



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201314997 A1

(43)公開日：中華民國 102 (2013) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：101112102

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 04 月 05 日

(51)Int. Cl.：

H01M14/00 (2006.01)

H01M4/94 (2006.01)

H01M4/96 (2006.01)

H01M8/06 (2006.01)

H01M8/12 (2006.01)

H01M8/22 (2006.01)

C25B1/04 (2006.01)

G21D7/00 (2006.01)

(30)優先權：2011/04/05 美國

61/472,076

2011/05/05 美國

61/482,932

2011/05/13 美國

61/485,769

2011/05/27 美國

61/490,903

2011/06/17 美國

61/498,245

2011/07/08 美國

61/505,719

2011/08/05 美國

61/515,505

2011/09/23 美國

61/538,534

2011/11/14 美國

61/559,504

2011/12/02 美國

61/566,225

2011/12/21 美國

61/578,465

2012/01/27 美國

61/591,532

2012/03/19 美國

61/612,607

(71)申請人：黑光能源公司 (美國) BLACKLIGHT POWER, INC. (US)

美國

(72)發明人：米爾斯 雷戴爾 李 MILLS, RANDELL LEE (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：5 共 452 頁

(54)名稱

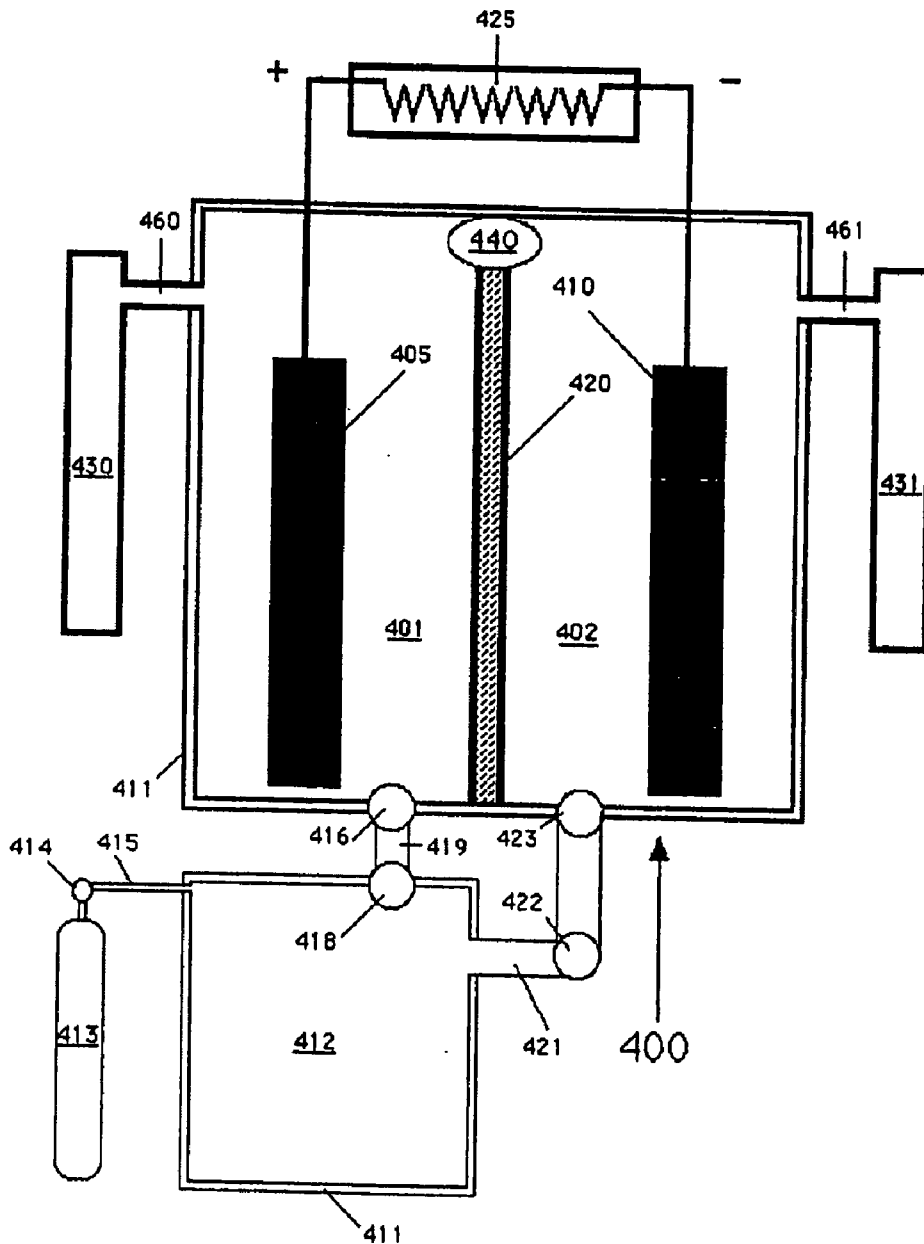
以水為主之電化學氫觸媒電力系統

H₂O-BASED ELECTROCHEMICAL HYDROGEN-CATALYST POWER SYSTEM

(57)摘要

本發明提供一種電化學電力系統，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(electromotive force, EMF)，從而使自低能量氫反應釋放之能量直接轉換成電，該系統包含至少兩種選自以下之組分：H₂O 觸媒或 H₂O 觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成 H₂O 觸媒或 H₂O 觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；及一或多種引發原子氫催化之反應物。該形成低能量氫及電之電化學電力系統可進一步包括包含陰極之陰極隔室、包含陽極之陽極隔室、視情況選用之鹽橋、於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，及氫來源。由於氧化還原電池之半反應，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑(諸如電解質)進行離子質量輸送以形成電路所構成。進一步提供一種為電力系統供電之電源及氫化物反應器，該電力系統包含(i)用於催化原子氫以形成低能量氫之反應電池；(ii)化學燃料混

合物，其包含至少兩種選自以下之組分： H_2O 觸媒來源或 H_2O 觸媒、原子氫來源或原子氫、用於形成 H_2O 觸媒來源或 H_2O 觸媒及原子氫來源或原子氫之反應物、一或多種引發原子氫催化之反應物、及使該催化可進行之載體；(iii) 用於逆轉交換反應以自反應產物熱再生該燃料之熱系統；(iv) 自產生電力之反應接受熱之散熱體；及(v) 電力轉換系統。



400：燃料電池及電池組/燃料或 CIHT 電池/電解電池

401：陰極隔室

402：陽極隔室

405：陰極

410：陽極

411：加熱器

412：再生電池

413：氫來源及泵

414：控制閥

415：管線

416：閥/泵

418：閥/泵

419：通道

420：鹽橋

421：通道

422：閥/泵

423：閥/泵

425：外部電路

430：反應物來源/儲集器/氫來源及泵/氫系統

431：反應物來源/儲集器/氫系統

440：泵/鹽橋

460：通道/氫系統/入口

461：通道/氫系統



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201314997 A1

(43)公開日：中華民國 102 (2013) 年 04 月 01 日

(21)申請案號：101112102

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 04 月 05 日

(51)Int. Cl.：

H01M14/00 (2006.01)

H01M4/94 (2006.01)

H01M4/96 (2006.01)

H01M8/06 (2006.01)

H01M8/12 (2006.01)

H01M8/22 (2006.01)

C25B1/04 (2006.01)

G21D7/00 (2006.01)

(30)優先權：2011/04/05 美國

61/472,076

2011/05/05 美國

61/482,932

2011/05/13 美國

61/485,769

2011/05/27 美國

61/490,903

2011/06/17 美國

61/498,245

2011/07/08 美國

61/505,719

2011/08/05 美國

61/515,505

2011/09/23 美國

61/538,534

2011/11/14 美國

61/559,504

2011/12/02 美國

61/566,225

2011/12/21 美國

61/578,465

2012/01/27 美國

61/591,532

2012/03/19 美國

61/612,607

(71)申請人：黑光能源公司 (美國) BLACKLIGHT POWER, INC. (US)

美國

(72)發明人：米爾斯 雷戴爾 李 MILLS, RANDELL LEE (US)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：25 項 圖式數：5 共 452 頁

(54)名稱

以水為主之電化學氫觸媒電力系統

H₂O-BASED ELECTROCHEMICAL HYDROGEN-CATALYST POWER SYSTEM

(57)摘要

本發明提供一種電化學電力系統，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(electromotive force, EMF)，從而使自低能量氫反應釋放之能量直接轉換成電，該系統包含至少兩種選自以下之組分：H₂O 觸媒或 H₂O 觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成 H₂O 觸媒或 H₂O 觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；及一或多種引發原子氫催化之反應物。該形成低能量氫及電之電化學電力系統可進一步包括包含陰極之陰極隔室、包含陽極之陽極隔室、視情況選用之鹽橋、於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，及氫來源。由於氧化還原電池之半反應，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑(諸如電解質)進行離子質量輸送以形成電路所構成。進一步提供一種為電力系統供電之電源及氫化物反應器，該電力系統包含(i)用於催化原子氫以形成低能量氫之反應電池；(ii)化學燃料混

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：101112102

※申請日：101.4.05

※IPC 分類：H01m 14/00 (2006.01)
H01m 4/84 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

以水為主之電化學氫觸媒電力系統

H01m 4/96 (2006.01)

H01m 8/06 (2006.01)

H01m 8/12 (2006.01)

H₂O-BASED ELECTROCHEMICAL HYDROGEN-CATALYST POWER
SYSTEM

H01m 8/22 (2006.01)

C25B 1/04 (2006.01)

G1D 7/00 (2006.01)

二、中文發明摘要：

本發明提供一種電化學電力系統，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(electromotive force, EMF)，從而使自低能量氫反應釋放之能量直接轉換成電，該系統包含至少兩種選自以下之組分：H₂O觸媒或H₂O觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成H₂O觸媒或H₂O觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；及一或多種引發原子氫催化之反應物。該形成低能量氫及電之電化學電力系統可進一步包括包含陰極之陰極隔室、包含陽極之陽極隔室、視情況選用之鹽橋、於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，及氫來源。由於氧化還原電池之半反應，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑(諸如電解質)進行離子質量輸送以形成電路所構成。進一步提供一種為電力系統供電之電源及氫化物反應器，該電力系統包含(i)用於催化原子氫以形成低能量氫之

反應電池；(ii)化學燃料混合物，其包含至少兩種選自以下之組分： H_2O 觸媒來源或 H_2O 觸媒、原子氫來源或原子氫、用於形成 H_2O 觸媒來源或 H_2O 觸媒及原子氫來源或原子氫之反應物、一或多種引發原子氫催化之反應物、及使該催化可進行之載體；(iii)用於逆轉交換反應以自反應產物熱再生該燃料之熱系統；(iv)自產生電力之反應接受熱之散熱體；及(v)電力轉換系統。

三、英文發明摘要：

An electrochemical power system is provided that generates an electromotive force (EMF) from the catalytic reaction of hydrogen to lower energy (hydrino) states providing direct conversion of the energy released from the hydrino reaction into electricity, the system comprising at least two components chosen from: H_2O catalyst or a source of H_2O catalyst; atomic hydrogen or a source of atomic hydrogen; reactants to form the H_2O catalyst or source of H_2O catalyst and atomic hydrogen or source of atomic hydrogen; and one or more reactants to initiate the catalysis of atomic hydrogen. The electrochemical power system for forming hydrinos and electricity can further comprise a cathode compartment comprising a cathode, an anode compartment comprising an anode, optionally a salt bridge, reactants that constitute hydrino reactants during cell operation with separate electron flow and ion mass transport, and a source of hydrogen. Due to oxidation-reduction cell half reactions, the hydrino-producing reaction mixture is constituted with the migration of electrons through an external circuit and ion mass transport through a separate path such as the electrolyte to complete an electrical circuit. A power source and hydride reactor is further provided that powers a power system comprising (i) a reaction cell for the catalysis of atomic hydrogen to form hydrinos, (ii) a chemical fuel mixture comprising at least two components chosen from: a source of H_2O catalyst or H_2O catalyst; a source of atomic hydrogen or atomic hydrogen; reactants to form the source of H_2O catalyst or H_2O catalyst and a source of atomic hydrogen or atomic hydrogen; one or more reactants to initiate the catalysis of atomic hydrogen; and a support to enable the catalysis, (iii) thermal systems for reversing an exchange reaction to thermally regenerate the fuel from the reaction products, (iv) a heat sink that accepts the heat from the power-producing reactions, and (v) a power conversion system.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

400	燃料電池及電池組/燃料或CIHT電池/電解電池
401	陰極隔室
402	陽極隔室
405	陰極
410	陽極
411	加熱器
412	再生電池
413	氫來源及泵
414	控制閥
415	管線
416	閥/泵
418	閥/泵
419	通道
420	鹽橋
421	通道
422	閥/泵
423	閥/泵
425	外部電路
430	反應物來源/儲集器/氫來源及泵/氫系統
431	反應物來源/儲集器/氫系統
440	泵/鹽橋

460 通道/氫系統/入口

461 通道/氫系統

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

[相關申請案之交叉參考]

本申請案主張以下美國臨時申請案之優先權的權益：
2011年4月5日申請之第61/472,076號；2011年5月5日申請之第61/482,932號；2011年5月13日申請之第61/485,769號；2011年5月27日申請之第61/490,903號；2011年6月17日申請之第61/498,245號；2011年7月8日申請之第61/505,719號；2011年8月5日申請之第61/515,505號；2011年9月23日申請之第61/538,534號；2011年11月14日申請之第61,559,504號；2011年12月2日申請之第61,566,225號；2011年12月21日申請之第61/578,465號；2012年1月27日申請之第61/591,532號；及2012年3月19日申請之第61/612,607號，所有該等文獻均以全文引用的方式併入本文中。

【發明內容】

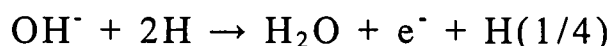
本發明係有關一種產生電及熱能中之至少一者的電化學電力系統，其包含靠近大氣之容器，該容器包含至少一個陰極；至少一個陽極；至少一個雙極板；及於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，該等反應物包含至少兩種選自以下之組分：a)至少一種 H_2O 來源；b)包含選自 nH 、 OH 、 OH^- 、初生 H_2O 、 H_2S 或 MNH_2 之群中之至少一者的至少一種觸媒來源或觸媒，其中 n 為整數且 M 為鹼金屬；及c)至少一種原子氫來源或原子氫、一或多種用於形成觸媒來源、觸媒、原子氫來

源及原子氫中之至少一者的反應物；一或多種引發原子氫催化之反應物；及載體，其中陰極、陽極、反應物及雙極板之組合維持各陰極與相應陽極之間的化學電位以允許原子氫之催化傳播，且該系統進一步包含電解系統。在一個實施例中，該電化學電力系統之電解系統間歇電解 H_2O 以提供原子氫來源或原子氫且使電池放電以使該循環之淨能量平衡存在增益。反應物可包含至少一種選自以下之電解質：至少一種熔融氫氧化物；至少一種共熔鹽混合物；熔融氫氧化物與至少一種其他化合物之至少一種混合物；熔融氫氧化物與鹽之至少一種混合物；熔融氫氧化物與鹵化物鹽之至少一種混合物；鹼性氫氧化物 (alkaline hydroxide) 與鹼性鹵化物 (alkaline halide) 之至少一種混合物； LiOH-LiBr 、 LiOH-LiX 、 NaOH-NaBr 、 NaOH-NaI 、 NaOH-NaX 及 KOH-KX (其中 X 表示鹵離子)、至少一種基質及至少一種添加劑。電化學電力系統可進一步包含加熱器。電化學電力系統之高於電解質熔點之電池溫度可在至少一個選自以下之範圍內：高於熔點約 0 至 1500°C 、高於熔點約 0 至 1000°C 、高於熔點約 0 至 500°C 、高於熔點約 0 至 250°C 及高於熔點約 0 至 100°C 。在實施例中，電化學電力系統之基質包含以下中之至少一者：氧陰離子化合物、鋁酸鹽、鎢酸鹽、鋇酸鹽、鈦酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽、碳酸鹽、硝酸鹽、鉻酸鹽及錳酸鹽、氧化物、氮化物、硼化物、硫族化物、矽化物、磷化物及碳化物、金屬、金屬氧化物、非金屬及非金屬氧化物；鹼金屬、鹼土金屬、過渡

金屬、內過渡金屬及稀土金屬及Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge及B及可形成氧化物或氧陰離子之其他元素的氧化物；至少一種氧化物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge及B及可形成氧化物之其他元素中之一者，及一個氧陰離子，且進一步包含至少一個來自以下之群的陽離子：鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及Al、Ga、In、Sn及Pb之陽離子； LiAlO_2 、 MgO 、 Li_2TiO_3 或 SrTiO_3 ；陽極材料及電解質化合物之氧化物；陽離子及電解質之氧化物中之至少一者；電解質 MOH (M = 鹼金屬)之氧化物；包含以下之群之元素、金屬、合金或混合物的電解質之氧化物： Mo 、 Ti 、 Zr 、 Si 、 Al 、 Ni 、 Fe 、 Ta 、 V 、 B 、 Nb 、 Se 、 Te 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Hf 、 Co 及 M' ，其中 M' 表示鹼土金屬； MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO 或 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 及 MgO ；陰極材料之氧化物及視情況選用之電解質之氧化物； Li_2MoO_3 或 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_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_4 、 Li_2HfO_3 、 LiCoO_2 及 $\text{M}'\text{O}$ (其中 M' 表示鹼土金屬)及 MgO ；陽極元素或同一族元素之氧化物，及 Li_2MoO_4 、 MoO_2 、 Li_2WO_4 、 Li_2CrO_4 及 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (在 Mo 陽極之情況下)，且添加劑包含以下中之至少一者： S 、 Li_2S 、氧化物、 MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO 或 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 、 MgO 、 TiO_2 、 Li_2TiO_3 、 LiAlO_2 、 Li_2MoO_3 或 Li_2MoO_4 、 Li_2ZrO_3 、 Li_2SiO_3 、 LiNiO_2 、 LiFeO_2 、 LiTaO_3 、 LiVO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 Li_2NbO_3 、 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 或 LiCoO_2 、 MnO 及 CeO_2 。在電化學電力系統操作期間可發生以下反應中之至少一者：a)在放電陽極處由 H_2O 之電解形成 H 及 H_2 中之至少一者；b)在放電陰極處由 H_2O 之電解形成 O 及 O_2 中之至少一者；c)由反應混合物之反應形成氫觸媒；d)在放電期間形成低能量氫以產生電力及熱力中之至少一者；e)氧化 OH^- 且與 H 反應以形成充當低能量氫觸媒之初生 H_2O ；f)氧化 OH^- 成氧離子及 H ；g)在放電陰極處還原氧離子、氧及 H_2O 中之至少一者；h) H 及初生 H_2O 觸媒反應以形成低能量氫；及i)在放電期間形成低能量氫以產生電力及熱力中之至少一者。在電化學電力系統之一個實施例中，在電池放電期間發生 OH^- 之氧化及氧離子、氧及 H_2O 中之至少一者之還原中的至少一個反應以產生隨時間變化之電流，其超

過該間歇電解之電解階段期間隨時間變化之電流。在一個實施例中，陽極半電池反應可為



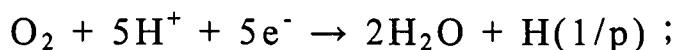
其中第一H與OH⁻反應形成H₂O觸媒及e⁻與第二H經H₂O催化形成低能量氫一起進行。在實施例中，放電陽極半電池反應之電壓為以下中之至少一者：相對於標準氫電極在針對操作溫度進行熱力學修正下之約1.2伏；及相對於標準氫電極及25°C，在約1.5 V至0.75 V、1.3 V至0.9 V及1.25 V至1.1 V中之至少一個範圍內的電壓，且陰極半電池反應之電壓為以下中之至少一者：在針對操作溫度進行熱力學修正下之約0伏；及相對於標準氫電極及25°C，在約-0.5 V至+0.5 V、-0.2 V至+0.2 V及-0.1 V至+0.1 V中之至少一個範圍內的電壓。

在本發明之電化學電力系統之一個實施例中，陰極包含NiO，陽極包含Ni、Mo、H242合金及碳中之至少一者，且雙金屬接面包含為不同於該陽極之金屬的哈斯特合金(Hastelloy)、Ni、Mo及H242中之至少一者。電化學電力系統可包含至少一個電池堆疊，其中雙極板包含隔開陽極與陰極之雙金屬接面。在一個實施例中，向電池供應H₂O，其中H₂O蒸汽壓在至少一個選自以下之範圍內：約0.001托至100 atm、約0.001托至0.1托、約0.1托至1托、約1托至10托、約10托至100托、約100托至1000托、及約1000托至100 atm，且實現至少大氣壓之壓力平衡係由包含稀有氣體及N₂中之至少一者的所供給之惰性氣體提供。在一個實

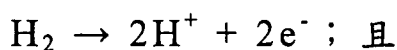
施例中，電化學電力系統可包含水蒸汽發生器以向該系統供應 H_2O 。在一個實施例中，電池在充電階段與放電階段之間間歇轉換，其中(i)充電階段至少包含水在具相反電壓極性之電極處電解，且(ii)放電階段至少包含在該等電極之一者或兩者處形成 H_2O 觸媒；其中(i)各電池之各電極作為陰極或陽極之作用在充電階段與放電階段之間在來回轉換中逆轉，且(ii)電流極性在充電階段與放電階段之間在來回轉換中逆轉，且其中充電包含施加外加電流及電壓中之至少一者。在實施例中，外加電流及電壓中之至少一者之波形包含在約0.001%至約95%範圍內之工作循環；在約0.1 V至10 V範圍內之每電池之峰值電壓；約0.001 W/cm^2 至1000 W/cm^2 之峰值功率密度，及在約0.0001 W/cm^2 至100 W/cm^2 範圍內之平均功率，其中外加電流及電壓進一步包含直流電壓、直流電流中之至少一者及交流電流及電壓波形中之至少一者，其中波形包含在約1 Hz至約1000 Hz範圍內之頻率。間歇循環之波形可包含間歇循環之電解及放電階段中之至少一者的恆定電流、功率、電壓及電阻以及可變電流、功率、電壓及電阻中之至少一者。在實施例中，循環之至少一個階段之參數包含：間歇階段之頻率在至少一個選自以下之範圍內：約0.001 Hz至10 MHz、約0.01 Hz至100 kHz、及約0.01 Hz至10 kHz；每電池之電壓在至少一個選自以下之範圍內：約0.1 V至100 V、約0.3 V至5 V、約0.5 V至2 V、及約0.5 V至1.5 V；每單位有效形成低能量氫之電極面積之電流在至少一個選自以下之範圍

內：約 $1 \mu\text{A cm}^{-2}$ 至 10 A cm^{-2} 、約 0.1 mA cm^{-2} 至 5 A cm^{-2} 、及約 1 mA cm^{-2} 至 1 A cm^{-2} ；每單位有效形成低能量氫之電極面積之功率在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \mu\text{W cm}^{-2}$ 至 10 W cm^{-2} 、約 0.1 mW cm^{-2} 至 5 W cm^{-2} 、及約 1 mW cm^{-2} 至 1 W cm^{-2} ；每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定電流在約 $1 \mu\text{A cm}^{-2}$ 至 1 A cm^{-2} 之範圍內；每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定功率在約 1 mW cm^{-2} 至 1 W cm^{-2} 之範圍內；時間間隔在至少一個選自以下之範圍內：約 10^{-4} s 至 $10,000 \text{ s}$ 、 10^{-3} s 至 1000 s 、及 10^{-2} s 至 100 s 、及 10^{-1} s 至 10 s ；每電池之電阻在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \text{ m}\Omega$ 至 $100 \text{ M}\Omega$ 、約 1Ω 至 $1 \text{ M}\Omega$ 、及 10Ω 至 $1 \text{ k}\Omega$ ；每單位有效形成低能量氫之電極面積的適合負載之電導率在至少一個選自以下之範圍內：約 10^{-5} 至 $1000 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 10^{-4} 至 $100 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 10^{-3} 至 $10 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、及 10^{-2} 至 $1 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，且放電電流、電壓、功率或時間間隔中之至少一者大於該電解階段以在該循環內產生功率或能量增益中之至少一者。可維持放電期間之電壓超過防止該陽極過度腐蝕之電壓。

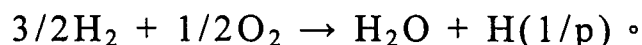
在電化學電力系統之一個實施例中，形成觸媒之反應為：



相對半電池反應相對半電池反應為：



總反應為：



可在電化學電力系統操作期間由氫形成以下產物中之至少一者：a)拉曼峰(Raman peak)在 0.23 至 0.25 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移(matrix shift)在 0 至 2000 cm^{-1} 範圍內之氫產物；b)紅外峰在 0.23 至 0.25 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移在 0 至 2000 cm^{-1} 範圍內之氫產物；c)X射線光電子光譜峰之能量在 500 至 525 eV 範圍內加上基質位移在 0 至 10 eV 範圍內之氫產物；d)引起高磁場MAS NMR基質位移之氫產物；e)相對於TMS之高磁場MAS NMR或液體NMR位移大於 -5 ppm 之氫產物；f)至少兩個電子束發射光譜峰在 200 至 300 nm 範圍內而間隔在 0.23 至 0.3 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移在 0 至 5000 cm^{-1} 範圍內之氫產物；及g)至少兩個UV螢光發射光譜峰在 200 至 300 nm 範圍內而間隔在 0.23 至 0.3 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移在 0 至 5000 cm^{-1} 範圍內之氫產物。

本發明進一步係有關一種電化學電力系統，其包含氫陽極，包含氫可透電極；熔融鹽電解質，包含氫氧化物；及 O_2 及 H_2O 陰極中之至少一者。在實施例中，維持該電解質呈熔融狀態及該膜呈氫可透狀態中之至少一者的電池溫度在至少一個選自以下之範圍內：約 25 至 2000°C 、約 100 至 1000°C 、約 200 至 750°C 、約 250°C 至 500°C ，高於電解質熔點之電池溫度在至少一個以下之範圍內：高於熔點約 0 至 1500°C 、高於熔點約 0 至 1000°C 、高於熔點約 0 至 500°C 、高於熔點約 0 至 250°C 及高於熔點約 0 至 100°C ；膜厚度在至少一個選自以下之範圍內：約 0.0001 至 0.25 cm 、 0.001 至

0.1 cm、及0.005至0.05 cm；氫氣壓力經維持在至少一個選自以下之範圍內：約1托至500 atm、10托至100 atm、及100托至5 atm；氫氣滲透速率在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、及 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 。在一個實施例中，電化學電力系統包含氫陽極，包含氫噴射電極(hydrogen sparging electrode)；熔融鹽電解質，包含氫氧化物；及 O_2 及 H_2O 陰極中之至少一者。在實施例中，維持電解質呈熔融狀態之電池溫度在至少一個選自以下之範圍內：高於電解質熔點約0至 1500°C 、高於電解質熔點約0至 1000°C 、高於電解質熔點約0至 500°C 、高於電解質熔點約0至 250°C 及高於電解質熔點約0至 100°C ；每單位 H_2 鼓泡或噴射電極之幾何面積的氫氣流動速率在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、及 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ；相對電極處之反應速率匹配或超出氫起反應所在之電極處之反應速率； H_2O 及 O_2 中之至少一者之還原速率足以維持H或 H_2 之反應速率，且相對電極具有足以支持充足速率之表面積及材料。

本發明進一步係有關一種產生熱能之電力系統，包含：

至少一個能夠承受常壓、高壓及低壓中之至少一者之壓力的容器；至少一個加熱器、構成低能量氫反應物之反應物，該等反應物包含：a)包含初生 H_2O 之觸媒來源或觸媒；b)原子氫來源或原子氫；c)用於形成觸媒來源、觸媒、原子氫來源及原子氫中之至少一者的反應物；及一或多種引發原子氫催化之反應物，其中反應在混合及加熱該等反應物中之至少一者之後發生。在實施例中，電力系統形成觸媒來源、觸媒、原子氫來源及原子氫中之至少一者的反應包含至少一個選自以下之反應：脫水反應；燃燒反應；路易斯酸(Lewis acid)或路易斯鹼(Lewis base)及布朗斯特-勞瑞酸(Bronsted-Lowry acid)或布朗斯特-勞瑞鹼(Bronsted-Lowry base)之反應；氧化物-鹼反應；酸酐-鹼反應；酸-鹼反應；鹼-活性金屬反應；氧化-還原反應；分解反應；交換反應；及鹵化物、O、S、Se、Te、 NH_3 與具有至少一個OH之化合物的交換反應；包含O之化合物的氫還原反應，且H來源為在該等反應物經歷反應時所形成之初生H及來自氫化物或氣體來源及解離體之氫中的至少一者。

本發明進一步係關於一種電池組或燃料電池系統，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(EMF)，從而使自低能量氫反應釋放之能量直接轉換成電，該系統包含：

於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物；

包含陰極之陰極隔室；

包含陽極之陽極隔室；及

氫來源。

本發明之其他實施例係關於一種電池組或燃料電池系統，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(EMF)，從而使自低能量氫反應釋放之能量直接轉換成電，該系統包含至少兩種選自以下之組分：觸媒或觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成觸媒或觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；一或多種引發原子氫催化之反應物；及使催化可進行之載體，

其中形成低能量氫之電池組或燃料電池系統可進一步包括包含陰極之陰極隔室、包含陽極之陽極隔室、視情況選用之鹽橋、於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，及氫來源。

在本發明之一個實施例中，引發低能量氫反應(諸如本發明之交換反應)之反應混合物及反應為藉由氫反應形成低能量氫來產生電力的燃料電池之基礎。由於氧化還原電池之半反應(half reaction)，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑進行離子質量輸送以形成電路所構成。產生由半電池反應之和得到的低能量氫之總反應及相應反應混合物可包含本發明之熱功率及低能量氫化學產生之反應類型。

在本發明之一個實施例中，在藉由各別導管連接以便電子與離子在隔室之間形成電路的不同電池隔室中提供處於

不同狀態或條件(諸如不同溫度、壓力及濃度中之至少一者)下之不同反應物或相同反應物。由於低能量氫反應對自一個隔室至另一隔室之質量流的依賴性，因此產生各別隔室之電極之間的電位及電力增益或系統之熱增益。質量流提供至少一個以下形成：可起反應而產生低能量氫之反應混合物及允許以實質速率發生低能量氫反應之條件。理想地，在無電子流及離子質量輸送存在下，低能量氫反應不發生或不以可觀速率發生。

在另一實施例中，相較於經由電極施加之電解功率，電池產生電力及熱功率增益中之至少一者。

在一個實施例中，用於形成低能量氫之反應物為熱再生型或電解再生型中之至少一者。

本發明之一個實施例係關於一種產生電動勢(EMF)及熱能之電化學電力系統，其包含陰極、陽極及於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，該系統包含至少兩種選自以下之組分：a)觸媒來源或觸媒，其包含 nH 、 OH 、 OH^- 、 H_2O 、 H_2S 或 MNH_2 之群中的至少一者，其中 n 為整數且 M 為鹼金屬；b)原子氫來源或原子氫；c)用於形成觸媒來源、觸媒、原子氫來源及原子氫中之至少一者之反應物；一或多種引發原子氫催化之反應物；及載體。至少一個以下條件可出現於該電化學電力系統中：a)藉由反應混合物之反應形成原子氫及氫觸媒；b)一種反應物，藉助於其發生反應而使得催化有效；及c)引起催化反應之反應，其包含選自以下之反應：(i)放

熱反應；(ii)偶合反應；(iii)自由基反應；(iv)氧化-還原反應；(v)交換反應；及(vi)吸氣劑(getter)、載體或基質輔助催化反應。在一個實施例中，在藉由各別導管連接以便電子與離子在隔室之間形成電路的不同電池隔室中提供處於不同狀態或條件下之a)不同反應物或b)相同反應物中之至少一者。內部質量流及外部電子流中之至少一者可使至少一個以下條件出現：a)形成可起反應而產生低能量氫之反應混合物；及b)形成允許以實質速率發生低能量氫反應之條件。在一個實施例中，用於形成低能量氫之反應物為熱再生型或電解再生型中之至少一者。電能及熱能輸出中之至少一者可能超過自產物再生反應物所需者。

本發明之其他實施例係關於一種產生電動勢(EMF)及熱能之電化學電力系統，其包含陰極、陽極及於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，該系統包含至少兩種選自以下之組分：a)觸媒來源或觸媒，其包含至少一種選自以下之氧物質： O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、 O 、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 $HOOH$ 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-} ，其經歷與H物質之氧化反應以形成 OH 及 H_2O 中之至少一者，其中H物質包含以下中之至少一者： H_2 、 H 、 H^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 $HOOH$ 及 OOH^- ；b)原子氫來源或原子氫；c)用於形成觸媒來源、觸媒、原子氫來源及原子氫中之至少一者之反應物；及一或多種引發原子氫催化之反應物；及載體。O物質來源可包含至少一種化合物或化合物混合物，該化合物

包含 O、O₂、空氣、氧化物、NiO、CoO、鹼金屬氧化物、Li₂O、Na₂O、K₂O、鹼土金屬氧化物、MgO、CaO、SrO 及 BaO、以下之群的氧化物：Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn 及 W、過氧化物、鹼金屬過氧化物、超氧化物、鹼金屬或鹼土金屬超氧化物、氫氧化物、鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、及第 III、IV 或 V 族元素之氫氧化物、氧(氫氧)化物(oxyhydroxide)、AlO(OH)、ScO(OH)、YO(OH)、VO(OH)、CrO(OH)、MnO(OH)(α -MnO(OH) 錳 梛 石 及 γ -MnO(OH) 水 錳 礦)、FeO(OH)、CoO(OH)、NiO(OH)、RhO(OH)、GaO(OH)、InO(OH)、Ni_{1/2}Co_{1/2}O(OH) 及 Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O(OH)。H 物質來源可包含至少一種化合物或化合物混合物，該化合物包含 H、金屬氫化物、LaNi₅H₆、氫氧化物、氧(氫氧)化物、H₂、H₂ 來源、H₂ 及氫可透膜、Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂) 及不鏽鋼(SS)(諸如 430 SS(H₂))。

在另一實施例中，電化學電力系統包含氫陽極；包含氫氧化物之熔融鹽電解質；及 O₂ 及 H₂O 陰極中之至少一者。氫陽極可包含至少一個氫可透電極，諸如以下中之至少一者：Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂) 及 430 SS(H₂)；可噴射 H₂ 之多孔電極；及氫化物，諸如選自以下之氫化物：R-Ni、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、

$\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$; 及能夠儲存氫之其他合金、
 $\text{AB}_5(\text{LaCePrNdNiCoMnAl})$ 或 $\text{AB}_2(\text{VTiZrNiCrCoMnAlSn})$ 型
 (其中「 AB_x 」符號係指A類型元素(LaCePrNd或TiZr)與B類
 型元素(VNiCrCoMnAlSn)之比率)、 AB_5 型：
 $\text{MmNi}_{3.2}\text{Co}_{1.0}\text{Mn}_{0.6}\text{Al}_{0.11}\text{Mo}_{0.09}$ (Mm=密鈷合金(misch metal)：
 25重量% La、50重量% Ce、7重量% Pr、18重量% Nd)、
 AB_2 型： $\text{Ti}_{0.51}\text{Zr}_{0.49}\text{V}_{0.70}\text{Ni}_{1.18}\text{Cr}_{0.12}$ 合金、基於鎂之合金、
 $\text{Mg}_{1.9}\text{Al}_{0.1}\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}$ 合金、 $\text{Mg}_{0.72}\text{Sc}_{0.28}(\text{Pd}_{0.012} + \text{Rh}_{0.012})$ 及
 $\text{Mg}_{80}\text{Ti}_{20}$ 、 $\text{Mg}_{80}\text{V}_{20}$ 、 $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.4}\text{Co}_{2.5}\text{Si}_{0.1}$ 、 $\text{LaNi}_{5-x}\text{M}_x$
 (M=Mn、Al)、(M=Al、Si、Cu)、(M=Sn)、(M=Al、Mn、Cu)
 及 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化合物、TiFe、TiCo及
 TiNi、 AB_n 化合物($n=5$ 、2或1)、 AB_{3-4} 化合物、
 AB_x (A=La、Ce、Mn、Mg；B=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 、密鈷合金-鎳合金、
 $\text{Ti}_{0.98}\text{Zr}_{0.02}\text{V}_{0.43}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.05}\text{Mn}_{1.5}$ 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9$ 、FeNi及 TiMn_2 。
 熔融鹽可包含與至少一種其他鹽之氫氧化物，該其他鹽諸
 如選自一或多種其他氫氧化物、鹵化物、硝酸鹽、硫酸
 鹽、碳酸鹽及磷酸鹽者。熔融鹽可包含至少一種選自以下
 之鹽混合物： CsNO_3 - CsOH 、 CsOH - KOH 、 CsOH - LiOH 、
 CsOH - NaOH 、 CsOH - RbOH 、 K_2CO_3 - KOH 、 KBr - KOH 、
 KCl - KOH 、 KF - KOH 、 KI - KOH 、 KNO_3 - KOH 、 KOH -
 K_2SO_4 、 KOH - LiOH 、 KOH - NaOH 、 KOH - RbOH 、 Li_2CO_3 -

LiOH、LiBr-LiOH、LiCl-LiOH、LiF-LiOH、LiI-LiOH、LiNO₃-LiOH、LiOH-NaOH、LiOH-RbOH、Na₂CO₃-NaOH、NaBr-NaOH、NaCl-NaOH、NaF-NaOH、NaI-NaOH、NaNO₃-NaOH、NaOH-Na₂SO₄、NaOH-RbOH、RbCl-RbOH、RbNO₃-RbOH、LiOH-LiX、NaOH-NaX、KOH-KX、RbOH-RbX、CsOH-CsX、Mg(OH)₂-MgX₂、Ca(OH)₂-CaX₂、Sr(OH)₂-SrX₂或Ba(OH)₂-BaX₂(其中X=F、Cl、Br或I)及LiOH、NaOH、KOH、RbOH、CsOH、Mg(OH)₂、Ca(OH)₂、Sr(OH)₂或Ba(OH)₂及以下中之一或多者：AlX₃、VX₂、ZrX₂、TiX₃、MnX₂、ZnX₂、CrX₂、SnX₂、InX₃、CuX₂、NiX₂、PbX₂、SbX₃、BiX₃、CoX₂、CdX₂、GeX₃、AuX₃、IrX₃、FeX₃、HgX₂、MoX₄、OsX₄、PdX₂、ReX₃、RhX₃、RuX₃、SeX₂、AgX₂、TcX₄、TeX₄、TlX及WX₄(其中X=F、Cl、Br或I)。熔融鹽可包含為鹽混合物電解質之陰離子所共用之陽離子；或為陽離子所共用之陰離子，且氫氧化物針對混合物中之其他鹽穩定。

在本發明之另一實施例中，電化學電力系統包含[M''(H₂)/MOH-M'鹵離子/M''']及[M''(H₂)/M(OH)₂-M'鹵離子/M''']中之至少一者，其中M為鹼金屬或鹼土金屬，M'為如下特徵之金屬，其氫氧化物及氧化物為穩定性小於鹼金屬或鹼土金屬之氫氧化物及氧化物中的至少一種，或與水具有低反應性，M''為氫可透金屬，且M'''為導體。在一個實施例中，M'為諸如選自以下之金屬：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及Pb。或者，M及M'可為金屬，諸如獨立地選自以下之金屬：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及W。其他例示性系統包含[M'(H₂)/MOH M''X/M''']，其中M、M'、M''及M'''為金屬陽離子或金屬，X為陰離子，諸如選自氫氧根、鹵離子、硝酸根、硫酸根、碳酸根及磷酸根之陰離子，且M'為H₂可透過的。在一個實施例中，氫陽極包含金屬，諸如至少一種選自以下之金屬：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及W，其可在放電期間與電解質反應。在另一實施例中，電化學電力系統包含氫來源；能夠形成OH、OH⁻及H₂O觸媒中之至少一者且提供H之氫陽極；O₂及H₂O中之至少一者之來源；能夠還原H₂O或O₂中之至少一者之陰極；鹼性電解質；能夠收集及再循環H₂O蒸氣、N₂及O₂中之至少一者的視情況選用之系統，及用於收集及再循環H₂之系統。

本發明進一步係關於一種包含陽極之電化學電力系統，其包含以下至少一者：金屬，諸如選自以下之金屬：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及W，及金屬氫化物，諸如選自以下之金屬氫化物： $R-Ni$ 、 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $ZrCr_2H_{3.8}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 、 $ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}$ ，及能夠儲存氫之其他合金，諸如選自以下之其他合金： $AB_5(LaCePrNdNiCoMnAl)$ 或 $AB_2(VTiZrNiCrCoMnAlSn)$ 型(其中「 AB_x 」符號係指A類型元素(LaCePrNd或TiZr)與B類型元素(VNiCrCoMnAlSn)之比率)、 AB_5 型： $MmNi_{3.2}Co_{1.0}Mn_{0.6}Al_{0.11}Mo_{0.09}$ (Mm=密鈷合金：25重量% La、50重量% Ce、7重量% Pr、18重量% Nd)、 AB_2 型： $Ti_{0.51}Zr_{0.49}V_{0.70}Ni_{1.18}Cr_{0.12}$ 合金、基於鎂之合金、 $Mg_{1.9}Al_{0.1}Ni_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}$ 合金、 $Mg_{0.72}Sc_{0.28}(Pd_{0.012}+Rh_{0.012})$ 及 $Mg_{80}Ti_{20}$ 、 $Mg_{80}V_{20}$ 、 $La_{0.8}Nd_{0.2}Ni_{2.4}Co_{2.5}Si_{0.1}$ 、 $LaNi_{5-x}M_x$ (M=Mn、Al)、(M=Al、Si、Cu)、(M=Sn)、(M=Al、Mn、Cu)及 $LaNi_4Co$ 、 $MmNi_{3.55}Mn_{0.44}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.44}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 、 $MgCu_2$ 、 $MgZn_2$ 、 $MgNi_2$ 、AB化合物、TiFe、TiCo及TiNi、 AB_n 化合物($n=5$ 、2或1)、 AB_{3-4} 化合物、 AB_x (A=La、Ce、Mn、Mg；B=Ni、Mn、Co、Al)、 $ZrFe_2$ 、 $Zr_{0.5}Cs_{0.5}Fe_2$ 、 $Zr_{0.8}Sc_{0.2}Fe_2$ 、 YNi_5 、 $LaNi_5$ 、 $LaNi_{4.5}Co_{0.5}$ 、(Ce、La、Nd、Pr) Ni_5 、密鈷合金-鎳合金、 $Ti_{0.98}Zr_{0.02}V_{0.43}Fe_{0.09}Cr_{0.05}Mn_{1.5}$ 、 $La_2Co_1Ni_9$ 、FeNi及TiMn₂；隔板(separator)；鹼性電解質水溶液；O₂及H₂O還原陰極中之至少一者；及空氣及O₂中之至少一者。電化系統可進一步包含電解系統，其間歇地將電池充電及放電，使得淨能平衡存在增益。或者，電化學電力系統可包含或

進一步包含氫化系統，其藉由再氫化(rehydriding)氫化物陽極使電力系統再生。

另一實施例包含產生電動勢(EMF)及熱能之電化學電力系統，其包含熔融鹼金屬陽極； β -氧化鋁固體電解質(BASE)，及包含氫氧化物之熔融鹽陰極。熔融鹽陰極可包含共熔混合物(諸如表4中之一者)及氫來源(諸如氫可透膜及 H_2 氣體)。觸媒或觸媒來源可選自 OH 、 OH^- 、 H_2O 、 NaH 、 Li 、 K 、 Rb^+ 及 Cs 。熔融鹽陰極可包含鹼金屬氫氧化物。系統可進一步包含氫反應器及金屬-氫氧化物分離器，其中鹼金屬陰極及鹼金屬氫氧化物陰極係藉由氫化產物氧化物及分離所得鹼金屬及金屬氫氧化物來再生。

電化學電力系統之另一實施例包含陽極，其包含氫來源，諸如選自以下之氫來源：氫可透膜及 H_2 氣體及氫化物，其進一步包含熔融氫氧化物； β -氧化鋁固體電解質(BASE)，及陰極，其包含熔融元素及熔融鹵化物鹽或混合物中之至少一者。適合之陰極包含熔融元素陰極，其包含 In 、 Ga 、 Te 、 Pb 、 Sn 、 Cd 、 Hg 、 P 、 S 、 I 、 Se 、 Bi 及 As 之一。或者，陰極可為熔融鹽陰極，其包含 NaX (X 為鹵離子)及以下之群中一或多者： NaX 、 AgX 、 AlX_3 、 AsX_3 、 AuX 、 AuX_3 、 BaX_2 、 BeX_2 、 BiX_3 、 CaX_2 、 CdX_3 、 CeX_3 、 CoX_2 、 CrX_2 、 CsX 、 CuX 、 CuX_2 、 EuX_3 、 FeX_2 、 FeX_3 、 GaX_3 、 GdX_3 、 GeX_4 、 HfX_4 、 HgX 、 HgX_2 、 InX 、 InX_2 、 InX_3 、 IrX 、 IrX_2 、 KX 、 $KAgX_2$ 、 $KAlX_4$ 、 K_3AlX_6 、 LaX_3 、 LiX 、 MgX_2 、 MnX_2 、 MoX_4 、 MoX_5 、 MoX_6 、 $NaAlX_4$ 、

Na_3AlX_6 、 NbX_5 、 NdX_3 、 NiX_2 、 OsX_3 、 OsX_4 、 PbX_2 、 PdX_2 、 PrX_3 、 PtX_2 、 PtX_4 、 PuX_3 、 RbX 、 ReX_3 、 RhX 、 RhX_3 、 RuX_3 、 SbX_3 、 SbX_5 、 ScX_3 、 SiX_4 、 SnX_2 、 SnX_4 、 SrX_2 、 ThX_4 、 TiX_2 、 TiX_3 、 TlX 、 UX_3 、 UX_4 、 VX_4 、 WX_6 、 YX_3 、 ZnX_2 及 ZrX_4 。

產生電動勢(EMF)及熱能之電化學電力系統之另一實施例包含陽極，其包含Li；電解質，其包含有機溶劑，及無機Li電解質及 LiPF_6 中之至少一者；烯烴隔板，及陰極，其包含以下中之至少一者：氧(氫氧)化物、 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。

在另一實施例中，電化學電力系統包含陽極，其包含以下中之至少一者：Li、鋰合金、 Li_3Mg ，及Li-N-H系統之物質；

熔融鹽電解質，及氫陰極，其包含以下中之至少一者： H_2 氣體及多孔陰極、 H_2 及氫可透膜，及金屬氫化物、鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬氫化物之一。

本發明進一步係關於一種電化學電力系統，其包含電池a)至h)中之至少一者，其包含：

a) (i)陽極，其包含氫可透金屬及氫氣，諸如選自以下者： $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ ；或金屬氫

化物，諸如選自以下之金屬氫化物： LaNi_5H_6 、 TiMn_2H_x 及 $\text{La}_2\text{Ni}_9\text{CoH}_6$ (x 為整數)；(ii)熔融電解質，諸如選自以下之熔融電解質： MOH 或 $\text{M}(\text{OH})_2$ ，或 MOH 或 $\text{M}(\text{OH})_2$ 與 $\text{M}'\text{X}$ 或 $\text{M}'\text{X}_2$ ，其中 M 及 M' 為金屬，諸如獨立地選自以下之金屬： Li 、 Na 、 K 、 Rb 、 Cs 、 Mg 、 Ca 、 Sr 及 Ba ，且 X 為陰離子，諸如選自氫氧根、鹵離子、硫酸根及碳酸根之陰離子，及(iii)陰極，其包含可與陽極相同之金屬，且進一步包含空氣或 O_2 ；

b) (i)陽極，其包含至少一種金屬，諸如選自以下之金屬： R-Ni 、 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 及 Pb ；(ii)電解質，其包含濃度範圍為約10 M至飽和之鹼金屬氫氧化物水溶液；(iii)烯烴隔板，及(iv)碳陰極，且進一步包含空氣或 O_2 ；

c) (i)陽極，其包含熔融 NaOH 及氫可透膜，諸如 Ni 及氫氣；(ii)電解質，其包含 β 氧化鋁固體電解質(BASE)，及(iii)陰極，其包含熔融共熔鹽，諸如 NaCl-MgCl_2 、 NaCl-CaCl_2 或 $\text{MX-M}'\text{X}_2$ (M 為鹼金屬， M' 為鹼土金屬，且 X 及 X' 為鹵離子)；

d)(i)包含熔融 Na 之陽極；(ii)電解質，其包含 β 氧化鋁固體電解質(BASE)，及(iii)包含熔融 NaOH 之陰極；

e)(i)陽極，其包含氫化物，諸如 LaNi_5H_6 ；(ii)電解質，其包含濃度範圍為約10 M至飽和之鹼金屬氫氧化物水溶

液；(iii)烯烴隔板，及(iv)碳陰極，且進一步包含空氣或 O_2 ；

f) (i)包含Li之陽極；(ii)烯烴隔板；(ii)有機電解質，諸如包含LP30及 $LiPF_6$ 之有機電解質，及(iv)陰極，其包含氧(氫氧)化物，諸如 $CoO(OH)$ ；

g) (i)陽極，其包含鋰合金，諸如 Li_3Mg ；(ii)熔融鹽電解質，諸如 $LiCl-KCl$ 或 $MX-M'X'$ (M及M'為鹼金屬，X及X'為鹵離子)，及(iii)陰極，其包含金屬氫化物，諸如選自以下之金屬氫化物： CeH_2 、 LaH_2 、 ZrH_2 及 TiH_2 ，且進一步包含碳黑，及

h) (i)包含Li之陽極；(ii)熔融鹽電解質，諸如 $LiCl-KCl$ 或 $MX-M'X'$ (M及M'為鹼金屬，X及X'為鹵離子)，及

(iii) 陰極，其包含金屬氫化物，諸如選自以下之金屬氫化物： CeH_2 、 LaH_2 、 ZrH_2 及 TiH_2 ，且進一步包含碳黑。

本發明進一步係有關一種電化學電力系統，其包含至少一種以下電池： $[Ni(H_2)/LiOH-LiBr/Ni]$ ，其中指定為 $Ni(H_2)$ 之氫電極包含滲透、噴射及間歇電解氫來源中之至少一者； $[PtTi/H_2SO_4(\text{約 } 5 \text{ M 水溶液}) \text{ 或 } H_3PO_4(\text{約 } 14.5 \text{ M 水溶液})/PtTi]$ 間歇電解；及 $[NaOH \text{ } Ni(H_2)/BASE/NaCl \text{ } MgCl_2]$ ，其中指定為 $Ni(H_2)$ 之氫電極包含滲透氫來源。在適合之實施例中，氫電極包含經準備而具有保護性氧化物塗層(諸如 NiO)之金屬(諸如鎳)。氧化物塗層可藉由在氧化性氛圍(諸如包含氧氣之氛圍)中陽極化或氧化來形成。

本發明進一步係有關一種電化學電力系統，其包含至少

一種以下電池： $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH-LiBr}/\text{Ni}]$ ，其中指定為 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 之氫電極包含滲透、噴射及間歇電解氫來源中之至少一者； $[\text{PtTi}/\text{H}_2\text{SO}_4$ (約5 M水溶液)或 H_3PO_4 (約14.5 M水溶液)/ $\text{PtTi}]$ 間歇電解，及 $[\text{NaOH } \text{Ni}(\text{H}_2)/\text{BASE}/\text{NaCl } \text{MgCl}_2]$ ，其中指定為 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 之氫電極包含滲透氫來源。

本發明進一步係有關一種電化學電力系統，其包含電池a)至d)中之至少一者，包含：

a) (i)陽極，包含指定為 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 且包含滲透、噴射及間歇電解氫來源中之至少一者的氫電極；(ii)熔融電解質，諸如選自以下者： MOH 或 $\text{M}(\text{OH})_2$ 、或 MOH 或 $\text{M}(\text{OH})_2$ 與 $\text{M}'\text{X}$ 或 $\text{M}'\text{X}_2$ ，其中 M 及 M' 為金屬，諸如獨立地選自 Li 、 Na 、 K 、 Rb 、 Cs 、 Mg 、 Ca 、 Sr 及 Ba 之金屬，且 X 為陰離子，諸如選自氫氧化物、鹵化物、硫酸鹽及碳酸鹽之陰離子；及(iii)陰極，包含可與陽極相同之金屬，且進一步空氣或 O_2 ；

b) (i)陽極，包含指定為 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 且包含滲透、噴射及間歇電解氫來源中之至少一者之氫電極；(ii)熔融電解質，諸如 LiOH-LiBr 、 NaOH-NaBr 或 NaOH-NaI ；及(iii)陰極，包含可與陽極相同之金屬，且進一步空氣或 O_2 ；

c) (i)陽極，包含貴金屬，諸如 Pt/Ti ；(ii)酸水溶液電解質，諸如 H_2SO_4 或 H_3PO_4 ，濃度可分別在1至10 M及5至15 M範圍內；及(iii)陰極，包含可與陽極相同之金屬，且進一步空氣或 O_2 ，及

d) (i)陽極，包含熔融 NaOH 及指定為 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 且包含滲透

氫來源之氫電極；(ii)電解質，包含 β 氧化鋁固體電解質(BASE)；及(iii)陰極，包含熔融共熔鹽，諸如NaCl-MgCl₂、NaCl-CaCl₂或MX-M'X₂' (M為鹼金屬，M'為鹼土金屬，且X及X'為鹵離子)。

本發明之其他實施例係關於觸媒系統，諸如電化學電池之觸媒系統，其包含能夠使得原子H呈其n=1狀態以形成較低能態之氫觸媒、原子氫來源，及能夠引發及傳播反應以形成較低能量氫之其他物質。在某些實施例中，本發明係關於一種反應混合物，其包含至少一種原子氫來源及至少一種觸媒或觸媒來源以支持氫催化以形成低能量氫。本文對於固體及液體燃料所揭示之反應物及反應亦為包含相混合物之非均質燃料的反應物及反應。該反應混合物包含至少兩種選自以下之組分：氫觸媒或氫觸媒來源及原子氫或原子氫來源，其中原子氫及氫觸媒中之至少一者可藉由反應混合物之反應來形成。在其他實施例中，反應混合物進一步包含載體，其在某些實施例中可具導電性，可為還原劑及氧化劑，其中至少一種反應物藉助於其經歷反應使得催化有效。反應物可藉由針對任何非低能量氫產物加熱來再生。

本發明亦係關於一種電源，其包含：

用於催化原子氫之反應電池；

反應容器；

真空泵；

與反應容器連通之原子氫來源；

與反應容器連通之氫觸媒來源，其包含塊材，

原子氫來源及氫觸媒來源中之至少一者之來源，其包含反應混合物，該反應混合物包含至少一種反應物，其包含形成原子氫及氫觸媒中之至少一者之元素，及至少一種其他元素，藉此自該來源形成原子氫及氫觸媒中之至少一者，

至少一種其他用於引起催化之反應物；及

容器加熱器，

藉此原子氫催化釋放大於約300千焦/莫耳氫之量的能量。

形成低能量氫之反應可藉由一或多個化學反應來活化或引發及傳播。此等反應可選自例如(i)氫化物交換反應；(ii)鹵素-氫交換反應；(iii)放熱反應，其在某些實施例中為低能量氫反應提供活化能；(iv)偶合反應，其在某些實施例中提供觸媒或原子氫來源中之至少一者以支持低能量氫反應；(v)自由基反應，其在某些實施例中充當低能量氫反應期間來自觸媒之電子的受體；(vi)氧化還原反應，其在某些實施例中，充當低能量氫反應期間來自觸媒之電子的受體；(vi)其他交換反應，諸如陰離子交換，包括鹵化物、硫化物、氫化物、砷化物、氧化物、磷化物及氮化物交換，其在一個實施例中，有助於觸媒當自原子氫接受能量以形成低能量氫時變得電離之作用；及(vii)吸氣劑、載體或基質輔助低能量氫反應，其可提供以下中之至少一者：(a)低能量氫反應之化學環境、(b)轉移電子以有助於H

觸媒功能之作用、(c)經歷可逆相或其他物理變化或其電子狀態變化、及(d)結合較低能量氫產物以提高低能量氫反應之程度或速率中之至少一者。在某些實施例中，導電載體使活化反應可進行。

在另一實施例中，形成低能量氫之反應包含在至少兩種物質(諸如兩種金屬)之間氫化物交換及鹵化物交換中之至少一者。至少一種金屬可為用於形成低能量氫之觸媒或觸媒來源，諸如鹼金屬或鹼金屬氫化物。氫化物交換可發生在至少兩種氫化物之間、至少一種金屬與至少一種氫化物之間、至少兩種金屬氫化物之間、至少一種金屬與至少一種金屬氫化物之間，及具有在兩種或兩種以上物質之間或涉及兩種或兩種以上物質之交換的其他此等組合。在一個實施例中，氫化物交換形成混合金屬氫化物，諸如 $(M_1)_x(M_2)_yH_z$ ，其中 x 、 y 及 z 為整數且 M_1 且 M_2 為金屬。

本發明之其他實施例係關於反應物，其中活化反應及/或傳播反應中之觸媒包含觸媒或觸媒來源及氫來源與材料或化合物反應形成插層化合物(intercalation compound)，其中反應物係藉由移除插層物質來再生。在一個實施例中，碳可充當氧化劑且碳可例如藉由加熱、使用置換劑、電解或藉由使用溶劑自鹼金屬插層碳再生。

在其他實施例中，本發明係關於一種電力系統，其包含：

(i) 化學燃料混合物，其包含至少兩種選自以下之組分：觸媒或觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成觸

媒或觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；一或多種引發原子氫催化之反應物；及使催化可進行之載體，

(ii) 至少一個包含複數個反應容器之熱系統，其用於逆轉交換反應以自反應產物熱再生燃料，

其中包含自混合物反應產物形成初始化學燃料混合物之反應的再生反應係在與至少一個經歷電力反應之其他反應容器聯合的複數個反應容器中之至少一者中進行，

至少一個電力產生容器之熱流至至少一個經歷再生之容器以提供熱再生能量，

將容器嵌埋於熱轉移介質中以實現熱流動，

至少一個容器進一步包含真空泵及氫來源，且可進一步包含在較熱腔室與較冷腔室之間維持溫差使得物質優先累積於較冷腔室中的兩個腔室，

其中在較冷腔室中進行氫化物反應以形成至少一種初始反應物，使其返回較熱腔室，

(iii) 穿過熱障壁自產生電力之反應容器接受熱之散熱體，

及

(iv) 電力轉換系統，其可包含熱機，諸如朗肯(Rankine)或布累登(Brayton)循環引擎、蒸汽機、史特林引擎(Stirling engine)，其中電力轉換系統可包含熱電或熱離子轉換器。在某些實施例中，散熱體可將電力轉移至電力轉換系統以產生電。

在某些實施例中，電力轉換系統自散熱體接受熱流，且

在某些實施例中，散熱體包含蒸汽發生器且蒸汽流至諸如渦輪機之熱機以產生電。

在其他實施例中，本發明係關於一種電力系統，其包含：

(i) 化學燃料混合物，其包含至少兩種選自以下之組分：觸媒或觸媒來源；原子氫或原子氫來源；用於形成觸媒或觸媒來源及原子氫或原子氫來源之反應物；一或多種引發原子氫催化之反應物；及使催化可進行之載體，

(ii) 用於逆轉交換反應以自反應產物熱再生燃料之熱系統，其包含至少一個反應容器，其中包含自混合物反應產物形成初始化學燃料混合物之反應的再生反應係與電力反應一起在至少一個反應容器中進行，來自產生電力之反應之熱流至再生反應物以為熱再生提供能量，至少一個容器在一個區段上絕緣且在另一區段上與熱傳導介質接觸以分別在容器之較熱與較冷區段之間達成熱梯度，使得物質優先累積於較冷區段中，至少一個容器進一步包含真空泵及氫來源，其中氫化物反應係在較冷區段中進行以形成至少一種初始反應物，使其返回較熱區段，

(iii) 散熱體，其自產生電力之反應接受經轉移通過熱傳導介質且視情況穿過至少一個熱障壁之熱，及

(iv) 電力轉換系統，其可包含熱機，諸如朗肯或布累登循環引擎、蒸汽機、史特林引擎，其中電力轉換系統可包含熱電或熱離子轉換器，其中轉換系統自散熱體接受熱流，

在一個實施例中，散熱體包含蒸汽發生器且蒸汽流至諸如渦輪機之熱機以產生電。

【實施方式】

本發明係關於用於自原子氫釋放能量以形成較低能態之觸媒系統，其中電子殼層相對於核處於靠近位置。將釋放之電力用於電力產生且另外新穎氫物質及化合物為所需產物。此等能態係根據經典物理定律預測且需要觸媒自氫接受能量以經歷相應能量釋放躍遷。

經典物理學得到氫原子、氫化物離子、氫分子離子及氫分子之閉型解(closed-form solution)且預測具有分數主量子數(fractional principal quantum number)之相應物質。使用麥克斯韋方程式(Maxwell's equation)，根據邊界值問題推導出電子結構，其中電子包含在躍遷期間隨時間變化之電磁場的源電流，其中約束為邊界 $n=1$ 狀態電子不能輻射能量。由H原子之解預測的反應涉及自另外的穩定原子氫轉移諧振、非輻射性能量至能夠接受能量以形成能態低於先前認為可能之能態之氫的觸媒。特定言之，經典物理學預測原子氫會經歷與以下之催化反應：某些原子、準分子、離子及雙原子氫化物，其提供淨焓為原子氫位能 $E_h=27.2\text{ eV}$ 之整數倍的反應，其中 E_h 為一哈崔(Hartree)。基於已知電子能級可鑑別之特定物質(例如 He^+ 、 Ar^+ 、 Sr^+ 、 K 、 Li 、 HCl ，及 NaH 、 OH 、 SH 、 SeH 、 H_2O 、 $n\text{H}$ (n = 整數))需要與原子氫一起存在以催化該過程。反應包括非輻射性能量轉移，接著為 $q \cdot 13.6\text{ eV}$ 連續發射或 $q \cdot 13.6\text{ eV}$ 轉移至H

以形成極熱的激發態H及能量低於對應於分數主量子數之未反應原子氫的氫原子。亦即，在關於氫原子之主能階之式中：

$$E_n = -\frac{e^2}{n^2 8\pi\epsilon_0 a_H} = -\frac{13.598 \text{ eV}}{n^2} \quad (1)$$

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

其中 a_H 為氫原子之波爾半徑(Bohr radius)(52.947 pm)， e 為電子電荷量值，且 ϵ_0 為真空電容率，分數量子數：

$$n=1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots, \frac{1}{p} \text{ (其中 } p \leq 137 \text{ 為整數)} \quad (3)$$

替代氫激發態之芮得伯方程式(Rydberg equation)中的熟知參數 n =整數且表示稱為「低能量氫」之較低能態氫原子。接著，類似於具有麥克斯韋方程式之分析解的激發態，低能量氫原子亦包含電子、質子及光子。然而，後者之電場增加對應於能量解吸收之結合而非如在激發態隨著能量吸收而減弱中心場，且由此產生的低能量氫之光子-電子相互作用為穩定的而非輻射性的。

氫之 $n=1$ 狀態及氫之 $n=\frac{1}{\text{整數}}$ 狀態為非輻射性的，但兩種非輻射狀態之間的躍遷，比如 $n=1$ 至 $n=1/2$ ，經由非輻射性能量轉移為可能產生的。氫為由方程式(1)及(3)給出之穩定狀態的特例，其中氫或低能量氫原子之相應半徑係由以下得出：

$$r = \frac{a_H}{p}, \quad (4)$$

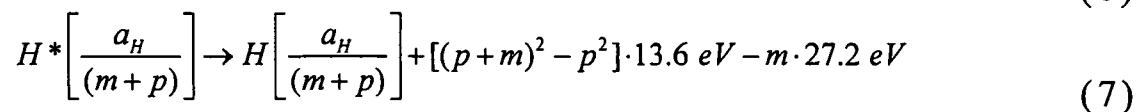
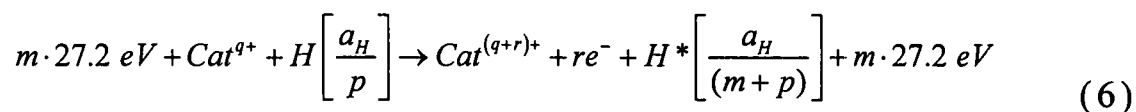
其中 $p=1,2,3,\dots$ 。為使能量守恆，必須自氫原子轉移以下單位之能量至觸媒：

$$m \cdot 27.2 \text{ eV}, \quad m=1,2,3,4,\dots \quad (5)$$

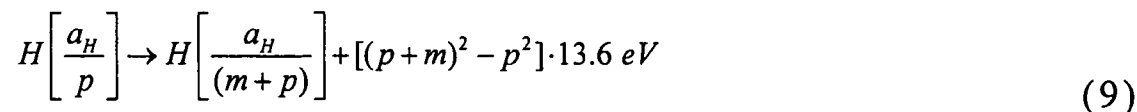
及使半徑轉變為 $\frac{a_H}{m+p}$ 。觸媒反應包括兩個能量釋放步驟：

非輻射性能量轉移至觸媒，接著當半徑減小至相應穩定的最終狀態時之另外的能量釋放。咸信當淨反應焓與 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 較為緊密地匹配時催化速率增大。已發現淨反應焓在 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之 $\pm 10\%$ 、較佳為 $\pm 5\%$ 內之觸媒適用於大多數應用。在將低能量氫原子催化至較低能態之情況下，以與低能量氫原子之位能相同的因子對 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (方程式(5))之反應焓作相對論校正。

因此，一般反應係由以下給出：



且總反應為



q 、 r 、 m 及 p 為整數。 $H^* \left[\frac{a_H}{(m+p)} \right]$ 具有氫原子半徑 (對應於

分母中之1)及等於質子之 $(m+p)$ 倍的中心場，且 $H\left[\frac{a_H}{(m+p)}\right]$ 為半徑為 H 之 $\frac{1}{(m+p)}$ 的相應穩定狀態。當電子經歷自氫原子半徑至 $\frac{1}{(m+p)}$ 此距離之半徑的徑向加速時，能量以特徵光發射或第三體動能之形式釋放。發射可呈邊緣在 $[(p+m)^2 - p^2 - 2m] \cdot 13.6 \text{ eV}$ 或 $\frac{91.2}{[(p+m)^2 - p^2 - 2m]} \text{ nm}$ 及延伸至較長波長之極紫外線連續輻射之形式。除輻射之外，可發生諧振動能轉移以形成快H。隨後此等快 $H(n=1)$ 原子藉由與背景 H_2 碰撞而激發，接著發射相應 $H(n=3)$ 快原子可引起巴爾麥 α 發射(Balmer α emission)變寬。或者，快H為充當觸媒之H或低能量氫的直接產物，其中接受諧振能量轉移係與位能而非電離能有關。能量守恆產生動能對應於前一情況下之位能之一半的質子，及在後一情況下處於基本上靜止之觸媒離子。快質子之H複合輻射引起巴爾麥 α 發射變寬，此與符合過度動力平衡之熱氫之存量(inventory)不成比例。

在本發明中，諸如低能量氫反應、H催化、H催化反應、當提及氫時之催化、形成低能量氫之氫反應及低能量氫形成反應之術語均指諸如以下的反應：由方程式(5)定義之觸媒的方程式(6-9)之反應，其中形成氫態之原子H具有由方程式(1)及(3)得出之能階。當提及可將H催化至具有由方程式(1)及(3)得出之能階之H狀態或低能量氫狀態的反應混合物時，諸如低能量氫反應物、低能量氫反應混合物、觸媒混合物、用於低能量氫形成之反應物、產生或形成較低能態氫或低能量氫之反應物的相應術語亦可互換使用。

本發明之催化性較低能量氫躍遷需要可呈未經催化的原子氫之位能 27.2 eV 之整數 m 倍的吸熱化學反應形式之觸媒，其自原子H接受能量以引起躍遷。吸熱觸媒反應可為自諸如原子或離子之物質電離一或多個電子（例如對於 $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^{2+}$ ， $m=3$ ）且可進一步包含鍵裂與自一或多種初始鍵搭配物電離一或多個電子的協同反應（例如對於 $\text{NaH} \rightarrow \text{Na}^{2+} + \text{H}$ ， $m=2$ ）。 He^+ 因為其以 54.417 eV （為 $2 \cdot 27.2\text{ eV}$ ）電離所以滿足觸媒準則——焓變量等於 27.2 eV 之整數倍的化學或物理過程。整數數目之氫原子亦可充當 27.2 eV 焓之整數倍的觸媒。氫原子 $\text{H}(1/p)$ $p=1,2,3,\dots,137$ 可經歷由方程式(1)及(3)給出之朝向較低能態之進一步躍遷，其中一個原子之躍遷係由一或多個以諧振及非輻射方式接受 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ 且伴隨有位能對換之其他H原子所催化。關於由 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ 諧振轉移至 $\text{H}(1/p')$ 所誘導的 $\text{H}(1/p)$ 躍遷至 $\text{H}(1/(p+m))$ 的一般總方程係由以下表示：

$$\text{H}(1/p') + \text{H}(1/p) \rightarrow \text{H} + \text{H}(1/(p+m)) + [2pm + m^2 - p'^2 + 1] \cdot 13.6\text{ eV} \quad (10)$$

氫原子可充當觸媒，其中分別對於一、二及三個原子 $m=1$ 、 $m=2$ 及 $m=3$ ，從而充當另一者之觸媒。當極快H與分子碰撞形成 2H 時，二原子觸媒 2H 之速率可能較高，其中兩個原子自碰撞搭配物之第三氫原子諧振式及非輻射式接受 54.4 eV 。藉由同一機制，兩個熱 H_2 之碰撞提供 3H 以充當第四者之 $3 \cdot 27.2\text{ eV}$ 之觸媒。與預測一致，觀察到在 22.8 nm 及 10.1 nm 下之 EUV 連續譜、意外的 ($> 100\text{ eV}$) 巴爾麥 α 線

變寬、高度激發之H狀態、產物氣體 $H_2(1/4)$ ，及大能量釋放。

$H(1/4)$ 基於其多極性及其形成之選擇規則為較佳低能量氫狀態。因此，在形成 $H(1/3)$ 之情況下，躍遷至 $H(1/4)$ 可根據方程式(10)由H催化而快速發生。類似地， $H(1/4)$ 為對應於方程式(5)中之 $m=3$ 、大於或等於81.6 eV之觸媒能量的較佳狀態。在此情況下，朝向觸媒之能量轉移包含形成方程式(7)之 $H^*(1/4)$ 中間物的81.6 eV以及來自中間物衰變之27.2 eV之整數。舉例而言，焓為108.8 eV之觸媒可藉由自122.4 eV之 $H^*(1/4)$ 衰變能量接受81.6 eV以及27.2 eV來形成 $H^*(1/4)$ 。95.2 eV之剩餘衰變能量釋放至環境中以形成較佳狀態 $H(1/4)$ ，其接著反應形成 $H_2(1/4)$ 。

適合觸媒可因此提供 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之正的淨反應焓。亦即，觸媒自氫原子諧振式接受非輻射性能量轉移且將能量釋放至環境中以實現朝向分數量子能級之電子躍遷。由於非輻射性能量轉移，因此氫原子變得不穩定且發射其他能量直至其達成具有由方程式(1)及(3)給出之主能階之較低能量非輻射性狀態為止。因此，催化自氫原子尺寸相應減小 ($r_n = na_H$) 之氫原子釋放能量，其中 n 係由方程式(3)給出。舉例而言， $H(n=1)$ 至 $H(n=1/4)$ 之催化釋放 204 eV，且氫半徑自 a_H 減小至 $\frac{1}{4}a_H$ 。

觸媒產物 $H(1/p)$ 亦可與電子反應形成低能量氫氫化物離子 $H^-(1/p)$ ，或兩個 $H(1/p)$ 可反應形成相應分子低能量氫 $H_2(1/p)$ 。特定言之，觸媒產物 $H(1/p)$ 亦可與電子反應形成

結合能為 E_B 之新的氫化物離子 $H^-(1/p)$:

$$E_B = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right) \quad (11)$$

其中 p = 大於 1 之整數， $s=1/2$ ， $\hbar$ 為普朗克常數棒 (Planck's constant bar)， μ_0 為真空磁導率 (permeability of vacuum)，

m_e 為電子質量， μ_e 為由 $\mu_e = \frac{m_e m_p}{\frac{m_e}{\sqrt{\frac{3}{4}}} + m_p}$ 給出之折合電子質量，其

中 m_p 為質子質量， a_0 為波爾半徑，且離子半徑為 $r_1 = \frac{a_0}{p} (1 + \sqrt{s(s+1)})$ 。根據方程式 (11)，氫化物離子之計算電離能為 0.75418 eV ，且實驗值為 $6082.99 \pm 0.15 \text{ cm}^{-1} (0.75418 \text{ eV})$ 。低能量氫氫化物離子之結合能可由 X 射線光電子光譜法 (XPS) 量測。

高磁場位移 NMR 峰為存在相對於普通氫化物離子半徑減小且質子反磁性遮蔽增大之較低能態氫的直接證據。位移係由量級 p 之兩個電子及質子場之反磁性的貢獻之和得出 (Mills GUTCP 方程式 (7.87)) :

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

其中第一項適用於 $H^-(p=1)$ 及 $H^-(1/p)$ (p = 大於 1 之整數)，且 α 為精細結構常數。預測之低能量氫氫化物峰相對於普通氫化物離子異常地朝向高磁場位移。在一個實施例中，峰在

TMS之高磁場。相對於TMS之NMR位移可大於關於單獨或構成化合物之普通 H^- 、 H 、 H_2 或 H^+ 中之至少一者所知的NMR位移。位移可大於以下中之至少一者：0 ppm、-1 ppm、-2 ppm、-3 ppm、-4 ppm、-5 ppm、-6 ppm、-7 ppm、-8 ppm、-9 ppm、-10 ppm、-11 ppm、-12 ppm、-13 ppm、-14 ppm、-15 ppm、-16 ppm、-17 ppm、-18 ppm、-19 ppm、-20 ppm、-21 ppm、-22 ppm、-23 ppm、-24 ppm、-25 ppm、-26 ppm、-27 ppm、-28 ppm、-29 ppm、-30 ppm、-31 ppm、-32 ppm、-33 ppm、-34 ppm、-35 ppm、-36 ppm、-37 ppm、-38 ppm、-39 ppm及-40 ppm。

相對於裸質子之絕對位移之範圍(其中TMS位移相對於裸質子為約-31.5)可為 $-(p29.9+p^22.74)$ ppm (方程式(12))，在約以下至少一者之範圍內： ± 5 ppm、 ± 10 ppm、 ± 20 ppm、 ± 30 ppm、 ± 40 ppm、 ± 50 ppm、 ± 60 ppm、 ± 70 ppm、 ± 80 ppm、 ± 90 ppm及 ± 100 ppm。相對於裸質子之絕對位移之範圍可為 $-(p29.9+p^21.59\times 10^{-3})$ ppm (方程式(12))，在約以下至少一者之範圍內：約0.1%至99%、1%至50%、及1%至10%。

在另一個實施例中，固體基質(諸如如NaOH或KOH之氫氧化物之基質)中低能量氫物質(諸如低能量氫原子、氫化物離子或分子)之存在引起基質質子朝向高磁場位移。基質質子(諸如NaOH或KOH之質子)可交換。在一個實施例中，位移可引起基質峰在相對於TMS約-0.1 ppm至-5 ppm範圍內。NMR測定可包含魔角旋轉 ^1H 核磁諧振光譜術(MAS ^1H NMR)。

$H(1/p)$ 可與質子反應且兩個 $H(1/p)$ 可反應，分別形成 $H_2(1/p)^+$ 及 $H_2(1/p)$ 。氫分子離子及分子電荷及電流密度函數、鍵距及能量係在非輻射約束下由橢球座標中之拉普拉斯算符(Laplacian)求解。

$$(\eta - \zeta)R_\xi \frac{\partial}{\partial \xi} \left(R_\xi \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right) + (\zeta - \xi)R_\eta \frac{\partial}{\partial \eta} \left(R_\eta \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \right) + (\xi - \eta)R_\zeta \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(R_\zeta \frac{\partial \phi}{\partial \zeta} \right) = 0 \quad (13)$$

在長橢球體分子軌域之各焦點具有 $+pe$ 之中心場的氫分子離子之總能 E_T 為

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 (2a_H)^3} \frac{1}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\} \\ = -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV} \quad (14)$$

其中 p 為整數， c 為真空中之光速，且 μ 為折合核質量。在長橢球體分子軌域之各焦點具有 $+pe$ 之中心場的氫分子之總能為

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] + p \sqrt{\frac{2\hbar \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0^3}}}{m_e c^2}} \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{\frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{a_0}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\} \\ = -p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV} \tag{15}$$

氫分子 $H_2(1/p)$ 之鍵解離能 E_D 為相應氫原子之總能與 E_T 之間的差

$$E_D = E(2H(1/p)) - E_T \tag{16}$$

其中

$$E(2H(1/p)) = -p^2 27.20 \text{ eV} \tag{17}$$

E_D 係由方程式 (16-17) 及 (15) 得出：

$$E_D = -p^2 27.20 \text{ eV} - E_T \\ = -p^2 27.20 \text{ eV} - (-p^2 31.351 \text{ eV} - p^3 0.326469 \text{ eV}) \\ = p^2 4.151 \text{ eV} + p^3 0.326469 \text{ eV} \tag{18}$$

$H_2(1/p)$ 可由 X 射線光電子光譜術 (XPS) 鑑別，其中除電離電子以外之電離產物可為諸如包含兩個質子及電子、H 原子、低能量氫原子、分子離子、氫分子離子及 $H_2(1/p)^+$ 之可能者中之至少一者，其中能量可因基質而位移。

催化產物氣體之 NMR 提供 $H_2(1/p)$ 之理論預測化學位移之

確定性測試。一般而言，歸因於電子明顯更接近核之橢圓座標中之分率半徑， $H_2(1/p)$ 之 ^1H NMR諧振經預測在 H_2 之高磁場。 $H_2(1/p)$ 之預測位移 $\frac{\Delta B_T}{B}$ 由量級 p 之兩個電子及光子磁場之反磁性的貢獻之和給出(Mills GUTCP方程式(11.415-11.416))：

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -\mu_0 \left(4 - \sqrt{2} \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} \right) \frac{pe^2}{36a_0m_e} (1 + p\alpha^2) \quad (19)$$

$$\frac{\Delta B_T}{B} = -(p28.01 + p^2 1.49 \times 10^{-3}) \text{ppm} \quad (20)$$

其中第一項適用於 H_2 ($p=1$)及 $H_2(1/p)$ ($p=\text{大於}1\text{之整數}$)。實驗絕對 H_2 氣相諧振位移 -28.0 ppm與預測之絕對氣相位移 -28.01 ppm (方程式(20))相當吻合。預測之分子低能量氫峰相對於普通 H_2 異常地朝向高磁場位移。在一個實施例中，峰在TMS之高磁場。相對於TMS之NMR位移可大於關於單獨或構成化合物之普通 H^- 、 H 、 H_2 或 H^+ 中之至少一者所知的NMR位移。位移可大於以下中之至少一者：0 ppm、-1 ppm、-2 ppm、-3 ppm、-4 ppm、-5 ppm、-6 ppm、-7 ppm、-8 ppm、-9 ppm、-10 ppm、-11 ppm、-12 ppm、-13 ppm、-14 ppm、-15 ppm、-16 ppm、-17 ppm、-18 ppm、-19 ppm、-20 ppm、-21 ppm、-22 ppm、-23 ppm、-24 ppm、-25 ppm、-26 ppm、-27 ppm、-28 ppm、-29 ppm、-30 ppm、-31 ppm、-32 ppm、-33 ppm、-34 ppm、-35 ppm、-36 ppm、-37 ppm、-38 ppm、-39 ppm及-40 ppm。相對於裸質子之絕對位移之範圍(其中TMS位移

相對於裸質子為約 -31.5) 可為 $-(p28.01+p^22.56)$ ppm (方程式 (20))，在約以下至少一者之範圍內： ± 5 ppm、 ± 10 ppm、 ± 20 ppm、 ± 30 ppm、 ± 40 ppm、 ± 50 ppm、 ± 60 ppm、 ± 70 ppm、 ± 80 ppm、 ± 90 ppm 及 ± 100 ppm。相對於裸質子之絕對位移之範圍可為 $-(p28.01+p^21.49\times 10^{-3})$ ppm (方程式 (20))，在約以下至少一者之範圍內：約 0.1% 至 99%、1% 至 50%、及 1% 至 10%。

氫型分子 $H_2(1/p)$ 之 $\nu=0$ 至 $\nu=1$ 躍遷的振動能 E_{vib} 為

$$E_{vib} = p^2 0.515902 \text{ eV} \quad (21)$$

其中 p 為整數。

氫型分子 $H_2(1/p)$ 之 J 至 $J+1$ 躍遷的旋轉能 E_{rot} 為

$$E_{rot} = E_{J+1} - E_J = \frac{\hbar^2}{I} [J+1] = p^2 (J+1) 0.01509 \text{ eV} \quad (22)$$

其中 p 為整數且 I 為慣性矩。對氣體中及捕捉於固體基質中之電子束受激分子觀察 $H_2(1/4)$ 之旋振發射 (Ro-vibrational emission)。

旋轉能之 p^2 依賴性係由核間距離之逆 p 依賴性及對慣性矩 I 之相應影響引起。經預測之 $H_2(1/p)$ 之核間距離 $2c'$ 為

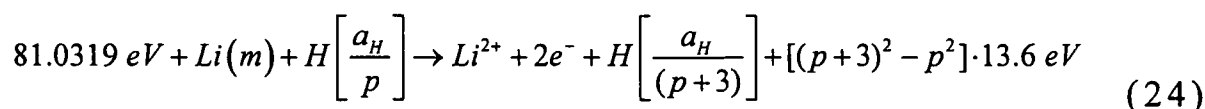
$$2c' = \frac{a_0 \sqrt{2}}{p} \quad (23)$$

$H_2(1/p)$ 之旋轉能及振動能中之至少一者可由電子束激發發射光譜術、拉曼光譜術 (Raman spectroscopy) 及傅里葉變換紅外 (Fourier transform infrared, FTIR) 光譜術中之至少一者來量測。 $H_2(1/p)$ 可捕捉於基質中以便量測，諸如捕捉於 MOH、MX 及 M_2CO_3 (M =鹼金屬； X =鹵離子) 基質中之至

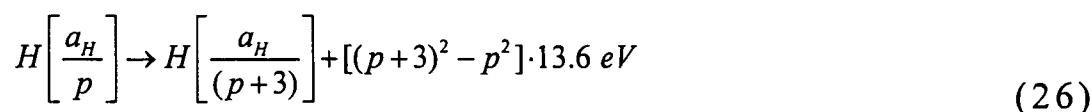
少一者。

觸媒

據預測， He^+ 、 Ar^+ 、 Sr^+ 、 Li 、 K 、 NaH 、 $n\text{H}$ (n = 整數) 及 H_2O 因為其滿足觸媒準則——焓變量等於原子氫位能 27.2 eV 之整數倍的化學或物理過程，所以可充當觸媒。特定言之，如下提供催化系統：將 t 個電子自原子各自電離至連續能階，使得 t 個電子之電離能之和為約 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ ，其中 m 為整數。一個如此之催化系統包括鋰原子。鋰之第一及第二電離能分別為 5.39172 eV 及 75.64018 eV 。 Li 至 Li^{2+} 之雙電離 ($t=2$) 反應因而具有 81.0319 eV (等於 $3 \cdot 27.2\text{ eV}$) 之淨反應焓。



且總反應為



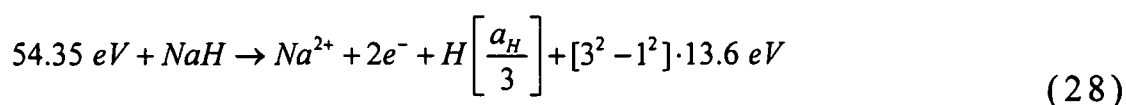
其中方程式(5)中 $m=3$ 。在催化期間放出之能量比觸媒損失之能量大得多。釋放之能量大於習知化學反應。舉例而言，當氫氣及氧氣經歷燃燒以形成水時，



已知之水之生成焓為每個氫原子 $\Delta H_f = -286\text{ kJ/mole}$ 或 1.48 eV 。相比之下，經歷達至 $n = \frac{1}{2}$ 之催化步驟之各 ($n=1$) 普通氫

原子淨釋放 40.8 eV 。此外，可發生其他催化躍遷：
 $n=\frac{1}{2}\rightarrow\frac{1}{3}, \frac{1}{3}\rightarrow\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\rightarrow\frac{1}{5}$, 等。一旦催化開始，低能量氫即在稱為歧化之過程中進一步自催化，其中H或H(1/p)充當另一H或H(1/p')(p可等於p')之觸媒。

某些分子亦可用以實現H躍遷以形成低能量氫。一般而言，包含氫之化合物(諸如MH，其中M為除氫外之元素)充當氫來源及觸媒來源。如下提供催化反應：使M-H鍵斷裂加上將 t 個電子自原子M各自電離至連續能階，使得鍵能與 t 個電子之電離能的和為約 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ ，其中 m 為整數。一個如此之催化系統包括氫化鈉。NaH之鍵能為 1.9245 eV ，且Na之第一及第二電離能分別為 5.13908 eV 及 47.2864 eV 。因為NaH鍵能加上Na至 Na^{2+} 之雙電離($t=2$)為 54.35 eV ($2 \cdot 27.2\text{ eV}$)，所以基於此等能量，NaH分子可充當觸媒及H來源。協同觸媒反應係由以下給出：



且總反應為



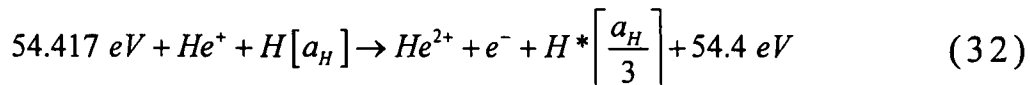
在 $m=2$ 之情況下，觸媒NaH之產物為H(1/3)，其快速起反應而形成H(1/4)，接著形成分子低能量氫 $\text{H}_2(1/4)$ 作為較佳狀態。特定言之，在高氫原子濃度之情況下，由

$H(1/3)(p=3) \rightarrow H(1/4)(p+m=4)$ (以 H 作為觸媒 ($p'=1$; $m=1$)) 之方程式 (10) 給出之進一步躍遷可較快：

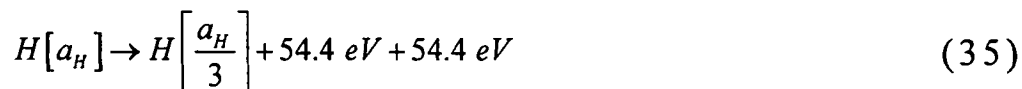


因為 $p=4$ 量子態之多極性大於賦予 $H(1/4)$ 較長理論壽命以供進一步催化的四極，所以相應分子低能量氫 $H_2(1/4)$ 及低能量氫氫化物離子 $H^-(1/4)$ 為與觀察結果一致之較佳最終產物。

因為氦之第二電離能為等於 $2 \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之 54.417 eV ，所以氫離子可充當觸媒。在此情況下， 54.417 eV 自原子氫以非輻射方式轉移至 He^+ ，其經諧振電離。電子衰變至 $n=1/3$ 狀態，同時進一步釋放 54.417 eV ，如方程式 (33) 中所給出。催化反應為



且總反應為

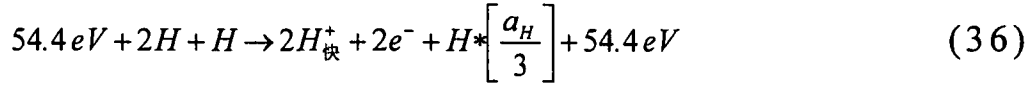


其中 $H^*\left[\frac{a_H}{3}\right]$ 具有氫原子半徑及等於質子 3 倍之中心場且 $H\left[\frac{a_H}{3}\right]$ 為半徑為 H 之 $1/3$ 的相應穩定狀態。因為電子經歷自氫原子半徑至 $1/3$ 此距離之半徑的徑向加速度，所以能量以特徵光發射或第三體動能之形式釋放。如對於當高能低

能量氫中間物衰變時之此躍遷反應所預測，觀察到特徵連續發射在 $22.8 \text{ nm}(54.4 \text{ eV})$ 下起始且持續至較長波長。已藉由在氫與氫脈衝放電時記錄之 EUV 光譜觀察到發射。或者，與對應於高動能 H 之異常巴爾麥 α 線變寬之觀察結果一致，可發生形成快 H 之諧振動能轉移。

氫及低能量氫可充當觸媒。氫原子 $H(1/p)$ $p=1,2,3,\dots,137$ 可經歷由方程式(1)及(3)給出之朝向較低能態之躍遷，其中一個原子之躍遷係由以諧振及非輻射方式接受 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 且伴隨有位能對換之第二者所催化。由 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 諧振轉移至 $H(1/p')$ 所誘導之 $H(1/p)$ 躍遷至 $H(1/(m+p))$ 的總體一般方程係由方程式(10)表示。因此，氫原子可充當觸媒，其中分別對於一、二及三個原子 $m=1$ 、 $m=2$ 及 $m=3$ ，從而充當另一者之觸媒。僅當 H 密度較高時，二或三原子觸媒情況之速率將會為可觀的。但，高 H 密度並不罕見。容許 $2H$ 或 $3H$ 充當第三或第四者之能量受體的高氫原子濃度可在若干情況下達成，該等若干情況諸如為因溫度及重力驅動之密度而在太陽及星星表面、在承載多個單層之金屬表面，及在高度解離電漿(尤其為捏縮氫電漿)中。另外，當兩個 H 原子因熱 H 與 H_2 碰撞而出現時易於達成三體 H 相互作用。此事件可通常在具有大量極快 H 之電漿中發生。此由原子 H 發射之異常強度所證實。在此等情況下，可經由多極偶合自氫原子至足夠鄰近(通常幾埃)之兩個其他氫原子發生能量轉移。接著，三個氫原子之間的反應(藉此兩個原子以諧振及非輻射方式自第三氫原子接受 54.4 eV ，使得 $2H$ 充當觸媒)

係由以下給出：



且總反應為



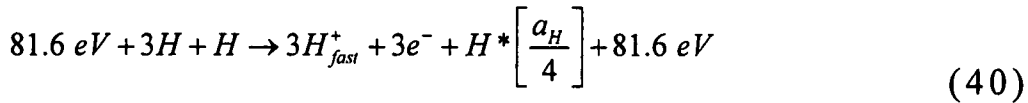
因為方程式(37)之 $H^*\left[\frac{a_H}{3}\right]$ 中間物等同於方程式(33)之 $H^*\left[\frac{a_H}{3}\right]$ 中間物，所以預測連續發射係與以 He^+ 作為觸媒時之連續發射相同。朝向兩個 H 之能量轉移引起觸媒激發態抽運，且如由方程式(36-39)所給出及藉由諧振動能轉移(如在 He^+ 作為觸媒之情況下)直接產生快 H 。對於氫電漿亦觀察到 22.8 nm 連續輻射、 H 激發態抽運及快 H ，其中 $2H$ 充當觸媒。

分別由方程式(32-35)及方程式(36-39)給出之氦離子與 $2H$ 觸媒反應兩者之預測產物為 $H(1/3)$ 。在高氫原子濃度之情況下，由方程式(10)給出之 $H(1/3)$ ($p=3$) 朝向 $H(1/4)$ ($p+m=4$) 之進一步躍遷(以 H 作為觸媒 ($p'=1$; $m=1$)) 可較快，如方程式(31)所給出。預測次要連續帶自隨後 He^+ 催化產物 $\left[\frac{a_H}{3}\right]$ (方程式(32-35)) 快速躍遷至 $\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 狀態而出現，

其中原子氫自 $\left[\frac{a_H}{3}\right]$ 接受 27.2 eV 。亦觀察此 30.4 nm 連續譜。

類似地，當 Ar^+ 充當觸媒時，觀察其預測 91.2 nm 及 45.6 nm 連續譜。亦觀察預測之快 H 。

在涉及直接躍遷至 $\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 狀態之另一 H 原子觸媒反應中，兩個熱 H_2 分子碰撞且解離，使得三個 H 原子充當第四者之 $3 \cdot 27.2\text{ eV}$ 之觸媒。接著，四個氫原子之間的反應(藉此三個原子以諧振及非輻射方式自第四氫原子接受 81.6 eV ，使得 $3H$ 充當觸媒)係由以下給出：



且總反應為



預測歸因於方程式 (40) 之 $H^* \left[\frac{a_H}{4}\right]$ 中間物之極紫外線連續輻射帶在 122.4 eV (10.1 nm) 下具有短波長截止值且延伸至較長波長。此連續譜帶係以實驗證實。一般而言，藉由接受 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ 而使 H 躍遷至 $H \left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]$ ，得到連續譜帶，其具有由以下給出之短波長截止值及能量 $E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)}$ ：

$$E_{\left(H \rightarrow H \left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)} = m^2 \cdot 13.6\text{ eV} \quad (44)$$

$$\lambda_{\left(H \rightarrow H\left[\frac{a_H}{p=m+1}\right]\right)} = \frac{91.2}{m^2} \text{ nm} \tag{45}$$

且延伸至長於相應截止值之波長。實驗觀察 10.1 nm、22.8 nm及 91.2 nm連續譜之氫發射系列。

I. 低能量氫

具有由以下給出之結合能的氫原子：

$$\text{結合能} = \frac{13.6 \text{ eV}}{(1/p)^2} \tag{46}$$

(其中 p 為大於 1，較佳為 2 至 137 之整數) 為本發明之 H 催化反應的產物。原子、離子或分子之結合能(亦稱為電離能)為自原子、離子或分子移除一個電子所需之能量。具有方程式(46)中給出之結合能的氫原子在下文中稱作「低能量氫原子」或「低能量氫」。半徑 $\frac{a_H}{p}$ (其中 a_H 為普通氫原子之半徑且 p 為整數) 之低能量氫的符號為 $H\left[\frac{a_H}{p}\right]$ 。具有半徑 a_H 之氫原子在下文中稱作「普通氫原子」或「正常氫原子」。普通原子氫之特徵在於其結合能為 13.6 eV。

低能量氫係藉由使普通氫原子與適合觸媒反應而形成，其淨反應焓為：

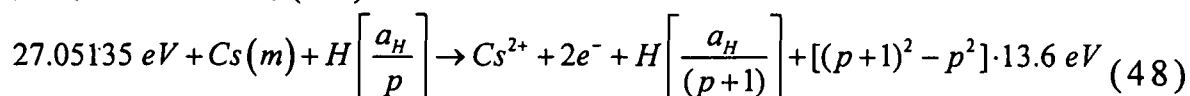
$$m \cdot 27.2 \text{ eV} \tag{47}$$

其中 m 為整數。咸信當淨反應焓與 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 較為緊密地匹配時催化速率增大。已發現淨反應焓在 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之 $\pm 10\%$ 、較佳為 $\pm 5\%$ 內之觸媒適用於大多數應用。

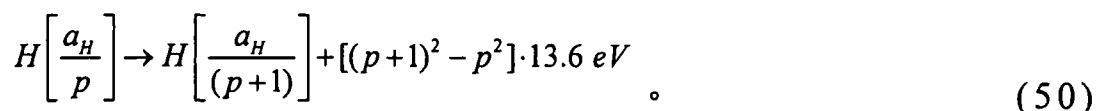
此催化自氫原子尺寸相應減小 ($r_n = na_H$) 之氫原子釋放能

量。舉例而言， $H(n=1)$ 至 $H(n=1/2)$ 之催化釋放 40.8 eV ，且氫半徑自 a_H 減小至 $\frac{1}{2}a_H$ 。如下提供催化系統：將 t 個電子自原子各自電離至連續能階，使得 t 個電子之電離能之和為約 $m \cdot 27.2\text{ eV}$ ，其中 m 為整數。

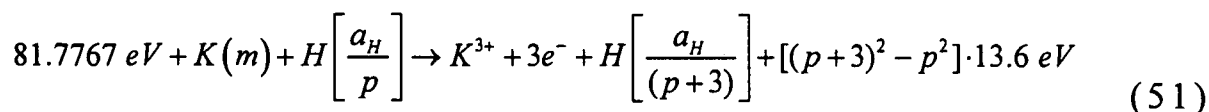
上文給出(方程式(6-9)之此等催化系統之另一實例包括銫。銫之第一及第二電離能分別為 3.89390 eV 及 23.15745 eV 。 Cs 至 Cs^{2+} 之雙電離($t=2$)反應因而具有 27.05135 eV 之淨反應焓，其等於方程式(47)中之 $m=1$ 。



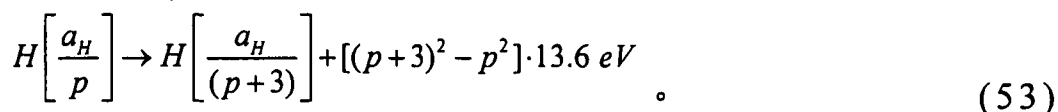
且總反應為



另一催化系統包括鉀金屬。鉀之第一、第二及第三電離能分別為 4.34066 eV 、 31.63 eV 、 45.806 eV 。 K 至 K^{3+} 之三重電離($t=3$)反應因而具有 81.7767 eV 之淨反應焓，其等於方程式(47)中之 $m=3$ 。



且總反應為



作為電源，在催化期間放出之能量比觸媒損失之能量大得多。釋放之能量大於習知化學反應。舉例而言，當氫氣及氧氣經歷燃燒以形成水時，



已知之水之生成焓為每個氫原子 $\Delta H_f = -286$ 千焦/莫耳或 1.48 eV。相比之下，經歷催化之各 ($n=1$) 普通氫原子淨釋放 40.8 eV。此外，可發生其他催化躍遷： $n = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{4}, \frac{1}{4} \rightarrow \frac{1}{5}$, 等。一旦催化開始，低能量氫即在稱為歧化之過程中進一步自催化。此機制類似於無機離子催化之機制。但由於焓與 $m \cdot 27.2$ eV 之較佳匹配，因此低能量氫催化之反應速率應高於無機離子觸媒之反應速率。

表 1 中給出能夠提供約 $m \cdot 27.2$ eV (其中 m 為整數) 之淨反應焓以產生低能量氫 (藉此 t 個電子自原子或離子電離) 的氫觸媒。第一行給出之原子或離子經電離以提供第十行給出之 $m \cdot 27.2$ eV 的淨反應焓，其中在第十一行給出 m 。參與電離之電子係與電離電位 (亦稱為電離能或結合能) 一起給出。原子或離子之第 n 個電子之電離電位係由 IP_n 表示且由 CRC 給出。亦即例如 $Li + 5.39172 \text{ eV} \rightarrow Li^+ + e^-$ 及 $Li^+ + 75.6402 \text{ eV} \rightarrow Li^{2+} + e^-$ 。第一電離電位 $IP_1 = 5.39172 \text{ eV}$ 及第二電離電位 $IP_2 = 75.6402 \text{ eV}$ 分別在第二及第三行給出。 Li 雙電離之淨反應焓如第十行給出為 81.0319 eV ，及如第十一行給出之等式 (5) 中之 $m=3$ 。

表 1. 氫觸媒

觸媒	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6	IP7	IP8	烔	m
Li	5.39172	75.6402							81.032	3
Be	9.32263	18.2112							27.534	1
Mg	7.646235	15.03527	80.1437	109.2655	141.27				353.3607	13
K	4.34066	31.63	45.806						81.777	3
Ca	6.11316	11.8717	50.9131	67.27					136.17	5
Ti	6.8282	13.5755	27.4917	43.267	99.3				190.46	7
V	6.7463	14.66	29.311	46.709	65.2817				162.71	6
Cr	6.76664	16.4857	30.96						54.212	2
Mn	7.43402	15.64	33.668	51.2					107.94	4
Fe	7.9024	16.1878	30.652						54.742	2
Fe	7.9024	16.1878	30.652	54.8					109.54	4
Co	7.881	17.083	33.5	51.3					109.76	4
Co	7.881	17.083	33.5	51.3	79.5				189.26	7
Ni	7.6398	18.1688	35.19	54.9	76.06				191.96	7
Ni	7.6398	18.1688	35.19	54.9	76.06	108			299.96	11
Cu	7.72638	20.2924							28.019	1
Zn	9.39405	17.9644							27.358	1
Zn	9.39405	17.9644	39.723	59.4	82.6	108	134	174	625.08	23
Ga	5.999301	20.51514							26.5144	1
As	9.8152	18.633	28.351	50.13	62.63	127.6			297.16	11
Se	9.75238	21.19	30.8204	42.945	68.3	81.7	155.4		410.11	15
Kr	13.9996	24.3599	36.95	52.5	64.7	78.5			271.01	10
Kr	13.9996	24.3599	36.95	52.5	64.7	78.5	111		382.01	14
Rb	4.17713	27.285	40	52.6	71	84.4	99.2		378.66	14
Rb	4.17713	27.285	40	52.6	71	84.4	99.2	136	514.66	19
Sr	5.69484	11.0301	42.89	57	71.6				188.21	7
Nb	6.75885	14.32	25.04	38.3	50.55				134.97	5
Mo	7.09243	16.16	27.13	46.4	54.49	68.8276			220.10	8
Mo	7.09243	16.16	27.13	46.4	54.49	68.8276	125.664	143.6	489.36	18
Ru	7.3605	16.76	28.47	50	60				162.5905	6
Pd	8.3369	19.43							27.767	1
Sn	7.34381	14.6323	30.5026	40.735	72.28				165.49	6
Te	9.0096	18.6							27.61	1
Te	9.0096	18.6	27.96						55.57	2
Cs	3.8939	23.1575							27.051	1
Ba	5.211664	10.00383	35.84	49	62				162.0555	6
Ba	5.21	10	37.3							
Ce	5.5387	10.85	20.198	36.758	65.55				138.89	5
Ce	5.5387	10.85	20.198	36.758	65.55	77.6			216.49	8
Pr	5.464	10.55	21.624	38.98	57.53				134.15	5
Sm	5.6437	11.07	23.4	41.4					81.514	3
Gd	6.15	12.09	20.63	44					82.87	3
Dy	5.9389	11.67	22.8	41.47					81.879	3
Pb	7.41666	15.0322	31.9373						54.386	2

Pt	8.9587	18.563			27.522	1
He ⁺		54.4178			54.418	2
Na ⁺		47.2864	71.6200	98.91	217.816	8
Mg ²⁺			80.1437		80.1437	3
Rb ⁺		27.285			27.285	1
Fe ³⁺				54.8	54.8	2
Mo ²⁺			27.13		27.13	1
Mo ⁴⁺				54.49	54.49	2
In ³⁺				54	54	2
Ar ⁺		27.62			27.62	1
Sr ⁺		11.03	42.89		53.92	2

本發明之低能量氫氫化物離子可藉由電子來源與低能量氫反應來形成，低能量氫亦即為結合能為約 $\frac{13.6\text{ eV}}{n^2}$ 之氫原子，其中 $n=\frac{1}{p}$ 且 p 為大於 1 之整數。低能量氫氫化物離子係由 $H^-(n=1/p)$ 或 $H^-(1/p)$ 表示：

$$H\left[\frac{a_H}{p}\right]+e^- \rightarrow H^-(n=1/p) \tag{55}$$

$$H\left[\frac{a_H}{p}\right]+e^- \rightarrow H^-(1/p) \tag{56}$$

低能量氫氫化物離子不同於包含普通氫原子核及兩個電子之結合能為約 0.8 eV 之普通氫化物離子。後者在下文稱作「普通氫化物離子」或「正常氫化物離子」。低能量氫氫化物離子包含氫原子核(包括氕、氘或氚)，及兩個不可區分之電子，其結合能如方程式(57-58)所示。

低能量氫氫化物離子之結合能可由下式表示：

$$\text{結合能} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^2} - \frac{\pi\mu_0 e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1+\sqrt{s(s+1)}}{p}\right]^3} \right) \tag{57}$$

其中 p 為大於 1 之整數， $s=1/2$ ， π 為 $\text{pi}(\pi)$ ， $\hbar$ 為普朗克常數

棒， μ_0 為真空磁導率， m_e 為電子質量， μ_e 為由 $\mu_e = \frac{m_e m_p}{\frac{m_e}{\sqrt{\frac{3}{4}}} + m_p}$ 給

出之折合電子質量，其中 m_p 為質子質量， a_H 為氫原子半徑， a_0 為波爾半徑，且 e 為基本電荷。半徑係由以下給出：

$$r_2=r_1=a_0\left(1+\sqrt{s(s+1)}\right); s=\frac{1}{2}。 \tag{58}$$

表 2 中展示隨 p 而變之低能量氫氫化物離子 $H^-(n=1/p)$ 之結合能，其中 p 為整數。

表 2. 隨 p 而變 (方程式 (57)) 之低能量氫氫化物離子 $H^-(n=1/p)$ 之代表性結合能。

氫化物離子	$r_1(a_0)^a$	結合能(eV) ^b	波長(nm)
$H^-(n=1)$	1.8660	0.7542	1644
$H^-(n=1/2)$	0.9330	3.047	406.9
$H^-(n=1/3)$	0.6220	6.610	187.6
$H^-(n=1/4)$	0.4665	11.23	110.4
$H^-(n=1/5)$	0.3732	16.70	74.23
$H^-(n=1/6)$	0.3110	22.81	54.35
$H^-(n=1/7)$	0.2666	29.34	42.25
$H^-(n=1/8)$	0.2333	36.09	34.46
$H^-(n=1/9)$	0.2073	42.84	28.94
$H^-(n=1/10)$	0.1866	49.38	25.11
$H^-(n=1/11)$	0.1696	55.50	22.34
$H^-(n=1/12)$	0.1555	60.98	20.33
$H^-(n=1/13)$	0.1435	65.63	18.89
$H^-(n=1/14)$	0.1333	69.22	17.91
$H^-(n=1/15)$	0.1244	71.55	17.33
$H^-(n=1/16)$	0.1166	72.40	17.12
$H^-(n=1/17)$	0.1098	71.56	17.33
$H^-(n=1/18)$	0.1037	68.83	18.01

$H^-(n=1/19)$	0.0982	63.98	19.38
$H^-(n=1/20)$	0.0933	56.81	21.82
$H^-(n=1/21)$	0.0889	47.11	26.32
$H^-(n=1/22)$	0.0848	34.66	35.76
$H^-(n=1/23)$	0.0811	19.26	64.36
$H^-(n=1/24)$	0.0778	0.6945	1785

a 方程式 (58)

b 方程式 (57)

根據本發明，提供一種低能量氫氫化物離子(H^-)，其根據方程式(57-58)之結合能大於普通氫化物離子對於 $p=2$ 直至23之結合(約0.75 eV)，且小於對於 $p=24$ (H^-)之結合。對於方程式(57-58)之 $p=2$ 至 $p=24$ ，氫化物離子結合能分別為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及0.69 eV。本文亦提供包含新穎氫化物離子之例示性組合物。

