 소스 또는 고온 필라멘트와 같은 수소 해리기 위로 흐르도록 만들 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 가스, 재순환된 가스 및 고갈된 반응물들을 교체하는 보충용 가스 가운데 적어도 하나가 적어도 하나의 인접한 전극을 포함할 수 있는 압전 변압기에 의해 생성되는 이온 바람을 포함할 수 있다. 실시예에서, PV 창은 적어도 하나의 석영, 인산 갈륨, 지르콘산 티탄산납(PZT), 전기석과 같은 결정성 규산 붕소 또는 당업계에서 알려진 다른 것과 같은 적어도 하나의 투명 압전 결정을 포함할 수 있다. 압전 트랜스듀서의 적어도 하나의 전극은 인듐 납 산화물(ITO)이나 본 개시의 다른 것과 같은 투명한 전도체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 압전 트랜스듀서 및 상응하는 압전 직접 방전은 PV 창에 대한 산화 갈륨의 접착 방지나 그로부터의 제거 원활화를 위해 장벽 전극 방전 시스템과 장벽 전극 방전으로 대체할 수 있다.

[0555] 다른 실시예에서, 스피닝 배플이나 스피닝 창은 SunCell® 작동 동안 배플이나 창에 침착된 입자를 물리적으로 제거하는 기기를 포함할 수 있다. 이 기기는 브러시 또는 배플이나 창의 표면을 이동하는 날카로운 가장자리를 가진 블레이드와 같은 표면에 장착된 마모 기기를 포함할 수 있다. 배플이나 창의 표면은 연마할 수 있으며, 블레이드는 가장자리와 표면 사이에 최적화된 접촉을 제공하는 정밀한 가장자리를 포함할 수 있다. 블레이드는 배플이나 창의 회전마다 상응하는 표면이 긁히도록 창이나 배플의 반경과 동일한 길이를 가질 수 있다. 이 블레이드는 기계식, 유압식, 공압식 또는 전자기식 압력 인가 기기와 같은 표면을 향하여 블레이드에 조절가능한 압력을 인가하는 제어가능한 기기를 포함할 수 있다. 예시적인 기계적 압력 인가 기기는 스프링을 포함한다.

[0556] 실시예에서, 배플과 PV 창 가운데 적어도 하나가 용융 금속을 배플 및 PV 창의 적어도 하나에 펌핑하여 금속의 산화물과 같은 침착된 입자를 제거하는 용매의 역할을 하도록 하는 적어도 하나의 용융 금속 주입기를 포함한다. 실시예에서, 배플 및 PV 창의 적어도 하나가 용융 금속에 의한 습윤에 내성인 물질이나 표면을 포함

한다. 예시적 실시예에서, 용융 금속은 갈륨을 포함하고, 산화 금속은 산화 갈륨을 포함하고, 물질이나 표면은 적어도 하나의 석영, BN, 탄소 또는 다른 물질 또는 갈륨에 의한 습윤에 내성인 표면을 포함하고, 용융 금속 주입기는 적어도 하나의 EM 펌프 및 저장소(5c)와 반응 셀 챔버(5b31) 중 적어도 하나와 같은 소스로부터 배플 및 PV 창 중 적어도 하나의 표면으로 용융 갈륨을 주입하는 적어도 하나의 노즐을 포함하는데, 이 용융 갈륨은 배플 및 PV 창 가운데 적어도 하나의 표면으로부터 산화 갈륨을 제거하는 산화 갈륨의 용매 역할을 한다. 다른 예시적 실시예에서, 용융 금속은 은을 포함하고, 배플이나 PV 창은 석영, 사파이어, 또는 MgF_2 와 같은 알칼리 토류 할라이드 결정과 같은 용점이 높은 투명한 물질을 포함하고, 용융 금속 주입기는 적어도 하나의 EM 펌프 그리고 저장소(5c) 및 반응 셀 챔(5b31) 중 적어도 하나와 같은 소스로부터 용융 은을 배플이나 PV 창 중 적어도 하나의 표면 상으로 주입하여 배플이나 PV 창 중 적어도 하나의 표면으로부터 은 나노 입자와 같은 은 입자를 제거하는 역할을 하는 적어도 하나의 제트 노즐을 포함한다. 배플 및 PV 창은 고온 은 입자에 의해 야기되는 용융에 의한 피팅(pitting)으로부터 배플이나 창을 보호하는 투명한 희생 층을 더 포함할 수 있다.

[0557] 실시예에서, 배플이나 PV 창 중 적어도 하나는 갈륨 및 산화물을 제거하는 와이퍼와 같은 적어도 하나의 수단을 더 포함할 수 있다. 와이퍼는 적어도 하나의 와이퍼 블레이드와 배플 및 PV 창 중 적어도 하나의 표면 위로 블레이드를 움직이는 수단을 포함할 수 있다. 이 블레이드의 이동 수단은 기계식, 공압식, 유압식, 전자기식 또는 당업계에 알려진 다른 그러한 이동 수단 가운데 하나를 포함할 수 있다. 대안적으로 배플 및 PV 창 중 적어도 하나는 스피닝 배플이나 PV 창 그리고 고정 와이퍼 블레이드를 포함할 수 있다.

[0558] 예시적 실시예에서, 어레이와 같은 복수의 주입기 제트들은 배플 및 창 중 적어도 하나의 표면에 접촉될 수 있는 산화 갈륨 입자를 떼내는데 충분한 속도와 흐름으로써 스피닝 배플 및 스피닝 PV 창 중 적어도 하나의 표면에 용융 금속을 주입하고, 블레이드는 회전하면서 배플 및 PV 창 중 적어도 하나로부터 주입된 갈륨과 산화물을 제거할 수 있다. 다른 실시예에서, 갈륨 및 산화 갈륨은 배플 및 PV 창 가운데 적어도 하나만의 회전에 따른 원심력으로 제거된다.

[0559] 다른 예시적 실시예에서, 창이나 배플은 NaOH나 KOH와 같은 염기로 도포된 석영 표면이나 투명한 표면과 같은 갈륨에 의해 습윤되지 않는 표면으로부터 산화 갈륨을 제거하는 적어도 하나의 기계 또는 EM 펌프에 의해 공급되는 것과 같은 고압 제트들의 어레이를 포함한다. 이 용융 금속 제트의 어레이는 갈륨 및 산화 갈륨을 포함하는 것과 같은 침착된 입자를 세척하기 위해 고속의 용융 갈륨을 스피닝 창으로 주입할 수 있다. 이 고속 갈륨은 산화 갈륨을 제거하는 액체 클리너로 작용할 수 있다. 산화 갈륨이 표면의 갈륨 습윤을 야기하므로, 그 제거는 비드로 성형되어 스피닝 창의 원심력에 의해 제거될 수 있는 갈륨에 의한 습윤을 제거한다.

[0560] 실시예에서, 용융 금속은 배플 및 PV 창 중 적어도 하나의 표면에서 접촉된 물질의 제거를 보조하는 것으로 용융 금속과 함께 주입되는 작고 단단한 입자와 같은 마모성 첨가제를 포함한다. 이 첨가제는 알루미늄, 지르코니아, 세리아 또는 토리아를 포함하는 것과 같은 작은 세라믹 입자 등의 마모성 입자를 포함할 수 있다. 입자 크기는 배플이나 PV 창 주입기의 펌프 또는 점화 주입 펌프에 막히는 크기의 미만일 수 있다.

[0561] 실시예에서, 자기성 나노입자와 같은 자기성 입자는 갈륨과 같은 용융 금속에 첨가하여 자성유체를 형성할 수 있다. 이 나노입자는 Fe, Fe_2O_3 , Co, Ni, CoSm 및 AlNiCo 나노입자 그리고 당업계에서 알려진 다른 강자성 나노입자들 가운데 적어도 하나와 같이 강자성일 수 있다. 예시적 자성유체는 Castro et al.이 제공한 가돌리늄 나노입자와 같은 자기성 나노입자에 대해 용매나 현탁 매체로서 갈륨이나 갈륨 합금을 포함하며[I. A. de Castro et al., "A gallium-based magnetocaloric liquid metal ferrofluid", Nano Lett., (2017), Vol. 17, No. 12, pp. 7831-7838], 이는 그 전문이 참고문헌으로 여기에 포함된다. 이 자기성 나노입자는 반응 셀 챔버 가스에 의한 부식이나 갈륨과의 합금 형성을 방지하는 코팅으로 도포할 수 있다. 이 코팅은 실리카, 알루미늄, 지르코니아, hafnia 또는 본 개시의 다른 것과 같은 세라믹을 포함할 수 있다. 배플 및 PV 창 가운데 적어도 하나는 자기장 구배의 소스를 포함하여 배플 및 PV 창 중 적어도 하나에 대한 용융 금속의 코팅을 방지할 수 있다. 그 배플 및 PV 창의 적어도 하나는 자기성 나노입자의 쿨리 온도 미만으로 유지시킬 수 있다. 자기장 구배의 소스는 영구 자석 및 전자석 중 적어도 하나일 수 있다. 예시적 실시예에서, 배플 및 PV 창의 적어도 하나는 배플 및 PV 창 중 적어도 하나의 이전에 반응 셀 챔버에 대해 원주 방향인 초전도 코일과 같은 헬름홀츠 코일 전자석을 포함할 수 있으며, 이는 배플 및 PV 창 중 적어도 하나로부터 코일로 향해 자석 구배를 제공한다. 실시예에서, 배플 및 PV 창의 적어도 하나는 유도 전자기 펌프의 것들과 같은 일련의 코일들을 포함할 수 있는데, 이 코일들은 자기성 용융 금속의 이동하는 힘을 생성하여 배플 및 PV 창 중 적어도 하나의 표면으로부터 자기성 용융 금속의 펌핑을 야기한다. 실시예에서, 주입 펌프는 기계적 펌프 및 직선형 유도 유형 중 적어도 하나를 포함할 수 있는데, 복수의 동기화된 활성화 전자석들 또는 이동하는 영구 자석들의 적어도 하나

에 의해 생성된 이동하는 자기장 구배가 용융 금속을 펌핑하는 힘을 생성한다. 이 동기화는 당업계에서 알려져 전기 모터에서 사용되는 유형일 수 있다. 자기장이 스테인레스강과 같은 금속을 관통하므로, EM 펌프 튜브는 본 개시의 유도 펌프의 세라믹 이외에 그러한 금속을 포함할 수 있다.

[0562] PV 창은 갈륨과 같은 용융 금속에 의한 습윤에 내성일 수 있다. 이 창은 갈륨이 용융 금속인 경우 산화 갈륨 등 산화 금속과 같은 반응 셀 챔버에 존재하는 화합물들의 접촉에 내성일 수 있다. PV 창은 투명한 코팅을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, PV 창 및 PV 코팅 중 적어도 하나가 석영, 다이아몬드, 질화 갈륨(GaN), 인산 갈륨(GaPO_4), 입방 지르코늄, 사파이어, MgF_2 등의 알칼리와 알칼리 토류 할라이드, 그래핀, 투명한 리튬 층간 삽입 다층 그래핀, 흑연 등 탄소의 박막, 테플론이나 다른 비습윤성 불화폴리머, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌이나 다른 비습윤성 투명 폴리머, 질화 붕소의 박막, 육방정 또는 입방정 BN, 투명한 입방정 질화 붕소, 입방정 질화 실리콘과 같은 투명 질화 실리콘, W, Ta 등의 투명한 비습윤성 박막 금속 코팅, 또는 오산화탄탈(Ta_2O_5)과 같은 박막 산화 금속이나 투명한 비습윤성 산화 금속, 산화 텅스텐으로 더 도포되거나 도핑될 수 있는 인듐 주석 산화물, 또는 산화 텅스텐으로 더 도포되거나 도핑될 수 있는 인듐 텅스텐 산화물을 포함한다. PV 창은 광을 위한 구멍이 있는 흑연 메시 또는 용융 금속의 접촉에 내성이면서 광 관통을 허용하는 촘촘한 직물을 가진 탄소 섬유 그리드나 스크린을 포함할 수 있다. PV 창은 다이아몬드상 탄소(DLC)나 다이아몬드 코팅을 포함할 수 있다. 석영, Pyrex, 사파이어, 지르코니아, 하프니아 또는 인산 갈륨 등의 투명한 구조적 물질과 같은 구조 물질은 DLC나 다이아몬드 코팅을 지지할 수 있다. PV 창은 TiO_2 코팅된 것과 같은 자정 유리 또는 왁스나 다른 소수성의 표면 코팅 유리를 포함할 수 있다. PV 창은 질화 갈륨(GaN)을 전체나 코팅으로 포함할 수 있다. GaN은 사파이어, 산화 아연 및 탄화 실리콘(SiC) 상에 금속-유기 기상 에피택시(MOVPE)를 통해 GaN의 박막으로 증착될 수 있다.

[0563] 실시예에서, PV 창은 상승된 온도에서 작동할 수 있는 석영, 융합 실리카, 사파이어 또는 MgF_2 와 같은 투명한 물질, 그리고 산화 갈륨 도포된 갈륨이 접촉하지 않는 고온으로 PV 창을 유지하는 열 절연체 및 히터 가운데 적어도 하나와 같은 수단을 포함한다. 예시적 온도 범위는 약 $300^\circ\text{C} \sim 2000^\circ\text{C}$ 의 범위이다.

[0564] 실시예에서, PV 창 및 배플 가운데 적어도 하나가 Ga_2O_3 로 도포될 수 있다. PV 창 및 배플 가운데 적어도 하나가 투명한 베타- Ga_2O_3 와 같은 Ga_2O_3 를 포함할 수 있다. PV 창 및 배플의 적어도 하나가 평평하거나 돔형이거나 또는 다른 희망하는 지오메트리의 형태일 수 있는 투명한 베타- Ga_2O_3 판유리를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, PV 창 및 배플은 각각 갈륨에 의해 습윤을 초래하는 산화 갈륨의 조성물이나 상의 형성을 피하는 조건 하에서 작동될 수 있다. 실시예에서, Ga_2O_3 의 표면 코팅을 피한다. 실시예에서, 이 창은 Ga_2O_3 의 분해를 야기하는 조건 하에서 작동된다. 창 및 배플은 각각 500°C 초과와 같은 Ga_2O_3 의 분해 온도 초과 온도에서 작동될 수 있다.

[0565] 실시예에서, 창 및 배플 중 적어도 하나를 갈륨과 반응하지 않는 금속의 투명한 박막으로 도포할 수 있다. 예시적 코팅은 텅스텐 및 탄탈 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 실시예에서, 스퍼터링과 같은 방법에 의해 금속 표면의 비습윤성을 제어하여 표면의 질감을 형성할 수 있다. 실시예에서, 이 금속은 갈륨에 의한 습윤을 피하기 위해 산화 금속 코팅을 포함한다.

[0566] PV 창은 직접 냉각 및 간접 냉각의 적어도 하나에 의해 냉각시킬 수 있다. 간접 냉각은 수랭식 열교환기와 같은 PV 셀 어레이 냉각 시스템으로의 열 전달에 의한 2차 냉각을 포함할 수 있다. 이 열 교환기는 적어도 하나의 다중채널 플레이트를 포함할 수 있다. PV 창 온도는 창 및 코팅의 구조적 물질의 적어도 하나의(존재하는 경우) 고장 온도와 같은 창 고장 온도 미만의 범위로 냉각시켜 제어될 수 있다. 이 온도는 약 $50^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$, $100^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ 및 $100^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ 의 적어도 한 범위에 유지할 수 있다.

[0567] PV 창은 갈륨과 같은 용융이나 액체 금속에 의한 표면 습윤을 지체시키는 고체 표면과 액체 금속 사이의 접촉 면적을 최소화하여 액체 갈륨에 대한 초발액성을 갖는 코팅을 포함할 수 있다. 이 코팅은 그렇지 않으면 습윤을 강화시키는 산화 갈륨 코팅을 가진 갈륨의 표면 습윤을 더 방해할 수 있다. 예시적 초발액성 코팅이란 폴리메틸실록산(PDMS) 마이크로 필라 어레이로 패터닝된 멀티-스케일 표면을 가진 것 그리고 계층적 마이크로/나노 스케일 겸용 구조를 가진 수직 정렬된 탄소 나노튜브를 가진 것이 있다. 탄소 나노튜브는 늘이기와 구부리기와 같은 기계적 변형 하에서도 초발액성이 유지되도록 각인시킨 것으로써 유연한 PDMS로 이전될 수 있다. 대안적으로, 액체 갈륨의 산화물 코팅은 액체 금속 자체의 표면을 변형시켜 조작할 수 있다. 예를 들어, HCl 증기와 화학 반응은 액체 갈륨의 산화된 표면(주로 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}$)의 GaCl_3 로의 변환을 야기하며 이는 비습윤성 특성의

복구를 초래한다. 다른 실시예에서, 액체 금속에 의한 비습윤성은 Co, Ni, Fe 또는 CoNiMnP와 같은 강자성 물질에 의한 PV 창 표면의 적어도 하나의 코팅 그리고 자기장의 인가에 의해 성취될 수 있다.

[0568] 실시예에서, 창이나 배플은 갈륨에 의해 습윤되지 않지만 산소 기체나 수증기와 같은 산소 소스와 반응에 의해 산화 갈륨이 형성하는 경우 습윤될 수 있는 코팅을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버에서의 O_2 나 H_2O 증기와 같은 산소 소스의 증기압은, 갈륨 습윤을 야기시키는 충분한 산화물의 형성을 초래하는 압력 미만의 희망하는 압력에서 유지할 수 있다. 이 산소 소스의 입력은 약 10 torr, 1 Torr, 0.1 Torr 및 0.01 Torr 중 적어도 하나의 입력 미만에서 유지될 수 있다. 석영을 포함하는 것과 같은 창이나 배플의 표면에서 물을 흡수하는 실시예에서, 그 창이나 배플의 온도는 갈륨에 의한 습윤을 야기하기에 충분한 물의 표면 흡수를 초래하는 온도 초과에 희망하는 온도에서 유지된다. 물에 의한 갈륨 습윤을 습윤을 원활하게 하는 충분한 산화 갈륨의 형성에 의해 야기될 수 있다. 흡수된 물 농도에 의한 갈륨의 습윤을 방지하기 위해 유지해야 할 희망하는 온도가 반응 셀 챔버(5b31)에서의 물의 증기압에 대해 조절된다. 창이나 배플은 물의 과다 흡수를 방지하기 위해 희망하는 온도의 유지를 위한 히터 그리고 제어기를 포함할 수 있다. 대안적으로, 창 또는 배플은 열 교환기와 같은 냉각기 또는 칠러를 포함할 수 있으며, 여기서 갈륨의 습윤을 방지하는 상승된 희망하는 온도를 성취하기 위해 열 제거를 감소시킨다. 희망하는 온도는 약 $50^\circ C$, $100^\circ C$, $150^\circ C$, $200^\circ C$, $300^\circ C$, $400^\circ C$ 및 $500^\circ C$ 가운데 적어도 한 온도보다 위일 수 있다.

[0569] PV 창은 투명한 테플론과 같은 불소를 포함하는 중합체, 불화 에틸렌 프로필렌(FEP), 폴리테트라플루오로에틸렌-퍼플루오로알콕시 공중합체(Teflon-PFA) 및 알릴알콕시실란, 불소화지방족 알콕시 실란, 불소화지방족 실릴에테르 및 불소화 트리메틸실록산과 같은 불소, 탄소 또는 실리콘에 기반하는 중합체나 공중합체와 같은 비투명일 수 있는 항습윤제의 얇은 코팅을 포함할 수 있다. 바셀린이나 왁스 등의 장쇄 탄화수소와 같은 얇은 코팅은 반투명일 수 있다. PV 창 및 PV 창 코팅 가운데 적어도 하나는 폴리카보네이트(Lexan), Crylux, Plexiglas, Acrylite, Lucite 및 Perspex와 같은 상호로도 알려졌으며 아크릴 또는 아크릴 유리로도 알려진 폴리(메틸 메타크릴레이트) (PMMA)를 포함하는 아크릴 유리나 Plexiglas, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 비정질 코폴리에스테르(PETG), 폴리염화비닐(PVC), 액체 실리콘 고무(LSR), 환형 올레핀 공중합체, 폴리메틸렌, 이오노머 레진, 투명 폴리프로필렌, 불소화 에틸렌 프로필렌(FEP), 퍼플루오로알콕시(PFA), 스티렌 메틸 메타크릴레이트(SMMA), 스티렌 아크릴로니트릴 레진(SAN), 폴리스티렌(범용-GPPS) 및 고분자 메틸 메타크릴레이트 아크릴로니트릴 부타디엔 스티렌(MABS (투명 ABS)) 가운데 적어도 하나와 같은 투명한 열가소성 물질을 포함할 수 있다.

[0570] 지그재그 채널은 부드러운 코팅을 변경시킬 수 있는 높은 운동 에너지 및 고온 가운데 적어도 하나를 가진 입자로써 PV 창이나 배플의 직접 충격을 방지할 수 있다. 지그재그 채널을 포함하는 PV 창이나 배플의 실시예에서, PV 창이나 배플을 폴리메틸렌이나 테플론과 같은 갈륨에 대해 비습윤성 표면으로 도포할 수 있다.

[0571] 실시예에서, 반응 셀 챔버는 갈륨 및 산화 갈륨 가운데 적어도 하나와 반응하는 제1 온도에서 휘발성 화합물을 형성하고, 제2 온도에서 열적으로 분해하는 운반 반응물을 포함한다. 실시예에서, 반응 챔버 가스 및 하이드리노 반응 플라즈마 하에서, 제1 온도에서 PV 창 상부에 이 휘발성 화합물이 형성되며 반응 셀 챔버의 하나 이상의 벽에서 분해된다. 이 휘발성 화합물의 형성은 촉매 사이클에서 PV 창을 청소하는 역할을 한다. 운반 반응물이 PV 창 표면으로부터 갈륨 및 산화 갈륨 중 적어도 하나를 제거함에 따라 연속적으로 소모되고 재생될 수 있다. 이 운반 반응물은 $201^\circ C$ 의 비등점을 가진 $GaCl_3$ 와 같은 휘발성 할라이드를 형성할 수 있다. 운반 반응물은 HCl , Cl_2 또는 염화 메틸과 같은 유기할라이드를 포함할 수 있다. 운반 반응물은 $345^\circ C$ 의 비등점을 가진 GaI_3 나 Ga_2I_6 와 같은 휘발성 할라이드를 형성할 수 있다. 운반 반응물은 HI , I_2 또는 요오드화 메틸과 같은 유기할라이드를 포함할 수 있다. 운반 반응물은 휘발성 유기금속 갈륨 착화합물이나 화합물을 형성하는 유기 분자를 포함할 수 있다. 유기 운반 화합물은 N, O 또는 S를 포함할 수 있다. 실시예에서, 운반 반응물은 갈륨 및 산화 갈륨 중 적어도 하나와 반응하는 $GaCl_3$ 와 같은 갈륨 할라이드를 포함한다. 그 생성물은 휘발성일 수 있다. 예시적 실시예에서, $GaCl_3$ 는 갈륨과 반응하여 사염화 갈륨(Ga_2Cl_4)을 형성한다. 융점 = $164^\circ C$ 이고 비등점 = $535^\circ C$ 이므로, 창은 비등점(BP) 근처나 그 위와 같은 창을 청소하는데 충분한 Ga_2Cl_4 를 유지하는 온도로 작동될 수 있다. 이 운반 화합물은 Ga_2O_3 와 반응하여 휘발성인 Ga_2O 를 형성할 수 있다. 운반 화합물은 H_2 를 포함할 수 있다. H_2 는 PV 창 청소 역할을 더 할 수 있는 가스 체트에 의해 공급될 수 있다. 실시예에서, 운반 화합물은 원자, 이온 또는 원소이다. 이 원소는 갈륨일 수 있다. 갈륨은 Ga_2O_3 와 반응하여 휘발성인 Ga_2O 를 형성할 수 있다. 아산화 갈륨을 형성하는 반응은 창이 더 낮은 온도에서 유리하다. Ga_2O 는 반응 셀 챔버에서

660 ° C 이상의 온도와 같은 플라즈마의 더 높은 온도에서 Ga 및 Ga₂O₃로 분해될 수 있다. 실시예에서, 운반 원소는 갈륨에 첨가되는 알루미늄이다. 알루미늄은 기체상 Al₂O를 형성할 수 있다. 다른 실시예에서, 알루미늄을 갈륨으로 대체할 수 있다. 알루미늄은 용융 금속을 포함할 수 있다. 운반 반응물이 PV 창 표면에서 갈륨 및 산화 갈륨 중 적어도 하나와 반응하는 가스 제트 시스템에 의해, 운반 반응물이 형성되는 핫 존에서 PV 창 표면으로 운반 반응물은 흐를 수 있다. 그 생성물은 기화되어 창을 청소한다. 운반 화합물이나 용매와 접촉하는 반응 셀 챔버 및 EM 펌프 튜브와 같은 SunCell® 구성요소는 GaCl₃나 GaBr₃와 같은 운반 제제나 용매에 의한 부식에 내성인 물질을 포함할 수 있다. SunCell® 구성요소는 예시적 물질인 석영이나 할라이드에 의한 부식에 대해 내성인 316 또는 SS 625와 같은 오스테나이트계 스테인레스강을 포함할 수 있다. 석영 EM 펌프 튜브를 포함하는 실시예는 유도 EM 펌프를 포함한다.

[0572] 실시예에서, 반응 셀 챔버는 PV 창으로부터 갈륨과 산화 갈륨과 같은 침착된 물질을 제거하는 청소 화합물을 포함한다. 이 청소 화합물은 갈륨과 산화 갈륨 중 적어도 하나에 필요한 용매를 포함할 수 있다. 이 용매는 PV 창의 작동 온도에서 액체인 화합물을 포함할 수 있다. 이 청소 화합물은 반응 셀 챔버의 작동 온도에서 기체인 것을 포함할 수 있다. 청소 화합물은 PV 창에서 응축할 수 있다. 청소 화합물은 PV 창에 침착된 물질에 대해 용해, 현탁 및 운반 중 적어도 하나를 실행할 수 있다. SunCell®은 가스 입구 및 적어도 하나의 가스 출구를 구비하는 가스 펌프를 포함하며 가스가 PV 창의 내부 표면에 충돌하도록 야기하는 적어도 하나의 가스 노즐을 포함하는 것과 같은 가스 제트 시스템을 더 포함할 수 있는데, 이 가스는 침착된 물질을 PV 창으로부터 제거하는 고속을 가질 수 있다. 이 가스 제트 시스템은 반응 셀 챔버 가스를 재순환시킬 수 있다. 청소 화합물은 가스 제트에 의해 현탁되거나 용해된 침착 물질로도 제거할 수 있다. 청소 화합물은 GaX₃와 같은 무기 화합물을 포함할 수 있는데, X는 할라이드이며 F, Cl, Br 또는 I의 적어도 하나이다. 예시적 실시예에서, 브롬화 갈륨 (용점 = 121.5 ° C, 비등점 = 278.8 ° C)에서 갈륨의 용해도는 14 mole %이다[M. A. Bredig, "Mixtures of metals with molten salts", Oak Ridge National Laboratory, Chemistry Division, U.S. Atomic Energy Commission, 1963, <http://moltensalt.org/references/static/downloads/pdf/ORN-3391.pdf>].

[0573] 그러므로 브롬화 갈륨은 PV 창에 침착된 갈륨을 용해할 수 있다. 이 용액은 증발이나 흐름에 의해 제거될 수 있다. 대안적으로, 청소 화합물은 용매와 같은 유기 화합물을 포함할 수 있다. 예시적 용매에는 노난(비등점 = 151 ° C), 데칸(비등점 = 174 ° C), 운데칸(비등점 = 196 ° C), 도데칸(비등점 = 216 ° C)과 같은 장쇄 탄화수소, 헥사메틸포스포르아미드, 디메틸술폭사이드, N,N'-테트라알킬우레아 DMPU(디메틸프로필렌우레아), DMI(1,3-디메틸-2-이미다졸리딘), 메탄올, 이소프로필 알코올 또는 적합하게 높은 비등점, PV 창에 침착된 종을 용해하거나 현탁하는 능력 및 PV 창을 습윤시키고 침착된 종을 교체할 정도의 낮은 표면 장력의 목록에서 적어도 한 가지 물성을 가진 것과 같은 다른 용매가 있다. 청소 화합물은 알칼리 금속 하이드록사이드나 옥사이드 또는 Mg, Zn, Co, Ni 또는 Cu 하이드록사이드나 옥사이드와 같은 수산화 금속이나 산화 금속을 포함하여 MgGa₂O₄(M은 Li, Na, K, Rb, Cs의 하나) 또는 MgGa₂O₄와 같은 스피넬을 각각 형성할 수 있다. 청소 화합물은 금속, 하이드록사이드나 옥사이드와 같은 복수의 화합물 그리고 물이나 알코올과 같은 금속 옥사이드와 산화 갈륨의 반응 생성물의 용매를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버에서 청소 화합물의 증기압은 청소 화합물의 몰 수의 제한 그리고 PV 창의 온도의 제어 가운데 적어도 하나에 의해 제어할 수 있다. 청소 화합물의 증기압은 PV 창의 표면과 같은 증기와 접촉하는 가장 찬 표면의 온도에 의해 결정될 수 있다. 이 증기압은 PV 창의 온도에서 상응하는 액체의 그것일 수 있다.

[0574] 실시예에서, 전력의 점화 소스는 주입된 용융 금속을 통하는 높은 전류의 버스트를 제공하기 위해 적어도 하나의 커패시터를 포함할 수 있다. 이 높은 전류는 주입된 용융 금속 스트림을 중단시킬 수 있는 강력한 폭파를 야기할 수 있다. 실시예에서, 주입기 튜브(5k61)는 하이드리노 반응 폭파에 의한 주입된 용융 금속 스트림의 중단을 감소시키기 위해 여러 위치와 각도에서의 복수의 노즐을 포함한다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 하이드리노 반응에 의해 생성되는 압력파에 대한 제약을 제공한다. 이 제약은 하이드리노 반응 속도를 증가시킬 수 있다.

[0575] 실시예에서, 높은 점화 전류는 플라즈마 및 주입된 용융 금속 스트림 가운데 적어도 하나의 불안정성을 야기할 수 있다. 이러한 불안정성은 로렌츠 반향 및 고전류 핀치 효과 가운데 적어도 하나에 기인할 수 있다. 주입 전류는 불안정성을 피하기 위해 제한될 수 있다. 대안적으로, 주입기는 불안정성을 피하기 위해 적어도 하나의 노즐 설계와 복수의 노즐을 포함할 수 있다. 예를 들어, 복수의 노즐은 전류를 분할하여 불안정성을 피할 수 있다. 대안적으로, 평행 및 비평행 경로 가운데 적어도 하나를 따르도록 하여 불안정성을 제거할 수 있다. 다른 실시예에서, 용융 금속 주입 속도는 하이드리노 반응 속도의 제어, 플라즈마 불안정성의 약화 및 용융 금속

스트림과 플라스마 사이의 전류의 분할 감소 가운데 적어도 하나를 위해 증가, 감소 및 종료 가운데 하나가 될 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 반응의 강화를 위해 전류가 플라스마를 통해 흐르는 것이 유리하다. 용융 금속 스트림에 의한 플라스마로부터의 전류의 선포는, 플라스마가 개시되면 EM 펌핑의 감소나 제거에 의해 성취할 수 있다. 다른 실시예에서, 이온 재결합에 유리할 수 있는 용융 금속 주입 속도를 증가시켜 하이드리노 반응 속도를 증가시킬 수 있다. SunCell®은 EM 펌프와 같은 용융 금속 주입기를 복수 포함할 수 있는데, 적어도 하나의 펌프가 대향 전극으로 주입하고 적어도 하나의 주입기가 반응 셀 챔버로 주입할 수 있다. 이 복수의 주입기들이 용융 갈륨을 순환시키고 반응 셀 챔버에서 핫 스팟으로부터 열을 제거하여 SunCell®에 대한 피해를 피할 수 있다. 추가로, 입력 전력에 대한 전력 출력 및 전력 계인을 제어하기 위해 증가, 감소 또는 종료시킬 수 있는 점화 전력을 제어함으로써, 하이드리노 반응 속도를 제어할 수 있다. 하이드리노 반응 속도는 입력 전력의 증가와 함께 증가될 수 있으나 계인은 감소할 수 있다.

[0576] 실시예에서, 전압, 전류 및 전력과 같은 점화 플라스마 매개변수들의 적어도 하나를, 플라스마가 형성되어 반응 셀 챔버의 온도가 증가한 이후의 것보다 더 높은 값에서 초기에 유지할 수 있다. 전압 및 전류의 점화 전력 매개변수 가운데 적어도 하나를 높은 초기 수준으로 유지한 다음 플라스마의 개시 후 감소시켜 입력 전력 대비 출력의 전력 계인을 향상시킬 수 있다. 실시예에서, 점화 전력의 부재 하에서 하이드리노 반응이 플라스마를 유지하기에 충분하도록 플라스마가 뜨거워지면 점화 전류를 종료시킬 수 있다. 셀 저항의 감소에 의해 점화 전압을 감소시키기 위해, SunCell®은 (i) 전력을 저장소(5c)의 용융 금속에 직접 공급하는 고도의 전도성인 버스바, (ii) 고도의 전도성인 대향 전극(8 또는 10), (iii) 침지된 전극들, (iv) 직경이 큰 노즐(5q) 그리고 (v) 더 짧은 전극 분리부 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 점화 전류가 주입기 펌프 튜브를 교차하며 용융 금속으로 갈륨을 포함하는 실시예에서, 펌프 튜브는 EM 펌프 튜브의 금속과의 반응에 의한 저항이 높은 갈륨 합금 층의 형성을 피하기 위해 금속이나 코팅을 포함할 수 있다. 예시적 금속 및 금속 코팅은 스테인레스강, 탄탈, 텅스텐 및 레늄이다. 실시예에서, EM 펌프 튜브(5k6), 주입기 튜브(5k61), 갈륨 저장소(5c)의 버스바 및 전극(8)과 같은 갈륨과 접촉하는 SunCell® 구성요소 가운데 적어도 하나는 갈륨 합금 형성의 속도가 느린 금속 또는 스테인레스강, 레늄(Re), 탄탈 및 텅스텐(W) 중 적어도 하나와 같은 갈륨 합금 형성이 불리한 것을 포함하거나 그로써 도포될 수 있다.

[0577] 실시예에서, SunCell®은 진공 라인에 대한 입구, 진공 라인, 트랩 및 진공 펌프를 포함하는 진공 시스템을 포함한다. 진공 펌프는 루트 펌프나 스크롤 펌프와 같은 펌핑 속도가 높은 것을 포함할 수 있으며 진공 펌프 이전에 직렬 연결되는 것과 같은 진공 펌프와 직렬이나 병렬 연결될 수 있는 수증기의 트랩을 더 포함할 수 있다. 이 워터 트랩은 고체 건조제와 같은 흡습 물질이나 크라이오 트랩을 포함할 수 있다. 실시예에서, 펌프는 크라이오 펌프, 크라이오 필터 또는 쿨러 중 적어도 하나를 포함하며, 가스가 펌프에 진입하기 전에 냉각 그리고 수증기와 같은 적어도 하나의 가스의 응축 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다. 펌핑 용량과 속도를 증가시키기 위해, 펌핑 시스템은 반응 셀 챔버에 연결된 복수의 진공 라인들 그리고 진공 라인들에 연결된 진공 매니폴드를 포함할 수 있는데, 이 매니폴드가 진공 펌프에 연결된다. 실시예에서, 진공 라인에 대한 입구는 반응 셀 챔버의 용융 금속 입자가 진공 라인으로 진입하는 것을 중단시키는 실드를 포함한다. 예시적 실드는 입구 위에 있으며 입구의 표면으로부터 상승되어 반응 셀 챔버로부터 진공 라인으로의 가스 흐름에 대한 선택적 간격을 제공하는 금속 판이나 돔을 포함할 수 있다. 진공 시스템은 진공 라인 입구에 대한 입자 흐름 제한기를 더 포함할 수 있으며, 가스 흐름을 허용하면서 입자 흐름을 차단하는 한 세트의 배플이 그 예이다.

[0578] 진공 시스템은 초고진공 그리고 반응 셀 챔버의 작동 압력을 약 0.01 Torr ~ 500 Torr, 0.1 Torr ~ 50 Torr, 1 Torr ~ 10 Torr 및 1 Torr ~ 5 Torr 중에서 적어도 하나의 범위로 유지 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다. 압력은 (i) H₂ 첨가 그리고 미량 HOH 촉매가 미량의 물로 또는 H₂와 반응하는 O₂로 공급되어 HOH 형성 그리고 (ii) H₂O 첨가 가운데 적어도 하나의 경우 낮게 유지될 수 있다. 아르곤과 같은 영족 기체 또한 반응 혼합물에 공급되는 경우, 압력이 약 100 Torr ~ 100 기압, 500 Torr ~ 10 기압 및 1 기압 ~ 10 기압과 같은 적어도 하나의 작동 압력 범위에 유지될 수 있는데, 아르곤은 다른 반응 셀 챔버 가스에 비해 과잉일 수 있다. 아르곤 압력은 HOH 촉매와 원자 H 중 적어도 하나의 수명을 증가시킬 수 있으며 전극에서 형성된 플라스마가 급속히 확장되는 것을 방지하여 플라스마 강도가 증가될 수 있다.

[0579] 실시예에서, 반응 셀 챔버는 반응 셀 챔버 내의 압력 변화에 대응하여 용적을 변경시킴으로써 반응 셀 챔버 압력을 회망하는 범위로 제어하는 수단을 포함한다. 이 수단은 압력 센서, 기계적 팽창가능 섹션, 팽창가능 섹션의 팽창 및 수축을 위한 액추에이터 그리고 팽창가능 섹션의 팽창 및 수축에 의해 생성되는 차동 용적을 제거하는 제어기를 포함할 수 있다. 팽창가능 섹션은 벨로즈를 포함할 수 있다. 액추에이터는 기계식, 공압식, 전자

기식, 압전식, 유압식 및 당업계에 알려진 다른 액추에이터를 포함할 수 있다.

[0580]

실시예에서, SunCell®은 (i) 가스 입구 및 출구를 갖춘 가스 재순환 시스템, (ii) 아르곤과 같은 영족 기체, O_2 , H_2 , H_2O , GaX_3 ($X =$ 할라이드)나 N_xO_y ($x, y =$ 정수)와 같은 반응 혼합물의 휘발성 종들 그리고 하이드리노 가스 가운데 적어도 두 개의 혼합물에서 적어도 두 개의 가스를 분리할 수 있는 것과 같은 가스 분리 시스템, (iii) 적어도 하나의 영족 기체, O_2 , H_2 및 H_2O 분압의 센서들, (iv) 흐름 제어기, (v) 물을 주입하는 것과 같은 미세 주입기 등의 적어도 하나의 주입기, (vi) 적어도 하나의 밸브, (vii) 펌프, (viii) 배기 가스 압력 및 흐름 제어기 그리고 (ix) 영족 기체, 아르곤, O_2 , H_2 , H_2O 및 하이드리노 가스 가운데 적어도 하나의 압력을 유지하는 컴퓨터를 포함할 수 있다. 재순환 시스템은 분자 하이드리노 gas와 같은 적어도 하나의 기체를 재순환된 가스로부터 제거되도록 하는 반투과성 막을 포함할 수 있다. 실시예에서, 영족 기체와 같은 적어도 하나의 가스가 선택적으로 재순환될 수 있는 반면 반응 용합물의 적어도 하나의 가스가 출구를 흘러나가 배기로 배출될 수 있다. 영족 기체는 하이드리노 반응 속도 증가 및 반응 셀 챔버의 적어도 하나의 종을 배출시키는 속도의 증가 가운데 하나를 실행할 수 있다. 영족 기체는 희망하는 압력을 유지하기 위해 과잉 수분의 배출 속도를 증가시킬 수 있다. 영족 기체는 하이드리노가 배출되는 속도를 증가시킬 수 있다. 실시예에서, 아르곤과 같은 영족 기체는 주위 대기로부터 쉽게 얻을 수 있는 것 그리고 주위 대기로 쉽게 배출할 수 있는 것 가운데 적어도 하나인 영족 기체와 유사한 가스에 의해 대체될 수 있다. 이 유사 영족 기체는 반응 혼합물과 낮은 반응성을 가질 수 있다. 이 유사 영족 기체는 반응 혼합물과 낮은 반응성을 가질 수 있다. 이 유사 영족 기체는 재순환 시스템에 의해 재순환하는 대신 대기로부터 획득한 다음 배출될 수 있다. 유사 영족 기체는 대기로부터 쉽게 얻을 수 있으며 대기로 쉽게 배출할 수 있는 가스로부터 형성될 수 있다. 영족 기체는 반응 셀 챔버로 흐르기 전에 산소로부터 분리될 수 있는 질소를 포함할 수 있다. 대안적으로, 공기가 영족 기체의 소스로 사용될 수 있는데 산소는 소스의 탄소와 반응하여 이산화탄소를 형성할 수 있다. 질소와 이산화탄소 중 적어도 하나가 유사 영족 기체의 역할을 할 수 있다. 대안적으로, 산소는 갈륨과 같은 용융 금속과의 작용으로 제거될 수 있다. 그에 따른 산화 갈륨은 수용성 수산화 나트륨과 산화 갈륨과의 반응에 의해 갈산 나트륨을 형성하고 갈산 나트륨을 갈륨 금속과 배출되는 산소로 전기분해하는 것과 같은 갈륨 재생 시스템에서 재생할 수 있다.

[0581]

실시예에서, SunCell®은 반응물들인 H_2 , O_2 및 H_2O 중 적어도 하나의 첨가로 주로 작동할 수 있는데, 반응 셀 챔버의 분위기는 반응물들 그리고 아르곤과 같은 영족 기체를 포함한다. 이 영족 기체는 10 Torr ~ 100기압의 범위에서 상승된 압력으로 유지할 수 있다. 그 분위기는 재순환 시스템에 의해 연속적으로 및 주기적으로 또는 간헐적으로 중 적어도 하나에 의해 배출되거나 재순환될 수 있다. 이러한 배출은 과잉 산소를 제거할 수 있다. 반응물 O_2 및 H_2 의 첨가에서, O_2 가 부수적 종으로서 반응 셀 챔버에 과잉 H_2 와 함께 주입됨에 따라 필수적으로 HOH 촉매를 형성할 수 있다. 토치에 의해 H_2 및 O_2 를 주입할 수 있으며 이는 즉시 반응하여 HOH 촉매와 과잉 H_2 반응물을 형성한다. 실시예에서, 과잉 산소는 수소 환원, 전기분해 환원, 열 분해 그리고 Ga_2O 의 휘발성에 기인하는 기화 및 승화 중 적어도 하나에 의해 산화 갈륨으로부터 적어도 부분적으로 방출될 수 있다. 실시예에서, 산소 인벤토리의 적어도 하나가 제어될 수 있으며 산소 인벤토리는 수소 존재 하의 반응 셀 챔버 안으로 산소를 간헐적으로 흘려 HOH 촉매 형성이 적어도 부분적으로 허용될 수 있다. 실시예에서, 산소 인벤토리는 첨가된 H_2 와의 반응에 의해 H_2O 로 재순환될 수 있다. 다른 실시예에서, 과잉 산소 인벤토리는 본 개시의 스키머 및 전기분해 시스템 중 적어도 하나와 같은 본 개시의 수단에 의해 Ga_2O_3 로 제거되어 재순환될 수 있다. 과잉 산소의 소스는 O_2 첨가 및 H_2O 첨가 중 적어도 하나일 수 있다.

[0582]

실시예에서, 반응 셀 챔버 내의 가스 압력은 펌핑 속도 및 재순환 속도 중 적어도 하나를 제어하여 적어도 부분적으로 제어할 수 있다. 이러한 속도 가운데 적어도 하나는 압력 센서 및 제어기에 의해 제어되는 밸브에 의해 제어할 수 있다. 가스 흐름을 제어하는 예시적 밸브에는 대상 압력의 상한 및 하한에 대응하여 열고 닫히는 솔레노이드 밸브 그리고 희망하는 가스 압력 범위를 유지하기 위해 압력 센서 및 제어기에 의해 제어되는 버터플라이 및 스로틀 밸브 등의 가변 유량 제한 밸브가 있다.

[0583]

실시예에서, Ga_2O 와 같은 산화 갈륨은 Ga_2O 의 휘발성에 기인하는 기화 및 승화 중 적어도 하나에 의해 반응 셀 챔버로부터 제거할 수 있다. 이 제거는 반응 셀 챔버를 통한 가스의 흐름 그리고 기압 미만과 같은 저압의 유지 가운데 적어도 한 방법에 의해 성취할 수 있다. 가스 흐름은 본 개시의 재순환기에 의해 유지할 수 있다. 저압은 본 개시의 진공 펌핑 시스템에 의해 유지할 수 있다. 산화 갈륨은 본 개시의 응축기에 응축되어 반응 셀 챔버로 복귀될 수 있다. 대안적으로, 산화 갈륨이 필터나 크라이오 트랩과 같은 트랩에 포획된 다음 본 개

시의 시스템들 및 방법들에 의해 제거되어 재생될 수 있다. 이 트랩은 재순환의 적어도 하나의 가스 라인에 위치할 수 있다. 실시예에서, Ga_2O 은 진공 시스템의 트랩에 포획될 수 있는데, 이 트랩은 필터, 크라이오 트랩 및 전기 집진기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 전기 집진기는 Ga_2O 입자를 정전기에 의해 하전하기 위해 플라즈마를 유지하고 하전 및 입자의 포획을 실행하는 고압 전극들을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 하나 이상의 전극들의 세트는 각각, 정전기에 의해 Ga_2O 입자를 음전하로 하전시키는 코로나 방전을 생성할 수 있는 와이어 그리고 반응 셀 챔버의 가스 스트림으로부터 하전된 입자를 집진하는 판이나 튜브 전극과 같은 양으로 하전된 수집 전극을 포함할 수 있다. Ga_2O 입자는 기계식과 같은 당업계에 알려진 수단에 의해 각 수집 전극으로부터 제거할 수 있으며, Ga_2O 는 갈륨으로 변환되어 재생할 수 있다. 이 갈륨은 NaOH 용액에서의 전기 분해에 의한 것과 같은 시스템 및 방법들에 의해 Ga_2O 로부터 재생할 수 있다.

[0584] 전기 집진기(ESP)는 반응 셀 챔버의 가스 스트림으로부터 적어도 하나의 희망하는 종을 집진하여 반응 셀 챔버로 복귀시키는 수단을 더 포함할 수 있다. 이 집진기는 오거, 컨베이어 벨트, 공압, 전기기계와 같은 운반 수단 또는 집진기에 수집된 입자를 반응 셀 챔버로 다시 운반하는 본 개시의 또는 당업계에 알려진 다른 수단을 포함할 수 있다. 집진기는 희망하는 입자를 중력 흐름에 의해 반응 셀 챔버로 복귀시키는 리플렉서를 포함하는 진공 라인의 일부에 장착할 수 있는데, 입자가 집진된 다음 진공 라인에서의 흐름과 같은 중력에 의해 반응 셀 챔버로 다시 흐를 수 있다. 이 진공 라인은 희망하는 입자가 중력 복귀 흐름을 거치도록 허용하는 적어도 한 부분에 수직으로 배향시킬 수 있다.

[0585] 예시적 시험 실시예에서, 반응 셀 챔버가 약 1 ~ 2기압의 압력 범위와 4 ml/분의 H_2O 주입으로 유지되었다. DC 전압은 약 30 V 그리고 DC 전류는 약 1.5 kA였다. 반응 셀 챔버는 도 25에 나와 있는 것과 같은 6인치 직경의 스테인레스강 구였으며 3.6 kg의 용융 갈륨을 포함했다. 전극들은 DC EM 펌프의 1인치가 침지된 SS 노즐을 포함했으며 대향 전극은 직경 4 cm, 두께 1 cm의 W 디스크 그리고 BN 페테스탈에 의해 덮인 직경 1 cm의 리드를 포함했다. EM 펌프 속도는 약 30-40 ml/s였다. 갈륨은 침지된 노즐로 양극화되었고, W 페테스탈 전극은 음극화되었다. 갈륨은 EM 펌프 주입기에 의해 잘 혼합되었다. SunCell® 출력 전력은 약 85 kW였으며, 이는 갈륨 및 SS 반응기의 질량, 비열 그리고 온도 상승의 합을 사용하여 측정했다.

[0586] 다른 시험 실시예에서, H_2 및 O_2 가스 입구 및 반응 셀 챔버와 연결된 외부 챔버에 유지된 10%Pt/ Al_2O_3 비드 약 2g을 통해 2500 sccm의 H_2 및 25 sccm의 O_2 가 흘렀다. 추가적으로, 활성 진공 펌핑을 인가하면서 50 Torr의 챔버 압력을 유지하는 속도로 아르곤을 반응 셀 챔버로 흘렀다. DC 전압은 약 20 V 그리고 DC 전류는 약 1.25 kA였다. SunCell® 출력 전력은 120 kW였으며, 이는 갈륨 및 SS 반응기의 질량, 비열 그리고 온도 상승의 합을 사용하여 측정했다.

[0587] 실시예에서, 기압 미만, 기압 및 기압 초과 가운데 적어도 하나에서 작동할 수 있는 영족 기체 재순환 시스템 등의 재순환 시스템이나 재순환기는, (i) 진공 펌프, 압축기 및 반응 셀 챔버로부터 적어도 하나의 가스를 순환시키는 송풍기 가운데 적어도 하나와 같은 가스 이동기, (ii) 재순환 가스 라인들, (iii) 하이드리노 및 산소와 같은 배기 가스를 제거하는 분리 시스템 그리고 (iv) 반응물 공급 시스템을 포함할 수 있다. 실시예에서, 가스 이동기는 반응 셀 챔버로부터 가스의 펌핑, 배기 가스의 제거를 위한 분리 시스템을 통해 가스의 밀어내기 및 재생된 가스의 반응 셀 챔버로의 복귀를 실행할 수 있다. 이 가스 이동기는 펌프, 압축기 및 동일한 단위의 송풍기 가운데 적어도 두 개를 포함할 수 있다. 실시예에서, 펌프, 압축기, 송풍기 또는 이들의 조합은 가스 이동기 진입 전 가스들의 냉각 그리고 수증기와 같은 적어도 한 가스의 응축 가운데 적어도 하나를 실행하는 크라이오 펌프, 크라이오 필터 또는 쿨러 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 재순환 가스 라인은 진공 펌프에서 가스 이동기로의 라인, 가스 이동기에서 배기 가스를 제거하는 분리 시스템으로의 라인, 그리고 배기 가스를 제거하는 분리 시스템으로부터 반응물 공급 시스템과 연결될 수 있는 반응 셀 챔버로의 라인을 포함할 수 있다. 예시적 반응물 공급 시스템은 아르곤과 같은 영족 기체, 산소, 수소 및 물 중 적어도 하나에 대한 적어도 하나의 반응 혼합물 가스 보충용 라인을 갖춘 반응 셀 챔버에 대한 라인과 적어도 하나의 조합체를 포함한다. 반응물 O_2 및 H_2 의 첨가는 O_2 가 부수적 증으로 과잉 H_2 와 함께 반응 셀 챔버 안으로 주입되면서 HOH 촉매를 필수적으로 형성하도록 이루어질 수 있다. 토치에 의해 H_2 및 O_2 를 주입할 수 있으며 이는 즉시 반응하여 HOH 촉매와 과잉 H_2 반응물을 형성한다. 반응물 공급 시스템은 반응 혼합물 가스 공급 라인에 연결된 가스 매니폴드 그리고 반응 셀 챔버에 연결된 유출 라인을 포함할 수 있다.

[0588] 배기 가스를 제거하는 분리 시스템은 크라이오 필터나 크라이오 트랩을 포함할 수 있다. 재순환 가스로부터 하이드리노 생성물 가스를 분리하는 분리 시스템은 재순환 가스로부터 반투과성 막에 걸쳐 확산에 의해 하이드리노를 대기로 또는 배기 챔버나 스트림으로 선택적으로 배출하는 막을 포함할 수 있다. 재순환기의 분리 시스템은 재순환 가스로부터 산소를 제거하는 산소 세척 시스템을 포함할 수 있다. 이 세척기 시스템은 용기 그리고 알칼리 금속, 알칼리 토류 금속 또는 철 등의 금속과 같은 산소와 반응하는 용기 내 게터나 흡습제 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 대안적으로, 활성탄이나 당업계에서 알려진 다른 산소 흡습기와 흡습제가 산소를 흡수할 수 있다. 활성탄 흡습제는 상업용으로 제공되는 것과 같은 가스 투과성 카트리지에 밀봉할 수 있는 활성탄 필터를 포함할 수 있다. 이 카트리지는 제거할 수 있다. 청소 시스템의 산소 흡습제는 당업계에서 알려진 방법에 의해 주기적으로 교체 또는 재생할 수 있다. 재순환 시스템의 스크러버 재생 시스템은 하나 이상의 흡습제 히터 그리고 하나 이상의 진공 펌프 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 활성탄 흡습제는 히터에 의해 가열 그리고 배출되거나 수집되는 산소를 방출하는 진공 펌프에 의한 진공의 인가 가운데 적어도 하나에 해당하며, 그에 따라 재생되는 활성탄은 재사용된다. SunCell®로부터의 열은 흡습제의 재생에 사용될 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 적어도 하나의 열 교환기, 냉각제 펌프 그리고 활성탄과 같은 흡습제의 재생을 위한 스크러버 히터의 역할을 하는 냉각제 흐름 루프를 포함한다. 이 스크러버는 효과적인 청소를 위해 그리고 가스 흐름의 저항을 상당히 증가시키지 않기 위해 큰 부피와 면적을 포함할 수 있다. 그 흐름은 재순환 라인에 연결된 가스 이동기에 의해 유지된다. 활성탄은 아르곤과 같은 영족 기체를 포함하는 혼합물과 같은 재순환 가스로부터 청소해야 하는 종들을 효과적으로 흡수하기 위해 냉각시킬 수 있다. 활성탄과 같은 산소 흡습제는 하이드리노 가스도 세척하거나 흡수할 수 있다. 분리 시스템은 복수의 스크러버 시스템들을 포함할 수 있는데, 이는 각각 (i) 가스 실의 유지할 수 있는 챔버, (ii) 산소와 같은 배기 가스를 제거하는 흡습제, (iii) 재순환 가스로부터 챔버를 격리시킬 수 있으며 챔버로부터 재순환 가스를 격리시킬 수 있는 입구 및 출구 밸브, (iv) 재순환 라인으로부터 챔버의 연결 및 차단을 실행하는 제어기에 의해 제어되는 로봇 장치와 같은 수단, (v) 히터 및 진공 펌프와 같은 흡습제를 재생하는 수단에 있어서, 히터와 진공 펌프가 재생 동안 적어도 하나의 다른 스크러버 시스템의 재생에 있어서 공용될 수 있는 수단, (vi) 제(n+1) 스크러버 시스템이 활성 스크러버 시스템의 역할을 하는 동안 제n 스크러버 시스템의 차단, 제(n+1) 스크러버 시스템의 연결 및 제n 스크러버 시스템의 재생을 제어하는 제어기에 있어서, 복수의 스크러버 시스템의 적어도 하나가 재생되는 동안 적어도 다른 하나가 희망하는 가스들을 활성적으로 세척하거나 흡수하는 제어기를 포함한다. 스크러버 시스템은 주기적으로 제어되는 배출이나 가스 복구가 진행되는 동안 폐쇄 배출 조건 하에서의 SunCell®의 작동을 허가할 수 있다. 예시적 실시예에서, 산소와 수소는 활성 탄소와 같은 흡습제를 상응하는 기체가 대략 별도로 방출되는 다른 온도로 가열함으로써 별도로 수집될 수 있다.

[0589] 영족 기체, 수소 및 산소의 반응 셀 챔버의 가드 혼합물을 포함하며 반응 셀 챔버에서 영족 기체의 분압이 소스의 그것을 초과하는 실시예에서, 아르곤과 같은 영족 기체의 반응물 농도 희석 효과에 기인하는 HOH 촉매를 형성하는 수소 및 산소 사이의 반응 속도의 감소를 보상하기 위해 산소 분압을 증가시킬 수 있다. 실시예에서, HOH 촉매는 아르곤과 같은 영족 기체와의 결합보다 앞서 형성될 수 있다. 수소와 산소는 재결합기 촉매, 플라즈마 소스 또는 필라멘트 등의 고온 표면과 같은 재결합기나 연소기에 의해 반응하도록 야기시킬 수 있다. 이 재결합기 촉매는 알루미늄, 지르코니아, 하프니아, 실리카 또는 제올라이트 분말이나 비드 상의 Pt, Pd 또는 Ir 과 같은 세라믹 지지체 상의 귀금속, 본 개시의 다른 저지된 재결합기 촉매 또는 Raney Ni, Ni, 니오븀, 티탄과 같은 해리기 또는 본 개시의 다른 해리기 금속 또는 분말, 매트, 직물 또는 천과 같은 높은 표면적을 제공하는 형태의 당업계에서 알려진 것을 포함할 수 있다. 예시적 재결합기는 Al₂O₃ 비드 상 10 wt% Pt를 포함한다. 플라즈마 소스는 글로 방전, 마이크로파 플라즈마, 플라즈마 토치, 유도 또는 용량 결합 RF 방전, 유전 장벽 방전, 압전 직접 방전, 음향 방전 또는 본 개시나 당업계에서 알려진 다른 방전 셀을 포함할 수 있다. 핫 필라멘트는 텅스텐 필라멘트, Pt 필라멘트 상의 Pt 또는 Pd 블랙 또는 당업계에서 알려진 다른 촉매 필라멘트를 포함할 수 있다.

[0590] 물, 수소, 산소 및 영족 기체의 적어도 하나와 같은 반응 혼합물 종들의 입구 흐름은 연속적 또는 간헐적일 수 있다. 입구 유속 그리고 배출이나 진공 유속은 희망하는 압력 범위를 성취하기 위해 제어할 수 있다. 입구 흐름은 간헐적일 수 있는데 그 흐름을 희망하는 범위의 최대 압력에서 중단시키고 희망하는 범위의 최소 압력에서 시작할 수 있다. 반응 혼합물 가스가 아르곤과 같은 고압의 영족 기체를 포함하는 경우, 그 반응 셀 챔버를 진공 처리하여 반응 혼합물로 충전시킨 다음 대략 정적 배출 흐름 하에서 작동할 수 있는데 물, 수소 및 산소의 적어도 하나와 같은 반응물의 입구 흐름은 연속적 혹은 간헐적 흐름 조건 하에서 유지하여 희망하는 범위의 압력이 유지된다. 추가적으로 영족 기체는 경제적으로 실용적인 유속 그리고 상응하는 배출 펌핑 속도에서 흐르

게 할 수 있거나, 영족 기체는 재순환 시스템이나 재순환기에 의해 재생하거나 세척한 다음 재순환할 수 있다.

[0591]

반응 셀 챔버(5b31) 가스는 H_2 , 아르곤과 같은 영족 기체, O_2 및 H_2O 중 적어도 하나와 CO_2 와 같은 산화물을 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)의 압력은 기압 미만일 수 있다. 그 압력은 약 1 milliTorr ~ 750 Torr, 10 milliTorr ~ 100 Torr, 100 milliTorr ~ 10 Torr 및 250 milliTorr ~ 1 Torr가운데 적어도 한 범위에 있을 수 있다. SunCell®은 히터 및 온도 제어를 갖춘 물 저장소를 포함하는 수증기 공급 시스템 채널 또는 도관 및 밸브를 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 가스는 H_2O 증기를 포함할 수 있다. 이 수증기는 물 저장소의 온도를 제어하여 채널을 통해 반응 셀 챔버와 연결된 외부 물 저장소에 의해 공급될 수 있는데, 물 저장소는 수증기 공급 시스템에서 가장 저온인 구성요소일 수 있다. 물 저장소의 온도는 온도의 함수로서 물의 분압에 기반하여 수증기 압력을 제어할 수 있다. 물 저장소는 증기압을 낮추기 위해 칠러를 더 포함할 수 있다. 물은 NaCl이나 알칼리 또는 알칼리 토류 할라이드와 같은 염들의 용해된 화합물, 제올라이트와 같은 흡습제, 수화물을 형성하는 물질이나 화합물 또는 증기압을 감소시키는 당업자에게 알려진 다른 물질이나 화합물과 같은 첨가제를 포함할 수 있다. 증기압을 낮추는 예시적 기전에는 속일성 효과나 결합 상호작용에 의한 것이 있다. 실시예에서, 수증기 압력의 소스는 저장소에 수용되어 도관을 통해 반응 셀 챔버(5b31)로 공급될 수 있는 얼음을 포함할 수 있다. 이 얼음은 얼음으로부터 HOH 촉매 및 H의 형성 속도 그리고 하이드리노 반응 속도 가운데 적어도 하나를 증가시키는 높은 표면적을 가질 수 있다. 얼음은 미세한 조각의 형태로 그 표면적을 증가시킬 수 있다. 수증기 압력을 제어하기 위해 $0^\circ C$ 미만의 회망하는 온도에 얼음을 유지할 수 있다. H_2 및 아르곤 중 적어도 하나와 같은 캐리어 가스는 얼음 저장소를 통해서 반응 셀 챔버 안으로 흐르게 할 수 있다. 수증기 압력은 또 캐리어 가스 유속을 제어하여 제어할 수도 있다.

[0592]

액체 H_2O 에서 H_2 의 물 농도 등가물은 55몰/리터인데 H_2 가스는 STP에서 22.4리터를 차지한다. 실시예에서, H_2 는 액체 물과 수증기 가운데 적어도 하나를 포함하는 형태로 반응 셀 챔버(5b31)로 반응물로 공급된다. SunCell®은 액체 물과 증기의 적어도 하나에 대한 하나 이상의 주입기를 포함할 수 있다. 주입기는 물 및 증기 제트 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버로 향하는 이 주입기 오리피스는 역류를 방지하기 위해 작게 형성될 수 있다. 주입기는 세라믹과 같은 산화 내성의 내화 물질 또는 본 개시의 다른 것을 포함할 수 있다. SunCell®은 물 및 스팀 중 적어도 하나의 소스 그리고 압력 및 흐름 제어 시스템을 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 초음파 발생기, 애터마이저, 에어로졸 발생기 또는 네블라이저를 더 포함하여 캐리어 가스 스트림에 포획되어 반응 셀 챔버 안으로 흐르게 할 수 있는 작은 물방울을 생산할 수 있다. 초음파 발생기는 진동기 및 압전 기기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 캐리어 가스 흐름에서 물의 증기압은 수증기의 온도 또는 소스에서 반응 셀 챔버로의 흐름 도관의 온도를 제어하여 제어할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 수소의 소스 그리고 생산된 수증기가 반응 셀 챔버 안으로 흐르도록 수소를 가열된 산화 구리 재결합기를 통해 흐르게 하여 반응 셀 챔버(5b31)에 물을 첨가하는 CuO 재결합기와 같은 수소 재결합기를 더 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, SunCell®은 증기 주입기를 더 포함할 수 있다. 이 증기 주입기는 증기와 셀 가스 중 적어도 하나의 증기 주입기로의 흐름을 제어하는 제어 밸브와 제어가 가운데 적어도 하나, 수렴 노즐에 대한 가스 입구, 수렴-확산 노즐, 물 소스 및 오버플로 출구와 연결될 수 있는 결합 콘, 물 소스, 오버플로 출구, 전달 콘, 그리고 체크 밸브를 포함할 수 있다. 제어 밸브는 전자 솔레노이드 또는 타이머, 셀 압력이나 물의 센서와 같은 센서 또는 수동 액티베이터에 제어될 수 있는 기타 컴퓨터 제어 밸브를 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 물을 주입하는 펌프를 더 포함한다. SunCell®의 열이 펌프의 물을 끓게 하지 못하도록 가는 피하 주사바늘과 같은 단면적이 좁은 도관을 통해 물이 전달될 수 있다. 펌프는 주사기 펌프, 연동 펌프, 계량 펌프 또는 당업계에서 알려진 다른 것을 포함할 수 있다. 주사기 펌프는 하나의 주사기가 주입하는 동안 적어도 하나의 주사기가 재충진할 수 있도록 복수의 주사기를 포함할 수 있다. 주사기 펌프는 주사기의 밀대에 비해 도관의 단면적이 너무 작기 때문에 도관에서 물의 힘을 증폭시킬 수 있다. 이 도관에서는 열의 제거 및 냉각 가운데 적어도 하나가 이루어질 수 있어 펌프에서 물의 끓음을 방지한다.

[0593]

실시예에서, 반응 셀 챔버의 반응 혼합물은 반응물들의 주입 속도의 제어 그리고 반응 혼합물의 파인 반응물들 및 생성물들이 반응 셀 챔버(5b31)로부터 배출되는 속도의 제어 중 적어도 하나의 수단에 의해 반응 셀 챔버 압력을 제어함으로써 제어된다. 실시예에서, SunCell®은 압력 센서, 진공 펌프, 진공 라인, 밸브 제어기 및 솔레노이드 밸브와 같은 압력 활성화 밸브 또는 센서에 의해 측정된 압력을 처리하는 제어기에 대응하여 반응 셀 챔버에서 진공 펌프로의 진공 라인을 개방 및 폐쇄하는 스로틀 밸브와 같은 밸브를 포함한다. 이 밸브는 반응 셀 챔버 가스의 압력을 제어할 수 있다. 이 밸브는 셀 압력이 제1 고압 설정점에 도달할 때까지 계속 닫혀있을 수 있으며, 다음에 이 밸브는 압력이 진공 펌프에 의해 밸브의 활성화를 야기하여 폐쇄시킬 수 있는 제2 저압

설정점으로 떨어질 때까지 활성화되어 열려있을 수 있다. 실시예에서, 제어기는 반응 셀 챔버 압력, 반응물 주입 속도, 전압, 전류 및 용융 금속 주입 속도 가운데 적어도 하나를 제어하여 무펄스나 대략 정적 또는 연속 플라즈마를 유지할 수 있다.

[0594] 실시예에서, SunCell®은 센서, 적어도 하나의 반응물 또는 H₂O, H₂, O₂ 및 아르곤과 같은 영족 기체의 소스와 같은 반응 혼합물의 종의 소스, 반응물 라인, 밸브 제어기 및 솔레노이드 밸브와 같은 압력 작동 밸브 또는 센서에 의해 측정된 압력을 처리하는 제어기에 반응하여 반응 혼합물의 적어도 하나의 반응물이나 종의 소스로부터의 반응물 라인 및 반응 셀 챔버를 개방하고 폐쇄하는 스로틀 밸브와 같은 밸브를 포함한다. 이 밸브는 반응 셀 챔버 가스의 압력을 제어할 수 있다. 이 밸브는 셀 입력이 제1 고압 설정점에 도달할 때까지 계속 열려있을 수 있으며, 다음 이 밸브는 진공 펌프에 의해 밸브 개방의 활성화를 야기할 수 있는 제2 저압 설정점까지 압력이 떨어질 때까지 활성화되어 폐쇄될 수 있다.

[0595] 실시예에서, SunCell®은 마이크로펌프와 같은 주입기를 포함할 수 있다. 이 마이크로펌프는 기계적 또는 비기계적 기기를 포함할 수 있다. 예시적인 기계적 기기는 액추에이션 및 마이크로밸브 막 그리고 트랩을 포함할 수 있는 이동하는 부품들을 포함한다. 마이크로펌프의 구동력은 압전, 정전기, 열공압, 공압 및 자기 효과의 군 가운데 적어도 한 효과를 활용하여 생성되어야 한다. 비기계적 펌프는 전기 수력학적, 전기 삼투식, 전기화학적, 초음파, 모세관, 화학적 및 당업계에서 알려진 다른 흐름 생성 장치 가운데 적어도 하나로써 기능할 수 있다. 마이크로펌프는 압전식, 전기 삼투식, 격막, 연동식, 주사기 및 무밸브 마이크로펌프 그리고 모세관 및 화학적으로 전력이 공급되는 펌프 및 당업계에서 알려진 다른 마이크로펌프 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 마이크로펌프와 같은 주입기는 물과 같은 반응물을 연속적으로 공급할 수 있거나, 또는 펄스식 방식에서와 같이 간헐적으로 반응물들을 공급할 수 있다. 실시예에서, 물 주입기는 마이크로펌프와 같은 적어도 하나의 펌프, 적어도 하나의 밸브 그리고 물 저장소를 포함하며, 또한 쿨러나 물 저장소를 제거하는 연장 도관 그리고 사전 주입된 물의 과다 가열이나 비등을 피하기 위한 반응 셀 챔버와 충분한 거리가 떨어진 밸브를 더 포함할 수 있다.

[0596] SunCell®은 주입 제어기 그리고 압력, 온도, 플라즈마 전도도 또는 기타 반응 가스나 플라즈마의 매개변수를 기록하는 것과 같은 적어도 하나의 센서를 포함할 수 있다. 주입 순서는 회망하는 전력을 전달하고 과출력에 기인하는 SunCell®에 대한 손상을 피하기 위해 센서의 입력을 사용하는 적어도 하나의 제어기에 의해 제어할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버 내에서 여러 영역으로 주입하기 위해 물 주입기와 같은 주입기를 다수 포함하는데, 이 주입기들은 제어기에 의해 작동되고 SunCell®에 대한 손상을 피하기 위해 플라즈마 핫 스팟의 위치를 제때에 교대한다. 주입은 간헐적, 주기적, 연속적일 수 있으며, 또한 회망하는 전력, 게인 및 성능 최적화를 성취하는 임의의 다른 주입 패턴을 포함할 수 있다.

[0597] SunCell®은 주입 및 충진에 대응하여 열고 닫히는 펌프 입구 및 출구 밸브와 같은 밸브를 포함할 수 있는데, 입구 및 출구 밸브의 개방이나 폐쇄 상태의 위상이 서로 180도 다를 수 있다. 펌프는 주입을 성취하기 위해 반응 셀 챔버 압력보다 더 높은 압력을 발생할 수 있다. 펌프 주입이 반응 셀 챔버 압력에 의한 영향을 쉽게 받는 경우, SunCell®은 펌프의 출구 압력을 반응 셀 챔버의 그것에 동적으로 일치시키기 위해 물을 공급하는 저장소와 반응 셀 챔버 사이의 가스 연결을 포함할 수 있다.

[0598] 반응 셀 챔버 압력이 펌프 압력보다 낮은 실시예에서, 펌프는 펌프가 유힐 상태인 경우 반응 셀 챔버로의 흐름 중단을 성취하기 위해 적어도 하나의 밸브를 포함할 수 있다. 펌프는 적어도 하나의 밸브를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 연동 마이크로펌프는 직렬 상태인 적어도 세 개의 마이크로밸브를 포함한다. 연동으로 알려진 공정에서 입구에서 출구로 유체를 끌기 위해 이 세 개의 밸브를 순차적으로 열고 닫는다. 실시예에서, 이 밸브는 솔레노이드 또는 압전 체크 밸브와 같이 능동적일 수 있거나, 혹은 수동적으로 작동할 수 있으며 그로써 볼, 스윙, 격막 등의 체크 밸브나 덕빌 체크 밸브 등의 밸브가 배압에 의해 닫히게 된다.

[0599] 반응 셀 챔버 안으로 주입되는 물의 소스와 반응 셀 챔버 사이에 압력 구배가 존재하는 실시예에서, 펌프가 두 개의 밸브, 저장소 밸브 및 반응 셀 챔버 밸브를 포함할 수 있으며 이 밸브들은 주기적으로 위상이 다르게 열리거나 닫힐 수 있다. 이 밸브들은 회망하는 주입 용적을 갖는 펌프 챔버에 의해 분리될 수 있다. 반응 셀 챔버가 닫히면, 저장소 밸브가 물 저장소에 대해 열려 펌프 챔버를 충전할 수 있다. 밸브가 닫히면, 반응 셀 챔버 밸브가 열려서 반응 셀 챔버 안으로 회망하는 용적의 물의 투입을 야기할 수 있다. 펌프 챔버 안팎으로의 흐름은 압력 구배에 의해 구동될 수 있다. 물의 유량은 펌프 챔버의 용적과 동기화된 밸브 개방 및 폐쇄의 사이클을 제어하여 제어할 수 있다. 실시예에서, 물 마이크로주입기는 두 개의 밸브를 포함할 수 있으며, 이것은 용적이 약 10 ul ~ 15 ul인 마이크로챔버의 입구 및 출구 밸브이며 각각 개방 및 폐쇄에 대하여 위상이 180도 다

르고 기계적으로 연계된다. 이 밸브들은 캠에 의해 기계적으로 구동될 수 있다.

[0600] 다른 실시예에서, H_2 , O_2 , 영족 기체 및 물 가운데 적어도 하나와 같은 반응 셀 혼합물의 다른 종이 물을 대체하거나 물 외에 추가될 수 있다. 반응 셀 챔버 안으로 흐르는 종이 실온에서 기체인 경우, SunCell®은 이 기체의 입력 흐름을 제어하기 위해 질량 흐름 제어기를 포함할 수 있다.

[0601] 반응 셀 챔버 안으로 주입된 물 소스와 반응 셀 챔버 사이에 압력 구배가 존재하는 다른 실시예에서, 물의 입구 흐름은 다음 가운데 적어도 하나와 같은 유속 제어기나 제한기를 통해 연속적으로 공급될 수 있다: (i) 니들 밸브, (ii) ID가 좁거나 작은 튜브, (iii) 셀룰로스, 먼, 폴리에틸렌 글리콜과 같은 흡수성 물질이나 당업계에서 알려진 다른 흡수성 물질 및 (iv) 세라믹 막, 프릿과 같은 반투과성 막이나 당업계에서 알려진 다른 반투과성 막과 같은 흡수성 물질은 패키징을 포함할 수 있으며 니들 밸브와 같은 다른 제한기 외에 흐름을 제한하는 역할을 할 수 있다. 흐름 제한기의 유속은 보정할 수 있으며, 진공 펌프와 압력 제어 배기 밸브는 희망하는 동적 챔버 압력 및 물 유속을 더 유지할 수 있다. 다른 실시예에서, H_2 , O_2 , 영족 기체 및 물 가운데 적어도 하나와 같은 반응 셀 혼합물의 다른 종이 물을 대체하거나 물에 더할 수 있다. 반응 셀 챔버로 흘려보내는 그 종이 실온에서 기체인 경우, SunCell®은 그 기체의 입력 흐름을 제거하는 질량 흐름 제어기를 포함할 수 있다.