亦提供包含一或多種低能量氫氫化物離子及一或多種其他元素之例示性化合物。此種化合物稱作「低能量氫氫化物」。

普通氫物質之特徵在於以下結合能：(a)氫化物離子，0.754 eV(「普通氫化物離子」)；(b)氫原子(「普通氫原子」)，13.6 eV；(c)雙原子氫分子，15.3 eV(「普通氫分子」)；(d)氫分子離子，16.3 eV(「普通氫分子離子」)；及(e) H_3^+ ，22.6 eV(「普通三氫分子離子」)。在本文中，參考氫形式，「正常」與「普通」為同義詞。

根據本發明之另一實施例，提供一種化合物，其包含至少一種結合能增加之氫物質，諸如(a)結合能為約 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ ，

諸如在約 0.9 至 1.1 倍 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 之範圍內的氫原子，其中 p

為 2 至 137 之整數；(b) 結合能為約

$$\text{結合能} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_e e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right), \text{ 諸如在約}$$

$$0.9 \text{ 至 } 1.1 \text{ 倍結合能} = \frac{\hbar^2 \sqrt{s(s+1)}}{8\mu_e a_0^2 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^2} - \frac{\pi\mu_e e^2 \hbar^2}{m_e^2} \left(\frac{1}{a_H^3} + \frac{2^2}{a_0^3 \left[\frac{1 + \sqrt{s(s+1)}}{p} \right]^3} \right) \text{ 之}$$

範圍內的氫化物離子 (H^-)，其中 p 為 2 至 24 之整數；

(c) $H_4^+(1/p)$ ；(d) 結合能為約 $\frac{22.6}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ ，諸如在約 0.9 至 1.1 倍

$\frac{22.6}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ 之範圍內的三低能量氫分子離子 $H_3^+(1/p)$ ，其中 p 為 2

至 137 之整數；(e) 結合能為約 $\frac{15.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ ，諸如在約 0.9 至 1.1 倍

$\frac{15.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ 之範圍內的二低能量氫，其中 p 為 2 至 137 之整數；

(f) 結合能為約 $\frac{16.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ ，諸如在約 0.9 至 1.1 倍 $\frac{16.3}{\left(\frac{1}{p}\right)^2} \text{ eV}$ 之範圍

內的二低能量氫分子離子，其中 p 為整數，較佳為 2 至 137

之整數。

根據本發明之另一實施例，提供一種化合物，其包含至少一種結合能增加之氫物質，諸如(a)總能為約

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 (2a_H)^3} \frac{1}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\} \tag{59}$$
$$= -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV}$$

諸如在約0.9至1.1倍

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_H} (4\ln 3 - 1 - 2\ln 3) \left[1 + p \sqrt{\frac{2e^2}{4\pi\epsilon_0 (2a_H)^3} \frac{1}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{\frac{pe^2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{2a_H}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{3a_H}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\} \text{之範圍內的二低}$$
$$= -p^2 16.13392 \text{ eV} - p^3 0.118755 \text{ eV}$$

能量氫分子離子，其中p為整數， $\hbar$ 為普朗克常數棒， m_e 為電子質量， c 為真空中之光速，且 μ 為折合核質量；及(b)總能為約

$$E_T = -p^2 \left\{ \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left[\left(2\sqrt{2} - \sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \ln \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}-1} - \sqrt{2} \right] \left[1 + p \sqrt{\frac{2\hbar \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0^3}}}{m_e c^2}} \right] - \frac{1}{2} \hbar \sqrt{\frac{\frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{a_0}{p}\right)^3} - \frac{pe^2}{8\pi\epsilon_0 \left(\frac{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)a_0}{p}\right)^3}}{\mu}} \right\} \quad (60)$$

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

諸如在約0.9至1.1倍

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

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

的二低能量氫分子，其中 p 為整數且 a_0 為波爾半徑。

根據本發明之一個實施例(其中化合物包含帶負電之結合能增加之氫物質)，該化合物進一步包含一或多種陽離子，諸如質子、普通 H_2^+ 或普通 H_3^+ 。

本文提供一種製備包含至少一個低能量氫氫化物離子之化合物的方法。此等化合物在下文中稱作「低能量氫氫化物」。該方法包含使原子氫與淨反應焓為約 $\frac{m}{2} \cdot 27 \text{ eV}$ 之觸媒

反應，其中 m 為大於1之整數，較佳為小於400之整數，以產生結合能為約 $\frac{13.6 \text{ eV}}{\left(\frac{1}{p}\right)^2}$ 的結合能增加之氫原子，其中 p 為整

數，較佳為2至137之整數。另一催化產物為能量。可使結合能增加之氫原子與電子來源反應以產生結合能增加之氫化物離子。可使結合能增加之氫化物離子與一或多個陽離子反應以產生包含至少一個結合能增加之氫化物離子的化合物。

新穎氫物質組合物可包含：

(a) 至少一種具有以下結合能之中性、正或負的氫物質(在下文中為「結合能增加之氫物質」)，

(i) 大於相應普通氫物質之結合能，或

(ii) 大於任何氫物質在相應普通氫物質不穩定或觀察不到(因為在環境條件(標準溫度及壓力，STP)下普通氫物質之結合能小於熱能，或為負)時之結合能；及

(b) 至少一種其他元素。本發明之化合物在下文中稱作「結合能增加之氫化合物」。

在此背景下，「其他元素」意謂除結合能增加之氫物質外之元素。因此，其他元素可為普通氫物質，或除氫以外之任何元素。在一群化合物中，其他元素及結合能增加之氫物質為中性。在另一群化合物中，其他元素及結合能增加之氫物質帶電，使得其他元素提供其餘電荷以形成中性化合物。前一群化合物之特徵在於分子及配位結合；後一群之特徵在於離子鍵結。

亦提供包含以下之新穎化合物及分子離子：

(a) 至少一種具有以下總能之中性、正或負的氫物質(在下文中為「結合能增加之氫物質」)，

(i)大於相應普通氫物質之總能，或

(ii)大於任何氫物質在相應普通氫物質不穩定或觀察不到(因為在環境條件下普通氫物質之總能小於熱能，或為負)時之總能；及

(b) 至少一種其他元素。

氫物質總能為自氫物質移除所有電子之能量和。根據本發明之氫物質的總能大於相應普通氫物質之總能。根據本發明具有增加之總能的氫物質亦稱作「結合能增加之氫物質」，但具有增加之總能的氫物質之一些實施例可能具有小於相應普通氫物質之第一電子結合能的第一電子結合能。舉例而言， $p=24$ 之方程式(57-58)之氫化物離子的第一結合能小於普通氫化物離子之第一結合能，而 $p=24$ 之方程式(57-58)之氫化物離子的總能比相應普通氫化物離子之總能大得多。

本文亦提供包含以下之新穎化合物及分子離子：

(a) 複數種具有以下結合能之中性、正或負的氫物質(在下文中為「結合能增加之氫物質」)，

(i) 大於相應普通氫物質之結合能，或

(ii) 大於任何氫物質在相應普通氫物質不穩定或觀察不到(因為在環境條件下普通氫物質之結合能小於熱能，或為負)時之結合能；及

(b) 視情況選用之一種其他元素。本發明之化合物在下文中稱作「結合能增加之氫化合物」。

結合能增加之氫物質可藉由使一或多種低能量氫原子與

電子、低能量氫原子、含有以下至少一者之化合物中的一或多者反應來形成：所述結合能增加之氫物質，及至少一種除結合能增加之氫物質外之其他原子、分子或離子。

亦提供包含以下之新穎化合物及分子離子：

(a) 複數種具有以下總能之中性、正或負的氫物質(在下文中為「結合能增加之氫物質」)，

(i) 大於普通分子氫之總能，或

(ii) 大於任何氫物質在相應普通氫物質不穩定或觀察不到(因為在環境條件下普通氫物質之總能小於熱能，或為負)時之總能；及

(b) 視情況選用之一種其他元素。本發明之化合物在下文中稱作「結合能增加之氫化合物」。

在一個實施例中，提供一種包含至少一種選自以下之結合能增加之氫物質的化合物：(a)根據方程式(57-58)之結合能對於 $p=2$ 直至23大於且對於 $p=24$ 小於普通氫化物離子之結合(約0.8 eV)的氫化物離子(「結合能增加之氫化物離子」或「低能量氫氫化物離子」)；(b)結合能大於普通氫原子之結合能(約13.6 eV)之氫原子(「結合能增加之氫原子」或「低能量氫」)；(c)第一結合能大於約15.3 eV之氫分子(「結合能增加之氫分子」或「二低能量氫」)；及(d)結合能大於約16.3 eV之分子氫離子(「結合能增加之分子氫離子」或「二低能量氫分子離子」)。在本發明中，結合能增加之氫物質及化合物亦稱為低能量氫物質及化合物。低能量氫包含結合能增加之氫物質或等同之低能量氫

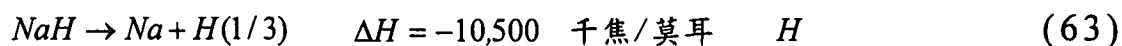
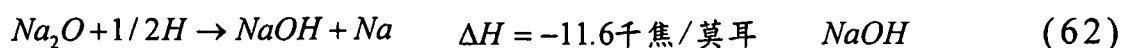
物質。

在一個實施例中，NaOH為再生循環中之NaH來源。

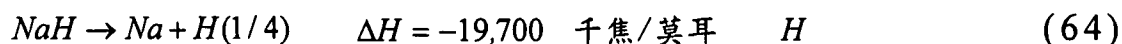
NaOH與Na反應形成 Na_2O 及NaH如下：



放熱反應可驅動NaH(g)形成。因此，NaH分解成Na或金屬可充當形成觸媒NaH(g)之還原劑。在一個實施例中，使作為產生NaH觸媒之反應(諸如由方程式(61)給出之反應)之產物而形成的 Na_2O 與氫來源反應形成NaOH，其可進一步充當NaH觸媒來源。在一個實施例中，在原子氫存在下自方程式(61)之產物再生NaOH之反應為



及



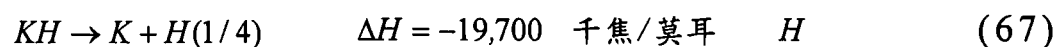
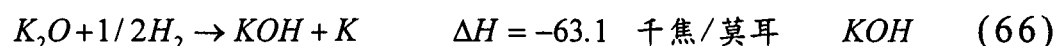
因此，來自諸如Na金屬或NaH之來源與原子氫來源或原子氫的少量NaOH及Na充當NaH觸媒之催化來源，該NaH觸媒又經由多個再生反應(諸如由方程式(61-64)給出之反應)循環而形成高產率之低能量氫。由方程式(62)給出之反應可藉由使用用於自 H_2 形成原子H之氫解離體而增強。適合解離體包含至少一個來自貴金屬、過渡金屬、Pt、Pd、Ir、Ni、Ti，及此等元素/載體之群的成員。反應混合物可包含NaH或NaH來源及NaOH或NaOH來源，且可進一步包

含以下中之至少一者：還原劑，諸如鹼土金屬，諸如Mg，及載體，諸如碳或碳化物，諸如TiC、YC₂、TiSiC₂及WC。反應可在對反應物及產物呈惰性之容器(諸如Ni、Ag、鍍Ni、鍍Ag或Al₂O₃容器)中運作。

在一個實施例中，KOH為再生循環中之K及KH來源。KOH與K反應形成K₂O及KH如下：



在KH形成期間，發生低能量氫反應。在一個實施例中，使K₂O與氫來源反應形成KOH，其可進一步充當根據方程式(65)之反應物。在一個實施例中，在原子氫存在下自方程式(65)再生KOH之反應為



因此，來自諸如K金屬或KH之來源與原子氫來源或原子氫的少量KOH及K充當觸媒之KH來源的催化來源，該觸媒又經由多個再生反應(諸如由方程式(65-67)給出之反應)循環而形成高產率之低能量氫。由方程式(66)給出之反應可藉由使用用於自H₂形成原子H之氫解離體而增強。適合解離體包含至少一個來自貴金屬、過渡金屬、Pt、Pd、Ir、Ni、Ti，及此等元素/載體之群的成員。反應混合物可包含KH或KH來源及KOH或KOH來源，且可進一步包含以下中之至少一者：還原劑及載體，諸如碳、碳化物或硼化物，諸如TiC、YC₂、TiSiC₂、MgB₂及WC。在一個實施例中，

載體為非反應性的或與KOH具有低反應性。反應混合物可進一步包含至少一種KOH摻雜載體，諸如R-Ni、KOH及KH。

D. 其他MH型觸媒及反應

一般而言，表3A中給出如下提供之用於產生低能量氫的MH型氫觸媒：M-H鍵斷裂加上 t 個電子自原子M各自電離至連續能階，使得 t 個電子之鍵能與電離能之和為約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ，其中 m 為整數。各MH觸媒係在第一行給出且相應M-H鍵能係在第二行給出。第一行給出之MH物質的原子M經電離以提供 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之淨反應焓，在第二行添加鍵能。觸媒之焓在第八行給出，其中 m 在第九行給出。參與電離之電子係與電離電位(亦稱為電離能或結合能)一起給出。舉例而言， NaH 之鍵能 1.9245 eV 係在第二行給出。原子或離子之第 n 個電子之電離電位係由 IP_n 表示且由CRC給出。亦即例如 $\text{Na} + 5.13908 \text{ eV} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$ 及 $\text{Na}^+ + 47.2864 \text{ eV} \rightarrow \text{Na}^{2+} + e^-$ 。第一電離電位 $IP_1 = 5.13908 \text{ eV}$ 及第二電離電位 $IP_2 = 47.2864 \text{ eV}$ 分別在第二及第三行給出。 NaH 鍵斷裂及 Na 雙電離之淨反應焓如第八行給出為 54.35 eV ，及如第九行中給出之方程式(47)中的 $m=2$ 。 BaH 鍵能為 1.98991 eV 且 IP_1 、 IP_2 及 IP_3 分別為 5.2117 eV 、 10.00390 eV 及 37.3 eV 。 BaH 鍵斷裂及 Ba 三重電離之淨反應焓如第八行給出為 54.5 eV ，及如第九行中給出之方程式(47)中的 $m=2$ 。 SrH 鍵能為 1.70 eV 且 IP_1 、 IP_2 、 IP_3 、 IP_4 及 IP_5 分別為 5.69484 eV 、 11.03013 eV 、 42.89 eV 、 57 eV 及 71.6 eV 。 SrH 鍵斷裂及 Sr 電離為 Sr^{5+} 之淨反應

焓如第八行給出為 190 eV，及如第九行中給出之方程式 (47) 中的 $m=7$ 。另外，H 可與表 3A 中給出之 MH 觸媒之各 $H(1/p)$ 產物反應以形成具有相對於如由例示性方程式 (31) 給出之單獨 MH 之觸媒反應產物增加一個 (方程式 (10)) 的量子數 p 之低能量氫。

表 3A. 能夠提供約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之淨反應焓的 MH 型氫觸媒 (能量以 eV 表示)

觸媒	M-H 鍵能	IP ₁	IP ₂	IP ₃	IP ₄	IP ₅	焓	m
AlH	2.98	5.985768	18.82855				27.79	1
AsH	2.84	9.8152	18.633	28.351	50.13		109.77	4
BaH	1.99	5.21170	10.00390	37.3			54.50	2
BiH	2.936	7.2855	16.703				26.92	1
CdH	0.72	8.99367	16.90832				26.62	1
ClH	4.4703	12.96763	23.8136	39.61			80.86	3
CoH	2.538	7.88101	17.084				27.50	1
GeH	2.728	7.89943	15.93461				26.56	1
InH	2.520	5.78636	18.8703				27.18	1
NaH	1.925	5.139076	47.2864				54.35	2
NbH	2.30	6.75885	14.32	25.04	38.3	50.55	137.26	5
OH	4.4556	13.61806	35.11730				53.3	2
OH	4.4556	13.61806	35.11730	54.9355			108.1	4
OH	4.4556	13.61806	35.11730				80.39	3
		+ 13.6 KE + 13.6 KE						
RhH	2.50	7.4589	18.08				28.0	1
RuH	2.311	7.36050	16.76				26.43	1
SH	3.67	10.36001	23.3379	34.79	47.222	72.5945	191.97	7
SbH	2.484	8.60839	16.63				27.72	1
SeH	3.239	9.75239	21.19	30.8204	42.9450		107.95	4
SiH	3.040	8.15168	16.34584				27.54	1
SnH	2.736	7.34392	14.6322	30.50260			55.21	2
SrH	1.70	5.69484	11.03013	42.89	57	71.6	190	7
TiH	2.02	6.10829	20.428				28.56	1

在其他實施例中，表 3B 中給出如下提供之用於產生低能量氫之 MH⁻ 型氫觸媒：將電子轉移至受體 A、M-H 鍵斷裂加上 t 個電子自原子 M 各自電離至連續能階，使得包含 MH

與A之電子親和力(EA)差異之電子轉移能量、M-H鍵能及 t 個電子自M電離之電離能的和為約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ，其中 m 為整數。各MH⁻觸媒、受體A、MH之電子親和力、A之電子親和力及M-H鍵能分別在第一、第二、第三及第四行中給出。參與電離的MH之相應原子M之電子係與電離電位(亦稱為電離能或結合能)一起在後續行中給出且觸媒之焓及相應整數 m 係在最後一行給出。舉例而言，OH及H之電子親和力分別為 1.82765 eV 及 0.7542 eV ，使得電子轉移能量為 1.07345 eV ，如第五行給出。OH鍵能為 4.4556 eV ，如第六行給出。原子或離子之第 n 個電子之電離電位係由 IP_n 指定。亦即例如 $O + 13.61806 \text{ eV} \rightarrow O^+ + e^-$ 及 $O^+ + 35.11730 \text{ eV} \rightarrow O^{2+} + e^-$ 。第一電離電位 $IP_1 = 13.61806 \text{ eV}$ 及第二電離電位 $IP_2 = 35.11730 \text{ eV}$ 分別在第七及第八行給出。電子轉移反應、OH鍵斷裂及O雙電離之淨焓如第十一行給出為 54.27 eV ，及如第十二行給出之方程式(47)中的 $m=2$ 。另外，H可與表3B中給出之MH觸媒之各H(1/p)產物反應以形成具有相對於如由例示性方程式(31)給出之單獨MH之觸媒反應產物增加一個(方程式(10))的量子數 p 之低能量氫。在其他實施例中，如下提供用於形成低能量氫之H的觸媒：使負離子電離，使得其EA加上一或多個電子之電離能的和為約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ，其中 m 為整數。或者，可將負離子之第一電子轉移至受體，接著再電離至少一個電子，使得電子轉移能量加上一或多個電子之電離能的和為約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ，其中 m 為整數。電子受體可為H。

表 3B. 能夠提供約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之淨反應焓的 MH^- 型氫觸媒 (能量以 eV 表示)

觸媒	受體 (A)	EA(MH) (A)	EA (A)	電子轉移	M-H 鍵能	IP ₁	IP ₂	IP ₃	IP ₄	焓	m
OH ⁻	H	1.82765	0.7542	1.07345	4.4556	13.61806	35.11730			54.27	2
SiH ⁻	H	1.277	0.7542	0.5228	3.040	8.15168	16.34584			28.06	1
CoH ⁻	H	0.671	0.7542	-0.0832	2.538	7.88101	17.084			27.42	1
NiH ⁻	H	0.481	0.7542	-0.2732	2.487	7.6398	18.16884			28.02	1
SeH ⁻	H	2.2125	0.7542	1.4583	3.239	9.75239	21.19	30.8204	42.9450	109.40	4

在其他實施例中，如下提供用於產生低能量氫之 MH^+ 型氫觸媒：自可帶負電之供體 A 轉移電子、M-H 鍵斷裂及 t 個電子自原子 M 各自電離至連續能階，使得包含 MH 與 A 之電離能差異之電子轉移能量、M-H 鍵能及 t 個電子自 M 電離之電離能的和為約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ，其中 m 為整數。

在一個實施例中，諸如原子、離子或分子之物質充當觸媒以使得分子氫經歷朝向分子低能量氫 $\text{H}_2(1/p)$ (p 為整數) 之躍遷。與 H 之情況類似，觸媒自 H_2 接受能量，其在此情況下可為約 $m \cdot 48.6 \text{ eV}$ ，其中 m 為如 Mills GUTCP 中給出之整數。可藉由直接催化 H_2 而形成 $\text{H}_2(1/p)$ 之適合例示性觸媒為 O、V 及 Cd，其分別在對應於 $m=1$ 、 $m=2$ 及 $m=4$ 之催化反應期間形成 O^{2+} 、 V^{4+} 及 Cd^{5+} 。能量可以熱或光或電形式釋放，其中反應包含半電池反應。

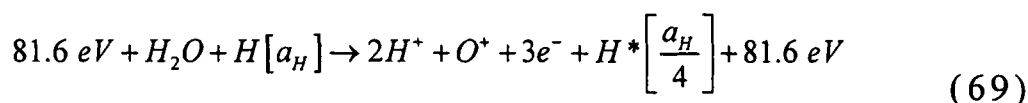
在一個實施例中，觸媒包含諸如原子、帶正電或帶負電之離子、帶正電或帶負電之分子離子、分子、準分子、化合物或其任何組合，處於能夠接受 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ ($m=1,2,3,4,\dots$) (方程式 (5) 之能量之基態或激發態的任何物質。咸信當淨反應焓與 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 較為緊密地匹配時催化速率增大。已發現具

有在 $m \cdot 27.2 \text{ eV} \pm 10\%$ 、較佳為 $\pm 5\%$ 內之淨反應焓的觸媒適於大部分應用。在將低能量氫原子催化至較低能態之情況下，以與低能量氫原子之位能相同的因子對 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ (方程式(5))之反應焓作相對論校正。在一個實施例中，觸媒諧振及非輻射地接受來自原子氫之能量。在一個實施例中，所接受之能量使觸媒位能之量值減少約自原子氫轉移之量。由於最初束縛電子之動能守恆，所以可產生高能離子或電子。至少一個原子H充當至少一個另一原子H之觸媒，其中受體之 27.2 eV 位能由自所催化之供體H原子轉移 27.2 eV 而抵消。受體觸媒H之動能可以快質子或電子形式保存。另外，在催化H中形成之中間態(方程式(7))隨連續能量以輻射或第三體中誘導之動能形式發射而衰減。此等能量釋放可在CIHT電池中產生電流。

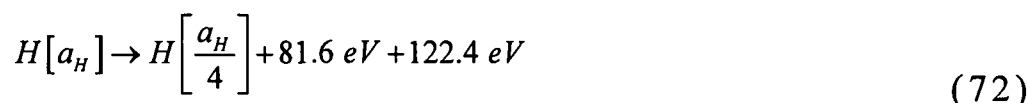
在一個實施例中，分子或帶正電或帶負電之分子離子中之至少一者充當自原子H接受約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 之觸媒，其中分子或帶正電或帶負電之分子離子的位能量值減少約 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 。舉例而言，Mills GUTCP中給出之 H_2O 之位能為

$$V_e = \left(\frac{3}{2}\right) \frac{-2e^2}{8\pi\epsilon_0\sqrt{a^2-b^2}} \ln \frac{a+\sqrt{a^2-b^2}}{a-\sqrt{a^2-b^2}} = -81.8715 \text{ eV} \quad (68)$$

自原子H接受 $m \cdot 27.2 \text{ eV}$ 且分子位能量值減少相同能量之分子可充當觸媒。舉例而言，關於 H_2O 之位能，催化反應 ($m=3$) 為



且總反應為



其中 $\text{H}^*\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 具有氫原子半徑及等於質子4倍之中心場，且 $\text{H}\left[\frac{a_H}{4}\right]$ 為半徑為H之1/4之相應的穩定狀態。當電子經受自氫原子半徑至1/4該距離之半徑的徑向加速度時，能量以特徵發光形式或第三體動能形式釋放。基於自0°C冰變成100°C水之汽化熱之10%能量變化，沸水中每水分子之H鍵的平均數為3.6。因此，在一個實施例中， H_2O 在化學上必須以具適合活化能的分離分子形式形成以充當觸媒來形成低能量氫。在一個實施例中， H_2O 觸媒為初生 H_2O 。

在一個實施例中， $n\text{H}$ 、 O 、 $n\text{O}$ 、 O_2 、 OH 及 H_2O (n = 整數)中之至少一者可充當觸媒。 H 及 OH (作為觸媒)之產物可為 $\text{H}(1/5)$ ，其中觸媒焓為約108.8 eV。 H 及 H_2O (作為觸媒)之反應的產物可為 $\text{H}(1/4)$ 。低能量氫產物可進一步反應至更低狀態。 $\text{H}(1/4)$ 及 H (作為觸媒)之產物可為 $\text{H}(1/5)$ ，其中觸媒焓為約27.2 eV。 $\text{H}(1/4)$ 及 OH (作為觸媒)之產物可為 $\text{H}(1/6)$ ，其中觸媒焓為約54.4 eV。 $\text{H}(1/5)$ 及 H (作為觸媒)之

產物可為H(1/6)，其中觸媒焓為約27.2 eV。

H₂O中之鍵涉及O之兩個外層電子。因為H₂O之位能為81.87 eV且H₂O之O原子之第三電離能為54.9355 eV，所以H₂O可接受3×27.2 eV之位能及對應於所得O²⁺進一步電離為O³⁺之2×27.2 eV。因此，H₂O亦可催化H形成H(1/6)，對應於觸媒焓為5×27.2 eV，以及催化H形成H(1/4)，對應於觸媒焓為3×27.2 eV。電池[NaOH Ni(H₂)/BASE/MgCl₂-NaCl封閉電池]之氫陽極產物之固體質子NMR顯示大-3.91 ppm單重態¹H MAS NMR峰對應的於陽極處由OH⁻與H反應所形成的H₂O觸媒之低能量氫產物。

類似於H₂O，Mills GUTCP中給出之胺官能基NH₂之位能為-78.77719 eV。由CRC，自各對應 ΔH_f 計算之NH₂反應形成KNH₂之 ΔH 為(-128.9-184.9)千焦/莫耳=-313.8千焦/莫耳(3.25 eV)。由CRC，自各對應 ΔH_f 計算之NH₂反應形成NaNH₂之 ΔH 為(-123.8-184.9)千焦/莫耳=-308.7千焦/莫耳(3.20 eV)。由CRC，自各對應 ΔH_f 計算之NH₂反應形成LiNH₂之 ΔH 為(-179.5-184.9)千焦/莫耳=-364.4千焦/莫耳(3.78 eV)。因此，可由充當H觸媒用於形成低能量氫之鹼金屬胺化物MNH₂(M=K、Na、Li)接受之淨焓分別為約82.03 eV、81.98 eV及82.56 eV(在方程式(5)中，m=3)，對應於胺基之位能及由胺基形成胺化物之能量的和。低能量氫產物(諸如分子低能量氫)可引起藉由諸如MAS NMR之方法所觀察到之高磁場基質位移。

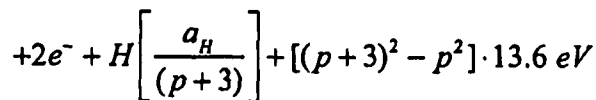
類似於H₂O，Mills GUTCP中給出之H₂S官能基之位能

為 -72.81 eV。該位能之抵消亦會消除與 3p 殼層雜化相關之能量。7.49 eV 之該雜化能量由氫化物軌道半徑與初始原子軌道半徑之比率乘以殼層總能量而給出。另外，因形成兩個 1.10 eV 之 S-H 鍵所致的 S 3p 殼層之能量變化納入觸媒能量中。因此，H₂S 觸媒之淨焓為 81.40 eV (在方程式 (5) 中， $m=3$)。H₂S 觸媒可由 MHS (M = 鹼金屬) 藉由以下反應形成：

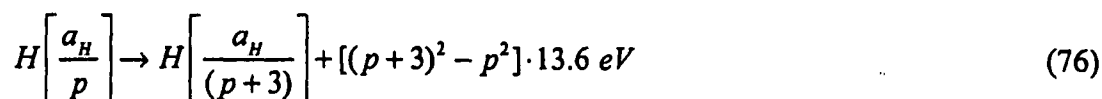


該可逆反應可形成呈活性催化狀態之 H₂S，該狀態為產物 H₂S 之過渡狀態，其可催化 H 形成低能量氫。反應混合物可包含形成 H₂S 及原子 H 來源的反應物。低能量氫產物 (諸如分子低能量氫) 會引起藉由諸如 MAS NMR 之方法所觀察到之高磁場基質位移。

此外，原子氧為一種具有兩個半徑相同且均等於原子氫之波爾半徑之不成對電子的特別原子。當原子 H 充當觸媒時，接受 27.2 eV 之能量，使得充當另一者之觸媒之各電離 H 的動能為 13.6 eV。類似地，O 之兩個電子各自可隨 13.6 eV 動能轉移至 O 離子而電離，使得 OH 之 O-H 鍵斷裂以及隨後兩個外部不成對電子電離之淨焓為 80.4 eV，在表 3 中所給出。在 OH⁻ 電離成 OH 期間，可發生進一步反應成 H(1/4) 及 O²⁺+2e⁻ 之能量匹配，其中所釋放之 204 eV 能量貢獻給 CIHT 電池之電力。反應如下給出：



且總反應為



其中方程式(5)中 $m=3$ 。動能也可保存於熱電子中。觀測到在水蒸氣電漿中有H粒子數反轉現象證明了此機制。低能量氫產物(諸如分子低能量氫)會引起由諸如MAS NMR之方法觀察到之高磁場基質位移。本發明中給出鑑別分子低能量氫產物之其他方法(諸如FTIR、拉曼及XPS)。

在氧或包含氧之化合物參與氧化或還原反應的一個實施例中， O_2 可充當觸媒或觸媒來源。氧分子之鍵能為5.165 eV，且氧原子之第一、第二及第三電離能分別為13.61806 eV、35.11730 eV及54.9355 eV。反應 $O_2 \rightarrow O + O^{2+}$ 、 $O_2 \rightarrow O + O^{3+}$ 及 $2O \rightarrow 2O^+$ 提供分別約2、4及1倍 E_h 之淨焓，且包含藉由自H接受此等能量以使得低能量氫形成來形成低能量氫之觸媒反應。

IX. 燃料電池及電池組

圖1中展示燃料電池及電池組400之實施例。包含固體燃料或非均相觸媒之低能量氫反應物包含相應電池半反應之

反應物。因具有催化低能量氫躍遷之獨特屬性而可啟用觸媒誘導之低能量氫躍遷(CIHT)電池。本發明之CIHT電池為氫燃料電池，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(EMF)。因此，其充當將自低能量氫反應釋放之能量直接轉化為電的燃料電池。

由於氧化還原電池之半反應，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑進行離子質量輸送以形成電路所構成。產生由半電池反應之和得到的低能量氫之總反應及相應反應混合物可包含關於本發明中給出之熱功率產生所考慮的反應類型。來自低能量氫反應之自由能 ΔG 產生電位，其視構成產生低能量氫之反應混合物的氧化還原化學性質而定可為氧化電位或還原電位。電位可用以在燃料電池中產生電壓。電位 V 可用自由能 ΔG 換算來表示：

$$V = \frac{-\Delta G}{nF} \quad (77)$$

其中 F 為法拉第常數(Faraday constant)。假定對於躍遷至 $H(1/4)$ ，自由能為約-20毫焦/莫耳 H ，則視其他電池組分(諸如化學物質、電解質及電極)而定，電壓可能較高。在電壓受限於此等或其他組分之氧化還原電位的一個實施例中，能量可表現為來自低能量氫形成之較高電流及相應電力貢獻。如方程式(6-9)所示，低能量氫躍遷之能量可以連續輻射之形式釋放。特定言之，能量係以非輻射方式轉移

至觸媒以形成介穩態中間物，當電子自初始半徑轉變為最終半徑時其在電漿系統中衰變，伴隨發射連續輻射。在凝聚態物質(諸如CIHT電池)中，此能量可內部轉化為高能電子，其表現為電位類似於電池反應物之化學電位的電池電流及電力貢獻。因此，電力可表現為電壓低於方程式(77)給出者之較高電流。電壓亦將受限於反應動力學；因此，形成低能量氫之較高動力學有利於藉由提高電流及電壓中之至少一者來提高電力。因為電池反應可由H與觸媒之間形成低能量氫的大放熱反應所驅動，所以在一個實施例中，形成該等用於形成低能量氫之反應物的習知氧化還原電池反應之自由能可為任何可能值。適合範圍為約+1000焦/莫耳至-1000焦/莫耳、約+1000焦/莫耳至-100焦/莫耳、約+1000焦/莫耳至-10焦/莫耳，及約+1000焦/莫耳至0焦/莫耳。歸因於形成低能量氫之負自由能，因此電池電流、電壓及電力中之至少一者高於可促成該電流、電壓及電力之非低能量氫反應之自由能所致者。此適用於開路電壓及具有負載者。因此，在一個實施例中，CIHT電池與任何先前技術之區別之處在於以下中之至少一者：電壓高於由非低能量氫相關化學之能斯特方程式(Nernst equation)預測(由於當加載電池時有任何極化電壓，因此包括電壓校正)之電壓、電流高於由習知化學驅動之電流，及電力高於由習知化學驅動之電力。

關於圖1，燃料或CIHT電池400包含具有陰極405之陰極隔室401、具有陽極410之陽極隔室402、鹽橋420、於電池

操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，及氫來源。在一般實施例中，CIHT電池為氫燃料電池，其由使氫催化反應至較低能態(低能量氫)而產生電動勢(EMF)。因此，其充當將自低能量氫反應釋放之能量直接轉化為電的燃料電池。在另一實施例中，相較於經由電極405及410施加之電解功率，CIHT電池產生電力及熱功率增益中之至少一者。在形成低能量氫時，電池消耗氫，且需要加氫；另外，在一個實施例中，用於形成低能量氫之反應物為熱再生型或電解再生型中之至少一者。在藉由各別導管連接以便電子與離子在隔室之間形成電路的不同電池隔室中提供處於不同狀態或條件(諸如不同溫度、壓力及濃度中之至少一者)下之不同反應物或相同反應物。由於低能量氫反應對自一個隔室至另一隔室之質量流的依賴性，因此產生各別隔室之電極之間的電位及電力增益或系統之熱增益。質量流提供至少一個以下形成：可起反應而產生低能量氫之反應混合物及允許以實質速率發生低能量氫反應之條件。質量流進一步需要電子及離子在連接隔室之各別導管中輸送。電子可由以下中之至少一者產生：在原子氫與觸媒反應之期間的觸媒電離，及諸如原子、分子、化合物或金屬之反應物質的氧化或還原反應。隔室(諸如陽極隔室402)中之物質電離可因以下中之至少一者所致：(1)因以下發生之有利自由能變化：其氧化、各別隔室(諸如陰極401)中反應物質之還原、及將隔室中之電荷平衡至電中性之遷移離子反應；及(2)由以下所致

之自由能變化：低能量氫形成、各別隔室中之物質氧化、物質還原及引起形成低能量氫之反應的遷移離子反應。離子遷移可通過鹽橋420。在另一實施例中，各別隔室中之物質氧化、物質還原，及遷移離子之反應可能不為自發的或可能以低速率發生。施加電解電位以驅動反應，其中質量流提供至少一個以下形成：可起反應而產生低能量氫之反應混合物及允許以實質速率發生低能量氫反應之條件。電解電位可經由外部電路425施加。各半電池之反應物可經歷以下中之至少一者：供應、維持及再生(藉由經由通道460及461至用於產物儲存及再生之反應物來源或儲集器430及431添加反應物或移除產物而達成)。

在一個實施例中，原子氫及氫觸媒中之至少一者可藉由反應混合物之反應來形成，且藉助於其經歷反應之一種反應物使得催化具有活性。引發低能量氫反應之反應可為以下中之至少一者：放熱反應、耦合反應、自由基反應、氧化還原反應、交換反應，及吸氣劑、載體或基質輔助催化反應。在一個實施例中，形成低能量氫之反應提供電化學電力。引發低能量氫反應(諸如本發明之交換反應)之反應混合物及反應為藉由氫反應形成低能量氫來產生電力的燃料電池之基礎。由於氧化還原電池之半反應，因此產生低能量氫之反應混合物係藉由電子經由外部電路遷移及經由各別路徑進行離子質量輸送以形成電路所構成。產生由半電池反應之和得到的低能量氫之總反應及相應反應混合物可包含本發明之熱功率及低能量氫化學產生之反應類型。

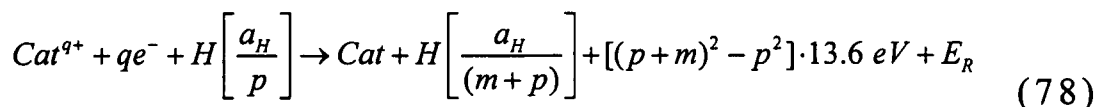
因此，理想地，在無電子流及離子質量輸送存在下，低能量氫反應不發生或不以可觀速率發生。

電池至少包含觸媒來源或觸媒及氫來源或氫。適合之觸媒或觸媒來源及氫來源為選自以下之群者：Li、LiH、Na、NaH、K、KH、Rb、RbH、Cs、CsH、Ba、BaH、Ca、CaH、Mg、MgH₂、MgX₂(X為鹵離子)及H₂。表3中給出其他適合觸媒。在一個實施例中，正離子可在陰極經歷還原。離子可為陰極之還原及反應中之至少一者的觸媒來源。在一個實施例中，氧化劑經歷反應而形成低能量氫反應物，其接著起反應而形成低能量氫。或者，最終電子-受體反應物包含氧化劑。氧化劑或陰極-電池反應混合物可位於具有陰極405之陰極隔室401中。或者，陰極-電池反應混合物係在陰極隔室中由離子及電子遷移構成。在燃料電池之一個實施例中，陰極隔室401充當陰極。在操作期間，正離子可自陽極遷移至陰極隔室。在某些實施例中，此遷移經由鹽橋420發生。或者，負離子可自陰極經由鹽橋420遷移至陽極隔室。遷移離子可為以下中之至少一者：觸媒或觸媒來源之離子、氫離子(諸如H⁺、H⁻或H⁻(1/p))及藉由觸媒或觸媒來源與氧化劑或氧化劑陰離子反應而形成的化合物之相對離子。各電池反應可經歷以下中之至少一者：供應、維持及再生(藉由經由通道460及461至用於產物儲存及視情況再生之反應物來源或儲集器430及431添加反應物或移除產物而達成)。

在一個實施例中，化學在燃料電池之陰極隔室中產生活

性低能量氫反應物，其中還原電位可包括來自將H催化為低能量氫之一大貢獻。觸媒或觸媒來源可包含中性原子或分子，諸如鹼金屬原子或氫化物，其可藉由還原正電物質(positive species)(諸如相應鹼金屬離子)來形成。觸媒離子還原為觸媒及H電子躍遷至較低電子狀態之電位對由方程式(77)給出之電位基於反應 ΔG 產生貢獻。在一個實施例中，陰極半電池還原反應及任何其他反應均包含形成觸媒及原子氫及使H催化反應成低能量氫。陽極半電池反應可包含電離諸如觸媒金屬之金屬。離子可遷移至陰極且經還原，或電解質之離子可經還原而形成觸媒。觸媒可在H存在下形成。例示性反應為

陰極半電池反應：



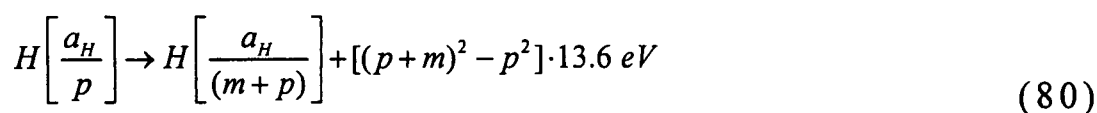
其中 E_R 為 Cat^{q+} 之還原能。

陽極半電池反應：



其他適合之還原劑為金屬，諸如過渡金屬。

電池反應：



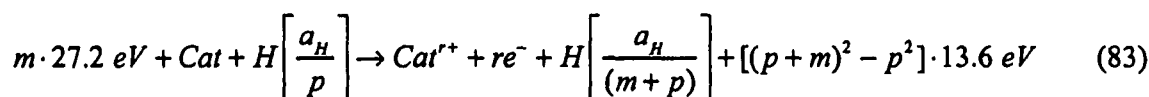
在觸媒陽離子經由適合之鹽橋或電解質遷移之情況下，觸媒可在陰極隔室中再生且在陽極經置換。接著，可藉由置換已反應形成低能量氫之陰極隔室氫來維持燃料電池反應。氫可來自水電解。在實施例中，水可來自外部來源或由吸濕性化合物或電解質自大氣吸收。電池之產物可為藉由低能量氫原子反應而形成之分子低能量氫。在 $H(1/4)$ 為產物之情況下，此等反應之能量為



在操作期間，觸媒與原子氫反應，自原子氫至觸媒之整數倍 27.2 eV 的非輻射性能量轉移引起觸媒電離，同時短暫釋放自由電子，且因能量大釋放而形成低能量氫原子。在一個實施例中，此反應可在陽極隔室402中發生使得陽極410最終接受電離電子流。電流亦可來自陽極隔室中之還原劑氧化。在燃料電池之一個實施例中，陽極隔室402充當陽極。 Li 、 K 、 NaH 、 nH 及 H_2O 中之至少一者可充當用於形成低能量氫之觸媒。載體(諸如碳粉；碳化物，諸如 TiC 、 WC 、 YC_2 或 Cr_3C_2 ；或硼化物)可充當與可充當集電體之電極(諸如陽極)電接觸之電子導體。所傳導之電子可來自觸媒電離或還原劑氧化。或者，載體可包含陽極及陰極中之至少一者，其用導線與負載電連接。與負載連接之陽極導線以及陰極導線可為任何導體，諸如金屬。

在化學在燃料電池之陽極隔室產生活性低能量氫反應物之情況下，氧化電位及電子可具有來自觸媒機制之貢獻。如方程式(6-9)所示，觸媒可包含自原子氫(藉由被電離)接受能量之物質。觸媒被電離及H電子躍遷至較低電子狀態之電位對由方程式(77)給出之電位基於反應 ΔG 產生貢獻。因為NaH為形成低能量氫同時將Na電離為 Na^{2+} 之協同內反應(如方程式(28-30)給出)，所以在此情況下方程式(77)應尤其適用。在一個實施例中，陽極半電池氧化反應包含催化電離反應。陰極半電池反應可包含使H還原為氫化物。例示性反應為

陽極半電池反應：



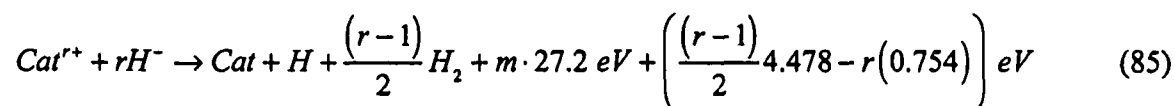
陰極半電池反應：



其中 E_R 為金屬氫化物 MH_2 之還原能。適合之氧化劑為氫化物，諸如稀土金屬氫化物、氫化鈦、氫化鋯、氫化鈮、 LiH 、 NaH 、 KH 及 BaH 、硫族化物，及M-N-H系統(諸如Li-N-H系統)之化合物。在觸媒陽離子或氫化物離子經由適合之鹽橋或電解質遷移的情況下，觸媒及氫可在陽極隔室中再生。在觸媒之穩定氧化態為 Cat 之情況下，鹽橋或電解

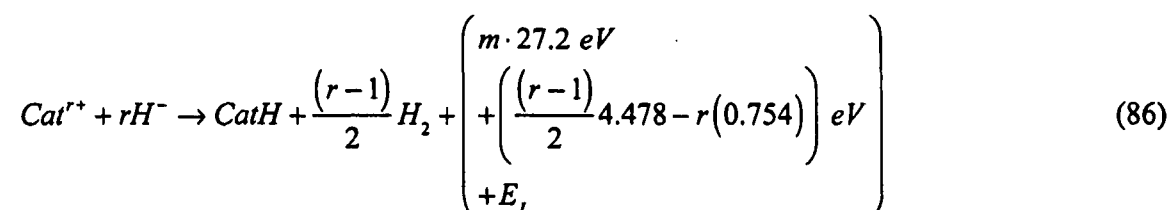
質反應為

鹽橋或電解質反應：



其中 0.754 eV 為氫化物電離能且 4.478 eV 為 H₂ 鍵能。觸媒或觸媒來源可為亦可充當 H 來源之氫化物。接著，鹽橋反應為

鹽橋或電解質反應：



其中 E_L 為 $CatH$ 之晶格能。接著，燃料電池反應可藉由將氫置換於陰極隔室中來維持，或可使電解質中之 $CatH$ 與 M 反應形成 MH_2 。M=La 之例示性反應係由以下給出：



在前一情況下，氫可來自以下：將來自在 Cat^{r+} 還原中形成之陽極隔室的過量氫再循環。經消耗以形成 $H(1/4)$ 、接著 $H_2(1/4)$ 之氫置換可來自水電解。

反應物可被熱再生或電解再生。產物可在陰極或陽極隔室中再生。或其可使用例如泵送至再生器，其中本發明或熟習此項技術者已知之任何再生化學均可適用於再生初始反應物。經歷低能量氫反應之電池可向經歷反應物再生者提供熱。在為達成再生而提高產物溫度的情況下，可使

CIHT電池產物及再生反應物通過復熱器，同時分別送至再生器及自再生器送出，以回收熱及提高電池效率及系統能量平衡。

電解質可包含離子液體。電解質可具有諸如在100-200°C之範圍內的低熔點。例示性電解質為硝酸乙銨、摻雜磷酸二氫鹽之硝酸乙銨(諸如約1%摻雜)、硝酸銕、 $\text{NH}_4\text{PO}_3\text{-TiP}_2\text{O}_7$ ，及 $\text{LiNO}_3\text{-NH}_4\text{NO}_3$ 之共熔鹽。其他適合之電解質可包含以下之群中的至少一種鹽： LiNO_3 、三氟甲磺酸銨($\text{Tf}=\text{CF}_3\text{SO}_3^-$)、三氟乙酸銨($\text{TFAc}=\text{CF}_3\text{COO}^-$)、四氟硼酸銨(BF_4^-)、甲烷磺酸銨(CH_3SO_3^-)、硝酸銨(NO_3^-)、硫氰酸銨(SCN^-)、胺基磺酸銨(SO_3NH_2^-)、二氟化銨(HF_2^-)、硫酸氫銨(HSO_4^-)、雙(三氟甲烷磺醯基)亞胺化銨($\text{TFSI}=\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$)、雙(全氟乙烷磺醯基)亞胺化銨($\text{BETI}=\text{CF}_3\text{CF}_2\text{SO}_2)_2\text{N}^-$)、硝酸銕且可進一步包含混合物，諸如進一步包含 NH_4NO_3 、 NH_4Tf 及 NH_4TFAc 中之至少一者之共熔混合物。其他適合溶劑包含酸，諸如磷酸。適合之銨化合物為銨或烷基銨鹵化物，及芳族化合物，諸如咪唑、吡啶、嘧啶、吡嗪、過氯酸鹽、 PF_6^- ，及本發明的與同溶劑接觸之電池之任何組分相容的其他陰離子。例示性環境溫度 H^+ 傳導性熔融鹽電解質為氯化1-乙基-3-甲基咪唑鎘- AlCl_3 及基於吡咯鎂之質子離子液體。

參考圖1，在例示性電池 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{NaOH}]$ 之一個實施例中，包含產物與反應物之混合物的熔融鹽係在陰極隔室420中藉由使用氫來源及泵430在控制壓力下經由入口460

供應氫來再生。藉由加熱器411維持熔融鹽溫度，使得在上方形成Na層，且藉由泵440抽運至陽極隔室402。在圖1中亦展示之另一實施例中，使包含產物與反應物之混合物的熔融鹽自陰極隔室401經由通道419及通過416及418(各自包含閥及泵中之至少一者)流入再生電池412中。供應氫且壓力係藉由用管線415連接至再生電池412之氫來源及泵413控制，其中流量由控制閥414控制。用加熱器411維持熔融鹽溫度。氫化使得Na形成各別層，將其自再生電池412頂部經由通道421通過422及423(各自包含閥及泵中之至少一者)抽至陰極室402。在一個實施例中，諸如包含連續陰極鹽流動模式之實施例中，通道419在Na層下方延伸以將流動鹽自陰極隔室供至至少包含 Na_2O 及 NaOH 之下層。任何陰極或陽極隔室，或再生電池均可進一步包含攪拌器以在電力或再生反應中之所需時刻混合內容物。

在包含BASE電解質之電池的另一實施例中，陰極為鹼金屬，諸如Na，且熔融鹽陰極包含共熔混合物(諸如表4中之一者)及氫來源(諸如氫可透膜與 H_2 氣體或解離體與 H_2 氣體)。例示性電池為 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{共熔鹽}(\text{諸如NaI-NaBr})+\text{Ni}(\text{H}_2)\text{或PdAl}_2\text{O}_3]$ 。氫可在陰極隔室中與Na反應形成可充當觸媒之 NaH 及H來源以形成低能量氫。

反應物可被連續饋送通過半電池以引起低能量氫反應且可進一步流動或輸送至另一區域、隔室、反應器或系統中，其中再生可分批、間歇或連續發生，其中再生產物可靜止或移動。

適合之氧化劑為 $\text{WO}_2(\text{OH})$ 、 $\text{WO}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_6$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ 、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{OH})$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}(\text{OH})_5$ 、 $\text{MnO}_3(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})_5$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_4(\text{OH})_6$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{TiO}(\text{OH})$ 、 $\text{TiO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_3(\text{OH})$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。一般而言，氧化劑可為 $\text{M}_x\text{O}_y\text{H}_z$ ，其中 x 、 y 及 z 為整數且 M 為金屬，諸如過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬，諸如金屬氧(氫氧)化物。

構成混合物之適合例示性熔融氫化物為以下之共熔混合物：熔融溫度為約 503°C 之約 43+57 mol% 之 NaH-KBH_4 、熔融溫度為約 390°C 之約 66+34 mol% 之 KH-KBH_4 、熔融溫度為約 395°C 之約 21+79 mol% 之 NaH-NaBH_4 、熔融溫度為約 103°C 之約 53+47 mol% 之 $\text{KBH}_4\text{-LiBH}_4$ 、熔融溫度為約 213°C 之約 41.3+58.7 mol% 之 $\text{NaBH}_4\text{-LiBH}_4$ 、及熔融溫度為約 453°C 之約 31.8+68.2 mol% 之 $\text{KBH}_4\text{-NaBH}_4$ ，其中混合物可進一步包含鹼金屬或鹼土金屬氫化物，諸如 LiH 、 NaH 或 KH 。其他例示性氫化物為 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ (MP 260°C) 及

$\text{Ca}(\text{BH}_4)_2(367^\circ\text{C})$ 。

反應物之H可鍵結於金屬，諸如稀土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、鹼金屬或鹼土金屬。H反應物可包含氫化物。氫化物可為金屬氫化物。在一個例示性反應中，自氫化物(諸如金屬氫化物)吸取H以形成 $\text{M}^+ \text{H}^-$ ，其中 M^+ 為相對離子，諸如電解質之相對離子，且 H^- 遷移至陽極，氧化為H且與受體(諸如本發明之受體)反應。

在一個實施例中，由還原遷移離子及與陰極反應物任何可能之進一步反應形成的陰極產物可藉由非電解以及電解技術而再生。產物可用本發明方法來再生為陽極起始物質以用於反應混合物。舉例而言，包含遷移離子之元素的產物可被物理或熱分離及再生且返回陽極。分離可藉由熱分解氫化物及蒸發作為還原遷移離子之金屬來達成。遷移離子之陰極產物亦可經分離及與陽極產物反應而形成起始反應物。陰極反應物之氫化物可藉由添加氫來再生，或可在分離為形成起始氫化物所必需的相應陰極反應產物之後在各別反應室中形成氫化物。類似地，任何其他陰極起始反應物均可藉由分離及化學合成步驟在原位或在各別容器中來再生以形成反應物。

在CIHT電池之一個實施例中，鹼金屬陽離子(諸如 Na^+)可為可移動離子。可移動離子可在陰極處還原以形成觸媒或觸媒來源，諸如 NaH 、 K 、 Li 、 Sr^+ 或 BaH 。電解質可包含 β'' -氧化鋁或亦與相應可移動離子錯合之 β 氧化鋁。因此，固體電解質可包含 Al_2O_3 與 Na^+ 、 K^+ 、 Li^+ 、 Sr^{2+} 及 Ba^{2+}

中之至少一者的錯合物，且亦可與 H^+ 、 Ag^+ 或 Pb^{2+} 中之至少一者錯合。電解質或鹽橋可為離子浸漬玻璃，諸如 K^+ 玻璃。在 H^+ 作為可移動離子之一個實施例中， H^+ 在陰極還原為 H 以充當原子氫來源以便催化為低能量氫。在一個一般實施例中，陽極隔室包含鹼金屬，固體電解質包含相應遷移金屬離子與 β 氧化鋁之錯合物，且陰極隔室包含氫來源，諸如氫化物或 H_2 。遷移金屬離子可在陰極還原為金屬。金屬或自金屬形成之氫化物可為觸媒或觸媒來源。低能量氫係藉由觸媒與氫反應來形成。電池可在提供有利傳導性之溫度範圍內操作。適合之操作溫度範圍為 $250^\circ C$ 至 $300^\circ C$ 。其他例示性鈉離子傳導性鹽橋為NASICON ($Na_3Zr_2Si_2PO_{12}$)及 Na_xWO_3 。在其他實施例中，另一金屬，諸如 Li 或 K 可置換 Na 。在一個實施例中，至少一種電池組分，諸如鹽橋及陰極及陽極反應物包含對既定物質選擇性可透之塗層。實例為對 OH^- 選擇性可透之氧化鋁塗層。反應物可包含微粒，其囊封於此種塗層中以使得其與選擇性可透物質選擇性反應。鋰固體電解質或鹽橋可為鹵化物穩定化之 $LiBH_4$ ，諸如 $LiBH_4-LiX$ (X =鹵離子)、 Li^+ 浸漬型 Al_2O_3 (Li - β -氧化鋁)、基於 Li_2S 之玻璃、 $Li_{0.29+d}La_{0.57}TiO_3$ ($d=0$ 至 0.14)、 $La_{0.51}Li_{0.34}TiO_{2.94}$ 、 Li_9AlSiO_8 、 $Li_{14}ZnGe_4O_{16}$ (LISICON)、 $Li_xM_{1-y}M'_yS_4$ ($M=Si$ 、 Ge 且 $M'=P$ 、 Al 、 Zn 、 Ga 、 Sb)(硫基-LISICON)、 $Li_{2.68}PO_{3.73}N_{0.14}$ (LIPON)、 $Li_5La_3Ta_2O_{12}$ 、 $Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$ 、 $LiM_2(PO_4)_3$ 、 $M^{IV}=Ge$ 、 Ti 、 Hf 及 Zr 、 $Li_{1+x}Ti_2(PO_4)_3$ ($0 \leq x \leq 2$) $LiNbO_3$ 、矽酸鋰、鋁酸鋰、鋁矽酸鋰、

固體聚合物或凝膠、二氧化矽(SiO_2)、氧化鋁(Al_2O_3)、氧化鋰(Li_2O)、 Li_3N 、 Li_3P 、氧化鎵(Ga_2O_3)、氧化磷(P_2O_5)、氧化矽鋁，及其固溶體及此項技術中已知之其他者。

鹽橋可包含陰離子傳導性膜及/或陰離子導體。鹽橋可傳導陽離子。鹽橋可由沸石或氧化鋁形成，該沸石或氧化鋁諸如有充滿觸媒陽離子者，該觸媒諸如為鋁酸鈉、鐳系元素硼化物(諸如 MB_6 ，其中 M 為鐳系元素)，或鹼土金屬硼化物(諸如 MB_6 ，其中 M 為鹼土金屬)。反應物或電池組分可為氧化物。氧化物中之電化學物質可為氧化物離子或質子。鹽橋可傳導氧化物離子。氧化物導體之典型實例為氧化釔穩定化之氧化鋯(YSZ)、摻雜氧化釔之二氧化鈾(CGO)、鎵酸鐳(lanthanum gallate)及鉍銅釩氧化物(諸如 BiCuVO_x)。一些鈣鈦礦材料，諸如 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_y\text{O}_{3-d}$ ，亦顯示混合氧化物及電子傳導性。鹽橋可傳導質子。經摻雜之鈾酸鋇及鋯酸鋇為良好質子導體或質子化氧化物離子之導體。 H^+ 導體可為 SrCeO_3 型質子導體，諸如鋇鈾鈦氧化物。 H_xWO_3 為另一適合之質子導體。納菲薄膜、類似膜及相關化合物亦為適合之質子導體，且可進一步充當陽離子導體，諸如 Na^+ 或 Li^+ 導體。質子導體可於金屬網(諸如SS)上包含 HCl-LiCl-KCl 熔融鹽電解質之固體膜，其可充當具有有機電解質之電池的質子導體鹽橋。陽離子電解質可經歷與納菲薄膜之交換以形成相應離子導體。質子導體可為無水聚合物，諸如基於離子液體之複合膜，諸如納菲薄膜

及離子液體，諸如三氟甲烷磺酸1-乙基-3-甲基咪唑鎧及四氟硼酸1-乙基-3-甲基咪唑鎧，或包含以下之聚合物：質子供體及受體基團，諸如具有苯并咪唑部分之基團，諸如聚[(1-(4,4'-二苯醚)-5-氧基苯并咪唑)-苯并咪唑]，其亦可與納菲薄膜一起摻合且進一步經諸如無機電子缺乏型化合物(諸如BN奈米粒子)摻雜。

在其他實施例中，熟習此項技術者已知之許多其他離子中的一或多者可在固體內移動，諸如 Li^+ 、 Na^+ 、 Ag^+ 、 F^- 、 Cl^- 及 N^{3-} 。使用任何此等離子之相應良好的電解質材料為 Li_3N 、 $\text{Na}-\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 AgI 、 PbF_2 及 SrCl_2 。摻雜鹼金屬鹽之聚氧化乙烯或類似聚合物可充當遷移鹼金屬離子(諸如 Li^+)之電解質/隔板。另外，鹼金屬及鹼土金屬氫化物、鹵化物及混合物為氫化物離子 H^- 之良導體。適合混合物包含共熔熔融鹽。鹽橋可包含氫化物且可選擇性傳導氫化物離子。氫化物可極具熱穩定性。由於其高熔點及熱分解溫度，因此適合氫化物為鹽水氫化物，諸如鋰、鈣、鋇及鋇之鹽水氫化物，及金屬氫化物，諸如稀土金屬(諸如Eu、Gd及La)之氫化物。在後一情況下，H或質子可擴散通過金屬，同時在表面自 H^- 轉化或轉化為 H^+ 。鹽橋可為氫化物離子傳導性固體-電解質，諸如 $\text{CaCl}_2\text{-CaH}_2$ 。適合之氫化物離子傳導性固體電解質為 $\text{CaCl}_2\text{-CaH}_2$ (5至7.5 mol%)及 $\text{CaCl}_2\text{-LiCl-CaH}_2$ 。

Li^+ 、 Na^+ 及 K^+ (分別為觸媒Li、NaH及K之來源)之適合鹽橋分別為 β 氧化鋁與 Li^+ 、 Na^+ 及 K^+ 之錯合物。 Li^+ 鹽橋或固

體電解質可為鹵化物穩定化之 LiBH_4 ，諸如 $\text{LiBH}_4\text{-LiX}$ ($\text{X}=\text{鹵離子}$)、 Li^+ 浸漬型 Al_2O_3 ($\text{Li-}\beta\text{-氧化鋁}$)、基於 Li_2S 之玻璃、 $\text{Li}_{0.29+d}\text{La}_{0.57}\text{TiO}_3$ ($d=0$ 至 0.14)、 $\text{La}_{0.51}\text{Li}_{0.34}\text{TiO}_{2.94}$ 、 $\text{Li}_9\text{AlSiO}_8$ 、 $\text{Li}_{14}\text{ZnGe}_4\text{O}_{16}$ (LISICON)、 $\text{Li}_x\text{M}_{1-y}\text{M}'_y\text{S}_4$ ($\text{M}=\text{Si、Ge}$ 且 $\text{M}'=\text{P、Al、Zn、Ga、Sb}$)(硫基-LISICON)、 $\text{Li}_{2.68}\text{PO}_{3.73}\text{N}_{0.14}$ (LIPON)、 $\text{Li}_5\text{La}_3\text{Ta}_2\text{O}_{12}$ 、 $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{LiM}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{M}^{\text{IV}}=\text{Ge、Ti、Hf及Zr}$ 、 $\text{Li}_{1+x}\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$ ($0\leq x\leq 2$) LiNbO_3 、矽酸鋰、鋁酸鋰、鋁矽酸鋰、固體聚合物或凝膠、二氧化矽(SiO_2)、氧化鋁(Al_2O_3)、氧化鋰(Li_2O)、 Li_3N 、 Li_3P 、氧化鎵(Ga_2O_3)、磷氧化物(P_2O_5)、氧化矽鋁，及其固溶體及此項技術中已知之其他者。傳導性可用諸如 Li_3PO_4 或 Li_3BO_3 之 Li 鹽增強。 Li 玻璃亦可充當 Li^+ 鹽橋。舉例而言，浸透 1 M LiPF_6 電解質之 $1:1$ 碳酸二甲酯(DMC)/碳酸伸乙酯(EC)溶液(亦稱為 LP 30)或 1 M LiPF_6 之 $1:1$ 碳酸二乙酯(DEC)/碳酸伸乙酯(EC)溶液(亦稱為 LP 40)的 Whatman GF/D 硼矽玻璃-纖維薄片可充當隔板/電解質。鹵化物穩定化之 LiBH_4 甚至在室溫下亦可充當快 Li^+ 離子導體。鹵化物可為 LiF 、 LiCl 、 LiBr 或 LiI 。隔板可為膜，諸如單層或多層聚烯烴或芳族聚醯胺。該膜可在陽極與陰極之間提供障壁且可進一步使鋰離子可自電池一側交換至另一側。適合之膜隔板為聚丙稀(PP)、聚乙稀(PE)或三層(PP/PE/PP)電解膜。特定例示性膜為厚度為 $25\text{ }\mu\text{m}$ 且孔隙率為 0.37 之 Celgard 2400 聚丙稀膜(Charlotte, NC)。電解質可為 1 M LiPF_6 電解質之 $1:1$ 碳酸二甲酯(DMC)/碳酸伸乙酯(EC)溶液。另一適合之隔板

/電解質為 Celgard 2300 及 1 M LiPF₆ 電解質之 30:5:35:30 v/v EC-PC-EMC-DEC 溶劑溶液。其他適合溶劑及電解質為鋰螯合型硼酸根陰離子電解質，諸如鋰[雙(乙二酸酯基)硼酸鹽]、二氧雜環戊烷、四氫呋喃衍生物、六甲磷醯胺 (HMPA)、二甲氧乙烷 (DME)、1,4-苯并二噁烷 (BDO)、四氫呋喃 (THF) 及過氯酸鋰之二氧雜環戊烷 (諸如 1,3-二氧雜環戊烷) 溶液。熟習此項技術者已知之適於操作基於 Li 之陽極的其他溶劑為適合的。此等溶劑範圍介於有機物 (諸如碳酸仲丙酯) 至無機物 (諸如亞硫醯氯及二氧化硫) 之間且通常具有極性基，諸如羰基、腈基、磺醯基及醚基中之至少一者。溶劑可進一步包含添加劑以提高溶劑穩定性或提高低能量氫反應程度及速率中之至少一者。

在實施例中，有機碳酸鹽及酯可包含電解質溶劑。適合溶劑為碳酸仲乙酯 (EC)、碳酸仲丙酯 (PC)、碳酸仲丁酯 (BC)、 γ -丁內酯 (γ BL)、 δ -戊內酯 (δ VL)、*N*-甲基嗎啉-*N*-氧化物 (NMO)、碳酸二甲酯 (DMC)、碳酸二乙酯 (DEC)、碳酸甲乙酯 (EMC)、乙酸乙酯 (EA)、丁酸甲酯 (MB) 及丁酸乙酯 (EB)。在實施例中，有機醚可包含電解質溶劑。適合溶劑為二甲氧甲烷 (DMM)、1,2-二甲氧乙烷 (DME)、1,2-二乙氧乙烷 (DEE)、四氫呋喃 (THF)、2-甲基-四氫呋喃 (2-Me-THF)、1,3-二氧雜環戊烷 (1,3-DL)、4-甲基-1,3-二氧雜環戊烷 (4-Me-1,3-DL)、2-甲基-1,3-二氧雜環戊烷 (2-Me-1,3-DL)。鋰鹽可構成電解質溶質。適合之溶質為四氟硼酸鋰 (LiBF₄)、六氟磷酸鋰 (LiPF₆)、六氟砷酸鋰 (LiAsF₆)、過氯

酸鋰 (LiClO_4)、三氟甲磺酸鋰 ($\text{Li}^+\text{CF}_3\text{SO}_3^-$)、亞胺化鋰 ($\text{Li}^+[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]^-$)，及雙全氟乙烷磺鹽亞胺化鋰 (lithium beti) ($\text{Li}^+[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_2\text{CF}_3)_2]^-$)。在實施例中，為了整體特性，添加增強效能之添加劑，諸如 12-冠-4、15-冠-5、氮雜醚、硼酸鹽、硼烷及硼酸鹽。在實施例中，電解質可進一步包含陽極固體電解質界面 (SEI) 添加劑，諸如 CO_2 、 SO_2 、12-冠-4、18-冠-6、兒茶酚碳酸酯 (CC)、碳酸伸乙烯酯 (VC)、亞硫酸伸乙酯 (ES)、 α -溴- γ -丁內酯、氯甲酸甲酯、2-乙磺氧基-4,4-二甲基-4-丁內酯、丁二磺亞胺、N-苯甲氧基羧氧基丁二磺亞胺及肉桂酸甲酯。在實施例中，電解質可進一步包含陰極表面層添加劑，諸如 I^-/I_2 、正丁基二茂鐵、1,1'-二甲基二茂鐵、二茂鐵衍生物，諸如 1,2,4-三唑之 Na 鹽、諸如咪唑之 Na 鹽、1,2,5,-三氟基苯 (TCB)、四氟基對醌二甲烷 (TCNQ)、經取代之苯、焦碳酸酯及苯基環己烷。在實施例中，電解質可進一步包含新穎非水溶劑，諸如環狀碳酸酯、 γ BL、直鏈酯、氟化酯、氟化碳酸酯、氟化胺基甲酸酯、氟化醚、二醇硼酸酯 (BEG)、硼及磺鹽胺。在實施例中，電解質可進一步包含新穎鋰鹽，諸如芳族硼酸鋰、非芳族硼酸鋰、螯合磷酸鋰、Li FAP、偶氮化鋰 (Li azolate) 及咪唑化鋰 (Li imidazolid)。在一個實施例中，諸如分子低能量氫之低能量氫產物可溶於諸如 DMF 之溶劑中。例示性電池為 [Li/包含之溶劑]。

陰極及陽極可為電導體。導體可為載體且進一步包含導線以便陰極及陽極中之每一者各自連接至負載。導線亦為

導體。適合導體為金屬、碳、碳化物或硼化物。適合金屬為過渡金屬、不鏽鋼、貴金屬、內過渡金屬(諸如Ag)、鹼金屬、鹼土金屬、Al、Ga、In、Sn、Pb及Te。

電池可進一步包含陽極或陰極反應物之黏合劑。適合之聚合黏合劑包括例如聚(偏二氟乙烯)、共聚(偏二氟乙烯-六氟丙烯)、聚(四氟乙烯)、聚(氯乙烯)或聚(乙烯-丙烯-二烯單體)、EPDM。電極可為與半電池反應物接觸之適合導體，諸如鎳。

電池可包含固體、熔融或液體電池。後者可包含溶劑。可控制操作條件以達成至少一種反應物或電池組分之所需狀態或特性，諸如陰極電池反應物、陽極電池反應物、鹽橋及電池隔室之所需狀態或特性。適合狀態為固體、液體及氣體，且適合特性為離子及電子傳導性、物理特性、可溶混性、擴散速率及反應性。在一或多種反應物維持為熔融狀態之情況下，隔室溫度可控制在反應物熔點以上。熱可來自將氫催化為低能量氫之過程。或者，用由燃料電池之內電阻或可為烘箱之外部加熱器450所供之熱使氧化劑及/或還原劑反應物熔融。在一個實施例中，CIHT電池係由絕緣物包圍，該絕緣物包含雙壁抽空夾套，諸如薄片金屬夾套，其以傳導性及放射性熱損失之絕緣物填充，此為熟習此項技術者已知。電池可進一步包含按需提供啟動及維持熱以補充自反應(諸如在操作期間發生之低能量氫產生反應)內部產生之任何熱的熱管理系統。另外，必要時，系統可包含排熱系統以移除過量熱。排熱系統可包含

此項技術中已知之排熱系統，諸如包含熱交換器及冷卻劑循環器之排熱系統，其中熱轉移可藉由強制對流、輻射及傳導中之至少一者來實現。在一個實施例中，配置為熱力學有效的保熱體，諸如為保留熱提供最佳體積與表面積之比的恰當柱狀堆疊。在一個實施例中，陰極及陽極隔室中之至少一者之反應物由溶劑至少部分溶劑化。適合溶劑為有機溶劑章節及無機溶劑章節中所揭示者。可溶解鹼金屬之適合溶劑為六甲基磷醯胺($OP(N(CH_3)_2)_3$)、氨、胺、醚、錯合溶劑、冠醚及大環胺醚(cryptand)及溶劑，諸如醚，或醯胺，諸如THF加上冠醚或大環胺醚。

燃料電池可進一步包含至少一個氫系統460、461、430及431以便針對至少一個隔室量測、傳遞及控制氫。氫系統可包含泵、至少一個閥、一個壓力計及讀取器及控制系統以便將氫供至陰極及陽極隔室之至少一者。氫系統可將氫自一個隔室循環至另一隔室。在一個實施例中，氫系統將 H_2 氣體自陽極隔室再循環至陰極隔室。再循環可為主動或被動的。在前一情況下，可在操作期間將 H_2 自陽極抽至陰極隔室，且在後一情況下，由於在操作期間根據反應(諸如等式(85-86)之反應)在陽極隔室中建立壓力，因此 H_2 可自陽極擴散或流至陰極隔室。

產物可在陰極或陽極隔室中再生。可將產物送至再生器，其中本發明之任何再生化學均可適用於再生初始反應物。經歷低能量氫反應之電池可向經歷反應物再生者提供熱。

至少一個半電池之反應物可包含氫儲存材料(諸如金屬

氮化物)、M-N-H系統之物質(諸如 LiNH_2 、 Li_2NH 或 Li_3N)及進一步包含硼或鋁之鹼金屬氮化物(分別諸如硼氮化物或鋁氮化物)。其他適合之氮儲存材料為金屬氮化物，諸如鹼土金屬氮化物，諸如 MgH_2 ；金屬合金氮化物，諸如 BaReH_9 、 LaNi_5H_6 、 $\text{FeTiH}_{1.7}$ 及 MgNiH_4 ；金屬硼氮化物，諸如 $\text{Be}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Zn}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Sc}(\text{BH}_4)_3$ 、 $\text{Ti}(\text{BH}_4)_3$ 、 $\text{Mn}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Zr}(\text{BH}_4)_4$ 、 NaBH_4 、 LiBH_4 、 KBH_4 及 $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ 、 AlH_3 、 NaAlH_4 、 Na_3AlH_6 、 LiAlH_4 、 Li_3AlH_6 、 LiH 、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 及 TiFeH_2 、 NH_3BH_3 、聚胺基硼烷、胺硼烷錯合物，諸如胺硼烷、氮化硼氮合物、胼-硼烷錯合物、二硼烷二氮合物、硼氮炔及八氮三硼酸銨或四氮硼酸銨；咪唑鎘離子液體，諸如烷基(芳基)-3-甲基咪唑鎘N-雙(三氟甲烷磺基)磺亞胺鹽；硼酸鎂；及天然焦(carbonite)物質。其他例示性化合物為氮硼烷、鹼金屬氮硼烷，諸如鋰氮硼烷；及硼烷烷基胺錯合物，諸如硼烷二甲胺錯合物、硼烷三甲胺錯合物；及胺基硼烷及硼烷胺，諸如胺基二硼烷、n-二甲胺基二硼烷、參(二甲胺基)硼烷、二正丁基硼胺、二甲胺基硼烷、三甲胺基硼烷、氮-三甲基硼烷，及三乙胺基硼烷。其他適合氮儲存材料為含吸收氮之有機液體，諸如咪唑及衍生物，諸如9-(2-乙基己基)咪唑、9-乙基咪唑、9-苯基咪唑、9-甲基咪唑及4,4'-雙(N-咪唑基)-1,1'-聯苯。

在一個實施例中，至少一個電池另外包含電解質。電解質可包含熔融共熔鹽且可進一步包含氮化物。鹽可包含與

觸媒之陽離子相同之陽離子之一或多種鹵化物，或為比可由觸媒與鹽之鹵化物(諸如混合物 $\text{LiH} + \text{LiCl/KCl}$)的反應形成之鹵化物化合物更穩定的化合物。或者，鹽混合物包含與觸媒金屬相同之鹼金屬的混合鹵化物，此係因為用觸媒鹵化物之鹵離子-氫離子交換反應將不會產生淨反應之故。鹽可為鹵化物離子導體。除鹵化物之外，可傳導鹵化物離子之其他適合熔融鹽電解質為鹵氧化物，諸如含 KH 之 KOH 或含 NaH 之 NaOH ；及有機金屬系統，諸如含 NaH 之 $\text{NaAl}(\text{Et})_4$ 。電池可由金屬(諸如 Al 、不鏽鋼、 Fe 、 Ni 、 Ta)製成，或包含石墨、氮化硼、 MgO 、氧化鋁或石英坩堝。

電解質可包含兩種或兩種以上鹵化物之共熔鹽，該等鹵化物諸如為鹼金屬鹵化物及鹼土金屬鹵化物之群中的至少兩種化合物。例示性鹽混合物包括 LiF-MgF_2 、 NaF-MgF_2 、 KF-MgF_2 及 NaF-CaF_2 。其他適合溶劑為有機氯鋁酸鹽熔融鹽及基於金屬硼鹵化物及金屬鋁鹵化物之系統。可為熔融混合物(諸如熔融共熔混合物)之其他適合電解質係在表 4 中給出。

表 4. 熔融鹽電解質

$\text{AlCl}_3\text{-CaCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-CoCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-FeCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-KCl}$	$\text{AlCl}_3\text{-LiCl}$
$\text{AlCl}_3\text{-MgCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-MnCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-NaCl}$	$\text{AlCl}_3\text{-NiCl}_2$	$\text{AlCl}_3\text{-ZnCl}_2$
$\text{BaCl}_2\text{-CaCl}_2$	$\text{BaCl}_2\text{-CsCl}$	$\text{BaCl}_2\text{-KCl}$	$\text{BaCl}_2\text{-LiCl}$	$\text{BaCl}_2\text{-MgCl}_2$
$\text{BaCl}_2\text{-NaCl}$	$\text{BaCl}_2\text{-RbCl}$	$\text{BaCl}_2\text{-SrCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-CaF}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-CaO}$
$\text{CaCl}_2\text{-CoCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-CsCl}$	$\text{CaCl}_2\text{-FeCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-FeCl}_3$	$\text{CaCl}_2\text{-KCl}$
$\text{CaCl}_2\text{-LiCl}$	$\text{CaCl}_2\text{-MgCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-MgF}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-MnCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-NaAlCl}_4$
$\text{CaCl}_2\text{-NaCl}$	$\text{CaCl}_2\text{-NiCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-PbCl}_2$	$\text{CaCl}_2\text{-RbCl}$	$\text{CaCl}_2\text{-SrCl}_2$
$\text{CaCl}_2\text{-ZnCl}_2$	$\text{CaF}_2\text{-KCaCl}_3$	$\text{CaF}_2\text{-KF}$	$\text{CaF}_2\text{-LiF}$	$\text{CaF}_2\text{-MgF}_2$
$\text{CaF}_2\text{-NaF}$	$\text{CeCl}_3\text{-CsCl}$	$\text{CeCl}_3\text{-KCl}$	$\text{CeCl}_3\text{-LiCl}$	$\text{CeCl}_3\text{-NaCl}$
$\text{CeCl}_3\text{-RbCl}$	$\text{CoCl}_2\text{-FeCl}_2$	$\text{CoCl}_2\text{-FeCl}_3$	$\text{CoCl}_2\text{-KCl}$	$\text{CoCl}_2\text{-LiCl}$
$\text{CoCl}_2\text{-MgCl}_2$	$\text{CoCl}_2\text{-MnCl}_2$	$\text{CoCl}_2\text{-NaCl}$	$\text{CoCl}_2\text{-NiCl}_2$	CsBr-CsCl

CsBr-CsF	CsBr-CsI	CsBr-CsNO3	CsBr-KBr	CsBr-LiBr
CsBr-NaBr	CsBr-RbBr	CsCl-CsF	CsCl-CsI	CsCl-CsNO3
CsCl-KCl	CsCl-LaCl3	CsCl-LiCl	CsCl-MgCl2	CsCl-NaCl
CsCl-RbCl	CsCl-SrCl2	CsF-CsI	CsF-CsNO3	CsF-KF
CsF-LiF	CsF-NaF	CsF-RbF	CsI-KI	CsI-LiI
CsI-NaI	CsI-RbI	CsNO3-CsOH	CsNO3-KNO3	CsNO3-LiNO3
CsNO3-NaNO3	CsNO3-RbNO3	CsOH-KOH	CsOH-LiOH	CsOH-NaOH
CsOH-RbOH	FeCl2-FeCl3	FeCl2-KCl	FeCl2-LiCl	FeCl2-MgCl2
FeCl2-MnCl2	FeCl2-NaCl	FeCl2-NiCl2	FeCl3-LiCl	FeCl3-MgCl2
FeCl3-MnCl2	FeCl3-NiCl2	K2CO3-K2SO4	K2CO3-KF	K2CO3-KNO3
K2CO3-KOH	K2CO3-Li2CO3	K2CO3-Na2CO3	K2SO4-Li2SO4	K2SO4-Na2SO4
KAlCl4-NaAlCl4	KAlCl4-NaCl	KBr-KCl	KBr-KF	KBr-KI
KBr-KNO3	KBr-KOH	KBr-LiBr	KBr-NaBr	KBr-RbBr
KCl-K2CO3	KCl-K2SO4	KCl-KF	KCl-KI	KCl-KNO3
KCl-KOH	KCl-LiCl	KCl-LiF	KCl-MgCl2	KCl-MnCl2
KCl-NaAlCl4	KCl-NaCl	KCl-NiCl2	KCl-PbCl2	KCl-RbCl
KCl-SrCl2	KCl-ZnCl2	KF-K2SO4	KF-KI	KF-KNO3
KF-KOH	KF-LiF	KF-MgF2	KF-NaF	KF-RbF
KFeCl3-NaCl	KI-KNO3	KI-KOH	KI-LiI	KI-NaI
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
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		

諸如表4中給出之例示性鹽混合物的熔融鹽電解質為 H^- 離子導體。在實施例中，在本發明中暗示，將諸如鹼金屬氫化物(諸如 LiH 、 NaH 或 KH)之 H^- 來源添加至熔融鹽電解質中以改良 H^- 離子傳導性。在其他實施例中，熔融電解質可為鹼金屬離子導體或質子導體。在其他實施例中，電解質包含氫氧化物。觸媒可為可由氫氧化物形成之 H_2O 。

在一個例示性實施例中， LiCl-KCl 濃度為約58.5+41.2 mol%，熔融溫度為約 450°C ，且 LiH 濃度為約0.1 mol%或0.1 mol%以下。在其他實施例中， LiH 濃度可為任何所需莫耳百分比直至約8.5%之飽和極限。在另一例示性實施例中，電解質可包含 LiH+LiF+KF 或 NaF 及視情況選用之載體(諸如 TiC)。其他適合電解質為鹼金屬氫化物及鹼金屬及鹼土金屬硼氫化物之混合物，其中電池反應可為金屬交換。適合混合物為以下之共熔混合物：熔融溫度為約 503°C 之約43+57 mol%之 NaH-KBH_4 、熔融溫度為約 390°C 之約66+34 mol%之 KH-KBH_4 、熔融溫度為約 395°C 之約21+79 mol%之 NaH-NaBH_4 、熔融溫度為約 103°C 之約53+47 mol%之 $\text{KBH}_4\text{-LiBH}_4$ 、熔融溫度為約 213°C 之約41.3+58.7 mol%之 $\text{NaBH}_4\text{-LiBH}_4$ ，及熔融溫度為約 453°C 之約31.8+68.2 mol%之 $\text{KBH}_4\text{-NaBH}_4$ ，其中混合物可進一步包含鹼金屬或鹼土金屬氫化物，諸如 LiH 、 NaH 或 KH 。適合之氫化物濃度為0.001至10 mol%。

反應混合物可包含(1)觸媒或觸媒來源及氫來源，諸如 LiH 、 NaH 、 KH 、 RbH 、 CsH 、 BaH 之一及至少一個 H ；(2)

可充當電解質之共熔鹽混合物，其可具有高離子傳導性且可選擇性允許氫化物離子通過，包含Li、Na、K、Rb、Cs、Mg、Ca、Sr及Ba之群中的至少兩種陽離子及F、Cl、Br及I之群中的至少一種鹵素；(3)可選擇性導電之載體，諸如碳化物，諸如TiC；及(4)視情況選用之還原劑及氫化物交換反應物，諸如鹼土金屬或鹼土金屬氫化物。

[illegible]

[illegible]

電池進一步包含陽極及陰極之集電體，其中集電體可包含固體箔或網孔材料。陽極半電池之適合之未經塗佈的集電體材料可選自以下之群：不鏽鋼、Ni、Ni-Cr合金、Al、Ti、Cu、Pb及Pb合金、耐火金屬及貴金屬。陰極半電池之適合之未經塗佈的集電體材料可選自以下之群：不鏽鋼、Ni、Ni-Cr合金、Ti、Pb氧化物(PbO_x)及貴金屬。或者，集電體可包含適合金屬箔，諸如Al，其具有薄鈍化層，該鈍化層不會被腐蝕且將保護上方沈積有其之該箔。可用於任一半電池中之例示性抗腐蝕層為TiN、CrN、C、CN、NiZr、NiCr、Mo、Ti、Ta、Pt、Pd、Zr、W、FeN及CoN。在一個實施例中，陰極集電體包含經TiN、FeN、C、CN塗佈之Al箔。塗層可藉由此項技術中已知之任何方

法來實現。例示性方法為物理氣相沈積(諸如濺鍍)、化學氣相沈積、電沈積、噴霧沈積及層壓。

H來源可為金屬氫化物，包含陽極反應物及陽極反應物中之至少一者。氫化物可為電導體。例示性導電氫化物為氫化鈦及氫化鎳。其他適合之氫化物為稀土金屬氫化物，諸如La、Ce、Eu及Gd之氫化物、氫化釷及氫化鈾。顯示高電導率之其他適合之例示性氫化物為以下群中一或多者：CeH₂、DyH₂、ErH₂、GdH₂、HoH₂、LaH₂、LuH₂、NdH₂、PrH₂、ScH₂、TbH₂、TmH₂及YH₂。其他適合之導電氫化物為TiH₂、VH、VH_{1.6}、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}、CrH、CrH₂、NiH、CuH、YH₂、YH₃、ZrH₂、NbH、NbH₂、PdH_{0.7}、LaH₂、LaH₃、TaH、鎳系氫化物：MH₂(氟石)M=Ce、Pr、Nb、Sm、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Lu；MH₃(立方體)M=Ce、Pr、Nd、Yb；MH₃(六方)M=Sm、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Lu；銅系元素氫化物：MH₂(氟石)M=Th、Np、Pu、Am；MH₃(六方)M=Np、Pu、Am及MH₃(立方體，複雜結構)M=Pa、U。

半電池反應物可進一步包含任何種類之載體或導電載體，諸如碳化物(諸如TiC)、硼化物(諸如TiB₂或MgB₂)、碳或其他載體(諸如TiCN)。其他適合之載體為纖維素、碳纖維、納菲薄膜、陽離子或陰離子交換樹脂、分子篩(諸如4A或13X)或導電聚合物(諸如聚苯胺、聚噻吩、聚乙炔、聚吡咯、聚乙烯基二茂鐵、聚乙烯基二茂鎳或聚乙烯基二

茂鈷)、碳奈米管、萸或類似籠形或穴形化合物(諸如沸石), 及可與導體(諸如碳)混合或摻雜導體之Pt/奈米Ti、Pt/Al₂O₃、沸石、Y沸石、HY沸石及Ni-Al₂O₃-SiO₂。具有一些親水性官能基之蒸汽或活性碳亦可用作載體。

除將胺化物、亞胺化物及氮化物添加至電解質中外, 反應物或物質之活性亦可如下改變: 添加磷化物、硼化物、氧化物、氫氧化物、矽化物、氮化物、砷化物、硒化物、碲化物、銻化物、碳化物、硫化物及氫化物之群中的至少一種化合物。在一個實施例中, 諸如Li或LiH或其他觸媒來源或觸媒(諸如K、KH、Na及NaH)之物質的活性係藉由使用包括可鍵結於物質之陰離子的緩衝液來控制。緩衝液可包含相對離子。相對離子可為以下之群中之至少一者: 鹵離子、氧離子、磷離子、硼離子、氫氧根、矽離子、氮離子、砷離子、硒離子、碲離子、銻離子、碳離子、硫離子、氫離子、碳酸根、碳酸氫根、硫酸根、硫酸氫根、磷酸根、磷酸氫根、磷酸二氫根、硝酸根、亞硝酸根、高錳酸根、氯酸根、過氯酸根、亞氯酸根、過亞氯酸根、次氯酸根、溴酸根、過溴酸根、亞溴酸根、過亞溴酸根、碘酸根、過碘酸根、亞碘酸根、過亞碘酸根、鉻酸根、重鉻酸根、碲酸根、硒酸根、砷酸根、矽酸根、硼酸根、氧化鈷、氧化碲及其他氧陰離子, 諸如以下之氧陰離子: 鹵素、P、B、Si、N、As、S、Te、Sb、C、S、P、Mn、Cr、Co及Te。至少一個CIHT半電池隔室可含有相對離子之化合物, 電池可包含鹽橋, 且鹽橋可對相對離子具有選

擇性。

電解質可另外包含金屬或氫化物，諸如鹼金屬或鹼土金屬或氫化物。適合之鹼土金屬及氫化物分別為Mg及MgH₂。至少一個電極可包含載體，諸如TiC、YC₂、Ti₃SiC₂及WC，且半電池可進一步包含觸媒（諸如K、NaH），或可為來自Li⁺遷移之Li、還原劑（諸如Mg或Ca）、載體（諸如TiC、YC₂、Ti₃SiC₂或WC）、氧化劑（諸如LiCl、SrBr₂、SrCl₂或BaCl₂）及H來源（諸如氫化物，諸如R-Ni、TiH₂、MgH₂、NaH、KH或LiH）。氫可滲入半電池隔室之壁中以形成觸媒或充當H來源。滲透H之來源可來自H⁻氧化。

半電池隔室可用電絕緣隔板分隔及連接。隔板亦可充當鹽橋之載體。鹽橋可包含熔融鹽，由隔板支撐。隔板可為MgO或BN纖維。後者可作為編織物或非編織氈。在一個實施例中，觸媒或觸媒來源及氫來源（諸如NaH或KH）實質上不可溶於鹽橋中。可將各半電池反應混合物壓成板片（plaque）且附接至陽極及陰極之集電體。板片可用至少一個穿孔薄片（諸如金屬板）固定。或者，隔板可透過H，其中H⁻在陰極半電池界面起反應而形成H，H穿過隔板且在陽極半電池界面形成H⁻。藉由形成H而輸送H⁻之適合隔板為耐火鹼金屬，諸如V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th及稀土金屬以及貴金屬及合金，諸如Pd及Pd/Ag合金。構成H膜之金屬可被加上偏壓以提高界面處之H⁻/H轉化活性。活性亦可藉由使用濃度梯

度來提高。

反應物可包含至少一種亦可充當氫解離體之載體。載體可包含碳、碳化物或硼化物。適合之碳、碳化物及硼化物為碳黑、TiC、Ti₃SiC₂、TiCN、SiC、YC₂、TaC、Mo₂C、WC、C、HfC、Cr₃C₂、ZrC、VC、NbC、B₄C、CrB₂、ZrB₂、GdB₂、MgB₂及TiB₂。亦可充當氫解離體之適合載體為Pd/C、Pt/C、Pd/MgO、Pd/Al₂O₃、Pt/MgO及Pt/Al₂O₃。

半電池隔室可用亦可充當鹽橋載體之電絕緣隔板分隔及連接。鹽橋可包含由隔板支撐之熔融鹽。隔板可為MgO或BN纖維。後者可作為編織物或非編織氈。

在另一實施例中，陽極或陰極半電池包含H或H⁻來源，諸如氫可透陰極；及氫來源，諸如Ti(H₂)、Nb(H₂)或V(H₂)陰極((H₂)表示可滲入電極以接觸電解質之氫來源，諸如氫氣)；或氫化物，諸如以下中之至少一者：鹼金屬或鹼土金屬氫化物、過渡金屬氫化物(諸如Ti氫化物)、內過渡金屬氫化物(諸如Nb、Zr或Ta氫化物)、鈮或鉬氫化物及稀土金屬氫化物。

電池可為間歇電解及放電型中之至少一者。電解陰極及陽極可為CIHT電池陽極及陰極，其中自CIHT轉換成電解電池時角色顛倒且在電池再生之後復原。反向電壓可以脈衝形式施加。可在任何頻率範圍內、在峰值電壓、峰值電力、峰值電流、工作循環及補償電壓下具有脈衝反向極性及波形。脈衝逆轉可為DC，或所施加電壓可交替變化或

具有波形。該施加可按所需頻率脈衝式進行且波形可具有所需頻率。適合之脈衝頻率係在約1至約1000 Hz之範圍內且工作循環可為約0.001%至約95%，但可在此範圍內兩個增量之因子的較窄範圍內。在一個實施例中，電池被維持在最佳操作高頻率下以使輸入能量最小化，以便形成H單層，其可在放電階段期間起反應而形成低能量氫。每電池之峰值電壓可在約0.1 V至10 V中之至少一者之範圍內，但可在此範圍內兩個增量之因子的較窄範圍內。在另一實施例中，施加可在每電池約10 V至100 kV之範圍內，但可在此範圍內量級增量之較窄範圍內的高壓脈衝。波形頻率可在約0.1 Hz至約100 MHz、約100 MHz至10 GHz及約10 GHz至100 GHz中之至少一者之範圍內，但可在此範圍內量級增量之較窄範圍內。工作循環可為約0.001%至約95%及約0.1%至約10%之範圍中之至少一者，但可在此範圍內量級增量之較窄範圍內。脈衝之峰值功率密度可在約 0.001 W/cm^2 至 1000 W/cm^2 之範圍內，但可在此範圍內量級增量之較窄範圍內。脈衝之平均功率密度可在約 0.0001 W/cm^2 至 100 W/cm^2 之範圍內，但可在此範圍內量級增量之較窄範圍內。在一個實施例中，可增加間歇充電-放電頻率以降低電荷轉移電阻。

在一個實施例中，在電解期間產生可能短暫存在之反應物，此使得在充電與放電之重複週期之CIHT電池放電階段期間形成低能量氫及相應電力。可施加電解電力以相對於輸入能最佳化來自形成低能量氫之能量。可調節電壓、

波形、工作電池、頻率及其他此等參數之電解條件以提高來自電池之電能增益。

在實施例中，使半電池反應物再生。再生可為分批模式，藉由諸如將產物電解為反應物之方法或藉由使產物熱反應成反應物來達成。或者，系統可以分批模式或連續地自發再生。形成低能量氫反應物之反應係藉由包括在陽極半電池中經歷氧化且在陰極半電池中經歷還原之相應反應物的電子及離子流來發生。在一個實施例中，形成低能量氫反應物之總反應在熱力學上並不有利。舉例而言，其具有正自由能，且反方向之反應為自發的或可藉由改變反應條件而變得自發。接著，由低能量氫形成中釋放之高能量以可為協同反應之方式驅動反應之正向。因為形成低能量氫之反應為不可逆的，所以在形成低能量氫之後產物可自發轉化為反應物。或改變一或多種反應條件，諸如溫度、氫壓或一或多種反應物或產物之濃度，以使電池之初始反應物再生。

在一個實施例中，低能量氫氫化物抑制反應，且再生係藉由使氫化物反應形成可自電池排出之分子低能量氫來達成。氫化物可存在於陰極及陽極中之至少一者上及存在於電解質中。氫化物反應成分子低能量氫可藉由電解達成。電解可具有與CIHT電池操作相反之極性。電解可形成質子或 H ，其與低能量氫氫化物反應形成分子低能量氫。反應可在電解陽極處發生。在一個實施例中，低能量氫氫化物離子具有高移動率，使得其遷移至陽極且與 H^+ 或 H 反應

形成分子低能量氫。

在一個實施例中，選擇半電池反應物，使得氧化還原反應中之能量較佳地匹配H原子與觸媒之間約27.2 eV能量轉移之整數倍以提高形成低能量氫之反應速率。氧化還原反應中之能量可提供活化能以提高形成低能量氫之反應速率。在一個實施例中，調節電池之電力負載以使經由電及離子流耦合之氧化還原反應與H原子與觸媒之間約27.2 eV能量轉移之整數倍匹配以提高形成低能量氫之反應速率。

在圖2中所示之雙膜三隔室電池中，鹽橋可在陽極472與陰極473之間的隔室470中包含離子傳導性電解質471。電極保持分開且可密封於內部容器壁以使容器壁及電極形成電解質471之腔室470。使電極與容器電絕緣以使其彼此隔離。可能使電極電短路之任何其他導體均必須亦與容器電絕緣以避免短路。陽極及陰極可包含對氫具有高可透性之金屬。電極可包含提供較高表面積之幾何形狀，諸如管電極，或其可包含多孔電極。來自陰極隔室474之氫可擴散通過陰極且在陰極與鹽橋電解質471之界面處經歷向H⁻之還原。H⁻經由電解質遷移且在電解質-陽極界面處氧化為H。H擴散通過陽極且與觸媒在陽極隔室475中反應形成低能量氫。H⁻及觸媒電離在陰極提供還原電流，其攜帶於外部電路476中。H可透電極可包含V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、經Pd塗佈之Ag、經Pd塗佈之V、經Pd塗佈之Ti、稀土金屬、其他耐火金屬，及熟習此項技術者已知之其他此等金

屬。電極可為金屬箔。化學物質可藉由加熱在陽極隔室中形成之任何氫化物以將其熱分解來熱再生。可使氫流至或將其抽至陰極隔室中以使初始陰極反應物再生。再生反應可在陽極及陰極隔室中發生，或可將一或兩個隔室中之化學物質輸送至一或多個反應容器中以進行再生。

在圖2所示之一個實施例中，電解質471包含熔融氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物，諸如LiOH及NaOH中之至少一者，且可進一步包含另一鹽，諸如鹼金屬鹵化物。圖2中所示之電池可包含一個單元之該等電池之堆疊。相對於地面之定向可如圖2中所示，其中陽極472在底部上且與地面呈水平。陽極可包含可抵抗氫氧化物腐蝕之氫可透材料，諸如Ni。陰極473可部分浸沒或浸沒於電解質471中。在一個實施例中，陽極可包含在鹼中穩定且在較低溫度下具有較高滲透速率之金屬或合金，諸如NiV、PdAg或經Ni塗佈之H可透過性金屬(諸如V、Nb、Ti、不鏽鋼(SS)430及Ta)，以致可降低電池操作溫度。氫可自歧管經由氫供應管供應給堆疊之各電池。在滲透電極由氫鼓泡或噴射電極置換的一個實施例中，氫供應進一步包含氫歧管且可進一步包含氫擴散器以在電池堆疊之各鼓泡或噴射電極之上理想地均勻分配氫。在一個實施例中，陰極可透過氧來源(諸如O₂氣體或空氣)。陰極可包含多孔墊、發泡體、燒結金屬粉末(可為Ni)。惰性間隔物可隔開陰極與陽極。在一個實施例中，Al₂O₃珠粒可充當例示性間隔物，其中在電極之間有一薄電解質層。腔室474可包含用於氧來源(諸如

O₂氣體或空氣)之氣隙。氣隙474可進一步包含支撐結構以固持安裝於支撐物上之複數個電池之堆疊的緊貼鄰接層。電池可串聯或並聯電連接。在另一實施例中，堆疊之單元電池之陽極包含具有氫可透膜之腔室，該氫可透膜包含一個面向電解質之壁，其中腔室具有氫供應(諸如通向腔室之氫管線)。單元電池進一步包含可為可能敞露之高表面積導電材料之相對陰極以使其可透過陰極氣體(諸如空氣)。適合的例示性材料為纖維狀、絲狀或燒結多孔金屬(諸如鎳墊)。下一單元電池可與陽極腔室之同與前一單元電池之陰極接觸的氫可透膜相對之導電壁堆疊於一起。堆疊可由位於各堆疊末端或散置於堆疊中之加熱器(諸如板)加熱。或者，堆疊可在烘箱中加熱。堆疊可含於隔熱腔室中。

在一個實施例中，如圖3中所示，氫滲透電極及視情況選用之氧電極由雙極板507之元件替換。電池設計可基於平面正方形幾何配置，其中電池可加以堆疊以建立電壓。各電池可形成包含陽極集電體、多孔陽極、電解質基質、多孔陰極及陰極集電體之重複單元。一個電池可由隔板與下一個隔開，隔板可包含充當氣體隔板與串聯集電體之雙極板。板可具有交叉流動氣體配置或內部歧管。如圖3中所示，在包含複數個個別CIHT電池之CIHT電池堆疊500中，互連件或雙極板507隔開陽極501與相鄰陰極502。陽極或H₂板504可為波紋狀的或包含分配經由孔口503供應之氫的通道505。具有通道505之板504代替其他實施例之氫

可透膜或間歇電解陰極(放電陽極)。該等孔口可自歧管沿著孔口503接收氫，該氫又由氫來源(諸如槽)供應。板504可進一步理想地均勻分配氫以鼓泡或噴射至發生電化學反應的有效區中。雙極板可進一步包含雙極板之具有與H₂板類似之結構的氧板以分配氧氣至氧氣歧管自供應處沿氧氣孔口506供應氧氣的有效區中。該等波紋狀或有通道之板可導電，且與有效區中之陽極及陰極集電體相連並維持電接觸。在一個實施例中，所有互連件或雙極板構成允許陽極與陰極氣體相分離的氣體分配網狀結構。濕封可藉由延伸壓在兩個個別板之間的電解質/基質(諸如LiOH-LiBr/Li₂TiO₃片)形成。該密封可防止反應物氣體洩漏。電解質可包含本發明之壓製球粒。形成電解質球粒之壓力在約1至500公噸/平方吋範圍內，電解質球粒諸如為包含氫氧化物(諸如鹼金屬氫氧化物，諸如LiOH)及鹵化物(諸如鹼金屬鹵化物，諸如LiBr)及基質(諸如MgO)之球粒。堆疊可進一步包含連接桿，其將壓力板固持在堆疊末端以向電池施加壓力，從而維持電解質(諸如球粒電解質)與電極之間的所需接觸。

在一個實施例中，雙極板相對側之電極之金屬不同，諸如一側為Ni且另一側為NiO，其中NiO可位於兩側，其中一側具有較高重量%。或者，一側可為一種金屬，且另一側可為另一種金屬，諸如Ni對比242合金或Mo。不同金屬可交替分佈在整個堆疊中。在另一實施例中，雙極板可包含陽極與陰極之間的導電隔板。隔板可包含不同材料，諸

如不同於陰極與陽極中之至少一者的金屬。隔板及至少一個電極可包含雙金屬電極。雙金屬可包含雙金屬接面。雙金屬可包含至少一個導體(諸如金屬或合金)，其電鍍於至少一個其他導體(諸如第二金屬或合金)上。雙金屬電極或接面中之至少一者可產生引起低能量氫反應速率增加之本質電壓。在一個實施例中，雙金屬包含兩種導體，諸如金屬，諸如Ni；及氧化物，諸如可進一步構成化合物之金屬氧化物，諸如鹼金屬氧化物。適合的例示性鹼金屬氧化物為鋰化氧化鎳。該增加可歸因於允許低能量氫躍遷之觸媒與H之較佳能量匹配。在另一實施例中，雙極板相對側之電解質不同。電解質差異可包含有至少一種成分不同之不同組成中的至少一者，且電解質之相同成分之濃度可不同。舉例而言，電解質可在一側上包含基質(諸如MgO)且在另一側上包含LiAlO₂。或者，電解質可在一側上包含LiOH-LiBr，且在另一側上包含LiOH-LiCl。另外，一側可包含一定重量百分比之NaOH。在一個實施例中，電極一側與另一側之間的差異引起各半電池之電極的化學電位、費米能級或電壓不同於各自的電解質。在另一實施例中，分隔介質或間隔物(諸如不導電材料或絕緣體)隔開雙極板之相對側，以致電極之接觸電解質之側的化學電位、費米能級或電壓不同於接觸分隔介質側。在一個實施例中，化學電位、費米能級或電壓之差異有助於催化氫形成低能量氫。在一個實施例中，不同電極金屬、雙金屬接面、電解質、基質及條件(諸如水合作用及溫度)中之至少一者在整

個堆疊中交替存在。在一個實施例中，陰極與陽極為不同材料，諸如不同金屬。陰極相對於陽極之材料不同可代替對雙極板雙金屬陽極之需求。在一個實施例中，雙極板區分陽極及陰極之雙金屬性質藉由使用不同於陰極的材料(諸如不同金屬)之單層陽極來滿足。適合的例示性陰極包含本發明之陰極之一。

在另一實施例中，至少一個電極包含至少兩種不同材料之多個層。電極可包含不同材料之層壓件。內層可改變與電解質接觸或與電解質之接觸增加之外層的電極電位。可選擇能抵抗腐蝕之外層。適於外層之穩定材料為Ni、貴金屬及抗腐蝕合金，諸如本發明之貴金屬及合金。適於內層以改變電極電位之材料為Mo及H242以及過渡金屬(諸如V、Cr、Ti、Mn、Co、Cu或Zn)、內過渡金屬(諸如Zr、Ag、Cd、Hf、Ta、W)、稀土金屬(諸如La)、或合金(諸如LaNi₅)、或其他金屬或類金屬或合金(諸如Al、Sn、In及Pb)、及其他合金(諸如MoCo、MoCu、MoMn、MoNi及MoCr)。電極可充當陽極或陰極。可充當陽極之例示性多層、多金屬電極或層壓電極為經壓製之Ni/Mo/Ni、經壓製之Ni/H242/Ni及經壓製之Ni/H242/Mo/Ni。在一個實施例中，電極可為熔融鹽，諸如氫氧化物與鹵化物鹽之混合物，諸如鹼金屬氫氧化物與鹵化物鹽之混合物，諸如本發明之該等混合物，諸如LiOH-LiBr；或水性電解質，諸如氫氧化物或碳酸鹽電解質或本發明之其他類似物。

結構、材料及方法可由熟習此項技術者已知之熔融碳酸

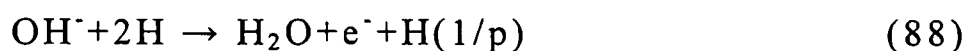
鹽或鹼性燃料電池之結構、材料及方法改變而來。例示性的適合結構、材料及方法如下。隔板或集電體可為Ni或Cu塗佈型不鏽鋼，諸如310S/316L。集電體可為穿孔的。雖然塗層為約50微米，但其他厚度亦適合，諸如1微米至1毫米。其他例示性的適合材料為鐵基合金，諸如304L、309S、310S、314、316L、347、405、430、446、17-4PH 18-18⁺、18SR、A118-2、A126-1S、A129-4、A1439、Glass Seal 27、Ferralium 255、RA253mA、Nitronic 50、20Cb3、330、Crutemp-25、Crutemp-25+La、Sanicro-33、310+Ce、IN800、IN840、A-286及鎳；鈷基合金，諸如IN600、IN601、IN671、IN690、IN706、IN718、IN825、IN925、MA956、RA333、Ni200、Ni201、Ni270、Haynes 230、Haynes 625、Haynes 188、Haynes 556、Nichrome、Monel 400；及含鋁合金，諸如GE-2541、FeCrAl+Hf、Haynes 214、FeCr合金、IJR (406)、85H、Kanthal AF及Ni₃Al。雖然適合的塗佈方法為包覆，但其他方法亦可使用，諸如如用胺基磺酸鹽浴之電解Ni電鍍，或無電Ni電鍍。至少一個電極可包含一或多種該等材料，尤其諸如鋼及合金，諸如抗腐蝕合金。陽極可為氫儲存材料，諸如本發明之氫儲存材料，諸如密鈷合金(mischmetal)，諸如M1：富La密鈷合金，諸如M1Ni_{3.65}Al_{0.3}Mn_{0.3}或M1(NiCoMnCu)₅、Ni、R-Ni、R-Ni+約8 wt% Vulcan XC-72、LaNi₅、Cu或Ni-Al、Ni-Cr(諸如約10% Cr)、Ce-Ni-Cr(諸如約3/90/7 wt%)、Cu-Al或Cu-Ni-Al合金。陽極可摻雜有氧化物，諸

如 MnO 、 CeO_2 及 LiFeO_2 ，或包含該等或其他氧化物。陰極可為 NiO 且可摻雜有 LiFeO_2 、 Li_2MnO_3 或 LiCoO_2 。基質可包含惰性材料，諸如陶瓷。基質材料可包含化合物，包含可遷移以促進離子輸送之物質。適合的例示性基質材料為氧陰離子化合物，諸如鋁酸鹽、鎢酸鹽、鋳酸鹽、鈦酸鹽以及本發明之其他類似物，諸如硫酸鹽、磷酸鹽、碳酸鹽、硝酸鹽、鉻酸鹽及錳酸鹽、氧化物、氮化物、硼化物、硫族化物、矽化物、磷化物及碳化物。基質材料可包含金屬、金屬氧化物、非金屬及非金屬氧化物。氧化物可包含以下中之至少一者：鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及 Al 、 Ga 、 In 、 Sn 、 Pb 、 S 、 Te 、 Se 、 N 、 P 、 As 、 Sb 、 Bi 、 C 、 Si 、 Ge 及 B 及可形成氧化物或氧陰離子之其他元素。基質可包含至少一種氧化物，諸如鹼性金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及 Al 、 Ga 、 In 、 Sn 、 Pb 、 S 、 Te 、 Se 、 N 、 P 、 As 、 Sb 、 Bi 、 C 、 Si 、 Ge 及 B 及可形成氧化物之其他元素之氧化物，及一個氧陰離子，且進一步包含至少一個陽離子，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及 Al 、 Ga 、 In 、 Sn 及 Pb 陽離子。適合之實例為 LiAlO_2 、 MgO 、 Li_2TiO_3 或 SrTiO_3 。在一個實施例中，基質化合物可包含陽極材料氧化物及電解質化合物，諸如陽離子及電解質氧化物中之至少一者。在一個例示性實施例中，電解質包含可形成相應氧化物(諸如 M_2O ，諸如 Li_2O)之氫氧化物(諸如鹼金屬氫氧化物，諸如 MOH (M =鹼金屬)，諸如

LiOH)，且電解質包含元素、金屬、合金或混合物，諸如可形成相應氧化物之Mo、Ti、Zr、Si、Al、Ni、Fe、Ta、V、B、Nb、Se、Te、W、Cr、Mn、Hf、Co及M' (M'=鹼土金屬)(諸如Mg)，諸如 MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO 或 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 及 MgO ，基質包含陰極材料氧化物及視情況選用之電解質氧化物(諸如 Li_2O)，對應於例示性的適合基質 Li_2MoO_3 或 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_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_4 、 Li_2HfO_3 、 LiCoO_2 及 $\text{M}'\text{O}$ (M'=鹼土金屬)(諸如 MgO)。基質可包含陽極元素或同一族元素之氧化物。舉例而言，就Mo陽極而言，同一元素或族之基質可為 Li_2MoO_4 、 MoO_2 、 Li_2WO_4 、 Li_2CrO_4 及 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 。基質可提供支撐。基質可抑制反應性物質自放電陰極擴散至放電陽極，諸如氧氣或反應性氧物質，諸如過氧化物或超氧化物離子。基質可呈糊樣。在實施例中，粒子尺寸可為亞微米，但諸如微米至毫米之其他尺寸亦適合。

在一個實施例中，電解質基質包含介電材料。介電質基質可容許H催化以在電池放電期間給陽極充相對於陰極呈

負性之電荷。充電可藉由形成離子雙層或藉由電離(氧化)電池之物質(諸如電解質及基質中之至少一者)來實現。在一個實施例中，能量來自將H催化形成低能量氫之過程。來自H躍遷為低能量氫之能量可為連續的，以使能量釋放以在相應陽極電壓下貢獻給充電，或充電可貢獻給陽極電壓。充電可涉及類似於電容器之機制及涉及至少一個電池物質之電化學變化機制(諸如陽極半電池之電解質之氧化)中之至少一者。陽極充電引起相應陰極充電以完成離子或電子流經電解質的外部電路。在一個實施例中，陽極半電池反應為



其中第一H與OH⁻反應形成H₂O觸媒及e⁻與在H₂O催化下使第二H形成低能量氫協同進行。與OH⁻反應之H可來自M-H，其中M為陽極材料，諸如金屬。在一個實施例中，觸媒接受匹配如方程式(68)所給出之所形成H₂O分子之位能且對應於使得形成H(1/4)之方程式(5)中m=3的3×27.2 eV。以第二H躍遷為低能量氫狀態所致之電子形式釋放之連續能量以及在自第二H接受後自觸媒釋放之能量可引起陽極充電。充電可包含電解質離子電容式充電或電解質或電極之至少一種物質氧化。因此，形成H₂O觸媒之電化學反應及形成低能量氫之協同H催化反應中所釋放的能量給經由外部電路之電流流動提供電力。電壓可為氫及氧電池反應之電壓，因為電解質包含H₂O及含氫氣、氧氣及水之氧化

及還原產物的物質。電池反應可包含由方程式(171-173)所給之反應中之至少一者。經由電解質以完成電路之離子路徑可包含電解質離子，諸如在包含LiOH-LiBr之電解質之情況下， Li^+ 、 OH^- 、氧化物及過氧化物離子及 Br^- 中之至少一者，或基質離子。因此，在一個實施例中，基質充當離子傳導介質，其中傳導可藉由電荷轉移或離子輸送提供。在另一實施例中，基質包含氧化物、氫氧化物、混合金屬氧化態、電解質離子及其他離子之混合物中之至少一者。離子傳導可藉由離子跳躍實現。輸送可涉及物質之電荷轉移或離子輸送，該物質諸如為陰離子，諸如包含氧及氫中之至少一者的陰離子。適合的物質為至少一種選自以下之氧物質： O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、 O 、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-} ，及H物質及選自以下之氫物質： H_2 、 H 、 H^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 及 OOH^- 。在一個例示性實施例中，輸送之物質為在陰極處形成且由例示性物質 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、 O 、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O_2^- 及 O_2^{2-} 形成的還原程度較大之狀態的含氧物質，諸如 O^{2-} 。還原程度較大之物質可在陽極處氧化。

在一個實施例中，低能量氫反應能可藉由在放電階段期間使電子流入陽極且自陰極流出而轉化為電。此需要在放電期間在陽極處氧化且在陰極處還原。陽極處電解質(諸如例示性物質 OH^- 及 H_2O 中之至少一者)之直接氧化及陰極處電解質(諸如例示性物質 H_2O)之還原分別產生氧氣及氫

氣，氧氣及氫氣可在各相應電極處分別與電解產物 H_2 及 O_2 反應並消耗該等電解產物。在一個實施例中，攜帶離子之基質在電池放電期間降低陽極處低能量氫反應能量驅動之氧氣形成及陰極處低能量氫反應能量驅動之氫氣形成，此可減少放電階段之可利用反應物。

在不具有基質之一個實施例中，離子導電在電池放電期間可經由電解質實現。輸送之物質可至少部分地在電池外部提供。電池可為敞露的，諸如對大氣敞露。在一個例示性實施例中，至少一種外部氧氣及 H_2O 在陰極處還原，且還原之物質(諸如至少一種外部氧氣及 H_2O 之還原產物)在陽極處氧化。輸送可由 H 催化成低能量氫狀態所產生之能量驅動。控制由外部氧化劑(諸如外部氧氣及 H_2O 中之至少一者)所致之電流以控制腐蝕，諸如陽極之腐蝕。在一個實施例中，陽極為對空氣衍生之物質(諸如氧氣物質，諸如 OH^- 、 $HOOH$ 、 OOH^- 、 O^- 、 O_2^- 及 O_2^{2-})所攜帶之電流為穩定的或具抗腐蝕性。抗腐蝕陽極可為本發明之抗腐蝕陽極。或者，陰極可包含穩定的物質，諸如氧化物或硫化物，諸如 NiO 或 MoS 。在一個實施例中，維持間歇電解及放電期間每電池之電池電壓超過防止陽極實質上氧化之電位，諸如在 Ni 陽極的情況下，為約 0.8 V。

在一個實施例中，電池放電期間藉由將 H 催化成低能量氫所釋放之能量提供藉由諸如形成離子雙層(諸如在電容性充電中)及氧化至少一種電池物質中之至少一者的機制負性地給陽極充電的能量。間歇充電-放電頻率可足夠高

以使雙層中之能量至少部分地消散於外部電路中。在一個實施例中，高頻率在少於1秒之充電及放電時間中之至少一者的範圍內，但可在約0.1 ms至5 s範圍內。在一個實施例中，放電期間形成之離子雙層減少充電(電解)階段期間的充電能量。來自雙層之能量在充電(電解)階段期間可至少部分地保存在電解產物(諸如 H_2 及 O_2)形成中。電解質可包含或可不包含基質。在一個實施例中，基質相對於無基質存在下可產生更快充電(電解)時間，可使得能夠高頻率充電。在一個實施例中，亦選擇高頻率以藉由降低形成電解反應物(諸如氫氣及氧氣)之輸入能量使能量增益最佳化。適合的輸入能量建立原子氫層以反應形成觸媒(諸如 H_2O 及低能量氫)。藉由選擇適合的充電及放電時間(諸如本發明範圍內之一者)避免會損失或不涉及觸媒及低能量氫中之至少一者形成之過量氣體電解產物。

在一個實施例中，反應物包含離子載體來源。離子載體可包含硫族化物。在一個實施例中，硫族化物物質(諸如包含硫之物質)在電池放電期間可攜帶離子電流。S可溶解於電解質中。S物質(諸如S或 S_n (n =整數))在放電期間可在陰極處還原且在陽極處氧化。在一個實施例中，電池為封閉的。電極可兩者皆浸沒於電解質中。驅動離子電流及外部電流之電力可來自H催化成低能量氫。在一個實施例中，至少一個電極(諸如放電陽極)可包含硫來源，諸如合金，諸如MoS合金。在一個實施例中，S之莫耳比小於Mo之莫耳比。例示性合金為MoS(90至99.5 wt%，10至0.5

wt%)。在一個實施例中，硫來源為硫化物，諸如包含以下中之至少一者之硫化物：鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、及Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge及B、及形成硫化物之其他元素。硫化物可包含硒或碲硫化物，諸如 SeS_2 、 Se_4S_4 及 Se_2S_6 中之至少一者。在一個實施例中，硫族化物包含硒及碲中之至少一者。硒或碲之來源分別為硒化物或碲化物，諸如包含以下中之至少一者之硒化物或碲化物：鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、及Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge及B及可形成硒化物或碲化物之其他元素。

自熱力學觀點而言，諸如負離子之物質可在陽極處電離，且在放電陰極處還原產生相同物質，當陽極處之離子或電子溫度大於陰極時，電力消散於外部電路中。涉及半電池之溫差之非低能量氫實例為電池 $[\text{Na (熱)}/\text{BASE}/\text{Na (冷)}]$ 。LiOH-LiBr鹽中之例示性離子為 OH^- 及 Br^- ，可分別氧化成OH及Br，且由經由外部電路傳遞至陰極之電子還原。或者，包含O及H中之至少一者之物質可攜帶離子電流。低能量氫反應提供等效於產生傳遞至電路之電力之熱的能量。在一個實施例中，基質充當隔板以防止陰極及陽極電極或半電池短路。所防止之短路可為熱力學及電意義上之至少一者。基質可隔開半電池反應以相對於陰極增加陽極處低能量氫反應產生電動勢(EMF)之速率、效力或程

度，從而驅動電流經由外部迴路。在一個實施例中，陽極及陰極半電池反應之隔開引起藉由觸媒 H_2O 自第二H接收之能量之更佳匹配，其中 H_2O 形成因 OH^- 氧化及與第一H反應而發生，且形成觸媒的氧化反應與如方程式(88)所給之第二H形成低能量氫之催化反應協同。在一個實施例中，基質可結合 H_2O ，而且充當間歇電解反應之 H_2O 來源。 H_2O 之結合及供應可處於增加低能量氫形成反應之速率或程度的能量下。 H_2O 結合能可引起自H轉移至觸媒(諸如 H_2O)之能量的更佳匹配。包含充當介電質、隔板或 H_2O 黏合劑及儲集器之中之至少一者的至少一者之基質的例示性電解質為鹼金屬氫氧化物-鹼金屬鹵化物混合物(諸如 LiOH-LiBr)及可具有任何想要莫耳比之組分之本發明基質材料。鹼金屬鹵化物及基質材料之wt%可類似。在電池操作溫度(在約 75°C 至 700°C 範圍內)下，包含基質之電解質可包含固體或半固體。例示性電解質為 LiOH-LiBr-MgO ，wt%分別在10 wt%、45 wt%及45 wt%範圍內，各 ± 1 至30 wt%。

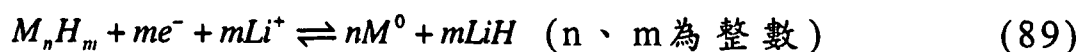
電解質可由諸如帶鑄、電泳沈積、熱軋研磨或熱壓之方法製造。雙極板之濕封區域可包含可包含塗層之鋁或鋁合金。適合的鍍鋁方法為油漆、熱噴塗、接著可熔合熱處理之真空沈積、及包覆粉浴法(pack cementation)。不鏽鋼之例示性所得擴散塗層包含 $\text{MAl-M}_3\text{Al}$ 結構(M =鐵、鎳+ 5-15 mol%鉻)。或者，在一個例示性實施例中，可熱噴霧含鋁合金粉末(諸如 FeCrAlY 、 MAl 或 M_3Al ($\text{M}=\text{Ni}$ 、 Fe))。

在一個實施例(諸如氫氣藉由滲透或間歇電解提供之實

施例)中，電池包含基質以固持電解質。基質可包含以電解質作芯或使電解質黏性更大之化合物，諸如惰性化合物。適合的例示性基質材料為以下中之至少一者：石棉、 Al_2O_3 、 MgO 、 Li_2ZrO_3 、 LiAlO_2 、 Li_2MoO_4 、 Li_2TiO_3 或 SrTiO_3 。電解質可以糊狀物形式固定。固持電解質呈層(諸如薄層)形式之基質包含混合基質材料及至少一種其他材料及加熱混合物形成基質之步驟，其他材料諸如黏合劑、顆粒材料及溶劑，溶劑在加熱至高溫時基本上完全燃燒。適合的化合物為聚(乙烯醇縮甲醛)(PVFO)及乙醇溶劑及聚乙二醇(PEG)。基質之孔徑尺寸及密度可隨基質材料之顆粒尺寸及與至少一種其他化合物之比率變化而變化。在一個實施例中，電解質添加至基質材料中。可控制孔徑尺寸及密度以相對於電解質表面張力調整基質之毛細管作用以致電解質實質上維持於某一層中而無陰極或陽極之過量溢流。基質孔徑尺寸可在約 10 nm 至 10 mm、約 100 nm 至 100 μm 、或約 1 μm 至 10 μm 範圍內。基質可包含固體，諸如陶瓷。適合的例示性固體基質為 MgO 、 ZrO_2 或氧化釔穩定之氧化鋯。基質可為可傳導氧化物離子之固體氧化物燃料電池之一，諸如氧化釔穩定之二氧化鋯(YSZ) (通常 8% 形成 Y8SZ)、氧化釷穩定之二氧化鋯(ScSZ) (通常 9 mol% Sc_2O_3 -9ScSZ) 及摻雜釷之二氧化鈾(GDC)。基質可包含可傳導氧化物離子之鹽橋。氧化物導體之典型實例為氧化釔穩定之二氧化鋯(YSZ)、摻雜氧化釷之二氧化鈾(CGO)、沒食子酸鋇及鉍銅釷氧化物(諸如 BiCuVO_x)。一些鈣鈦礦

材料，諸如 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_y\text{O}_{3-d}$ ，亦展示混合氧化物及電子傳導性。基質可注有電解質，諸如共熔鹽電解質，諸如氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物，且可進一步包含鹼金屬鹵化物。適合的例示性電解質為可注入 MgO 固體基質中之 LiOH-LiBr 。固體基質可進一步包含顆粒基質(諸如 MgO 粒子)或本發明之其他基質化合物。在一個實施例中，陽極包含間歇電解電極或氫噴射或鼓泡電極，諸如多孔電極，諸如 Ni 墊電極。在一個實施例中，電極及電解質中之至少一者抗電解質溢流。電解質可包含基質以穩定電解質。陽極可為具有大孔徑尺寸且具有低於以電解質為芯之閾值的毛細管力之墊，其中電解質可包含基質材料，諸如 MgO 或 Li_2TiO_3 。電極可週期性地清洗以移除溢流電解質。可改變操作條件以防止溢流。舉例而言，可調整溫度以改變電解質黏度、表面張力及毛細管作用以防止電極溢流。可改變可再循環之氫氣流以防止電極溢流。

在一個實施例中，陽極半電池反應物包含 H 來源。在一個實施例中，金屬離子(諸如鹼金屬離子)遷移至陰極隔室且可與陰極隔室之氫化物經歷氫化物交換反應。陽極反應物包含 Li 來源之例示性習知電池總反應可由以下表示：



其中 M 表示選自能夠形成氫化物之金屬或半金屬之單一元素或若干元素(呈混合物、金屬互化物或合金形式)。此等氫化物亦可經指定為「 M 氫化物」(其意謂吸附(例如化學

組合)氫原子之元素M)之化合物置換。M氫化物可表示下文 MH_m ，其中 m 為由M吸附或組合之H原子數。在一個實施例中，氫化物 M_nH_m 或 MH_m 之每個H的自由生成焓高於、等於或小於諸如LiH之觸媒之氫化物的自由生成焓。或者，至少一個H可充當觸媒。

在實施例中，例示性氫化物金屬或半金屬包含鹼金屬(Na、K、Rb、Cs)、鹼土金屬(Mg、Ca、Ba、Sr)、第IIIA族元素(諸如B、Al、Ga、Sb)、第IVA族元素(諸如C、Si、Ge、Sn)及第VA族元素(諸如N、P、As)。其他實例為過渡金屬合金及金屬間化合物 AB_n ，其中A表示一或多種能夠形成穩定氫化物之元素且B為形成不穩定氫化物之元素。在表5中給出金屬間化合物之實例。

表5. 形成氫化物之元素及組合。

A	B	n	AB_n
Mg、Zr	Ni、Fe、Co	1/2	Mg_2Ni 、 Mg_2Co 、 Zr_2Fe
Ti、Zr	Ni、Fe	1	TiNi、TiFe、ZrNi
La、Zr、Ti、Y、Ln	V、Cr、Mn、Fe、Ni	2	$LaNi_2$ 、 YNi_2 、 YMn_2 、 $ZrCr_2$ 、 $ZrMn_2$ 、 ZrV_2 、 $TiMn_2$
La、Ln、Y、Mg	Ni、Co	3	$LnCo_3$ 、 YNi_3 、 $LaMg_2Ni_9$
La、稀土金屬	Ni、Cu、Co、Pt	5	$LaNi_5$ 、 $LaCo_5$ 、 $LaCu_5$ 、 $LaPt_5$

其他實例為金屬間化合物，其中位點A及/或位點B之部分係經另一元素取代。舉例而言，若M表示 $LaNi_5$ ，則金屬間合金可由 $LaNi_{5-x}A_x$ 表示，其中A為例如Al、Cu、Fe、Mn及/或Co，且La可經以下取代：密鈷合金、含有30%至70%鈷、釹及極少量來自相同系列之元素的稀土金屬混合物，剩餘物為鎳。在其他實施例中，鋰可經其他觸媒或觸媒來

源(諸如 Na、K、Rb、Cs、Ca)及至少一個 H 置換。在實施例中，陽極可包含合金，諸如 Li_3Mg 、 K_3Mg 、 Na_3Mg ，其形成諸如 MMgH_3 (M=鹼金屬)之混合氫化物。

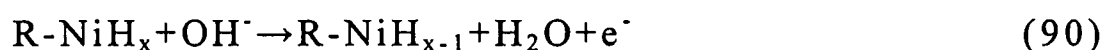
在一個實施例中，使用包含如圖 4 中所示之三個半電池的 CIHT 電池實現再生。一次陽極 600 及陰極 601 半電池包含基本電池，其包含標準反應物，分別諸如 Li 來源及 $\text{CoO}(\text{OH})$ ，由隔板 602 及有機電解質分隔。各自分別具有其相應電極 603 及 604。在閉合開關 606 後，放電基本電池之電力耗散在負載 605 中。另外，第三或再生半電池 607 與一次陰極半電池 601 交界，且包含質子來源。一次陰極及再生半電池由質子導體 608 分隔。再生半電池具有其電極 609。在基本電池再充電期間，電力由來源 610，在開關 611 閉合及開關 606 打開下提供。再生半電池 607 充當二次陽極，且一次陽極 600 充當二次陰極。質子藉由氧化 H 來形成且自再生電池 607 遷移至一次陰極 601。由 H^+ 離子將 Li^+ 離子自 LiCoO_2 中置換出，形成 $\text{CoO}(\text{OH})$ 或 HCoO_2 ，同時 Li^+ 離子遷移至二次陰極 600 且還原成 Li。在一個三腔室電池實施例中，再充電陽極可包含質子來源(諸如 $\text{Pt}/\text{C}(\text{H}_2)$)及質子導體。接著再充電電池可為 $[\text{Pt}/\text{C}(\text{H}_2)/\text{質子導體}/\text{LiCoO}_2/\text{Li}]$ 。例示性電池為 $[\text{Li 來源(諸如 Li 或 Li 合金(諸如 } \text{Li}_3\text{Mg) 或 LiC)}/\text{烯烴隔板及有機電解質(諸如 Celgard 及 LP 40)}/\text{CoO}(\text{OH}) \text{ 或 } \text{HCoO}_2/\text{質子導體}/\text{H}^+ \text{ 來源(諸如 } \text{Pt}(\text{H}_2) \text{、} \text{Pt}/\text{C}(\text{H}_2))]$ 。在另一實施例中，氫供應給腔室 607，腔室 607 包含氫解離觸媒(諸如 Pt/C)及隔膜隔板 608(其可為納菲

薄膜)，H原子藉由此隔膜隔板擴散至腔室601中之陰極產物材料中，同時電解電壓施加於電極604與603之間。施加於電極604上之正電壓引起Li遷移至腔室600中，以在電極603處被還原，同時H在電解期間併入陰極材料中。在另一實施例中，隔板608與池體電隔離，且包含電極609。腔室607包含H來源，諸如氫化物。電極609可氧化諸如氫化物之來源的H⁻。電導率可藉由腔室607中之熔融共熔鹽H⁻導體來增強。電解引起H遷移至腔室601中，層夾於氧(氫氧)化物中。

在一個實施例中，電池包含水性電解質。電解質可為呈溶液形式之鹼金屬鹽，諸如鹼金屬硫酸鹽、硫酸氫鹽、硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽、磷酸氫鹽、磷酸二氫鹽、碳酸鹽、碳酸氫鹽、鹵化物、氫氧化物、過錳酸鹽、氯酸鹽、過氯酸鹽、亞氯酸鹽、過亞氯酸鹽、次氯酸鹽、溴酸鹽、過溴酸鹽、亞溴酸鹽、過亞溴酸鹽、碘酸鹽、過碘酸鹽、亞碘酸鹽、過亞碘酸鹽、鉻酸鹽、重鉻酸鹽、碲酸鹽、硒酸鹽、砷酸鹽、矽酸鹽、硼酸鹽及其他氧陰離子。另一適合之電解質為鹼金屬硼氫化物，諸如於濃鹼中之硼氫化鈉，諸如於約14 M NaOH中之約4.4 M NaBH₄。

在包含水性或熔融氫氧化物電解質之另一實施例中，電池包含金屬氫化物電極，諸如本發明之金屬氫化物電極。適合之例示性氫化物為R-Ni、阮尼鈷(R-Co)、阮尼銅(R-Cu)、過渡金屬氫化物(諸如CoH、CrH、TiH₂、FeH、MnH、NiH、ScH、VH、CuH及ZnH)、金屬間氫化物(諸如

LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2})及AgH、CdH₂、PdH、PtH、NbH、TaH、ZrH₂、HfH₂、YH₂、LaH₂、CeH₂及其他稀土金屬氫化物。適合氫化物之其他例示性金屬或半金屬包含鹼金屬(Na、K、Rb、Cs)、鹼土金屬(Mg、Ca、Ba、Sr)、來自第IIIA族之元素(諸如B、Al、Ga、Sb)、來自第IVA族之元素(諸如C、Si、Ge、Sn)及來自第VA族之元素(諸如N、P、As)及過渡金屬及合金。氫化物可為金屬間化合物。其他實例為金屬間化合物AB_n，其中A表示能夠形成穩定氫化物之一或多種元素且B為形成不穩定氫化物之元素。表5及本發明之相應章節中給出金屬間化合物之實例。氫化物可為AB₅型(其中A為鐳、鈾、鈹、鐳之稀土元素混合物，且B為鎳、鈷、錳及/或鋁)及AB₂型(其中A為鈦及/或鈮且B為鈳或鎳，經鈳、鈷、鐵及/或錳改質)中之至少一者。在一個實施例中，陽極材料起到可逆地形成金屬氫化物化合物之混合物的作用。例示性化合物為LaNi₅及LaNi_{3.6}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.7}。金屬氫化物R-Ni之一例示性陽極反應為



在一個實施例中，鎳氫化物可充當諸如陽極之半電池反應物。其可藉由使用經氫化之鎳陰極進行水性電解來形成。電解質可為鹼性的，諸如KOH或K₂CO₃，且陽極亦可為鎳。陰極可包含可與水反應之氧化劑，諸如金屬氧化

物，諸如羥基氧化鎳(NiOOH)。一例示性陰極反應為



低能量氫可藉由陽極處所形成之 H_2O 觸媒形成。電池可包含諸如鹼金屬氫氧化物(諸如KOH)之電解質，且可進一步包含隔板，諸如親水性聚烯烴。例示性電池為[R-Ni、阮尼鈷(R-Co)、阮尼銅(R-Cu)、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 、CoH、CrH、FeH、MnH、NiH、ScH、VH、CuH、ZnH、AgH/聚烯烴KOH(水溶液)、NaOH(水溶液)或LiOH(水溶液)/NiO(OH)]。其他適合之氧化劑為 $\text{WO}_2(\text{OH})$ 、 $\text{WO}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_6$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ 、FeO(OH)、MnO(OH)、MnO(OH)₂、Mn₂O₃(OH)、Mn₂O₂(OH)₃、Mn₂O(OH)₅、MnO₃(OH)、MnO₂(OH)₃、MnO(OH)₅、Mn₂O₂(OH)₂、Mn₂O₆(OH)₂、Mn₂O₄(OH)₆、NiO(OH)、TiO(OH)、TiO(OH)₂、Ti₂O₃(OH)、Ti₂O₃(OH)₂、Ti₂O₂(OH)₃、Ti₂O₂(OH)₄及NiO(OH)。其他例示性適合之氧(氫氧)化物為以下之群中之至少一者：羥鉻礦(CrO(OH))、水鋁石(AlO(OH))、ScO(OH)、YO(OH)、VO(OH)、針鐵礦($\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$)、錳橢石($\text{Mn}^{3+}\text{O}(\text{OH})$)、圭羥鉻礦(CrO(OH))、黑鐵釩礦((V,Fe)O(OH))、CoO(OH)、NiO(OH)、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 、RhO(OH)、InO(OH)、鎳礦(GaO(OH))、

水錳礦 ($\text{Mn}^{3+}\text{O}(\text{OH})$)、釔鎢華 $-(\text{Y})(\text{YW}_2\text{O}_6(\text{OH})_3)$ 、釔鎢華 $-(\text{Ce})((\text{Ce}, \text{Nd}, \text{Y})\text{W}_2\text{O}_6(\text{OH})_3)$ 、未命名(釔鎢華 $-(\text{Ce})$ 之Nd類似物) $((\text{Nd}, \text{Ce}, \text{La})\text{W}_2\text{O}_6(\text{OH})_3)$ 、銅碲礦 ($\text{Cu}_2[(\text{OH})_2[\text{TeO}_4]]$)、碲鉛銅石 ($\text{Pb}^{2+}\text{Cu}_3^{2+}(\text{TeO}_6)(\text{OH})_2$)及副碲鉛銅石 ($\text{Pb}^{2+}\text{Cu}_3^{2+}\text{TeO}_6(\text{OH})_2$)。一般而言，氧化劑可為 $\text{M}_x\text{O}_y\text{H}_z$ ，其中 x 、 y 及 z 為整數且 M 為金屬，諸如過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬，諸如金屬氧(氫氧)化物。在其他實施例中，其他氫化硫族化物或硫族化物可置換氧(氫氧)化物。電池可藉由充電或藉由化學處理，諸如將金屬氫化物(諸如 R-Ni)再氫化而再生。

電解質可包含濃鹼，諸如濃度在約 6.5 M至飽和之範圍內的 MOH (M =鹼金屬)。正電極中之活性材料可包含氫氧化鎳，其經充電形成羥基氧化鎳。或者，其可為另一氧(氫氧)化物、氧化物、氫氧化物或碳(諸如 CB 、 PtC 或 PdC)或碳化物(諸如 TiC)、硼化物(諸如 TiB_2)或碳氮化物(諸如 TiCN)。諸如氫氧化鎳之陰極可具有由氧化鈷及集電體(諸如鎳泡沫骨架)構成之導電性網狀物，但或者可為鎳纖維基質或可藉由燒結單纖維鎳纖維產生。

負電極中之活性材料可為能夠儲存氫之合金，諸如 $\text{AB}_5(\text{LaCePrNdNiCoMnAl})$ 或 $\text{AB}_2(\text{VTiZrNiCrCoMnAlSn})$ 型之一，其中「 AB_x 」名稱係指 A型元素(LaCePrNd 或 TiZr)與 B型元素(VNiCrCoMnAlSn)之比率。適合之氫化物陽極為用於金屬氫化物電池(諸如熟習此項技術者已知之鎳金屬氫化物電池)中之氫化物陽極。例示性適合之氫化物陽極

包含 $R\text{-Ni}$ 、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 之群之氫化物，及能夠儲存氫之其他合金，諸如 $\text{AB}_5(\text{LaCePrNdNiCoMnAl})$ 或 $\text{AB}_2(\text{VTiZrNiCrCoMnAlSn})$ 型之一，其中「 AB_x 」名稱係指 A 型元素 (LaCePrNd 或 TiZr) 與 B 型元素 (VNiCrCoMnAlSn) 之比率。在其他實施例中，氫化物陽極包含以下中之至少一者： MmNi_5 (Mm =密鈷合金)(諸如 $\text{MmNi}_{3.5}\text{Co}_{0.7}\text{Al}_{0.8}$)； AB_5 型： $\text{MmNi}_{3.2}\text{Co}_{1.0}\text{Mn}_{0.6}\text{Al}_{0.11}\text{Mo}_{0.09}$ (Mm =密鈷合金：25 wt% La、50 wt% Ce、7 wt% Pr、18 wt% Nd)、 $\text{La}_{1-y}\text{R}_y\text{Ni}_{5-x}\text{M}_x$ ； AB_2 型： $\text{Ti}_{0.51}\text{Zr}_{0.49}\text{V}_{0.70}\text{Ni}_{1.18}\text{Cr}_{0.12}$ 合金；基於鎂之合金，諸如 $\text{Mg}_{1.9}\text{Al}_{0.1}\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}$ 合金、 $\text{Mg}_{0.72}\text{Sc}_{0.28}(\text{Pd}_{0.012}+\text{Rh}_{0.012})$ 及 $\text{Mg}_{80}\text{Ti}_{20}$ 、 $\text{Mg}_{80}\text{V}_{20}$ ； $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.4}\text{Co}_{2.5}\text{Si}_{0.1}$ 、 $\text{LaNi}_{5-x}\text{M}_x$ ($\text{M}=\text{Mn}$ 、 Al)、($\text{M}=\text{Al}$ 、 Si 、 Cu)、($\text{M}=\text{Sn}$)、($\text{M}=\text{Al}$ 、 Mn 、 Cu) 及 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 化合物，諸如 TiFe 、 TiCo 及 TiNi ； AB_n 化合物 ($n=5$ 、2 或 1)、 AB_{3-4} 化合物及 AB_x ($\text{A}=\text{La}$ 、 Ce 、 Mn 、 Mg ； $\text{B}=\text{Ni}$ 、 Mn 、 Co 、 Al)。其他適合之氫化物為 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 、 $\text{LaNi}_{4.5}\text{Co}_{0.5}$ 、 $(\text{Ce}$ 、 La 、 Nd 、 $\text{Pr})\text{Ni}_5$ 、密鈷合金-鎳合金、 $\text{Ti}_{0.98}\text{Zr}_{0.02}\text{V}_{0.43}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.05}\text{Mn}_{1.5}$ 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9$ 、 FeNi 及 TiMn_2 。在任一種情況下，該等材料均可具有複雜微結構，該等微結構允許氫儲存合金在電池內腐蝕性環境下操作，其中大部分金屬呈氧化物時在熱力學上更穩定。適合

之金屬氫化物材料具有傳導性，且可應用於集電體，諸如由穿孔或展開鎳或鎳泡沫基板製成之集電體或由銅製成之集電體。

在實施例中，水性溶劑可包含 H_2O 、 D_2O 、 T_2O 或水混合物及同位素混合物。在一個實施例中，控制溫度，以控制低能量氫之反應速率，因此控制CIHT電池之電力。一適合之溫度範圍為約環境溫度至 $100^{\circ}C$ 。藉由密封電池，可將溫度維持在約 $100^{\circ}C$ 以上，以便產生壓力且抑制沸騰。

在一個實施例中，在陽極處，在 H 或 H 來源存在下由 OH^- 氧化形成 OH 觸媒或 H_2O 觸媒。適合之陽極半電池反應物為氫化物。在一個實施例中，陽極可包含氫儲存材料，諸如金屬氫化物，諸如金屬合金氫化物，諸如 $BaReH_9$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $LaNi_5H_6$ 或 $LaNi_5H$ (本發明中， $LaNi_5H$ 定義為 $LaNi_5$ 之氫化物且可包含 $LaNi_5H_6$ 及其他氫化物化學計量，且上述情況亦適用於本發明之其他氫化物，其中除所呈現者以外之其他化學計量亦在本發明之範疇內)、 $ZrCr_2H_{3.8}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 、 $ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}$ 、 $FeTiH_{1.7}$ 、 $TiFeH_2$ 及 $MgNiH_4$ 。在包含 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $ZrCr_2H_{3.8}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 或 $ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}$ 陽極或類似陽極及 KOH 或 $NaOH$ 電解質之一個實施例中，將 $LiOH$ 添加至電解質中，以鈍化任何氧化物塗層，從而促進 H_2 之吸收以氫化或再氫化 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $ZrCr_2H_{3.8}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 或 $ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}$ 。例示性電池為 $[BaReH_9$ 、 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、

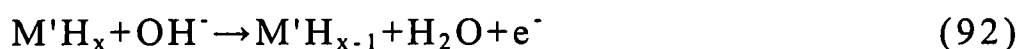
$\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 、 $\text{FeTiH}_{1.7}$ 、 TiFeH_2 及 $\text{MgNiH}_4/\text{MOH}$ (飽和水溶液)(M =鹼金屬)/碳、 PdC 、 PtC 、氧(氫氧)化物、碳化物或硼化物]及 $[\text{LaNi}_5\text{H}_6$ 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 或 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}/\text{KOH}$ (飽和水溶液) EuBr_2 或 EuBr_3/CB]。

在一個實施例中，電池包含水性電解質，諸如 KOH (1 M至飽和)，及金屬氫化物陽極，諸如 LaNi_5H_6 、 $\text{MmNi}_{3.5}\text{Co}_{0.7}\text{Al}_{0.8}\text{H}_6$ 、 $(\text{LaNd})(\text{NiCoSi})_5\text{H}_4$ 、 TiMn_2 及 $(\text{Ti}, \text{Zr})(\text{V}, \text{Ni})_2$ 中之至少一者，其中電池可進一步包含固體電解質，諸如在陽極處。適合的固體電解質為氫氧化四甲基銨五水合物(TMAH5) $(\text{CH}_3)_4\text{NOH} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。陰極可包含氧還原觸媒(諸如碳，諸如蒸汽碳(SC))及氧來源(諸如空氣或 O_2)。例示性電池為 $[\text{LaNi}_5\text{H}_6$ 、 $\text{MmNi}_{3.5}\text{Co}_{0.7}\text{Al}_{0.8}\text{H}_6$ 、 $(\text{LaNd})(\text{NiCoSi})_5\text{H}_4$ 、 TiMn_2 及 $(\text{Ti}, \text{Zr})(\text{V}, \text{Ni})_2$ TMAH5 中之至少一者/ KOH (飽和水溶液)/ SC +空氣]。電池可在藉由用 H_2 使陽極氫化或藉由電解放電後再生。

作為反應物經還原反應形成 OH^- 或 H_2O 之中間物所形成的 OH 可充當形成低能量氫的觸媒或觸媒來源(諸如 OH 或 H_2O)。在一個實施例中，包含鹼性電解質(諸如 MOH 或 M_2CO_3 水溶液電解質， M =鹼金屬)之電池之氧化劑包含諸如以下中之至少一者的氧來源：包含氧之化合物、含氧之導電聚合物、添加至導電基質(諸如碳)中之含氧化合物或聚合物、 O_2 、空氣及氧化碳(諸如蒸汽處理碳)。氧之還原

反應可形成經還原之含氧化合物及可包含至少O及可能H之自由基，諸如過氧化氫離子、超氧離子、氫過氧自由基、 O_2^- 、 O_2^{2-} 、 $HOOH$ 、 HOO^- 、 OH 及 OH^- 。在一個實施例中，電池進一步包含防止或阻礙氧自陰極遷移至陽極且遷移離子(諸如 OH^-)可透過之隔板。隔板亦可阻礙或防止在陽極半電池隔室中形成之氧化物或氫氧化物(諸如 $Zn(OH)_4^{2-}$ 、 $Sn(OH)_4^{2-}$ 、 $Sn(OH)_6^{2-}$ 、 $Sb(OH)_4^-$ 、 $Pb(OH)_4^{2-}$ 、 $Cr(OH)_4^-$ 及 $Al(OH)_4^-$)遷移至陰極室。在一個實施例中，陽極包含H來源，諸如氫化物(諸如R-Ni、 $LaNi_5H_6$ 、 $La_2Co_1Ni_9H_6$ 、 $ZrCr_2H_{3.8}$ 、 $LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}$ 或 $ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}$)或 H_2 氣體與解離體(諸如Pt/C)。在包含R-Ni之本發明之此實施例及其他實施例中，另一阮尼金屬(諸如阮尼鈷(R-Co)、阮尼銅(R-Cu)及包含可含有其他金屬、金屬氧化物、合金或化合物之活化劑的R-Ni之其他形式)可取代R-Ni，以包含其他實施例。一例示性電池包含金屬氫化物 $M'H_x$ (M' =金屬或合金，諸如R-Ni或 $LaNi_5$)及氧陰極，諸如陰極(諸如碳陰極)上 O_2 氣體或空氣，或吸附於碳 $C(O_2)_x$ 中之氧，碳 $C(O_2)_x$ 釋放 O_2 ，得到 $C(O_2)_{x-1}$ 。在類似於方程式(94)之一個實施例中，水與氧中之至少一者在陰極還原成 OH^- 、H及 H_2 中之至少一者。相應例示性反應為

陽極



其中OH可作為中間物形成且充當形成低能量氫之觸媒，

或可形成 H_2O 來充當觸媒。

陰極



或者，陰極反應可在正電極處僅僅包含水：

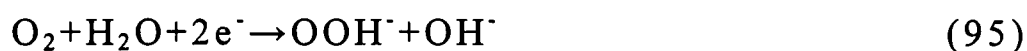


進行反應方程式(94)之陰極可為水還原觸媒，及視情況存在之 O_2 還原(方程式(93))觸媒，諸如負載型金屬、沸石及可具有導電性之聚合物(諸如聚苯胺、聚噻吩或聚乙炔)，其可與導電性基質(諸如碳)混合。適合之 H_2O 還原觸媒在諸如鹼性溶液之溶液中有效地將 H_2O 還原成 H_2 。例示性觸媒為以下之群之觸媒：Ni、多孔Ni、燒結Ni粉、Ni-Ni(OH)₂、R-Ni、Fe、過渡金屬之金屬間化合物、Hf₂Fe、Zr-Pt、Nb-Pd(I)、Pd-Ta、Nb-Pd(II)、Ti-Pt、奈米晶Ni_xMo_{1-x}(x=0.6、0.85原子百分比)、Ni-Mo、Mm合金(諸如MmNi_{3.6}Co_{0.75}Mn_{0.42}Al_{0.27}、Ni-Fe-Mo合金(64:24:12)(wt%)、Ni-S合金及Ni-S-Mn合金)。電解質可進一步包含活化劑，諸如離子活化劑，諸如氯化參(乙二胺)鈷(III)錯合物及Na₂MoO₄或EDTA(乙二胺四乙酸)每一者或其與鐵之組合。例示性電池為[M/KOH(飽和水溶液)/水還原觸媒及可能 O_2 還原觸媒]；M=合金或金屬，諸如Zn、Sn、Co、Sb、Te、W、Mo、Pb、Ge之合金或金屬；水還原觸媒及可能 O_2 還原觸媒=Pt/Ti、Pt/Al₂O₃、蒸汽碳、鈣鈦礦、Ni、多孔Ni、燒結Ni粉、Ni-Ni(OH)₂、R-Ni、Fe、過渡金屬之

金屬間化合物、 Hf_2Fe 、 Zr-Pt 、 Nb-Pd(I) 、 Pd-Ta 、 Nb-Pd(II) 、 Ti-Pt 、奈米晶 $\text{Ni}_x\text{Mo}_{1-x}$ ($x=0.6$ 、 0.85 原子百分比)、 Ni-Mo 、 Mm 合金(諸如 $\text{MmNi}_{3.6}\text{Co}_{0.75}\text{Mn}_{0.42}\text{Al}_{0.2}$ 、 Ni-Fe-Mo 合金(64:24:12)(wt%)、 Ni-S 合金及 Ni-S-Mn 合金)中之至少一者。

在一個實施例中，陰極包含諸如氧化物、氧(氫氧)化物、氧氣或空氣之氧來源。來自此來源之氧在陰極於水溶液中還原，形成包含 O 且可能包含 H 之負離子。氧之還原反應可形成經還原之含氧化合物及可包含至少 O 及可能 H 之自由基，諸如過氧化氫離子、超氧離子、氫過氧自由基、 O_2^- 、 O_2^{2-} 、 HOOH 、 HOO^- 、 OH 及 OH^- 。在一個實施例中，此等物質或在陽極形成之產物物質中的至少一者可包含觸媒。觸媒反應可包含 OOH^- 氧化成 OH 及金屬氧化物，其中 OOH^- 充當觸媒來源。金屬 M 之例示性反應為

陰極

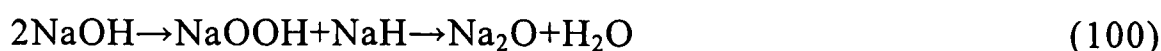


陽極：



其中 OOH^- 及可能 O_2^{2-} 及 HOOH 中之至少一者充當觸媒來源(諸如 OH 或 H_2O 中之至少一者)。 OOH^- 亦可充當包含形成氧化物之氫氧化物陰極或陽極反應物且可能進一步包含固體

電解質(諸如BASE)之電池中的觸媒來源。觸媒可為 H_2O 。一例示性電池為 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{NaOH}]$ 且包含超氧化物、過氧化物及氧化物之一例示性反應為

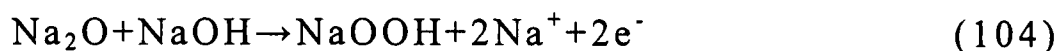


在後一反應中， H_2O 可與 Na 反應。形成中間物 MOOH (M =鹼金屬)(諸如 NaOOH ，其可反應形成 Na_2O 及 OH)之反應可包含供應之氫。例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2, \text{諸如在約1至1.5 atm之範圍內}) \text{NaOH}/\text{BASE}/\text{NaCl}-\text{NiCl}_2 \text{或} \text{NaCl}-\text{MnCl}_2 \text{或} \text{LiCl}-\text{BaCl}_2]$ 及 $[\text{Ni}(\text{H}_2) \text{Na}_2\text{O} \text{與} \text{NaOH} \text{中之至少一者}/\text{BASE}/\text{NaCl}-\text{NiCl}_2 \text{或} \text{NaCl}-\text{MnCl}_2 \text{或} \text{LiCl}-\text{BaCl}_2]$ ，其可經由諸如以下之反應形成低能量氫來產生電力：

陰極：



陽極：



其中 M' 為金屬， X 為鹵離子，其他鹼金屬可取代 Na ，且 NaH 或 OOH^- 可充當觸媒來源，或 OH 可作為中間物形成且充當觸媒。

在一個實施例中，氧來源可包含含有結合至少一種其他元素之O的化合物。適合的氧來源為CO₂、NO₂、NO、N₂O及SO₂中之至少一者。例示性電池為[Ni(H₂)/MOH-MX/Ni+CO₂、NO₂、NO、N₂O或SO₂] (M=鹼金屬，X=鹵離子)。

在一個實施例中，電解質包含或另外包含碳酸鹽，諸如鹼金屬碳酸鹽。電解期間，過氧物質可形成諸如過氧碳酸或鹼金屬過碳酸鹽，其可為充當形成低能量氫之觸媒來源或觸媒之OOH⁻、OH或H₂O的來源。例示性電池為[Zn、Sn、Co、Sb、Te、W、Mo、Pb、Ge/KOH(飽和水溶液)+K₂CO₃/碳+空氣]及[Zn、Sn、Co、Sb、Te、W、Mo、Pb、Ge/KOH(飽和水溶液)+K₂CO₃/Ni粉+碳(50/50 wt%)+空氣]。

在一個實施例中，諸如蒸汽活性碳之基質包含氧來源(諸如羧酸酯基)，其與諸如氫氧化物(諸如KOH)之電解質反應，形成相應羧酸鹽(諸如K₂CO₃)。舉例而言，來自羧酸酯基之CO₂可如下反應：



其中使OH⁻氧化且使CO₂還原。此過程可包含形成低能量氫之機制。活性碳及包含活性碳之PtC可以此方式反應，形成低能量氫。類似地，R-Ni與OH⁻反應，形成H₂O及Al₂O₃，此包含OH⁻之氧化且提供直接形成低能量氫之機制。因此，可在碳陰極或R-Ni陽極藉由直接反應形成低能

量氫。

一個實施例包含具有氫來源(諸如 H_2 氣體)及氧來源(諸如 O_2 氣體或空氣)之燃料電池。 H_2 與 O_2 中之至少一者可藉由水電解產生。用於電解之電力可由CIHT電池供應，該CIHT電池可由直接自電解電池供應給其之氣體驅動。電解可進一步包含 H_2 與 O_2 之氣體隔板，以提供純化之氣體至陰極與陽極每一者。氫可供應給陽極半電池，且氧可供應給陰極半電池。陽極可包含 H_2 氧化觸媒且可包含 H_2 解離體，諸如Pt/C、Ir/C、Ru/C、Pd/C及本發明之其他解離體。陰極可包含 O_2 還原觸媒，諸如本發明之還原觸媒。電池產生可形成可充當形成低能量氫之觸媒之OH的物質，且產生之能量(諸如電能)超過由氫與氧反應形成水所產生之能量。

在一個實施例中，在陰極處包含 O_2 或空氣還原反應之電池包含對 H_2 放出有抗性之陽極，諸如Pb、In、Hg、Zn、Fe、Cd或氫化物，諸如 $LaNi_5H_6$ 陽極。陽極金屬M可形成複合物或離子，諸如 $M(OH)_4^{2-}$ ，其至少部分可溶於電解質中，使得陽極反應在不受塗層(諸如氧化物塗層)阻礙下進行。陽極亦可包含其他更具活性之金屬，諸如Li、Mg或Al，其中可使用抑制劑來防止直接與水性電解質反應，或可使用非水性電解質，諸如有機電解質或離子液體。適用於諸如Li之陽極之離子液體電解質為雙(三氟甲基磺醯基)胺化1-甲基-3-辛基咪唑鎢、雙(五氟乙基磺醯基)胺化1-乙基-3-甲基咪唑鎢及雙(三氟甲基磺醯基)胺化1-乙基-3-甲基

咪唑鎓。陽極可藉由電解在水溶液中再生，其中可添加 Pb、Hg 或 Cd 以抑制 H_2 放出。具有高負電極電位之金屬(諸如 Al、Mg 及 Li)可用作使用非質子性有機電解質之陽極。

在一個實施例中， O_2 還原經由涉及兩個電子之過氧化物途徑進行。有利於此過氧化物途徑之適合陰極為石墨及大部分其他碳、金、氧化物覆蓋之金屬(諸如鎳或鈷)、一些過渡金屬大環化合物及過渡金屬氧化物。諸如 MnO_2 之氧化錳可充當 O_2 還原觸媒。或者，氧可藉由4個電子直接還原成 OH^- 或 H_2O 。此途徑主要在貴金屬(諸如鉑及鉑族金屬)、具有鈣鈦礦或燒綠石型結構之一些過渡金屬氧化物、一些過渡金屬大環化合物(諸如鐵酞菁及銀)上。在一個實施例中，陰極抗鹼性電解質腐蝕，鹼性電解質諸如水性或熔融鹼金屬氫氧化物，諸如 LiOH、NaOH 或 KOH。適合的陰極為 Ni 及 Cu。

電極可包含用於氧還原及放出之化合物電極。後者可用於再生。電極可具有能夠還原及放出氧之雙功能，其中藉由相應各別觸媒層提供活性，或電觸媒可具有雙功能。電極及電池設計可為此項技術中已知用於金屬-空氣電池(Fe 或 Zn-空氣電池或熟習此項技術者已知之其適當修改)之電極及電池設計。適合之電極結構包含集電體、可包含碳及黏合劑之氣體擴散層、及可為雙功能觸媒之活性層。或者，電極可在集電體一側包含 O_2 還原層，且在另一側包含 O_2 放出層。前者可包含與氧來源接觸之外部氣體擴散層及與集電體接觸之多孔疏水性觸媒層；而後者可在該層一側

包含與電解質接觸之多孔親水性觸媒層且在另一側包含集電體。

可充當還原來自來源之氧之觸媒的適合鈣鈦礦型氧化物可具有通式 ABO_3 ，且該等經取代之鈣鈦礦可具有通式 $A_{1-x}A'_xB_{1-y}B'_yO_3$ 。A 可為 La、Nd；A' 可為鋁、銀、鈣；且 B 可為鎳、鈷、錳、鈦。用於在陰極還原氧之其他適合觸媒為鈣鈦礦型觸媒，諸如摻雜金屬氧化物之 $La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_3$ 、 $MNiO_2$ (M=鹼金屬)、 $MM'O_2$ (M=鹼金屬，M'=過渡金屬)、 $La_{1-x}Ca_xCoO_3$ 、 $La_{1-x}Sr_xCoO_3$ ($0 \leq x \leq 0.5$) 或 $La_{0.8}Sr_{0.2}Co_{1-y}B_yO_3$ (B=Ni、Fe、Cu 或 Cr； $0 \leq y \leq 0.3$)、 $La_{0.5}Sr_{0.5}CoO_3$ 、 $LaNiO_3$ 、 $LaFe_xNi_{1-x}O_3$ 、經取代之 $LaCoO_3$ 、 $La_{1-x}Ca_xMO_3$ 、 $La_{0.8}Ca_{0.2}MnO_3$ 、 $La_{1-x}A'_xCo_{1-y}B'_yO_3$ (A'=Ca；B'=Mn、Fe、Co、Ni、Cu)、 $La_{0.6}Ca_{0.4}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_3$ 、 $La_{1-x}A'_xFe_{1-y}B'_yO_3$ (A'=Sr、Ca、Ba、La；B'=Mn)、 $La_{0.8}Sr_{0.2}Fe_{1-y}Mn_yO_3$ 及基於 Mn 及一些過渡金屬或類鐳系元素之鈣鈦礦型氧化物；或尖晶石，諸如 Co_3O_4 或 $NiCo_2O_4$ ；燒綠石，諸如 $Pb_2Ru_2Pb_{1-x}O_{1-y}$ 或 $Pb_2Ru_2O_{6.5}$ ；其他氧化物，諸如 $Na_{0.8}Pt_3O_4$ ；有機金屬化合物，諸如鈷卟啉；或具有 Co 添加劑之熱解大環化合物。適合之燒綠石型氧化物具有通式 $A_2B_2O_7$ 或 $A_2B_{2-x}A_xO_{7-y}$ (A=Pb/Bi，B=Ru/Ir)，諸如 $Pb_2Ir_2O_{7-y}$ 、 $PbBiRu_2O_{7-y}$ 、 $Pb_2(Pb_xIr_{2-x})O_{7-\delta}$ 及 Nd_3IrO_7 。適合之尖晶石為鎳鈷氧化物、純或摻鋰氧化鈷 (Co_3O_4)、 $M_xCO_{3-x}O_4$ 型輝鈷礦尖晶石 ((M=Co、Ni、Mn 氧還原) 及 (M=Co、Li、Ni、Cu、Mn 氧放出))。氧還原觸媒可為鎳、R-Ni、銀、

Ag-載體(諸如 Ag-Al₂O₃)、貴金屬(諸如 Pt、Au、Ir、Rh 或 Ru)、鎳鈷氧化物(諸如 NiCo₂O₄)及氧化銅鈷(諸如 CuCo₂O₄)。氧還原或放出觸媒可進一步包含導電載體, 諸如碳, 諸如碳黑、石墨碳、科琴黑(Ketjen black)或石墨化 Vulcan XC 72。例示性電池為[Zn、Sn、Co、Sb、Te、W、Mo、Pb、Ge/KOH(飽和水溶液)/空氣+碳+O₂還原觸媒(諸如鈣鈦礦型觸媒, 諸如摻雜金屬氧化物之 La_{0.6}Ca_{0.4}CoO₃、La_{1-x}Ca_xCoO₃、La_{1-x}Sr_xCoO₃(0≤x≤0.5)或 La_{0.8}Sr_{0.2}Co_{1-y}B_yO₃(B =Ni、Fe、Cu或Cr; 0≤y≤0.3); 或尖晶石, 諸如 Co₃O₄或 NiCo₂O₄; 燒綠石, 諸如 Pb₂Ru₂Pb_{1-x}O_{1-y}或 Pb₂Ru₂O_{6.5}; 其他氧化物, 諸如 Na_{0.8}Pt₃O₄或具有 Co 添加劑之熱解大環化合物)]。在另一實施例中, 陰極包含水還原觸媒。

陰極能夠支持 H₂O 與 O₂ 中之至少一者還原。陰極可包含高表面積導體, 諸如碳, 諸如碳黑、活性碳及蒸汽活性碳。陰極可包含針對 O₂ 或 H₂O 中之至少一者還原或 H₂ 放出具有低過電位的導體, 諸如 Pt、Pd、Ir、Ru、Rh、Au 或於導電載體(諸如碳或鈦)上之此等金屬, 作為以 H₂O 作為陰極半電池反應物之陰極。電解質可為諸如在約 6.1 M 至飽和範圍內之濃鹼。例示性電池為[解離體與氫(諸如 PtCB、PdC 或 Pt(20%)Ru(10%)(H₂, 約 1000 托))或金屬氫化物(諸如各種組成之 R-Ni、R-Co、R-Cu、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}或表 5 之氫化物)/鹼之水溶液(諸如 KOH(水溶液))電解質(>6.5 M 至飽和或 >11 M 至飽和)/碳、氧電極(諸如碳上之 O₂

或空氣、 $C(O_2)_x$ 或氧化碳(諸如蒸汽活性碳)或CB、PtC、PdC、 $CB(H_2)$ 、 $PtC(H_2)$ 、 $PdC(H_2)$ 、針對 O_2 或 H_2O 中之至少一者之還原或 H_2 放出具有低過電位之導體(諸如Pt、Pd、Ir、Ru、Rh、Au或於導電載體(諸如碳或鈦)上之此等金屬，作為以 H_2O 及 O_2 作為陰極半電池反應物之陰極))]

在一個實施例中，陰離子可充當陰極之氧來源。適合之陰離子為氧陰離子，諸如 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 及 PO_4^{3-} 。諸如 CO_3^{2-} 之陰離子可形成鹼性溶液。一例示性陰極反應為

陰極



反應可包含可逆半電池氧化還原反應，諸如



H_2O 還原成 $OH^- + H$ 可引起形成低能量氫之陰極反應，其中 H_2O 充當觸媒。例示性電池為具有KOH- K_2CO_3 電解質之[Zn、Sn、Pb、Sb/KOH(飽和水溶液)+ K_2CO_3 /CB-SA]。在一個實施例中， CO_2 、 SO_2 、 PO_2 及其他類似反應物可作為氧來源添加至電池中。

陽極可包含能夠與氧物質(諸如 OOH^- 或 OH^-)反應之金屬。適合之金屬為可為粉末之Al、V、Zr、Ti、Mn、Se、Zn、Cr、Fe、Cd、Co、Ni、Sn、In、Pb、Cu、Sb、Bi、Au、Ir、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Ag、Tc、Te、Tl及W。陽極可包含短的親水性纖維，諸如纖維素纖維，以防止再充電期間稠化。陽極可在放電狀態形成且藉由充電活化。一例示性鋅陽極可包含以下各物之混合物：氧化

鋅粉末、纖維素纖維、聚四氟乙烯黏合劑及視情況選用之一些鋅粉及添加劑，諸如氧化鉛(II)或銻、鉍、鎘、鎳及銻之氧化物，以防止 H_2 放出。混合物可在水-丙酮混合物上攪拌，且所得均勻懸浮液可過濾，濾餅壓入集電體(諸如鍍鉛銅網)中，並在略微高於 $100^{\circ}C$ 之溫度下乾燥。具有約50%孔隙率之電極可包裹在多微孔聚合物膜(諸如Celgard)中，此膜將電極固持在一起且可充當隔板。在其他實施例中，陽極可主要使用Zn粉來組裝，此避免初始充電步驟。

電池可包含串聯或並聯連接之電池堆疊，其可具有儲集器以適應電解質之體積變化。電池可進一步包含濕度與 CO_2 管理系統中之至少一者。金屬電極可夾在氧電極之間，以使表面積加倍。氧可自空氣擴散，穿過包含氧擴散電極之多孔鐵氟龍(Teflon)層壓空氣電極。在一個實施例中，來自陰極之電子與氧在氧擴散電極之濕潤部分之催化位點反應，形成經還原之水及氧物質。在一個實施例中，浸沒陽極，且陰極包含電解質潤濕之部分及與 O_2 來源(諸如空氣或 O_2)直接接觸之部分。在一個實施例中，氧氣還原電流藉由增加曝露於空氣中之材料來增加，對於既定電解質界面面積，藉由增加更多曝露於空氣之陰極表面積。在一個實施例中，浸沒陰極且藉由電解提供氧氣。在一個實施例中，陰極大部分浸沒，較小表面積部分曝露於空氣中以便藉由電解提供補充，從而最佳化電池形成低能量氫之效率，同時避免過度腐蝕，諸如陽極腐蝕。在一個實施

例中，與添加之 H_2O 蒸汽一起向電池提供氧氣及惰性氣體混合物。氧氣可在約1至10莫耳%範圍內， H_2O 在約約31托至93托範圍之範圍內。在用 H_2O 供應之CIHT電池之實施例中， H_2O 蒸汽之壓力範圍為以下至少一者：約0.001托至100 atm、約0.001托至0.1托、約0.1托至1托、約1托至10托、約10托至100托、約100托至1000托、及約1000托至100 atm。其餘為惰性氣體，諸如氮氣。在一個實施例中， O_2 為約5莫耳%。在一個實施例中，空氣經膜或低溫過濾或處理以藉由熟習此項技術者已知之方法達成所需氣體比率。在另一實施例中，氧還原電極(諸如陰極)可完全浸沒於電解質中。來自來源之氧可藉由諸如噴射含氧氣體(諸如 O_2 或空氣)之方法或藉由間歇電解供應。間歇電解電極可為不同材料，諸如不同金屬或不同的本發明材料，該等不同電極選自金屬、碳化物、硼化物、氮化物及腈之群。在浸沒陰極之一個實施例中，氧由諸如 O_2 分壓藉由在電解質之上維持高 O_2 壓力而增加之電解質的來源提供。高壓可在約0.5 atm至200 atm或約1 atm至10 atm之範圍內。在一個實施例中，選擇電解質以具有增加之氧溶解性。或者，選擇陰極材料以使其具有氧親和性。

在一個實施例中，陽極部分浸沒，其中放電陽極之至少一部分表面未浸沒於電解質中。在一個實施例中，至少一個電極部分浸沒。各電極與電解質接觸。在一個實施例中，至少一個電極僅一部分電極表面積與電解質接觸。至少一部分表面積不直接與電解質接觸。未接觸表面積可曝

露於電池氛圍或電池之另一組件中，諸如隔板，或在電極包含雙極板之某一側時，雙極板之對側。相對於完全浸沒或浸沒部分，某一電極部分未浸沒於電解質中之情況提供不同化學電位、費米能級或電壓。該不同化學電位、費米能級或電壓可促進低能量氫反應。

在一個實施例中，放電陰極可有至少一部分表面未浸沒於電解質中，與電池氛圍或陰極氣體無關。陰極氣體可為供應氣體、氧氣及 H_2O 及電解產生之氧氣中之至少一者。水可包含氫、氘及氚中之至少一者，諸如為 H_2O 、 HOD 、 D_2O 、 T_2O 、 DOT 及 HOT 中之至少一者。陰極氣體可為惰性氣體(諸如 N_2)或稀有氣體(諸如 Ar)。在此情況下，氧可來自電解。相對於浸沒之放電陽極，部分未浸沒陰極提供不同化學電位、費米能級或電壓，即使兩者為相同材料。該不同化學電位、費米能級或電壓促進低能量氫反應。放電陰極部分浸沒所在之電解質可包含基質，諸如 MgO 、 LiAlO_2 、 Li_2TiO_3 、 LiVO_3 、 TiO_2 、 CeO_2 及本發明之其他基質。包含基質之電解質在電池操作溫度下可為固體或半固體，電池操作溫度可為或高於電解質熔點。電解質可包含本發明電解質，諸如熔融鹽，諸如鹼性鹽或共熔鹽或混合物，諸如 MOH-MX (其中 M 為鹼金屬且 X 為鹵離子)。在氫及氧中之至少一者可至少部分藉由間歇電解產生之一個實施例中，氫及氧處於約 H_2O 之化學計量比。在實施例中，比率為約2份 H_2 比1份 O_2 ，在約 $\pm 300\%$ 內、在約 $\pm 100\%$ 內、在約 $\pm 50\%$ 內、在約 $\pm 25\%$ 內或在約 $\pm 10\%$ 內。其

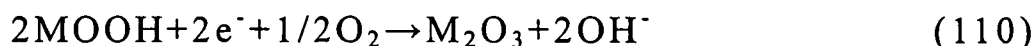
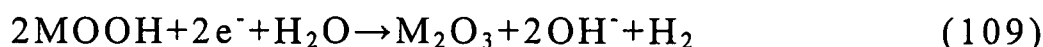
餘電池氣體可包含壓力使電力最佳化或達成所需電力之水蒸汽，且可進一步包含惰性氣體，諸如稀有氣體或 N_2 。水蒸汽壓力可維持在約0.01托至10 atm範圍內。在另一實施例中，水蒸汽壓力維持在約31托至93托範圍內。總壓力可為任何所需值，諸如高於或低於大氣壓，諸如約1 atm至500 atm、約1 atm至100 atm、或約1 atm至10 atm。在一個實施例中，電池包含至少一個 H_2O 蒸汽通道或通路以自來源穿透電池堆疊而接觸至少電解質。在一個實施例中， H_2O 經由芯結構(諸如熱管之芯結構)供應至堆疊。芯可包含不導電材料以避免使電極電短路。芯材料可包含氧化物(諸如金屬氧化物)或其他不導電化合物。氧化物或其他化合物可具吸濕性，諸如本發明之氧化物或化合物。在另一實施例中，在壓力下呈氣態 H_2O 或液態 H_2O 之 H_2O 可經由管道或通道注入電解質層中。在一個實施例中，電解質層包含芯或毛細管結構以輸送 H_2O 穿過堆疊之各電池之電解質層。結構可包含包埋於電解質中或與電解質混合之基質，基質之孔隙率及孔徑尺寸達成在層內快速輸送以維持 H_2O 濃度處於最佳含量，諸如相當於約10至100托範圍內之與電解質平衡的 H_2O 蒸汽分壓之含量。

在一個實施例中，堆疊包含並聯安置且浸沒於常見電解儲集器中之電極。電極可包含水平或垂直或任何所需定向堆疊之板。電解質可包含鹼，諸如熔融或水性鹼性溶液，諸如 KOH (水溶液)或熔融 $LiOH-LiBr$ ；或熔融或水性酸性溶液，諸如水性或熔融酸，諸如 H_2SO_4 (水溶液)或熔融

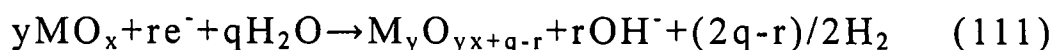
H_3PO_4 。電池可包含 H_2 、 O_2 及 H_2O 中之至少一者的來源。氧氣及水可至少部分來自空氣。氫氣可由氫滲透電極、氫噴射或鼓泡電極、或間歇電解中之至少一者供應。電池之陽極(諸如 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH-LiBr}/\text{Ni}+\text{空氣}]$)可包含位於相對表面(諸如兩個相對板)上之滲透膜。氫可由視情況出自通向由兩個相對膜表面(諸如板)形成的腔室之共同歧管之管線供應。陰極可為可至少部分地曝露在空氣中的多孔材料，諸如多孔鎳，諸如 celmet；而陽極可完全浸沒。複數個陽極可垂直浸沒於電解質中，且至少一個陰極可部分地浸沒於電解質表面上。陰極可平置於電解質表面上定向。各陽極可垂直於至少一個陰極，其中複數個陽極可並聯地與共同陰極電連接。或者，陰極及陽極電極可平行且可由惰性隔板(諸如 MgO 或 Li_2TiO_3)隔開。共同儲集器可由至少一個加熱器加熱。包含電解質之熔融浴之溫度可由溫度控制器控制。共同電解質可由循環器循環以維持均一溫度。儲集器可為隔熱的。電池可包含間歇電解電池。氫氣及氧氣可由電解間歇地產生。電池之極性可保持恆定，而電流隨著循環在充電與放電之間交替間歇地逆轉方向。電極可以串聯或並聯或其組合電連接。在另一實施例中，氧還原電極(諸如陰極)可完全浸沒於電解質中。來自來源之氧可藉由諸如噴射包含氧氣之氣體(諸如 O_2 或空氣)的方式或藉由間歇電解供應。間歇電解電極可為不同材料，諸如不同金屬或本發明之不同材料，該等不同電極係選自金屬、碳、碳化物、硼化物、氮化物及腈之群。

在一個實施例中，金屬-空氣電池(諸如Zn-空氣電池)可包含金屬-空氣燃料電池，其中連續添加金屬且連續移除氧化金屬(諸如金屬氧化物或氫氧化物)。藉由諸如抽吸、螺鑽、輸送或熟習此項技術者已知用於移動此等材料之其他機械方法的方式，將新鮮金屬輸送至陽極半電池，且將廢棄氧化金屬自陽極半電池輸送離開。金屬可包含可抽吸之小粒。

在一個實施例中，氧(氫氧)化物可充當形成 OH^- 之氧來源。氧(氫氧)化物可形成穩定氧化物。例示性陰極反應包含以下中之至少一者：氧(氫氧)化物之還原；或氧(氫氧)化物(諸如 MnOOH 、 CoOOH 、 GaOOH 及 InOOH 及鑰系元素氧(氫氧)化物(諸如 LaOOH)之群之一)與 H_2O 及 O_2 中之至少一者的還原反應，形成相應氧化物，諸如 La_2O_3 、 Mn_2O_3 、 CoO 、 Ga_2O_3 及 In_2O_3 。金屬M之例示性反應由以下給出陰極：



或者，氧化物可充當形成 OH^- 之氧來源。經還原之金屬產物可為金屬呈較低氧化態之氧化物、氧(氫氧)化物或氫氧化物。涉及金屬M之一例示性陰極反應為陰極：



其中 y 、 x 、 r 及 q 為整數。適合之例示性氧化物為 MnO_2 、

Mn_2O_3 、 Mn_3O_4 、 $\text{M}'\text{O}$ (M' =過渡金屬)、 SeO_2 、 TeO_2 、 P_2O_5 、 SO_2 、 CO_2 、 N_2O 、 NO_2 、 NO 、 SnO 、 PbO 、 La_2O_3 、 Ga_2O_3 及 In_2O_3 ，其中氣體可維持在基質中，諸如吸收於碳中。電解質可為諸如在約6.1 M至飽和範圍內之濃鹼。例示性電池為[解離體與氫(諸如PtCB、PdC或Pt(20%)Ru(10%)(H_2 ，約1000托))或金屬氫化物(諸如各種組成之R-Ni、R-Co、R-Cu、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 或表5之氫化物)/鹼之水溶液(諸如KOH(水溶液))電解質(>6.5 M至飽和或>11 M至飽和)/氧(氫氧)化物或氧化物(諸如 MnO_2 、 Mn_2O_3 、 Mn_3O_4 、 $\text{M}'\text{O}$ (M' =過渡金屬)、 SeO_2 、 TeO_2 、 P_2O_5 、 SO_2 、 CO_2 、 N_2O 、 NO_2 、 NO 、 SnO 、 PbO 、 La_2O_3 、 Ga_2O_3 及 In_2O_3 ，其中氣體可維持在基質中，諸如吸收於碳中，或 CoOOH 、 MnOOH 、 LaOOH 、 GaOOH 或 InOOH)]、[M/KOH(飽和水溶液)/ MO_x ($x=1$ 或2)(適合金屬 $\text{M}=\text{Zn}$ 、 Sn 、 Co 、 Sb 、 Te 、 W 、 Mo 、 Pb 、 Ge)]及[M/KOH(飽和水溶液)/ $\text{M}'\text{OOH}$ (適合金屬 $\text{M}=\text{Zn}$ 、 Sn 、 Co 、 Sb 、 Te 、 W 、 Mo 、 Pb 、 Ge ； $\text{M}'=\text{Mn}$ 、 Co 、 La 、 Ga 、 In)]。

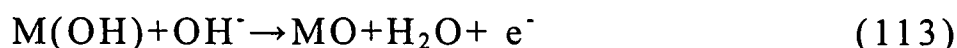
作為 OH^- 氧化反應之中間物形成的OH可充當形成低能量氫之觸媒或觸媒來源(諸如OH或 H_2O)。在一個實施例中，形成氫氧化物或氧化物之金屬可充當陽極。或者，氫氧化物起始反應物可充當陽極。氧化金屬、金屬氧化物及金屬氫氧化物中之至少一者可將 OH^- 氧化成OH，作為形成包含金屬、氧及氫中之至少兩者之化合物(諸如金屬氫氧化

物、氧化物或氧(氫氧)化物)的中間物。舉例而言，金屬可氧化形成氫氧化物，氫氧化物可進一步反應形成氧化物。至少一個氫氧化物H在OH⁻氧化形成水時可轉移至其。因此，金屬氫氧化物或氧(氫氧)化物可以與氫化物(方程式(92))相同的方式反應，形成可充當形成低能量氫之觸媒的OH中間物，或可形成H₂O來充當觸媒。金屬M之例示性反應為

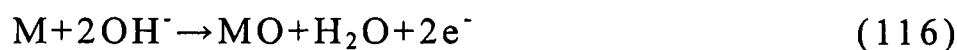
陽極：



接著



接著



其中水產物之OH最初可作為中間物形成且充當形成低能量氫之觸媒，或可形成H₂O來充當觸媒。陽極金屬對與濃鹼之直接反應可為穩定的，或可以緩慢速率反應。適合之金屬為過渡金屬、Ag、Cd、Hg、Ga、In、Sn、Pb及包含一或多種此等及其他金屬之合金。陽極可包含粉末狀金屬與電解質(諸如鹼，諸如MOH(M=鹼金屬))之糊狀物。例示性糊狀物陽極反應物為Zn粉與飽和KOH混合或Cd粉與KOH混合。適用於陽極之正電性金屬為Al、V、Zr、Ti、Mn、Se、Zn、Cr、Fe、Cd、Co、Ni、Sn、In及Pb之群中

之一或多者。或者，具有低的水反應性之適合金屬為Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W。在其他實施例中，陽極可包含氫氧化物或氧(氫氧)化物，諸如此等金屬之氫氧化物或氧(氫氧)化物，諸如 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 。適合之金屬氫氧化物形成氧化物或氧(氫氧)化物。電解質可為諸如在約6.1 M至飽和範圍內之濃鹼。例示性電池為[金屬(諸如Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ag、Cd、Hg、Ga、In、Sn、Pb或具有低的水反應性之金屬(諸如Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W之群之一)或此等金屬與飽和MOH之糊狀物)或金屬氫氧化物(諸如 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Pb}(\text{OH})_2$)/鹼之水溶液(諸如 KOH (水溶液))電解質(>6.5 M至飽和或>11 M至飽和)/氧(氫氧)化物或氧化物(諸如 MnO_2 、 Mn_2O_3 、 Mn_3O_4 、 $\text{M}'\text{O}$ (M' =過渡金屬)、 SeO_2 、 TeO_2 、 P_2O_5 、 SO_2 、 CO_2 、 N_2O 、 NO_2 、 NO 、 SnO 、 PbO 、 La_2O_3 、 Ga_2O_3 及 In_2O_3 ，其中氣體可維持在基質中，諸如吸收於碳中，或 CoOOH 、 MnOOH 、 LaOOH 、 GaOOH 或 InOOH)或碳、氧電極(諸如碳上之 O_2 或空氣、 $\text{C}(\text{O}_2)_x$ 或氧化碳(諸如蒸汽活性碳)或CB、PtC、PdC、 $\text{CB}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PtC}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdC}(\text{H}_2)$ 、針對 O_2 或 H_2O 中之至少一者之還原或 H_2 放出具有低過電位之導體(諸如Pt、Pd、Ir、Ru、Rh、Au或於導電載體(諸如碳或鈦)上之

此等金屬，作為以 H_2O 及 O_2 作為陰極半電池反應物之陰極)))、 $[\text{Zn}、\text{Sn}、\text{Co}、\text{Sb}、\text{Te}、\text{W}、\text{Mo}、\text{Pb}$ 或 Y 之氫氧化物/ KOH (飽和水溶液)/蒸汽碳]及 $[\text{Zn}$ 飽和之 MOH 糊狀物/ MOH (飽和水溶液)/具有 O_2 之 CB 、活性碳或蒸汽活性碳]。

在一個實施例中，陰極可包含金屬氧化物(諸如氧化物或氧(氫氧)化物)，且陽極可包含金屬或相對於陰極氧化金屬之還原氧化物。方程式(93)中給出之水還原可涉及氧化物或氧(氫氧)化物之氧。陰極及陽極可包含呈不同氧化或氧化物狀態之同一金屬。陽極反應可由方程式(112-116)之至少一者給出。例示性電池為 $[\text{M}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{MOOH}(\text{M}=\text{過渡金屬}、\text{稀土金屬}、\text{Al}、\text{Ga}$ 或 $\text{In})]$ 、 $[\text{M}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{MO}_2(\text{M}=\text{Se}、\text{Te}$ 或 $\text{Mn})]$ 及 $[\text{M}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{MO}(\text{M}=\text{Zn}、\text{Sn}、\text{Co}、\text{Sb}、\text{Te}、\text{W}、\text{Mo}、\text{Pb}$ 或 $\text{Ge})]$ 。氫可添加至至少一個半電池中，以引發及傳播水氧化及還原反應(例如方程式(93-94)及(123))，該等反應維持一些 OH^- 或包含 O 與 H 中之至少一者之其他觸媒(諸如 H_2O)。氫來源可為氫化物，諸如 R-Ni 或 LaNi_5H_6 。諸如蒸汽碳之碳亦可添加至諸如陰極之電極中，以促進水還原成 OH^- 以及 OH^- 氧化成 OH 及可能 H_2O 。至少一個電極可包含含有碳之混合物。舉例而言，陰極可包含碳與金屬氧化物之混合物，諸如蒸汽碳與 $\text{Zn}、\text{Sn}、\text{Co}、\text{Sb}、\text{Te}、\text{W}、\text{Mo}、\text{Pb}$ 或 Ge 之氧化物的混合物。陽極可包含陰極金屬氧化物之相應金屬。其他適用於在陰極還原 O_2 之觸媒為鈣鈦礦型觸媒

(諸如摻雜金屬氧化物之 $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{CoO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ($0 \leq x \leq 0.5$) 或 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Co}_{1-y}\text{B}_y\text{O}_3$ ($\text{B}=\text{Ni}$ 、 Fe 、 Cu 或 Cr ； $0 \leq y \leq 0.3$)) 或尖晶石 (諸如 Co_3O_4 或 NiCo_2O_4)、燒綠石 (諸如 $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{Pb}_{1-x}\text{O}_{1-y}$ 或 $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_{6.5}$)、其他氧化物 (諸如 $\text{Na}_{0.8}\text{Pt}_3\text{O}_4$) 或具有 Co 添加劑之熱解大環化合物。氧還原觸媒可進一步包含導電載體，諸如碳，諸如碳黑或石墨碳。例示性電池為 $[\text{Zn}$ 、 Sn 、 Co 、 Sb 、 Te 、 W 、 Mo 、 Pb 、 Ge/KOH (飽和水溶液)/空氣+碳+ O_2 還原觸媒 (諸如鈣鈦礦型觸媒，諸如摻雜金屬氧化物之 $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{CoO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ($0 \leq x \leq 0.5$) 或 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Co}_{1-y}\text{B}_y\text{O}_3$ ($\text{B}=\text{Ni}$ 、 Fe 、 Cu 或 Cr ； $0 \leq y \leq 0.3$)；或尖晶石，諸如 Co_3O_4 或 NiCo_2O_4 ；燒綠石，諸如 $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{Pb}_{1-x}\text{O}_{1-y}$ 或 $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_{6.5}$ ；其他氧化物，諸如 $\text{Na}_{0.8}\text{Pt}_3\text{O}_4$ 或具有 Co 添加劑之熱解大環化合物)]。在另一實施例中，陰極包含水還原觸媒。

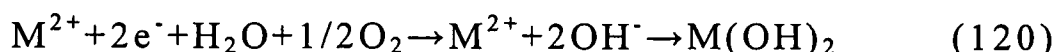
在一個實施例中，電池進一步包含氧來源，其充當反應物，直接或間接參與觸媒及進一步形成低能量氫之 H 來源之形成。電池可包含充當陽極之金屬 M ，使得相應金屬離子充當遷移離子。適合之例示性金屬為 Cu 、 Ni 、 Pb 、 Sb 、 Bi 、 Co 、 Cd 、 Ge 、 Au 、 Ir 、 Fe 、 Hg 、 Mo 、 Os 、 Pd 、 Re 、 Rh 、 Ru 、 Se 、 Ag 、 Tc 、 Te 、 Tl 、 Sn 及 W 及其金屬合金或其他金屬之合金之群中的至少一者。 OH^- 可充當根據表 3 中給出之反應的觸媒，或可形成 H_2O 來充當觸媒。除諸如 M^{2+} 之金屬離子外，一些 OH^- 可至少短暫地自 OH^- 形成。可由 OH^- 形成之 H_2O 可充當觸媒。氧可在陰極還原。水亦可參與

還原反應，形成至少一些可充當形成低能量氫之觸媒或觸媒來源(諸如 H_2O)的 OH 。例示性反應為

陽極：



陰極：



其中一些 OH 自由基中間物在陽極或陰極形成，以進一步反應以可能藉由形成 H_2O 觸媒來形成低能量氫。在另一實施例中，待與水反應之氧來源為氧(氫氧)化物，諸如 MnOOH 或 CoOOH 。 OH 可藉由陽極上 OH^- 氧化及陰極上 O 或 O_2 還原成 OH^- 形成。 O 可為氧(氫氧)化物之 O 。能量平衡可促進在傳播形成低能量氫之反應的條件下 OH 及 H_2O 中之至少一者之形成。在其他實施例中，氧化劑可為氧與另一氧化劑之混合物，該另一氧化劑可為氣體或可為惰性的。適合之例示性混合物為 O_2 與 CO_2 、 NO_2 、 NO 、 N_2O 、 NF_3 、 CF_4 、 SO_2 、 SF_6 、 CS_2 、 He 、 Ar 、 Ne 、 Kr 及 Xe 中之至少一者混合。

鹼(諸如 MOH ， M =鹼金屬，諸如 KOH (水溶液))濃度可在任何所需範圍內，諸如在約 0.01 M 至飽和(飽和)、約 6.5 M 至飽和、約 7 M 至飽和、約 8 M 至飽和、約 9 M 至飽和、約 10 M 至飽和、約 11 M 至飽和、約 12 M 至飽和、約 13 M 至飽和、約 14 M 至飽和、約 15 M 至飽和、約 16 M 至飽和、

約 17 M 至飽和、約 18 M 至飽和、約 19 M 至飽和、約 20 M 至飽和及約 21 M 至飽和之範圍內。單獨、與鹼(諸如 MOH, M=鹼金屬)組合及以任何組合之其他適合之例示性電解質為鹼金屬或銨之鹵化物、硝酸鹽、過氯酸鹽、碳酸鹽、 Na_3PO_4 或 K_3PO_4 及硫酸鹽及 NH_4X (X=鹵離子、硝酸根、過氯酸根、磷酸根及硫酸根)。電解質可呈任何所需濃度。當 R-Ni 用作陽極時，由於 R-Ni 之鹼性組成或 Al 與水或鹼反應，所以可形成局部高濃度之 OH^- 。Al 反應亦可在陽極供應氫，進一步促進方程式(92)之反應。

陽極粉末顆粒可具有保護塗層，以防止此項技術中已知之金屬鹼腐蝕。適合之鋅腐蝕抑制劑及氫放出抑制劑為螯合劑，諸如選自胺基羧酸、聚胺及胺基醇之群之一，其以足以實現所需抑制之量添加至陽極中。Zn 腐蝕之抑制亦可藉由將鋅與多達 10% Hg 合併及藉由將 ZnO 溶解於鹼性電解質中或將 Zn 鹽溶解於酸性電解質中來實現。其他適合之材料為有機化合物，諸如聚乙二醇及美國專利 4,377,625 (以引用的方式併入本文中)中所揭示之有機化合物，以及熟習此項技術者已知用於商業 Zn-MnO₂ 電池之抑制劑。適用於 Zn 及可能其他金屬之其他例示性抑制劑為如下有機或無機抑制劑：諸如界面活性劑之有機化合物；及含有抑制 H₂ 形成之鉛、銻、鉍、鎘及鎳以及相應金屬氧化物之化合物；及螯合劑，諸如 5% CoO+0.1% 二乙烯三胺五乙酸、5% SnO₂+0.1% 二乙烯三胺五乙酸、乙二胺四乙酸(EDTA)或類似螯合劑；抗壞血酸、合成鋰皂石或其他該等氫氧化

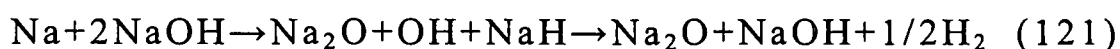
物離子輸送黏土、界面活性劑及硫酸銨、脂族基硫化物(諸如乙基丁基硫化物、二丁基硫化物及烯丙基甲基硫化物)、錯合劑(諸如鹼金屬檸檬酸鹽、鹼金屬錫酸鹽及氧化鈣)、金屬合金及添加劑(諸如第III族及第V族金屬)、聚乙二醇、乙烯-聚乙二醇(諸如具有不同分子質量之聚乙二醇，諸如 PEG 200 或 PEG 600)、氟聚乙二醇(fluoropolietoksyalkohol)、具有環氧乙烷之醚、聚氧化乙烯烷基磷酸酯酸形式、聚乙烯烷基磷酸酯、乙氧基化聚氟醇及烷基聚氧化乙烯。在其他實施例中，用腐蝕抑制劑保護其他正電性金屬(諸如 Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Cd、Hg、Ga、In、Sn及Pb)或具有低的水反應性之適合金屬(Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W)。在一個實施例中，可負載保護塗層材料以包含選擇用於 OH^- 之鹽橋。包含鹽橋之一適合電池為如本發明中所給出之燃料電池類型。鹽橋可為具有選擇用於 OH^- 之類似基團之四級銨基之膜。或者，其可為選擇用於 OH^- 之氧化物或氫氧化物。用於氫陽極之對 H_2 可透有抗性之商業隔板為納菲薄膜350(DuPont)。

電池可藉由電解或藉由與氫反應及藉由本發明中所給出或此項技術中已知之其他化學處理及分離方法及系統再生。氧化金屬(諸如金屬氧化物)可藉由供應 H_2 至陽極，在較低電壓下電解再生，其中金屬沈積在陰極。再例如，可移除Zn陽極，且用具有化學再生Zn之新筒置換。在包含在

放電期間分別形成 ZnO 、 PbO 及 SnO 之 Zn 、 Pb 或 Sn 陽極之一個實施例中，產物 ZnO 、 PbO 及 SnO 可用碳或 CO 處理，形成鋅、鉛及錫及 CO_2 ，或用硫酸處理，形成 ZnSO_4 、 PbSO_4 、 SnSO_4 ，該等物質可電解形成 Zn 、 Pb 及 Sn 及硫酸，可再循環。在電池包含金屬陽極之初始反應物及相應氧化金屬(諸如氧化物、氧(氫氧)化物及氫氧化物)的情況下，兩個電極上之電池產物為氧化金屬。電池可藉由電解，或藉由移除電極，將包含金屬與氧化金屬化合物之混合物的電極反應物組合且將混合物分離成金屬及氧化金屬化合物而再生。一例示性方法為加熱混合物，使得金屬熔融且形成基於密度可分離之層。適合之金屬為 Pb ($\text{MP}=327.5^\circ\text{C}$)、 Sb ($\text{MP}=630.6^\circ\text{C}$)、 Bi ($\text{MP}=271.4^\circ\text{C}$)、 Cd ($\text{MP}=321^\circ\text{C}$)、 Hg ($\text{MP}=-39^\circ\text{C}$)、 Se ($\text{MP}=221^\circ\text{C}$) 及 Sn ($\text{MP}=232^\circ\text{C}$)。在另一實施例中，陽極包含磁性金屬，諸如鐵磁性金屬，諸如 Co 或 Fe ，且陰極包含相應氧化物，諸如 CoO 及 NiO 。放電後，陰極及陽極可包含金屬與相應氧化物之混合物。各半電池之金屬及氧化物可藉由磁性分離，因為金屬為鐵磁性的。分離出之金屬可返回陽極，且分離出之金屬氧化物可返回陰極，形成再生電池。

在一般反應中， OH^- 氧化成 OH ，用作形成低能量氫之觸媒，且可自 H 來源(諸如氫化物(方程式(92))或氫氧化物(方程式(113)))形成 H_2O ，其中 H_2O 可充當形成低能量氫之觸媒。氫氧化物提供 H 之反應可為兩個 OH^- 基團在氧化下形成金屬氧化物及 H_2O 之反應。金屬氧化物可為與至少一個

OH⁻基團之來源不同或相同之金屬。如方程式(113)所給出，金屬M'可與來自MOH(諸如M為鹼金屬)之OH⁻來源反應，形成OH及H₂O。而方程式(128)為作為OH⁻來源之金屬M與形成金屬氧化物之金屬反應的一實例。參與機制與方程式(113)相同之例示性電池[Na/BASE/NaOH]的方程式(128)及(61)之反應的另一形式為



在包含鹼性水性電解質之電解電池之一個實施例中，形成OH及低能量氫之反應機制遵循方程式(92-121)及(128)。舉例而言，電解質可包含鹼金屬(M)鹼，諸如MOH或M₂CO₃，其提供OH⁻及鹼金屬離子M⁺，可形成M₂O及作為形成H₂O之中間物的OH。舉例而言，遵循方程式(121)之一例示性陰極反應為



在水性電解電池之另一實施例中，來自陽極之氧與金屬或金屬氫化物在陰極反應，形成OH⁻(方程式(93))，OH⁻在陽極氧化形成OH。OH亦可作為陰極上之中間物形成。OH進一步反應以可能藉由形成充當觸媒之H₂O來形成低能量氫。可藉由使用碳或碳塗佈之金屬陰極促進O₂及H₂O在陰極還原成OH⁻。碳可自碳酸鹽電解質(諸如鹼金屬碳酸鹽，諸如K₂CO₃)電鍍。電池可在無外部複合器下操作，以增加O₂濃度，從而提高O₂還原速率。

在產生OH之電池的其他實施例中，在氧化與還原反應中之至少一者期間形成的H與O中之至少一者亦可充當形

成低能量氫之觸媒。

在具有氫硫族化物離子電解質之另一一般反應中，陰極反應包含進行接受電子與接受H步驟中之至少一者的反應。陽極反應包含進行供出電子、供出H及氧化氫硫族化物離子步驟中之至少一者的反應。

在另一實施例中，圖4中所示之電池系統可包含陽極室600、陽極603(諸如Zn)、陰極室601、陰極604(諸如碳)及對遷移離子(諸如電解質(諸如6.5 M至飽和MOH，M=鹼金屬)之OH⁻)選擇性可透過的隔板602(諸如聚烯烴膜)。一適合之膜為Celgard 3501。電極經由開關606，藉由負載605連接，以對電池放電，使得諸如ZnO之氧化物或氫氧化物產物在陽極603形成。包含電極603及604之電池可使用可為另一CIHT電池或由第一CIHT電池充電之電容器之電解電源供應器612再充電。電池可進一步包含輔助電極，諸如圖4中所示之輔助隔室607中之輔助陽極609。當包含陽極603及陰極604之電池適當放電時，包含氧化產物(諸如ZnO)之電極603可充當陰極，且輔助電極609充當陽極，以使陽極603電解再生或自發放電。後一情況下具有鹼性電解質之適合電極為Ni或Pt/Ti。在後一情況下，適合之氫化物陽極為用於金屬氫化物電池(諸如熟習此項技術者已知之鎳金屬氫化物電池)中之氫化物陽極。例示性適合之輔助電極陽極為本發明之陽極，諸如金屬(諸如Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ag、Cd、Hg、Ga、In、Sn、Pb或具有低的水反應性之金屬(Cu、Ni、Pb、Sb、

Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn或W)或此等金屬與飽和MOH之糊狀物)、解離體與氫(諸如PtC(H₂))或金屬氫化物(諸如R-Ni、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}及能夠儲存氫之其他合金,諸如AB₅(LaCePrNdNiCoMnAl)或AB₂(VTiZrNiCrCoMnAlSn)型之一,其中「AB_x」名稱係指A型元素(LaCePrNd或TiZr)與B型元素(VNiCrCoMnAlSn)之比率)。在其他實施例中,氫化物陽極包含以下中之至少一者:AB₅型:MmNi_{3.2}Co_{1.0}Mn_{0.6}Al_{0.11}Mo_{0.09}(Mm=密鈷合金:25 wt% La、50 wt% Ce、7 wt% Pr、18 wt% Nd);AB₂型:Ti_{0.51}Zr_{0.49}V_{0.70}Ni_{1.18}Cr_{0.12}合金;基於鎂之合金,諸如Mg_{1.9}Al_{0.1}Ni_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}合金、Mg_{0.72}Sc_{0.28}(Pd_{0.012}+Rh_{0.012})及Mg₈₀Ti₂₀、Mg₈₀V₂₀;La_{0.8}Nd_{0.2}Ni_{2.4}Co_{2.5}Si_{0.1}、LaNi_{5-x}M_x((M=Mn、Al)、(M=Al、Si、Cu)、(M=Sn)、(M=Al、Mn、Cu))及LaNi₄Co、MmNi_{3.55}Mn_{0.44}Al_{0.3}Co_{0.75}、LaNi_{3.55}Mn_{0.44}Al_{0.3}Co_{0.75}、MgCu₂、MgZn₂、MgNi₂;AB化合物,諸如TiFe、TiCo及TiNi;AB_n化合物(n=5、2或1);AB₃₋₄化合物;及AB_x(A=La、Ce、Mn、Mg;B=Ni、Mn、Co、Al)。當開關611閉合且開關606斷開時,包含陽極609及陰極603之電池可經由負載613放電。包含電極603及609之電池可使用可為另一CIHT電池之電源供應器610再充電。或者,在閉合開關614及斷開開關611後,可使用可為另一CIHT電池之電源616對包含電極604及609之放電電池

再充電。此外，輔助陽極609(諸如氫化物，諸如R-Ni、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 或 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$)可藉由電解再充電，或藉由原位添加氫或藉由移除、氫化及置換而再生。在放電期間形成氧化物或氫氧化物且具有熱力學上有利之經 H_2 還原成金屬之再生反應的適合例示性陽極為Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W。此等及其他該等電極可在半電池中在 H_2 下運轉，分批或連續再生電極。電極可交替再循環。舉例而言，放電之金屬氫化物陽極(諸如自 LaNi_5H_6 形成 LaNi_5)可用作另一水性電池中之陰極，其中此陰極上水或 H^+ 還原成氫將使 LaNi_5 再氫化成 LaNi_5H_6 ， LaNi_5H_6 又可充當陽極。驅動放電及再充電循環之能源為自氫形成低能量氫。熟習此項技術者可交換本發明之其他陽極、陰極、輔助電極、電解質及溶劑，以包含能夠引起至少一個電極(諸如初始陽極)再生之其他電池。

在其他實施例中，陽極603與陰極604中之至少一者可包含複數個電極，該複數個電極各自進一步包含將該複數個電極每一者電連接於電路或與電路斷開的開關。接著，舉例而言，一陰極或陽極可在放電期間連接，且另一陰極或陽極可在藉由電解再充電期間連接。在具有鹼性電解質(諸如 MOH (M =鹼金屬)，諸如 KOH (飽和水溶液))之一例示性實施例中，陽極包含金屬(諸如具有低的水反應性之適合金屬(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或Zn))或氫化物(諸如R-Ni或 LaNi_5H_6)，且陰極包含複數個至少雙電極，諸如在放電期間連接至電路之碳電極及在再充電期間連接之鎳。在另一實施例中，電解質可在至少一個半電池中改變，接著電解。舉例而言，飽和MOH可經稀釋，以使 H_2 在電解陰極放出，接著再次濃縮以用於放電。在另一實施例中，溶劑與溶質中之至少一者可改變，以允許電池反應物再生。電池產物之電解電壓可超過溶劑；接著選擇溶劑改變以允許反應物藉由電解再生。在一個實施例中，在放電後諸如金屬或氫化物之陽極可自包含該陽極及陰極之第一電池移除，且藉由在具有相對電極之第二電池中電解再生，且作為再生陽極返回第一電池。在一個實施例中，包含氫化物陽極之CIHT電池進一步包含對電池間歇充電及放電之電解系統，使得淨能量平衡增加。例示性電池為放電及充電電流恆定之 $[\text{LaNi}_5\text{H}_6$ 、R-Ni、TaV、MoCo、MoSi、MoCr、MoCu、SnV、NiZr、MgY、其他金屬氫化物(諸如本發明之金屬氫化物)、KOH(飽和水溶液)或作為 OH^-/SC 或M來源之其他電解質](M=金屬或合金，諸如Ni、Pt/Ti或本發明之其他金屬或合金)脈衝電解，其中放電時間為約充電時間之1.1至100倍且在約10倍內放電及充電電流可為相同的。在一個實施例中，電池間歇充電及放電。在例示性實施例中，電池具有金屬陽極或金屬氫化物(MH)陽極，諸如 $[\text{Co}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{SC}]$ 、 $[\text{Zn}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{SC}]$ 、 $[\text{Sn}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{SC}]$ 、

液)/SC] 及 [MH/KOH(飽和水溶液)/SC]，其中 MH 可為 LaNi_5H_x 、 TiMn_2H_x 或 $\text{La}_2\text{Ni}_9\text{CoH}_x$ 。間歇充電及放電之 CIHT 電池亦可包含熔融電解質，諸如氫氧化物與鹵化物或其他鹽中之至少一者，且可在陽極進一步包含 H 來源，諸如可在電解質中之氫化物 MH 或 H_2O 。適合例示性電池為 $[\text{MH}/\text{M}'(\text{OH})_n\text{-M}''\text{X}_m/\text{M}''']$ 及 $[\text{M}/\text{M}'(\text{OH})_n\text{-M}''\text{X}_m(\text{H}_2\text{O})/\text{M}]$ ，其中 n 、 m 為整數， M 、 M' 、 M'' 及 M''' 可為金屬，適合金屬 M 可為 Ni， M' 及 M'' 可為鹼金屬及鹼土金屬，且可為過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬及第 III、IV、V 及 VI 族金屬，且適合陰離子 X 可為氫氧根、鹵離子、硫酸根、硝酸根、碳酸根及磷酸根。在一例示性實施例中，CIHT 電池在諸如 1 mA 之恆定電流下充電 2 秒，接著諸如在 1 mA 之恆定電流下放電 20 s。電流及時間可調至任何所需值，以實現最大能量增益。

在一個實施例中，陽極包含形成可由氫還原之氧化物或氫氧化物的金屬。氫可在陰極藉由諸如水之反應(諸如方程式(94)給出之反應)的反應形成。氧化物或氫氧化物亦可藉由添加氫而還原。在一個實施例中，氧化物或氫氧化物在陽極形成，其中水為氫氧化物來源，且氫還原氫氧化物或氧化物，其中水至少部分為氫來源。低能量氫在包含陽極之 OH^- 或金屬氧化、水還原成氫氣、及氫與陽極氧化物或氫氧化物反應以使陽極金屬再生之動力學反應期間形成。接著陽極可包含氧化物或氫氧化物可由氫還原之金屬，諸如以下之群之一：過渡金屬、Ag、Cd、Hg、Ga、

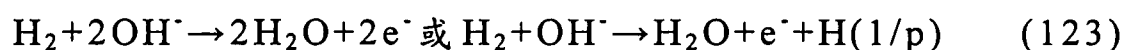
In、Sn及Pb或來自Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W之群之具有低的水反應性之適合金屬。在一個實施例中，過渡金屬Zn亦可充當根據表1中給出之反應的觸媒。

電池可藉由水電解，加回在形成低能量氫時消耗或自電池損失之任何氫來再生。在一個實施例中，電解脈衝進行，使得氫化物(諸如金屬氫化物，諸如鎳氫化物)在產生與電解電壓反向之電壓的電解期間形成，且在不存在外加電壓之占空比的時間間隔期間電解水。諸如峰值電壓、電流及功率、補償電壓、電流及功率以及占空比及頻率之電解參數最佳化，以增加能量增益。在一個實施例中，電池產生電力及氫氣(方程式(94))，氫氣可作為產物收集。或者，氫氣可再循環以氫化R-Ni，繼續電池放電，產生電流，其中低能量氫之形成為電池電壓、電流、功率及能量中之至少一者作出貢獻。電池亦可藉由可為另一CIHT電池之外部電源再充電，以產生氫氣，置換在形成低能量氫時消耗或自電池損失之任何氫。在一個實施例中，氫化物物質可藉由原位添加H₂或在自陽極室移除後在另一容器中再氫化。在前一種情況下，陽極可密封且用氫氣加壓。或者，電池可用氫氣加壓，其中氫氣優先由陽極反應物吸收或保留。在一個實施例中，電池可在操作期間用H₂加壓。

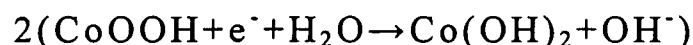
鹼性電解質可為氫氧化物水溶液，諸如鹼金屬氫氧化物水溶液，諸如KOH或NaOH。陰極可為氧(氫氧)化物，諸

如 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ ，或可為高表面積導體，諸如碳(諸如 CB、Pt/C 或 Pd/C)、碳化物(諸如 TiC)或硼化物(諸如 TiB_2)。在鹼性溶液中，反應為

陽極



陰極



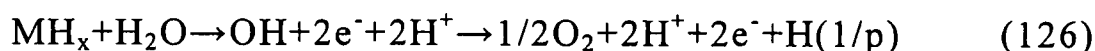
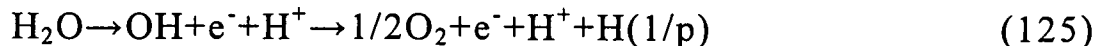
例示性電池為 [R-Ni、 H_2 與 Pd/C、Pt/C、Ir/C、Rh/C 或 Ru/C 或金屬氫化物(諸如過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬氫化物)或合金(諸如 AB_5 或 AB_2 型鹼性電池之一)/MOH(M 為鹼金屬，諸如 KOH(約 6 M 至飽和)，其中該鹼可充當觸媒或觸媒來源，諸如 K 或 2K^+)或其他鹼(諸如 NH_4OH)、 OH^- 導體(諸如鹼性水性電解質)、隔板(諸如具有氫氧化四級烷基銨及鹼性水溶液之隔板)、離子液體或固體 OH^- 導體/MO(OH)(M=金屬，諸如 Co、Ni、Fe、Mn、Al)，諸如 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 或其他 H 層夾硫族化物或 HY]。在其他實施例中，電解質可為離子液體或於

有機溶劑中之鹽。電池可藉由充電或藉由化學處理再生。

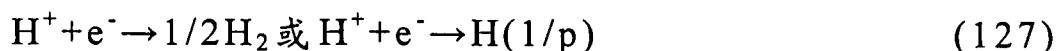
在供應 H_2 之一燃料電池系統實施例中，使 H_2 選擇性或優先在陽極反應。 H_2 在陽極之反應速率遠高於陰極。將 H_2 限於陽極半電池或使用使陽極上反應優先於陰極之材料包含實現選擇性之兩種方法。電池可包含理論上不透 H_2 之膜或鹽橋。膜或鹽橋可對 OH^- 輸送具有選擇性。

在另一實施例中，pH值可較低，諸如中性至酸性。在 H_2O 氧化形成 OH^- ，進一步反應形成低能量氫之情況下，電解質之濃度可為高的，以提高活性及導電性，從而增加形成 OH^- 之反應速率，因此增加低能量氫，如以下反應所給出：

陽極



陰極



藉由由方程式(126)給出之競爭反應，與 O_2 放出相比，存在陽極反應物氫化物(諸如 MH_x ，M為除H以外的元素，諸如金屬)更有利於 OH^- 形成。形成低能量氫之反應可受氫化物之H可用性限制；因此，可最佳化增加H濃度之條件。舉例而言，可增加溫度或 H_2 可供應給氫化物以補充任何消耗之 H_2 。電池中隔板可為鐵氟龍，且使用高溫。

在一個實施例中，陽極或陰極可包含添加劑，諸如載體，諸如碳化物(諸如TiC或TaC)或碳(諸如Pt/C或CB)或無

機化合物或吸氣劑(諸如 LaN 或 KI)。例示性電池為 [Zn LaN/KOH(飽和水溶液)/SC]、[Sn TaC/KOH(飽和水溶液)/SC]、[Sn KI/KOH(飽和水溶液)/SC]、[Pb CB/KOH(飽和水溶液)/SC]、[W CB/KOH(飽和水溶液)/SC]。在另一實施例中，電解質可包含鹼混合物，諸如在 KOH 中飽和之飽和氫氧化銨。例示性電池為 [Zn/KOH(飽和水溶液)NH₄OH(飽和水溶液)/SC] 及 [Co/KOH(飽和水溶液)NH₄OH(飽和水溶液)/SC]。

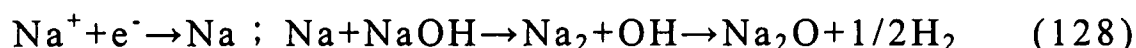
在一個實施例中，陰極與陽極半電池反應中之至少一者形成充當形成低能量氫之觸媒的 OH 與 H₂O 中之至少一者。OH 可由 OH⁻ 氧化形成，或 OH 可由前驅體(諸如 OH、H 及 O 中之至少一者之來源)氧化形成。在後兩種情況下，分別為 H 與 O 來源反應形成 OH，及 O 與 H 來源反應形成 OH。前驅體可為負性或中性物質或化合物。負性物質可為包含 OH、OH⁻ 或含有 OH 或 OH⁻ 之部分的離子，諸如包含 OH⁻ 之 Al(OH)₄⁻ 或包含 OH 之超氧化物或過氧化物離子(HO₂⁻)。負性物質可為包含 H、H⁻ 或含有 H 或 H⁻ 之部分的離子，諸如包含 H⁻ 之 AlH₄⁻ 或包含 H 之過氧化物離子。負性物質氧化之 H 產物接著與 O 來源反應，形成 OH。在一個實施例中，OH 可由 H 或 H 來源與可形成作為形成 OH 之中間物之 OH⁻ 的氧化物或氧(氫氧)化物反應形成。負性物質可為包含除 H 以外之元素的離子，諸如 O、O⁻、O²⁻、O₂⁻、O₂²⁻ 或包含 O、O⁻、O²⁻、O₂⁻ 或 O₂²⁻ 之部分，諸如金屬氧化物，諸如包含氧化物離子之 CoO₂⁻ 或 NiO₂⁻，或包含 O 之過氧化物離子。負性物質氧化之 O

產物接著與H來源反應，形成OH。中性物質或化合物可包含OH、OH⁻或包含OH或OH⁻之部分，諸如氫氧化物或氧(氫氧)化物，諸如包含OH⁻之NaOH、KOH、Co(OH)₂或CoOOH或包含OH之H₂O、醇或過氧化物。中性物質或化合物可包含H、H⁻或包含H或H⁻之部分，諸如包含H⁻之金屬氫化物或包含H之H₂O、醇或過氧化物。氧化之H產物接著與O來源反應，形成OH及H₂O中之至少一者，其中至少一者可充當觸媒。中性物質或化合物可包含除H以外的元素，諸如O、O⁻、O²⁻、O₂⁻、O₂²⁻或包含O、O⁻、O²⁻、O₂⁻或O₂²⁻之部分，諸如包含氧化物離子或其來源之金屬氧化物、氫氧化物或氧(氫氧)化物，或包含O之H₂O、醇或過氧化物。氧化之O產物接著與H來源反應，形成OH及H₂O中之至少一者。

OH可由OH⁺還原形成，或OH可由前驅體(諸如OH、H及O中之至少一者之來源)還原形成。在後兩種情況下，分別為H與O來源反應形成OH，及O與H來源反應形成OH。前驅體可為正性或中性物質或化合物。正性物質可為包含OH或含有OH之部分的離子，諸如包含OH⁻之Al(OH)₃⁺或包含OH之過氧化物離子。正性物質可為包含H、H⁺或含有H或H⁺之部分的離子，諸如包含H⁺之H₃O⁺或包含H之過氧化物離子。正性物質還原之H產物接著與O來源反應，形成OH。正性物質可為包含除H以外之元素的離子，諸如O、O⁻、O²⁻、O₂⁻、O₂²⁻或包含O、O⁻、O²⁻、O₂⁻或O₂²⁻之部分，諸如金屬氧化物，諸如包含氧化物離子之AlO⁺，或包含O之

過氧化物離子。正性物質還原之O產物接著與H來源反應，形成OH。中性物質或化合物可包含OH或包含OH之部分，諸如H₂O、醇或過氧化物。中性物質或化合物可包含H、H⁺或包含H或H⁺之部分，諸如包含H⁺之酸式鹽或酸，分別諸如MHSO₄、MH₂PO₄、M₂HPO₄(M=鹼金屬)及HX(X=鹵離子)，或包含H之H₂O、醇或過氧化物。還原之H產物接著與O來源反應，形成OH。中性物質或化合物可包含除H以外的元素，諸如O，或包含O之部分，諸如H₂O、醇或過氧化物。還原之O產物接著與H來源反應，形成OH。OH可與H或H來源進一步反應以形成可充當觸媒之H₂O。

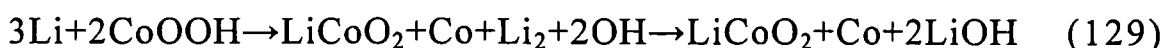
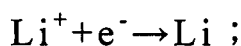
OH可作為中間物形成，或藉由包含氧化或還原化合物或物質之協同或二次化學反應形成。相同情況適用於H₂O觸媒。反應物可包含OH或OH來源，諸如OH⁻、O及H中之至少一者。作為OH⁻形成或消耗中之中間物形成的適合OH來源為金屬氧化物、金屬氫氧化物或氧(氫氧)化物，諸如CoOOH。本發明中給出例示性反應，其中OH在涉及OH⁻之反應期間短暫地形成，且至少OH及H₂O中之一些反應形成低能量氫。由二次反應形成之OH之實例包含氫氧化物或氧(氫氧)化物，諸如包含OH⁻之NaOH、KOH、Co(OH)₂或CoOOH。舉例而言，藉由在諸如[Na/BASE/NaOH]之電池中還原Na⁺，可形成Na，其中Na與NaOH之反應可形成作為短暫中間產物之OH，如下：