[0602] 반투과성 막 실시예에서, 반응 셀 챔버 진공 하에서 작동하는 주입기는 니들 밸브나 좁은 튜브와 같은 흐름 제한기를 포함할 수 있는데, 그 길이와 직경을 조절하여 물 유량을 제어한다. 예시적인 소직경 튜브 주입기는 약 25 μm ~ 300 μm 의 범위에 있는 ID를 가진 것과 같은 ESI-ToF 주입 시스템에 사용되는 것과 유사한 것을 포함한다. 흐름 제한기는 밸브나 펌프와 같은 적어도 다른 하나의 주입기 요소와 합쳐질 수 있다. 예시적 실시예에서, 소직경 튜브의 수두압은 주사기 펌프와 같은 펌프로 제어한다. 주입 속도는 튜브에서 반응 셀 챔버로 향하는 밸브로 더 제어할 수 있다. 이 수두압은 수면 위에 가스를 가압하여 인가할 수 있는데, 가스는 압축 가능하며 물은 압축 가능하지 않다. 가스 가압은 펌프에 의해 인가할 수 있다. 물 주입 속도는 튜브 직경, 길이, 수두압 및 밸브 개방 및 폐쇄 빈도 및 듀티 사이클 가운데 적어도 하나로 제어할 수 있다. 튜브 직경은 약 10 μm ~ 10 mm의 범위에 있을 수 있고, 그 길이는 약 1 cm ~ 1 m의 범위에 있을 수 있고, 수두압은 약 1 Torr ~ 100 기압의 범위에 있을 수 있고, 밸브 개방 및 폐쇄 빈도는 약 0.1 Hz ~ 1 kHz의 범위에 있을 수 있고 듀티 사이클은 약 0.01 ~ 0.99의 범위에 있을 수 있다.

[0603] 실시예에서, SunCell®은 수소 gas와 같은 수소의 소스 및 산소 gas와 같은 산소의 소스를 포함한다. 수소 및 산소 소스 중 적어도 하나의 소스는 적어도 하나 이상의 가스 탱크, 흐름 조절기, 압력 게이지, 밸브 및 반응 셀 챔버로의 가스 라인들을 포함한다. 실시예에서, HOH 촉매는 수소 및 산소의 연소로부터 생성된다. 수소 및 산소 gas가 반응 셀 챔버 안으로 흐를 수 있다. 수소 및 산소 중 적어도 하나와 같은 반응물의 입구 흐름은 연속적이거나 간헐적일 수 있다. 수소 및 산소 중 적어도 하나와 같은 반응물의 입구 흐름은 연속적이거나 간헐적일 수 있다. 유량 및 배출이나 진공 유속을 제어하여 희망하는 입력을 성취할 수 있다. 입구 흐름은 간헐적일 수 있는데, 그 흐름을 희망하는 범위의 최대 압력에서 중단시킬 수 있고 희망하는 범위의 최소치에서 시작할 수 있다. H_2 압력 및 유속 그리고 O_2 압력 및 유속 가운데 적어도 하나를 제어하여 HOH 및 H_2 농도나 분압 중 적어도 하나를 희망하는 범위에 유지함으로써 하이드리노 반응의 전력을 제어 및 최적화할 수 있다. 실시예에서, 수소 인벤토리 및 흐름 가운데 적어도 하나가 산소 인벤토리 및 흐름보다 상당히 더 클 수 있다. H_2 대 O_2 의 분압 비율 및 H_2 대 O_2 의 유속 비율 가운데 적어도 하나의 비율이 약 1.1 ~ 10,000, 1.5 ~ 1000, 1.5 ~ 500, 1.5 ~ 100, 2 ~ 50 및 2 ~ 10 가운데 적어도 하나의 범위일 수 있다. 실시예에서, 총 압력은 신생 HOH 및 원자 H의 높은 농도를 지원하는 범위에 유지할 수 있으며, 약 1 mTorr ~ 500 Torr, 10 mTorr ~ 100 Torr, 100 mTorr ~ 50 Torr 및 1 Torr ~ 100 Torr 중 적어도 한 압력 범위이다. 실시예에서, 저장소 및 반응 셀 챔버 중 적어도 하나를 옥시수산화 갈륨 및 수산화 갈륨의 적어도 하나의 분해 온도보다 큰 작동 온도에서 유지할 수 있다. 작동 온도는 약 200 °C ~ 2000 °C, 200 °C ~ 1000 °C 및 200 °C ~ 700 °C 가운데 적어도 한 범위에 있을 수 있다 옥시수산화 갈륨 및 수산화 갈륨의 형성이 억제되는 경우, 물 인벤토리는 기체 상태에서 제어될 수 있다.

[0604] 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버 안으로 흐르는 수소 및 산소와 같은 적어도 두 가지 기체를 포함하는 가스 혼합기를 포함하는데, 그 혼합물은 반응 셀 챔버로 진입하면서 HOH를 형성한다. 혼합기는 각 가스나 사전 혼합된 gas와 같은 가스 혼합물의 것과 같은 적어도 하나의 질량 흐름 제어기를 더 포함할 수 있다. 사전 혼합된 gas는 수소 및 산소를 포함하는 혼합물과 같이 각 가스를 희망하는 물 비율로 포함할 수 있다. H_2 - O_2 혼합물의 H_2 물 퍼센트는 O_2 물 퍼센트의 약 1.5 ~ 1000배의 물 비율 범위와 같이 상당한 과잉일 수 있다. 질량

흐름 제어기는 수소와 산소의 흐름 및 차후의 HOH 촉매를 형성하는 연소를 제어하여 그에 따른 반응 셀 챔버로의 가스 흐름이 과잉 수소와 HOH 촉매를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, H₂ 물 퍼센트는 HOH 물 퍼센트의 약 1.5 ~ 1000배의 범위에 있다. 혼합기는 수소-산소 토치를 포함할 수 있다. 토치는 상업용 수소-산소 토치와 같은 당업계에서 알려진 설계를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, O₂ 및 H₂가 토치 주입기에 의해 혼합되어 O₂가 H₂ 스트림 내에서 반응하고 HOH를 형성하도록 야기하여 산소와 갈륨 셀 구성요소와의 반응을 피하거나 NaI 전해질이나 본 개시의 다른 것과 같이 전해질이 산화 갈륨을 용해하도록 야기하여 현장의 전기분해에 의해 갈륨으로의 재생을 원활하게 한다. 대안적으로, 물 비율로 10배 과잉인 수소를 포함하는 H₂-O₂ 혼합물이, 토치에 공급하는 두 개의 제어기 대신 단일 흐름 제어기에 의해 반응 셀 챔버로 흐른다.

[0605] H₂ 및 갈륨과의 반응으로 H₂ 및 Ga₂O₃를 형성하여 물을 H₂의 소스로 공급하는 대신 H₂ 가스로써 반응 셀 챔버에 대한 수소의 공급은 형성되는 Ga₂O₃의 양을 감소시킬 수 있다. 가스 혼합기를 포함하는 물 마이크로주입기는, 액체 흐름에 비해 더 정밀한 가스 흐름의 제어 능력으로 인해 매우 낮은 유량으로 정밀한 양의 물의 주입하는 능력이 허용되는 유리한 특성을 가질 수 있다. 더욱이 O₂와 과잉 H₂와의 반응은 복수의 수소 결합된 물 분자를 포함하는 벌크 물과 증기에 비해 초기 생성물로 약 100% 신생 물을 형성할 수 있다. 실시예에서, 갈륨이 산화 갈륨을 형성하여 HOH 촉매를 형성하는 반응성이 낮도록 갈륨을 100° C 미만의 온도에서 유지한다. 갈륨은 열 교환기 혹은 저장소 및 반응 셀 챔버 중 적어도 하나를 위한 물 베스를 포함하는 것과 같은 냉각 시스템에 의해 낮은 온도로 유지시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, SunCell®은 높은 유량의 H₂ 및 미량의 O₂ 흐름(예: 99% H₂/1% O₂)의 조건 하에서 작동되는데, 반응 셀 챔버 압력은 약 1 ~ 30 Torr의 압력 범위와 같이 낮게 유지할 수 있고, 유량은 희망하는 전력의 생성을 위해 제어할 수 있는데, 여기서 H₂(1/4) 형성에 의한 이론적인 최대 전력은 약 1 kW/30 sccm이다. 이에 따르는 임의의 산화 갈륨은 현장의 수소 플라즈마 및 전기분해적 환원에 의해 환원시킬 수 있다. 진공 시스템이 초고 진공을 성취할 수 있으며 75 kW의 최대 과잉 전력을 생성할 수 있는 예시적 실시예에서, 그 작동 조건은 대략 산화물이 없는 갈륨 표면, 약 1-5 Torr와 같은 낮은 작동 압력 그리고 약 2000 sccm와 같은 높은 H₂ 유량 그리고 토치 주입기를 통한 약 10-20 sccm 산소로 공급되는 미량의 HOH 촉매이다.

[0606] 실시예에서, 라이너, 반응 셀 챔버 벽 및 저장소 벽 가운데 적어도 하나가 수소 해리기로써 수행, 낮은 수소 재결합 계수나 낮은 재결합 용량의 소유 그리고 약 25 ° C ~ 3500 ° C, 75 ° C ~ 2000 ° C, 100 ° C ~ 1500 ° C, 100 ° C ~ 1000 ° C, 100 ° C ~ 600 ° C 및 100 ° C ~ 400 ° C 가운데 적어도 하나의 범위와 같은 SunCell®의 작동 온도 범위에서, 갈륨의 공격에 대한 저항 가운데 적어도 하나에 해당되는 물질을 포함한다. 다른 물질은 H 원자 재결합 속도가 다르고 이는 시간의 함수로 변화하므로, SunCell®은 원자 수소의 농도를 최적화하는 온도 범위에서 작동할 수 있다. 갈륨의 공격에 대해 내성이며, 반응 셀 챔버 벽, 저장소 및 EM 펌프 튜브 또는 SunCell®의 코팅, 도금된 금속 또는 클래딩 가운데 적어도 하나와 같은 SunCell®의 구성요소의 역할을 할 수 있는 예시적 물질들은, 스테인레스강, 인코넬 625, Nb-5 Mo-1 Zr 합금, 지르코늄 705, 약 0.04 wt% C, 0.4 wt% Si, 1.4 wt% Mn, 0.03 wt% P, 18 wt% Cr, 8.1 wt% Ni 및 0.045% N을 포함하는 SS, 347 Cr-Ni 강 및 430 Cr 강, Ta, W, 니오븀, 지르코늄, 레늄, BN, 석영, 알루미늄, 하프니아, 지르코니아, 실리카, 멀라이트, 흑연 및 탄화 규소 그리고 여기에 참고문헌으로 포함되어 있는 다음에 나열된 것과 같은 당업계에서 알려진 기타 내성 물질들을 포함한다: L. R. Kelman, W. D. Wilkinson, and F. L. Yagee, in 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, Compatibility of ITER Candidate Structural Material with Static Gallium, Argonne National Laboratory Report # ANL-93/31, December 1993. 실시예에서, 반응 셀 챔버 벽의 물질, 벽 코팅 또는 라이너 가운데 적어도 하나가 H₂ 해리의 증가 및 H₂로의 재결합 감소 중 적어도 하나의 기전에 의해 원자 수소를 촉진시키기 위해 선택된다. 실시예에서, 이 물질은 레이니 니켈, Pt, Pd, Ir, Ru, Rh 또는 Re와 같은 귀금속, 희토류 금속, Co, 석영에 지지된 Co, 레이니 Ni, Ni, Cr, Ti, Co, Nb 또는 Zr 등의 분자 수소 해리기를 포함할 수 있다. 이 해리기 금속은 세라믹이나 티탄에 지지된 레늄과 같은 치수 안정적인 애노드 등의 다른 금속 또는 갈륨과의 합금 형성에 내성이 있음 그리고 해리기가 장착된 반응 셀 챔버의 작동 온도에서 작동 가능 가운데 적어도 하나에 해당될 수 있는 당업계에서 알려진 다른 것에 의해 지지될 수 있다. 라이너, 반응 셀 챔버 벽 및 저장소 벽을 포함할 수 있으며 갈륨과의 합금 형성에 대해 내성을 가질 수도 있는 예시적 해리기는 탄탈, 티탄, 니오븀, 레늄, 크롬, 스테인레스강(SS), 347 SS, 430 SS, Fe-17Cr-1Mn-1Si-0.75Mo-1.1C와 같은 크롬 함량의 높은 마르텐사이트계 스테인레스강, 인코넬 625와 같은 인코넬 등 니켈 함량이 높은 스테인레스

강(SS), SS 316, SS 625 및 Nb-5 Mo-1 Zr 합금이 있다.

[0607]

실시예에서, SunCell® 구성요소나 반응 셀 챔버 벽, 반응 셀 챔버 상부, 저장소의 내부 벽 및 EM 펌프 튜브의 내부 벽 가운데 적어도 하나와 같은 갈륨과 접촉하는 구성요소의 표면은 갈륨과 쉽게 합금을 형성하지 않는 코팅으로 도포할 수 있으며, 멀라이트, BN 또는 본 개시의 다른 것과 같은 세라믹 또는 W, Ta, Nb, Zr, Mo, TZM 또는 본 개시의 다른 것과 같은 금속 등이 있다. 다른 실시예에서, 탄소, BN, 알루미늄, 지르코니아, 석영 또는 본 개시의 다른 것 또는 W, Ta 또는 본 개시의 다른 것과 같은 금속 갈륨과 쉽게 합금을 형성하지 않는 물질을 그 표면의 클래딩으로 사용할 수 있다. 실시예에서, 이 코팅은 전착, 증착 및 화학적 증착 중 적어도 하나에 의해 도포할 수 있다. 후자의 경우, 텅스텐 핵사카보닐을 표면에서 열 분해하여 코팅을 도포할 수 있다. 텅스텐은 여기에 참고문헌으로 포함되는 다음의 방법들과 같은 당업계에서 알려진 방법을 사용하여 전기도금할 수 있다: Fink and Jones [C. Fink, F. Jones, "The Electrodeposition of Tungsten from Aqueous Solutions", Journal of the Electrochemical Society, (1931), pp. 461-481]. W는 반응 셀 챔버의 벽, 저장소 및 EM 펌프 튜브 등 용융 갈륨과 접촉하는 SunCell® 구성요소 상에 증착과 같은 방법으로 도포할 수 있는데, W 도포된 구성요소는 Mo를 포함한다. 실시예에서, 반응 셀 챔버, 저장소 및 EM 펌프 튜브 가운데 적어도 하나는 Nb, Zr, W, Ta, Mo 또는 TZM을 포함할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버, 저장소 및 EM 펌프 튜브와 같은 SunCell® 구성요소나 구성요소의 부분들은, 접촉하는 갈륨의 온도가 약 400 ° C, 500 ° C, 600 ° C, 700 ° C, 800 ° C, 900 ° C 및 1000 ° C를 초과하는 극한의 하나와 같은 온도를 초과하는 때를 제외하고는 합금을 형성하는 물질을 포함할 수 있다. SunCell®은 구성요소들의 부분이 갈륨 합금의 형성이 발생하는 온도에 도달하지 않는 온도에서 작동할 수 있다. SunCell® 작동 온도는 열 교환기나 물 베스와 같은 냉각 수단에 의한 냉각으로 제어할 수 있다. 이 물 베스는 물 매니폴드를 벗어나는 제트와 같은 충돌 물 제트를 포함할 수 있는데, 반응 챔버에 입사하는 다수의 제트 가운데 적어도 하나의 제트의 유속을 제어기에 의해 제어하여 반응 챔버를 희망하는 작동 온도 범위 이내로 유지한다. 적어도 하나의 표면을 냉각시키는 물 제트를 포함하는 것과 같은 실시예에서, SunCell®의 적어도 하나의 구성요소에서 외부 표면을 탄소와 같은 절연체로 싸서 상승된 내부 온도를 유지하면서 작동 냉각을 허용할 수 있다. SunCell® 작동 동안 달성되는 극한 온도 초과에서 갈륨 합금을 형성하는 표면은 갈륨과 쉽게 합금을 형성하지 않는 물질로써 선택적으로 도포하거나 덮을 수 있다. 갈륨과 접촉하며 스테인레스강과 같은 구성요소의 물질에 대한 합금 온도를 초과하는 SunCell® 구성요소의 부분들은 갈륨과 합금을 쉽게 형성하지 않는 물질로 덮을 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버의 벽을 W, Ta, Mo, TZM, 니오븀 또는 지르코늄 판 또는 석영 같은 세라믹으로 덮을 수 있으며, 반응 셀 챔버의 온도가 가장 높은 전극의 근처 영역에서는 특별히 덮을 수 있다. 이 클래딩은 반응 셀 챔버 라이너(5b31a)를 포함할 수 있다. 라이너는 갈륨은 라이너 뒤에서 스며드는 것을 방지하기 위해 라이너와 반응 셀 챔버의 벽 사이에 위치하는 가스켓이나 세라믹 페이스트 같은 다른 갈륨 비침습성 물질을 포함할 수 있다. 라이너는 용접, 볼트 또는 당업계에서 알려진 다른 패스너나 접착제 가운데 적어도 하나에 의해 벽에 부착시킬 수 있다.

[0608]

실시예에서, 10 및 5k2 중 적어도 하나와 같은 버스 바 그리고 상응하는 점화 및 EM 펌프 전원 중 적어도 하나에 대한 버스 바로부터의 전기적 리드는 응용을 위해 반응 셀 챔버(5b31)로부터 열을 제거하는 수단의 역할을 할 수 있다. SunCell®은 적어도 하나의 버스 바 및 상응하는 리드로부터 열을 제거하는 열 교환기를 포함할 수 있다. MHD 변환기를 포함하는 SunCell® 실시예에서, 버스 바와 그 리드에서 소실되는 열은, 버스 바로부터 EM 펌프에 의해 MHD 변환기에서 반응 셀 챔버로 복귀되는 응용 은으로 열을 전달하는 열 교환기에 의해 반응 셀 챔버로 복귀될 수 있다.

[0609]

실시예에서, 입방형 반응 셀 챔버의 4개 수직 변과 같은 반응 셀 챔버의 측면 벽들을 W나 Ta와 같은 내화 금속으로 덮거나 W나 Ta와 같은 내화 금속 라이너로 덮을 수 있다. 이 금속은 갈륨과의 합금 형성에 내성일 수 있다. 반응 셀 챔버의 상부는 전기 절연체로 덮거나 도포할 수 있거나 전기 절연되는 라이너를 포함할 수 있다. 예시적 클래딩, 코팅 및 라이너 물질은 BN, 석영, 티타니아, 알루미늄, 이트리아, hafnia, 지르코니아, 탄화규소 또는 TiO_2 - Yr_2O_3 - Al_2O_3 와 같은 혼합물 가운데 하나이다. 상부 라이너는 페테스탈(5c1)을 위한 관통을 가질 수 있다(도 25). 상부 라이너는 상부 전극(8)이 반응 셀 챔버의 상부와 단락되는 것을 방지할 수 있다.

[0610]

반응 챔버 벽 및 라이너 가운데 적어도 하나의 온도는 분자 수소 해리의 증가 및 원자 수소 재결합의 감소 가운데 적어도 하나의 기전에 의해 원자 수소의 증가를 최적화하는 범위에 유지할 수 있다. 이 해리의 작동 온도는 금속이 수소 해리에 대해 촉매인 온도의 초과 그리고 갈륨과의 상당한 반응이 발생하는 온도의 미만일 수 있다. 그 최적 범위는 반응 챔버 벽 그리고 열교환기와 칠러를 포함하는 것과 같은 라이너 냉각 시스템 가운데 적어도 하나로 유지할 수 있다. 실시예에서, 이 해리기는 저항 히터, 유도 결합 히터 또는 당업계에서 알려진 다른 히터와 같은 히터를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버 벽은 Ni 또는 SS 316과 같은 Ni

함량이 높은 스테인레스강(SS)의 경우, 약 $440 \pm 100^\circ \text{C}$ 의 범위 내와 같은 수소 해리의 야기에 충분한 온도에서 유지된다.

[0611] 실시예에서, 반응 셀 챔버는 탄소 또는 Al_2O_3 , 실리카 또는 제올라이트 비드 등의 세라믹 비드 상의 Pt, Pd, Ir, Re 또는 기타 해리기 금속, 레이니 니켈 분말, 매트, 직물 또는 천 등 높은 표면적을 제공하는 형태의 Ni, 니오븀, 티탄 또는 본 개시의 다른 해리기 금속과 같은 수소 해리기를 수용하는 해리기 챔버를 더 포함한다. 이 해리기 챔버는 반응 셀 챔버로부터 해리기 챔버로의 갈륨의 흐름을 억제하며 가스 교환을 허가하는 본 개시의 지그재그 채널과 같은 갈륨 차단 채널에 의해 반응 셀 챔버에 연결될 수 있다. 수소 가스가 반응 셀 챔버로부터 해리기 챔버로 흐를 수 있는데, 수소 분자가 원자로 해리되고, 원자 수소가 반응 셀 챔버로 다시 흘러서 하이드리노를 형성하는 반응물의 역할을 할 수 있다. 다른 실시예에서, 이 해리 챔버는 본 개시의 플라즈마 해리거나 필라멘트 해리기를 수용할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버로 흐르기 전에 HOH 촉매를 형성하는 재결합기나 연소기는 해리기 챔버를 더 포함할 수 있다. 해리기 챔버로의 가스 입력은 수소, 산소 및 캐리어 가스의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 캐리어 가스는 반응 셀 챔버로 흐르면서 원자 H 및 HOH의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 이 캐리어 가스는 반응 셀 챔버로 흐르면서 원자 H 및 HOH의 적어도 하나를 보전하는 역할을 할 수 있다. 캐리어 가스는 아르곤과 같은 영족 기체를 포함할 수 있다. 해리기는 적어도 하나의 재결합기나 연소기 챔버와 직렬 또는 병렬 흐름일 수 있는 다수의 해리 챔버를 포함할 수 있다. 실시예에서, 수소 및 산소 그리고 선택적으로 캐리어 가스가 재결합기, 연소기 또는 해리 챔버를 포함하는 제1 챔버 안으로 흐르는데, 여기서 수소 가스가 산소 가스보다 과잉일 수 있다. HOH, 과잉 수소 및 캐리어 가스 가운데 적어도 하나가 제1 챔버에서 해리 챔버와 같은 제2 챔버로 흐르며 H 원자를 형성하는데, H 원자 및 HOH는 캐리어 가스에 의해 제2 챔버에서 반응 셀 챔버로 운반된다. 캐리어 가스는 별도의 제2 챔버로의 입력 라인을 통해 제1 챔버로의 흐름과는 독립적으로 제2 챔버로 유입될 수 있다.

[0612] 다른 실시예에서, H_2 탱크와 같은 수소 소스는 두 개의 질량 흐름 제어기(MFC)에 연결될 수 있는 매니폴드에 연결될 수 있다. 제1 MFC는 H_2 라인 및 아르곤 탱크와 같은 영족 기체 소스로부터의 영족 기체 라인을 수용하는 제2 매니폴드로 H_2 가스를 공급할 수 있다. 제2 매니폴드는 하우징 내의 Pt/ Al_2O_3 , Pt/C 또는 본 개시의 다른 것 등의 촉매와 같은 해리기에 연결된 라인으로 출력할 수 있는데, 해리기의 출력은 반응 셀 챔버로 향하는 라인일 수 있다. 제2 MFC는 H_2 라인 및 O_2 탱크와 같은 산소 소스로부터의 산소 라인을 수용하는 제3 매니폴드로 H_2 가스를 공급할 수 있다. 제3 매니폴드는 하우징 내의 Pt/ Al_2O_3 , Pt/C 또는 본 개시의 다른 것 등의 촉매와 같은 재결합기에 연결된 라인으로 출력할 수 있는데, 재결합기의 출력은 반응 셀 챔버로 향하는 라인일 수 있다.

[0613] 대안적으로, 제2 MFC는 제1 MFC가 공급하는 제2 매니폴드와 연결될 수 있다. 다른 실시예에서, 제1 MFC는 수소를 재결합기로 또는 재결합기 및 제2 MFC로 직접 흐르게 할 수 있다. 아르곤은 아르곤 탱크와 같은 공급장치로부터 가스를 받아서 반응 셀 챔버로 아르곤을 직접 출력하는 제3 MFC에 의해 공급될 수 있다.

[0614] 다른 실시예에서, H_2 는 H_2 탱크와 같은 공급장치로부터 제1 매니폴드로 출력하는 제1 MFC로 흐를 수 있다. O_2 는 O_2 탱크와 같은 공급장치로부터 제1 매니폴드로 출력하는 제2 MFC로 흐를 수 있다. 제1 매니폴드는 제2 매니폴드로 출력하는 재결합기/해리기로 출력할 수 있다. 아르곤과 같은 영족 기체는 아르곤 탱크와 같은 그 공급장치로부터 반응 셀 챔버로 출력하는 제2 매니폴드로 흐를 수 있다. 다른 흐름 방식들은 본 개시의 범위에 속하는데 이 흐름들은 반응 기체들을 가스 공급장치, MFC, 매니폴드 및 당업계에서 알려진 연결장치에 의해 가능한 정연한 순열 방식으로 전달한다.

[0615] 실시예에서, 수소 해리기는 갈륨보다 밀도가 적은 갈륨에 의해 습윤되지 않음 그리고 갈륨과 합금을 형성하지 않음 가운데 하나 이상의 특성을 가진 반응 셀 챔버에 첨가된다. 이 해리기는 전도성일 수 있다. 촉매는 니켈, 니오븀, 탄탈, 티탄 또는 Pt, Pd, Ru, Rh, Re, Ir 또는 Au 등의 귀금속과 같은 수소 해리기를 포함할 수 있다. 수소 해리기는 지지될 수 있다. 이 촉매는 탄소, Al_2O_3 , 실리카 또는 제올라이트와 같은 갈륨보다 밀도가 적은 지지체를 포함할 수 있다. 갈륨보다 밀도가 낮으며 갈륨에 의해 습윤되지 않으며 또는 갈륨과 합금을 형성하지 않는 예시적 촉매는 Riogen이 만든 (<https://shop.riogeninc.com/category.sc?categoryId=4>) 10% Re/C와 같은 Re/탄소 촉매이다. 수소 해리기는 갈륨의 표면에 부유할 수 있다. 지지체가 갈륨에 의해 습윤되지 않는 실시예에서, 갈륨과 합금을 형성할 수 있는 니켈과 같은 해리기는 비습윤성 지지체에 의해 갈륨과 접촉하지 않도록 보호되어 합금이 형성하지 않는다. 예시적 해리기는 Riogen이 만든 20%Ni/C이다.

- [0616] 실시예에서, 용융 금속 위에 부유하거나 현탁될 수 있는 것과 같은 해리기는 용융 갈륨 표면에도 있을 수 있는 산화 갈륨을 환원시킬 수 있다. Re/C와 같은 예시적 해리기는 수소 스펀오버 촉매를 포함할 수 있는데, 원자 수소가 탄소와 같은 지지체로 과급된 다음 산화 갈륨의 H 환원 반응을 거칠 수 있다.
- [0617] 실시예에서, 이 해리기는 탄소, 알루미늄이나 또는 실리카와 같은 지지체에 의해 지지되는 Pt, Pd, Ir 또는 레늄과 같은 귀금속을 포함할 수 있는데, 이 해리기는 라이너를 포함할 수 있거나, 해리기는 갈륨에 의한 습윤에 내성인 탄소 등의 지지체에서 지지되는 레늄 등 갈륨 합금 형성에 내성인 것과 같은 해리기를 수용하는 반응 셀 챔버에 현수된 가스 투과성 용기를 포함할 수 있다. 이 가스 투과성 용기는 메시, 직물, 폼 또는 해리기에 대해 개방된 하우징을 포함할 수 있다. 가스 투과성 용기는 텅스텐이나 탄탈, 레늄 또는 세라믹 도포된 금속과 같이 갈륨 합금 형성에 대해 내성인 금속을 포함할 수 있다.
- [0618] 실시예에서, 갈륨, 은, 은 구리 합금 또는 갈륨 은 합금 등의 갈륨을 포함하는 것과 같은 다른 합금 등의 용융 금속이 수소 해리기의 역할을 한다. 수소 해리에 유리한 금속의 특성은 상응하는 수소 전극의 높은 교환 전류 밀도와 귀금속의 것과 유사한 금속-H 결합이다. Ni, Co, Cu, Fe 및 Ag 군의 금속들은 적절한 전류 밀도를 가지고 있으나 보다 낮은 금속-H 결합 에너지를 가진다. 실시예에서, 갈륨이나 인듐과 같은 용융 금속은 Ni, Co, Cu, Fe, Ag, W, Mo, Nb, Ta 및 Zr의 적어도 하나와 같은 적어도 하나의 다른 금속과 합금이 되어 해리 속도를 증가시킨다. 이 속도는 용융 금속의 M-H 결합 에너지를 귀금속의 그것과 더 가깝게 적절한 방향으로 이동시켜 증가될 수 있다. 용융 금속이 수소를 해리시키는 속도를 증가시키는 예시적 합금은 Ga-Nb, Ga-Ti, 및 In-Ni-Nb 시스템 가운데 적어도 하나이다. 수소 해리 속도를 증가시키기 위해 용융 금속과 합금을 형성하는 낮은 융점의 용융 금속 및 금속들이 다음에 열거되어 있으며 (특히 섹션 2) 여기에 참고문헌으로 포함된다: Datta et al. [Ravindra Datta, Yi Hua Ma, Pei-Shan Yen, Nicholas D. Deveau, Ilie Fishtik Ivan Mardilovich, "Supported Molten Metal Membranes for Hydrogen Separation", February 20, 2014, United States: N. p., 2013. Web. doi:10.2172/1123819].
- [0619] 실시예에서, SunCell®은 물이나 수소 탱크와 같은 수소 가스 등 적어도 하나의 수소의 소스, 수소 질량 흐름 제어기와 같은 소스에서 흐름을 제어하는 수단, 압력 조절기, 수소 소스로부터 저장소 또는 챔버의 용융 금속 레벨 아래의 반응 셀 챔버 중 적어도 하나까지의 수소 가스 라인과 같은 라인 그리고 제어기를 포함한다. 수소나 수소 가스의 소스는 용융 금속만으로 직접 도입할 수 있는데, 그 농도나 압력이 금속 외부에서 도입하여 성취되는 것보다 클 수 있다. 더 높은 농도나 압력은 용융 금속에서의 수소 용해도를 증가시킬 수 있다. 수소가 원자 수소로서 용해될 수 있는데, 갈륨이나 갈린스탄과 같은 용융 금속이 해리기의 역할을 할 수 있다. 다른 실시예에서, 수소 가스 라인은 Al_2O_3 지지체 상의 Pt와 같은 지지체상의 귀금속 등의 수소 해리기를 포함할 수 있다. 원자 수소는 반응 셀 챔버에서 용융 금속의 표면으로부터 방출되어 하이드리노 반응을 지원할 수 있다. 가스 라인은 용융 금속으로 향하는 출구보다 더 높은 위치에 있는 수소 소스의 입구를 가짐으로써 용융 금속이 질량 흐름 제어기로 역류하는 것을 방지할 수 있다. 수소 가스 라인은 용융 금속 안으로 연장될 수 있으며 수소 가스를 분배하는 수소 확산기를 단부에 더 포함할 수 있다. 가스 라인과 같은 라인은 U 섹션이나 트랩을 포함할 수 있다. 이 라인은 용융 금속 상부의 반응 셀 챔버에 진입하고 용융 금속 표면 아래에서 굴곡되는 섹션을 포함할 수 있다. 수소 탱크와 같은 적어도 하나의 수소 소스, 조절기 그리고 질량 흐름 제어기는 수소 가스 라인과 같은 라인의 출구에서 용융 금속의 수두압을 극복하는 충분한 압력의 수소 소스나 수소를 제공할 수 있으며 또한 수소나 수소 가스 흐름의 회망하는 소스를 허용할 수 있다.
- [0620] 실시예에서, SunCell®은 탱크와 같은 수소의 소스, 밸브, 조절기, 압력 게이지, 진공 펌프 및 제어기를 포함하여, Re/C와 Pt/C 등 본 개시의 것과 같은 적어도 하나의 수소 해리기와 같은 수소의 소스로부터 원자 수소를 형성하는 하나의 수단 그리고 하이드리노 반응 플라즈마, 글로 방전 플라즈마의 유지를 위해 SunCell® 전극에 인가될 수 있는 고압 전력 소스, RF 플라즈마 소스, 마이크로파 플라즈마 소스 또는 반응 셀 챔버에서 수소 플라즈마를 유지하는 본 개시의 다른 플라즈마 소스와 같은 플라즈마의 소스를 더 포함할 수 있다. 수소의 소스는 가압 수소를 공급할 수 있다. 가압 수소의 소스는 가역적 그리고 간헐적 가운데 한 방식으로 반응 셀 챔버를 수소로 가압할 수 있다. 가압 속도는 갈륨과 같은 용융 금속 안으로 용해될 수 있다. 원자 수소를 형성하는 수단은 용융 금속에서 수소의 용해도를 증가시킬 수 있다. 반응 셀 챔버의 수소 압력은 약 0.01 기압 ~ 1000 기압, 0.1 기압 ~ 500 기압 그리고 0.1 기압 ~ 100 기압의 적어도 한 범위에 있을 수 있다. 수소는 흡수를 허용하는 드웰 시간 이후 진공에 의해 제거할 수 있다. 이 드웰 시간은 약 0.1초 ~ 60분의 범위에 있을 수 있다. SunCell®은 원자 수소의 간헐적 공급 그리고 조율된 방식으로 수소에 의한 가압 및 감압 가운데 적어도 하나일 수 있는 제어기를 갖춘 복수의 반응 셀 챔버들을 포함할 수 있는데, 각 반응 셀 챔버는 수소를 흡수할 수 있는 반면 다른 하나는 가압되거나 원자 수소가 공급되거나 진공으로 되거나 혹은 작동하여 하이드리노 반응이 유지

된다. 플라즈마의 존재 하에서 감압으로 수소의 흡수를 야기하는 예시적 시스템 및 조건은 다음에서 주어지며 여기에 참고문헌으로 포함된다: Carreon [M. L. Carreon, "Synergistic interactions of H_2 and N_2 with molten gallium in the presence of plasma", Journal of Vacuum Science & Technology A, Vol. 36, Issue 2, (2018), 021303 pp. 1-8; <https://doi.org/10.1116/1.5004540>]. 예시적 실시예에서, SunCell®은 0.5 ~ 10 기압과 같은 높은 수소 압력에서 작동되는데, 플라즈마가 연속적 플라즈마 및 전류에 의한 것보다 훨씬 낮은 입력 전력을 가지는 펄스식 거동을 나타냈다. 다음, 그 압력이 약 1 Torr ~ 5 Torr에서 유지되며 1500 sccm H_2 + 15 sccm O_2 가 90 ° C 이상에서 1 g의 Pt/ Al_2O_3 를 통과하여 홀러 반응 셀 챔버로 홀러들어 가는데, 갈륨 온도의 증가에 따라 갈륨으로부터의 추가 H_2 로딩(갈륨 흡수) 그리고 언로딩(갈륨으로부터 H_2 오프 개성)이 반복될 수 있다.

[0621] 실시예에서, 수소의 소스나 수소 가스를 용융 금속 한 쌍의 전극 중 반대 전극으로 촉진되는 방향으로 직접 주입할 수 있는데, 여기서 용융 금속 배스가 전극의 역할을 한다. 가스 라인은 주입기의 역할을 할 수 있는데, 수소의 소스나 H_2 가스 주입과 같은 수소 주입은 적어도 부분적으로 용융 금속 주입기의 역할을 할 수 있다. EM 펌프 주입기는 두 개의 전극과 전원의 소스를 포함하는 전하 시스템에 대한 추가의 용융 금속 주입기의 역할을 할 수 있다.

[0622] 본 개시의 적어도 하나의 방법 및 시스템에 의해 환원되거나 청결한 금속 상태로 유지할 수 있다: (i) 스키머 장치에 의한 기계적 제거 및 (ii) 전기분해 및 수소 환원 중 적어도 하나에 의한 산화물 환원 그리고 HCl 사이클과 같은 본 개시의 사이클 등의 수단에 의한 산화물 제거, 예를 들어, HCl은 Ga_2O_3 를 휘발성 $GaCl_3$ (비등점 = 201 ° C)로 선택적으로 제거할 수 있다; 반면에 AgCl의 비등점이 1547 ° C이므로 은은 유지된다. 은 및 갈륨 합금의 다른 금속들이 NaOH와 같은 염기에서 용해성이 아니므로, 갈륨을 전기분해로 재생하기 전에 다른 금속이나 그 산화물을 침전시켜 수집할 수 있다. 다른 금속이나 그 산화물이 용해성인 실시예에서, 그것은 갈륨과 전기분해하여 합금을 재생할 수 있다. 산화 갈륨이 이 합금의 다른 금속의 산화물보다 더 안정한 실시예에서, 본 개시에서 주어진 것과 같은 수단으로 산화 갈륨으로부터 갈륨만 재생할 필요가 있는데, 여기서 임의의 산화되지 않은 합금 금속은 산화 갈륨을 더 포함하는 혼합물의 산화되지 않은 갈륨 분율의 일부로 취급할 수 있다. 갈륨과 합금을 형성하고 갈륨과 반응하여 산화 갈륨과 상응하는 금속을 형성하는 예시적 금속에는 Ni, Co, Cu, Fe, Ag, W 및 Mo가 있다. 대조적으로, Nb, Ta 및 Zr의 예시적 산화물은 산화 갈륨보다 더 안정하다.

[0623] 실시예에서, SunCell®은 분자 수소 해리기를 포함한다. 이 해리기는 반응 셀 챔버나 반응 셀 챔버와 기체 상태로 통하는 별도의 챔버에 수용될 수 있다. 이 별도의 하우징은 갈륨과 같은 용융 금속에 대한 노출에 기인하여 해리기가 떨어지는 것을 방지할 수 있다. 이 해리기는 알루미늄나 비드 상의 Pt나 본 개시나 당업계에 알려진 다른 것과 같은 지지된 Pt 등 해리시키는 물질을 포함할 수 있다. 대안적으로, 해리기는 핫 필라멘트 또는 글로 방전, 마이크로파 방전, 플라즈마 토치, 유도적으로 용량적으로 결합된 RF 방전, 유전 장벽 방전, 압전 직접 방전, 음향 방전 또는 본 개시나 당업계에 알려진 다른 방전 셀 등의 플라즈마 방전 소스를 포함할 수 있다. 핫 필라멘트는 반응 셀 챔버를 관통하는 전기적으로 절연된 피드-스루를 통한 다음 필라멘트를 통해 전류를 흘리는 전력 소스에 의해 저항 가열될 수 있다.

[0624] 다른 실시예에서, 점화 전류를 증가시켜 수소 해리 속도 및 플라즈마 이온-전자 재결합 속도 가운데 적어도 하나를 증가시킬 수 있다. 실시예에서, 점화 파형은 약 1 V ~ 100 V의 범위에 있는 AC 전압으로 중첩된 약 1 V ~ 100 V의 범위와 같은 DC 오프셋을 포함할 수 있다. DC 전압은 하이드리노 반응 혼합물에서 플라즈마의 형성에 충분하게 AC 전압을 증가시킬 수 있으며, AC 성분은 약 100 A ~ 100,000A의 범위와 같은 플라즈마 존재 하에서 높은 전류를 포함할 수 있다. AC 변조를 갖춘 DC 전류는 점화 전류가 약 1 Hz ~ 1 MHz, 1 Hz ~ 1 kHz 및 1 Hz ~ 100 Hz 가운데 적어도 하나의 범위와 같은 상응하는 AC 주파수에서 펄스되도록 야기할 수 있다. 실시예에서, 저항을 감소시키고 점화 전력의 전류 및 안정성을 증가시키기 위해 EM 펌핑을 증가시킨다.

[0625] 실시예에서, 미세공동 캐소드 방전의 수단에 의해 고압 글로 방전을 유지시킬 수 있다. 개구의 직경이 약 100 마이크로인 두 개의 가깝게 배치된 전극 사이에서 미세공동 캐소드 방전이 지속될 수 있다. 예시적인 직류 방전은 약 대기압까지 유지시킬 수 있다. 실시예에서, 높은 가스 압력에서의 대용적 플라즈마를 병렬로 작동하는 개별 글로 방전들의 중첩을 통해 유지할 수 있다. 플라즈마의 전자 밀도는 주어진 전류에서 이온화 전위가 낮은 세슘 등의 금속과 같은 종을 첨가하여 증가시킬 수 있다. 이 전자 밀도는 또한 레늄 금속 및 토륨 금속이나 세슘 처리된 금속과 같은 다른 전자충 열 전자 이미터 가운데 적어도 하나와 같은 그로부터 전자가 열에 의해 방출되는 필라멘트 물질 등의 종을 첨가하여 증가시킬 수 있다. 실시예에서, 플라즈마 전압은 플라즈마 전류의 각 전자가 적어도 하나의 기체 종과 충돌함으로써 복수의 전자를 일으키도록 증가시킬 수 있다. 이 플라즈마

전류는 적어도 하나의 DC나 AC일 수 있다.

- [0626] 실시예에서, H_2O 나 H_2 보다 해리하기가 더 쉬운 수소의 수소를 공급하여 증가된다. 예시적 소스는 H 원자 당 더 낮은 생성 엔탈피 및 더 낮은 생성 자유 에너지 가운데 적어도 하나를 가진 것들이며, 메탄, 탄화수소, 메탄올, 알코올, H를 포함하는 다른 유기 분자 등이 있다.
- [0627] 실시예에서, 해리기는 도 25에 나와 있는 것과 같은 전극(8)을 포함할 수 있다. 이 전극(8)은 최대 3200 ° C의 것과 같은 고온에서 작동할 수 있는 해리기를 포함할 수 있으며 갈륨과 같은 용융 금속과 합금 형성에 내성인 물질을 더 포함할 수 있다. 예시적 전극은 W 및 Ta의 적어도 하나를 포함한다. 실시예에서, 버스 바(10)는 평면 판 등의 베인 해리기와 같은 부착된 해리기를 포함할 수 있다. 판은 가장자리의 면을 버스 바(10)의 축을 따라서 부착시킬 수 있다. 베인은 패들 휠 패턴을 포함할 수 있다. 베인은 정류 전류에 의한 저항 가열 및 하이브리드 반응에 의한 가열 가운데 적어도 하나에 의해 가열될 수 있는 버스 바(10)로부터의 전도성 열 전달에 의해 가열할 수 있다. 베인과 같은 해리기는 Hf, Ta, W, Nb 또는 Ti와 같은 내화 금속을 포함할 수 있다.
- [0628] 실시예에서, SunCell®은 대략 단색광(예: 50 nm 미만이나 25 nm 미만이나 10 nm 미만이나 5 nm 미만의 스펙트럼 대역폭을 가진 광) 및 대략 그 단색 광을 위한 창을 포함한다. 이 광은 반응 셀 챔버에서 수소 가스와 같은 수소 가스에 대해 입사될 수 있다. H_2 의 기본 진동 주파수는 4161 cm^{-1} 이다. 가능한 복수의 주파수들 가운데 적어도 한 주파수는 대략 H_2 의 진동 에너지와 대략 공진일 수 있다. 대략 공진의 조사는 H_2 에 의해 흡수되어 선택적인 H_2 결합 해리를 야기할 수 있다. 다른 실시예에서, 이 광의 주파수는 (i) 3756 cm^{-1} 과 같은 H_2O 의 OH 결합의 진동 에너지 그리고 여기에 참조문헌으로 포함되는 Lemus [R. Lemus, "Vibrational excitations in H_2O in the framework of a local model," J. Mol. Spectrosc., Vol. 225, (2004), pp. 73-92]가 제공하는 것들과 같은 당업자에게 알려진 다른 것들, (ii) 수소 결합된 H_2O 분자 사이의 수소 결합의 진동 에너지, 그리고 (iii) 광의 흡수가 H_2O 이합체 및 다른 H_2O 다합체에 대한 신생 물 분자로의 해리를 야기하는 수소 결합된 H_2O 분자들 사이의 수소 결합 가운데 적어도 하나와 대략 공진일 수 있다. 실시예에서, 하이브리드 반응 혼합물은 H_2O 분자와의 H-결합을 할 수 있는 소스로부터의 암모니아와 같은 추가의 가스를 포함하여 물 이합체 H 결합과 경쟁하여 신생 HOH의 농도를 증가시킬 수 있다. 이 신생 HOH가 하이브리드 촉매의 역할을 할 수 있다.
- [0629] 실시예에서, 하이브리드 반응은 전력, 열 전력, 플라즈마, 광, 압력, 전자기 펄스 그리고 충격파의 군에서 적어도 하나의 반응 시그내처를 생성한다. 실시예에서, SunCell®은 반응 시그내처를 검출하고 반응 혼합물 조성과 같은 반응 매개변수 그리고 하이브리드 반응 속도를 제어하는 압력 및 온도 등 조건을 제어하기 위해 적어도 하나의 센서와 적어도 하나의 제어 시스템을 포함한다. 반응 혼합물은 H_2O , H_2 , O_2 , 아르곤과 같은 영족 기체 및 GaX_3 (X = 할라이드) 가운데 적어도 하나 또는 적어도 하나의 소스를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 전자기 펄스(EMP)의 강도 및 주파수를 감지하고 반응 매개변수를 제어하여 EMP의 강도 및 주파수를 증가시킴으로써 반응 속도를 증가시키고, 또 그 반대를 실행한다.
- [0630] H_2O 는 갈륨과 같은 용융 금속과 반응하여 $H_2(g)$ 그리고 Ga_2O_3 및 Ga_2O 와 같은 상응하는 산화물, $GaO(OH)$ 와 같은 옥시수산화물 및 $Ga(OH)_3$ 와 같은 수산화물 가운데 하나를 형성할 수 있다. 갈륨 온도를 제어하여 H_2O 와의 반응을 제어할 수 있다. 예시적 실시예에서, 갈륨 온도를 100 ° C 미만으로 유지함으로써 H_2O 의 갈륨과의 반응 방지 및 H_2O -갈륨 반응이 낮은 속도로 발생하도록 야기 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다.
- [0631] 다른 예시적 실시예에서, 갈륨 온도를 약 100 ° C 위로 유지하여 H_2O -갈륨 반응이 빠른 속도로 발생하도록 야기할 수 있다. 반응 셀 챔버(5b31)에서 H_2O 와 갈륨의 반응은 H나HOH 촉매와 같은 적어도 하나의 하이브리드 반응물의 형성을 원활하게 할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버(5b31)로 물을 주입하여 100 ° C 이상의 온도에서 유지될 수 있는 갈륨과 반응시킴으로써, (i) H의 소스 역할을 하는 H_2 의 형성, (ii) H_2O 이합체가 HOH 단량체나 신생 HOH를 형성하여 촉매 역할을 하도록 야기 및 (iii) 수증기 압력의 감소 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다.
- [0632] 실시예에서, $GaOOH$ 는 HOH 촉매 및 하이브리드를 형성하는 반응물의 역할은 하는 H 가운데 적어도 하나를 형성하는 고체 연료 하이브리드 반응물의 역할을 할 수 있다. 실시예에서, Ga_2O_3 나 Ga_2O 등 적어도 하나의 산화물,

$\text{Ga}(\text{OH})_3$ 등 수산화물 그리고 GaOOH , AlOOH 또는 FeOOH 등 옥시수산화물은 $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 하이드리노에 결합하는 매트릭스 역할을 할 수 있다. 실시예에서, GaOOH 그리고 스테인레스강 및 스테인레스강-갈륨 합금의 산화물과 같은 금속 산화물 가운데 적어도 하나가 반응 셀 챔버에 첨가되어 하이드리노의 게터 역할을 한다. 이 게터는 약 $100^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 의 범위의 하나와 같은 고온으로 가열되어 $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 분자 하이드리노 가스를 방출할 수 있다.

[0633] 용융 갈륨과 물 및 산소 가운데 적어도 하나의 반응에 의해 반응 셀 챔버에서 형성된 산화 갈륨은 갈륨 금속으로 환원될 수 있다. 이 환원은 산화 갈륨과 분자 및 원자 수소 가운데 적어도 하나와 반응시켜 성취할 수 있다. 이 산소는 O_2 나 H_2O 와 같은 형태로 제거할 수 있다. 산화 갈륨은 반응 셀 챔버(5b31)에서 환원시킬 수 있으며, 산소를 포함하는 Ga_2O_3 환원 반응의 생성물은 반응 셀 챔버로부터 제거될 수 있다. 대안적으로, Ga_2O_3 은 반응 셀 챔버로부터 제거하여 반응 셀 챔버(5b31)로 복귀된 갈륨으로 외부에서 환원시킬 수 있다. 산화 갈륨(용점 = 1900°C)은 그 용점 초과와 같은 고온에서 분해될 수 있다. 방출된 산소는 진공 펌프와 같은 수단으로 인해 반응 셀 챔버로부터 탈기할 수 있다. 실시예에서, 저장소의 표면은 산화 갈륨의 분해 온도를 초과하도록 유지할 수 있다. 용융 금속 상의 갈륨 및 산화 갈륨 표면은 고온의 유지를 원활하게 하는 양극의 역할을 할 수 있다. 용융 금속의 표면을 선택하여 산화 갈륨의 분해를 야기하는 바람직한 표면 온도의 성취에 충분하도록 플라즈마를 집중시킬 수 있다. 실시예에서, 그 표면적은 조절할 수 있다. 그 조절의 수단은 이동가능한 셀 벽을 포함할 수 있다. 실시예에서, 셀 압력은 산화 갈륨의 분해를 위해 하이드리노 반응에 의해 생성되는 고에너지 광을 허용하는 $0.01 \text{ Torr} \sim 50 \text{ Torr}$ 의 범위와 같이 낮게 유지할 수 있다. 실시예에서, Ga_2O_3 은 갈륨과 반응하여 열에 의해 분해될 수 있는 Ga_2O 를 형성한다. 그 반응 온도는 약 700°C 일 수 있으므로 갈륨 표면 온도는 700°C 넘는 온도로 유지될 수 있다. 추가적으로 반응 셀 챔버, 저장소 및 Ga_2O 가 존재할 수 있는 페테스탈 가운데 적어도 하나를 약 500°C 에 유지할 수 있는데, 이는 Ga_2O 가 500°C 에서 분해를 시작할 수 있기 때문이다.

[0634] 수소 가스와 같은 환원제를 반응 셀 챔버에 첨가하여 Ga_2O_3 및 Ga_2O 중 적어도 하나와 같은 산화 갈륨의 환원 및 분해 가운데 적어도 하나를 원활하게 할 수 있다. 수소 환원 반응의 온도는 약 700°C 일 수 있으므로 갈륨 표면 온도는 700°C 가 넘는 온도에서 유지할 수 있다. 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버, 저장소 및 Ga_2O 가 존재할 수 있는 페테스탈 가운데 적어도 하나의 온도를 약 600°C 미만으로 유지할 수 있는데, Ga_2O 가 $\text{Ga}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ga} + \text{Ga}_2\text{O}_3$ 의 반응을 거치는데 대해 600°C 미만에서 수소 환원을 거칠 수 있기 때문이다. 실시예에서, 버스 바(10) 및 전극(8) 가운데 적어도 하나가 Ta나 W와 같은 해리기를 포함할 수 있다. 페테스탈(2c1, 도 25)은 산화 갈륨을 환원시키는 원자 수소의 생성을 원활하게 하기 위해 단축시켜 버스 바를 부분적으로 노출시킬 수 있다. 실시예에서, 버스 바(10)는 플라즈마 관 등의 베인 해리기와 같은 부착된 해리기를 포함할 수 있다. 이 관은 가장자리의 면을 버스 바(10)의 축을 따라 체결하여 부착할 수 있다. 베인은 패들 휠 패틴을 포함할 수 있다. 베인은 점화 전류에 의한 저항 가열 및 하이드리노 반응에 가열 가운데 적어도 하나에 의해 가열될 수 있는 버스 바(10)로부터 전도성 열 전달에 의해 가열될 수 있다. 베인과 같은 해리기는 Hf, Ta, W, Nb 또는 Ti와 같은 내화 금속을 포함할 수 있다. 수소 외에도 영족 기체를 첨가할 수 있다. 영족 기체와 수소의 몰 백분율은 임의의 희망하는 비율일 수 있다. 예시적 가스 혼합물은 약 $80 \sim 99$ 몰 퍼센트 범위의 아르곤 및 약 $1 \sim 20$ 몰 퍼센트 범위의 수소를 포함한다. 반응 셀 챔버의 입력은 산화 갈륨의 분해를 원활히 하기 위해 낮게 유지할 수 있다. 다른 실시예에서, 수소 압력을 높게 유지하여 산화 갈륨의 수소 환원을 유리하게 할 수 있다. 다른 중, 화합물, 원소 또는 NaOH 등의 염기와 같은 물질의 조성물을 반응 셀 챔버에 첨가하여 갈산 나트륨과 같은 산화 갈륨과의 생성물을 생성함으로써, 산화 갈륨의 열 분해 및 환원 가운데 적어도 하나의 속도를 증가시킬 수 있다.

[0635] 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버의 반응 혼합물은 산화에 대해 갈륨을 안정화시키는 NaCl과 같은 알칼리 할라이드 등의 무기 화합물과 같은 물질이나 화합물 등의 용융 금속 첨가제를 포함한다. 다른 실시예에서, 용융 금속 첨가제는 산화에 대하여 용융 금속을 안정화하기 위해 이와 함께 합금을 형성하는 것과 같은 금속을 포함한다. 용융 금속 갈륨을 포함하는 예시적 실시예에서, 산화 갈륨 막에 대한 열 분해 그리고 전기분해 환원 가운데 적어도 하나를 강화시키기 위해 은을 갈륨에 첨가한다. 예시적 실시예에서, 약 5.6 wt% 은을 갈륨에 첨가하여 약 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 에 용융하는 합금을 형성한다. 갈륨-Ag은 갈륨의 산화를 억제할 수 있다.

[0636] 실시예에서, HCl, 금속 할라이드, 13, 14, 15 또는 16족 할라이드, 할로젠 가스 등의 첨가제와 같은 할라이드의

소스를 반응 혼합물에 첨가하여, 반응 셀 챔버로부터 기화 및 응축에 의해 제거될 수 있는 휘발성 생성물과 같은 산화 갈륨과의 반응 생성물을 형성한다. 이 첨가제의 생성물은 GaCl_3 (융점 = 77.9°C , 비등점 = 201°C)와 같은 갈륨 할라이드를 포함할 수 있다. 갈륨 할라이드는 SunCell® 작동 온도 및 압력에서 휘발성일 수 있다. 갈륨 할라이드와 같은 적어도 하나의 휘발성 생성물이 응축기로 흘러서 응축될 수 있다. 갈륨 금속은 전기분해와 같은 수단에 의해 재생할 수 있다. 실시예에서, 이 첨가제는 기화와 같은 수단에 의해 그라프 스키머를 포함하는 것들과 같은 산화 갈륨을 제거하는 본 개시의 수단들에 의해 반응 셀 챔버로부터 제거할 수 있는 산화 갈륨과 적어도 하나의 생성물을 형성한다. 본 개시의 고체 연료 그리고 당업계에서 알려진 다른 것들의 반응은 갈륨과 첨가된 물과 산소 중 적어도 하나와의 반응에 의해 형성되는 반응 셀 챔버의 산화물 인벤토리를 제거하는 반응을 더 포함한다.

[0637] 예시적 실시예에서, 할라이드의 소스를 포함하는 첨가제는 ZnCl_2 로, 이는 주입된 물과 반응하여 무수 HCl 및 산화 아연이나 산화 아연을 형성한다. HCl 및 ZnCl_2 중 적어도 하나가 Ga_2O_3 와 반응하여 GaCl_3 (융점 = 77.9°C , 비등점 = 201°C)을 형성할 수 있다. 이 아연 생성물들은 산화 갈륨의 제거하는 본 개시의 수단에 의해 셀로부터 선택적으로 제거할 수 있다. GaCl_3 는 셀로부터 배출시켜 응축할 수 있다. 다음 GaCl_3 를 물과 반응시켜 HCl 및 $\text{Ga}(\text{OH})\text{Cl}$, $\text{GaO}(\text{OH})$, $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 및 Ga_2O_3 가운데 적어도 하나를 형성할 수 있다. HCl 은 증류나 증발에 의해 물로부터 분리할 수 있고, 갈륨과 산소를 포함하는 생성물은 NaOH 전해질과 같은 염기성 수용액에서 갈륨 금속으로 전기분해할 수 있다. 갈륨 금속은 재생시킬 수 있다. HCl 은 산화 아연 및 수산화 아연의 적어도 하나와 반응시켜 재생시킬 수 있는 염화 아연을 형성할 수 있다.

[0638] 다른 예시적 실시예에서, FeCl_2 은 주입된 물 및 O_2 와 반응하여 HCl 및 Fe_2O_3 를 형성하는 첨가제이다. HCl 및 FeCl_2 가운데 적어도 하나가 Ga_2O_3 와 반응하여 GaCl_3 를 형성할 수 있다. Fe_2O_3 은 산화 갈륨을 제거하는 본 개시의 수단에 의해 셀로부터 배출시킬 수 있다. GaCl_3 는 셀로부터 배출시켜 응축시킬 수 있다. 다음 GaCl_3 는 물과 반응시켜 HCl 및 $\text{Ga}(\text{OH})\text{Cl}$, $\text{GaO}(\text{OH})$, $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 및 Ga_2O_3 가운데 적어도 하나를 형성할 수 있다. HCl 은 증류나 증발에 의해 물로부터 분리할 수 있고, 갈륨과 산소를 포함하는 생성물은 NaOH 전해질과 같은 염기성 수용액에서 갈륨 금속으로 전기분해할 수 있다. 갈륨 금속은 재생시킬 수 있다. HCl 은 Fe_2O_3 와 반응시켜 재생할 수 있는 FeCl_2 를 형성할 수 있다.

[0639] 다른 예시적 실시예에서, 염화 술푸릴(SO_2Cl_2)은 주입된 물과 반응하여 HCl 및 SO_3 를 형성하는 첨가제이다. HCl 및 SO_2Cl_2 중 적어도 하나가 Ga_2O_3 와 반응하여 GaCl_3 를 형성할 수 있다. GaCl_3 및 SO_3 모두 셀로부터 배출하여 선택적으로 응축시킬 수 있다. GaCl_3 용융물의 Ga 및 Cl_2 로의 전기분해에 의해 GaCl_3 로부터 갈륨을 재생할 수 있다. SO_2Cl_2 는 SO_3 에서 SO_2 로의 분해 그리고 그 다음의 SO_2 와 Cl_2 에서 SO_2Cl_2 로의 반응에 의해 SO_2Cl_2 를 재생할 수 있다. Ga 및 SO_2Cl_2 는 당업계에서 알려진 다른 방법으로도 재생할 수 있다.

[0640] 다른 예시적 실시예에서, 할라이드 첨가제는 황보다는 인을 포함할 수 있는데, PCl_3 나 PCl_5 와 같은 PX_3 나 PX_5 (X 는 할라이드)가 주입된 물과 반응하여 HCl 및 PO_2 를 형성한다. HCl 및 PCl_3 나 PCl_5 중 적어도 하나가 Ga_2O_3 와 반응하여 GaCl_3 를 형성한다. GaCl_3 및 PO_2 모두 셀로부터 배출시켜 선택적으로 응축시킬 수 있다. GaCl_3 용융물의 Ga 및 Cl_2 로의 전기분해에 의해 GaCl_3 로부터 갈륨을 재생할 수 있다. PCl_3 나 PCl_5 는 PO_2 로의 환원 그리고 다음 P_4 와 Cl_2 의 PCl_3 나 PCl_5 로의 반응에 의해 PO_2 로부터 재생할 수 있다.

[0641] HCl 첨가의 경우, HCl 이 산화 갈륨 막과 선택적으로 반응한다. SunCell®은 HCl 을 산화 갈륨 막에 선택적으로 도포하는 알루미늄 나노층과 같은 부식 내성인 지향성 나노층 등의 수단을 포함할 수 있다. 용융 금속 주입기를 산화 갈륨 막의 임의의 갈륨 코팅과 HCl 의 반응 동안 종료시켜 갈륨과 HCl 의 반응을 최소화시킬 수 있다. HCl 은 산화 갈륨과 반응하여 휘발성 GaCl_3 및 H_2O 를 형성할 수 있다. GaCl_3 는 반응 셀 챔버로부터 배출시킬 수 있다. H_2O 은 현장에서 재순환할 수 있다. 배출되는 모든 H_2O 은 액체 물과 같은 H_2O 의 소스에 의해 또는 H_2 가스의 소스 및 O_2 가스의 소스로부터의 H_2 및 O_2 가스에 의해 대체될 수 있다. 갈륨 할라이드 생성물은 응축시킬 수 있고 물에 용해하여 HCl , $\text{Ga}(\text{OH})\text{Cl}$, $\text{GaO}(\text{OH})$, $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 및 Ga_2O_3 가운데 적어도 하나를 형성할 수 있다. HCl 은 애노드에서 전기분해를 통해 더 생성할 수 있다. 실시예에서, HCl 은 물 전기분해 동안 $\text{Mn}_{0.84}\text{Mo}_{0.16}\text{O}_{2.23}$ 산소 발생

전극과 같은 산소 발생 촉매를 사용하여 수용성 염소 이온을 포함하는 용액의 물 분해에 의해 애노드에서 형성할 수 있으며, 그 내용이 여기에 참조문헌으로 포함된 다음에 기술되어 있다: Lin et al. ["Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis", Scientific reports, (2016); 6: 20494, doi: 10.1038/srep20494]. HCl은 가스로 제거할 수 있다. Ga(OH)Cl, GaO(OH), Ga(OH)₃ 및 Ga₂O₃ 가운데 적어도 하나의 전기분해에 의해 전기분해 전지의 캐소드에서 갈륨이 생성될 수 있는데, 여기서 전해질은 NaOH를 포함할 수 있다. Ga, 금속 할라이드 및 HCl과 같은 재생된 생성물이 재순환될 수 있다.

[0642] 실시예에서, 할라이드의 소스는 할라이드 그리고 적어도 하나는 H⁺의 소스를 포함하며 산화 갈륨과 반응하여 반응 셀 챔버의 작동 온도에서 기화하여 기체를 형성할 수 있는 갈륨 할라이드를 형성하는 종을 포함하는 화합물을 포함한다. 이 할라이드의 소스는 아민이나 암모니아 등의 암모늄 화합물을 HCl 등의 수소 할라이드와 반응시켜 형성되는 것과 같은 암모늄 할라이드를 포함할 수 있다. 실시예에서, GaCl₃로서 Ga₂O₃의 제거, Ga의 재생 및 Ga의 재순환을 실행하는 방법은 NH₄Cl 사이클을 포함한다. 예시적 실시예에서, 암모니아를 HCl과 반응시키면 NH₄Cl을 형성할 수 있다. 산화 갈륨은 NH₄Cl과 같은 할라이드 소스와 반응하여 GaCl₃와 같은 갈륨 할라이드를 형성할 수 있으며, 이것은 기화에 의해 반응 셀 챔버로부터 제거할 수 있다. GaCl₃와 같은 갈륨 할라이드를 형성할 수 있으며, 이것은 기화에 의해 반응 셀 챔버로부터 제거할 수 있다. GaCl₃와 같은 갈륨 할라이드는 콜드 트랩과 같은 진공 펌프로의 라인이 있는 응축기에서 선택적으로 응축시킬 수 있다. 응축된 Ga₂O₃는 예시적 반응에 따라 용융물의 직접 전기분해에 의해 갈륨으로 전환될 수 있다:

[0643] $2\text{GaCl}_3(\text{용융물}) \xrightarrow{\text{전기분해}} 2\text{Ga}(\text{캐소드}) + 3\text{Cl}_2(\text{애노드})$

[0644] 자외선 조사를 사용하여 또는 HCl 오븐에서 Cl₂과 H₂의 반응에 의해 염소 가스를 H₂와 반응시킬 수 있다:

[0645] $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$

[0646] 암모니아와 HCl을 반응시켜 염화 암모늄을 형성시킬 수 있다:

[0647] $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$

[0648] 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버에서 갈륨의 표면에 있는 산화 갈륨에 NH₄Cl 대신 HCl을 직접 첨가할 수 있다. NH₄Cl의 전달 부위는 GaCl₃의 비등점(비등점 = 201 ° C @ STP) 그리고 NH₄Cl의 분해 온도(338 ° C) 아래의 온도 범위에 유지할 수 있다. 대안적으로, 반응 셀 챔버는 NH₄Cl의 분해 온도보다 높은 온도에서 유지할 수 있는데, 방출된 HCl이 산화 갈륨과 반응할 수 있다.

[0649] GaCl₃ 형성을 위한 HCl 첨가에 대한 대안적 재순환 경로는 다음 예시적 반응에 따라 물에 GaCl₃를 첨가하여 HCl을 방출하는 것이다:

[0650] $\text{GaCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O}(\text{증기}) = \text{GaO}(\text{OH}) + 3\text{HCl} (350^\circ \text{C}).$

[0651] 이 HCl 가스는 발생하여 재순환될 수 있고, 옥시수산화 갈륨은 NaOH 용액과 같은 수용성 염기에서 전기분해될 수 있다. 실시예에서, HCl은 물 전기분해 동안 Mn_{0.84}Mo_{0.16}O_{2.23} 산소 발생 촉매를 사용하는 수용성 염소 이온을 포함하는 용액의 물 전기분해에 의해 애노드에서 형성할 수 있으며, 그 내용이 여기에 참조문헌으로 포함되어 있는 다음에 기술되어 있다: Lin et al. ["Direct anodic hydrochloric acid and cathodic caustic production during water electrolysis", Scientific reports, (2016); 6: 20494, doi: 10.1038/srep20494].

[0652] 대안적으로, GaCl₃와 같은 갈륨 할라이드 및 산화 갈륨과 염화 암모늄의 반응에 의해 형성된 암모니아 가운데 적어도 하나가 물과 반응하여, 예시적 반응과 같이 옥시수산화 갈륨이나 수산화 갈륨을 형성할 수 있다:

[0653] $\text{Ga}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{Cl} = 2\text{GaCl}_3 + 6\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} (250^\circ \text{C})$

[0654] $\text{GaCl}_3 + 3(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})[\text{회석됨}] = \text{Ga}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$

[0655] Ga(OH)₃ 침전물은 수용성 액체의 디캔팅이나 고체의 여과 및 수집과 같은 수단에 의해 수산화 갈륨과 염화 암모

늄의 혼합물로부터 분리할 수 있다. 고립시킨 수산화 갈륨은 수용성 NaOH와 같은 수용성 염기에 용해한 다음 전기분해하여 애노드에서 산소를 방출하고 캐소드에서 갈륨 금속을 침착시킬 수 있다. 이 갈륨 금속은 재활용할 수 있다. 예시적 반응들은 다음과 같다:

[0656] $\text{Ga}(\text{OH})_3 + \text{NaOH}(\text{농축, 고온}) = \text{Na}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$

[0657] $\text{Na}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$ 전기분해 @ $\text{Ga}(\text{캐소드}) + \text{O}_2(\text{애노드})$

[0658] 수산화 갈륨의 분리 후 남아 있는 NH_4Cl 은 증발에 의해 농축시키고, 0°C 근처와 같은 것 등 낮은 온도와 같은 적합한 조건 하에서 결정화를 허용한 다음 여과에 의해 수집할 수 있거나, NH_4Cl 은 물 용매의 증발 후 수집할 수 있다. NH_4Cl 은 재활용될 수 있다. NH_4Cl 은 산화 갈륨과의 접촉 이전에 약 337.6°C 에서 분해를 피하는 온도 및 주입 속도의 조건 하에서 반응 셀 챔버에 추가될 수 있다. 이 반응들의 NH_4Cl 사이클은 연속이나 회분식 공정으로 수행할 수 있다.

[0659] HCl의 소스로부터의 HCl은 무수성일 수 있다. HCl은 반응 셀 챔버로의 전달 이후 무수성으로 남을 수 있는데, 반응 셀 챔버의 모든 물 인벤토리가 기체성 물질일 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 갈륨과의 합금 형성 및 HCl, 염산 또는 NH_4Cl 과의 반응 가운데 적어도 하나에 내성인 구성요소를 포함한다. 예시적 실시예에서, 역 전극은 탄탈을 포함할 수 있으며, 반응 셀 챔버는 스테인레스강, 니켈, 니켈 합금, 지르코늄, 탄탈 및 B-2와 B-3®와 같은 니켈 몰리브덴 합금 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 대안적으로 반응 셀 챔버는 석영, 세라믹 라이너를 포함하거나 알루미늄, 멀라이트 또는 실리카와 같은 세라믹 코팅으로 도포할 수 있다. 실시예에서, HCl 가스 탱크, 밸브, 라인, 압력 조절기 및 반응 셀 챔버의 적어도 하나는 SilcoNert®와 같은 당업계에서 알려진 HCl 부식 저항 코팅으로 도포할 수 있다. 예시적인 HCl 내성 금속은 Monel 400 등의 Monel 금속이다.

[0660] 실시예에서, SunCell®은 가변 열 전달 재킷을 포함한다. 이 가변 절연은 다음의 하나 이상을 허가하는 것과 같은 희망하는 온도에서 반응 셀 챔버(5b31)의 작동을 허가하도록 조절할 수 있다. (i) 형성할 수 있는 Ga_2O_3 나 Ga_2O 와 같은 임의의 산화 갈륨의 분해, (ii) 갈륨과의 반응에 의한 Ga_2O_3 에서 Ga_2O 로의 변환 및 (iii) 수소에 의한 산화 갈륨의 환원, 가변 열 전달 재킷을 포함하는 SunCell®은 SunCell®이 그 안에 잠기는 물 베스와 같은 열 교환기에 의해 냉각시킬 수 있다. 이 열 가변 열 전달 재킷은 열 교환기 그리고 진공이 가능한 반응 셀 챔버의 외부 사이에 있는 적어도 하나의 챔버를 포함할 수 있다. 가변 열 전달 재킷은 가스나 유체와 같은 열 전달 냉각제를 챔버로 가역적으로 및 제어가능하게 첨가하는 펌핑 시스템을 포함할 수 있다. 이 펌핑 시스템은 냉각제의 소스와 같은 탱크, 펌프 및 제어기를 포함할 수 있다. 펌핑 시스템은 반응 셀 챔버 온도에 대응하여 상응하는 열 전달을 제어하여 그 온도를 희망하는 범위에 제어하기 위해 냉각제의 양을 증가 또는 감소시킬 수 있다. 냉각제는 헬륨과 같은 영족 기체, 본 개시의 것과 같은 용융 염 그리고 갈륨과 같은 용융 금속 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0661] 대안적 실시예에서, SunCell®은 그에 의해 반응 셀 챔버가 냉각제의 흐름에 의해 냉각되는 펌핑 시스템을 포함하는 냉각제 흐름 열 교환기를 포함하는데, 그 유속을 변동시켜 반응 셀 챔버를 제어함으로써 희망하는 온도 범위에서 작동할 수 있다. 이 열 교환기는 마이크로채널 판과 같은 채널을 갖춘 판을 포함할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버(531)를 포함하는 셀, 저장소(5c), 페데스탈(5c1) 및 하이드리노 반응 플라즈마와 접촉하는 모든 구성 요소를 포함할 수 있는데, 하나 이상의 구성요소가 셀 영역을 포함할 수 있다. 실시예에서, 냉각제의 흐름을 포함하는 것과 같은 열 교환기는 셀 영역에 조직되는 복수의 열 교환기를 포함하여 상응하는 셀 영역을 독립적인 희망하는 온도로 유지할 수 있다.

[0662] 도 30에 나와 있는 것과 같은 실시예에서, SunCell®은 고온의 갈륨이 챔버 벽을 직접 접촉하지 못하도록 반응 셀 챔버(5b31a)의 내부에서 용융 갈륨 레벨에 체결된 단열재나 라이너(5b31)를 포함한다. 이 단열재는 열 절연재, 전기 절연재 또는 갈륨과 같은 용융 금속에 의한 습윤에 내성인 물질 가운데 하나를 포함할 수 있다. 이 절연은 갈륨의 표면 온도의 상승을 허용 그리고 벽을 녹일 수 있는 반응 셀 챔버의 벽에 집중되는 핫 스팟의 형성 감소 가운데 적어도 하나를 실행할 수 있다. 그 밖에 본 개시의 것과 같은 수소 해리기는 라이너의 표면을 덮을 수 있다. 다른 실시예에서, 벽 두께의 감소 그리고 구리 블럭과 같은 열 확산기의 벽의 외부 표면에 덮어서 열 전력을 벽 내부로 퍼뜨림 가운데 하나를 실행하여 집중되는 벽의 용융을 방지한다. 더 높은 온도는 (i) Ga_2O_3 나 Ga_2O 의 열 분해, (ii) Ga_2O_3 에 의한 Ga의 환원으로 Ga_2O 의 형성, (iii) Ga_2O_3 및 Ga_2O 가운데 적어도 하나

그리고 Ga₂O의 휘발성에 기인하는 기화 및 승화 가운데 적어도 하나에 유리할 수 있다. 단열재는 BN, SiC, 탄소, 멀라이트, 석영, 융합 실리카, 알루미늄, 지르코니아, 하프니아 본 개시의 다른 것들 그리고 당업자에게 알려진 것들과 같은 세라믹을 포함할 수 있다. 단열재의 두께는 용융 금속 및 산화 갈륨의 표면 코팅의 희망하는 면적을 성취하기 위해 선택할 수 있는데, 더 적은 면적은 하이드리노 반응 플라즈마의 집중에 의해 온도를 증가시킬 수 있다. 더 적은 면적은 전자-이온 재결합 속도를 감소시킬 수 있으므로, 산화 갈륨 막의 제거 그리고 하이드리노 반응 전력의 최적화를 유리하게 하기 위해 면적을 최적화할 수 있다. 직사각형 반응 셀 챔버를 포함하는 예시적 실시예에서, 직사각형 BN 블럭이 반응 셀 챔버의 내부 벽의 용융 갈륨의 표면 레벨에서 용접된 나사식 스테드에 볼트로 체결된다. BN 블럭은 반응 셀 챔버의 내부의 이 위치에서 연속적인 상승된 표면을 형성한다.

[0663] 실시예에서, 하이드리노 반응 플라즈마가 반응 셀 챔버 내부에서 대략 대칭적인 분포로써 유지된다. 이 대칭적 분포는 반응 셀 챔버 벽에서 집중된 핫 스팟의 형성을 피할 수 있다. 대칭적 플라즈마 분포는 원통형 대칭의 요소를 가진 반응 셀 챔버의 중앙 대칭 축을 따라 주입된 용융 금속의 직선형 정렬에 의해 성취될 수 있다. 상응하는 점화 전류의 정렬은 균형잡히지 않은 로렌츠 힘에 기인하는 플라즈마 불안정성을 야기하는 꼬임 없는 희망하는 핀치 유형의 자기장을 초래할 수 있다.