在諸如[Na/BASE/NaOH]之一個實施例中，Na⁺之輸送速

率可藉由諸如升高溫度或減小BASE厚度來降低BASE電阻之方式達到最大，以增加Na₂與H中之至少一者的形成速率。因此，增加OH及H₂O中之至少一者之實際速率，隨之形成低能量氫。

類似地，藉由在諸如[Li/Celgard LP 30/CoOOH]之電池中還原Li⁺，可形成Li，其中Li與CoOOH之反應可形成作為短暫中間產物之OH，如下：

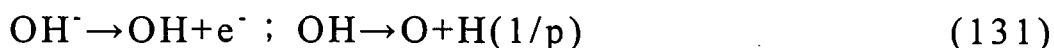


或者，在有機電解電池[Li/Celgard LP 30/CoOOH]中，機制可為OH⁻遷移至陽極，其中OH⁻氧化成充當形成低能量氫之觸媒或反應物的nO、OH及H₂O中之至少一者。例示性反應為

陰極



陽極



O可與Li反應，形成Li₂O。氧(氫氧)化物及電解質可經選擇，以有利於OH⁻作為遷移離子。在一個實施例中，促進OH⁻遷移之電解質為離子電解質，諸如熔融鹽，諸如鹼金屬鹵化物之共熔混合物，諸如LiCl-KCl。陽極可為具有OH⁻或OH之反應物，諸如金屬或氫化物，且陰極可為OH⁻來源，諸如氧(氫氧)化物或氫氧化物，諸如本發明中所給出之該等物質。例示性電池為[Li/LiCl-KCl/CoOOH、

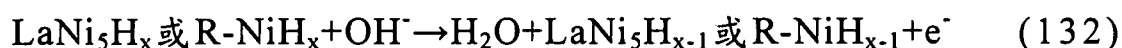
MnOOH、Co(OH)₂、Mg(OH)₂]。

在一個實施例中，O₂、2O、OH及H₂O中之至少一者充當固體燃料反應與CIHT電池中之至少一者中形成低能量氫之觸媒。在一個實施例中，OH可由氧來源(諸如P₂O₅、SO₂、KNO₃、KMnO₄、CO₂、O₂、NO、N₂O、NO₂、O₂及H₂O)與H來源(諸如MH(M=鹼金屬)、H₂O或H₂氣體與解離體)之反應形成。

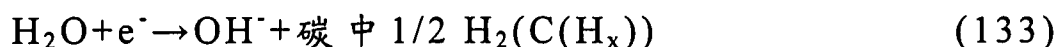
電池可藉由電解或藉由H₂添加而再生。電解可在本發明所給出之條件下脈衝進行。一CIHT電池可自另一CIHT電池提供電解電力，因為循環過程之其充電-再充電循環相輸出超過再充電之電力的淨電力。電池可為搖椅型，其中H穿梭在陽極與陰極之間。在實施例中，包含H之遷移離子可為OH⁻或H⁺。考慮在陽極具有H來源及在陰極具有H儲集體之電池，諸如[R-Ni/KOH(飽和水溶液)/AC]。例示性放電及再充電反應由以下給出

放電

陽極：

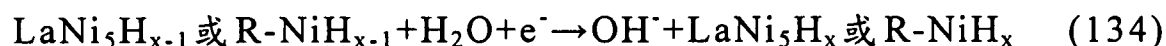


陰極

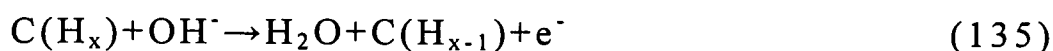


電解再充電

陰極：



陽極



其中在此等反應(方程式(132-133))期間產生之H、OH及H₂O中之至少一者充當形成低能量氫之觸媒。電池可用以消耗水來置換形成低能量氫之氫。氧可藉由選擇性針對氧之反應物選擇性地吸除或移除。或者，氫氣可加回電池中。可密封電池，以另外在電極之間含有剩餘H流量。至少一個電極可在電池操作期間連續或間歇再氫化。氫可由氣體管線供應，該氣體管線使H₂流至電極中。電池可包含另一移除H₂之管線以維持流過至少一個電極。藉由內部氫流量、藉由電解在內部產生之氫及外部供應之氫中之至少一者的再氫化可藉由氫與陰極或陽極或反應物直接反應進行。在一個實施例中，陽極反應物(諸如氫化物)進一步包含用以執行增加陽極反應物(諸如氫化物，諸如R-Ni、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}或ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2})對H₂之吸收量及吸收速率中之至少一者的試劑。試劑可為氫溢流觸媒。適合之試劑為CB、PtC、PdC及其他氫解離體及載體材料上之氫解離體。氫氣壓力可在約0.01至1000 atm範圍內。適於再氫化LaNi₅之範圍為約1至3 atm。

遷移離子可為OH⁻，其中陽極包含H來源，諸如H層夾之層狀硫族化物，諸如氧(氫氧)化物，諸如CoOOH、NiOOH、HTiS₂、HZrS₂、HHfS₂、HTaS₂、HTeS₂、HReS₂、HPtS₂、HSnS₂、HSnSSe、HTiSe₂、HZrSe₂、

HHfSe_2 、 HTaSe_2 、 HTeSe_2 、 HReSe_2 、 HPtSe_2 、 HSnSe_2 、
 HTiTe_2 、 HZrTe_2 、 HVTe_2 、 HNbTe_2 、 HTaTe_2 、 HMoTe_2 、
 HWTe_2 、 HCoTe_2 、 HRhTe_2 、 HIrTe_2 、 HNiTe_2 、 HPdTe_2 、
 HPtTe_2 、 HSiTe_2 、 HNbS_2 、 HTaS_2 、 HMoS_2 、 HWS_2 、
 HNbSe_2 、 HNbSe_3 、 HTaSe_2 、 HMoSe_2 、 HVSe_2 、 HWSe_2 及
 HMoTe_2 。電解質可為 OH^- 導體，諸如鹼性水溶液，諸如
 KOH 水溶液，其中該鹼可充當觸媒或觸媒來源，諸如
 OH^- 、 K 或 2K^+ 。電池可進一步包含 OH^- 可透隔板，諸如
 CG3401 。例示性電池為[H層夾之層狀硫族化物(諸如
 CoOOH 、 NiOOH 、 HTiS_2 、 HZrS_2 、 HHfS_2 、 HTaS_2 、
 HTeS_2 、 HReS_2 、 HPtS_2 、 HSnS_2 、 HSnSSe 、 HTiSe_2 、
 HZrSe_2 、 HHfSe_2 、 HTaSe_2 、 HTeSe_2 、 HReSe_2 、 HPtSe_2 、
 HSnSe_2 、 HTiTe_2 、 HZrTe_2 、 HVTe_2 、 HNbTe_2 、 HTaTe_2 、
 HMoTe_2 、 HWTe_2 、 HCoTe_2 、 HRhTe_2 、 HIrTe_2 、 HNiTe_2 、
 HPdTe_2 、 HPtTe_2 、 HSiTe_2 、 HNbS_2 、 HTaS_2 、 HMoS_2 、
 HWS_2 、 HNbSe_2 、 HNbSe_3 、 HTaSe_2 、 HMoSe_2 、 HVSe_2 、
 HWSe_2 及 HMoTe_2)/ KOH (6.5 M至飽和)+ CG3401 /碳(諸如
 CB 、 PtC 、 PdC 、 $\text{CB}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PtC}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdC}(\text{H}_2)$)、碳化物(諸
如 TiC)及硼化物(諸如 TiB_2)]。陽極可藉由提供氫或藉由電
解再生。

單獨、與鹼(諸如 MOH ， M =鹼金屬)組合及呈任何組合
之例示性電解質為鹼金屬或銨之鹵化物、硝酸鹽、過氯酸
鹽、碳酸鹽、 Na_3PO_4 或 K_3PO_4 及硫酸鹽及 NH_4X ， X =鹵離
子、硝酸根、過氯酸根、磷酸根及硫酸根。電解質可包含

混合物或氫氧化物或其他鹽，諸如鹵化物、碳酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽及硝酸鹽。一般而言，單獨或組合之例示性適合溶質為 MNO_3 、 MNO 、 MNO_2 、 MX (X =鹵離子)、 NH_3 、 MOH 、 M_2S 、 MHS 、 M_2CO_3 、 MHCO_3 、 M_2SO_4 、 MHSO_4 、 M_3PO_4 、 M_2HPO_4 、 MH_2PO_4 、 M_2MoO_4 、 MNbO_3 、 $\text{M}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (M 之四硼酸鹽)、 MBO_2 、 M_2WO_4 、 M_2CrO_4 、 $\text{M}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 M_2TiO_3 、 MZrO_3 、 MAlO_2 、 MCoO_2 、 MGaO_2 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 MTaO_3 、 MVO_3 、 MIO_3 、 MFeO_2 、 MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、 MCrO_n 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、 MNi_2O_n 、 MCuO_n 、 MZnO_n (M 為鹼金屬或銨且 $n=1, 2, 3$ 或 4) 及有機鹼性鹽 (諸如 M 之乙酸鹽或 M 之羧酸鹽)。電解質亦可包含此等及其他陰離子以及可溶於溶劑中之任何陽離子，諸如鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬及第 III 族、第 IV 族、第 V 族及第 VI 族之其他陽離子 (諸如 Al 、 Ga 、 In 、 Sn 、 Pb 、 Bi 及 Te)。其他適合之溶質為諸如 H_2O_2 之過氧化物 (其可以稀釋量連續添加，諸如約 $< 0.001 \text{ wt}\%$ 至 $10 \text{ wt}\%$)、胺化物、有機鹼 (諸如脲或類似化合物或鹽及脲或類似化合物，諸如精胺酸之衍生物或其鹽)、亞胺化物、縮醛胺或胺基縮醛、半縮醛胺、 ROH (R 為醇之有機基團) (諸如乙醇、赤藻糖醇 ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_4$)、半乳糖醇 (甜醇)、 $(2\text{R}, 3\text{S}, 4\text{R}, 5\text{S})$ -己烷-1,2,3,4,5,6-己醇或聚乙烯醇 (PVA))、 RSH (諸如硫醇)、 MSH 、 MHSe 、 MHTe 、 $\text{M}_x\text{H}_y\text{X}_z$ (X 為酸陰離子， M 為諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金

屬或稀土金屬之金屬，且 x 、 y 、 z 為整數，包括 0)。濃度可為任何所需濃度，諸如飽和溶液。適合之溶質使溶液(諸如水溶液)為鹼性。 OH^- 濃度較佳為高的。例示性電池為 $[\text{R-Ni}/\text{包含來自以下之群之溶質或溶質組合的水溶液}]$ ：
 KOH 、 KHS 、 K_2S 、 K_3PO_4 、 K_2HPO_4 、 KH_2PO_4 、 K_2SO_4 、 KHSO_4 、 K_2CO_3 、 KHCO_3 、 KX ($\text{X}=\text{鹵離子}$)、 KNO_3 、 KNO 、 KNO_2 、 K_2MoO_4 、 K_2CrO_4 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 KAlO_2 、 NH_3 、 KNbO_3 、 $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 KBO_2 、 K_2WO_4 、 K_2TiO_3 、 KZrO_3 、 KCoO_2 、 KGaO_2 、 K_2GeO_3 、 KMn_2O_4 、 K_4SiO_4 、 K_2SiO_3 、 KTaO_3 、 KVO_3 、 KIO_3 、 KFeO_2 、 KIO_4 、 KClO_4 、 KScO_n 、 KTiO_n 、 KVO_n 、 KCrO_n 、 KCr_2O_n 、 KMn_2O_n 、 KFeO_n 、 KCoO_n 、 KNiO_n 、 KNi_2O_n 、 KCuO_n 及 KZnO_n ($n=1$ 、 2 、 3 或 4)(均飽和)及 K 之乙酸鹽、稀 H_2O_2 添加劑、稀 CoCl_2 添加劑、胺化物、有機鹼、脲、胍、亞胺化物、縮醛胺或胺基縮醛、半縮醛胺、 ROH (R 為醇之有機基團)(諸如乙醇、赤藻糖醇($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_4$)、半乳糖醇(甜醇)、 $(2\text{R},3\text{S},4\text{R},5\text{S})$ -己烷-1,2,3,4,5,6-己醇或聚乙烯醇(PVA))、 RSH (諸如硫醇)、 MSH 、 MHSe 及 MHTe/CB 或 $\text{CoOOH}+\text{CB}$]。電解質濃度可為任何想要的濃度，但較佳較高，諸如 0.1 M 直至飽和。

可使用本發明之其他溶劑或混合物及 Mills PCT US 09/052072(以引用的方式併入本文中)之有機溶劑章節之溶劑或混合物以及水溶液或與水溶液組合使用。溶劑可為極性的。溶劑可包含純水或水與一或多種其他溶劑(諸如醇、胺、酮、醚、腈及羧酸中之至少一者)之混合物。適

合之例示性溶劑可選自以下中之至少一者之群：水、醇（諸如乙醇或甲醇）、二氧雜環戊烷、二甲氧基乙烷（DME）、1,4-苯并二噁烷（BDO）、四氫呋喃（THF）、二甲基甲醯胺（DMF）、二甲基乙醯胺（DMA）、二甲亞砜（DMSO）、1,3-二甲基-2-咪唑啉酮（DMI）、六甲基磷醯胺（HMPA）、N-甲基-2-吡咯啉酮（NMP）、甲醇、乙醇、胺（諸如三丁胺、三乙胺、三異丙胺、N,N-二甲基苯胺）、呋喃、噻吩、咪唑、吡啶、嘧啶、吡嗪、喹啉、異喹啉、吡啶、2,6-二甲吡啶（2,6-二甲基吡啶）、2-甲吡啶（2-甲基吡啶）及腈（諸如乙腈及丙腈）、4-二甲胺基苯甲醛、丙酮及丙酮-1,3-乙基二甲酯。例示性電池為[R-Ni/包含來自水、醇、胺、酮、醚及腈之群之溶劑或溶劑組合及來自KOH、K₃PO₄、K₂HPO₄、KH₂PO₄、K₂SO₄、KHSO₄、K₂CO₃、K₂C₂O₄、KHCO₃、KX(X=鹵離子)、KNO₃、KNO、KNO₂、K₂MoO₄、K₂CrO₄、K₂Cr₂O₇、KAlO₂、NH₃、K₂S、KHS、KNbO₃、K₂B₄O₇、KBO₂、K₂WO₄、K₂TiO₃、KZrO₃、KCoO₂、KGaO₂、K₂GeO₃、KMn₂O₄、K₄SiO₄、K₂SiO₃、KTaO₃、KVO₃、KIO₃、KFeO₂、KIO₄、KClO₄、KScO_n、KTiO_n、KVO_n、KCrO_n、KCr₂O_n、KMn₂O_n、KFeO_n、KCoO_n、KNiO_n、KNi₂O_n、KCuO_n及KZnO_n(n=1、2、3或4)(均飽和)及K之乙酸鹽之群的溶質或溶質組合之溶液/CB或CoOOH+CB]及[Ni/MOH (M=鹼金屬) 1至10% H₂O+離子液體溶劑或有機溶劑(諸如碳酸二甲酯(DMC)、碳酸乙二酯(EC)、碳酸二乙酯(DEC)、乙醇、六甲磷醯胺(HMPA)、二

甲氧乙烷(DME)、1,4-苯并二噁烷(BDO)、四氫呋喃(THF)、二氧雜環戊烷(諸如1,3-二氧雜環戊烷)/NiO間歇電解潛陰極]。其他例示性電池為[R-Ni/KOH(飽和水溶液)/Pt/Ti]、[R-Ni/K₂SO₄(飽和水溶液)/Pt/Ti]、[PtC(H₂)/KOH(飽和水溶液)/MnOOH CB]、[PtC(H₂)/KOH (飽和水溶液)/FePO₄CB]、[R-Ni/NH₄OH(飽和水溶液)/CB]。

陰極及陽極材料可具有極高表面積以提高動力學，從而增加電力。其他適合之陰極包含載體，諸如碳化物、硼化物、氮化物及腈中之一或多者。陽極亦可包含載體作為組分之一。本發明之不同實施例中之載體可為氟化碳載體。例示性電池為[R-Ni、阮尼鈷(R-Co)、阮尼銅(R-Cu)、LaNi₅H₆、La₂Co₁Ni₉H₆、ZrCr₂H_{3.8}、LaNi_{3.55}Mn_{0.4}Al_{0.3}Co_{0.75}、ZrMn_{0.5}Cr_{0.2}V_{0.1}Ni_{1.2}、CoH、CrH、FeH、MnH、NiH、ScH、VH、CuH、ZnH、AgH/KOH或NaOH(飽和)/碳、碳化物、硼化物及腈、CB、PdC、PtC、TiC、Ti₃SiC₂、YC₂、TaC、Mo₂C、SiC、WC、C、B₄C、HfC、Cr₃C₂、ZrC、CrB₂、VC、ZrB₂、MgB₂、NiB₂、NbC、TiB₂、六方氮化硼(hBN)及TiCN]。陽極可包含金屬(諸如Zn、Sn、Pb、Cd或Co)或氮化物(諸如LaNi₅H₆)及載體(諸如碳、碳化物、硼化物及腈、CB、蒸汽碳、活性碳、PdC、PtC、TiC、Ti₃SiC₂、YC₂、TaC、Mo₂C、SiC、WC、C、B₄C、HfC、Cr₃C₂、ZrC、CrB₂、VC、ZrB₂、MgB₂、NiB₂、NbC、TiB₂、六方氮化硼(hBN)及TiCN)。

水合MOH(M=鹼金屬，諸如K)可藉由與方程式(123)及

(94)所給出相同且包含 OH^- 及H氧化成 H_2O 及 H_2O 還原成H及 OH^- 之反應的機制以低速率直接反應，形成低能量氫。OH可充當表3中給出之MH型觸媒，或H可充當另一H之觸媒。在一個實施例中，藉由使用供應H至陽極之 OH^- 氧化反應之方案及藉由使用大表面積陰極促進陰極之水還原，可顯著提高反應速率，以便利用加速反應來產生電力。

本發明CIHT電池之半電池反應與總反應中之至少一者可包含產生熱能之反應。在實施例中，可產生熱能與電能。熱動力亦可藉由本發明之系統及此項技術中已知之系統轉化為電。

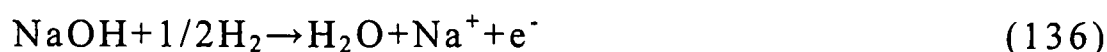
在一個實施例中， OH^- 為在氧化後形成之OH及 H_2O 觸媒中之至少一者之來源。舉例而言，可在陽極處將 OH^- 氧化成進一步在協同反應中反應以形成 H_2O 觸媒的OH以及低能量氫。陽極半電池反應物可包含鹼(諸如NaOH)。陽極半電池反應物可進一步包含H來源，諸如氫化物、氫與解離體或氫與氫可透膜(諸如 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 膜或可為電極(諸如陽極)之管)。電池可包含固體電解質鹽橋，諸如BASE，在遷移離子為 Na^+ 之情況下諸如為Na BASE。鹼 MOH (M=鹼金屬)之 M^+ 經由諸如BASE之鹽橋遷移，且還原成Na，且可以協同方式或隨後與至少一種陰極反應物反應。反應物可在維持在至少電池反應物熔點之高電池溫度下熔融。陰極半電池反應物包含至少一種與經還原之遷移離子反應之化合物。產物鈉化合物可比陽極半電池反應物之鈉化合物穩定。陰極產物可為NaF。陰極反

應物可包含氟來源，諸如碳氟化合物、 XeF_2 、 BF_3 、 NF_3 、 SF_6 、 Na_2SiF_6 、 PF_5 及其他類似化合物，諸如本發明之含氟化合物。另一鹵素可置換陰極中之F。舉例而言，陰極反應物可包含 I_2 。其他陰極反應物包含其他鹵化物，諸如金屬鹵化物，諸如過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬、Al、Ga、In、Sn、Pb、Sb、Bi、Se及Te鹵化物，諸如 NiCl_2 、 FeCl_2 、 MnI_2 、 AgCl 、 EuBr_2 、 EuBr_3 及本發明固體燃料之其他鹵化物。任一電池隔室均可包含熔融鹽電解質，諸如共熔鹽，諸如鹼金屬鹵化物鹽之混合物。陰極反應物亦可為共熔鹽，諸如可包含過渡金屬鹵化物之鹵化物混合物。包含金屬(諸如過渡金屬)之適合共熔鹽為 CaCl_2 - CoCl_2 、 CaCl_2 - ZnCl_2 、 CeCl_3 - RbCl 、 CoCl_2 - MgCl_2 、 FeCl_2 - MnCl_2 、 FeCl_2 - MnCl_2 、 KAlCl_4 - NaAlCl_4 、 AlCl_3 - CaCl_2 、 AlCl_3 - MgCl_2 、 NaCl - PbCl_2 、 CoCl_2 - FeCl_2 及表4中之其他共熔鹽。例示性電池為 $[\text{NaOH}$ 、R-Ni、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 、 CeH_2 、 LaH_2 、 $\text{PtC}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdC}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 之群中之至少一者/BASE/ I_2 、 I_2 +NaI、碳氟化合物、 XeF_2 、 BF_3 、 NF_3 、 SF_6 、 Na_2SiF_6 、 PF_5 、金屬鹵化物(諸如過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬、Al、Ga、In、Sn、Pb、Sb、Bi、Se及Te鹵化物，諸如 NiCl_2 、 FeCl_2 、 MnI_2 、 AgCl 、 EuBr_2 及 EuBr_3)、共熔鹽(諸如 CaCl_2 - CoCl_2 、 CaCl_2 - ZnCl_2 、 CeCl_3 - RbCl 、 CoCl_2 - MgCl_2 、 FeCl_2 - MnCl_2 、 FeCl_2 - MnCl_2 、 KAlCl_4 - NaAlCl_4 、 AlCl_3 - CaCl_2 、 AlCl_3 -

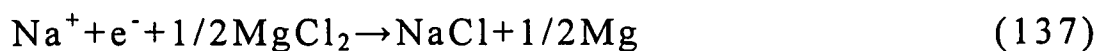
MgCl₂、NaCl-PbCl₂、CoCl₂-FeCl₂及表4之其他共熔鹽)]及[NaOH+PtC(H₂)、PdC(H₂)、Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Fe(H₂)或Nb(H₂)/BASE/NaX(X為陰離子，諸如鹵離子、氫氧根、硫酸根、硝酸根、碳酸根)+NaCl、AgCl、AlCl₃、AsCl₃、AuCl、AuCl₃、BaCl₂、BeCl₂、BiCl₃、CaCl₂、CdCl₃、CeCl₃、CoCl₂、CrCl₂、CsCl、CuCl、CuCl₂、EuCl₃、FeCl₂、FeCl₃、GaCl₃、GdCl₃、GeCl₄、HfCl₄、HgCl、HgCl₂、InCl、InCl₂、InCl₃、IrCl、IrCl₂、KCl、KAgCl₂、KAlCl₄、K₃AlCl₆、LaCl₃、LiCl、MgCl₂、MnCl₂、MoCl₄、MoCl₅、MoCl₆、NaAlCl₄、Na₃AlCl₆、NbCl₅、NdCl₃、NiCl₂、OsCl₃、OsCl₄、PbCl₂、PdCl₂、PrCl₃、PtCl₂、PtCl₄、PuCl₃、RbCl、ReCl₃、RhCl、RhCl₃、RuCl₃、SbCl₃、SbCl₅、ScCl₃、SiCl₄、SnCl₂、SnCl₄、SrCl₂、ThCl₄、TiCl₂、TiCl₃、TlCl、UCl₃、UCl₄、VCl₄、WCl₆、YCl₃、ZnCl₂及ZrCl₄之群之一或多者]。另一鹼金屬可取代Na，其他鹵化物可取代Cl，且BASE可與遷移離子匹配。

電池可藉由電解或以機械方法再生。舉例而言，電池[Ni(H₂ 1 atm) NaOH/BASE/NaCl-MgCl₂共熔物]產生H₂O，在一個實施例中，H₂O自半電池排出。在陰極，來自遷移Na⁺之Na可與MgCl₂反應，形成NaCl及Mg。代表性電池反應為

陽極



陰極



陽極半電池可另外含有鹽，諸如鹼金屬或鹼土金屬鹵化物，諸如鹵化鈉。放電後，陽極可藉由添加水或水來源再生。電池亦可藉由添加 H_2O 反向自發運轉，因為由方程式 (137) 給出之反應的自由能為 +46 千焦/莫耳 (500°C)。水來源可為蒸汽，其中密封半電池。或者，水來源可為水合物。例示性水合物為磷酸鎂五水合物或八水合物、硫酸鎂七水合物、鈉鹽水合物、鋁鹽水合物及鹼土金屬鹵化物水合物，諸如 SrBr_2 、 SrI_2 、 BaBr_2 或 BaI_2 。來源可包含含有 NaOH 之熔融鹽混合物。在一替代性例示性機械再生方法中，當 NaCl 與 Mg 反應形成 MgCl_2 及 Na 時，藉由蒸發 Na ，使 MgCl_2 再生。 Na 可與水反應，形成 NaOH 及 H_2 ，其為再生之陽極反應物。電池可包含流動系統，其中陰極及陽極反應物流動穿過相應半電池，且在各別隔室中再生且返回流動流中。或者，在電池 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{NaOH}]$ 中， Na 可直接用作陽極反應物。電池可為級聯者。

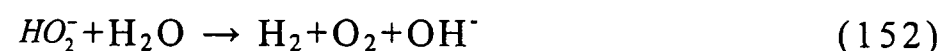
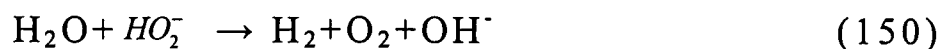
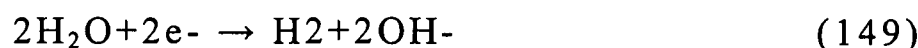
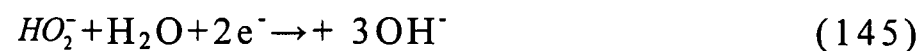
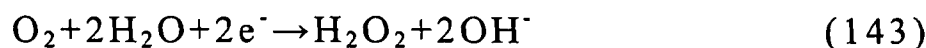
在一個實施例中，陽極包含鹼，諸如 MOH (M =鹼金屬)，其中觸媒或觸媒來源可為與 H 反應以形成可充當觸媒之 H_2O 的 OH 。陰極可進一步包含氫來源，諸如氫化物，諸如稀土金屬或過渡金屬氫化物或本發明之其他氫化物，或為可透膜與氫氣，諸如 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 及本發明之其他可透膜與氫氣。觸媒或觸媒來源可來自 OH^- 之氧化。涉及與 H 進一步反應之陽極氧化產物可為 H_2O 。

電池可包含電解質與鹽橋中之至少一者，鹽橋可為固體電解質，諸如BASE(β -氧化鋁)。陰極可包含可與遷移離子或還原之遷移離子(分別諸如 M^+ 或 M)反應，形成溶液、合金、混合物或化合物的元素、化合物、金屬、合金及其混合物中之至少一者。陰極可包含熔融元素或化合物。適合之熔融元素為In、Ga、Te、Pb、Sn、Cd、Hg、P、S、I、Se、Bi及As中之至少一者。在具有 Na^+ 作為穿過鹽橋(諸如 β 氧化鋁固體電解質(BASE))之遷移離子的一例示性實施例中，陰極包含熔融硫，且陰極產物為 Na_2S 。例示性電池為[$NaOH+H$ 來源(諸如 LaH_2 、 CeH_2 、 ZrH_2 、 TiH_2 或 $Ni(H_2)$ 、 $Fe(H_2)$ 、 $V(H_2)$ 、 $Nb(H_2)$)/BASE/S、In、Ga、Te、Pb、Sn、Cd、Hg、P、I、Se、Bi及As中之至少一者及視情況選用之載體]。在另一實施例中，電池缺乏諸如BASE之鹽橋，因為諸如 H_2 或氫化物之還原劑限定於陽極中，且另外半電池反應物之間的反應在能量方面或在動力學方面為不利的。在不具有鹽橋之一個實施例中，陽極半電池反應物不與陰極半電池反應物進行放能反應。例示性電池為[H來源(諸如 LaH_2 、 CeH_2 、 ZrH_2 、 TiH_2 或 $Ni(H_2)$ 、 $Fe(H_2)$ 、 $V(H_2)$ 、 $Nb(H_2)$)/氫氧化物熔融鹽(諸如 $NaOH$)/S、In、Ga、Te、Pb、Sn、Cd、Hg、P、I、Se、Bi及As及合金中之至少一者及視情況選用之載體]。

在一個實施例中，形成觸媒之反應包含形成充當另一H之觸媒之 H_2O 的反應。能量可以熱或光或電之形式釋放，其中反應包含半電池反應。在反應物形成充當觸媒之 H_2O

的一個實施例中，反應物可包含可氧化為 H_2O 之 OH^- 。本發明中給出例示性反應。反應可發生在CIHT電池或電解電池中。使用處於形成產物之過渡狀態下的 H_2O ，可有利於觸媒反應。電池進一步包含原子H來源。來源可為氫化物、氫氣、由電解產生之氫、氫氧化物或本發明中給出之其他來源。舉例而言，陽極可包含金屬，諸如Zn或Sn，其中半電池反應包含 OH^- 氧化成水及金屬氧化物。在形成之 H_2O 存在下，反應亦形成原子H，其中 H_2O 充當形成低能量氫之觸媒。陽極可包含氫化物，諸如 LaNi_5H_6 ，其中半電池反應包含 OH^- 氧化成 H_2O ，其中H由氫化物提供。在來自氫化物之H存在下發生氧化反應，H由形成之 H_2O 催化，形成低能量氫。陽極可包含金屬與氫化物之組合，其中 OH^- 氧化成 H_2O ，伴隨形成金屬氧化物或氫氧化物，且H由氫化物提供。H由形成之 H_2O 充當觸媒，催化形成低能量氫。在另一實施例中，諸如 CO_2 之氧化劑或諸如R-Ni之Zn或Al之還原劑可與 OH^- 反應，形成 H_2O 及H作為中間物，其中在該反應期間一些H由 H_2O 催化形成低能量氫。在另一實施例中， H_2O 與H中之至少一者可藉由至少一種包含O與H中之至少一者之物質(諸如 H_2 、H、 H^+ 、 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、O、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、OH、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-})進行還原反應而形成。在另一實施例中， H_2O 與H中之至少一者可藉由至少一種包含O與H中之至少一者之物質(諸如 H_2 、H、 H^+ 、 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、O、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、OH、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、

O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-})進行氧化反應而形成。反應可包含本發明之反應之一。反應可發生在CIHT電池或電解電池中。反應可為發生在燃料電池(諸如質子交換膜、磷酸及固體氧化物燃料電池)中之反應。反應可發生在CIHT電池陽極。反應可發生在CIHT電池陰極。可發生在含溶解之 H_2O 的水性或熔融介質中的在陰極與陽極(逆反應)中之一或兩者上形成 H_2O 觸媒及H或形成可形成 H_2O 觸媒及H之中間物質的代表性陰極反應為





除低能量氫以外，充當觸媒之 H_2O 之產物為電離之 H_2O ，可重組成 H_2 及 O_2 ；因此， H_2O 催化可產生該等可商業上使用之氣體。該 H_2 來源可用於維持 CIHT 電池之電力輸出。其可直接供應 H_2 或以使 CIHT 半電池反應物（諸如陽極氫化物或金屬）再生之反應物形式供應 H_2 。

在另一實施例中，觸媒或觸媒來源（諸如 H_2O 及 O_2^{2-} 及 O_3^{2-} ）可由 OH^- 與 O_2 之反應形成。例示性反應為

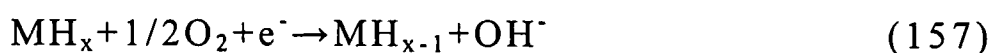


在一個實施例中，還原之氧物質為 H_2O 來源，諸如 OH^- ，其可在 CIHT 電池之陽極氧化或在固體燃料反應中化學產生。諸如 CIHT 電池之陽極反應物的電池反應物進一步包含 H_2 。 H_2 與 OH^- 反應，形成 H 及呈活性狀態之 H_2O ， H_2O 用作藉由與 H 反應形成低能量氫之觸媒。或者，反應物包含 H 來源，諸如氫化物或 H_2 與解離體，使得 H 與 OH^- 反應，形成活性 H_2O 低能量氫觸媒，進一步與另一 H 反應，形成低能量氫。例示性電池為 $[\text{M} + \text{H}_2 / \text{KOH}(\text{飽和水溶液}) / \text{蒸汽碳} + \text{O}_2]$ 及 $[\text{M} + \text{H}_2 + \text{解離體}(\text{諸如 PtC 或 PdC}) / \text{KOH}(\text{飽和水溶液}) / \text{蒸汽碳} + \text{O}_2]$ ； $\text{M} = \text{Zn}$ 、 Sn 、 Co 、 LaNi_5H_6 、 Cd 、 Pb 、 Sb 及 In 。在熱反應器之一個實施例中，氫與氧組合在金屬表面

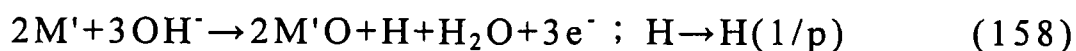
上，形成 H_2O 觸媒及 H ，兩者反應形成低能量氫。金屬促進 H 與 O 氧化重組形成水，該水充當 H 形成低能量氫之觸媒，其中氧化金屬可形成氫氧化物或氧化物。適合之例示性金屬為 Zn 、 Sn 、 Co 、 LaNi_5H_6 、 Cd 、 Pb 、 Sb 及 In 。

在一個實施例中，陽極與陰極半電池反應物之間的協同反應引起 H 與 H_2O 觸媒之間的至少一種能量匹配，從而形成低能量氫且提供低能量氫催化反應之活化能。在一例示性實施例中，包含 $[\text{M}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{H}_2\text{O}$ 或 O_2 還原觸媒+空氣] $(\text{M}=\text{Zn}$ 、 Co 、 Pb 、 LaNi_5H_6 、 Cd 、 Sn 、 Sb 、 In 或 Ge ， H_2O 或 O_2 還原觸媒諸如為蒸汽碳(SC)或碳黑(CB))之 CIHT 起引起能量匹配與提供活化能中之至少一者的作用。在一個實施例中，形成呈活性觸媒狀態之 H_2O 及 H 的反應物可用以產生熱能。半電池反應物可混合，以直接使熱能釋放。例示性反應物可為 $\text{M}+\text{KOH}(\text{飽和水溶液})+\text{H}_2\text{O}$ 或 O_2 還原觸媒+空氣之混合物； M 可為 Zn 、 Co 、 Pb 、 LaNi_5H_6 、 Cd 、 Sn 、 Sb 、 In 或 Ge ，且 H_2O 或 O_2 還原觸媒可為碳、碳化物、硼化物或腈。在另一實施例中，陽極可為金屬 M' ，諸如 Zn ，且陰極可為金屬氫化物 MH_x ，諸如 LaNi_5H_6 。例示性 CIHT 電池可包含 $[\text{Zn}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{LaNi}_5\text{H}_6$ 、 R-Ni 或 $\text{PtC}+\text{空氣}$ 或 $\text{O}_2]$ 。例示性一般電極反應為

陰極：



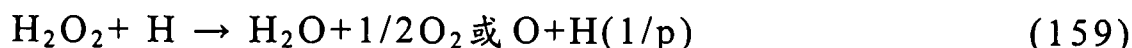
陽極：



適合之例示性熱反應混合物為 $Sn+KOH$ (飽和水溶液)+ CB 或 SC +空氣及 $Zn+KOH$ (飽和水溶液)+ $LaNi_5H_6$ 、 $R-Ni$ 或 PtC +空氣。

除氧化 OH^- 及與 H 反應外，形成 H_2O 觸媒之反應可為脫水反應。一適合之例示性反應為金屬氫氧化物脫水形成金屬氧化物，諸如 $Zn(OH)_2\rightarrow ZnO+H_2O$ 、 $Co(OH)_2\rightarrow CoO+H_2O$ 、 $Sn(OH)_2\rightarrow SnO+H_2O$ 或 $Pb(OH)_2\rightarrow ZnO+H_2O$ 。另一實例為 $Al(OH)_3\rightarrow Al_2O_3+H_2O$ ，其中 $R-Ni$ 可包含 $Al(OH)_3$ ，以及充當可催化形成低能量氫之 H 來源，其中 OH 與 H_2O 中之至少一者充當觸媒。反應可藉由加熱引發及傳播。

在一個實施例中， nH 、 nO (n =整數)、 O_2 、 OH 及 H_2O 觸媒中之至少一者由脫水或分解反應以活性狀態形成。反應在 H 存在下發生，且 H 與觸媒反應形成低能量氫。在一個實施例中，反應包含 H_2O_2 之分解。觸媒 H_2O 可由以下例示性反應形成：



例示性脫水反應為在 H 存在下氫氧化物分解成相應氧化物及 H_2O ，諸如 $R-Ni$ 之 $Al(OH)_3$ 分解成 Al_2O_3 及 H_2O ，釋放 H 。脫水反應可進一步涉及水合 H_2O ，諸如水合 KOH 或 $NaOH$ 之分解。

在一個實施例中，脫水反應涉及自末端醇釋放 H_2O 形成醛。末端醇可包含糖或其衍生物，其釋放可充當觸媒之 H_2O 。適合的例示性醇為內赤蘚醇、半乳糖醇

(galactitol/dulcitol)及聚乙 烯醇(PVA)。

在一個實施例中，電池包含含有氫氧化物之熔融鹽電解質。電解質可包含鹽混合物。在一個實施例中，鹽混合物可包含金屬氫氧化物及相同金屬以及本發明之另一陰離子，諸如鹵離子、硝酸根、硫酸根、碳酸根及磷酸根。適合之鹽混合物為 $\text{CsNO}_3\text{-CsOH}$ 、 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 及 $\text{RbNO}_3\text{-RbOH}$ 。混合物可為共熔混合物。電池可在約為共熔混合物之熔點的溫度下操作，但可在較高溫度下操作。觸媒 H_2O 可由 OH^- 在陽極氧化及與來自諸如滲透入金屬膜(諸如 Ni 、 V 、 Ti 、 Nb 、 Pd 、 PdAg 或 Fe)之 H_2 氣體之來源(稱為 $\text{Ni(H}_2\text{)}$ 、 $\text{V(H}_2\text{)}$ 、 $\text{Ti(H}_2\text{)}$ 、 $\text{Nb(H}_2\text{)}$ 、 $\text{Pd(H}_2\text{)}$ 、 $\text{PdAg(H}_2\text{)}$ 、 $\text{Fe(H}_2\text{)}$ 或 $430\text{ SS(H}_2\text{)}$)的 H 反應形成。適於鹼性電解質之氫可透電極包含 Ni 及合金(諸如 LaNi_5)、貴金屬(諸如 Pt 、 Pd 及 Au)及鎳或貴金屬塗佈之氫可透金屬(V 、 Nb 、 Fe 、 Fe-Mo 合金、 W 、 Mo 、 Rh 、 Zr 、 Be 、 Ta 、 Rh 、 Ti 、 Th 、 Pd 、 Pd 塗佈之 Ag 、 Pd 塗佈之 V 、 Pd 塗佈之 Ti)、稀土金屬、其他難熔金屬、不鏽鋼(SS)(諸如

430 SS)及熟習此項技術者已知之其他此類金屬。氫氧化物之金屬、氫氧化物之陽離子(諸如金屬)或另一陽離子M可在陰極還原。例示性反應為

陽極



陰極



M可為金屬，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pb、Sb、Bi、Se及Te，且可為諸如S或P之另一元素。除氫氧化物陽離子以外的陽離子之還原可導致鹽陽離子之間的陰離子交換。例示性電池為 $[\text{M}'(\text{H}_2)/\text{MOH}-\text{M}''\text{X}/\text{M}''']$ ，其中M、M'、M''及M'''為諸如金屬之陽離子，X為可為氫氧根或諸如鹵離子、硝酸根、硫酸根、碳酸根及磷酸根之另一陰離子的陰離子，且M'為 H_2 可透。另一實例為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{M}(\text{OH})_2-\text{M}'\text{X}/\text{Ni}]$ ，其中M=鹼土金屬，M'=鹼金屬且X=鹵離子，諸如 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{Mg}(\text{OH})_2-\text{NaCl}/\text{Ni}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{Mg}(\text{OH})_2-\text{MgCl}_2-\text{NaCl}/\text{Ni}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{Mg}(\text{OH})_2-\text{MgO}-\text{MgCl}_2/\text{Ni}]$ 及 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{Mg}(\text{OH})_2-\text{NaF}/\text{Ni}]$ 。 H_2O 與H形成，且在陽極反應，進一步形成低能量氫，且金屬Mg為自陰極反應獲得之熱力學最穩定之產物。其他適合之例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{MOH}-\text{M}'\text{鹵化物}/\text{Ni}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{M}(\text{OH})_2-\text{M}'\text{鹵化物}/\text{Ni}]$ 、 $[\text{M}''(\text{H}_2)/\text{MOH}-\text{M}'\text{鹵化物}/\text{M}''']$ 及 $[\text{M}''(\text{H}_2)/\text{M}(\text{OH})_2-\text{M}'\text{鹵化物}/\text{M}''']$ ，其中M=鹼金屬或鹼土金屬，M'=氫氧化物與氧化物中之至少一者不如鹼金

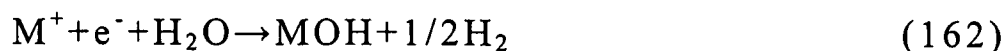
屬或鹼土金屬之氫氧化物及氧化物穩定或具有低的水反應性之金屬，諸如來自 Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn及 W 之群之一，且 M' 為氫可透金屬。或者，M' 可為正電性金屬，諸如 Al、V、Zr、Ti、Mn、Se、Zn、Cr、Fe、Cd、Co、Ni、Sn、In 及 Pb 之群中之一或多者。在另一實施例中，M 與 M' 中之至少一者可包含來自 Li、Na、K、Rb、Cs、Mg、Ca、Sr、Ba、Al、V、Zr、Ti、Mn、Zn、Cr、Sn、In、Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl 及 W 之群之一。在一個實施例中，陽離子可為鹽混合物電解質之陰離子所共用，或陰離子可為陽離子所共用。或者，氫氧化物可對混合物之其他鹽穩定。電極可包含高表面積電極，諸如多孔或燒結金屬粉末，諸如 Ni 粉末。例示性電池為 [Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂) 或 430 SS(H₂)/LiOH-LiX、NaOH-NaX、KOH-KX、RbOH-RbX、CsOH-CsX、Mg(OH)₂-MgX₂、Ca(OH)₂-CaX₂、Sr(OH)₂-SrX₂ 或 Ba(OH)₂-BaX₂(其中 X=F、Cl、Br 或 I)/Ni]、[Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂) 或 430 SS(H₂)/CsNO₃-CsOH、CsOH-KOH、CsOH-LiOH、CsOH-NaOH、CsOH-RbOH、K₂CO₃-KOH、KBr-KOH、KCl-KOH、KF-KOH、KI-KOH、KNO₃-KOH、KOH-K₂SO₄、KOH-LiOH、KOH-NaOH、KOH-RbOH、

Li_2CO_3 -LiOH、LiBr-LiOH、LiCl-LiOH、LiF-LiOH、LiI-LiOH、 LiNO_3 -LiOH、LiOH-NaOH、LiOH-RbOH、 Na_2CO_3 -NaOH、NaBr-NaOH、NaCl-NaOH、NaF-NaOH、NaI-NaOH、 NaNO_3 -NaOH、NaOH- Na_2SO_4 、NaOH-RbOH、RbCl-RbOH及RbNO₃-RbOH/Ni]及[Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂)或430SS(H₂)/LiOH、NaOH、KOH、RbOH、CsOH、Mg(OH)₂、Ca(OH)₂、Sr(OH)₂或Ba(OH)₂+AlX₃、VX₂、ZrX₂、TiX₃、MnX₂、ZnX₂、CrX₂、SnX₂、InX₃、CuX₂、NiX₂、PbX₂、SbX₃、BiX₃、CoX₂、CdX₂、GeX₃、AuX₃、IrX₃、FeX₃、HgX₂、MoX₄、OsX₄、PdX₂、ReX₃、RhX₃、RuX₃、SeX₂、AgX₂、TcX₄、TeX₄、TlX及WX₄中之一或多者(其中X=F、Cl、Br或I)/Ni]。其他適合之H₂可透金屬可置換Ni陽極且穩定陰極可置換Ni。在一個實施例中，電解質可包含氧(氫氧)化物或諸如氫氧化物、鹵化物、硝酸鹽、碳酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽中之一或多者之鹽與氧(氫氧)化物的混合物。在一個實施例中，電池可包含鹽橋，諸如BASE或NASICON。在一個實施例中，電解質可包含包含錯合物或離子之氫氧化物，諸如 $M(\text{OH})_4^{2-}$ 、 $M(\text{OH})_4^-$ 或 $M(\text{OH})_6^{2-}$ ，其中M可例示為Zn、Sn、Pb、Sb、Al或Cr。氫氧化物可進一步包含陽離子，諸如鹼金屬陽離子。氫氧化物可為 $\text{Li}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiCr}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaCr}(\text{OH})_4$ 、

$\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 及 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 。其他例示性的適合氫氧化物為 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 、其他過渡金屬氫氧化物、 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 中之至少一者。

在一個實施例中，氧與 H_2O 中之至少一者之來源供應給電池且可選擇性地供應給陰極。在一個實施例中， H_2 可選擇性地供應給陽極，使得陽極反應由方程式(160)給出。在一個實施例中， O_2 與 H_2O 中之至少一者可供應給電池。在一個實施例中， O_2 或 H_2O 可添加至陰極半電池中，使得反應為

陰極



接著可添加 H_2O ，使得反應為



在提供 O_2 之情況下，總平衡反應可為 H_2 之燃燒， H_2 藉由單獨電解 H_2O 再生。在一個實施例中， H_2 供應於陽極且 H_2O 及視情況存在之 O_2 供應於陰極。 H_2 可藉由透過膜選擇性地施加，且 H_2O 可藉由鼓入蒸汽選擇性地施加。在一個實施例中，維持熔融電解質上方控制之 H_2O 蒸氣壓。 H_2O 感測器可用以監測蒸氣壓及控制蒸氣壓。感測器可為光學感測器，諸如紅外發射光譜感測器或此項技術中已知之感測器。 H_2O 蒸氣壓可由加熱之水觸集器供應，由惰性載氣（諸如 N_2 或 Ar ）運載，其中觸集器溫度及流動速率決定感測器所監測到之蒸氣壓。電池可藉由自電池收集蒸汽及

H_2 (分別諸如未反應之供應物及在陽極及陰極形成之氣體)，藉由諸如 H_2O 冷凝之方式分離氣體，及向陽極再供應 H_2 及向陰極再供應 H_2O 來連續運轉。在一個實施例中，水蒸汽由維持在約 $20-100^{\circ}C$ 溫度範圍內之水發生器供應。在另一實施例中，溫度維持在約 30 至 $50^{\circ}C$ 範圍內。水蒸汽壓力可維持在約 0.01 托至 10 atm 範圍內。在另一實施例中，水蒸汽壓力維持在約 31 托至 93 托範圍內。在一個實施例中，陽離子可為鹽混合物電解質之陰離子所共用，或陰離子可為陽離子所共用。或者，氫氧化物可對混合物之其他鹽穩定。例示性電池為 $[Ni(H_2)/Mg(OH)_2-NaCl/Ni\text{ 芯}(H_2O\text{ 及視情況存在之 } O_2)]$ 、 $[Ni(H_2)/Mg(OH)_2-MgCl_2-NaCl/Ni\text{ 芯}(H_2O\text{ 及視情況存在之 } O_2)]$ 、 $[Ni(H_2)/Mg(OH)_2-MgO-MgCl_2/Ni\text{ 芯}(H_2O\text{ 及視情況存在之 } O_2)]$ 、 $[Ni(H_2)/Mg(OH)_2-NaF/Ni\text{ 芯}(H_2O\text{ 及視情況存在之 } O_2)]$ 、 $[Ni(H_2)$ 、 $V(H_2)$ 、 $Ti(H_2)$ 、 $Nb(H_2)$ 、 $Pd(H_2)$ 、 $PdAg(H_2)$ 、 $Fe(H_2)$ 及 $430\text{ SS}(H_2)/LiOH-LiX$ 、 $NaOH-NaX$ 、 $KOH-KX$ 、 $RbOH-RbX$ 、 $CsOH-CsX$ 、 $Mg(OH)_2-MgX_2$ 、 $Ca(OH)_2-CaX_2$ 、 $Sr(OH)_2-SrX_2$ 或 $Ba(OH)_2-BaX_2$ (其中 $X=F$ 、 Cl 、 Br 或 I)/ $Ni\text{ 芯}(H_2O\text{ 及視情況存在之 } O_2)]$ 、 $[Ni(H_2)$ 、 $V(H_2)$ 、 $Ti(H_2)$ 、 $Nb(H_2)$ 、 $Pd(H_2)$ 、 $PdAg(H_2)$ 、 $Fe(H_2)$ 或 $430\text{ SS}(H_2)/CsNO_3-CsOH$ 、 $CsOH-KOH$ 、 $CsOH-LiOH$ 、 $CsOH-NaOH$ 、 $CsOH-RbOH$ 、 K_2CO_3-KOH 、 $KBr-KOH$ 、 $KCl-KOH$ 、 $KF-KOH$ 、 $KI-KOH$ 、 KNO_3-KOH 、 $KOH-K_2SO_4$ 、 $KOH-LiOH$ 、 $KOH-NaOH$ 、 $KOH-RbOH$ 、 Li_2CO_3-LiOH 、 $LiBr-LiOH$ 、 $LiCl-$

LiOH、LiF-LiOH、LiI-LiOH、LiNO₃-LiOH、LiOH-NaOH、LiOH-RbOH、Na₂CO₃-NaOH、NaBr-NaOH、NaCl-NaOH、NaF-NaOH、NaI-NaOH、NaNO₃-NaOH、NaOH-Na₂SO₄、NaOH-RbOH、RbCl-RbOH及RbNO₃-RbOH/Ni 芯 (H₂O及視情況存在之O₂)及[Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂)或430 SS(H₂)/LiOH、NaOH、KOH、RbOH、CsOH、Mg(OH)₂、Ca(OH)₂、Sr(OH)₂或Ba(OH)₂+AlX₃、VX₂、ZrX₂、TiX₃、MnX₂、ZnX₂、CrX₂、SnX₂、InX₃、CuX₂、NiX₂、PbX₂、SbX₃、BiX₃、CoX₂、CdX₂、GeX₃、AuX₃、IrX₃、FeX₃、HgX₂、MoX₄、OsX₄、PdX₂、ReX₃、RhX₃、RuX₃、SeX₂、AgX₂、TcX₄、TeX₄、TlX及WX₄中之一或多者(其中X=F、Cl、Br或I)/Ni 芯 (H₂O及視情況存在之O₂)。諸如[Ni(H₂)/MOH(M=鹼金屬)M'X₂(M'=鹼土金屬)及視情況存在之MX(X=鹵離子)/Ni]之電池可在高溫下運轉，使得反應物對氫氧根-鹵離子交換為熱力學上穩定的。

在類型[M'(H₂)或氫化物/包含熔融氫氧化物之電解質/M'']之另一實施例中，其中M'及M''可包含H₂可透金屬，諸如Ni、Ti、V、Nb、Pt及PtAg，電解質包含氫氧化物與氫化物之混合物，諸如MOH-MH(M=鹼金屬)。MH可在陰極處為還原成M及H⁻。OH⁻及H可在陽極處氧化成H₂O。包含過量MH之電解質可藉由添加O₂或H₂O再生。在其他實施例中，除MH(諸如硼氫化物及氫化鋁)以外，電解質可包含另一氫儲存材料。

參看圖2，由水還原形成之H可透過氫可透膜473且與H反應物反應。H可透電極可包含V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V、Pd塗佈之Ti、稀土金屬、其他耐火金屬及熟習此項技術者已知之其他該等金屬。H反應物可為形成氫化物之元素或化合物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、合金或其混合物及氫儲存材料，諸如本發明之氫儲存材料。例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH-LiBr}/\text{Ni}(\text{Li}, \text{Ti}, \text{La}, \text{Ce})]$ 。

其他例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)+\text{MOH}/\text{M}'\text{X}-\text{M}''\text{X}']$ 之熔融鹽(M及M'=鹼金屬，X及X'=鹵離子或其他陰離子，M''為諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及III至VI族之金屬，其中該鹽對與混合物之反應穩定且M'X-M''X'-之各元素之化學計量呈中性)。M'X-M''X'可包含 NiCl_2 、 MnI_2 、 EuBr_2 、 SnI_2 、 FeCl_2 、 AgCl 、 FeCl_2 、 InCl 、 CoCl_2 、 CrCl_2 、 CsCl 、 CuCl 、 CuCl_2 、 MnCl_2 、 NiCl_2 、 PbCl_2 、 RbCl 、 SnCl_2 、 TiCl_2 、及 ZnCl_2 中之至少一者]。電池可諸如在陰極處進一步包含諸如空氣或 O_2 氣體之氧源。可藉由電解、添加 H_2 或機械使電池再生。在一實施例中，反應容器可包含耐熔融氫氧化物腐蝕之材料，諸如鎳或蒙乃爾合金(Monel alloy)。在一實施例中，陰極及陽極中之至少一者經鋰化，諸如為鋰化Ni電極，諸如包含 LiNiO 之Ni。在實施例中，以波形連續或間歇放電(諸如第一次充電且第二次放電，其中電流可在至少一個該等時段期間維持恆

定)之熔融鹽或水性鹼性電池的陽極，該陽極可包含諸如鎳氫化物、 LaNi_5H_6 或 $\text{La}_2\text{CoNi}_9\text{H}_6$ 之氫化物。

在陰極處自還原氧而形成過氧離子(諸如 O_2^{2-} 及 HOO^-)之適合熔融氫氧化物電解質為 LiOH 及 NaOH 。形成低能量氫觸媒(諸如 OH 、 H_2O 、 O_2 、 $n\text{H}$ 及 $n\text{O}$ (n 為整數)中之至少一者)之例示性反應為

陰極



陽極



在一實施例中，電池反應物包含過氧化物源或過氧化物。適合過氧化物為 Li_2O_2 及 Na_2O_2 。過氧化物或過氧離子可形成低能量氫觸媒，諸如 OH 及 H_2O 中之至少一者。例示性反應路徑由方程式(138至148)及(165至168)給出。適合電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH}$ 及 NaOH 及可能另一鹽(諸如 LiX 或 NaX (X =鹵離子)及過氧化物或鹼金屬過氧化物(諸如 Li_2O_2 或 Na_2O_2)中之至少一者/ Ni)。在一實施例中，電解質包含氫氧化物及藉由還原氧促成一或多種氧物質形成之其他鹽之混合物中之至少一者。選擇電解質以最佳化氧至所要氧還原產物之還原，其進一步最佳化相關觸媒形成及形成低能量氫之反應。在一例示性實施例中，添加 NaOH 或 KOH 中之一或多者至 LiOH-LiBr 之共熔混合物以最佳化來自形

成低能量氫之電功率。在另一實施例中，添加 H_2O 或 H_2O 源至陰極反應物以導致高價氧化物(諸如過氧化物及超氧化物)轉化為氫氧化物。適合反應為還原 O_2 及 H_2O 以直接或經由中間物質(諸如過氧離子、超氧離子及氧離子中之至少一者及 HOO^- 及 HOOH)形成 OH^- 。

在一實施例中，氧在陰極處被還原為充當觸媒之物質或充當可進一步反應形成觸媒之中間物之物質。該物質或進一步反應產物可為至少一種包含 O 及 H 中之至少一者之物質，諸如 H_2 、 H 、 H^+ 、 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、 O 、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-} 。在另一實施例中，陰極反應可與陽極反應協同。涉及氧之陰極反應可形成產生皆在陽極處形成之 H 與觸媒之間之能量匹配的物質，其中 H 可反應形成低能量氫。在陰極處形成之例示性物質為 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 、 O_2^{2-} 、 OH^- 、 HOO^- 、 H 、 H_2 、 O 、 OH 、 H_2O 、 O_2 、 O_3 及 O_3^- 。陽極反應可包含 HO^- 至 OH 、 H_2O 、 O 及 O_2 中之至少一者之氧化，其中 OH 、 H_2O 、 O 及 O_2 中之至少一者可充當觸媒。在一實施例中，協同反應可包含 OH^- 至 OH 及 H_2O 中之至少一者之陽極反應(方程式(123)及(131))，且陰極反應可包含 O_2 至 O_2^{2-} 之還原(方程式(165))。優先形成 O_2^{2-} 之適合電解質包含 LiOH 及 NaOH 中之至少一者。在一實施例中，進一步提供 H_2O 以與至少一種還原氧物質反應。至少一種產物可為 OH^- 。氧及水中之至少一者之來源可為空氣。可控制氧及 H_2O 中之一或多者之濃度以控制來自形成低能量氫之電及熱功率輸出

中之至少一者。在一實施例中，使電池之電功率輸出最佳化。在一實施例中，在流入電池之前自空氣移除CO₂及CO。移除可藉由使用熟習此項技術者已知之洗滌器來達成。在一實施例中，氫氧化物電解質包含諸如氧化物之添加劑以抑制自CO及CO₂形成碳酸鹽。適合添加劑為高水濃度之Mg、Sb及Si之氧化物及氧陰離子(諸如焦磷酸鹽及過氧硫酸鹽)。特定實例為SiO₂、MgO、Sb₂O₃、Na₂S₂O₈及Na₄P₂O₇。在包含熔融電解質之一實施例中，可藉由與活性金屬(諸如鹼金屬)反應移除諸如熔融鹼金屬氫氧化物鹽、碳酸鹽。在包含間歇充電及放電電池之一實施例中，使電池接近消除(avoid)CO及CO₂之空氣。在一實施例中，至少一種半電池反應之氧來自電解，諸如H₂O及OH⁻中之至少一者之氧化。

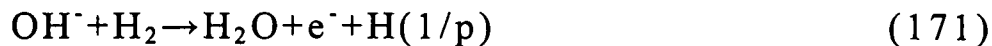
在一實施例中，熔融氫氧化物電解質及包含熔融氫氧化物之混合物進一步包含氧化物，諸如鹼性氧化物(M₂O)或鹼土氧化物(M'O)。濃度可為高達飽和。氧化物可與氫氧化物或水反應形成平衡濃度。例示性反應為：



熔融氫氧化物電解質可進一步包含鹼金屬(M)。在一實施例中，電解質包含熔融氫氧化物、視情況選用之另一鹽及M、MH、M₂O、MO₂或M₂O₂中之至少一者，其中M為諸如鹼金屬之金屬。在一實施例中，使氧化物、H₂O、過氧化物及超氧化物平衡中之至少一者移動。

在一實施例中，形成觸媒(諸如 H_2O 、 OH^- 、 O_2 、 $n\text{H}$ 及 $n\text{O}$ (n =整數)中之至少一者)之電池反應之能量等於在真空中發生之反應之能量。反應可在氣相或凝相(諸如液相或固相)中發生。液體可為水性或熔融鹽介質(諸如電解質)。形成觸媒之反應可包含半電池反應。在一實施例中，形成觸媒之半電池反應之相對半電池反應可在相對於標準氫電極(SHE)為約 0 V 之電壓下發生。適合電壓在相對於 SHE 為約 -0.5 V 至 +0.5 V、-0.2 V 至 +0.2 V 及 -0.1 V 至 +0.1 V 範圍之內。觸媒形成半電池反應之觸媒可為 H_2O 、 OH^- 、 O_2 、 $n\text{H}$ 及 $n\text{O}$ (n =整數)中之至少一者。觸媒形成反應及相對半電池反應可為

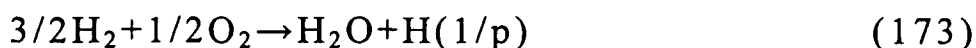
陽極：



陰極：



總反應可為



其中 H_2O 、 OH^- 、 O_2 、 $n\text{H}$ 及 $n\text{O}$ (n =整數)中之至少一者可充當觸媒。在熔融氫氧化物鹽電解質之情況下，可控制供應至電池之水分壓以促成 OH^- 產生反應優於其他 O_2 及 H_2O 還原反應(諸如形成過氧化物、超氧化物及氧化物中之至少一者之 O_2 及 H_2O 還原反應)。在一實施例中，控制溫度、 O_2 壓力、 H_2O 壓力、 H_2 壓力及 OH^- 濃度中之至少一者以促成觸

媒形成半電池反應及導致低能量氫之最佳形成之相對反應。一或多種相應反應可由方程式(171至173)給出。適合例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH-LiBr}/\text{Ni} + \text{空氣}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{NaOH-NaBr}/\text{Ni} + \text{空氣}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{NaOH-NaI}/\text{Ni} + \text{空氣}]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{Sr}(\text{OH})_2/\text{Ni} + \text{空氣}]$ 及本發明之類似電池，其中空氣包含一些 H_2O 。

在一實施例中，形成 H_2O 觸媒之反應為約 1.2 伏特(已針對操作溫度作熱力學校正)。在一實施例中，形成觸媒之半電池反應之電壓相對於 25°C 及 SHE 為約 1.2 V。適合電壓在相對於 SHE 及 25°C 為約 1.5 V 至 0.75 V、1.3 V 至 0.9 V 及 1.25 V 至 1.1 V 範圍之內。電池可在約 200°C 至 1000°C 之溫度範圍內或在約 250°C 至 600°C 之範圍內操作。適合反應為如由方程式(171)及(172)及方程式(197)及(198)給出之形成 H_2O 之反應，其中 H_2O 可充當觸媒。達成所要電壓之適合電解質為熔融鹼性氫氧化物或鹼土氫氧化物，其可進一步包含另一鹽(諸如鹵化物)。適合混合物為共溶鹽混合物，諸如鹼金屬氫氧化物及鹼金屬鹵化物，諸如 LiOH-LiBr 、 NaOH-NaBr 及 NaOH-NaI 。例示性鹼土氫氧化物為 $\text{Sr}(\text{OH})_2$ 。可藉由滲透或藉由鼓泡將氫供應至陽極。適合酸性電解質為酸性電解質水溶液，諸如 H_2SO_4 或 HX (X-鹵離子)水溶液；或酸性離子液體，諸如本發明之酸性離子液體。

在鹼性水性電池實施例中，觸媒形成反應可由方程式(171)給出，且具有相對於 SHE 為約 0 V 之還原電位之對抗

半電池反應為以下中之至少一者：



在一實施例中，可改變 O_2 濃度或陰極材料以達成具有所要電位之反應。適合例示性電池為 $[\text{MH}/\text{KOH}(\text{飽和水溶液})/\text{SC}、\text{Pd}、\text{Pt}、\text{Au}、\text{Ag}$ 或其他氧還原陰極+空氣]及本發明之類似電池，其中MH為諸如 LaNi_5H_x 之金屬氫化物。

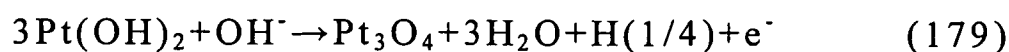
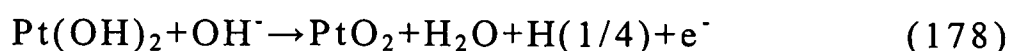
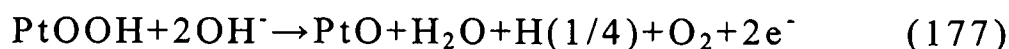
在包含氫氧化物電解質(諸如水性或熔融氫氧化物或混合物(諸如鹼金屬氫氧化物，諸如 LiOH))之電解電池之一實施例中，藉由電解 H_2O ，在陰極處產生 H_2 ，且在陽極處產生 O_2 。電解質之氫氧化物可藉由溶解水性鹼(諸如碳酸鹽，諸如 M_2CO_3 (M =鹼金屬))來形成。電池可在諸如在約 25°C 至 300°C 之範圍內之高溫下操作，但可在更高溫度下操作。電池可經加壓以在接近沸點及沸點以上之溫度下操作。在一實施例中，在陰極處 OH^- 在 H 存在下氧化為 H_2O 及在陽極處 O_2 及 H_2O 中之至少一者還原為 OH^- 之反應中之至少一者隨低能量氫之形成而發生。在一實施例中，陽極處形成之氧在陽極處被 H_2O 還原為 OH^- ，且陰極處形成之 H_2 在陰極處與 OH^- 反應被氧化為 H_2O ，以致 OH^- 路徑分別根據方程式(172)及(171)在陽極及陰極處發生。觸媒可為陰極處形成之 H_2O ，其與亦在陰極處形成之 H 反應。陰極可為形成氫化物之金屬，諸如為貴金屬(諸如 $\text{Pd}、\text{Pt}$ 或 Au)或過渡金屬或合金(諸如 Ni 或 LaNi_5)。陰極可以二功能電極形式

作用(perform)以將 H_2O 還原為 H_2 且在 H 存在下將 OH^- 氧化為 H_2O 。陽極可包含諸如金屬(諸如貴金屬, 諸如Pt、Pd或Au; 或過渡金屬或合金, 諸如Ni或 LaNi_5)之導體, 其以二功能電極形式作用以將水性電解質氧化為 O_2 且將 O_2 及 H_2O 中之至少一者還原為 OH^- 。電極之形態可增加其表面積。諸如Ni之例示性電極為線、燒結、薄片或墊Ni。在一實施例中, 具有鹼性電解質(諸如包含氫氧化物及碳酸鹽中之至少一者之鹼性電解質)之熔融鹽電池包含包括鎳、氧化鎳、鈷、氧化鈷及經鉻摻雜之鎳中之至少一者之陽極; 可為鎳、NiO、鈷、氧化鈷、Ag、氧化銀(諸如 Ag_2O_2)、經Ag摻雜之Ni及鋰化氧化鎳之陰極; 且可包含電解質載體, 諸如MgO、 Li_2TiO_3 或 LiAlO_2 。電極(諸如陽極)可包含NiO及穩定NiO之另一化合物(諸如MgO或 Fe_2O_3 , 其可分別形成 $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ 及 NiFe_2O_4)。在一實施例中, 可藉由由諸如 O^{2-} 來源之來源增加鹼性來穩定化諸如陽極(諸如NiO)之電極。增加電解質之鹼性之適合源為MgO、CdO、ZnO、 Fe_2O_3 、NiO、 Li_2O 、 MoO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 WO_2 及充當 O^{2-} 源之類似氧化物。另一化合物可經添加至電極或可包含電解質添加劑或基質。低能量氫反應電流貢獻在相對於電解電流之方向的方向且可導致電池中之額外熱產生。在另一實施例中, 至少一種氣體可在半電池之間穿透, 以致發生由方程式(171)及(172)給出之反應中之至少一者以形成低能量氫。電極間隔可為最小以促進氣體穿透。氣體可在電池中穿透, 以致由方程式(172)給出之

OH^- 系統至少部分發生於陰極處且由方程式(171)給出之
 OH^- 系統至少部分發生於陽極處。觸媒可為自穿透H在陽極處形成之 H_2O ，其與自陰極穿透至陽極之額外H反應。陽極可為形成氫化物之金屬(諸如為貴金屬，諸如Pd、Pt或Au；或過渡金屬或合金，諸如Ni或 LaNi_5)，其以二功能電極形式作用以將水性電解質氧化為 O_2 且在穿透氫存在下將 OH^- 氧化為 H_2O 。陰極可為形成氫化物之金屬，諸如為貴金屬(諸如Pd、Pt或Au)或過渡金屬或合金(諸如Ni或 LaNi_5)。陰極可以二功能電極形式作用以將 H_2O 還原為 H_2 且可另外將穿透 O_2 及 H_2O 中之至少一者還原為 OH^- 。因此，陰極可包含氧及 H_2O 還原觸媒中之至少一者。藉由穿透反應釋放電能及熱能中之至少一者，其中電流具有與電解電流之極性相同之極性，但電壓具有反極性。因此，在進行恆定電流電解之情況下，在一實施例中，電池電壓減小且電池溫度增加。例示性電解電池為[Pt/0.1 M至飽和LiOH水溶液/Pd]。在其他實施例中，兩個電極皆為Ni或一個為Ni且另一個為不同材料(諸如Pt、Pd、DSA材料、其他貴金屬、碳、Ag、本發明之材料或於載體上之此等材料或本發明之其他材料中之一或多者，諸如Pt/Ti)，且電解質為約0.1 M至飽和之濃度範圍內之KOH或 K_2CO_3 水溶液(aqueous, aq)。特定實例為[PtTi/0.1 M至飽和 K_2CO_3 或KOH水溶液/Ni]。

在一實施例中，氧氫氧化物(oxyhydroxide)(諸如 PdOOH 、 PtOOH 或 NiOOH)、氫氧化物(諸如 $\text{Pt}(\text{OH})_2$ 、

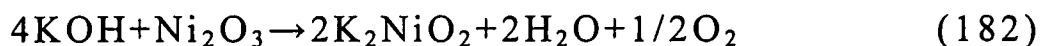
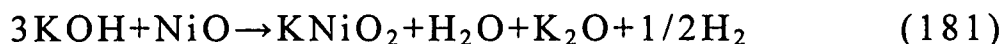
Pt(OH)₄、Pd(OH)₂或Ni(OH)₂及水合物(諸如Pt(H₂O)₄)中之至少一者可在電極(諸如陽極)處形成。電極(諸如陽極)之一或多種氧化產物與OH⁻之氧化反應可形成觸媒(諸如H₂O及H)，其進一步反應形成低能量氫。Pt陽極處之例示性反應為



陽極處之氧氫氧化物、氫氧化物或水合物之反應會降低電解電池電壓。形成低能量氫之反應釋放可呈熱能及電能中之至少一者形式之能量。在電解或間歇電解電池之一實施例中，藉由在電解期間在負極處還原H₂O來形成H，且該反應為至少部分可逆，以致形成觸媒(諸如H₂O)，其與H進一步反應形成低能量氫。形成H₂O觸媒之反應可為反應OH⁻+H→H₂O+e⁻。

在電解電池或CIHT電池(諸如包含H₂滲透陽極之電池或在間歇電解下操作之電池)之一實施例中，至少一個電極形成氧化物且進一步包含來自諸如H₂氣體滲透、由電解(諸如連續電解或間歇電解)在表面上產生中之至少一者之來源的氫，且由自反電極或自外源(諸如供應H₂氣體)之H₂穿透吸收H₂。氧化物可藉由電解質與金屬及電解質中之溶解氧與金屬中之至少一者之反應形成。氧可來自諸如大氣或供應氧氣中之至少一者之來源或來自可在電池中進行之H₂O之電解。電解質可包含氫氧化物。氫氧化物可與金屬

氧化物反應形成 H_2O 觸媒，其可與氫(諸如電極上之原子氫)進一步反應形成低能量氫。形成低能量氫中所釋放之能量表現為電能及熱能中之至少一者。氧化鎳與氫氧化物反應形成 H_2O 觸媒之代表性反應為



反應物及反應(諸如對應於方程式(180至182)之反應物及反應)可包含形成低能量氫之化學反應或固體燃料且在化學反應器部分中給出者。

在實施例中，形成低能量氫之反應需要原子氫及觸媒。形成原子氫之適合反應為於大表面積解離體(諸如過渡金屬，諸如Ni、Ti或Nb；或貴金屬，諸如Pt、Pd、Ir、Rh及Ru)上之氫解離。解離體可為奈米粉末，諸如具有約1 nm至50微米範圍內之粒度之粉末。或者，藉由經由氫可滲透膜(諸如Ni)氫滲透或藉由噴射提供原子氫。可藉由電解在表面上或在電解質中產生原子氫。可間歇地維持電解。可形成一或多個H原子層，其至少在間歇循環之放電階段期間反應形成低能量氫。

圖1中所示之電解電池400包含具有陰極405之陰極室401、具有陽極410之陽極室402及視情況選用之隔板或鹽橋420。藉由應用於終端之間之電源供應電解功率。電源可為電源供應器或蓄電器單元(其可為至少第二CIHT電池或電容器)。可藉由包含電源之第一CIHT電池使蓄電器(諸

如第二CIHT電池或電容器)充電。電子控制器可使用電源在使第一CIHT電池充電及放電之間切換且控制充電及放電參數(諸如電壓、電流、功率及負載)。電解質可為水性、熔融鹽或其組合，諸如為本發明之電解質。在一電解電池實施例中，電解電壓為間歇或脈衝。電解質可為熔融鹽，諸如熔融氫氧化物共溶鹽，諸如鹼性或鹼土氫氧化物及鹵化物鹽。例示性電解質為LiOH-LiBr。電解質亦可為水性電解質，其可為鹼性、酸性或大致中性。例示性鹼性電解質為氫氧化物電解質水溶液，諸如鹼金屬氫氧化物(諸如KOH)水溶液。例示性酸性電解質為酸水溶液，諸如H₂SO₄或HX(X=鹵離子)水溶液。

在一實施例中，電解質可包含鹼性水溶液。間歇或脈衝循環之充電期可包含H₂O電解為H₂及O₂。陰極及陽極反應可分別包含方程式(171)及(172)之反向，除低能量氫形成為不可逆以外。陰極放電半電池反應可包含H₂O及氧中之至少一者之還原。該還原可由方程式(172)給出。還原反應之過電位可導致半電池電壓為約零。在一實施例中，鹼性水溶液中O₂及H₂O至OH⁻之還原(方程式(172))的還原電位相對於SHE及25°C為約0.4 V。電極上之還原之過電位為約0.4 V，以致還原半電池反應在約0 V下發生。陽極放電半電池反應可包含OH⁻之氧化及與H形成H₂O之進一步反應(方程式(171))。H₂O可充當形成低能量氫之觸媒。在一實施例中，OH⁻之氧化及與H形成H₂O之進一步反應(方程式(171))的還原電位相對於SHE及25°C為約1.23 V。電極上之

氧化之過電位使得氧化半電池反應在約 1.23 V 下發生。

在其他實施例中，觸媒可包含自原子氫接受 $m27.2\text{ eV}$ 之物質，諸如本發明之物質，其中觸媒可為半電池物質或在電解或放電階段期間形成。在充電及放電期中之至少一者期間形成低能量氫。關於放電期，氧化反應之半電池電位相對於 SHE 及 25°C 可為約 1.23 V 或在約 0.6 V 至 1.5 V 範圍之內，且還原反應之半電池電位相對於 SHE 及 25°C 可為約 0 V 或在約 -0.5 V 至 +0.5 V 範圍之內。在電解截止或放電階段期間電解陰極與陽極之間之電池電位相對於 SHE 及 25°C 可為約 1.2 V 或在約 0.6 V 至 2 V 範圍之內。在具有高溫之實施例中，針對操作溫度對此等室溫範圍作熱力學校正。在不給定之情況下，否則本發明之電壓為相對於 SHE 及 25°C 。

在包含水性電解質的形成低能量氫及電及熱功率中之至少一者之 CIHT 或電解電池之一實施例中，應用至少一個系統變化或方法以增加形成低能量氫之速率，該系統變化或方法包含使用多孔陽極以提供形成初生 H_2O 之區域；藉由諸如改變電解電流之方法改變氣體流速以改變氣體/電解質/電極界面層性質以促成游離或初生 H_2O (非大批 H_2O) 形成作為觸媒 (在本文中當 H_2O 表示為觸媒時，其固有地意謂低能量氫催化活性或初生 H_2O)；及改變電解質組成、濃度、溫度及其他該等物理參數以導致其性質變化 (諸如離子周圍之溶劑圈之變化) (其改變電池反應之容量) 以形成游離或初生 H_2O 觸媒及低能量氫。

在諸如包含熔融鹽或水性電解電池之至少一者之一實施

例中，在每電池恆定電壓下使電池充電，該恆定電壓對應於 H_2 及 O_2 至 H_2O 之反應之電池電位之負性。充電電位可包含具有過電位之 H_2O 電解電位以及熱力學電壓分量。亦可在恆定電流、功率或負載或可變電壓、電流、功率或負載下使電池充電。可隨後在恆定電壓、電流、功率或負載下使電池放電。可使用維持所要放電電壓之負載達成恆定電壓。在其他實施例中，放電可為在可以電壓、電流、功率及負載控制器中之至少一者控制的可變電壓、電流、功率或負載下。電壓及電流參數可包含向任一方向之勻變，(例如)諸如當充電時自最小向最大及當放電時自最大向最小。在一實施例中，放電在藉由使半電池還原電位與達成最佳化之還原電位匹配來最大化低能量氫反應速率之條件下。在一實施例中，在每電池恆定電壓下維持放電，該恆定電壓對應於反應 H_2 及 O_2 至 H_2O 之電池電位。匹配電位可包含過電位以及熱力學電壓分量。在其他實施例中，電壓及電流中之至少一者為可變以達成導致低能量氫觸媒反應在最大速率下發生之放電電壓。電池電位為可包含過電位以及熱力學電壓分量之半電池還原電位之差。可調節頻率及其他充電-放電參數以最大化低能量氫觸媒反應速率。在一實施例中，調節循環之波形以匹配適合負載或使負載與波形匹配。在一實施例中，充電-放電頻率可為標準之充電-放電頻率，諸如電力柵格(power grid)之充電-放電頻率。頻率可為50 Hz，或其可為60 Hz。可調節波形為交流，諸如60 Hz或50 Hz之交流。頻率可包括兩個電池之間

不在充電-放電循環期之互易充電，以致一個電池可使另一電池充電，反之亦然。在另一實施例中，可整流電流。在放電期間可將電流以可為大致恆定電流之直流形式供應至負載。可定時多個CIHT電池以在比任何既定個別電池之循環之持續時間均更長之持續時間內提供恆定電流。

在一實施例中，電池自 H_2O 產生氫及氧中之至少一者。在一實施例中，可在間歇電解期間分別在放電陽極及陰極上形成 H_2 及 O_2 。或者，自發地自 H_2O 形成氣體，其可與電解無關。驅使自 H_2O 自發產生 H_2 及 O_2 中之至少一者之能量為低能量氫之形成。氣體 H_2 及 O_2 中之至少一者為形成觸媒及低能量氫中之至少一者的反應物。該機制可包括電化學及離子化反應中之至少一者。可在放電期間形成觸媒(諸如 H_2O)，其進一步與 H 反應形成低能量氫。在放電期間形成 H_2O 之反應可為在電池操作之任何階段可逆，以致 H 在放電陽極處直接形成且視情況與藉由電解形成之 H 無關。另外或其他，相對於在放電陽極及陰極處分別電解 H_2O 為 H_2 及 O_2 ， H 形成可因釋放之能量而為自發以形成低能量氫，其中兩個反應皆可同時發生。在一實施例中，電池電壓使得 H_2O 電解隨低能量氫形成自發發生。低能量氫反應可至少部分維持或支撐達成 H_2O 電解之傳播及低能量氫形成反應之傳播中之至少一者的電池電壓。在一實施例中，電池電壓為約 $0.8 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$ 。可以約 $0.8 \text{ V} \pm 0.2 \text{ V}$ 之電池電壓在約 280°C 至 500°C 之溫度範圍內操作包含 $[\text{Ni}/\text{具有視情況選用之基質}(\text{諸如 } \text{MgO})\text{-LiOH-LiBr/Ni}]$ 及一定量(a

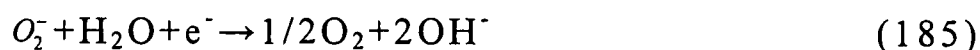
supply of)H₂O之例示性電池。可藉由間歇電解及隨低能量氫形成之自發電解中之至少一者輔助電壓。間歇電解之例示性電池波形可包含充電至0.8 V ± 0.2 V且當電池放電時維持彼電壓持續設定時間的步驟。電池波形可在諸如在恆定電流下之條件下使電池進一步放電至諸如0.6 V ± 0.2 V之限制電壓或持續諸如4秒±3秒之限制時間。H₂O之自發電解可具有一或多個中間步驟，其包括陽極材料、電解質及電池中之固體、液體及氣體中之至少一者之反應。舉例而言，H₂O可與陽極金屬M反應形成MO及H₂。例示性固體、液體及氣體為固體基質，諸如MgO、LiAlO₂、Li₂TiO₃、LiVO₃、CeO₂、TiO₂及本發明之其他固體基質；H₂O₂；O₂、CO₂、SO₂、N₂O、NO及NO₂。或者，電解質可經氧化及還原中之至少一者，且H₂O亦為反應物。例示性自發H₂O電解反應為

放電陽極：



其中例如藉由方程式(171)之反應來形成H₂O觸媒。

放電陰極：



總反應可為



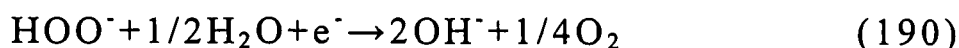
其他例示性自發H₂O電解反應為

放電陽極：



其中例如藉由方程式(171)之反應來形成 H_2O 觸媒。

放電陰極：



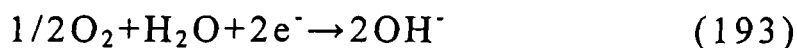
總反應可由方程式(186)及(187)給出。

放電陽極：



其中例如亦藉由方程式(171)之反應來形成 H_2O 觸媒。

放電陰極：



總反應可由方程式(186)及(187)給出。方程式(183)、(185)、(188)、(190)及(191)之氫及氧可分別根據方程式(171)及(172)反應形成 OH^- 及 H_2O 。其他氧物質(諸如氧化物、過氧化物、超氧化物及 HOO^-)及本發明中給出之反應(諸如方程式(138至153))可與 H_2O 自發電解形成 H 、觸媒及低能量氫中之至少一者之來源有關。在一實施例中，可在放電陽極及陰極處形成 H ，其中在一個電極(諸如陽極)處優先形成低能量氫，這是因為在那裏形成了觸媒。例示性電池為具有 Ni 放電陽極及 NiO 放電陰極之電池，其中在 Ni 電極處優先形成低能量氫。除前述反應之外，放電陰極處之反應可為 H_2O 至 OH^- 及 H_2 之還原，且陽極處之反應可為

在以上反應中所給出之 OH^- 之氧化且可進一步包含形成陽極之金屬氧化物之反應。或者，可在陰極處還原諸如金屬氧化物(諸如 NiO)之氧化物。還原亦可包括其他反應物，諸如 H_2O 。例示性還原反應為 NiO 至 Ni 及包含氧之負離子(諸如氧離子、過氧離子及超氧離子)及 NiO 及 H_2O 至 Ni 及氫氧化物之還原。另外，在一實施例中，在放電陽極處形成觸媒(諸如 H_2O)。在一實施例中可以連續放電模式運作電池，其中 H 及隨後低能量氫之自發產生足以維持自電池之所要電輸出。可將 H_2O 供應至電池以維持電輸出。或者且組合，可與根據本發明之系統及方法之間歇電解一起運作電池。可收集來自間歇或自發電解之任何過量氫用於另一商業用途。在一實施例中，由來自低能量氫反應之能量維持之過剩電流可表現為如方程式(183至193)之反應例示的水之自發電解或以此形式傳播。在一實施例中，包括 H_2O 轉化為低能量氫、電及氧或包含氧之化合物或物質之低能量氫反應可包含水解反應。

在一實施例中，控制水蒸氣壓以維持自發電解反應。可維持反應混合物之水蒸氣壓或組成以支撐維持自發電解之離子，諸如 OH^- 、氧離子、過氧離子、超氧離子及 HOO^- 中之至少一者。優先維持某些離子以促成水之電解、觸媒及 H 之形成及低能量氫之形成。在方程式(183至193)之例示性反應中，維持水蒸氣壓以支撐用於形成低能量氫之相應反應路徑之超氧離子的穩態濃度。可使用水蒸氣或蒸汽產生器來控制水蒸氣壓，其中維持水庫之溫度於系統之最低

溫度下。系統可包含水產生器、至電池之水蒸氣線及電池。與反應物處於平衡或在穩態下之水蒸氣壓可在約1微托至100 atm、約1毫托至1 atm或約1托至100托之範圍內。

電解質可為熔融鹽；或鹼性水溶液，諸如氫氧化物或碳酸鹽電解質(諸如鹼金屬氫氧化物或碳酸鹽或其以任意所要比率之混合物)水溶液。諸如水性電解質之電解質可包含 M_2CO_3 、 MOH 、 M_2SO_4 、 M_3PO_4 、 MNO_3 (M =鹼金屬)之混合物。例示性電解質為 KOH 、 K_2CO_3 、 $NaOH$ 、 Na_2CO_3 、 $LiOH$ 及 Li_2CO_3 或其混合物，其可在約0.01 M至飽和之濃度範圍內。在脈衝或間歇施加電壓或電流電解實施例中，陰極及陽極中之至少一者可包含二功能電極。電極可包含不同材料以達成所要反應。各陰極及陽極對於所要氧化或還原反應可具選擇性且可為以下之一者或組合：過渡金屬或合金，諸如Ni或 $LaNi_5$ ；碳；經碳塗佈之Ni；經貴金屬摻雜之碳，諸如Pt/C或Pd/C；或經其他金屬摻雜之碳，諸如經Mo或Ni摻雜之碳；Pt-Ni合金；經Pt塗佈之Ni、Ag、Pb；及貴金屬或合金，諸如Pt、Pd或Au。具有氧化及還原之適當能力之其他穩定導體為熟習此項技術者所已知之導體。氫電極(諸如負極)可包含氫溢出觸媒(諸如Pt或Pd/C)或經氫解離體摻雜之其他大表面積載體。氫電極可包含提供低 H_2 析出之過電位的金屬或合金，諸如Ni、Fe、Co及Mo中之至少兩者之合金，諸如 $Ni_{35.63}Fe_{24.67}Mo_{23.52}Co_{16.18}$ 或類似比率。電極可為可經導體摻雜之碳化物、硼化物或氮化物，諸如ZrC或TiC；碳黑；AC、ZrC、TiC、TiN、

Ti_3SiC_2 、 TiCN 、 SiC 、 YC_2 、 TaC 、 Mo_2C 、 WC 、 C 、 HfC 、
 Cr_3C_2 、 ZrC 、 VC 、 NbC 、 B_4C 、 CrB_2 、 ZrB_2 、 GdB_2 、 MgB_2
 及 TiB_2 。電極可包含二功能及雙金屬陰極及陽極中之至少一者。氫電極或陽極可包含Ni，諸如Ni celmet、Ni纖維墊、Ni粉末；Mo、Mo紗網、Mo纖維墊、Mo粉末；或其任何組合；或其他大表面積材料。可藉由形成至少一種氧化物塗層且併入來自電解質之物質(諸如鹼離子)(諸如在形成例示性鋰化氧化鎳之情況下)來活化電極。可藉由在至少一種部分氧氛圍中操作電極及藉由暴露於氧源來形成氧化物塗層。可以初進料之氧(其隨時間耗盡)使電池間歇地充電及放電。耗盡可利用惰性氣體(諸如稀有氣體或 N_2)之流。可藉由在適合氧化溶液中預處理電極(諸如陽極)來形成氧化物塗層。在Ni上形成氧化物層之例示性適合溶液為過氧化物之鹼性溶液，諸如0.6 M K_2CO_3 /3% H_2O_2 。活化可改變至少一個半電池反應之電壓，以致形成低能量氫之反應變得更有利。活化可包含涉及電解質之半電池反應之電壓變化，其中形成低能量氫之觸媒反應變得有利，當不存在活化時，其為不利。在一實施例中，電解質為與電池之半電池反應有關之至少一者且為形成觸媒及H中之至少一者的反應物。活化可包括使觸媒在其自電解質形成期間之能量一致以匹配自氫接受能量以形成低能量氫所需之能量。例示性電解質為鹼金屬氫氧化物或鹽之混合物(諸如氫氧化物及另一鹽(諸如鹵化物)之混合物)。活化電池之例示性電解質混合物可包含 LiOH-LiBr 、 NaOH-NaBr 、 KOH-

KBr及氫氧化物及鹵化物(諸如鹼金屬鹵化物)之其他組合。包含形成以活化電極用於形成低能量氫之氧化物塗層的本發明之其他金屬可充當氫電極或陽極。在另一實施例中，可活化電解質。活化可藉由暴露於氧或氧源進行。活化可包含形成氧物質，諸如氧化物、過氧化物及超氧化物中之至少一者。電解質可包含氫氧化物(諸如鹼金屬氫氧化物)且可進一步包含另一鹽(諸如鹵化物(諸如鹼金屬鹵化物))。藉由在諸如約 100°C 至 1000°C 之範圍內之高溫下暴露於氧而活化之例示性電解質為KOH-KBr。氧物質之形成可改變鹼性，其促成低能量氫形成。在另一實施例中，藉由活化改變半電池反應及電壓中之至少一者以促成低能量氫形成。在一實施例中，添加氧或氧源至電池以導致活化。氧可呈痕量(諸如在 0.1 ppm 至 $10\text{ 體積}\%$ 範圍內)，但足以維持電極(諸如陽極)上之氧化物塗層以增進低能量氫反應。增進之機制可包含以下中之至少一者：提供原子H及使至少一個半電池之半電池反應電壓一致以匹配更有利於使H觸媒形成低能量氫的電壓。氧可影響半電池電壓，諸如 O_2 還原反應(諸如 O_2 及 H_2O 至 OH^- 之反應)及陽極形成 H_2O 之反應中之至少一者。影響可經由H及O化學反應為直接或藉由以諸如形成氧化物塗層之方法改變電極表面而為間接。氧化物塗層可影響至少一個半電池反應之過電位，從而導致低能量氫形成反應變得更有利。

例示性電極為包含Ni、Ni-Al或Ni-Cr合金(諸如約 10% Cr)中之一者之陽極及包含NiO、Ni、Co、CoO、Ag及Cu

中之至少一者之陰極。Ag陰極可為分散於碳上之Ag粒子。最佳負載在約20重量%至30重量%範圍之內。陽極可包含形成氧化物之金屬，其中每至少一種金屬原子或氧原子之生成自由能為大致與自H₂及O₂形成H₂O之生成自由能相同。能量可在約10%至300%或約10%至100%或約10%至50%內匹配。例示性金屬為Ni、Mo、Cd、Sn、W及Pb。其他適合陽極金屬或其合金為選自以下之群之至少一者：Cu、Ni、CuNi、NiMo、CuMo、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl及Sn。在一實施例中，陰極及陽極皆為實質上浸沒，以致在放電期間消耗之氧中若非全部則大多數係在間歇電解電池之電解期間產生。例示性電池為[Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl或Sn中之至少一者/LiOH-LiBr/Ni/NiO，間歇電解]。在一實施例中，可磁化至少一個電極(諸如陽極)。磁化電極可包含鐵磁金屬，諸如Ni、Fe、Co或合金。在一實施例中，陽極可包含不同材料(諸如導體(諸如金屬))之層。陽極可包含雙金屬或多金屬電極。一個層可為提供使低能量氫反應傳播之有利能量建立最佳電壓，且另一層可載運電流。形成雙金屬電極(諸如陽極)之例示性材料為Ni、Mo及H242合金中之至少兩者。陰極亦可包含多個層，諸如多金屬(諸如雙金屬)電極，諸如包含Ni及Ag或本發明之陰極材料之其他組合的電極。

陰極可包含氧還原電極，諸如氧化錳，諸如 MnO_2/C 、 $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{C}$ 或 MnOOH 。其他適合 O_2 還原陰極為 Pt/C 或 Pt 合金/ C (諸如 PtRu/C)、 $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3/\text{C}$ 、 CoTPP/C 、 $\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{CoO}_3/\text{C}$ 、 $\text{Pt}/\text{CNT}/\text{C}$ 、 $\text{Pr}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ 、 CoTMPP/C 、 LaMnO_3/C 及 $\text{MnCo}_2\text{O}_4/\text{C}$ 中之至少一者。因為在間歇循環期間放電陽極亦充當電解陰極，所以除習知電極之外，可使用不同於習知鹼性燃料電池中之放電陽極材料。候選物為其他過渡金屬，諸如 Ti 及 V ；內過渡金屬及合金，諸如 Nb 及 Hg 及汞齊 (諸如 AgHg)；稀土金屬及合金，諸如 LaNi_5 ；及 III、IV、V 及 VI 族金屬或非金屬及合金。在一實施例中，放電陽極包含形成穩定氫化物之材料。適合陽極材料包含多孔材料，諸如粉末。粉末可包含穩定劑或活性損失之抑制劑。活性損失可來自藉由諸如燒結之機制之表面積損失。適合穩定劑或抑制劑為例如合金，諸如 Ni-Cr 合金 (諸如約 2 重量% 至 10 重量% Cr)；及添加至多孔 Ni 或 Co 之氧化鋯 (諸如 20 重量% ZrO_2)。其他適合陽極材料包含 LiFe_5O_8 、 LaCrO_3 、 MnO 及經 Nb 或 Ta 摻雜之 TiO_2 、鍍 Ni 或 Cu 之陶瓷 (諸如 LiAlO_2 或 Al_2O_3 及 SrTiO_3)。適合陰極材料包含 NiO 、 CoO 、 MnNiO_2 、 M_2NiO_2 、 MCoO_2 、 M_2CoO_2 、 MFeO_2 、 M_2FeO_2 、 Li_2MnO_3 、 $\text{Mg-Li}_2\text{MnO}_3$ 、 Mn-LiFeO_2 、 LaMnO_3 、 SrTiO_3 、 LiCrO_2 、 LiAlO_2 、 LaNiO_3 、 LaCoO_3 、 Zr-ZnO 、 $\text{MM}'\text{O}_2$ 、 $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_2$ 、 $\text{MM}'\text{O}_x$ 、 $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_x$ (x =整數， M =鹼金屬， M' =過渡金屬或其他金屬 (諸如 Al)) 及經鎂摻雜之 $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_x$ (諸如 $\text{LiFe}_{1-y}\text{Mg}_y\text{O}$ ($y>0.03$))。在一實施例中，電極孔隙率在約

20%至95%或約50%至75%範圍之內。孔隙直徑可在約1 μm 至50 μm 或約3 μm 至10 μm 範圍內。

電極(諸如陰極)之適合氧還原反應(ORR)觸媒包含Ni、Ni-Al合金(諸如約5原子%至15原子% Al、 Ni_3Al)及Ni-Nb合金、 MnO_2 、Ag、混合價數 $\text{CoO}_x\text{-MnO}_x$ 、金屬四甲氧基苯基卟啉(諸如(CoTMPP 、 FeTMPP-Cl/C))、金屬氮化物及過渡金屬之混合氧化物(諸如尖晶石、鈣鈦礦及燒綠石(諸如 $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_6\text{O}'$))中之至少一者。在一實施例中，例示性ORR觸媒為基於個別氧化物或混合物或具有尖晶石、鈣鈦礦或燒綠石結構，諸如為NiO、NiO/Ni、NiO+Dy(例如約1重量%至10重量%)、 Co_3O_4 、 La_2O_3 、MgO及 Fe_2O_3 中之至少一者、鋰化NiO、於載體(諸如PTFE)上之Ni、 MnO_2 、Ag、 Co_3O_4 、 La_2O_3 、 LaNiO_3 、尖晶石 AB_2O_4 (諸如A=Mn，B=Co)、 NiCo_2O_4 、 LaMnO_3 及 LaNiO_3 。陽極及陰極中之至少一者可為鋰化NiO，其中本發明中之Ni電極之名稱可包含至少部分NiO及視情況部分鋰化NiO($\text{Li}_x^+\text{Ni}_{1-2x}^{2+}\text{Ni}_x^{3+}\text{O}$ ， $x<0.5$)或經鋰摻雜之NiO以及Ni。電極(諸如ORR陰極)可包含Co-酞菁及類似化合物，諸如Co-C-N及Fe-C-N；Pt或其他貴金屬或合金，諸如Pt與Fe、Co或Ni、Pd、Pd合金(諸如Pd-Fe、Pd-Co、Pd-Co-Au及 $\text{Pd}_3\text{Fe/C}$ 奈米粒子)、Ru或鈳化合物(諸如結晶謝弗雷爾相(Chevrel-phase)硫族化物(例如 M_6X_8 ，其中M=高價過渡金屬且X=S、Se、Te；(Mo ， Ru) $_6\text{Se}_8$)、奈米結構化Ru及Ru-Se簇合物、Ru-N螯合物、Ru硒化物(諸如 $\text{Mo}_4\text{Ru}_2\text{Se}_8$ 及 Ru_xSe_y))；碳；及經摻雜之碳

奈米管及石墨薄膜(graphene)(諸如經N摻雜之碳奈米管)。電極可進一步包含碳黑、黏合劑、集電體及鐵氟龍(Teflon)薄膜。可使用溶膠-凝膠及逆微胞方法來形成觸媒在碳上之均勻大表面積分佈。電池可進一步包含對於離子交換為選擇性之隔板。離子可為鹼性電池之氫氧離子。在適合例示性實施例中，薄膜可包含含有側位四級胍基之聚(伸芳基醚砜)。

電極可包含用於氧還原及析出之複合電極。後者可用於例如間歇電解電池。電極可為能夠氧還原及析出之二功能，其中藉由相應獨立觸媒層提供活性，或電觸媒可為二功能。電極及電池設計可為此項技術中已知用於金屬-空氣電池(諸如Fe或Zn-空氣電池)之設計或熟習此項技術者所已知之其適合修改。適合電極結構包含集電體、可包含碳及黏合劑之氣體擴散層及可為二官能觸媒之活性層。或者，電極可包含於集電體之一側之 O_2 還原層及於另一側之 O_2 析出層。 O_2 還原層可包含與氧源接觸之外部氣體擴散層及與集電體接觸之多孔疏水性觸媒層；然而， O_2 氧化層可包含於層之一側與電解質接觸之多孔親水性觸媒層及於另一側之集電體。二功能空氣電極可包含 $La_{1-x}A_xFe_{1-y}MnO_3$ ($A=$ Sr或Ca)、 $La_{0.6}Ca_{0.4}Co_{0.8}B_{0.2}O_3$ ($B=$ Mn、Fe、Co、Ni或Cu)、 $La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_{3-d}$ 及 $La_{0.7}Ca_{0.3}CoO_{3-d}$ 。其他例示性OR觸媒及二功能觸媒陰極為 PdO_2/PdO_3 、碳化物(諸如TaC+WC+W₂C+TiC之混合物)、Co/經Ce塗佈之Ni、 $MnO_2+C+PTFE$ ；異丙醇Mn+活性C+12% PTFE；5% MnO_2

+75% C(30% EC-600JD 及 70% AB-50 之混合物)+20% PTFE ; 5% MnO_2 ($\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$)+70% C (60% PWA+40% 碳黑)(PTFE-鐵氟龍 30B) ; GDL : 30% EC-600JD+70% AB-50 ; MnO_2 +C(活性碳 + BP2000)+PTFE ; 粒度分佈 MnO_2 —20 μm 至 26 μm 30% MnO_2 +20% 活性碳 +20% 碳黑 +30% PTFE ; 20% MnO_2 +66% C+14% PTFE ; 觸媒層 : 20% MnO_2 +70% 活性碳 +10% PTFE ; GDL : 15% 碳黑 + 85% PTFE ; 11% γ MnO_2 +41% C(BP2000)+48% PTFE ; MnO_2 陰極+PTFE+2%至20%吸收材料(諸如用於陽極之膠凝材料) ; MnO_2 ; Ag/CNC ; 於 Ni 泡沫上之 Ag ; $\text{AgW}_2\text{C}/\text{C}$; AgMnO_4 +5%至10% MnO_2 +C+PTFE ; 雷尼 (Raney) 銀觸媒+PTFE=5:1(重量%)(24 mg cm^{-2}) ; Ag_2O +10% LaNiO_3 ; 5% Ag+15% BP2000+10% Daxad+60% 鐵氟龍 RPM T-30 ; 50%(20% CoTMPP/C)+50%(15% CoO_x + 5% MnO_x/C) ; 2.5% MnO_x +7.5% CoO_x/C ; 4% CoTMPP+15% BP2000+60% 鐵氟龍 RTM T-30 ; MnO_2 及 / 或 AgNO_3 (Pt 、 Co_3O_4) ; 10% CoTMPP/C+納菲 (Nafion)+ FEP +經FEP塗佈之PTFE纖維 ; CoTMPP+ MnO_x/C ; 60% $\text{Mn}_4\text{N}/\text{C}$ +PTFE ; NiCo_2O_4 尖晶石 ; $\text{Mn}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ +PTFE ($0 < x < 1$) 尖晶石 ; 鈣鈦礦 ; LaMnO_3 ; LaCoO_3 ; LaNiO_3 ; LaCrO_3 ; LaFeO_3 ; $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{FeO}_3$; $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{O}_3$; $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{O}_3$; LaNiO_3 ; LaCoSrO_3 ; $\text{Pb}_2\text{M}_{2-x}\text{Pb}_x\text{O}_{7-y}$; Ni 、 Co 、 氫氧化 Fe + 碳黑 + PTFE ; Ag+Pt+ MnO_2 +C+PTFE 10% Pt/C ; 鐵-空氣燃料電池 (類似於 ZAFC) , 具有鹼性電極 : CuSO_4 、 NiWO_4 、

WC+20% Co ; WS₂+WC或WC+1%至20% Co ; WS+C+PTFE ; WC+Ag+C PTFE (FEP) ; 30份Ag+30份WC(經12% Co塗佈)+32份PTFE+90份碳黑 ; 3% (5%至10%) Ag (ORR)+約[7% (10%至15% FeWO₄)+7% (10%至15%) WC +約12% (10%至15%) Co (OER) +約54% C]+約22% PTFE , Ag負載-2 mg cm⁻² ; [ORR-Ag]+[OER-CoWO₄+WC+WS₂+NiS+10% 至 15% Co]+PTFE ; ORR觸媒 [(0.3%至2%) CoTMMP+(4%至10%) LaNi_{1-x}Co_x+(1%至4%) Ag+(18%至32%) Co_xO_y+OER觸媒(1%至20%) WC+(1%至20%) Co+(1%至7%) FeWO₄+(1%至7%) NiS]+AB-50+PTFE ; 觸媒層 : 63.5% XC500+15% PTFE+13% MnSO₄+8.5% La₂O₃ ; 15% PTFE+69% XC500+8% MnO₂+8% La₂O₃ ; 58% XC500+15% PTFE+19% AgNO₃+8% MnSO₄ ; GDL : 65% C+35% PTFE ; OER電極30% Ag+70% LaNiO₃ ; La_{1-x}A_xFe_{1-y}Mn_yO₃ (A=Sr、Ca) ; La_{0.6}Ca_{0.4}Co_{0.8}Fe_{0.2}O₃ , 及具有熟習此項技術者所已知之此等或類似物質組成及物質組成之比率的其他類似實施例。在另一實施例中, 陰極可包含氧化物、氫氧化物或氧氫氧化物, 其可進一步包含陽極之金屬。在適合實例中, 陰極包含Mo、W、Hf或Ta之氧氫氧化物, 且相應陽極分別包含金屬或金屬Mo、W、Hf或Ta之合金。

電極(諸如陽極)可包含單獨或經另一金屬摻雜之Ni墊、箔、粉末或線, 該另一金屬諸如為貴金屬、過渡金屬、內過渡金屬(諸如Mo)、稀土金屬及III、IV、V或VI族金屬中之至少一者, 諸如Pt、Ru、Rh、Pd、Ag、La、Hf、Hf合

金(諸如 Hf 與 Zr、Fe、Ti、Nb、Ta、Ni 及 W 中之至少一者)、Re、Ir、Au、Co、Mn、Cu、Zn、Al、Sn、Pb、Bi 及 Te。陽極可包含金屬或/及其合金中之至少一者, 諸如鎳或鎳合金, 諸如 NiNb、NiCr、NiCo、NiCu、MoNi、HfNi、TaNi、WNi、VNi、ZrNi、CdNi、NbNi 及 TiNi; Sn 或 Sn 合金, 諸如 SnAg、SnAl、SnAs、SnAu、SnBa、SnBe、SnBi、SnCa、SnCd、SnCe、SnCo、SnCr、SnCu、SnFe、SnGa、SnGe、SnHf、SnHg、SnIn、SnK、SnLa、SnLi、SnMg、SnMn、SnNa、SnNb、SnNd、SnNi、SnP、SnPb、SnPd、SnPr、SnPt、SnS、SnSb、SnSe、SnSi、SnSr、SnTe、SnTi、SnU、SnV、SnYb、SnZn 及 SnZr; Al 或合金, 諸如 AlAs、AlAu、AlB、AlBa、AlBe、AlBi、AlCa、AlCd、AlCe、AlCo、AlCr、AlCs、AlCu、AlDy、AlEr、AlFe、AlGa、AlGd、AlGe、AlHf、AlHg、AlHo、AlIn、AlK、AlLa、AlLi、AlMg、AlMn、AlMo、AlNa、AlNb、AlNd、AlNi、AlPb、AlPd、AlPr、AlPt、AlPu、AlRe、AlRu、AlSb、AlSc、AlSe、AlSi、AlSm、AlSn、AlSr、AlTa、AlTe、AlTh、AlTi、AlTiMo、AlTl、AlU、AlV、AlW、AlY、AlYb、AlZn 及 AlZr; Hf 或合金, 諸如 Hf 與 Zr、Fe、Ti、Nb、Ta、Ni 及 W 中之至少一者, 諸如 HfAl、HfB、HfBe、HfC、HfCo、HfCr、HfCu、HfFe、HfGe、HfIr、HfMn、HfMo、HfNb、HfNi、HfO、HfRe、HfSn、HfTa、HfTh、HfTi、HfU、HfW、HfZr 及 HfIn; Mo、Mo 合金或化合物, 諸如 MoSi₂、

TZM (Mo(約 99%)、Ti(約 0.5%)、Zr(約 0.08%))、MoB、MoC、MoCu、MoCo、MoCr、MoFe、MoGe、MoHf、MoIr、MoOs、MoNb、MoNi、MoPd、MoPt、MoRe、MoRh、MoRu、MoS、MoSi、MoTa、MoTh、MoTi、MoU、MoV、MoW、氮化鉬、NiCrMoTaNb及MoY；Cr、Cr合金；W、W合金，諸如WAl、WB、WC、WCo、WCr、WFe、WHf、WMo、WNb、WNI、WOs、WPb、WPd、WPt、WRe、WRh、WSi、WTa、WTi、WV及WZr；Ta及Ta合金，諸如TaAl、TaB、TaC、TaCo、TaCr、TaFe、TaHf、TaMo、TaNb、TaNi、TaPd及TaRh；鈮合金，諸如VB、VCu、VFe、VGa、VLa、VMn、VMo、VNb、VNI、VPd、VPt、VRe、VRh、VSi、VTa、VTi、VU、VW、VY及VZr；在電池溫度下形成不穩定氧化物之金屬合金，諸如Ag或Hg合金，諸如AgMo、AgNi、HgMo、HgNi或AgHg。其他例示性合金為MoTiAl、MoVAl、NiZrMo、NiMgMo、NiAlMo、NiCuMo、NiMoSi、NiCrSi、英高鎳合金(Inconel alloy)(諸如625(21% Cr、9% Mo、4% Nb-Ni合金)、英高鎳(Inconel)622、C-276及686)、赫史特(Hastelloy)合金(赫史特C22)、Ni-Cr-Mo-W合金、 $56^a\text{Ni}-22\text{Cr}-13\text{Mo}-3\text{W}-3\text{Fe}-2.5^*\text{Co}-0.50^*\text{Mn}-0.35^*\text{V}-0.08^*\text{Si}-0.010^*\text{C}$ (^{a} 為平衡 * 最大)、碳鋼、合金20、242或556(例如Hayes Int.)；Mg合金(諸如MgMo、MgAg、MgAl、MgBi、MgCd、MgACo、MgCu、MgFe、MgGa、MgGd、MgHg、MgIn、MgLa、MgMn、MgNi、MgPb、

MgPr、MgSb、MgSc、MgSi、MgTi、MgY、MgZn 及 MgZr)、TiAl、Cu₆Co₄、BMo 合金、Ca 合金、La 合金(諸如 LaTiAl)、MoAg 合金、MoSi 及 MoCr 合金、SnZrMo、CrNiMo、MnNiMo、MoTi、MoPb、TaC 合金、MoS 合金、包含 Ti、Nb、Fe、Mo 中之至少一者之合金、及 TZM。電極(諸如陽極)可包含碳或合金，諸如 CoC、CrC、CuC、FeC、GeC、HfC、IrC、LaC、LiC、MnC、MoC、NbC、NiC、ReC、SiC、TaC、TiC、VC、WC、YC 及 ZrC。其他例示性合金為 MoMn、MoSi-過渡金屬(諸如 MoCuSi、MoCoSi 及 MoNiSi)、MoSiC、過渡金屬-SiC(YSiC、LaSiC、ZrSiC、HfSiC、NbSiC、TaSiC、WSiC)、MoNiC、NiMoFe、MoCoC、MoCuC、LaNiC、MoHfNi、NiZrHf、MoTiNi、TiNbMo、CoCuC、CoCuSi、NiZrTa、NiMoTa、NiMoW、NiMoNb、CrMoW、VNbTa、TiZrHf、LaNiMo、LaNiHf、LaNiTa、LaNiMo、LaNiW、LaNiNb、LaNiCr、LaNiV、LaNiTi、LaNiZr、LaNiSc、LaNiY、NiZrW、NiZrNb、過渡金屬-Zr-Mo(諸如 MoTiZr)、MoSi、MoC、Ni-TZM、MoZrNi、LaNi₅Mo、LaNi₅Hf、LaNi₅Ta、LaNi₅Mo、LaNi₅W、LaNi₅Nb、LaNi₅Cr、LaNi₅V、LaNi₅Ti、LaNi₅Zr、LaNi₅Sc、LaNi₅Y 及 LaNi₅C。比率可為任何所要，諸如對於雙金屬為約 50 重量%-50 重量%且對於三金屬為 33 重量%-33 重量%-33 重量%。例示性電池為 [NiMo、MoSi、MoC、Ni-TZM、MoZrNi、RuMo、RhMo、OsMo/LiOH-LiBr/NiO 或 Co₂O₃-CuO-NiO，間歇電

解]。在其他實施例中，電極金屬或合金可包含可藉由電解(諸如藉由電鍍)或藉由氣相或電漿沈積(諸如本發明之方法)而沈積之層或塗層。包含R-Ni放電陽極之例示性電池為[R-Ni/0.6 M K_2CO_3 水溶液/納菲或Celgard/碳或Ni，間歇電解]。

在一實施例中，電極可包含流化床，諸如三相流化床。在一實例中，電解質包含鹼性溶液或熔融，且電極為具有穿孔Ni板作為集電體之雷尼銀，其中將氧源(諸如氧或空氣)以最佳化功率輸出至所要位準之流速饋入電極中。在另一實施例中，陽極為R-Ni，其中 H_2 置換氧源。

在電極材料可溶於電解質之情況下，可添加腐蝕抑制劑。抑制劑可包含諸如氧陰離子或鹵離子之化合物，其包含陽極之金屬，諸如Mo、W、Hf、Ta及過渡金屬(諸如Ti)。舉例而言，具有包含LiOH之電解質之Mo陽極可變得氧化以形成可溶於鹼性中之 MoO_2 、 Li_2MoO_3 或 Li_2MoO_4 。可使得此產物達至飽和或將其添加至電解質以達成飽和以抑制腐蝕。在一實施例中， Li_2MoO_3 或 Li_2MoO_4 之濃度為約0.1重量%至10重量%或約0.5重量%至3重量%。或者，添加劑進一步抑制腐蝕，諸如硼酸鋰；矽酸鋰；MgO； MoX_n (X=鹵化物，n=整數)，諸如 $MoBr_2$ 或 $MoBr_3$ ； MoS_2 ； $MoSe_2$ ； $MoTe_2$ ； $Bi_3M'Mo_2O_{12}$ ，其中M'可包含過渡金屬，諸如Fe或Sc； $M'MoO_4$ ，其中M'可包含鹼土或過渡金屬，諸如Mg、Ca、Sr、Ba、Mn、Fe、Co、Cu及Zn；或 M'_2MoO_4 ，其中M'為鹼金屬。 $M'MoO_4$ 或 M'_2MoO_4 可分別進

一步充當觸媒源，形成 $M(OH)_2$ 或 $M'OH$ ，其中 OH^- 可與 H 反應形成觸媒 H_2O 。添加劑可包含聚陰離子(諸如 W 或 Mo 中之一者)，包含聚鎢酸鹽或聚鉬酸鹽離子或化合物。在一實施例中，陽極、陰極或電解質組分中之至少一者可包含 W 或 Mo 青銅。在一實施例中，添加劑可移動能斯特方程(Nernst equation)之電位以促成水之形成，而不是陽極金屬之氧化。在另一實施例中， MoO_2 、 Li_2MoO_3 或 Li_2MoO_4 添加劑包含基質材料，其中電極(諸如陽極)可包含除 Mo 以外之金屬或導體。例示性電池為 $[Ni/LiOH-LiBr+MoO_2$ 、 Li_2MoO_3 或 $Li_2MoO_4/Ni+空氣$ ；間歇電解]。在一實施例中，陰極可包含包括陽極之金屬(諸如 Mo)之化合物。例示性電池為 $[Mo/LiOH-LiBr/Mo_6Se_8$ 或鉬氧氫氧化物，間歇電解]。在一實施例中，陰極及陽極可包含同一金屬、合金或元素之來源，其可自一個電極遷移至另一電極。陽極及陰極可在間歇充電放電期間週期性逆轉，以致放電陽極週期性變為放電陰極。例示性遷移金屬、合金或元素為 Cd 、 Ni 、 $CdNi$ 、 Mo 及 $MoNi$ 。因為 Mo 溶解於鹼中且 Ni 不溶解，所以具有 Ni 陽極、具有 Mo 基質(諸如 Li_2MoO_4)之例示性實施例為 $[Ni/LiOH-LiBr (Li_2MoO_4基質)/Ni-NiO$ 兩個電極皆浸沒，間歇電解]。在一實施例中，可添加在陽極處形成穩定合金之化合物至電解質。一個實例為在包含 Mo 陽極之電池(諸如 $[Ni/LiOH-LiBr NiBr_2/Ni-NiO$ 間歇電解])中與 Mo 陽極形成穩定 $MoNi$ 合金之可溶 Ni 化合物(諸如 $NiBr_2$)。

在一實施例中，可藉由施加負電位以還原經氧化之放電

陽極來使放電陽極再生。可在比導致再生之典型負電壓更高之負電壓下進行電解。因此，對於再生步驟使放電陽極成為電解陰極。可在此步驟期間產生氫以亦造成過量氧化物還原，以致可使陽極恢復至功能狀態。所施加電池電壓之量值可在約 0.5 V 至 5 V 或約 1 V 至 2 V 或約 1 V 至 1.5 V 範圍內。

在另一實施例中，電解質包含使氧化陽極元素沈澱之陰離子。舉例而言， PbSO_4 及 PbF_2 不溶於 H_2O 。在熔融鹽電解質中同樣亦可為此情況。因此，在一例示性實施例中，在 Pb 陽極的情況下添加 LiF 或 Li_2SO_4 至電解質。其他實例為 Ag 之硝酸鹽、Ag 及 Pb(II) 之氯化物、溴化物及碘化物，其中添加此等離子至具有包含 Ag 或 Pb 之陽極之電池之電解質，或增加複鹽（諸如 LiBr-LiOH 或 LiCl-LiOH ）之濃度。

在電解質（諸如 LiOH ）可與電極（諸如陽極，諸如 Mo 陽極）反應之情況下，可添加至少一種產物（諸如 Li_2O 及 MoO_2 中之至少一者）以抑制腐蝕。可添加 S 源（諸如 S 或包含 S 之化合物（諸如硫化物或硫化氫））至電解質以減少電極腐蝕。S 源（諸如 Li_2S 、 MgS 或 LiHS ）可充當 H 緩衝劑以將反應 O 物質轉化為較小反應性物質，諸如將過氧化物轉化為氫氧化物。S 物質可包含可用氧物質（諸如 O、OH、 OH^- 、OOH、 OOH^- 中之一或多者）交換 H 之 H 緩衝劑。例示性反應為



S 物質可改變熔融鹼性鹽之鹼性。S 物質（諸如 S）可充當低能量氫之吸氣劑。

在一實施例中，可保護至少一個電極(諸如陽極)免於腐蝕。防腐蝕電極(諸如陽極)可包含合金，諸如Ni(諸如NiCr)或Mo(諸如MoNi或MoC)之合金。電池可包含觸媒以將反應性氧還原產物(諸如過氧化物或其離子或超氧化物)轉化為氫氧化物以保護至少一個電極(諸如陽極)免於腐蝕。適合觸媒為可於載體(諸如 Al_2O_3 或碳)上之貴金屬(諸如Pt或Pd)。其他適合觸媒為Co或Fe物質。或者，可使用 H_2O 添加物以將過氧化物或超氧化物轉化為氫氧化物。可將Mo陽極嵌入觸媒或載體觸媒(諸如Pt/ Al_2O_3)以形成氫氧化物。

可藉由使用抗腐蝕合金(諸如包含Ni之耐腐蝕合金，諸如NiMo)來避免由過氧化物及其他反應性氧物質之陽極腐蝕。亦可藉由使用浸沒陰極或以其他方式用控制氣體氛圍或充當空氣擴散障壁之固體電解質層限制 O_2 壓力來防止過氧化物腐蝕。在限制或排除電池氛圍中之 O_2 的一實施例中，不浸沒陰極。可藉由使用電解質鹽混合物來維持動力學，該電解質鹽混合物具有考慮氧還原速率趨勢 $\text{LiOH} \sim \text{NaOH} \ll \text{KOH}$ 而為適當之氧還原速率。亦可用溫度控制速率，其中速率隨溫度降低而降低，反之亦然。可藉由使用包含氧還原觸媒之陰極降低過氧化物濃度，該氧還原觸媒促成 OH^- 、四電子還原、經過氧化物路徑、二電子還原路徑。因為水為反應物，所以用較高 H_2O 壓力促成 OH^- 路徑。又，水與過氧離子反應且藉由轉化為 OH^- 使其去活化。另外，可在陽極或陰極處使用過氧化物至氫氧化

物轉化觸媒以保護陽極免於過氧化物腐蝕。Pt(諸如Pt/Al₂O₃)或Fe物質(諸如鐵鹵化物)或Co物質(諸如鈷鈣鈦礦)可充當轉化觸媒。亦可藉由提供物質與反應性氧中間物反應或藉由化學保護陽極來保護陽極。舉例而言，可藉由諸如施加H₂氛圍或藉由氫滲透之方法在陽極處提供還原性反應物(諸如額外氫)。添加劑(諸如與過氧化物反應形成例如MoO₄²⁻之MoO₂或反應為CO₃²⁻及1/2O₂之CO₂)為其他例示性反應物。可藉由使金屬與Hg(諸如高達50%)混合達成陽極金屬腐蝕之抑制。例示性汞齊陽極為AgHg。

在一實施例中，以保護層(諸如MoS₂、MoSe₂或鐵氟龍其中之一者)塗佈可腐蝕陽極(諸如Mo或TZM)。在另一實施例中，間歇電解循環之充電電壓為足夠高，可導致一些金屬自陽極溶解於電解質中或以待電鍍於陽極上之化合物(諸如鹽)形式添加至電解質。在陽極包含Mo之情況下，所添加之鹽可為鉬酸鹽化合物，諸如Li₂MoO₃或Li₂MoO₄。電解質可包含可包含氫氧化物之熔融共溶鹽。電解質可包含熔融共溶鹽，諸如鹼金屬鹵化物鹽混合物，向其添加氫氧化物。例示性電解質為LiCl-KCl或LiCl-KCl-LiF，向其添加LiOH。LiOH可為少數物質。添加劑可為Li₂MoO₃或Li₂MoO₄。莫耳%可為任何所要或在約0.1莫耳%至20莫耳%或約1莫耳%至3莫耳%範圍內。電極可為Mo或於其上電鍍Mo之另一金屬(諸如Ni)。電池電壓可為高於1 V以再電鍍Mo。電池電壓可為約0.9 V至2 V之範圍或約大於1.14 V。在一實施例中，可在多個電壓(諸如第一以電鍍陽極金屬

及第二以產生氫)下進行電解。在一實施例中，陽極金屬形成可溶化合物或錯合物(諸如氫氧離子錯合物)。可在間歇循環之電解階段期間將金屬電鍍於陽極上。適合錯合物為 $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_4^{2-}$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$ 、 $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$ 、 $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 及 $\text{Sb}(\text{OH})_4^-$ ，其中放電陽極包含相應金屬。待自電解質再鍍之適合例示性金屬為Cu、Ni、NiCu、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Te、Tl及Sn。

在CIHT或電解電池之一實施例中，至少一個電極包含導電化合物，諸如配位化合物。可將配位化合物固定於集電體(諸如金屬，諸如Ni或Pt)上。配位化合物可包含聚合物，其中聚合物可給配位化合物提供導電性。配位化合物可包含夾心化合物，諸如環戊二烯基化合物，諸如過渡金屬離子(諸如Fe或Ni)中之一者。適合例示性化合物及聚合物為正丁基二茂鐵、1,1'-二甲基二茂鐵、二茂鐵衍生物、諸如1,2,4-三唑Na之鹽、諸如咪唑Na之鹽、1,2,5-三氟基苯(TCB)、四氟基對醌二甲烷(TCNQ)、聚苯胺、聚噻吩、聚乙炔、聚吡咯、聚乙烯二茂鐵、聚乙烯二茂鎳或聚乙烯二茂鈷、碳奈米管及芡中之至少一者。電池在化合物或聚合物之熱分解溫度以下(諸如在低溫下)操作。CIHT電池可在約 10°C 至 150°C 之溫度範圍內操作。電池可包含液體電解質(諸如水性電解質)，該液體電解質亦可包含其他溶劑(諸如有機溶劑)及離子型液體且可進一步包含諸如本發明之溶質的溶質。電解質可為中性、鹼性或酸性。例示性電解

質為水性氫氧化物(諸如鹼金屬氫氧化物，諸如KOH)、碳酸鹽(諸如鹼金屬碳酸鹽，諸如 K_2CO_3)及酸(諸如 H_2SO_4 或 H_3PO_4)。在一實施例中，至少一個電極可包含至少一種金屬氧化物、氫氧化物或氧氫氧化物或其混合物，諸如過渡金屬氧化物、氫氧化物或氧氫氧化物。可將氧化金屬電鍍於導電載體上。例示性金屬氧化物、氫氧化物及氧氫氧化物為可電鍍於Ni上之CuO、FeO、 Fe_2O_3 、FeOOH、NiO、NiOOH、 Ni_2O_3 及 Co_2O_3 中之至少一者。

在一實施例中，陽極與電解質及空氣還原產物(諸如來自水及 O_2 之還原的至少一者)中之至少一者反應。反應可釋放氫。氫可經歷與電解質反應形成觸媒及反應形成低能量氫中之至少一者。可藉由由間歇電解還原陽極氧化產物來使陽極再生。在一例示性實施例中，Mo或Mo合金金屬陽極與氫氧化物電解質(諸如LiOH)反應形成金屬氧化物。反應產物可為 MoO_2 、 Li_2O 、 Li_2MoO_3 及氫中之至少一者。氫可與 OH^- 反應形成觸媒(諸如 H_2O)。觸媒可與額外H反應形成低能量氫。可藉由應用間歇電解在陽極上置換Mo。可使用適合選擇性電壓及電流參數來電鍍溶解於電解質中之鉬之氧化物。隨後，在間歇循環期間，藉由化學反應來形成 H_2 ，隨後形成低能量氫(其產生電功率)，且藉由電解使電池陽極間歇地再生。

在一實施例中，可用氫氛圍來保護陽極免於腐蝕。可藉由施加氫氣或藉由經由薄膜氫滲透來提供氫，其可至少部分構成陽極。亦可藉由濃縮藉由間歇電解原位形成之氫提

供氫保護。陽極包含至少一種類型之H結合中心(諸如金屬中心)及至少一種載體，其中載體使相應中心表面上產生之氫可移動以移動至且優先結合至中心以增加彼等中心上之有效H原子濃度。適合例示性中心為金屬，諸如本發明之陽極金屬及合金，諸如Mo、Ni、Pd及Pt，且適合例示性載體為本發明之載體，諸如碳、碳化物、氮化物及硼化物。例示性電池為[碳、Ni碳、Mo碳、NiMo碳、PtC、PdC/LiOH-LiBr/蒸汽碳(steam carbon, SC)、NiO、PtNiO或AgNiO；空氣陰極或浸沒陰極]。電池可包含電解質基質材料(諸如Li₂MoO₄)或薄膜間隔劑(諸如鐵氟龍)。例示性電池為[碳粉末(諸如石墨、AC、碳黑、玻璃石墨(glassy carbon)、Vulcan XC-72)+ Mo或Ni粉末/鐵氟龍薄片-LiOH-LiBr/蒸汽碳]及[碳粉末+Mo粉末/Li₂MoO₄+LiOH-LiBr/NiO]。陽極(諸如包含碳之陽極)可包含鋰離子電池之陽極或其他變化形式，諸如本發明之或吾先前美國專利申請案中之陽極，該等申請案諸如為Hydrogen Catalyst Reactor, PCT/US08/61455, PCT 4/24/2008 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor, PCT/US09/052072, PCT 7/29/2009 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System, PCT/US10/27828, PCT 3/18/2010 申請；及 Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System, PCT/US11/28889, PCT 3/17/2011 申請，該等申請案以全文引用的方式併入本文中。在一實施例中，適合陽極在水及空氣下穩定。

可將金屬浸漬於碳基質中。金屬可為簇合物，諸如奈米簇合物。碳可充當陽極且吸收氫以給金屬提供還原環境。還原環境可防止金屬腐蝕。可以能分解活性氧物質(諸如過氧化物)之材料(諸如貴金屬)至少部分或稀薄地塗佈陽極之外表面。

在一實施例中，電解質包含吸濕化合物，諸如可自諸如氬圍之來源吸收 H_2O 之鹽。化合物可維持水合狀態以充當CIHT電池之電解質。水合電解質在低於乾燥鹽(諸如共熔混合物，諸如 $LiOH-LiBr$)之熔點之溫度的溫度下可為離子導電。電解質可包含鹽之混合物以維持諸如 Li_2CO_3 、 Li_2O 、 $LiOH$ 及 $LiBr$ 之混合物的漿液。可添加其他吸濕添加劑，諸如本發明之吸濕添加劑，諸如 $KMgCl_3$ 、 $MgCl_2$ 、 $CaCl_2$ 及 KOH 。水合化合物可充當埋藏(interment)電解電池之電解質。或者，氫電極可包含氫-噴射電極。電池可在低溫下(諸如在室溫至非水合電解質之熔點之溫度範圍內)運作。

可在電解期間在陽極處形成氧且在陰極處形成氫。可藉由自諸如 O_2 氣體或空氣之來源噴射來提供 O_2 。在電解截止或放電階段期間， O_2 及 H_2O 可在電解陽極處經還原以形成 OH^- (方程式(172))且可使 OH^- 氧化且與 H 反應以在電解陰極處形成 H_2O (其可充當形成低能量氫之觸媒)(方程式(171))。因此，電池可在充電及放電期間維持恆定極性，電流之極性在各循環階段期間逆轉。輸出可為功率或經調節之波形。在另一實施例中，由方程式(171)給出之反應在

兩個電極處可逆地發生，除低能量氫產物為不可逆以外。
(本發明中給出之間歇充電-放電電池之名稱呈放電模式，諸如[放電陽極/電解質/放電陰極]。在一實施例中，此名稱對應於[負極/電解質/正極]，但在其他實施例中可使極性逆轉。電流可在間歇電解循環之放電及充電階段期間間歇地逆轉。)例示性電池為[Pt/0.1 M至飽和LiOH水溶液/Pd + 空氣，間歇充電-放電]。在其他實施例中，兩個電極皆為Ni或一個為Ni且另一個為不同材料(諸如Pt、Pd、DSA材料、其他貴金屬、碳、Ag、本發明之材料或於載體上之此等材料或本發明之其他材料中之一或多者，諸如Pt/Ti)，且電解質為約0.1 M至飽和之濃度範圍內之KOH或K₂CO₃水溶液。特定實例為[PtTi/0.1 M至飽和K₂CO₃或KOH水溶液/Ni + 空氣，間歇充電-放電]。在一實施例中，可在恆定電池電壓(諸如約1至1.6 V或約1.4 V)下進行水性電解第一時間段(諸如約1秒至10秒或2秒)，且可在恆定電流(諸如約0.01 mA/cm²至10 mA/cm²或0.2 mA/cm²)下進行放電第二時間段(諸如約1秒至100秒或約10秒)。在具有長持續時間充電或放電時期(諸如> 5秒)中之至少一者的一實施例(諸如包含鹼性電解質之實施例)中，放電陽極包含在電解循環期間形成氫化物之材料，諸如LaNi₅H₆或Pd。

在一實施例中，放電陰極可包含本發明之其他者，諸如水合物、氧化物、過氧化物、超氧化物、氧氫氧化物及氫氧化物中之至少一者。陰極可為不溶於電解質(諸如熔融鹽電解質)之金屬氧化物。適合例示性金屬氧化物為NiO；

CoO ; PbO_2 ; Ag_2O_2 ; AgO ; RuO_2 ; MnO_2 ; MNiO_2 ;
 M_2NiO_2 ; MCoO_2 ; M_2CoO_2 ; LiFeO_2 ; MFeO_2 ; M_2FeO_2 ;
 Li_2MnO_3 ; MTiO_3 ; M_2TiO_3 ; LiTiO_3 ; M_3TaO_4 ; M_2WO_4 ;
 K_2WO_4 ; Li_3TaO_4 ; M_3VO_4 ; Li_3VO_4 ; $\text{Mg-Li}_2\text{MnO}_3$; Mn-LiFeO_2 ;
 LaMnO_3 ; SrTiO_3 ; LiCrO_2 ; LiAlO_2 ; LaNiO_3 ;
 LaCoO_3 ; ZnO ; MgO ; M_2SnO_3 ; Li_2SnO_3 ; Zr-ZnO ;
 $\text{MM}'\text{O}_2$; $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_2$; $\text{MM}'\text{O}_x$; $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_x$ (x =整數, M =鹼金屬, M' =過渡金屬或其他金屬(諸如Al)); 經鎂摻雜之
 $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_x$, 諸如 $\text{LiFe}_{1-y}\text{Mg}_y\text{O}$ ($y>0.03$); 經摻雜n型鈣鈦礦及
 相關化合物, 諸如經 Nb^{5+} 摻雜之 CaTiO_3 及 SrTiO_3 及經 Nb^{5+}
 或 Ta^{5+} 摻雜之 PbZrO_3 ; 鋇鐵氧體 (barium ferrite); 釷鐵石
 榴石; p型鈣鈦礦; 諸如鑷-VIII族化合物; Ni、Cu、Co、
 Mn、Cr、Zn、Zr、Y、Al、U、Ti及Fe之金屬或化合物;
 及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及W之群之氧化物。陰極材
 料(諸如 $\text{MM}'\text{O}_2$ 、 $\text{M}_2\text{M}'\text{O}_2$)可在氧化環境(諸如空氣或 O_2 氣
 圍)及包含M之電解質(諸如 LiOH 、 NaOH 或 KOH)存在下自
 M' 原位形成。適合例示性金屬氧氫氧化物為 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、
 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α -
 $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳梛石及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水錳礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、
 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、
 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。適合例示性氫氧
 化物為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及W之氫氧化物。涉及氫氧化物之例示性放電陰極反應由方程式(130)給出。可在間歇電解之電解階段期間使陰極再充電。電池可包含間歇電解電池、滲透電池、以化學或電解再生之電化學放電電池、氫噴射電池或其組合。在一實施例中，可使滲透電池間歇地放電。

在另一實施例中，氣體可自至少一個陽極穿透至陰極，反之亦然。隨後，在放電期間，可切換至少一個半電池反應，以致 O_2 (方程式(172))還原在電解陰極處發生且 OH^- 氧化及與H之反應(方程式(171))在電解陽極處發生。隨後，電流極性保持恆定，但電極之電壓極性隨循環期而切換或其在同一方向上之量值隨循環期而變化。可將電極間距減至最小以促進氣體穿透。可藉由薄膜(諸如多孔烯烴薄膜，諸如Celgard或鹼相容納菲薄膜)分隔電極。電極之間之電路可包含二極體以維持電流之恆定極性。在實施例中，來自形成低能量氫之功率表現為超過消耗電解功率的過量電及熱功率中之至少一者。

已自H接受81.6 eV之低能量氫觸媒 H_2O 可分解為 H_2 及 $1/2O_2$ ；因此，即使當不存在電解電壓或電流時亦可存在 H_2O 電解之組分。此可以法拉第(Faradaic)效率大於100%形式觀測到且可為 H_2 及 O_2 氣體源。 O_2 及 H_2 之每一者可在相應電解源電極處或在穿透之後在相應反電極處反應。在間

歇放電之放電階段期間，氧及氫之低能量氫支撐反應可分別由(方程式(172))及(方程式(171))給出。在其他實施例中，或在電池之操作期間形成之電池之其他觸媒可因觸媒之離子化及在形成低能量氫之觸媒反應期間之能量釋放而導致水電解。

在一實施例中，電解陰極可包含能夠還原 H_2O 及 O_2 以形成 OH^- 及 H_2 中之至少一者以及在氫存在下氧化 OH^- 為 H_2O 之二功能電極。 H_2 源可為陰極處 H_2O 之還原。 O_2 源可為來自電解陽極之穿透氣體。陽極及陰極間隔可為較小，以致電解陽極處產生之 O_2 擴散至陰極。可藉由薄膜(諸如多孔烯烴薄膜，諸如Celgard或鹼相容納菲薄膜)分隔電極。氧及氫之低能量氫支撐反應可分別由(方程式(172))及(方程式(171))給出。反應可以可能在電極上之不同位點處之協同方式發生。兩個反應皆可在間歇電解之電解期或放電期中之至少一者期間在電解陰極上同時發生。例示性二功能電極為經碳部分塗佈之鎳陰極，其可藉由碳酸鹽電解質(諸如 K_2CO_3)之電解來形成。氧化及還原反應之過電位在各別電極區域上因碳塗層之量而為不同。在另一實施例中，由 H_2 穿透氣體供應之電解陽極以二功能電極形式起此作用以至少在放電階段期間形成低能量氫。在一實施例中，電池電流在放電階段期間間歇地變為約零，其中因至少在放電階段期間在陰極或陽極上發生之低能量氫反應而釋放額外熱能。

在另一實施例中，具有電容之至少一個電極充當電子受

體且在放電階段期間被充電。電極可自 H 、 OH^- 及 H_2O 中之至少一者接受電荷，亦即氧化。氧化反應可包含方程式 (171) 之氧化反應。用於氧化之能量可來自低能量氫之形成，其可為形成低能量氫之反應物之協同反應之一部分。在一例示性實施例中，將電荷儲存於具有電容之電解陰極(諸如碳陰極或經碳塗佈之鎳陰極)上。可使充電電容在間歇電解循環之另一期中放電。放電可包括還原局部產生或穿透 O_2 。還原反應可為由方程式 (172) 給出之還原反應。

在一實施例中，間歇充電及放電電池之電解陰極可顯現厚的不導電氧化物塗層。 Ni 電極上之例示性塗層為 NiO 。在一實施例中，可藉由施加適合還原電池電壓(諸如在 NiO 情況下在約 1 V 至 1.5 V 範圍內)來還原塗層。可將還原應用於放電陽極。可在恆定電壓或適合電壓下維持電解適合時間以充分還原氧化物塗層，以致實質上恢復電極導電性。隨後，可再應用充電-放電循環。在高放電電流實施例中，藉由在可為恆定電壓之峰值限制電壓下充電來避免在放電陽極上形成氧化物塗層。可在充電期間限制電流。在限制至少充電電壓及電流之一實施例中，充電可為在恆定功率下。放電可為在恆定電流、負載、功率或電壓下。在一實施例中，使諸如 $[\text{Ni}/\text{LiOH-LiBr}/\text{Ni}$ 空氣，間歇地充電放電]之電池在約 0.8 V 至 1.2 V 之電池電壓範圍(諸如恆定 0.9 V)內充電。或者，充電可為在約 0.1 mW cm^{-2} 至 100 mW cm^{-2} 之範圍內之限制或峰值恆定功率下。例示性放電

電流密度可在約 0.001 mA cm^{-2} 至 1000 mA cm^{-2} 、 0.1 mA cm^{-2} 至 100 mA cm^{-2} 及 1 mA cm^{-2} 至 10 mA cm^{-2} 之範圍內。在一實施例中，互換電解陰極及陽極以還原任何過量氧化物塗層。交換可為間歇性的。時期可不同於間歇電解之間歇充電-放電循環之時期。在一實施例中，兩個電極皆能夠氫噴射，其中將氫交替地供應至一個電極及隨後另一電極以還原在其作為氧電極操作期間形成之任何過量氧化物塗層。在諸如 $[\text{Ni}/\text{LiOH}-\text{LiBr}/\text{Ni} + \text{空氣}; \text{間歇填充-放電}]$ 之電池之一實施例中，藉由此項技術中已知之方法機械或化學移除氧化物塗層(諸如 NiO 塗層)。移除可隨再使用電極而為週期性。在另一實施例中，施加氫於氫可滲透電極(諸如陽極)之腔室。電池溫度可低於相對於由電池產生之功率而發生顯著滲透速率所處之溫度。然而，低流量或陽極處因滲透所致之氫之存在可保護電極免於氧化(諸如氧化形成 NiO)。在另一實施例中，間歇電解電池之電極能夠且作為氫滲透電極操作，其中藉由自諸如氫氣之來源滲透將氫提供至電池；隨後，將電極切換為電解模式。在一實施例中，經切換之電極充當電解陰極及放電陽極。預處理可調節電極以按需要以間歇電解模式作用。在一實施例中，當藉由諸如滲透或噴射之方法將氫供應至電極(諸如放電陽極)時，同時進行間歇電解。或者，可提供包含 H_2 之氛圍至電池。可經由相應電極之選擇性來達成所要氫反應及反電極反應(諸如本發明之反應)之選擇性。舉例而言，分別藉由陰極及陽極之相應選擇性來使得陰極氧還原反應及

與 OH^- 形成 H_2O 觸媒之陽極氫反應的選擇性具選擇性。供應至陽極之氫可為保護性的，因為反應



為有利的。在另一實施例中，增加電解之工作循環，以致產生足夠氫以保護放電陽極免於腐蝕。選擇參數以達成能量增益(諸如電能增益)，同時產生抗腐蝕保護之足夠氫。亦可控制電池溫度以改善腐蝕，同時控制藉由諸如滲透及電解之方法供應之氫。可選擇適用於電池之操作條件的抗腐蝕之放電陰極。對於小於約 350°C 至 450°C 之溫度，陰極可包含 Ni。對於較高溫度，可使用適合穩定陰極，諸如包含氧化物(諸如 NiO 或 CoO)或載體 Ag(諸如 Ag- Al_2O_3)之陰極。

在一實施例中，藉由滲透供應之氫用以改變電池之電壓及藉由可基於滲透速率對電池電壓之效應之回饋機制控制滲透速率中之至少一者。在一實施例中，藉由調節氫滲透速率調節電池電壓。可藉由諸如控制電池溫度、穿過氫可滲透膜之氫壓梯度、薄膜厚度、薄膜材料及藉由調節電池電壓中之至少一者的方法調節滲透速率。在一實施例中，除控制滲透速率之外的調節電池電壓之方法包含控制放電及視情況充電參數(諸如負載及施加電壓及電流特性及參數)，其中充電參數可關於間歇電解實施例。在一實施例中，維持電池電壓在約 0.5 V 至 1.5 V 或約 0.8 V 至 1.2 V 範圍內。控制電壓範圍以使在該實施例之間歇電解之電解階段期間形成之氫之產率最佳化。在另一實施例中，藉由控制

負載控制滲透速率。在一實施例中，滲透速率隨負載之電阻減小而增加。在一實施例中，滲透速率隨放電電流而增加。可調節滲透速率以使來自形成低能量氫之功率增益相對於自 H_2O 形成 H_2 之功率最佳化。

在一實施例中，藉由在氧化環境(諸如氧氣氛圍)中退火Ni電極來塗覆保護性薄層NiO塗層。控制塗層之厚度為產生鹼性電解質之穩定性同時維持高離子導電性的厚度。在一實施例中，可添加物質至電解質以穩定化電極(諸如陽極)。添加劑可形成更穩定Ni化合物，諸如 NiF_2 或 NiSO_4 。在另一實施例中，物質可包含形成更穩定Ni合金之金屬或氧化物添加劑(諸如浸漬於NiO中之 CeO)。氧化鈾之重量%可在約0.1%至5%或0.3%以1%範圍內。在另一實施例中，添加物質(諸如 V_2O_5)以增加電解陰極處 H_2 之產生，其中電解可為間歇且電解質可為熔融鹽或水性。添加劑可為氧化物、氫氧化物或氧氫氧化物，諸如本發明之氧化物、氫氧化物或氧氫氧化物，諸如 Fe_2O_3 或 FeOOH 。其他適合例示性添加劑為 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳橢石及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水錳礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。添加劑可增加功率及保護電極(諸如陽極)中之至少一者。舉例而言，添加劑(諸如可分別形成 $\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ 及 NiFe_2O_4 之 MgO 或 Fe_2O_3)可穩定化電極(諸如陽極)之NiO。

在一實施例中，放電陰極包含進一步包含 Mn_xO_y (x 及 y 為

整數)、NiO、CoO、Ag、Pt、Pd、Au、其他貴金屬及MNiO₂(M=鹼金屬)中之至少一者的本發明之氧還原觸媒(諸如包含大表面積(諸如網)之Ni)。其他適合氧還原電極為鹼土鈳酸鹽、經鋰摻雜之鎳酸鹽、Ni-Co尖晶石、Pb-Ru燒綠石、Na-Pt青銅、及Ag/AgHg。其他陰極材料包含中之至少一者。MNiO₂；M₂NiO₂；MCoO₂；M₂CoO₂；LiFeO₂；MFeO₂；M₂FeO₂；Li₂MnO₃；MTiO₃；M₂TiO₃；LiTiO₃；M₃TaO₄；M₂WO₄；K₂WO₄；Li₃TaO₄；M₃VO₄；Li₃VO₄；Mg-Li₂MnO₃；Mn-LiFeO₂；LaMnO₃；SrTiO₃；LiCrO₂；LiAlO₂；LaNiO₃；LaCoO₃；ZnO；MgO；M₂SnO₃；Li₂SnO₃；Zr-ZnO；MM'O₂；M₂M'O₂；MM'O_x；M₂M'O_x (x=整數，M=鹼金屬，M'=過渡金屬或其他金屬(諸如Al))；經鎂摻雜之M₂M'O_x，諸如LiFe_{1-y}Mg_yO (y > 0.03)；經摻雜n型鈣鈦礦及相關化合物，諸如經Nb⁵⁺摻雜之CaTiO₃及SrTiO₃及經Nb⁵⁺或Ta⁵⁺摻雜之PbZrO₃；鈹鐵氧體；鈹鐵石榴石；p型鈣鈦礦；諸如鑼-VIII族化合物；Ni、Cu、Co、Mn、Cr、Zn、Zr、Y、Al、U、Ti及Fe之金屬或化合物。陰極可包含多孔材料之摻雜劑，諸如可包含奈米粒子之Ni。摻雜劑可為本發明之氧還原觸媒。陰極可包含可經穩定化之NiO。穩定化之適合方法為用諸如穩定金屬(諸如鈷)之材料之囊封。因此，氧還原觸媒可包含鈷囊封之NiO。氧還原陰極可經熱、化學或電化學調節，諸如藉由化學或熱方法之氧化或陽極化或在其充當陰極前之陰極化。調節可為原位進行。可在隨後減小之大電流下操

作陰極，其中前一步驟調節陰極。電極(諸如陰極)可包含諸如碳、碳化物、氮化物、碳氮化物、腈或硼化物之導電基質或表面塗層或包含此等材料。在一實施例中，電解陽極包含觸媒(諸如金-鈀奈米粒子)，其形成反應性氧物質(諸如 $\text{HOO}^\cdot$ 或 HOOH)；或包含氧之化合物(諸如 PdO 、 AgO 、 Ag_2O 、 Ag_2O_3 或 HgO)，其當電極充當放電陰極時在放電階段期間以比 O_2 更高之速率經還原。化合物可包含在充電及放電期間可逆地形成之金屬之氧化物以提供氧至間歇循環之非電解放電期。化合物可具有小於 H_2O 之生成自由能之生成自由能。放電反應可由方程式(145)給出。引線(諸如陰極引線)可為對電解質(諸如鹼性電解質)及空氣或 O_2 穩定之材料。適合引線為貴金屬線(諸如金線)，其可被點焊至陰極。在一實施例中，由於氧離子在 KOH 電解質中之移動率更高，因此氧還原速率在包含 KOH 之電解質(諸如熔融電解質)中比包含 LiOH 或 NaOH 之電解質大 100 倍。在一實施例中，將機械攪拌源(諸如音波、超音波、旋轉或此項技術中已知之其他源)施加於陰極及周圍電解質中之至少一者以補償較低離子移動率。在另一實施例中，可藉由諸如馬達之裝置旋轉陰極。在另一實施例中，機械攪拌陰極及陽極中之至少一者。在對於音波攪拌為約 0.1 MHz 至 1 MHz 或約 10 Hz 至 100 Hz 及對於超音波攪拌為 1 kHz 至 100 kHz 的頻率範圍中使電極音波或超音波地振動。功率可小於電池電輸出功率且可為最佳化考慮因攪拌所致之輸出貢獻與相應攪拌功率消耗相比之功率增益的功率。

在一實施例中，電解質(諸如熔融或水性電解質，諸如熔融或水性氫氧化物或混合物)包含添加之 H_2O ，其增加陰極處形成之氧離子之擴散以增加氧還原速率。電池可經加壓以在接近沸點及沸點以上之溫度下操作。可藉由電解原位產生氫及氧。亦可在壓力下添加 H_2O 、氧及氫中之至少一者至電池。電池電壓可在約低於大氣壓至500 atm或約2 atm至100 atm範圍內。在另一實施例中，藉由使用至少一種其他鹽以包含促進氧離子之更高移動率之混合物來增加熔融電解質(諸如包含氧陰離子之熔融電解質，諸如鹼性電解質，諸如包含氫氧化物之鹼性電解質)中陰極處形成之氧離子之擴散速率。在一實施例中，電解質包含金屬離子及陰離子之混合物，諸如鹼金屬、鹼土及其他金屬離子(諸如過渡、內過渡、稀土及III、IV、V及VI族金屬離子)中之至少一者。陰離子包含本發明之氫氧化物、硫酸鹽、碳酸鹽、硝酸鹽、磷酸鹽、鹵離子及其他離子中之至少一者。在一實施例中，氧離子移動率隨電解質中之 H_2O 含量增加而增加。在一實施例中，適合電解質為吸濕的。適合吸濕鹽為溴化鋰、氯化鈣、氯化鎂、氯化鋅、碳酸鉀、磷酸鉀、光鹵石(諸如 $KMgCl_3 \cdot 6(H_2O)$)、檸檬酸鐵銨、氫氧化鉀及氫氧化鈉。在酸性水性實施例中，吸濕電解質包含濃硫酸及磷酸。

在其他實施例中，電極包含對電池之電解質及操作條件為足夠穩定的導體。鹼性電池之適合電極為Ni。可在鹼性、酸性或大致中性電解質(其為水性或熔融鹽)的情況下

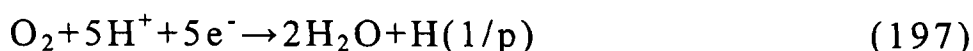
使用其他導電金屬、合金、化合物或元素，諸如C、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Te及鹼金屬、鹼土、過渡、內過渡及稀土金屬中之至少一者。載體金屬及材料亦為適合，諸如尺寸穩定陽極及Pt/Ti、Ag-Al₂O₃、NiO-SiO₂-Al₂O₃及載於基質(諸如Al₂O₃、C或沸石)上之Pt、Pd或其他金屬或貴金屬。通常可藉由與電解質或空氣反應而形成不導電氧化物塗層之材料在電池之操作條件下(諸如在間歇電解條件下，其中可週期性還原電極)可為適合。例示性電極為Zr，其週期性為電解陰極及放電陽極。電極材料可為經導體摻雜之非導體。其他元素或化合物(諸如碳、碳化物、硼化物、氮化物、甲腈(諸如TiCN)或腈)可構成電極(諸如陽極)。適合例示性材料為碳黑、AC、ZrC、TiC、Ti₃SiC₂、TiCN、TiN、SiC、YC₂、TaC、Mo₂C、WC、C、HfC、Cr₃C₂、ZrC、VC、NbC、B₄C、CrB₂、ZrB₂、GdB₂、MgB₂及TiB₂。材料可包含粉末。

除形成H₂(1/4)作為H₂O觸媒之產物之外，包含具有OH⁻源(諸如熔融或水性氫氧化物電解質)之鹼性溶液之反應混合物亦可形成至少一種其他低能量氫產物，諸如分子低能量氫H₂(1/2)。觸媒可包含O或H，其中各自藉由自原子H接受約27.2 eV而具有27.2 eV之位能，其使其充當觸媒以形成H(1/2)，H(1/2)可進一步反應以形成H₂(1/2)及H⁻(1/2)。另外，OH可充當觸媒，因為OH之位能為

$$V_e = \left(\frac{3}{4}\right) \frac{-2e^2}{8\pi\epsilon_0\sqrt{a^2-b^2}} \ln \frac{a+\sqrt{a^2-b^2}}{a-\sqrt{a^2-b^2}} = -40.92709 \text{ eV} \quad (196)$$

H狀態 $p=1$ 與 $p=2$ 之間的能量差為 40.8 eV。因此，OH可自H接受約 40.8 eV以充當形成H(1/2)之觸媒。可在陽極處藉由氧化自OH⁻形成OH。藉由充當H至相應低能量氫狀態之觸媒之H₂O及OH來形成H₂(1/4)及H₂(1/2)的例示性電池為[Mo/LiOH-LiBr/NiO間歇電解]及[Ni/LiOH-LiBr/NiO間歇電解]。可藉由電解質或陽極氣體之質子NMR來鑑別低能量氫產物，其中可藉由酸消化加工陽極以將低能量氫氣體釋放至NMR溶劑中。

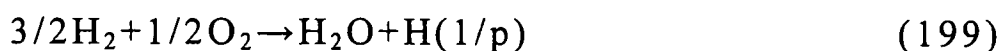
在一實施例中，觸媒形成反應可由以下給出：



相對半電池反應可為



總反應可為



其中H₂O、OH、O₂、nH及nO(n=整數)中之至少一者可充當觸媒。可藉由還原H⁺在陰極處產生氫，其中一些氫與觸媒反應形成低能量氫。或者，可將過量氫供應至陰極，以致其與觸媒反應形成低能量氫。在一實施例中，控制溫度、O₂壓力、H₂O壓力、H₂壓力及H⁺濃度中之至少一者以促成觸媒形成半電池反應及導致低能量氫之最佳形成之相對反應。在一實施例中，在25℃下陰極半電池電位相對於SHE為約1.23 V(在約±0.5 V內)。在一實施例中，陽極半電池電位相對於SHE為約0 V(在約±0.5 V內)。適合例示性半電池反應分別由方程式(197)及(198)給出。形成低能量氫之

總反應可由方程式(199)給出。適合例示性電池為 [Pt/C+H₂/納菲/Pt/C+空氣+H源(諸如H₂或氫化物或本發明之其他H儲存材料)]及 [Pt/C+H₂/H₂SO₄/Pt/C+空氣+H源(諸如H₂或氫化物或本發明之其他H儲存材料)]，可在酸性電解質(諸如H₂SO₄水溶液)的情況下使用隔板(諸如納菲)。

關於方程式(198)，在其他實施例中，對抗半電池反應可藉由不同於H₂及視情況除H₂之外之氫源的氧化來提供H⁺。氫源可為煙。反應可進一步產生CO及CO₂中之至少一者，其中煙可包含至少一個O。適合煙為醇，諸如甲醇。適合例示性電池為 [PtRu+CH₃OH/納菲/Pt/C + 空氣 + H源(諸如H₂或氫化物或本發明之其他H儲存材料)]。

包含質子導電或酸性熔融或酸性水性電解質以維持由方程式(199)給出之反應的電池可包含間歇或脈衝電解電池。反應(諸如由方程式(197)及(198)給出之反應)可在相應電極上或在氣體穿透之後在相應反電極上可逆地發生。

在一實施例中，電解質可包含酸性水溶液。間歇或脈衝循環之充電期可包含H₂O至H₂及O₂之電解。電解陰極及陽極反應可分別包含方程式(198)及(197)之反向，除低能量氫形成為不可逆的以外。陰極放電半電池反應可包含氧、H⁺及H₂O中之至少一者之還原。該還原可由方程式(197)給出。在放電期間之陰極產物可為H及H₂O。H₂O可充當形成低能量氫之觸媒。還原反應之過電位可導致半電池電壓相對於SHE及25°C為約1.23 V。陽極放電半電池反應可包含H₂形成H⁺之氧化(方程式(198))。在一實施例中，在酸性水

溶液中 H_2 至 H^+ 之氧化(方程式(198))的還原電位相對於 SHE 及 25°C 為約 0 V。電極上之氧化之過電位為約 0 V，以致氧化半電池反應在約 0 V 下發生。

在其他實施例中，觸媒可包含自原子氫接受 $m27.2 \text{ eV}$ 之物質，諸如本發明之物質，其中觸媒可為半電池物質或在電解或放電階段期間形成。在充電及放電期中之至少一者期間形成低能量氫。關於放電期，還原反應之半電池電位相對於 SHE 及 25°C 可為約 1.23 V 或在約 0.6 V 至 1.4 V 範圍之內，且氧化反應之半電池電位相對於 SHE 可為約 0 V 或在約 -0.5 V 至 +0.5 V 範圍之內。在電解截止或放電階段期間電解陰極與陽極之間之電池電位相對於 SHE 及 25°C 可為約 1.2 V 或在約 0.3 V 至 2 V 範圍之內。在具有高溫之實施例中，針對操作溫度對此等室溫範圍作熱力學校正。

電解質可為酸性水溶液，諸如酸性電解質水溶液。適合酸性電解質為 H_2SO_4 、 HCl 、 HX (X- 鹵離子)、 H_3PO_4 、 HClO_4 、 HNO_3 、 HNO 、 HNO_2 、 H_2S 、 H_2CO_3 、 H_2MoO_4 、 HNBuO_3 、 $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (四硼酸 M)、 HBO_2 、 H_2WO_4 、 H_2CrO_4 、 $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 H_2TiO_3 、 HZrO_3 、 MAIO_2 、 HMn_2O_4 、 HIO_3 、 HIO_4 、 HClO_4 或有機酸(諸如甲酸或乙酸)之水溶液，其可在約 7.1 M 至純酸之 pH 值的 pH 值範圍內。酸可為水性或熔融(諸如為熔融磷酸)。例示性熔融電池為 $[\text{Pt}$ 或 $\text{C}/\text{H}_3\text{PO}_4$ (1) ($T > 43^\circ\text{C}$)/ C 或 Pt]。在脈衝或間歇施加電壓或電流電解實施例中，陰極及陽極中之至少一者可包含二功能電極。電極可包含不同材料以達成所要反應。各陰極及陽極對於所

要氧化或還原反應可具選擇性且可為以下之一者：貴金屬或合金(諸如Pt、Pd或Au)、Ag、Ti、Ta、Zr、Nb、Nb合金、Ni-Mo合金(諸如赫史特B、赫史特C、赫史特B-3合金、赫史特C22合金或赫史特C276合金)、碳或尺寸穩定陽極(DSA)或電極(諸如TiO₂穩定化導電金屬氧化物，諸如載於導體(諸如Ti)上之RuO₂及IrO₂)。適合例示性DSA為Ta₂O₅及Ti/Ir_{0.3}Ti_{0.7}O₂。可負載電極材料，諸如貴金屬。適合載體為碳、金屬及陶瓷。載體電極材料之相應實例為Pt/C、Pd/C及Ru/C；Pt/Ti；Pt/Al₂O₃及Ag/Al₂O₃。具有氧化及還原之適當能力之其他穩定導體為熟習此項技術者所已知之導體。

可在電解期間在陽極處形成H⁺及O₂且在陰極處形成氫。在電解截止或放電階段期間，H₂可在電解陰極處經氧化為H⁺(方程式(198))且H⁺及O₂可在電解陽極處經還原以形成H及H₂O(方程式(197))，其中H₂O可充當在電解陽極處形成低能量氫之觸媒。因此，電池可在充電及放電期間維持恆定極性，電流之極性在各循環階段期間逆轉。輸出可為功率或經調節之波形。在另一實施例中，由方程式(197)給出之反應在兩個電極處皆可逆地發生，除低能量氫產物為不可逆以外。例示性電池為[PtTi/H₂SO₄或H₃PO₄(水溶液)/Pt，間歇電解]及[Pb/H₂SO₄(水溶液)/Pb或PbO，間歇電解]。酸可在任何所要濃度內，諸如為約0.1 M至飽和。例示性濃度為14.7 M H₃PO₄及5 M H₂SO₄。

在另一實施例中，氣體可自至少一個陽極穿透至陰極，

反之亦然。隨後，在放電期間，可切換至少一個半電池反應，以致 O_2 (方程式(197))還原在電解陰極處發生且 H_2 氧化(方程式(198))在電解陽極處發生。隨後，電流極性保持恆定，但電極之電壓極性隨循環期切換。可將電極間距減至最小以促進氣體穿透。可藉由薄膜(諸如質子交換膜，諸如納菲薄膜)分隔電極。電極之間之電路可包含二極體以維持電流之恆定極性。在實施例中，來自形成低能量氫之功率表現為超過消耗電解功率的過量電及熱功率中之至少一者。

酸性電解質可包含酸或混合物、離子液體或混合物(諸如本發明之離子液體或混合物)及有機溶劑或混合物(諸如本發明之有機溶劑或混合物)中之至少一者的水性混合物。適合的有機溶劑為與水可混溶之有機溶劑，諸如醇、胺、酮、醚、腈及羧酸。例示性電池為[PtTi/納菲薄膜(Nafion)+酸、離子液體及有機溶劑中之至少一者+ H_2O /PtTi+空氣]。適合之例示性離子液體選自以下之群：硝酸乙銨、以磷酸二氫鹽摻雜之硝酸乙銨(諸如約1%摻雜)、硝酸銕、 $NH_4PO_3-TiP_2O_7$ 、及 $LiNO_3-NH_4NO_3$ 之共熔鹽， $LiNO_3$ 、三氟甲磺酸銨($Tf=CF_3SO_3^-$)、三氟乙酸銨($TFAc=CF_3COO^-$)、四氟硼酸銨(BF_4^-)、甲烷磺酸銨($CH_3SO_3^-$)、硝酸銨(NO_3^-)、硫氰酸銨(SCN^-)、胺基磺酸銨($SO_3NH_2^-$)、氟氫化銨(HF_2^-)、硫酸氫銨(HSO_4^-)、雙(三氟甲烷磺基)亞胺化銨($TFSI=CF_3SO_2)_2N^-$)、雙(全氟乙烷磺基)亞胺化銨($BETI=CF_3CF_2SO_2)_2N^-$)、硝酸銕、

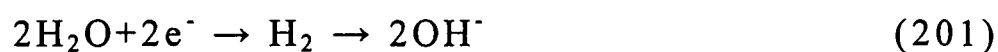
NH_4NO_3 、 NH_4Tf 及 NH_4TFAc 之混合物，銨或烷基銨鹵化物、及芳族化合物(諸如咪唑、吡啶、嘧啶、吡嗪)、過氯酸鹽、 PF_6^- 、氯化1-乙基-3-甲基咪唑鎗- AlCl_3 及基於吡咯鎂之質子離子液體。適合之例示性溶劑選自以下之群：醇、胺、酮、醚、腈、羧酸、二噁烷、二甲氧基乙烷(DME)、1,4-苯并二噁烷(BDO)、四氫呋喃(THF)、二甲基甲醯胺(DMF)、二甲基乙醯胺(DMA)、二甲亞砜(DMSO)、1,3-二甲基-2-咪唑啉酮(DMI)、六甲基磷醯胺(HMPA)、N-甲基-2-吡咯啉酮(NMP)、甲醇、乙醇、胺(諸如三丁胺、三乙胺、三異丙胺、N,N-二甲基苯胺)、呋喃、噻吩、咪唑、吡啶、嘧啶、吡嗪、喹啉、異喹啉、吲哚、2,6-二甲吡啶(2,6-二甲基吡啶)、2-甲吡啶(2-甲基吡啶)及腈(諸如乙腈及丙腈)、4-二甲胺基苯甲醛、丙酮及丙酮-1,3-乙基二甲酯。

在水性間歇電解電池之一個實施例中， H^+ 及氧氣可在電解陽極處形成，及 OH^- 及 H_2 可在電解陰極處形成，如例示性反應所給出：

電解陽極



電解陰極



溶液反應可為

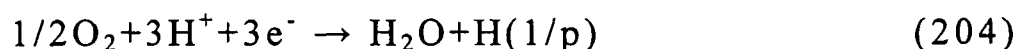


總反應可為

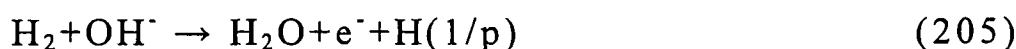


放電階段期間，可形成低能量氫，其中 H_2O 、 OH 、 O_2 、 $n\text{H}$ 及 $n\text{O}$ (n =整數)中之至少一者可充當觸媒。形成可充當觸媒之 H_2O 及低能量氫之例示性反應為

陰極



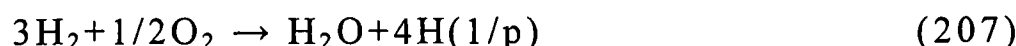
陽極



溶液反應可為



總反應可為



電解溶液可為約中性pH。為約中性的適合的電解質為強酸之金屬鹽，諸如水性硝酸鹽、硫酸鹽、鹵化物、過氯酸鹽、過碘酸鹽、鉻酸鹽及本發明之其他類似物。陽離子可為銨或金屬或諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬及第III、IV、V或VI族金屬。濃度可為可溶的任何所需濃度，諸如0.01 M至飽和。

間歇波形可為相對於輸入電使輸出電最佳化之波形。間歇電解之頻率可在約0.001 Hz至10 MHz、約0.01 Hz至100 kHz、或約0.01 Hz至10 kHz範圍內。每電池之電解電壓可在約0.1 V至100 V、約0.3 V至5 V、約0.5 V至2 V、或約0.5 V至1.5 V範圍內。每單位有效形成低能量氫之電極面積之電解電流在約 $1 \mu\text{A cm}^{-2}$ 至 10 A cm^{-2} 、約 0.1 mA cm^{-2} 至

5 A cm⁻²、及約1 mA cm⁻²至1 A cm⁻²範圍內。每單位有效形成低能量氫之電極面積之電解功率在約1 μW cm⁻²至10 W cm⁻²、約0.1 mW cm⁻²至5 W cm⁻²、及約1 mW cm⁻²至1 W cm⁻²範圍內。間歇波形可為充電及放電中之至少一者之恆定電流、功率或電壓。在一個例示性實施例中，每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定電流在約1 μA cm⁻²至1 μA cm⁻²之範圍內；每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定功率在約1 μW cm⁻²至1 W cm⁻²之範圍內；每電池之恆定電解電壓可在約1 V至20 V範圍內，且每電池之恆定放電電壓可在約0.1 V至20 V範圍內。電解時間間隔可在約10⁻⁴ s至10,000 s、10⁻³ s至1000 s、或10⁻² s至100 s、或10⁻¹ s至10 s範圍內。放電可為可在與電解相同之範圍內之恆定或可變電流、電壓及功率。放電電阻可恆定或可變。其可在約1 mΩ至100 MΩ、約1 Ω至1 MΩ、及10 Ω至1 kΩ範圍內。在一個實施例中，放電電流、電壓、功率或時間間隔中之至少一者大於電解階段以在循環中產生功率或能量增益中之至少一者。

在一個實施例中，充電及放電時間中之至少一者小於物質自一個電極擴散至另一個之時間。在一個實施例中，物質可為活性氧物質，諸如過氧化物、過氧化物離子、超氧化物、HOOH、HOO⁻、O、O₂²⁻及O²⁻中之至少一者。在一個實施例中，充電及放電時間中之至少一者為小於約100 s、10 s、1 s、0.1 s、0.01 s、0.001 s、0.0001 s、0.01 ms、1 μs或0.1 μs。在一個實施例中，充電-放電循環之頻率高於將

容許放電陰極處所形成之活性物質遷移並擴散至放電陽極的頻率。充電-放電時間可為例如小於1 s以致活性氧物質(過氧化物離子)之遷移禁止達到陽極(諸如Mo或Mo合金陽極或本發明之其他類似物)及與陽極反應。此處，引起離子遷移之電解電場及電流中之至少一者轉換方向之時間比至陽極之遷移時間快速。充電期間形成反應性氧物質之放電陰極在放電期間可破壞該等物質以致其禁止擴散至放電陽極及腐蝕放電陽極。在一個實施例中，例示性間歇充電-放電電路可為Gamry Instruments之電路，諸如Model EIS300之電路或熟習此項技術者已知之其變體。

在一個實施例中，間歇充電或放電電壓、電流、功率及負載中之至少一者可為恆定或可變的。可控制參數以達成電功率或能量增益。每電池之電解電壓可處於或略高於電流閾限，諸如在高於閾限約0至0.5V範圍內。每電池之電解電壓的適合範圍為約0.25 V至2 V或0.25 V至1.7 V。每電池之放電電壓可在維持相反極性電流至電解電流之範圍內。每電池之放電電壓可在約0.01 V至最大電解電壓範圍內。每電池之放電電壓的適合範圍為約0.01 V至2 V或0.01 V至1.7 V。考慮有效形成低能量氫之電極面積，放電電流可在約 $1 \mu\text{A cm}^{-2}$ 至 1 A cm^{-2} 、 0.01 mA cm^{-2} 至 20 A cm^{-2} 、或 0.01 mA cm^{-2} 至 10 A cm^{-2} 範圍內。放電負載可在約 $1 \mu\Omega$ 至 $1 \text{ M}\Omega$ 範圍內。適合之負載可維持約 $1 \mu\text{A cm}^{-2}$ 至 1 A cm^{-2} 、 0.01 mA cm^{-2} 至 20 A cm^{-2} 、或 0.01 mA cm^{-2} 至 10 A cm^{-2} 範圍內之電流。每單位有效形成低能量氫之電極面積之適合負

載之電導率在約 10^{-5} 至 $1000 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 10^{-4} 至 $100 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 10^{-3} 至 $10 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、或 10^{-2} 至 $1 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 範圍內。功率可由適合的電壓、電流及電阻中之至少一者確定。每單位有效形成低能量氫之電極面積之適合功率密度在約 $1 \mu\text{W cm}^{-2}$ 至 1 W cm^{-2} 、 0.01 mW cm^{-2} 至 20 W cm^{-2} 、或 0.01 mW cm^{-2} 至 10 W cm^{-2} 範圍內。在一個實施例中，例示性間歇充電-放電電路可為 Arbin Instruments 之電路，諸如 Model BT2000 之電路或熟習此項技術者已知之其變體。

在熔融電解質之一個實施例中，維持電池溫度為至少電解質之熔點及更高。電解質可為熔融氫氧化物，可為與至少一種其他化合物(諸如鹽，諸如鹵化物鹽)之混合物。例示性的適合氫氧化物混合物電解質為 LiOH-LiBr、LiOH-LiX、NaOH-NaBr、NaOH-NaI、NaOH-NaX、KOH-KX (X=鹵離子)。鹽可為共熔混合物。高於熔點之溫度可在高於熔點約 0 至 1500°C 、高於熔點約 0 至 1000°C 、高於熔點約 0 至 500°C 、高於熔點 0 至約 250°C 或高於熔點約 0 至 100°C 範圍內。在一個實施例中，包含氫可透膜，電池之溫度維持在達成所需透過速率之高溫下。亦選擇膜材料、厚度及氫氣壓力以達成所需透過速率。在一個實施例中，電池溫度在約 25 至 2000°C 、100 至 1000°C 、200 至 750°C 、 250°C 至 500°C 範圍內。若電池包含滲透膜及熔融鹽電解質，則維持電池溫度高於電解質熔點及處於達成所需透過速率之位準。因此，在一個實施例中，維持電池溫度為至少鹽之熔點及更高。高於熔點之溫度可在高於熔點約 0 至 1500°C 、

高於熔點約0至1000℃、高於熔點約0至500℃、高於熔點0至約250℃或高於熔點約0至100℃範圍內。膜厚度可在約0.0001至0.25 cm、0.001至0.1 cm、或0.005至0.05 cm範圍內。氫氣壓力可維持在約1托至500 atm、10托至100 atm、或100托至5 atm範圍內。氫氣透過速率可在約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、或 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 範圍內。維持間歇電解電池或包含氫噴射或鼓泡電極之電池之電池溫度高於電解質之熔點。在包含具有約(43%-57%)之共熔混合物之電解質LiOH-LiBr的一個例示性電池中，諸如電池[Ni/LiOH-LiBr/Ni+空氣；間歇電解]或[Ni(H₂)/LiOH-LiBr/Ni+空氣]，其中氫電極(指定為Ni(H₂))包含H₂噴射或鼓泡電極，共熔電解質熔點為約265℃。電池可維持在此溫度下及高於此溫度。每幾何面積H₂鼓泡或噴射電極之氫氣流動速率可在約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、或 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 範圍內。在一個實施例中，相對電極處之反應速率匹配或超出氫反應所在電極處之反應速率。在一個實施例中，H₂O及O₂中之至少一者之還原速率足以維持H或H₂之反應速率。相對電極具有足以支持足夠速率之表面積及材料。

電極及電解質系統可在相對大氣封閉的容器中。在包含熔融氫氧化物鹽電解質之間歇電解電池之情況下，可控制供應至電池之水分壓以相對於其他 O_2 及 H_2O 還原反應(諸如形成過氧化物、過氧化物及氧化物中之至少一者的反應)更有利於產生 OH^- 之反應。在一個實施例中，控制溫度、 O_2 壓力、 H_2O 壓力、 H_2 壓力及 OH^- 濃度中之至少一者以有利於觸媒形成半電池反應及使得低能量氫形成最佳化之逆反應。一或多個相應反應可由方程式(171-173)給出。電池相對於空氣可為封閉的。在一個實施例中，至少一個半電池反應之氧來自電解，諸如 H_2O 及 OH^- 中之至少一者之氧化。經受間歇或脈衝電解之適合的例示性電池為 $[Ni(H_2)/LiOH-LiBr/Ni]$ 、 $[Ni(H_2)/NaOH-NaBr/Ni]$ 、 $[Ni(H_2)/NaOH-NaI/Ni]$ 、 $[Ni(H_2)/Sr(OH)_2/Ni]$ 及本發明之類似電池，其中存在一些 H_2O 。 H_2O 可反添加以替代任何消耗以形成低能量氫之 H_2O 。亦可移除過量氧。可由連接至電池之發生器控制水蒸汽壓力。 H_2O 蒸汽發生器之溫度可低於電池溫度以控制 H_2O 蒸汽壓力。在一個實施例中，水蒸汽產生器可包含霧化器或噴霧器，諸如超音波霧化器或噴霧器。 H_2O 蒸汽可由流傳遞，諸如惰性氣體(諸如稀有氣體或 N_2)流。氣體可再循環。或者，可控制 H_2O 質量平衡以達成所需 H_2O wt%-之電解質或半電池反應物。在一個實施例中，電解質藉由諸如氫氧化物(諸如 $LiOH$)揮發而損失可藉由降低電池溫度、維持高電池電壓及運轉氣體可由間歇電解及選擇性方向流動之管線供應的至少部分封閉之電池

來減少。水蒸汽發生器或水質量平衡亦可控制具有酸性電解質之封閉式間歇電解電池之水含量及壓力中之至少一者。涉及 H_2O 之例示性反應由方程式(197-199)給出。

在一個實施例中，電池之 H_2O 來源可使電解質(諸如氫氧化物)脫水。鹼金屬氫氧化物(諸如 LiOH)之例示性反應為



可能發生脫水反應，即使其吸收由間歇電解、低能量氫形成反應及熱中之至少一者供應之能量。在一個實施例中，CIHT或電解電池陽極包含與 H_2O 發生放能反應之材料，諸如金屬，諸如 Mo 或 Mo 合金，諸如Haynes 242、 MoNi 、 MoCu 或 MoCo 。電池 H_2O 來源可為陽極之脫水反應，其總反應為吸收能量的。例示性反應為 LiOH 電解質與 Mo 形成 Mo 氧化物、 Li_2O 及氫之反應。隨後，電池可運轉適合的持續時間以形成能量，而陽極不顯著降解。可改變電池之條件(諸如操作溫度)以使電解質可在陽極不發生實質性反應下再生。舉例而言，可降低電池溫度，及向電解質中添加 H_2O 以使其復水。再生電池隨後可在典型操作條件下進一步操作。

在一個實施例中，電解質包含氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物，諸如 LiOH ，且進一步包含脫水形式，諸如呈混合物形式之氧化物，其中諸如 Li_2O 之脫水形式之濃度在陽極對氧化穩定之範圍內。在一個實施例中，諸如 Mo 陽極之陽極與水合形式(諸如 LiOH)反應且在脫水形式(諸如 Li_2O)存在下為穩定的。兩種形式之濃度範圍使得氧化電

勢向陽極提供對氧化之穩定性。濃度範圍進一步提供電池操作期間形成過量能量，其中H來源可來自間歇電解。在一個實施例中，電解質在操作期間可進一步脫水。電解質可連續或週期性或間歇復水。在後者情況下， H_2O 添加可在低於操作溫度之溫度下發生以防止陽極(諸如Mo陽極)在水合期間氧化。一旦復水，電池可在高於標準之操作溫度下加熱並操作。電解質可進一步包含脫水形式之氫氧化物與至少一種其他鹽(諸如鹵化物，諸如鹼金屬鹵化物，諸如LiBr)之混合物。

在一個實施例中，間歇電解電池之電池以堆疊形式安置。各電池可包含熔融電解質(諸如熔融氫氧化物及視情況選用之至少一種其他鹽)或熔融水性電解質(諸如水性鹼性電解質)。各電池之陰極可包含空氣或氧電極。在實施例中，電池之氧來源為空氣、外部氧氣及電解產生之氧氣中之至少一者。在一個實施例中，陰極可包含至少曝露於氧來源(諸如空氣或 O_2 氣體)之部分。曝露部分可自電池堆疊及電解質伸出以允許 O_2 或還原之 O_2 流入陰極-電解質界面處之電解質中。在另一實施例中，電池可為封閉的，且氫氣及氧氣可電解產生。系統可包含加熱器以維持堆疊處於所需高溫。溫度可為約或高於熔融電解質熔點。在一個實施例中，電池包含果醬卷或瑞士卷設計。在一個實施例中，隔板或間隔物及電解質施加在可包含捲起之薄片之電極之間。果醬卷或瑞士卷可為封閉的。電池可密封捲攏，氧氣由電解提供。在一個實施例中，氧還原電極(諸如陰

極)可完全浸沒於電解質中。供應氫及氧之間歇電解電極可為不同材料，諸如不同金屬或本發明之不同材料，該等不同電極選自金屬、碳、碳化物、硼化物、氮化物及腈之群。陰極材料可在電解期間吸收氧且在間歇循環之放電階段期間釋放。

在一個實施例中，形成觸媒之半電池反應之電壓相對於25℃及SHE為約1.2 V。適合的電壓相對於SHE及25℃在約1.5 V至0.75 V、1.3 V至0.9 V及1.25 V至1.1 V範圍內。適合的反應為形成H₂O之反應，諸如由方程式(171)及(197)所給出之反應。在一個實施例中，電池理論電壓為約0 V。電池反應可包含陰極處水還原成OH⁻及H₂及陽極處OH⁻與1/2H₂反應形成H₂O。在一個實施例中，理論電池電壓為約0 V之電池反應與理論電池電壓約大於0 V之至少一個其他電池反應一起發生。在一個例示性實施例中，電池反應可包含陰極處水還原成OH⁻及H₂及理論電池電壓為約0 V之陽極處OH⁻與1/2H₂反應形成H₂O，以及理論電池電壓大於0 V之形成水之淨電池反應(方程式(173))。水可經由半電池反應形成，諸如由方程式(171)及(172)所給出之反應。電池[Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-M_xCl_y]之其他例示性電池反應為NaOH+1/2H₂+1/yM_xCl_y=NaCl+6H₂O+x/yM，其中例示性化合物M_xCl_y為AlCl₃、BeCl₂、HfCl₄、KAgCl₂、MnCl₂、NaAlCl₄、ScCl₃、TiCl₂、TiCl₃、UCl₃、UCl₄、ZrCl₄、EuCl₃、GdCl₃、MgCl₂、NdCl₃及YCl₃。電池電壓為約0 V之適合電池為[Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-ScCl₃，在約800-900K下]、

[Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-TiCl₂ , 在約 300-400K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-UCl₃ , 在約 600-800K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-UCl₄ , 在約 250-300K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-ZrCl₄ , 在約 250-300K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-MgCl₂ , 在約 900-1300K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-EuCl₃ , 在約 900-1000K 下] 、
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-NdCl₃ , 在約 >1000K 下] 及
 [Ni(H₂) NaOH/BASE/NaCl-YCl₃ , 在約 >1000K 下] 。

在另一實施例中，涉及形成觸媒以形成低能量氫之理論電池電壓可為約 0 V。另一例示性電池反應包含陰極處氫還原成 H⁻ 及陽極處 H⁻ 氧化成 H，其中 nH (n=整數) 可充當 H 形成低能量氫之觸媒。H 可諸如根據本發明反應進一步反應，其中理論電池電壓高於 0 V。適合的反應例如為 H 與金屬 (諸如 Li 或合金，諸如 Mg₃Li) 反應形成相應氫化物或 H 與 Li-N-H 系統之物質反應形成 LiNH₂ 或 Li₂NH。例示性電池為 [Li、Mg₃Li 或 Li₃N/LiCl-KCl LiH/Ni(H₂)、LaH₂、CeH₂、TiH₂ 或 ZrH₂]。在實施例中，觸媒可為 nH、nO (n=整數)、O₂、OH、H₂O 及 MH 或 MH⁻ 觸媒中之至少一者 (諸如表 3 中之觸媒) 以及任何低能量氫觸媒 (諸如表 1 中之觸媒)。

在一個實施例中，觸媒 (諸如 MH 或 MH⁻，諸如表 3 之觸媒) 由電池反應形成，其中理論電池電壓為約 0 V。在約 700K 電池操作溫度下理論電池電壓 E 為約 0 V 之例示性反應由方程式 (61) 給出，其中在包含 [Na/BASE/NaOH] 之例示性電池中，NaH 充當 MH-型觸媒。在實施例中，理論電池電

壓可為約 0 V，在約 $\pm 0.75\text{V}$ 、 $\pm 0.5\text{V}$ 、 $\pm 0.25\text{V}$ 或 $\pm 0.1\text{ V}$ 範圍內。

在一個實施例中，電池包含 H^- 傳導電解質，諸如熔融鹽，諸如共熔鹽混合物。例示性的適合熔融鹽電解質在表 4 中給出。電池進一步包含形成氫化物離子之 H 來源及與 H 形成化合物之反應物。電池可包含用於陰極與陽極之氫儲存材料。適合的例示性陽極為 Li 、 Mg_3Li 及 Li_3N 。適合的陰極包含氫可透 H 電極(諸如 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 及本發明之其他類似物)或氫化物(諸如 ZrH_2 、 TiH_2 、 LaH_2 及 CeH_2)。電解質可進一步包含氫化物，諸如 LiH 。例示性電池為 [Li 、 Mg_3Li 及 Li_3N /共熔熔融鹽(諸如 LiCl-KCl)+氫化物(諸如 LiH)/ $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 或氫化物(諸如 LaH_2)]。在一個實施例中，電池間歇式充電及放電。一或多個陰極及陽極處形成 H 引起形成低能量氫，其中 $n\text{H}$ (n =整數)可充當觸媒。在一個實施例中，向電池供應過量氫化物，陽極可包含電解質元素之合金，且陰極可包含可形成氫化物之導體，諸如金屬，諸如過渡金屬，諸如 Ni 或貴金屬(諸如 Pd)。呈充電狀態之例示性電池為 [LiAl 或 Mg_3Li /共熔熔融鹽(諸如 LiCl-KCl)+氫化物(諸如 LiH)/ NiH 、 TiH 或 PdH]，可間歇式充電及放電。除低能量氫產物以外的例示性可逆反應為：

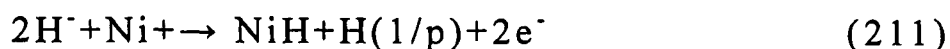
陰極：



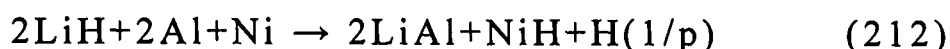
或



陽極：



總反應可為



或



電池可藉由施加間歇電解電壓間歇再生。施加之電池電壓可使得在電解陰極處形成LiAl或Mg₃Li（方程式(209-213)）。

在氫可透電極之一個實施例中，在電極內部電解產生或化學產生氫。在一個實施例中，氫可透電極包含電解產生氫之電池陽極。氫可藉由氧化電解質之氫化物來產生。氫可在電解期間經由陽極擴散。例示性電池為[Ni、Ti或Pd/共熔熔融鹽（諸如LiCl-KCl）+氫化物（諸如LiH）/Al或Mg]，其中H在陽極處形成，且鋰合金在相應陰極處形成，根據方程式(209-213)。陰極可在包含H可透電極之同心管陽極之中心。在另一實施例中，氫可透電極包含電解產生氫之電池陰極。氫可藉由還原電解質之水來產生。氫可在電解期間經由陰極擴散。例示性電池為[Ni/KOH（水溶液）/Ni]，其中H在陰極處形成且氧在相應陽極處形成。陽極可在包含H可透電極之同心管陰極之中心。在另一實施例中，化學產生CIHT電池之氫可透電極之氫。氫可來自氫化物之分解，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬氫化物或合金、或氫儲存材料（諸如本

發明之氫儲存材料)。在一個例示性實施例中，H可由LiH及LiNH₂之反應產生。H可透電極可藉由反向電解及反添加H、藉由單獨反添加H或藉由反添加反應物(諸如H₂O)來再生。H可透電極可充當CIHT電池之陽極及陰極中之至少一者。適合的例示性CIHT為[Ni(H₂)/LiOH-LiBr/Ni+空氣或O₂]，其中Ni(H₂)為電解或化學產生之氫電極。電解產生之氫電極之一個實施例如圖4中所示，其中電極604替代隔板608且包含H可透膜，且電池電極具有相對電極603。氫藉由在609與604之間在608之位置處並替代608施加來自來源616之電壓來產生。

在一個實施例中，CIHT電池之電極或氫電極處之氫來源，諸如H₂可透膜及H₂氣體，諸如Ni(H₂)或氫化物(諸如LaNi₅H₆)，可由諸如H₂鼓泡金屬管之氫氣體來源替代，其中金屬可為多孔的，諸如包含燒結金屬粉末(諸如Ni粉末或R-Ni粉末)之H₂多孔管或其他多孔材料，諸如金屬纖維、長絲、墊或海綿，諸如Celmet (Celmet CNi #4、#6或#8，Sumitomo Electric Industries, Ltd.)。H₂鼓泡電極可替代電池之陽極或陰極，在相應電極處或在相應半電池中以氫作為反應物。舉例而言，H₂鼓泡電極可替代本發明電池之電極，諸如水性鹼電池之陽極、包含含氫氧化物之熔融鹽之電池的陽極或包含具有H⁻遷移離子之熔融鹽之電池的陰極。在後者情況中，所替代之電極可包含氫透過電極。在包含酸性電解質(諸如酸水溶液)之另一電池實施例中，氫電極可包含陽極。陽極可包含鼓泡或噴射電極以及氫透

過電極。氫亦可藉由水電解供應。氫在放電期間可經受氧化形成 H^+ 。因此，氫電極之一般名稱可為 $M(H_2)$ ，其中M可為過渡金屬(諸如Ni或Ti)、或V、Nb、Ta、Pd或Pt、或為對電解質穩定、氫可透及為與電解質及電池操作條件相容之適合電解電極中之至少一者的本發明另一金屬。例示性電池為[導體(鼓泡 H_2)/KOH (飽和水溶液)/SC+空氣]、[導體(鼓泡 H_2)/包含鹼金屬氫氧化物之共熔鹽電解質，諸如LiOH-NaOH、LiOH-LiX、NaOH-NaX(X=鹵離子或硝酸根)或LiOH-Li₂X或NaOH-Na₂X (X=硫酸根或碳酸根)/導體+可為 O_2 還原觸媒之空氣]、及[導體(鼓泡 H_2)，諸如包含Pt之導體/ H_2SO_4 /Pt +空氣]。在一個鹼性電池實施例中，電池氛圍可包含 H_2 與 O_2 之混合物及視情況選用之 H_2O ，其中陰極對 O_2 及 H_2O 中之至少一者之還原具選擇性，且陽極對H及電解質之物質中之至少一者之氧化具選擇性。陽極反應可進一步包含氫反應形成諸如 H_2O 之產物。陽極及陰極可為本發明或熟習此項技術者已知之陽極及陰極。

電池可包含至少一個為氫來源之陽極，氫來源稱為 $M(H_2)$ ，其中M可為過渡金屬(諸如Ni或Ti)或V、Nb、Ta、Pd或Pt或為對電解質穩定及氫可透中之至少一者的本發明另一金屬。陽極可包含氫噴射或鼓泡電極(諸如多孔導體，諸如多孔金屬)或氫可透電極。氫陽極，諸如透過電極或氫噴射或鼓泡電極，諸如多孔導體陽極，可進一步包含氫解離體及大表面積氫載體，諸如R-Ni或貴金屬/載體，諸如Pt/Au，載體例如可為碳、碳化物、硼化物或

睛。氫電極可包含多孔材料，諸如氫管線周圍之金屬多孔體(例如Ni，諸如Celmet #4、#6或#8，Sumitomo Electric Industries, Ltd.)之緊密結合組裝，氫管線可進一步包含外部氧化鋁管，其中氫氣經由該管噴射且在與電解質接觸之多孔材料表面上擴散。在實施例中，包含氫透過電極、氫噴射或鼓泡電極(諸如多孔導體，諸如多孔金屬)之本發明電池可替代該氫透過電極。在另一實施例中，氫電極包含電解電極，其中氫藉由電解產生。因此，氫電極之一般名稱可為 $M(H_2)$ ，其中M可為過渡金屬(諸如Ni或Ti)、或V、Nb、Ta、Pd或Pt、或為對電解質穩定、氫可透及為與電解質及電池操作條件相容之適合電解電極中之至少一者的本發明另一金屬。電池可進一步包含為 O_2 及 H_2O 還原陰極中之至少一者的陰極及熔融氫氧化物電解質。適合的陽極材料為金屬，諸如鎳，且適合的陰極材料為金屬，諸如Ag。Ag陰極可為分散於碳上之Ag粒子。最佳負載在約20至30 wt%範圍內。陰極可包含氧化錳，諸如 MnO_2/C 、 Mn_2O_3/C 或 $MnOOH$ 。其他適合的 O_2 還原陰極為以下中之至少一者： Pt/C 或Pt合金/C，諸如 $PtRu/C$ 、 $La_{0.5}Sr_{0.5}CoO_3/C$ 、 $CoTPP/C$ 、 $La_{0.6}Ca_{0.4}CoO_3/C$ 、 $Pt/CNT/C$ 、 $Pr_{0.8}Ca_{0.2}MnO_3$ 、 $CoTMPP/C$ 、 $LaMnO_3/C$ 、 $MnCo_2O_4/C$ 、鹼土金屬鈳酸鹽、鋰摻雜鎳鎳酸鹽、Ni-Co尖晶石(諸如 $NiCo_2O_4$)、Pb-Ru燒綠石(諸如 $Pb_2Ru_2O_{6.5}$)、Na-Pt青銅、Ag/AgHg、Ni、NiO、Ag、Au、Pt、Fe、NiO-SiO₂-Al₂O₃、FeTi合金、Fe₂Ti、過渡金屬及其氧化物，視情況呈金屬陶瓷形式。氧還原陰極

亦可包含含氧溢出觸媒之氧溢出陰極或陰極。在一個實施例中，陰極包含浸沒於電解質中之部分或由電解質潤濕之部分及未浸沒或未由電解質潤濕之另一部分。後者部分可直接曝露於氧來源，諸如空氣或 O_2 氣體。氧可與 O_2 來源曝露部分反應並遷移至電解質浸沒或電解質潤濕部分中。氧溢出陰極可包含部分浸沒之鎳墊、發泡體或燒結或多孔Ni陰極。在一個實施例中，氧氣還原電流藉由增加曝露於空氣中之材料來增加，對於既定電解質界面面積，藉由增加更多曝露於空氣之陰極表面積。在另一實施例中，氧還原電極(諸如陰極)可完全浸沒於電解質中。來自來源之氧可藉由諸如噴射含氧氣體(諸如 O_2 或空氣)之方法或藉由間歇電解供應。間歇電解電極可為不同材料，諸如不同金屬或不同的本發明材料，該等不同電極選自金屬、碳、碳化物、硼化物、氮化物及腈之群。在一個實施例中，氧還原電極(諸如陰極)可曝露在空氣中，其中電池在電解質-空氣界面處包含電解質固體層以限制還原之氧氣流入電解質中。固體層可因電解質中之溫度梯度所致之固化而形成。

在一個實施例中，電池可包含鹽橋，諸如BASE或NASICON。陰極可包含 H_2O 或 O_2 還原觸媒。 H_2O 及視情況選用之 O_2 可藉由經由多孔電極噴射來供應，多孔電極諸如由外部氧化鋁管內Ni多孔體(Celmet #6, Sumitomo Electric Industries, Ltd)之緊密結合組裝組成之多孔電極。在另一實施例中， H_2O 注射或滴入電解質主體中，且保留足夠時間以在因電解質溶劑化而蒸發之前維持電池電壓。 H_2O 可

週期性或連續反添加。

在一個實施例中，陽極(諸如氫可透陽極)經清潔。例示性Ni(H₂)陽極可藉由磨蝕或藉由浸泡在3% H₂O₂/0.6 M K₂CO₃中接著用蒸餾H₂O清洗來清潔。磨蝕亦將增加表面積。各別地選擇陽極之形態及幾何形狀中之至少一者以增加陽極表面積。表面積可藉由電鍍黑色或粗糙金屬塗層或藉由酸蝕刻表面(諸如金屬表面)來增加。在另一實施例中，至少一個電極之表面積藉由塗覆藉由氣相沈積技術塗覆之塗層(諸如黑色金屬塗層)來增加，氣相沈積技術諸如連續氣相沈積(CVD)、濺鍍、電漿沈積、原子層沈積(ALD)、物理氣相沈積(PVD)(諸如電漿噴塗、陰極弧沈積、電子束物理氣相沈積、蒸發沈積、脈衝雷射沈積及濺鍍沈積)、化學氣相沈積(CVD)、金屬有機氣相處延(MOVDE)及金屬有機化學氣相沈積(MOCVD)。其他適合的方法包含噴塗、漆刷、邁爾桿塗敷(Mayer rod application)、絲網印刷及帶鑄。在其他實施例中，電解質層可藉由此等方法或此項技術中已知之其他方法塗覆。

在一個實施例中，熔融鹽電解質電池之陽極包含至少一種氫化物(諸如LaNi₅H₆)及來自本發明之其他類似物(諸如水性鹼性電池之其他類似物)及金屬(諸如來自以下之群中之一者：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及W)。例示性電池為[M或

$\text{MH/Mg(OH)}_2\text{-NaCl/Ni}$ 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]、[M 或 $\text{MH/Mg(OH)}_2\text{-MgCl}_2\text{-NaCl/Ni}$ 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]、
 [M 或 $\text{MH/Mg(OH)}_2\text{-MgO-MgCl}_2\text{/Ni}$ 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]、[M 或 $\text{MH/Mg(OH)}_2\text{-NaF/Ni}$ 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]、
 [M 或 MH/LiOH-LiX 、 NaOH-NaX 、 KOH-KX 、 RbOH-RbX 、 CsOH-CsX 、 $\text{Mg(OH)}_2\text{-MgX}_2$ 、 $\text{Ca(OH)}_2\text{-CaX}_2$ 、
 $\text{Sr(OH)}_2\text{-SrX}_2$ 或 $\text{Ba(OH)}_2\text{-BaX}_2$ ，其中 $\text{X}=\text{F}$ 、 Cl 、 Br 或 I/Ni 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]、[M 或 $\text{MH/CsNO}_3\text{-CsOH}$ 、 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 及 $\text{RbNO}_3\text{-RbOH/Ni}$ 芯 (H_2O 及視
 情況選用之 O_2)]、及 [M 或 MH/LiOH 、 NaOH 、 KOH 、 RbOH 、 CsOH 、 Mg(OH)_2 、 Ca(OH)_2 、 Sr(OH)_2 或 Ba(OH)_2 +
 以下中之一或多者： AlX_3 、 VX_2 、 ZrX_2 、 TiX_3 、 MnX_2 、 ZnX_2 、 CrX_2 、 SnX_2 、 InX_3 、 CuX_2 、 NiX_2 、 PbX_2 、 SbX_3 、
 BiX_3 、 CoX_2 、 CdX_2 、 GeX_3 、 AuX_3 、 IrX_3 、 FeX_3 、 HgX_2 、 MoX_4 、 OsX_4 、 PdX_2 、 ReX_3 、 RhX_3 、 RuX_3 、 SeX_2 、
 AgX_2 、 TcX_4 、 TeX_4 、 TlX 及 WX_4 ，其中 $\text{X}=\text{F}$ 、 Cl 、 Br 或 I/Ni 芯 (H_2O 及視情況選用之 O_2)]，其中 $\text{MH}=\text{LaNi}_5\text{H}_6$ 及本發明

之其他類似物；M=來自以下之群中之一者：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及W。氣體壓力(諸如 H_2 、 O_2 及空氣之壓力，諸如施加於電池之該等壓力)、 H_2 透過壓力或任何噴射進入電池中之氣體的壓力可為任何所需壓力。適合的壓力在約0.001托至200,000托、約1托至50,000托及約700托至10,000托範圍內。反應物濃度比率可為任何所需值。適合的濃度比率為使功率最大化、成本最小化、增加耐久性、增加再生能力及增強熟習此項技術者已知之其他操作特徵之比率。該等標準亦適用於本發明之其他實施例。適於電解質之例示性濃度比為約共熔混合物之濃度比。在另一實施例中，電池以在整個持續時期相對於 O_2 或 H_2O 添加為封閉之分批模式操作。 H_2 可添加至電池中，或電池在分批期間亦可相對於 H_2 添加為封閉的。陽極處形成之 H_2O 及 H_2 可在陰極處在內循環中反應，或陽極氣態產物可動態移除。反應混合物可在分批後再生。

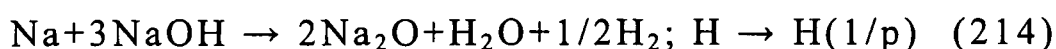
在一個實施例中，熔融氫氧化物電解質包含額外鹽。單獨、與鹼(諸如 MOH ，M=鹼金屬)組合及於任何組合中之例示性電解質為鹼金屬或銨鹵化物、硝酸鹽、過氯酸鹽、碳酸鹽、磷酸鹽及硫酸鹽及 NH_4X (X=鹵化物)、硝酸鹽、過氯酸鹽、磷酸鹽及硫酸鹽。電解質可包含氫氧化物或其他鹽(諸如鹵化物、碳酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽及硝酸鹽)之

混合物。一般而言，例示性的適合鹽單獨或組合為MOH、 M_2S 、 M_3PO_4 、 M_2SO_4 、 M_2CO_3 、MX (X= 鹵離子)、 MNO_3 、MNO、 MNO_2 、MX (X= 鹵離子)、 M_2CO_3 、 M_2SO_4 、 $MHSO_4$ 、 M_3PO_4 、 M_2MoO_4 、 $MNbO_3$ 、 $M_2B_4O_7$ (M之四硼酸鹽)、 MBO_2 、 M_2WO_4 、 M_2CrO_4 、 $M_2Cr_2O_7$ 、 M_2TiO_3 、 $MZrO_3$ 、 $MAIO_2$ 、 $MCoO_2$ 、 $MGaO_2$ 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 $MTaO_3$ 、 MVO_3 、 MIO_3 、 $MFeO_2$ 、 MIO_4 、 $MClO_4$ 、 $MScO_n$ 、 $MTiO_n$ 、 MVO_n 、 $MCrO_n$ 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 $MFeO_n$ 、 $MCoO_n$ 、 $MNiO_n$ 、 MNi_2O_n 、 $MCuO_n$ 、 $MZnO_n$ 、(M為可與氫氧化物之陽離子相同之鹼金屬或銨，且n=1、2、3或4)，及有機鹼性鹽，諸如M之乙酸鹽或M之甲酸鹽。電解質亦可包含該等及其他陰離子及任何可溶於熔融物中之陽離子，諸如鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬及第III、IV、V及VI族之其他陽離子(諸如Al、Ga、In、Sn、Pb、Bi及Te)。

wt%可為任何所需值。額外鹽可為氫氧化物電解質之微量添加劑。氫氧化物電解質(諸如LiOH-LiBr)可為進一步包含添加鹽之共熔混合物。例示性電池為[Ni(H₂)/MOH之熔融電解質及構成混合物之視情況選用之另一鹽及選自以下之群的添加劑： M_2S 、 M_3PO_4 、 M_2SO_4 、 M_2CO_3 、MX (X= 鹵離子)、 MNO_3 、MNO、 MNO_2 、 M_2MoO_4 、 M_2CrO_4 、 $M_2Cr_2O_7$ 、 $MAIO_2$ 、 $MNbO_3$ 、 $M_2B_4O_7$ 、 MBO_2 、 M_2WO_4 、 M_2TiO_3 、 $MZrO_3$ 、 $MCoO_2$ 、 $MGaO_2$ 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 $MTaO_3$ 、 MVO_3 、 MIO_3 、 $MFeO_2$ 、

MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、 MCrO_n 、
 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、 MNi_2O_n 、
 MCuO_n 及 MZnO_n 、($n=1$ 、 2 、 3 或 4)及 M 之乙酸鹽/ $\text{Ni}+\text{空氣}$]
 及 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{LiOH-LiBr}$ 及選自以下之群的添加劑： Li_2S 、
 Li_3PO_4 、 Li_2SO_4 、 Li_2CO_3 、 LiNO_3 、 LiNO 、 LiNO_2 、
 Li_2MoO_4 、 Li_2MoO_3 、 Li_2CrO_4 、 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 LiAlO_2 、
 LiNbO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 LiBO_2 、 Li_2WO_4 、 Li_2TiO_3 、 LiZrO_3 、
 LiCoO_2 、 LiGaO_2 、 Li_2GeO_3 、 LiMn_2O_4 、 Li_4SiO_4 、
 Li_2SiO_3 、 LiTaO_3 、 LiVO_3 、 LiIO_3 、 LiFeO_2 、 LiIO_4 、
 LiClO_4 、 LiScO_n 、 LiTiO_n 、 LiVO_n 、 LiCrO_n 、 LiCr_2O_n 、
 LiMn_2O_n 、 LiFeO_n 、 LiCoO_n 、 LiNiO_n 、 LiNi_2O_n 、 LiCuO_n 及
 LiZnO_n ($n=1$ 、 2 、 3 或 4)及乙酸鋰/ $\text{Ni}+\text{空氣}$]。

涉及例示性電池 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{NaOH}]$ 且亦可在遵循與方程式(101-104)及(113)類似之機制之電解電池中具操作性的由方程式(128)及(61)表示之反應的另一形式為



OH 及 H_2O 中之至少一者可充當觸媒。在一個實施例中，包含可形成 H_2O 之氫氧化物之電池(諸如 $[\text{Na}/\text{BASE}/\text{NaOH}]$)可進一步包含水合物(諸如 $\text{BaI}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，或可向陰極添加 H_2O 。電池可進一步包含經由可透膜(諸如 $\text{Ni}(\text{H}_2)$)供應之 H 來源(諸如氫化物或 H_2 氣體)。

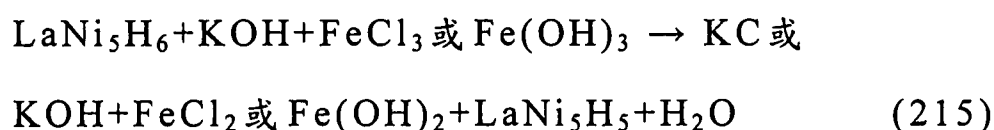
在一個實施例中，陰極包含水來源及氧氣中之至少一者。陰極可為水合物、氧化物、過氧化物、超氧化物、氧(氫氧)化物及氫氧化物。陰極可為不可溶於電解質中之金

屬氧化物，諸如熔融鹽電解質。適合之例示性金屬氧化物為 PbO_2 、 Ag_2O_2 、 AgO 、 RuO_2 、 MnO_2 及以下之群的氧化物：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 及 W。適合之例示性金屬氧(氫氧)化物為 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。適合之例示性氫氧化物為以下之氫氧化物：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 及 W。在一個實施例中，熔融鹽電解質電池之陽極包含至少一種氫化物(諸如 LaNi_5H_6) 及來自本發明之其他類似物(諸如水性鹼性電池之其他類似物)及金屬(諸如來自以下之群中之一者：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 及 W)。適合的氫化物或金屬適合地不可溶於熔融電解質中。陽極可包含氫電極，包含氫透過、噴射或間歇電解氫電極。例示性電池為[氫化物(諸如 LaNi_5H_6)/包含氫氧化物之熔融鹽電解質/Ni 或 Ni 芯(H_2O 及視情況選用之 O_2)]、

[氫化物(諸如 LaNi_5H_6 或 $\text{M}(\text{H}_2)$)/包含氫氧化物之熔融鹽電解質/氧化物, 諸如以下群中之一者: PbO_2 、 Ag_2O_2 、 AgO 、 RuO_2 、 MnO_2 及以下群之氧化物: 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 及 W], 其中 M 為 H_2 可透金屬, 諸如 Ni、Ti、Nb、V 或 Fe, [氫化物(諸如 LaNi_5H_6 或 $\text{M}(\text{H}_2)$)/包含氫氧化物之熔融鹽電解質/氧(氫氧)化物, 諸如以下群中之一者: $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳榴石及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水錳礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$], 其中 M 為 H_2 可透金屬, 諸如 Ni、Ti、Nb、V 或 Fe, 及 [氫化物(諸如 LaNi_5H_6 或 $\text{M}(\text{H}_2)$)/包含氫氧化物之熔融鹽電解質/氫氧化物, 諸如包含來自以下群之陽離子之氫氧化物中之一者: 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 及 W], 其中 M 為 H_2 可透金屬, 諸如 Ni、Ti、Nb、V 或 Fe。

在一個實施例中, 電解質(諸如熔融鹽或水性鹼性溶液)可包含離子化合物, 諸如具有可以一種以上氧化態存在之陽離子之鹽。能夠呈多價之適合例示性陽離子為 Fe^{3+} (Fe^{2+})、 Cr^{3+} (Cr^{2+})、 Mn^{3+} (Mn^{2+})、 Co^{3+} (Co^{2+})、 Ni^{3+}

(Ni^{2+})、 Cu^{2+} (Cu^+)及 Sn^{4+} (Sn^{2+})、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬陽離子(諸如 Eu^{3+} (Eu^{2+}))。陰離子可為鹵離子、氫氧根、氧離子、碳酸根、硫酸根或本發明之另一者。在一個實施例中， OH^- 可氧化且在陽極處與H反應形成 H_2O 。 OH^- 及 H_2O 中之至少一者可充當觸媒。氫化物陽極反應可由方程式(92)給出。能夠呈多價之陽離子可在陰極處還原。例示性淨反應為



在包含能夠呈多價之陽離子之化合物不可溶的情況下，其可包含陰極半電池反應物。其可與導電載體(諸如碳、碳化物、硼化物或腈)混合。本發明之另一氫化物或金屬可充當陽極(諸如來自以下之群中之一者：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及W)，其中陽極反應可由方程式(116)給出。金屬可與電解質(諸如氫氧化物)反應形成氫及觸媒(諸如 OH^- 及 H_2O 中之至少一者)。其他氫氧化物(諸如本發明之氫氧化物)可充當電解質且可替代 KOH 。具有能夠呈多價之陽離子之其他鹽(諸如 $\text{K}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$)可替代 FeCl_3 。在一個實施例中，化合物之還原電勢高於 H_2O 之還原電勢。例示性電池為[可氧化金屬(諸如以下中之一者：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及W)、金屬氫化物(諸如 LaNi_5H_6)或 H_2 及氫可透膜(諸如以下中之一者：V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V及Pd塗佈之Ti)/KOH (飽和水溶液)+具有能夠呈多價之陽離子之鹽(諸如 $\text{K}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 FeCl_3)/導體(諸如碳或粉末金屬)]、[可氧化金屬(諸如以下中之一者：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及W)、金屬氫化物(諸如 LaNi_5H_6)或 H_2 及氫可透膜(諸如以下中之一者：V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V及Pd塗佈之Ti)/KOH (飽和水溶液)/具有能夠呈多價之陽離子之鹽(諸如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Co}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Mn}(\text{OH})_3$ 、 Ni_2O_3 或 $\text{Cu}(\text{OH})_2$)與導體(諸如碳或粉末金屬)混合]、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Pd}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdAg}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 430 SS(H_2)/LiOH-LiX、NaOH-NaX、KOH-KX、RbOH-RbX、CsOH-CsX、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ - MgX_2 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - CaX_2 、 $\text{Sr}(\text{OH})_2$ - SrX_2 或 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ - BaX_2 (其中 X=F、Cl、Br 或 I)及具有能夠呈多價之陽離子之鹽(諸如 $\text{K}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 FeCl_3/Ni)]、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Pd}(\text{H}_2)$ 、 $\text{PdAg}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 430 SS(H_2)/ CsNO_3 -CsOH、CsOH-KOH、CsOH-LiOH、CsOH-NaOH、CsOH-RbOH、 K_2CO_3 -KOH、KBr-KOH、KCl-

KOH、KF-KOH、KI-KOH、KNO₃-KOH、KOH-K₂SO₄、KOH-LiOH、KOH-NaOH、KOH-RbOH、Li₂CO₃-LiOH、LiBr-LiOH、LiCl-LiOH、LiF-LiOH、LiI-LiOH、LiNO₃-LiOH、LiOH-NaOH、LiOH-RbOH、Na₂CO₃-NaOH、NaBr-NaOH、NaCl-NaOH、NaF-NaOH、NaI-NaOH、NaNO₃-NaOH、NaOH-Na₂SO₄、NaOH-RbOH、RbCl-RbOH及RbNO₃-RbOH + 具有能夠呈多價之陽離子之鹽(諸如K₂Sn(OH)₆、Fe(OH)₃或FeCl₃/Ni)]、[Ni(H₂)、V(H₂)、Ti(H₂)、Nb(H₂)、Pd(H₂)、PdAg(H₂)、Fe(H₂)或430 SS(H₂)/LiOH、NaOH、KOH、RbOH、CsOH、Mg(OH)₂、Ca(OH)₂、Sr(OH)₂或Ba(OH)₂+以下中之一或多者：AlX₃、VX₂、ZrX₂、TiX₃、MnX₂、ZnX₂、CrX₂、SnX₂、InX₃、CuX₂、NiX₂、PbX₂、SbX₃、BiX₃、CoX₂、CdX₂、GeX₃、AuX₃、IrX₃、FeX₃、HgX₂、MoX₄、OsX₄、PdX₂、ReX₃、RhX₃、RuX₃、SeX₂、AgX₂、TcX₄、TeX₄、TlX及WX₄(其中X=F、Cl、Br或I)+具有能夠呈多價之陽離子之鹽(諸如K₂Sn(OH)₆、Fe(OH)₃或FeCl₃/Ni)]、[LaNi₅H/KOH (飽和水溶液)/有機金屬(諸如二茂鐵SC)]、及[LaNi₅H₆/KOH (飽和水溶液)/有機金屬(諸如二茂鐵)]。電池可藉由電解或機械再生。

在一個實施例中，低能量氫反應藉由活化能來源傳播。活化能可藉由加熱及化學反應中之至少一者提供。在包含在高電池操作溫度下揮發之水性電池或溶劑或反應物之一個實施例中，給電池加壓，其中電池外殼或至少一個半電

池隔室包含壓力容器。提供活化能之化學反應可為氧化或還原反應，諸如陰極處氧之還原或陽極處 OH^- 之氧化及與H反應形成 H_2O 。H來源可為氫化物，諸如 LaNi_5H_6 。陽極反應亦可包含金屬之氧化，金屬諸如Zn、Co、Sn、Pb、S、In、Ge及本發明之其他類似物。能夠呈多價之陽離子(諸如 Fe^{3+} (Fe^{2+})、 Cr^{3+} (Cr^{2+})、 Mn^{3+} (Mn^{2+})、 Co^{3+} (Co^{2+})、 Ni^{3+} (Ni^{2+})、 Cu^{2+} (Cu^+)及 Sn^{4+} (Sn^{2+})中之一者)之還原可提供活化能。透過氫可透膜且形成諸如金屬氫化物(諸如 LiH)之化合物的在陰極處形成之H的透過可提供活化能。在一個實施例中，CIHT電池之反應亦用於產生熱以用於諸如維持電池操作(諸如供應反應之活化能)或維持使用之熔融電解質之目的。熱輸出亦可用於加熱外部負載。或者，反應可在無電極下進行以產生維持低能量氫反應之熱並向外部負載供應熱。在間歇電解電池(諸如 $[\text{PtTi}/\text{H}_2\text{SO}_4(5\text{ M水溶液})/\text{PtTi}]$ 間歇充電-放電)之一個實施例中，電極會在放電期間短路或因電阻加熱器短路而產生可消散於CIHT電池中之熱。

在一個實施例中，氧物質(諸如 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、 O 、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-} 中之至少一者)可與H物質(諸如 H_2 、 H 、 H^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、 OH 、 OH^+ 、 OH^- 、 HOOH 及 OOH^- 中之至少一者)進行氧化反應，形成充當形成低能量氫之觸媒的OH與 H_2O 中之至少一者。H物質來源可為諸如氫化物(諸如 LaNi_5H_6)、氫氧化物或氧(氫氧)化物之化合物、 H_2 或 H_2 來

源與氫可透膜(諸如 $\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 $\text{Nb}(\text{H}_2)$)中之至少一者。O物質可由 H_2O 或 O_2 在陰極之還原反應提供。O物質之 O_2 來源可來自空氣。或者，O物質可供應給電池。O物質(諸如 OH^- 、 HOOH 、 OOH^- 、 O^- 、 O^{2-} 、 O_2^- 及 O_2^{2-})之適合來源為氧化物、過氧化物(諸如鹼金屬之過氧化物)、超氧化物(諸如鹼金屬及鹼土金屬之超氧化物)、氫氧化物及氧(氫氧)化物(諸如本發明之氧(氫氧)化物)。例示性氧化物為過渡金屬之氧化物(諸如 NiO 及 CoO)及錫之氧化物(諸如 SnO)、鹼金屬之氧化物(諸如 Li_2O 、 Na_2O 及 K_2O)及鹼土金屬之氧化物(諸如 MgO 、 CaO 、 SrO 及 BaO)。諸如 NiO 或 CoO 之氧化物來源可添加至熔融鹽電解質中。其他例示性氧化物為來自 Cu 、 Ni 、 Pb 、 Sb 、 Bi 、 Co 、 Cd 、 Ge 、 Au 、 Ir 、 Fe 、 Hg 、 Mo 、 Os 、 Pd 、 Re 、 Rh 、 Ru 、 Se 、 Ag 、 Tc 、 Te 、 Tl 、 Sn 及 W 之群之一。例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)$ 、 $\text{V}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Ti}(\text{H}_2)$ 、 $\text{Fe}(\text{H}_2)$ 或 $\text{Nb}(\text{H}_2)$ 或氫化物(諸如 LaNi_5H_6)/包含鹼金屬氫氧化物之共熔鹽電解質(諸如 LiOH - NaOH 、 LiOH - LiX 、 NaOH - NaX (X = 鹵離子或硝酸根)或 LiOH - Li_2X 或 NaOH - Na_2X (X = 硫酸根或碳酸根))及 Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、 MgO 、 CaO 、 SrO 或 BaO 或 Cu 、 Ni 、 Pb 、 Sb 、 Bi 、 Co 、 Cd 、 Ge 、 Au 、 Ir 、 Fe 、 Hg 、 Mo 、 Os 、 Pd 、 Re 、 Rh 、 Ru 、 Se 、 Ag 、 Tc 、 Te 、 Tl 、 Sn 或 W 之氧化物、過氧化物(諸如鹼金屬之過氧化物)或超氧化物(諸如鹼金屬及鹼土金屬之超氧化物)/ Ni 或可與陽極相同之其他金屬]。