[0664] 플라즈마는 갈륨의 산화물 코팅으로 인하여 용융 갈륨 표면에 걸쳐 반응 챔버 벽을 우선적으로 접촉할 수 있다. 벽의 위치는 전기 저항을 증가시키는 산화물 코팅의 두께에 의해 결정될 수 있다. 실시예에서, 벽의 산화물 코팅은 비드 블라스팅과 와이어 브러싱과 같은 기계적 마모에 의해 그리고 약산 에칭과 같은 화학적 에칭 등 적어도 한 수단에 의해 제거된다. 다른 실시예에서, 저장소는 저장소 바닥의 기저 판을 관통하여 용융 금속 레벨 위로 연장되는 것과 같은 적어도 하나의 전기적 리드를 포함할 수 있다. 이 전기적 리드는 점화 전류의 소스에 연결될 수 있다. 이 전기적 리드는 주입기에 대한 점화 전류 외에 제2 전류를 포함하는 점화 전류의 대안적 통로를 포함할 수 있다. 제2 전류는 적어도 하나의 제2 전기적 통로를 제공함으로써 그리고 제2 전류에 의해 생성된 자기장을 제공함으로써 반응 셀 챔버에서 대칭적 플라즈마 분포를 유지할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 접지 및 점화 전원 가운데 적어도 하나와 반응 셀 챔버를 연결시키는 상응하는 스위치를 가질 수 있는 적어도 하나의 전류 연결을 포함한다. 이 스위치는 점화 전류가 전류 연결을 통해 적어도 부분적인 흐름을 야기하도록 단을 수 있는데, 전류는 그것이 연결된 반응 셀 챔버를 통해 흐르게 된다. 이 전류 흐름은 플라즈마가 전류 흐름의 영역에 대해 적어도 부분적으로 향하도록 야기시킬 수 있다. 적어도 하나의 전류의 연결의 스위치들은 제어기에 의해 제어함으로써 대칭적 플라즈마 분포를 유지할 수 있다. 이 제어기는 적어도 하나의 열 전대와 같은 적어도 하나의 플라즈마 분포 센서로부터 입력을 받을 수 있다. 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버는 연료 주입의 균형 유지 그리고 반응 셀 챔버에서 대칭적 플라즈마 분포를 위해 추가의 반응 혼합물 입구 포트들을 포함할 수 있다.

[0665] 실시예에서(도 25 및 도 30), SunCell®은 저장소(5c)의 하부에 있는 EM 펌프의 기저판을 통과하는 버스 바(5k2ka1)를 포함한다. 이 버스 바는 점화 전류 전원에 연결될 수 있다. 버스 바는 용융 금속 레벨과 위로 연장될 수 있다. 버스 바는 갈륨과 같은 용융 금속 외에도 양극의 역할을 할 수 있다. 용융 금속은 버스 바를 탈열하여 냉각시킬 수 있다. 버스 바는 용융 금속이 갈륨을 포함하는 경우 용융 금속과 합금을 형성하지 않는 W나 Ta와 같은 내화 금속을 포함할 수 있다. 갈륨 표면으로부터 돌출하는 W 막대와 같은 버스 바는 플라즈마를 갈륨 표면에 집중시킬 수 있다. W를 포함하는 것과 같은 주입기 노즐은 저장소의 용융 금속에 담겨서 그것의 열 손상으로부터 보호할 수 있다.

[0666] 용융 금속이 전극의 역할을 하는 것과 같은 실시예에서(도 25), 용융 금속의 역할을 하는 교차 면적을 최소화하여 그 전류 밀도를 증가시킬 수 있다. 용융 금속 전극은 주입기 전극을 포함할 수 있다. 용융 금속 전극은 양극성일 수 있다. 용융 금속 전극의 면적은 대략 대향 전극의 면적일 수 있다. 용융 금속 표면의 면적을 최소화하여 전류 밀도가 높은 전극의 역할을 할 수 있다. 그 면적은 약 $1 \text{ cm}^2 \sim 100 \text{ cm}^2$, $1 \text{ cm}^2 \sim 50 \text{ cm}^2$ 및 $1 \text{ cm}^2 \sim 20 \text{ cm}^2$ 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나를 용융 금속 레벨의 위치에서 교차 면적이 더 적은 쪽으로 테이퍼지게 할 수 있다. 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나의 적어도 한 부분이 용융 금속의 레벨에서 텅스텐, 탄탈 또는 BN 등의 세라믹과 같은 내화물질을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나는 용융 금속 레벨에서의 면적을 최소화하여 전류 밀도가 높은 양극의 역할을 할 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버는 원통형일 수 있으며 리듀서, 원뿔 섹션 또는 저장소로의 변화를 더 포함할 수 있는데, 상응하는 용융 금속 표면에서의 갈륨의 교차 면적이 전류를 집중시키고 전류 밀도가 증가하도록 작게 되는 레벨까지 갈륨과 같은 용융 금속을 저장소에 채운다. 예시적 실

실시예에서(도 31), 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나가 모래시계 형상이나 한 장의 쌍곡면을 포함할 수 있는데 용융 금속 레벨이 대략 가장 작은 교차 면적의 레벨이다. 이 면적은 내화 물질 또는 탄소, W나 Ta와 같은 내화 금속 또는 BN, SiC 또는 석영 등의 세라믹과 같은 내화 물질의 라이너(5b31a)를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 반응 셀 챔버는 347 SS와 같은 스테인레스강을 포함할 수 있으며 라이너는 W나 BN을 포함할 수 있다.

[0667] 실시예에서, SunCell®은 알루미늄 비드 등의 비드와 같은 복수의 단열 입자와 같은 가역성 절연체 및 절연체 용기나 하우징을 포함하는데, 입자들은 반응 셀 챔버 및 저장소 중 적어도 하나의 같은 단열되어야 하는 SunCell® 구성요소에 대해 외주에 위치하는 용기 안에 있다. 이 용기는 비드 용기를 각각 채우고 비우는 입구 및 출구 포트를 포함할 수 있으며, 오거 등의 기계적 컨베이어와 같은 용기의 안팎으로 비드를 운반하는 수단을 더 포함할 수 있다. 실시예에서, 비드는 출력에 의해 용기 밖으로 흐를 수 있다.

[0668] 실시예에서, 점화 전류 및 전압 중 적어도 하나는 다음 가운데 하나를 야기하는데 충분한 기간 동안 충분히 간헐적으로 증가시킬 수 있다: (i) 반응 셀 챔버나 저장소에서 형성될 수 있는 Ga_2O_3 나 Ga_2O 와 같은 임의의 산화 갈륨의 분해, (ii) 갈륨과의 반응에 의한 Ga_2O_3 나 Ga_2O 변환 그리고 (iii) 수소에 의한 산화 갈륨의 환원. 산화 갈륨 막은 갈륨 금속과 산화 갈륨 입자의 혼합물을 포함할 수 있는데, 산화 갈륨 막은 갈륨 금속과 산화 갈륨 입자의 혼합물을 포함할 수 있는데, 산화 갈륨이 갈륨 금속에 의해 젖으며 산화 갈륨이 갈륨보다 덜 치밀하기 때문에 이 혼합물 막이 형성된다. 산화 갈륨은 전기 절연체이고 갈륨 금속은 전기 전도체이므로, 이 막의 전기 저항은 산화 갈륨의 향체의 증가에 따라 증가하는데, 점화 전류가 감소하는 면적과 증가하는 길이의 갈륨 채널을 강제 통과된다. 간헐적 펄스의 점화 전류는 이 전기 저항이 높은 금속 갈륨 채널의 갈륨을 선택적으로 가열하여 갈륨 및 혼합된 산화 갈륨의 가열을 야기할 수 있다. 점화 전류 및 전압 중 적어도 하나의 간헐적인 증가는 인가된 전력의 펄스를 포함할 수 있다. 점화 전력의 간헐적 펄스에 따른 듀티 사이클은 약 1% ~ 99%, 1% ~ 75%, 1% ~ 50%, 1% ~ 25% 및 1% ~ 10% 가운데 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다. 전압은 약 1000 V, 100 V, 75 V 및 50V 또는 증가 전 전압의 약 10배, 2배, 1.5배 또는 1.25배 가운데 적어도 하나만큼 증가할 수 있다. 전류는 약 100 kA, 50 kA, 10 kA, 5 kA, 1 kA 및 500 A 또는 증가 전 암페어의 약 10배, 5배, 2배, 1.5배 또는 1.25배 가운데 적어도 하나만큼 증가할 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 반응은 하이드리노 반응에 의한 가열이 양극에서 선택적으로 발생하도록 점화 전극의 쌍의 양극에서 유리하다. 산화 갈륨을 포함하는 갈륨은 양으로 바이어스되어 하이드리노 반응에 의해 산화 갈륨 막을 선택적으로 가열할 수 있다. 실시예에서, SunCell® 캐소드 및 애노드는 역 페테스탈 전극(5c2)과 같은 페테스탈 전극 그리고 도25에 나와 있는 것과 같은 반대쪽의 주입기 노즐(5q)을 포함한다. 텅스텐을 포함하는 것과 같은 역 전극은 약 1000 ° C ~ 3000 ° C의 온도 범위에서와 같은 매우 고온으로 하이드리노 반응에 의해 선택적으로 가열되는 양극을 포함할 수 있으며, 가열된 전극은 산화 갈륨 막을 가열한다. 전극들의 극성을 전력의 AC 점화 소스에 의해 교대시켜서 역 전극의 과열을 피하고 그에 따라 그 용융을 방지할 수 있다. 역 전극에 의한 막의 가열을 갈륨 표면으로부터의 분리 거리를 감소시켜 증가시킬 수 있다. 반응 셀 챔버는 하이드리노 반응 플라즈마를 전극에 집중시키는 BN, 석영 또는 융합 실리카 라이너와 같은 세라믹 라이너(5b31a)를 포함할 수 있다. 가열은 다음 중 적어도 하나를 원할 하게 할 수 있다: (i) 반응 셀 챔버나 저장소에서 형성될 수 있는 Ga_2O_3 나 Ga_2O 와 같은 임의의 산화 갈륨의 분해, (ii) 갈륨과의 반응에 의한 Ga_2O_3 나 Ga_2O 의 변환 그리고 (iii) 수소에 의한 산화 갈륨의 환원.

[0669] 실시예에서, SunCell®은 캐소드, 애노드, DC 전원과 같은 전원 및 산화 갈륨을 포함하는 전해질을 포함하는 전기분해 시스템을 혼합하여 산화 갈륨을 갈륨으로 변환시키는 갈륨 재생 시스템을 포함하고, 저장소 및 반응 셀 챔버의 적어도 하나에서의 용융 금속의 표면에서 직접 갈산 나트륨의 갈륨 금속으로의 변환과 같이 산화 갈륨이 나 산화 갈륨을 포함하는 종들은 전기분해한다. 이 전해질은 용융 산화 갈륨을 포함할 수 있는데, 그 이온들은 갈륨과 산화물 이온을 포함한다. 전해질은 다음 가운데 적어도 하나인 것과 같은 산화물을 포함할 수 있다: (i) 알루미늄 또는 알칼리나 알칼리 토류 산화물과 같은 SunCell® 작동 조건 하에서 안정함, (ii) 산화 갈륨만의 용점보다 낮은 용점을 가진 혼합물을 형성, 그리고 (iii) 용융된 막의 산화물 및 갈륨 이온이 갈륨 금속과 산소 가스로 선택적으로 전기분해될 수 있도록 산화 갈륨보다 열역학적으로 더 안정한데 용융 염 혼합물이 전해 질을 포함 전해질은 용융 NaOH, Na_2O , LiOH 또는 Li_2O 등의 NaOH와 같은 염기와 같은 소스, 갈륨의 표면 상의 NaF나 CsF 전해질 등의 알칼리 금속 할라이드와 같은 금속 할라이드 또는 당업계에서 알려진 다른 안정한 전해 질을 포함할 수 있다. 전해질은 혼합물로서의 산화 갈륨의 용점을 낮추는 염의 혼합물을 포함할 수 있다. 전해 질은 갈륨, 알루미늄 및 NaF, LiF, KF, CsF, NaI(용점 = 661 ° C), 할라이드 염 혼합물, AlF_3 , 크라이올라이트(Na_3AlF_6) 또는 Na_3GaF_6 와 같은 할라이드 가운데 적어도 하나를 포함하는 것과 같은 염이나 염 혼합물에 용해

된 산화 갈륨을 포함할 수 있다. NaI 등의 알칼리 할라이드와 같은 용매 염은 반응 셀 혼합물의 갈륨 및 H₂O에 대해 열역학적으로 안정할 수 있다. Ga₂O₃를 용해하고 산화 갈륨을 갈륨으로 전기분해에 의해 환원시키는 전해질의 역할을 하는 전해질은 산화물, 수산화물 할라이드 및 NaOH-NaCl와 같은 혼합물 가운데 하나를 포함할 수 있다. 전해질은 산화 갈륨을 용해시키고 산화 갈륨에 대해 안정한 염이나 공유 염 혼합물과 같은 염 혼합물을 포함할 수 있다. 예시적 공유 혼합물은 다음과 같다: (i) 융점 454 ° C 및 비등점 1570 ° C를 가지며 그 비율이 46.5-11.5-42 mol %인 FLiNaK 과 같은 3원 공유 금속 할라이드 LiF-NaF-KF, (ii) 융점 265 ° C를 가지며 그 비율이 57.5-13.3-29.2 mol %인 3원 공유 염화 금속 혼합물 LiCl-KCl-CsCl, (iii) 융점 420 ° C를 가지며 물 비율이 NaI/(CsI + NaI) = 0.484인 CsI-NaI, (iv) 융점 283 ° C를 가지며 물 비율이 LiI/(KI + LiI) = 0.635인 KI-LiI 그리고 (v) 융점 209 ° C를 가지며 물 비율이 LiI/(CsI + LiI) = 0.657인 CsI-LiI. 불화 이온을 포함하는 추가의 예시적 전해질 염은 다음과 같다: 2LiF-BeF₂, LiF-BeF₂-ZrF₄ (64.5-30.5-5), NaF-BeF₂ (57-43), LiF-NaF-BeF₂ (31-31-38), LiF-ZrF₄ (51-49), NaF-ZrF₄ (59.5-40.5), LiF-NaF-ZrF₄ (26-37-37), KF-ZrF₄ (58-42), RbF-ZrF₄ (58-42), LiF-KF (50-50), LiF-RbF (44-56), LiF-NaF-KF (46.5-11.5-42) 및 LiF-NaF-RbF (42-6-52). 실시예에서, 전해질 물 수 대 산화 갈륨 물 수의 비율은 약 0.1 ~ 1000, 0.5 ~ 100, 0.5 ~ 50, 0.75 ~ 10, 0.75 ~ 5 및 0.75 ~ 2 가운데 적어도 하나의 범위에 있다. NaI가 전해질이고 Ga₂O₃의 정상 상태 물 수가 3.44 g인 Ga₂O₃ (MW = 188)를 생산하는 1 ml의 H₂O나 산소 당량에 상응하는 예시적 실시예에서, NaI (MW = 150) 전해질의 물 수 대 Ga₂O₃ 물 수의 비율이 반응 셀 챔버에 첨가된 2.74 g의 NaI에 상응한다. 각 1 ml의 H₂O나 산소 당량의 환원에는 180 A의 점화 전류가 제공하는 전해질 전류가 요구된다.

[0670] I⁻ 등의 할라이드 이온과 같은 전해질의 음이온이 O²⁻보다 전기분해 애노드에서 산화되는 경우, 그 음이온이 O²⁻보다 더 안정하도록 선택할 수 있다. CsF(융점 = 682 ° C)가 안정한 할라이드 음이온으로 F⁻를 가진 예시적 염이다. 실시예에서, 반응 셀 챔버가 분자 및 원자 수소 중 적어도 하나를 포함할 수 있는데, O²⁻의 애노드 전기분해 산화가 분자 및 원자 수소 중 적어도 하나와 반응하는 산소 생성물의 반응으로 인해 물 형성에 더 열역학적으로 유리하도록 만들 수 있다. 애노드 반응은 다음을 포함할 수 있다: O²⁻ + 2H₂ → H₂O + 2e⁻. I⁻ 등의 할라이드 이온과 같은 전해질의 음이온이 산화되거나 상승된 온도에서 반응하는 경우, 요드화 이온에 있어서 적어도 하나의 반응 셀 챔버가 약 700 ° C 미만과 같은 음이온 반응이나 분해 온도 미만에서 작동할 수 있으며 또한 이 음이온이 상승된 온도에서 안정하도록 선택할 수 있다. F⁻은 예시적인 더 안정한 할라이드 이온이다. 음이온이 점화 전류에 의해서 그리고 열적으로 전기분해와 같은 수단에 의해 산화되는 실시예에서, 그 결과적인 기체, 액체 또는 고체는 할로젠 재생기에 의해 재생할 수 있다. 할로젠 재생기는 응축기를 포함할 수 있다. 이 응축기는 진공 시스템의 진공 라인과 연결될 수 있다. 이 진공 시스템은 가스 흐름을 허용하는 반면 입자 흐름을 차단하는 한 세트의 배플과 같은 진공 라인 입구에 대한 입자 흐름 제약기를 더 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 할라이드 이온이 I⁻이며 이는 I₂(융점 = 113.7 °, 비등점 = 184.3 ° C)로 산화되고 다시 응축기에서 응축되어 중력으로 반응 셀 챔버로 다시 흘러 들어가거나 혹은 응축된 요드가 고체 요드의 컨베이어나 액체 요드의 펌프와 같은 운반기에 의해 능동적 운반되어 용융 금속과 접촉한다. 예시적 실시예에서, 요드가 액체로 다시 흘러 용융 금속을 접촉하여 나트륨과 반응함으로써 NaI를 재생하도록 반응 셀 챔버의 주기적인 냉각을 허용할 수 있다.

[0671] SunCell®은 FLiNaK 등의 적어도 하나의 알칼리 금속 할라이드를 포함하는 것과 같은 전해질에 의한 부식에 내성이 있는 반응 셀 챔버와 같은 구성요소들을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버는 BN, 석영, 실리카, MgO, HfO₂, ZrO₂, Al₂O₃ 등의 세라믹 라이너와 같은 라이너(5b31a)를 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버는 Monel 400과 같은 Monel 금속, Hastelloy N나 Inconel과 같은 부식 내성이 있는 스테인레스강, 탄소 복합체, 0.5% 탄탈 및 0.68% 지르코늄 및 나머지가 몰리브덴으로 구성된 티탄-지르코늄-몰리브덴 합금(TZM)과 같은 몰리브덴 합금, 산화물 그리고 산화물 분산 강화 합금(ODS)에 기반하는 내화 금속과 같은 부식에 내성이 있는 금속을 포함할 수 있다. 실시예에서, 갈륨과 같은 용융 금속은 반응 셀 챔버의 벽을 습윤시키며 이는 전해질의 낮은 전류 밀도와 함께 전해질과 그 벽의 접촉을 방지하여 전해질에 의한 부식으로부터 벽을 보호한다.

[0672] SunCell®은 반응 셀 챔버나 갈륨 재생 시스템으로부터 배출되는 할로젠이나 할로젠화 수소를 위한 트랩을 포함할 수 있다. NaOH와 같은 염기를 포함하는 예시적 트랩은 휘발성 HF와 반응하여 포착된 NaF를 형성할 수 있다. 이 트랩은 진공 펌프 후에 연결될 수 있다. 실시예에서, 산화 갈륨은 Ga₂O₃의 Al₂O₃로 전기분해되는 Al₂O₃로의

변환과 같은 산화 갈륨이 전기분해되는 다른 산화물로 변환될 수 있는데, 전해질은 크라이올라이트를 포함할 수 있다. 예시적 이동 이온은 산화물, 과산화물, 초과산화물, OH^- , Na^+ 등의 알칼리 이온, $\text{Ga}(\text{OH})_4^-$, 등의 수산화물 복합체 그리고 $\text{GaF}(\text{OH})_3^-$ 나 $\text{GaFO}(\text{OH})^-$ 등의 옥시할라이드 복합체 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0673]

실시예에서, 갈륨 금속이 전기분해로 형성되는 캐소드는 용융 금속 표면을 포함한다. 전해질은 다음 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다: (i) 산화 갈륨, (ii) 갈륨 옥시하이드록사이드, (iii) 수산화 갈륨, (iv) 산화 갈륨, 갈륨 옥시하이드록사이드 및 수산화 갈륨 중 적어도 하나 그리고 NaOH , KOH 등의 적어도 하나의 첨가된 이온 소스, 금속 할라이드 및 NaOH-NaCl 등의 하이드록사이드 할라이드 염 혼합물과 같은 혼합물. 애노드는 용융 금속 표면 상의 산화 갈륨 막의 표면에 전도체를 포함할 수 있다. 전해질은 갈산 나트륨과 같은 수산화물 이온 전도체를 포함할 수 있으며, K^+ 이온 전도체를 포함할 수 있는 갈산 칼륨을 포함할 수 있다. 실시예에서, 전해질은 산화물, 수산화물 및 옥시수산화물 중 적어도 하나를 포함하는 첨가제를 포함할 수 있다. 알루미늄 등의 첨가제 수산화물은 산화 갈륨보다 더 안정할 수 있는데, 염 혼합물이 첨가제 산화물과 산화 갈륨 표면 막 사이에 형성되고 이 혼합물은 산화 갈륨보다 더 낮은 용점을 가질 수 있다. 이 막의 산화물과 갈륨 이온을 갈륨 금속과 수소로 선택적으로 전기분해할 수 있는데, 용융 염 혼합물은 전해질을 포함한다. 실시예에서, 반응 셀 챔버 온도, 압력, 전압, 전류 및 물 주입 속도 중 적어도 하나와 같은 SunCell® 작동 조건은 옥시수산화 갈륨의 형성을 지원하는데, 수산화물이 이동하는 전해질 이온의 역할을 할 수 있다. 실시예에서, 물 주입의 속도 및 위치를 제어하여 옥시수산화 갈륨의 정상 상태 농도를 유지할 수 있다. 실시예에서, 물 주입을 용융 갈륨 표면으로 향하도록 하여 전해질의 이동 이온 역할을 할 수 있는 수산화 이온의 형성을 지원할 수 있다. 점화 시스템은 갈륨 재생 시스템의 전극 역할을 하는 용융 금속에 대해 양이나 음의 바이어스를 제공할 수 있다. 예시적 실시예에서, 캐소드의 음 바이어스가 점화 시스템에 의해 제공될 수 있는데, 주입기는 음극을 포함할 수 있고 용융 갈륨 금속 표면 아래로 잠길 수 있다. 애노드는 용융 갈륨의 표면 위에 부유하는 탄소나 스테인레스강 등의 전도체를 포함할 수 있다. 대안적으로 전기분해 전지는 산화 갈륨 및 물 중 적어도 하나로부터 산소와 반응하여 소모되어 진공 펌프 등의 수단에 의해 배출되는 CO 및 CO_2 중 적어도 하나를 형성하는 탄소 애노드를 포함할 수 있다.

[0674]

실시예에서, 전기분해 시스템의 캐소드 및 애노드는 점화 시스템 전극들을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버의 플라즈마는 전극들 사이에서 이온을 운반하는 전해질을 포함할 수 있으며 전자들은 전극들과 점화용 전력의 소스 사이의 외부 회로에서 점화 전류를 이동시킨다. 실시예에서, 플라즈마는 반응 셀 챔버 및 저장소에서 적어도 하나의 용융 갈륨의 표면에 있는 산화 갈륨 막과 접촉하는 전기분해 전극을 포함할 수 있으며, 산화 갈륨 막을 지지하는 갈륨은 대향 전극을 포함할 수 있다. 점화 전류는 DC, AC 또는 DC 및 AC의 임의의 조합일 수 있고, 산화 갈륨 막의 전기분해 환원을 원활하게 하는 임의의 파형을 포함할 수 있다. 실시예에서, 전극 분리는 산화 갈륨 막의 전기분해 반응을 돕는 전압의 증가 그리고 플라즈마 반응 용적을 증가시킴으로써 SunCell® 전력 출력의 증가 가운데 적어도 하나를 실행하기 위해 조절할 수 있다.

[0675]

실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버로부터 가스를 간헐적 또는 연속적 기반으로 탈기시키는 반응 셀 챔버 및 진공 펌프로 연결되는 진공 라인을 포함하는 진공 시스템을 포함한다. 실시예에서, SunCell®은 적어도 하나의 하이드리노 반응 반응물이나 생성물을 응축시키는 응축기를 포함한다. 이 응축기는 진공 펌프와 연결될 수 있거나 진공 펌프와의 가스 도관 연결을 포함할 수 있다. 진공 시스템은 반응 셀 챔버로부터 흐르는 적어도 하나의 반응물이나 생성물을 응축시키는 응축기를 더 포함할 수 있다. 응축기는 응축된 반응물이나 생성물인 응축물이 선택적으로 반응 셀 챔버로 다시 흐르도록 야기할 수 있다. 응축기는 응축물이 반응 셀 챔버로 다시 흐름을 선택적으로 야기시키는 온도 범위에 유지될 수 있다. 이 흐름은 각각 펌핑이나 중력 흐름과 같은 능동적이거나 수동적 운반의 수단일 수 있다. 실시예에서, 응축기는 갈륨이나 산화 갈륨 나노입자와 같은 입자가 반응 셀 챔버에서 진공 펌프로의 흐름을 방지하는 필터, 지그재그 채널 및 전기 집전기 중 적어도 하나와 같은 수단을 포함할 수 있다.

[0676]

실시예에서, 전해질은 산화 갈륨과 반응하여 갈륨 이온을 형성하는 염기 그리고 산화 갈륨을 갈륨 금속으로 환원시키는 전기분해 반응에서 이동 및 침전이 가능한 산화물이나 수산화 이온 등의 산소를 포함하는 이온들을 포함한다. 염기는 다음 중 하나에 해당하도록 선택할 수 있다: (i) 염기의 융점이 반응 셀 챔버의 작동 온도 미만이다, (ii) 염기의 비등점이 진공 시스템의 작동 온도를 초과한다, (iii) 염기의 융점이 그 염기의 임의 상응하는 금속의 비등점 미만이다, (iv) 염기의 모든 상응하는 금속이 H_2O 나 산소와 반응하여 염기를 재생할 수 있다, (v) 염기의 융점이 물의 비등점을 초과한다, (vi) 염기의 모든 상응하는 금속의 비등점이 물의 비등점을 초

과한다. 예시적 실시예에서, 전해질이 323 ° C도의 용점 및 1388 ° C의 비등점을 갖는 NaOH를 포함하며, 그 상응하는 금속인 나트륨이 100 ° C의 물의 비등점에 비해 97.8 ° C의 용점 및 883 ° C의 비등점의 온도 범위에서 유지될 수 있다. 응축기가 NaOH 및 Na를 응축하여 이 응축물을 반응 셀 챔버로 복귀시킬 수 있는 반면 과잉 수증기와 같은 보다 휘발성이 높은 기체가 반응 셀 챔버로부터 탈기되는 것을 허용한다. 복귀한 Na는 반응 셀 챔버에서 또는 응축기에서 H₂O나 수소 중 적어도 하나와 반응하여 재생되거나 재순환될 수 있는데, 응축기는 324 ° C ~ 882 ° C의 온도 범위에서 유지될 수 있다. 응축기는 용융 금속 나트륨 및 용융NaOH 중 적어도 하나의 형태로 나트륨을 반응 셀 챔버로부터 선택적으로 복귀시키기 위해 약 324 ° C 초과 그리고 882 ° C 미만의 온도 범위에서 유지할 수 있다.

[0677] 실시예에서, 갈륨 재생 시스템은 용융 금속 표면을 교차하여 용융 금속을 관통함으로써 염 가교를 통한 이온 전도에 의한 것을 제외하고는 애노드와 캐소드를 전기적으로 분리하는 염 가교를 더 포함할 수 있다. 이 염 가교는 베타 고체 알루미늄 전해질(BASE)이나 갈산 갈륨과 같은 본 개시의 하나를 포함할 수 있다.

[0678] 실시예에서, 용융 갈륨 금속 표면이 음으로 바이어스되어 물과의 반응과 같은 그것의 산화 반응을 억제하도록 용융 갈륨에 대해 환원 전위를 제공한다. 이 음의 바이어스는 점화 시스템에 의해 제공될 수 있는데, 주입기는 음극을 포함할 수 있으며 용융 갈륨 표면 아래로 잠길 수 있다.

[0679] 실시예에서, 반응 셀 챔버는 전기적 절연 벽이나 전기 절연체 도포된 벽을 포함하여 점화 전류가 적어도 부분적으로 산화 갈륨 코팅을 통해 흐르도록 야기한다. 이 벽이나 코팅은 갈륨에 의한 습윤에 대해 더 내성일 수 있다. 예시적 벽이나 코팅은 BN, 사파이어, MgF₂, SiC 또는 석영을 포함한다. 다른 실시예에서, 점화 전류가 벽을 피하는 전극들 사이의 통로를 선호하도록 벽으로부터 충분히 떨어진 거리에 위치한다. 점화 전류는 반응 셀 챔버에서 플라스마를 통해 산화 갈륨 표면으로 흐를 수 있는데 페데스탈(5c1)의 전극들(8) 및 플라스마가 전기분해 애노드의 역할을 할 수 있고, 산화물 코팅 아래의 용융 갈륨 금속 및 잠길 수 있는 주입기가 전기분해 캐소드를 포함할 수 있고, 점화 전류가 적어도 부분적으로 전기분해 전류의 역할을 하여 캐소드에서 산화 갈륨을 갈륨으로 환원시킬 수 있다. 대안적으로, 극성이 뒤집어질 수 있으며, 애노드에서 방출되는 산소가 산화 갈륨을 통해 확산되어 셀 가스와 함께 배출될 수 있다. 점화 전류는 물 첨가에 따라 형성되는 산화 갈륨을 갈륨으로 전기분해할 수 있는 충분한 수준으로 유지할 수 있다. 실시예에서, 반응 셀 챔버는 산소를 위한 탄소 등의 게터를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 분당 1 ml의 H₂O 첨가는 분당 3.44 g나 0.533 ml의 Ga₂O₃를 형성하는데, 산화 갈륨에서 갈륨으로의 환원에는 180 A의 전류가 요구된다. 이온성 화합물과 같은 전해질 이온 소스는 반응 셀 챔버에 첨가하여 전기분해 회로를 완료하는 이온 이동을 제공할 수 있다. 이온성 화합물은 NaOH 등의 염기와 NaF 등의 알칼리 할라이드를 포함할 수 있다. 실시예에서, 주입 전류를 감소시키거나 종료하여 산화 갈륨을 통과하는 전류 흐름을 유리하게 할 수 있다. 산화 갈륨 환원의 속도가 연속적 대 간헐적 플라스마와 같은 희망하는 플라스마 조건의 유지에 충분할 수 있도록 물 주입의 속도나 패턴을 제어하여 산화 갈륨 형성의 속도를 제어할 수 있다. 예시적 실시예에서, 산화 갈륨이 주입 사이에 대략 환원되도록 물이 간헐적으로 주입된다. 실시예에서, 산화 갈륨 표면 막의 전기분해 환원 및 열 분해 가운데 적어도 하나를 촉매하도록 수소가 첨가된다. 하이드리노 반응 플라스마는 활성 H를 제공하여 산화 갈륨에서 갈륨으로의 반응을 강화할 수 있다.

[0680] 전기적 절연 벽에 대한 다른 실시예에서, 고전류가 산화 갈륨 층을 통과하여 흘러서 그것을 과열함으로써 산화 갈륨이 첨가된 H₂에 의한 수소 환원 및 열 분해 중 적어도 하나를 거치도록 야기된다. EM 주입 펌프와 같은 주입 펌프를 줄이거나 꺼서 산화 갈륨을 통과하는 전류 흐름을 증가시킬 수 있다. 전도도의 상응하는 감소의 가능성으로 인해 플라스마의 전압을 조절하여 펌프 감소나 펌프오프 조건을 실행할 수 있다. 예시적 실시예에서, 펌프 감소나 종료 전의 전류와 거의 같은 전류를 유지하기 위해 전압을 약 5 ~ 10 V 증가시킨다. 주입된 용융 금속이 제공하는 전도도 외에 혹은 대신에, 높은 하이드리노 반응 속도를 유지하기 위해 은을 갈륨에 첨가하여 가스의 높은 전도도 및 상응하는 이온-전자의 높은 제결함 속도를 유지하는 은 나노입자를 형성할 수 있다. 실시예에서, 귀금속, Ni, Ti, Nb, 탄소, 세라믹 또는 제올라이트 지지되는 귀금속, 회토류 금속 등의 수소 해리기 및 당업계에서 알려진 다른 수소 해리기를 반응 셀 챔버에 첨가하여 산화 갈륨을 환원시키는 활성화 형태의 수소 소로서 원자 H를 제공할 수 있다. 다른 실시예에서, 하이드리노 반응 플라스마는 산화 갈륨을 환원시키는 원자 수소를 제공할 수 있다. 수소 압력은 약 0.1 Torr ~ 10 기압, 0.5 Torr ~ 5 기압 및 0.5 Torr ~ 1 기압 중 적어도 하나의 범위에서 유지될 수 있다. 수소는 흐르게 할 수 있으며, 그 속도는 약 0.1 분당 표준 입방 센티미터(sccm) ~ 100 분당 리터, 1 sccm ~ 10 분당 리터 및 10 sccm ~ 1 분당 리터 중 적어도 하나의 범위에 있을 수 있다.

[0681] 예시적 시험 실시예에서, 반응 셀 챔버를 약 1 Torr ~ 20 Torr의 압력 범위에 유지한 반면 능동 진공 펌핑을 인

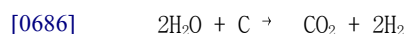
가하면서 10 sccm의 H_2 를 흘리고 분당 4 ml의 H_2O 를 주입했다. DC 전압은 약 28 V 그리고 DC 전류는 약 1 kA였다. 반응 셀 챔버는 입방형 SS였으며 가장자리의 길이는 9인치였고 47 kg의 용융 갈륨을 포함했다. 전극들은 1인치가 침지된 DC EM 펌프의 SS 노즐 그리고 BN 페테스탈에 의해 덮인 직경 리드를 갖춘 직경 4 cm 및 두께 1 cm인 W 원판을 포함하는 대향 전극을 포함했다. EM 펌프의 속도는 약 30-40 ml/s였다. 갈륨은 양으로 하전 그리고 W 페테스탈 전극은 음으로 하전했다. 갈륨 및 SS 반응기의 질량, 비열 및 온도 상승의 곱을 사용하여 측정한 SunCell® 출력 전력은 약 150 kW였다.

[0682] 도5 및 9에 나와 있는 SunCell®과 같은, 반대 극성의 전극들로서 역할을 하는 두 개의 저장소 및 주입기를 포함하는 SunCells®의 실시예에서, 제1 주입기의 펌핑을 감소시키거나 종료시킬 수 있는 반면 제2 주입기의 펌핑은 충분하게 유지하여 제1 저장소 안으로 용융 금속을 펌핑하여 제1 주입기의 모든 산화 갈륨 코팅이 그 막을 통하는 전류의 흐름에 의해 제거될 수 있다. 반대로 제2 주입기의 펌핑을 감소시키거나 종료시킬 수 있는 반면 제1 주입기의 펌핑은 충분하게 유지함으로써 제2 저장소 안으로 용융 금속을 펌핑하여 제2 주입기의 모든 산화 갈륨 코팅이 그 막을 통하는 전류의 흐름에 의해 제거될 수 있다. 대안적으로, 두 주입기의 펌핑을 감소시키거나 종료시킴으로써 전극들 사이의 전류 연결을 적어도 부분적으로 제공하는 하이브리드 반응 플라즈마를 갖춘 저장소들 가운데 적어도 하나의 산화 갈륨 막을 통해 전류가 흐를 수 있다. 산화 갈륨 막의 환원을 촉진하기 위해 전해질을 첨가할 수 있다.

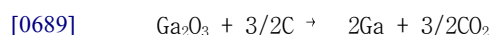
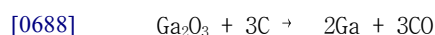
[0683] 실시예에서, EM 펌프 주입기는 산화 갈륨 표면 막을 포함하는 용융 갈륨 금속 표면의 아래에 침지된 복수의 노즐들을 포함한다. 복수의 침지된 노즐들은 용융 금속 표면에 대하여 다른 장소와 다른 각도로 위치하여 점화 동안 상응하는 주입된 스트림이 산화물 막을 관통함에 따라 산화 갈륨 막을 파괴할 수 있다. 산화 갈륨 막의 파괴를 최적화하도록 침지의 깊이를 조절할 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 침지된 노즐이 대향 전극을 향해 있는 적어도 하나의 출구를 포함할 수 있으며, 적어도 다른 하나가 산화 갈륨을 향하여 산화물 막의 파괴를 도울 수 있다.

[0684] 실시예에서, 반응물이 저장소 및 반응 셀 챔버 중 적어도 하나에 첨가되어 용융 금속 상에서 형성할 수 있는 임의의 전기 절연 막과 반응하는데, 그 반응 생성물은 정기적 절연이 덜하거나 연속적인 전기적 절연 막을 형성할 경향이 적은 것 가운데 적어도 하나이다. 실시예에서, NaOH 등의 염기가 저장소 및 반응 셀 챔버 가운데 적어도 하나에 첨가되어 산화 갈륨과 반응함으로써 $NaGaO_2$ 와 같은 생성물을 형성하고 그 결과 용융 산화 갈륨 표면 상의 연속적인 전기적 절연 표면 층을 감소시키거나 제거시킨다. 예시적 실시예에서, NaOH는 산화 갈륨과의 반응은 용융 갈륨 상의 전기적 절연인 Ga_2O_3 막을 파괴할 수 있다. 다른 실시예에서, 펌프 주입 노즐이 직경 및 깊이 중 적어도 하나와 증가된 EM 펌핑 속도를 초월하여 용융 갈륨의 표면에 있는 산화 갈륨과 같은 용융 갈륨의 전기적 절연 막을 충분하게 파괴함으로써 플라즈마 점화 전류와의 방해로 방지한다.

[0685] 예시적 실시예에서, SunCell®은 흑연, 코크 또는 숯 가루 등의 탄소 분말과 같은 탄소의 소스를 포함한다. 이 탄소 소스는 탄소 저장소, 밸브 및 탄소 저장소와 반응 셀 챔버 사이의 연결이나 도관을 포함할 수 있으며, 중력 흐름이나 공급 외에 탄소를 반응 셀 챔버로 기계적으로 운반하는 수단을 더 포함할 수 있다. 탄소는 갈륨 표면을 도포하여 산소 및 물 가운데 적어도 하나와 같은 하이브리드 반응 혼합물의 임의의 산화 종의 갈륨과의 반응에 따른 산화 갈륨의 형성을 감소시킬 수 있다. 용융 갈륨 상의 산화 갈륨 표면 코팅의 제거를 위한 NaOH 첨가, 수소 환원, 전기분해 환원, 열 분해 또는 Ga_2O 의 휘발성으로 인한 기화 및 승화 중 적어도 하나에 대한 대안으로, 반응 셀 챔버의 반응 혼합물은 소스로부터의 탄소를 포함한다. 탄소는 첨가된 H_2O 및 Ga_2O_3 가운데 하나와 반응하여 진공 펌프로 배출시킬 수 있는 CO 및 CO_2 중 적어도 하나를 형성할 수 있다. 이 탄소 반응은 탄화 갈륨에서 배출될 수 있는 CO 및 CO_2 와 갈륨 금속으로의 반응으로, 물 합성 가스 반응, 수성-가스 전이 반응 및 열탄소 환원 반응 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 반응은,



[0687] 그리고 산화 갈륨의 탄소환원 반응은 다음과 같다:



[0690] 다른 실시예에서, 산화 갈륨의 열탄소 환원은 다른 반응과 결합하여 산화 갈륨을 갈륨으로 환원하는 열탄소 반

응들의 조합과 같은 반응들의 조합을 포함할 수 있다.

[0691] 실시예에서, SunCell®은 Ga_2O_3 를 갈륨 금속으로 환원시키는 반면 산소를 포함하는 것과 같은 Ga_2O_3 환원 생성물의 배출 그리고 갈륨 금속의 반응 셀 챔버로의 복귀를 실행하는 시스템들을 포함한다. 실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버로부터 Ga_2O_3 막이나 층을 제거하는 수단, 갈륨 재생 시스템, 반응 셀 챔버(5c1)부터 갈륨 재생 시스템까지 산화 갈륨을 운반하는 운반기, 산소와 같은 산화 갈륨에서 갈륨의 재생에 따르는 다른 생성물을 배출하는 수단, 재생된 갈륨의 저장소, 갈륨 재생 저장소부터 반응 셀 챔버까지의 갈륨 채널, 도관 또는 튜브, 재생된 갈륨의 저장소부터 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)까지의 갈륨 운반기, 그리고 각 수단을 위한 제어 시스템을 포함한다. (i) 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)의 액체 갈륨의 표면에서 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단, (ii) 산화 갈륨 채널에서 산화 갈륨을 운반하는 운반기, 그리고 (iii) 갈륨 채널에서 갈륨을 운반하는 운반기 가운데 적어도 하나는 기계적, 전자기, 유압 또는 공압 이동기나 스키머 중 적어도 하나, 기계적 또는 EM 펌프 등의 펌프, 적어도 하나의 가스 제트와 같은 제트, 용융 금속 제트, 물 제트, 적어도 하나의 오거, 진탕기나 진자기 또는 압전 진동기와 같은 진동기 그리고 컨베이어 벨트와 같은 적어도 하나의 컨베이어나 메시를 포함할 수 있다. 실시예에서, 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)의 액체 갈륨의 표면에서 Ga_2O_3 막을 제거하는 용융 금속 제트와 같은 제트는 용융 금속의 표면에서 산화 갈륨을 선택적으로 이동하는데 유리한 각도로 그 표면에 충돌할 수 있다. 예시적 실시예에서, 이 제트는 갈륨 표면의 아래로부터 충돌할 수 있다.

[0692] 실시예에서, 저장소(5c)와 반응 셀 챔버(5b31)의 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 전자석이나 냉각시킨 영구 자석 등의 셀 외부에 적어도 하나의 자석으로 조작이나 구동할 수 있는 기계적 표면 스키머나 스크래퍼를 이동하는 액추에이터를 포함하는데, 이 액추에이터는 철이나 코발트와 같은 높은 큐리 온도를 가진 강자성 물질을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 스키머는 진공 가능하고 밀봉된 관통 그리고 당업계에서 알려진 것과 같은 외부 구동 장치를 포함할 수 있다.

[0693] 실시예에서, SunCell®은 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨의 표면에서 Ga_2O_3 막을 밀어내고 산화물이 산화 갈륨 채널 안으로 흐르도록 야기하기 위해 산화 갈륨에서 파를 생산하는 표면 발진기를 포함할 수 있다. 소나 부머와 같은 전자의 구동 소나 소스 등의 소나 장치와 같은 음파 소스와 같은 소스. 이 소스는 저장소 및 반응 셀 챔버의 하나 이상의 벽들의 적어도 하나에 그리고 저장소 및 반응 셀 챔버 중 적어도 하나의 내부에 위치할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 용융 갈륨 표면 및 일부 용융 갈륨으로부터 제거된 적어도 하나의 산화 갈륨을 수령하여 산화 갈륨을 선택적으로 유지하는 반면 저장소나 반응 셀 챔버와 같은 소스로 갈륨을 복귀시키는 필터나 체를 더 포함할 수 있다. 이 필터나 체는 표면으로부터 상승될 수 있는 홈통을 포함할 수 있다. 이 홈통은 표면 파의 소스의 작동에 의해 산화 갈륨 및 갈륨 중 적어도 하나를 수령할 수 있다. 이 홈통은 반응 셀 챔버의 한 쪽을 따라 진행될 수 있다. 홈통은 갈륨이 그 소스로 다시 배수되도록 하는 천공을 바닥에 가질 수 있다. 홈통은 오거와 같은 운반기를 더 포함할 수 있다. 오거는 진공처리 가능한 밀봉된 관통이나 자기 결합기 그리고 당업계에서 알려진 것과 같은 외부 구동 장치를 포함할 수 있다. 오거는 반응 셀 챔버(5b31)부터 갈륨 재생 시스템까지의 산화 갈륨 채널로 산화 갈륨을 운반할 수 있다.

[0694] 실시예에서, 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)의 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 전력을 표면 산화물로 전달하는 일련의 전극을 포함한다. 이 전극들은 시간 지연되는 순차적 고압 펄프로써 산화 갈륨을 산화물로 덮인 표면 안으로 밀어서 저장소 표면을 진행하는 상응하는 열파를 갖는 아크 전류의 진행파를 생성할 수 있다. 이 열파는 다시 산화 갈륨을 산화물 채널 안으로 이는 열파를 생성한다. 산화 갈륨 표면을 제거하는 기전은 열 영동을 포함할 수 있다.

[0695] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5c1)로부터 갈륨 재생 시스템까지의 운반기는 반응 셀 챔버(5c1)와 갈륨 재생 시스템 사이의 용융 금속 컬럼을 포함하는 실과 같은 실을 유지하는 전자기 펌프 등의 펌프를 포함할 수 있다. 실시예에서, 갈륨 재생 시스템부터 반응 셀 챔버(5c1)까지의 운반기는 갈륨 재생 시스템과 반응 셀 챔버(5c1) 사이의 용융 금속 컬럼을 포함하는 실과 같은 실을 유지하는 전자기 펌프 등의 펌프를 포함할 수 있다. 이 실은 반응 셀 챔버(5c1) 및 갈륨 재생 시스템의 가스 및 압력 가운데 적어도 하나의 분리를 허가할 수 있다. 다른 실시예에서, 반응 셀 챔버(5c1)부터 갈륨 재생 시스템까지의 운반기는 중력 흐름을 허가하는 채널과 같은 수동 장치를 포함할 수 있다. 이 트랩을 포함하는 것과 같은 채널은 반응 셀 챔버(5c1)와 갈륨 재생 시스템 사이에 용융 금속 컬럼을 포함하는 실과 같은 실을 유지할 수 있다. 이 채널은 운반된 갈륨으로부터의 열 회수 및 갈륨의 냉각 가운데 적어도 하나를 실행하는 열 회수기나 열 교환기를 더 포함할 수 있다.

[0696] 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨이 표면에서 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 반응 셀 챔버(5c1)부터 갈륨 재생 시스템까지의 연결된 산화 갈륨 채널이나 도관 안으로 용융 금속의 흐름 및 산화물의 흐름을 야기할 수 있다. 용융 금속 흐름은 채널이나 도관 안으로 산화물을 쓸어버리고 막힘 없이 운반기에 의해 재생 시스템으로의 운반을 허가하는데 충분할 수 있다. 재생 시스템은 수용성 염기 전해질을 포함하는 것과 같은 전기분해 시스템, 스테인레스강 전극과 같은 2개의 전극 그리고 캐소드와 갈륨 채널의 입구, 도관 또는 갈륨 재생 저장소부터 반응 셀 챔버까지의 튜브를 향해 경사진 바닥을 가진 전기분해 전지를 포함할 수 있다. 산화물을 쓸어내리는 역할을 하는 용융 금속은 경사진 바닥을 따라 갈륨 채널의 입구 안으로 흐를 수 있으며 또한 저장소나 반응 셀 챔버로 운반될 수 있다. 이러한 운반은 재생된 갈륨으로 이루어질 수 있다. 예시적 실시예에서, 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31) 안의 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 전자기 펌프에 의해 공급될 수 있는 용융 금속 제트를 포함하는데, 용융 금속의 공급은 재생 시스템 및 저장소 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 용융 금속의 제트로의 펌핑 속도는 산화 갈륨을 쓸어내는데 필요한 양에 기반하여 제어기에 의해 조절할 수 있다. 산화 갈륨을 쓸어내는데 필요한 양은 형성되는 양에 의존적일 수 있다. 형성되는 산화 갈륨의 양에 대한 제어기로의 매개변수인 입력은 물 주입 속도를 포함한다. 대안적 실시예에서, 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 그 위에 SunCell®이 장착되는 진탕기 테이블을 포함한다. 진탕기 테이블의 흔들림 동작은 산화 갈륨이 안으로 반응 셀 챔버(5c1)부터 갈륨 재생 시스템까지의 산화 갈륨 채널 안으로 흐르도록 강제할 수 있다. 다른 실시예에서, 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 SunCell®이 그 위에 장착된 회전 플랫폼을 포함할 수 있는데, 테이블의 회전에 따른 원심력이 산화 갈륨을 반응 셀 챔버(5c1)부터 갈륨 재생 시스템까지의 산화 갈륨 채널 안으로 흐르도록 강제할 수 있다.

[0697] 실시예에서, 반응 셀 챔버(5c1)로부터 갈륨 재생 시스템까지의 운반기는 재생된 갈륨용 저장소로부터 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)까지의 갈륨 운반기를 포함할 수 있다: 후자의 운반기는 산화 갈륨 채널에서 흡입을 생성할 수 있다. 예시적 실시예에서, 재생 갈륨 저장소로부터 상응하는 EM 펌프 운반기에 의한 갈륨의 펌핑은 산화 갈륨 채널을 따라 부분적 진공을 생성하여 산화 갈륨이 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)로부터 갈륨 재생 시스템까지 흡입되도록 야기시킨다. 반응 셀 챔버나 저장소 및 재생 시스템을 포함하는 SunCell® 구성요소들을 연결하는 적어도 하나의 도관에서의 흐름 저항은 상응하는 챔버들 사이의 실을 유지하기에 충분할 수 있다.

[0698] 산화되는 용융 금속을 포함하는 실시예에서, 플라즈마 반응은 전도성이 덜한 산화된 금속 표면에 대해 금속 표면을 선호한다. 예를 들어, 하이드리노 반응 속도의 방대한 증가에 따른 이온-전자 재결합을 선호하는 아크 전류 형성은 첨가된 수증기와 금속 갈륨의 반응에 기인하여 시간에 따라 형성되는 산화 갈륨 표면보다 금속 갈륨 표면을 선호할 수 있다. 산화 갈륨으로부터 갈륨 표면을 다시 찾기 위해, SunCell®은 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단을 포함할 수 있다. 산화물 표면 코팅을 제거하는 예시적 수단은 (i) 저장소의 갈륨 액체 레벨에 위치하는 반응 셀 챔버의 내부에 위치하는 경사진 평면 스크린 등의 경사지고 천공된 플랫폼과 같은 수집기 그리고 (ii) 갈륨이 스크린을 통해 흘러 저장소로 복귀하는 동안 산화 갈륨을 선택적으로 수집하는 스크린 위로 산화 갈륨을 감지하는 반응 셀 챔버의 맞은 편에 있는 비활성 가스나 용융 갈륨 제트를 포함한다. 수집된 산화 갈륨은 운반기에 의해 갈륨 재생 시스템으로 더 운반될 수 있다.

[0699] 실시예에서, 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단은 용융 금속 제트를 포함한다. 실시예에서, 적어도 하나의 용융 금속 제트는 적어도 하나의 주입된 용융 금속 스트림을 용융 갈륨과 같은 저장소 금속 상의 산화물 표면 코팅에 인가하는 전자기 펌프 등의 용융 금속 펌프의 출구 노즐을 포함할 수 있다. 주입된 스트림의 힘으로 갈륨 재생 시스템에 대한 운반기와 같은 희망하는 위치로 산화물 코팅을 밀 수 있다. 용융 금속 제트 펌프의 입구는 저장소의 용융 금속과 갈륨 재생 시스템의 용융 금속 가운데 적어도 하나와 연속될 수 있다. 예시적 실시예에서, 용융 금속 제트는 Ga_2O_3 , Ga_2O 및 Ga 중 적어도 하나를 포함하는 저장소의 표면 층을 수용성 NaOH와 같은 염기성 전해질 및 전기분해 시스템을 포함할 수 있는 갈륨 재생 시스템으로 향하는 도관 안으로 강제한다. Ga_2O 는 전기분해 시스템의 애노드에서 발생하는 산소와 반응하여 Ga_2O_3 로 산화될 수 있다. Ga_2O_3 는 갈산 나트륨과 같은 상응하는 갈레이트를 형성할 수 있다. Ga는 캐소드에서 저장소 안으로 흐를 수 있고, 갈륨은 저장소 및 반응 셀 챔버로 운반되는 것 그리고 용융 금속 제트 펌프의 입구 안으로 흐르는 것 가운데 하나일 수 있다. 실시예에서, NaOH 등의 화학물질을 저장소와 반응 셀 챔버 중 하나에 첨가하여 산화 갈륨과 반응시킴으로써, 갈산 나트륨과 같은 생성물을 형성할 수 있는데, 이 생성

물은 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단에 의해 저장소 용융 금속의 표면으로부터 쉽게 제거할 수 있다.

[0700]

실시예에서, Ga_2O_3 는 Ga_2O 등의 더 약한 산화물로 환원될 수 있으며, 이 산화물은 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)에 있는 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단에 의해 저장소 용융 금속의 표면으로부터 쉽게 제거될 수 있다. Ga_2O_3 는 (i) Ga_2O_3 에서 Ga_2O 와 같은 임의의 산화 갈륨의 역 분해, (ii) 갈륨과의 반응에 대한 Ga_2O_3 에서 Ga_2O 로의 변환, (iii) 수소에 의한 Ga_2O_3 의 환원, (iv) 현장 전기분해에 의한 Ga_2O_3 의 환원 그리고 (v) 열탄소 환원에 의한 Ga_2O_3 의 환원 그리고 (vi) 본 개시의 다른 방법들에 의한 Ga_2O_3 의 환원 가운데 하나 이상에 의해 Ga_2O 와 같은 다른 산화물로 변환될 수 있는데, 수소와 같은 상응하는 환원제, 탄소 및 전기분해 전해질 그리고 전기분해 전류가 반응 셀 챔버에 추가되고, 희망하는 환원 반응과 열 분해 중 적어도 하나를 허용하는 온도가 유지된다. 실시예에서, Ga_2O 는 용융 갈륨의 표면에 Ga_2O_3 막으로 매립되는 입자를 형성할 수 있다. Ga_2O 입자는 액체 갈륨의 표면으로부터 Ga_2O_3 막을 제거하는 수단에 의해 운반되면서 Ga_2O_3 막을 함께 이동시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, 용융 갈륨의 표면에 있는 Ga_2O_3 막에 매립된 Ga_2O 입자는 적어도 하나의 EM 펌프에 의해 생성되는 제트나 흐름에 의해서 막이 함께 운반되도록 야기한다. 제트나 흐름의 야기에 사용되는 임의의 갈륨 금속은 산화 갈륨으로부터 분리하여 재순환될 수 있다.

[0701]

산화 갈륨 막을 제거하는 펌프는 산화 갈륨에 흡입을 인가하여 산화 갈륨 표면 층을 그 더 낮은 밀도로 인해 선택적으로 제거할 수 있다. 예시적 기계식 스키머는 샤프트 그리고 기계식 링크지 및 전원과 제어기를 갖춘 외부 구동 모터를 포함하는 것이다. 다른 예시적 스키머 실시예는 내부 막대와 같은 위상의 외부 교반 자석에 의해 회전되는 반응 셀 챔버 내부의 교반 막대를 포함한다. 이 교반 막대는 쿨리 온도가 높은 코발트나 철 같은 자성이나 강자성 물질을 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버는 정육면체나 직육면체 반응 셀 챔버의 벽들의 하나와 같은 적어도 하나의 평평한 수직 벽을 포함할 수 있는데, 교반 막대가 벽에 평행한 평면에서 작동한다. 교반 막대는 Ga_2O_3 를 그 채널 안을 통해 갈륨 재생 시스템까지 추진시킬 수 있다. 다른 예시적 실시예에서, SunCell®은 저장소(5c)의 안의 액체 금속의 표면을 가로지르는 적어도 하나의 수평 성분을 제공하는 가스 제트를 포함한다. 실시예에서, 저장소(5c)에서 갈륨 상부에 부유하는 산화 갈륨 층은 반응 셀 챔버(5b31) 가스와 같은 가스 제트 등의 가스 제트에 의해 채널을 통해 전기분해 시스템과 같은 갈륨 재생 시스템으로 강제된다. 이 가스 제트는 가스 입구, 가스 출구, 노즐의 방향이 제어가능한 적어도 하나의 노즐 그리고 가스 흐름 및 노즐 방향 중 적어도 하나의 제어 시스템을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, SunCell®은 부유하는 산화 갈륨 층에서의 원심력이 산화 갈륨 층을 싸서 원주 방향으로 흘러서 채널 안을 통해 전기분해 시스템까지 흐르도록 야기하는 수단을 포함한다. SunCell®은 SunCell®이 장착된 회전 테이블과 같은 회전 수단을 포함할 수 있다. 갈륨 재생 시스템은 전기분해 전지를 포함할 수 있다. 전기분해 전지는 적어도 두 개의 전극, 전해질, 전기분해 전원, 전기분해 제어기 그리고 저장소와 반응 셀 챔버 중 적어도 하나로부터 또는 그것까지의 채널을 포함하는 입구 및 출구 채널을 갖춘 갈륨 채널 저장소를 포함할 수 있다.

[0702]

갈륨 재생 시스템은 Ga_2O_3 환원 시스템을 포함할 수 있다. 갈륨 재생 시스템은 수용성이나 용융 전기분해 전지와 같은 Ga_2O_3 전기분해 전지를 포함할 수 있다. Ga_2O_3 는 전기분해를 거쳐 캐소드에서는 갈륨 금속이 되고, 애노드에서는 O_2 , H_2O 또는 Ga_2O_3 전기분해 전지에서 선택적으로 배출되는 CO_2 와 같은 휘발성이나 기체 산화물 등의 다른 산화물 가운데 적어도 하나로 변환될 수 있다. 후자의 경우, 애노드와 같은 적어도 하나의 전극이 탄소를 포함할 수 있다. O_2 , H_2O 또는 CO_2 등의 휘발성이나 기체의 산화물과 같은 다른 산화물을 선택적으로 배출할 수 있다. 산화 갈륨으로부터 갈륨의 재생에 따른 산소와 같은 다른 생성물의 배출 수단은 가스를 수집하여 벤트 튜브 안으로 흐를 수 있게 하는 애노드를 적어도 부분적으로 덮은 하우징 그리고 탱크나 배기에 대한 벤트 튜브를 포함할 수 있다. 이 하우징은 벨 자(bell jar)를 포함할 수 있는 하단부가 열린 선택적 염 가교와 같은 전해질 이온 흐름에 투과성인 섹션을 적어도 하나 포함할 수 있다. 실시예에서, Ga_2O_3 를 수산화 나트륨 등의 수산화 알칼리와 같은 수산화물로 처리하여 갈산 나트륨을 형성하고, 이는 스테인레스강 캐소드와 같은 캐소드에서 갈산 나트륨 용액의 전기분해에 의해 캐소드에서 갈륨 금속으로 환원될 수 있다. 실시예에서, 적어도 하나의 전극이 스테인레스강, 니켈, 탄소, Pd, Pt, Au, Ru, Rh, Ir과 같은 귀금속, 치수 안정화 전극 및 당업자에게 알려진 염기에서 안정한 다른 애노드 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 갈륨 금속을 선택적으로 펌핑할 수 있는 EM 펌프에 의해 저장소(5c) 및 반응 셀 챔버(5b31) 중 적어도 하나로 복귀시킬 수 있

다.

[0703] 산화 갈륨을 이동시키는 예시적 스키머 시스템은 산화 갈륨을 축적하는 용융 금속 표면의 단면을 걸치는 천공된 이동가능 판을 포함할 수 있으며, 스키머가 산화 갈륨을 이동하는 방향에 대략 수직인 방향으로 산화 갈륨을 이동하는 횡방향 운반기를 더 포함할 수 있다. 스키머는 점화 전류나 플라즈마의 단락을 피하기 위해 BN 스키머와 같은 세라믹 스키머 또는 멀라이트 알루미늄 또는 BN 도포된 스테인레스강, 텅스텐 또는 탄탈 스키머와 같은 세라믹 도포된 금속 스키머와 같이 전기적으로 비전도성일 수 있다. EM 펌프가 용접되지 않은 관통을 피하는 유압 스키머 드라이버의 역할을 할 수 있다. 이 EM 펌프는 액추에이터로 유압 피스톤을 구동하거나 유압 모터를 구동할 수 있다. 스키머는 EM 펌프를 포함하는 것과 같은 유압 모터 등이 가역적 모터에 의해 구동될 수 있다. 스키머는 산화 갈륨을 하나의 벽까지 먼 다음 방향을 뒤집어 산화 갈륨을 반대쪽 벽으로 밀 수 있다. 스키머는 걸어진 산화 갈륨을 스키머의 방향과 수직되는 방향으로 이동시키기 위해 적어도 하나의 벽을 따라 횡방향 운반기를 포함할 수 있다. 이 운반기는 액체 갈륨이 오거 주위로 흐를 수 있게 하면서 산화물을 모서리로 선택적으로 밀어내는 액체 갈륨에 부분적으로 현수된 나사나 개방 오거를 포함할 수 있다. 스키머 시스템은 횡방향 운반기가 EM 펌프 유압 모터와 같은 동일한 드라이버에 의해 구동될 수 있도록 스키머와 적어도 하나의 횡방향 운반기 사이에 적어도 하나의 기계식 링크지를 포함할 수 있다. 실시예에서, 스키머는 개방 오거와 같은 오거를 포함한다. 횡방향 운반기는 횡방향 스키머를 포함하는 본 개시의 스키머를 포함할 수 있다. 횡방향 스키머의 운동은 스키머로부터 산화물을 받아서 두 개의 스키머들 사이에서 방해 없이 산화물 채널 안으로 이동시킬 수 있는 적합한 위치에 있도록 스키머의 운동과 동기화시킬 수 있다.

[0704] 실시예에서, 스키머는 허브와 스포크 산화 갈륨 막 스키머를 포함할 수 있는데, 그 주입이 개방 허브를 통해 발생할 수 있다. 스키머는 EM 펌프 구동 모터 등의 유압 모터와 같은 모터에 의해 동력이 전달되는 허브를 중심으로 회전할 수 있다. 스키머는 산화 갈륨이 걸히는 주변의 산화 갈륨 채널을 포함할 수 있는 원통형 반응 셀 챔버의 표면을 거친다. 걸린 산화 갈륨이 스키머의 스포크를 따라 산화 갈륨 채널 안으로 흐르도록 원심력의 생성을 위해 고속으로 회전시킬 수 있다.

[0705] 실시예에서, SunCell®은 산화 갈륨이 운반되는 산화 갈륨 보관 저장소를 포함하며, SunCell®은 작동 동안 산화 갈륨을 형성하는 갈륨을 보충하는 보충용 갈륨 저장소를 더 포함할 수 있다. SunCell®은 이 저장소에 축적되는 임의의 갈륨을 다시 반응기 저장소(5c)나 반응 셀 챔버(5b31)로 복귀시키기 위해 산화 갈륨 보관 저장소 하부에 갈륨 복귀 운반기를 포함할 수 있으며 갈륨 복귀 운반기는 산화 갈륨을 차단하는 입구 필터를 더 포함할 수 있는 EM 펌프 같은 펌프를 포함할 수 있다. 시간이 지남에 따라 산화 갈륨 보관 저장소에 수집되는 산화 갈륨은 갈산 나트륨 전기분해 시스템과 같은 본 개시의 재생 시스템에서 회분식으로 재생할 수 있다. SunCell®은 산화 갈륨 보관 저장소에서 갈륨 재생 시스템으로 산화 갈륨을 운반하는 본 개시의 것과 같은 탱크 방출 운반기를 더 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 약 50 kW의 이론적 하이드리노 전력에 상응하는 분당 주입된 1 ml의 물 당 산화 갈륨의 축적 속도는 3.4 g/분(0.54 ml/분)이다.

[0706] 실시예에서, 스키머는 적어도 하나의 벨트나 케이블 세트 또는 체인(701) 세트를 포함하며 벨트에 또는 케이블이나 체인 사이에 부착된 천공된 버켓이나 패들(702)를 가진 것과 같은 컨베이어를 포함할 수 있다(도 32). 이 버켓은 스키머 그리고 걸린 산화 갈륨을 산화 갈륨 보관 저장소(5b33) 안으로 올리는 버켓 승강기 가운데 하나의 역할을 한다. 버켓은 갈륨과 합금을 형성하거나 반응하지 않는 세라믹, W 또는 Ta와 같은 내화 물질을 포함할 수 있다. 탄탈과 세라믹 BN은 기계가공 가능한 예시적 물질이다. 벨트 또는 한 쌍의 케이블이나 체인에서 반대쪽 부재는 스프로킷, 코그 또는 폴리(703) 가운데 적어도 하나 위에서 구속되고 인도될 수 있는데, 스프로킷, 코그 또는 폴리 가운데 적어도 하나가 전기, 공압, 유압 또는 전자기 펌프 모터 등의 모터에 의해 켜진다. 컨베이어 벨트, 케이블 또는 체인은 적어도 하나의 버켓이 반응 셀 챔버(5b31)나 저장소의 일 벽부터 반대쪽 벽까지 용융 갈륨 표면을 따라 이동한 다음 컨베이어 상부까지 경사를 오르도록 야기할 수 있는데, 걸린 산화 갈륨이 산화 갈륨 보관 저장소(5b33) 안으로 떨어진다. 컨베이어는 버켓을 일 벽으로 복귀시켜 걸어내기 사이클을 반복할 수 있다. 노즐(5q)를 포함하는 것과 같은 용융 금속 주입기는 버켓이 더 얇게 잠기도록 하여 노즐위를 통과하도록 반응 셀 챔버(5b31)나 저장소(5c)의 용융 금속에 충분히 잠길 수 있다. 반응 셀 챔버는 컨베이어의 경사진 섹션이나 버켓 승강기 섹션을 위한 하우징(5b32) 및 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)를 포함할 수 있다. 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)는 컨베이어의 버켓 승강기 섹션으로부터 산화 갈륨을 받기 위해 그 상부에 개구를 포함할 수 있다. 반응 셀 챔버(5b31)나 저장소는 반응 셀 챔버나 저장소의 용융 갈륨을 부분적으로 차단하는 반면 버켓 스키머의 통로에 대한 개구를 포함하는 버켓 통로(704)를 포함할 수 있다. 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)의 상부 개구까지의 높이가 용융 갈륨에 의해 생성되는 임의의 기계적 파동으로 인해 버켓 통로를 통해서 흐를 수 있는 임의의 흐르는 용융 갈륨에 의해 버켓 승강기로 향하여 그 벽을 돌파하는 것을 차단하도록

충분할 수 있다. 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)는 수집된 산화 갈륨이 제거되어 재생될 수 있도록 플랜지(5b33a) 및 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)를 제거하기 위해 제거할 수 있는 짝지어진 플랜지 판(5b33b)을 포함할 수 있는데, 빈 산화 갈륨 보관 저장소(5b33)가 재조립된다.

[0707] 실시예에서, 점화 전류가 일정한 점화 전압에서 감소하거나 점화 전압이 일정한 점화 전류의 유지를 위해 증가 되도록 산화 갈륨 막의 형성은 점화 전류 저항을 증가시킨다. 실시예에서, 스키머는 전류, 점화 전압 및 점화 전류 저항의 점화 매개변수들 가운데 적어도 하나를 감시하여 점화 매개변수들 회망하는 범위에 유지하도록 산화물 코팅을 제거하는 스키머를 작동시키는 제어기를 포함한다.

[0708] 실시예에서, 저장소 및 반응 셀 챔버 중 적어도 하나를 옥시산화 갈륨과 수산화 갈륨 중 적어도 하나의 분해 온도보다 더 높은 온도에서 유지할 수 있다. 이 작동 온도는 약 $200^{\circ}\text{C} \sim 2000^{\circ}\text{C}$, $200^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 및 $200^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 가운데 적어도 한 범위에 유지할 수 있다. 견어내는 종들은 옥시수산화 갈륨과 수산화 갈륨의 형성이 억제되는 경우 산화 갈륨으로 제한될 수 있다.

[0709] 반응 혼합물은 반응 혼합물로부터 이 성분들의 일부를 제거하기 위해 존재하는 산소나 물의 일부와 현장에서(즉 반응 챔버에서) 반응할 수 있는 첨가제를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 그 첨가제를 사용하여 이 성분들을 재생 시스템으로 운반할 수 있다. 궁극적으로 첨가제와 반응한 산소 및 물은 재생 시스템을 거쳐 배출될 수 있다(즉, 전체 시스템으로부터). 특별한 실시예에서, 이 첨가제는 산소 및/또는 물에 의해 산화될 수 있다. 예를 들어, 산화된 첨가제(예: 산화 갈륨과 같은 금속 산화물)는 반응 챔버에서 첨가제의 첨가(예: 용융 금속에서 갈륨 첨가제)로부터 반응 챔버에서 형성될 수 있다. 산화된 첨가제는 그 생산 이후 재생 시스템(예: 환원 시스템)으로 운반될 수 있다. 일반 재생 시스템으로 운반되면, 산화된 첨가제는 환원되어 반응 챔버에 이전에 존재한 산소 및/또는 물 그리고 재생된 첨가제를 조래할 수 있다. 다음 이 첨가제는 추가 사용을 위해 반응 챔버로 복귀시킬 수 있으며, 반응 챔버에 이전에 존재했던 산소 및/또는 물은 추출될 수 있다.

[0710] 실시예에서, 반응 혼합물은 산소와 물 가운데 적어도 하나와 반응하는 금속이나 화합물과 같은 종을 포함하는 첨가제를 포함할 수 있다. 첨가제는 재생될 수 있다. 이 재생은 SunCell®의 적어도 한 시스템에 의해 성취될 수 있다. 재생 시스템은 열, 플라즈마 및 전기분해 시스템 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 첨가제는 용융 은을 포함하는 반응 혼합물에 첨가될 수 있다. 실시예에서, 첨가제는 용융 금속을 포함하는 용융 은에 첨가할 수 있는 갈륨을 포함할 수 있다. 실시예에서, 물을 반응 셀 챔버에 공급할 수 있다. 물을 주입기에 공급할 수 있다. 갈륨은 반응 혼합물에 공급된 물과 반응하여 수소 및 갈륨을 형성할 수 있다. 수소는 하이드리노 촉매의 역할을 하는 일부 잔류 HOH와 반응할 수 있다. 산화 갈륨은 본 개시의 전기분해 시스템에 의해 재생할 수 있다. 갈륨 금속과 전기분해 시스템에 의해 환원되어 생성된 산소를 각각 반응 셀 챔버로 다시 펌핑하고 셀로 배출할 수 있다.

[0711] 실시예에서, Ga_2O_3 상에서 전기분해를 수행하는 전해질은 알칼리 할라이드와 GaF_3 와 같은 갈륨 할라이드를 포함한다. 전해질은 Al이 Ga로 치환된 크라이올라이트의 유사체인 Na_3GaF_6 등의 용융 염을 포함할 수 있다. 실시예에서, Ga_2O_3 는 HCl과 같은 HX (x = 할라이드)로 반응시켜 GaCl_3 를 형성할 수 있다. 실시예에서, GaCl_3 의 용융물은 전기분해하여 캐소드에서는 Ga 금속을 그리고 애노드에서는 Cl_2 가스를 각각 형성할 수 있다. 염소 가스는 물의 전기분해에 따른 H_2 등의 소스로부터의 수소와 반응하여 HCl을 형성할 수 있다.

[0712] 실시예에서, SunCell®은 적어도 하나의 반응물과 Ga_2O_3 를 반응시켜 휘발성 생성물을 형성하는 시스템들, 휘발성 생성물의 응축기, 전기분해 전지와 같은 갈륨 재생 시스템 그리고 휘발성 생성물과 재생된 갈륨을 각각 갈륨 재생 시스템으로/으로부터 운반하는 채널 및 운반기들을 포함한다. 그 반응물은 HX (X = 할라이드)와 같은 산을 포함할 수 있다. Ga_2O_3 는 HX (X = 할라이드)와 같은 산과 반응시켜 휘발성일 수 있는 GaX_3 를 형성할 수 있다. 기체성 GaX_3 는 갈륨 재생 시스템의 구성요소를 포함할 수 있는 응축기에서 응축시킬 수 있다. GaCl_3 나 GaBr_3 등의 GaX_3 는 전기분해하여 캐소드에서는 Ga 금속을 애노드에서는 X_2 가스를 각각 형성할 수 있다. X_2 가스는 H_2O 의 전기분해에 따른 H_2 등의 소스로부터의 수소와 반응하여 HX 를 형성할 수 있다. SunCell®은 갈륨 재생 저장소를 더 포함할 수 있는데, 여기서 Ga_2O_3 가 운반되어 HX 와 반응하여 갈륨이 형성된다. HX 가스는 저장소, 반응 셀 챔버 및 재생 저장소 가운데 적어도 하나로 방출되어 GaX_3 및 H_2O 를 형성할 수 있다.

[0713] 실시예에서, 용융 금속은 임의의 용융 금속을 포함할 수 있다. 용융 금속이 산화 금속 생성물과 같은 하이드리노 반응 혼합물의 한 성분과의 반응에 의한 생성물을 형성하는 경우, 그 용융 금속은 재생될 수 있는 것을 포함

할 수 있다. 실시예에서, SunCell®은 용융 금속을 재생하고 재순환하는 수단을 포함한다. 실시예에서, 용융 금속은 수소 환원 및 전기분해 가운데 하나에 의해 재생시킬 수 있는 산화물을 형성하는 것을 포함할 수 있는데, 금속 재생 수단은 전기분해 전지 및 수소 환원 반응기 가운데 적어도 하나를 포함한다. 금속을 재생하는 시스템은 산화 금속을 환원시키는 수소의 소스를 더 포함하고 재생된 용융 금속을 재순환하거나 재활용할 수 있는 본 개시의 전기분해 재생 시스템을 포함할 수 있다. 수소 환원에 의해 재생할 수 있는 예시적 금속은 구리와 니켈이다. 실시예에서, 전기분해 챔버는 수소 환원 챔버로 교체할 수 있다. 다른 실시예에서, 갈륨을 알루미늄으로 대체할 수 있으며, 재생 시스템은 탄소 전극 및 크라이올라이트(Na_3AlF_6)와 같은 용융 염 전해질을 포함하는 것과 같은 알루미늄 전기분해 전지를 포함할 수 있다.

[0714] 실시예에서, 수소 가스를 첨가하여 주입된 물과 갈륨의 반응에 의해 형성된 산화 갈륨 막을 제거할 수 있다. 다른 실시예에서, 아르곤 등의 영족 기체, 질소, CO_2 , 메탄이나 프로판 등의 탄화수소 또는 본 개시의 다른 가스와 같은 첨가제 가스를 첨가하여 산화 갈륨 막의 제거를 지원할 수 있다. 이 첨가제 가스는 $\text{H}_2\text{O} + \text{Ga} \rightarrow \text{Ga}_2\text{O}_3 + \text{H}_2$ 반응으로부터의 원자 H를 증가시킬 수 있다. 아르곤과 같은 첨가제 가스는 하이드리노 반응 속도를 증가시킬 수 있는데, 방출되는 높은 에너지가 산화 갈륨 막의 분해를 원활하게 한다. 첨가제 가스는 H_2O , OH^- , Ga_2O_3 , OH 및 Ga_2O 가운데 적어도 하나와 같은 반응 셀 챔버에서의 종과 반응하여 산화 갈륨 막의 전기분해 환원을 강화시키는 전해질을 형성할 수 있다. 영족 기체와 같은 첨가제 가스는 플라즈마의 이온화 분율을 증가시켜 그 전도도를 증가시키고 산화 갈륨을 통해 흐르는 환원 전류를 증가시킬 수 있다. 첨가제 가스는 더 높은 질량과 같은 물성에 기인하여 다른 가스들에 대하여 반응 셀 챔버에서 더 긴 반감기를 가질 수 있다. 첨가된 수소나 첨가제 가스는 산화 갈륨 막의 환원을 성취하기 위해 임의의 희망하는 양일 수 있다. 반응 셀 챔버에서 수소나 첨가제 가스 중 적어도 하나가 약 0.1 Torr ~ 100 기압, 1 Torr ~ 1 기압 및 1 Torr ~ 10 Torr 가운데 적어도 하나의 압력 범위에 있을 수 있다. 적어도 하나의 수소나 첨가제 가스가 반응 셀 챔버 용적의 리터당 속도를 약 0.001 sccm ~ 10분당 리터, 0.001 sccm ~ 10분당 리터 및 0.001 sccm ~ 10분당 리터 가운데 적어도 하나의 범위에서 반응 셀 챔버 안으로 흐를 수 있다.

[0715] 실시예에서, H_2O 주입기는 전극들 사이의 영역과 같은 반응 셀 챔버의 하이드리노 플라즈마 영역 안으로 H_2O 를 주입할 수 있다. 플라즈마 주입은 하이드리노 플라즈마가 가장 강력한 양극의 근처에서 일 수 있다. 플라즈마 안으로 H_2O 의 주입은 방출되는 플라즈마의 강화, 물에 의한 갈륨과의 산화물 형성의 방지 그리고 산화 갈륨 환원이나 분해에 대한 기여 가운데 하나를 실행할 수 있다. 주입기는 용융 금속 주입기 위의 갈륨 표면과 같은 희망하는 위치로 물을 향하게 할 수 있는 셀 챔버 벽에 있는 오리피스 혹은 반응 셀 챔버 내부의 노즐을 포함할 수 있다. 이 노즐은 희망하는 위치로 희망하는 전달을 성취하는 위치와 각도에서 진입할 수 있다. 예시적 실시예에서, 노즐은 셀의 상부에 위치하여 주입된 물을 갈륨 표면에 있는 플라즈마 중앙으로 하향하게 할 수 있거나, 내화 노즐이 용융 갈륨을 통하는 도관을 포함할 수 있고 또한 물을 갈륨 표면으로 향하게 하는 아크를 더 포함할 수 있다. 노즐은 작은 구멍, 확산-수렴 노즐 또는 당업계에서 알려진 다른 노즐을 포함하여 물을 희망하는 위치로 향하게 할 수 있다. 노즐은 액체를 가열하여 적어도 기체성 물로 변환시키는 히터와 열교환기 등의 수단을 포함할 수 있다. 이러한 기체성 물로의 변환은 압력 증가를 야기할 수 있으며 이것은 물을 희망하는 위치로 주입하는 추진제의 역할을 할 수 있다. 실시예에서, 주입된 물 방울이나 입자는 정전기적 등의 수단에 의해 음으로 하전되는 것과 같이 하전될 수 있다. 이 입자는 노즐 출구의 전극, 주입되는 입자가 통과하는 코로나 방전 그리고 노즐과 같은 하전시키는 물질이나 구조에 의한 입자의 마찰 가운데 적어도 하나에 의해 하전될 수 있다. 주입된 물이 갈륨 표면으로 끌리도록 양극 하전과 같이 갈륨을 반대로 하전시킬 수 있다. 주입된 입자는 전극의 축을 대략 따르는 영역으로 향하게 할 수 있다.

[0716] 실시예에서, 수소는 촉매로서 역할을 할 수 있다. 하이드리노의 형성을 위해 촉매 및 H 원자로 $n\text{H}$ (n 은 정수)를 공급하는 수소의 소스는 H_2 가스를 포함할 수 있으며, 이것은 고압 물 전기분해로부터의 수소 흐름을 제어하는 질량 흐름 제어기를 사용하여 EM 펌프 튜브(5k4)에 있는 23% Ag/77% Pd 합금 막 등의 Pd나 Pd-Ag와 같은 수소 투과성 막을 통해 공급할 수 있다. HOH 촉매의 대안 촉매로서 수소를 사용함으로써 탄소 반응 셀 챔버(5b31)와 같은 적어도 하나의 셀 구성요소의 산화 반응을 피할 수 있다. 반응 셀 챔버에 유지되는 플라즈마는 H_2 를 해리하여 H 원자를 제공할 수 있다. 탄소는 탄소와 수소 사이의 반응을 억제시키는 열분해 탄소일 수 있다.

[0717] 고체 연료 SunCell®

[0718] 실시예에서, SunCell®은 반응하여 하이드리노를 형성하는 적어도 하나의 반응물을 형성하는 고체 연료를 포함

한다. 하이드리노 반응물들은 하이드리노를 형성하기 위해 원자 H와 촉매를 포함할 수 있다. 촉매는 신생 물인 HOH를 포함할 수 있다. 이 반응물은 SunCell®에서 적어도 부분적으로 현장에서 재생될 수 있다. 고체 연료는 반응 셀 챔버(5b31)에서 플라즈마 열 구동 반응에 의해 재생될 수 있다. 이러한 재생은 반응 셀 챔버(5b31)에서 유지되고 방출되는 플라즈마 열 구동 반응에 의해 재생될 수 있다. 이러한 재생은 반응 셀 챔버(5b31)에서 유지되고 방출되는 플라즈마 열 전력에 의해 성취할 수 있다. 고체 연료 반응물들은 하이드리노 또는 저에너지 수소 화합물 및 물질의 성분과 하이드리노를 포함하는 생성물들에서 소모되는 원소의 소스를 공급하여 재생할 수 있다. SunCell®은 SunCell®에서 하이드리노 반응의 전과 동안 고체 연료에 의해 손실되는 임의의 것을 대체하는 H 및 산소의 소스 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. H 및 O의 적어도 하나의 소스는 H₂, H₂O 및 O₂ 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 재생 실시예에서, H₂(1/4)의 형성을 위해 소모되는 H₂는 H₂ 및 H₂O 중 적어도 하나의 첨가로 대체되는데, H₂O는 HOH 및 O₂ 가운데 하나의 소스로 더 역할을 할 수 있다. 최적화를 위해 CO₂ 및 아르곤 등의 영족 기체 가운데 적어도 하나가 반응 혼합물의 한 성분이 될 수 있는데, CO₂가 HOH 촉매를 형성하는 산소의 소스 역할을 할 수 있다.

[0719]

실시예에서, SunCell®은 반응 셀 챔버에서 형성된 임의의 생성물에서 적어도 하나의 출발 물질의 적어도 일부를 재생하는 전기분해 전지를 포함한다. 이 출발 물질은 고체 연료의 반응물들의 적어도 하나를 포함할 수 있는데, 그 생성물이 하이드리노 반응물들을 형성하는 고체 연료 반응에 의해 형성될 수 있다. 출발 물질은 갈륨이나 은과 같은 용융 금속을 포함할 수 있다. 실시예에서, 용융 금속은 용융 금속과 비반응성이다. 예시적 비반응성 용융 금속은 은을 포함한다. 전기분해 전지는 저장소(5c), 반응 셀 챔버(5b31) 그리고 저장소(5c) 및 반응 셀 챔버(5b31) 중 적어도 하나의 외부에 별도의 챔버 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 전기분해 전지는 적어도 (i) 두 개의 전극, (ii) 별도의 챔버를 위한 입구 및 출구 채널과 운반기, (iii) 적어도 하나의 용융 금속 그리고 저장소, 반응 셀 챔버 및 별도의 챔버 가운데 적어도 하나에 있는 반응물 및 생성물을 포함할 수 있는 전해질, (iv) 전기분해 전원 및 (v) 전기분해용 제어기 그리고 해당되는 경우 전기분해 전지 안으로 그리고 밖으로의 운반기용 제어기 및 전원을 포함할 수 있다. 운반기는 본 개시의 것을 포함할 수 있다.

[0720]

실시예에서, 고체 연료 반응은 생성물이나 중간 반응 생성물로 H₂O 및 H를 형성한다. H₂O는 하이드리노를 형성하는 촉매의 역할을 할 수 있다. 반응물들은 적어도 하나의 산화제와 하나의 환원제를 포함하며, 반응은 적어도 하나의 산화-환원 반응을 포함한다. 환원제는 알칼리 금속과 같은 금속을 포함할 수 있다. 반응 혼합물은 수소의 소스 및 H₂O의 소스를 더 포함할 수 있으며, 탄소, 산화물, 붕소화물, 질화물, TiCN 등의 카보니트릴 또는 니트릴과 같은 지지체를 선택적으로 포함할 수 있다. 이 지지체는 금속 분말을 포함할 수 있다. H의 소스는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이, 희토류 수소화물 및 본 개시의 수화물의 군에서 선택할 수 있다. 지지체 상의 귀금속과 같은 본 개시의 것들과 같은 해리기를 더 포함할 수 있는 수소 가스일 수 있다. 물의 소스는 수산화물 또는 Al, Zn, Sn, Cr, Sb 및 Pb의 수산화물 복합체 등의 수산화물 복합체와 같은 탈수화하는 화합물을 포함할 수 있다. 물의 소스는 수소의 소스 및 산소의 소스를 포함할 수 있다. 산소 소스는 산소를 포함하는 화합물을 포함할 수 있다. 예시적 화합물이나 분자는 O₂, 알칼리 또는 알칼리 토류 산화물, 과산화물 또는 초산화물, TeO₂, SeO₂, PO₂, P₂O₅, SO₂, SO₃, M₂SO₄, MHSO₄, CO₂, M₂S₂O₈, MMnO₄, M₂Mn₂O₄, M_xH_yPO₄(x, y = 정수), POBr₂, MClO₄, MNO₃, NO, N₂O, NO₂, N₂O₃, Cl₂O₇ 및 O₂(M = 알칼리; 그리고 알칼리 토류나 다른 양이온이 M을 치환할 수 있음)이다. 다른 예시적 반응물은 다음으로 구성된 군으로부터 선택되는 시약을 포함한다: Li, LiH, LiNO₃, LiNO, LiNO₂, Li₃N, Li₂NH, LiNH₂, LiX, NH₃, LiBH₄, LiAlH₄, Li₃AlH₆, LiOH, Li₂S, LiHS, LiFeSi, Li₂CO₃, LiHCO₃, Li₂SO₄, LiHSO₄, Li₃PO₄, Li₂HPO₄, LiH₂PO₄, Li₂MoO₄, LiNbO₃, Li₂B₄O₇(사붕산 리튬), 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 및 LiZnO_n(n=1, 2, 3 또는 4), 산소음이온, 강산의 산소음이온, 산화제, V₂O₃, I₂O₅, MnO₂, Re₂O₇, CrO₃, RuO₂, AgO, PdO, PdO₂, PtO, PtO₂와 같은 분자 산화제 및 NH₄X에서 X가 질산염이나 CRC에 나열된 다른 적합한 음이온 그리고 환원제. 다른 알칼리 금속이나 기타 양이온이Li를 대체할 수 있다. 산소의 추가 소스는 다음으로 구성된 군에서 선택할 수 있다: MCoO₂, MGeO₂, M₂GeO₃, MMn₂O₄, M₄SiO₄, M₂SiO₃, MTaO₃, MVO₃, MIO₃, MFeO₂, MIO₄, MClO₄, MScO_n, MTiO_n, MVO_n, MCrO_n, MCr₂O_n, MMn₂O_n, MFeO_n, MCoO_n, MNiO_n, MNi₂O_n, MCuO_n, 및

MZnO_n(n=1, 2,3 또는 4), 산소음이온, 강산의 산소음이온, 산화제, V₂O₃, I₂O₅, MnO₂, Re₂O₇, CrO₃, RuO₂, AgO, PdO, PdO₂, PtO, PtO₂, I₂O₄, I₂O₅, I₂O₆, SO₂, SO₃, CO₂, N₂O, NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, Cl₂O, ClO₂, Cl₂O₃, Cl₂O₆, Cl₂O₇, PO₂, P₂O 및 P₂O₅.와 같은 분자 산화제. 반응물들은 하이드리노를 형성하는 임의의 희망하는 비율 일 수 있다. 예시적 반응 혼합물은 0.33 g의 LiH, 1.7 g의 LiNO₃ 그리고 1 g의 MgH₂ 및 4 g의 활성 탄소 분말의 혼합물의 혼합물이다. 적어도 하나의 반응물, H₂O 촉매 및 H₂를 형성하는 추가의 적합한 예시적 반응들이 표 2, 3 및 4에 나와 있다.

[0721]

[표 2] H₂O 촉매 및 H₂에 대한 열 가역적 반응 사이클 [L.C. Brown, G.E. Besenbruch, K.R. Schultz, A.C. Marshall, S.K. Showalter, P.S. Pickard and J.F. Funk, Nuclear Production of Hydrogen Using Thermochemical Water-Splitting Cycles, International Congress on Advanced Nuclear Power Plants (ICAPP) in Hollywood, Florida, June 13-19, 2002에서 발표되고, *Proceedings*에 출판됨.]

Cycle Name	T/E* T (°C)	Reaction
1 Westinghouse	T 850 E 77	2H ₂ SO ₄ (g) → 2SO ₂ (g) + 2H ₂ O(g) + O ₂ (g) SO ₂ (g) + 2H ₂ O(a) → H ₂ SO ₄ (a) + H ₂ (g)
2 Ispra Mark 13	T 850 E 77	2H ₂ SO ₄ (g) → 2SO ₂ (g) + 2H ₂ O(g) + O ₂ (g) 2HBr(a) → Br ₂ (a) + H ₂ (g)
3 UT-3 Univ. of Tokyo	T 600 T 600 T 750 T 300	Br ₂ (l) + SO ₂ (g) + 2H ₂ O(l) → 2HBr(g) + H ₂ SO ₄ (a) 2Br ₂ (g) + 2CaO → 2CaBr ₂ + O ₂ (g) 3FeBr ₂ + 4H ₂ O → Fe ₃ O ₄ + 6HBr + H ₂ (g) CaBr ₂ + H ₂ O → CaO + 2HBr
4 Sulfur-Iodine	T 850 T 450 T 120	Fe ₃ O ₄ + 8HBr → Br ₂ + 3FeBr ₂ + 4H ₂ O 2H ₂ SO ₄ (g) → 2SO ₂ (g) + 2H ₂ O(g) + O ₂ (g) 2HI → I ₂ (g) + H ₂ (g) I ₂ + SO ₂ (a) + 2H ₂ O → 2HI(a) + H ₂ SO ₄ (a)
5 Julich Center EOS	T 800 T 700 T 200	2Fe ₃ O ₄ + 6FeSO ₄ → 6Fe ₂ O ₃ + 6SO ₂ + O ₂ (g) 3FeO + H ₂ O → Fe ₃ O ₄ + H ₂ (g) Fe ₃ O ₄ + SO ₂ → FeO + FeSO ₄
6 Tokyo Inst. Tech, Ferrite	T 1000 T 600	2MnFe ₂ O ₄ + 3Na ₂ CO ₃ + H ₂ O → 2Na ₃ MnFe ₂ O ₆ + 3CO ₂ (g) + H ₂ (g) 4Na ₃ MnFe ₂ O ₆ + 6CO ₂ (g) → 4MnFe ₂ O ₄ + 6Na ₂ CO ₃ + O ₂ (g)
7 Hallett Air Products 1965	T 800 E 25	2Cl ₂ (g) + 2H ₂ O(g) → 4HCl(g) + O ₂ (g) 2HCl → Cl ₂ (g) + H ₂ (g)
8 Gaz de France	T 725 T 825 T 125	2K + 2KOH → 2K ₂ O + H ₂ (g) 2K ₂ O → 2K + K ₂ O ₂ 2K ₂ O ₂ + 2H ₂ O → 4KOH + O ₂ (g)
9 Nickel Ferrite	T 800 T 800	NiMnFe ₄ O ₆ + 2H ₂ O → NiMnFe ₄ O ₈ + 2H ₂ (g) NiMnFe ₄ O ₈ → NiMnFe ₄ O ₆ + O ₂ (g)
10 Aachen Univ Julich 1972	T 850 T 170 T 800	2Cl ₂ (g) + 2H ₂ O(g) → 4HCl(g) + O ₂ (g) 2CrCl ₃ + 2HCl → 2CrCl ₃ + H ₂ (g) 2CrCl ₃ → 2CrCl ₂ + Cl ₂ (g)
11 Ispra Mark 1C	T 100 T 900 T 730 T 100	2CuBr ₂ + Ca(OH) ₂ → 2CuO + 2CaBr ₂ + H ₂ O 4CuO(s) → 2Cu ₂ O(s) + O ₂ (g) CaBr ₂ + 2H ₂ O → Ca(OH) ₂ + 2HBr Cu ₂ O + 4HBr → 2CuBr ₂ + H ₂ (g) + H ₂ O
12 LASL- U	T 25 T 250 T 700	3CO ₂ + U ₃ O ₈ + H ₂ O → 3UO ₂ CO ₃ + H ₂ (g) 3UO ₂ CO ₃ → 3CO ₂ (g) + 3UO ₃ 6UO ₃ (s) → 2U ₃ O ₈ (s) + O ₂ (g)
13 Ispra Mark 8	T 700 T 900 T 100	3MnCl ₂ + 4H ₂ O → Mn ₃ O ₄ + 6HCl + H ₂ (g) 3MnO ₂ → Mn ₃ O ₄ + O ₂ (g) 4HCl + Mn ₃ O ₄ → 2MnCl ₂ (a) + MnO ₂ + 2H ₂ O
14 Ispra Mark 6	T 850 T 170 T 700 T 420	2Cl ₂ (g) + 2H ₂ O(g) → 4HCl(g) + O ₂ (g) 2CrCl ₃ + 2HCl → 2CrCl ₃ + H ₂ (g) 2CrCl ₃ + 2FeCl ₃ → 2CrCl ₃ + 2FeCl ₃ 2FeCl ₃ → Cl ₂ (g) + 2FeCl ₂
15 Ispra Mark 4	T 850 T 100 T 420 T 800	2Cl ₂ (g) + 2H ₂ O(g) → 4HCl(g) + O ₂ (g) 2FeCl ₃ + 2HCl + S → 2FeCl ₃ + H ₂ S 2FeCl ₃ → Cl ₂ (g) + 2FeCl ₂ H ₂ S → S + H ₂ (g)

[0722]

16 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 Ispra Mark 2 (1972)	T 100 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{a}) + \text{MnO}_2$ 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 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 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 Vanadium Chloride	T 850 $2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ 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 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 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 $3\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{a}) + \text{S}$ T 25 $\text{S}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g})$
23 US -Chlorine	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 Ispra Mark	T 420 $2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$ T 150 $3\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 12\text{HCl} \rightarrow 6\text{FeCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2(\text{g})$ T 650 $3\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} + \text{H}_2(\text{g})$
25 Ispra Mark 6C	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 = thermochemical, E = electrochemical.

[0723]

[0724]

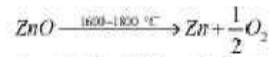
[표 3] H_2O 촉매 및 H_2 에 대한 열 가역적 반응 사이클. [C. Perkins and A.W. Weimer, Solar-Thermal Production of Renewable Hydrogen, AIChE Journal, 55 (2), (2009), pp. 286-293.]

[0725]

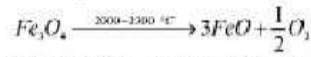
Cycle	Reaction Steps
-------	----------------

High Temperature Cycles

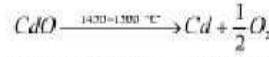
Zn/ZnO



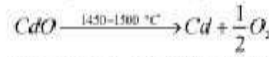
FeO/Fe₃O₄



Cadmium carbonate



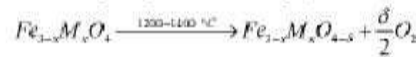
Hybrid cadmium



Sodium manganese

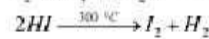
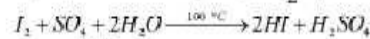
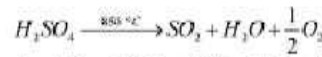


M-Ferrite (M = Co, Ni, Zn)

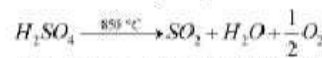


Low Temperature Cycles

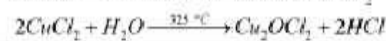
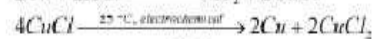
Sulfur-Iodine



Hybrid sulfur



Hybrid copper chloride



[0726]

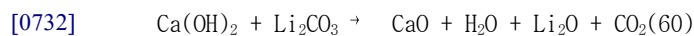
[0727]

[표 4] H₂O 촉매 및 H₂에 대한 열 가역적 반응 사이클. [S. Abanades, P. Charvin, G. Flamant, P. Neveu, Screening of Water-Splitting Thermochemical Cycles Potentially Attractive for Hydrogen Production by Concentrated Solar Energy, Energy, 31, (2006), pp. 2805-2822.]

No ID	Name of the cycle	List of elements	Number of chemical steps	Maximum temperature (°C)	Reactions
6	ZnO/Zn	Zn	2	2000	$ZnO \rightarrow Zn + 1/2O_2$ (2000 °C) $Zn + H_2O \rightarrow ZnO + H_2$ (1100 °C)
7	Fe ₂ O ₃ /FeO	Fe	2	2200	$Fe_2O_3 \rightarrow 3FeO + 1/2O_2$ (2200 °C) $3FeO + H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + H_2$ (400 °C)
194	In ₂ O ₃ /In ₂ O	In	2	2200	$In_2O_3 \rightarrow In_2O + O_2$ (2200 °C) $In_2O + 2H_2O \rightarrow In_2O_3 + 2H_2$ (800 °C)
194	SnO ₂ /Sn	Sn	2	2650	$SnO_2 \rightarrow Sn + O_2$ (2650 °C) $Sn + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 2H_2$ (600 °C)
83	MnO/MnSO ₄	Mn, S	2	1100	$MnSO_4 \rightarrow MnO + SO_2 + 1/2O_2$ (1100 °C) $MnO + H_2O + SO_2 \rightarrow MnSO_4 + H_2$ (250 °C)
84	FeO/FeSO ₄	Fe, S	2	1100	$FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_2 + 1/2O_2$ (1100 °C) $FeO + H_2O + SO_2 \rightarrow FeSO_4 + H_2$ (250 °C)
86	CoO/CoSO ₄	Co, S	2	1100	$CoSO_4 \rightarrow CoO + SO_2 + 1/2O_2$ (1100 °C) $CoO + H_2O + SO_2 \rightarrow CoSO_4 + H_2$ (200 °C)
200	Fe ₃ O ₄ /FeCl ₂	Fe, Cl	2	1500	$Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2 + 3H_2O + 1/2O_2$ (1500 °C) $3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2$ (700 °C)
14	FeSO ₄ Julich	Fe, S	3	1800	$3FeO(s) + H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + H_2$ (200 °C) $Fe_3O_4(s) + FeSO_4 \rightarrow 3Fe_2O_3(s) + 3SO_2(g) + 1/2O_2$ (800 °C) $3Fe_2O_3(s) + 3SO_2 \rightarrow 3FeSO_4 + 3FeO(s)$ (1800 °C)
85	FeSO ₄	Fe, S	3	2300	$3FeO(s) + H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + H_2$ (200 °C) $Fe_3O_4(s) + 3SO_2(g) \rightarrow 3FeSO_4 + 1/2O_2$ (300 °C) $FeSO_4 \rightarrow FeO + SO_2$ (2300 °C)
109	C7 IGT	Fe, S	3	1000	$Fe_2O_3(s) + 2SO_2(g) + H_2O \rightarrow 2FeSO_4(s) + H_2$ (125 °C) $2FeSO_4(s) \rightarrow Fe_2O_3(s) + SO_2(g) + SO_3(g)$ (700 °C) $SO_3(g) \rightarrow SO_2(g) + 1/2O_2(g)$ (1000 °C)
21	Shell Process	Cu, S	3	1750	$6Cu(s) + 3H_2O \rightarrow 3Cu_2O(s) + 3H_2$ (500 °C) $Cu_2O(s) + 2SO_2 + 3/2O_2 \rightarrow 2CuSO_4$ (300 °C) $2Cu_2O(s) + 2CuSO_4 \rightarrow 6Cu + 2SO_2 + 3O_2$ (1750 °C)
87	CuSO ₄	Cu, S	3	1500	$Cu_2O(s) + H_2O(g) \rightarrow Cu(s) + Cu(OH)_2$ (1500 °C) $Cu(OH)_2 + SO_2(g) \rightarrow CuSO_4 + H_2$ (100 °C) $CuSO_4 + Cu(s) \rightarrow Cu_2O(s) + SO_2 + 1/2O_2$ (1500 °C) $SO_2 + H_2O + BaMoO_4 \rightarrow BaSO_4 + MoO_3 + H_2O$ (300 °C)
110	LASL BaSO ₄	Ba, Mo, S	3	1300	$BaSO_4 + H_2O \rightarrow BaSO_3 + H_2$ (1300 °C) $BaSO_3(s) + MoO_3(s) \rightarrow BaMoO_4(s) + SO_2(g) + 1/2O_2$ (1300 °C)
4	Mark 9	Fe, Cl	3	900	$3FeCl_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 6HCl + H_2$ (680 °C) $Fe_3O_4 + 3/2Cl_2 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_3 + 3H_2O + 1/2O_2$ (900 °C) $3FeCl_3 \rightarrow 3FeCl_2 + 3/2Cl_2$ (420 °C)
16	Euratom 1972	Fe, Cl	3	1000	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1000 °C) $2HCl + 2FeCl_2 \rightarrow 2FeCl_3 + H_2$ (600 °C) $2FeCl_3 \rightarrow 2FeCl_2 + Cl_2$ (350 °C)
20	Cr, Cl Julich	Cr, Cl	3	1600	$2CrCl_3(s, T_f = 815 °C) + 2HCl \rightarrow 2CrCl_2(s) + H_2$ (200 °C) $2CrCl_3(s, T_f = 1150 °C) \rightarrow 2CrCl_2(s) + Cl_2$ (1600 °C)
27	Mark 8	Mn, Cl	3	1000	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1000 °C) $6MnCl_2(l) + 8H_2O \rightarrow 2Mn_2O_3 + 12HCl + 2H_2$ (700 °C) $3Mn_2O_3(s) + 12HCl \rightarrow 6MnCl_2(s) + 3MnO_2(s) + 6H_2O$ (100 °C)
37	Ta Funk	Ta, Cl	3	2200	$3MnO_2(s) \rightarrow Mn_2O_3(s) + O_2$ (1000 °C) $H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1000 °C) $2TaCl_5 + 2HCl \rightarrow 2TaCl_3 + H_2$ (100 °C) $2TaCl_3 \rightarrow 2TaCl_2 + Cl_2$ (2200 °C)
78	Mark 3 Euratom JRC Ispra (Italy)	V, Cl	3	1000	$Cl_2(g) + H_2O(g) \rightarrow 2HCl(g) + 1/2O_2(g)$ (1000 °C) $2VOCl_2(s) + 2HCl(g) \rightarrow 2VOCl_3(g) + H_2(g)$ (170 °C) $2VOCl_3(g) \rightarrow Cl_2(g) + 2VOCl_2(s)$ (200 °C)
144	Bi, Cl	Bi, Cl	3	1700	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1000 °C) $2BiCl_3 + 2HCl \rightarrow 2BiCl_2 + H_2$ (300 °C) $2BiCl_3(T_f = 233 °C, T_b = 441 °C) \rightarrow 2BiCl_2 + Cl_2$ (1700 °C)
146	Fe, Cl Julich	Fe, Cl	3	1800	$3Fe(s) + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + 4H_2$ (700 °C) $Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ (1800 °C) $3FeCl_2 + 3H_2 \rightarrow 3Fe(s) + 6HCl$ (1300 °C)
147	Fe, Cl Cologne	Fe, Cl	3	1800	$3/2FeO(s) + 3/2Fe(s) + 2.5H_2O \rightarrow Fe_3O_4(s) + 2.5H_2$ (1000 °C) $Fe_3O_4 + 6HCl \rightarrow 3FeCl_2(g) + 3H_2O + 1/2O_2$ (1800 °C)
25	Mark 2	Mn, Na	3	900	$3FeCl_2 + H_2O + 3/2H_2 \rightarrow \alpha_2FeO(s) + 3/2Fe(s) + 6HCl$ (700 °C) $Mn_2O_3(s) + 4NaOH \rightarrow 2Na_2O \cdot MnO_2 + H_2O + H_2$ (900 °C) $2Na_2O \cdot MnO_2 + 2H_2O \rightarrow 4NaOH + 2MnO_2(s)$ (100 °C)
28	Li, Mn LASL	Mn, Li	3	1000	$2MnO_2(s) \rightarrow Mn_2O_3(s) + 1/2O_2$ (600 °C) $6LiOH + 2Mn_2O_3 \rightarrow 3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 2H_2O + H_2$ (700 °C) $3Li_2O \cdot Mn_2O_3 + 3H_2O \rightarrow 6LiOH + 3Mn_2O_3$ (80 °C)
199	Mn PSI	Mn, Na	3	1500	$3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + 1/2O_2$ (1000 °C) $2MnO + 2NaOH \rightarrow 2NaMnO_2 + H_2$ (800 °C) $2NaMnO_2 + H_2O \rightarrow Mn_2O_3 + 2NaOH$ (100 °C) $Mn_2O_3(l) \rightarrow 2MnO(s) + 1/2O_2$ (1500 °C)
178	Fe, MORNL	Fe, (M = Li, K, Na)	3	1300	$2Fe_2O_3 + 6MOH \rightarrow 3MFeO_2 + 2H_2O + H_2$ (500 °C) $3MFeO_2 + 3H_2O \rightarrow 6MOH + 3Fe_2O_3$ (100 °C) $3Fe_2O_3(s) \rightarrow 2Fe_3O_4(s) + 1/2O_2$ (1300 °C)
33	Sn Souriau	Sn	3	1700	$Sn(l) + 2H_2O \rightarrow SnO_2 + 2H_2$ (400 °C) $2SnO_2(s) \rightarrow 2SnO + O_2$ (1700 °C) $2SnO(s) \rightarrow SnO_2 + Sn(l)$ (700 °C)
177	Co ORNL	Co, Ba	3	1000	$CoO(s) + xBa(OH)_2(s) \rightarrow Ba_xCoO_{(s)+(1-x-1)}H_2 + (1+2x-1)H_2O$ (850 °C) $Ba_xCoO_{(s)+(1-x-1)}H_2 + xBa(OH)_2(s) \rightarrow CoO_{(1-x)}(s)$ (100 °C) $CoO_{(1-x)}(s) \rightarrow CoO(s) + (x-1)/2O_2$ (1000 °C)
183	Ce, Ti ORNL	Ce, Ti, Na	3	1300	$2CeO_2(s) + 3TiO_2(s) \rightarrow Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 1/2O_2$ (800-1300 °C) $Ce_2O_3 \cdot 3TiO_2 + 6NaOH \rightarrow 2CeO_2 + 3Na_2TiO_3 + 2H_2O + H_2$ (800 °C) $CeO_2 + 3Na_2TiO_3 + 3H_2O \rightarrow CeO_2(s) + 3TiO_2(s) + 6NaOH$ (150 °C)
269	Ce, Cl GA	Ce, Cl	3	1000	$H_2O + Cl_2 \rightarrow 2HCl + 1/2O_2$ (1000 °C) $2CeO_2 + 8HCl \rightarrow 2CeCl_3 + 4H_2O + Cl_2$ (250 °C) $2CeCl_3 + 4H_2O \rightarrow 2CeO_2 + 6HCl + H_2$ (800 °C)

H₂O 촉매를 형성하는 반응물들은 0 종과 같은 0의 소스와 H의 소스를 포함할 수 있다. 0 종의 소스는 O₂, 공기 및 0를 포함하는 화합물의 화합물이나 혼합재 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 산소를 포함하는 화합물은 산화제를 포함할 수 있다. 산소를 포함하는 화합물은 산화물, 옥시산화물, 수산화물, 과산화물 및 초산화물

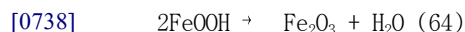
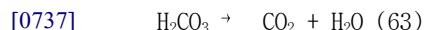
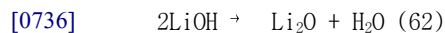
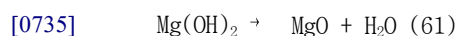
가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 적합한 금속 산화물은 Li_2O , Na_2O 및 K_2O 등의 알칼리 산화물, MgO , CaO , SrO 및 BaO 등의 알칼리 토류 산화물, NiO , Ni_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 및 CoO 등의 천이 산화물 그리고 내부 천이 및 희토류 금속 산화물 그리고 다른 금속들의 산화물 및 Al , Ga , In , Si , Ge , Sn , Pb , As , Sb , Bi , Se 및 Te 의 산화물과 같은 반금속 그리고 이것들과 산소를 포함하는 다른 원소들의 혼합물이다. 이 산화물은 금속 산화물과 같은 본 개시의 것들과 같은 산화물 음이온 그리고 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속 양이온 그리고 다른 금속들 및 $\text{MM}'_{2x}\text{O}_{3x+1}$ 이나 $\text{MM}'_{2x}\text{O}_4$ (M = 알칼리 토류, M' = Fe , Ni , Mn 등의 천이 금속, x = 정수) 그리고 $\text{M}_2\text{M}'_{2x}\text{O}_{3x+1}$ 이나 $\text{M}_2\text{M}'_{2x}\text{O}_4$ (M = 알칼리, M' = Fe , Ni , Mn 등의 천이 금속, x = 정수)와 같은 Al , Ga , In , Si , Ge , Sn , Pb , As , Sb , Bi , Se , 및 Te 등의 반금속의 양이온을 포함한다. 적합한 예시적 금속 옥시수산화물은 $\text{AlO}(\text{OH})$, $\text{ScO}(\text{OH})$, $\text{YO}(\text{OH})$, $\text{VO}(\text{OH})$, $\text{CrO}(\text{OH})$, $\text{MnO}(\text{OH})$ (* $-\text{MnO}(\text{OH})$ groutite 및 $-\text{MnO}(\text{OH})$ manganite), $\text{FeO}(\text{OH})$, $\text{CoO}(\text{OH})$, $\text{NiO}(\text{OH})$, $\text{RhO}(\text{OH})$, $\text{GaO}(\text{OH})$, $\text{InO}(\text{OH})$, $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 및 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 이다. 적합한 예시적 수산화물은 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속들의 수산화물 그리고 Al , Ga , In , Si , Ge , Sn , Pb , As , Sb , Bi , Se 및 Te 및 혼합물과 같은 다른 금속과 반금속의 수산화물이다. 적합한 복합체 이온 수산화물은 $\text{Li}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$, $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$, $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$, $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$, $\text{Li}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Na}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{LiSb}(\text{OH})_4$, $\text{NaSb}(\text{OH})_4$, $\text{LiAl}(\text{OH})_4$, $\text{NaAl}(\text{OH})_4$, $\text{LiCr}(\text{OH})_4$, $\text{NaCr}(\text{OH})_4$, $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 및 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 이다. 추가의 예시적인 적합한 수산화물은 $\text{Co}(\text{OH})_2$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Ni}(\text{OH})_2$, 다른 천이 금속 수산화물, $\text{Cd}(\text{OH})_2$, $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 및 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 가운데 적어도 하나이다. 적합한 예시적 과산화물은 H_2O_2 , 유기 화합물의 과산화물, Li_2O_2 , Na_2O_2 , K_2O_2 와 같은 M 이 알칼리 금속인 M_2O_2 등의 금속의 과산화물, Ca , Sr 또는 Ba 과산화물과 같은 알칼리 토류 과산화물 등의 기타 이온성 과산화물, 란타나이드의 과산화물과 같은 기타 양전성 금속의 과산화물 그리고 Zn , Cd 및 Hg 의 과산화물과 같은 공유 금속 과산화물이다. 적합한 예시적 초산화물은 NaO_2 , KO_2 , RbO_2 및 CsO_2 와 같은 M 이 알칼리 금속인 금속 MO_2 의 초산화물 그리고 알칼리 토류 금속 초산화물이다. 실시예에서, 고체 연료는 알칼리 과산화물 그리고 수화물, 산화수소 또는 BH_3NH_3 와 같은 수소 저장 물질을 포함한다. 반응 혼합물은 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속의 수산화물 그리고 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속 그리고 Al , Ga , In , Sn , Pb 및 본 개시의 다른 것들을 포함하는 것과 같은 탄산염 등 적어도 하나의 산소 음이온을 포함하는 화합물과 같은 산소의 소스를 포함할 수 있다. 산소를 포함하는 다른 적합한 화합물은 알루미늄산염, 텅스텐산염, 지르콘산염, 티탄산염, 황산염, 인산염, 탄산염, 질산염, 크롬산염, 중크롬산염 및 망간산염, 산화물, 옥시수산화물, 과산화물, 초산화물, 규소산염, 티탄산염, 텅스텐산염 및 본 개시의 다른 것들의 군에서 선택된 적어도 하나의 산소 음이온이다. 수산화물과 탄산염의 예시적 반응은 다음과 같다:



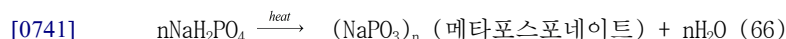
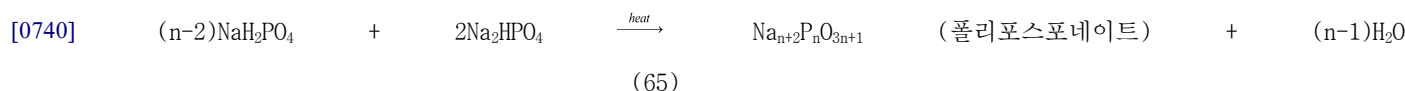
[0733] 다른 실시예에서, 산소 소스는 기체성이거나 NO_2 , NO , N_2O , CO_2 , P_2O_3 , P_2O_5 및 SO_2 와 같은 가스를 쉽게 형성한다. H_2O 촉매의 형성에 따른 C , N , NH_3 , P 또는 S 와 같은 환원된 산화물 생성물은 Mills의 이전 출원서에서 기술된 바와 같이 산소나 그 소스와 연소에 의해 다시 산화물로 변환될 수 있다. 셀은 가열 온도에 사용될 수 있는 과잉 열을 생성할 수 있거나, 그 열은 랭킨이나 브레이튼 시스템과 같은 수단에 의해 전기로 변환될 수 있다. 대안적으로, 셀을 사용하여 분자 하이드리드 및 하이드리드 수화물 이온 그리고 상응하는 화합물과 같은 저에너지 수소 종들을 합성할 수 있다.

[0734] 실시예에서, 저에너지 수소 종 및 화합물의 생산 그리고 에너지의 생산 가운데 적어도 하나에 필요한 하이드리드를 형성하는 반응 혼합물은 원자 수소의 소스 그리고 H_2O 촉매 등의 본 개시의 것과 같은 H 및 O 중 적어도 하나를 포함하는 촉매의 소스를 포함한다. 반응 혼합물은 H_2SO_3 , H_2SO_4 , H_2CO_3 , HNO_2 , HNO_3 , HClO_4 , H_3PO_3 및 H_3PO_4 와 같은 산 또는 산 무수물이나 무수 산과 같은 산의 소스를 더 포함할 수 있다. 후자는 SO_2 , SO_3 , CO_2 , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5 , Cl_2O_7 , PO_2 , P_2O_3 및 P_2O_5 의 군에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 반응 혼합물은 염기 그리고 M_2O (M = 알칼리), $\text{M}'\text{O}$ (M' = 알칼리 토류), ZnO 또는 다른 천이 금속 산화물, CdO , CoO , SnO , AgO , HgO 또는 Al_2O_3 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 추가의 예시적 무수물은 H_2O 에 대해 안정한 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 , 및 In 과 같은 금속을 포함한다. 이 무수물은 알칼리 금속이나 알칼리 토류 금속의 산화물일 수 있으며, 수

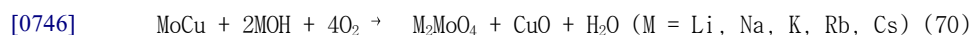
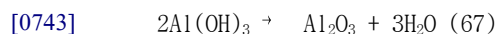
화된 화합물은 수산화물을 포함할 수 있다. 반응 혼합물은 FeOOH, NiOOH 또는 CoOOH와 같은 옥사수산화물을 포함할 수 있다. 반응 혼합물은 H₂O의 소스 및 H₂O 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. H₂O는 원자 수소의 존재 하에서 수화 및 탈수 반응에 의해 가역적으로 형성될 수 있다. H₂O 축매를 형성하는 예시적 반응은 다음과 같다:



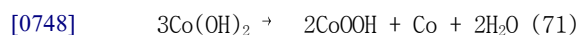
[0739] 실시예에서, H₂O 축매는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속 등의 금속을 포함하는 양이온 그리고 다른 금속들의 양이온 그리고 Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se 및 Te의 양이온 등의 반금속의 양이온의 염과 같은 인산염, 수소 인산염 및 이수소 인산염 등의 인산염 그리고 $[\text{PO}_3]^{2-}$ 와 같은 폴리포스포네이트, $[(\text{PO}_3)_n]^{n-}$ 과 같은 장쇄 메타포스포네이트 및 $[(\text{PO}_3)_n]^{n-}$ 과 같은 환형 메타포스포네이트(n: 3) 그리고 P₄O₁₀과 같은 울트라 포스포네이트 가운데 적어도 하나와 같은 응축된 인산염을 형성하는 혼합물을 포함하는 적어도 하나의 화합물의 탈수에 의해 형성된다. 예시적 반응들은 다음과 같다:



[0742] 이 탈수 반응의 반응물들은 Al(OH)₃ 및 Al₂O₃ 중 적어도 하나를 포함할 수 있는 R-Ni을 포함할 수 있다. 반응물들은 알칼리 금속과 같은 본 개시의 금속들 등의 금속 M, 수소화물, 알칼리 수산화물 등의 본 개시의 것들과 같은 금속 수산화물 그리고 H₂ 그리고 내재 수소 등의 소스를 더 포함할 수 있다. 예시적 반응들은 다음과 같다:



[0747] 이 반응 생성물은 합금을 포함할 수 있다. R-Ni은 재수화에 의해 재생될 수 있다. 반응 혼합물 및 H₂O 축매를 형성하는 탈수 반응은 다음의 예시적 반응에 나와 있는 본 개시의 것들과 같은 옥사수산화물을 포함하고 참여시킬 수 있다:

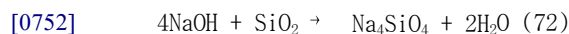


[0749] 원자 수소는 H₂ 가스로부터 해리에 의해 형성될 수 있다. 수소 해리기는 R-Ni이나 귀금속 또는 Pt 상의 Ni 또는 탄소나 Al₂O₃ 상의 Pd와 같은 지지체 상의 천이 금속 등 본 개시의 것들의 하나일 수 있다. 대안적으로, 원자 H는 본 개시의 것들과 같은 막을 통한 H 투과로부터 유래할 수 있다. 실시예에서, 셀은 그를 통한 H₂의 선택적인 확산을 허용하는 반면 H₂O 확산을 방지하는 세라믹 막과 같은 막을 포함한다. 실시예에서, H₂ 및 원자 H 중 적어도 하나가 H₂O를 포함하는 수용성이나 용융 전해질과 같은 수소의 소스를 포함하는 전해질의 전기분해에 의해 셀로 공급된다. 실시예에서, H₂O 축매는 산이나 염기의 무수물 형태로의 탈수에 의해 가역적으로 형성된다.

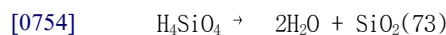
실시예에서, 촉매 H₂O와 하이드리노를 형성시키는 반응은 셀 pH나 반응성, 온도 및 압력 가운데 적어도 하나를 변경함으로써 전과되는데, 압력은 온도를 변경하여 변경시킬 수 있다. 산, 염기 또는 무수물과 같은 종의 활성도는 당업자에게 알려진 염의 첨가에 의해 변경될 수 있다. 실시예에서, 반응 혼합물은 H₂나 산 무수물 가스의 등의 가스를 흡수하거나 하이드리노를 형성하는 반응에 대해 이러한 가스의 소스가 될 수 있는 탄소 등의 물질을 포함할 수 있다. 반응물들은 염의 회망하는 농도와 비율일 수 있다. 반응 혼합물은 용융될 수 있거나 수용성 슬러리를 포함할 수 있다.

[0750] 다른 실시예에서, H₂O 촉매의 소스는 하이드로할릭산, 질산 및 아질산 중 하나와 염기 사이의 반응과 같은 산과 염기 사이의 반응이다. 다른 적합한 산 반응물들은 H₂SO₄, HCl, HX(X=할라이드), H₃PO₄, HClO₄, HNO₃, HNO, HNO₂, H₂S, H₂CO₃, H₂MoO₄, HNbO₃, H₂B₄O₇(M =사중붕산염), HBO₂, H₂WO₄, H₂CrO₄, H₂Cr₂O₇, H₂TiO₃, HZrO₃, MAIO₂, HMn₂O₄, HIO₃, HIO₄, HClO₄ 또는 포름산이나 초산 등의 유기산의 수용액이다. 적절한 예시적 염기는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 또는 희토류 금속 또는 Al, Ga, In, Sn 또는 Pb를 포함하는 수산화물, 옥시수산화물 또는 산화물이다.

[0751] 실시예에서, 반응물들은 염기나 산 무수물과 각각 반응하는 산이나 염기를 포함하여 H₂O 촉매 그리고 각각 염기의 양이온과 산 무수물의 음이온 또는 염기 무수물의 양이온과 산의 음이온의 화합물을 형성할 수 있다. 산성 무수물 SiO₂와 염기 NaOH의 예시적 반응은 다음과 같다:

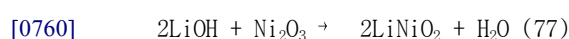
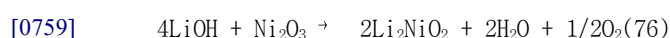


[0753] 여기서 상응하는 산의 탈수 반응은 다음과 같다:



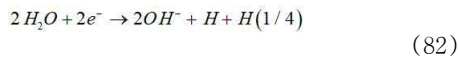
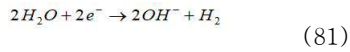
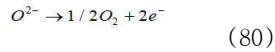
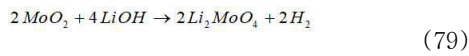
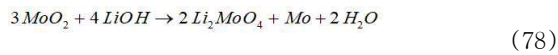
[0755] 다른 적절한 예시적 무수물은

[0756] Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf, Co 및 Mg의 군에 속하는 하나와 같은 원소, 금속, 합금 또는 혼합물을 포함할 수 있다. 상응하는 산화물은 MoO₂, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃, NiO, Ni₂O₃, FeO, 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, Co₂O₃, 및 MgO 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 염기는 LiOH와 같은 MOH(M = 알칼리) 등의 알칼리 수산화물과 같은 수산화물을 포함하는데, 이것은 Li₂O 및 H₂O 등의 M₂O와 같은 염기성 산화물을 형성할 수 있다. 염기성 산화물은 무수물 산화물과 반응하여 생성물 산화물을 형성할 수 있다. H₂O를 방출하는 LiOH와 무수물 산화물의 예시적 반응에서, 그 생성물의 산화물 화합물은 Li₂MoO₃ 또는 Li₂MoO₄, Li₂TiO₃, Li₂ZrO₃, Li₂SiO₃, LiAlO₂, LiNiO₂, LiFeO₂, LiTaO₃, LiVO₃, Li₂B₄O₇, Li₂NbO₃, Li₂SeO₃, Li₃PO₄, Li₂SeO₄, Li₂TeO₃, Li₂TeO₄, Li₂WO₄, Li₂CrO₄, Li₂Cr₂O₇, Li₂MnO₄, Li₂HfO₃, LiCoO₂ 및 MgO를 포함할 수 있다. 다른 적합한 예시적 산화물은 As₂O₃, As₂O₅, Sb₂O₃, Sb₂O₄, Sb₂O₅, Bi₂O₃, SO₂, SO₃, CO₂, NO₂, N₂O₃, N₂O₅, Cl₂O₇, PO₂, P₂O₃ 및 P₂O₅, 그리고 당업자에게 알려진 다른 유사한 산화물들의 군 가운데 적어도 하나이다. 다른 예가 식 (91)에 나와 있다. 금속 산화물의 적합한 반응은 다음과 같다:

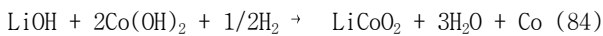


[0761] Fe, Cr, Ti와 같은 천이 금속, 내부 천이 및 희토류 금속 그리고 Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se 및 Te와 같은 다른 금속이나 반금속은 Ni을 치환할 수 있고, Li, Na, Rb 및 Cs와 같은 다른 알칼리 금속은 K를

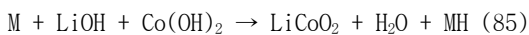
치환할 수 있다. 실시예에서, 산화물은 Mo를 포함할 수 있는데, H₂O를 형성하는 반응 동안, 신생 H₂O 촉매 및 H가 형성되어 하이드리노를 형성하도록 더 반응할 수 있다.



이 반응은 수소 가스 등의 수소의 소스 그리고 Pd/Al₂O₃와 같은 해리기를 더 포함할 수 있다. 수소는 프로톤, 이중수소 또는 삼중수소 또는 이들의 조합의 어느 것일 수 있다. H₂O 촉매를 형성하는 반응은 두 개의 산화물이 물을 형성하는 반응을 포함할 수 있다. 수산화물의 양이온은 알칼리 금속 수산화물과 천이금속 또는 알칼리 토류 수산화물 반응의 산화 상태와 다른 산화 상태를 가질 수 있다. 그 반응 혼합물 및 반응은 다음의 예시적 반응에 나와 있는 소스로부터의 H₂를 더 포함하고 참여시킬 수 있다:



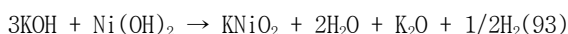
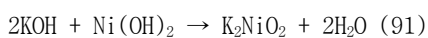
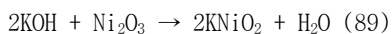
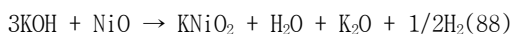
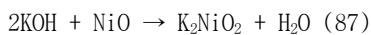
그 반응 혼합물 및 반응은 다음의 예시적 반응에 나와 있는 알칼리 금속이나 알칼리 토류 금속과 같은 금속 M을 더 포함하고 참여시킬 수 있다:



실시예에서, 그 반응 혼합물은 H의 소스 역할을 할 수 있는 금속 산화물 및 수산화물 그리고 선택적으로 다른 H의 소스를 포함하는데, 금속 산화물에서 Fe와 같은 금속은 복수의 산화 상태를 가질 수 있으므로 H₂O를 형성하는 반응 동안 산화-환원 반응을 거쳐 H와 반응하여 하이드리노를 형성하는 촉매의 역할을 한다. 한 예가 FeO이며, 여기서 촉매를 형성하는 반응 동안 Fe²⁺가 산화를 거쳐 Fe³⁺이 될 수 있다. 예시적 반응은 다음과 같다:



실시예에서, 적어도 하나의 금속 산화물, 수산화물 또는 옥시수산화물이 산화제의 역할을 하는데, Fe, Ni, Mo 또는 Mn과 같은 금속 원자가 다른 가능한 산화 상태보다 더 높은 산화 상태에 있을 수 있다. 촉매 및 하이드리노 반응은 그 원자가 적어도 하나의 더 낮은 산화 상태로 환원을 거치도록 야기할 수 있다. H₂O 촉매를 형성하는 금속 산화물, 수산화물 및 옥시수산화물의 예시적 반응은 다음과 같다:



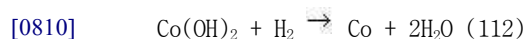
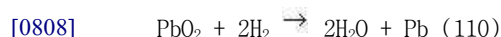
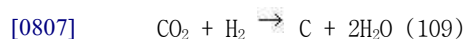
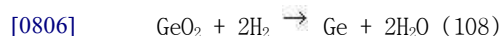
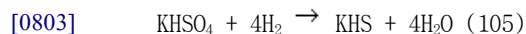
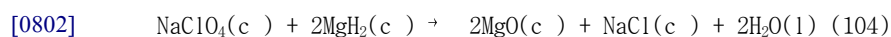
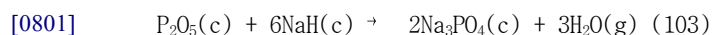
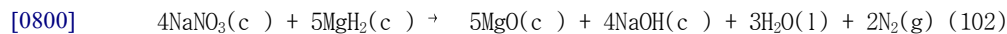
- [0782] $2\text{KOH} + 2\text{NiOOH} \rightarrow \text{K}_2\text{NiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NiO} + 1/2\text{O}_2$ (94)
- [0783] $\text{KOH} + \text{NiOOH} \rightarrow \text{KNiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (95)
- [0784] $2\text{NaOH} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{NaFeO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (96)
- [0785] Ni, Fe, Cr 및 Ti와 같은 다른 전이 금속, 내부 전이 및 희토류 금속 그리고 Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se 및 Te 등의 다른 금속이나 반금속들 Ni나 Fe를 치환할 수 있으며, Li, Na, K, Rb 및 Cs 등의 다른 금속이 K나 Na를 치환할 수 있다. 실시예에서, 그 반응 혼합물은 H_2O 에 대하여 안정한 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 및 In과 같은 금속의 산화물 및 수산화물 가운데 적어도 하나를 포함한다. 추가적으로, 그 반응 혼합물은 H_2 가스와 같은 수소의 소스 그리고 선택적으로 지지체 상의 귀금속과 같은 해리기를 포함한다. 실시예에서, 고체 연료나 에너지 함유 물질은 FeBr_2 등의 브롬화물과 같은 적어도 하나의 전이 금속 할라이드와 같은 적어도 하나의 금속 할라이드 그리고 옥시수산화물, 수산화물 또는 산화물 그리고 H_2O 의 혼합물을 포함한다. 실시예에서, 고체 연료나 에너지 함유 물질은 금속 산화물, 수산화물 및 Ni_2O_3 등의 적어도 하나의 전이 금속 산화물과 같은 옥시수산화물 그리고 H_2O 의 혼합물을 포함한다.
- [0786] 산 HCl과 염기성 무수물 NiO와의 예시적 반응은 다음과 같다:
- [0787] $2\text{HCl} + \text{NiO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NiCl}_2$ (97)
- [0788] 여기서 상응하는 염기의 탈수 반응은 다음과 같다:
- [0789] $\text{Ni}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NiO}$ (98)
- [0790] 그 반응물들은 적어도 하나의 루이스 산이나 염기 및 브론스테드-로우리 산이나 염기를 포함할 수 있다. 반응 혼합물 및 반응은 산소를 포함하는 화합물을 더 포함하고 참여시킬 수 있는데, 산이 산소를 포함하는 화합물과 반응하여 모든 형성하고 그 예시적 반응은 다음과 같다:
- [0791] $2\text{HX} + \text{POX}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{PX}_5$ (99)
- [0792] (X = 할라이드). POX_3 와 같은 유사한 화합물들이 P가 S에 의해 대체된 것들과 같이 적합하다. 다른 적합한 예시적 무수물은 알칼리, 알칼리 토류, 전이, 내부 전이 또는 희토류 금속 또는 Al, Ga, In, Sn 또는 Pb를 포함하는 수산화물, 옥시수산화물 또는 산화물과 같은 산에 용해되는 Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf, Co 및 Mg로 이루어진 군의 하나와 같은 원소, 금속, 합금 또는 혼합물의 산화물을 포함할 수 있다. 상응하는 산화물은 MoO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , NiO, FeO or Fe_2O_3 , TaO_2 , Ta_2O_5 , VO, VO_2 , V_2O_3 , V_2O_5 , B_2O_3 , NbO, NbO_2 , Nb_2O_5 , SeO_2 , SeO_3 , TeO_2 , TeO_3 , WO_2 , WO_3 , Cr_3O_4 , Cr_2O_3 , CrO_2 , CrO_3 , MnO, Mn_3O_4 , Mn_2O_3 , MnO_2 , Mn_2O_7 , HfO_2 , Co_2O_3 , CoO, Co_3O_4 , Co_2O_3 및 MgO를 포함할 수 있다. 다른 적합한 예시적 산화물은 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 및 In으로 이루어진 군의 산화물들이다. 예시적 실시예에서, 산은 하이드로할릭산이고 그 생성물은 H_2O 및 산화물의 금속 할라이드이다. 그 반응 혼합물은 H_2 가스와 같은 수소의 소스 그리고 Pt/C와 같은 해리기를 포함하는데, H 및 H_2O 측매가 반응하여 하이드리노를 형성한다.
- [0793] 실시예에서, 고체 연료는 투과 막과 같은 H_2 소스나 H_2 가스 그리고 Pt/C와 같은 해리기 그리고 H_2O 로 환원되는 산화물이나 수산화물을 포함하는 H_2O 측매의 소스를 포함한다. 산화물이나 수산화물의 금속은 H의 소스 역할을 하는 금속 수소화물을 형성할 수 있다. LiOH 및 Li_2O 와 같은 알칼리 수산화물과 산화물의 예시적 반응은 다음과 같다:
- [0794] $\text{LiOH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{LiH}$ (100)
- [0795] $\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{LiOH} + \text{LiH}$ (101)
- [0796] 그 반응 혼합물은 Cu, Ni, Pb, Sb, Bi, Co, Cd, Ge, Au, Ir, Fe, Hg, Mo, Os, Pd, Re, Rh, Ru, Se, Ag, Tc,

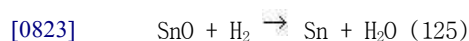
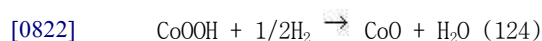
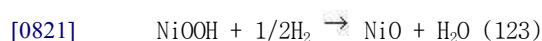
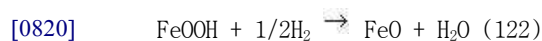
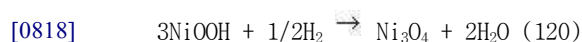
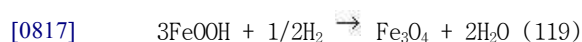
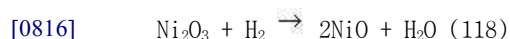
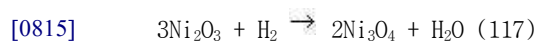
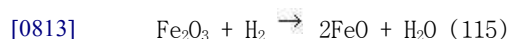
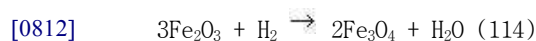
Te, Tl, Sn, W, Al, V, Zr, Ti, Mn, Zn, Cr 및 In의 산화물이나 수산화물과 같은 H₂O로의 수소 환원을 거치는 금속의 산화물이나 수산화물 그리고 H₂ 가스의 같은 수소의 소스 및 Pt/C 등의 해리기를 포함할 수 있다.

[0797] 다른 실시예에서, 그 반응 혼합물은 H₂ 가스와 같은 H₂ 소스 및 Pt/C 등의 해리기 그리고 H₂O 촉매 및 O₂와 같은 산소를 포함하는 기타 생성물들로 분해되는 H₂O₂와 같은 과산화물을 포함한다. H₂ 그리고 O₂와 같은 분해 생성물의 일부는 또한 반응하여 H₂O 촉매를 형성할 수도 있다.

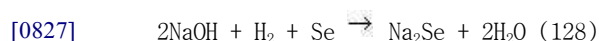
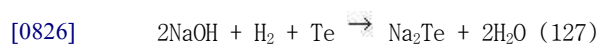
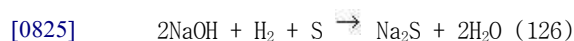
[0798] 실시예에서, 촉매로 H₂O를 형성하는 반응은 당 등의 폴리알코올과 같은 알코올에서 알데하이드 및 H₂O의 반응과 같은 유기 탈수 반응을 포함한다. 실시예에서, 탈수 반응에는 말단 알코올부터의 H₂O 방출에 따른 알데하이드 형성이 참여한다. 이 말단 알코올은 촉매의 역할을 할 수 있는 H₂O를 방출하는 당이나 그 유도체를 포함할 수 있다. 적합한 예시적 알코올은 메소-에리스리톨, 갈락시톨 또는 들시톨 그리고 폴리비닐 알코올(PVA)이다. 예시적 반응 혼합물은 당 + Pd/Al₂O₃와 같은 수소 해리기 + H₂이다. 대안적으로, 이 반응은 적어도 하나의 수화물을 가진 것과 같은 금속 염의 탈수를 포함한다. 실시예에서, 탈수는 물 이온과 같은 수화물 그리고 BaI₂ · 2H₂O 및 EuBr₂ · nH₂O와 같은 염 수화물로부터 촉매의 역할에 따른 H₂O의 손실을 포함한다.

[0799] 실시예에서, H₂O 촉매를 형성하는 반응은 Co와 같은 산소, MnO₃(M = 알칼리)와 같은 NiO, Ni₂O₃, Fe₂O₃ 또는 SnO와 같은 금속 산화물, Co(OH)₂와 같은 수산화물, FeOOH, CoOOH 및 NiOOH와 같은 옥시수산화물 그리고 수소에 의해 H₂O로 환원가능한 본 개시의 것들과 같은 산소를 포함하는 화합물, 산소음이온, 산화물, 수산화물, 옥시수산화물, 과산화물, 초산화물 및 기타 물질의 조성물을 포함하는 화합물의 수소 환원을 포함한다. 산소나 산소 음이온을 포함하는 예시적 화합물에는 SOCl₂, Na₂S₂O₃, NaMnO₄, POBr₃, K₂S₂O₈, CO, CO₂, NO, NO₂, P₂O₅, N₂O₅, N₂O, SO₂, I₂O₅, NaClO₂, NaClO, K₂SO₄ 및 KHSO₄가 있다. 수소 환원을 위한 수소의 소스는 H₂ 가스 그리고 본 개시의 것들과 같은 금속 수소화물 등의 수소화물 가운데 적어도 하나일 수 있다. 반응 혼합물은 산소를 포함하는 화합물이나 이온을 형성할 수 있는 환원제를 더 포함할 수 있다. 산소음이온의 양이온은 할라이드, 기타 칼코게나이드, 인화물, 기타 산소음이온, 질화물, 규화물, 비소화물 또는 본 개시의 다른 음이온과 같은 다른 음이온을 포함하는 생성물 화합물을 형성할 수 있다. 예시적 반응들은 다음과 같다:





[0824] 그 반응 혼합물은 음이온의 소스나 음이온 그리고 산소를 포함하는 화합물과 같은 산소의 소스나 산소를 포함할 수 있는데, H_2O 촉매를 형성하는 반응은 선택적으로 산소와 반응하여 H_2O 를 형성하는 소스로부터의 H_2 와의 음이온-산소 교환 반응을 포함한다. 예시적 반응들은 다음과 같다:



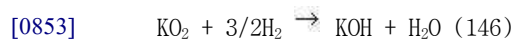
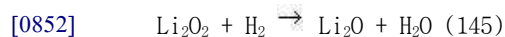
[0829] 다른 실시예에서, 그 반응 혼합물은 O 및 S를 포함하는 반응물들 사이의 것과 같은 칼코게나이드들 사이의 교환 반응을 포함한다. 사면체 사황몰리브덴산 암모늄과 같은 예시적 칼코게나이드($[\text{MoS}_4]^{2-}$)는 음이온을 함유한다. 신생 H_2O 촉매 그리고 선택적으로 신생 H를 형성하는 예시적 반응은 암모니아의 존재 하에서 몰리브덴산염 $[\text{MoO}_4]^{2-}$ 그리고 황화 수소의 반응을 포함한다:



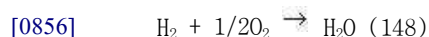
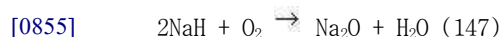
[0831] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 수소의 소스, 산소를 포함하는 화합물, 그리고 반응 혼합물에서 적어도 하나의 다른 원소와 합금을 형성할 수 있는 적어도 하나의 원소를 포함한다. H_2O 촉매를 형성하는 반응은 산소를 포함하는 화합물의 산소 그리고 그 산소 화합물의 양이온과 합금을 형성할 수 있는 원소 사이의 교환 반응을 포함할 수 있는데, 산소가 소스의 수소와 반응하여 H_2O 를 형성한다. 예시적 반응은 다음과 같다:

- [0832] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + \text{Pd} \rightarrow \text{NaPd} + \text{H}_2\text{O}$ (131)
- [0833] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + \text{Bi} \rightarrow \text{NaBi} + \text{H}_2\text{O}$ (132)
- [0834] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + 2\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}_2\text{Na} + \text{H}_2\text{O}$ (133)
- [0835] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + 4\text{Ga} \rightarrow \text{Ga}_4\text{Na} + \text{H}_2\text{O}$ (134)
- [0836] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + \text{Sn} \rightarrow \text{NaSn} + \text{H}_2\text{O}$ (135)
- [0837] $\text{NaAlH}_4 + \text{Al}(\text{OH})_3 + 5\text{Ni} \rightarrow \text{NaAlO}_2 + \text{Ni}_5\text{Al} + \text{H}_2\text{O} + 5/2\text{H}_2$ (136)
- [0838] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 옥시수산화물과 같은 산소를 포함하는 화합물 그리고 산화물을 형성하는 금속과 같은 환원제를 포함한다. H_2O 촉매를 형성하는 반응은 금속 산화물과 H_2O 를 형성하는 옥시수산화물과 금속의 반응을 포함할 수 있다. 예시적 반응은 다음과 같다:
- [0839] $2\text{MnOOH} + \text{Sn} \rightarrow 2\text{MnO} + \text{SnO} + \text{H}_2\text{O}$ (137)
- [0840] $4\text{MnOOH} + \text{Sn} \rightarrow 4\text{MnO} + \text{SnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (138)
- [0841] $2\text{MnOOH} + \text{Zn} \rightarrow 2\text{MnO} + \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$ (139)
- [0842] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 수산화물과 같은 산소를 포함하는 화합물, 수소의 소스 그리고 할라이드와 같은 다른 음이온이나 다른 원소를 포함하는 적어도 하나의 다른 화합물을 포함한다. H_2O 촉매를 형성하는 반응은 수산화물과 다른 화합물이나 원소와의 반응을 포함할 수 있는데, 그 음이온이나 원소가 수산화물과 교환되어 그 음이온이나 원소의 다른 화합물을 형성하고, H_2O 가 수산화물과 H_2 와의 반응으로 형성된다. 그 음이온이 할라이드를 포함할 수 있다. 예시적 반응은 다음과 같다:
- [0843] $2\text{NaOH} + \text{NiCl}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Ni}$ (140)
- [0844] $2\text{NaOH} + \text{I}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NaI} + 2\text{H}_2\text{O}$ (141)
- [0845] $2\text{NaOH} + \text{XeF}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NaF} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Xe}$ (142)
- [0846] BiX_3 (X =할라이드) + $4\text{Bi}(\text{OH})_3 \rightarrow 3\text{BiOX} + \text{Bi}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ (143)
- [0847] 수산화물과 할라이드 화합물을 H_2O 및 다른 할라이드를 형성하는 반응이 열 가역적이도록 선택할 수 있다. 실시예에서, 일반적 교환 반응은 다음과 같다:
- [0848] $\text{NaOH} + 1/2\text{H}_2 + 1/y\text{M}_x\text{Cl}_y = \text{NaCl} + 6\text{H}_2\text{O} + x/y\text{M}$ (171)
- [0849] 여기서 예시적 화합물 M_xCl_y 에는 AlCl_3 , BeCl_2 , HfCl_4 , KAgCl_2 , MnCl_2 , NaAlCl_4 , ScCl_3 , TiCl_2 , TiCl_3 , UCl_3 , UCl_4 , ZrCl_4 , EuCl_3 , GdCl_3 , MgCl_2 , NdCl_3 및 YCl_3 가 있다. 상승된 온도인 약 $100^\circ\text{C} \sim 2000^\circ\text{C}$ 의 범위와 같은 온도에서는 식 (171)의 반응은 약 0 kJ의 엔탈피 및 자유 에너지 중 하나를 가지며 가역적이다. 대표적인 온도는 NaCl-ScCl_3 가 약 800K-900K, NaCl-TiCl_2 가 약 300K-400K, NaCl-UCl_3 가 약 600K-800K, NaCl-UCl_4 가 약 250K-300K, NaCl-ZrCl_4 가 약 250K-300K, NaCl-MgCl_2 가 약 900K-1300K, NaCl-EuCl_3 가 약 900K-1000K, NaCl-NdCl_3 가 약 >1000K 그리고 NaCl-YCl_3 가 약 >1000K이다.
- [0850] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속의 산화물 그리고 Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se 및 Te의 산화물과 같은 다른 원소와 반금속의 산화물과 같은 산화물, M이 Li_2O_2 , Na_2O_2 및 K_2O_2 등의 알칼리 금속인 M_2O_2 와 같은 과산화물 그리고 M이 NaO_2 , KO_2 , RbO_2 및 CsO_2 , 등의 알칼리

금속인 MO_2 와 같은 초산화물 및 알칼리 토류 금속 초산화물 그리고 수소의 소스를 포함한다. 이온성 과산화물은 Ca, Sr 또는 Ba의 그것을 더 포함할 수 있다. H_2O 촉매를 형성하는 반응은 H_2O 를 형성하는 산화물, 과산화물 또는 초산화물의 수소 환원을 포함할 수 있다. 예시적 반응들 H_2O 은 다음과 같다:



[0854] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 H_2 , 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속의 수소화물 그리고 본 개시의 다른 수소화물 중 적어도 하나와 같은 수소화물 그리고 금속 아마이드와 같은 연소가능한 수소를 포함하는 수소나 다른 화합물의 소스 가운데 적어도 하나와 같은 수소의 소스 그리고 O_2 와 같은 산소의 소스를 포함한다. H_2O 촉매를 형성하는 반응은 H_2O 를 형성하는 H_2 , 수소화물 또는 금속 아마이드와 같은 수소 화합물의 산화를 포함할 수 있다. 예시적 반응은 다음과 같다:

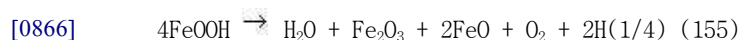


[0859] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 수소의 소스 및 산소의 소스를 포함한다.

[0860] H_2O 촉매를 형성하는 반응은 H_2O 를 형성하는 수소의 소스 및 산소의 소스에서 적어도 하나의 분해를 포함할 수 있다. 예시적 반응들은 다음과 같다.

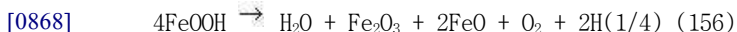


[0865] 여기에 개시된 반응 혼합물은 하이드리노를 형성하는 수소의 소스를 더 포함한다. 이 소스는 수소 해리기와 같은 원자 수소 그리고 H_2 가스 또는 해리기와 같은 금속 수소화물 및 본 개시의 금속 수소화물의 소스일 수 있다. 원자 수소를 제공하는 수소의 소스는 수산화물이나 옥시수산화물과 같은 수소를 포함하는 화합물일 수 있다. 하이드리노를 형성하기 위해 반응하는 H는 하나 이상의 반응물 등의 반응에 의해 형성되는 신생 H일 수 있는데, 적어도 하나가 수산화물과 산화물의 반응과 같은 수소의 소스를 포함한다. 이 반응은 H_2O 촉매를 형성할 수도 있다. 산화물과 수산화물은 같은 화합물을 형성할 수 있다. 예를 들어, FeOOH 등의 옥시수산화물은 탈수되어 H_2O 촉매를 제공하고 또한 탈수 동안 하이드리노 반응에 필요한 신생 H를 제공할 수도 있다:

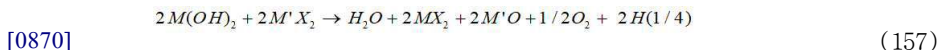


[0867] 여기서 반응 동안 형성되는 신생 H가 반응하여 하이드리노가 된다. 다른 예시적 반응들에는 $\text{NaFeO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 와 같은 알칼리 금속 산화물을 형성하는 $\text{NaOH} + \text{FeOOH}$ 또는 Fe_2O_3 등의 수산화물 및 옥시수산화물 또는 산화물의 반응이 있는데, 이 반응 동안 형성되는 신생 H가 하이드리노를 형성할 수 있으며 H_2O 가 촉매의 역할을 한다. 그 산

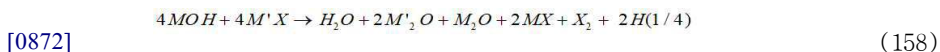
화물 및 수산화물은 같은 화합물을 형성할 수 있다. 예를 들어, FeOOH 등의 옥시수산화물은 탈수되어 H₂O 촉매를 제공하고 또한 탈수 동안 하이드리노 반응에 필요한 신생 H를 제공할 수도 있다:



[0869] 여기서 반응 동안 형성되는 신생 H가 반응하여 하이드리노가 된다. 다른 예시적 반응들에는 NaFeO₂ + H₂O와 같은 알칼리 금속 산화물을 형성하는 NaOH + FeOOH 또는 Fe₂O₃ 등의 수산화물 및 옥시수산화물 또는 산화물의 반응이 있는데, 이 반응 동안 형성되는 신생 H가 하이드리노를 형성할 수 있으며 H₂O가 촉매의 역할을 한다. 수산화물 이온은 H₂O 및 산화 이온의 형성에 있어서 환원되고 산화된다. 산화 이온은 H₂O와 반응하여 OH⁻를 형성할 수 있다. 수산화물-할라이드 교환 반응에서도 동일한 경로를 얻을 수 있으며 다음과 같다:



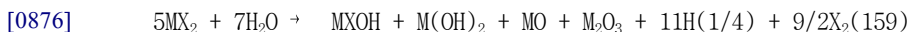
[0871] 여기서 예시적 M 및 M' 금속은 각각 알칼리 토류 및 천이 금속이며 Cu(OH)₂ + FeBr₂, Cu(OH)₂ + CuBr₂ 또는 Co(OH)₂ + CuBr₂와 같다. 실시예에서, 그 고체 연료가 금속 수소화물과 금속 할라이드를 형성할 수 있는데, 적어도 하나의 금속이 Fe이다. H₂O 및 H₂ 중 적어도 하나를 첨가하여 반응물들을 재생할 수 있다. 실시예에서, M 및 M'는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속들, Al, Ga, In, Si, Ge, Sn, Pb, 13, 14, 15 및 16 족의 원소들 그리고 본 개시의 것들과 같은 수산화물이나 할라이드의 다른 양이온으로 이루어진 군에서 선택할 수 있다. HOH 촉매, 신생 H 및 하이드리노 가운데 적어도 하나를 형성하는 예시적 반응은 다음과 같다:



[0873] 실시예에서, 그 반응 혼합물은 본 개시의 것들과 같은 적어도 하나의 수산화물과 할라이드 화합물을 포함한다. 실시예에서, 그 할라이드는 신생 HOH 촉매 및 H 중 적어도 하나에 대해 형성 및 유지 가운데 하나를 원활하게 하는 역할을 할 수 있다. 실시예에서, 그 혼합물은 반응 혼합물의 용점을 낮추는 역할을 할 수 있다.