在一個實施例中， OH^- 可在陽極處被氧化且與 H 反應，

形成可充當使H形成低能量氫之觸媒的 H_2O 。在兩種情況下，H可來自諸如氫化物(諸如 $LaNi_5H_6$)或可透過膜(諸如Ni、Ti、V、Nb、Pd、PdAg或Fe)之 H_2 的來源，來自流過管線642及調節器644之氫來源，諸如槽或供應器640(圖5)。來源可為水性電解電池640，其具有 H_2 與 O_2 隔板，以供應實質上純的 H_2 。 H_2O 可在陰極處還原成 H_2 及 OH^- 。在圖5所示之一個實施例中，CIHT電池包含 H_2O 及 H_2 收集及再循環系統。CIHT電池650包含容器651、陰極652、陽極653、負載654、電解質655及用於收集來自CIHT電池之 H_2O 蒸氣(諸如在陽極形成之 H_2O 蒸氣)的系統657。 H_2O 收集系統包含連接至電池之第一腔室658，其經由自電池至 H_2O 收集腔室658之蒸氣通道659接收 H_2O 蒸氣。收集系統包含 H_2O 吸收器與 H_2O 冷凝器中之至少一者660。收集之水可以 H_2O 蒸氣或液體水形式，經由通道661，在由泵663或由用加熱器665加熱收集之水所產生之壓力輔助下，返回到CIHT電池。水流量及任何蒸氣壓力可在腔室中由閥666、667及668控制，由計量器669監測。水可返回到陰極652，其可為返回之 H_2O 所可透。CIHT電池進一步包含系統671以收集來自CIHT電池之 H_2 。 H_2 收集系統包含含有 H_2 吸氣劑673之第二腔室672，其中來自陽極來源之未反應 H_2 與在陰極形成之 H_2 可由 H_2 吸氣劑收集。具有至少部分由 H_2O 收集系統移除之水的 H_2 經由氣體通道675自第一腔室流至第二腔室。在一個實施例中， H_2 選擇性膜存在於腔室之間，以防止 H_2O 進入第二腔室且與吸氣劑反應。吸氣劑

可包含過渡金屬、鹼金屬、鹼土金屬、內過渡金屬、稀土金屬、金屬組合、合金及氫儲存材料(諸如本發明之氫儲存材料)。收集之 H_2 可經由通道676，在由泵678或由用加熱器680加熱吸氣劑或收集之 H_2 所產生之壓力輔助下，返回到CIHT電池。 H_2 流量及壓力可在腔室中由閥681及682控制，由計量器684監測。在針對電池打開閥681及關閉閥682之情況下，吸氣劑可收集氫，其中加熱器維持其在適於再吸收 H_2 之一個溫度下。接著可關閉閥681，且溫度升高至引起釋放之氫經計量器684量測達到所需壓力的溫度。可打開閥682，以允許經加壓之氫流向電池。可流向包含 H_2 可透壁之陽極653。在重複循環中，可關閉閥682，加熱器680之溫度發生降低，且打開閥681，以用吸氣劑673收集 H_2 。在一個實施例中，加熱器、閥及計量器之電力可由CIHT電池提供。在一個實施例中，當引入 H_2 或 H_2O 至電池中時收集系統與電池之間的溫度差可用以達到所需壓力。舉例而言， H_2 可在密封室中處於第一溫度及壓力下，該密封室浸於熱鹽中以在較高鹽溫度下達到第二較高壓力。在一個實施例中，CIHT電池包含複數個氫可透陽極，該等陽極可經由共同的氣體歧管供應氫。

在圖5所示之系統的另一實施例中， O_2 來源係於陰極651處供應，諸如空氣、 O_2 、氧化物、 H_2O 、 $HOOH$ 、氫氧化物及氧(氫氧)化物中之至少一者。氧來源亦可經由可為複數個之選擇性閥或膜646供應給電池，其中膜為 O_2 可透膜，諸如鐵氟龍膜。接著系統657包含 H_2 與其他電池氣體

(諸如氫氣、水蒸氣及氧氣中之至少一者)之隔板，其中系統671收集未使用之氫且使其諸如經由 H_2 可透陽極653返回到電池。系統657可冷凝水。系統667可另外或視情況包含選擇性 H_2 可透膜及閥668，其可位於系統657之出口上，保留 O_2 、 N_2 及可能存在之水且允許 H_2 選擇性地傳至系統671。在一個實施例中，控制陰極651及電池之一或多者處之水蒸汽壓以控制電池電力輸出。

在一個實施例中， H_2 可透電極經 H_2 鼓泡陽極653置換。 H_2 可在不移除 H_2O 之情況下使用至少一個泵(諸如678)再循環。若氧氣諸如經由選擇性閥或膜646或在 O_2 可透陰極652處供應給電池，則其可藉由系統657自 H_2 移除。藉由噴射供應 H_2 、 H_2O 、空氣及 O_2 中之至少一者之一個例示性多孔電極包含在外部氧化鋁管內Ni多孔體(Celmet #6, Sumitomo Electric Industries, Ltd)之緊密結合的組裝。若空氣供應給電池，則 N_2 視情況自再循環之 H_2 氣體中移除。經消耗以形成低能量氫或自系統中損失之任何 H_2 可被置換。 H_2 可由 H_2O 電解置換。電解電力可來自CIHT電池。

控制可透陽極之氫滲透速率或鼓泡陽極之流動速率以相對於氫與氧形成水之傳統反應而因低能量氫反應使電力增益最佳化。考慮諸如暴露於電解質之外表面之物理尺寸所界定之活性表面積，適合之流動速率在以下範圍內：約 10^{-12} 至 $10^{-2} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、約 10^{-11} 至 $10^{-6} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、約 10^{-10} 至 $10^{-7} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、及約 10^{-9} 至 $10^{-8} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。諸如在空氣中 O_2 、 H_2O 及 O_2 與 H_2O 之混合物中之至少一者之陰極還原速

率可為在陽極處維持既定氫滲透速率或流動速率之電池反應的任何所需的速率。以每有效表面之電流表示之適合的速率在約 0.001 至 1000 mA cm^{-2} 、約 0.1 至 100 mA cm^{-2} 、及約 0.5 至 10 mA cm^{-2} 範圍內。在一個實施例中，陰極氣體可包含 O_2 、 H_2O 及 N_2 之混合物。莫耳分數可為任何所需值。雖然適合的莫耳分數為約空氣之莫耳分數 (O_2 約 20%、 N_2 約 80%、 H_2O 約 0.5-3%)，但任何既定組分可在約 0.1 至 99 mol% 範圍內變化。在其他實施例中， $\text{O}_2/\text{N}_2/\text{H}_2\text{O}$ mol% 分別在約 1 至 99%、1 至 99%、及 0.0001 至 99% 範圍內，總計構成約 100%。亦可提供諸如空氣之 Ar 之其他氣體。在一個實施例中，自進入電池之氣體中除去 CO_2 。

在一個實施例中，CIHT 電池包含共軸設計，其中 H_2 可透可透管位於中心，且電解質及陰極管同心在外，其中外管充當陰極。在其他設計中，電極為可包含空氣擴散電極之漫射陽極及陰極之相對 H_2 可透。該設計可類似於水性鹼性電池的設計。

在產生結合能增加之氫物質及化合物及熱能之一個實施例中，圖 5 中所示之電池可包含供應 H 之氫可透膜及氫腔室 653 且可能缺乏陰極 652。隨後，低能量氫熱反應器包含可透膜 653，其隔開填充有加壓氫氣之由封閉膜 653 界定的氫腔室與填充有鹼性溶液及能夠與氫反應形成至少觸媒 $n\text{H}$ 、 OH 、 $n\text{O}$ 、 O_2 及 H_2O (n =整數) 以形成低能量氫之氧化劑的反應腔室 655。氫可透膜及氫腔室 653 可具有大表面積。適合的系統為長螺旋管，諸如 Ni 管或本發明之另一材料的管，

諸如經Ni塗佈之V、Ta、Ti、不鏽鋼(SS) 430或Nb。在一個實施例中，氫透過膜進入反應腔室中以引起在反應腔室中形成觸媒及原子H，且藉由形成低能量氫而產生熱力。反應器可進一步包含入口及出口管線(例如659)以傳遞氧化劑或其他反應腔室反應物及移出反應腔室產物。電池可連續地操作。反應產物可藉由以下方法再生：本發明方法；吾先前申請案中揭示之方法：Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US08/61455，PCT 4/24/2008申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US09/052072，PCT 7/29/2009申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US10/27828，PCT 3/18/2010申請；及Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US11/28889，PCT 3/17/2011申請(該等文獻以全文引用之方式併入本文中)；或熟習此項技術者已知之方法。氫腔室可具有氫管線，諸如676；及系統，諸如槽或供應器640、管線642及用於監測及控制氫氣壓力及流量之調節器644。在一個實施例中， H_2 及氧化劑 O_2 可由電解單元640產生。在另一實施例中，電池可包含氫可透膜653，其中H可與氧來源(諸如 OH^- 或氧陰離子，諸如本發明者)反應以形成可充當使另一H形成低能量氫之觸媒的 OH 及 H_2O 中之至少一者。以協同方式，氧化劑可經受還原。還原反應可形成氧陰離子，諸如 OH^- 。反應可包含本發明燃料電池實施例之氧化還原反應。電池可進一步包含可電連接至充當陽極之氫膜之陰極652。或者，容器壁(諸如651)可充當還原反應之相對電

極。氧化劑可包含可間歇或連續供應至電池655之氧氣。氧化劑可在陰極處供給。

溶液可包含鹼，諸如 MOH 、 M_2CO_3 (M 為鹼金屬)、 $\text{M}'(\text{OH})_2$ 、 $\text{M}'\text{CO}_3$ (M' 為鹼土金屬)、 $\text{M}''(\text{OH})_2$ 、 MCO_3 、(M'' 為過渡金屬)、稀土金屬氫氧化物、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{In}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Ga}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Bi}(\text{OH})_3$ 及本發明其他氫氧化物及羥基氧化物之群中的至少一者。溶劑可為水性溶劑或本發明之其他溶劑。氫可透過膜，且與 OH^- 反應，形成可充當形成低能量氫之觸媒之 OH 與 H_2O 中的至少一者。反應混合物可進一步包含促進形成 OH 與 H_2O 觸媒中之至少一者之反應的氧化劑。氧化劑可包含 H_2O_2 、 O_2 、 CO_2 、 SO_2 、 N_2O 、 NO 、 NO_2 、 O_2 ，或充當 O 來源或充當如本發明中所給出或熟習此項技術者已知之氧化劑的另一化合物或氣體。其他適合之例示性氧化劑為 P_2O_5 、 CoO_2 、 MnO_2 、 Mn_2O_3 、 $\text{M}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 MNO_3 、 MMnO_4 、 MOCl 、 MClO_2 、 MClO_3 、 MClO_4 (M 為鹼金屬) 及羥基氧化物，諸如 $\text{WO}_2(\text{OH})$ 、 $\text{WO}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{VO}(\text{OH})_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_2(\text{OH})_6$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ 、 $\text{V}_2\text{O}_3(\text{OH})_4$ 、 $\text{V}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ 、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{OH})$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}(\text{OH})_5$ 、 $\text{MnO}_3(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})_5$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_4(\text{OH})_6$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{TiO}(\text{OH})$ 、 $\text{TiO}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_3(\text{OH})$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_2(\text{OH})_3$ 、 $\text{Ti}_2\text{O}_2(\text{OH})_4$ 及 $\text{NiO}(\text{OH})$ 。一般而言，氧化劑可為 $\text{M}_x\text{O}_y\text{H}_z$ ，其中 x、y 及 z 為整數且 M 為金

屬，諸如過渡、內過渡或稀土金屬，諸如金屬羥基氧化物。氧化劑可包含與氫反應形成諸如OH與H₂O中之至少一者之觸媒的氧來源。對於x及y為整數，適合之氧來源為O₂、H₂O₂、MnO₂、氧化物、碳之氧化物，較佳為CO或CO₂、氮之氧化物、N_xO_y，諸如N₂O及NO₂、硫之氧化物、S_xO_y，較佳為氧化劑，諸如M₂S_xO_y(M為鹼金屬)，Cl_xO_y，諸如Cl₂O、ClO₂、NaClO₂，濃酸及其混合物，諸如HNO₂、HNO₃、H₂SO₄、H₂SO₃、形成鎔離子(NO₂⁺)之酸、NaOCl、I_xO_y，較佳地I₂O₅、P_xO_y、S_xO_y，無機化合物之氧陰離子，諸如亞硝酸根、硝酸根、氯酸根、硫酸根、磷酸根之一，金屬氧化物，諸如氧化鈷，氮氧化物、氧(氮氧)化物、過氯酸鹽、及過氧化物，諸如M₂O₂(其中M為鹼金屬)，諸如Li₂O₂、Na₂O₂及K₂O₂，及超氧化物，諸如MO₂(其中M為鹼金屬)，諸如NaO₂、KO₂、RbO₂及CsO₂，及鹼土金屬超氧化物。離子過氧化物可進一步包含Ca、Sr或Ba之離子過氧化物。其他適合之氧來源包含以下群中之一或多者：SO₂、SO₃、S₂O₅Cl₂、F₅SOF、M₂S₂O₈、SO_xX_y(諸如SOCl₂、SOF₂、SO₂F₂、SOBr₂)、P₂O₅、PO_xX_y(諸如POBr₃、POI₃、POCl₃或POF₃)、TeO₂、MNO₃、MNO、MNO₂、M₂CO₃、MHCO₃、M₂SO₄、MHSO₄、M₃PO₄、M₂HPO₄、MH₂PO₄、M₂MoO₄、MNbO₃、M₂B₄O₇(M之四硼酸鹽)、MBO₂、M₂WO₄、M₂CrO₄、M₂Cr₂O₇、M₂TiO₃、MZrO₃、MAlO₂、MCoO₂、MGaO₂、M₂GeO₃、MMn₂O₄、M₄SiO₄、M₂SiO₃、MTaO₃、MVO₃、

MIO_3 、 MFeO_2 、 MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、
 MCrO_n 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、
 MNi_2O_n 、 MCuO_n 及 MZnO_n (其中M為鹼金屬，且 $n=1$ 、 2 、 3
 或 4)、氧陰離子、強酸之氧陰離子、氧化劑、分子氧化劑
 (諸如 V_2O_3 、 I_2O_5 、 MnO_2 、 Re_2O_7 、 CrO_3 、 RuO_2 、 AgO 、
 PdO 、 PdO_2 、 PtO 、 PtO_2 、 I_2O_4 、 I_2O_5 、 I_2O_9 、 SO_2 、 SO_3 、
 CO_2 、 N_2O 、 NO 、 NO_2 、 N_2O_3 、 N_2O_4 、 N_2O_5 、 Cl_2O 、
 ClO_2 、 Cl_2O_3 、 Cl_2O_6 、 Cl_2O_7 、 PO_2 、 P_2O_3 及 P_2O_5)、 NH_4X ，
 其中X為硝酸根或熟習此項技術者已知之其他適合陰離
 子，諸如包含以下之群中之一者： NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、
 HSO_4^- 、 CoO_2^- 、 IO_3^- 、 IO_4^- 、 TiO_3^- 、 CrO_4^- 、 FeO_2^- 、 PO_4^{3-} 、
 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 VO_3^- 、 ClO_4^- 及 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 。在另一實施例
 中，O來源或O物質可包含至少一種化合物或化合物之混
 合物，其包含O、 O_2 、空氣、氧化物、 NiO 、 CoO 、鹼金屬
 氧化物、 Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O 、鹼土金屬氧化物、 MgO 、
 CaO 、 SrO 及 BaO 、來自Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、
 Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、
 Ag、Tc、Te、Tl、Sn及W之群之氧化物、過氧化物、鹼金
 屬過氧化物、超氧化物、鹼金屬或鹼土金屬超氧化物、氫
 氧化物、鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及第
 III、IV或V族金屬氫氧化物、氧(氫氧)化物、 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、
 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α -
 $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 礬 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、
 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、

$\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。諸如金屬氧化物之化合物可為奈米粉末。粒子尺寸可在約1 nm至100 μm 、10 nm至50 μm 、或50 nm至10 μm 範圍內。

電池可在高溫下操作，諸如在約25°C至1000°C或約200°C至500°C之溫度範圍中。容器651可為壓力容器。氫氣可於高壓下供應，諸如在約2至800 atm或約2至150 atm範圍內。可添加諸如約0.1至10 atm N_2 或Ar之惰性氣體保護層，以防止諸如水溶液之溶液沸騰。反應物可呈任何所需莫耳濃度比率。一例示性電池為 $\text{Ni}(\text{H}_2 \text{ 50-100 atm})$ $\text{KOH}+\text{K}_2\text{CO}_3$ ，其中KOH濃度在0.1 M至飽和之莫耳範圍內， K_2CO_3 濃度在0.1 M至飽和之莫耳範圍內，且容器在約200-400°C之操作溫度下。在另一實施例中，鹼可包含熔融鹽，諸如氫氧化物熔融物。熔融物可進一步包含至少一種其他化合物，諸如鹽，諸如金屬鹵化物。混合物可為共熔混合物。適合的氫氧化物混合物在表4中給出。混合物可進一步包含至少一些 H_2O ，諸如0.1至95 wt%、0.1至50 wt%、0.1至25 wt%、0.1至10 wt%、0.1至5 wt%或0.1至1 wt%。在另一實施例中， H_2 滲透膜可用 H_2 鼓泡或噴射電極(諸如本發明電極)代替。氫來源可包含多孔材料，諸如氫管線周圍之金屬多孔體(例如Ni，諸如Celmet #4、#6或#8，Sumitomo Electric Industries, Ltd.)之緊密結合組裝，氫管線可進一步包含外部氧化鋁管，其中氫氣經由該管噴射且在與熔融物接觸之多孔材料表面上擴散。在一個實施例中，收集未反應的 H_2 並再循環。氫氣可藉由已知方法

(諸如膜分離、共氣體之選擇性反應或低溫分離方法)與所存在之任何其他氣體分離。經消耗以形成低能量氫之氫氣及任何水可添加回至電池供應處。

在實施例中，選擇膜材料、厚度及氫氣壓力以達成所需透過速率。在一個實施例中，電池溫度在約25至2000°C、100至1000°C、200至750°C、或250°C至500°C範圍內。若電池包含滲透膜及熔融反應混合物，則維持電池溫度高於混合物之熔點且處於達成所需透過速率之程度。因此，在一個實施例中，維持電池溫度至少反應物之熔點及高於熔點。高於熔點之溫度可在高於熔點約0至1500°C、高於熔點約0至1000°C、高於熔點0至500°C、高於熔點0至約250°C、或高於熔點0至100°C範圍內。膜厚度可在約0.0001至0.25 cm、0.001至0.1 cm、或0.005至0.05 cm範圍內。氫氣壓力可維持在約1托至1000 atm、10托至100 atm、或100托至5 atm範圍內。氫氣可透速率可在約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、或 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 範圍內。每H₂鼓泡或噴射氫來源之幾何面積氫氣流動速率可在約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、或 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 範圍內。在多孔電極材料之一個實施例中，孔徑在約1 nm至

1 mm、10 nm至100 μm 、或0.1至30 μm 範圍內。

在形成結合能增加之氫氣物質及化合物及熱系統之另一化學反應器的一個實施例中， $n\text{H}$ (n =整數)可充當觸媒。反應混合物可包含可形成氫化物之元素或化合物，諸如氫儲存材料及氫來源。材料可經可逆性氫化以引起形成充當反應物及觸媒的原子氫而形成低能量氫。氫儲存材料(諸如形成氫化物之金屬)可為一或多種本發明氫儲存材料。適合之例示性相應金屬氫化物為選自 R-Ni 、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 、 $\text{ZrCr}_2\text{H}_{3.8}$ 、 $\text{LaNi}_{3.55}\text{Mn}_{0.4}\text{Al}_{0.3}\text{Co}_{0.75}$ 、 $\text{ZrMn}_{0.5}\text{Cr}_{0.2}\text{V}_{0.1}\text{Ni}_{1.2}$ 之至少一者，及能夠儲存氫之其他合金，諸如選自之一者： $\text{AB}_5(\text{LaCePrNdNiCoMnAl})$ 或 $\text{AB}_2(\text{VTiZrNiCrCoMnAlSn})$ 型，其中該「 AB_x 」名稱係指A型元素(LaCePrNd 或 TiZr)與B型元素(VNiCrCoMnAlSn)之比， AB_5 型： $\text{MmNi}_{3.2}\text{Co}_{1.0}\text{Mn}_{0.6}\text{Al}_{0.11}\text{Mo}_{0.09}$ (Mm =密鈷合金(*misch metal*): 25重量% La 、50重量% Ce 、7重量% Pr 、18重量% Nd)， AB_2 型： $\text{Ti}_{0.51}\text{Zr}_{0.49}\text{V}_{0.70}\text{Ni}_{1.18}\text{Cr}_{0.12}$ 合金、基於鎂之合金、 $\text{Mg}_{1.9}\text{Al}_{0.1}\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}$ 合金、 $\text{Mg}_{0.72}\text{Sc}_{0.28}(\text{Pd}_{0.012}+\text{Rh}_{0.012})$ ，及 $\text{Mg}_{80}\text{Ti}_{20}$ 、 $\text{Mg}_{80}\text{V}_{20}$ 、 $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.4}\text{Co}_{2.5}\text{Si}_{0.1}$ 、 $\text{LaNi}_{5-x}\text{M}_x$ ($\text{M}=\text{Mn}$ 、 Al)、($\text{M}=\text{Al}$ 、 Si 、 Cu)、($\text{M}=\text{Sn}$)、($\text{M}=\text{Al}$ 、 Mn 、 Cu)及 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 化合物、 TiFe 、 TiCo 及 TiNi ， AB_n 化合物($n=5$ 、2或1)， AB_{3-4} 化合物、 AB_x ($\text{A}=\text{La}$ 、 Ce 、 Mn 、 Mg ； $\text{B}=\text{Ni}$ 、 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 、 $\text{LaNi}_{4.5}\text{Co}_{0.5}$ 、 $(\text{Ce}、\text{La}、\text{Nd}、\text{Pr})\text{Ni}_5$ 、密鈷合金-鎳合金、 $\text{Ti}_{0.98}\text{Zr}_{0.02}\text{V}_{0.43}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.05}\text{Mn}_{1.5}$ 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9$ 及 TiMn_2 。可逆氫化物材料可為奈米粉末。粒子尺寸可在約1 nm至100 μm 、10 nm至50 μm 、或50 nm至10 μm 範圍內。電池可維持在某一溫度範圍內或在某一溫度範圍內循環。在一個實施例中，電池溫度在約25至2000°C、100至1000°C、200至750°C、或250至500°C範圍內。在一個實施例中，為將材料氫化及去氫化，電池電壓維持在某一範圍內或在某一範圍內循環。氫氣壓力可維持在約0.001毫托至1000 atm、10托至100 atm、或100托至5 atm範圍內。

在一個實施例中，用於形成結合能增加之氫物質及化合物(諸如低能量氫)的反應混合物包含氫來源(諸如氫氣)及氧來源(諸如包含氧或氧氣之氧化劑)。氫可與氧反應形成可充當觸媒之 $n\text{H}$ 、 O 、 $n\text{O}$ 、 O_2 、 OH 及 H_2O (n =整數)中之至少一者。反應混合物亦可包含氫解離體，諸如本發明之氫解離體，諸如 R-Ni 或貴金屬/載體(諸如 Ti 或 Al_2O_3)。反應混合物可進一步包含至少一種其他元素或化合物(諸如鹼金屬或鹼土金屬鹵化物)以形成包含氫化物之化合物，氫化物諸如 MH 或 MHX (M =鹼金屬， X =鹵離子)或 MH_2 或 MHX_2 (M =鹼土金屬， X =鹵離子)。例示性反應混合物為 H_2 氣體、氧化劑 KHSO_4 及 LiCl ，在諸如300至1000°C或約400至600°C之高溫及在約0.1至100 atm H_2 或約2至5 atm H_2 下運轉。在其他實施例中，反應混合物包含吾先前申請案中

揭示之反應混合物：Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US08/61455，PCT 4/24/2008 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US09/052072，PCT 7/29/2009 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US10/27828，PCT 3/18/2010 申請；及 Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US11/28889，PCT 3/17/2011 申請(該等文獻以全文引用之方式併入本文中)。適合之反應混合物為在反應物反應期間形成 H_2O 及原子氫之反應混合物。

在實施例中，電池可包含熟習此項技術者已知之一或多種類型，諸如包含以下之電池：(i)自由液體電解質、(ii)於孔隙系統中之液體電解質，(iii)電解質固定於電極基質中之基質電池，及(iv)降膜電池。在一個實施例中，電解質可藉由熟習此項技術者已知之方式循環。系統可包含泵、槽及熱交換器、 CO_2 洗滌器及過濾器及視情況選用之其他處理系統及向堆疊供給空氣之鼓風機。此允許處理電解質以移除產物或雜質(諸如 NiO 及碳酸鹽)，維持所需組成及所需溫度。

在一個實施例中，水性鹼性電池包含圖2中所示之一膜雙室電池，其中變化為陽極膜與隔室475可不存在。陽極可包含在與 OH^- 反應成 H_2O 中氧化之金屬，如方程式(116)所給出。 OH 與 H_2O 中之至少一者可充當觸媒。陽極金屬可為 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及W之群中之一者。或者，陽極可包含氫化物，諸如LaNi₅H₆及本發明之其他氫化物，其提供H且將OH⁻氧化成H₂O，如方程式(92)所給出。陽極亦可包含可在隔室475中之H₂可透膜472與氫來源(諸如H₂氣體)，氫來源提供H且將OH⁻氧化成H₂O，如方程式(123)所給出。在陰極，H₂O可還原成H₂及OH⁻，如方程式(94)所給出。陰極473可包含對氫氣具有高滲透性之金屬。電極可包含提供較高表面積之幾何結構，諸如管形電極，或其可包含多孔電極。為提高水還原之速率及產率中之至少一者，可使用水還原觸媒。在另一實施例中，陰極半電池反應物包含與H形成化合物，釋放能量以提高H₂O還原速率及產率中之至少一者的H反應物。H反應物可含於陰極室474中。由水還原形成之H可透過氫可透膜473且與H反應物反應。H可透電極可包含V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V、Pd塗佈之Ti、稀土金屬、其他耐火金屬及熟習此項技術者已知之其他該等金屬。H反應物可為形成氫化物之元素或化合物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、合金或其混合物及氫儲存材料，諸如本發明之氫儲存材料。例示性反應為

陰極外壁



陰極內壁

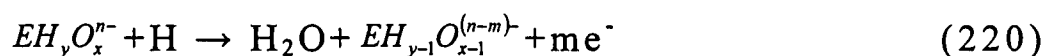
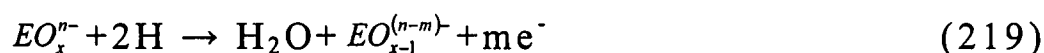


化學物質可藉由加熱在陰極室中形成之任何氫化物，使其熱分解來熱再生。氫氣可流動或抽吸至陽極室以使初始陽極反應物再生。再生反應可發生在陰極室與陽極室中，或該等隔室中之一或兩者中的化學物質可輸送至一或多個反應容器進行再生。或者，初始陽極金屬或氫化物及陰極反應物(諸如金屬)可藉由原位或遠距離電解再生。例示性電池為[可氧化金屬(諸如V、Zr、Ti、Mn、Zn、Cr、Sn、In、Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl及W之一)、金屬氫化物(諸如 LaNi_5H_6)或 H_2 及氫可透膜(諸如V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V及Pd塗佈之Ti之一)/KOH(飽和水溶液)/M(M')]]，其中M=氫可透膜，諸如V、Nb、Fe、Fe-Mo合金、W、Mo、Rh、Ni、Zr、Be、Ta、Rh、Ti、Th、Pd、Pd塗佈之Ag、Pd塗佈之V及Pd塗佈之Ti之一且M'為形成氫化物之金屬，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、合金或其混合物或氫氣儲存材料。電池可在高溫及高壓下運轉。

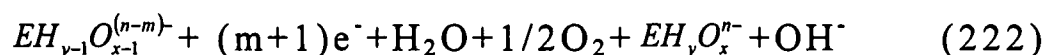
在一個實施例中， $n\text{H}$ 、 O 、 $n\text{O}$ 、 OH 及 H_2O (n =整數)中之至少一者可充當觸媒。H可與氧來源反應形成 OH 及 H_2O 中之至少一者。氧來源可為氧陰離子。電解質可包含含氧陰離子之化合物。例示性適合的氧陰離子為氫氧化物、碳酸鹽、硝酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽、鉻酸鹽、重鉻酸鹽、高氯酸鹽及過碘酸鹽中之至少一者。一般而言，單獨或組合充

當氧來源之例示性適合的化合物為 MNO_3 、 MNO 、 MNO_2 、 MOH 、 M_2CO_3 、 MHCO_3 、 M_2SO_4 、 MHSO_4 、 M_3PO_4 、 M_2HPO_4 、 MH_2PO_4 、 M_2MoO_4 、 MNbO_3 、 $\text{M}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (M之四硼酸鹽)、 MBO_2 、 M_2WO_4 、 M_2CrO_4 、 $\text{M}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 M_2TiO_3 、 MZrO_3 、 MAlO_2 、 MCoO_2 、 MGaO_2 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 MTaO_3 、 MVO_3 、 MIO_3 、 MFeO_2 、 MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、 MCrO_n 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、 MNi_2O_n 、 MCuO_n 、 MZnO_n (M為鹼金屬或銨且 $n=1, 2, 3$ 或 4 ；M亦可為另一陽離子，諸如鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬陽離子、或第13至16族金屬陽離子)及有機鹼性鹽(諸如M之乙酸鹽或M之羧酸鹽)。形成作為觸媒之OH及 H_2O 中之至少一者以形成低能量氫的反應可以氧陰離子之氧化反應的形式發生。反應可進一步涉及與H的反應。反應可在陽極處發生。在H存在下觸媒OH及 H_2O 中之至少一者的形成可藉由觸媒催化H形成低能量氫。例示性一般反應(其中E表示元素或化合物)為

陽極



陰極





在一個特定實例中，形成觸媒 H_2O 之適合的反應(其中 CO_3^{2-} 充當氧來源)為

陽極

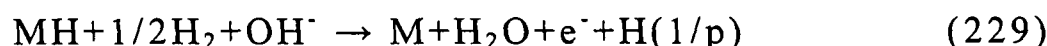
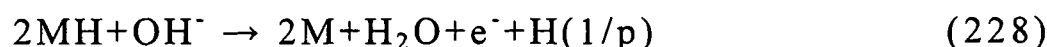


陰極



或者，氫可與可包含金屬 M' (諸如 Ni 或 Co)之陽極反應以形成相應氫化物，氫化物藉由以下機制進一步反應，諸如

陽極



其他氧陰離子可發生類似反應。在其他實施例中，另一氧陰離子及相應氧化物質(諸如氣體)分別替代 CO_3^{2-} 及 CO_2 。例示性陰離子及氣體或化合物分別為 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及 PO_4^{3-} ，及 SO_2 、 NO_2 及 P_2O_5 。電池可用產物氣體或化合物(諸如 CO_2 、 SO_2 或 NO_2)供給。或者，氣體或化合物(諸如 CO_2 、 SO_2 或 NO_2)可在電池中再循環。電池可包含諸如半透膜之構件以保留氣體或化合物同時維持開放電池，諸如對空氣及視情況選用之添加之 O_2 及 H_2O 中之至少一者開放之電池。電池亦可包含供給該等氣體(諸如 O_2 及 H_2O)之管線。管線可具有維持定向流以防止氧陰離子氧化產物逃逸之閥

門。在一個實施例中，氧化產物為元素或化合物，諸如S或P。產物可經受還原以形成相應化合物，諸如硫化物或磷化物。或者，產物與供應至電池之氧反應形成氧陰離子，諸如原始反應物氧陰離子(諸如 SO_4^{2-} 或 PO_4^{3-})。在間歇電解之情況下，電池可為封閉或半封閉的，其中氧及氫現場生成。隨後，可週期性添加補充氣體以維持電解質及氫來源形成低能量氫。氣體(諸如 CO_2 、 SO_2 或 NO_2)可內部再循環。

在形成低能量氫以進行產生低能量氫物質及化合物及產生能量中之至少一者的另一實施例中，反應混合物包含原子氫來源及包含H及O中之至少一者的觸媒來源，諸如本發明觸媒來源，諸如 H_2O 觸媒。原子氫可由 H_2 氣體藉由解離形成。氫解離體可為一種本發明氫解離體，諸如R-Ni或貴金屬或過渡金屬/載體(諸如Ni或Pt或Pd/碳或 Al_2O_3)。或者，原子H可來自透過膜之H，諸如本發明之該等H。在一個實施例中，電池包含膜(諸如陶瓷膜)以允許 H_2 選擇性擴散穿過，同時防止另一物質擴散，諸如 H_2O 擴散。

電解質可包含水溶液或熔融鹽。諸如氫氧化物、碳酸鹽、硝酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽、鉻酸鹽、重鉻酸鹽、高氯酸鹽及過碘酸鹽中之至少一者及混合物的電解質可包含共熔混合物，諸如表4共熔鹽混合物中之至少一者、本發明其他混合物中之至少一者、或此項技術中已知之混合物。電池可包含氫來源、水及氧氣。水可包含氫、氘及氚中之至少一者，諸如 H_2O 、 HOD 、 D_2O 、 T_2O 、 DOT 及 HOT 中之

至少一者。例示性共熔鹽混合物為鹼金屬鹵化物、碳酸鹽、硝酸鹽、硫酸鹽及氫氧化物中之至少兩者。熔融電解質可進一步包含可自大氣中吸收或以液態水或蒸汽形式供給至電池之 H_2O 來源。電池可包含開放電池。氧氣可來自大氣或以氣體形式供給。氫來源可以氣體形式藉由諸如透過、噴射或鼓泡之方式或藉由間歇電解氫來源(諸如電解包含一些 H_2O 之電解質)供給。在一個實施例中，電池操作溫度低於將引起腐蝕(諸如電極或容器腐蝕)之溫度。例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{H}_2)/\text{MNO}_3$ 、 MNO 、 MNO_2 、 MOH 、 M_2CO_3 、 MHCO_3 、 M_2SO_4 、 MHSO_4 、 M_3PO_4 、 M_2HPO_4 、 MH_2PO_4 、 M_2MoO_4 、 MNbO_3 、 $\text{M}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (M之四硼酸鹽)、 MBO_2 、 M_2WO_4 、 M_2CrO_4 、 $\text{M}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 M_2TiO_3 、 MZrO_3 、 MAlO_2 、 MCoO_2 、 MGaO_2 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 MTaO_3 、 MVO_3 、 MIO_3 、 MFeO_2 、 MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、 MCrO_n 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、 MNi_2O_n 、 MCuO_n 、 MZnO_n (M為鹼金屬或銨，且 $n=1$ 、 2 、 3 或 4)中之一或多者之水溶液或共熔鹽電解質/ $[\text{Ni}+\text{空氣}]$ 其中氫電極可為透過、噴射或間歇電解電極。其他實例為 $[\text{Ni}/\text{LiOH}-\text{Li}_2\text{SO}_4/\text{Ni}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 、 $[\text{Ni}/\text{LiOH}-\text{Li}_2\text{SO}_4$ (水溶液)/ $\text{Ni}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 、 $[\text{Ni}$ 或 $\text{PtTi}/\text{NH}_4\text{OH}$ (水溶液)/ Ni 或 $\text{PtTi}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 、 $[\text{Ni}/\text{Sr}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (水溶液)/ $\text{Ni}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 、 $[\text{PtTi}$ 或 $\text{Ni}/\text{K}_2\text{CO}_3$ (水溶液)/ Ni 或 $\text{PtTi}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 及 $[\text{PtTi}$ 或 Pd/LiOH (水溶液)/ Pd 或 $\text{PtTi}+\text{空氣間歇充電-放電}]$ 。

放電]。

在藉由形成低能量氫產生熱能及電能中之至少一者的一個CIHT電池實施例中，H反應具再生性，其中例外為一部分H庫存在重複反應之各循環後轉化為低能量氫。氫與來自可為水合熔融或水性電解質之電解質(諸如 K_2CO_3)之碳酸根之例示性反應為



陽極



陰極

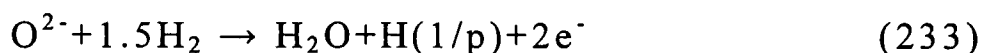


陽極反應亦可由涉及 CO_3^{2-} 氧化形成充當觸媒之 H_2O 之方程式(224)給出。淨反應，一些H轉化為 $H(1/p)$ ，其中 nH 、 O 、 nO 、 OH 及 H_2O (n =整數) 中之至少一者可充當觸媒。氫來源可為透過、噴射或鼓泡中之至少一者及間歇電解。反應在無電極存在下(諸如在產生熱力之實施例中)可以協同方式發生。一個特定熱實施例包含氫加壓腔室及氫可透膜，該氫可透膜藉由透過供給氫至含有碳酸鹽(諸如鹼性碳酸鹽，諸如 K_2CO_3)之第二反應腔室。

在一個實施例中，遷移離子為氧化物離子，其與H來源反應以形成可與H來源一起充當觸媒之 OH 及 H_2O 中之至少一者。陰極可包含氧化物離子來源，諸如氧氣或包含 O 之化合物(諸如氧化物)。電池可包含電解質及鹽橋中之至少一者。電解質可為氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物(諸如

KOH)，可具有高濃度，諸如在約 12 M 至飽和範圍內。鹽橋可對氧化物離子具有選擇性。適合之鹽橋可為氧化鈮-穩定化氧化鋯(YSZ)、氧化鈮摻雜之二氧化鈾(CGO)、鎳酸鋱(lanthanum gallate)及鈹銅鈮氧化物，諸如 BiCuVO_x 。一些鈣鈦礦材料，諸如 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_y\text{O}_{3-d}$ 亦顯示混合氧化物及電子傳導性。H 來源可為氫氣及解離體、氫可透膜或氫化物。陰極及陽極反應可為

陽極



陰極



陰極及陽極可包含觸媒，諸如鎳或貴金屬(諸如 Pt 或 Pd)。電極可進一步包含載體材料，諸如金屬陶瓷。例示性電池為 $[\text{PtC}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{CeH}_2]$ 、 $[\text{LaH}_2]$ 、 $[\text{ZrH}_2]$ 或 $[\text{LiH/YSZ/Ni 或 Pt}(\text{O}_2 \text{ 或 氧化物})]$ 。

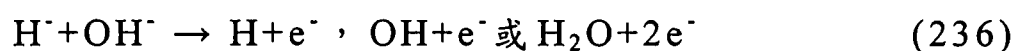
在一個實施例中， H^- 為遷移離子，且 H^- 及 OH^- 中之至少一者在陽極處氧化形成 H 、 OH 及 H_2O 中之至少一者。 H 可在陰極處還原成 H^- 。 H 來源可為氫化物或來自氫可透電極(諸如本發明氫可透電極之一)之 H 。陽極可為對腐蝕穩定之金屬，諸如 Ni。陽極可進一步包含可含有與透過電極之 H 反應之元素或化合物的氫可透材料，諸如金屬，諸如 Ni、V、Ti、V、Fe 或 Nb。適合的 H 反應性元素或化合物為 H 儲存材料，諸如 Li、Mg、La、Ce 及 Li-N-H 系統。電解質可包含氫氧化物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、稀

土金屬及第 III、IV、V 及 VI 族金屬氫氧化物中之至少一者。電解質可進一步包含氫化物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬氫化物及硼氫化物及氫化鋁中之至少一者。例示性反應為

陰極：



陽極



例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{LiH}-\text{LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{LiH}-\text{LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{NaH}-\text{NaOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{NaH}-\text{NaOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{KH}-\text{KOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 及 $[\text{Ni}/\text{KH}-\text{KOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 。構成熔融氫氧化物電解質混合物之適合例示性熔融氫化物為以下之共熔混合物：熔融溫度為約 503°C 之約 43+57 mol% 之 $\text{NaH}-\text{KBH}_4$ 、熔融溫度為約 390°C 之約 66+34 mol% 之 $\text{KH}-\text{KBH}_4$ 、熔融溫度為約 395°C 之約 21+79 mol% 之 $\text{NaH}-\text{NaBH}_4$ 、熔融溫度為約 103°C 之約 53+47 mol% 之 $\text{KBH}_4-\text{LiBH}_4$ 、熔融溫度為約 213°C 之約 41.3+58.7 mol% 之 $\text{NaBH}_4-\text{LiBH}_4$ 、及熔融溫度為約 453°C 之約 31.8+68.2 mol% 之 $\text{KBH}_4-\text{NaBH}_4$ ，其中混合物可進一步包含鹼金屬或鹼土金屬氫化物，諸如 LiH 、 NaH 或 KH 。其他例示性氫化物為 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ (MP 260°C) 及 $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ (367°C)。至少一種半電池之反應物可包含氫儲存材料，諸如金屬氫化物、M-N-H 系統之物質 (諸如 LiNH_2 、 Li_2NH 或 Li_3N)，及進一步包含硼之鹼金屬氫化物，諸如硼氫化物或鋁，諸如鋁氫化物。其他

適合之氫儲存材料為金屬氫化物，諸如鹼土金屬氫化物，諸如 MgH_2 、金屬合金氫化物，諸如 BaReH_9 、 LaNi_5H_6 、 $\text{FeTiH}_{1.7}$ 及 MgNiH_4 ，金屬硼氫化物，諸如 $\text{Be}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Zn}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Sc}(\text{BH}_4)_3$ 、 $\text{Ti}(\text{BH}_4)_3$ 、 $\text{Mn}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Zr}(\text{BH}_4)_4$ 、 NaBH_4 、 LiBH_4 、 KBH_4 及 $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ 、 AlH_3 、 NaAlH_4 、 Na_3AlH_6 、 LiAlH_4 、 Li_3AlH_6 、 LiH 、 LaNi_5H_6 、 $\text{La}_2\text{Co}_1\text{Ni}_9\text{H}_6$ 及 TiFeH_2 、 NH_3BH_3 、聚胺基硼烷、胺硼烷錯合物，諸如胺硼烷、硼烷氨合物、胼-硼烷錯合物、二硼烷二氨合物、硼氮炔，及八氫三硼酸銨或四氫硼酸銨、咪唑鎘離子液體，諸如烷基(芳基)-3-甲基咪唑鎘 N-雙(三氟甲烷磺醯基)醯亞胺鹽、硼酸磷及硝酸鉀(carbonite)物質。其他例示性化合物為氨硼烷、鹼金屬氨硼烷，諸如鋰氨硼烷，及硼烷烷基胺錯合物，諸如硼烷二甲胺錯合物、硼烷三甲胺錯合物，及胺基硼烷及硼烷胺，諸如胺基二硼烷、n-二甲胺基二硼烷、參(二甲胺基)硼烷、二正丁基硼胺、二甲胺基硼烷、三甲胺基硼烷、氨-三甲基硼烷，及三乙胺基硼烷。其他適合氫儲存材料為含吸收氫之有機液體，諸如咪唑及衍生物，諸如 9-(2-乙基己基)咪唑、9-乙基咪唑、9-苯基咪唑、9-甲基咪唑及 4,4'-雙(N-咪唑基)-1,1'-聯苯。例示性電池為 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{LiBH}_4\text{-LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{LiBH}_4\text{-LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{NaBH}_4\text{-NaOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{NaBH}_4\text{-NaOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{KBH}_4\text{-KOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{KBH}_4\text{-KOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}(\text{Li})/\text{LiH-LiBH}_4\text{-LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、 $[\text{Ni}/\text{LiH-LiBH}_4\text{-LiOH}/\text{Ni}(\text{H}_2)]$ 、

[Ni(Li)/NaH-NaBH₄-NaOH/Ni(H₂)] 、 [Ni/NaH-NaBH₄-NaOH/Ni(H₂)] 、 [Ni(Li)/KH-KBH₄-KOH/Ni(H₂)] 及 [Ni/KH-KBH₄-KOH/Ni(H₂)] 。

在一個實施例中，nH及MNH₂(M=鹼金屬)中之至少一者可充當觸媒。氮來源(諸如N₂)可在陰極處供給，且H來源(諸如由氫可透膜供給之H₂氣體)可包含陽極。電解質可包含熔融鹽，諸如共熔鹽，諸如鹼金屬鹵化物混合物。電解質進一步包含形成至少一種M-N-H系統化合物(諸如M₃N、M₂NH及MNH₂)之金屬。形成nH或MNH₂作為中間物之例示性反應為

陽極



陰極



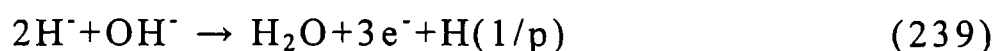
例示性電池為[Ni(H₂)/LiCl-KCl Li/Ni+N₂]，其中Ni(H₂)為氫可透電極，且NH₃在一個實施例中可選擇性移除。NH₃可藉由濃縮、藉由選擇性膜、藉由吸氣劑(諸如碳或沸石)、藉由諸如與酸之反應或收集於溶劑(諸如水)中來移除。

在一個實施例中，H⁻為遷移離子。電解質可為氫化物離子導體，諸如熔融共熔鹽，諸如共熔混合物，諸如鹼金屬鹵化物混合物，諸如LiCl-KCl。陰極可為氫可透膜，諸如Ni(H₂)。陽極可包含含有陽極反應混合物之隔室。陽極反應混合物可包含氫儲存材料，諸如形成氫化物之金屬，諸

如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬或金屬合金中之至少一者。陽極反應物可包含M-N-H系統，諸如Li₃N或Li₂NH。陽極反應混合物可包含熔融氫氧化物，其可包含氫氧化物與至少一種其他化合物(諸如另一氫氧化物或鹽，諸如鹼金屬鹵化物)之混合物。陽極反應混合物可包含LiOH-LiBr。例示性電池為[Ni(Li₃N)/LiCl-KCl 0.01 mol% LiH/ Ni(H₂)]、[Ni(LiOH)/LiCl-KCl 0.01 mol% LiH/ Ni(H₂)] [Ni(LiOH-LiBr)/LiCl-KCl 0.01 mol% LiH/ Ni(H₂)]。在一個實施例中，溶劑可添加至陽極反應物中，諸如在電池操作溫度下熔融之金屬或共熔鹽。舉例而言，Li金屬或共熔鹽(諸如LiCl-KCl)可添加於陽極管中以溶解Li₃N。

在一個實施例中，電池包含為H⁻導體之熔融氫氧化物-氫化物電解質、形成氫化物離子之H來源(諸如本發明之氫可透電極之一，諸如Ni(H₂))及選擇性氧化至少一種陰離子以形成H及OH、H₂O、nH、O₂及nO(n=整數)中之至少一者的陽極，其中OH、H₂O、nH、O₂及nO(n=整數)中之至少一者可充當觸媒。氫氧化物可為鹼金屬氫氧化物，且氫化物可為鹼金屬氫化物。陽極可為貴金屬或支撐之貴金屬，本發明之兩者諸如Pt/C。反應可為

陽極：



陰極：



例示性電池為[Pt/C/熔融氫氧化物-氫化物/M'(H₂)]，其中M'可包含氫可透金屬，諸如Ni、Ti、V、Nb、Pt及PtAg，電解質包含氫氧化物與氫化物之混合物，諸如MOH-M''H (M、M'=鹼金屬)，且其他貴金屬及載體可代替Pt/C。電解質可進一步包含至少一種其他鹽，諸如鹼金屬鹵化物。

在一個實施例中，CIHT電池包含熱電共生系統(cogeneration system)，其中為負載產生電能及熱能。電負載及熱負載中之至少一者可為內部及外部中之至少一者。舉例而言，藉由形成低能量氫所產生之至少一部分熱能或電能可維持電池溫度，諸如包含熔融鹽電解質或熔融反應物之CIHT電池之熔融鹽的溫度。電能可至少部分供給電解電力以自產物再生原始電池反應物。在一個實施例中，電解質(諸如水性或熔融鹽電解質)可經由移除熱並最終轉移至負載的熱交換器或在熱交換器上泵送。

在某些實施例中，可使反應物再生且維持反應以形成較低能量之氫的本文所揭示之電力、化學物質、電池組及燃料電池系統可被關閉，例外為僅形成低能量氫中消耗之氫需被替換，其中所消耗之氫燃料可自水的電解獲得。燃料電池可用於廣泛應用，諸如電力產生，諸如公用電力、熱電共生、原動力、船舶動力及航空。在後者情況下，CIHT電池可給作為電動車輛之電力儲存之電池組充電。

電力可藉由控制陰極及陽極半電池反應物及反應條件來控制。適合的控制參數為氫氣壓力及操作溫度。燃料電池

可為構成堆疊之複數個電池之成員。燃料電池成員可堆疊且可經互連件在各接合點串聯式互連。互連件可為金屬或陶瓷。適合的互連件為導電金屬、陶瓷及金屬陶瓷複合物。

在一個實施例中，電池之極性在可選外加電壓下週期性反向以移除氧化還原反應產物及低能量氫產物中之至少一者，從而消除產物抑制。產物亦可由物理及熱方法移除，該等方法分別諸如超音及加熱。在一個實施例中，電解質可移除、藉由諸如加熱之方式處理以移除低能量氫、及替換。電解質(諸如熔融鹽或電解質水溶液)可流動，且處理可在批量或流動條件下進行。

在一個實施例中，將磁場施加於電池。磁場可在任何所需定向上施加於至少一個電極。磁場線可與至少一個電極之電極表面垂直或可與至少一個電極之表面平行。場強度可在約1 mT至10 T、0.01至1 T及0.1至0.3 T範圍內。

在一個實施例中，CIHT電池包含電漿電池，其中電漿藉由間歇施加外部輸入電力間歇形成，且電力在外部輸入電力關閉階段期間汲取或輸出。電漿氣體包含氫來源、氫、觸媒來源及觸媒中之至少兩者，其藉由H與觸媒之反應形成低能量氫以向外部負載提供電力。輸入電漿電力產生至少在外電力關閉階段期間形成低能量氫之反應物。電漿電池可包含電漿電解反應器、障壁電極反應器、RF電漿反應器、rt-電漿反應器、加壓氣體能量反應器、氣體放電能量反應器、微波電池能量反應器及輝光放電電池與微

波及/或RF電漿反應器之組合。觸媒及系統可為本發明之觸媒及系統及吾先前申請案中揭示之觸媒及系統：Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US08/61455，PCT 4/24/2008 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US09/052072，PCT 7/29/2009 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US10/27828，PCT 3/18/2010 申請；及Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US11/28889，PCT 3/17/2011 申請，該等文獻以全文引用之方式併入本文中。

在一個實施例中，包含OH、H₂O、O₂、nO及nH (n為整數)中之至少一者的觸媒於水-電弧電漿中產生。例示性電漿系統包含連接在基板-桿電極與含有水之同心筒電極之間的能量儲存電容器，其中基板-桿電極之桿在水柱以下。桿包埋於絕緣體中，絕緣體諸如筒部分中之耐綸套管(Nylon sleeve)及基板與筒之間的耐綸塊(Nylon block)。電路進一步包含電阻器及電感器以引起在桿與筒之間的水中振盪放電。電容器可由高壓電源供應器充電且由可包含於大氣中之火花隙之開關放電。電極可由銅製成。高電壓可在約5至25 kV範圍內。放電電流可在5至100 kA範圍內。3.5 ml H₂O之例示性參數為：電容為約0.6 μ F，電感為約0.3 μ H，電阻為約173 m Ω ，筒電極寬度及深度為約1/2吋及3吋，桿寬度為約1/4吋，充電電壓為約12.0 kV，且LRC時間常數為約3.5 μ s。霧爆炸由觸發水電弧放電產生，其中弧引起形成原子氫及觸媒，兩者反應形成低能量氫且釋

放驅動霧爆炸之能量。來自低能量氫形成之電力可呈熱能形式，該熱能可直接用於熱應用中，諸如空間及製程加熱或使用熱機(諸如蒸汽輪機)轉化為電。系統亦可用於形成結合能增加之氫物質及化合物，諸如分子低能量氫 $H_2(1/p)$ 。

在一個實施例中，低能量氫電池包含捏縮電漿來源以形成低能量氫連續譜發射。電池包含陰極、陽極、電源供應器及氫來源以形成捏縮氫電漿。電漿系統可包含空心陽極系統，諸如稠密電漿焦點來源，諸如此項技術中已知者。獨特特徵在於電漿氣體為氫氣，且電漿條件經最佳化以產生氫連續譜發射。發射可用作EUV蝕刻之光源。

在一個實施例中， H_2O 可充當觸媒，其中觸媒在電池中由某一來源藉由該來源與氫來源之氫的反應形成。在一個實施例中， H_2O 催化反應及相應能量釋放可形成氫原子反轉群體。 H_2O 來源可為硝酸鹽，諸如鹼金屬硝酸鹽，且氫來源可為 H_2 氣體。混合物反應可在真空密封容器中加熱至高溫，如吾以下論文中所述：R. L. Mills, P. Ray, B. Dhandapani, W. Good, P. Jansson, M. Nansteel, J. He, A. Voigt, 「Spectroscopic and NMR Identification of Novel Hydride Ions in Fractional Quantum Energy States Formed by an Exothermic Reaction of Atomic Hydrogen with Certain Catalysts,」 European Physical Journal: Applied Physics, 28, (2004), 83-104及R. L. Mills, P. Ray, R. M. Mayo, 「CW HI Laser Based on a Stationary Inverted

Lyman Population Formed from Incandescently Heated Hydrogen Gas with Certain Group I Catalysts,」 IEEE Transactions on Plasma Science, 第31卷, 第2期, (2003), 第236-247頁, 其均以全文引用之方式併入本文中。 H_2O 觸媒可由電漿分解之來自水的氫與氧之反應形成。低能量氫反應之能量可引起H譜線反轉且產生快H, 如吾以下論文中所述: R. L. Mills, P. C. Ray, R. M. Mayo, M. Nansteel, B. Dhandapani, J. Phillips, 「Spectroscopic Study of Unique Line Broadening and Inversion in Low Pressure Microwave Generated Water Plasmas,」 J. Plasma Physics, 第71卷, 第6期, (2005), 877-888, 其以全文引用之方式併入本文中。在一個實施例中, H_2O 觸媒可由 H_2 氣體與碳酸鹽(諸如鹼金屬碳酸鹽, 諸如 K_2CO_3)之反應形成。能量釋放可藉由熱活化傳播電漿, 且由反常餘輝持續之跡象表明, 可在無外加電場存在下繼續存在。例示性反應描述於吾以下論文中: H. Conrads, R. L. Mills, Th. Wrubel, 「Emission in the Deep Vacuum Ultraviolet from a Plasma Formed by Incandescently Heating Hydrogen Gas with Trace Amounts of Potassium Carbonate,」 Plasma Sources Science and Technology, 第12卷, (2003), 第389-395頁, 其以全文引用之方式併入本文中。在一個實施例中, H_2O 觸媒可由氧來源之反應形成, 氧來源包含含氧化合物, 諸如硝酸鹽、碳酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽或金屬氧化物, 諸如Sm、Fe、Sr或Pr之氧化物。觸媒反應可在氧來源與氫氣一

起加熱時形成稱為rt-電漿之電漿，如吾以下論文中所述：

R. L. Mills, J. Dong, Y. Lu, 「Observation of Extreme Ultraviolet Hydrogen Emission from Incandescently Heated Hydrogen Gas with Certain Catalysts,」 Int. J. Hydrogen Energy, 第25卷, (2000), 第919-943頁，其以全文引用之方式併入本文中。在一個實施例中， nH (n =整數)可充當觸媒以形成低能量氫，其中能量釋放產生快H。如H巴耳末譜線(Balmer line)之強度所指示，向H電漿中添加氫且尤其氫可藉由增加總H群體來增強快H群體，如吾以下論文中所述：K. Akhtar, J. Scharer, R. L. Mills, 「Substantial Doppler Broadening of Atomic Hydrogen Lines in DC and Capacitively Coupled RF Plasmas,」 J. Phys. D: Appl. Phys., 第42卷，第13期(2009), 135207 (12pp)，其以全文引用之方式併入本文中。

X. 低能量氫氫化物電池組

根據本發明之電池組顯示於圖1中，包含陰極隔室401及陰極405、陽極隔室402及陽極410、及鹽橋440，其中陰極隔室401中之氧化劑包含含低能量氫氫化物離子之化合物。在一個實施例中，氧化劑化合物包含鈉低能量氫氫化物，其中鈉可呈至少 $2+$ 之氧化態。氧化劑可包含 $Na(H(1/p))_x$ ，其中 x 為整數且 $H(1/p)$ 為低能量氫氫化物離子。在一個實施例中，選擇 p 以形成穩定 Na^{2+} 化合物。在一個實施例中， p 為10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20及21中之至少一者。在一個實施例中，鹽橋

440為Na離子導體。適合的鈉離子導體為本發明鈉離子導體，諸如 β 氧化鋁固體電解質(BASE)、NASICON($\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$)及 Na_xWO_3 。還原劑可為鈉離子來源，諸如金屬鈉。電池可進一步包含加熱器，且可包含隔熱(諸如外隔熱)以維持電池處於高操作溫度下，諸如高於Na金屬之熔點。電池組反應可包含由金屬鈉還原劑還原氫化鈉氧化劑， Na^+ 離子自陽極隔室402經由鈉離子導體鹽橋440遷移至陰極隔室401。例示性電池組反應為：

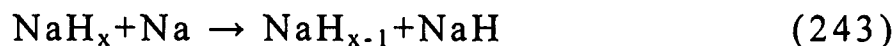
陰極：



陽極：



總反應：



在一個實施例中，電池組藉由使放電反應(諸如由方程式(241-243)所給出之反應)反向而可充電。在一個實施例中，半電池隔室充當相應電極。電池組400可密封於電池組盒中。

本發明之另一態樣包含可由CIHT電池產生之能量的儲存。儲存能量可在高於可經較長持續時間間歇給電池組充電之CIHT電池之電力的電力下傳遞。電池組之較高電力可用於高電力短脈衝，諸如如航空應用起飛或動機應用加速所需。電池組可包含此項技術中已知之習知電池組，諸如鋰離子電池組或金屬氫化物電池組。在另一應用中，電

池組可包含熟習此項技術者已知之能夠再生的燃料電池。本發明燃料電池包含Li-空氣電池組，諸如此項技術中已知之Li-空氣電池組。在另一實施例中，Li-空氣電池組包含陽極半電池，其包含Li陽極(諸如Li金屬)及熔融鹽電解質(諸如包含至少一種Li鹽(諸如Li鹵化物、氫氧化物、碳酸鹽或本發明之其他類似物)之熔融鹽電解質)。電解質可包含混合物，諸如共熔混合物，諸如鹼金屬鹵化物鹽混合物，諸如LiCl-KCl或本發明其他類似物。電池可包含分離器，諸如Li離子導電性分離器，諸如Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-P₂O₅-TiO₂-GeO₂，諸如日本大原公司(Ohara)之該類分離器。陰極可包含氧還原陰極，諸如NiO及本發明其他類似物。陰極還原反應可為O₂還原反應，且可進一步包含O₂及H₂O之還原。隨後，產物可為OH⁻及其他氧及包含氧及氫中之至少一者的物質。陰極半電池可進一步包含電解質，諸如熔融鹽。熔融鹽可包含鹵化物及氫氧化物中之至少一者，諸如鹼金屬之鹵化物及氫氧化物，諸如LiOH-MX(其中M為鹼金屬且X為鹵離子)，諸如本發明之LiOH-MX。可逆放電反應可為

陰極：



陽極：



總反應：



在一個實施例中，H及H₂O觸媒在再充電期間在放電陰極處形成，且H由H₂O催化形成低能量氫以釋放能量從而輔助再充電過程以使所需能量少於無低能量氫能量貢獻存在之情況。

XI. 化學反應器

本發明亦針對用於產生本發明之結合能增加之氫物質及化合物，諸如二低能量氫分子及低能量氫氫化物化合物的其他反應器。其他催化產物為電力及視情況存在之電漿及光，視電池類型而定。此類反應器在下文中稱為「氫反應器」或「氫電池」。氫反應器包含用於產生低能量氫之電池。用於產生低能量氫之電池可採取化學反應器或氣體燃料電池(諸如氣體放電電池、電漿炬電池或微波動力電池)及電化學電池的形式。用於產生低能量氫之電池之例示性實施例可採取液體燃料電池、固體燃料電池、非均勻燃料電池及CIHT電池的形式。此等電池各自包含：(i)原子氫來源；(ii)至少一種選自用於產生低能量氫之固體觸媒、熔融觸媒、液體觸媒、氣態觸媒或其混合物的觸媒；及(iii)使氫與觸媒反應以產生低能量氫之容器。如本文所用及如本發明所涵蓋，除非另外說明，否則術語「氫」不僅包括氕(¹H)，而且包括氘(²H)及氚(³H)。在使用氕作為低能量氫反應之反應物的情況下，預期有相對痕量之非均勻燃料及固體燃料之氘或氚產物。例示性化學反應混合物及反應器可包含本發明之CIHT電池或熱電池實施例。其他例示性實施例在化學反應器章節中給出。具有混合物反應

期間形成之作為觸媒的 H_2O 之反應混合物的實例在本發明中給出。諸如表1及3中給出之其他觸媒可用於形成結合能增加之氫物質及化合物。表3A之例示性M-H型觸媒為 NaH 。適合的反應混合物為氫化鈉及諸如鹼金屬鹵化物(諸如 NaCl)之化合物及視情況選用之解離體(諸如 R-Ni ，諸如 R-Ni 2800)。各反應物之重量%可任何所需值。在一個實施例中， NaCl 之重量%若為 NaH 之約10倍，則若使用 R-Ni 解離體，則其重量%亦可為10倍。電池溫度可為高溫，諸如在約 300°C 至 550°C 範圍內。基於高磁場位移之觀察的包含至少一種低能量氫產物之基質之NMR結果的其他適合反應混合物及條件為(1) Li 、 LiF (分別為5 wt%及95 wt%)及 Ni 篩網解離體，在 600°C 下， ^1H MAS NMR峰在1.17及-0.273 ppm處觀察到，(2) Li 及 LiBr (分別為5 wt%及95 wt%)及 Ni 篩網解離體，在 600°C 下， ^1H MAS NMR峰在1.13及-2.462 ppm處觀察到，(3) Li_3N 、 LiH 、 LiBr (分別為5 wt%、10 wt%及85 wt%)及 R-Ni 解離體，在 450°C 下， ^1H MAS NMR峰在-2.573 ppm處觀察到，(4) Li_2NH 、 Li 、 LiBr (分別為5 wt%、10 wt%及85 wt%)及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR峰在-2.512 ppm處觀察到，(5) LiNH_2 、 Li 、 LiBr (分別為5 wt%、10 wt%及85 wt%)及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR峰在-2.479 ppm處觀察到，(6) LiNH_2 、 LiBr (分別為5 wt%及95 wt%)及 R-Ni 解離體，在 450°C 下， ^1H MAS NMR峰在1.165及-2.625 ppm處觀察到，(7) Li 及 LiI (分別為5 wt%及95 wt%)及 R-Ni 解離體，在

550°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.122 及 -2.038 ppm 處觀察到，(8) LiNH_2 、 Li 、 LiI (分別為 5 wt%、10 wt% 及 85 wt%) 及 R-Ni 解離體，在 450°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 -2.087 ppm 處觀察到，(9) Na 、 NaCl (分別為 25 wt% 及 75 wt%) 及 Ni 板及 Pt/Ti 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.174 及 -3.802 ppm 處觀察到，(10) NaH 、 NaCl (分別為 10 wt% 及 90 wt%) 及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.057 及 -3.816 ppm 處觀察到，(11) NaH 、 NaCl (分別為 10 wt% 及 90 wt%)，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.093 及 -3.672 ppm 處觀察到，(12) Na 、 NaBr (分別為 18 wt% 及 82 wt%) 及 Pt/Ti 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.129 及 -3.583 ppm 處觀察到，(13) NaH 、 NaI (分別為 18 wt% 及 82 wt%)，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.05 及 -2.454 ppm 處觀察到，(14) K 、 KF (分別為 10 wt% 及 90 wt%) 及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 0.987 及 -5.143 ppm 處觀察到，(15) K 、 KCl (分別為 8 wt% 及 92 wt%) 及 Ni 篩網解離體，在 600°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.098、-4.074 及 -4.473 ppm 處觀察到，(16) K 、 KBr (分別為 10 wt% 及 90 wt%) 及 Ni 篩網解離體，在 450°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.415 及 -4.193 ppm 處觀察到，(17) K 、 KI (分別為 5 wt% 及 95 wt%) 及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.113 及 -2.244 ppm 處觀察到，(18) Cs 、 CsF (分別為 45 wt% 及 55 wt%) 及 R-Ni 解離體，在 500°C 下， ^1H MAS NMR 峰在 1.106 及 -3.965 ppm 處觀察到，(19) Cs 、 CsCl (分別為 45 wt% 及 55 wt%) 及 R-Ni

解離體，在550℃下， ^1H MAS NMR峰在1.073及-3.478 ppm處觀察到，(20) Cs、CsI(分別為45 wt%及55 wt%)及R-Ni解離體，在400℃下， ^1H MAS NMR峰在1.147及-1.278 ppm處觀察到，(21) NaCl、KHSO₄(分別為85 wt%及15 wt%)，在600℃下， ^1H MAS NMR峰在1.094、-3.027及-3.894 ppm處觀察到，(22) NaCl、NaHSO₄(分別為85 wt%及15 wt%)，在600℃下， ^1H MAS NMR峰在1.085、-3.535及-4.077 ppm處觀察到，及(23) CsCl、NaHSO₄(分別為95 wt%及5 wt%)，在550℃下， ^1H MAS NMR峰在1.070及-2.386 ppm處觀察到，其中H₂壓力為5 PSIG，且解離體重量為反應物重量之約50%至300%。可在諸如反應物、反應物wt%、H₂壓力及反應溫度之參數方面調節該等例示性情況之反應及條件。適合的反應物、條件及參數範圍為本發明之反應物、條件及參數範圍。在一個實施例中，該等反應混合物進一步包含氧來源(諸如不鏽鋼還原反應器之氧化產物)，其與H₂及存在之其他反應物反應形成H₂O觸媒及低能量氫，該等H₂O觸媒及低能量氫導致高磁場基質位移，諸如反應期間形成之任何氫氧化物之位移。

在一個實施例中，固體燃料反應形成H₂O及H作為產物或中間反應產物。H₂O可充當觸媒以形成低能量氫。反應物包含至少一種氧化劑及一種還原劑，且反應包含至少一個氧化還原反應。還原劑可包含金屬(諸如鹼金屬)。反應混合物可進一步包含氫來源及H₂O來源，且可視情況包含載體，諸如碳、碳化物、硼化物、氮化物、甲腈(諸如

TiCN)或腓。H來源可選自鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、稀土金屬氮化物及本發明之氮化物之群。氮來源可為氮氣，可進一步包含解離體，諸如本發明之解離體，諸如貴金屬/載體(諸如碳或氧化鋁及本發明之其他類似物)。水源可包含脫水之化合物，諸如氮氧化物或氮氧化物錯合物，諸如Al、Zn、Sn、Cr、Sb及Pb之氮氧化物或氮氧化物錯合物。水源可包含氮來源及氧來源。氧來源可包含含氧化合物。例示性化合物或分子為 O_2 、鹼金屬或鹼土金屬氧化物、過氧化物或超氧化物、 TeO_2 、 SeO_2 、 PO_2 、 P_2O_5 、 SO_2 、 SO_3 、 M_2SO_4 、 $MHSO_4$ 、 CO_2 、 $M_2S_2O_8$ 、 $MMnO_4$ 、 $M_2Mn_2O_4$ 、 $M_xH_yPO_4$ (x 、 y =整數)、 $POBr_2$ 、 $MClO_4$ 、 MNO_3 、 NO 、 N_2O 、 NO_2 、 N_2O_3 、 Cl_2O_7 及 O_2 (M =鹼金屬及鹼土金屬或其他陽離子可替代 M)。其他例示性反應物包含選自以下之群之試劑：Li、LiH、 $LiNO_3$ 、 $LiNO$ 、 $LiNO_2$ 、 Li_3N 、 Li_2NH 、 $LiNH_2$ 、 LiX 、 NH_3 、 $LiBH_4$ 、 $LiAlH_4$ 、 Li_3AlH_6 、 $LiOH$ 、 Li_2S 、 $LiHS$ 、 $LiFeSi$ 、 Li_2CO_3 、 $LiHCO_3$ 、 Li_2SO_4 、 $LiHSO_4$ 、 Li_3PO_4 、 Li_2HPO_4 、 LiH_2PO_4 、 Li_2MoO_4 、 $LiNbO_3$ 、 $Li_2B_4O_7$ (四硼酸鋰)、 $LiBO_2$ 、 Li_2WO_4 、 $LiAlCl_4$ 、 $LiGaCl_4$ 、 Li_2CrO_4 、 $Li_2Cr_2O_7$ 、 Li_2TiO_3 、 $LiZrO_3$ 、 $LiAlO_2$ 、 $LiCoO_2$ 、 $LiGaO_2$ 、 Li_2GeO_3 、 $LiMn_2O_4$ 、 Li_4SiO_4 、 Li_2SiO_3 、 $LiTaO_3$ 、 $LiCuCl_4$ 、 $LiPdCl_4$ 、 $LiVO_3$ 、 $LiIO_3$ 、 $LiFeO_2$ 、 $LiIO_4$ 、 $LiClO_4$ 、 $LiScO_n$ 、 $LiTiO_n$ 、 $LiVO_n$ 、 $LiCrO_n$ 、 $LiCr_2O_n$ 、 $LiMn_2O_n$ 、 $LiFeO_n$ 、 $LiCoO_n$ 、 $LiNiO_n$ 、 $LiNi_2O_n$ 、 $LiCuO_n$ 及

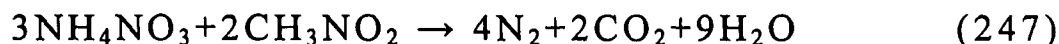
LiZnO_n (其中 $n=1, 2, 3$ 或 4)、氧陰離子、強酸氧陰離子、氧化劑、分子氧化劑 (諸如 V_2O_3 、 I_2O_5 、 MnO_2 、 Re_2O_7 、 CrO_3 、 RuO_2 、 AgO 、 PdO 、 PdO_2 、 PtO 、 PtO_2 及 NH_4X ，其中 X 為硝酸根或 CRC 中所給出之其他適合之陰離子) 及還原劑。另一鹼金屬或其他陽離子可替代 Li 。其他氧來源可選自以下之群： MCoO_2 、 MGaO_2 、 M_2GeO_3 、 MMn_2O_4 、 M_4SiO_4 、 M_2SiO_3 、 MTaO_3 、 MVO_3 、 MIO_3 、 MFeO_2 、 MIO_4 、 MClO_4 、 MScO_n 、 MTiO_n 、 MVO_n 、 MCrO_n 、 MCr_2O_n 、 MMn_2O_n 、 MFeO_n 、 MCoO_n 、 MNiO_n 、 MNi_2O_n 、 MCuO_n 及 MZnO_n (其中 M 為鹼金屬且 $n=1, 2, 3$ 或 4)、氧陰離子、強酸氧陰離子、氧化劑、分子氧化劑 (諸如 V_2O_3 、 I_2O_5 、 MnO_2 、 Re_2O_7 、 CrO_3 、 RuO_2 、 AgO 、 PdO 、 PdO_2 、 PtO 、 PtO_2 、 I_2O_4 、 I_2O_5 、 I_2O_9 、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 、 N_2O 、 NO 、 NO_2 、 N_2O_3 、 N_2O_4 、 N_2O_5 、 Cl_2O 、 ClO_2 、 Cl_2O_3 、 Cl_2O_6 、 Cl_2O_7 、 PO_2 、 P_2O_3 及 P_2O_5)。反應物可為能形成低能量氫之任何所需比率。例示性反應混合物為 0.33 g LiH 、 1.7 g LiNO_3 、及 1 g MgH_2 與 4 g 活性 C 粉末之混合物。另一例示性反應混合物為火藥，諸如 KNO_3 (75 wt%)、軟木木炭 (可包含大致組成 $\text{C}_7\text{H}_4\text{O}$) (15 wt%) 及 S (10 wt%)； KNO_3 (70.5 wt%) 及軟木木炭 (29.5 wt%)，或該等比率在約 $\pm 1\text{-}30 \text{ wt\%}$ 範圍內。氫來源可為包含大致組成 $\text{C}_7\text{H}_4\text{O}$ 之木炭。

在一個實施例中，反應混合物包含能形成氮氣、二氧化碳及 H_2O 之反應物，其中後者充當低能量氫觸媒，因為反

應中亦形成H。在一個實施例中，反應混合物包含氮來源及H₂O來源，H₂O來源可包含硝酸鹽、硫酸鹽、過氯酸鹽、過氧化物(諸如過氧化氫)、過氧化合物(諸如三丙酮-三過氧化物(TATP)或二丙酮-二過氧化物(DADP))過氧化合物亦可充當H來源，尤其在添加O₂或另一氧來源(諸如硝基化合物，諸如硝化纖維素(APNC)、氧氣或其他含氧化合物或氧陰離子化合物)時。反應混合物可包含化合物來源或化合物或官能基來源或官能基，其包含結合氮之氮、碳、氫及氧中之至少兩者。反應物可包含硝酸鹽、亞硝酸鹽、硝基及硝胺。硝酸鹽可包含金屬(諸如鹼金屬)硝酸鹽，可包含硝酸銨或熟習此項技術者已知之其他硝酸鹽，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬或Al、Ga、In、Sn或Pb之硝酸鹽。硝基可包含有機化合物之官能基，有機化合物諸如硝基甲烷、硝基甘油、三硝基甲苯或熟習此項技術者已知之類似化合物。例示性反應混合物為NH₄NO₃及碳源，諸如長鏈烴(C_nH_{2n+2}) (諸如加熱油、柴油、煤油)，該長鏈烴可包含氧(諸如糖蜜或糖)或硝基(諸如硝基甲烷)；或碳源，諸如煤粉塵。H來源亦可包含NH₄、烴(諸如燃料油)或糖，其中結合碳之H提供H之控制釋放。H釋放可藉由自由基反應實現。C可與O反應釋放H並形成碳-氧化合物，諸如CO、CO₂及甲酸鹽。在一個實施例中，單一化合物可包含形成氮氣、二氧化碳及H₂O之官能基。進一步包含烴官能基之硝胺為環三亞甲基三硝胺，通常稱為旋風炸藥(Cyclonite)或代號為RDX。可充當

H來源及H₂O觸媒來源(諸如O來源及H來源中之至少一者的來源)中之至少一者的其他例示性化合物為選自以下之群中之至少一者：硝酸銨(AN)、黑火藥(75% KNO₃+15%木炭+10% S)、硝酸銨/燃料油(ANFO) (94.3 % AN+5.7%燃料油)、赤蘚醇四硝酸酯、三硝基甲苯(TNT)、阿馬圖炸藥(amatol) (80% TNT+20% AN)、特屈兒炸藥(tetrytol)(70% 特屈兒(tetryl)+ 30% TNT)、特屈兒(2,4,6-三硝基苯基甲基硝酸銨(C₇H₅N₅O₈))、C-4 (91% RDX)、C-3 (基於RDX)、組合物B (63% RDX+36% TNT)、硝酸甘油、RDX (環三亞甲基三硝胺)、塞姆泰克斯(Semtex) (94.3% PETN+5.7% RDX)、PETN (季戊四醇四硝酸酯)、HMX或奧克托兒(octogen)(八氮-1,3,5,7-四硝基-1,3,5,7-四氮雜環辛烷)、HNIW(CL-20) (2,4,6,8,10,12-六硝基-2,4,6,8,10,12-六氮雜異伍茲烷)、DDF(4,4'-二硝基-3,3'-氧化偶氮呋咕)、七硝基立方烷(heptanitrocubane)、八硝基立方烷(octanitrocubane)、2,4,6-參(三硝甲烷)-1,3,5-三嗪、TATNB(1,3,5-三硝基苯, 3,5-三疊氮基-2,4,6-三硝基苯)、三硝基苯胺、TNP(2,4,6-三硝基苯酚或苦味酸)、鄧氏炸藥(dunnite) (苦味酸銨)、苦味酸甲酯、苦味酸乙酯、氯化苦味酸鹽(2-氯-1,3,5-三硝基苯)、三硝基甲酚、收斂酸鉛(2,4,6-三硝基間苯二酚鉛, C₆H₃N₃O₈Pb)、TATB(三胺基三硝基苯)、硝酸甲酯、硝基甘醇、甘露醇六硝酸酯、乙二硝胺、硝基胍、四硝基甘脲、硝基纖維素、硝酸脲及六亞甲基三過氧化物二胺(HMTD)。氮、碳、氧及氮之比率可為任何所需比率。在

硝酸銨(AN)及燃料油(FO)之反應混合物(稱為硝酸銨/燃料油(ANFO))之一個實施例中，產生平衡反應的適合化學計量為約94.3 wt% AN及5.7 wt% FO，但FO可過量。AN及硝基甲烷之例示性平衡反應為



其中部分H亦轉化為較低能量氫物質，諸如 $\text{H}_2(1/p)$ 及 $\text{H}^-(1/p)$ ，諸如 $p=4$ 。在一個實施例中，氫、氮及氧之莫耳比類似，諸如於具有式 $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$ 之RDX中。

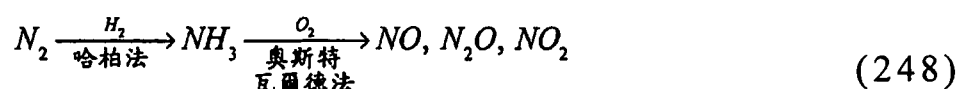
在一個實施例中，能量藉由使用原子氫之添加來源增加，添加來源諸如 H_2 氣體或氫化物(諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬氫化物)及解離體(諸如Ni、Nb或貴金屬/載體(諸如碳、碳化物、硼化物或氮化物或二氧化矽或氧化鋁))。反應混合物可在形成 H_2O 觸媒及原子H之反應期間產生壓縮或衝擊波以增加形成低能量氫之動力學。反應混合物可包含至少一種反應物以在形成H及 H_2O 觸媒之反應期間增加熱。反應混合物可包含可在固體燃料之顆粒或小珠之間分散的氧來源(諸如空氣)。舉例而言，AN小珠可包含約20%空氣。在一個例示性實施例中，添加金屬粉末(諸如Al)以增加反應之熱及動力學。舉例而言，Al金屬粉末可添加至ANFO中。其他反應混合物包含亦具有H來源及觸媒來源(H_2O)之煙火材料。在一個實施例中，低能量氫之形成具有可由能量反應(諸如能量或煙火材料之能量反應)提供之高活化能，其中低能量氫之形成有助於反應混合物之自加熱。或者，活化能可藉由

電化學反應提供，諸如具有對應於11,600 K/eV之高等同溫度的CIHT電池之電化學反應。

另一例示性反應混合物為可在約0.01 atm至100 atm壓力範圍內之 H_2 氣體、硝酸鹽(諸如鹼金屬硝酸鹽，諸如 KNO_3)及氫解離體(諸如Pt/C、Pd/C、Pt/ Al_2O_3 或Pd/ Al_2O_3)。混合物可進一步包含碳，諸如石墨或GTA級柔性石墨(Grade GTA Grafoil)(Union Carbide)。反應比率可為任何所需值，諸如混合物之約0.1 wt%至10 wt%之約1至10% Pt或Pd/碳與約50 wt%之硝酸鹽混合，且其餘為碳；但在例示性實施例中，比率可變化約5至10倍。在使用碳作為載體之情況下，溫度係維持在低於產生形成諸如碳酸鹽(諸如鹼金屬碳酸鹽)之化合物之C反應的溫度。在一個實施例中，溫度維持在諸如約 $50^{\circ}C$ - $300^{\circ}C$ 或約 $100^{\circ}C$ - $250^{\circ}C$ 範圍內以便在 N_2 上形成 NH_3 。

反應物及再生反應及系統可包含本發明及吾以下先前美國專利申請案中之反應物及再生反應及系統：諸如Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US08/61455，PCT 4/24/2008 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US09/052072，PCT 7/29/2009 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US10/27828，PCT 3/18/2010申請；及Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System，PCT/US11/28889，PCT 3/17/2011申請(「Mills Prior Applications」)，該等文獻以全文引用之方式併入本文中。

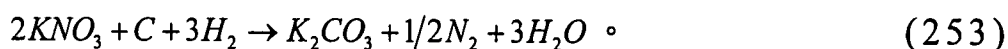
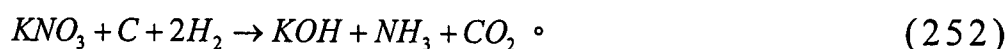
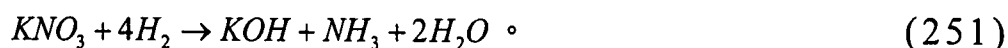
在一個實施例中，反應可包含氮氧化物(諸如 N_2O 、 NO_2 或 NO)而不是硝酸鹽。或者，亦向反應混合物中添加氣體。 NO 、 NO_2 及 N_2O 及鹼金屬硝酸鹽可由已知工業方法(諸如依次藉由哈柏法(Haber process)及奧斯特瓦爾德法(Ostwald process))產生。在一個實施例中，步驟之例示性順序為：



詳言之，哈柏法可用於由 N_2 及 H_2 在高溫及高壓下使用觸媒(諸如含 α -鐵的某種氧化物)製備 NH_3 。奧斯特瓦爾德法可用於在觸媒(諸如熱鉑或鉑-銨觸媒)下氧化氨為 NO 、 NO_2 及 N_2O 。在一個實施例中，產物為氮及鹼金屬化合物中之至少一者。 NO_2 可由 NH_3 藉由氧化形成。 NO_2 可溶解於水以形成硝酸，硝酸與鹼金屬化合物(諸如 M_2O 、 MOH 、 M_2CO_3 或 $MHCO_3$)反應形成M之硝酸鹽，其中M為鹼金屬。

在一個實施例中，由氧來源形成 H_2O 及觸媒(諸如 MNO_3 ，M=鹼金屬)、(ii)由來源(諸如 H_2)形成原子H、及(iii)形成低能量氫之反應中之至少一個反應藉由可加熱之習知觸媒(諸如貴金屬，諸如Pt)或在該習知觸媒上發生。熱觸媒可包含熱長絲。長絲可包含熱Pt長絲。氧來源(諸如 MNO_3)可至少部分為氣態的。氣態及其蒸汽壓力可藉由加熱 MNO_3 (諸如 KNO_3)來控制。氧來源(諸如 MNO_3)可於開放舟皿中，可加熱該開放舟皿以釋放氣態 MNO_3 。加熱可用加熱器(諸如熱長絲)進行。在一個例示性實施例中，

MNO₃置放於石英舟中，且Pt長絲捲繞在舟周圍以充當加熱器。MNO₃之蒸汽壓力可維持在約0.1托至1000托或約1托至100托之壓力範圍內。氫來源可為氣態氫，維持在約1托至100 atm、約10托至10 atm、或約100托至1 atm壓力範圍內。長絲亦用於解離可經由氣體管線供應至電池的氫氣。電池亦可包含真空管線。電池反應產生H₂O觸媒及原子H，反應形成低能量氫。反應可維持於能夠維持在真空、環境壓力或大於大氣壓之壓力中之至少一者下的容器中。產物(諸如NH₃及MOH)可自電池中移出並再生。在一個例示性實施例中，MNO₃與氫來源反應形成H₂O觸媒及NH₃，NH₃可在另一反應容器中再生或以另一步驟藉由氧化再生。在一個實施例中，氫來源(諸如H₂氣體)由水藉由電解或熱中之至少一者產生。例示性熱法為氧化鐵循環、氧化鉀(IV)-氧化鉀(III)循環、鋅-氧化鋅循環、硫-碘循環、銅-氯循環及混合硫循環及熟習此項技術者已知之其他循環。形成進一步與H反應形成低能量氫之H₂O觸媒之例示性電池反應為



形成氮氧化物之例示性再生反應由方程式(248)給出。產物(諸如K、KH、KOH及K₂CO₃)可與藉由向水中添加氮

氧化物形成 KNO_2 或 KNO_3 所形成之硝酸反應。形成反應物 H_2O 觸媒及 H_2 中之至少一者的其他適合的例示性反應在表6、表7及表8中給出。

表6. 關於 H_2O 觸媒及 H_2 之熱可逆反應循環。[L.C. Brown, G.E. Besenbruch, K.R. Schultz, A.C. Marshall, S.K. Showalter, P.S. Pickard及J.F. Funk, Nuclear Production of Hydrogen Using Thermochemical Water-Splitting Cycles, 於2002年6月19-13日佛羅里達州好萊塢(Hollywood, Florida)在關於先進核電站之國際會議(International Congress on Advanced Nuclear Power Plants, ICAPP)上提呈之論文的預印版, 且出版在會議記錄(*Proceedings*)中。]

循環名稱	T/E*	T(°C)	反應
1 西屋循環(Westinghouse)	T	850	$2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
	E	77	$\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{a}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{a}) + \text{H}_2(\text{g})$
2 Ispra Mark 13	T	850	$2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
	E	77	$2\text{HBr}(\text{a}) \rightarrow \text{Br}_2(\text{a}) + \text{H}_2(\text{g})$
	T	77	$\text{Br}_2(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HBr}(\text{g}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{a})$
3 東京大學的UT-3循環 (UT-3 Univ. of Tokyo)	T	600	$2\text{Br}_2(\text{g}) + 2\text{CaO} \rightarrow 2\text{CaBr}_2 + \text{O}_2(\text{g})$
	T	600	$3\text{FeBr}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HBr} + \text{H}_2(\text{g})$
	T	750	$\text{CaBr}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + 2\text{HBr}$
	T	300	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HBr} \rightarrow \text{Br}_2 + 3\text{FeBr}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
4 硫碘循環(Sulfur-Iodine)	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	450	$2\text{HI} \rightarrow \text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
	T	120	$\text{I}_2 + \text{SO}_2(\text{a}) + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HI}(\text{a}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{a})$
5 於利希中心EOS循環(Julich Center EOS)	T	800	$2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{FeSO}_4 \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2 + \text{O}_2(\text{g})$
	T	700	$3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2(\text{g})$
	T	200	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{FeSO}_4$
6 東京科技院亞鐵鹽循環 (Tokyo Inst. Tech. Ferrite)	T	1000	$2\text{MnFe}_2\text{O}_4 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $2\text{Na}_3\text{MnFe}_2\text{O}_6 + 3\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
	T	600	$4\text{Na}_3\text{MnFe}_2\text{O}_6 + 6\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow$ $4\text{MnFe}_2\text{O}_4 + 6\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2(\text{g})$
7 哈列特空氣產物1965 (Hallett Air Products 1965)	T	800	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
	E	25	$2\text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
8 法國燃氣公司 (Gaz de France)	T	725	$2\text{K} + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{O} + \text{H}_2(\text{g})$

9 鎳亞鐵鹽循環 (Nickel Ferrite)	T	825	$2\text{K}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K} + \text{K}_2\text{O}_2$
	T	125	$2\text{K}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{KOH} + \text{O}_2(\text{g})$
	T	800	$\text{NiMnFe}_4\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NiMnFe}_4\text{O}_8 + 2\text{H}_2(\text{g})$
10 於利希亞琛大學1972 (Aachen Univ Julich 1972)	T	800	$\text{NiMnFe}_4\text{O}_8 \rightarrow \text{NiMnFe}_4\text{O}_6 + \text{O}_2(\text{g})$
	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
11 Ispra Mark 1C	T	170	$2\text{CrCl}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{CrCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$
	T	800	$2\text{CrCl}_3 \rightarrow 2\text{CrCl}_2 + \text{Cl}_2(\text{g})$
	T	100	$2\text{CuBr}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CuO} + 2\text{CaBr}_2 + \text{H}_2\text{O}$
	T	900	$4\text{CuO}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$
	T	730	$\text{CaBr}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HBr}$
12 LASL- U	T	100	$\text{Cu}_2\text{O} + 4\text{HBr} \rightarrow 2\text{CuBr}_2 + \text{H}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$
	T	25	$3\text{CO}_2 + \text{U}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{UO}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2(\text{g})$
	T	250	$3\text{UO}_2\text{CO}_3 \rightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{UO}_3$
13 Ispra Mark 8	T	700	$6\text{UO}_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{U}_3\text{O}_8(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$
	T	700	$3\text{MnCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} + \text{H}_2(\text{g})$
	T	900	$3\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}_2(\text{g})$
14 Ispra Mark 6	T	100	$4\text{HCl} + \text{Mn}_3\text{O}_4 \rightarrow 2\text{MnCl}_2(\text{a}) + \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	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	420	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$
15 Ispra Mark 4	T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
	T	100	$2\text{FeCl}_2 + 2\text{HCl} + \text{S} \rightarrow 2\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{S}$
	T	420	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$
	T	800	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + \text{H}_2(\text{g})$
16 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	$\text{CO}(\text{g}) + 2\text{Mn}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{C} + 3\text{Mn}_2\text{O}_3$
	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	$2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{FeCl}_2$
19 Ispra Mark 7B	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	$4\text{HCl} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$
	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	$2\text{HCl} + 2\text{VCl}_2 \rightarrow 2\text{VCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$
20 氯化鈮循環 (Vanadium Chloride)	T	700	$2\text{VCl}_3 \rightarrow \text{VCl}_4 + \text{VCl}_2$
	T	25	$2\text{VCl}_4 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{VCl}_3$
	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	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}(\text{a}) \rightarrow 2\text{FeCl}_3(\text{a}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
	T	800	$\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{S}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
	T	850	$2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
21 Ispra Mark 7A	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	$2\text{HCl} + 2\text{VCl}_2 \rightarrow 2\text{VCl}_3 + \text{H}_2(\text{g})$
	T	700	$2\text{VCl}_3 \rightarrow \text{VCl}_4 + \text{VCl}_2$
22 GA循環23(GA Cycle 23)	T	25	$2\text{VCl}_4 \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{VCl}_3$
	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	$6\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{FeCl}_3(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g})$

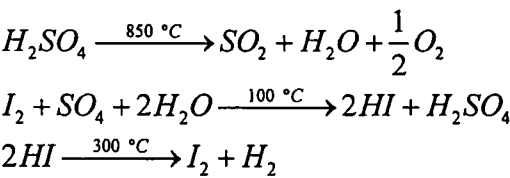
23	US-氯循環	T	25	$3\text{SO}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{l})\rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{a})+\text{S}$
		T	25	$\text{S}(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})\rightarrow \text{SO}_2(\text{g})$
		T	850	$2\text{Cl}_2(\text{g})+2\text{H}_2\text{O}(\text{g})\rightarrow 4\text{HCl}(\text{g})+\text{O}_2(\text{g})$
		T	200	$2\text{CuCl}+2\text{HCl}\rightarrow 2\text{CuCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$
24	Ispra Mark	T	500	$2\text{CuCl}_2\rightarrow 2\text{CuCl}+\text{Cl}_2(\text{g})$
		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=熱化學，E=電化學。

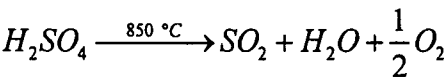
表 7. 關於 H₂O 觸媒及 H₂ 之熱可逆反應循環。[C. Perkins 及 A.W. Weimer, Solar-Thermal Production of Renewable Hydrogen, AIChE 雜誌，55(2), (2009)，第 286-293 頁。]

循環	反應步驟
高溫循環	
Zn/ZnO	$\text{ZnO} \xrightarrow{1600-1800\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Zn} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ $\text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{400\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{ZnO} + \text{H}_2$
FeO/Fe ₃ O ₄	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \xrightarrow{2000-2300\text{ }^{\circ}\text{C}} 3\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ $3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{400\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2$
碳酸鎘	$\text{CdO} \xrightarrow{1450-1500\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Cd} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ $\text{Cd} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \xrightarrow{350\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{CdCO}_3 + \text{H}_2$ $\text{CdCO}_3 \xrightarrow{500\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{CO}_2 + \text{CdO}$
混合鎘	$\text{CdO} \xrightarrow{1450-1500\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Cd} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ $\text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{25\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{電化學}} \text{Cd}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$ $\text{Cd}(\text{OH})_2 \xrightarrow{375\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{CdO} + \text{H}_2\text{O}$
鈉錳	$\text{Mn}_2\text{O}_3 \xrightarrow{1400-1600\text{ }^{\circ}\text{C}} 2\text{MnO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ $2\text{MnO} + 2\text{NaOH} \xrightarrow{627\text{ }^{\circ}\text{C}} 2\text{NaMnO}_2 + \text{H}_2$ $2\text{NaMnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{25\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$
M-亞鐵鹽(M=Co、Ni、Zn)	$\text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_4 \xrightarrow{1200-1400\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_{4-\delta} + \frac{\delta}{2}\text{O}_2$ $\text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_{4-\delta} + \delta\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{1000-1200\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_4 + \delta\text{H}_2$

低溫循環
硫-碘



混合硫



混合銅氯化物

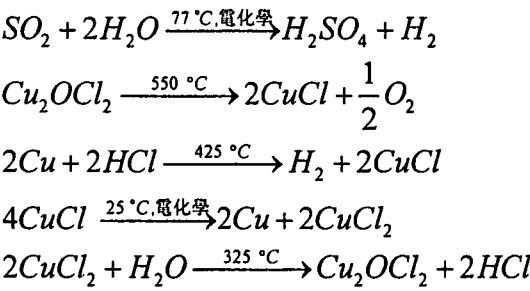


表 8. 關於 H₂O 觸媒及 H₂ 之熱可逆反應循環。[S. Abanades, P. Charvin, G. Flamant, P. Neveu, Screening of Water-Splitting Thermochemical Cycles Potentially Attractive for Hydrogen Production by Concentrated Solar Energy, 31, (2006), 第 2805-2822 頁。]

ID 編號	循環名稱	元素列表	化學步驟數	最大溫度 (°C)	反應	
6	ZnO/Zn	Zn	2	2000	ZnO → Zn+1/2O ₂	(2000°C)
					Zn+H ₂ O → ZnO+H ₂	(1100°C)
7	Fe ₃ O ₄ /FeO	Fe	2	2200	Fe ₃ O ₄ →3FeO+1/2O ₂	(2200°C)
					3FeO+H ₂ O→Fe ₃ O ₄ +H ₂	(400°C)
194	In ₂ O ₃ /In ₂ O	In	2	2200	In ₂ O ₃ →In ₂ O+O ₂	(2200°C)
					In ₂ O+2H ₂ O→In ₂ O ₃ +2H ₂	(800°C)
194	SnO ₂ /Sn	Sn	2	2650	SnO ₂ →Sn+O ₂	(2650°C)
					Sn+2H ₂ O→SnO ₂ +2H ₂	(600°C)
83	MnO/MnSO ₄	Mn, S	2	1100	MnSO ₄ →MnO+SO ₂ +1/2O ₂	(1100°C)
					MnO+H ₂ O+SO ₂ →MnSO ₄ +H ₂	(250°C)
84	FeO/FeSO ₄	Fe, S	2	1100	FeSO ₄ →FeO+SO ₂ +1/2O ₂	(1100°C)
					FeO+H ₂ O+SO ₂ →FeSO ₄ +H ₂	(250°C)
86	CoO/CoSO ₄	Co, S	2	1100	CoSO ₄ →CoO+SO ₂ +1/2O ₂	(1100°C)
					CoO+H ₂ O+SO ₂ →CoSO ₄ +H ₂	(200°C)
200	Fe ₃ O ₄ /FeCl ₂	Fe, Cl	2	1500	Fe ₃ O ₄ +6HCl→3FeCl ₂ +3H ₂ O+1/2O ₂	(1500°C)
					3FeCl ₂ +4H ₂ O→Fe ₃ O ₄ +6HCl+H ₂	(700°C)
14	FeSO ₄ (於利希(Julich))	Fe, S	3	1800	3FeO(s)+H ₂ O→Fe ₃ O ₄ (s)+H ₂	(200°C)
					Fe ₃ O ₄ (s)+FeSO ₄ →3Fe ₂ O ₃ (s)+3SO ₂ (g)+1/2O ₂	(800°C)
					3Fe ₂ O ₃ (s)+3SO ₂ →3FeSO ₄ +3FeO(s)	(1800°C)
85	FeSO ₄	Fe, S	3	2300	3FeO(s)+H ₂ O→Fe ₃ O ₄ (s)+H ₂	(200°C)
					Fe ₃ O ₄ (s)+3SO ₃ (g)→3FeSO ₄ +1/2O ₂	(300°C)
					FeSO ₄ →FeO+SO ₃	(2300°C)

109	C7 IGT	Fe, S	3	1000	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})+2\text{SO}_2(\text{g})+\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{FeSO}_4(\text{s})+\text{H}_2$ $2\text{FeSO}_4(\text{s})\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})+\text{SO}_2(\text{g})+\text{SO}_3(\text{g})$ $\text{SO}_3(\text{g})\rightarrow \text{SO}_2(\text{g})+1/2\text{O}_2(\text{g})$ $6\text{Cu}(\text{s})+3\text{H}_2\text{O}\rightarrow 3\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})+3\text{H}_2$	(125°C) (700°C) (1000°C) (500°C)
21	殼法(Shell Process)	Cu, S	3	1750		
87	CuSO ₄	Cu, S	3	1500	$\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})+2\text{SO}_2+3/2\text{O}_2\rightarrow 2\text{CuSO}_4$ $2\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})+2\text{CuSO}_4\rightarrow 6\text{Cu}+2\text{SO}_2+3\text{O}_2$ $\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})\rightarrow \text{Cu}(\text{s})+\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{Cu}(\text{OH})_2+\text{SO}_2(\text{g})\rightarrow \text{CuSO}_4+\text{H}_2$ $\text{CuSO}_4+\text{Cu}(\text{s})\rightarrow \text{Cu}_2\text{O}(\text{s})+\text{SO}_2+1/2\text{O}_2$ $\text{SO}_2+\text{H}_2\text{O}+\text{BaMoO}_4\rightarrow \text{BaSO}_3+\text{MoO}_3+\text{H}_2\text{O}$ $\text{BaSO}_3+\text{H}_2\text{O}\rightarrow \text{BaSO}_4+\text{H}_2$ $\text{BaSO}_4(\text{s})+\text{MoO}_3(\text{s})\rightarrow \text{BaMoO}_4(\text{s})+\text{SO}_2(\text{g})+1/2\text{O}_2$ $3\text{FeCl}_2+4\text{H}_2\text{O}\rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4+6\text{HCl}+\text{H}_2$ $\text{Fe}_3\text{O}_4+3/2\text{Cl}_2+6\text{HCl}\rightarrow 3\text{FeCl}_3+3\text{H}_2\text{O}+1/2\text{O}_2$ $3\text{FeCl}_3\rightarrow 3\text{FeCl}_2+3/2\text{Cl}_2$ $\text{H}_2\text{O}+\text{Cl}_2\rightarrow 2\text{HCl}+1/2\text{O}_2$	(300°C) (1750°C) (1500°C) (100°C) (1500°C) (300°C)
110	LASL BaSO ₄	Ba, Mo, S	3	1300		(1300°C)
4	Mark 9	Fe, Cl	3	900		(680°C) (900°C)
16	歐洲原子能 共同體 (Euratom)1972	Fe, Cl	3	1000		(420°C) (1000°C)
20	Cr, Cl(於利希 (Julich))	Cr, Cl	3	1600	$2\text{HCl}+2\text{FeCl}_2\rightarrow 2\text{FeCl}_3+\text{H}_2$ $2\text{FeCl}_3\rightarrow 2\text{FeCl}_2+\text{Cl}_2$ $2\text{CrCl}_2(\text{s}, T_f=815^\circ\text{C})+2\text{HCl}\rightarrow 2\text{CrCl}_3(\text{s})+\text{H}_2$	(600°C) (350°C) (200°C)
27	Mark 8	Mn, Cl	3	1000	$2\text{CrCl}_3(\text{s}, T_f=1150^\circ\text{C})\rightarrow 2\text{CrCl}_2(\text{s})+\text{Cl}_2$ $\text{H}_2\text{O}+\text{Cl}_2\rightarrow 2\text{HCl}+1/2\text{O}_2$ $6\text{MnCl}_2(\text{l})+8\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{Mn}_3\text{O}_4+12\text{HCl}+2\text{H}_2$ $3\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s})+12\text{HCl}\rightarrow 6\text{MnCl}_2(\text{s})+3\text{MnO}_2(\text{s})+6\text{H}_2\text{O}$ $3\text{MnO}_2(\text{s})\rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s})+\text{O}_2$ $\text{H}_2\text{O}+\text{Cl}_2\rightarrow 2\text{HCl}+1/2\text{O}_2$ $2\text{TaCl}_2+2\text{HCl}\rightarrow 2\text{TaCl}_3+\text{H}_2$ $2\text{TaCl}_3\rightarrow 2\text{TaCl}_2+\text{Cl}_2$	(1600°C) (1000°C) (700°C) (100°C) (1000°C) (1000°C) (100°C) (2200°C)
37	Ta Funk	Ta, Cl	3	2200		

78	Mark 3 歐洲原子能共同體 JRC (Euratom JRC) 伊斯普拉 (Ispra)(義大利)	V, Cl	3	1000	$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g})$	(1000°C)
144	Bi, Cl	Bi, Cl	3	1700	$2\text{VOCl}_2(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{g}) \rightarrow 2\text{VOCl}_3(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $2\text{VOCl}_3(\text{g}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{VOCl}_2(\text{s})$ $\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl} + 1/2\text{O}_2$ $2\text{BiCl}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{BiCl}_3 + \text{H}_2$ $2\text{BiCl}_3(\text{T}_\text{f}=233^\circ\text{C}, \text{T}_\text{ab}=441^\circ\text{C}) \rightarrow 2\text{BiCl}_2 + \text{Cl}_2$ $3\text{Fe}(\text{s}) + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 4\text{H}_2$	(170°C) (200°C) (1000°C) (300°C) (1700°C) (700°C)
146	Fe, Cl(於利希(Julich))	Fe, Cl	3	1800	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} \rightarrow 3\text{FeCl}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2$ $3\text{FeCl}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 3\text{Fe}(\text{s}) + 6\text{HCl}$ $3/2\text{FeO}(\text{s}) + 3/2\text{Fe}(\text{s}) + 2.5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 2.5\text{H}_2$	(1800°C) (1300°C) (1000°C)
147	Fe, Cl(科倫(Cologne))	Fe, Cl	3	1800	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{HCl} \rightarrow 3\text{FeCl}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2$ $3\text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + 3/2\text{H}_2 \rightarrow 3/2\text{FeO}(\text{s}) + 3/2\text{Fe}(\text{s}) + 6\text{HCl}$ $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{s}) + 4\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$ $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaOH} + 2\text{MnO}_2(\text{s})$ $2\text{MnO}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3(\text{s}) + 1/2\text{O}_2$ $6\text{LiOH} + 2\text{Mn}_3\text{O}_4 \rightarrow 3\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$ $3\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{LiOH} + 3\text{Mn}_2\text{O}_3$ $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Mn}_3\text{O}_4 + 1/2\text{O}_2$ $2\text{MnO} + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{NaMnO}_2 + \text{H}_2$ $2\text{NaMnO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$ $\text{Mn}_2\text{O}_3(\text{l}) \rightarrow 2\text{MnO}(\text{s}) + 1/2\text{O}_2$ $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 6\text{MOH} \rightarrow 3\text{MFeO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$ $3\text{MFeO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{MOH} + 3\text{Fe}_2\text{O}_3$	(1800°C) (700°C) (900°C) (100°C) (600°C) (700°C) (80°C) (1000°C) (800°C) (100°C) (1500°C) (500°C) (100°C)
25	Mark 2	Mn, Na	3	900	$3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 1/2\text{O}_2$	(1300°C)
28	Li, Mn LASL	Mn, Li	3	1000		
199	Mn PSI	Mn, Na	3	1500		
178	Fe, M ORNL	Fe, (M=Li, K, Na)	3	1300		

33	Sn(蘇里奧 (Souriau))	Sn	3	1700	$\text{Sn(l)}+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{SnO}_2+2\text{H}_2$	(400°C)
177	Co ORNL	Co, Ba	3	1000	$2\text{SnO}_2(\text{s})\rightarrow 2\text{SnO}+\text{O}_2$ $2\text{SnO}(\text{s})\rightarrow \text{SnO}_2+\text{Sn(l)}$ $\text{CoO}(\text{s})+x\text{Ba(OH)}_2(\text{s})\rightarrow$ $\text{Ba}_x\text{CoO}_y(\text{s})+(\gamma-x-1)\text{H}_2+(1+2x-\gamma)\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ba}_x\text{CoO}_y(\text{s})+x\text{H}_2\text{O}\rightarrow x\text{Ba(OH)}_2(\text{s})+\text{CoO}(\gamma-x)(\text{s})$ $\text{CoO}(\gamma-x)(\text{s})\rightarrow \text{CoO}(\text{s})+(\gamma-x-1)/2\text{O}_2$ $2\text{CeO}_2(\text{s})+3\text{TiO}_2(\text{s})\rightarrow \text{Ce}_2\text{O}_3\cdot 3\text{TiO}_2+1/2\text{O}_2$	(1700°C) (700°C) (850°C) (100°C) (1000°C) (800- 1300°C) (800°C) (150°C) (1000°C) (250°C) (800°C)
183	Ce, Ti ORNL	Ce, Ti, Na	3	1300	$\text{Ce}_2\text{O}_3\cdot 3\text{TiO}_2+6\text{NaOH}\rightarrow 2\text{CeO}_2+3\text{Na}_2\text{TiO}_3+2\text{H}_2\text{O}+\text{H}_2$ $\text{CeO}_2+3\text{NaTiO}_3+3\text{H}_2\text{O}\rightarrow \text{CeO}_2(\text{s})+3\text{TiO}_2(\text{s})+6\text{NaOH}$ $\text{H}_2\text{O}+\text{Cl}_2\rightarrow 2\text{HCl}+1/2\text{O}_2$ $2\text{CeO}_2+8\text{HCl}\rightarrow 2\text{CeCl}_3+4\text{H}_2\text{O}+\text{Cl}_2$ $2\text{CeCl}_3+4\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{CeO}_2+6\text{HCl}+\text{H}_2$	
269	Ce, Cl GA	Ce, Cl	3	1000		

用於形成 H_2O 觸媒之反應物可包含O來源(諸如O物質)及H來源。O物質來源可包含 O_2 、空氣及含O化合物或含O化合物之混合物中之至少一者。含氧化合物可包含氧化劑。含氧化合物可包含氧化物、氧(氫氧)化物、氫氧化物、過氧化物及超氧化物中之至少一者。適合的例示性金屬氧化物為鹼金屬氧化物(諸如 Li_2O 、 Na_2O 及 K_2O)、鹼土金屬氧化物(諸如 MgO 、 CaO 、 SrO 及 BaO)、過渡金屬氧化物(諸如 NiO 、 Ni_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 及 CoO)、及內過渡金屬及稀土金屬氧化物、及其他金屬及類金屬之氧化物(諸如Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se及Te之氧化物)、及該等及其他元素之含氧混合物。氧化物可包含氧化物陰離子(諸如本發明之氧化物陰離子，諸如金屬氧化物陰離子)及陽離子，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬陽離子及其他金屬及類金屬之陽離子(諸如Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se及Te之陽離子)，諸如 $\text{MM}'_{2x}\text{O}_{3x+1}$ 或 $\text{MM}'_{2x}\text{O}_4$ (M=鹼土金屬，M'=過渡金屬，諸如Fe或Ni或Mn，x=整數)及 $\text{M}_2\text{M}'_{2x}\text{O}_{3x+1}$ 或 $\text{M}_2\text{M}'_{2x}\text{O}_4$ (M=鹼金屬，M'=過渡金屬，諸如Fe或Ni或Mn，x=整數)。適合之例示性金屬氧(氫氧)化物為 $\text{AlO}(\text{OH})$ 、 $\text{ScO}(\text{OH})$ 、 $\text{YO}(\text{OH})$ 、 $\text{VO}(\text{OH})$ 、 $\text{CrO}(\text{OH})$ 、 $\text{MnO}(\text{OH})$ (α - $\text{MnO}(\text{OH})$ 錳 梔 石 及 γ - $\text{MnO}(\text{OH})$ 水 錳 礦)、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{CoO}(\text{OH})$ 、 $\text{NiO}(\text{OH})$ 、 $\text{RhO}(\text{OH})$ 、 $\text{GaO}(\text{OH})$ 、 $\text{InO}(\text{OH})$ 、 $\text{Ni}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{O}(\text{OH})$ 及 $\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}(\text{OH})$ 。適合的例示性氫氧化物為諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、