[0874] 산-염기 반응은 H₂O 촉매에 대한 다른 접근방식이다. 예시적 할라이드 및 수산화물 혼합물에는 Bi, Cd, Cu, Co, Mo 및 Cd의 혼합물 그리고 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 및 Zn으로 이루어지는 군의 낮은 물 반응성을 갖는 금속들의 수산화물 및 할라이드의 혼합물이 있다. 실시예에서, 그 반응 혼합물은 H 및 신생 H₂O와 같은 촉매 중 적어도 하나의 소스의 역할을 할 수 있는 물을 더 포함한다. 이 물은 반응 동안 분해되거나 달리 반응하는 수화물의 형태일 수 있다.

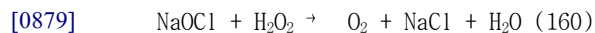
[0875] 실시예에서, 고체 연료가 H₂O 그리고 신생 H 및 신생 H₂O를 형성하는 무기 화합물의 반응 혼합물을 포함한다. 이 무기 화합물은 H₂O와 반응하는 금속 할라이드와 같은 할라이드를 포함할 수 있다. 그 반응 생성물은 수산화물, 옥시수산화물, 산화물, 옥시할라이드, 하이드록시할라이드 및 수화물 가운데 적어도 하나일 수 있다. 다른 생성물은 XO⁻, XO₂⁻, XO₃⁻ 및 XO₄⁻ (X = 할로젠) 등의 산소와 할로젠을 포함하는 음이온을 포함할 수 있다. 그 생성물은 환원된 양이온과 할로젠 기체 가운데 하나일 수도 있다. 할라이드는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속들 그리고 할라이드를 형성하는 Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge 및 B 그리고 다음 원소들 가운데 적어도 하나와 같은 금속 할라이드일 수 있다. 추가적으로 이 금속이나 원소는 수산화물, 옥시수산화물, 산화물, 옥시할라이드, 수산화할라이드, 수화물 및 산소 및 할로젠을 포함하는 XO⁻, XO₂⁻, XO₃⁻ 및 XO₄⁻ (X = 할로젠) 등의 음이온을 갖는 화합물을 형성하는 것 가운데 적어도 하나를 형성하는 것일 수 있다. 적합한 예시적 금속 및 원소는 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 희토류 금속물 그리고 Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge 및 B 가운데 적어도 하나이다. 예시적 반응은 다음과 같다:



[0877] 여기서 M은 Cu 등의 천이 금속이고 X는 Cl 등의 할로젠이다.

[0878] 실시예에서, 그 고체 연료나 에너지 함유 물질은 단일항 산소의 소스를 포함한다. 단일항 산소를 생성하는 예

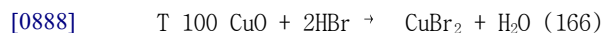
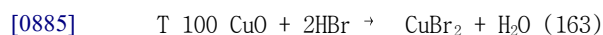
시적 반응은 다음과 같다:



[0880] 다른 실시예에서, 그 고체 연료나 에너지 함유 물질은 H_2O_2 와 같은 펜톤 반응의 소스나 시약을 포함한다:

[0881] 고체 연료나 반응은 SunCell® 플라스마나 열 전력 그리고 여기서 개시된 방법들 및 그 전문이 여기에 참조문헌으로 포함되는 Mills 이전 출원서들(예: 2008년 4월 24일에 출원된 PCT; Hydrogen Catalyst Reactor, PCT/US08/61455, 2009년 7월 29일에 출원된 PCT; Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor, PCT/US09/052072, 2010년 3월 18일에 출원된 PCT; Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System, PCT/US10/27828, 2011년 3월 17일에 출원된 PCT; Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System, PCT/US11/28889, 2012년 3월 30일에 출원된 PCT; H_2O -Based Electrochemical Hydrogen-Catalyst Power System, PCT/US12/31369 그리고 CIHT Power System, PCT/US13/041938, 2013년 5월 21일에 출원)에 개시된 방법들 중 적어도 하나에 의해 재생적 및 가역적 가운데 하나일 수 있다.

[0882] 실시예에서, $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{CuBr}_2$ 와 같은 수산화물 및 할라이드 화합물 혼합물의 재생 반응은 H_2 및 H_2O 중 적어도 하나의 첨가에 의해 이루어질 수 있다. 예시적인 열 가역적 고체 연료 사이클은 다음과 같다:



[0889] K나 Li와 같은 알칼리 금속 그리고 $n\text{H}$ (n = 정수), OH, O, 2O , O_2 및 H_2O 가운데 적어도 하나가 촉매의 역할을 하는 실시예에서, H의 소스는 MH와 같은 금속 수소화물 그리고 금속 M 및 금속 수소화물 MH 중 적어도 하나와 H를 형성하는 H의 소스와 반응 가운데 적어도 하나이다. 하나의 생성물은 산화물이나 수산화물과 같은 산화된 M일 수 있다. 원자 수소 및 촉매 가운데 적어도 하나를 생성하는 반응은 전자 전달 반응이나 산화-환원 반응일 수 있다. 그 반응 혼합물은 H_2 , SunCell®의 것 및 Ni 스크린이나 R-Ni 등의 본 개시의 것들 그리고 이러한 헤리기들 및 다른 것들 그리고 탄소와 같은 본 개시나 탄화물, 붕소화물 및 탄질화물의 지지체 등의 전기적 전도성 지지체 가운데 적어도 하나일 수 있다. M이나 MH의 예시적 산화 반응은 다음과 같다:



[0891] 여기서 H_2O 및 M 가운데 적어도 하나는 $\text{H}(1/p)$ 를 형성하는 촉매의 역할을 할 수 있다.

[0892] 실시예에서, 산소 소스 화합물의 환원된 생성물과 수소 사이의 산소 교환이 최소의 에너지 방출과 함께 발생하는 것과 같이, 산소의 소스는 물의 생성열과 유사한 생성열을 갖는 화합물이다. 적합한 예시적 산소 소스 화합물에는 CdO , CuO , ZnO , SO_2 , SeO_2 및 TeO_2 가 있다. 금속 화합물과 같은 다른 것들은 탈수 반응을 거칠 수 있는 산이나 염기의 무수물일 수도 있는데 H_2O 촉매의 소스가 MnO_x , AlO_x 및 SiO_x 이기 때문이다. 실시예에서, 산화물 층의 산소 소스가 팔라듐 수소화물 H_2O 촉매 및 원자 H를 형성하는 반응은 금속 산화물로 도포된 팔라듐 수소화물과 같은 산화물 도포된 수소 소스를 가열하여 개시할 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 촉매를 형성하는 반응 및 재생 반응을 각각 산소 소스 화합물과 수소 사이의 산소 교환 및 물과 환원된 산소 소스 화합물 사이의 반응을 포함한다. 적합한 환원된 산소 소스는 Cd, Cu, Zn, S, Se 및 Te이다. 실시예에서, 산소 교환 반응은 열적으로 수소 가스를 형성하는데 사용되는 것들을 포함할 수 있다. 예시적인 열 방식에는 산화 철 사이클, 산화 세륨(IV) 산화 세륨(III) 사이클, 아연 산화 아연 사이클, 황-요드 사이클, 구리-염소 사이클 및 하이브리드 황

사이클 그리고 당업자에게 알려진 것들이 있다. 실시예에서, 하이드리노 촉매를 형성하는 반응과 산소 교환 반응과 같은 재생 반응은 동일한 반응 용기에서 동시에 발생한다. 그러한 온도 및 압력과 같은 조건은 반응의 동시성 성취를 위해 제어할 수 있다. 대안적으로, 그 생성물들을 적어도 하나의 다른 별도의 용기에서 제거하여 재생할 수 있는데 이는 본 개시 및 Mills의 이전 출원서에서 주어진 전력 형성 반응들의 조건들과 다른 조건 하에서 발생할 수 있다.

[0893] 고체 연료는 알칼리, 알칼리 토류 및 할라이드 등의 음이온과 산소 음이온을 가진 다른 양이온과 같은 다른 이온을 포함할 수 있다. 고체 연료의 양이온은 알칼리 금속, 알칼리 토류 금속, 천이 금속, 내부 천이 금속, 희토류 금속, 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 및 이온성 화합물을 형성하는 당업계에서 알려진 다른 양이온들 가운데 하나를 포함할 수 있다. 음이온은 수산화물, 할라이드, 산화물, 칼코게나이드, 황산염, 인산염, 인화물, 질산염, 질화물, 탄산염, 크롬산염, 규화물, 비소화물, 붕소화물, 과염소산염, 과옥소산염, 코발트 망간 산화물, 니켈 마그네슘 산화물, 구리 마그네슘 산화물, 알루미늄산염, 텅스텐산염, 지르콘산염, 티탄산염, 망간산염, 탄화물, 금속 산화물, 비금속 산화물, 알칼리, 알칼리 토류, 천이, 내부 천이 및 토류 금속 그리고 Al, Ga, In, Sn, Pb, S, Te, Se, N, P, As, Sb, Bi, C, Si, Ge 및 B 그리고 산화물이나 산소음이온을 형성하는 다른 원소들의 산화물; LiAlO_2 , MgO , CaO , ZnO , CeO_2 , CuO , CrO_4 , Li_2TiO_3 또는 SrTiO_3 , 원소, 금속, 합금 또는 Mo, Ti, Zr, Si, Al, Ni, Fe, Ta, V, B, Nb, Se, Te, W, Cr, Mn, Hf 및 Co로 이루어지는 군의 혼합물을 포함하는 산화물; MoO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , NiO , FeO or Fe_2O_3 , TaO_2 , Ta_2O_5 , VO , VO_2 , V_2O_3 , V_2O_5 , B_2O_3 , NbO , NbO_2 , Nb_2O_5 , SeO_2 , SeO_3 , TeO_2 , TeO_3 , WO_2 , WO_3 , Cr_3O_4 , Cr_2O_3 , CrO_2 , CrO_3 , MnO , Mn_3O_4 , Mn_2O_3 , MnO_2 , Mn_2O_7 , HfO_2 , CoO , Co_2O_3 , Co_3O_4 , Li_2MoO_3 or Li_2MoO_4 , Li_2TiO_3 , Li_2ZrO_3 , Li_2SiO_3 , LiAlO_2 , LiNiO_2 , LiFeO_2 , LiTaO_3 , LiVO_3 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 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 그리고 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, S, Li_2S , MoO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , NiO , FeO or 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 , 및 이온산 화합물을 형성하는 당업계에서 알려진 다른 음이온 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0894] 실시예에서, LiNH_2 등의 이미드의 NH_2 기는 촉매의 역할을 하는데, 그 전위 에너지는 약 81.6 eV 또는 약 3X27.2 eV이다. 무수물에 대한 산이나 염기 사이의 가역적 H_2O 제거나 첨가 반응 그리고 그 반대와 유사하게, 아미드와 이미드 또는 질화물 사이의 가역 반응은 하이드리노를 형성하기 위해 원자 H와 더 반응하는 NH_2 촉매의 형성을 초래한다. 아미드 그리고 이미드 및 질화물 적어도 하나와의 사이의 반응은 원자 H와 같은 수소의 소스 역할을 할 수 있다.

[0895] 고체 연료 용융 및 전기분해 전지

[0896] 실시예에서, 열 전력과 $\text{H}(1/p)$ 및 $\text{H}_2(1/p)$ 와 같은 더 낮은 에너지의 수소 종(p는 정수)을 형성하는 반응기는 H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나의 소스 역할을 하는 용융 염을 포함한다. 용융 염은 공유 혼합물과 같은 염의 혼합물을 포함할 수 있다. 이 혼합물은 알칼리 및 알칼리 토류 수산화물 중 적어도 하나와 할라이드(예: LiOH-LiBr 또는 KOH-KCl)의 혼합물과 같은 적어도 하나의 수산화물과 할라이드를 포함할 수 있다. 그 반응기는 염을 용융 상태로 유지하기 위해 히터, 히터 전원 및 온도 제어기를 더 포함할 수 있다. H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나의 소스는 물을 포함할 수 있다. 물은 용융 염에서 해리될 수 있다. 용융 염은 산화물 그리고 H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나의 소스를 제공하기 위해, Ti, Ni 및 Pt나 Pd 등의 귀금속을 포함하는 적어도 하나의 수소 해리 금속과 같은 금속 가운데 적어도 하나와 같은 첨가제를 더 포함할 수 있다. 실시예에서, H 및 HOH는 용융 염에 존재하는 수산화물, 할라이드 및 물 중 하나의 반응에 의해 형성될 수 있다. 예시적 실시예에서, H 및 HOH 중 적어도 하나가 MOH (M = 알칼리)의 탈수에 의해 형성될 수 있다: $2\text{MOH} \rightarrow \text{M}_2\text{O} + \text{HOH}$; $\text{MOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MOOH} + 2\text{H}$; $\text{MX} + \text{H}_2\text{O}$ (X = 할라이드). 여기서 탈수 및 교환 반응이 MX에 의해 촉매될 수 있다. 용융 염의 반응들에 대한 다른 실시예에는 고체 연료 개시에 나와 있는데 이 반응들은 SunCell® 고체 연료 반응물들과 반응들도 포함할 수 있다.

[0897] 실시예에서, 열 전력 및 $\text{H}(1/p)$ 및 $\text{H}_2(1/p)$ 와 같은 더 낮은 수소 종(p는 정수)을 형성하는 반응기는, 적어도 두 개의 전극을 포함하는 전기분해 시스템 그리고 전기분해 전원, 전기분해 제어기, 용융 전해질, 히터, 온도 센서

및 희망하는 온도를 유지하는 히터 제어기 그리고 H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나의 소스를 포함한다. 예시적 전극은 니켈과 귀금속 전극이다. 물이 셀에 공급될 수 있도록, DC 전압과 같은 전압이 전극에 공급될 수 있다. 수소가 캐소드에서 형성될 수 있고 산소가 애노드가 형성될 수 있다. 하이드리노를 형성하기 위해 셀에서 형성되는 HOH 촉매도 물과 반응할 수 있다. HOH 촉매는 첨가된 물에서 유래할 수 있다. 하이드리노 형성에 따른 에너지가 셀에서 열을 생성할 수 있다. 셀은 하이드리노 반응에 의한 변이 용융 염의 유지를 위해 히터에 요구되는 전력의 양을 감소시킬 수 있도록 잘 절연시킬 수 있다. 이 전열은 진공 재킷이나 세라믹 섬유 절연과 같은 당업계에서 알려진 기타 열 전열을 포함할 수 있다. 반응기는 열 교환기를 더 포함할 수 있다. 열 교환기는 외부 하중으로 전달되는 과잉 열을 제거할 수 있다.

[0898]

용융 염은 하나 이상의 다른 수산화물, 할라이드, 질산염, 황산염, 탄산염 및 인산염에서 선택한 것과 같은 적어도 하나의 다른 염 및 수산화물을 포함할 수 있다. 실시예에서, 염 혼합물은 금속 수산화물 그리고 동일한 금속과 할라이드, 질산염, 황산염, 탄산염 및 인산염 등 본 개시의 다른 음이온을 포함할 수 있다. 이 용융 염은 $\text{CsNO}_3\text{-CsOH}$, CsOH-KOH , CsOH-LiOH , CsOH-NaOH , CsOH-RbOH , $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-KOH}$, KBr-KOH , KCl-KOH , KF-KOH , KI-KOH , $\text{KNO}_3\text{-KOH}$, $\text{KOH-K}_2\text{SO}_4$, KOH-LiOH , KOH-NaOH , KOH-RbOH , $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-LiOH}$, LiBr-LiOH , LiCl-LiOH , LiF-LiOH , LiI-LiOH , $\text{LiNO}_3\text{-LiOH}$, LiOH-NaOH , LiOH-RbOH , $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaOH}$, NaBr-NaOH , NaCl-NaOH , NaF-NaOH , NaI-NaOH , $\text{NaNO}_3\text{-NaOH}$, $\text{NaOH-Na}_2\text{SO}_4$, NaOH-RbOH , RbCl-RbOH , $\text{RbNO}_3\text{-RbOH}$, LiOH-LiX , NaOH-NaX , KOH-KX , RbOH-RbX , CsOH-CsX , $\text{Mg(OH)}_2\text{-MgX}_2$, $\text{Ca(OH)}_2\text{-CaX}_2$, $\text{Sr(OH)}_2\text{-SrX}_2$, 또는 $\text{Ba(OH)}_2\text{-BaX}_2$ ($X = \text{F, Cl, Br 또는 I}$) 그리고 LiOH , NaOH , KOH , RbOH , CsOH , Mg(OH)_2 , Ca(OH)_2 , Sr(OH)_2 또는 Ba(OH)_2 그리고 하나 이상의 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 , TiX 및 WX_4 ($X = \text{F, Cl, Br 또는 I}$)에서 선택한 적어도 하나의 염 혼합물은 포함할 수 있다. 용융 염은 염 혼합물 전해질의 음이온들에 공통된 양이온을 포함할 수 있다; 또는 그 음이온이 양이온들에게 공통될 수 있으며, 수산화물이 혼합물의 다른 염들에 대해 안정하다. 이 혼합물이 공용 혼합물일 수 있다. 셀은 공용 혼합물의 융점과 대략 같은 온도에서 작동할 수 있고, 더 높은 온도에서 작동할 수 있다. 전기분해 전압은 약 1V ~ 50 V, 2 V ~ 25 V, 2V ~ 10 V, 2 V ~ 5 V 및 2 V ~ 3.5 V의 적어도 한 범위에 있을 수 있다. 전류 밀도는 약 $10 \text{ mA/cm}^2 \sim 100 \text{ A/cm}^2$, $100 \text{ mA/cm}^2 \sim 75 \text{ A/cm}^2$, $100 \text{ mA/cm}^2 \sim 50 \text{ A/cm}^2$, $100 \text{ mA/cm}^2 \sim 20 \text{ A/cm}^2$ 및 $100 \text{ mA/cm}^2 \sim 10 \text{ A/cm}^2$ 의 적어도 한 범위일 수 있다.

[0899]

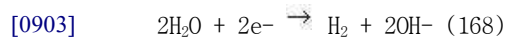
다른 실시예에서, 전기분해 열 전력 시스템은 수소 투과성 전극과 같은 수소 전극을 더 포함한다. 이 수소 전극은 $\text{Ni(H}_2\text{)}$, $\text{V(H}_2\text{)}$, $\text{Ti(H}_2\text{)}$, $\text{Nb(H}_2\text{)}$, $\text{Pd(H}_2\text{)}$, $\text{PdAg(H}_2\text{)}$, $\text{Fe(H}_2\text{)}$ 또는 430 SS(H_2)로 지정되는 Ni, V, Ti, Nb, Pd, PdAg 또는 Fe와 같은 금속 막을 통해 투과되는 H_2 가스를 포함할 수 있다. 알칼리 전해질을 위한 적합한 수소 투과성 전극은 Ni 및 LaNi_5 등의 합금, Pt, Pd 및 Au 등의 귀금속 그리고 V, Nb, Fe, Fe-Mo 합금, W, Mo, Rh, Zr, Be, Ta, Rh, Ti, Th, Pd, Pd-도포된 Ag, Pd-도포된 V, Pd-도포된 Ti, 희토류, 기타 내화 금속들, 430 SS 등의 스테인레스강(SS) 및 당업자에게 알려진 다른 그러한 금속들과 같은 니켈이나 귀금속으로 도포된 수소 투과성 금속을 포함한다. M이라는 금속을 통해 H_2 가 투과하는 $\text{M(H}_2\text{)}$ 로 지정된 수소 전극은 $\text{Ni(H}_2\text{)}$, $\text{V(H}_2\text{)}$, $\text{Ti(H}_2\text{)}$, $\text{Nb(H}_2\text{)}$, $\text{Pd(H}_2\text{)}$, $\text{PdAg(H}_2\text{)}$, $\text{Fe(H}_2\text{)}$ 및 430 SS(H_2) 가운데 적어도 하나를 포함할 수 있다. 수소 전극은 H_2 를 살포할 수 있는 다공성 전극을 포함할 수 있다. 수소 전극은 다음에서 선택된 수소화물과 같은 수소화물을 포함할 수 있다: R-Ni, LaNi_5H_6 , $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$, $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$, $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$, $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 및 수소를 저장할 수 있는 다른 합금들, AB_5 (LaCePrNdNiCoMnAl) 또는 AB_2 (VTiZrNiCrCoMnAlSn) 유형 (" AB_x " 지정은 A 유형 원소들(LaCePrNd 또는 TiZr) 대 B 유형 원소들(VNiCrCoMnAlSn)의 비율을 지칭한다), AB_5 -유형: $\text{MmNi}_{3.2}\text{Co}_{1.6}\text{Mn}_{0.6}\text{Al}_{0.11}\text{Mo}_{0.09}$ ($\text{Mm} = \text{미시 금속: } 25 \text{ wt\% La, } 50 \text{ wt\% Ce, } 7 \text{ wt\% Pr, } 18 \text{ wt\% Nd}$), AB_2 -유형: $\text{Ti}_{0.51}\text{Zr}_{0.49}\text{V}_{0.70}\text{Ni}_{1.18}\text{Cr}_{0.12}$ 합금들, $\text{Mg}_{1.9}\text{Al}_{0.1}\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}$ 합금, $\text{Mg}_{0.72}\text{Sc}_{0.28}(\text{Pd}_{0.012} + \text{Rh}_{0.012})$ 및 $\text{Mg}_{80}\text{Ti}_{20}$, $\text{Mg}_{30}\text{V}_{20}$, $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.4}\text{Co}_{2.5}\text{Si}_{0.1}$, $\text{LaNi}_{5-x}\text{M}_x$ ($\text{M} = \text{Mn, Al}$), ($\text{M} = \text{Al, Si, Cu}$), ($\text{M} = \text{Sn}$), ($\text{M} = \text{Al, Mn, Cu}$) 및 LaNi_4Co , $\text{MmNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.44}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$, $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.44}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$, MgCu_2 , MgZn_2 , MgNi_2 , AB 화합물들, TiFe , TiCo , 및 TiNi , AB_n 화합물들 ($n = 5, 2$ 또는 1), AB_{3-4} 화합물들, AB_x ($A = \text{La, Ce, Mn, Mg; } B = \text{Ni, Mn, Co, Al}$), ZrFe_2 , $\text{Zr}_{0.5}\text{Cs}_{0.5}\text{Fe}_2$, $\text{Zr}_{0.8}\text{Sc}_{0.2}\text{Fe}_2$, YNi_5 , LaNi_5 , $\text{LaNi}_{4.5}\text{Co}_{0.5}$, (Ce, La, Nd, Pr) Ni_5 , 미시 금속-니켈 합금,

$Ti_{0.98}Zr_{0.02}V_{0.43}Fe_{0.09}Cr_{0.05}Mn_{1.5}$, La_2CoNi_9 , $FeNi$ 및 $TiMn_2$. 실시예에서, 전기분해 캐소드는 H_2O 환원 전극 및 수소 전극 가운데 적어도 하나를 포함한다. 실시예에서, 전기분해 애노드는 OH^- 산화 전극 및 수소 전극 가운데 적어도 하나를 포함한다.

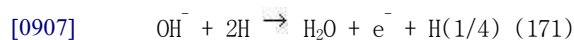
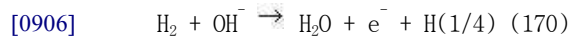
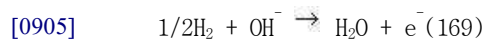
[0900] 본 개시의 실시예에서, 전기분해 열 전력 시스템은 $[M'''/MOH-M'halide/M''(H_2)]$, $[M'''/M(OH)_2-M'halide/M''(H_2)]$, $[M''(H_2)/MOH-M'halide/M''']$ 및 $[M''(H_2)/M(OH)_2-M'halide/M''']$ 가운데 하나를 포함하는데, M은 알칼리나 알칼리 토류 금속이고, M'은 알칼리나 알칼리 토류 금속보다 적어도 하나 덜 안정하거나 물과의 낮은 반응성을 가진 수산화물 및 산화물을 가진 금속이고, M''는 수소 투과성 금속이고, M'''은 전도체이다. 실시예에서, M'은 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 및 Pb로부터 선택된 것과 같은 금속이다. 대안적으로, M 및 M'은 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 및 W로부터 독립적으로 선택된 것과 같은 금속일 수 있다. 다른 예시적 시스템은 $[M'/MOH\ M'X/M''(H_2)]$ 및 $[M'(H_2)/MOH\ M'X/M'']$ 을 포함하는데, M, M', M'' 및 M'''는 금속 양이온이나 금속이고, X는 수산화물, 할라이드, 갈산염, 황산염, 탄산염 및 인산염으로부터 선택된 것과 같은 음이온이고, M'는 H_2 투과성이다. 실시예에서, 수소 전극은 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 및 귀금속으로부터 선택된 적어도 하나와 같은 금속을 포함한다. 실시예에서, 전기화학 전력 시스템은 수소 소스, 원소 H를 제공하거나 형성할 수 있는 수소 전극, H, H_2 , OH^- 및 H_2O 촉매 중 적어도 하나를 형성할 수 있는 전극, O_2 및 H_2O 중 적어도 하나의 소스, H_2O 및 O_2 중 적어도 하나를 환원시킬 수 있는 캐소드, 알칼리 전해질 그리고 H_2O 증기, N_2 및 O_2 및 H_2 중 적어도 하나와 H_2O 를 수집하고 재순환시키는 시스템을 포함한다. H_2 , 물 및 산소의 소스는 본 개시의 것들을 포함할 수 있다.

[0901] 실시예에서, 전기분해 시스템으로 공급되는 H_2O 는 캐소드에서 형성된 H 원자를 하이드리노로 촉매시키는 HOH 촉매의 역할을 할 수 있다. 수소 전극에서 공급되는 H는 $H(1/4)$ 및 $H_2(1/4)$ 과 같은 하이드리노를 형성하는 H 반응물의 역할도 할 수 있다. 다른 실시예에서, 촉매 H_2O 는 애노드에서 OH^- 의 환원 그리고 소스의 H와의 반응에 의해 형성될 수 있다. H의 소스는 수산화물 및 H_2O 중 적어도 하나를 포함하는 것과 같은 전해질 및 수소 전극의 전기분해로부터 유래하는 적어도 하나로부터 유래할 수 있다. H는 캐소드에서 애노드로 확산될 수 있다. 예시적 캐소드 및 애노드 반응은 다음과 같다:

[0902] 캐소드 전기분해 반응



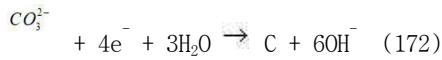
[0904] 애노드 전기분해 반응



[0908] 애노드에서 HOH 촉매를 형성하는 OH^- 의 산화 반응에 대해, OH^- 는 캐소드에서의 O_2 와 같은 산소 소스의 환원에 의해 대체될 수 있다. 실시예에서, 용융 전해질의 음이온은 캐소드에서 산소의 소스 역할을 할 수 있다. 적합한 음이온은 CO_3^{2-} , SO_4^{2-} 및 PO_4^{3-} 등의 산소 음이온이다.

[0909] CO_3^{2-} 와 같은 음이온은 염기성 용액을 형성할 수 있다. 예시적 캐소드 반응은 다음과 같다:

[0910] 캐소드

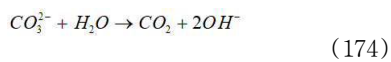


이 반응에는 다음과 같은 가역적 반전지 산화-환원 반응이 참여할 수 있다:

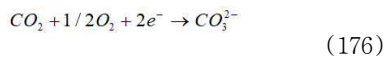
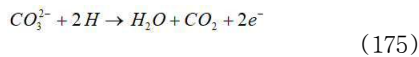


H₂O ⇌ OH⁻ + H의 환원은 하이드리노를 형성하는 캐소드 반응을 초래할 수 있는데, H₂가 촉매의 역할을 한다. 실시예에서, CO₂, SO₂, NO, NO₂, PO₂ 및 다른 유사한 반응물들을 산소의 소스로서 전지에 첨가할 수 있다.

용융 전기분해 전지 외에도, 용융이나 수용성 알칼리 또는 탄산염 전기분해 전지에서 H₂O 촉매를 생성하는 가능성이 존재하는데, 여기서 H가 캐소드에서 생성된다. H₂O에서 OH⁻ + H로의 환원에 의해 캐소드에서 형성된 H의 전극 교차는 식 (171)의 반응을 초래할 수 있다. 대안적으로, 다음과 같은 가역적 내부 산화-환원 반응이 참여하는 것과 같은 H₂O 촉매를 발생시킬 수 있는 몇 가지 탄산염 참여 반응들이 있다:



그리고 다음과 같은 반전지 반응이 있다:



물질의 하이드리노 화합물이나 조성물

분자 하이드리노와 같은 저에너지 수소 종을 포함하는 하이드리노 화합물은 (i) 고유한 금속 수소화물, 하이드라이드 이온 및 M + 2 단량체 $K^+[H_2(1/4):K_2CO_3]_n$ 및 $K^+[H_2(1/4):KOH]_n$ 와 같은 다합체 단위(n은 정수)의 형태와 같은 결합된 H₂(1/4)를 갖는 무기 이온의 클러스터를 기록할 수 있는 비행시간 2차 이온 질량 분광법(ToF-SIMS) 및 전기 분무 이온화 비행시간 이차 이온 질량 분광법(ESI-ToF); (ii) 약 1940 cm⁻¹에서 H₂(1/4) 회전 에너지 및 공지된 작용기의 다른 고 에너지 특징이 없을 수 있는 펄서 프린트 영역에서 libation 밴드 중 적어도 하나를 기록할 수 있는 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR); (iii) -4 ppm 내지 -6 ppm 영역에서와 같은 업필드 매트릭스 피크를 기록할 수 있는 양성자 매직 각도 방사 핵 자기 공명 분광법(1H MAS NMR); (iv) 중합체 구조를 포함할 수 있는 독특한 조성으로 인해 새로운 피크를 기록할 수 있는 X-선 회절(XRD); (v) 200 °C 내지 900 °C의 영역과 같은 매우 낮은 온도에서 수소 중합체의 분해를 기록하고 FeH 또는 K₂CO₃H₂와 같은 고유한 수소 화학양론 또는 조성을 제공할 수 있는 열 중량 분석(TGA); (vi) 0.25 eV 간격의 피크를 포함하는 260 nm 영역에서 H₂(1/4) 회전 진동 밴드를 기록할 수 있는 e-빔 여기 방출 분광법; (vii) 0.25 eV 간격의 피크를 포함하는 260 nm 영역에서 2차 H₂(1/4) 진동계 밴드를 기록할 수 있는 광 발광 라만 분광법; (viii) e-빔 여기 방출 분광법에 기록된 0.25 eV 간격의 피크들을 포함하는 260 nm 영역에서 1차 H₂(1/4) 회전-진동 대역 가운데 적어도 하나가 크라이오 쿨러에 의해 열의 냉각 시 온도에 따라 강도가 가역적으로 감소할 수 있다; (ix) H₂(1/4)와 같은 H₂(1/p)의 회전-진동 대역이 그 회전 진동 방출의 적어도 그 에너지의 광과 같은 고에너지 광에 의해 여기될 수 있는 회전-진동 방출 분광법; (x) 반자성 및 나노입자 시프트에 기인하는 40 ~ 8000 cm⁻¹의 범위의 연속 라만 스펙트럼 및 1500 ~ 2000 cm⁻¹의 범위의 피크 가운데 적어도 하나를 기록할 수 있는 라만 분광법; (xi) 마이크로파, RF 또는 글로 방전 플라즈마 등의 플라즈마로 여기되는 KCl을 포함하는 것과 같은 결정성 매트릭스 등의 기상이나 액체나 고체에 매립된 상태의 H₂(1/4)의 회전-진동 대역에 대한 분광법; (xii) 1940 cm⁻¹ ±10% 및 5820 cm⁻¹ ±10% 중 약 하나 이상에서 H₂(1/4) 회전 피크를 기록할 수 있는 라만 분광법, (xiii) 약 495-500 eV에서 H₂(1/4)의 총 에너지를 기록할 수 있는 X-선 광전자 분광법, (xiv) 피크가 헬륨이나 아르곤보다 더 빠른 이동 시간을 가질 수 있는 네거티브 피크를 기록할 수 있는 가스 크로마토그래피, (xv) EPR 스펙트럼이

약 9.9×10^{-5} eV $\pm 20\%$ 의 전자-전자 쌍극자 분열 에너지 및 약 1.6×10^{-2} eV $\pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자 분열 에너지를 보여주는 경우, 약 $2.0046 \pm 20\%$ 의 g 인자 및 약 1.6×10^{-2} eV $\pm 20\%$ 의 양자-전자 쌍극자와 같은 양자 분리를 갖는 $H_2(1/4)$ 피크 그리고 수소 분자 이합체 $[H_2(1/4)]_2$ 를 포함하는 수소 생성물 가운데 적어도 하나를 기록

$$\frac{1.70127 a_0^2}{p^2}$$

할 수 있는 전자 상자성 공명(EPR) 분광법, (xvi) 약 $\frac{1.70127 a_0^2}{p^2}$ 의 $H_2(1/p)$ 사중극자 모멘트/e를 기록하는 자기화물 및 g 인자 측정자와 같은 사중극자 모멘트 측정치들, 그리고 (xvii) 물이나 물-메탄올-포름산을 포함하는 것과 같은 용매 그리고 구배 물 + 초산 암모늄 + 포름산 및 아세트니트릴/물 + 초산 암모늄 + 포름산 등의 용출액과 함께 유기 컬럼을 사용하여 캐리어 공간 부피의 정제 시간보다 더 긴 정제 시간을 가진 크로마토그래피 피크를 보여주는 고압 액체 크로마토그래피(HPLC)에 있어서, SunCell®의 Ga_2O_3 를 NaOH에 용해하여 준비한 샘플의 ESI-ToF와 같은 질량 분광법에 의한 피크의 검출이 $NaGaO_2$ -유형 단편과 같은 적어도 하나의 이온성이나 무기 화합물의 단편을 보여주는 HPLC에 의해서 식별될 수 있다. 하이드리노 분자는 이합체 및 $H_2(1/p)$ 는 적어도 하나를 형성할 수 있다. 실시예에서, $H_2(1/4)$ 이합체($[H_2(1/4)]_2$) 및 $D_2(1/4)$ 이합체($[D_2(1/4)]_2$)의 정수 J에서 J +1로의 전이에 대한 양끝 회전 에너지가 각각 약 (J+1)44.30 cm⁻¹ 및 (J+1)22.15 cm⁻¹이다. 실시예에서, $[H_2(1/4)]_2$ 의 적어도 하나의 매개변수는 (i) 약 1.028의 $H_2(1/4)$ 분자 사이의 분리 거리, (ii) $H_2(1/4)$ 분자 사이의 23 cm⁻¹의 진동 에너지 및 (iii) $H_2(1/4)$ 분자 사이의 약 0.0011 eV의 반데르발스 에너지이다. 실시예에서, 고체 $H_2(1/4)$ 의 적어도 하나의 매개변수는 (i) 약 1.028 Å의 $H_2(1/4)$ 분자 사이의 분리 거리, (ii) $H_2(1/4)$ 분자 사이의 23 cm⁻¹의 진동 에너지 및 (iii) $H_2(1/4)$ 분자 사이의 약 0.0019 eV의 반데르발스 에너지이다. 회전 및 진동 스펙트럼 가운데 적어도 하나는 FTIR 및 라만 분광법 가운데 적어도 하나에 의해 기록될 수 있으며, 여기서 결합 해리 에너지와 분리 거리 또한 이 스펙트럼으로부터 결정할 수 있다. 하이드리노 생성물의 매개변수에 대한 솔루션은 Mills GUTCP[여기에 참조문헌으로 포함되며, <https://brilliantlightpower.com> 사이트에 나와 있음]의 5-6장, 11-12장 및 16장 등이다.

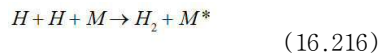
[0922] 실시예에서, 물리적으로 흡수되고 액화된 가스 상태나 다른 상태로 분자 하이드리노를 수집하는 장치는 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체의 소스, 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체를 함유하는 챔버, 저에너지 수소 종을 챔버에 포함하는 거대응집체 또는 중합체를 열 분해하는 수단, 및 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체로부터 방출된 가스를 수집하는 수단을 포함한다. 분해 수단은 히터를 포함할 수 있다. 히터는 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체의 분해 온도, 예컨대 약 10 °C 내지 3000 °C, 100 °C 내지 2000 °C 및 100 °C 내지 1000 °C 중 적어도 하나의 범위의 온도보다 더 높은 온도로 제 1 챔버를 가열할 수 있다. 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체의 분해로부터 가스를 수집하는 수단은 제 2 챔버를 포함할 수 있다. 제 2 챔버는 수집된 분자 하이드리노 가스를 저장 및 전달하는 적어도 하나의 가스 펌프, 가스 밸브, 압력 게이지 및 질량 유량 제어기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 제 2 챔버는 분자 하이드리노 가스를 흡수하기 위한 게터 또는 분자 하이드리노를 액화시키기 위한 극저온 시스템과 같은 냉각기를 더 포함할 수 있다. 냉각기는 액체 헬륨 또는 액체 질소와 같은 극저온 액체를 함유하는 극저온 펌프 또는 듀어(dewar)를 포함할 수 있다.

[0923] 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체를 형성하기 위한 수단은 전기장 또는 자기장 중 적어도 하나의 소스와 같은 필드 소스를 더 포함할 수 있다. 전계 소스는 적어도 두 개의 전극 및 전계를 반응 챔버에 인가하기 위한 전압원을 포함할 수 있으며, 여기서 응집체 또는 중합체가 형성된다. 대안적으로, 전기장 소스는 정전기적으로 충전된 재료를 포함할 수 있다. 정전기로 충전된 재료는 플렉시글라스(Plexiglas) 챔버와 같은 탄소를 포함하는 챔버와 같은 반응 셀 챔버를 포함할 수 있다. 본 개시의 폭발은 반응 셀 챔버를 정전기적으로 충전할 수 있다. 자기장 소스는 응집체 또는 중합체가 형성되는 반응 챔버에 자기장을 인가하기 위한 영구 또는 전자석 또는 초전도 자석과 같은 적어도 하나의 자석을 포함할 수 있다.

[0924] 여기에 나와 있는 형태(#.#)의 EPR 계산의 식들 그리고 참조된 섹션들은 MILLS GUT의 그것들과 상응한다. 분자 하이드리노 $H_2(1/p)$ 는 다음을 포함한다: (i) 분자 궤도(MO)를 포함하는 최소 에너지, 등전위, 장축 타원체 2차원 전류 막에서 결합된 2개의 전자들, (ii) 장축 타원체의 초점에 있는 2개의 양자와 같은 2개의 $Z=1$ 핵, 그리고 (iii) 타원체의 초점에 모인 각 핵에서 그 기본 전하의 역의 정수까지 중앙 장축 타원체 전장을 감소시키는 대신 광자가 정수로서 중앙 필드를 증가시키며 또한 $H_2(1/p)$ 의 전자들이 별개 ξ 위치에 있는데 비해 동

일한 $\frac{e}{2m}$ 위치 수에서 동일한 전자 껍질에서 짝지어진다는 점에서, 각 상태의 광자 방정식이 Excited State of the Hydrogen Molecule 섹션에 주어진 여기된 H_2 상태의 그것과 다른 광자. 하이드리노 상태 광자 필드와 각 전자와의 상호작용은 그 상태가 안정하도록 비방사 방사형 홀극자를 발생시킨다. 대조적으로, 동일한 기전에 의해 여기된 H_2 상태 광자는 바깥의 여기된 상태 전자에서 방사 방사형 쌍극자를 발생시켜 그 상태가 방사에 대해 불안정하게 된다. 여기된 상태의 경우, 광자 전장은 동상의 바깥 전자의 일정한 장축 타원체 전류를 변조시키는 공간 및 시간에서 장축 타원체 조화를 포함한다. 전자는 궤도 각 운동량에 상응하고 후자는 회전 각 운동량에 상응한다. 단일 MO에서 두 개의 비방사 전자를 포함하는 분자 하이드리노의 고유한 안정한 상태로 인해, 포착된 광자 필드의 성격, 공명기 공동의 역할을 하는 분자 하이드리노 내부에서 벡터 양자 전파의 성격 그리고 전자 전류의 성격은 고유하다.

[0925] 제3체 충돌에 의해 제거되는 결합 에너지를 요하는 2개의 비방사성 $n=1$ 상태의 H 원자들로부터 비방사 상태의 H_2 분자의 형성을 고려한다:



[0926]

[0927] 여기서 M^* 은 에너지 함양 상태의 제2체를 나타낸다. 분자 하이드리노는 동일한 비방사 기전에 의해 형성될 수 있는데, 하이드리노 원자 및 분자는 각각 장축 타원체 MO의 각 원점 및 각 초점에서 양자의 중앙 필드의 정수 배수와 동등함이라는 이점에 의해 비방사인 중앙 필드의 추가의 광자 성분을 포함한다. 방사없는 정수 광자의 중앙 필드를 유지하는 반면 2개의 전자의 값은 분자 제도로의 조합은 단일한 상태보다는 분자 하이드리노의 이중항의 특별한 경우를 발생시킨다.

[0928] 단일한 상태는 비자기성이다; 반면에 이중한 상태는 보어 자자 μ_B 의 순 자기 모멘트를 갖는다.

[0929] 구체적으로, 각 수소 유형 원자의 전류의 기반 원소는 Generation of the Atomic Orbital-CVFS 섹션에 나와 있는 큰 원이고, 큰 원 전류 기반 원소들이 Force Balance of Hydrogen-Type Molecules 섹션에 나와 있는 바와 같이 수소 유형 분자에서 타원 전류 기반 원소들로 전이된다. Atomic Orbital 섹션의 Equation of the Electric Field에 나와 있는 바와 같이, (i) 광자가 전기장을 운반하고 폐쇄 필드 라인 루프를 포함하며, (ii) 하이드리노 분자 하이드리노는 각각 포착된 광자를 포함하는데, 광자 필드 라인 루프는 각각 짝이 맞는 큰 원이나 타원 전류 루프 기반 원소를 따라 동일한 벡터 방향으로 이동하며, (iii) 각 필드 라인의 방향은 공간 상태성에 의해 요구되는 바와 같이 상대적 운동과 함께 전하 방향에 대해 수직인 방향으로 증가하며, (iv) 포착된 광자의 필드 라인 루프를 따라 각 점의 직선 속도는 광속(c)이므로, 실험실 틀에 대한 전기장 방향은 그 짝지어

진 전류 루프에 대해 순전히 수직이며 $\delta(r-r_n)$ 에서만 존재한다. 수소 분자 궤도의 전자 쌍은 순 자기 모멘트가 없는 단일항 상태를 포함한다. 하지만 분자 하이드리노의 형성 동안 겹쳐지는 2개의 하이드리노 원자들의 광자 필드 라인은 취소를 피하기 위해 한 방향으로만 전파될 수 있으며 중앙 필드를 발생시켜 원심력과 중심력 사이의 힘 균형을 제공할 수 있다(식 (11.200)). 이 특수한 경우가 분자 하이드리노에서 이중항 상태를 발생시킨다.

[0930] MO는 Generation of the Orbitsphere-CVFS 섹션 및 Force Balance of Hydrogen-Type Molecules 섹션에서 주어진 각 전자의 전류 밀도 함수를 포함하는 큰 타원의 선형 조합으로 처리할 수 있다. 광자가 전자 전류와 방향에 대해 일치하고 전자 각 운동량($\hbar$)이 충족된다는 경계 조건들을 부합하기 위해, 전자 1의 절반과 전자 2의 절반이 상향 회전하여 2개의 광자와 짝지을 수 있으며, 전자 1의 다른 절반이 상향 회전할 수 있고 전자 2의 다른 절반이 하향 회전할 수 있어서 전류의 절반이 짝지어지고 전류의 절반은 짝이 지어지지 않는다. 각 전자의 불가분성 그리고 MO가 2개의 동일한 전자를 포함하는 조건이 주어진 상황에서, 2개의 광자의 힘이 2개의 동일한 전자를 포함하는 전자 MO의 총 총체성으로 이전되어 식(11.200)을 만족시킨다. 그에 따른 홀 전류 밀도의 각 운동량 및 자기 모멘트는 각각 $\hbar$ 및 보어 자자 μ_B 이다.

[0931] Electron g Factor 섹션에 나와 있는 바와 같이, 자속은 플럭손이나 자속 양자 $\frac{h}{2e}$ 의 양자화 단위로 짝이 안 지어진 전자에 의해 연계된다. 원자 궤도를 밟는 플럭손의 전기 에너지, 자기 에너지 및 소멸 에너지는 식

(1.226 -1.227)에 의해 주어진다:

$$\Delta E_{mag}^{spin} = 2 \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{2}{3} \alpha^2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right) - \frac{4}{3} \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right)^2 \right) \mu_B B = g \mu_B B$$

[0932] (16.217)

[0933] 분자 하이드리노의 경우, 홀 전자는 M0의 2개의 전자의 선형 조합인데, 전류 밀도의 절반이 짝지어지고 절반은 짝이 안 지어진다. 플러손은 자속 링키지 항의 기여가 두 배가 되도록 두 상호연동된 전자들을 연계시킨다. 이에 상응하는 g 인자는 다음과 같다:

$$g = 2 \left(1 + 2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} + \frac{2}{3} \alpha^2 \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right) - \frac{4}{3} \left(\frac{\alpha}{2\pi} \right)^2 \right) \right) = 2.0046386$$

[0934] (16.218)

[0935] 인가된 자기장에서 홀 전자의 평행 및 역평행 사이의 에너지는 다음과 같다:

$$\Delta E_{mag}^{spin} = g \mu_B B = 2.0046386 \mu_B B$$

[0936] (16.219)

[0937] 식 (16.218)의 예측이 확인되었는데 전자 상자성 공명 피크가 2.0047의 g 인자로써 관찰되었다.

[0938] 다른 분자 하이드리노 전자 자기 모멘트와의 상호작용 그리고 분자의 양자들의 핵 자기 모멘트는 이 상호작용에 상응하는 에너지에 의해서 양자화된 에너지 준위의 분할(식 (16.219))을 초래한다. 식 (16.220)에서 나타난 바와 같이, 동축으로 인가되거나 상호작용하고 자속이 자기 모멘트와 평행인 경우 전자의 에너지가 감소되고, 자속이 자기 모멘트와 역평행인 경우 전자의 에너지가 증가된다. $\left[H_2(1/4) \right]_2$ 와 같은 분자 하이드리노 이합체

$\left[H_2(1/p) \right]_2$ 의 에너지 시프트는 Geometrical Parameters and Energies due to the Intermolecular van der Waals Cohesive Energies of H₂ Dimer, H₂(1/p) Dimer, Solid H₂ 및 Solid H₂(1/p) 섹션에서 계산된 매개변수들

을 가진 하이드리노 이합체에서 제1 $H_2(1/4)$ 분자 및 동일선 상의 제2 $H_2(1/4)$ 분자의 자기 모멘트의 상호작용 에너지를 고려하여 계산할 수 있다. 일반적으로, 거리 $|\mathbf{r}|$ 에 의해 분리된 2개의 양자화된 자기 쌍극자 $\mathbf{m}_1$ 및 $\mathbf{m}_2$ 에 대한 상호작용의 위치 에너지 $E_{mag \ dipole}$ 는 다음에 의해 주어진다:

$$E_{mag \ dipole} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{|\mathbf{r}|^3} (3(\mathbf{m}_1 \cdot \hat{\mathbf{r}})(\mathbf{m}_2 \cdot \hat{\mathbf{r}}) - \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{m}_2)$$

[0939] (16.220)

[0940] 여기서 μ_0 은 자유 공간의 투과도이고 $\hat{\mathbf{r}}$ 은 2개의 쌍극자의 중심을 연결하는 선에 평행한 단위 벡터이다.

$H_2(1/4)$ 이합체에서 2개의 축상으로 정렬된 자기 모멘트와의 상호작용의 분할 에너지를 고려해본다. 각각 축상으로 정렬된 자기 모멘트에 보어 자자 μ_B 를 치환하고, $|\mathbf{r}|$ 에 대해 식 (16.202)의 $H_2(1/4)$ 이합체 분리를 식 (16.220)에 치환하면, $\left[H_2(1/4) \right]_2$ 에서 두 개의 전자 자기 모멘트의 스핀을 뒤집는 에너지 $E_{mag \ e-dipole}$ 은 다음에 의해 계산된다:

$$\begin{aligned} E_{mag \ e-dipole} &= -\frac{2\mu_0 \mu_B^2}{4\pi r^3} \\ &= -\frac{\mu_0 (9.27400949 \times 10^{-24} \text{ JT}^{-1})^2}{2\pi (1.028 \times 10^{-10} \text{ m})^3} \\ &= -1.584 \times 10^{-23} \text{ J} = -9.885 \times 10^{-5} \text{ eV} = 23.90 \text{ GHz} \end{aligned}$$

[0941] (16.221)

[0942] 식 (16.221)에 의해 주어진 자기 에너지 또한 주어진 $H_2(1/4)$ 의 양자 핵 자기 모멘트에 의해 분리되는데, 핵 자기 모멘트가 전자 자기 모멘트와 평행이거나 역평행일 수 있다. 타원체 MO의 자기장인 H_x , (식 (12.31))는 다음과 같다:

$$B_x = \mu_0 \frac{eh}{2m_e} \frac{1}{a^3 \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right)^{3/2}} \left(2\sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} + \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}} \right) \quad (16.222)$$

[0943] $H_2(1/4)$ 반장축 a (식 (11.202)) 그리고 $H_2(1/4)$ 반단축 b (식 (11.205))를 식 (16.222)에 대입하면 다음을 얻는다:

$$B_x = 4.52 \times 10^4 \text{ T} \quad (16.223)$$

[0946] 이에 상응하는 양자 자기 모멘트를 뒤집는 에너지인 $E_{\text{mag N-dipole}}$ 은 다음에 의해 주어진다:

$$\begin{aligned} E_{\text{mag N-dipole}} &= (2)(2)\mu_p B = 4(1.4106 \times 10^{-26} \text{ JT}^{-1})(4.52 \times 10^4 \text{ T}) \\ &= 2.55 \times 10^{-21} \text{ J} = 1.59 \times 10^{-2} \text{ eV} = 3851 \text{ GHz} = 128 \text{ cm}^{-1} \end{aligned} \quad (16.224)$$

[0947] 이 에너지(식 (16.219))는 그보다 큰 다합체인 3합체, 4합체, 5합체, 6합체 등의 존재 하에서 그리고 하이드리노 화합물의 내부 벌크 자성에 의해 더 영향을 받을 수 있다. 복수의 다합체에 기인하는 에너지 시프트는 식 (16.220)에 의해 주어진 중첩된 자기 쌍극자 상호작용과 상응하는 거리 및 각도의 벡터 가산에 의해 결정될 수 있다. 복수의 하이드리노 분자들이 협동적으로 상호작용 시, 분자 하이드리노는 상자성, 초상자성 및 심지어 강자성과 같은 논제로(non-zero)나 유한 벌크 자성을 발생시킬 수 있다. 초강자성은 진동 시료 자력계로 확인되었다. 분자 하이드리노 미소응집체가 추가로 철과 같은 강자성 원자를 포함하는 경우, 초상자성 및 강자성이 선호된다. 실온 이상에서 안정한 거대응집체는 자기 조립 및 결합에 의해 형성될 수 있다. 자기 에너지는 주위의 실험실 열 에너지와 유사한 대략 0.01 eV가 된다. 약 100 cm^{-1} 의 범위에서 상응하는 적외선 흡수 대역이 푸리에 변환 적외선(FTIR) 분광법 및 라만 분광법에 의해 확인된 바 있다.

[0949] 분자 하이드리노는 전자 상자성 공명 분광법(EPR) 그리고 전자 핵 이중 공명 분광법(ENDOR)에 의해 고유하게 식별할 수 있다. 실시예에서, 더 낮은 에너지의 수소 생성물은 금속 산화물과 같은 반자성 화학적 상태의 금속을 포함할 수 있고, 임의의 자유 비하이드리노 라디칼 종들이 더 부재한데, 전자 상자성 공명(EPR) 분광법 피크가 $H_2(1/4)$ 와 같은 $H_2(1/p)$ 의 존재에 기인하여 관찰된다. 적어도 하나의 반응물의 소스 역할을 하는 와이어를 폭발시키는 수단 그리고 $H_2(1/4)$ 분자, 금속 산화물, 수산화물, $H_2(1/p)$ 과 같은 $H_2(1/4)$ 를 더 포함하는 수화된 금속 산화물 및 수산화물 등의 수화된 무기 화합물 그리고 분자 하이드리노와 같은 더 낮은 에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체나 고분자 가운데 적어도 하나를 형성하는 하이드리노 반응을 전파하는 수단을 포함하는 하이드리노 반응 셀 챔버는 도 33에 나와 있는 와이어 폭발 시스템을 포함한다. 예시적 실시예에서, 대기에서 수증기를 포함하는 분위기에서 99.999% Sn 및 Zn 와이어의 폭발에 의해 형성되고, $H_2(1/4)$ 을 형성하는 H 및 HOH 촉매의 소스 역할을 하는 H_2O 를 포함하는 NaOH-KCl의 보울 및 분쇄에 의해 형성되는 반응 생성물들의 EPR 스펙트럼들은 각각 약 2의 g 인자를 가진 EPR 피크를 보여주었는데, 어떠한 기존의 EPR 종도 존재할 수 없었다. 와이어 폭발 시료의 경우, 습한 대기에서 폭발 후 30분의 기간에 걸쳐 거미줄 같은 생성물이 형성되는 것으로 관찰되었다. 이 거미줄 생성물은 수증기의 부재 하에서는 관찰되지 않았다. 이 거미줄 화합물을 생성물을 수집하여 톨루엔에 현탁한 다음, 9.368 GHz (3343 G)의 마이크로파 주파수를 갖춘 프린스턴 대학(Princeton University)의 기기에서 EPR을 수행했다. NaOH-KCl은 순물질로 실행했다. $g = 2.0045$ 의 EPR 피크는 $H_2(1/4)$ 에 대해 예측된 것과 일치했다. Sn, SnO, Zn, ZnO, NaOH 및 KCl은 EPR 활성이 아니다. SunCell®에서 수용성 KOH 하에서의 하이드리노 반응에서 섬유의 성장과 표면으로의 부상이 허용되었고 이를 여과에 의해 수집했으며, 수집된 Ga_2O_3 를 용해하여 형성된 백색의 고분자 화합물을 포함하는 더 낮은 에너지의 수소를 포함하는 하이드리노 반응 생성물의 전

자 상자성 공명 분광법(EPR)이 도 34에 나와 있다. $g = 2.0045$ 의 EPR 피크는 $H_2(1/4)$ 에 대해 일치했다. 대조인 산화 갈륨 및 수산화 갈륨은 반자성이며 EPR 활성인 것으로 관찰되었다. 대조 $KGa(OH)_4$ 는 수용성 KOH에 상용 시약 Ga_2O_3 를 용해한 다음 진공 하에서 물을 회전 증발하여 준비했다. 대조의 EPR 스펙트럼은 0 ~ 6000 G의 영역에서 임의의 특징이 부재했다. 단일 피크는 유기 자유 라디칼에서 전형적이며 천이 금속의 특성이 아니다. 임의의 라디칼의 존재 가능성은 이 화합물이 농축 염기(pH = 14) 및 농축 HCl(pH ~ 0)에서 안정한 관찰로 인해 제거되었다.

[0950] $[H_2(1/4)]$ 과 같은 분자 하이드리노를 포함하는 화합물은 매우 낮은 핑거프린트 영역에서 넓은 IR 대역 및 라만 대역을 발생시킨다. Mills GUTCP에 나와 있는 바와 같이, $[H_2(1/4)]_2$ 은 거대응집체로서 $[H_2(1/4)]_2$ 이합체의 양 상블이 참여하는 방식으로 여기할 때 낮은 진동 에너지와 양끝 회전 에너지를 가지며, 그 중첩된 에너지는 도 35a 및 35b에서 관찰되는 바와 같이 IR 또는 라만 흡수의 대역을 발생시킨다. 수증기를 포함하는 분위기에서 Zn 와이어의 폭발에 의한 생성물의 FTIR 스펙트럼은 임의의 작용기 특징이 부재하다는 점에서 경이적이다(도 35a). SunCell®에서 수용성 KOH 하에서의 하이드리노 반응에서 섬유의 성장과 표면으로의 부상이 허용되었고 이를 여과에 의해 수집했으며, 수집된 Ga_2O_3 를 용해하여 형성된 백색의 고분자 화합물의 라만 스펙트럼의 경우 동일한 특징들이 관찰되었다(도 35b). 도 35c 및 35d에 나와 있는 바와 같이 325 nm 레이저에 의한 높은 파수에서 라만 연속체가 관찰되었다. 이 연속 라만 스펙트럼은 응집의 자기성 치환, 나노입자 효과 그리고 자기성 분자 하이드리노 링키지에 의한 무작위 응집에 기인하는 무질서에 기인할 수 있다. 1602 cm^{-1} 의 피크가 상자성 및 나노입자 시프트를 가진 $H_2(1/4)$ 회전에 지정된다. 분자 하이드리노는 홀 전자를 갖는다: 그러므로 초미세 구조체가 예측된다. 실시예에서, 하이드리노분자가 스핀(자기적으로) 결합된 경우 초미세 구조체 에너지와 1, 2, 3, 4와 같은 정수를 곱한 에너지가 관찰된다. 도 35c 및 35d의 분자 하이드리노 화합물에 대한 785 nm 레이저 라만에서 $n \times 128\text{ cm}^{-1}$ 의 피크들이 관찰되었으며 이는 식 (16.224)와 일치했다.

[0951] $H_2(1/4)$ 와 같은 복수의 하이드리노 분자들이 전자 자기 모멘트는 영구 자화를 발생시킬 수 있다. 복수의 하이드리노 분자의 자기 모멘트가 협동적으로 상호작용하며 이합체 등의 다합체가 발생할 수 있는 경우, 분자 하이드리노가 벌크 자성을 발생시킬 수 있다. 분자 하이드리노를 포함하는 이합체, 응집체 또는 고분자의 자성은 협동적으로 정렬된 자기 모멘트로부터 발생할 수 있다. 자성이 철 원자와 같은 적어도 하나의 홀 전자를 가진 추가의 종의 영구 전자 자기 모멘트의 상호작용에 기인하는 경우, 그 자성이 훨씬 더 클 수 있다.

[0952] 분자 하이드리노의 자기 특성은 양성자 매직 각도 방사 핵자기 공명 분광법(1H MAS NMR)에 의해 잘 보여지며, 이는 CIHT 셀이라 불리는 하이드리노를 생산하는 전기화학 셀의 경우에 대해 Mills 등이 보여준 바 있다[R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142].

[0953] 일부 수화 수를 더 포함할 수 있는 알칼리 수산화물-알칼리 할라이드 매트릭스와 같은 고체 매트릭스에서 분자 하이드리노의 존재는 분자 하이드리노의 상자성 매트릭스 효과에 기인하여 전형적으로 -4 내지 -5 ppm에서 업필드 1H MAS NMR 피크를 일으킨다; 반면에 하이드리노가 결핍된 초기 매트릭스는 +4.41 ppm에서 주지된 다운필드 시프트 매트릭스를 나타낸다. 스테인레스강 SunCell®로부터 수집한 Ga_2O_3 를 NaOH에 용해하여 여과하고, 스테인레스강 산화물과 $GaOOH$ 를 포함하는 여과액을 압력 용기에서 900°C 까지 가열하고, 압력 용기에 연결된 튜브에 충전된 수화물 KCl 게터를 통해 분해 가스를 흐르게 했다. 하이드리노 가스에 노출된 KCl 게터의 외부 TMS에 대한 1H MAS NMR 스펙트럼은 분자 하이드리노의 자성에 기인하는 높은장 이동된 -4.6 ppm 매트릭스 피크를 보여준다(도 36).

[0954] 분자 하이드리노를 생성하는 편리한 방법은 하이드리노 촉매 및 H의 소스로서 역할을 하기 위해 H_2O 존재하의 와이어 폭발에 의한 것이다. 수증기를 포함하는 분위기에서 와이어 폭발은 웹을 형성하도록 응집될 수 있는 금속 원자 또는 이온을 갖는 분자 하이드리노와 같은 하이드리노를 포함하는 자성 선형 사슬을 생성한다. 상자성 재질은 유도된 자성에 대해 직선적으로 대응한다; 반면에 관찰된 "S" 형상은 강자성과 상자성의 혼성인 초상자성의 특징을 갖는다. 실시예에서, 수증기를 포함하는 공기 중에서 폴리브텐 와이어의 폭발에 의해 형성되는 화합물과 같은 중합체 웹 화합물은 초강자성이다. 진동하는 샘플의 자력계 기록은 도 37에서 보는 바와 같이 S형상의 곡선을 나타낼 수 있다. 유도된 자성이 5K Oe에서 정점에 도달하게 인가된 자장의 증가에 따라 감소하는 것은 예외이다.

- [0955] 초강자성 하이드리노 화합물은 자기장에서 배향될 수 있는 자성의 나노입자를 포함할 수 있다.
- [0956] 자기 조립 메커니즘은 반데르발스 힘외에도 자기 순서를 포함할 수 있다. 외부 자기장의 적용은 톨루엔과 같은 용매에 현탁된 자철석(Fe_2O_3)과 같은 콜로이드성 자성 나노 입자가 선형 구조로 조립되게 하는 것으로 주지되어 있다. 작은 질량과 높은 자기 모멘트로 인해 분자 하이드리노는 자기장이 없는 경우에도 자기적으로 조립된다. 자기 조립을 향상시키고 하이드리노 생성물의 대안적인 구조의 형성을 제어하기 위한 실시예에서, 외부 자기장이 와이어 폭발과 같은 하이드리노 반응에 적용된다. 자기장은 반응 챔버 내에 적어도 하나의 영구 자석을 배치함으로써 적용될 수 있다. 대안적으로, 폭발 와이어는 분자 하이드리노의 자기 자가 조립체를 구동하기 위해 자철석과 같은 자성 입자의 소스로서 기능을 하는 금속을 포함할 수 있으며, 소스는 수증기 또는 다른 소스에서의 와이어 폭발일 수 있다.
- [0957] 실시예에서, 하이드리노 화합물이나 거대응집체와 같은 하이드리노 생성물은 수소가 아닌 주기율 표의 다른 원소를 적어도 하나 포함할 수 있다. 하이드리노 생성물은 하이드리노 분자 그리고 적어도 하나의 금속 원자, 금속 이온, 산소 이온 및 산소 이온과 같은 적어도 하나의 다른 원소를 포함할 수 있다. 예시적 하이드리노 생성물은 $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 $\text{H}_2(1/p)$ 그리고 Sn, Zn, Ag, Fe, Ga, Ga_2O_3 , GaO , SnO , ZnO , AgO , FeO 및 Fe_2O_3 의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0958] 실온부터 상승된 온도에서 고체를 형성하는 분자 하이드리노 분자 $\text{H}_2(1/4)$ 의 결합은 Mills GUTCP에서 보여진 것과 같이 치수와 충전의 증가로 인한 분자 수소보다 분자 하이드리노에서의 더 큰 반데르발스 힘에 기인한다. 그 내부의 자기 모멘트와 반데르발스 힘으로 인해, 분자 하이드리노는 거대응집체로 자가 조립될 수 있다. 실시예에서, $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 $\text{H}_2(1/p)$ 등의 하이드리노는 고분자, 튜브, 체인, 정육면체, 플러린 및 공식 H_n 을 가진 것과 같은 다른 거대구조체를 형성할 수 있는데, 여기서 n 은 알려진 형태의 수소의 정수보다 더 큰 정수이다. 예시적 실시예에서, 수증기를 포함하는 공기 분위기에서 본 개시에서 주어진 방법에 의해 Zn 와이어의 고압 폭발 시 그에 따른 필라멘트 형태의 생성물에 대한 TOF-SIMS에서 $m/e = 60.35$ 의 절대 질량을 가진 H_{60} 가 관찰되었다. 실시예에서, $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 분자 하이드리노는 자기 쌍극자 힘에 의해 결합된 선형 사슬로 조립될 수 있다. 다른 실시예에서, 분자 하이드리노는 8개의 정점 각각에서 $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 $\text{H}_2(1/p)$ 를 갖는 입방체와 같은 3차원 구조로 조립될 수 있다. 실시예에서, $\text{H}_2(1/4)$ 분자와 같은 8개의 $\text{H}_2(1/p)$ 분자는 입방체에 자기적으로 결합되며, 각각의 분자의 중심은 입방체의 8개의 정점 중 하나에 있으며 각각의 핵간 축은 정점을 중심으로 한 입방체의 에지에 평행하다.
- [0959] H_{16} 은 자기 조립에 의해 형성된 더 복잡한 거대 구조를 위한 단위 또는 모이어티(moiety)로 작용할 수 있다. 다른 실시예에서, 정사각형의 4개의 정점 각각에서 $\text{H}_2(1/4)$ 와 같은 $\text{H}_2(1/p)$ 를 포함하는 H_8 의 단위가 입방체 H_{16} 에 추가되어 n 이 정수인 H_{16+8n} 을 포함할 수 있다. 예시적인 추가의 거대응집체는 H_{16} , H_{24} 및 H_{32} 이다. 수소 거대응집체 중성자 및 이온은 중성자 또는 이온으로서 O, OH, C 및 N과 같은 다른 종과 조합할 수 있다. 실시예에서, 생성된 구조는 비행 시간 이차 이온 질량 스펙트럼(ToF-SIMS)에서 H_{16} 피크를 발생시키며, 여기서 단편은 H_{16} , H_{14} , H_{13} , 및 H_{12} 와 같은 H_{16} 으로부터 정수 H 손실에 상응하는 질량으로 관찰될 수 있다. 1.00794 u 의 H 질량으로 인해, 해당 +1 또는 -1 이온 피크의 질량은 16.125, 15.119, 14.111, 13.103, 12.095의 질량을 가진다. 수소 거대응집체이온, 예컨대 H_{16}^- 또는 H_{16}^+ 은 준안정체를 포함할 수 있다. 넓은 피크의 준안정 특성을 갖는 수소 거대응집체 이온인 H_{16}^- 또는 H_{16}^+ 양성 및 음성 스펙트럼의 16.125에서 ToF-SIMS에 의해 관찰되었다. 네거티브 ToF-SIMS 스펙트럼의 15.119에서 H_{15}^- 가 관찰되었다. H_{24} 준안정 종인 H_{23}^- 또는 H_{25}^+ 은 포지티브 및 네거티브 ToF-SIMS 스펙트럼에서 각각 관찰되었다.
- [0960] 실시예에서, 분자 하이드리노와 같은 저에너지 수소 종을 포함하는 물질의 조성물(“하이드리노 화합물”)은 자기적으로 분리될 수 있다. 하이드리노 화합물은 냉각되어 자기적으로 분리되기 전에 자성을 더욱 강화시킬 수 있다. 자기적 분리 방법은 바람직한 하이드리노 화합물을 함유하는 화합물의 혼합물에서 하이드리노 화합물이 그 혼합물의 나머지에 대하여 이동성이 우선적으로 지체되도록 자기장을 통해 혼합물을 이동시키거나 또는 혼합물로부터 하이드리노 화합물을 분리시키기 위해 혼합물 위로 자석을 이동시키는 것을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 폭발 생성물을 액체 질소에 침지하여 자기적 분리에 의해 와이어 폭발의 하이드리노 생성물로부터 하이드리노 화합물이 분리되는데, 여기서 극저온은 하이드리노 화합물 생성물의 자성을 증가시킨다. 이 분리는 액체 질소의 비등 표면에서 강화될 수 있다.
- [0961] 실시예에서, 음으로 하전되는 것 외에도 하이드리노 수소화물 이온 $\text{H}^-(1/p)$ 는 보어 자자의 자기 모멘트를 발생하는 홀 전자를 가진 이중항 상태를 포함한다. 하이드리노 수소화물 이온 분리기는, 하이드리노 수소화물 이온의

전하 및 자기 모멘트 중 적어도 하나에 기반하는 하이드리노 수소화물 이온 상에서 유지되는 차동 및 선택적 힘에 기반하여 이온의 혼합물로부터 하이드리노 수소화물 이온을 분리하는 전기장 및 자기장 소스의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 수소화물 이온은 전기장에서 가속화되어 하이드리노 수소화물 이온의 고유한 질량 대 전하 비율에 근거하여 수집기로 편향될 수 있다. 다른 실시예에서, 하이드리노 수소화물 이온은 자기 분리에 의해 수집할 수 있는데, 자석에 의한 자기장을 시료에 인가하면 하이드리노 수소화물 이온이 자석에 선택적으로 들어붙어 분리된다. 하이드리노 수소화물 이온은 대향 이온과 함께 분리될 수 있다.

[0962] 실시예에서, 원자 하이드리노, 분자 하이드리노 또는 하이드리노 이온과 같은 하이드리노 종은 H와 OH 및 H₂O 촉매 중 적어도 하나의 반응에 의해 합성된다. 실시예에서, 하이드리노를 형성하기 위한 본 개시의 쇼트 또는 와이어 접화를 포함하는 것과 같은 SunCell® 반응 및 에너지 반응 중 적어도 하나의 생성물은 하이드리노 화합물 또는 하이드리노 종을 포함하는 종, 예컨대 (i) 수소 이외의 원소, (ii) H⁺, 일반 H², 일반 H⁻ 및 일반 중 적어도 하나와 같은 일반 수소 종, (iii) 유기 이온 또는 유기 분자와 같은 유기 분자 종, 및 (iv) 무기 이온 또는 무기 화합물과 같은 무기 종 중 적어도 하나와 착물화되는 H₂(1/p)이다. 하이드리노 화합물은 알칼리 또는 알칼리 토류 탄산염 또는 수산화물과 같은 옥시 음이온 화합물, GaOOH, AlOOH 및 FeOOH과 같은옥시수산화물 또는 본 개시의 다른 이러한 화합물을 포함할 수 있다. 실시예에서, 생성물은 $M_2CO_3 \cdot H_2(1/4)$ 및 $MOH \cdot H_2(1/4)$ (M = 본 개시의 알칼리 또는 다른 양이온) 착물 중 적어도 하나를 포함한다. 생성물은 각각 $M(M_2CO_3 \cdot H_2(1/4))_n^-$ 및 $M(MOH \cdot H_2(1/4))_n^+$ 를 포함하는 포지티브 스펙트럼에서 일련의 이온으로서 ToF-SIMS에 의해 식별될 수 있으며, 여기서 n은 정수이고 정수 및 정수 p> 1은 4로 치환될 수 있다. 실시예에서, SiO₂ 또는 석영과 같은 규소 및 산소를 포함하는 화합물은 H₂(1/4)에 대한 게터로서 작용할 수 있다. H₂(1/4)용 게터는 전이 금속, 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 내부 전이 금속, 희토류 금속, 금속의 조합, MoCu와 같은 Mo 합금과 같은 합금 및 본 개시의 것을 포함할 수 있다.

[0963] 본 개시의 방법에 의해 합성된 하이드리노 종을 포함하는 화합물은 화학식 MH, MH₂ 또는 M₂H₂를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 양이온이고 H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 MH_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고 H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 MHX를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 양이온이고, X는 할로젠 원자와 같은 중성 원자, 분자 또는 할로젠 음이온과 같은 단일 음전하 음이온이고, H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 MHX를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이며, H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 MHX를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 이중 음전하 음이온이고, H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 M₂HX를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이고, H는 하이드리노 종이다.

[0964] 화합물은 화학식 MH_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 정수이고, M은 알칼리 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 M₂H_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 M₂XH_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 M₂X₂H_n을 가질 수 있고, 여기서 n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 M₂X₃H를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이고, H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 M₂XH_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 이중 음전하 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 M₂XX'H를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이고, X'는 이중 음으로 대전된 음이온이며, H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 MM'H_n을 가질 수 있으며, 여기서 n은 1 내지 3의 정수이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다.

[0965] 화합물은 화학식 MM'XH_n을 가질 수 있고, 여기서 n은 1 또는 2이고, M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리

금속 양이온이고, X는 단일 음으로 대전된 음이온이며, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 $MM'XH$ 를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이고, X는 이중 음전하 음이온이고 H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 $MM'XX'H$ 를 가질 수 있으며, 여기서 M은 알칼리 토류 양이온이고, M'은 알칼리 금속 양이온이고, X 및 X'는 음으로 대전된 음이온이고 H는 하이드리노 종이다. 화합물은 화학식 $MXX'H_n$ 을 가질 수 있고, 여기서 n은 1 내지 5의 정수이고, M은 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X는 단일 또는 이중 음으로 대전된 음이온이고, X'는 금속 또는 반금속, 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 원소이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 MH_n 을 가질 수 있고, 여기서 n은 정수이고, M은 양이온, 예컨대 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 원소이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 MXH_n 을 가질 수 있고, 여기서 n은 정수이고, M은 양이온, 예컨대 알칼리 양이온, 알칼리 토류 양이온, X는 다른 양이온, 예를 들어 전이 원소, 내부 전이 원소 또는 희토류 양이온이고, 화합물의 수소 함량 H_n 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 $(MH_mMCO_3)_n$ 화학식을 가질 수 있으며, M은 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, m 및 n은 각각 정수이고, 화합물의 수소 함량 H_m 이 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 $(MH_mMNO_3)_n^+ nX^-$ 을 가질 수 있으며, M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, m 및 n이 각각 정수이고, X가 단일 음으로 대전된 음이온이고, 화합물의 수소 함량 H_m 이 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다.

[0966] 화합물은 화학식 $(MH_mMNO_3)_n$ 을 가질 수 있으며, M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, n이 정수이고, 화합물의 수소 함량 H가 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 화합물은 화학식 $(MH_mMOH)_n$ 을 가질 수 있으며, M이 알칼리 양이온 또는 다른 +1 양이온이고, n이 정수이고, 화합물의 수소 함량 H가 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다.