內過渡金屬及稀土金屬之金屬之氫氧化物及諸如 Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se 及 Te 之其他金屬及類金屬之氫氧化物及混合物。適合的錯離子氫氧化物為 $\text{Li}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Na}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaSb}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ 、 $\text{LiCr}(\text{OH})_4$ 、 $\text{NaCr}(\text{OH})_4$ 、 $\text{Li}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 及 $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ 。其他例示性適合的氫氧化物為來自以下中之至少一者： $\text{Co}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 、其他過渡金屬氫氧化物、 $\text{Cd}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 。適合的例示性過氧化物為 H_2O_2 、有機化合物過氧化物及金屬過氧化物，諸如 M_2O_2 (其中 M 為鹼金屬，諸如 Li_2O_2 、 Na_2O_2 、 K_2O_2)、其他離子過氧化物 (諸如鹼土金屬過氧化物，諸如 Ca、Sr 或 Ba 過氧化物)、其他正電性金屬過氧化物 (諸如鏷系金屬過氧化物) 及共價金屬過氧化物 (諸如 Zn、Cd 及 Hg 之過氧化物)。適合的例示性超氧化物為金屬超氧化物 MO_2 (其中 M 為鹼金屬，諸如 NaO_2 、 KO_2 、 RbO_2 及 CsO_2) 及鹼土金屬超氧化物。

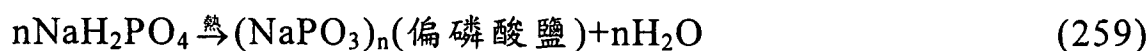
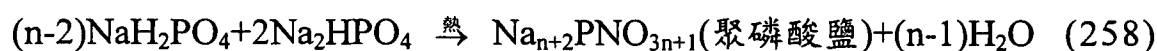
在其他實施例中，氧來源為氣態或容易形成氣體，諸如 NO_2 、 NO 、 N_2O 、 CO_2 、 P_2O_3 、 P_2O_5 及 SO_2 。來自 H_2O 觸媒形成之還原氧化物產物 (諸如 C、N、 NH_3 、P 或 S) 可藉由與氧或其來源燃燒再次轉化回氧化物，如 Mills Prior Applications 中所給出。電池可產生可用於加熱應用之過量熱，或熱可藉由諸如 Rankine 或 Brayton 系統之方式轉化成電。或者，電池可用於合成低能量氫物質，諸如分子低

能量氫及低能量氫氫化物離子及相應化合物。

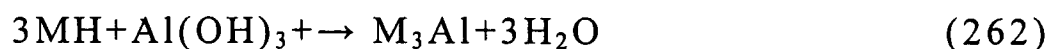
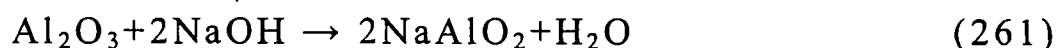
在一個實施例中，用於形成低能量氫以進行產生低能量氫物質及化合物及產生能量中之至少一者的反應混合物包含原子氫來源及包含H及O中之至少一者的觸媒來源，諸如本發明之觸媒來源，諸如H₂O觸媒。反應混合物可進一步包含酸，諸如H₂SO₃、H₂SO₄、H₂CO₃、HNO₂、HNO₃、HClO₄、H₃PO₃及H₃PO₄；或酸來源，諸如酸酐或無水酸。後者可包含以下之群中之至少一者：SO₂、SO₃、CO₂、NO₂、N₂O₃、N₂O₅、Cl₂O₇、PO₂、P₂O₃及P₂O₅。反應混合物可包含鹼及鹼酐(諸如M₂O(M=鹼金屬)、M'O(M'=鹼土金屬)、ZnO或其他過渡金屬氧化物、CdO、CoO、SnO、AgO、HgO或Al₂O₃)中之至少一者。其他例示性酸酐包含對H₂O穩定之金屬，諸如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及Pb。酸酐可為鹼金屬或鹼土金屬氧化物，且水合化合物可包含氫氧化物。反應混合物可包含氧(氫氧)化物，諸如FeOOH、NiOOH或CoOOH。反應混合物可包含H₂O來源及H₂O中之至少一者。H₂O可藉由水合及脫水反應在原子氫存在下可逆地形成。形成H₂O觸媒之例示性反應為



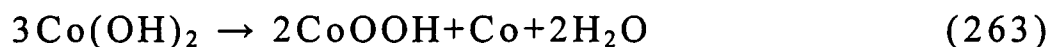
在一個實施例中， H_2O 觸媒由至少一種構成磷酸鹽之化合物脫水而形成，該化合物諸如磷酸鹽、磷酸氫鹽及磷酸二氫鹽之鹽，諸如陽離子(諸如包含以下金屬之陽離子，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬、及稀土金屬)之該等鹽及其他金屬及類金屬之該等鹽(諸如Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se及Te之該等鹽)，及形成縮合磷酸鹽之混合物，縮合磷酸鹽諸如以下中之至少一者：聚磷酸鹽(諸如 $[P_nO_{3n+1}]^{(n+2)-}$)、長鏈偏磷酸鹽(諸如 $[(PO_3)_n]^{n-}$)、環狀偏磷酸鹽(諸如 $[(PO_3)_n]^{n-}$ ，其中 $n \geq 3$)及超磷酸鹽(諸如 P_4O_{10})。例示性反應為



脫水反應之反應物可包含可包含 $Al(OH)_3$ 及 Al_2O_3 中之至少一者的R-Ni。反應物可進一步包含金屬M(諸如本發明之金屬，諸如鹼金屬)、金屬氫化物MH、金屬氫氧化物(諸如本發明之金屬氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物)及氫來源(諸如 H_2 以及本質氫)。例示性反應為



反應產物可包含合金。R-Ni可藉由再水合再生。形成 H_2O 觸媒之反應混合物及脫水反應可包含及涉及氧(氫氧)化物，諸如本發明之氧(氫氧)化物，如以下例示性反應中所給出：

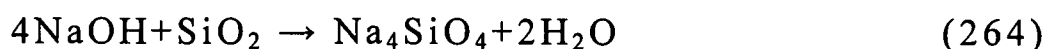


原子氫可由 H_2 氣體藉由解離而形成。氫解離體可為一種本發明氫解離體，諸如 R-Ni 或貴金屬或過渡金屬/載體(諸如 Ni 或 Pt 或 Pd /碳或 Al_2O_3)。或者，原子 H 可來自透過膜之 H ，諸如本發明之該等 H 。在一個實施例中，電池包含膜(諸如陶瓷膜)以允許 H_2 選擇性擴散穿過，同時 H_2O 擴散。在一個實施例中， H_2 及原子 H 中之至少一者藉由包含氫來源之電解質(諸如包含 H_2O 之水性或熔融電解質)電解供應至電池。在一個實施例中， H_2O 觸媒藉由酸或鹼脫水形成酸酐可逆地形成。在一個實施例中，形成觸媒 H_2O 及低能量氫之反應藉由改變電池 pH 值或活性、溫度及壓力中之至少一者傳播，其中壓力可藉由改變溫度來改變。物質(諸如酸、鹼或酸酐)之活性可藉由添加熟習此項技術者已知之鹽來改變。在一個實施例中，反應混合物可包含可吸收或為形成低能量氫之反應的氣體來源(諸如 H_2 或酸酐氣體)之材料(諸如碳)。反應物可為任何所需濃度及比率。反應混合物可為熔融的或包含水性漿料。

在另一實施例中， H_2O 觸媒來源為酸與鹼之間的反應，諸如氫鹵酸、硫酸、硝酸及亞硝酸中之至少一者與鹼之間的反應。其他適合的酸反應物為以下之水溶液： H_2SO_4 、 HCl 、 HX (X -鹵離子)、 H_3PO_4 、 HClO_4 、 HNO_3 、 HNO 、 HNO_2 、 H_2S 、 H_2CO_3 、 H_2MoO_4 、 HNbO_3 、 $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (M 之四硼酸鹽)、 HBO_2 、 H_2WO_4 、 H_2CrO_4 、 $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 H_2TiO_3 、 HZrO_3 、 MAIO_2 、 HMn_2O_4 、 HIO_3 、 HIO_4 、 HClO_4 或有機酸

(諸如甲酸或乙酸)。適合的例示性鹼為包含鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬或Al、Ga、In、Sn或Pb之氫氧化物、氧(氫氧)化物或氧化物。

在一個實施例中，反應物可包含酸或鹼，其分別與鹼或酸酐反應以形成H₂O觸媒及分別與鹼陽離子與酸酐陰離子之化合物或鹼酐陽離子與酸陰離子之化合物反應。酸性酸酐SiO₂與鹼NaOH之例示性反應為

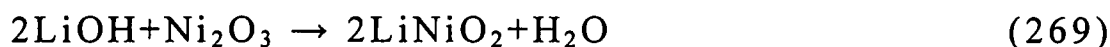
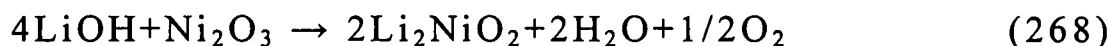
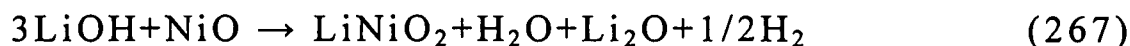


其中相應酸之脫水反應為

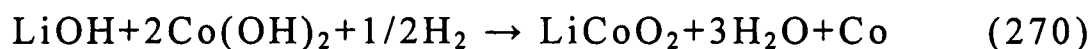


其他適合的例示性酸酐可包含元素、金屬、合金或混合物，諸如來自以下之群中之一者：Mo、Ti、Zr、Si、Al、Ni、Fe、Ta、V、B、Nb、Se、Te、W、Cr、Mn、Hf、Co及Mg。相應氧化物可包含以下至少一者：MoO₂、TiO₂、ZrO₂、SiO₂、Al₂O₃、NiO、Ni₂O₃、FeO、Fe₂O₃、TaO₂、Ta₂O₅、VO、VO₂、V₂O₃、V₂O₅、B₂O₃、NbO、NbO₂、Nb₂O₅、SeO₂、SeO₃、TeO₂、TeO₃、WO₂、WO₃、Cr₃O₄、Cr₂O₃、CrO₂、CrO₃、MnO、Mn₃O₄、Mn₂O₃、MnO₂、Mn₂O₇、HfO₂、Co₂O₃、CoO、Co₃O₄、Co₂O₃及MgO。在一個例示性實施例中，鹼包含氫氧化物，諸如鹼金屬氫氧化物，諸如MOH (M=鹼金屬)，諸如LiOH，該氫氧化物可形成相應鹼性氧化物(諸如M₂O，諸如Li₂O)及H₂O。鹼性氧化物可與酸酐氧化物反應形成產物氧化物。在LiOH與酸酐氧化物釋放H₂O之一個例示性反應中，產物氧化物可包

含 Li_2MoO_3 或 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_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_4 、 Li_2HfO_3 、 LiCoO_2 及 MgO 。其他適合的例示性氧化物為以下之群中之至少一者： As_2O_3 、 As_2O_5 、 Sb_2O_3 、 Sb_2O_4 、 Sb_2O_5 、 Bi_2O_3 、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 、 NO_2 、 N_2O_3 、 N_2O_5 、 Cl_2O_7 、 PO_2 、 P_2O_3 及 P_2O_5 ，及熟習此項技術者已知之其他類似氧化物。另一實例由方程式(257)給出。適合的金屬氧化物反應為



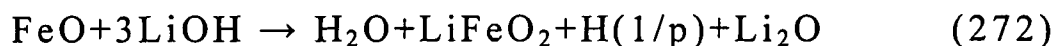
其他過渡金屬(諸如 Fe、Cr 及 Ti)、內過渡金屬及稀土金屬及其他金屬或類金屬(諸如 Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se 及 Te)可替代 Ni，且其他鹼金屬(諸如 Li、Na、Rb 及 Cs)可替代 K。反應進一步包含氫來源(諸如氫氣)及解離體(諸如 $\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3$)。氫可為質子氘、氕或氚或其組合中之任一者。形成 H_2O 觸媒之反應可包含兩種氫氧化物形成水之反應。氫氧化物之陽離子可具有不同氧化態，諸如鹼金屬氫氧化物與過渡金屬或鹼土金屬氫氧化物之反應之陽離子氧化態。反應混合物及反應可進一步包含及涉及來自來源之 H_2 ，如例示性反應中所給出：



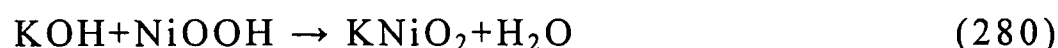
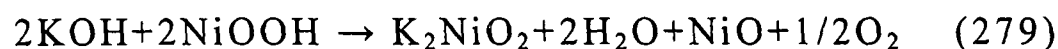
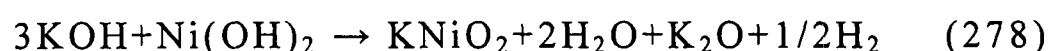
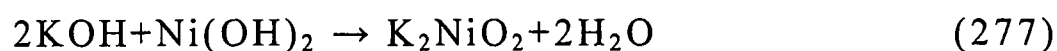
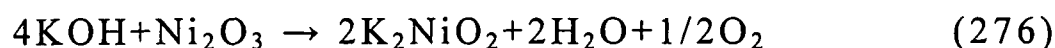
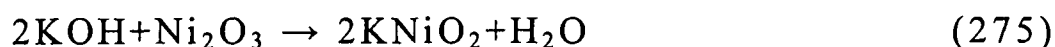
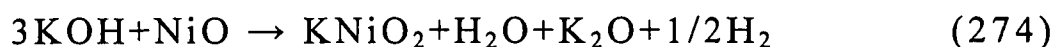
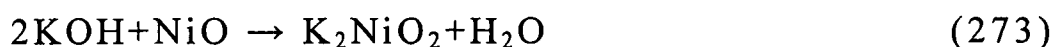
反應混合物及反應可進一步包含及涉及金屬M(諸如鹼金屬或鹼土金屬)，如例示性反應中所給出：

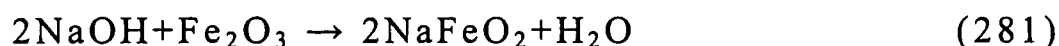


在一個實施例中，反應混合物包含金屬氧化物及可充當H來源之氫氧化物及視情況選用之另一H來源，其中金屬氧化物之金屬(諸如Fe)可具有多個氧化態以便其在形成H₂O以充當觸媒與H反應形成低能量氫的反應期間經受氧化還原反應。實例為FeO，其中Fe²⁺可在形成觸媒之反應期間經受氧化形成Fe³⁺。例示性反應為



在一個實施例中，至少一種反應物(諸如金屬氧化物、氫氧化物或氧(氫氧)化物)充當氧化劑，其中金屬原子(諸如Fe、Ni、Mo或Mn)之氧化態可高於另一可能的氧化態。形成觸媒及低能量氫之反應可使原子經受還原形成至少一個低氧化態。使金屬氧化物、氫氧化物及氧(氫氧)化物形成H₂O觸媒之例示性反應為





其他過渡金屬(諸如Ni、Fe、Cr及Ti)、內過渡金屬及稀土金屬及其他金屬或類金屬(諸如Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se及Te)可替代Ni或Fe，且其他鹼金屬(諸如Li、Na、K、Rb及Cs)可替代K或Na。在一個實施例中，反應混合物包含對H₂O穩定之金屬之氧化物及氮氧化物中之至少一者，該等金屬諸如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及In。另外，反應混合物包含氮來源(諸如H₂氣體)及視情況選用之解離體(諸如貴金屬/載體)。

鹼酐NiO與酸HCl之例示性反應為



其中相應鹼之脫水反應為



反應物可包含路易斯酸或鹼及布朗斯特-勞瑞酸或鹼中之至少一者。反應混合物及反應可進一步包含及涉及含氧化合物，其中酸與該含氧化合物反應形成水，如例示性反應中所給出：



(X=鹵離子)。與POX₃類似之化合物為適合的，諸如P由S置換之化合物。其他適合的例示性酸酐可包含可溶於酸之元素、金屬、合金或混合物之氧化物，諸如包含以下之氮氧化物、氧(氮氧)化物或氧化物：鹼金屬、鹼土金屬、

過渡金屬、內過渡金屬或稀土金屬或Al、Ga、In、Sn或Pb，諸如來自以下之群中之一者：Mo、Ti、Zr、Si、Al、Ni、Fe、Ta、V、B、Nb、Se、Te、W、Cr、Mn、Hf、Co及Mg。相應氧化物可包含MoO₂、TiO₂、ZrO₂、SiO₂、Al₂O₃、NiO、FeO或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及MgO。其他適合的例示性氧化物為以下之群之氧化物：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及Pb。在一個例示性實施例中，酸包含氫鹵酸，且產物為H₂O及氧化物之金屬鹵化物。反應混合物進一步包含氫來源(諸如H₂氣體)及解離體(諸如Pt/C)，其中H與H₂O觸媒反應形成低能量氫。

在一個實施例中，固體燃料包含H₂來源(諸如滲透膜或H₂氣體)及解離體(諸如Pt/C)及包含還原成H₂O之氧化物或氫氧化物之H₂O觸媒來源。氧化物或氫氧化物之金屬可形成充當H來源之金屬氫化物。鹼金屬氫氧化物及氧化物(諸如LiOH及Li₂O)之例示性反應為



反應混合物可包含經歷氫還原成H₂O之金屬氧化物或氫

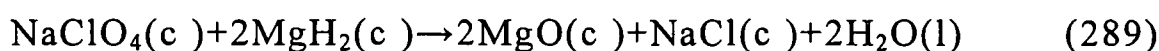
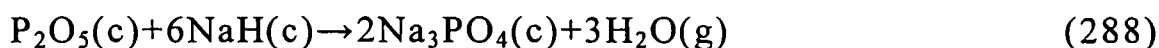
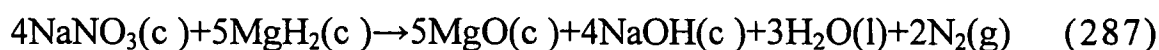
氧化物，諸如以下之氧化物或氫氧化物：Cu、Ni、Pb、Sb、Bi、Co、Cd、Ge、Au、Ir、Fe、Hg、Mo、Os、Pd、Re、Rh、Ru、Se、Ag、Tc、Te、Tl、Sn、W、Al、V、Zr、Ti、Mn、Zn、Cr、In及Pb；及氫來源(諸如H₂氣體)及解離體(諸如Pt/C)。

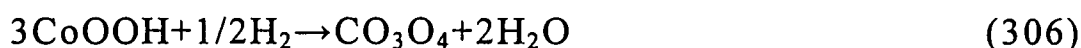
在另一實施例中，反應混合物包含H₂來源(諸如H₂氣體)及解離體(諸如Pt/C)及分解成H₂O觸媒及其他含氧產物(諸如O₂)之過氧化物化合物(諸如H₂O₂)。一些H₂與分解產物(諸如O₂)可反應，亦形成H₂O觸媒。

在一個實施例中，形成作為觸媒之H₂O的反應包含有機脫水反應，諸如醇(諸如多元醇，諸如糖)脫水形成醛及H₂O。在一個實施例中，脫水反應涉及自末端醇釋放H₂O形成醛。末端醇可包含糖或其衍生物，釋放可充當觸媒之H₂O。適合的例示性醇為內赤蘚醇、半乳糖醇(galactitol/dulcitol)及聚乙烯醇(PVA)。例示性反應混合物包含糖+氫解離體，諸如Pd/Al₂O₃+H₂。或者，反應包含金屬鹽(諸如具有至少一個水合水之金屬鹽)之脫水。在一個實施例中，脫水包含自水合物(諸如水合離子及鹽水合物，諸如BaI₂·2H₂O及EuBr₂·nH₂O)失去H₂O以作為觸媒。

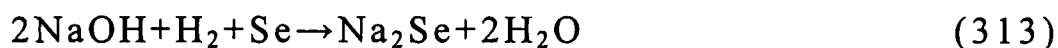
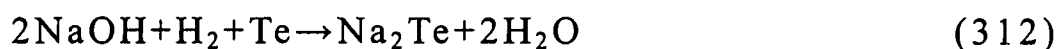
在一個實施例中，形成H₂O觸媒之反應包含以下物質之氫還原：含氧化合物(諸如CO)、氧陰離子(諸如MNO₃，M=鹼金屬)、金屬氧化物(諸如NiO、Ni₂O₃、Fe₂O₃或SnO)、氫氧化物(諸如Co(OH)₂)、氧(氫氧)化物(諸如FeOOH、CoOOH及NiOOH)、及可用氫還原成H₂O之化合

物、氧陰離子、氧化物、氫氧化物、氧(氫氧)化物、過氧化物、超氧化物及其他含氧之物質組合物，諸如本發明之該等物質。例示性含氧化合物或氧陰離子為 SOCl_2 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 、 NaMnO_4 、 POBr_3 、 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 CO 、 CO_2 、 NO 、 NO_2 、 P_2O_5 、 N_2O_5 、 N_2O 、 SO_2 、 I_2O_5 、 NaClO_2 、 NaClO 、 K_2SO_4 及 KHSO_4 。用於氫還原之氫來源可為 H_2 氣體及氫化物(諸如金屬氫化物，諸如本發明之金屬氫化物)中之至少一者。反應混合物可進一步包含可形成含氧化合物或離子之還原劑。氧陰離子之陽離子可形成含另一陰離子之產物化合物，該陰離子諸如鹵離子、其他硫族離子、磷離子、其他氧陰離子、氮離子、矽離子、砷離子或本發明之其他陰離子。例示性反應為



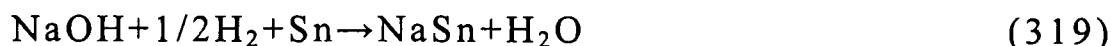
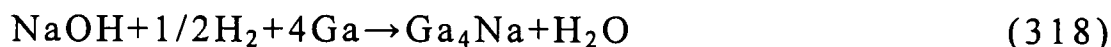
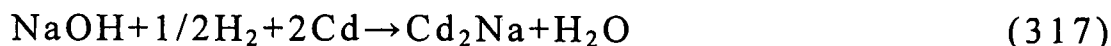
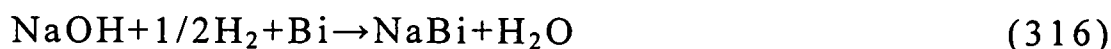
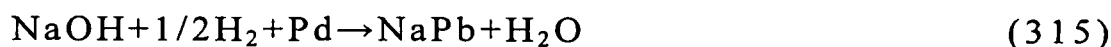


反應混合物可包含陰離子來源或陰離子及氧來源或氧(諸如含氧化合物)，其中形成 H_2O 觸媒之反應包含視情況選用之來自來源之 H_2 與氧反應形成 H_2O 的陰離子-氧交換反應。例示性反應為

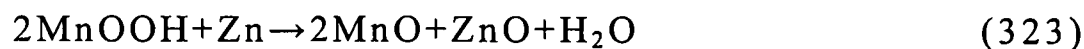
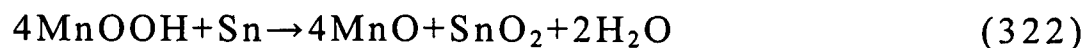
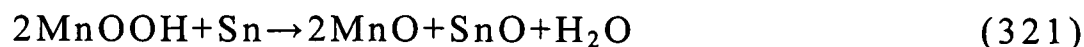


在一個實施例中，反應混合物包含氫來源、含氧化合物及能夠與反應混合物之至少一個其他元素形成合金的至少一個元素。形成 H_2O 觸媒之反應可包含含氧化合物之氧與能夠與氧化合物之陽離子形成合金之元素的交換反應，其

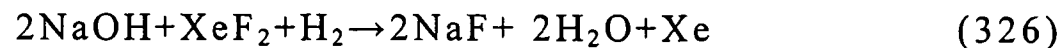
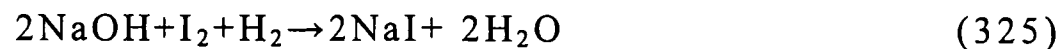
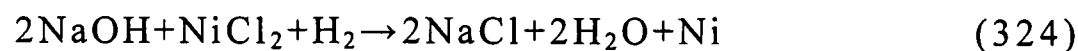
中氧與來自來源之氫反應形成H₂O。例示性反應為



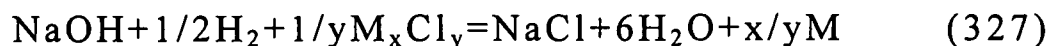
在一個實施例中，反應混合物包含含氧化合物(諸如氧(氫氧)化物)及還原劑(諸如形成氧化物之金屬)。形成H₂O觸媒之反應可包含氧(氫氧)化物與金屬形成金屬氧化物及H₂O之反應。例示性反應為



在一個實施例中，反應混合物包含含氧化合物(諸如氫氧化物)、氫來源及至少一種其他包含不同陰離子(諸如鹵離子)或另一元素之化合物。形成H₂O觸媒之反應可包含氫氧化物與其他化合物或元素之反應，其中陰離子或元素與氫氧化物交換形成該陰離子或元素之另一化合物，且氫氧化物與H₂反應形成H₂O。陰離子可包含鹵離子。例示性反應為



可選擇氫氧化物及鹵化物以使形成 H_2O 及另一鹵離子之反應為熱可逆的。在一個實施例中，一般交換反應為

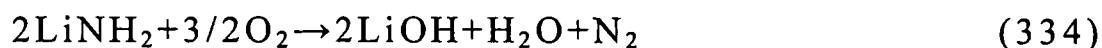


其中例示性化合物 $M_x Cl_y$ 為 $AlCl_3$ 、 $BeCl_2$ 、 $HfCl_4$ 、 $KAgCl_2$ 、 $MnCl_2$ 、 $NaAlCl_4$ 、 $ScCl_3$ 、 $TiCl_2$ 、 $TiCl_3$ 、 UCl_3 、 UCl_4 、 $ZrCl_4$ 、 $EuCl_3$ 、 $GdCl_3$ 、 $MgCl_2$ 、 $NdCl_3$ 及 YCl_3 。在高溫下，方程式(327)之反應(諸如在約 $100^\circ C$ 至 $2000^\circ C$ 範圍內)具有約0 kJ之焓及自由能中之至少一者，且為可逆的。可逆的溫度由各反應之相應熱力學參數計算。代表性溫度範圍為 $NaCl-ScCl_3$ (約 800-900K)、 $NaCl-TiCl_2$ (約 300-400K)、 $NaCl-UCl_3$ (約 600-800K)、 $NaCl-UCl_4$ (約 250-300K)、 $NaCl-ZrCl_4$ (約 250-300K)、 $NaCl-MgCl_2$ (約 900-1300K)、 $NaCl-EuCl_3$ (約 900-1000K)、 $NaCl-NdCl_3$ (約 >1000K)及 $NaCl-YCl_3$ (約 >1000K)。

在一個實施例中，反應混合物包含氧化物，諸如金屬氧化物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬氧化物及其他金屬及類金屬之氧化物，諸如Al、Ga、In、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Bi、Se及Te之氧化物；過氧化物，諸如 M_2O_2 (其中M為鹼金屬)，諸如 Li_2O_2 、 Na_2O_2 及 K_2O_2 ；及超氧化物，諸如 MO_2 (其中M為鹼金屬，諸如 NaO_2 、 KO_2 、 RbO_2 及 CsO_2)及鹼土金屬超氧化物；及氫來源。離子過氧化物可進一步包含Ca、Sr或Ba之過氧化物。形成 H_2O 觸媒之反應可包含形成 H_2O 之氧化物、過氧化物或超氧化物之氫還原。例示性反應為



在一個實施例中，反應混合物包含氫來源，諸如 H_2 、氫化物(諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬氫化物及本發明氫化物中之至少一者)中之至少一者及氫來源或其他含易燃氫化合物(諸如金屬胺化物)及氧來源(諸如 O_2)。形成 H_2O 觸媒之反應可包含 H_2 、氫化物或氫化合物(諸如金屬胺化物)之氧化形成 H_2O 。例示性反應為

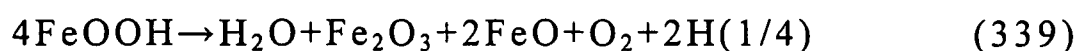


在一個實施例中，反應混合物包含氫來源及氧來源。形成 H_2O 觸媒之反應可包含氫來源及氧來源中之至少一者分解形成 H_2O 。例示性反應為



本文在此化學反應器章節中所揭示的反應混合物進一步包含氫來源以形成低能量氫。來源可為原子氫來源，諸如氫解離體及 H_2 氣體或金屬氫化物，諸如本發明之解離體及

金屬氫化物。提供原子氫之氫來源可為包含氫之化合物，諸如氫氧化物或氧(氫氧)化物。反應形成低能量氫之H可為由一或多種反應物之反應(諸如氫氧化物與氧化物之反應)形成的初生H，其中至少一種反應物包含氫來源。反應亦可形成H₂O觸媒。舉例而言，氧(氫氧)化物(諸如FeOOH)可脫水提供H₂O觸媒，而且在脫水期間提供初生H以用於低能量氫反應：



其中該反應期間形成之初生H反應形成低能量氫。其他例示性反應為氫氧化物與氧(氫氧)化物或氧化物(諸如NaOH+FeOOH或Fe₂O₃)形成鹼金屬氧化物(諸如NaFeO₂+H₂O)之反應，其中該反應期間形成之初生H可形成低能量氫，其中H₂O充當觸媒。

在一個實施例中，H₂O充當觸媒，其維持在低濃度下以提供初生H₂O。在一個實施例中，低濃度係藉由將H₂O分子分散於另一材料(諸如固體、液體或氣體)中來達成。H₂O分子可稀釋至分離的初生分子之極限。該材料亦包含H來源。材料可包含離子化合物，諸如鹼金屬鹵化物，諸如鉀鹵化物，諸如KCl。初生H之低濃度亦可動態達成，其中H₂O由反應形成。產物H₂O可以相對於產生穩態低濃度之形成速率之速率移除以提供初生H。形成H₂O之反應可包含脫水、燃燒、酸鹼反應及其他反應，諸如本發明之反應。H₂O可藉由諸如蒸發及濃縮之方法移除。例示性反應物為形成氧化鐵及H₂O之FeOOH，其中初生H亦由進一

步反應形成以形成低能量氫。其他例示性反應混合物為 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{NaOH}$ 及 H_2 中之至少一者、及 $\text{FeOOH} + \text{NaOH}$ 及 H_2 中之至少一者。反應混合物可維持在高溫下，諸如在約 100°C 至 600°C 範圍內。 H_2O 產物可藉由在反應器之冷區(諸如維持低於 100°C 之氣體管線)中冷凝蒸汽來移除。在另一實施例中，分散或吸收於晶格(諸如離子化合物(諸如鹼金屬鹵化物，諸如鉀鹵化物，諸如 KCl)之晶格)中之包含 H_2O 作為混合物或化合物之內含物或一部分之材料(諸如 H_2O) 可受高能粒子轟擊。粒子可包含光子、離子及電子中之至少一者。粒子可包含諸如電子束之射束。轟擊可提供 H_2O 觸媒、 H 及形成低能量氫之反應之活化中之至少一者。

反應混合物可進一步包含載體(諸如導電高表面積載體)。適合的例示性載體為本發明載體，諸如金屬粉末(諸如 Ni 或 R-Ni)、金屬篩網(諸如 Ni)、碳、碳化物(諸如 TiC 及 WC)及硼化物。載體可包含解離體，諸如 Pd/C 或 Pd/C 。反應物可為任何所需莫耳比。在一個實施例中，化學計量有利於反應完成以形成 H_2O 觸媒及提供 H 以形成低能量氫。反應溫度可在任何所需範圍內，諸如在約環境溫度至 1500°C 範圍內。壓力範圍可為任何所需值，諸如在約 0.01 托至 500 atm 範圍內。反應為再生或可逆反應中之至少一者：藉由本文及吾以下先前美國專利申請案中所揭示之方法進行：諸如 Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US08/61455，PCT 4/24/2008 申請；Heterogeneous Hydrogen Catalyst Reactor，PCT/US09/052072，PCT 7/29/2009 申請；

Heterogeneous Hydrogen Catalyst Power System , PCT/US10/27828 , PCT 3/18/2010 申請 ; 及 Electrochemical Hydrogen Catalyst Power System , PCT/US11/28889 , PCT 3/17/2011 申請 , 該等文獻以全文引用之方式併入本文中。

如熟習此項技術者所知 , 形成 H_2O 之反應可藉由改變反應條件 (諸如溫度及壓力) 以發生消耗 H_2O 之逆反應而為可逆的。舉例而言 , 可在逆向反應中增加 H_2O 壓力以藉由再水合自產物重組反應物。在其他情況下 , 氫還原的產物可藉由諸如由與氧及 H_2O 中之至少一者反應氧化來再生。在一個實施例中 , 可自反應中移除逆反應產物以使逆反應或再生反應繼續進行。即使在基於平衡熱力學不利的情況下 , 藉由移除至少一個逆反應產物 , 逆反應亦可變成有利的。在一個例示性實施例中 , 再生之反應物 (逆反應或再生反應產物) 包含氫氧化物 , 諸如鹼金屬氫氧化物。氫氧化物可為藉由諸如溶劑化或昇華之方法移除。在後者的情況下 , 鹼金屬氫氧化物在約 $350-400^{\circ}C$ 範圍內之溫度下無變化地昇華。反應可維持在吾先前美國專利申請案之電廠系統中。產生電力之電池之熱能可向如先前所揭示之至少一個經受再生之其他電池提供熱。或者 , 形成 H_2O 觸媒之反應與逆再生反應之平衡可如先前所揭示藉由改變在電池之所選區處因冷卻劑而具溫度梯度之系統設計之水牆的溫度來移動。

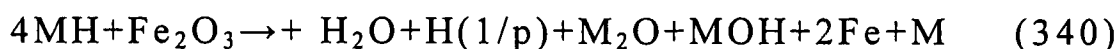
在一個實施例中 , 使用包含 H 及 O 中之至少一者之觸媒 (諸如 H_2O) 合成低能量氫物質及化合物。合成例示性低能

量氫化合物MHX之反應混合物，其中M為鹼金屬且可為另一金屬(諸如鹼土金屬)，其中化合物具有相應化學計量，H為低能量氫(諸如低能量氫氫化物)，且X為陰離子(諸如鹵離子)，包含M及X來源(諸如鹼金屬鹵化物，諸如KCl)及金屬還原劑(諸如鹼金屬)、氫解離體(諸如Ni，諸如Ni篩網或R-Ni)及視情況選用之載體(諸如碳)、氫來源(諸如金屬氫化物(諸如MH，可替換M)及H₂氣體中之至少一者)及氧來源(諸如金屬氧化物或含氧化合物)。適合的例示性金屬氧化物為Fe₂O₃、Cr₂O₃及NiO。反應溫度可維持在約200°C至1500°C或約400°C至800°C範圍內。反應物可為任何所需比率。形成KHCl之反應混合物可包含K、Ni篩網、KCl、氫氣、及Fe₂O₃、Cr₂O₃及NiO中之至少一者。例示性重量及條件為1.6 g K，20 g KCl，40 g Ni篩網，來自金屬氧化物之與K等莫耳數之氧(諸如1.5 g Fe₂O₃及1.5 g NiO)，1 atm H₂，及約550-600 °C之反應溫度。反應藉由H與來自金屬氧化物之O之反應形成H₂O觸媒，且H與觸媒反應形成低能量氫及低能量氫氫化物離子(形成產物KHCl)。形成KHI之反應混合物可包含K、R-Ni、KI、氫氣、及Fe₂O₃、Cr₂O₃及NiO中之至少一者。例示性重量及條件為1 g K，20 g KI，15 g R-Ni 2800，來自金屬氧化物(諸如1 g Fe₂O₃及1 g NiO)之與K等莫耳數之氧，1 atm H₂，及約450-500 °C之反應溫度。反應藉由H與來自金屬氧化物之O之反應形成H₂O觸媒，且H與觸媒反應形成低能量氫及低能量氫氫化物離子(形成產物KHI)。在一個實施例中，CIHT電

池、固體燃料或化學電池中之至少一者之產物為包含低能量氫物質及陽離子之化合物，其中後者引起低能量氫物質NMR向分離的低能量氫物質之低磁場位移。陽離子之低磁場位移可為實質性的，諸如大於+10 ppm。陽離子可呈異常氧化態，諸如 2^+ 鹼金屬陽離子。化合物可包含通常高帶電的陽離子，諸如 M^{2+} (M =鹼金屬)及至少一個 $H^-(1/p)$ ，且可進一步包含另一陰離子(諸如鹵離子)。例示性化合物為MHX，其中 M 為鹼金屬， H 為低能量氫氫化物離子，且 X 為鹵離子，諸如NaHCl、KHCl或KHI。在一個實施例中，化合物中低能量氫氫化物離子相對於TMS之NMR位移可在約-4 ppm $\pm$ 2 ppm範圍內，其中低能量氫氫化物離子可包含 $H^-(1/4)$ 。在另一實施例中，固體基質(諸如氫氧化物(諸如NaOH或KOH)之基質)中低能量氫物質(諸如低能量氫原子、氫化物離子或分子)之存在引起基質質子向高磁場位移。基質質子(諸如NaOH或KOH之質子)可交換。在一個實施例中，位移可使得基質峰相對於TMS在約-0.1至-5 ppm範圍內。

在一個實施例中，其中鹼金屬 M (諸如K或Li)及 nH (n =整數)、OH、O、 $2O$ 、 O_2 及 H_2O 中之至少一者充當觸媒， H 來源為以下中之至少一者：金屬氫化物(諸如MH)、及金屬 M 及金屬氫化物MH中之至少一者與 H 來源形成 H 之反應。一個產物可為氧化之 M ，諸如氧化物或氫氧化物。產生原子氫及觸媒中之至少一者之反應可為電子轉移反應或氧化還原反應。反應混合物可進一步包含 H_2 、 H_2 解離體(諸如本

發明之 H_2 解離體，諸如Ni篩網或R-Ni)及導電載體中之至少一者，導電載體諸如該等解離體及其他類似物以及本發明載體(諸如碳及碳化物、硼化物及碳氮化物)。M或MH之例示性氧化反應為



其中 H_2O 及M中之至少一者可充當觸媒以形成 $H(1/p)$ 。反應混合物可進一步包含低能量氫吸收劑，諸如化合物，諸如鹽，諸如鹵化物鹽，諸如鹼金屬鹵化物鹽，諸如KCl或KI。產物可為MHX(M=金屬，該等鹼金屬；X為相對離子，諸如鹵離子；H為低能量氫物質)。其他低能量氫觸媒可替代M，諸如本發明之觸媒，諸如表1之觸媒。

在一個實施例中，氧來源為具類似於水之形成熱的化合物以便氧來源化合物之還原產物與氫之間的氧交換在最低能量釋放下發生。適合的例示性氧來源化合物為CdO、CuO、ZnO、 SO_2 、 SeO_2 及 TeO_2 。其他類似物(諸如金屬氧化物)亦可為可經受脫水反應之酸或鹼之酐，因為 H_2O 觸媒之來源為 MnO_x 、 AlO_x 及 SiO_x 。在一個實施例中，氧化物層氧來源可覆蓋氫來源，諸如金屬氫化物，諸如氫化鈹。形成進一步反應以形成低能量氫的 H_2O 觸媒及原子H的反應可藉由加熱氧化物塗佈之氫來源(諸如金屬氧化物塗佈之氫化鈹)引發。氫化鈹可藉由氫不可透層(諸如金膜層)塗佈於氧來源之相對側以引起釋放之氫選擇性地遷移至氧來源，該氧化物層諸如金屬氧化物。在一個實施例中，形成低能量氫觸媒之反應及再生反應分別包含氧來源化合物與

氫之間及水與還原之氧來源化合物之間的的氧交換。適合的還原之氧來源為 Cd、Cu、Zn、S、Se及Te。在一個實施例中，氧交換反應可包含用於熱形成氫氣之反應。例示性熱法為氧化鐵循環、氧化鈾(IV)-氧化鈾(III)循環、鋅-氧化鋅循環、硫-碘循環、銅-氯循環及混合硫循環及熟習此項技術者已知之其他循環。在一個實施例中，形成低能量氫觸媒之反應及再生反應(諸如氧交換反應)在同一反應容器中相同發生。可控制條件(諸如溫度及壓力)以達成反應同時發生。或者，產物可被移出及在至少一個其他單獨容器中再生，該再生可在不同於如本發明及 Mills Prior Patents中所給出之電力形成反應之條件下發生。

在一個實施例中，胺化物(諸如 LiNH_2)之 NH_2 基團充當觸媒，其中方程式(5)中對應於 $m=3$ 之位能為約 81.6 eV。類似於酸或鹼形成酐及酐形成酸或鹼之可逆的 H_2O 消除或添加反應，胺化物與亞胺化物或氮化物之間的可逆反應形成 NH_2 觸媒， NH_2 觸媒進一步與原子 H 反應形成低能量氫。胺化物與亞胺化物及氮化物中之至少一者之間的可逆反應亦可充當氫來源，諸如原子 H。

低能量氫氣體可經由膜擴散且當溶解於溶劑中時反應形成低能量氫氫化物。產物 $\text{H}_2(1/p)$ 可藉由加熱釋放該氣體之產物來分離。當低能量氫氣體來源包含結晶來源時，其可溶解於適合的溶劑(諸如 H_2O)中。釋放之氣體可捕捉於低溫冷阱(諸如液氮冷阱)中，其中溶劑(諸如 H_2O)可在氣體收集管線中之預冷阱中移除。因為陽極吸收低能量氫氣體，

所以其可藉由氣體排出而充當低能量氫氣體來源，氣體排出可藉由化學消化或藉由加熱來加速。消化可包含陽極與酸之反應。一些材料可在產生期間因併入或藉由捕捉天然豐富之氣體而包含捕捉之低能量氫氣體。實例為KOH及K₂CO₃。在一個實施例中，低能量氫氣體H₂(l/p)可藉由捕捉於對低能量氫氣體具高溶解度之溶劑中來分離並純化。適合的溶劑可對H₂具高溶解度，諸如文獻中熟知之己烷或全氟己烷，諸如C. L. Young編，*Solubility Data Series Hydrogen and Deuterium*，第5/6卷，IUPAC, Pergamon Press, Oxford, 1981 (該文獻以全文引用之方式併入本文中)中所給出。

在一個實施例中，物質(諸如結晶化合物，諸如KCl)之組合物含有捕捉之低能量氫(諸如H₂(l/p))。在一個實施例中，低能量氫(諸如H₂(l/p))自物質組合物中純化而來。低能量氫(諸如H₂(l/p))可藉由將物質(諸如KCl)之組合物溶解於適合的溶劑(諸如H₂O)中來形成可與來自物質組合物之物質締合的溶劑化低能量氫(諸如H₂(l/p))而純化。舉例而言，H₂(l/p)可與KCl錯合。包含低能量氫之溶劑化混合物之組分可有選擇性地加以分離。分離可藉由添加另一溶劑或藉由改變條件(諸如溫度)來引起含低能量氫之部分有選擇性地沈澱，藉此藉由諸如過濾之方法來收集而達成。或者，含低能量氫之部分可留在溶液中，且其餘物質可沈澱析出。移除該缺失低能量氫之組合物，留下富含低能量氫之溶液。可移除溶劑且收集含低能量氫之部分。分離該部

分中之低能量氫的另一方法為添加溶劑或改變條件以使含低能量氫物質沈澱接著藉由諸如過濾之方法收集。

在一個實施例中，低能量氫氣體可藉由氫或稀有氣體-氫混合物(諸如氫-氫混合物)之電漿放電(諸如微波、RF或輝光放電)形成。電漿可包含氫來源，諸如水蒸汽電漿。低能量氫產物可收集於適合的溶劑(諸如D₂O或有機溶劑)中。可首先收集於低溫冷阱中，諸如液氮或液氮低溫冷阱。冷凝或吸收之氣體可被加熱並轉移至NMR溶劑中。

在一個實施例中，可純化低能量氫氫化物化合物。純化方法可包含使用適合的溶劑萃取及再結晶中之至少一者。方法可進一步包含層析及熟習此項技術者已知之分離無機化合物之其他技術。

在一個實施例中，低能量氫氫化物化合物由CIHT電池或陰極及陽極半電池反應物之反應混合物形成。形成低能量氫及低能量氫氫化物化合物之例示性CIHT電池或陰極及陽極半電池反應物之反應混合物為[Ni(H₂)/LiOH-LiBr/Ni+空氣，間歇電解]、[PtTi(H₂)/K₂CO₃/Ni+空氣，間歇電解]、[PtTi(H₂)/KOH/Ni+空氣，間歇電解]、[Ni(H₂)/LiOH-LiBr/Ni+空氣]、[M/KOH (飽和水溶液)+CG3401/蒸氣碳+空氣或O₂](M=R-Ni、Zn、Sn、Co、Sb、Pb、In、Ge)、[NaOH Ni(H₂)/BASE/NaCl MgCl₂]、[Na/BASE/NaOH]、[LaNi₅H₆/KOH (飽和水溶液)+CG3401/蒸氣碳+空氣或O₂]、[Li/Celgard LP 30/CoO(OH)]、[Li₃Mg/LiCl-KCl/TiH₂或ZrH₂]、[Li₃N TiC/LiCl-KCl/CeH₂

CB]及[Li/LiCl-KCl/LaH₂]。具有較佳1/4狀態之產物分子低能量氫及低能量氫氫化物離子可在用NMR溶劑(較佳為氘化DMF或DMSO)萃取產物混合物後使用液體NMR觀察。

在一個實施例中，藉由H與OH及H₂O觸媒中之至少一者之反應合成低能量氫物質(諸如分子低能量氫或低能量氫氫化物離子)。低能量氫物質可由以下之群中之至少兩者產生：金屬(諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pb、As、Sb及Te)、金屬氫化物(諸如LaNi₅H₆及本發明之其他類似物)、水性氫氧化物(諸如鹼性氫氧化物，諸如0.1 M至飽和濃度之KOH)、載體(諸如碳、Pt/C、蒸氣碳、碳黑、碳化物、硼化物或腈)及氧。形成低能量氫物質(諸如分子低能量氫)之適合的例示性反應混合物為 (1) Co PtC KOH (飽和)，有及無O₂；(2) Zn或Sn+LaNi₅H₆+KOH (飽和)；(3) Co、Sn、Sb或Zn+O₂+CB+KOH (飽和)；(4) Al CB KOH (飽和)；(5) Sn Ni塗佈之石墨KOH (飽和)，有或無O₂；(6) Sn+SC或CB+KOH (飽和)+O₂；(7) Zn Pt/C KOH (飽和) O₂；(8) Zn R-Ni KOH (飽和) O₂；(9) Sn LaNi₅H₆ KOH (飽和) O₂；(10) Sb LaNi₅H₆ KOH (飽和) O₂；(11) Co、Sn、Zn、Pb或Sb+KOH (飽和水溶液)+K₂CO₃+CB-SA及(12) LiNH₂ LiBr及LiH或Li及H₂或其來源及視情況選用之氫解離體(諸如Ni或R-Ni)。其他反應混合物包含熔融氫氧化物、氫來源、氧來源及氫解離體。形成低能量氫物質(諸如分子低能量氫)之適合的例示性反應混合物為 (1)

Ni(H₂) LiOH-LiBr空氣或 O₂；(2) Ni(H₂) NaOH-NaBr空氣或 O₂及(3) Ni(H₂) KOH-NaBr空氣或 O₂。在一個實施例中，可在發生任何 H₂及 H₂O析出後進行氣體收集，其中 H₂(1/p)氣體仍自反應物析出。析出可歸因於 H⁻(1/p)與水形成 H₂(/p)之慢反應，諸如反應 $H^-(1/4)+H_2O \rightarrow H_2(1/4)$ 。

在一個實施例中，低能量氫氣體因加熱而自含低能量氫之固體或液體(低能量氫反應產物)釋放。可使用例如冷凝器使除分子低能量氫以外的任何氣體(諸如溶劑，諸如 H₂O)冷凝。冷凝物可回流。可藉由分餾收集不含其他氣體之分子低能量氫氣體。又，可用再結合器(recombiner)或藉由燃燒及藉由蒸餾移除 H₂O來移除普通氫。低能量氫物質(諸如分子低能量氫)可在溶劑(諸如有機溶劑，諸如 DMF 或 DMSO)中萃取並藉由諸如加熱及視情況自溶劑蒸餾分子低能量氫氣體之方法自溶劑中純化。在一個實施例中，用溶劑(諸如有機溶劑，諸如 DMF)萃取含低能量氫物質之產物，且加熱溶劑並視情況回流以釋放低能量氫氣體，收集該低能量氫氣體。低能量氫氣體亦可藉由使用包含載體或不廣泛吸收氣體添加劑(諸如碳化物(諸如 TiC 或 TaC)或 LaN)之反應混合物獲得。

低能量氫氣體 H₂(1/p)可藉由在溶劑(氣體在其中可溶)中萃取、使物質組合物發生相變(諸如熔融)或藉由將物質組合物溶解於溶劑(H₂(1/p)在其中具有低溶解度或不可溶)中之至少一者自物質組合物(諸如含該氣體之化合物或材料)分離而得。

在一個實施例中， l 量子數不為0之分子低能量氫具有淨磁矩，且因此預測具有顯著高於 H_2 之液化溫度。含 $H_2(1/4)$ 之Ar及KCl的MAS NMR中之順磁基質位移及入射電子束激發之振轉光譜中 $\Delta J=-1$ 選擇法則證實該等狀態。藉由低溫過濾來源(諸如空氣)獲得之氫、氘及氚中 $H_2(1/4)$ 之存在亦支持 $H_2(1/p)$ 之液化溫度高於 H_2 。因此，可藉由使用溫度高於液氮低溫冷阱之溫度的低溫冷阱(諸如液氮、液氫或液氘低溫冷阱)來分離 $H_2(1/p)$ 。亦可在低溫下在磁場中收集 $H_2(1/p)$ ，諸如在氧氣之情況下，可在低溫下，在磁極片之間形成固體。

在包含熔融鹽電解質之CIHT電池實施例(諸如 $[Ni(H_2)/MOH$ 或 $M(OH)_2-M'X$ 或 $M'X_2/Ni$ 空氣]， M 及 M' 為Li、Na、K、Rb、Cs、Mg、Ca、Sr及Ba中之一者； X 為氫氧根、鹵離子、硫酸根及碳酸根中之一者)中，氫氣在放電陽極處藉由間歇電解而產生。隨後，用經由擴散穿過電極壁(諸如H可透膜)接收低能量氫之抽真空電極或腔室置換氫可透電極。例示性電池為 $[Ni(H_2(1/p))/LiOH-LiBr/Ni$ 空氣]間歇充電-放電。收集低能量氫氣體 $H_2(1/p)$ 用於適用的應用，諸如雷射介質、用於形成結合能增加之氫物質及化合物的化學試劑及熱轉移介質。

在一個實施例中，形成低能量氫之化學及CIHT電池反應中之至少一者之產物為與無機化合物錯合之含低能量氫或低能量氫物質之化合物(諸如 $H_2(1/p)$)。化合物可包含氧陰離子化合物，諸如鹼金屬或鹼土金屬碳酸鹽或氫氧化物

或本發明之其他該等化合物。在一個實施例中，產物包含 $M_2CO_3 \cdot H_2(1/4)$ 及 $MOH \cdot H_2(1/4)$ (M =鹼金屬或本發明之其他陽離子)錯合物中之至少一：。產物可由ToF-SIMS鑑別為分別包含 $M(M_2CO_3 \cdot H_2(1/4))_n^+$ 及 $M(KOH \cdot H_2(1/4))_n^+$ 之正光譜之一系列離子，其中 n 為整數，且 $p > 1$ 之整數可替代 4。

用本發明方法合成之低能量氫化合物可具有式 MH 、 MH_2 或 M_2H_2 ，其中 M 為鹼金屬陽離子且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 MH_n ，其中 n 為 1 或 2， M 為鹼土金屬陽離子且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 MHX ，其中 M 為鹼金屬陽離子， X 為中性原子(諸如鹵素原子)、分子或帶單一負電陰離子(諸如鹵素陰離子)中之一者，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 MHX ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 MHX ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶雙負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫原子。化合物可具有式 M_2HX ，其中 M 為鹼金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 MH_n ，其中 n 為整數， M 為鹼性陽離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 M_2H_n ，其中 n 為整數， M 為鹼土金屬陽離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可

具有式 M_2XH_n ，其中 n 為整數， M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $M_2X_2H_n$ ，其中 n 為 1 或 2， M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 M_2X_3H ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 M_2XH_n ，其中 n 為 1 或 2， M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶雙負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $M_2XX'H$ ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子， X' 為帶雙負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 $MM'H_n$ ，其中 n 為 1 至 3 之整數， M 為鹼土金屬陽離子， M' 為鹼金屬陽離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $MM'XH_n$ ，其中 n 為 1 或 2， M 為鹼土金屬陽離子， M' 為鹼金屬陽離子， X 為帶單一負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $MM'XH$ ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， M' 為鹼金屬陽離子， X 為帶雙負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結合能增加之氫原子。化合物可具有式 $MM'XX'H$ ，其中 M 為鹼土金屬陽離子， M' 為鹼金屬陽離子， X 及 X' 為帶單一的負電的陰離子，且 H 為結合能增加之氫化物離子或結

合能增加之氫原子。化合物可具有式 $MXX'H_n$ ，其中 n 為 1 以 5 之整數， M 為鹼金屬或鹼土金屬陽離子， X 為帶單一或雙負電的陰離子， X' 為金屬或類金屬、過渡元素、內過渡元素或稀土元素，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 MH_n ，其中 n 為整數， M 為陽離子，諸如過渡元素、內過渡元素或稀土元素，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 MXH_n ，其中 n 為整數， M 為陽離子，諸如鹼金屬陽離子、鹼土金屬陽離子， X 為另一陽離子，諸如過渡元素、內過渡元素或稀土元素陽離子，且化合物之氫內含物 H_n 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $[KH_mKCO_3]_n$ ，其中 m 及 n 各為整數，且化合物之氫內含物 H_m 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $[KH_mKNO_3]_n^+ nX^-$ ，其中 m 及 n 各為整數， X 為帶單一負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_m 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $[KHKNO_3]_n$ ，其中 n 為整數，且化合物之氫內含物 H 包含至少一種結合能增加之氫物質。化合物可具有式 $[KHKON]_n$ ，其中 n 為整數，且化合物之氫內含物 H 包含至少一種結合能增加之氫物質。包括陰離子或陽離子之化合物可具有式 $[MH_mM'X]_n$ ，其中 m 及 n 各為整數， M 及 M' 各為鹼金屬或鹼土金屬陽離子， X 為帶單一或雙負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_m 包含至少一種結合能增加之氫物質。包括陰離子或陽離子之化合物可具有式 $[MH_mM'X']_n^+ nX^-$ ，其中 m 及 n 各為整數， M 及 M' 各為鹼金屬或

鹼土金屬陽離子， X 及 X' 為帶單一或雙負電的陰離子，且化合物之氫內含物 H_m 包含至少一種結合能增加之氫物質。陰離子可包含本發明之陰離子之一。適合的例示性帶單一負電的陰離子為鹵離子、氫氧根離子、碳酸氫根離子或硝酸根離子。適合的例示性帶雙負電的陰離子為碳酸根離子、氧離子或硫酸根離子。

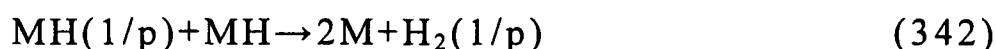
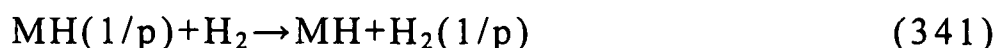
在一個實施例中，結合能增加之氫化合物或混合物包含包埋於晶格(諸如結晶晶格)中，諸如包埋於金屬或離子晶格中之至少一種低能量氫物質，諸如低能量氫原子、低能量氫氫化物離子及二低能量氫分子。在一個實施例中，晶格不能與低能量氫物質反應。基質可為非質子性的，諸如在包埋之低能量氫氫化物離子之情況下。化合物或混合物可包含包埋於鹽晶格(諸如鹼金屬或鹼土金屬鹽，諸如鹵化物)中之 $H(1/p)$ 、 $H_2(1/p)$ 及 $H^-(1/p)$ 中之至少一者。例示性鹼金屬鹵化物為 KCl 及 KI 。其他適合的鹽晶格包含本發明之鹽晶格。低能量氫物質可藉由用非質子性觸媒(諸如表1中之觸媒)催化氫來形成。

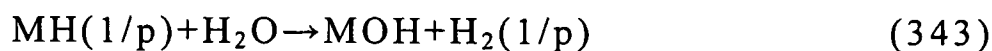
本發明化合物較佳為大於0.1原子%純。化合物更佳為大於1原子%純。化合物甚至更佳為大於10原子%純。化合物最佳為大於50原子%純。在另一實施例中，化合物為大於90原子%純。在另一實施例中，化合物為大於95原子%純。

化合物之應用包括用於電池組、燃料電池、切割材料、輕質量高強度結構材料及合成纖維、熱離子發電機陰極、

光致發光化合物、抗磨蝕塗層、耐熱塗層、發光磷光體、光學塗層、光學過濾器、極遠紫外雷射器媒體、光纖電纜、磁體及磁性電腦儲存媒體及浸蝕劑、掩蔽劑、半導體製造摻雜劑、燃料、炸藥及推進劑中。結合能增加之氫化合物適用於化學合成處理方法及精煉方法中。結合能增加之氫離子具有作為高電壓電解電池之電解質之負離子的應用。

由諸如本發明方法之方法形成的低能量氫氫化物化合物之一個應用為作為炸藥或推進劑。在一個實施例中，化合物之低能量氫氫化物離子與質子反應形成二低能量氫。或者，低能量氫氫化物化合物分解形成二低能量氫。該等反應釋放炸藥或推進劑動力。在質子炸藥或推進劑反應中，使用質子來源，諸如酸，諸如 HF、HCl、H₂SO₄ 或 HNO₃，或超酸 (super-acid)，諸如 HF+SbF₅、HCl+Al₂Cl₆、H₂SO₃F+SbF₅ 或 H₂SO₄+SO₂(g)。在另一實施例中，炸藥或推進劑包含低能量氫氫化物離子來源及氫來源，諸如 H₂ 氣體、氫化物化合物及包含氫之化合物 (諸如 H₂O 或 烴 (諸如 燃料油)) 中之至少一者。氫化物化合物可為本發明之氫化物，諸如鹼金屬或鹼土金屬氫化物，諸如 LiH。使低能量氫氫化物化合物 (諸如 MH(1/p) (M=鹼金屬；H(/1p) 為低能量氫氫化物離子 H⁻(1/p))) 與氫來源形成二低能量氫且炸藥或推進劑釋放動力之例示性反應為：





爆炸或推進劑反應係藉由快速混合含低能量氫氫化物離子化合物與 H^+ 來源(諸如酸或超酸)或氫來源來引發。快速混合可藉由引爆鄰近低能量氫氫化物化合物或反應混合物之普通炸藥或推進劑達成。在低能量氫氫化物化合物或反應混合物產生炸藥或推進劑反應之快速熱分解或反應中，分解或反應可由藉由撞擊加熱低能量氫氫化物化合物或混合物引爆鄰近低能量氫氫化物化合物或反應混合物之普通炸藥或推進劑來引起。舉例而言，可用能經由撞擊加熱而一觸即引爆的低能量氫氫化物化合物或包含低能量氫氫化物化合物及可能的其他反應物(諸如質子或氫來源)的反應混合物給子彈鑲尖(tipped)。

在包含含氫來源及氧來源之反應物的形成低能量氫之化學反應器之另一實施例中，原子氫來源為炸藥，其經引爆以提供原子氫及形成觸媒以形成低能量氫之氫及氧中之至少一者。在實施例中，觸媒包含 $n\text{H}$ 、 $n\text{O}$ (n =整數)、 O_2 、 OH 及 H_2O 觸媒中之至少一者。除包含炸藥及視情況選用之其他反應物的固體反應物以外，該視情況選用之其他反應物諸如含氧化合物，諸如氧化物、氫氧化物、氧(氫氧)化物、過氧化物及超氧化物，諸如本發明之該等化合物，氧來源可為空氣。觸媒與原子氫反應以釋放除爆炸反應之能量以外的能量。在一個實施例中，電池因能量之爆炸釋放而破裂，其中原子氫催化對該能量之爆炸釋放有貢獻。該類電池之一個實例為含有用於形成觸媒之原子氫來源及氧

來源的炸彈。

在形成低能量氫之化學反應器之另一實施例中，形成低能量氫及釋放電力(諸如熱力)的電池包含內燃機、火箭引擎或氣渦輪機之燃燒腔室。反應混合物包含氫來源及氧來源以產生觸媒及低能量氫。觸媒來源可為含氫物質及含氧物質中之至少一者。物種或其他反應產物可為包含O及H中之至少一者之物質中之至少一者：諸如 H_2 、H、 H^+ 、 O_2 、 O_3 、 O_3^+ 、 O_3^- 、O、 O^+ 、 H_2O 、 H_3O^+ 、OH、 OH^+ 、 OH^- 、 $HOOH$ 、 OOH^- 、 O^- 、 O_2^- 、 O_2^- 及 O_2^{2-} 。觸媒可包含氧或氫物質，諸如 H_2O 。在另一實施例中，觸媒包含 nH 、 nO (n =整數)、 O_2 、OH及 H_2O 觸媒中之至少一者。氫來源(諸如氫原子來源)可包含含氫燃料，諸如 H_2 氣體或烴。氫原子可在烴燃燒期間藉由烴熱解來產生。反應混合物可進一步包含氫解離體，諸如本發明之氫解離體。H原子亦可由氫解離形成。O來源可進一步包含來自空氣之 O_2 。反應物可進一步包含可充當H及O中之至少一者之來源的 H_2O 。在一個實施例中，水充當氫及氧中之至少一者之其他來源，氫及氧在電池中可藉由 H_2O 之熱解來供應。水可在表面(諸如圓筒或活塞頭)上熱或催化解離成氫原子。表面可包含將水解離成氫及氧之材料。水解離材料可包含以下之元素、化合物、合金或混合物：過渡元素或內過渡元素、鐵、鉑、鈮、鋳、釩、鎳、鈦、Sc、Cr、Mn、Co、Cu、Zn、Y、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Ag、Cd、La、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Au、Hg、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、

Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Vb、Lu、Th、Pa、U、活性木炭(碳)或Cs插碳(石墨)。H及O可反應形成觸媒及H以形成低能量氫。氫及氧來源可經由相應接口或進口(諸如進口閥或歧管)引入。產物可經由排出口或出口排出。流量可藉由經由各自接口控制入口及出口速率來控制。

XII. 實驗

A. 例示性CIHT電池測試結果

各包含陽極、共熔熔融鹽電解質及含於惰性氧化鋁坩鍋中之陰極的熔融鹽CIHT電池在具有無氧氫氛圍之手套箱中組裝並於手套箱中在氫氛圍下加熱。陽極包含於BASE管中之NaOH及H來源(諸如Ni(H₂))，且陰極在電極(諸如Ni)處包含共熔混合物(諸如MgCl₂-NaCl)。第二型包含氫可透陽極(諸如Ni(H₂))、熔融氫氧化物電解質(諸如LiOH-LiBr)及對空氣開放之Ni陰極。第三型包含藉由經由H₂O儲集器鼓泡氫氣載氣或藉由使用維持在30℃至50℃(31托至93托H₂O)例示性溫度範圍內之水發生器供給H₂O之封閉電池。電解質包含熔融鹽(諸如LiOH-LiBr)及視情況選用之基質(諸如MgO)。電池在間歇電解下操作，其中由H₂O在放電陽極處形成氫氣且在放電陰極處形成氧氣。放電期間，反應及電流逆轉形成初生H₂O觸媒及低能量氫以產生過量電流及能量以便達成淨過量電能平衡。在另一變體中，此電池類型在對空氣開放下操作。第四型包含水性電解質(諸如飽和KOH)及在間歇電解條件下在對空氣開放下操作的不同陰極及陽極。稱為[陽極/電解質/陰極]之例示

性電池 (諸如 $[Ni(H_2)/MOH$ 或 $M(OH)_2-M'X$ 或 $M'X_2/Ni$ 空氣](M 及 M' 為 Li 、 Na 、 K 、 Rb 、 Cs 、 Mg 、 Ca 、 Sr 及 Ba 中之一者； X 為氫氧化物、鹵化物、硫酸鹽及碳酸鹽中之一者， M 為 $R-Ni$ 、 Zn 、 Sn 、 Co 、 Cd 、 Sb 及 Pb 中之一者)、 $[NaOH \quad Ni(H_2)BASE/NaCl \quad MgCl_2/Ni]$ 、 $[Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO$ (封閉或空氣)]及 $[Sn_5V_5/KOH$ (飽和水溶液)/ Ni (空氣)])之結果如下所列。

高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池-
10 W擴大規模

- 032012GZC1-1023：Mo/210 g LiOH+1.05 kg LiBr+420 g MgO(1層)/NiO(10層)；陽極：Mo箔；陰極：過氧化CNi6C；T設置=420℃，T真實=420℃；充電至8 V，若V>6 V，則放電4 s。

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
1500	15.56	7.120	10680.00	1.28	3.90E+00	169.54	43.45
1800	23.59	6.53	11754.00	1.41	1.79E+01	254.63	14.23
1400	46.66	6.86	9604.00	1.15	27.11	459.66	16.96
1500	63.29	6.68	10020.00	1.20	51.84	608.05	11.73

高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池
- 030112GZC3-1005：Mo/0.5" LiOH+LiBr球粒-LiOH+LiBr+MgO球粒-LiOH+LiBr球粒(2件)/NiO；陽極：1.5"直徑Mo，陰極：1.5"×1.5"壓製過氧化CNi6(1層)，由熔融電解質預潤濕；T設置=500℃，T真實=440℃；充電至0.8 V，若V>6 V，則放電4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	15.95	0.822	4.11	1.62	2.71E-05	0.0686	2531.37
	85.11	0.78	3.90	1.54	3.15E-04	0.3499	1110.79
	114.83	0.77	3.85	1.52	0.0084	0.456	54.29
	159.38	0.765	3.83	1.51	0.03514	0.6022	17.14
	181.7	0.76	3.80	1.50	0.0539	0.6696	12.42
	253.51	0.757	3.79	1.49	0.134	0.867	6.47
	277.73	0.757	3.79	1.49	0.163	0.931	5.71
	296.89	0.757	3.79	1.49	0.187	0.981	5.25
	319.72	0.756	3.78	1.49	0.218	1.038	4.76

高 T 熔融電解質-具經由水鼓泡器之 Ar 流的封閉 SS 電池

- 031312GZC2-1012：Ni-Mo-Ni/LiOH:LiBr:MgO=1:5:10/NiO；陽極：CNi8+Mo+CNi8，壓縮，由熔融電解質預潤濕；陰極：CNi8-壓製 CNi6C-CNi8，由熔融電解質預潤濕；隔板：使用 4 個 0.5" 直徑球粒；T 設置 =440°C，T 真實 =440°C；充電至 0.8 V，若 V>6 V，則放電 4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
10	18.21	0.736	7.36	1.45	4.97E-02	0.0928	1.87
5	39.73	0.766	3.83	0.76	7.59E-02	0.164	2.16
	87.08	0.764	3.82	0.75	1.11E-01	0.22	1.98

031212GC1 (間歇電解封閉電池，具 Mo 奈米粉末之層壓陽極)，Ni-Mo-Ni 網格方形物/LiOH-LiBr-MgO/NiO 網格方形物(濕 Ar) T=450°C，充電 20 mA 直至 V=0.8 V；放電 20 mA 直至 V ≥0.6 V，否則放電 4s；陽極：Ni-Mo-Ni 方形物 (14.04 g，14 cm²)；陽極：NiO 方形物 (3×1.5'×1.5')；電解質：10 g LiOH+50 g LiBr+18 g MgO

測試時間/ 電流 (mA)	放電功率 密度 (mW/cm ²)	充電 容量 (Ah)	放電 容量 (Ah)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	比率 (100%)
2 h / 20	1.46	0.0026	0.0390	0.9872 mWh	0.0378	3750.5
1 d / 20		0.0028	0.4807	0.0011	0.4274	38854.5
2 d / 20		0.0030	0.9268	0.0013	0.7812	60092.3
2d+22h / 20		0.0144	1.3720	0.0103	1.1142	10818.4
3d+21h / 20		0.1234	1.7217	0.0960	1.3648	1421.7

陽極：將 2.0 g Mo 奈米粉末置放於 4 件 Ni 網格 (CN6C) 方形物 (1.5'×1.5') 內部並壓縮。

030812GC1 (間歇電解封閉電池，層壓陽極，高功率密度)，重複 030712GC1 Ni-Mo-Ni 方形物 / LiOH-LiBr-MgO/NiO 網格方形物 (濕 Ar) T=450℃，充電 50 mA 直至 V=0.8 V；放電 50 mA 直至 V ≥ 0.6 V，否則放電 4s；陽極：Ni-Mo-Ni 方形物 (11.37 g，14 cm²)；陽極：NiO 方形物 (3×1.5'×1.5')；電解質：15 g LiOH+75 g LiBr+28 g MgO

測試時間/ 電流 (mA)	放電功率 密度 (mW/cm ²)	充電 容量 (Ah)	放電 容量 (Ah)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	比率 (100%)
		0.0961				
4 h / 50	2.66	mAh	0.2108	0.0835 mWh	0.1648	197710.7
1d+2h/50		0.1959	1.1059	0.1500	0.7622	508.1
3d+11h/50		1.0019	2.9445	0.7716	1.9079	247.3
4d+2h/50		1.1896	3.4170	0.9194	2.1971	239.0
4d+16h/50		1.3460	3.8276	1.0425	2.4479	234.8
5d+2h/50		1.4446	4.1149	1.1205	2.6233	234.1

022812GC1 (間歇放電封閉電池，水蒸氣流) 壓縮 Ni-Mo-Ni 方形物 / LiOH-LiBr-MgO/NiO 網格方形物 (濕 Ar) T=450℃，充電 10 mA 直至 V=0.8 V；放電 10 mA 直至 V ≥ 0.6 V，否則放電 4s；陽極：Ni-Mo-Ni 方形物 (11.6 g，

包括導線， 14 cm^2 ；陽極：NiO方形物($3\times 1.5'\times 1.5'$)；電解質：15 g LiOH+75 g LiBr+28 g MgO

測試時間/ 電流(mA)	放電功率 密度 (mW/cm ²)	充電 容量 (Ah)	放電 容量 (Ah)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	比率 (100%)
3 h / 10	0.58	0.0020 mAh	0.0282	0.0017 mWh	0.0233	1372292.0
1 d / 10		0.0183 mAh	0.2434	0.0150 mWh	0.1964	1305929.8
3 d / 10		0.0349	0.6707	0.0278	0.5321	1914.0
5d+22h/10		0.1332	1.2774	0.1058	1.0043	949.2
7d+20h/10		0.2050	1.6647	0.1628	1.3047	801.4
8d+20h/10		0.2431	1.8602	0.1931	1.4564	754.2
12d+4h/10		0.2787	2.5931	0.2215	1.9688	888.8
13d+2h/10		0.2822	2.7978	0.2243	2.1010	936.7
14d / 10		0.3021	2.9993	0.2400	2.2584	941.0
15d / 10		0.3363	3.1956	0.2672	2.4105	902.1

高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池

- 031212GZC1-1008：Ni-C-Ni/10 g LiOH+50 g LiBr+20 g MgO/NiO；陽極： $1.5''\times 1.5''$ CNi6+ $1''\times 1''$ 石墨+ $1.5''\times 1.5''$ CNi6，壓縮；陰極： $1.5''\times 1.5''$ 過氧化CNi6(2層)；T設置=515℃，T真實=440℃；充電至0.8 V，若 $V>6\text{ V}$ ，則放電4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	20.4	0.818	4.09	0.28	3.26E-05	0.0849	2604.29
	41.13	0.809	4.05	0.28	6.70E-05	0.169	2522.39
	62.68	0.803	4.02	0.28	1.01E-04	0.255	2524.75
	85.67	0.802	4.01	0.28	1.37E-04	0.347	2532.85

高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池

- 031212GZC2-1009：Ni-Ni粉末-Ni/10 g LiOH+50 g LiBr+20 g MgO/NiO；陽極： $1.5''\times 1.5''$ CNi6+0.67 g Ni奈米粉末+ $1.5''\times 1.5''$ CNi6，壓縮；陰極： $1.5''\times 1.5''$ 過氧化CNi6(2層)；T設置=500℃，T真實=440℃；充電至0.8 V，若 $V>6\text{ V}$ ，則放電4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	20.4	0.801	4.01	0.28	3.16E-05	0.0819	2591.77
	41.09	0.799	4.00	0.28	6.42E-05	0.164	2554.52
	62.68	0.795	3.98	0.27	9.84E-05	0.25	2540.65
	85.68	0.795	3.98	0.27	1.46E-04	0.341	2335.62

10W擴大規模：高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池-10電池堆疊。

- 021012GZC2-974：Mo箔/10 g LiOH +50 g LiBr+20 g MgO/NiO；陽極：9"直徑Mo箔，陰極：9"直徑過氧化CNi6C (2件)；T設置=410℃，T真實=440℃；充電至8 V，若V > 6 V，則放電4 s

電流 (mA)	測試時 間(hr)	放電電 壓(V)	功率輸 出(mW)	放電功率密度 (mW/cm ²)，陽極	充電能量 (Wh)	放電能 量(Wh)	能量 增益
700	61.64	7.340	5138.00	1.25	7.34E+01	119.82	1.63
	87.8	7.01	4907.00	1.20	9.98E+01	220.87	2.21
	108.87	7.04	4928.00	1.20	119.01	308.8	2.59
	132.1	6.49	4543.00	1.11	163.82	381.62	2.33
	155.99	6.5	4550.00	1.11	224.52	441.54	1.97
600	226.16	6.72	4032.00	0.98	375.65	598.99	1.59
500	250.63	6.94	3470.00	0.85	417.13	649.37	1.56

010411XY3-1345 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：多孔Ni C6NC (OD 1.5"，11 cm²，5.3457 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+30.0 g MgO；溫度450℃；流經Ar(預加濕)

充電電 流，時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直 至V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V， 或若在4 s 內，V>0.6 V，則直至4 s	1h	0.27	0.0000020	0.0044	220000.0
		18h		0.0000355	0.0728	205070.4
		1d11h		0.000668	0.1400	20958.0
		4d11h		0.0018	0.4202	23344.4
		5d8h		0.0022	0.5032	22872.7
		6d7h		0.0026	0.5926	22792.3
		7d6h		0.0031	0.6781	21874.1
		8d4h		0.0036	0.7658	21272.2
		11d5h		0.0095	1.0307	10849.4
		12d2h		0.0096	1.1098	11560.4
		13d0h		0.0127	1.1803	9293.7
		13d22h		0.0200	1.2658	6329.0
		14d22h		0.0217	1.3446	6196.3
		17d22h		0.0308	1.6128	5236.3
		18d18h		0.0309	1.6869	5459.2
		19d18h		0.0309	1.7815	5765.3
		20d15h		0.0309	1.8695	6050.1
		21d14h		0.0310	1.9606	6324.5
		24d17h		0.0347	2.2514	6488.2
		25d12h		0.0373	2.3231	6228.2
		26d12h		0.0406	2.4118	5940.4
		27d12h		0.0440	2.4994	5680.5
		28d12h		0.0488	2.5861	5299.4
		31d13h		0.0713	2.8399	3983.0
		32d12h		0.0797	2.9189	3662.4
		33d12h		0.0885	3.0004	3390.3
		34d12h		0.0979	3.0835	3149.6
		35d0h		0.1012	3.1177	3080.7
		38d0h		0.1399	3.3517	2395.8
		39d0h		0.1540	3.4304	2227.5
		40d0h		0.1669	3.5088	2102.3
		41d0h		0.1789	3.5886	2005.9
		41d23h		0.1899	3.6644	1929.6
		44d23h		0.2307	3.8979	1689.6
		45d23h		0.2458	3.9742	1616.8
		46d23h		0.2596	4.0523	1561.0
		47d23h		0.2754	4.1271	1498.6
		48d23h		0.2921	4.2025	1438.7
		51d23h		0.3630	4.3888	1209.0
		52d23h		0.3643	4.4763	1228.7
		53d23h		0.3648	4.5654	1251.5
		54d23h		0.3649	4.6560	1276.0
		55d23h		0.3655	4.7458	1298.4
		58d23h		0.3843	4.9977	1300.5
		59d23h		0.4036	5.0686	1255.8
		60d23h		0.4272	5.1346	1201.9
		61d23h		0.4470	5.2011	1163.6
		62d23h		0.4583	5.2780	1151.6
		65d23h		0.4728	5.5230	1168.1
		66d23h		0.4805	5.6028	1166.0
		67d23h		0.4897	5.6810	1160.1
		68d23h		0.5039	5.7551	1142.1
		69d23h		0.5238	5.8239	1111.9

高 T 熔融電解質-具經由水鼓泡器之 Ar 流的封閉 SS 電池

- 030112GZC2-1004 : C/10 g LiOH+50 g LiBr/NiO ; 陽極 : 1.5"×1.5" 石墨 , 陰極 : 1.5"×1.5" 壓製過氧化 CNi6(2 層) ; T 設置 =460℃ , T 真實 =440℃ ; 充電至 0.6 V , 若 V>0.4 V , 則放電 4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	16.09	0.417	2.09	0.14	1.15E-02	0.0262	2.28
	85.77	0.474	2.37	0.16	0.0462	0.164	3.55
	115.4	0.477	2.39	0.16	0.0613	0.223	3.64
	131.75	0.467	2.34	0.16	0.07	0.256	3.66
	160.01	0.479	2.40	0.16	0.0865	0.311	3.60
	182.32	0.46	2.30	0.16	0.1	0.353	3.53
	254	0.461	2.31	0.16	0.142	0.489	3.44
	278.08	0.461	2.31	0.16	0.155	0.535	3.45
	297.23	0.461	2.305	0.16	0.166	0.571	3.44
	320	0.461	2.305	0.16	0.18	0.614	3.41
	343.1	0.447	2.235	0.15	0.196	0.655	3.34

高 T 熔融電解質-具經由水鼓泡器之 Ar 流的封閉 SS 電池

- 021712GZC2-983 : CNi6-Mo-CNi6/10 g LiOH+50 g LiBr+30 g MgO/NiO ; 陽極 : 1.5"×1.5" CNi6-Mo-CNi6 壓縮 , 陰極 : 1.5"×1.5" 過氧化 NiFeCrAl , 孔徑尺寸 : 1.2 mm ; T 設置 =460℃ , T 真實 =440℃ ; 充電至 0.8 V , 若 V>6 V , 則放電 4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	64.03	0.801	4.01	0.28	1.34E-04	0.273	2037.31
	86.87	0.803	4.02	0.28	1.92E-04	0.366	1906.25
	111.33	0.791	3.96	0.27	0.00101	0.462	457.43
	136.39	0.786	3.93	0.27	0.00477	0.557	116.77
	157.89	0.868	4.34	0.30	0.0097	0.637	65.67
	228.2	0.785	3.93	0.27	0.0328	0.891	27.16

253.24	0.775	3.88	0.27	0.0489	0.973	19.90
273.78	0.779	3.90	0.27	0.0676	1.0346	15.30
297.66	0.779	3.90	0.27	0.0833	1.113	13.36
321.25	0.784	3.92	0.27	0.0951	1.194	12.56
391.1	0.78	3.9	0.27	0.131	1.432	10.93
420.61	0.778	3.89	0.27	0.15	1.529	10.19
436.82	0.777	3.885	0.27	0.161	1.583	9.83
465.06	0.778	3.89	0.27	0.18	1.673	9.29
487.37	0.776	3.88	0.27	0.197	1.743	8.85
559.23	0.775	3.875	0.27	0.281	1.941	6.91
583.25	0.775	3.875	0.27	0.299	2.017	6.75
602.95	0.766	3.83	0.26	0.33	2.063	6.25

實驗結束時，陽極看似起始材料。

高T熔融電解質-具經由水鼓泡器之Ar流的封閉SS電池

- 010912GZC1-934 : Mo+Ni/8 g LiOH +40 g LiBr+15 g MgO/NiO ; 2.75" 氧化鋁坩堝 ; 陽極 : 1.5"×1.5" 3.831 g Mo+0.623 g CNi8 , 陰極 : 1.5"×1.5" 過氧化CNi6C(2件) ; T設置=460℃ , T真實=440℃ ; 充電至 0.8 V , 若 V>6 V , 則放電 4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
10	18.56	0.875	8.75	0.60	9.49E-05	0.169	1781.76
	41.18	0.86	8.60	0.59	2.05E-04	0.365	1780.49
	65.76	0.807	8.07	0.56	3.19E-04	0.569	1783.70
	87.81	0.811	8.11	0.56	4.20E-04	0.75	1785.71
	158.65	0.778	7.78	0.54	2.43E-03	1.31	539.09
	233.71	0.781	7.81	0.54	0.0167	1.882	112.69
	249.29	0.765	7.65	0.53	0.0211	1.998	94.692
	321.44	0.757	7.57	0.52	0.0544	2.519	46.31
	348.31	0.759	7.59	0.52	0.0672	2.713	40.37
	368.58	0.756	7.56	0.52	0.0769	2.858	37.17
	390.65	0.749	7.49	0.52	0.0881	3.016	34.23
	413.46	0.761	7.61	0.52	0.101	3.178	31.47
	485.88	0.746	7.46	0.51	0.151	3.68	24.37
	507.52	0.759	7.59	0.52	0.171	3.82	22.34
	532.71	0.746	7.46	0.51	0.196	3.99	20.357
	554.56	0.742	7.42	0.51	0.22	4.131	18.78
	577.44	0.739	7.39	0.51	0.246	4.279	17.39
	627.13	0.741	7.41	0.51	0.296	4.605	15.56
	644.46	0.736	7.36	0.51	0.312	4.72	15.13
	667.36	0.743	7.43	0.51	0.337	4.866	14.44

692.04	0.745	7.45	0.51	0.367	5.023	13.69
714.15	0.744	7.44	0.51	0.402	5.156	12.83
786.76	0.598	5.98	0.41	0.552	5.56	10.07
810.43	0.598	5.98	0.41	0.639	5.638	8.82

011812XY1-1369 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO。(高電流，濕度由水蒸汽發生器供應)；陽極：壓製多孔Ni C6NC (1.5" OD”，11 cm2，9.3632 g，包括導線)；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5” OD)，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸汽發生器供應給電池

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
40 mA直至 V=0.8V	40 mA直至 V=0.6V， 或若在4 s內，V>0.6 V，則直至4 s	2h	2.18	0.0005898	0.0268	4543.9
		18h		0.0046	0.1714	3726.0
		1d12h		0.0087	0.4099	4711.4
		4d15h		0.0181	1.3979	7723.2
		5d17h		0.0206	1.7178	8338.8
		7d13h		0.0233	2.0629	8853.6
		8d3h		0.0267	2.3173	8679.0
		9d0h		0.0301	2.5867	8593.6
		12d0h		0.0401	3.3728	8411.0
		12d22h		0.0444	3.5150	7916.7
		13d22h		0.0591	3.5390	5988.2
		14d22h		0.1042	3.5493	3406.2
		15d22h		0.1784	3.5578	1994.3
		18d23h		0.4680	3.5803	765.0
		19d21h		0.5489	3.5883	653.7
		(終止)				

012512XY2-1384 凸緣封閉糊狀電解質 Ni fiber/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：Ni纖維(1.5"OD "，11 cm2，8.5880 g，包括導線)；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5" OD)，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸汽發生器供應給電池

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
30 mA 直至 V=0.8V	30 mA 直至 V=0.6V，或 若在4 s內， V>0.6 V，則 直至4 s	2h	1.63	0.0000186	0.0228	122580.6
		16h		0.0008160	0.2694	33014.7
		1d10h		0.0023	0.5757	25030.4
		4d12h		0.0087	1.3719	15769.0
		5d9h		0.0111	1.5651	14100.0
		6d9h		0.0140	1.7700	12642.9
		7d9h		0.0196	1.8681	9531.1
		8d9h		0.0259	1.8720	7227.8
		11d10h		0.0427	1.9394	4541.9
		12d9h		0.0491	1.9431	3957.4
		13d9h		0.0561	1.9465	3469.7
		14d9h		0.0631	1.9500	3090.3
		(終止)				

011812CG7-485：HX塔盤+ Mo陽極4×堆疊；2層NiO底部3×堆疊，1層NiO頂部堆疊；封閉電池，90℃H₂O熱，封閉電池；陽極：1.5"直徑Mo箔×4，在HX塔盤上使用；陰極：NiO×4；電解質：LiOH-LiBr-MgO；OCV 約4.0 V；在20 mA下充電直至V>3.2V，在-20 mA下放電5秒或2.4V

測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益	功率 (mW)	功率密度 (mW/cm ²)
24	2.775	0.01	0.615	61.68	55.50	4.87
42	2.158	0.017	1.069	61.98	43.16	3.79
46	2.09	0.019	1.045	61.17	41.80	3.67
104	1.752	0.234	1.997	8.52	35.04	3.07
119	1.472	0.414	2.064	4.99	29.72	2.60
134	1.385	0.598	2.118	3.55	27.96	2.45
149	1.073	0.745	2.156	2.89	21.46	1.88
163	1.703	0.874	2.185	2.50	34.06	2.99

010912XY1-1352 凸緣封閉糊狀電解質 Mo/LiOH-LiBr-MgO/NiO。(不同波形，高電流)；陽極：Mo板(1×1"，6.25 cm²，31.7776 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；流經Ar(預加濕)

充電電壓， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
1.1 V，0.5 s	20 mA 直至 V=0.6V，或 若 10 s 內，V > 0.6 V，則 直至 10 s	1h	1.92	0.0015	0.0198	1320.0
		17h		0.0276	0.2443	885.1
		1d16h		0.0694	0.5552	800.0
		2d15h		0.1237	0.8477	685.2
		3d14h		0.1935	1.1499	594.2
		6d16h		0.4234	2.0816	491.6
		7d13h		0.5210	2.2974	440.9
		8d10h		0.6109	2.5478	417.0
		9d9h		0.7295	2.7983	383.5
		10d6h		0.8627	2.9820	345.6
		13d8h		1.2518	3.7894	302.7
		14d4h(終止)		1.3563	4.0188	296.3

011012XY1-1355 5層堆疊 C276(Mo)/LiOH-LiBr-MgO/NiO。
(凸緣封閉糊狀電解質)；各層中之陽極：C276箔(4.875" OD"，116 cm²)盤，盤中具1塊 Mo箔(4.25" OD)；各層中之陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (4.25" OD)，位於電解質上；各層中之電解質：40.0 g LiOH+200.0 g LiBr+60.0 g MgO。溫度 450℃

充電電流，時 間表	放電電流， 時間	時間	放電功率 (mW)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
100 mA 直至 V=4.0 V	100 mA 直至 V=3.0 V，或若 4 s 內，V > 3.0 V，則直至 4 s	1h	400	0.0003826	0.5345	139702.0
		1d0h		0.3686	6.5344	1772.7
		2d0h		1.3960	12.9076	924.6
		2d22h		2.2072	18.7574	849.8
		5d20h		5.3096	35.9334	676.7
		6d19h		6.4309	41.0128	637.7
		7d14h		7.2993	47.5808	651.8

010512XY3-1348 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO。(濕度由水蒸汽發生器供應)；陽極：多孔 Ni C6NC (1.5" OD"，11 cm²，5.2816 g)；陰極：預氧化多孔

Ni C6NC (1.5" OD)，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸汽發生器供應給電池

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V，或若在4 s內，V>0.6 V，則直至4 s	2h	0.27	0.0000074	0.0084	113513.5
		22h		0.0000684	0.0827	120906.4
		3d18h		0.0002696	0.3518	130489.6
		4d15h		0.0003259	0.4341	133200.3
		5d14h		0.0003795	0.5249	138313.5
		6d13h		0.0004209	0.6121	145426.4
		7d11h		0.0004650	0.7022	151010.7
		10d12h		0.0005966	0.9841	164951.3
		11d9h		0.0006338	1.0646	167970.9
		12d6h		0.0006747	1.1452	169734.6
		13d5h		0.0007164	1.2328	172082.6
		14d3h		0.0007664	1.3132	171346.5
		17d5h(終止)		0.0011	1.5136	137600.0

010612XY3-1351 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO。(高電流，濕度由水蒸汽發生器供應)；陽極：多孔 Ni C6NC (1.5" OD)，11 cm²，6.7012 g)；陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5" OD)，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸汽發生器供應給電池

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
20 mA 直至 V=0.8 V	20 mA 直至 V=0.6 V，或若在4 s內，V>0.6 V，則直至4 s	2h	1.09	0.0000123	0.0214	173983.7
		2d18h		0.0105	0.7884	7508.5
		3d8h		0.0146	0.9486	6497.2
		4d2h		0.0211	1.1564	5480.5
		4d23h		0.0268	1.3540	5052.2
		5d22h		0.0337	1.5537	4610.3
		8d13h		0.0885	2.0466	2312.5
		9d15h		0.0898	2.1972	2446.7
		10d15h		0.0946	2.2062	2332.1
		11d10h		0.1043	2.7099	2598.1
		12d9h(終止)		0.1090	2.7133	2489.2

121311XY1-1291 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：多孔 Ni C6NC (OD 1.5"，11 cm²，2.2204 g)，浸沒於電解質中。陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO。

溫度 450℃；流經 Ar(預加濕)

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V，或若在 4 s 內，V 未達到 0.6 V，則直至 4 s	5h	0.27	0.0042	0.0175	416.6
		20h		0.0059	0.0719	1218.6
		2d3h		0.0075	0.1544	2058.6
		3d2h		0.0239	0.2290	958.1
		6d1h		0.1109	0.4146	373.8
		7d2h		0.1145	0.5020	438.4
		8d1h		0.1155	0.5848	506.3
		8d20h		0.1156	0.6543	566.0
		9d20h		0.1157	0.7437	642.7
		13d16h		0.1161	1.0680	919.8
		15d0h		0.1223	1.1700	956.6
		15d20h		0.1490	1.2087	811.2
		16d16h		0.1681	1.2461	741.2
		18d23h		0.2575	1.3449	522.2
		20d12h		0.3281	1.4033	427.7
		21d9h		0.3292	1.4802	449.6
		22d5h		0.3293	1.5586	473.3
		25d6h		0.3713	1.7988	484.4
		26d3h		0.4016	1.8534	461.5
		27d8h		0.4243	1.9018	448.2
		28d12h		0.4583	1.9564	426.8
		29d11h		0.4915	2.0145	409.8
		32d13h		0.5254	2.1799	414.9
		33d10h(終止)		0.5685	2.2404	394.0

121311XY2-1292 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：多孔 Ni C6NC (OD 1.5"，11 cm²，2.1179 g)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO。

溫度 450°C ; 流經 Ar(預加濕)

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直 至 V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在 4 s 內，V 未達到 0.6 V，則直至 4 s	5h	0.27	0.0000116	0.0233	200862.0
		20h		0.0163	0.0581	356.4
		1d19h		0.0206	0.1077	522.8
		2d5h		0.0347	0.1229	354.1
		3d17h		0.0494	0.2104	425.9
		4d6h		0.0557	0.2456	440.9
		6d5h		0.0601	0.2690	447.5
		6d14h		0.0640	0.2902	453.4
		7d1h		0.0691	0.3172	459.0
		11d19h		0.0937	0.4700	441.8
		13d1h		0.1022	0.4490	439.3
		14d20h		0.1074	0.4700	437.6
		16d0h		0.1129	0.4905	434.4
		18d0h		0.1261	0.5545	439.7
		20d12h		0.1375	0.6044	439.5
		21d22h		0.1421	0.6459	454.5
		22d18h		0.1463	0.6700	457.9
		25d8h		0.1647	0.7516	456.3
		26d10h		0.1682	0.7707	458.2
		27d10h		0.1776	0.7888	444.1
		28d14h		0.1878	0.8088	430.6
		29d13h		0.1996	0.8286	415.1
		32d13h		0.2006	0.8942	445.7
		33d9h(終止)		0.2111	0.9563	453.0

121311XY3-1293 凸緣封閉糊狀電解質 Mo/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：Mo板(1×1"，6.25 cm²，33.8252 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度 450°C；流經 Ar(預加濕)

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直 至 V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在 4 s 內，V 未達到 0.6 V， 則直至 4 s	5h	0.48	0.0000172	0.0244	141860.4
		20h		0.0000575	0.0900	156521.7
		1d17h		0.0001059	0.1818	171671.3
		2d16h		0.0001511	0.2800	185307.7
		5d14h		0.0003231	0.5751	177994.4
		6d17h		0.0003953	0.6910	174803.9
		7d17h		0.0004431	0.7891	178086.2
		8d12h		0.0004840	0.8689	179524.7

9d13h	0.0005374	0.9735	181149.9
13d8h	0.0007116	1.3535	190205.1
14d16h	0.0007772	1.4857	191392.1
15d12h	0.0008172	1.5686	191948.1
16d7h	0.0008542	1.6498	193139.7
18d14h	0.0009588	1.8773	195796.8
20d10h	0.0010	2.0574	205740.0
21d10h	0.0011	2.1625	196590.9
22d7h	0.0012	2.2504	187533.3
25d7h	0.0014	2.5508	182200.0
26d5h	0.0014	2.6386	188471.4
27d13h	0.0015	2.7331	182206.6
28d13h	0.0016	2.8246	176537.5
29d11h	0.0017	2.9187	171688.2
32d11h	0.0019	3.2072	168800.0
33d8h(终止)	0.0020	3.3086	165430.0

121311XY4-1294 凸 緣 封 閉 糊 狀 電 解 質 海 恩 斯
(Haynes)242 合 金 /LiOH-LiBr-MgO/NiO. (驗 證 電 池) ; 陽
極 : 海 恩 斯 242 合 金 箔 (1×1", 6.25 cm2, 4.5830 g, 包 括 導
線), 浸 沒 於 電 解 質 中 ; 陰 極 : 預 氧 化 多 孔 Ni C6NC
(1.5×1.5"), 位 於 電 解 質 上 ; 電 解 質 : 15.0 g LiOH+75.0 g
LiBr+35.0 g MgO ; 溫 度 450℃ ; 流 經 Ar(預 加 濕)

充電電 流, 時間	放電電流, 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA, 直 至 V=0.8 V	5 mA, 直至 V=0.6 V, 或若 在 4 s 內, V 未 達到 0.6 V, 則 直至 4 s	5h	0.48	0.0000120	0.0233	194166.6
		20h		0.0211	0.0567	268.7
		1d17h		0.0494	0.1145	231.7
		2d17h		0.0576	0.1987	344.9
		5d14h		0.0964	0.4310	447.0
		6d20h		0.1178	0.5225	443.5
		7d15h		0.1383	0.5761	416.5
		8d9h		0.1617	0.6248	386.3
		9d11h		0.1980	0.6870	346.9
		13d8h		0.2938	0.9490	323.0
		14d15h		0.3280	1.0326	314.8
		15d6h		0.3393	1.0845	319.6
		16d7h		0.3652	1.1565	316.6
		18d15h		0.4207	1.3156	312.7
		21d4h		0.4848	1.4885	307.0
		22d2h		0.5106	1.5503	303.6
		23d2h		0.5395	1.6165	299.6
		26d0h		0.6236	1.8052	289.4
		27d0h		0.6530	1.8697	286.3
		28d1h		0.6832	1.9341	283.0

29d0h	0.7125	1.9929	279.7
29d22h	0.7419	2.0537	276.8
33d0h	0.8457	2.2374	264.5
34d2h(終止)	0.8821	2.2996	260.6

122211CG20-447 Ni塔盤 + Mo陽極 3×堆疊；頂部直徑 2.00"，底部直徑 2.00"所製備糊狀物；封閉電池，經由 H₂O 之 Ar 流；使用一側為 NiO 而另一側為 Mo 箔之雙極板且以塔盤作為隔板之 3 層堆疊電池；陽極：Mo 箔×3；陰極：NiO×3；電解質：LiOH-LiBr-MgO；T 設置=450℃；在 10 mA 下充電直至 V>2.8 V，在 -10 mA 下放電 5 秒或 1.5 V

測試時間 (hr)	放電電壓(V)	充電能量(Wh)	放電能量(Wh)	能量增益
8	2.631	0.055	0.157	2.83
25	2.618	0.203	0.461	2.27
36	2.592	0.298	0.661	2.22
48	2.579	0.402	0.876	2.18
60	2.555	0.505	1.088	2.15
72	2.555	0.605	1.304	2.15
84	2.530	0.704	1.519	2.16
96	2.528	0.801	1.735	2.17
108	2.484	0.898	1.949	2.17
119	2.482	0.986	2.137	2.17
130	2.452	1.078	2.336	2.17
142	2.400	1.182	2.539	2.15
154	2.326	1.296	2.730	2.11
166	2.321	1.410	2.912	2.07
178	2.288	1.529	3.100	2.03
189	2.296	1.633	3.270	2.00

120911XY3-1284 水性 Mo₆Si₄/KOH/Ni；陽極：Mo₆Si₄合金球粒(OD 1.4 cm，1.5 cm²)；陰極：多孔 Ni C₈NC；電解質：飽和 KOH；室溫

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
1 mA 直至 V=0.8 V，隨後將 V 在 0.8V 下保持 1 s	1 mA 直至 V=0.6 V，或在 4 s 內，V 未達到 0.6 V，則直至 4	11h 1d6h 1d1h 2d19h 5d8h 6d5h	0.40	0.0037 0.0103 0.0167 0.0226 0.0431 0.0502	0.0039 0.0110 0.0179 0.0243 0.0464 0.0541	105.4 106.7 107.1 107.5 107.6 107.7

s	7d3h	0.0576	0.0620	107.6
	7d21h	0.0638	0.0688	107.8
	8d19h	0.0712	0.0768	107.8
	12d5h	0.0984	0.1063	108.0
	13d2h	0.1057	0.1142	108.0
	14d2h	0.1122	0.1213	108.1
	15d9h	0.1194	0.1291	108.1
	20d23h	0.1535	0.1657	107.9
	21d19h	0.1600	0.1728	108.0
	22d17h	0.1676	0.1809	107.9
	25d5h	0.1881	0.2025	107.6
	26d2h	0.1951	0.2101	107.6
	26d23h	0.2023	0.2177	107.6
	27d14h	0.2072	0.2230	107.6
	28d9h	0.2138	0.2297	107.4
	30d8h(終止)	0.2342	0.2483	106.0

122811XY1-1331 凸緣封閉糊狀電解質 TZM/LiOH-LiBr-MgO/NiO 。 (Ar+H₂O) ； 陽 極 ： TZM 箔 (0.75×1.5" ， 7.0 cm2 ， 2.8004 g ， 包括導線) ， 浸沒於電解質中 ； 陰極 ： 預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5") ， 位於電解質上 ； 電解質 ： 15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO ； 溫度450℃ ； 流經Ar(預加濕)

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直 至V=0.8 V	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在4 s內， V>0.6 V，則 直至4 s	2h	0.43	0.0000735	0.0135	18367.3
		16h		0.00026	0.0455	17500.0
		1d12h		0.00030	0.1283	42766.6
		5d15h		0.0002694	0.5528	205196.7
		6d13h		0.0003138	0.6403	204047.1
		7d13h		0.0003568	0.7338	205661.4
		10d11h		0.0004891	1.0014	204743.4
		11d9h		0.0005336	1.0838	203110.9
		12d9h		0.0005800	1.1717	202017.2
		13d8h(終止)		0.0006226	1.2526	201188.5

121511XY1-1301 凸緣封閉糊狀電解質 Mo/LiOH-LiBr-MgO/NiO 。 (濕度由水蒸汽發生器供應) ； 陽極 ： Mo板 (1×1" ， 6.25 cm2 ， 32.0286 g) ； 陰極 ： 預氧化多孔Ni

C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g
LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸
汽發生器供應給電池

充電電流， 時間	放電電流，時 間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V，隨 後將V在0.8 V下保持1 s	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在4 s內，V 未達到0.6 V， 則直至4 s	3h	0.48	0.0000052	0.0304	584615.3
		1d1h		0.0000396	0.1294	326767.6
		3d19h		0.0001407	0.4168	296233.1
		4d14h		0.0001671	0.4919	294374.6
		5d17h		0.0002119	0.6106	288154.7
		6d13h		0.0002407	0.6969	289530.5
		7d13h		0.0002768	0.8052	290895.9
		11d10h		0.0004488	1.1963	266555.2
		12d18h		0.0004949	1.3273	268195.5
		13d14h		0.0005212	1.4088	270299.3
		14d9h		0.0005453	1.4870	272693.9
		16d15h		0.0006118	1.7129	279977.1
		19d3h		0.0006984	1.9589	280483.9
		20d1h		0.0007290	2.0476	280877.9
		21d1h		0.0007619	2.1442	281428.0
		24d2h(終止)		0.0009724	2.3545	242132.8

121611XY1-1305 3層堆疊 Mo(Ni)/LiOH-LiBr-MgO/NiO。
(凸緣封閉，糊狀電解質，部分浸沒陽極)。(水由蒸汽發生
器供應)；各層中之陽極：內部具一層 celmet NiC6NC(1.5"
OD，11 cm²)之Mo箔盤(2.0" OD"，19.6cm²)；各層中之陰
極：預氧化多孔Ni C6NC (1.75" OD)，位於電解質上；各
層中之電解質：8.0 g LiOH+40.0 g LiBr+20.0 g MgO；溫
度450℃；(濕度由水蒸汽發生器供應)

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=2.4 V，隨後 將V在2.4 V下 保持1 s	5 mA，直至 V=1.8 V，或若在 4 s內，V未達到 1.8 V，則直至4 s	3h	0.46	0.0050	0.0385	770.0
		3d12h		0.2117	0.6393	301.9

121211XY2-1288 凸緣封閉糊狀電解質 Mo/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：Mo板(1×1"，6.25 cm2)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：10.0 g LiOH+50.0 g LiBr+25.0 g MgO；溫度450℃；流經Ar(預加濕，低速率)

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
20 mA 直至 V=1.0 V，隨後 將V在1.0 V下 保持1 s	20 mA 直至 V=0.8 V，或若 在4 s內，V未 達到0.8 V，則 直至4 s	7h	2.56	0.0205	0.1079	526.3
		20h		0.0429	0.1535	357.8
		1d19h		0.1531	0.3979	259.8
		2d17h		0.2044	0.6379	312.0
		3d16h		0.2673	0.8798	329.1
		6d13h		0.3080	1.6542	537.0

120911XY5-1286 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO。(濕度由水蒸汽發生器供應)；陽極：多孔Ni C6NC (1.5" OD"，11 cm2，2.0286 g)；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度450℃；濕度由水蒸汽發生器供應給電池

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至V=0.8 V，隨後將V在0.8 V下保持1 s	5 mA，直至 V=0.6 V，或若 在4 s內，V未 達到0.6 V，則 直至4 s	12h	0.27	0.0000214	0.0588	274766.3
		2d7h		0.0072	0.1293	1795.8
		3d9h		0.0110	0.1747	1588.1
		4d2h		0.0147	0.2379	1618.3
		4d23h		0.0147	0.3262	2219.0
		5d21h		0.0148	0.4193	2833.1
		8d20h		0.0365	0.6158	1687.1

113011XY1-1254 凸緣封閉糊狀電解質 Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO；陽極：多孔 Ni C6NC (OD 1.5"，11 cm2，

3.1816 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+30.0 g MgO；溫度 450℃；流經 Ar(預加濕)

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V，隨後將 V 在 0.8 V 下保持 1 s	5 mA，直至 V=0.6 V，或在 4 s 內，V 未達到 0.6 V，則直至 4 s	4h	0.27	0.0000963	0.0248	25752.8
		19h		0.0012	0.0370	3083.3
		1d19h		0.0018	0.0646	3588.8
		4d4h		0.0023	0.1174	5104.3
		5d4h		0.0026	0.1741	6696.1
		5d20h		0.0029	0.2013	6941.3
		7d1h		0.0036	0.2416	6711.1
		7d19h		0.0041	0.2629	6412.1
		10d10h		0.0059	0.3374	5718.6
		11d3h		0.0064	0.3593	5614.0
		12d1h		0.0070	0.3854	5505.7
		12d22h		0.0075	0.4107	5476.0
		13d19h		0.0080	0.4401	5501.2
		16d21h		0.0097	0.5583	5755.6
		17d20h		0.0100	0.6005	6005.0
		18d19h		0.0106	0.6376	6015.0
		19d10h		0.0115	0.6769	5886.0
		20d20h		0.0137	0.6796	4960.5
		25d22h(終止)		0.0223	0.9133	4095.5

高 T 熔融電解質-具 Ar 流但隔開蒸汽發生器之封閉 SS 電池

- 121311GZC1-904：Ni/10 g LiOH+50 g LiBr+20 g MgO/NiO；2.75" 氧化鋁坩堝；陽極：1.5"×1.5" 2.975 g CNi6C，陰極：2 件 1.5"×1.5" 過氧化 CNi6C；T 設置=440℃，T 真實=440℃；結果：(1) 在無運轉進程下，使用 30SCCM Ar 流沖洗電池(不穿過水鼓泡器)。14:40，OCV=0.920 V；16:57，OCV=0.737 V；(2) 12 月 14 日終止氣體流。封閉 Ar 入口與出口，運轉進程：充電至 0.8 V，若 V>0.6 V，則放電 4 s。將水儲集器置放於溫度為 60℃ 之加熱器中。