[0967] 음이온 또는 양이온을 포함하는 화합물은 화학식 $(MH_mM'X)_n$ 을 가질 수 있으며, m 및 n이 각각 정수이고, M 및 M'이 각각 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X가 단일 또는 이중 음전하 음이온이고, 화합물의 수소 함량 H_m 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 음이온 또는 양이온을 포함하는 화합물은 화학식을 가질 수 있으며, m 및 n이 각각 정수이고, M 및 M'이 각각 알칼리 또는 알칼리 토류 양이온이고, X 및 X'가 단일 또는 이중 음전하 음이온이고, 화합물의 수소 함량 H_m 은 적어도 하나의 하이드리노 종을 포함한다. 음이온은 본 개시의 것 중 하나를 포함할 수 있다. 적합한 예시적인 하나의 음으로 대전된 음이온은 할라이드 이온, 수산화물 이온, 탄산 수소 이온 또는 질산염 이온이다. 적합한 예시적인 이중 음전하 음이온은 카보네이트 이온, 옥사이드 또는 셀페이트 이온이다.

[0968] 실시예에서, 하이드리노 화합물 또는 혼합물은 적어도 하나의 하이드리노 종, 예를 들어 하이드리노 원자, 하이드리노 수소화물 이온 및 금속성 또는 이온성 격자와 같은 결정질 격자와 같은 격자에 매립된 디하이드리노 분자를 포함한다. 실시예에서, 격자는 하이드리노 종과 비반응성이다. 매트릭스는 하이드리노 하이드라이드 이온이 매립된 경우와 같이 비양성자일 수 있다. 화합물 또는 혼합물은 알칼리와 같은 염 격자 또는 할라이드와 같은 알칼리 토류 염에 매립된 $H(1/p)$, $H_2(1/p)$ 및 $H^-(1/p)$ 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예시적인 알칼리 할로겐화물은 KCl 및 KI이다. 매립된 $H^-(1/p)$ 의 경우 염은 어떠한 H_2O 도 없을 수 있다. 다른 적합한 염 격자는 본 개시의 것을 포함한다.

[0969] 본 발명의 하이드리노 화합물은 바람직하게는 0.1 원자% 초과 순도를 가진다. 더 바람직하게, 화합물은 1 원자% 초과 순도를 가진다. 훨씬 더 바람직하게, 화합물은 10 원자% 초과 순도를 가진다. 가장 바람직하게, 화합물은 50 원자% 초과 순도를 가진다. 다른 실시예에서, 화합물은 90 원자% 초과 순도를 가진다. 다른 실시예에서, 화합물은 95 원자% 초과 순도를 가진다.

[0970] 실시예에서, 하이드리노 화합물은 적합한 용매에서의 재결정화에 의해 정제될 수 있다. 대안적으로, 화합물은 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC) 또는 분자 하이드리노를 포함하는 가스의 경우 가스 크로마토그래피와 같은 크로마토그래피에 의해 정제할 수 있다. 실시예에서, 분자 하이드리노는 크라이오여과에 의해 정제할 수 있다. 정제 시스템은 활성탄이나 제올라이트와 같은 분자 하이드리노를 위한 선택적 흡수제를 포함할 수 있다. 이 흡

수제는 가열하면 불순물의 흡수제로부터의 탈기를 야기하는 용기에 포함될 수 있다. 불순물은 진공 하에서 제거할 수 있다. 탈기된 흡수제는 액체 질소의 것과 같은 극저온 등의 저온으로 냉각할 수 있다. 용기는 액체 질수와 같은 극저온 유체의 듀어에 잠기게 할 수 있다. 분자 하이드리노를 포함하는 가스 혼합물은 분자 하이드리노가 선택적으로 흡수되도록 저온의 흡수제를 통해 흐르게 할 수 있다. 흡수제는 가열하여 정제된 분자 하이드리노 가스가 흡수제로부터 흘러나와 수집되도록 야기할 수 있다.

[0971] 초강자성 하이드리노 화합물은 자기장에서 배양될 수 있는 자성 나노 입자를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 분자 하이드리노 및 하이드리노 수소화물 이온을 포함하는 자성 하이드리노 화합물의 응용에는 컴퓨터 하드드라이브의 기억 저장 장치 재질과 같은 자성 저장 장치 재질, 자기 공명 영상법에서의 조영제, 조절가능한 점도를 가진 것과 같은 자성유체, 세포, DNA 또는 단백질 분리 또는 RNA 피싱과 같은 자기적 세포 분리 그리고 표적 약물 전달, 자기 온열요법, 자기감염과 같은 치료가 포함된다. 실시예에서, 분자 하이드리노를 포함하는 화합물의 자성, 광 흡수, 광 산란 물성들은 스텔스 코팅, 광 센서, 태양광 전지, 자기 분리, 조영제로서 MRI 이미징 및 과온증 치료에 사용될 수 있다.

[0972] 하이드리노 수소화물이 초전도 양자 간성 소자(SQUID)의 거동과 유사하게 자속 양자의 단위로 자속을 연결시키는 실시예에서, 자력계, 로직 게이트, 센서 또는 스위치와 같은 전자 기기는 적어도 하나의 수소화물 이온의 플럭스 링키지 상태에 대한 감지 및 변경 중 적어도 하나를 실행하기 위해, 적어도 하나의 수소화물 이온 그리고 입력 전류 및 입력 전압 회로 및 출력 전류 및 출력 전압 회로 가운데 적어도 하나를 포함한다.

[0973] 실시예에서, 하이드리노 생성물을 형성하는 전력 및 광을 방출하고 전지는 적어도 하나의 초음파 트랜스듀서, 공동 기포를 형성하는 액체 매체, HOH 촉매의 소스 및 H의 소스를 포함한다. 액체 매체는 도데칸과 같은 탄화수소, 황산과 같은 산, 그리고 HOH 및 H 중 적어도 하나의 소스 역할을 더 할 수 있는 물을 포함할 수 있다. 이 액체는 아르곤이나 크세논과 같은 영족 기체를 포함할 수 있으며 적어도 하나의 산소의 소스, 산소, 수소의 수소 및 수소를 더 포함할 수 있다. 영족 기체는 액체를 포화시킬 수 있다. 영족 기체는 전자 소스의 역할을 할 수 있다. 이 액체는 액체의 빙점 근처의 저온에 유지할 수 있다. H는 CO 및 CO₂ 중 적어도 하나를 형성하는 탄소와 물의 반응에 의해 형성될 수 있다. H는 영족 기체와 같은 전자의 소스에 의한 H⁺의 환원에 의해 형성될 수 있다. 탄소 소스는 물에 현탁되거나 초음파 트랜스듀서의 도포된 것 가운데 적어도 하나일 수 있는 탄소와 탄화수소 중 하나일 수 있다. 초음파 트랜스듀서에 의한 액체 매체의 초음파 처리는 물의 수소 결합의 파괴를 야기할 수 있으며, 탄소의 소스나 탄소와 물과의 반응을 야기하여 CO 그리고 HOH와 더 반응하여 하이드리노를 형성하는 H를 형성시킬 수 있다. 하이드리노를 형성시키는 상응하는 반응이 흑색 복사와 같으며 가시 영역에 있을 수 있는 열과 광 중 적어도 하나의 방출을 야기할 수 있다.

[0974] 실시예에서, H₂(1/p)와 같은 하이드리노 종이 금속 산화물, 알칼리 할라이드, 알칼리 할라이드-수산화 알칼리 혼합물 및 승화에 의한 K₂CO₃ 등의 탄산염과 같은 화합물이나 물질에 결합된 하이드리노 종을 포함하는 화합물이나 물질로부터 고립된다. 이 승화는 극저온과 같은 저온으로 화합물이나 물질을 냉각시키거나 진공을 유지함으로써 성취될 수 있다.

[0975] 실시예에서, 아르곤을 포함하는 것과 같은 기체 혼합물이나 액체와 같은 혼합물의 분자 하이드리노는 금속, 유리 또는 세라믹 막과 같은 투과 선택적 막에 걸친 확산으로 정제할 수 있다. 투과는 수집 공동 안으로 이루어질 수 있다. 예시적 실시예에서, 투과성 막은 액체 아르곤에 담가서 분자 하이드리노가 공동으로 확산할 수 있는 얇은 벽의 속이 빈 탈기시킨 공동, 챔버 또는 튜브를 포함할 수 있다. 수집된 가스의 압력과 양은 가스를 극저온으로 응축시켜 증가시킬 수 있다. 예시적 실시예에서, 이 공동을 액체 헬륨 듀어에 현수시킬 수 있으며, 응축된 가스는 용적이 더 적은 가스 병으로 이전되어 증발되도록 할 수 있다.

[0976] 실시예에서, H₂(1/4)과 같은 분자 하이드리노 가스는 액체 아르곤, 액체 질소, 액체 CO₂ 등의 영족 기체와 고체 CO₂ 등의 고체 가스와 같은 응축된 가스에서 용해성이다. 그 용해도는 기화된 액체 아르곤 가스에 대해 기록된 H₂(1/4)의 회전-진동 대역(도 41-42)의 관찰에 의해 확인된다. H₂와 O₂ 또한 미량으로 존재하여 액체 아르곤에서도 그 용해도를 확인해준다. 하이드리노가 수소보다 더 안정한 경우에서, SunCell®의 가스와 같은 H₂ 및 분자 하이드리노 가스를 선택적으로 수집하여 농축시킬 수 있다. 실시예에서, SunCell®로부터의 가스가 액체 아르곤에서 분자 하이드리노의 용해도에 의해 게터의 역할을 하는 액체 아르곤을 통해 기포로서 통과한다. 다른 실시예에서, 고체 물질의 게터를 단독으로 사용하거나 액체 아르곤과 같은 액체 가스에 담글 수 있다. 예시적 고체 게터는 탄소, 제올라이트, KCl, KOH, RbCl, K₂CO₃, LiBr, FeOOH, 인듐 포일, MoCu 포일, 실리콘 웨이퍼,

다른 산화물, 알칼리 할라이드 및 수산화 알칼리 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다. 게터는 극저온 유체와 같은 수단으로 냉각시킬 수 있다. 극저온 유체는 크라이오 트랩을 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 크라이오 트랩을 액체 질소 온도로 냉각시킨다. 게터로부터 하이드리노를 방출시키기 위해, 하이드리노를 포함하는 게터는 가열하여 하이드리노를 방출하는 것 또는 물, 산, 염기 또는 유기 용매와 같은 용매에 용해하여 하이드리노 가스를 방출하는 것 가운데 적어도 하나일 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 가스를 아르곤이나 액체 질소와 같은 액체 영속 기체들의 극저온 액체, 초임계 CO₂, 액체 산소, 액체 질소, 액체 O₂/N₂ 혼합물, 당업계에서 알려진 다른 초임계 액체 또는 물, 산, 염기 또는 탄화불소 등의 유기 용매와 같은 다른 액체를 통해 기포로 통과시킬 수 있다. 실시예에서, 이 용매는 분자 하이드리노가 분자 하이드리노의 자성으로 인해 어느 정도 흡수 상호 작용을 가지도록 상자성과 같은 자성일 수 있다. 예시적 용매는 액체 산소 및 물과 같은 다른 액체에 용해된 산소이다. 대안적으로, 하이드리노 가스를 고체 CO₂와 같은 실온에서 기체인 고체와 같은 고체 용매를 통해 기포로 흘릴 수 있다. 하이드리노 가스는 직접 수집할 수 있다. 대안적으로, 얻어지는 용액을 여과하거나 걸러내거나 따라 붓거나 원심분리하여 하이드리노 거대응집체와 같은 하이드리노를 포함하는 용해되지 않는 혼합물을 수집할 수 있다.

[0977] 실시예에서, H₂O는 분자 하이드리노 용액을 포함할 수 있다. H₂O는 트랩에 배치할 수 있는데, 하이드리노 반응의 가스 생성물이 물을 통해 기포로 흘러 분자 하이드리노가 물에 용해되도록 야기한다. 분자 하이드리노 가스는 물로 가열하여 방출시킬 수 있다. 이 가열은 수증기에 대해 하이드리노를 선택적으로 방출하는 100 ° C보다 낮은 것과 같은 온도까지 할 수 있다. 방출된 가스는 CO₂ 크라이오 트랩 등의 쿨드 트랩을 통과하여 분자 하이드리노 가스에 대해 가스 혼합물에서 수증기를 선택적으로 응축시킬 수 있다. 분자 하이드리노 가스는 가스 크로마토그래피 및 전자 빔 여기 분광법 가운데 적어도 하나에 의해 식별할 수 있다.

[0978] 분자 하이드리노 가스의 분리 및 식별 중 적어도 하나를 위한 예시적 실시예에서, SunCell®로부터의 산화 갈륨과 같은 하이드리노 게터를, 포착된 분자 하이드리노 기상이나 액상에 있도록 수용성 NaOH 등의 농축 수용성 염기와 같은 물에 용해할 수 있다. 이 가스는 캐리어 가스로서 수소를 사용하여 가스 크로마토그래피 컬럼에 주입하거나 액체 아르곤을 통해 기포로 흘러 분자 하이드리노를 용해시킬 수 있으며, 그에 따른 아르곤-하이드리노 가스가 아르곤 캐리어 가스로서 가스 크로마토그래피의 컬럼 상에 진입할 수 있는데, 액체 아르곤이 정상 수소에 비해 분자 하이드리노를 농축시키는 역할을 한다. 물은 분석적으로 분석할 수 있다. 이를 비등점 미만으로 더 가열하여 분자 하이드리노 가스를 선택적으로 방출시킬 수 있는데, 수증기가 CO₂ 트랩과 같은 크라이오 트랩에 의해 선택적으로 응축되어 물을 제거하고 분자 하이드리노 가스를 가스 크로마토그래피의 컬럼에 선택적으로 진입시킬 수 있다.

[0979] 실시예에서, SunCell®로부터 직접 수집되는 기체 생성물이나 SunCell®의 고체 생성물에서 방출된 것으로부터 수집된 기체 생성물을 CuO 재결합기와 같은 재결합기를 통해 흘러 수소 가스를 제거하며, 농축된 하이드리노 가스가 밸브를 갖춘 밀봉가능한 크라이오 팽거 상의 크라이오 챔버나 크라이오 펌프의 저온 단계에서 응축된다. 분자 하이드리노 가스는 적어도 하나의 다른 가스와 함께 공동 응축되거나 용매의 역할을 할 수 있는 하나 이상의 아르곤, 질소 및 산소와 같은 공동 응축된 가스에 흡수될 수 있다. 충분한 액체가 축적되면, 크라이오 챔버를 밀봉한 다음 가열하여 응축된 액체를 기화시킨다. 얻어진 가스를 산업용이나 분석용으로 사용할 수 있다. 예를 들어, 가스를 챔버 밸브를 통해 가스 크로마토그래프나 전기 빔 여기 분광법용 셀 안으로 주입할 수 있다. 대안적 실시예에서, 분자 하이드리노 가스를 직접 크라이오 팽거 챔버 안으로 흘릴 수 있는데, 수소가 공동 응축되지 않도록 크라이오 팽거를 20.3 K(기압에서 H₂의 비등점) 이상에서 작동할 수 있다.

[0980] H_3^+ 는 두 개의 다른 핵 스핀 구성이 가능하며, 오소와 파라이다. 오소- H_3^+ 는 3개 모두의 양자 스핀이 평행하며 $3/2$ 의 총 핵 스핀을 생성한다. 파라- H_3^+ 는 2개의 양자 스핀이 평행한 반면 나머지 하나는 역평행하여 총 $1/2$ 의 핵 스핀을 생성한다. 유사하게, H₂ 또한 오소 및 파라 상태를 가지며, 오소-H₂는 1의 총 핵 스핀을 갖고 파라-H₂는 0의 총 핵 스핀을 갖는다. 오소- H_3^+ 와 파라-H₂가 충돌하면, 양자 스핀 변경이 발생할 수 있으므로 그 결과 파라- H_3^+ 및 오소-H₂를 생성한다. 실시예에서, 오소 H_3^+ 를 수소 플라즈마 그리고 선택적으로 자기장

의 소스와 같은 수소로 준비하여 오소- H_3^+ 의 스핀 편극 수율을 증가시킨다. 오소- H_3^+ 를 분자 하이드리노 가스와 충돌하도록 하여 NMR 활성인 오소- $H_2(1/p)$ 를 생성할 수 있다. 이 충돌은 오소- H_3^+ 및 $H_2(1/p)$ 의 빔을 형성하여 또는 가스를 혼합하여 성취할 수 있다. 오소 $H_2(1/p)$ 는 양자 NMR에 의해 식별할 수 있다.

[0981] 실시예에서, 거대응집체 하이드로 화합물을 SunCell®로부터 건어낸 산화 갈륨으로부터 분리하여 NaOH 등의 염기에서 용해할 수 있다. 이 화합물은 고온 초전도체를 포함할 수 있다.

[0982] 실시예에서, SunCell로부터의 산화 갈륨이 NaOH 등의 염기에 용해된다. 용해되지 않는 물질은 여과되어 하이드리노 가스의 소스 역할을 할 수 있다. 대안적으로, 이 용액을 따라 부어서 하이드리노 가스의 소스 역할을 하는 비용해성 입자를 분리할 수 있다. 이 용액을 여과할 수 있으며, 여과액을 그대로 둔 다음 여과, 원심분리 및 건조 중 적어도 하나와 같은 수단에 의해 수집되는 백색의 슬러리와 같은 하이드리노 생성물이 형성될 수 있다.

[0983] 다른 실시예에서, 하이드리노 가스를 크로마토그래프 컬럼 상에서 정제할 수 있다. 캐리어 가스가 아르곤/ $H_2(1/4)$ 혼합물과 같은 하이드리노를 포함하는 혼합물을 포함하는 경우 혼합물을 액체 질소나 아르곤 온도와 같은 극저온 유체 온도로 냉각시킨 HayeSep® D 크로마토그래프 컬럼 등의 크로마토그래프 컬럼을 통해 흐르게 함으로써 하이드리노 가스가 농축될 수 있다. 아르곤은 부분적으로 액화되어 흐르는 하이드리노 가스가 농축되도록 할 수 있다. 하이드리노 가스는 가스 크로마토그래피와 전자빔 여기 방출 분광법과 같은 본 개시의 분석 수단에 의해 분석할 수 있다. 실시예에서, 아르곤과 같은 다른 가스와의 혼합물에 있는 분자 하이드리노는 극저온 액체 크로마토그래피에 의해 혼합물로부터 분리하고 농축시킬 수 있다. 실시예에서, 분자 하이드리노를 헬륨이나 수소 캐리어 가스를 사용하여 가스 크로마토그래피에 의해 식별할 수 있는데, 이러한 캐리어 가스에서는 분자 하이드리노가 크로마토그래피 띠를 더 쉽게 만들 수 있다. 검출기는 열 전도도 검출기를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 초유동체 CO_2 를 캐리어 액체로 사용하여 분자 하이드리노를 농축하거나 정제할 수 있다. 다른 실시예에서, 분자 하이드리노를 극저온유체 온도에서 자동 액화에 의해 농축 또는 정제시킬 수 있다. 수소-분자 하이드리노 가스 혼합물은 H_2O_2 가스 토지의 H_2 입구를 통해 흘림으로써 성취할 수 있는 화염 연소에 의해 수소-분자 하이드리노 가스 혼합물로부터 수소를 제거할 수 있다. 대안적으로, 수소를 CuO 재결합기와 같은 재결합기에 의해 또는 산소를 사용하는 촉매 재결합에 의해 제거할 수 있다. 예시적 촉매 재결합기는 알루미늄, 실리콘 또는 탄소 등의 고체 지지체상의 Pt나 Pd 등의 귀금속이다.

[0984] 실시예에서, 분자 하이드리노 가스의 압력이 다음 가운데 적어도 하나에 의해 증가된다: (i) 극저온유체 응축과 같은 액체의 응축 그리고 이후의 압력 용기에서 기화를 야기시키는 가열, (ii) 탄소나 제올라이트 또는 본 개시의 다른 게터 등의 흡수기에서의 흡수 그리고 이후의 압력 용기에서 기화를 야기시키는 가열, 그리고 (iii) 압력 용기에서 분자 하이드리노를 포함하는 가스의 수집 그리고 이후의 기계적 또는 유압 압축. 극저온유체 응축은 하이드리노의 응축에 충분한 온도를 성취할 수 있는 크라이오 트랩이나 크라이오 펌프를 갖춘 응축 용기에서 성취할 수 있다. 극저온유체 응축은 액체 아르곤, 액체 질소 및 액체 헬륨 온도의 적어도 하나에서 성취할 수 있다. 실시예에서, 응축 온도를 상승시키기 위해 자기장을 응축 용기에 인가할 수 있다. 자기장은 응축 용기의 내부나 외부에 배치할 수 있는 네오디뮴이나 코발트 사마륨 자석 등의 전자석 및 영구 자석 가운데 적어도 하나로 인가할 수 있다. 유압 압축은 물 등의 비압축성과 같은 액체를 용기 안으로 펌핑하여 용적을 대체하여 분자 하이드리노 가스를 압축함으로써 성취할 수 있다. 분자 하이드리노는 액체에서 용해도가 낮을 수 있다. 이 액체를 용기의 바닥으로 펌핑하여 용기와 펌프로의 도관과 같은 액체 전달 시스템을 통한 분자 하이드리노 가스의 확산 손실을 피할 수 있다. 하이드리노 가스를 포함하는 압축 가스가 적어도 하나의 다른 바람직하지 않은 가스를 포함하는 경우, 그 바람직하지 않은 가스를 HayeSep® D 컬럼과 크로마토그래피 컬럼을 통해 혼합물을 흘려보내는 등의 수단에 의해 제거할 수 있다. 예시적 실시예에서, 혼합물을 액체 아르곤 온도와 같은 극저온유체 온도의 HayeSep® D 컬럼을 통해 흘려보냄으로써 아르곤으로부터 분자 하이드리노가 분리된다.

[0985] 실시예에서, 재결합 촉매를 사용하여 아르곤 내 수소 및 산소를 기상이나 액상의 반응물들과 촉매적으로 재결합하여 하이드리노가 형성된다. 예시적인 재결합 촉매는 세라믹 등의 지지체 상에 지지될 수 있는 Pt 나 Pd 등의 귀금속이다. 세라믹 지지체는 알루미늄 비드와 같은 알루미늄을 포함할 수 있다. 하이드리노는 Pt나 Pd와 같은 재결합 촉매의 존재 하에서 H_2 첨가에 의해 제거되는 공통 응축된 산소를 포함하는 액체 아르곤에서 하이드리노가 형성될 수 있다.

[0986] $H_2(1/4)$ 과 같은 하이드리노를 포함하는 아르곤이 하이드리노 $H(1/p)$ 및 $H_2(1/p)$ ($p>4$)를 형성하는 연료로 사용

될 수 있는데, $H_2(1/4)$ 을 포함하는 아르곤이 반응물로서 SunCell®의 반응 셀 챔버 안으로 흐른다. 반응 셀 챔버에서 유지되는 하이드리노 플라즈마가 더 낮은 에너지 하이드리노 상태를 형성하기 위해 촉매 및 반응물의 역할을 할 수 있는 $H(1/4)$ 을 형성하기 위해 $H_2(1/4)$ 의 결합을 깨트릴 수 있다.

[0987] 실시예에서, 아크 방전과 같은 1 kV를 초과하는 전압에서 물 안으로의 고압 방전은 $H_2(1/4)$ 과 같은 하이드리노 종의 형성을 초래한다. 이 하이드리노 종은 적어도 하나의 물과 상호작용하거나 상호작용할 수 있다. 이 상호작용은 그 표면 장력을 변경시킬 수 있는 물의 표면 코팅을 형성할 수 있다. 이 표면 코팅이 계면활성제로 작동할 수 있다. 이 계면활성제는 물의 표면 장력을 감소시킬 수 있다. 표면 코팅은 2개의 배치된 물 저장소 사이의 가교를 형성하는 물의 능력으로 발현될 수 있다. 예를 들어, 비누는 물의 표면 장력을 감소시켜 두 개의 물 저장소 사이의 변형가능한 가교의 형성을 야기할 수 있다.

[0988] 실시예에서, 에너지 함유 하이드리노 플라즈마는 H_2O 및 H_2 중 적어도 하나와 탄소, CO 및 CO_2 중 적어도 하나와의 반응을 구동하여 메탄을 형성할 수 있다. 원자 하이드리노 및 분자 하이드리노 중 적어도 하나가 H_2O 및 H_2 중 적어도 하나와 탄소, CO 및 CO_2 중 적어도 하나와의 반응을 촉매하여 메탄을 형성할 수 있다. 에너지 함유 하이드리노는 H_2O 에서 $H_2 + \frac{1}{2} O_2$ 의 반응을 구동하여 수소 가스를 형성시킬 수 있다. 수소 및 산소 가스를 분리하고 수집하여 상용 가스로 사용할 수 있다. 하이드리노 반응의 전력을 H_2 , 메탄 및 탄화수소 가운데 적어도 하나와 같은 다른 형태의 연료로 변환시킬 수 있다.

[0989] 실시예에서, $H_2(1/4)$ 의 것과 같은(도 52A) 분자 하이드리노의 가스 크로마토그래피 피크와 함께 관찰되어서, XRD, EDS, NMR 및 질량 분광법과 같은 수단에 의한 메탄이나 탄소의 식별은 분자 하이드리노를 포함하는 샘플을 선별하는 수단을 포함한다. 선별 대상의 예시적 샘플은 SunCell®로부터의 산화 갈륨 그리고 수용성 NaOH로 처리된 산화 갈륨의 샘플이다. 실시예에서, 탄소를 하이드리노 반응 혼합물에 첨가하여 분자 하이드리노를 포착할 수 있다. 이 반응에서 메탄도 형성될 수 있으며 이것은 탄소-분자 하이드리노 결합을 강화시키는 메탄 삽입에 의한 탄소 포착을 더 도울 수 있다. 실시예에서, EPR, FTIR, 라만, XPS 및 본 개시의 다른 분자 하이드리노 시그내처와 같은 분자 하이드리노에 고유한 추가의 시그내처를 사용하여 분자 하이드리노의 존재에 대해 샘플을 선별할 수 있다.

[0990] 실시예에서, p가 정수인 $H(1/p)$ 및 $H_2(1/p)$ 와 같은 더 낮은 에너지의 수소 종들을 형성하는 반응기는 H 및 HOH 촉매 중 적어도 하나의 소스의 역할을 하는 용융 염을 포함한다. 용융 염은 공융 혼합물과 같은 염의 혼합물을 포함할 수 있다. 이 혼합물은 LiOH-LiBr 또는 KOH-KCl 등의 알칼리 및 알칼리 토류 수산화물 및 할라이드 가운데 적어도 하나의 혼합물과 같은 염의 혼합물을 혼합할 수 있다. 반응기는 히터, 히터 전원 및 염을 용융 상태로 유지하는 온도 제어기를 더 포함할 수 있다. 전극은 전해질에서 안정할 수 있다. 예시적 전극은 니켈 및 귀금속 전극이다. 물을 전지에 공급할 수 있고 DC 전압과 같은 전압을 전극에 인가할 수 있다. 전지에서 함께 형성되는 HOH와 수소가 반응하여 하이드리노를 형성할 수 있다. 하이드리노의 형성에 따른 에너지가 전지에서 열을 생성할 수 있다. 하이드리노 반응에 따른 열이 용융 염의 유지를 위해 히터로부터 요구되는 전력의 양을 감소시킬 수 있도록 전지를 잘 절연할 수 있다. 반응기는 열 교환기를 더 포함할 수 있다. 열 교환기는 외부 하중으로 전달되는 과잉 열을 제거할 수 있다.

[0991] 실험

[0992] SunCell® 셀 발전 시스템은 연료 점화 반응에 의해 생성된 플라즈마 광자를 포착하여 사용 가능한 에너지로 변환하도록 구성된 광전지 전력 변환기를 포함한다. 몇몇 실시예에서, 높은 변환 효율이 바람직할 수 있다. 반응기는 다수의 방향, 예를 들어 적어도 2개의 방향으로 플라즈마를 방출할 수 있고, 반응의 반경은 대략 수 밀리미터 내지 수 미터, 예를 들어, 반경이 약 1 mm 내지 약 25 cm일 수 있다. 또한, 연료의 점화에 의해 생성된 플라즈마의 스펙트럼은 태양에 의해 생성된 플라즈마의 스펙트럼과 유사할 수 있고/또는 추가의 단파장 방사선을 포함할 수 있다. 도 9는 본질적으로 모든 자외선 및 극 자외선 스펙트럼 영역에서 1.3 MW의 평균 광학 파워를 나타내는 샷으로 생각될 때 용융된 은에 물을 첨가하여 흡수된 H_2O 를 포함하는 80 mg의 은의 점화의 5 nm 내지 450 nm 영역에서의 절대 스펙트럼의 예를 도시한다. 점화는 Taylor-Winfield 모델 ND-24-75 스폿 용접기를 사용하여 저전압, 고전류로 달성되었다. 샷 양단의 전압 강하는 1V 미만이고 전류는 약 25 kA이다. 고강도 UV 방출의 지속 시간은 약 1 ms이었다. UV 스펙트럼에서 제어 스펙트럼은 평탄하였다. 라인 및 흑체 방출 중 적어도 하나와 같은 고체 연료의 방사선은 약 2 내지 200,000 태양, 10 내지 100,000 태양, 100 내지 75,000 태양 중 적

어도 하나의 범위의 세기를 가질 수 있다. 실시예에서, 용접기 점화 회로의 인덕턴스는 점화 후 전류 감쇠 시간을 증가시키기 위해 증가될 수 있다. 붕괴 시간이 길면 하이드리노 플라즈마 반응을 유지하여 에너지 생성을 증가시킬 수 있다. 예측되는 10.1 nm 컷오프를 가진 연속 방사는 H(1/4)의 생성을 확인해준다.

[0993] 폭발 전후에 XPS 및 라만을 전극에 대해 수행했다. 폭파 후 전극은 모두 도 16 및 17B의 것과 같은 매우 큰 1940 cm^{-1} 라만 피크를 나타냈다. 폭파 후 XPS는 도18의 것과 같은 커다란 496 eV 피크를 나타냈으며 이는 $\text{H}_2(1/4)$ 의 총 에너지와 일치했다. 유일한 대체 배정들인 Na, Sn 또는 Zn의 어떠한 다른 일차 원소 피크도 존재하지 않았으며, 이는 $\text{H}_2(1/4)$ 가 특별한 고에너지 반응의 생성물을 확인하는 것이다. 폭파 전 전극의 라만이나 XPS 스펙트럼의 1940 cm^{-1} 또는 496 eV 영역에서 각각 어떠한 라만이나 XPS 피크도 관찰되지 않았다.

[0994] UV 및 EUV 스펙트럼은 흑체 방사선으로 변환될 수 있다. UV 및 EUV 광자 중 적어도 하나의 전파를 위해 셀 대기를 광학적으로 두껍게 함으로써 변환이 달성될 수 있다.

[0995] 연료 금속과 같은 금속이 전지 내에서 기화함으로써 광학적 두께가 증가될 수 있다. 광학적으로 두꺼운 플라즈마는 흑체를 포함할 수 있다. 흑체 온도는 하이드리노 반응의 매우 높은 전력 밀도 용량 및 하이드리노 반응에 의해 방출된 광자의 높은 에너지로 인해 높을 수 있다. 약 1 Torr의 주변 H_2O 증기압을 갖는 대기 아르곤에서 W 전극으로 펌핑된 용융 은의 점화 스펙트럼(사파이어 분광계 창으로 인해 180 nm에서 차단된 100 nm 내지 500 nm 영역)이 도 10에 도시된다. 전원(2)은 직렬로 연결된 2개의 커패시터 세트(Maxwell Technologies K2 울트라 커패시터 2.85V/3400F) 2개로 구성되며, 병렬로 연결되어 약 1 kHz 내지 2 kHz의 주파수에서 중첩된 전류 펄스를 갖는 약 5 내지 6V 및 300A의 정전류를 5 kA로 제공한다. W 전극에 대한 평균 입력 전력($1\text{cm} \times 4\text{cm}$)은 약 75W이다. 하이드리노 반응 힘에 의한 은의 기화로 대기가 UV 방사선으로 광학적으로 두껍게 되었을 때 초기 UV 선 방출은 5000 K 흑체 방사선으로 천이된다. 0.15의 기화된 은의 방사율을 가진 5000 K 흑체 방열기의 출력 밀도는 5.3 MW/m^2 이다. 관찰된 플라즈마의 면적은 약 1m^2 이다. 흑체 방사선은 본 개시의 열광 발전 실시예에서 PV 변환기(26a)에 흑체 방열기로서 작용할 수 있는 상부 커버(5b4)와 같은 셀(26)의 구성요소를 가열할 수 있다.

[0996] 산소 소스를 포함하는 용융물의 예시적인 시험은 절대 분광법에 의해 결정된 광학 파워로 아르곤/5 몰% H_2 분위기에서 80 mg은/1 wt% 붕사 무수물 샷을 포함한다. 약 1 V 250 kW의 전압 강하에서 약 12 kA의 고전류를 인가하기 위해 용접기(Acme 75 KVA 스팟 용접기)를 사용하여 약 1 ms의 지속시간 동안 관찰되었다. 산소 소스를 포함하는 용융물의 다른 예시적인 시험에서, 절대 분광법에 의해 결정된 광학 파워로 아르곤/5 몰% H_2 분위기에서 80 mg 은/2 몰% Na_2O 무수물 샷을 포함하는 점화를 포함한다. 약 1 V 370 kW의 전압 강하에서 약 12 kA의 고전류를 인가하기 위해 용접기(Acme 75 KVA 스팟 용접기)를 사용하여 약 1 ms의 지속시간 동안 관찰되었다. 산소 소스를 포함하는 용융물의 다른 예시적인 시험에서, 절대 분광법에 의해 측정된 광학 파워로 아르곤/5 몰% H_2 분위기에서 80 mg 은/2 몰% Li_2O 무수물 샷을 포함하는 점화를 포함한다. 약 1 V 500 kW의 전압 강하에서 약 12 kA의 고전류를 인가하기 위해 용접기(Acme 75 KVA 스팟 용접기)를 사용하여 약 1 ms의 지속시간 동안 관찰되었다.

[0997] Edgertronics 고속 비디오 카메라로 기록된 플라즈마의 크기를 기준으로 하이드리노 반응 및 전력은 반응 부피에 의존한다. 부피는 약 30 내지 100 mg의 샷, 예컨대 수화와 같은 은 샷 및 H 및 HOH 촉매 소스의 점화를 위해 약 0.5 내지 10 리터와 같은 반응 전력 및 에너지의 최적화를 위해 최소일 필요가 있을 수 있다. 샷 점화로부터, 하이드리노 반응 속도는 매우 높은 은 압력에서 높다. 실시예에서, 하이드리노 반응은 높은 플라즈마 압력에 의해 높은 동역학을 가질 수 있다. 고속 분광 및 Edgertronics 데이터를 기반으로, 플라즈마 부피가 가장 낮고 Ag 증기압이 가장 높을 때 초기에 하이드리노 반응 속도가 가장 높다. 1 mm 직경의 Ag 샷은 용융될($T = 1235\text{ K}$) 발화된다. 80 mg(7.4×10^{-4} 몰) 샷의 초기 부피는 5.2×10^{-7} 이다. 해당 최대 압력은 약 1.4×10^5 기압이다. 예시적인 실시예에서, 반응은 약 0.5 ms의 반응 지속시간 동안 약 음속(343 m/s)으로 팽창하는 것으로 관찰되었다. 최종 반경은 약 17 cm이다. 역압이 없는 최종 부피는 약 20 리터이다. 최종 Ag 분압은 약 3.7E^{-3} 기압이다. 반응이 더 높은 압력에서 더 큰 동역학을 가질 수 있기 때문에, 반응 속도는 전극 압력을 인가하고 플라즈마가 전극 간 축에 수직으로 팽창하도록 함으로써 전극 제한에 의해 증가될 수 있다.

[0998] 97% 아르곤/3% 수소 분위기하에서 2.5 ml/s로 SunCell®의 점화 전극에 주입된 용융 은에 1 몰% 또는 0.5 몰%의 산화 비스무트를 첨가함으로써 하이드리노 반응에 의해 방출되는 전력이 측정되었다. 산화물 첨가에 상응하는 하이드리노 반응 전력 기여의 첨가 전후의 시간적 반응 셀 수 냉각제 온도의 기울기의 상대적 변화는 내부 표준

으로서의 역할을 하는 일정한 초기 입력 전력이 곱해졌다. 중복 실행의 경우, 산소 소스 첨가 후 하이드리노 전력 기여를 갖는 총 셀 출력 전력은 7540W, 8300W, 8400W, 9700W, 8660W, 8020W 및 10,450W의 총 입력 전력에 해당하는 97, 119, 15, 538, 181, 54 및 27의 시간 냉각제 온도 반응의 기울기 비율의 곱에 의해 결정되었다. 열 버스트 전력(thermal burst power)은 각각 731,000W, 987,700W, 126,000W, 5,220,000W, 1,567,000W, 433,100W 및 282,150W이다.

[0999] 97% 아르곤/3% 수소 분위기의 존재하의 2.5 ml/s에서 SunCell®의 점화 전극에 주입된 용융 은에 대한 1 몰% 산화 비스무트(Bi_2O_3), 1 몰% 리튬 바나데이트(LiVO_3) 또는 0.5 몰% 리튬 바나데이트의 첨가로 인한 하이드리노 반응에 의해 방출되는 전력이 측정되었다. 산화물 첨가에 상응하는 하이드리노 반응 전력 기여의 첨가 전후의 시간적 반응 셀 수냉각제 온도의 기울기의 상대적 변화는 내부 표준으로서의 역할을 하는 일정한 초기 입력 전력이 곱해졌다. 중복 실행의 경우, 산소 소스 첨가 후 하이드리노 전력 기여를 갖는 총 셀 출력 전력은 6420W, 9000W 및 8790W의 총 입력 전력에 상응하는 497, 200 및 26의 시간적 냉각수 온도 반응의 기울기 비율의 곱에 의해 결정되었다. 열 버스트 전력은 각각 3.2 MW, 1.8 MW 및 230,000 W였다.

[1000] 예시적인 실시예에서, 점화 전류는 플라즈마가 점화되는 약 0.5 전압에서 약 0V로부터 1V로의 전압 증가에 대응하여 약 0A로부터 2000A로 램핑되었다. 이어서, 전압은 단계적으로 약 16V로 증가하고 약 0.25 초 동안 유지되는데, 여기서 약 1 kA는 용융물을 통해 흐르고 1.5 kA는 전극(8) 이외의 다른 접지 루프를 통해 플라즈마의 별크를 통해 직렬로 흐른다. 9 리터/초의 유속에서 $\text{Ag}(0.5 \text{ 몰\% } \text{LiVO}_3)$ 및 아르곤- $\text{H}_2(3\%)$ 를 포함하는 SunCell®에 대한 약 25 kW의 입력 전력으로, 전력 출력은 1 MW를 초과했다. 점화 시퀀스는 약 1.3 Hz에서 반복되었다.

[1001] 예시적인 실시예에서, 점화 전류는 약 500A 정전류이고 전압은 약 20V였다. 9 리터/초의 유속에서 $\text{Ag}(0.5 \text{ 몰\% } \text{LiVO}_3)$ 및 아르곤- $\text{H}_2(3\%)$ 를 포함하는 SunCell®에 대한 약 15 kW의 입력 전력으로, 전력 출력은 1 MW를 초과했다.

[1002] 실시예에서, 가스 흐름, 아르곤-수소 혼합물의 조성과 같은 가스 조성, 가스 유속, 비율, 도형, EM 펌핑 속도, 작동 온도 및 점화 파형, 전류 전압 및 전력이 최적화된다. 실험용 SunCells®의 한 세트를 25-30 V의 DC 전하 전압 및 1500A-3000A의 전류로 시험했는데, 각각 (i) 도 25에서와 같이 페데스탈 전극이 양극인 역 페데스탈, (ii) 용융 금속으로 갈륨을 200g/s로 펌핑, (iii) H_2 유속이 3000 sccm 및 O_2 유속 30 sccm 그리고 토치에서 혼합하여 반응 셀 챔버에서 HOH 촉매 및 H의 소스로서 90 ° C 이상에서 1 g의 10% $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 통과하는 흐름을 포함한다. 최적의 비율을 위한 등급 순서는 다음으로 나타났다: 직경 6인치의 구 > 직경 8인치의 구 > 직경 12인치의 구 그리고 한 변이 4인치인 정육면체 > 한 변이 6인치인 정육면체 > 한 변이 9인치인 정육면체.

[1003] 용융 금속으로 갈리나탄을 포함하는 직경 6인치인 구형 셀의 실시예에서, 하이드리노 반응을 위해 750 sccm의 H_2 및 30 O_2 sccm의 O_2 가 공급되고 산소수 토치에서 혼합되어 90 ° C를 초과하는 온도에서 1 g의 10% $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 포함하는 재결합 챔버를 통해 흐른 다음 셀 안으로 흘렀다. 그 밖에, 90 ° C를 초과하는 온도에서 1 g의 10% $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 포함하는 제2 재결합 챔버를 통해 1250 sccm의 H_2 가 흐른 다음 반응 셀 챔버로 공급되었다. 공급된 3가지 가스는 각각 상응하는 질량 흐름 제어기에 의해 제어되었다. H_2 및 O_2 의 합쳐진 흐름은 HOH 촉매 및 원자 H를 제공했으며, 제2 H_2 공급이 추가의 원자 H를 제공했다. 하이드리노 반응 플라즈마는 약 30-35 V 및 약 1000 A의 DC 입력으로 유지했다. VI 적분으로 측정된 입력 전력은 34.6 kW였고, 129.4 kW의 출력 전력은 용융 금속 배스 열량계로 측정했는데, 저장소 및 반응 셀 챔버의 갈륨이 배스의 역할을 했다.

[1004] 반응 셀 챔버의 벽에 Ta 라이너를 포함하는 한 변이 4인치인 셀을 2500 sccm H_2 및 70 sccm O_2 로 사전에 충전한 실시예에서, 50 V로 충전한 커패시터 뱅크를 통해 3000A ~ 1500 A 범위의 전류를 공급했다. 이 커패시터 뱅크는 18개 커패시터로 이루어진 3개의 평행한 뱅크(Maxwell Technologies K2 Ultracapacitor 2.85V/3400F)가 직렬로 연결된 것을 포함했으며, 51.3V의 총 뱅크 전압 능력 및 566.7 Farads의 총 뱅크 용량을 제공했다. 입력 전력은 83 kW, 출력 전력은 338 kW였다. 4000 sccm H_2 및 60 sccm O_2 가 공급되는 직경 6인치의 구형 셀의 실시예에서, 50 V로 충전한 커패시터 뱅크를 사용하여 3000A ~ 1500 A 범위의 전류를 공급했다. 입력 전력은 104 kW, 출력 전력은 341 kW였다.

[1005] 2리터 Pyrex SunCell®에서 실행된 하이드리노 반응에 의해 생성된 특별한 전력 밀도는 도 40에 나와 있는 1.3 nm의 H 알파 라인에 대한 극적인 Stark 브로드닝으로부터 분명하다. 이 브로드닝은 $3.5 \times 10^{23}/\text{m}^3$ 의 전자 밀도에

상응한다. SunCell® 가스 밀도는 800 Torr의 아르곤-H₂ 압력과 3000K의 온도에 기반하여 2.5×10^{25} 원자/m³로 계산되었다. 이에 상응하는 이온화 분율은 약 10%였다. 아르곤과 H₂의 이온화 에너지가 약 15.5 eV이며 재조합 수명이 고압에서 100 ms 미만이라는 조건 하에서, 이온화의 유지에 필요한 전력 밀도는 다음과 같다:

$$P = \left(\frac{3.5 \times 10^{23} \text{ electrons}}{m^3} \right) (15.5 \text{ eV}) \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{eV} \right) \left(\frac{1}{10^{-4} s} \right) = \frac{8.7 \times 10^9 \text{ W}}{m^3}$$

[1006]

[1007]

도 34에 도시된 실시예에서, 저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체를 형성하는 시스템(500)은 플렉시글라스 챔버와 같은 챔버(507), 금속 와이어(506), 고전압 DC 전원(503)에 의해 충전될 수 있는 접지 연결부(504)를 갖는 고전압 커패시터(505), 챔버(507) 내부의 커패시터로부터 금속 와이어 (506)로의 회로를 폐쇄하여 와이어의 폭발을 유발시키는 12V 전기 스위치(502) 및 트리거 스파크 갭 스위치(501)와 같은 스위치를 포함한다. 챔버는 수증기 및 대기 또는 영족 기체와 같은 가스를 포함할 수 있다.

[1008]

저에너지 수소 종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체를 형성하는 예시적인 시스템은 길이 46 cm, 폭과 높이 12.7 cm를 갖는 폐쇄된 직사각형 입방체 플렉시글라스 챔버, 챔버 바닥으로부터 9 cm 거리에 스테인리스 너트가 있는 두 개의 스테인리스 극 사이에 장착되는 길이 10.2 cm의 0.22 내지 0.5 mm 직경의 금속 와이어, 557 J에 해당하는 약 4.5 kV로 충전되는 15 kV 커패시터(웨스트 하우스 모델 5PH349001AAA, 55 uF), 커패시터를 충전하는 35 kV DC 전원, 및 커패시터로부터 챔버 내부의 금속 와이어까지 회로를 폐쇄하여 와이어의 폭발을 유발시키는 트리거 스파크 갭 스위치(Information Unlimited, 모델-Trigatron10, 3kJ)가 있는 12V 스위치를 포함한다. 와이어는 Mo(몰리브덴 거즈, 0.305 mm 직경 와이어의 20 메쉬, 99.95%, Alpha Aesar), Zn(0.25 mm 직경, 99.993%, Alpha Aesar), Fe-Cr-Al 합금(73%-22%-4.8%, 31 게이지, 0.226 mm 직경, KD Cr-Al-Fe 합금 와이어 부품 번호 # 1231201848, Hyndman Industrial Products Inc.), 또는 Ti(0.25 mm 직경, 99.99%, Alpha Aesar) 와이어를 포함할 수 있다. 예시적인 실행에서, 챔버는 약 20 Torr의 수증기를 포함하는 공기를 함유하였다. 트리거 스위치를 닫기 전에 고전압 DC 전원 공급 장치가 꺼졌다. 약 4.5kV의 피크 전압은 5kA의 피크 전류에서 약 300 μs 초과와 감쇠 고조파 발전기로 방전되었다. 와이어 폭발 후 약 3 내지 10 분 내에 저에너지 수소종을 포함하는 거대응집체 또는 중합체가 형성되었다. 챔버 바닥 및 벽뿐만 아니라 챔버에 배치된 Si 웨이퍼로부터 분석 샘플을 수집하였다. 분석 결과는 본 개시의 하이드리노 시그니처와 일치하였다.

[1009]

도 41에 나와있는 실시예에서, 하이드리노 회전-진동 스펙트럼은 아르곤 가스와 같은 불활성 가스 그리고 수소 원자의 HOH 촉매(OH 밴드 309 nm, O 130.4 nm, H 121.7 nm)의 소스로서의 H 및 O의 조합에 의해 형성되는 H₂(1/4)를 포함하는 혼합물 가스의 전자빔 여기에 의해 관찰된다. 아르곤은 약 100 Torr 내지 10 기압의 압력 범위에 있을 수 있다. 수증기는 약 1 micro-Torr 내지 10 Torr의 범위일 수 있다. 전자 빔 에너지는 약 1 keV 내지 100 keV*의 범위일 수 있다. 12 keV 내지 16 keV 전자빔에 의해 여기된 H₂(1/4)를 포함하는 대기압 아르곤 플라즈마로부터 실리콘 질화물 창을 통해 가스를 챔버 내의 가스를 입사시키는 회전 선이 145 내지 300 nm 영역에서 관찰되었다. 방출은 반응 가스 챔버의 MgF2 다른 창을 통해 관찰되었다. 수소의 4²배의 에너지 간격은 핵 간 거리를 H₂의 1/4로 설정하고 H₂(1/4)를 식별했다(식 (29 내지 31)). 이 시리즈는 각각, 154.8, 160.0, 165.6, 171.6, 및 177.8 nm에서 관찰되는 P(1), P(2), P(3), P(4), P(5) 및 P(6)를 포함하는 H₂(1/4) 진동 전이 (= 1 → = 0)에 대해 H₂(1/4)의 P 브랜치와 일치했다. 다른 실시예에서, 본 개시의 것과 같은 하이드리노를 포함하는 물질의 조성물은 열분해되고, H₂(1/4)와 같은 하이드리노를 포함하는 분해 가스는 반응 가스 챔버로 도입되며, 여기서 하이드리노 가스는 전자빔으로 여기되고 회전 진동 방출 스펙트럼이 기록된다.

[1010]

아르곤 분위기 하에서 지지된 귀금속 촉매를 사용한 수소 및 산소의 재결합에 의해 형성된 H₂(1/4) 가스를 포함하는 아르곤/H₂(1/4) 혼합물을, 액체 아르곤에서 극저온유체 온도로 냉각시킨 길이 35 m 및 2.5 mm ID의 HayeSep® D 크로마토그래피 컬럼을 통과시켜 H₂(1/4) 가스를 농축시켰다. 아르곤을 부분적으로 액화시켜 흐르는 분자 하이드리노 가스가 농축될 수 있었으며, 이는 도 42에 나와 있는 바와 같이 e-빔 여기 방출 분광법에 의해 관찰된 H₂(1/4)의 회전 진동 p 브랜치에 대한 극적인 증가에 의해 나타났다.

[1011]

아르곤 가스를 불순물을 제거하는 고온 티타늄 리본으로 처리했다. 정제된 아르곤을 사용하여 전자빔 스펙트럼을 반복했으며, H₂(1/4)의 P 브랜치는 관찰되지 않았다. H₂(1/4) 가스의 제거에 사용된 Ti 리본에 대해 라만 분

광범을 수행했으며, $H_2(1/4)$ 의 회전 에너지와 일치하는 1940 cm^{-1} 에서 한 피크가 관찰되었고, 이것이 도 41에 나와 있는 $150\text{--}180\text{ nm}$ 영역의 일련의 라인들의 소스임을 확인해주는 것이다. 1940 cm^{-1} 피크가 도 46의 것과 일치했다.

[1012] 다른 실시예에서, $H_2(1/4)$ 와 같은 하이드리노 가스는 알칼리 할라이드 또는 알칼리 할라이드 알칼리 수산화물 매트릭스와 같은 게터에 흡수된다.

[1013] 회전 진동 스펙트럼은 진공에서 게터의 전자빔 여기에 의해 관찰될 수 있다(도 13). 전자빔 에너지는 약 1 keV 내지 100 keV 의 범위일 수 있다. 피크들 사이의 회전 에너지 간격은 식 (30)에 의해 주어진다. 식 (29)에 의해 주어진 진동 에너지는 결정질 매트릭스에 의해 야기된 더 높은 유효 질량으로 인해 더 낮은 에너지로 이동될 수 있다. 예시적인 실험 예에서, 게터의 결정 격자에 포착된 $H_2(1/4)$ 의 회전 진동 방출은 $5 \times 10^{-6}\text{ Torr}$ 의 압력 범위에서 $10\text{--}20\text{ }\mu\text{A}$ 의 빔 전류를 갖는 입사 6 keV 전자총에 의해 여기되었고, 무창 UV 분광법에 의해 기록되었다. Mills 등의 (원용에 의해 포함되는 R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142) 5 W CIHT 셀 스택에서 게터로서 역할을 하는 UV 투명 매트릭스 KCl에서 $H_2(1/4)$ (소위 260 nm 대역)의 분해 회전 진동 스펙트럼은 $222.7, 233.9, 245.4, 258.0, 272.2$ 및 287.6 nm 에서 피크의 대표 위치와 함께 258 nm 에서 피크 최대값을 포함하고, 0.2491 eV 의 등 간격을 가진다.

[1014] 일반적으로, 에너지 대 피크 수의 그래프는 $R^2 = 0.999$ 에서 $y = -0.249\text{ eV} + 5.8\text{ eV}$ 로 주어지는 라인을 제공하거나 전이 $v = 1 \rightarrow v = 0$ 및 $Q(0), R(0), R(1), R(2), P(1), P(2), P(3)$ 및 $P(4)$ 를 위한 $H_2(1/4)$ 에 대한 예측 값과 아주 잘 일치하며, 여기서 $Q(0)$ 은 시리즈 중 가장 강렬한 피크로서 식별될 수 있다.

[1015] 샘플의 냉각에 의해 회전-진동 여기 밴드의 수를 줄이고 여기가 되지 못하도록 억제했다. H 및 HOH 하이드리노 촉매의 소스 역할을 한 수화용 물을 포함하는 KCl 결정에서 분자 하이드리노가 형성되었다. 결정 격자에 포착된 $H_2(1/4)$ 의 잘 주지된 회전-진동 방출은(260 nm 밴드) 무창 UV 분광법(도 44)에서 관찰되었고, 여기서 펄스 플이 $25\text{ }\mu\text{A}$ 의 빔 전류를 갖는 입사 6 KeV 전자총에 의해 여기되었다. 전자빔 펄스 샘플을 이용하여 $297\text{ K--}155\text{ K--}296\text{ K}$ 의 범위에서 열 순환을 수행했으며, 여기서 샘플 냉각은 크라이오 펌프를 사용하여 수행했다(Helix Corp., CTI-Cryogenics 모델 SC compressor; TRI-Research 모델 T-2000D-IEEE 컨트롤러; Helix Corp., CTI-Cryogenics 모델 22 크라이오다인). 일련의 0.25 eV 간격을 가진 피크들은 전자빔 전류가 일정하게 유지했을 때 저온에서 그 강도가 가역적으로 감소했다. 310 nm 를 초과하는 스펙트럼 영역에서의 백그라운드는 극저온에서 실제로 증가했기 때문에 이러한 강도 증가는 260 nm 밴드 이미터의 변화에 기인했다. 이 결과는 방출의 원천이 $H_2(1/4)$ 의 회전 에너지와 거의 완벽하게 일치하는 회전-진동에 기인하는 것을 확인시켜준다. Mills[R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]는 고분해능 가시광선 분광법을 사용하여 $H_2(1/4)$ 에 배정된 라인에 대한 구조가 없음을 $\pm 1\text{ }\text{\AA}$ 의 정확도로 보여주었으며, 이는 $H_2(1/4)$ 회전-진동에 대한 배정을 더욱 확인하는 것이다.

[1016] 하이드리노 스펙트럼의 검색을 위한 또 다른 성공적인 교차확인 기법에는 자외선의 260 nm e-빔 밴드에서 이전에 관찰된 1차 스펙트럼과의 2차 형광 일치로서 $H_2(1/4)$ 의 회전 진동을 기록하기 위해 라만 분광계가 사용되었다[R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]. 스테인레스강 SunCell®에서 형성된 $H_2(1/4)$ 를 가스로 방출하여 다음 2가지 방법으로 분석했다: (i) 하이드리노 플라즈마 반응의 유지를 위해 SunCell®에 물의 첨가로 형성된 산화물 혼합물을 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 로 가열함에 있어서, 가열로 인해 혼합물의 $Ga_2O_3:H_2(1/4)$ 에 대한 분해를 야기 그리고 (ii) NaOH에 용해된 산화물의 여과액을 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 로 가열. 산화 갈륨의 NaOH 용해 생성물의 여과액 그리고 반데르발스 결합된 $H_2(1/4)$ 가스를 포함하는 산화 갈륨 가운데 적어도 하나의 열 분해에 따른 가스의 KCl 게터에 대한 라만 스펙트럼을 Horiba Jobin Yvon LabRAM Aramis 라만 분광계 및 HeCd 325 nm 레이저를 사용하여 현미경 모드(배율 40배)에서 기록했다. 구체적으로 SunCell®로부터 수집한 $Ga_2O_3:H_2(1/4)$ 를 포함하는 압력 용기에 연결된 튜브에 KCl을 충전했으며, $Ga_2O_3:H_2(1/4)$ 을 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 로 가열하여 얻은 분해 가스를 KCl 게터를 통해 흐르게 했다. KCl 출발 물질에 대한 라만 스펙트럼은 특별한 점이 없

었다; 반면에 KCl 게터의 라만은 $8000\text{ cm}^{-1} \sim 18,000\text{ cm}^{-1}$ 의 영역에서 관찰된 1000 cm^{-1} (0.1234 eV)의 동일한 에너지 간격으로 떨어진 일련의 라만 피크들을 포함했다. 라만 스펙트럼을 형광이나 광루미네스스 스펙트럼으로 변환한 결과, e-빔 여기에 의해 처음 관찰된 260 nm 밴드와 상응하는 $\text{H}_2(1/4)$ 의 2차 회전-진동 스펙트럼과 일치함이 밝혀졌다[R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142]. 가장 강력한 피크에 Q(0)를 배정했을 때, 도 45에 나와 있는 스펙트럼의 Q, R 및 P 브랜치에 표 5에 주어진 피크 배정은, 13,188, 12,174, 11,172, 10,159, 9097, 8090, 14,157, 15,106, 16,055, 16,975 및 17,873 cm^{-1} 에서 각각 관찰된 Q(0), R(0), R(1), R(2), R(3), R(4), P(1), P(2), P(3), P(4), 및 P(5)이다. 관찰된 라만 스펙트럼과 비교한 피크 배정의 이론적 전이 에너지는 표 5에 나와있다.

[1017] [표 5] 이론적 전이 에너지 및 전이 배정과 관찰된 라만 피크의 비교.

배정	계산치 (cm^{-1})	실험치 (cm^{-1})	차이 (%)
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

[1018]

[1019] 알루미늄 DSC 팬에 밀봉된 100 mg Cu + 30 mg 탈이온수를 포함하는 고체 연료로부터 생성된 가스에 In 포일을 노출시켰다. 예측되는 하이드리노 생성물인 $\text{H}_2(1/4)$ 를 라만 분광법과 XPS에 의해 식별했다. Thermo Scientific DXR SmartRaman 및 780 nm 다이오드 레이저를 사용했을 때, 인듐 금속 포일 상에서 $\text{H}_2(1/4)$ 의 자유 공간 회전 에너지(0.2414 eV)와 일치하는 40 cm^{-1} 의 너비를 가진 흡수 피크가 1982 cm^{-1} 에서 관찰되었으며(도 46), 여기서 XPS에 의해 0 및 In만이 존재하는 것으로 관찰되었으며 이 원소들의 어떠한 화합물도 관찰된 피크를 생성할 수 없었다. 더욱이 XPS 스펙트럼은 하이드리노의 존재를 확인해주었다. Lehigh University에서 Scienta 300 XPS 분광계를 사용하여 In 포일 샘플에 대한 XPS를 수행했다. 강한 피크가 498.5 eV에서 관찰되었으며(도48a-b), 이 피크는 어떠한 알려진 원소에도 배정할 수 없었다. 이 피크는 분자 하이드리노 $\text{H}_2(1/4)$ 의 이론적으로 허용되는 이중 이온화 에너지에 일치했다. 도49A-B에 각각 나와 있는 바와 같이, 수증기를 포함하는 아르곤 분위기의 존재 하에서 Mo 와이어의 와이어 폭파에 따라 형성된 중합체 하이드리노 화합물에 대해서도 $\text{H}_2(1/4)$ 의 496 eV XPS 피크가 기록되었다.

[1020] 도 47a-b에서 보는 바와 같이 1 mole%를 포함하는 80 mg 은 샷의 점화 이전에 구리 전극에서도 $\text{H}_2(1/4)$ 회전 에너지 전이가 더욱 확인되었다. Thermo Scientific DXR SmartRaman 분광계 및 780 nm 레이저를 사용하여 얻어진 라만 스펙트럼은 $\text{H}_2(1/4)$ (0.2414 eV)의 자유 회전자 에너지와 일치하는 점화에 의해 형성된 1940 cm^{-1} 에서의 반대 라만 효과 피크를 보여주었다. 22.8-647 nm 영역에 걸친 절대 분광법을 사용하여 점화된 샷으로부터 20 MW의 피크 파워가 측정되었으며, 여기서 광학 방출 에너지가 인가된 에너지의 250배였다[R. Mills, Y. Lu, R. Frazer, "Power Determination and Hydrino Product Characterization of Ultra-low Field Ignition of Hydrated Silver Shots", Chinese Journal of Physics, Vol.56, (2018), pp.1667-1717, 참조문헌으로 포함됨]. 1 mole% H_2O 를 포함하는 80 mg 은 샷의 점화 후 구리 전극에서 얻어진 상응하는 XPS 스펙트럼이 도 50A-B에 나와 있으며, 여기서 폭파는 스폿 용접기로 12 V 및 35,000 A 전류를 인가하여 성취했다. 496 eV에서의 피크가 $\text{H}_2(1/4)$ 에 배정되었으며, 여기서 Na, Sn 및 Zn과 같은 다른 가능성이 제거되었는데 이것은 이러한 후보의

상응하는 피크가 부재하기 때문이다.

[1021] 도 45에서 관찰되는 $H_2(1/4)$ 회전-진동 스펙트럼의 여기는 레이저의 고에너지 UV 및 EUV에 의한 He 및 Cd 방출인 것으로 보인다. 전체적으로, 0.241 eV (1940 cm^{-1}) 반대 라만 효과 피크 그리고 260 nm e-빔 스펙트럼에 일치하는 0.2414 eV 간격의 라만 광루미네선스 밴드에 대한 관찰은 핵간 거리가 H_2 의 $1/4$ 인 분자 하이드리노에 대한 강력한 확인이다. 라만 분광법에 의한 분자 하이드리노 배정, 1982 cm^{-1} 를 중심으로 하는 반대 라만 효과의 흡수 피크 그리고 498.5 eV 에서 XPS에 의해 관찰된 분자 하이드리노 $H_2(1/4)$ 의 이중 이온화는 모두 거의 HOH 축매에 의한 하이드리노 생성물을 더욱 확인시켜준다.

[1022] 더욱이, 흡수된 하이드리노 반응 생성물 가스를 갖는 게터의 포지티브 이온 ToF-SIMS 스펙트럼은 그 구조의 일부로 이 수소를 갖는 매트릭스 화합물의 다합체 클러스터인 $M:H_2$ ($M = KOH$ 또는 K_2CO_3)을 보여주었다. 구체적으로, KOH 및 K_2CO_3 를 포함하거나[R. Mills, X Yu, Y. Lu, G Chu, J. He, J. Lotoski, "Catalyst induced hydrino transition (CIHT) electrochemical cell," (2012), Int. J. Energy Res., (2013), DOI: 10.1002/er.3142] 또는 하이드리노 반응 생성물의 게터로 이러한 화합물을 갖는 이전의 하이드리노 반응 생성물 $K^+(H_2:KOH)_n$ 에 대한 포지티브 이온 스펙트럼은 구조상 복합체로서 $H_2(1/p)$ 와 일치하는 $K^+(H_2:K_2CO_3)_n$ 을 보여주었다.

[1023] 실시예에서, 분자 하이드리노 가스는 수소 및 산소의 반응에 의해 형성될 수 있는데, H 및 HOH 축매는 이 반응에 의해 유지된다. 수소와 산소는 Pt/ Al_2O_3 나 본 개시의 다른 것 등의 재결합 축매에 의한 것과 같은 축매 재결합이나 연소에 의해 재결합될 수 있다. 반응 혼합물은 수소, 산소, 연소기 또는 재결합기 그리고 선택적으로 원자 H 및 HOH 축매 중 적어도 하나의 수명 및 농도 가운데 적어도 하나를 증가시키는 비활성 기체를 포함할 수 있다. 실시예에서, 하이드리노 가스를 생성하는 반응기는 수용성 전기분해 전지 및 재결합기를 포함하며, 재결합기와 전기분해에 의한 H 및 HOH의 생성을 통해 재결합을 거치는 수소 및 산소의 화학량적 혼합물의 생성을 지원하는 비활성 기체를 더 포함할 수 있는데, H 및 HOH가 분자 하이드리노를 형성한다. 하이드리노 가스에서 반응기 분위기를 강화시키기 위해, 반응기를 밀폐한 다음 회망하는 기간 동안 연속적으로 작동시킬 수 있는데, 하이드리노 가스에서 농축되는 가스를 수집 시스템의 밸브 출구를 통해 반응기로부터 수집할 수 있으며, 선택적으로 크로마토그래피 컬럼과 같은 가스 정제 시스템에 의해 하이드리노 가스에서 더 농축시킬 수 있다.

[1024] 예시적 실시예에서, 아르곤의 분자 하이드리노가 산소 및 수소의 축매 재결합에 의해 생성된다. 영족 기체들 가운데 아르곤은 정제 동안 오염으로 인한 미량의 하이드리노 가스를 고유하게 함유한다. 아르곤과 산소는 공기의 극저온 증류 동안 공동 응축되고, 산소가 백금/ Al_2O_3 등의 재결합 축매 상에서 수소와의 반응에 의해 제거되어 HOH 축매와 H의 이후 반응에 기인하는 재결합 반응 동안 하이드리노가 형성된다. 아르곤 가스의 전자빔 여기 방출은 H I, O I 및 O_2 대역의 알려진 피크들을 보여준다(도 41). 알 수 없는 피크들은 분자 하이드리노 ($H_2(1/4)$ P 브랜치)와 일치하며 이 스펙트럼에서 지정되지 않는 피크는 존재하지 않는다. 다른 실시예에서, $H_2(1/4)$ 과 같은 하이드리노 가스는 대기 가스나 SunCell®과 같은 다른 소스로부터 극저온 증류에 의해 농축시킬 수 있다. 대안적으로, 하이드리노 가스는 아르곤과 같은 영족 기체내 H_2O 로서 H_2O 를 포함하는 플라즈마를 유지하여 제자리에서 형성되는 것의 하나일 수 있다. 이 플라즈마는 그 압력 범위가 약 $0.1 \text{ mTorr} \sim 1000 \text{ Torr}$ 일 수 있다. H_2O 플라즈마는 아르곤과 같은 영족 기체 등의 다른 가스를 포함할 수 있다. 예시적 실시예에서, 1 Torr H_2O 증기를 포함하는 대기압의 아르곤 플라즈마가 전자 빔, 글로, RF 또는 마이크로파 방전 소스 등 본 개시의 것과 같은 플라즈마에 의해 유지된다.

[1025] 실시예에서, 본 개시의 것과 같은 하이드리노를 포함하는 물질의 조성이 열 분해되며, $H_2(1/4)$ 과 같은 하이드리노 가스를 포함하는 분해 가스에 대한 가스 크로마토그래피를 수행한다. 예시적 실시예에서, 본 개시에 따라 수증기를 포함하는 대기에서 Zn이나 Sn 와이어의 폭발로부터 발생하는 것과 같은 하이드리노 화합물의 열 분해로부터 $H_2(1/4)$ 가스를 얻을 수 있다. 이 가스 샘플은 GC에 신속하게 로딩하는 것을 요구할 수 있는데, 이것은 진공으로 밀봉된 압력 용기로부터 매우 적은 크기의 $H_2(1/4)$ 가스의 신속한 확산으로 인해 약 800°C 와 같은 상승된 온도에서 신속한 압력 하강이 관찰되기 때문이다. $H_2(1/p)$ 는 더 적은 크기와 더 큰 평균 자유 경로로 인

해 H_2 캐리어 가스보다 더 열 전도성이 높을 수 있으므로 네거티브 피크가 관찰된다. 수소보다 더 열 전도성이 높은 것으로 알려진 기체는 없다. 그러므로 수소에 비해 더 빠르고 네거티브인 피크는 특징이 있으며 $H_2(1/4)$ 과 같은 분자 하이드리노로서 고유하게 식별된다.

[1026] 열 전도도 검출기(TCD)를 갖춘 HP 5890 Series II 가스 크로마토그래프를 사용하여, SunCell® 플라즈마 런에서 수집하여 NaOH 처리한 Ga_2O_3 에 결합된 하이드리노 가스의 열 분해로 방출된 가스에 대해 크로마토그래피를 수행하여 알려진 가스의 이동 시간을 식별한 대조 gas와 비교했다. 303 K(30 ° C)의 모세관 컬럼(Agilent 분자체 5 Å, (50 m x 0.32, df = 30 μm))에서 2.13 ml/min의 헬륨 캐리어 가스의 흐름을 위해 압력 제어기를 10 PSI에 설정했으며, TCD는 60 ° C로 설정했다. 가스 샘플은 압축 가스 샘플 용기로부터 6방향 밸브를 사용하여 컬럼에 직접 주입했다. 1.74 ml의 제어된 주입 용적을 갖는 가스 샘플은 길이 8인치 및 0.065인치 내경 구리 튜브를 충전하여 제공했다.

[1027] 분자 하이드리노 가스를 생성하는 플라즈마 반응기(도 25)는 직경 6인치의 스테인레스강 구와 DC 전자기(EM) 펌프 주입기를 포함했고, 이 구의 음의 z축 극에 위치한 몰리브덴 노즐은 애노드의 역할을 했고 이 구의 양의 z축 극에 위치한 중앙 몰리브덴 로드를 가진 질화 붕소 페데스탈은 캐소드의 역할을 했다. 이 반응기는 작동 동안 용융 상태의 3.5 kg 갈륨을 포함했으며, 갈륨은 EM 펌프 주입기로 주입되었다. SunCell®을 아르곤으로 800 Torr까지 가압했으며, H_2 가스는 100 sccm으로 흘렀고 250 ul의 H_2O 가 주입되었다. 셀 내에서 약 10 mg의 산화 갈륨이 H_2 가스와 함께 HOH 촉매를 위한 산소 소스의 역할을 했는데, H_2 가스는 하이드리노 반응물 원자 수소의 소스 역할도 했다. 갈륨 펌핑 속도는 약 $30 \text{ cm}^3/\text{s}$ 였고, 약 100 kW 과잉 전력의 플라즈마를 유지하는 플라즈마의 DC 점화 전압 및 전류는 각각 50 V 및 1000 A였다.

[1028] 5분의 플라즈마 런 이후, SunCell®로부터 3그램의 산화 갈륨을 수집한 다음, 그 고체를 과잉 1 M NaOH와 24시간 혼합하여 얻어진 수용액을 따라 내고, 불용성 고체를 벽이 얇은 다공성 세라믹 도가니에 담았다. 그 도가니를 65 ml 스테인레스강 용기에 넣은 다음, 구리 개스킷과 2개의 용접으로 체결된 포트를 가진 나이프 에지의 스테인레스강 플랜지를 사용하여 진공으로 밀봉했으며, 하나는 입구/출구 포트용으로 그리고 다른 포트는 시험 동안과 이후 입력 변화의 모니터링에 각각 사용했다. 밀봉된 강철 용기를 탈기하여 누출을 점검한 다음 용융로(ProCast제 3 kg 110 Volt U.S. Electric Melting Furnace 2102 ° F)에 넣고 25 ~ 40분의 시간 간격 동안 950 ° C로 가열했는데, 그 압력이 -30 인치 Hg에서 15 ~ 25 PSI로 상승했다. 다음 스테인레스강 용기를 구리 샘플 튜브와 가스 크로마토그래프의 6방향 밸브에 연결했다. 최적의 경우 구리 샘플 튜브 안의 압력은 1000 Torr로 유지했다. 대조 가스의 역할을 하는 NaOH 처리한 Ga_2O_3 에 적용된 프로토콜을 갈륨에도 적용했다.

[1029] SunCell® 그리고 산소(20%), 질소(80%) 및 미량의 H_2O 를 포함하는 공기로부터 얻은 NaOH 처리된 산화물을 가열하여 발생한 하이드리노 가스 외에도, Atlantic State Specialty Gas의 다음 대조 가스들을 헬륨 캐리어 가스로 실험했다: 수소 최고 순도(UHP), 메탄(UHP) 및 수소(HUP)/메탄(UHP) (90/10%). GC 분석 이후 잔류 가스 분석기(Ametek Dycor Residual Gas Analyzer Model: Q100M)를 사용하여 하이드리노 가스에 대한 질량 분광법을 수행했다. 어떤 종이라도 진공 밀봉된 용기 밖으로 확산되는 경우, 하이드리노 가스 샘플을 실온에 24시간 동안 둔 다음 가스 크로마토그래피로 반복 분석했다.

[1030] Snavelly 및 Subramaniam [K. Snavelly, B. Subramaniam, 'Thermal conductivity detector analysis of hydrogen using helium carrier gas and HayeSep® D columns', Journal of Chromatographic Science, Vol. 36, ((1998), pp. 191-196]이 보여준 바와 같이, 130 ° C 미만의 TCD를 갖춘 HP5890에서의 수소 피크 런은 모든 피크 강도에 대해 피지티브이다. $H_2(1/4)$ 과 같은 분자 하이드리노 가스 $H_2(1/p)$ 는 일반 H_2 보다 그 부피가 p^3 만큼 더 적어서 그 탄도 충돌에 대한 평균 자유 경로가 p^2 만큼 적으므로 H_2 보다 더 높은 열 전도도를 발생시킨다. 일반 H_2 에 대하여 분자 하이드리노의 더 적은 크기와 더 높은 열 전도도로 인해, $H_2(1/4)$ 의 크로마토그래프 피크가 감소된 정체 시간을 가지며 낮은 농도에서는 포지티브 그리고 더 높은 농도에서는 포지티브인 것을 기대한다. 그러므로 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 가질 수 있고, 헬륨 캐리어 가스에서 분자 하이드리노 대역의 최대 농도에 상응하는 최대치에서 네거티브 강도를 가질 수 있는 H_2 피크 전의 피크는 오로지 하이드리노 일 수 있는데, 이는 헬륨이 헬륨 캐리어 가스에서 피크를 생성하지 않으며 어떠한 알려진 기체도 수소나 헬륨보다 정체 시간이 더 짧으며 열 전도도가 더 높지 않기 때문이다.

- [1031] HP 5890 Series II 가스 크로마토그래프와 Agilent 분자체, 헬륨 캐리어 가스, 60° C에서 설정된 열 전도도 검출기(TCD)를 사용하여 기록한 대조 가스의 크로마토그래프에서, 도 51A-E에 나와 있는 모든 포지티브 H_2 피크를 보면 1000 Torr 수소는 10분에서 포지티브 피크를 보여주고, 1000 Torr 메탄은 17분에서 작은 크기의 포지티브 H_2O 오염 피크와 50.5분에서 포지티브 메탄 피크를 보여주고, 1000 Torr 수소(90%) 및 메탄(10%)의 혼합물은 10분에서 포지티브 수소 피크 및 50.2분에서 포지티브 메탄 피크를 보여주고, 760 Torr 공기는 17.1분에서 매우 적은 크기의 포지티브 H_2O 피크, 17.6분에서 포지티브 산소 피크 그리고 35.7분에서 포지티브 질소 피크를 보여주고, 갈륨 금속의 950° C의 가열에 따른 가스는 어떤 피크도 보여주지 않았다. 도 52A-B는 SunCell®에서 하이드리노 반응으로부터 수집한 NaOH 처리한 Ga_2O_3 를 950° C로 가열하여 발생된 하이드리노 가스의 가스 크로마토그래프를 보여준다. 알려진 포지티브 수소 피크가 10분에서 관찰되었고, 8.9분 및 9.3분에 각각 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 가진 9분에 관찰되는 신규 네거티브 피크를 $H_2(1/4)$ 에 지정했다. 알려진 어떤 기체도 H_2 나 He보다 더 빠른 이동 시간과 더 높은 열 전도도를 갖지 않으며, 이것은 부피가 64배 더 적고 탄소 단면적이 16배 더 적은 예시적 $H_2(1/4)$ 로 인해 하이드리노가 훨씬 더 큰 평균 자유 경로를 가지므로 하이드리노의 특징이자 하이드리노를 식별한다. 도 52A-B에 나와 있는 가스 크로마토그래프의 기록 후 24시간 이상 수소 및 $H_2(1/4)$ 를 포함하는 가스가 용기에 그대로 있도록 하였다. 도 35에서 보는 바와 같이 10분에 수소 피크와 37.4분에 작은 N_2 오염 피크가 다시 관찰되었지만, 수소보다 정체 시간이 더 짧은 신규 네거티브 피크 즉, 심지어 H_2 와 비교해서도 $H_2(1/4)$ 의 더 작은 크기와 상응하는 높은 확산도의 피크는 부재했다.
- [1032] $H_2(1/4)$ 로 지정되었으며 H_2 나 헬륨보다 더 빠른 이동 시간 및 높은 열 전도도를 가진 이른 네거티브 피크의 가스 크로마토그래피 결과가 SunCell®에서 두 번째 및 세 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 후 NaOH 처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 가스의 크로마토그래피 결과가 나와 있다: 알려진 포지티브 수소 피크가 약 10분에 관찰되었고, 모르는 포지티브 피크가 42.4분에 관찰되었고, 포지티브 메탄 피크가 51.8분에 관찰되었고, $H_2(1/4)$ 에 지정된 것으로 8.66분 및 9.3분에 각각 포지티브 선행 및 후행 가장자리를 갖는 신규 네거티브 피크가 8.76분에 관찰되었다. 도 54A-B에는 SunCell®에서 세 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 후 NaOH 처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 가스의 크로마토그래피 결과가 나와 있다: 알려진 포지티브 수소 피크는 10분에 관찰되었고, 포지티브 메탄 피크는 51여분에 관찰되었고, $H_2(1/4)$ 에 지정된 것으로 8.76분 및 9.3분에 각각 포지티브 선행 및 가장자리를 갖는 신규 네거티브 피크가 8.8분에 관찰되었다.
- [1033] SunCell® 에서의 하이드리노 반응으로부터 수집하여 NaOH 처리한 Ga_2O_3 를 950° C로 가열하여 발생된 가스의 질량 스펙트럼(도 56)을 도 55A-B에 나와 있는 가스 크로마토그래프의 기록 이후에 기록했으며, 이로부터 수소와 메탄의 존재가 확인되었다. 메탄의 형성은 특별한 것으로 이는 스테인레스강 반응기로부터 나온 미량 CO_2 나 탄소와 수소의 반응을 야기하는 에너지 함유 하이드리노 플라즈마에 기인한다. 수소 및 $H_2(1/4)$ 을 포함하는 가스는 도 55A-B에 나와 있는 가스 크로마토그래프의 기록 후 24시간 이상 동안 용기에 그대로 두었다. 도 57에 나와 있는 바와 같이 역시 10분에 수소 피크와 53.7분에 메탄 피크가 관찰되었으나, 수소보다 정체 시간이 더 짧은 신규 네거티브 피크는 부재했는데, 이는 H_2 와 비교해서도 $H_2(1/4)$ 의 더 작은 크기 및 상응하는 높은 확산도와 일치했다.
- [1034] 도 58에는 SunCell®에서 네 번째 하이드리노 반응으로부터 수집된 후 NaOH 처리한 Ga_2O_3 에서 발생한 하이드리노 가스의 크로마토그래피 결과가 나와 있다: H_2 나 He보다 이동 시간이 더 빠르다고 알려진 기체는 없으므로 빠른 피크가 $H_2(1/4)$ 에 지정되었다. $H_2(1/4)$ 피크의 포지티브 성격은 해당 샘플에서 헬륨 캐리어 가스에 있는 낮은 농도의 하이드리노 가스를 나타냈다. 빠른 피크 그리고 높은 농도에서 네거티브인 빠른 피크는 하이드리노 이외의 모든 다른 가스의 지정을 제거한다.
- [1035] 실시예에서, 전력을 생성하고 하이드리노 가스의 소스 역할을 하도록 수집될 수 있는 표면 상의 산화 갈륨을 형성하기 위해, 동적 진공에 의해 유지되는 10 Torr 미만과 같은 낮은 압력에서 반응 셀 챔버 안으로 물을 주입할 수 있다. 예시적 실시예에서, 다음을 포함하는 SunCell®의 작동 이후 용융 갈륨 표면으로부터 산화 갈륨을 걷어냈다: (i) 직경 15.24 cm의 304 스테인레스강 반응 셀 챔버 그리고 그 하부에 위치한 약 3.5 kg의 용융 갈륨을 함유한 6 cm의 내부 직경과 6.35 cm의 높이를 가진 저장소, (ii) 하부에 W 노즐을 갖춘 DC EM 펌프를 포함하

는 용융 갈륨 주입기 그리고 (iii) 상단의 플랜지 그리고 하단에 중앙의 깊이가 약 2.54 cm 및 직경이 3.8 cm인 움푹한 포물선 모양의 동공 상에 장착된 진공가능한 피드-스루에 연결된 직경 1.27 cm의 W 버스 바를 포함하는 상부의 BN 절연된 페데스탈 대향 전극. 반응 챔버의 용융을 방지하기 위해, SunCell을 1000 A 및 25-30 V DC로 켜 30초 간격을 두고 3회 실행했으며 런 사이의 냉각을 위해 200 g/s의 EM 펌핑 속도를 허용했다. 물 저장소로 향하는 니들 밸브 그리고 흐름의 제어를 위한 제어기가 장착된 솔레노이드를 사용하여, 10 Torr 미만의 압력이 유지되는 동적 진공 하에서 약 4 ml/분의 속도로 반응 셀 챔버 안으로 물을 주입했다. 셀의 출력은 약 120 kW 그리고 압력은 약 28 kW였다. 약 500 ml의 수용성 1 M NaOH에 약 15 g의 산화 갈륨을 용해한 다음 실온에서 72 시간 방치했다. 용액에 현탁된 불용성 물질은 떠서 제거했다. 얻은 고형물은 밀봉된 65 cm³ SS 용기에 담은 다음 600 ° C로 가열하여 6.8기압의 가스를 방출했다. 6방향 밸브를 사용하여 2기압의 가스를 가스 크로마토그래프에 주입했다. 얻어진 스펙트럼은 도 52A에 나와 있는 것과 동등했는데, H₂(1/4)에 지정된 처음의 네거티브 피크가 9분의 정체 시간에서 관찰되었다. 이 처음 피크가 포지티브 피크인 수소 피크가 보다 먼저 관찰되었는데, 캐리어 가스는 아르곤이고 TCD는 85 ° C였다.

[1036] 다른 실험 실시예에서, 90 ° C 이상으로 유지된 1 g의 Pt/Al₂O₃ 재결합기 촉매를 통해 반응 셀 챔버 안으로 3000 sccm의 H₂ 및 30 sccm O₂를 흐르게 하여 HOH 촉매와 H 원자의 소스를 제공했다. 입력 전력은 약 25 kW이고, 출력 전력은 약 100 kW였다. SunCell®의 작동 후에 용융 갈륨 표면으로부터 건너온 Ga₂O₃를 1 M NaOH에 용해한 다음, 액체를 따라내어 불용성 고형물을 수집했으며, 얻은 샘플을 탈기한 65 cm³ SS 용기에서 가열하여 가스 크로마토그래프 컬럼 안으로 하이드리노 가스를 방출했는데, H₂(1/4)에 지정된 처음의 네거티브 피크가 약 9분의 정체 시간에서 관찰되었다. 실시예에서, 극저온유체의 온도의 Hayesep 컬럼을 사용하여 H₂ 가스로부터 H₂(1/4) 가스를 분리할 수 있다. 도 41에 나와 있는 것과 같은 회전 진동 밸브를 여기시키는 아르곤 엑시머를 형성하는 약 1기압의 아르곤을 포함하는 챔버에서 e-빔 여기 방출에 비해 하이드리노의 회전 진동 스펙트럼을 관찰할 수 있다.

[1037] 1200 sccm의 H₂ 및 20 sccm O₂를 90 ° C 이상에서 유지되는 1 g의 Pt/Al₂O₃ 재결합기 촉매를 통해 반응 셀 챔버 안으로 흘러 SunCell® (도 25)을 작동했다. 가스가 배기 포트를 통해 흘러 나간 다음 외부의 액체 질소 듀어에 의해 냉각되는 진공 라인과 직렬 연결된 용기에 있는 박막의 액체 아르곤을 통해 기포로 통과한 뒤 진공 펌프를 사용하여 탈기하는 동안, 셀을 1-5 Torr의 압력으로 작동했다. 분자 하이드리노는 H₂보다 액체 아르곤에서 용해도가 더 높는데, 이는 H₂(1/4) 가스 농축의 수단을 제공한다. 도 59는 분자 하이드리노 가스가 SunCell®에서 흘러 용매인 액체 아르곤에 흡수된 다음 액체 아르곤을 27 ° C로 데워 기화를 허용함으로써 방출되는 것의 가스 크로마토그래프를 보여준다. 두 번째 HP 5890 Series II 가스 크로마토그래프 및 85 ° C의 열 전도도 검출기와 19 PSI의 아르곤 캐리어 가스와 함께 사용한 303 K(30 ° C)의 Agilent 컬럼(Agilent 분자체 5 Å, (50 미터 x 0.32, df = 30 μm)) 상에서 하이드리노 피크가 8.05분에 관찰되었으며, 수소는 나중에 12.58분에 관찰되었다.

[1038] 아르곤 분위기 및 지지된 귀금속 촉매 상에서 수소와 산소의 재결합에 의해 형성된 아르곤/H₂(1/4) 혼합물의 H₂(1/4) 가스를 액체 아르곤에서 극저온유체 온도로 냉각시킨 길이 35미터, 내경 2.5 mm의 ID HayeSep® D 크로마토그래프 컬럼을 통해 흘러 농축시켰다. 아르곤이 부분적으로 액화되어 농축되는 분자 하이드리노 가스의 흐름을 허용했는데, 이는 도 42에 나와 있는 바와 같이 e-빔 여기 방출 분광법에 의해 관찰된 H₂(1/4)의 회전 진동 P 브랜치에 대한 극적인 증가로 나타나 있다. 가스 크로마토그래피 컬럼에서 나오는 분자 하이드리노 가스가 크라이오 펌프 시스템(Helix Corp., CTI-Cryogenics Model SC 압축기; TRI-Research Model T-2000D-IEEE 제어기; Helix Corp., CTI-Cryogenics 모델 22 cryodyne)에 의해 55K까지 냉각시킨 밸브가 있는 마이크로챔버 안으로 흐르면서 미량의 공기와 함께 액화되었다. 이 액화된 가스가 실온으로 데워지면서 1000 Torr의 챔버 압력을 달성하며 아르곤 캐리어 가드와 함께 Agilent 컬럼으로 주입된다. 산소 및 질소는 각각 19 및 35분에 관찰되었다. H₂(1/4)는 6.9분에 관찰되었다(도 60).

[1039] 여기에 나와 있는 형태(#.#)의 하이드리노 소소화물 이온 계산의 식들과 참조된 섹션들은 MILLS GUT의 것들과 상응한다: 일반적인 하이드리노 이온 이온 H^- 의 경우, 무결합 연속체로 칭하는 이온화 또는 결합 에너지의 보다 짧은 파장들에서 연속체가 관찰된다. 광구에서 전형적인 조건의 경우, Stix [M. Stix, *The Sun*, Springer-

Verlag, Berlin, (1991), p. 136]의 도 4.5는 태양의 연속적 흡수 계수의 $\kappa_c(\lambda)$ 를 보여준다. 가시광선 및 적외선 스펙트럼의 경우, 수소화물 이온 H^- 가 우세한 흡수체이다. 이의 자유-자유 연속체는 $\lambda = 1.645 \mu m$ 에서 시작하는데 이는 H^- 의 이온화 에너지 $0.745 eV$ 에 상응하며 원적외선으로 향할수록 강력하게 증가한다. 태양에 대해 기록된 일반 하이드라이드 스펙트럼은 매우 뜨거운 플라즈마에서 하이드라이드 스펙트럼을 대표한다.

[1040] 단일 껍질에 있는 두 개의 짝지어진 전자를 포함하는 수소화물 이온을 형성하기 위해 수소 원자와 두 번째 전자의 반응은 더 긴 파장으로의 연속 방사를 방출하며 수산화 이온에서 두 번째 전자의 결합 에너지에 대한 절단은 Stix에서 보는 바와 같다[M. Stix, *The Sun*, Springer-Verlag, Berlin, (1991), p. 136]. 하지만 하이드리노 수소화물 이온 및 두 번째 전자를 결합하는 하이드리노 원자의 상응하는 방출은 고유하다. 하이드리노 수소화

물 이온은 홀 전자를 포함하며 이는 플럭손이나 자속 양자 $\frac{h}{2e}$ 의 자속 증분의 링키지에 기반하는 추가의 양자화된 단위의 에너지와 함께 방출되는 두 번째 전자의 결합 에너지에 대한 방출을 초래한다.

[1041] 구체적으로, 하이드리노 $H^-(1/p)$ 는 다음을 포함한다: (i) 최소 에너지, 등전위, 구형, 2차원 전류 막에 결합된 두 개의 전자에 있어서 $H^-(1/p)$ 의 전자들이 같은 위치 r 의 동일한 껍질에서 짝지어 지지 않은 두 개의 전자들 그리고 (ii) 구의 원점에 중심이 모여진 핵에서 기본 전하의 정수만큼 중앙 필드를 증가시키는 광자 하이드리노 상태의 광자 전기장과 각 전자와의 상호작용은 비방사 방사상 단극을 발생시켜 그 상태가 안정하다. 방사 없는 정수 광자의 중앙 필드를 유지하면서 단일 원자 궤도(AO)로 두 개의 전자 결합은 일반 수소화물 이온의 경우에서의 단일한 상태가 아니라 하이드리노 수산화물 이온에서 이중한 AO 상태라는 특별한 경우를 발생시킨다. 이 단일한 상태는 비자성이다; 반면에 이중한 상태는 보어 자자 μ_B 의 자기 모멘트를 갖는다.

[1042] 구체적으로, Generation of the Atomic Orbital-CVFS 섹션에서 보는 바와 같이, 원자 궤도에서 전류의 기반 요소는 큰 원이다. Atomic Orbital 섹션의 Equation of the Electric Field에 나와 있는 바와 같이, (i) 광자는 전기장을 지니며 폐쇄된 필드 라인 루프를 포함하고, (ii) 하이드리노 원자는 포착된 광자를 포함하는데, 광자 필드-라인 루프 각각은 짝이 맞는 큰 원 전류 루프 기반 요소를 따라 동일한 벡터 방향으로 이동하고, (iii) 각 필드 라인의 방향은 특수 상대성이 요구하는 상대적 운동과 함께 전파 방향과 수직되는 방향으로 증가하고, (iv) 포착된 광자의 필드 라인 루프를 따르는 각 점의 직선 수소는 광속 c 이므로 실험실 틀에 대한 전기장 방향은 그 짝지어진 전류 루프에 온전하게 수직이며 또한 $\delta(r-r_n)$ 에서만 존재한다. H^- 원자 궤도의 짝지어진 전자들은 순 자기 모멘트를 갖지 않는 일정한 상태를 포함한다. 하지만 하이드리노 수소화물 이온의 광자 필드 라인은 취소를 피하기 위해 한 방향으로만 전파할 수 있으므로 중앙 필드를 발생시켜 원심력과 중심력 사이의 힘 균형을 제공한다(식 (7.72)). 이 특수한 경우는 하이드리노 수소화물 이온에서 이중한 상태를 발생시킨다.

[1043] 하이드리노 수소화물 AO는 Generation of the Atomic Orbital -CVFS 섹션의 내용과 같이 각 전자에 대한 전류 밀도 함수를 포함하는 큰 원들의 선형 조합으로 처리할 수 있다. 광자가 전자 전류와 방향이 일치하고 또한 전자 각 운동량이 $\hbar$ 라는 경계 조건을 부합하기 위해, 전자 1의 절반과 전자 2의 절반이 업스핀되어 광자와 일치할 수 있고, 전자의 다른 절반이 업스핀 될 수 있고 전자 2의 다른 절반이 다운스핀 될 수 있으므로 전류의 절반은 짝이 지어지고 전류의 다른 절반은 짝이 지어지지 않는다.

[1044] 각 전자의 비분할성 그리고 AO가 2개의 동일한 전자를 포함하는 조건 하에서, 광자의 힘이 2개의 동일한 전자를 포함하는 전자 AO의 총체성으로 이전되어 식 (7.72)를 만족시킨다. 그에 따른 짝이 지어지지 않은 전류 밀도에서 각 운동량 및 자기 모멘트는 각각 F 및 보어 자자 μ_B 가 된다. Electron g Factor 섹션의 내용과 같이 자속 $\frac{h}{2e}$ 은 플럭손이나 자속 양자 $\frac{h}{2e}$ 의 양자화 단위로 홀 전자에 의해 연계된다.

[1045] 수소나 하이드리노 원자와 운동 에너지 분포를 가진 자유 전자와의 반응에 의해 형성된 수소화물 이온들은 전자

운동 에너지 및 수소화물 이온 결합 에너지의 방출에 기인하여 이온화나 결합 에너지보다 더 짧은 파장으로의 무결합 방출 대역을 발생시킨다. 식 (7.74)와 식 (7.71)의 비교에서 보는 바와 같이, 하이드리노 수소화물 이온의 형성에 필요한 에너지가 훨씬 더 크며, 충분한 분광법 분해능이 있다면 하이드리노 수소화물 이온의 형성 동안 자유 및 결합된 전자 사이의 상호작용으로 인해 상응하는 무결합 대역에서 고유한 초미세 구조를 분해하는 것이 가능할 수 있을 것이다. 고유한 이중항 상태의 초미세 선들의 유도가 Hydrino Hydride Ion Hyperfine Lines 섹션에 나와 있다.

[1046] 2개 0의 이온화, 2개 H의 이온화, Rb^+ 의 이온화 그리고 2개 K^+ 이온들 사이의 전자 이동(식 (5.6-5.9))은 원자 수소의 위치 에너지에 대한 정수 배수의 순 엔탈피 27.2 eV 를 갖는 반응을 제공한다. 이에 상응하는 I족 질산염은 직접적으로 기화된 이온들로서 또는 플라스마 내에서 이온화되는 상응하는 금속으로의 분해나 환원을 거치는 원자들로서 이 반응물들을 제공한다. 27.2 eV 의 엔탈피를 제공하는 것으로 확인된 이 반응물들 각각의 존재는 공명 이동이라 부르는 원자 수소에서의 저온 및 극저전압 플라스마 또는 강력한 진공 자외선(VUV) 방출을 가진 rt-플라스마를 형성한다. Rb^+ 및 2개의 K^+ 사이의 촉매 생성물인 $H^{(1/2)}$ 은 더 반응하여 하이드리노 수소화물 이온인 $H^{-(1/2)}$ 을 형성하는 고도로 반응성인 중간체인 것으로 예측되었다.

[1047] $H^{-(1/2)}$ 이온은 $H^{(1/2)}$ 원자와 운동 에너지 분포를 갖는 자유 전자의 반응에 의해 형성된다. 전자 운동 에너지와 하이드리노 수소화물 이온 결합 에너지의 방출은 상응하는 수소화물 이온의 이동화나 결합 에너지보다 더 짧은 파장으로의 무결합 방출 대역을 발생시킨다. 자속이 자속 양자의 정수 단위로 $H^{(1/2)}$ 에 연계된다는 요구조건으로 인해, 그 에너지가 양자화되며, $H^{-(1/2)}$ 형성에 기인하는 방출은 상응하는 무결합 대역에서 일련의 초미세 선들을 포함한다. 전자 g 인자로부터 그리고 관찰되는 결합 에너지 피크인 E_B^* 를 사용하면, 자유 및 결합된 전자들의 상호작용에 기인하는 무결합 초미세 구조 선들이 예측되는 에너지인 E_{HF} 를 갖는데, 이는 플럭손 에너지 E_Φ , 스핀-스핀 에너지 E_{ss} 및 관찰된 결합 에너지 피크 E_B^* 의 합에 의해 주어진다:

$$\begin{aligned} E_{HF} &= E_\Phi + E_{ss} + E_B^* \\ &= j^2 2(g-2) \frac{\mu_B}{\sqrt{s(s+1)}} \frac{\mu_0}{r^3} \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right) + g \frac{\mu_0}{r^3} \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right)^2 + E_B^* \\ &= (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 0.011223 + 3.0451) \text{ eV} \\ &= (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 3.0563) \text{ eV} \end{aligned}$$

[1048] (7.97)

[1049] 여기서 j = 정수이다. 이것은 $E_{HF} = (j^2 3.00213 \times 10^{-5} + 3.0583) \text{ eV}$ 에 비교되는데, 비섭동 E_B 는 식 (7.73) 및 (7.74)에 의해 주어진다. 예측되는 스펙트럼은 증가하는 파장으로 수렴하고 미세 구조를 가진 수소화물 결합 에너지 더하기 스핀-짝짓기 에너지에 해당되는 3.0563 eV에서 종료되는 역 리드베르크 유형 계열이다. 도 61에 나와 있는 4000 Å ~ 4060 Å의 영역의 고분해능 가시 플라스마 방출 스펙트럼은 10⁵분의 1까지 예측된 방출 선들과 일치했다.

[1050] 구체적으로, $H^{-(1/2)}$ 의 예측된 결합 에너지 3.0471 eV 는 $3.047 \text{ eV} (\lambda_{dir} = 4068 \text{ Å})$ 에서의 연속체 임계값으로 관찰되었다. 4070.6 Å(공기 파장)에서의 실험적 $H^{-(1/2)}$ 피크인 E_B^* 를 사용하여 무결합 초미세 선의 피크 위치를 계산했는데, 이를 위해 E_B 를 위한 식 (7.97)에 상응하는 에너지인 3.0451 eV를 대입하여 $H^{-(1/2)}$ 의 무결합 초미세 구조 선을 구했다. 3.0563 eV~ 3.1012 eV까지의 역 리드베르크 유형 계열을 포함하는 3995 Å

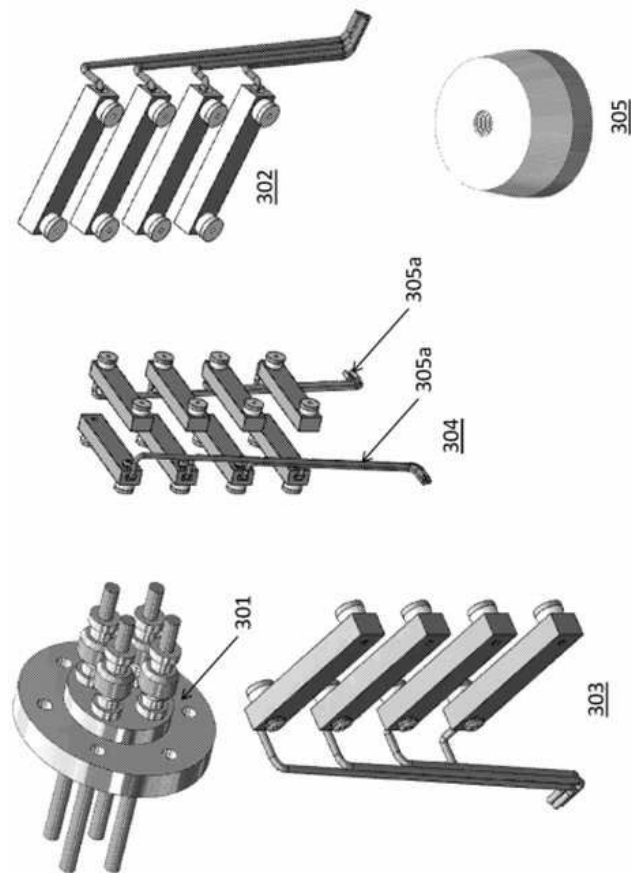
~ 4060 Å의 범위에서는 고분해능 가시 방출 선들은, $j=1$ 에서 $j=39$ 까지 그리고 계열 가장자리가 3996.3 Å 인 경우 식 (7.97)에서 주어지는 예측된 초미세 분할 방출 에너지 E_{HF} 와 10^5 분의 1까지 일치했다[R. L. Mills, P. Ray, "A Comprehensive Study of Spectra of the Bound-Free Hyperfine Levels of Novel Hydride Ion $H^-(1/2)$ ", Hydrogen, Nitrogen, and Air", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 28, No. 8, (2003), pp. 825-871; R. Mills, W. Good, P. Jansson, J. He, "Stationary Inverted Lyman Populations and Free-Free and Bound-Free Emission of Lower-Energy State Hydride Ion formed by and Exothermic Catalytic Reaction of Atomic Hydrogen and Certain Group I Catalysts," Cent. Eur. J. Phys., Vol. 8, (2010), 7-16, doi: 10.2478/s11534-009-0052-6; R. L. Mills, P. Ray, "Stationary Inverted Lyman Population and a Very Stable Novel Hydride Formed by a Catalytic Reaction of Atomic Hydrogen and Certain Catalysts," J. Opt. Mat., 27, (2004), 181-186, and R. L. Mills, P. C. Ray, R. M. Mayo, M. Nansteel, W. Good, P.

[1051] Jansson, B. Dhandapani, J. He, "Hydrogen Plasmas Generated Using Certain Group I Catalysts Show Stationary Inverted Lyman Populations and Free-Free and Bound-Free Emission of Lower-Energy State Hydride," Res. J. Chem Env., Vol. 12(2), (2008), 42-72: 이상은 여기에 그 전문이 참조문헌으로 포함됨].

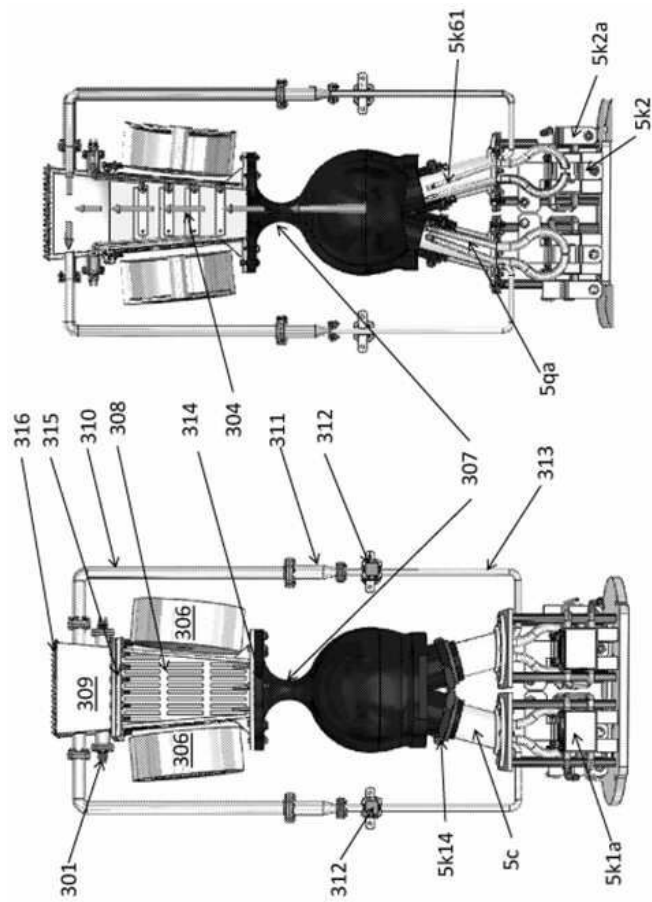
평평한 강도 프로필은 자속을 자속 양자의 양자화 단위인 $\frac{h}{2e}$ 로 연계시키는 초전도 양자 간섭 소자들(SQUIDs)의 것과 같은 조지프슨 접합의 프로필과 일치한다.

도면

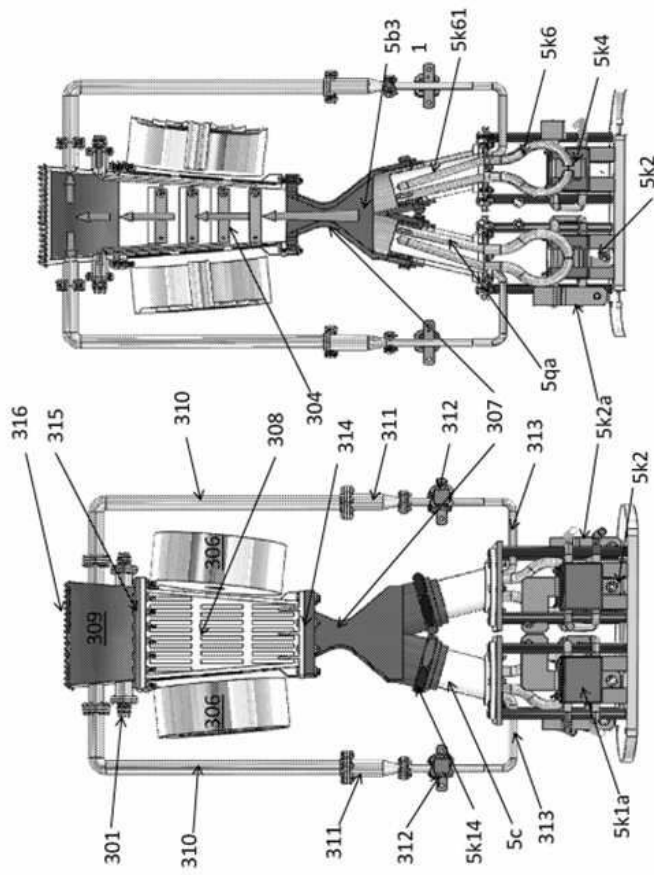
도면1



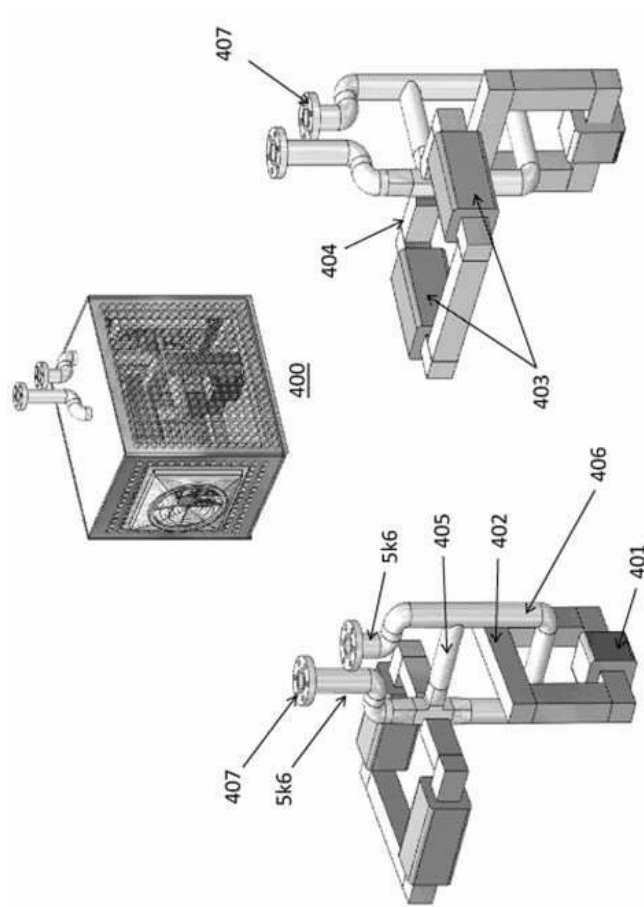
도면2



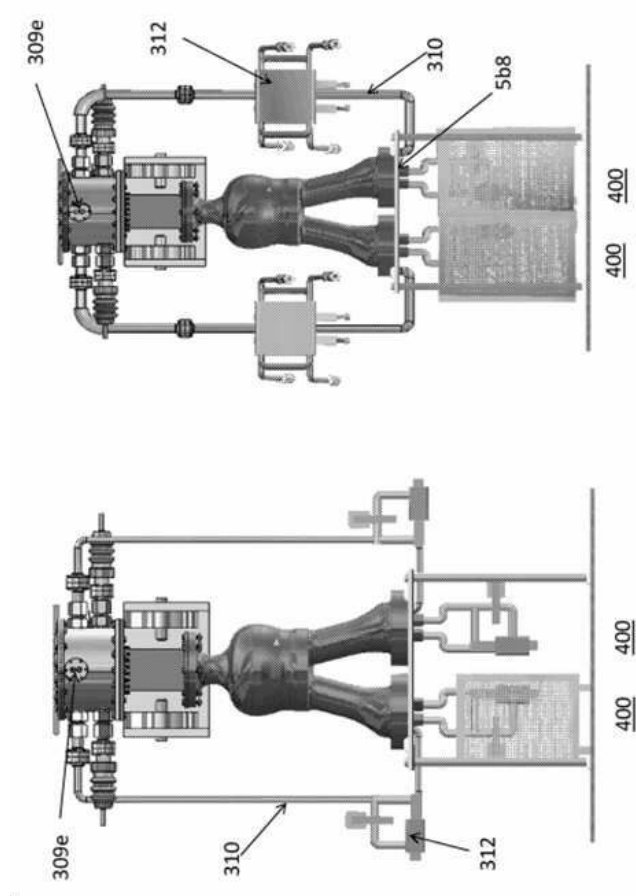
도면3



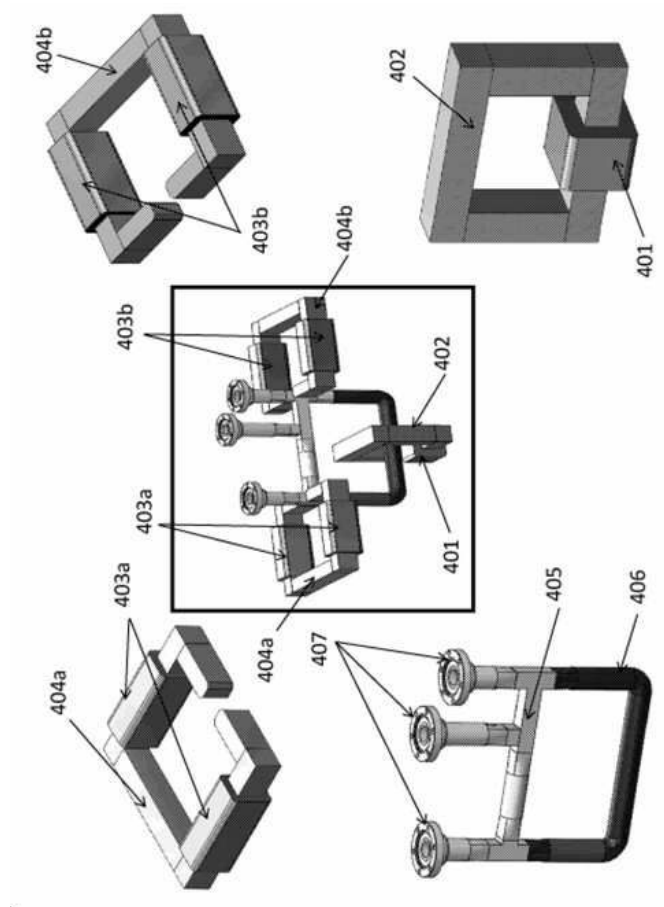
도면4



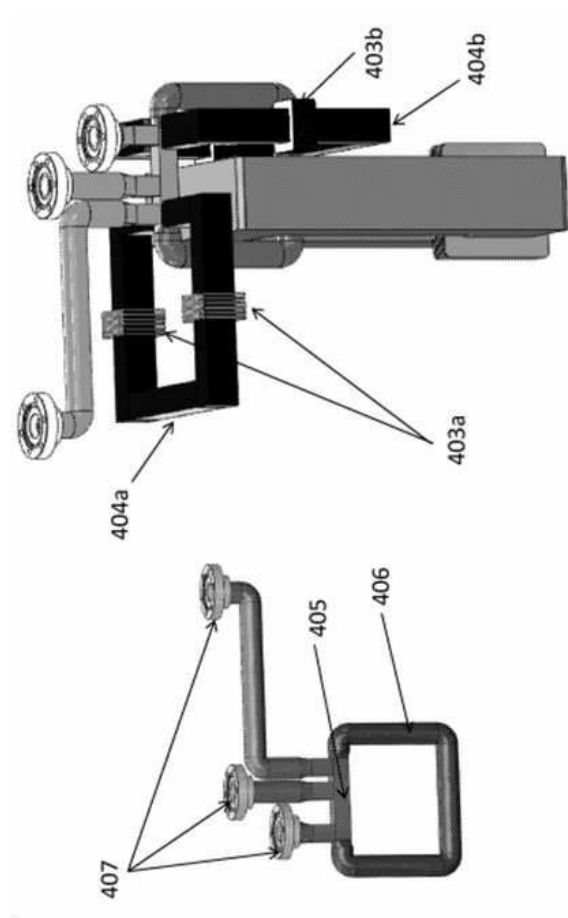
도면5



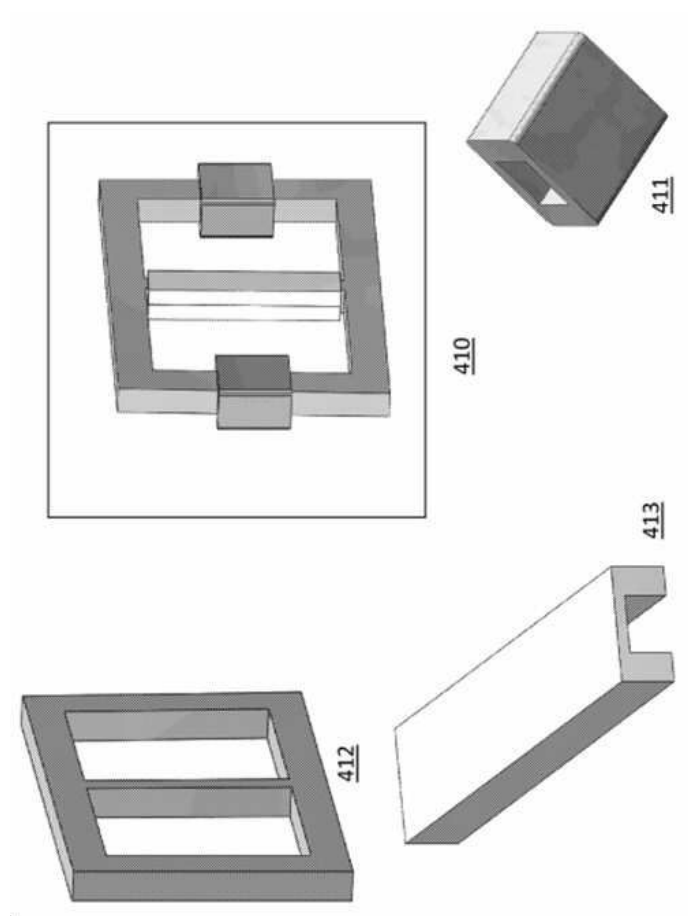
도면6



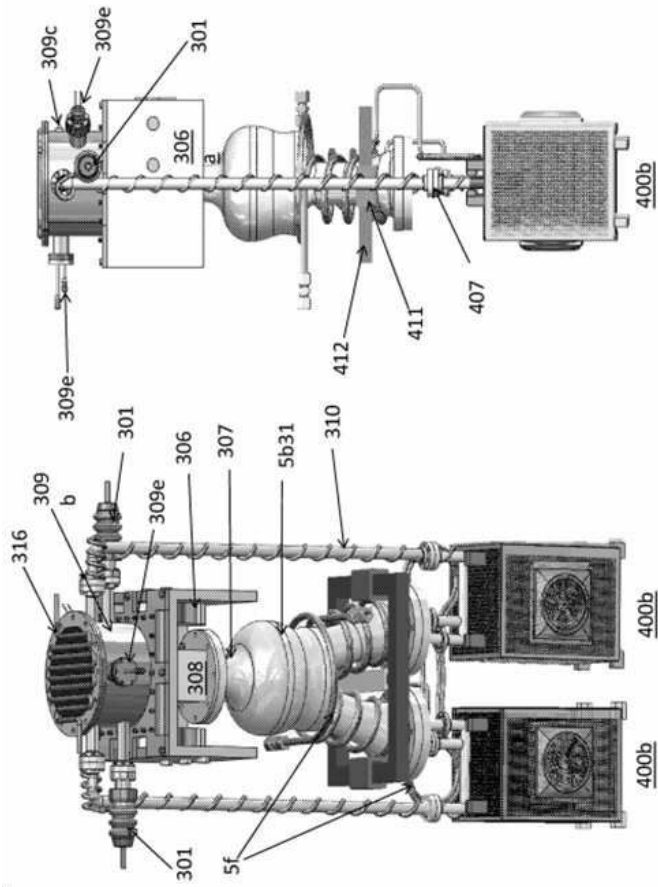
도면7



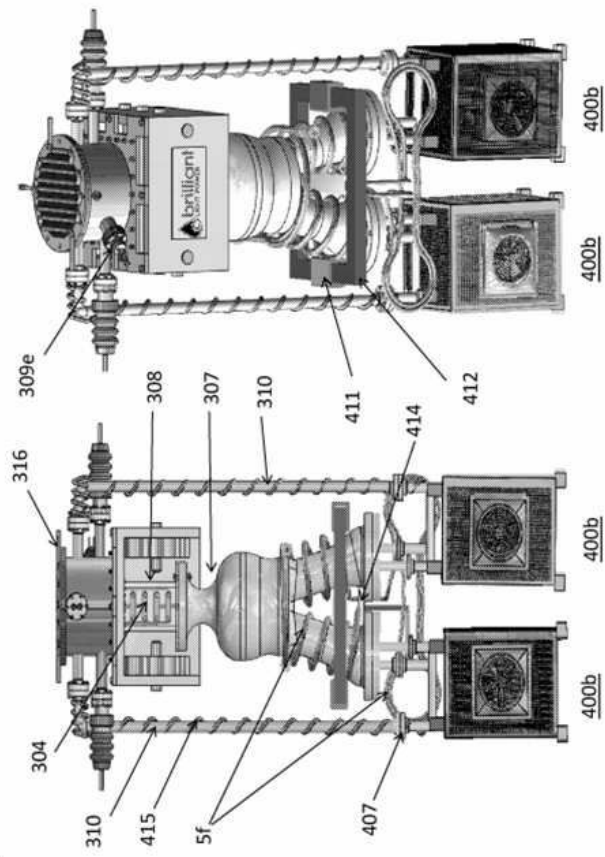
도면8



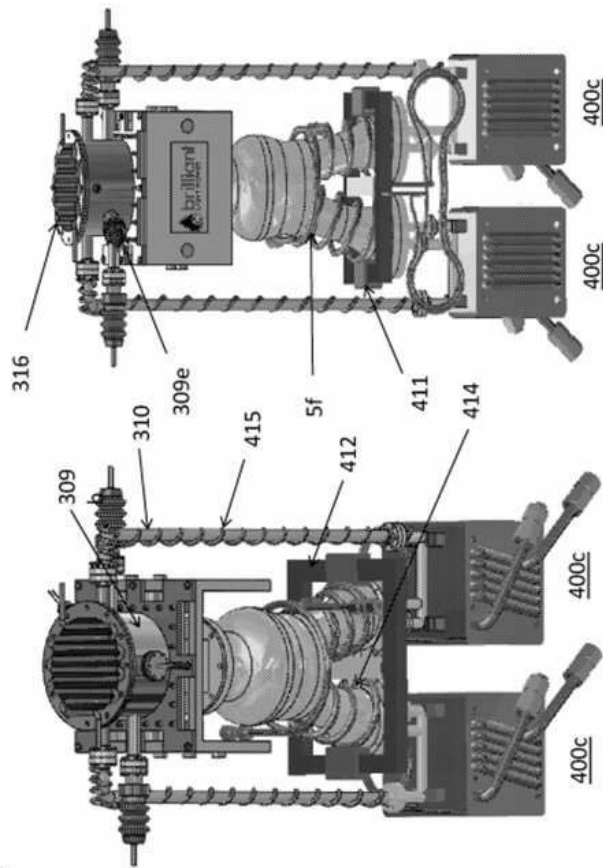
도면9



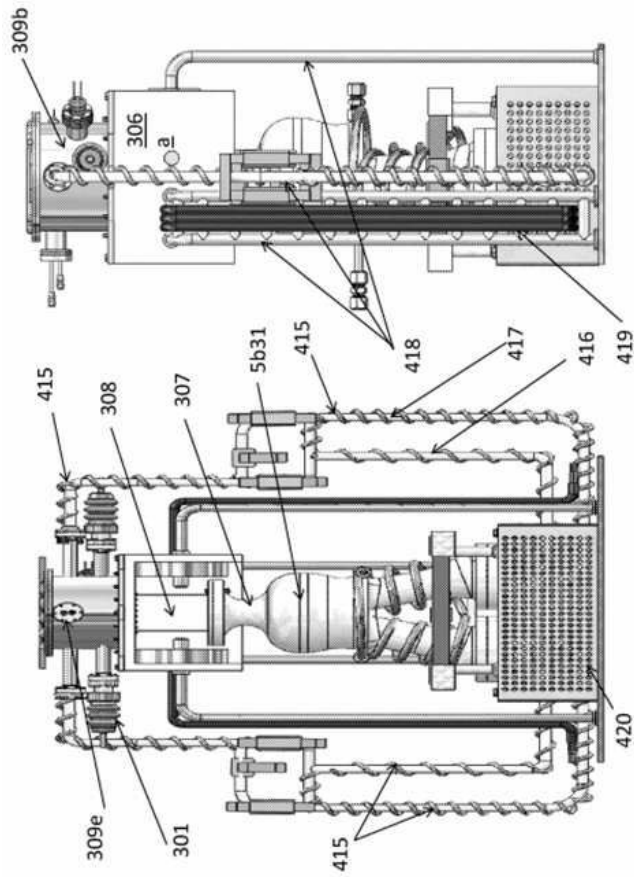
도면10



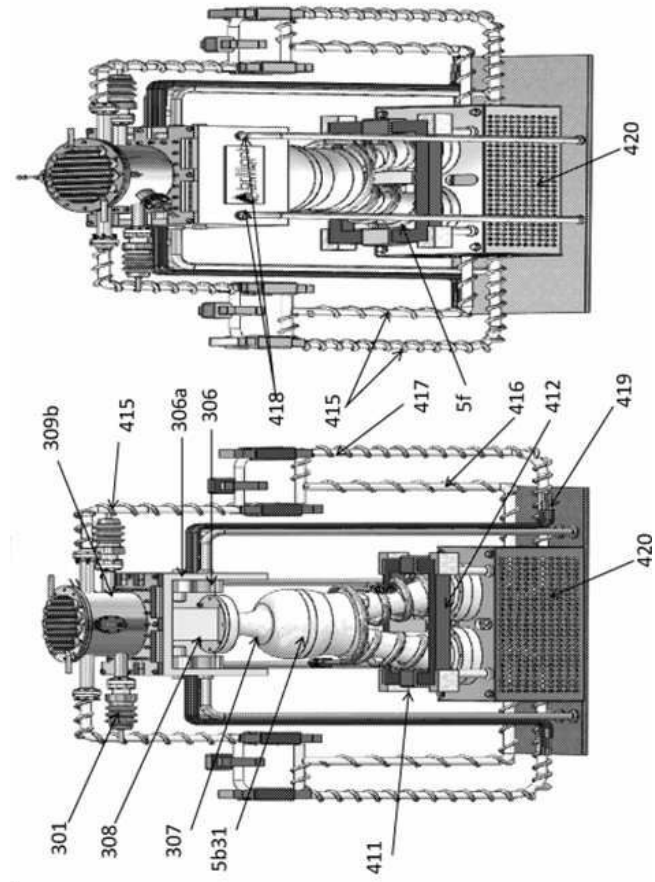
도면11



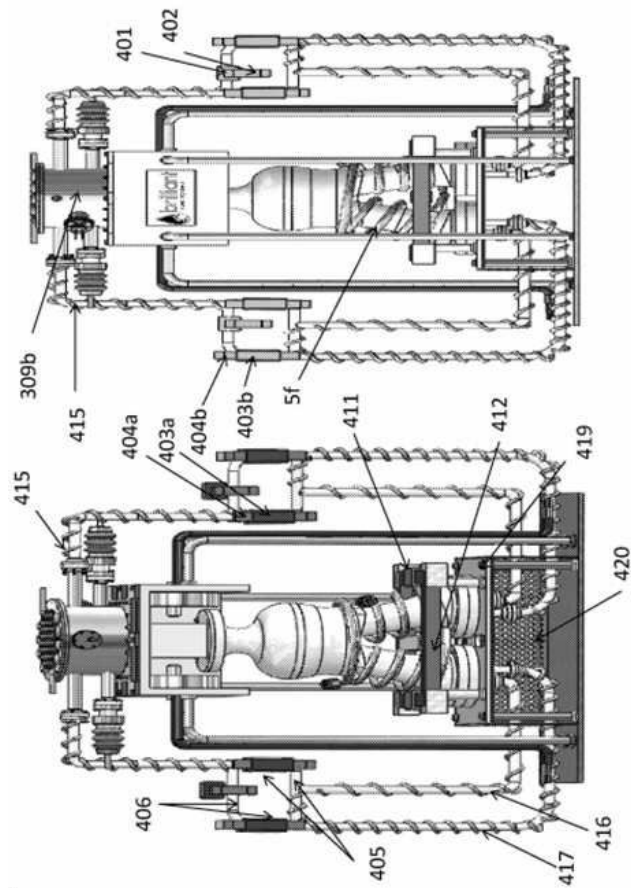
도면12



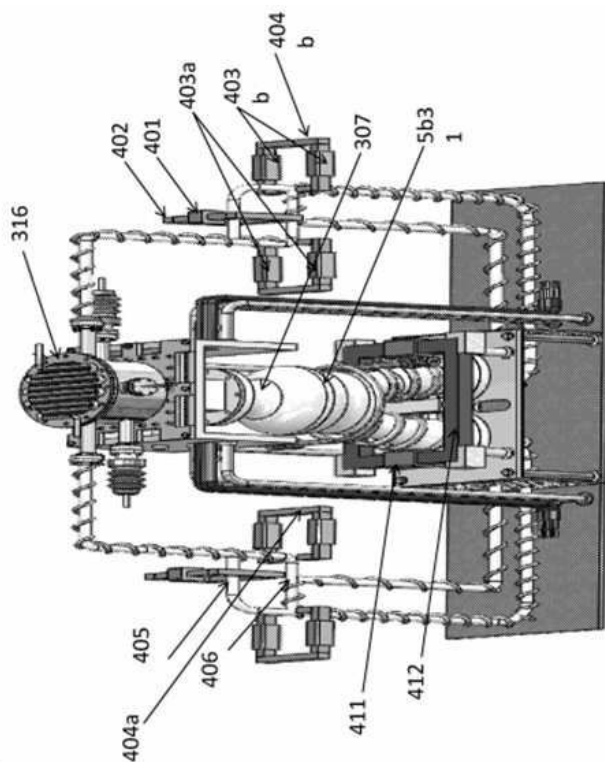
도면13



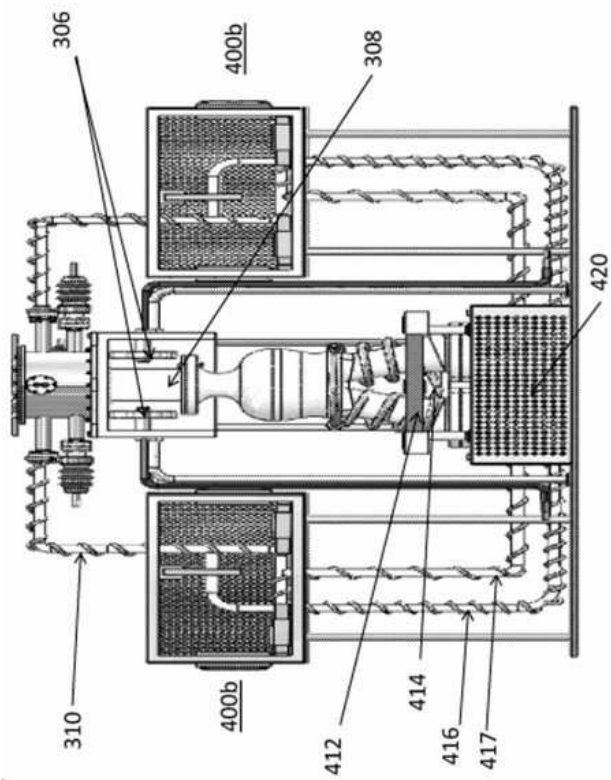
도면14



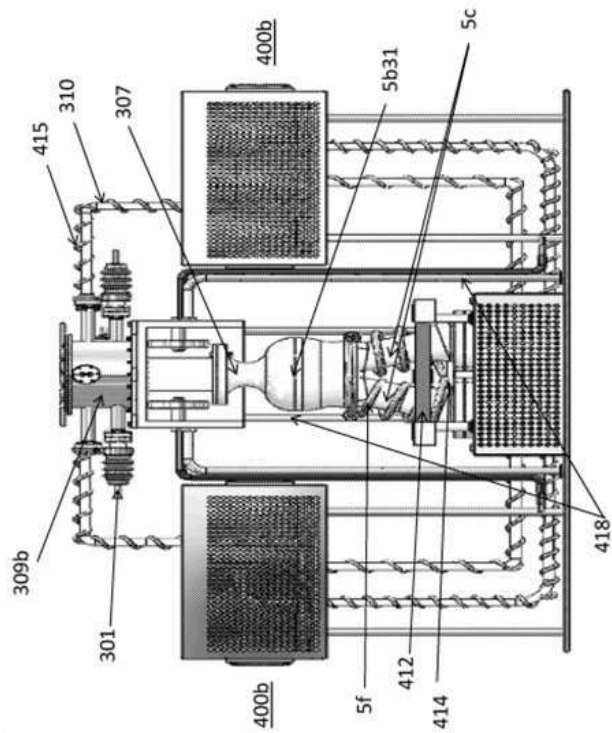
도면15



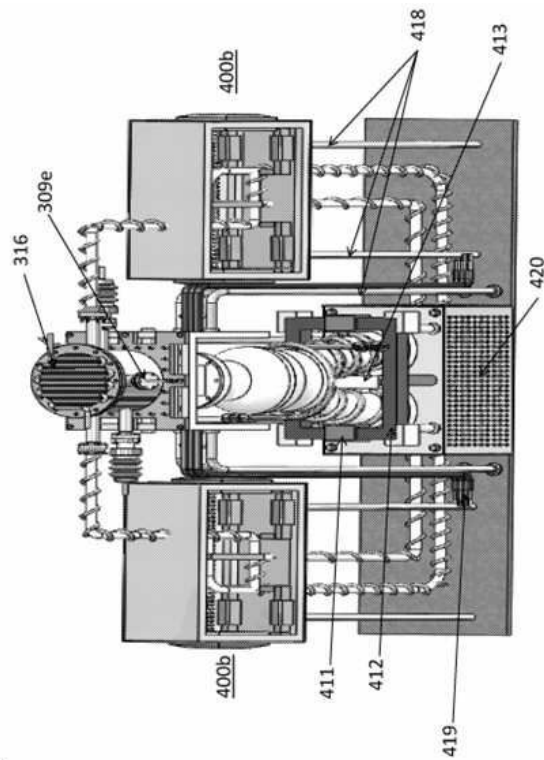
도면16



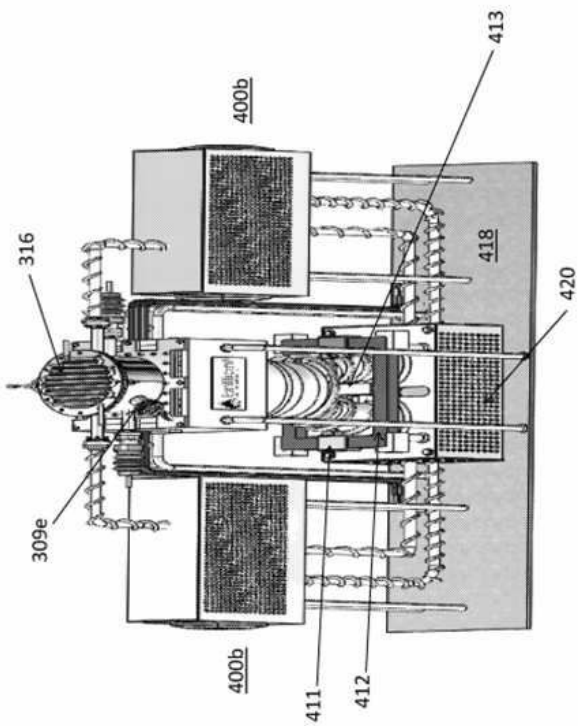
도면17



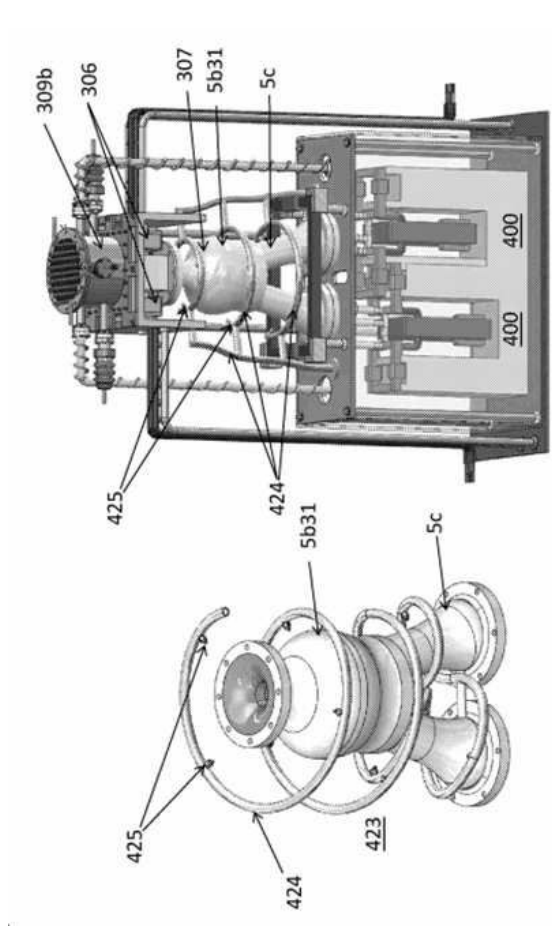
도면18



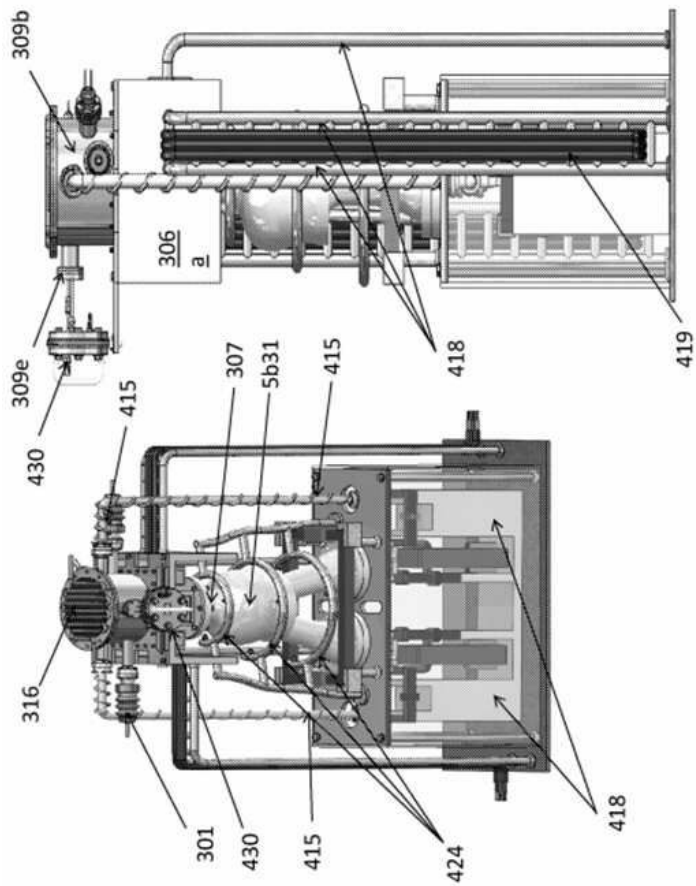
도면19



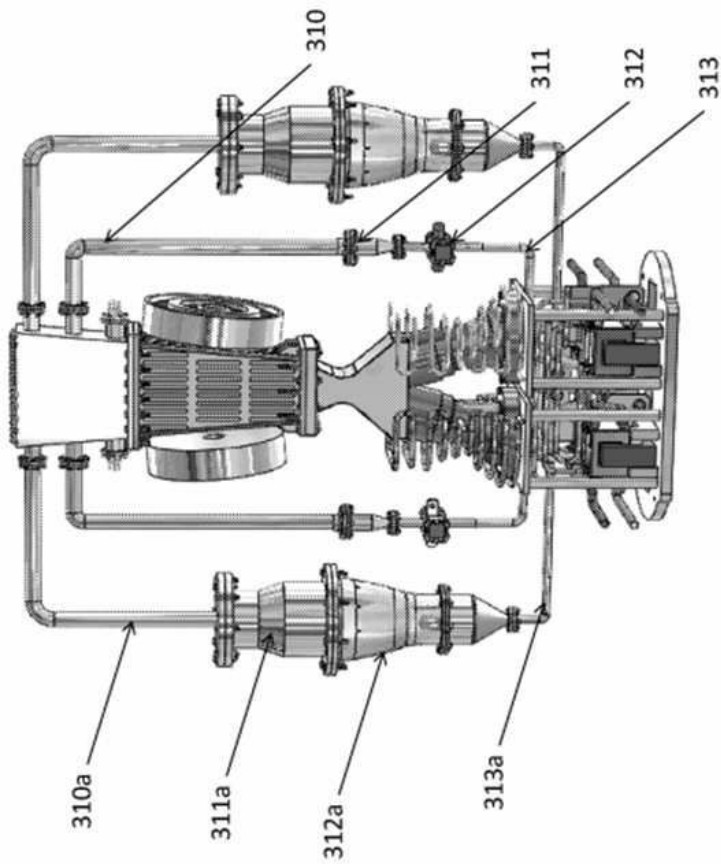
도면20



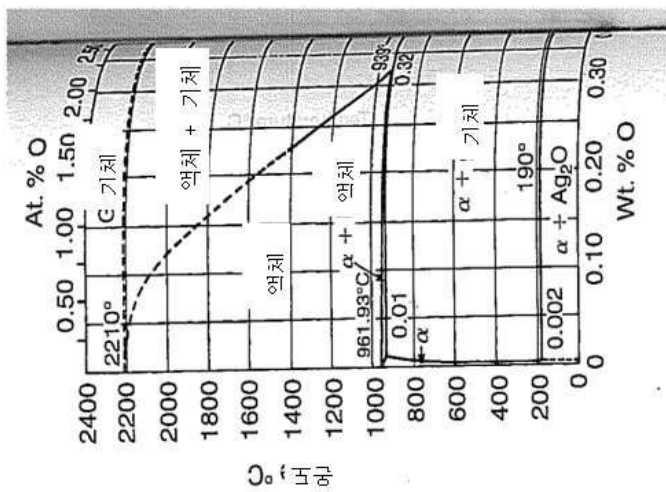
도면21



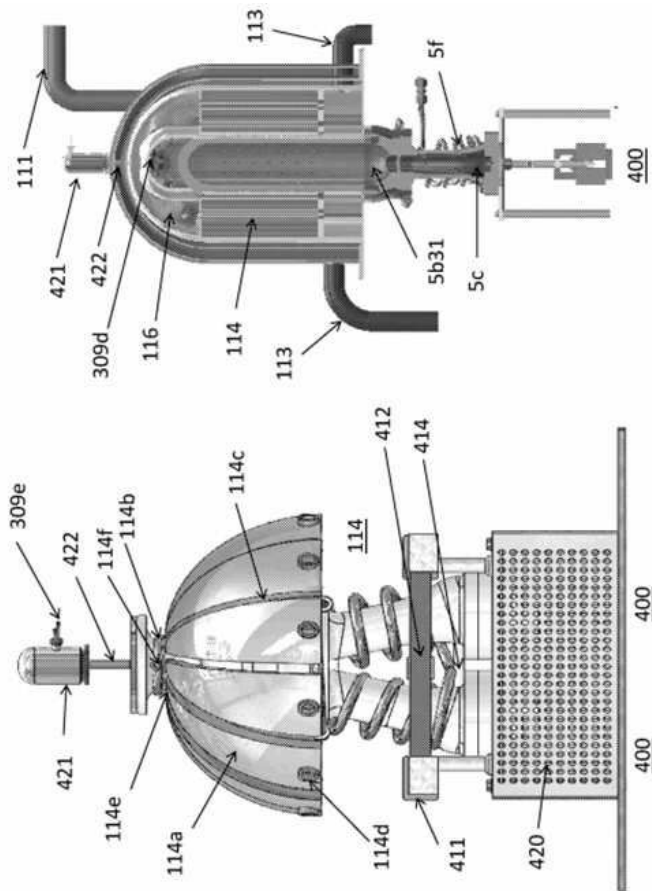
도면22



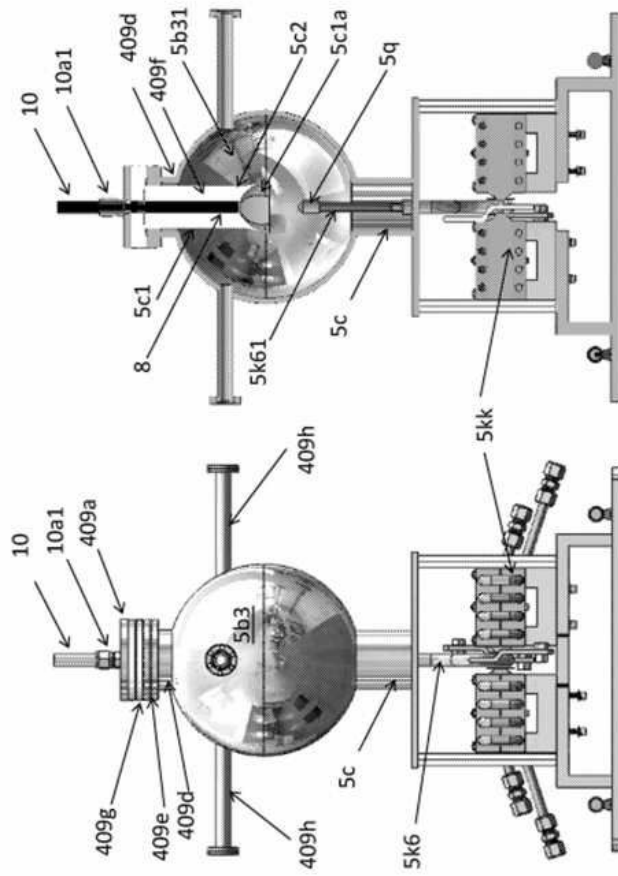
도면23



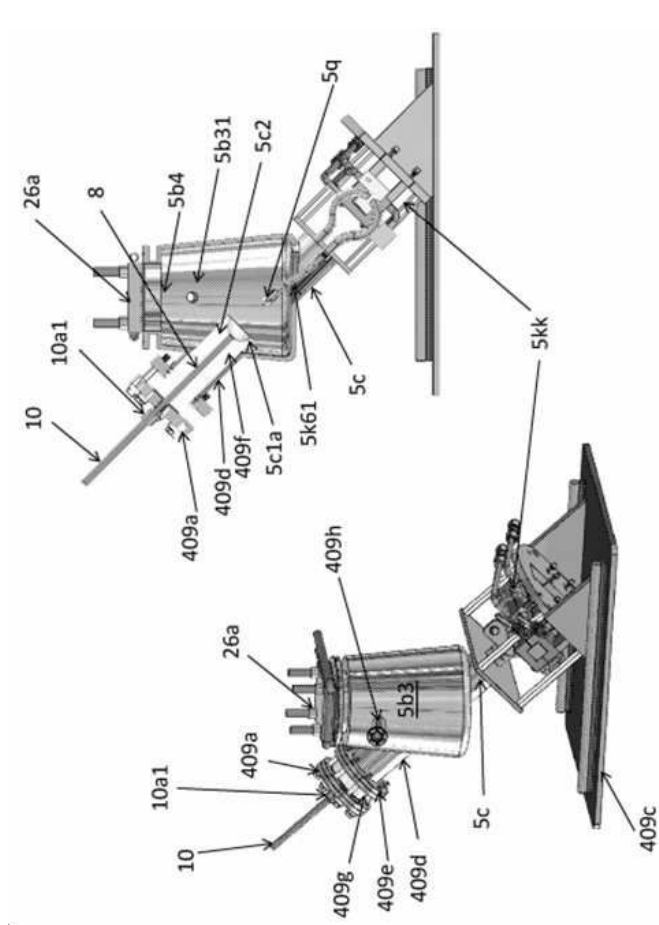
도면24



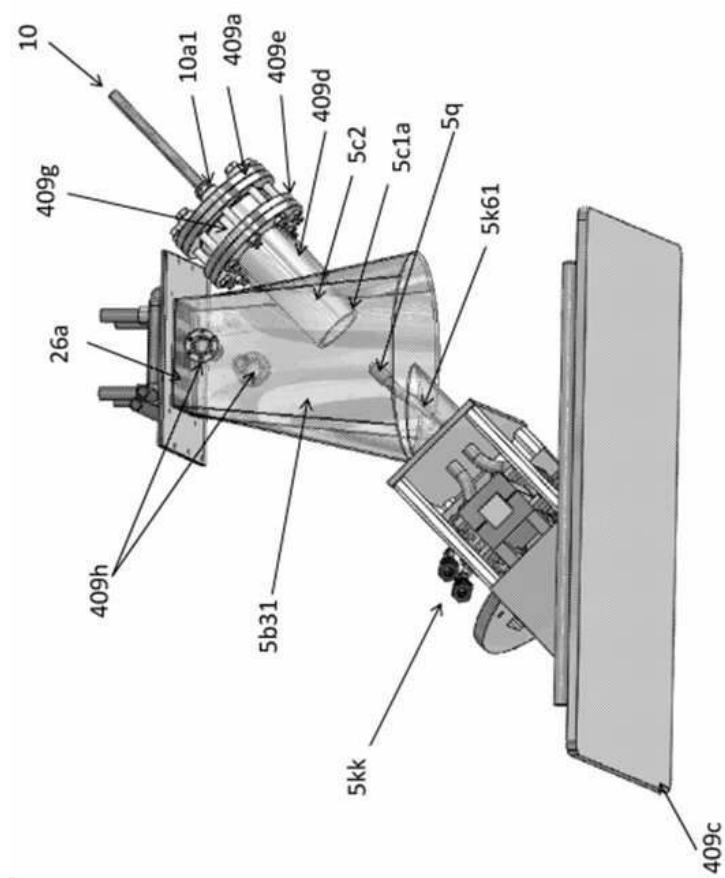
도면25



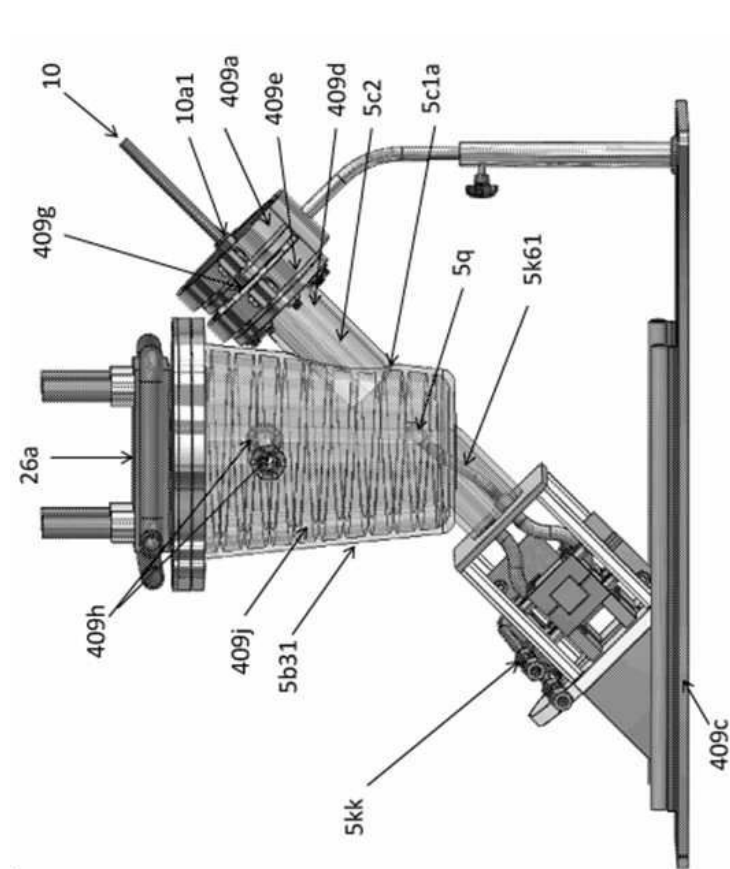
도면26



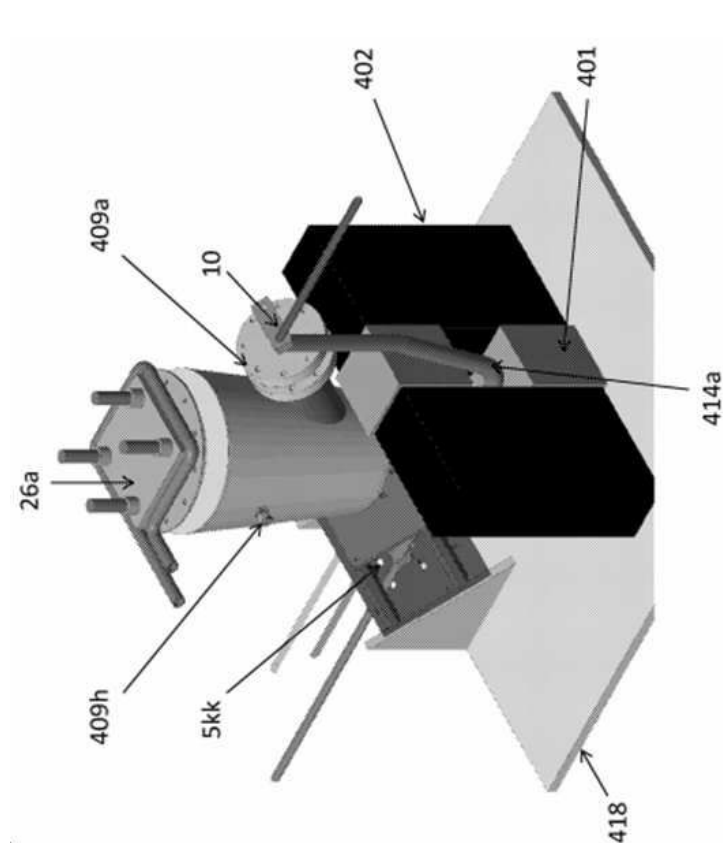
도면27



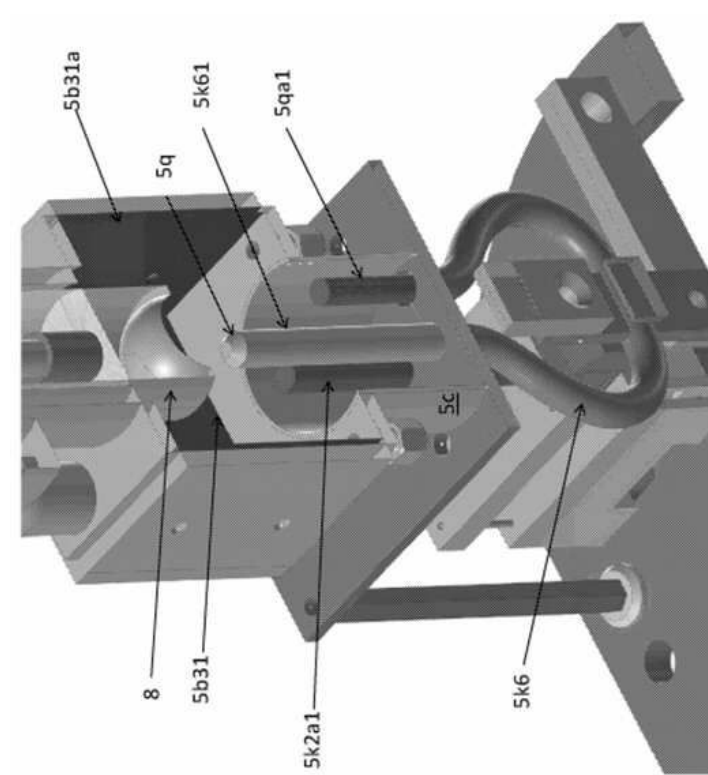
도면28



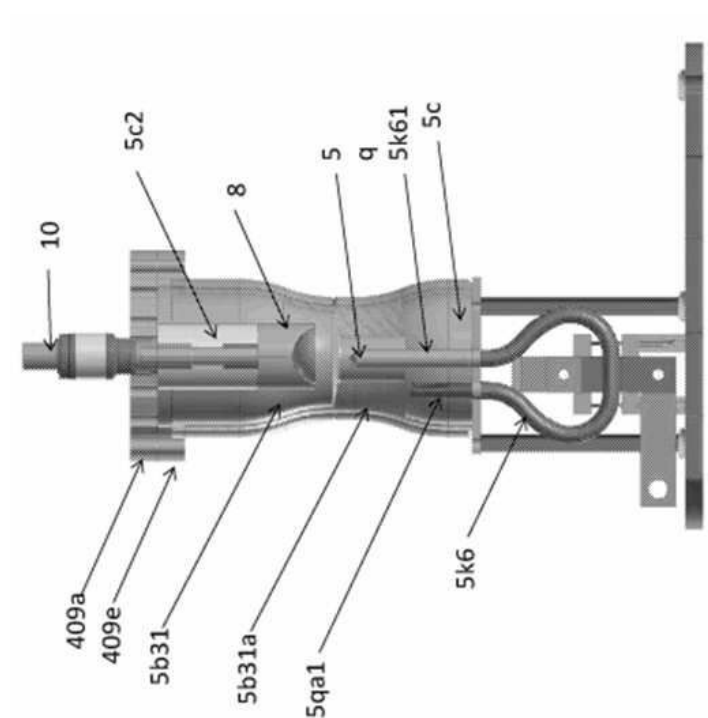
도면29



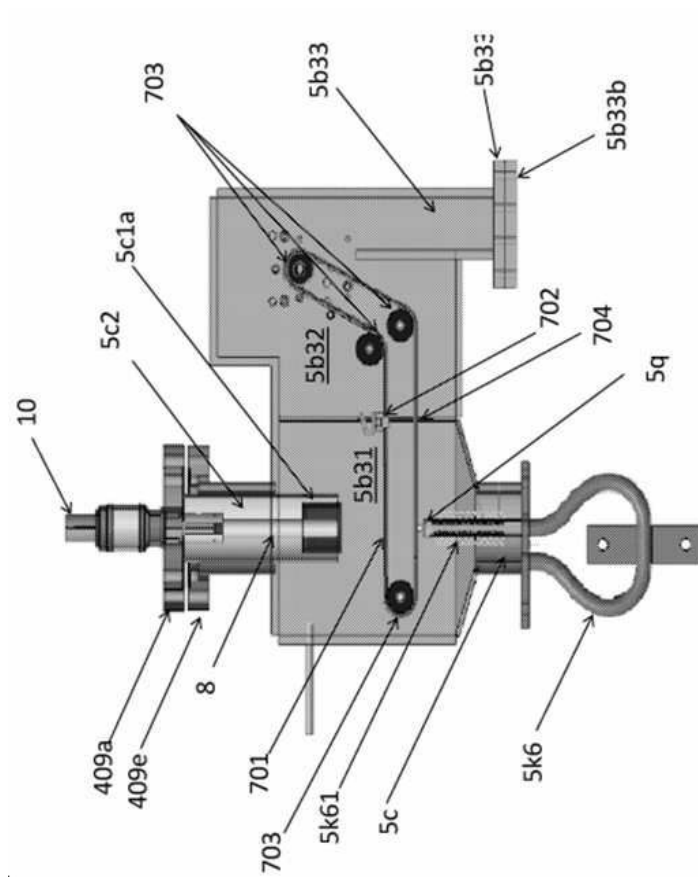
도면30



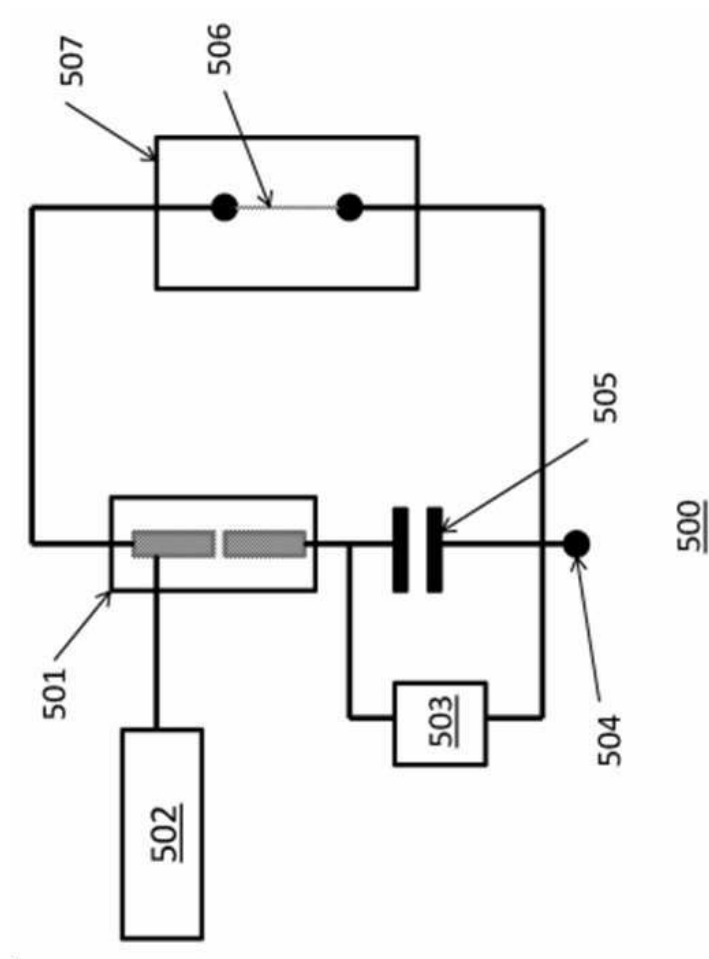
도면31



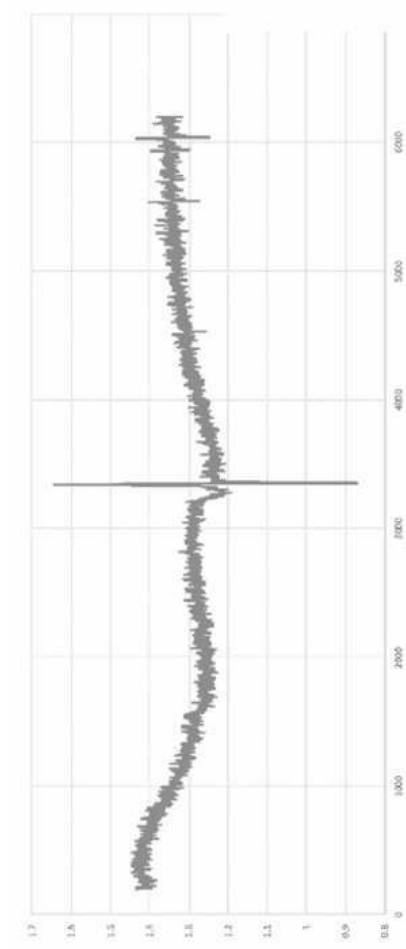
도면32



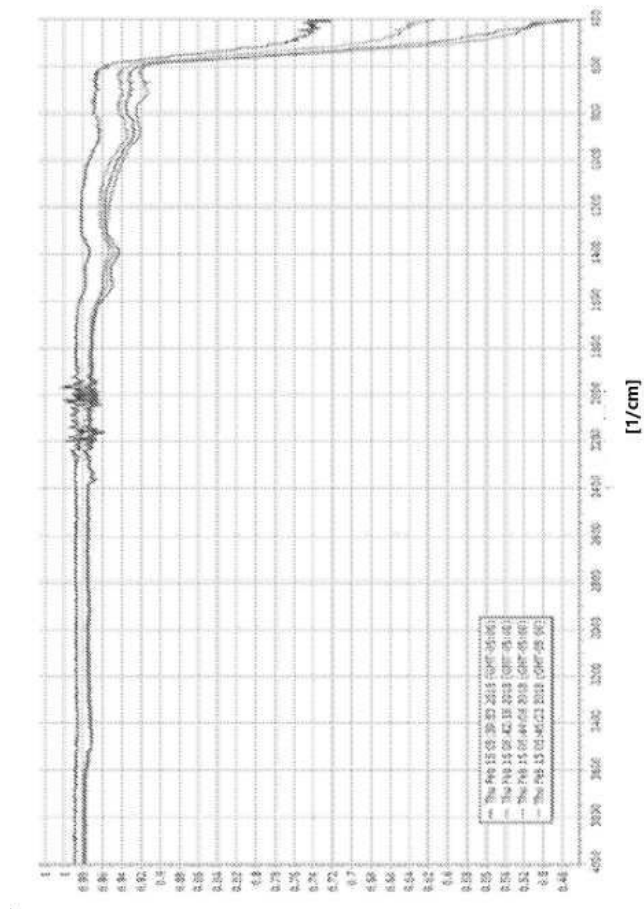
도면33



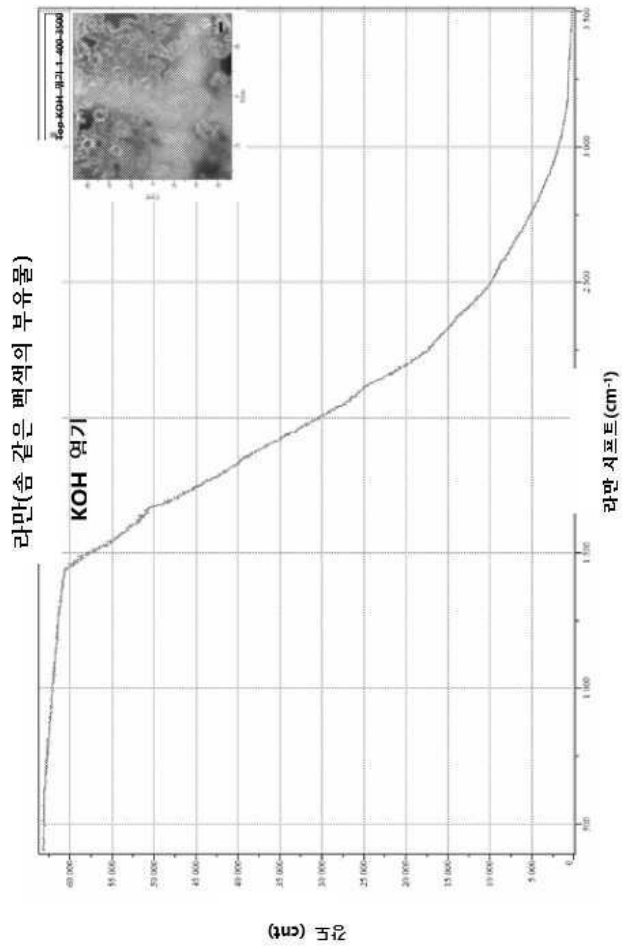
도면34



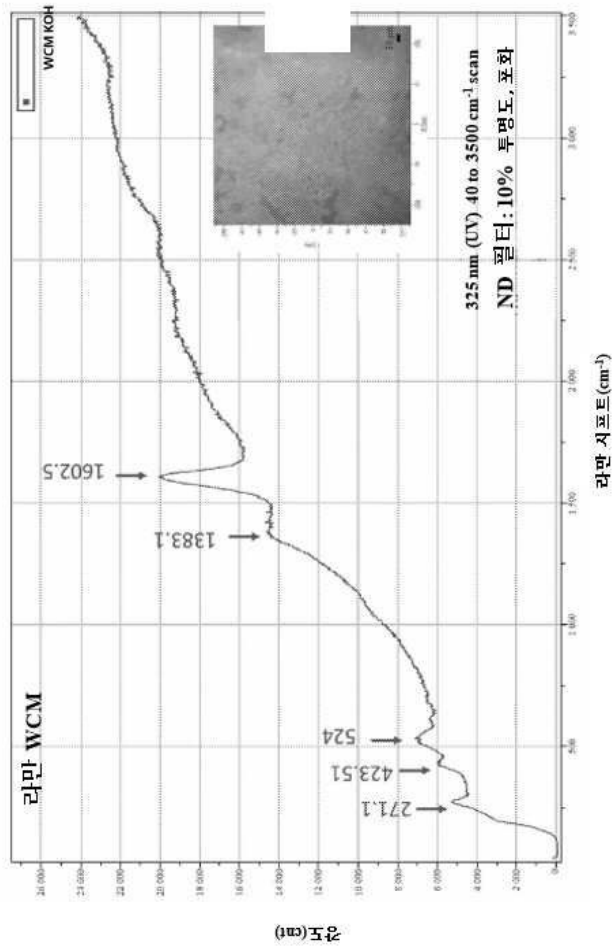
도면 35a



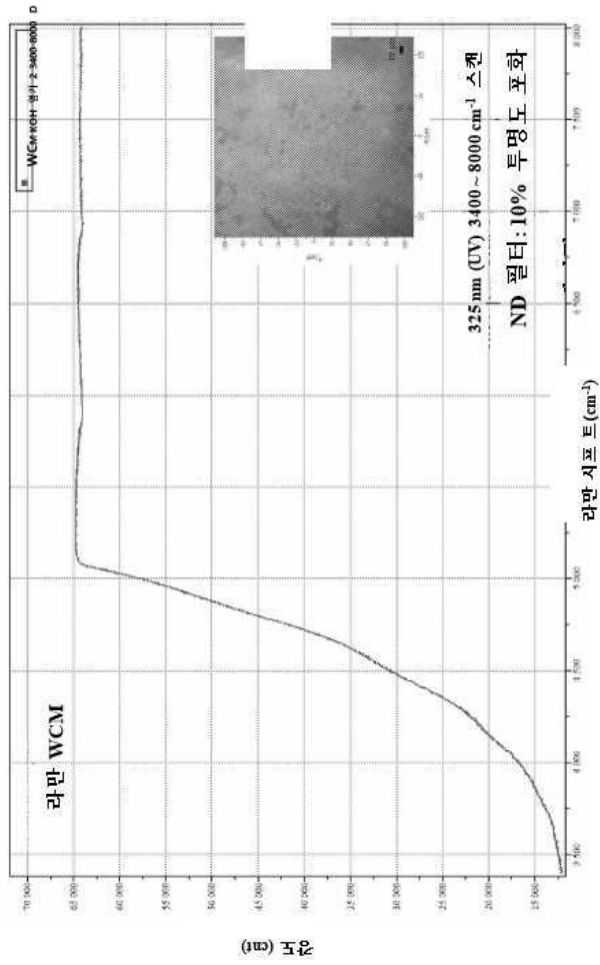
도면35b



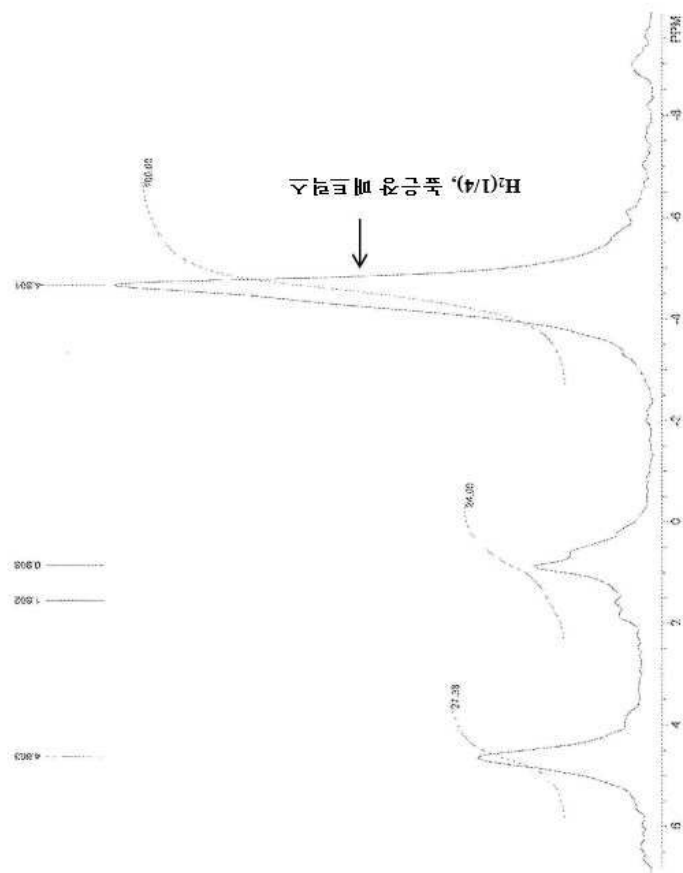
도면35c



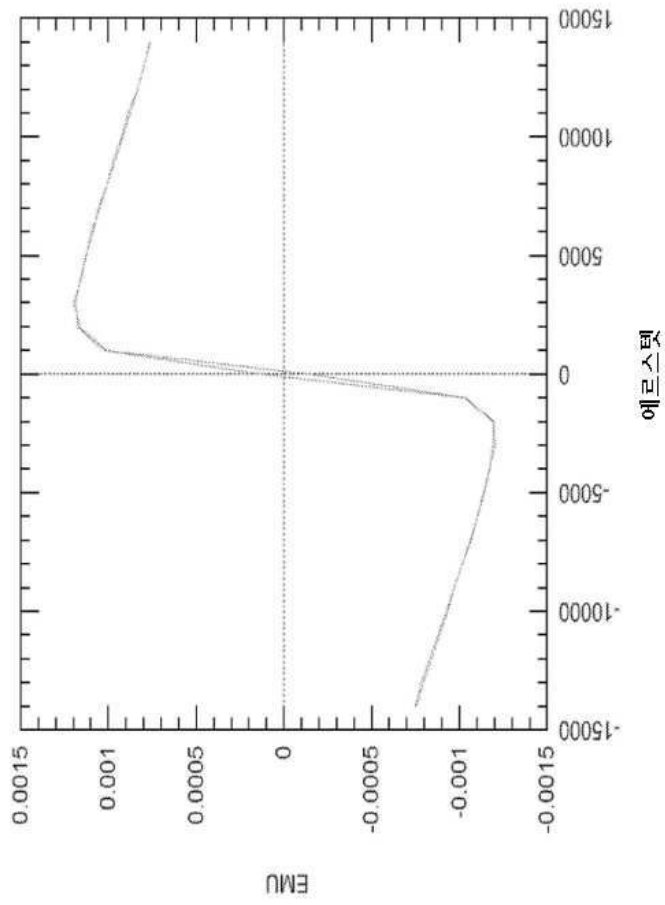
도면35d



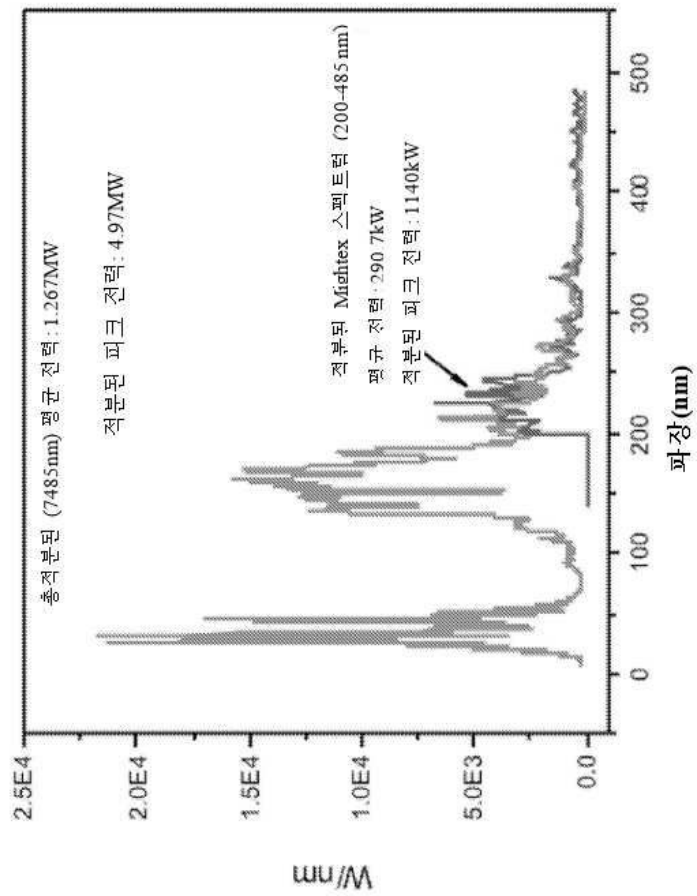
도면36



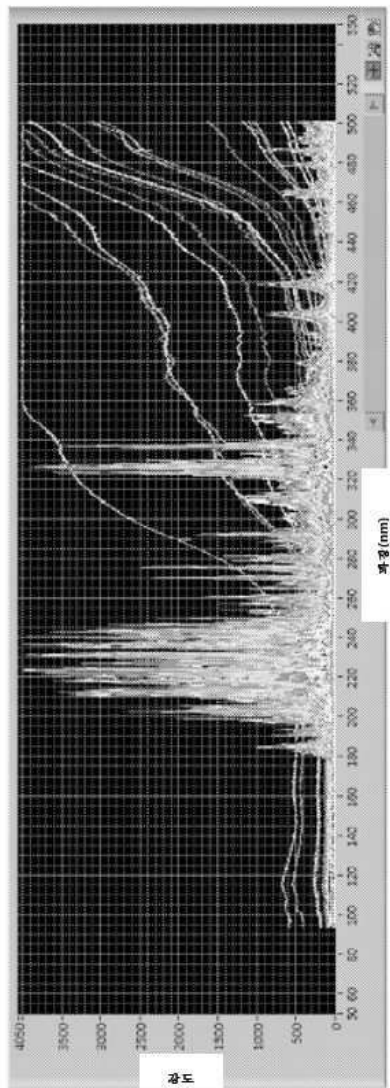
도면37



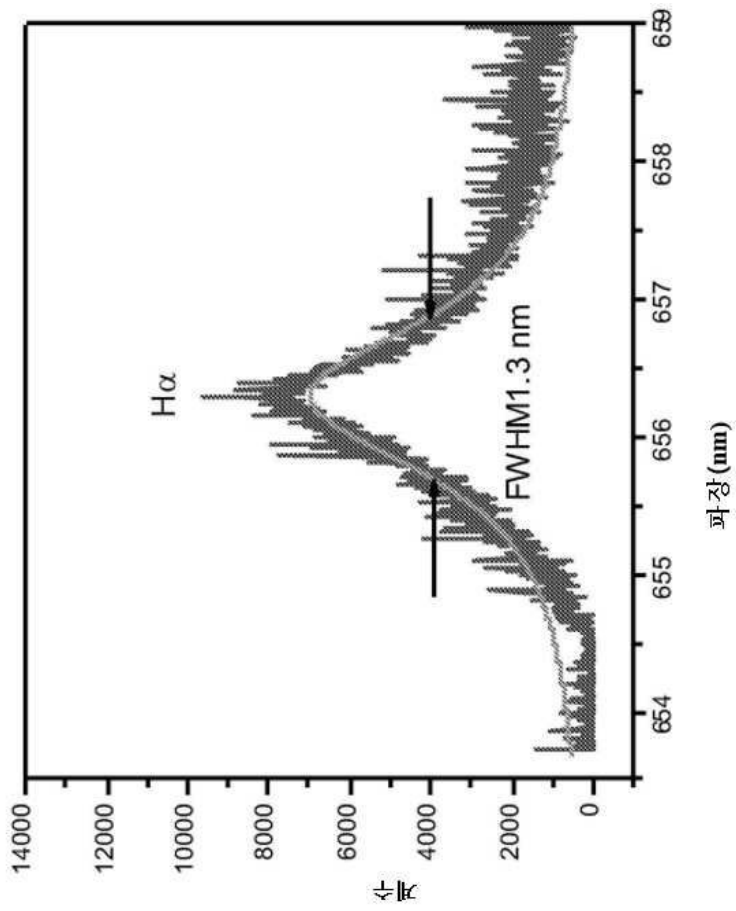
도면38



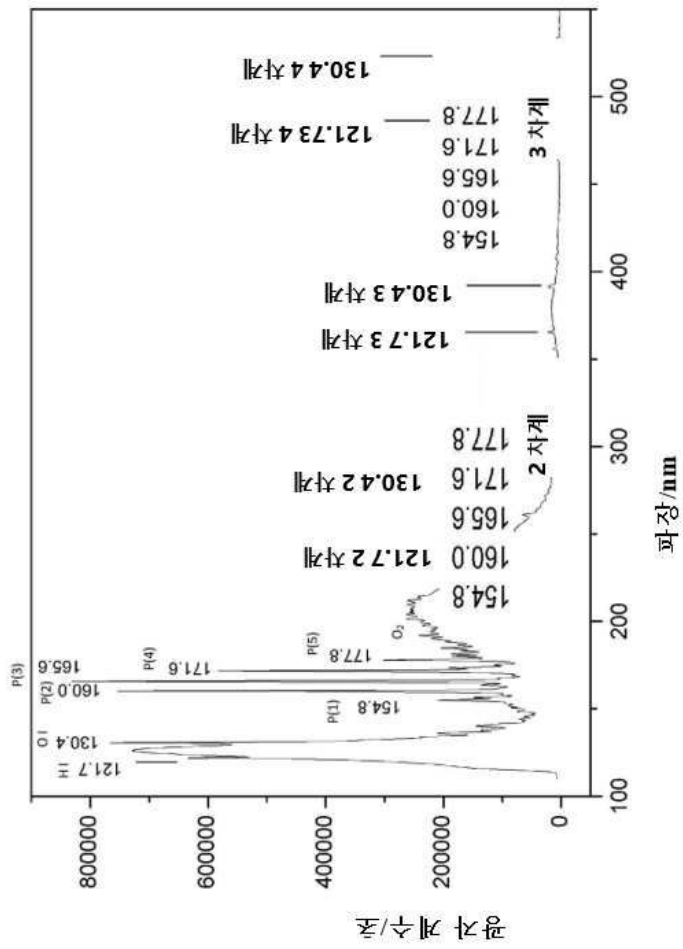
도면39



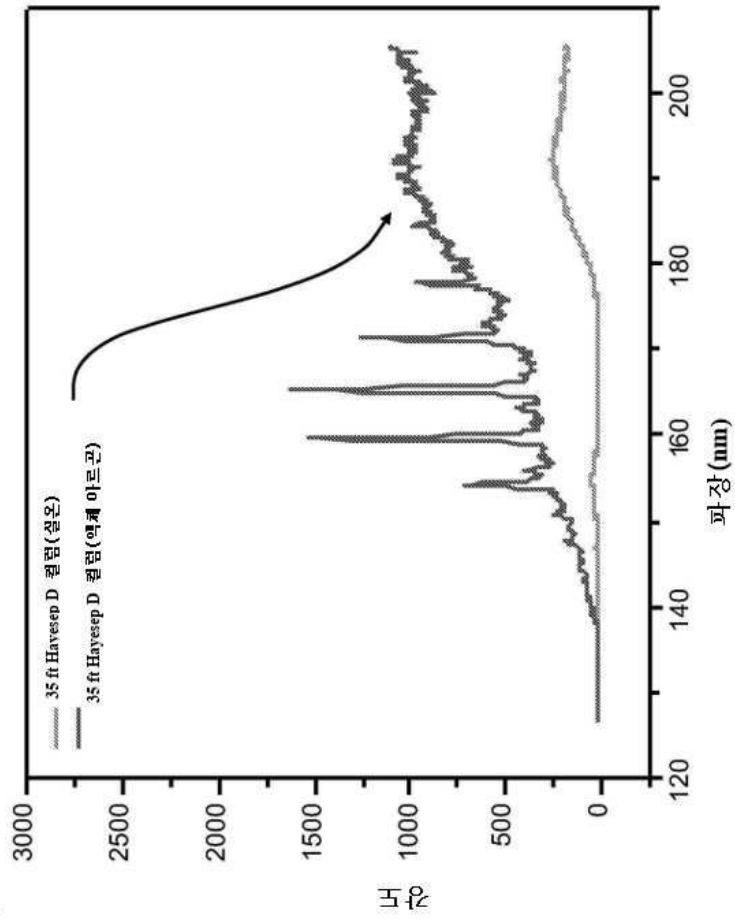
도면40



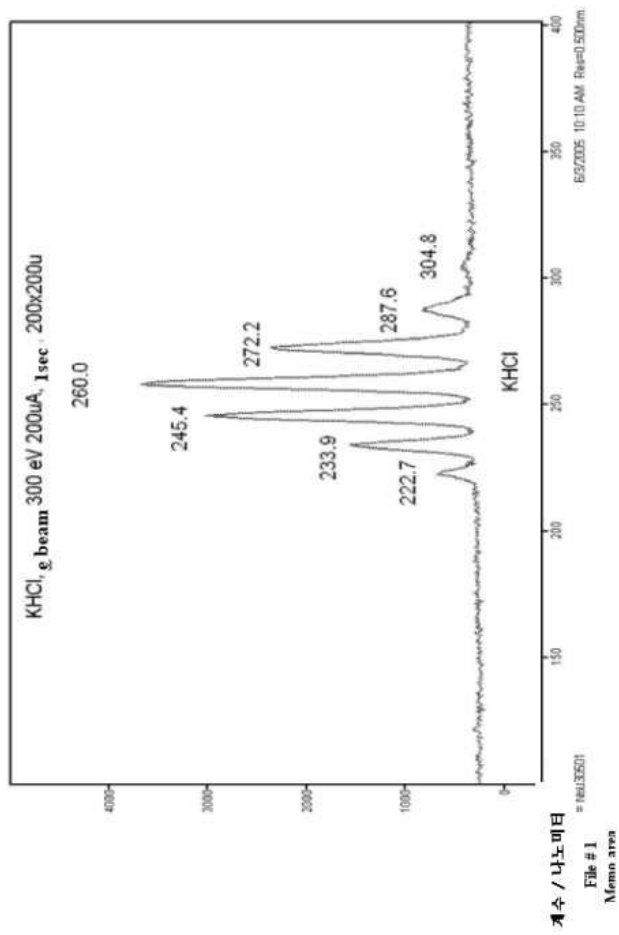
도면41



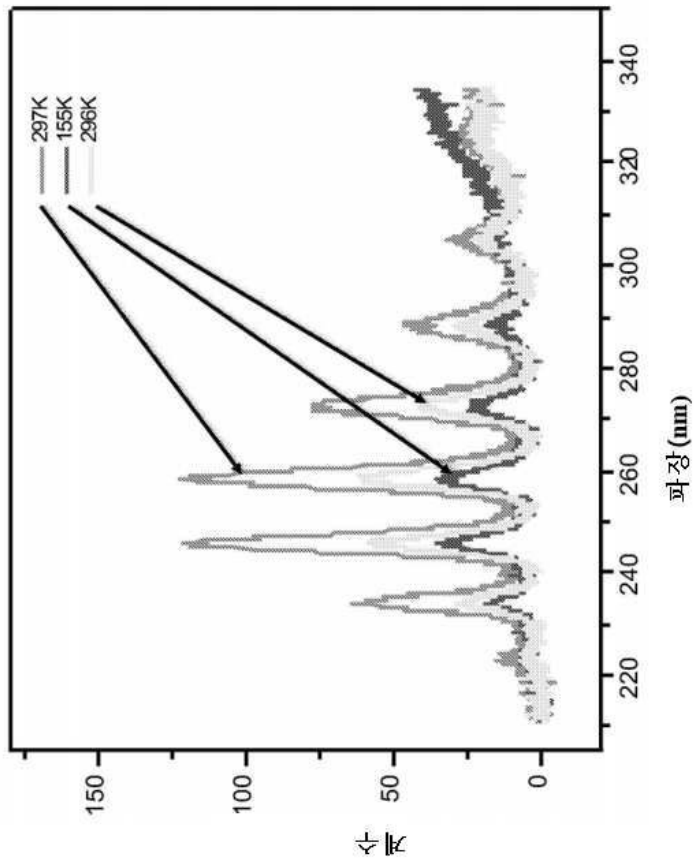
도면42



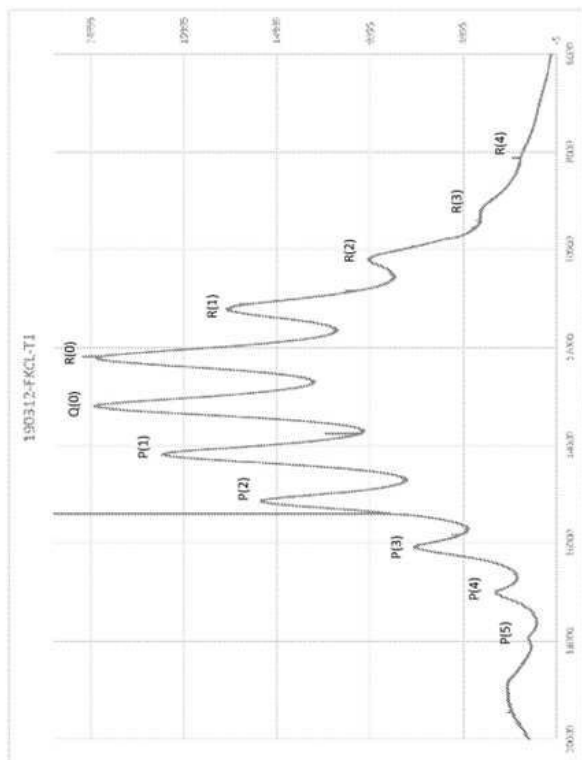
도면43



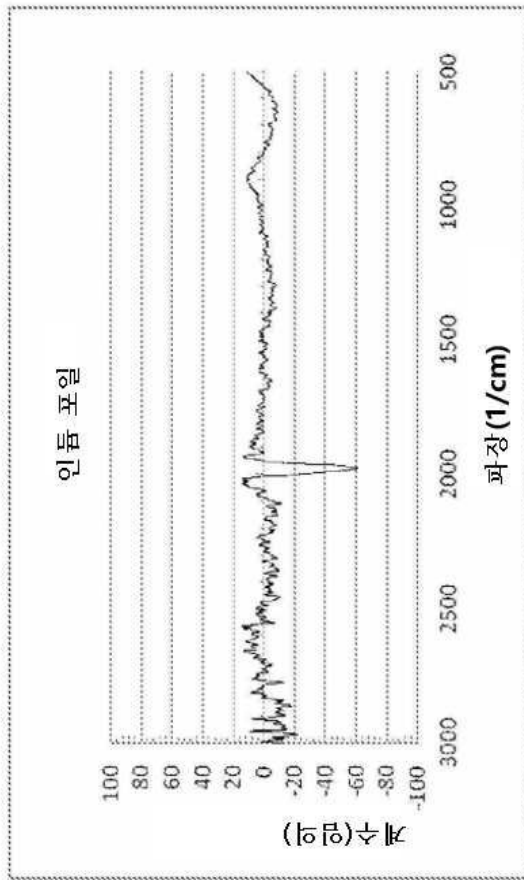
도면44



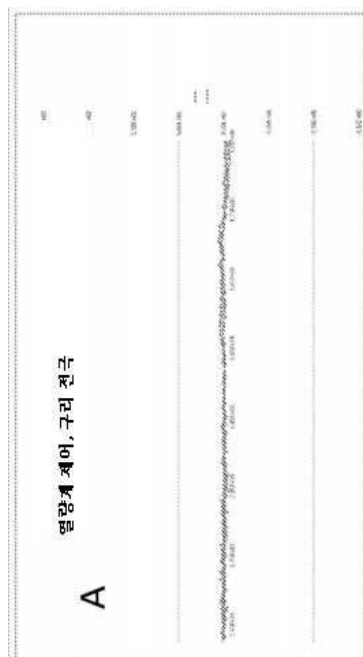
도면45



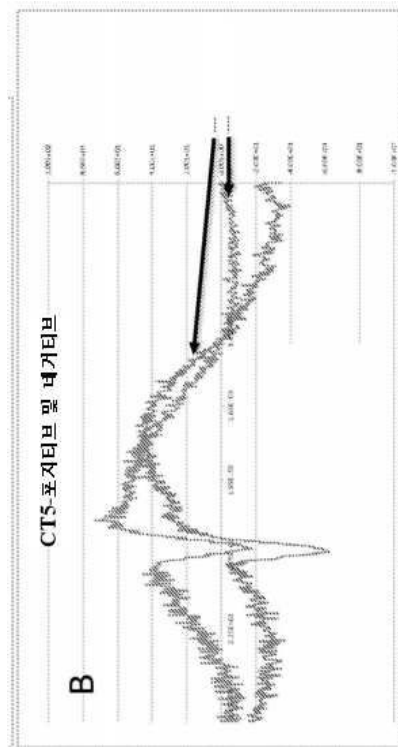
도면46



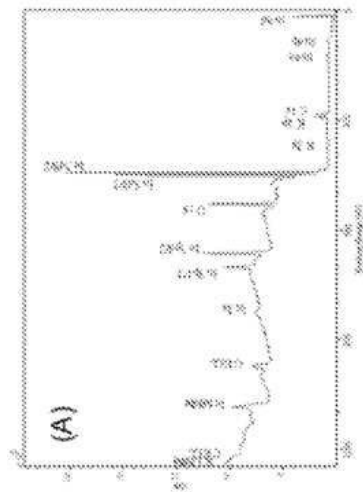
도면47a



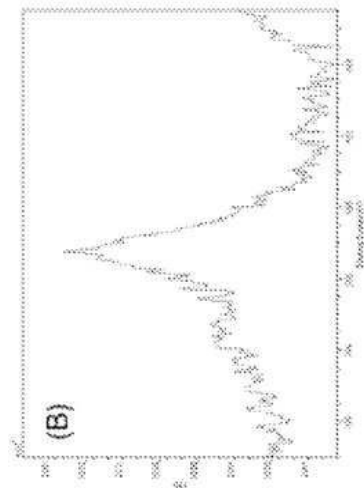
도면47b



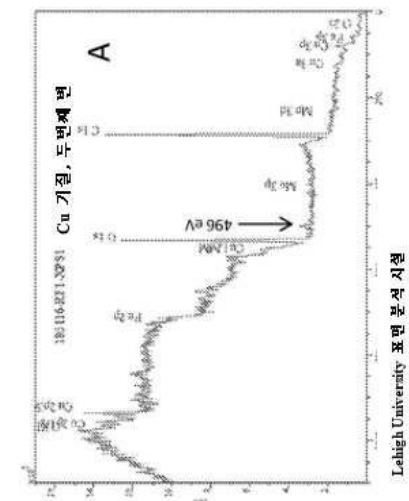
도면48a



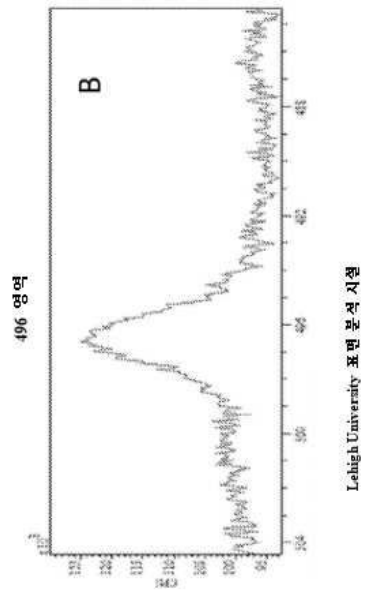
도면48b



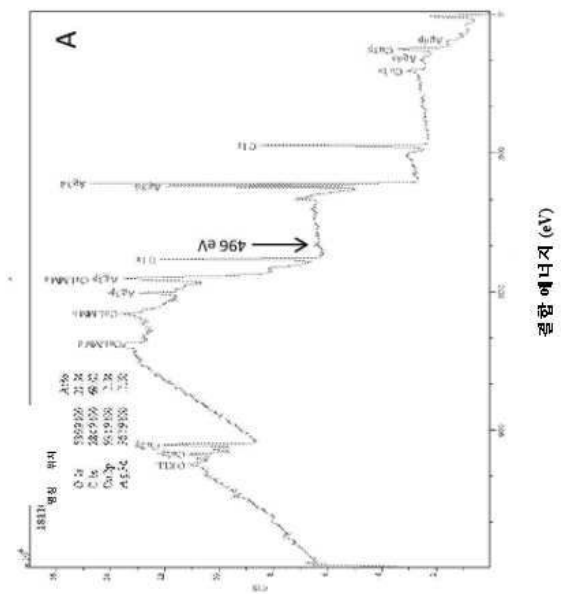
도면49a



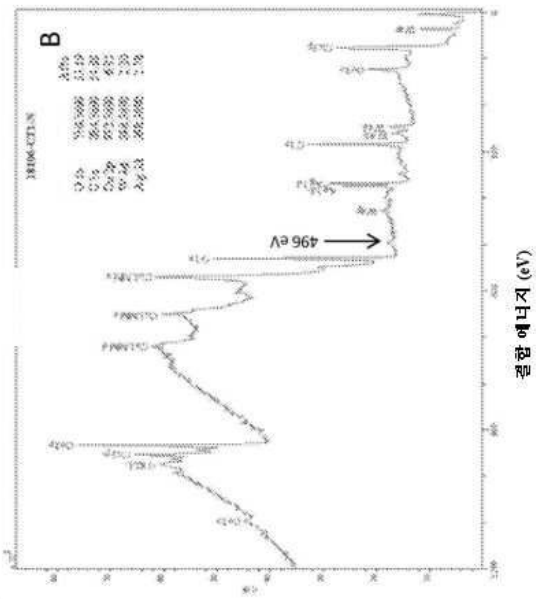
도면49b



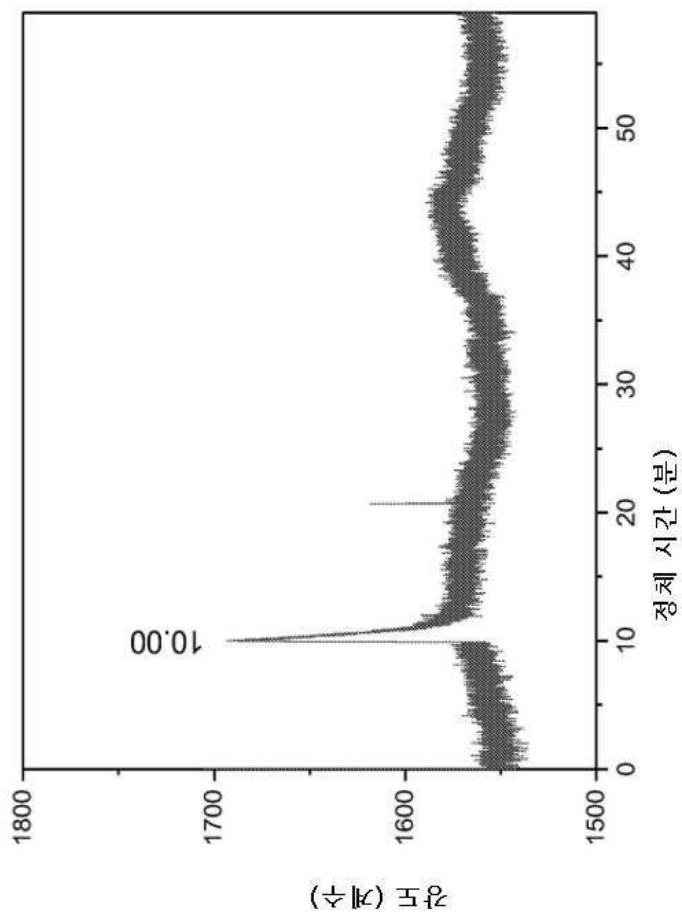
도면50a



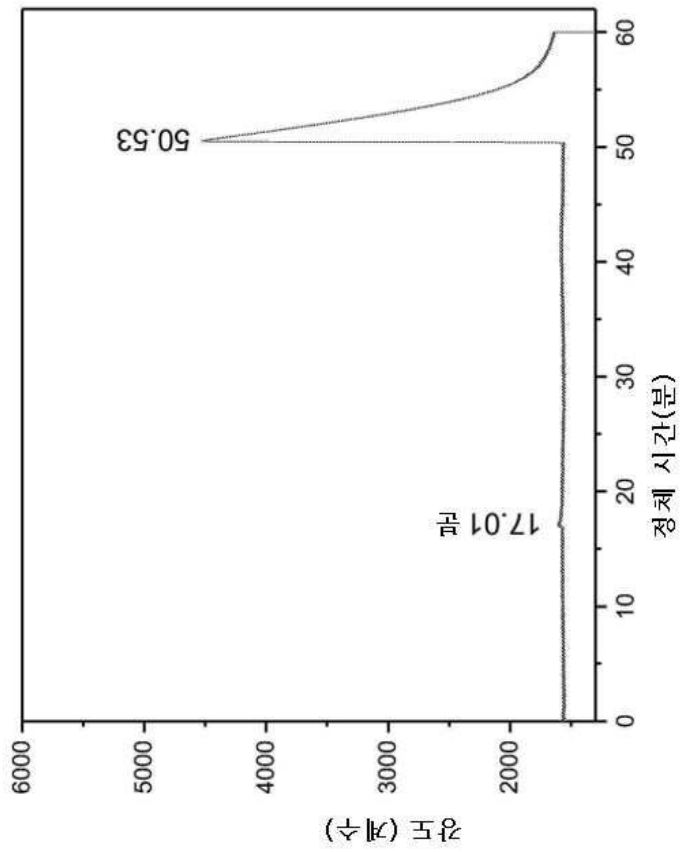
도면50b



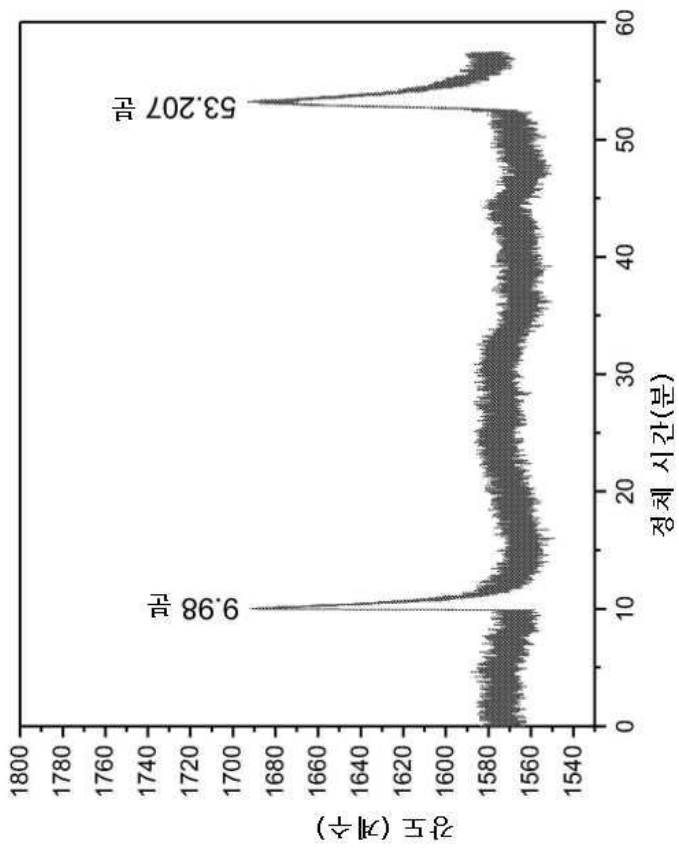
도면51a



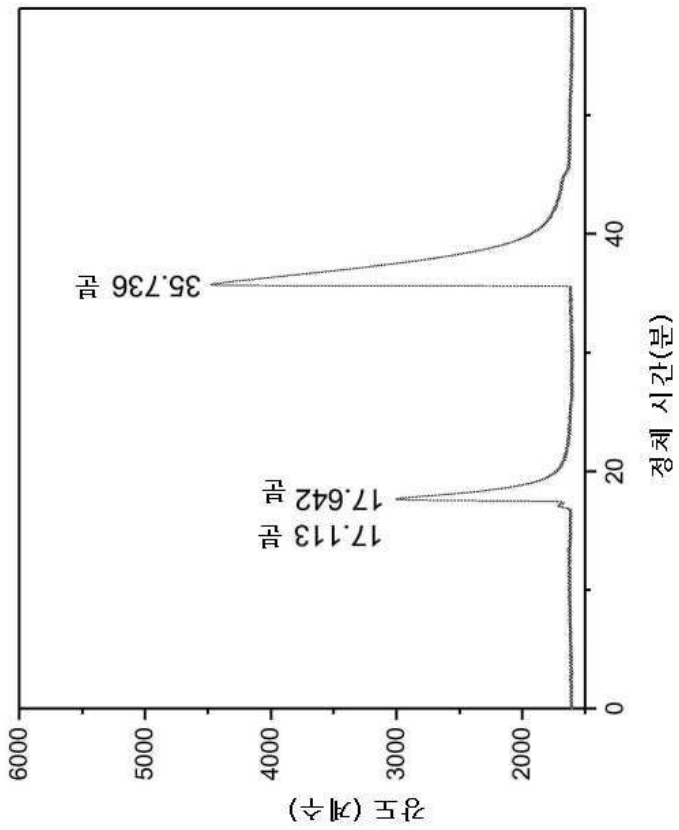
도면51b



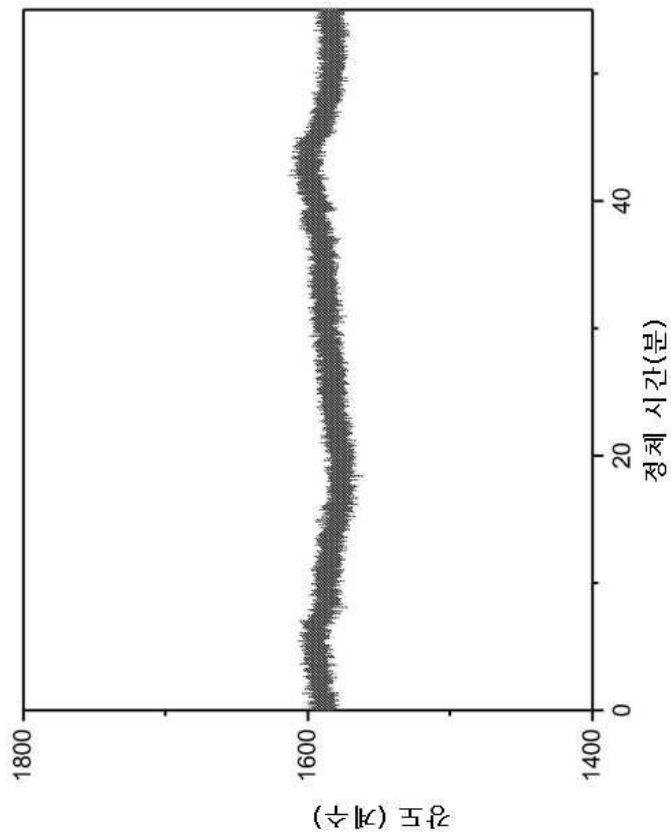
도면51c



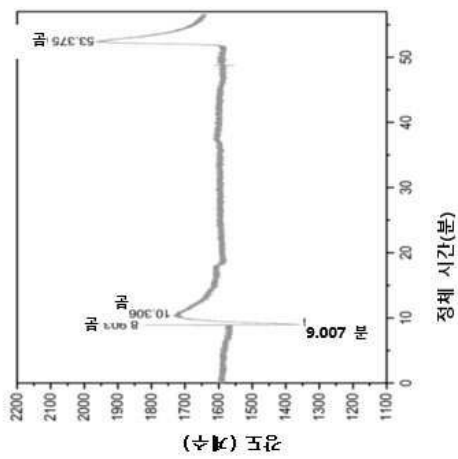
도면51d



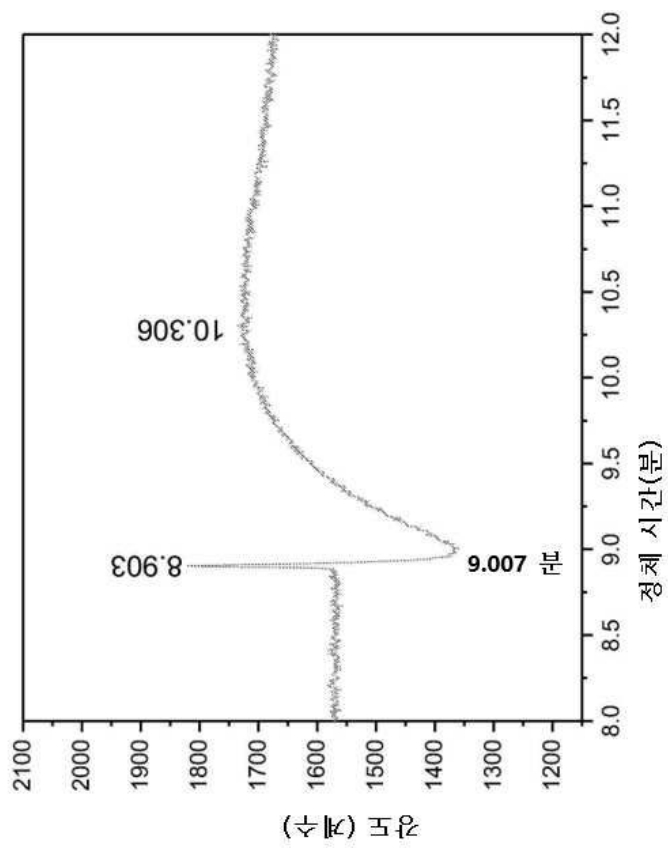
도면51e



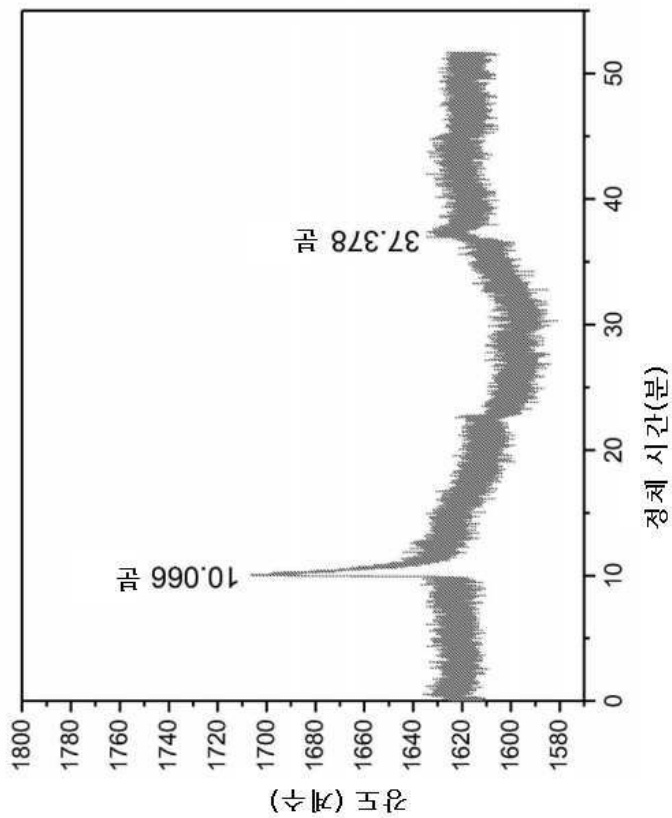
도면52a



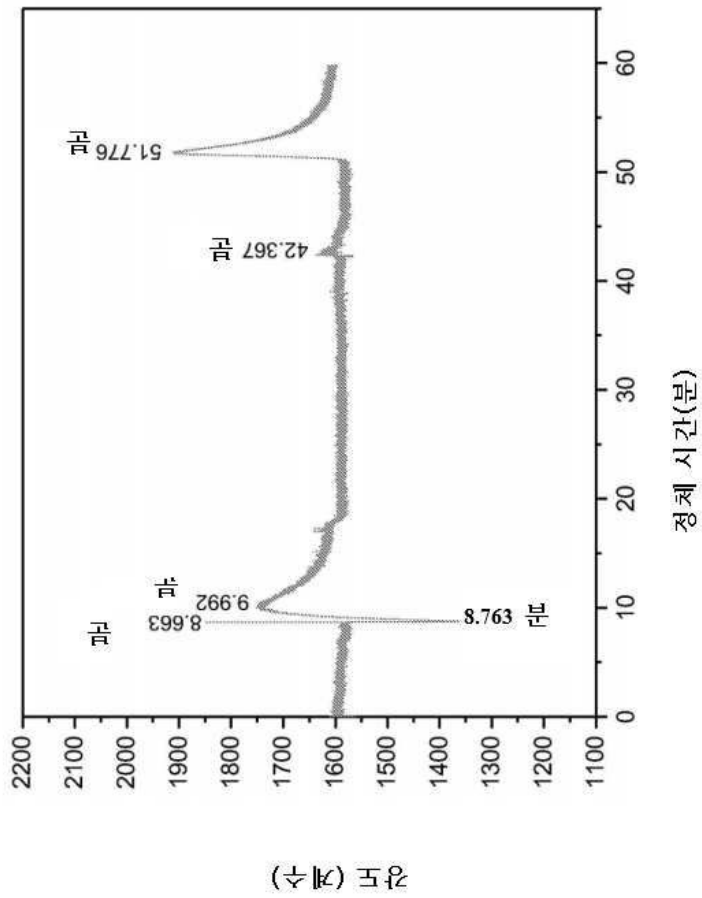
도면52b



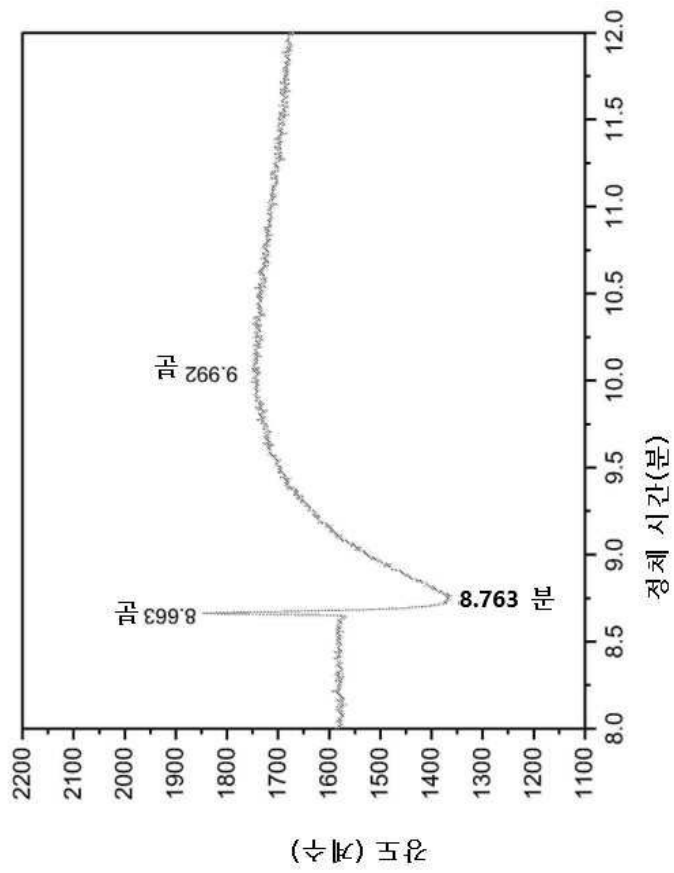
도면53



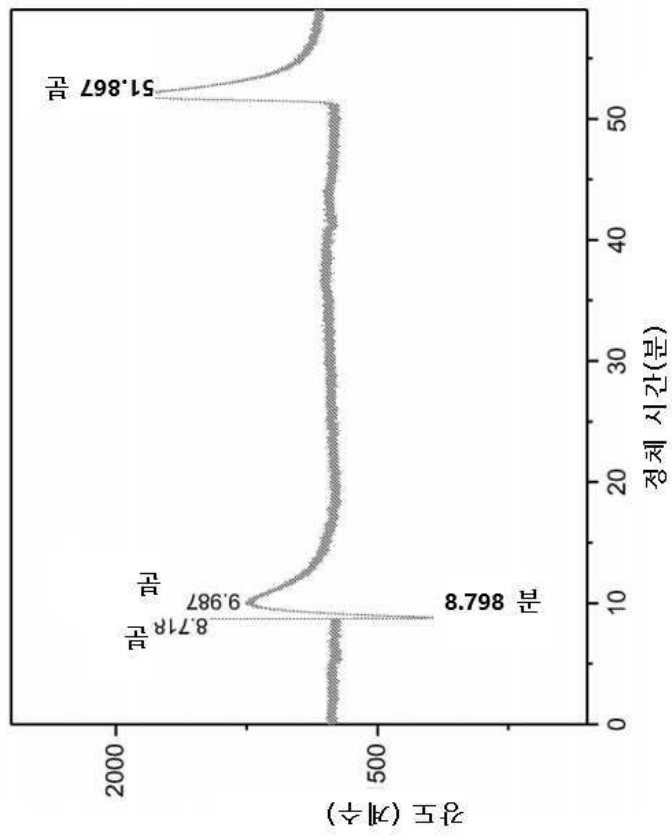
도면54a



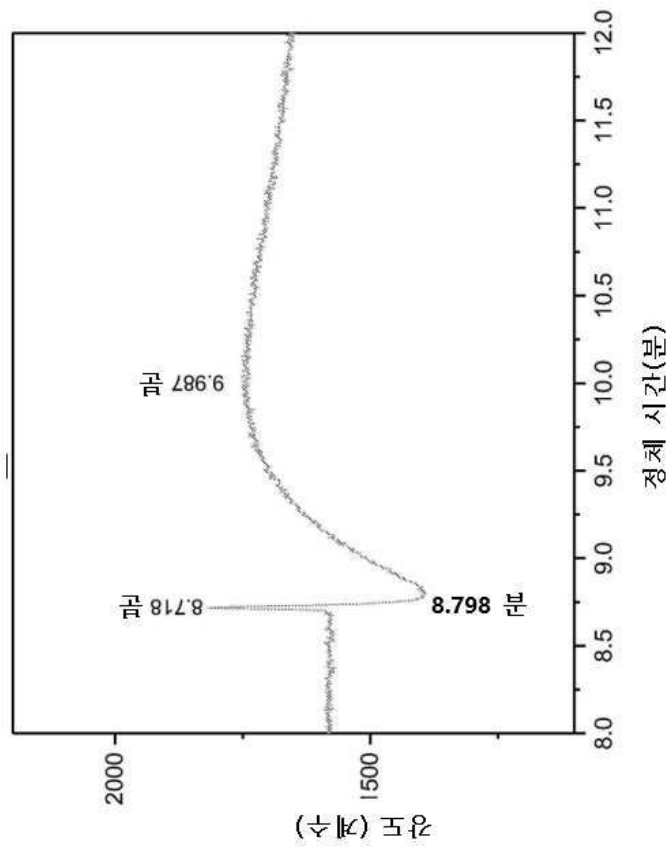
도면54b



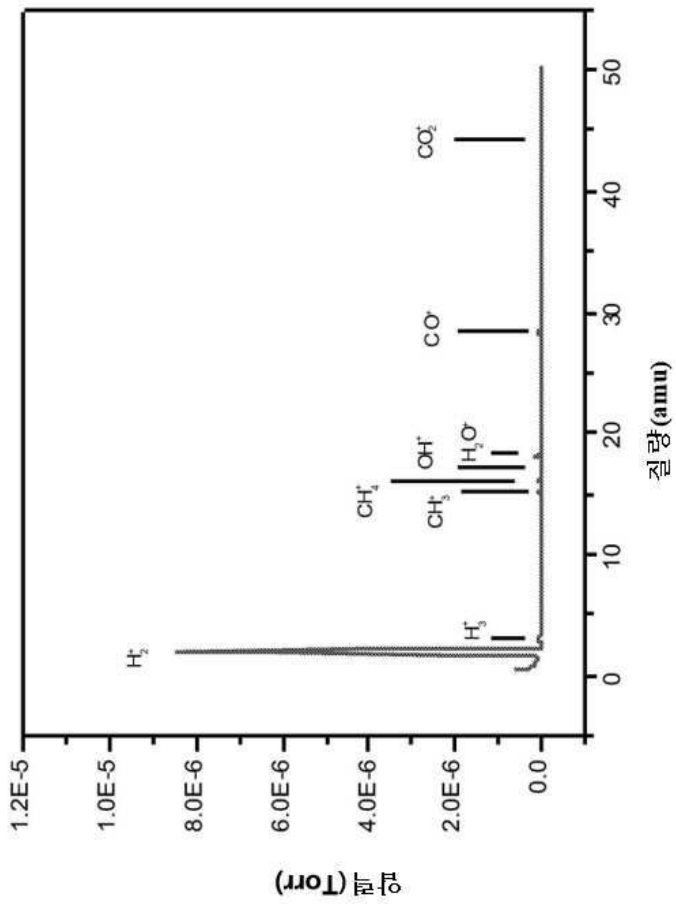
도면55a



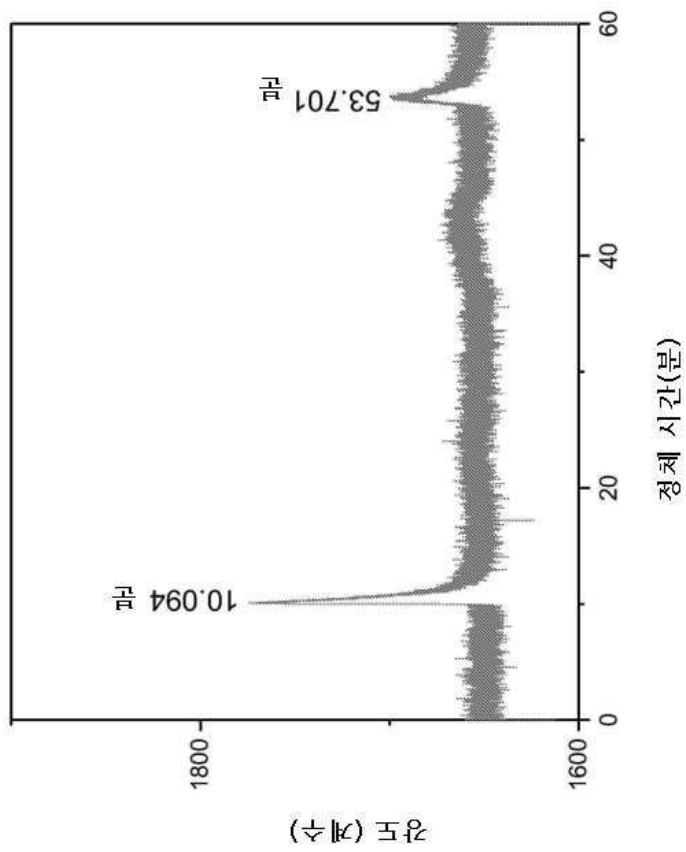
도면55b



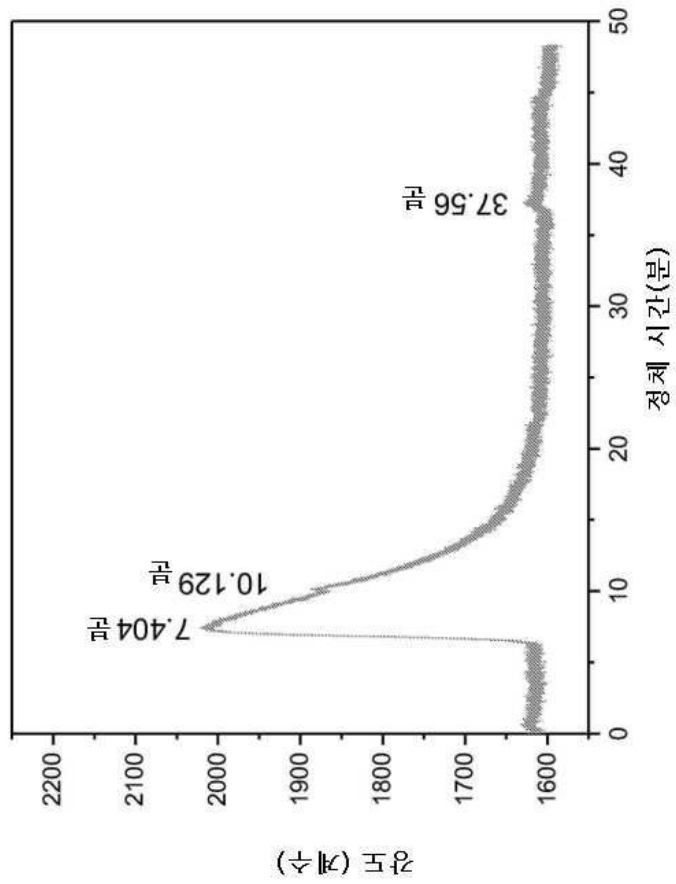
도면56



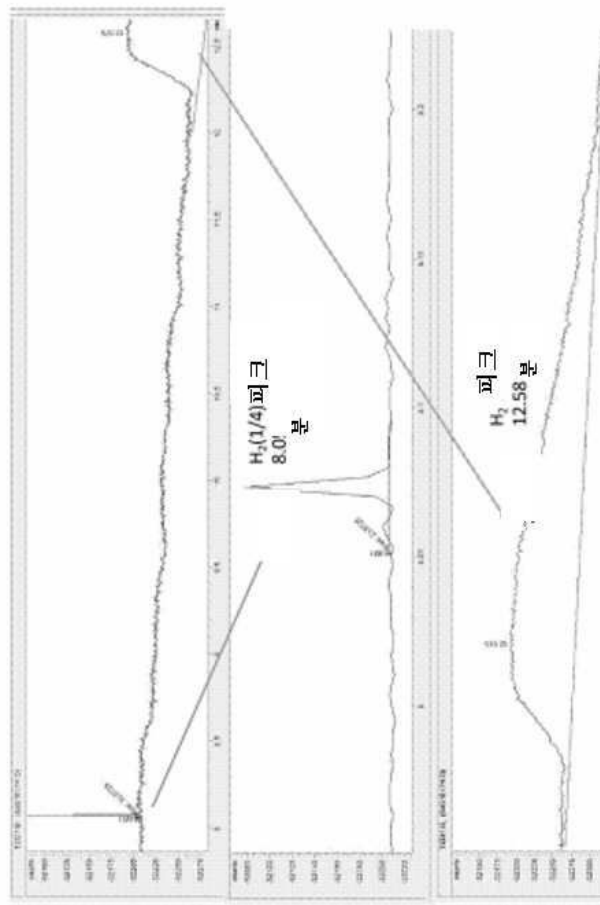
도면57



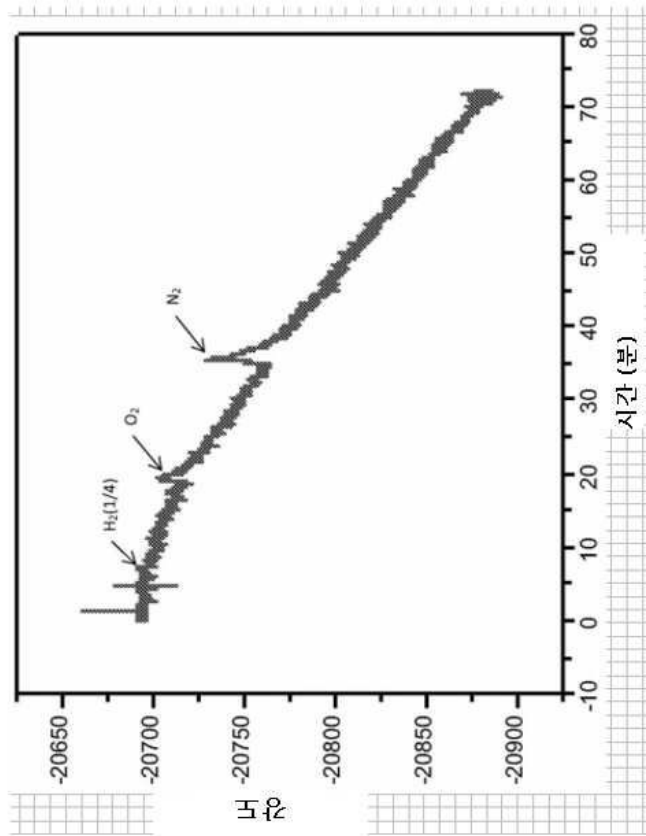
도면58



도면59



도면60



도면61