電流 (mA)	測試時 間(hr)	放電電 壓(V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²) , 陽極	充電 能量(Wh)	放電 能量(Wh)	能量 增益	註解
5	7.84	0.757	3.79	0.26	1.39E-02	1.66E-02	1.19	C2.6s/D4s
	23.52	0.775	3.88	0.27	0.0348	0.0568	1.63	C1.4s/D4s
	47.71	0.781	3.91	0.27	0.0585	0.128	2.19	C1.1s/D4s
	116.46	0.785	3.93	0.27	1.20E-01	0.338	2.82	C1.2s/D4s
	146.9	0.786	3.93	0.27	0.147	0.431	2.93	C1.2s/D4s
	171.94	0.785	3.93	0.27	0.17	0.507	2.98	C1.3s/D4s
	187.38	0.787	3.94	0.27	0.184	0.554	3.01	C1.0s/D4s
	212.78	0.787	3.94	0.27	0.206	0.632	3.07	C1.1s/D4s
	305.95	0.787	3.94	0.27	0.288	0.919	3.19	C1.2s/D4s
	329.58	0.787	3.94	0.27	0.311	0.989	3.18	C1.1s/D4s
	353.38	0.787	3.94	0.27	0.331	1.063	3.21	C1.1s/D4s
	377.84	0.787	3.94	0.27	0.353	1.137	3.22	C1.1s/D4s
	475.11	0.786	3.93	0.27	0.442	1.433	3.24	C1.2s/D4s
	495.28	0.786	3.93	0.27	0.46	1.495	3.25	C1.2s/D4s
	518.44	0.784	3.92	0.27	0.482	1.564	3.24	C1.3s/D4s
	544.61	0.781	3.905	0.27	0.506	1.644	3.25	C1.1s/D4s
	608.96	0.6	3	0.21	0.566	1.816	3.21	C0.3s/D0.4s

高T熔融電解質-具Ar流之封閉SS電池：2電池之堆疊

- 121511GZC1-908：於Ni塔盤中之Mo/LiOH +LiBr(1:5 wt)+ MgO/NiO；2.75"氧化鋁坩堝；陽極：1.75"直徑0.01"厚Mo箔，陰極：2件1.75"直徑過氧化CNi6C。雙極板&陽極固持器：0.010"厚Ni塔盤。將Mo箔點焊於Ni塔盤上；T設置=500℃，T真實=440℃；流程：充電至1.6 V，若V>1.2 V，則放電4 s。有3根導線伸出以檢查各堆疊之狀態。

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm ²) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益	註解
5	17.87	1.740	8.70	0.56	1.10E-04	0.318	2890.91	
	86.3	1.470	7.35	0.47	2.65E-02	1.378	52.00	C0.59/4s , G7

水性RT電池

- 120111GZC3-887：Cr6Mo4/飽和KOH/Ni；2.75"氧化鋁

坩堝；陽極：0.5"OD Cr6Mo4，陰極：CNi8；RT，充電至1.2 V，若V>0.8 V，放電4 s。

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2)， 陽極	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益
2	15.04	0.313	0.63	0.49	1.49E-02	0.0151	1.01
	73.69	0.614	1.23	0.97	0.0697	0.0767	1.10
	91.78	0.659	1.32	1.04	8.65E-02	0.0958	1.11
	111.3	0.564	1.13	0.89	0.105	0.116	1.10
	129.79	0.617	1.23	0.97	0.122	0.136	1.11
	149.61	0.540	1.08	0.85	0.14	0.157	1.12
	194.66	0.552	1.10	0.87	0.182	0.204	1.12
12月12日，開始新文檔。							
	9.79	0.641	1.28	1.01	0.00913	0.0103	1.13
	29.36	0.790	1.58	1.25	0.0274	0.0309	1.13
	47.68	0.593	1.19	0.94	0.0444	0.0502	1.13

120911XY2-1283 水性 Ta5V5/KOH/Ni；陽極：Ta5V5合金球粒(OD 1.4 cm，1.5 cm²)；陰極：多孔Ni C8NC；電解質：飽和KOH；室溫

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益 (%)
1 mA直至 V=0.8 V，隨 後將V在0.8 V 下保持1 s	1 mA直至 V=0.6 V，或若 在4 s內，V未 達到0.6 V，則 直至4 s	9h	0.40	0.0031	0.0035	112.9
		1d2h		0.0087	0.0097	111.4
		1d19h		0.0142	0.0158	111.2

120111GC3 (間歇充電-放電封閉電池，Ni粉末陽極)；Ni粉末板/LiOH-LiBr/NiO網格方形物(濕Ar)；T=450℃，充電5 mA直至V=0.8V；放電5 mA直至V >=0.6 V，否則放電4 s；陽極：Ni粉末板(4.78 g，d：1'，5.06 cm²)；陽極：NiO方形物：3×1.5'×1.5'；電解質：8 g LiOH+40 g LiBr+24 g MgO

測試時間/ 電流(mA)	放電功率密度 (mW/cm2) ,	充電 容量(Ah)	放電 容量 (Ah)	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	比率 (100%)
1 h+15 m/5	0.78	0.0255 mAh	0.0063	0.0207 mWh	0.0050	27566.5
23 h / 5		0.0186	0.0946	0.0148	0.0747	504.7
2 d / 5		0.0457	0.1954	0.0365	0.1544	423.0
3 d / 5		0.0644	0.2934	0.0514	0.2316	450.6
4 d / 5		0.0784	0.3968	0.0626	0.3132	500.3
5 d / 5		0.1040	0.4864	0.0830	0.3839	462.5
5 d+17h/5		0.1279	0.5547	0.1021	0.4378	428.8
9 d / 5		0.2240	0.8364	0.1788	0.6598	369.0
10 d / 5		0.2535	0.9237	0.2024	0.7285	359.9
11 d / 5		0.2780	1.0160	0.2219	0.8012	361.1
12 d / 5		0.2890	1.1216	0.2307	0.8846	383.4

在無水蒸汽下控制：

高T熔融電解質-具Ar流但入口處無鼓泡器之封閉SS電池

- 112811GZC1-877：Ni/10 g LiOH +50 g LiBr+20 g MgO/NiO；2.75"氧化鋁坩堝；陽極：1.5"×1.5" 3.201 g CNi6C，陰極：2件 1.5"×1.5" 過氧化 CNi6C；T設置=500℃，T真實=440℃；連續放電

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	6.61	0.000	0.00	0.00	0.00E+00	0.0264	

放電電壓逐漸下降。在運轉6.6小時後，放電電壓變成負值

高T熔融電解質-具Ar流及獨立的水蒸汽發生器之封閉SS電池

- 112211GZC2-872：Ni/10 g LiOH +50 g LiBr+20 g MgO/NiO；2.75"氧化鋁坩堝；陽極：1.5"×1.5" 2.926 g CNi6C，陰極：1.5"×1.5" 過氧化 CNi6C；T設置=500℃，T真實=440℃；充電至0.8 V，若V>0.6，則放電4 s

電流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2) , 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	15.72	0.753	3.77	0.26	1.52E-02	0.0466	3.07
	23.73	0.777	3.89	0.27	0.0281	0.0646	2.30
具Ar atm且維持水蒸汽活性之封閉電池							
5	88.95	0.798	3.99	0.27	0.00275	0.355	129.09
	111.88	0.778	3.89	0.27	9.47E-03	0.439	46.36
	134.88	0.774	3.87	0.27	0.0283	0.51	18.02

高 T 熔 融 電 解 質 - 具 經 由 H₂O 鼓 泡 器 之 Ar 流 之 封 閉 SS 電 池

- 111411GZC1-858 : Ni/12 g LiOH+60 g LiBr+20 g MgO/NiO ; 2.75" 氧 化 鋁 坩 堝 ; 陽 極 : 1.5"×1.5" 3.028 g Ni C Ni6C , 陰 極 : 2 件 1.5"×1.5" 過 氧 化 C Ni6C ; T 設 置 =460℃ , T 真 實 =440℃ ; 充 電 至 0.8 V , 若 V>0.6 , 則 放 電 4 s ; 結 果 : (1) OCV=0.943 V , 抽 空 電 池 OCV=0.860 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (2) OCV=0.920 V , 抽 空 電 池 OCV=0.872 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (3) OCV=0.902 V , 抽 空 電 池 OCV=0.858 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (4) OCV=0.842 V , 抽 空 電 池 OCV=0.793 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (5) OCV=0.823 V , 抽 空 電 池 OCV=0.790 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (6) OCV=0.809 V , 抽 空 電 池 OCV=0.777 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (7) OCV=0.796 V , 抽 空 電 池 OCV=0.768 。 隨 後 經 由 水 鼓 泡 器 向 封 閉 電 池 中 填 充 Ar ; (8) OCV=0.790 V 。 隨 後 為 運 轉 進 程 : 充 電 至 0.8 V , 若 V>0.6 , 則 放 電 4 s 。 測 試 如 下 。

電流 (mA)	測試時 間(hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率 密度 (mW/cm2) ，陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益	註解
5	16.11	0.767	3.84	0.26	3.15E-02	0.0314	1.00	增益增加。
	39.99	0.794	3.97	0.27	0.0693	0.087	1.26	增益增加。
	63.33	0.814	4.07	0.28	8.06E-02	0.171	2.12	無需充電。
	87.9	0.831	4.16	0.29	0.0942	0.257	2.73	無需充電。
								無需充電。
	142.83	0.831	4.16	0.29	9.43E-02	0.483	5.12	因為DV >0.8 V。
	164.36	0.786	3.93	0.27	0.132	0.531	4.02	C3.67s/D4s
	188.68	0.788	3.94	0.27	0.178	0.581	3.26	C2.63s/D4s
	286.07	0.784	3.92	0.27	0.368	0.777	2.11	C3.98s/D4s
	309.22	0.784	3.92	0.27	0.414	0.822	1.99	C4.05s/D4s
	332.63	0.784	3.92	0.27	0.461	0.868	1.88	C4.1s/D4s

高T熔融電解質-具Ar流之封閉SS電池

- 110811GZC5-845：Ni/20 g LiOH +100 g LiBr/NiO；
2.75"氧化鋁坩堝；陽極：1.5"×1.5" Ni CNi6C，陰極：4件
1.5"×1.5" 過氧化CNi6C；T設置=500℃，T真實=440℃；
充電至0.8 V，若V>0.6，則放電4 s

電 流 (mA)	測試 時間 (hr)	放電 電壓 (V)	功率 輸出 (mW)	放電功率密度 (mW/cm2)， 陽極	充電 能量 (Wh)	放電 能量 (Wh)	能量 增益
5	16.08	0.800	4.00	0.28	9.84E-03	0.0539	5.48
	40.36	0.777	3.89	0.27	0.0108	0.15	13.89
	64.25	0.782	3.91	0.27	6.03E-02	0.195	3.23
	135.35	0.749	3.75	0.26	0.151	0.382	2.53
	158.37	0.793	3.97	0.27	1.70E-01	0.452	2.66
	180.8	0.791	3.96	0.27	0.177	0.534	3.02
	204.11	0.791	3.96	0.27	0.179	0.624	3.49
	228.45	0.790	3.95	0.27	0.184	0.716	3.89
	283.84	0.784	3.92	0.27	0.236	0.883	3.74
	305.34	0.784	3.92	0.27	0.266	0.938	3.53
	329.55	0.784	3.92	0.27	0.295	1.004	3.40
	426.55	0.782	3.91	0.27	0.431	1.251	2.90
	449.64	0.783	3.92	0.27	0.467	1.306	2.80
	475.12	0.784	3.92	0.27	0.501	1.373	2.74
	495.71	0.765	3.83	0.26	0.522	1.431	2.74
	519.48	0.79	3.95	0.27	0.553	1.494	2.70
	591.18	0.79	3.95	0.27	0.642	1.69	2.63
	613.7	0.79	3.95	0.27	0.669	1.752	2.62
	637.2	0.79	3.95	0.27	0.697	1.817	2.61

660.65	0.788	3.94	0.27	0.727	1.88	2.59
684.58	0.789	3.945	0.27	0.76	1.942	2.56
738.4	0.788	3.94	0.27	0.836	2.079	2.49

111711XY3-1225 凸緣封閉糊狀電解質海恩斯 242 合金 /LiOH-LiBr-MgO/NiO。20 mA-10 mA；陽極：海恩斯 242 合金箔 (1×1"，6.25 cm²，3.8287 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr+35.0 g MgO；溫度 450℃；流經 Ar(預加濕，低速率)

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm ²)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
20 mA 直至 V=0.8 V，隨後 將V在0.8 V下保 持1 s	20 mA 直至 V=0.6 V，或 若在4 s內，V 未達到0.6 V， 則直至4 s	3h 14h	1.92	0.000198 3 0.0014	0.0192 0.0486	9682.2 3471.4
發現充電/放電 轉變太快，所以 電流： 10 mA 直至 V=0.8 V，隨後 將V在0.8 V下保 持1 s	10 mA 直至 V=0.6 V，或 若在4 s內，V 未達到0.6 V， 則直至4 s	21h	0.96		0.1012	4216.6
		3d18h		0.0024	0.5320	9333.3
		4d9h		0.0057	0.6228	4903.9
		5d11h		0.0127	0.7538	1994.1
		10d19h		0.0378	1.2067	1045.6
		11d1h		0.1154	1.2132	941.1
		12d4h		0.1289	1.2138	903.7
		13d2h		0.1343	1.2154	806.5
		14d10h		0.1507	1.2164	770.8
				0.1578		

110211GC5 (用 LiOH+LiBr製備基質，固體糊狀物) Ni網格方形物 /LiOH-LiBr-MgO+LiAlO₂/預氧化物 Ni網格方形物 (Ar，較大流動速率) T=450℃，充電 5 mA 直至 V=0.8 V，保持 1 s；放電 5 mA 直至 V>=0.6 V，否則放電 4 s；陽極：Ni網格方形物 (2.94 g，約 14 cm²)；陽極：NiO，CN6C，1.5×1.5'，2.71 g；電解質：8 g LiOH+40 g LiBr+11 g MgO+11 g LiAlO₂。

測試時間/ 電流(mA)	放電功率密 度(mW/cm2)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	比 率 (100%)
2 h / 5	0.28	0.0029	0.0058	0.0024	0.0046	195.5
23 h / 5		0.0504	0.0648	0.0399	0.0505	126.7
2d / 5		0.0916	0.1491	0.0724	0.1156	159.7
5d+1h / 5		0.1989	0.4030	0.1575	0.3136	199.1
6d / 5		0.2396	0.4738	0.1897	0.3694	194.7
7d / 5		0.2611	0.5705	0.2068	0.4397	212.6
7d+20 h / 5		0.2844	0.6467	0.2242	0.4887	218.0
8d+15 h / 5		0.3212	0.7047	0.2517	0.5271	209.4

102611XY5-1127 糊 狀 電 解 質 Ni/LiOH-LiBr-TiO2/NiO ；
陽 極 ： 多 孔 Ni C6NC (OD 1.5"， 11 cm2， 2.6865 g)， 浸
沒 於 電 解 質 中 ； 陰 極 ： 預 氧 化 多 孔 Ni C6NC (1.5×1.5")，
位 於 電 解 質 上 ； 電 解 質 ： 6.0 g LiOH+30.0 g LiBr+12.0 g
TiO2 ； 溫 度 450℃

充電電流，時 間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V，隨 後將V在0.8 V 下保持1 s	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在4 s內， V未達到0.6 V，則直至4 s	1h 1d13h 2d4h 3d6h 4d3h(終止)	0.27	0.000724 0.0184 0.0335 0.0541 0.0729	0.0036 0.0193 0.0648 0.1422 0.2082	497.2 104.8 193.4 262.8 285.5

陽 極 基 本 上 無 NiO 形 成 。

110411GC3 (用 LiOH+LiBr 製 備 基 質 ， 固 體 糊 狀 物) NiO
網 格 方 形 物 /LiOH-LiBr-MgO Li2ZrO3/NiO 網 格 方 形 物 (空
氣) T=450℃ ， 充 電 5 mA 持 續 0.5 s ； 放 電 5 mA 持 續 1.5 s ；
陽 極 ： NiO 網 格 方 形 物 (2.73 g， 約 14 cm²) ； 陽 極 ： NiO 方
形 物 ， 2.78 g ； 電 解 質 ： 10 g LiOH+50 g LiBr+10 g
MgO+50 g Li2ZrO3 。

測試時間/ 電流(mA)	放電功率密度 (mW/cm2)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	比率 (100%)
2 h / 5	0.26	0.0023	0.0070	0.0015	0.0045	298.1
2d+20 h / 5		0.0828	0.2531	0.0659	0.1996	302.9
3d+20 h / 5		0.1111	0.3387	0.0892	0.2692	301.8
4d+18 h / 5		0.1384	0.4214	0.1117	0.3368	301.5
5d+16 h / 5		0.1660	0.5045	0.1346	0.4050	300.9

101311XY1-1086 空氣陰極哈斯特洛依合金 (Hastelloy)C22/LiOH-LiBr/Ni；陽極：哈斯特洛依合金C22箔 (1×1"，2.8949 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：捲起之多孔Ni C6NC (OD 1.75，2"高)，伸出電解質；電解質：20.0 g LiOH+100.0 g LiBr；溫度450℃。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓 (V)	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
1 mA，2s	1 mA，4s	1h，0.67	0.10	0.0001813	0.0003558	196.2
2.5 mA，2s	2.5 mA，4s	0.5h，0.63	0.25	0.0002690	0.0005168	192.1
5 mA，2s	5 mA，4s	2h，0.63	0.50	0.0024	0.0044	183.3
		15h，0.65		0.0180	0.0335	186.1
		2d，0.62		0.0536	0.1018	189.9

101411CG1-280

空氣陰極；陽極：Mo 1"×1" 1.753 g；陰極：NiO捲筒，2"高，用MoO2包埋；電解質：LiOH-LiBr；在10 mA下充電直至V=1.0 V；在-10 mA下放電4s或直至V=0.6 V，以先出現者為準。

充電能量(Wh)	放電能量(Wh)
0.4492	1.55663

102411XY3-1113 糊狀電解質Ni/LiOH-LiBr-LiAlO2/NiO。

Ar氣層；陽極：多孔 Ni C6NC (OD 1.5"，11 cm2，2.2244

g)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：6.0 g LiOH+30.0 g LiBr+8.0 g LiAlO2；溫度450℃，具Ar流

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
20 mA直至 V=0.8 V， 隨後將V在 0.8 V下保持 1 s	20 mA直至 V=0.6 V，或若 在4 s內，V未達 到0.6 V，則直 至4 s	13h 21h 1d15h 2d4h 3d4h 5d17h	1.1	0.0355 0.0408 0.0460 0.0485 0.0527 0.0611	0.1503 0.1516 0.1562 0.1600 0.1659 0.1787	423.3 371.5 339.5 329.8 314.8 292.4

101711CG9-282

空氣陰極；陽極：Mo 1"X1" 1.658 g；陰極：NiO捲筒，2"高，用Li2ZrO3包埋；電解質：LiOH-LiBr；在10 mA下充電直至V=1.0 V；在-10 mA下放電2 s或直至V=0.6 V，以先出現者為準；7天內增益為9至11倍。

101711XY1-1096 糊狀電解質Ni/LiOH-LiBr-Li2TiO3/NiO；陽極：多孔Ni C6NC (1.5×1.5"，14 cm2，3.4618 g)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC (1.5×1.5")，位於電解質上；電解質：6.0 g LiOH+30.0 g LiBr+20.0 g Li2TiO3；溫度450℃

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
5 mA，直至 V=0.8 V，隨 後將V在0.8 V下保持1 s	5 mA，直至 V=0.6 V，或 若在4 s內，V 未達到0.6 V， 則直至4 s	3h 1d 5d22h	0.21	0.0023 0.0054 0.0495	0.0082 0.0576 0.3058	356.5 1066.6 617.7

101111XY1-1074 浸沒之 Mo9S1/LiOH-LiBr/NiO；陽

極：Mo9S1球粒(14 mm OD，1.5 cm2，3.4921 g，包括導線)，浸沒於電解質中；陰極：預氧化多孔Ni C6NC(1.5×1.5")，浸沒於電解質中；電解質：20.0 g LiOH+100.0 g LiBr；溫度450℃

充電電流，時間	放電電流，時間	時間	功率密度 (mW/cm2)	充電能量(Wh)	放電能量(Wh)	能量增益(%)
10 mA 直至 V=0.7V，隨後將 V 在 0.7V 下保持1 s	10 mA 直至 V=0.6V，或若在4 s內，V未達到0.6 V，則直至4 s	2d1h 2d23h	4.0	0.1274 0.1852	0.1682 0.2435	132.0 131.4

083011XY2-959 MHFC 之間歇放電。(MoNi/LiOH-LiBr/Ni，高電流，高溫)；陽極：MoNi 合金板(OD 14 mm，約2.5 mm厚，5.424 g，包括焊接之Ni導線)。浸沒於電解質中；陰極：捲起之多孔Ni C6NC (OD 1.0"，2"高)，伸出電解質；電解質：20.0 g LiOH+100.0 g LiBr；溫度450℃。

充電電流，時間	放電電流，時間	時間，放電電壓(V)	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
1 mA，2s	1 mA，4s	45 min，1.08	0.72	0.0002518	0.0004879	193.7
2.5 mA，2s	2.5 mA，4s	40 min，1.06	1.76	0.0005843	0.0011	188.2
5 mA，2s	5 mA，4s	35 min，1.05	3.50	0.0010	0.0020	200.0
10 mA，2s	10 mA，4s	45 min，1.04	6.93	0.0026	0.0050	192.3
20 mA，2s	20 mA，4s	30 min，1.03	13.73	0.0036	0.0068	188.8
40 mA，2s	40 mA，2s	40 min，1.00	26.66	0.0097	0.0178	183.5
80 mA，2s	80 mA，4s	40 min，1.00	48.5	0.0125	0.0217	173.6
		30 min，0.91				

80 mA下之長期效能測試

充電電流，時間	放電電流，時間	時間，放電電壓(V)	功率密度 (mW/cm2)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)	能量增益 (%)
80 mA，2s	80 mA，4s	30 min，0.91	48.5	0.0125	0.0217	173.6
		1d，0.88		0.4737	0.8430	177.9
		2d，0.86		1.1983	2.1435	178.8
		3d，0.81 (終止)		1.5598	2.7870	178.6

080211GZC4-564 : Ni 振 動 膜 /20 g LiOH+100 g LiBr/CNi4(空氣); 2.75"氧化鋁坩堝; 電極: 0.010"厚, 1.875"直徑, 17.8 cm² Ni 振動膜(陽極), 2.5"高, 17"長捲起之CNi4 celmet, 橫截面積: 21.9 cm²(陰極); T設置=340°C, 熔融物之真實T: 300°C; PH₂=910托, 量測H₂透過速率=2.02e-2 umol/s, 計算最大H₂透過速率: 1.60e-2 umol/s; 量測電壓=0.802 V, 量測功率: 6.44 mW, 基於量測H₂流動速率之功率輸出:4.53 mW; 能效: 142%

072111GZC1-531: Ni膜/20 g LiOH+100 g LiBr/CNi4(空氣); 2.75"氧化鋁坩堝; 電極: 0.010"厚, 1.875"直徑, 17.8 cm² Ni 振動膜 (陽極), 2.5"高, 17"長捲起之CNi4 celmet, 橫截面積: 21.9 cm²(陰極); T設置=380°C, 熔融物之真實T: 342°C; 51.1Ω 負載; PH₂=978托, 量測H₂透過速率=4.06e-2 umol/s, 計算最大H₂透過速率: 3.63e-2 umol/s; 量測電壓=0.821 V, 量測功率: 13.2 mW, 基於量測H₂流動速率之功率輸出: 9.1 mW; 能效: 145%

062211XY1-776 MHFC之間歇充電/放電. (Ni 圓盤陽極, Celmet捲筒陰極, 高電流), 具氫氣流; 陽極: Ni圓盤 (OD 1.875", 厚0.010"), 浸沒於電解質中; 陰極: 多孔Ni C6N 牢固捲在氧化鋁管周圍, 捲筒之OD為1.875", 高4", 伸出電解質。陽極及陰極之浸沒面積相同; 電解質: 20.0 g LiOH+100.0 g LiBr; 溫度450°C

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
50 mA，2s	50 mA，4s	2.5h，1.0V	0.0402	0.0796	0.0397	0.0734
100 mA，2s	100 mA，4s	2h，0.88V	0.0634	0.1269	0.0667	0.1161
150 mA，2s	150 mA，4s	0.5h，0.73V	0.0231	0.0459	0.0235	0.0366
200 mA，2s	200 mA，4s	2h，0.67V	0.1235	0.2456	0.1189	0.1740
250 mA，2s	250 mA，4s	2.5h，0.62V	0.1966	0.3914	0.1868	0.2545
300 mA，2s	300 mA，4s	1.5h，0.59V	0.1498	0.2982	0.1452	0.1826

100 mA下之長期效能測試

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
100 mA，2s	100 mA，4s	18h，0.94V	0.5930	1.1848	0.6400	1.1298
		4d，0.94V	2.6345	5.2643	2.8454	5.0092
		5d，0.94	3.4001	6.7941	3.6730	6.4608
		6d，0.93	4.1415	8.2761	4.4788	7.8723
		7d，0.93V	4.8507	9.6936	5.2480	9.2152
		8d，0.92	5.1927	11.3768	6.1613	10.8062
		8d，0.92	8.1648	16.3226	8.8500	15.4685
		11d，0.91	9.722	19.435	10.539	18.352
		13d				

062811GC1 SS管(1/4')-Ni圓盤(f 1.75') H₂滲透/LiOH (41 g)+LiCl (39 g)/Ni網格圓筒(空氣) T=470℃ (420℃，MP 277℃)；100 Ω，30 Ω，15 Ω；陽極：SS管 (1/4')-Ni圓盤 (f 1.75')；陰極：Ni網格包覆圓筒 (CNi8：4.5'×2'，2.81 g)及(CNi6：4.5'×1.9'，17.70 g)；溫度：470℃，設置點：420℃)；OCV：V_{max}=1.14 V，緩慢升高；負載100 Ω：V=1.07 V；升高；負載30 Ω：V=0.92 V (穩定)；負載15 Ω：V=0.73 V；(極度穩定)；E_{out}=36790.0 J (迄今為止)

062811GC2 SS管(1/4')-Ni圓盤 (f 1.75') H₂滲透/LiOH (51.2 g)+Li₂CO₃ (29.8 g)/Ni網格圓筒(空氣) T=530℃ (488℃，MP 434℃)，100 Ω，30 Ω，15 Ω；陽極：SS管 (1/4')-Ni圓盤 (f 1.75')；陰極：Ni網格包覆圓筒 (CNi8：

4.5'×1.9'， 2.35 g)及 (CNi6： 4.5'×2'， 19.50 g)；溫度：530℃，設置點：488℃)；OCV：V_{max}=1.05 V，緩慢升高；負載100 Ω：V=0.96 V；升高；負載30 Ω：V=0.84 V (穩定)；

負載15 Ω：V=0.81 V；(最大值)；E_{out}=35614.4 J (迄今為止)

063011GC1 (重複062711GC2) SS管(1/4')-Ni圓盤(f 1.75') H₂滲透 / LiOH (34.1 g)+Li₂SO₄ (45.9 g)/Ni網格圓筒(空氣) T=(444℃) 520℃，設置點：30 Ω、15 Ω；陽極：SS管(1/4')-Ni圓盤 (f 1.75')；陰極：Ni網格包覆圓筒 (CNi8：5'×1.8'， 2.63 g)及 (CNi6： 4.5'×1.8'， 18.80 g)；溫度：444℃，520℃，設置點(mp：407℃)；OCV：V_{max}=0.91 V (耗時2 h)，緩慢升高；負載30 Ω：V=0.80 V，升高；負載15 Ω：V_{max}=0.74V，現在V=0.70 V，穩定；E_{out}=30971.8 J (迄今為止)

62811XY1-790 MHFC之間歇充電/放電。(Ni圓盤陽極，Celmet捲筒陰極，高電流)，具氫氣流；陽極：Ni圓盤(OD 1.875"，厚 0.010")，浸沒於電解質中；陰極：多孔Ni C6N牢固捲在氧化鋁管周圍，捲筒之OD為1.875"，高4"，伸出電解質；電解質：30.0 g LiOH+150.0 g LiBr

溫度450℃。

200 mA下該配置電池之長期效能測試

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
200 mA，2s	200 mA，4s	11h，0.55 V	0.7862	1.5597	0.6660	0.9309

目標能量增益：2倍。

062011XY1-769 MHFC之間歇充電/放電。(Celmet 陽極，Celmet捲筒陰極，高電流)，電池767之繼續，自200 mA起始；陽極：多孔Ni C6N，(OD 1.5"，2.6 g)，浸沒於電解質中；陰極：多孔Ni C8N及C6N牢固捲在氧化鋁管周圍(內層C8N，外層c6N)，捲筒之OD為1.5"，高4"，伸出電解質。陽極及陰極之浸沒面積相同；電解質：15.0 g LiOH+75.0 g LiBr；溫度450℃。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
200 mA，2s	200 mA，4s	1.5h，0.53V	0.0973	0.1936	0.0881	0.1079
250 mA，2s	250 mA，4s	2h，0.50V	0.1916	0.3816	0.1774	0.1882
275 mA，2s	275 mA，4s	1.5h，0.43	0.1435	0.2861	0.1342	0.1311
300 mA，2s	300 mA，4s	2.5h，0.39	0.2293	0.4567	0.2186	0.1949
200 mA，2s	300 mA，4s	0.5h	0.02529	0.07728	0.02261	0.03157

目標能量增益：2倍。

061011XY1-737 MHFC之間歇充電/放電。(圓盤陽極，Celmet陰極，高電流)；陽極：Ni圓盤(OD 2.0"，0.010"厚)，浸沒於電解質中；陰極：多孔 Ni C6N，伸出電解質；電解質：10.3 g LiOH+49.7 g LiBr；溫度450℃。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
10 mA，2s	10 mA，10s	4h：0.75	0.0060	0.0272	0.0051	0.0217
		28h：0.70	0.0471	0.2142	0.0368	0.1579
		2d：0.66	0.0852	0.3868	0.0646	0.2759
		3d：0.62	0.1268	0.5719	0.0936	0.3988
		4d：0.66	0.1650	0.7415	0.1206	0.5122
		7d	0.2543	1.1376	0.1719	0.7234

目標能量增益：5倍。

061011XY2-738 MHFC之間歇充電/放電。(圓盤陽極，Celmet陰極，高電流)；陽極：Ni圓盤 (OD 2.0"，0.010"厚)，浸沒於電解質中；陰極：多孔 Ni C6N，伸出電解質；電解質：10.3 g LiOH+49.7 g LiBr。溫度450℃。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
20 mA，2s	20 mA，10s	4h：0.70	0.0117	0.0570	0.0096	0.0445
		28h：0.68	0.0935	0.4554	0.0727	0.3305
		2d：0.67	0.1676	0.8153	0.1178	0.5801
		3d：0.66	0.2484	1.2034	0.1874	0.8472
		4d：0.66	0.3225	1.5587	0.2414	1.0881
		6d：0.65	0.4905	2.3640	0.3645	1.6322
		7d：0.65	0.5754	0.7775	0.4266	1.9075
		8d：0.66	0.6588	3.1887	0.4889	2.1824
		9d	0.7076	3.4299	0.5251	2.3399

目標能量增益：5倍。運轉9天。

061011GC1 Ni管(1/4')-Ni網格(Ni粉末) H₂噴射/LiOH (10 g)+LiBr (50 g)/Ni網格方形物 T=360℃，100 Ω；主要目的：測試Ni粉末-H₂噴射系統中之H₂流動速率；陽極：Ni管(1/4')-Ni網格(CNi8，1.5'×1.8'，0.7 g)，裝有2 g Ni粉末(-400網格，99.8%)；陰極：Ni網格方形物(2.5'×0.9')；溫度：360℃；OCV：V_{max}=1.01 V；負載100 Ω，H₂流動速率由質量流量控制器與計量閥控制。V_{max}=0.78 V，下降並穩定在0.64 V；H₂流動速率測試4天；E_{out}=2.34 kJ (終止以進行另一測試)。註解：(1)放電電壓恆定；流動速率常數由計量閥控制；(2)平均值顯示效率極度接近約150%。

053111XY1-696 MHFC之間歇充電/放電。(流經預加濕之無CO2空氣，85% N2，15% O2)；陽極：多孔 Ni C6N，圓盤完全浸沒於電解質中；陰極：多孔Ni C6N，伸出電解質；電解質：10.3 g LiOH+49.7 g LiBr；預加濕之無CO2空氣(85% N2，15% O2)連續流經電池。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
1 mA，2s	1.0 mA， 16s	7h：0.81	0.00078	0.0062	0.00062	0.0050
		1d：0.85	0.0025	0.0201	0.0022	0.0171
		2d：0.85	0.0050	0.0399	0.0043	0.0338
		3d：0.85	0.0076	0.0604	0.0064	0.0511
		6d：0.84	0.0156	0.1245	0.0133	0.1051
		7d：0.84	0.0180	0.1430	0.0152	0.1206
		8d：0.84	0.0207	0.1646	0.0175	0.1387

目標能量增益：8倍。

052711XY4-694 MHFC之間歇充電/放電。陽極與陰極用多孔Ni C6N製備；陽極：多孔Ni C6N，圓盤全部浸沒於電解質中。陰極：多孔 Ni C6N，伸出電解質；電解質：10.3 g LiOH+49.7 g LiBr；電池為開放的。

充電電流， 時間	放電電流， 時間	時間， 放電電壓(V)	充電容量 (Ah)	放電容量 (Ah)	充電能量 (Wh)	放電能量 (Wh)
1 mA，2s	1.0 mA，64s	1h：0.89	0.000041	0.0013	0.000036	0.0011
		4d：0.85	0.0030	0.0954	0.0027	0.0818
		5d：0.85	0.0036	0.1159	0.0033	0.0991

目標能量增益：32倍。

051311XY1-621(Ni(H₂)/LiOH-LiBr-Li₂TiO₃/NiC₆N-NiC₄N)：原型配置(陽極與陰極平行。兩者之間有電解質糊狀物之薄層)。此電池準備使用具小多孔的Ni發泡體固持電解質，並

防止頂部具大多孔的Ni發泡體因毛細管作用而變濕。此電池與電池602相同製備，在Ni導線破壞之前持續8天。此電池之功率密度在不同放電負載下量測。陽極：H₂經由Ni腔室流動(表面積：25 cm²，0.01"厚)；陰極：空氣，具小多孔之多孔Ni。C6N與電解質接觸且C4N頂部具較大多孔之雙層(表面積：20 cm²)；電解質：4.0 g LiOH+20.0 g LiBr+10.0 g Li₂TiO₃；溫度：熔融鹽之真實T為450℃；放電負載：50 Ω；在50 Ω放電下測試長期效能。

時間	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	10d	11d	12d	13d	14d	17d	18d
電壓(V)	0.92	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.41

18d時終止

052411GC1 (封閉電池) (NaOH，H₂) Ni管(1/8')/BASE/NaCl+MgCl₂ Ni管(1/4')-附著之包覆網格(CNi8)，T=500℃(設置點)，100 Ω；主要目的：將[Ni(H₂)NaOH/BASE/NaCl-MgCl₂位於抽真空封閉電池中以除去H₂O及H₂，自陽極獲取黑色樣品以進行XRD。陽極：(NaOH 4.0 g，H₂，約840 托) Ni管(1/8'，新)；陰極：NaCl 49.9 g+61.4 g MgCl₂ (兩者均經乾燥)，電流收集器：具附著之包覆網格(3'×2.5')的Ni管(1/4')；T：500℃；OCV：V_{max}=1.47 V；負載100 Ω：V_{max}=約0.97 V；E_{out}=260.8 J；註解：在較高溫度下獲得較高能量。

HT電池：原型#25測試

- 051611GZC1-497：Ni(H₂)/0.5 g LiOH+2.5 g LiBr+1.5 g

MgO/Ni(空氣) (MP. 264C)；2.75"氧化鋁坩堝；電極：6.4 cm² Ni 0.005"厚(陽極)，6.4 cm²橫截面雙層CNi8+CNi4墊(陰極，由熔融電解質預處理)，陰極由陶瓷保護，陰極鎳導線無陶瓷管覆蓋；T=460°C (熔融物之真實T：420°C)，PH₂約800托；結果：(1) OCV=0.94 V；(2) 50Ω負載，T=479C，PH₂=798托，CCV=0.812 V，功率=13.2 mW

B. 水流分批熱量測定

表9中各條目之右手側所列的觸媒反應混合物之能量與功率平衡係使用約43 cm³體積之圓筒形不鏽鋼反應器(1"內徑(ID)、5"長及0.060"壁厚，具有內熱電偶套管)及包含各電池及外部水冷卻劑線圈之真空腔室的水流熱量計(收集99+%電池釋放之能量以達成<±1%誤差)來獲得。藉由積分隨時間變化之總輸出功率 P_T 確定能量回收。功率如下給出

$$P_T = \dot{m} C_p \Delta T \quad (344)$$

其中 $\dot{m}$ 為質量流動速率， C_p 為水的比熱，且 ΔT 為入口與出口之間的溫度的絕對變化。反應係藉由向外加熱器施加精確功率來引發。特定言之，向加熱器供應200 W功率。在此加熱時段期間，試劑達到低能量氫反應閾值溫度，其中反應之起始通常由電池溫度之急劇升高證實。一旦電池溫度達到約400-500°C，即將輸入功率設置為0。18分鐘後，程式將功率引導為0。為增加轉移至冷卻劑之熱轉移速率，用1000托氫給腔室再次加壓，且水溫之最大變化(出口減去入口)為約1.2°C。如由觀察到流式熱敏電阻中之完

全平衡所證實，使組裝經24小時時間完全達到平衡。

在各測試中，藉由積分相應功率計算能量輸入及能量輸出。使用方程式(344)藉由將水容積流率乘以19℃之水密度(0.998 kg/l)、水的比熱(4.181 kJ/kg℃)、校正溫差及時間間隔來計算每次增量中冷卻劑流中之熱能。求整個實驗之各值之和，獲得總能量輸出。電池之總能量 E_T 必須等於能量輸入 E_{in} 及任何淨能量 E_{net} 。因此，淨能量如下給出

$$E_{net} = E_T - E_{in} \tag{345}$$

根據能量平衡，由下式相對於最大理論 E_{mt} 確定任何過量熱 E_{ex}

$$E_{ex} = E_{net} - E_{mt} \tag{346}$$

校準測試結果顯示，超過98%之電阻輸入熱偶合至輸出冷卻劑，且零過量熱控制顯示在應用校準校正下，熱量計精確至小於1%誤差以內。結果如下給出，其中Tmax為最大電池溫度，Ein為輸入能，且dE為超過輸入能量之量測輸出能量。當放熱時，所有理論能量皆為負值。正輸出值表示輸出能量大於輸入能量。

表9. 例示性熱量測定測試結果

樣品ID	電池 編號	化學物質	Tmax (°C)	Ein(kJ)	DE (kJ)	E _{ex} (kJ)	能量增益， DE/(-E _{ex})
111711JHWFC2	34	10 g Pd/Al2O3+5.9g LiOH+36.0 g MoO3+109 PSI H2 (約0.097 L)	573	363.2	13.4	-4.1	3.3
111811JHWF3	43	2.5g Pt/Al2O3+25.8g CrO3+114.7 PSI H2 (約0.148 L)	510.7	181.1	7.1	-3.8	1.9

111811JHWF4	44	2.5g Pd/Al ₂ O ₃ +4.8g LiOH+25.6 g MnO ₂ +114.7 PSI H ₂ (約0.043L)	458.7	181.0	7.4	-0.37	20
111811JHWF5	45	2.5g Pd/Al ₂ O ₃ +4.8g LiOH+28.0 g TeO ₂ +114.7 PSI H ₂ (約0.043L)	473	181.0	6.9	1.85	3.7
112111JHWF1	46	8.3g KH-32+5.0 g Mg-15+7.2g AgCl-AD-6+20.0 g TiC-132+122.7 PSI D2	616.6	363.5	18.9	-15.3	1.2
112111JHWF2	47	2.5g Pd/Al ₂ O ₃ +6.0 g LiOH+25.0 g Fe ₂ O ₃ +122.7 PSI D2 (約0.097L)	570.5	363.5	8.0	-0.37	21.6
112111JHWF3	48	2.5g Pd/Al ₂ O ₃ +4.8g LiOH+16.5g NiO/Ni ₂ O ₃ +115.7 PSI D2 (約0.043L)	445	181.0	43.0	-1.8	23.9
120511JHWF2	87	5g Pd/Al ₂ O ₃ +11.2g LiOH+50.0 g Fe ₂ O ₃ +122.7 psi D2 (約0.097L) (2x)	523	362.5	20.5	-0.4	51
120511JHWF3	88	11.2g KOH+25.0 g Fe ₂ O ₃ +118.7 psi D2 (約0.043L)	443.5	181.0	7.0	-0.17	41
120611JHWF2	92	40.0 g Co(OH) ₂ +122.7 psi D2 (0.097mL)	493	362.4	5.6	-1.18	4.7
120611JHWF3	93	4.8g LiOH+33.0 g FeOOH+118.7 psi D2 (約0.043L)	428.6	181.1	6.9	-3.21	2.15
120611JHWF4	94	8.0 g NaOH+33.0 g FeOOH+118.7 psi D2 (約0.043L)	450.7	182.0	13.1	-3.21	4.1
120711JHWF1	96	11.2g LiOH+50.0 g Fe ₂ O ₃ +123.7 psi D2 (約0.097L) (2x)	477	364.4	7.5	-0.4	18.8
120711JHWF2	97	5.0 g TiC+11.2g LiOH+50.0 g Fe ₂ O ₃ +123.7 psi D2 (約0.097L) (2x)	551	362.4	27.5	-0.4	69
120911JHWF3	108	33.0 g Fe ₂ O ₃ +118.7 psi H ₂ (約0.043L)	460	181.1	3.4	0.17	20
120911JHWF4	109	4.0 g NaOH+16.5g Fe ₂ O ₃	553	218.0	5.2	-0.43	12.1
121311JHWF4	115	6.0 g NaOH+25.0 g Fe ₂ O ₃	565	217.0	8.7	-0.6	13.6
011612JHWF4	211	11.7g Mg(OH) ₂ +32.3g H ₂ MoO ₄	507.5	217.0	6.1	-0.3	20.3
011912JHWF3	224	11.6 g Mg(OH) ₂ +28.4g P ₂ O ₅	681	217.1	54.0	-28.4	1.9
012012JHWF4	229	11.6 g Mg(OH) ₂ +36.4g V ₂ O ₅	516	218.0	4.9	-2.3	2.1

013012JHWF4	254	11.6 g Mg(OH)2+12.8g NiCl2 +100 psi H2 (淨6 psi)	577.7	218.0	6.3	5.0	inf
013112JHWF4	259	11.6 g Mg(OH)2+21.6 g FeCl3 +100 psi H2 (淨6 psi)	563	217.0	17.5	-3.8	4.6
020712JHWF3	283	11.6 g Mg(OH)2+12.8g CoCl2 +100 psi H2 (淨6 psi)	558.9	217.1	3.8	4.7	inf
020712JHWF4	284	11.6 g Mg(OH)2+21.8g NiBr2 +100 psi H2 (淨6 psi)	548	217.0	4.9	7.5	inf
020712JHWF5	285	14.8g Ca(OH)2+21.8g NiBr2 +100 psi H2 (淨6 psi)	557	218.1	6.3	-2.3	2.7
020812JHWF4	289	11.6 g Mg(OH)2+12.6 g MnCl2 +100 psi H2 (淨6 psi)	565	218.0	3.6	9.8	inf
020812JHWF5	290	14.8g Ca(OH)2+12.6 g MnCl2 +100 psi H2 (淨6 psi)	565	218.1	5.9	0.0	inf.
020912JHWF4	294	14.8g Ca(OH)2+19.8g CuCl +100 psi H2 (淨6 psi)	537	218.0	6.3	-1.2	5.3
021012JHWF5	300	11.6 g Mg(OH)2+25.4g FeCl2 +100 psi H2 (淨6 psi)	547.3	217.1	4.0	9.6	inf
021412JHWF2	307	14.8g Ca(OH)2+21.6 g FeBr2 +100 psi H2 (淨6 psi)	605	217.0	5.7	-2.1	2.7
021512JHWF2	312	14.8g Ca(OH)2+32.3g CoI2 +100 psi H2 (淨6 psi)	572	216.9	6.7	-0.5	13.4
021512JHWF4	314	4.8g LiOH+32.3g CoI2 +100 psi H2 (淨6 psi)	603.4	218.0	9.9	-2.8	3.5
021712JHWF4	324	5.8g Mg(OH)2+22.3g CuBr2 +100 psi H2 (淨6 psi)	564.5	218.0	11.9	-0.3	39.7
120611JHWF4	94	8.0 g NaOH+33.0 g FeOOH+118.7 psi D2 (約0.043L)	450.7	182.0	13.1	-2.1	6.1
120611JHWF5	95	30.0 g Cu(OH)2+118.7 psi D2 (0.097mL)	362.4	182.0	3.6	-0.3	14.4
121611JHWF1	123	6.0 g NaOH (新批)+25.0 g FeOOH	484.5	302.3	8.5	-2.0	4.2
122011JHWF1	129	12.0 g NaOH (新批)+27.0 g FeOOH+118.7 psi H2 (約0.097L)	449	301.6	12.3	-4.0	3.1
122011JHWF2	130	12.0 g NaOH (新批)+27.0 g FeOOH	447	303.5	8.6	-2.8	3.1

122211JHWF5	140	8.7 g Mg(OH)2+25.0 g FeOOH	531	217.1	4.8	-1.4	3.5
122311JHWF1	141	25.0 g FeOOH	500.5	303.7	6.0	-1.4	4.3
122711JHWF4	147	6.0 g NaOH (半導體級)+13.0 g FeOOH	540	218.0	7.9	-1.4	5.6
123011JHWF2	159	15.0 g Cu(OH)2+25.0 g FeOOH (AD-1)	420	304.1	3.3	-1.3	2.5
123011JHWF3	160	8.7 g Mg(OH)2+25.0 g FeOOH (AD-1)	525	217.1	5.9	-1.3	4.5
010312JHWF4	166	6.0 g NaOH (AD-1)+25.0 g FeOOH	530	217.0	10.8	-2.0	5.3
010312JHWF5	167	6.0 g NaOH (半導體級)+25.0 g FeOOH	571	217.1	10.7	-2.0	5.2
010412JHWF4	171	6.0 g NaOH (AD-1)+25.0 g FeOOH (研磨機混合物)	617	217.0	9.3	-2.0	4.7
010412JHWF5	172	25.0 g FeOOH (AD-1)	577	217.0	8.8	-1.4	6.3
010512JHWF5	177	25.0 g FeOOH (AD-1)+114 psi H2	510	218.0	7.7	-2.7	2.8
010612JHWF4	181	25.0 g FeOOH (AD-1)	563	218.0	7.4	-1.4	5.3
022212JHWF5	344	5.8g Mg(OH)2+30.8g MnI2 (Alfa , pink) +100 psi H2 (淨6 psi)	614.2	218.1	11.4	13.2	inf
022412JHWF4	353	8.0 g Mg(OH)2 +37.3g SnI2 +100 psi H2 (淨6 psi)	546	218.0	6.9	13.6	inf
022812JHWF2	361	8.0 g Mg(OH)2+21.9g CoBr2 +100 psi H2 (淨6 psi)	594	217.0	10.5	0.9	inf
030112JHWF2	371	12.2g Sr(OH)2+28.7g CuBr+100 psi H2 (淨6 psi)	617.6	217.0	14.5	-2.5	5.8
030212JHWF2	376	12.2g Sr(OH)2+13.0 g CoCl2+100 psi H2 (淨6 psi)	662	216.9	42.6	-10.3	4.1
030412JHWF3	382	9.0 g Mg(OH)2+19.5g YCl3 +100 psi H2 (淨6 psi)psi)	577	218.0	8.8	-1.5	5.9
030712JHWF7	386	5.8g Mg(OH)2+22.3g CuBr2+1 atm Ar	571	218.8	6.6	9.2	inf
031512JHWF3	424	9.8g Cu(OH)2+15.6 g KHF2 +1atm Ar	469	218.1	6.4	5.6	inf
031612JHWF3	431	9.8g Cu(OH)2+15.9g SrCl2 +1atm Ar	524	218.1	5.4	10.3	inf
032012JHWF3	446	9.8g Cu(OH)2+15.6 g KHF2+104 psi H2 (淨6 psi)	494	218.0	12.0	-2.2	5.5
032212JHWF3	460	8.8g Mg(OH)2+15.8g CrCl3 +1atm Ar	532	217.1	9.8	-2.2	4.5
032312JHWF1	465	9.8g Cu(OH)2+21.6 g FeBr2+1atm Ar	565	217	13.9	-1.6	8.7
032312JHWF2	466	9.8g Cu(OH)2+21.9g NiBr2+1atm Ar	591	219	17.3	-0.9	19.2

032312JHWF3	467	9.8g Cu(OH)2+21.9g CoBr2+1atm Ar	576	218.2	12	-1.1	10.9
032312JHWF4	468	9.8g Cu(OH)2+13.0 g NiCl2+1atm Ar	552	210	8.7	0.6	inf
032312JHWF5	469	9.8g Cu(OH)2+21.5g MnBr2+1atm Ar	602.7	214.1	14.2	9.8	inf
032312JHWF6	470	9.8g Cu(OH)2+27.9g SnBr2+1atm Ar	598	218.1	16.4	-1.5	10.9
032312JHWF8	471	9.8g Cu(OH)2+19.0 g SnCl2+1atm Ar	623	217.2	20.2	-1.2	16.8

C. 分子低能量氫之光譜鑑別

在 BlackLight Power, Inc.(BLP)首次觀察到僅來自脈衝式捏縮氫放電之H至較低能量低能量氫狀態之理論預測躍遷的10.1及22.8 nm下且延伸至較長波長之連續輻射帶且在天體物理學哈佛中心(Harvard Center for Astrophysics , CfA)再現[R. L. Mills, Y. Lu, 「Time-Resolved Hydrino Continuum Transitions with Cutoffs at 22.8 nm and 10.1 nm,」 Eur. Phys. J. D, 64, (2011), 第63頁 , DOI: 10.1140/epjd/e2011-20246-5]。亦證實由涉及充當低能量氫觸媒之快離子化H重組及 $H^*\left[\frac{a_H}{m+1}\right]$ 中間物能量衰減步驟期間共振動能轉移之機制形成的極快H[K. Akhtar, J. Scharer, R. L. Mills, 「Substantial Doppler broadening of atomic-hydrogen lines in DC and capacitively coupled RF plasmas,」 J. Phys. D, Applied Physics, 第42卷 , (2009), 42 135207 (2009) doi:10.1088/0022-3727/42/13/135207]。關於氫形成更穩定形式時之高能連續輻射的發現具有天體物理學牽涉 , 諸如低能量氫為黑暗物質之性質的候選者且相應發射為高能天空及恆星連續輻射之來源[R. L. Mills, Y. Lu, 「Hydrino continuum transitions with cutoffs at 22.8 nm and 10.1 nm,」 Int. J. Hydrogen Energy, 35 (2010) , 第8446-8456頁 ,

doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.05.098]。由最近天體物理學量測及定位，黑暗物質佔宇宙質量之98%且無所不在。此外，由自星系碰撞殘骸重建巨大重力天體顯示黑暗物質為星系內的，其中該等天體之力學需要大量非可見重力物質[F. Bournaud, P. A. Duc, E. Brinks, M. Boquien, P. Amram, U. Lisenfeld, B. Koribalski, F. Walter, V. Charmandaris, 「Missing mass in collisional debris from galaxies,」 Science, 第316卷，(2007)，第1166-1169頁；B. G. Elmegreen, 「Dark matter in galactic collisional debris,」 Science, 第316卷，(2007)，第32-33頁]，且已顯示為碰撞的[M. J. Jee, A. Mahdavi, H. Hoekstra, A. Babul, J. J. Dalcanton, P. Carroll, P. Capak, 「A study of the dark core in A520 with the Hubble Space Telescope: The mystery deepens,」 Astrophysical J., 第747卷，第96期，(2012)，第96-103頁]。因此，將預期黑暗物質在地球上無所不在，如由對經發現可充當用於收集及分析鑑別本文呈現之低能量氫的吸氣劑之化合物的分析所證實。

證實低能量氫反應之能量學之其他觀察結果為因加熱形成氫電漿，其餘輝持續時間異常[H. Conrads, R. L. Mills, Th. Wrubel, 「Emission in the Deep Vacuum Ultraviolet from a Plasma Formed by Incandescently Heating Hydrogen Gas with Trace Amounts of Potassium Carbonate,」 Plasma Sources Science and Technology, 第12卷，(2003)，第389-395頁]及H譜線反轉[R. L. Mills, P. C. Ray, R. M. Mayo, M. Nansteel, B. Dhandapani, J. Phillips, 「Spectroscopic Study of

Unique Line Broadening and Inversion in Low Pressure Microwave Generated Water Plasmas,」 J. Plasma Physics, 第71卷, 第6部分, (2005), 877-888; R. L. Mills, P. Ray, R. M. Mayo, 「CW HI Laser Based on a Stationary Inverted Lyman Population Formed from Incandescently Heated Hydrogen Gas with Certain Group I Catalysts,」 IEEE Transactions on Plasma Science, 第31卷, 第2期, (2003), 第236-247頁]。

本發明系統係關於一種低能量氫燃料電池, 稱為CIHT(觸媒誘導之低能量氫躍遷)電池, 其由氫催化反應形成低能量(低能量氫)狀態產生電動勢(EMF), 從而將低能量氫反應釋放之能量直接轉化成電。各CIHT電池包含包含陰極之陰極隔室、包含陽極之陽極隔室及亦充當形成低能量氫之反應物來源的電解質。歸因於氧化還原半電池反應, 產生低能量氫之反應混合物由經由外部電路之電子遷移及經由電解質之單獨的內部路徑以完成電路的離子質量輸送構成。在一類電解再生CIHT電池中, 原子氫及氧氣藉由在電池中電解 H_2O 間歇形成, 且氫觸媒及後續低能量氫在電池放電期間藉由反應混合物之反應形成, 伴隨淨電輸出增益。一個例示性CIHT包含鎳墊或Mo陽極、氧化鎳陰極及以 MgO 為基質之熔融共熔鹽電解質 LiOH-LiBr 。電池讓以蒸汽形式供應至電池或自空氣中提取之水流出。電池在間歇電解及放電下操作。氫氣及氧氣在電解階段期間分別在負電極與正電極處產生, 且充當 H 及 H_2O 觸媒來源。CIHT電池由6個獨立的專業科學家或團隊驗證, 所產

生之電輸出高達電解作為氫來源之 H_2O 以形成低能量氫所需之電輸出的1000倍。該等電池及其他擴大規模電池充當電極及電解質樣品以解析分析理論預測之分子低能量氫產物 $\text{H}_2(1/4)$ 的產生。

具有熔融 LiOH-LiBr-MgO 電解質及單一電極組的CIHT電池或具有雙極板電極之CIHT電池堆疊充當用於分析測試之分子低能量氫的來源，分析測試諸如魔角旋轉 ^1H 核磁共振光譜(MAS ^1H NMR)、電子束激發發射光譜、拉曼光譜、傅里葉變換紅外(FIR)光譜及X射線光電子光譜(XPS)。單一電池陰極及陽極分別包含 NiO 及 Ni celmet 或 Mo 。雙極電極各包含 NiO 陰極連接至不同於陽極之金屬的隔板。例示性隔板-陽極金屬對為214合金- Ni 、 Ni-Mo 、哈斯特合金- Mo 及 Mo-Ni celmet 。電池在真空腔室中密封且除夾帶於氫氣中或來自 H_2O 蒸汽發生器之 H_2O 蒸汽流以外為封閉的。包含 n 個電池之堆疊的電池之電效能類似於相應的單一電池之電效能，其中例外為電池電壓為單一電池之電池電壓的 n 倍。分子低能量氫樣品包含置放於封閉CIHT電池之密封容器中之電解質、化學品及無機化合物吸收劑(諸如 KCl 、 KOH 及 KCl-KOH 混合物)，其中操作期間產生之低能量氫捕捉於化合物之基質中，該基質由此充當分子低能量氫吸收劑。未曝露於低能量氫來源之起始物質充當對照。分子低能量氫之特徵匹配黑暗物質之特徵，且預期黑暗物質($\text{H}_2(1/p)$)存在於某些能夠捕捉其之材料中。與預期一致， KCl 吸收劑含有天然豐富之 $\text{H}_2(1/4)$ ，其

隨著曝露於 $H_2(1/4)$ 來源而大幅增加。

捕捉於質子基質中之分子低能量氫的MAS NMR表示一種利用分子低能量氫之獨特特徵經由其與基質之相互作用對其進行鑑別的方法。關於NMR光譜之獨特考慮為可能的分子低能量氫量子態。類似於 H_2 激發狀態，分子低能量氫 $H_2(1/p)$ 具有 $\ell=0,1,2,\dots,p-1$ 之狀態。即使 $\ell=0$ 量子態亦具有相對較大的四極矩，且另外 $\ell\neq 0$ 狀態之相應軌道角動量產生可引起高磁場基質位移之磁矩[Mills GUTCP]。當基質包含可交換H時，諸如具有水合水之基質或鹼性氫氧化物固體基質，此效應尤其有利，其中與 $H_2(1/p)$ 之局部相互作用因快速交換而影響較大群體。CIHT電池吸收劑，諸如包含KOH-KCl及KCl+K之CIHT電池吸收劑(其中在低能量氫反應期間K與 H_2O 反應形成KOH)在曝露於密封CIHT電池內部之氛圍後顯示+4.4 ppm至約-4至-5 ppm之基質(KOH)之MAS NMR活性組分位移。 H_2 透過及 β -氧化鋁-固體電解質CIHT電池以及固體燃料反應器中之KOH-KCl及其他吸收劑亦顯示高磁場位移NMR效應。詳言之，CIHT電池之電解質(諸如 $[Ni(H_2)+NaOH/Na-BASE/NaCl+MgCl_2]$ 及 $[Ni(H_2)/LiOH-LiBr+結束時添加之KOH/NiC_6]$ 之電解質)及固體燃料反應之KCl+K及KI+K吸收劑(諸如 $NaOH+FeOOH+2\text{ atm }H_2$ 、 $NaOH+Fe_2O_3+2\text{ atm }H_2$ 、 $K+KCl$ 吸收劑+單獨的 $Fe_2O_3+NiO+Ni$ 篩網+ $2\text{ atm }H_2$ 、 $K+KCl$ 吸收劑+單獨的 $Cr_2O_3+NiO+Ni$ 篩網+ $2\text{ atm }H_2$ 、 $K+KI$ 吸收劑+單獨的 $Fe_2O_3+NiO+R-Ni+2\text{ atm }H_2$ 、及 $K+KI$ 吸收劑+單獨的

$\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{NiO} + \text{R-Ni} + 2 \text{ atm H}_2$)之MAS NMR光譜顯示 -1 ppm 至 -5 ppm範圍內之高磁場位移峰。關於 $p=4$ 狀態可能之不同 ℓ 量子數可產生與 -4至 -5 ppm範圍內之多個該類峰觀察結果一致之不同高磁場基質位移。與觀察結果一致，藉由與分子低能量氫形成錯合物而向高磁場位移之KOH基質之MAS NMR峰與充當自由轉子之高磁場移動氫氧離子(OH^-)相比可為尖銳的。

其他證據支持該基於低能量氫之位移機制。由具有高磁場位移MAS NMR光譜峰之樣品的電子束激發發射光譜觀察到 $\text{H}_2(1/4)$ 之 $\text{H}_2(1/4)$ 振轉光譜。此外，陽離子ToF-SIM光譜顯示以二氫作為結構之一部分的基質化合物 $\text{M}:\text{H}_2$ ($\text{M}=\text{KOH}$ 或 K_2CO_3)的多聚團簇。詳言之，包含KOH及 K_2CO_3 或具有該等化合物作為吸收劑之低能量氫反應產物之陽離子光譜顯示 $\text{K}^+(\text{H}_2:\text{KOH})_n$ 及 $\text{K}^+(\text{H}_2:\text{K}_2\text{CO}_3)_n$ ，與 $\text{H}_2(1/p)$ 在結構中呈錯合物形式一致[R. L. Mills, E. Dayalan, P. Ray, B. Dhandapani, J. He, 「Highly Stable Novel Inorganic Hydrides from Aqueous Electrolysis and Plasma Electrolysis,」 *Electrochimica Acta*, 第47卷，第24期，(2002)，第3909-3926頁；R. L. Mills, B. Dhandapani, M. Nansteel, J. He, T. Shannon, A. Echezuria, 「Synthesis and Characterization of Novel Hydride Compounds,」 *Int. J. of Hydrogen Energy*, 第26卷，第4期，(2001)，第339-367頁]。在室溫下 $\text{H}_2(1/p)$ 與基質化合物之相互作用之能量必須大於約0.025 eV之熱能，因為ToF-SIMS團簇為穩定的，

且整個基質在一些情況下在MAS NMR中位移。由與基質之此強相互作用預期，對旋轉有高活化障壁。具有高磁場MAS NMR位移之樣品的一系列斯托克斯峰(Stokes peak)亦顯示約0.05-0.075 eV(400-600 cm^{-1})之拉曼基質位移，其中峰之間的斜率與0.249 eV能量差之 $\text{H}_2(1/4)$ 旋轉躍遷匹配，達約0.999或更高之高相關性。

使用電子束激發發射光譜及拉曼光譜探索由特徵性異常高的振轉能量直接鑑別分子低能量氫。另一明顯特徵在於分子低能量氫之選擇法則不同於普通分子氫之選擇法則。 H_2 激發狀態壽命極短，且 H_2 中具有 $\Delta J = \pm 1$ 之振轉躍遷在快速電子躍遷期間發生。但 H_2 不可能經受具有選擇法則 $\Delta J = \pm 1$ 之純振轉躍遷，因為需要 $\ell = 0$ 及 $\Delta \ell = \pm 1$ 以在躍遷期間使角動量守恆。相比之下，該等躍遷產生分子低能量氫。原子中之電子的量子數為 p 、 ℓ 、 m_ℓ 及 m_s [Mills GUTCP]。在低能量氫狀態之情況下，激發狀態之主量子數由 $n = \frac{1}{p}$ 置換。類似於 H_2 激發狀態，分子低能量氫具有 $\ell = 0, 1, 2, \dots, p-1$ 之狀態。如關於 H_2 激發狀態所觀察，該等長球形調和狀態之間的躍遷在無電子躍遷之純振動躍遷期間容許 $\Delta J = \pm 1$ 之旋轉躍遷。角狀態之壽命足夠長以使 $\text{H}_2(1/p)$ 可獨特地經受具有選擇法則 $\Delta J = \pm 1$ 之純振轉躍遷。發射分子低能量氫狀態可由高能電子碰撞激發，其中歸因於 $p^2(J+1)0.01509 \text{ eV}$ 激發之旋轉狀態之旋轉能在周圍溫度下不能增加，對應於 $<0.02 \text{ eV}$ 。因此，預期去激發振動躍遷(諸如 $v=1 \rightarrow v=0$)有僅對應於 $J' - J'' = -1$ 之P分枝，且較高旋轉能級統計熱力學的群體涉

及對應於相較於自由振子所觀察到之振動能移動之基質影響。

捕捉於吸收劑之結晶晶格中之 $H_2(1/4)$ 振轉發射由 5×10^{-6} 托之壓力範圍內之射束電流為 10-20 μA 之入射 6 KeV 電子槍激發。使用配備有具鉑塗層 1200 線/毫米全息光柵及光電倍增管 (PMT) 偵測器之 McPherson 0.2 公尺單色器 (Model 302, Seya-Namioka 型) 記錄來自電子束激發之發射的無窗紫外光譜。波長解析度為約 4 nm (FWHM)，入口及出口隙縫寬度為 500 μm 。增量為 2 nm 且停留時間為 3 s。於在 5 W CIHT 電池堆疊中充當吸收劑之 UV 透明基質 KCl (120811JL-2M3) 中之 $H_2(1/4)$ 之解析振轉光譜的實例顯示峰最大值在 260 nm 處，峰代表性位置在 222.7、233.9、245.4、258.0、272.2 及 287.6 nm 處，具 0.2491 eV 之相等間距。二原子分子 (諸如 $H_2(1/p)$) 之振動能由 $\sqrt{\frac{k}{\mu}}$ 給出，其中 k 為力常數，且 μ 為折合質量，對 $H_2(1/p)$ 而言為 $\frac{1}{2}$ 。在分子處於相對於 H 為無限質量之結晶晶格中之情況下，既定 H 及視作無限質量之另一者之振動之折合質量對應於振動能之位移乘以因子 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 所得之折合質量。預期旋轉能基本上為自由轉子之旋轉能，在於結晶矽或鍺中之 H_2 的情況下，具有微小的旋轉障壁 [E. V. Lavrov, J. Weber, 「Ortho and Para Interstitial H_2 in Silicon,」 Phys. Rev. Letts., 89(21), (2002), 第 215501 至 1-215501-4 頁]。假定 $H_2(1/p)$ 之振動及旋轉能量為 H_2 之 p^2 能量，分別為 $p^2 0.515$ eV 及 $p^2 0.01509$ eV，則預測於結晶晶

格中之 $\text{H}_2(1/4)$ 之振動及旋轉能量分別為5.8 eV及0.24 eV。當使用Jobin Yvon Horiba 1250 M光譜儀觀察時在 ± 0.006 nm解析度下260 nm電子束帶無除寬峰以外的結構，且一般而言，能量對峰數曲線得到由 $y = -0.249 \text{ eV} + 5.8 \text{ eV}$ ($R^2 = 0.999$)給出之線，在 $R^2 = 0.999$ 或更高下與 $\text{H}_2(1/4)$ 之躍遷 $\nu = 1 \rightarrow \nu = 0$ 及P(1)、P(2)、P(3)、P(4)、P(5)及P(6)之預測值極度一致。

另一實例為由火藥反應 KNO_3 與木炭之密封反應器之KCl吸收劑觀察到之包含峰P(1)-P(6)的強260 nm帶。詳言之，斜率匹配間隔0.249 eV之預測旋轉能(方程式(45)； $p=4$)，其中 $J' - J'' = -1$ ； $J'' = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ，其中 J'' 為最終狀態之旋轉量子數。低能量氫反應之高能學可為能量材料(諸如火藥)之基礎；此外由H躍遷形成低能量氫期間形成之能量或快H轟擊碳可為使碳之石墨形式轉化成金剛石形式之機制的基礎[R. L. Mills, J. Sankar, A. Voigt, J. He, B. Dhandapani, 「Synthesis of HDLC Films from Solid Carbon,」 J. Materials Science, J. Mater. Sci. 39 (2004) 3309-3318；R. L. Mills, J. Sankar, A. Voigt, J. He, B. Dhandapani, 「Spectroscopic Characterization of the Atomic Hydrogen Energies and Densities and Carbon Species During Helium-Hydrogen-Methane Plasma CVD Synthesis of Diamond Films,」 Chemistry of Materials, 第15卷，(2003)，第1313-1321頁]。同一機制適用於金剛石樣碳、奈米管及芡之形成。低能量氫形成亦可產生低能量氫原子、氫化物離子或

分子包埋於作為穩定性來源之材料中之高度穩定的Si表面 [R. L. Mills, B. Dhandapani, J. He, 「Highly Stable Amorphous Silicon Hydride,」 Solar Energy Materials & Solar Cells, 第80卷, 第1頁, (2003), 第1-20頁]。

密封於含有 65 mW 八層 CIHT 堆疊(各電池包含 [Mo/LiBr-LiOH-MgO/NiO]) 的真空腔室中之 KOH 吸收劑之電子束激發發射光譜顯示匹配歸於 $H_2(1/4)$ 振轉之 260 nm 帶分佈之輪廓的寬連續譜發射特徵, 6000 計數之最大強度在約 260 nm 處。吸收劑起始物質中未觀察到之帶之強度為通常觀察到之強度的約 10 倍。對應於包含 P(1)-P(6) 之 260 nm 電子束帶之強峰由拉曼光譜解析。此外, 相應純旋轉系列之能量及微小旋轉障壁亦由拉曼光譜證實。

亦使用拉曼光譜探索 $H_2(1/4)$, 其中歸因於正與仲之間存在大能量差, 故預期後者在該群體中佔優勢。假定仲為偶數, 則對於偶整數, 純旋轉躍遷之典型選擇法則為 $\Delta J = \pm 2$ 。然而, 軌道旋轉角動量耦合引起 ℓ 量子數發生變化而激發旋轉能級之光子之角動量守恆, 其中共振光子能量頻率相對於無 ℓ 量子數變化存在時之躍遷變動軌道核超精細能量。旋轉選擇法則定義為初始狀態減去最終狀態, 即 $\Delta J = J' - J'' = -1$, 軌道角動量選擇法則為 $\Delta \ell = \pm 1$, 且躍遷在旋轉及軌道角動量激發耦合期間由角動量守恆產生。使用具微距模式之 442 nm 雷射器之 Horiba Jobin Yvon LabRAM Aramis 拉曼光譜儀, KOH 吸收劑樣品在 4233、4334、6288、8226 及 8256 cm^{-1} 處觀察到拉曼峰。其他尖銳譜線為

來自雷射器之原子或原子中之離子譜線。考慮緊密間隔之峰包含質心分裂峰，能量對峰數之斜率為直線， R^2 為0.9999，斜率為0.245 eV，與 $H_2(1/4)$ 之旋轉能極度匹配。

觀察到正-仲分裂以偶合於 H_2 中之振轉， $H_2(1/4)$ 之此能量具有分裂量值[Mills GUTCP]，但 $H_2(1/4)$ 應基本上僅為正，且核自旋在振轉激發期間因時標錯配而不變化。更確切而言，旋轉峰之能量分裂及選擇法則使旋轉躍遷 $\Delta J = -1$ 之能量分裂及選擇法則與視能級而定具有非簡併軌道核超粗細能級由4至60 cm^{-1} 分裂之軌道角躍遷 $\Delta \ell = \pm 1$ 極度匹配[Mills GUTCP]。該系列對應於電子束系列之峰P(2)-P(5)，其中基質位移或旋轉障壁為約450 cm^{-1} 或約0.055 eV。

雖然用325 nm雷射器在預期含有 $H_2(1/4)$ 之不同樣品中亦觀察到峰間間隔為0.249 eV之峰組，但自對照(諸如Si晶圓或玻璃)中未觀察到。舉例而言，雖然該系列在於密封 $\text{FeOOH} + H_2 + \text{Ni}$ 篩網解離體固體燃料反應器中之 $\text{KCl} + \text{K}$ 吸收劑中觀察到，但基質位移視吸收劑而變化。使用785、663、442、325(Jobin Yvon Horiba Labram Aramis)及780及532(Thermo Scientific DXR) nm雷射器在此吸收劑基質之光譜中亦觀察到該系列之對應於P(1)之位於2594 cm^{-1} 處之峰。雖然該系列之最低能量成員在一些情況下用高能雷射器更難觀察到，但用低能雷射激發(諸如用低能532 nm雷射照射)可輕易地辨別，該低能雷射激發亦激發匹配 $H_2(1/4)$ 之自由空間旋轉能(0.2414)達四位有效數字的位於1950 cm^{-1} 處之極銳峰。此系統亦容許使用包含自飽和水溶

液中再結晶之KCl吸收劑之樣品解析位於4368及4398 cm^{-1} 處之對應於P(2)之二重峰之分裂。此外，入射於分別產生2.2 Wh(400%增益)、0.95 Wh(500%增益)、3.3 Wh(180,000%增益)及2.7 Wh(260%增益)之驗證電池[Ni、Ni、Mo及H242合金/LiOH-LiBr-MgO/NiO]之電解質基質上之最低能量780 nm雷射在此基質中激發對應於P(1)之位於2639 cm^{-1} 處之強峰。由螢光所致之位於2957 cm^{-1} 處之Hg譜線及位於2326 cm^{-1} 處之 N_2 峰充當內部校準標準。向系列P(1)-P(5)之曲線添加(1)得到0.2414 eV之斜率，該斜率精確匹配 $\text{H}_2(1/4)$ 之旋轉能 $4^2(0.01509 \text{ eV})=0.2414 \text{ eV}$ 。

此外，使用具DTGS偵測器之Nicolet 730 FTIR光譜儀在4 cm^{-1} 解析度下對來自分別產生0.94 Wh(4000%增益)、1.25 Wh(200%增益)、1.22 Wh(250%增益)及5.35 Wh(1900%增益)之驗證電池[(Ni、H242合金及Mo/LiOH+LiBr+MgO/NiO)]及[Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO]之起始物質及電解質樣品進行FTIR。起始物質中無對應於P(1)之峰，但在FTIR光譜中在2633 cm^{-1} 處觀察到強銳峰，尤其在具高能量及增益之CIHT電池之電解質樣品以及固體燃料吸收劑樣品(諸如對於FeOOH反應使用KOH作為吸收劑)中。包含LiOH-LiBr-MgO之電解質中位於3618及3571 cm^{-1} 處之LiOH峰值O-H拉伸峰可在LiOH以與 $\text{H}_2(1/p)$ 之錯合物形式存在時變尖銳。 $\text{LiOH}:\text{H}_2(1/p)$ 錯合物中之相互作用替代並破壞H鍵結，H鍵結否則會加寬O-H拉伸峰。自FeOOH反應收集之氣體之FTIR進一步顯示對應於0.247

eV旋轉能之位於 1995 cm^{-1} 處之峰，可能涉及不同於用拉曼激發之 ℓ 量子態之間的躍遷。另一重要結果在於由包含在1900%增益下產生5.35 Wh之驗證電池[Ni/LiOH-LiBr-MgO/NiO]之CIHT電池之Ni陽極觀察到該系列拉曼峰。對應於P(4)之位於 8358 cm^{-1} 之峰尤其強且實際上顯示XPS光譜中可見之可能由Ni、LiOH及Mg基質所致之約0、450及 550 cm^{-1} 的三個基質位移。電解質樣品亦顯示該等強P(4)峰。

此外，不能歸屬於任何已知元素之FWHM為1 eV之Ni陽極的522 eV之小XPS峰匹配522 eV之 $\text{H}_2(1/4)$ 之總能量。基於無該等元素之任何其他相應峰存在，容易地消除作為僅有可能性之Pt及V。預期碰撞樣康普頓二階電離(Compton double ionization)，一個電子保存入射的Al X射線能量為動能，因為 $\text{H}_2(1/4)$ 不吸收或發射輻射，且形成 $\text{H}_2^+(1/4)$ 之電離狀態為無限激發狀態。該結果進一步證實在CIHT電池操作期間在陽極上形成 $\text{H}_2(1/4)$ 。另外，由與基於習知反應之最大理論值相比顯示能量過剩多倍的固體燃料反應產物(諸如含有約0.5 wt%硫酸鹽作為 H_2O 觸媒來源之含Pd/C之KH的反應產物)觀察到522 eV $\text{H}_2(1/4)$ 峰。XPS之解析度不能解析由與不同 ℓ 量子數相關之軌道核能級所致之分裂，但可使用同步加速輻射源。

使用水流分批熱量測定章節中所給出之水流熱量測定量測的固體燃料反應之過量熱已獨立地由在測試實驗室操作之差示掃描熱量測定(DSC)證實。舉例而言，建在法國的

Setaram Instrumentation對充當固體燃料以提供H及H₂O觸媒之FeOOH使用其商業DSC 131 Evo儀器量測形成H₂O及鐵氧化物之最大理論熱三次。該等產品由XRD使用Bruker D4繞射計證實。

有關鑑別低能量氫相互關聯的證實性觀察結果為顯示為純旋轉拉曼躍遷之分裂的H₂(1/4)之分子軌道-核偶合能量與關於相應原子低能量氫H(1/4)所預測及觀察到之旋轉核偶合能量一致。類似於21 cm (1.42 GHz)普通氫譜線之情況，低能量氫原子由利用低於35 K之低溫冷卻之H₂的TeraHz吸收光譜術觀察到的預測之642 GHz旋轉核超精細躍遷來鑑別。使用耦接於傅里葉變換干涉儀之長路徑長度(60 m)多反射吸收池，Wishnow [E.H. Wishnow, *The Far-Infrared Absorption Spectrum of Low Temperature Hydrogen Gas*, Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Canada, (1993)]分別在20-320 cm⁻¹波數、21-38 K溫度及1-3個大氣壓之壓力範圍下在0.24 cm⁻¹光譜解析度下記錄H₂光譜。在25.5 K下觀察到21.4 cm⁻¹處之尖銳譜線，但該尖銳譜線在36 K下不存在。譜線之波數與預測之21.4 cm⁻¹ H(1/4)超精細譜線相匹配，且不能歸屬於已知種類。

在由拉曼光譜術搜尋低能量氫信號時，另一候選者為以二階螢光形式觀察到之匹配260 nm電子束帶的H₂(1/4)之振轉。使用具有HeCd 325 nm雷射器之Horiba Jobin Yvon LabRAM Aramis拉曼光譜儀以顯微鏡模式在40×之放大倍率下，在8340、9438、10,467、11,478、12,457、13,433及

14,402 cm^{-1} 處觀察到一系列1000 cm^{-1} 等能間距的強拉曼峰，最大峰強度在12,457 cm^{-1} 處。根據該等峰位置計算之二階螢光光譜包含位於446、469、493、518、546、577及611 nm處之峰。間距1000 cm^{-1} 或0.1234 eV能很好地匹配 $\text{H}_2(1/4)$ 之二階旋轉光譜。實際上，考慮由基質位移所致之波長範圍極限之輕微縮小，將計算之螢光光譜之波長減半且針對基質之間的躍遷進行修正，此使得電子束與拉曼光譜疊加，包括峰強度。認為激發由雷射器之高能UV及EUV He及Cd發射所致，其中光柵(具1024×26 μm^2 像素CCD之Labram Aramis 2400 g/mm 460 mm焦距系統)為色散的且其最高效率在光譜範圍較短波長側，與260 nm譜帶範圍相同。CCD亦在500 nm處最具回應性，260 nm譜帶之二階區之中心在520 nm處。在重複掃描達較高波數時，觀察到振轉系列之額外成員。此外，當使用 $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-KCl}$ (1:1)作為電池[層壓之 CNi6 1.5"X1.5"+ CNi8 1.5"X1.5"+ Mo 1"X1" CNi8 +1.5"X1.5"+ Ag 1"X1"+ CNi8 1.5"X1.5"+ CNi6 1.5"X1.5")/ LiOH-LiBr-MgO/NiO](50 mA充電及放電電流；2.65 Wh放電能量，200%增益)之吸收劑時，觀察到強260 nm電子束帶，且亦觀察到因不同基質而具有微小位移之雷射激發之二階螢光帶延伸至17,000 cm^{-1} ，且更高階超出最大掃描範圍直至22,000 cm^{-1} 。

當照射雷射時，由樣品可觀察到發綠光。拉曼光譜中之可能的信號為強連續譜，其最大值在歸於系列P(1)-P(7)之二階發射之峰下方的12,500 cm^{-1} 處。使該拉曼連續譜轉化

為相應螢光發射可發綠光，550 nm處之最大值匹配綠光照射之樣品發射。綠色連續螢光進一步使 $H_2(1/4)$ 之自由振動與結晶基質固定之 $H_2(1/4)$ 振動之間的能量差與結晶基質之熱子進行之能量交換相匹配，且歸於此來源。由固體燃料反應器中之吸收劑(諸如具有固體燃料 $FeOOH+H_2+Ni$ 篩網氫氣解離體之反應器中的 $KCl+K$ (原位形成 KOH)吸收劑)亦觀察到包含系列P(1)-P(7)之 $H_2(1/4)$ 之二階螢光光譜及產生位於該系列下面之拉曼連續譜之綠色螢光。在無已知一階峰之區中觀察到與理論預測達四位有效數字之一致的拉曼帶強可有力地證實有核間距為 H_2 之 $1/4$ 之分子低能量氫。

【圖式簡單說明】

圖1為根據本發明之電池組及燃料電池及電解電池之示意圖。

圖2為根據本發明之CIHT電池之示意圖。

圖3為根據本發明之CIHT電池雙極板之示意圖。

圖4為根據本發明之三個半電池式CIHT電池之示意圖。

圖5為根據本發明之包含 H_2O 及 H_2 收集及再循環系統之CIHT電池的示意圖。

【主要元件符號說明】

- 400 燃料電池及電池組/燃料或CIHT電池/電解電池
- 401 陰極隔室
- 402 陽極隔室
- 405 陰極

410	陽極
411	加熱器
412	再生電池
413	氫來源及泵
414	控制閥
415	管線
416	閥/泵
418	閥/泵
419	通道
420	鹽橋
421	通道
422	閥/泵
423	閥/泵
425	外部電路
430	反應物來源/儲集器/氫來源及泵/氫系統
431	反應物來源/儲集器/氫系統
440	泵/鹽橋
460	通道/氫系統/入口
461	通道/氫系統
470	隔室/腔室
471	電解質
472	陽極/H ₂ 可透膜
473	陰極/氫可透膜
474	陰極隔室/腔室/氣隙/陰極室

475	陽極隔室/隔室
476	外部電路
500	CIHT電池堆疊
501	陽極
502	陰極
503	孔口
504	H ₂ 板
505	通道
506	氧氣孔口
507	雙極板/互連件
600	一次陽極/腔室
601	陰極室/陰極/一次陰極半電池/一次陰極/腔室
602	隔板
603	陽極/電極/陰極
604	電極/陰極
605	負載
606	開關
607	第三或再生半電池/腔室/輔助隔室/再生電池
608	質子導體/隔板/隔膜隔板
609	電極/輔助陽極/陽極/輔助電極
610	電源供應器
611	開關
612	電解電源供應器
613	負載

614	開 關
616	電 源
640	槽 或 供 應 器 / 水 性 電 解 電 池 / 電 解 單 元
642	管 線
644	調 節 器
646	選 擇 性 閥 或 膜
650	CIHT 電 池
651	容 器 / 陰 極
652	陰 極
653	陽 極 / H_2 可 透 陽 極 / H_2 鼓 泡 陽 極 / 氫 可 透 膜 及 氫 腔 室 / 封 閉 膜
654	負 載
655	電 解 質 / 電 池 / 反 應 腔 室
657	系 統
658	第 一 腔 室 / H_2O 收 集 腔 室
659	蒸 氣 通 道
660	H_2O 吸 收 器 與 H_2O 冷 凝 器
661	通 道
663	泵
665	加 熱 器
666	閥
667	閥 / 系 統
668	閥 / 選 擇 性 H_2 可 透 膜 及 閥
669	計 量 器

671	系 統
672	第 二 腔 室
673	H ₂ 吸 氣 劑 / 吸 氣 劑
675	氣 體 通 道
676	通 道
678	泵
680	加 熱 器
681	閥
682	閥
684	計 量 器

七、申請專利範圍：

1. 一種產生電及熱能中之至少一者的電化學電力系統，其包含對大氣封閉之容器，該容器包含：

至少一個陰極；

至少一個陽極，

至少一個雙極板，及

於電池操作期間在各別電子流及離子質量輸送下構成低能量氫反應物之反應物，該等反應物包含至少兩種選自以下之組分：

a) 至少一種 H_2O 來源；

b) 至少一種觸媒來源或觸媒，其包含選自以下之群中之至少一者： $n\text{H}$ 、 OH 、 OH^- 、初生 H_2O 、 H_2S 或 MNH_2 ，其中 n 為整數且 M 為鹼金屬；及

c) 至少一種原子氫來源或原子氫，

一或多種用於形成該觸媒來源、該觸媒、該原子氫來源及該原子氫中之至少一者的反應物；

一或多種引發原子氫催化之反應物；及

載體，

其中該等陰極、陽極、反應物及雙極板之組合維持各陰極與相應陽極之間的化學電位，以允許原子氫之催化傳播，且

該系統進一步包含電解系統。

2. 如請求項1之電化學電力系統，其中該電解系統間歇地電解 H_2O 以提供該原子氫來源或原子氫且使該電池放電

以使該循環之淨能量平衡存在增益。

3. 如請求項1之電化學電力系統，其中該等反應物包含至少一種選自以下之電解質：

至少一種熔融氫氧化物；

至少一種共熔鹽混合物；

熔融氫氧化物與至少一種其他化合物之至少一種混合物；

熔融氫氧化物與某種鹽之至少一種混合物；

熔融氫氧化物與鹵化物鹽之至少一種混合物；

鹼性氫氧化物 (alkaline hydroxide) 與鹼性鹵化物 (alkaline halide) 之至少一種混合物；

LiOH-LiBr、LiOH-LiX、NaOH-NaBr、NaOH-NaI、NaOH-NaX及KOH-KX(其中X表示鹵離子)，

至少一種基質，及

至少一種添加劑。

4. 如請求項1之電化學電力系統，其進一步包含加熱器。

5. 如請求項1之電化學電力系統，其中高於該電解質之熔點的電池溫度係在至少一個選自以下之範圍內：高於該熔點約0至1500℃、高於該熔點約0至1000℃、高於該熔點約0至500℃、高於該熔點0至約250℃及高於該熔點約0至100℃。

6. 如請求項1之電化學電力系統，其中該基質包含以下中之至少一者：

氧陰離子化合物、鋁酸鹽、鎢酸鹽、鋳酸鹽、鈦酸

鹽、硫酸鹽、磷酸鹽、碳酸鹽、硝酸鹽、鉻酸鹽及錳酸鹽、氧化物、氮化物、硼化物、硫族化物、矽化物、磷化物及碳化物、金屬、金屬氧化物、非金屬及非金屬氧化物；

鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及土金屬及 Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge 及 B 及可形成氧化物或氧陰離子之其他元素的氧化物；

至少一種氧化物，諸如鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及 Al、Ga、In、Sn、Pb、S、Te、Se、N、P、As、Sb、Bi、C、Si、Ge 及 B 及可形成氧化物之其他元素中之一者，及一個氧陰離子，且進一步包含至少一個來自以下之群的陽離子：鹼金屬、鹼土金屬、過渡金屬、內過渡金屬及稀土金屬及 Al、Ga、In、Sn 及 Pb 陽離子；

LiAlO_2 、 MgO 、 Li_2TiO_3 或 SrTiO_3 ；

陽極材料及電解質化合物之氧化物；

陽離子及電解質之氧化物中之至少一者；

電解質 MOH (M = 鹼金屬) 之氧化物；

包含以下之群之元素、金屬、合金或混合物的電解質之氧化物： Mo 、 Ti 、 Zr 、 Si 、 Al 、 Ni 、 Fe 、 Ta 、 V 、 B 、 Nb 、 Se 、 Te 、 W 、 Cr 、 Mn 、 Hf 、 Co 及 M' ，其中 M' 表示鹼土金屬；

MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO 或

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 及 MgO ；

陰極材料之氧化物及視情況選用之電解質之氧化物；

Li_2MoO_3 或 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_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_4 、 Li_2HfO_3 、 LiCoO_2 及 $\text{M}'\text{O}$ (其中 M' 表示鹼土金屬)及 MgO ；

陽極元素或同一族元素之氧化物，及 Li_2MoO_4 、 MoO_2 、 Li_2WO_4 、 Li_2CrO_4 及 $\text{Li}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (在 Mo 陽極之情況下)，且

該添加劑包含以下中之至少一者： S 、 Li_2S 、氧化物、 MoO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 NiO 、 FeO 或 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 、 MgO 、 TiO_2 、 Li_2TiO_3 、 LiAlO_2 、 Li_2MoO_3 或 Li_2MoO_4 、 Li_2ZrO_3 、 Li_2SiO_3 、 LiNiO_2 、 LiFeO_2 、 LiTaO_3 、 LiVO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 Li_2NbO_3 、 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 或 LiCoO_2 、 MnO 及 CeO_2 。

7. 如請求項1之電化學電力系統，其中發生以下反應中之至少一者：

a) 在放電陽極處由 H_2O 之電解形成 H 及 H_2 中之至少一者；

b) 在放電陰極處由 H_2O 之電解形成 O 及 O_2 中之至少一者；

c) 由該反應混合物之反應形成氫觸媒，及

d) 在放電期間形成低能量氫以產生電力及熱力中之至少一者。

8. 如請求項1之電化學電力系統，其中發生以下反應中之至少一者：

a) OH^- 經氧化且與 H 反應以形成充當低能量氫觸媒之初生 H_2O ；

b) OH^- 經氧化成氧離子及 H ；

c) 在放電陰極處還原氧離子、氧及 H_2O 中之至少一者；

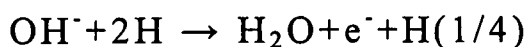
d) H 及初生 H_2O 觸媒反應以形成低能量氫；及

e) 在放電期間形成低能量氫以產生電力及熱力中之至少一者。

9. 如請求項1之電化學電力系統，其中在電池放電期間發生 OH^- 之氧化及氧離子、氧及 H_2O 中之至少一者之還原中的至少一個反應以產生隨時間變化之電流，其超過該間歇電解之電解階段期間隨時間變化之電流。

10. 如請求項1之電化學電力系統，其中該陽極半電池反應

為



其中第一H與OH⁻反應形成H₂O觸媒及e⁻係與第二H經H₂O催化形成低能量氫一起進行。

11. 如請求項1之電化學電力系統，其中該放電陽極半電池反應之電壓為以下中之至少一者：

相對於標準氫電極在針對操作溫度進行熱力學修正下之約1.2伏；及

相對於標準氫電極及25°C，在約1.5 V至0.75 V、1.3 V至0.9 V及1.25 V至1.1 V中之至少一個範圍內的電壓，且

該陰極半電池反應之電壓為以下中之至少一者：

在針對操作溫度進行熱力學修正下之約0 V；及

相對於標準氫電極及25°C，在約-0.5 V至+0.5 V、-0.2 V至+0.2 V及-0.1 V至+0.1 V中之至少一個範圍內的電壓。

12. 如請求項1之電化學電力系統，其中該陰極包含NiO，該陽極包含Ni、Mo、H242合金及碳中之至少一者，且該雙金屬接面包含為不同於該陽極之金屬的哈斯特合金(Hastelloy)、Ni、Mo及H242中之至少一者。

13. 如請求項1之電化學電力系統，其包含至少一個電池堆疊，其中該雙極板包含隔開該陽極與該陰極之雙金屬接面。

14. 如請求項1之電化學電力系統，其中向該電池供應H₂O，其中該H₂O蒸汽之壓力係在至少一個選自以下之範圍內：約0.001托至100 atm、約0.001托至0.1托、約0.1托

至1托、約1托至10托、約10托至100托、約100托至1000托、及約1000托至100 atm，且

達成至少大氣壓之壓力平衡係由包含稀有氣體及 N_2 中之至少一者的所供給之惰性氣體提供。

15. 如請求項1之電化學電力系統，其進一步包含向該系統供應 H_2O 之水蒸汽發生器。

16. 如請求項1之電化學電力系統，其中該電池在充電階段與放電階段之間間歇轉換，

其中(i)該充電階段至少包含水在具相反電壓極性之電極處電解，且(ii)該放電階段至少包含在該等電極之一者或兩者處形成 H_2O 觸媒；

其中(i)各電池之各電極作為該陰極或該陽極之角色在該充電階段與該放電階段之間在來回轉換中逆轉，且(ii)該電流極性在該充電階段與該放電階段之間在來回轉換中逆轉，且

其中該充電包含施加外加電流及電壓中之至少一者。

17. 如請求項16之電化學電力系統，其中該外加電流及電壓中之至少一者具有包含以下之波形：

在約0.001%至約95%範圍內之工作循環；

在約0.1 V至10 V範圍內之每電池之峰值電壓；

約 0.001 W/cm^2 至 1000 W/cm^2 之峰值功率密度，及

在約 0.0001 W/cm^2 至 100 W/cm^2 範圍內之平均功率，

其中該外加電流及電壓進一步包含以下中之至少一者：

直流電壓、直流電流及以下中之至少一者：

交流電流及電壓波形，其中該波形包含在約1 Hz至約1000 Hz範圍內之頻率。

18. 如請求項17之電化學電力系統，其中該間歇循環之波形包含以下中之至少一者：該間歇循環之該電解階段及該放電階段中之至少一者的恆定電流、功率、電壓及電阻以及可變電流、功率、電壓及電阻，其中該循環之至少一個階段之該等參數包含

間歇階段之頻率，其在至少一個選自以下之範圍內：約0.001 Hz至10 MHz、約0.01 Hz至100 kHz、及約0.01 Hz至10 kHz；

每電池之電壓，其在至少一個選自以下之範圍內：約0.1 V至100 V、約0.3 V至5 V、約0.5 V至2 V、及約0.5 V至1.5 V；

每單位有效形成低能量氫之電極面積之電流，其在至少一個選自以下之範圍內：約1 $\mu\text{A cm}^{-2}$ 至10 A cm^{-2} 、約0.1 mA cm^{-2} 至5 A cm^{-2} 、及約1 mA cm^{-2} 至1 A cm^{-2} ；

每單位有效形成低能量氫之電極面積之功率，其在至少一個選自以下之範圍內：約1 $\mu\text{W cm}^{-2}$ 至10 W cm^{-2} 、約0.1 mW cm^{-2} 至5 W cm^{-2} 、及約1 mW cm^{-2} 至1 W cm^{-2} ；

每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定電流，其在約1 $\mu\text{A cm}^{-2}$ 至1 A cm^{-2} 之範圍內；

每單位有效形成低能量氫之電極面積之恆定功率，其在約1 mW cm^{-2} 至1 W cm^{-2} 之範圍內；

時間間隔，其在至少一個選自以下之範圍內：約 10^{-4} s 至 10,000 s、 10^{-3} s 至 1000 s、及 10^{-2} s 至 100 s、及 10^{-1} s 至 10 s；

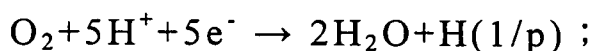
每電池之電阻，其在至少一個選自以下之範圍內：約 1 m Ω 至 100 M Ω 、約 1 Ω 至 1 M Ω 、及 10 Ω 至 1 k Ω ；

每單位有效形成低能量氫之電極面積的適合負載之電導率，其在至少一個選自以下之範圍內：約 10^{-5} 至 1000 Ω^{-1} cm $^{-2}$ 、 10^{-4} 至 100 Ω^{-1} cm $^{-2}$ 、 10^{-3} 至 10 Ω^{-1} cm $^{-2}$ 、及 10^{-2} 至 1 Ω^{-1} cm $^{-2}$ ，且

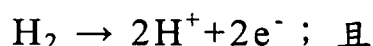
該放電電流、電壓、功率或時間間隔中之至少一者係大於該電解階段，以在該循環內產生功率或能量增益中之至少一者。

19. 如請求項 1 之電化學電力系統，其中維持放電期間之電壓高於防止該陽極過度腐蝕之電壓。

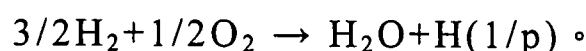
20. 如請求項 1 之電化學電力系統，其中該形成觸媒之反應係由下式給出：



相對半電池反應(counter half-cell reaction)係由下式給出：



總反應係由下式給出：



21. 如請求項 1 之電化學電力系統，其中由氫形成以下產物中之至少一者：

a) 拉曼峰在 0.23 至 0.25 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移在 0 至 2000 cm^{-1} 之範圍內的氫產物；

b) 紅外峰在 0.23 至 0.25 cm^{-1} 之整數倍處加上基質位移在 0 至 2000 cm^{-1} 之範圍內的氫產物；

c) X射線光電子光譜峰能量在 500 至 525 eV 之範圍內加上基質位移在 0 至 10 eV 之範圍內的氫產物；

d) 引起高磁場 MAS NMR 基質位移之氫產物；

e) 高磁場 MAS NMR 或液體 NMR 位移相對於 TMS 大於 -5 ppm 之氫產物；

f) 至少兩個電子束發射光譜峰在 200 至 300 nm 範圍內且具 0.23 至 0.3 cm^{-1} 之整數倍間隔加上基質位移在 0 至 5000 cm^{-1} 範圍內的氫產物；及

g) 至少兩個紫外螢光發射光譜峰在 200 至 300 nm 範圍內且具 0.23 至 0.3 cm^{-1} 之整數倍間隔加上基質位移在 0 至 5000 cm^{-1} 範圍內的氫產物。

22. 如請求項 1 之電化學電力系統，其包含：

氫陽極，包含氫可透電極；

熔融鹽電解質，包含氫氧化物；及

O_2 及 H_2O 陰極中之至少一者，其中

維持該電解質呈熔融狀態及該膜呈氫可透狀態中之至少一者的電池溫度係在至少一個選自以下之範圍內：約 25 至 2000°C 、約 100 至 1000°C 、約 200 至 750°C 及約 250 至 500°C ，

高於該電解質熔點之電池溫度係在以下至少一個範圍

內：高於該熔點約0至1500°C、高於該熔點0至1000°C、高於該熔點0至500°C、高於該熔點0至250°C及高於該熔點0至100°C；

膜厚度係在至少一個選自以下之範圍內：約0.0001至0.25 cm、0.001至0.1 cm、及0.005至0.05 cm；

氫氣壓力經維持在至少一個選自以下之範圍內：約1托至500 atm、10托至100 atm、及100托至5 atm；

氫滲透速率係在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、及 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 。

23. 如請求項1之電化學電力系統，其包含：

氫陽極，包含氫噴射電極；

熔融鹽電解質，包含氫氧化物，及

O₂及H₂O陰極中之至少一者，其中

維持該電解質呈熔融狀態之電池溫度係在至少一個選自以下之範圍內：高於該電解質熔點約0至1500°C、高於該電解質熔點0至1000°C、高於該電解質熔點0至500°C、高於該電解質熔點0至250°C及高於該電解質熔點0至100°C；

每單位H₂鼓泡或噴射電極之幾何面積的氫氣流動速率係在至少一個選自以下之範圍內：約 $1 \times 10^{-13} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-4} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-12} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 。

cm^{-2} 、 $1 \times 10^{-11} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-6} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-10} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-7} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 、及 $1 \times 10^{-9} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ；

相對電極處之反應速率匹配或超出氫起反應所在電極處之反應速率；

H_2O 及 O_2 中之至少一者之還原速率足以維持 H 或 H_2 之反應速率，且

該相對電極具有足以支持該充足速率之表面積及材料。

24. 一種產生熱能之電力系統，其包含：

至少一個能夠承受常壓、高壓及低壓中之至少一者之壓力的容器；

至少一個加熱器，

構成低能量氫反應物之反應物，該等反應物包含：

a) 觸媒來源或觸媒，包含初生 H_2O ；

b) 原子氫來源或原子氫；

c) 用於形成該觸媒來源、該觸媒、該原子氫來源及該原子氫中之至少一者的反應物；及

一或多種引發原子氫催化之反應物，其中該反應係在混合及加熱該等反應物中之至少一者之後發生。

25. 如請求項 24 之電力系統，其中形成該觸媒來源、該觸媒、該原子氫來源及該原子氫中之至少一者的反應包含至少一個選自以下之反應：

脫水反應；

燃燒反應；

路易斯酸(Lewis acid)或路易斯鹼(Lewis base)及布朗斯特-勞瑞酸(Bronsted-Lowry acid)或布朗斯特-勞瑞鹼(Bronsted-Lowry base)之反應；

氧化物-鹼反應；

酸酐-鹼反應；

酸-鹼反應；

鹼-活性金屬反應；

氧化-還原反應；

分解反應；

交換反應，及

鹵化物、O、S、Se、Te、 NH_3 與具有至少一個OH之化合物的交換反應；

包含O之化合物的氫還原反應，且

該H來源為在該等反應物經歷反應時所形成之初生H及來自氫化物或氣體來源及解離體之氫中的至少一者。

八、圖式：

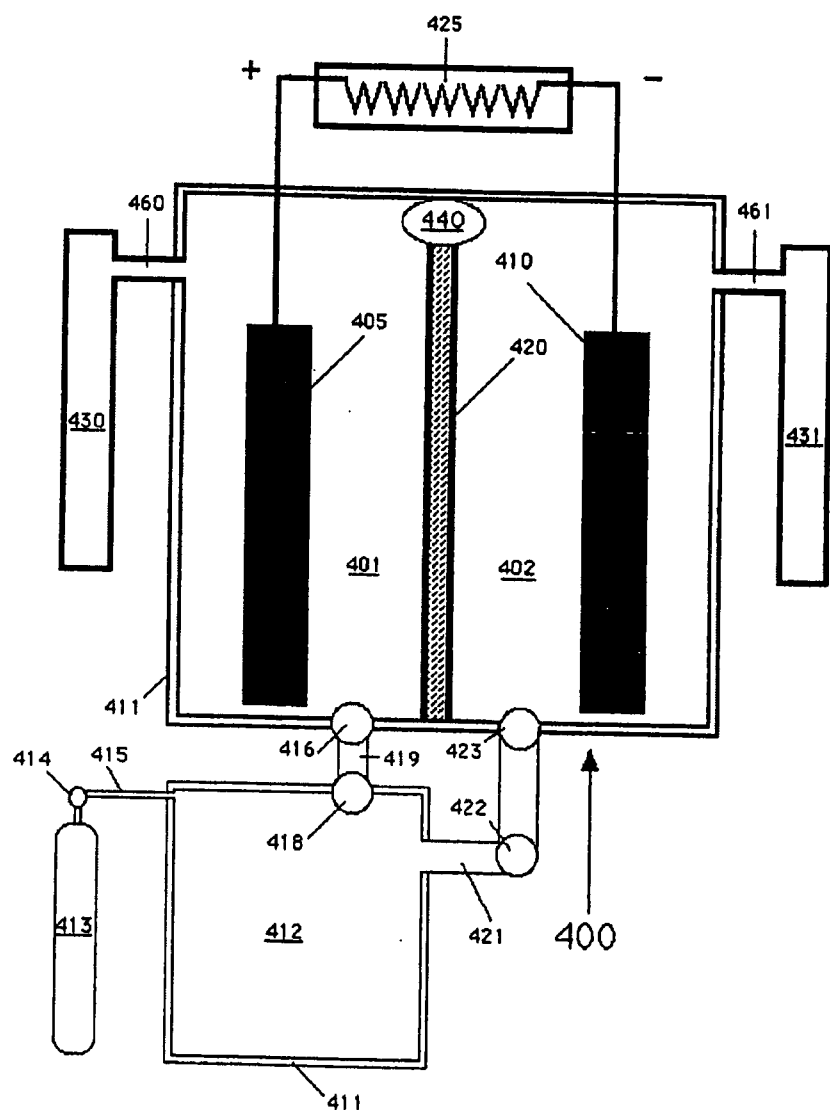


圖1

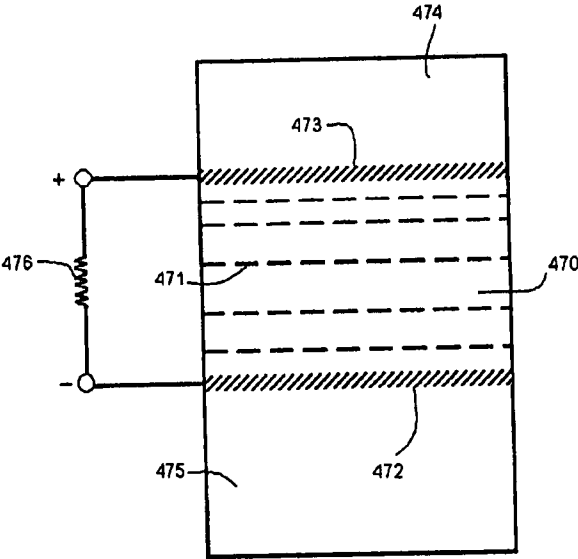
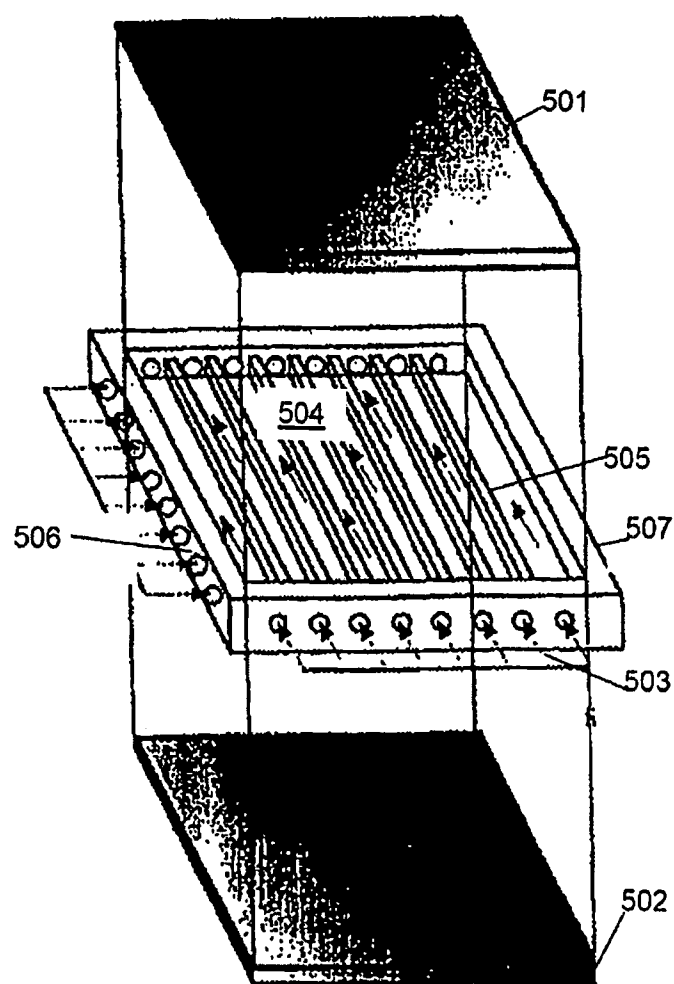


圖2



500

圖3

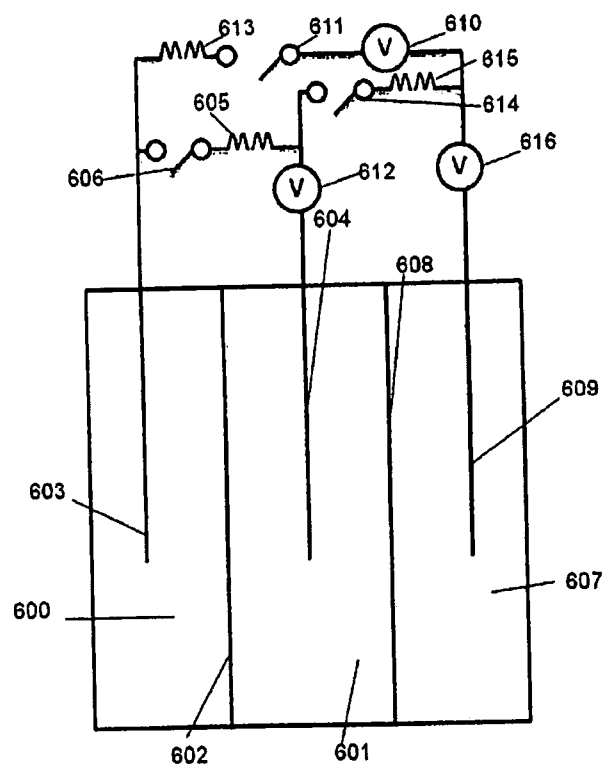
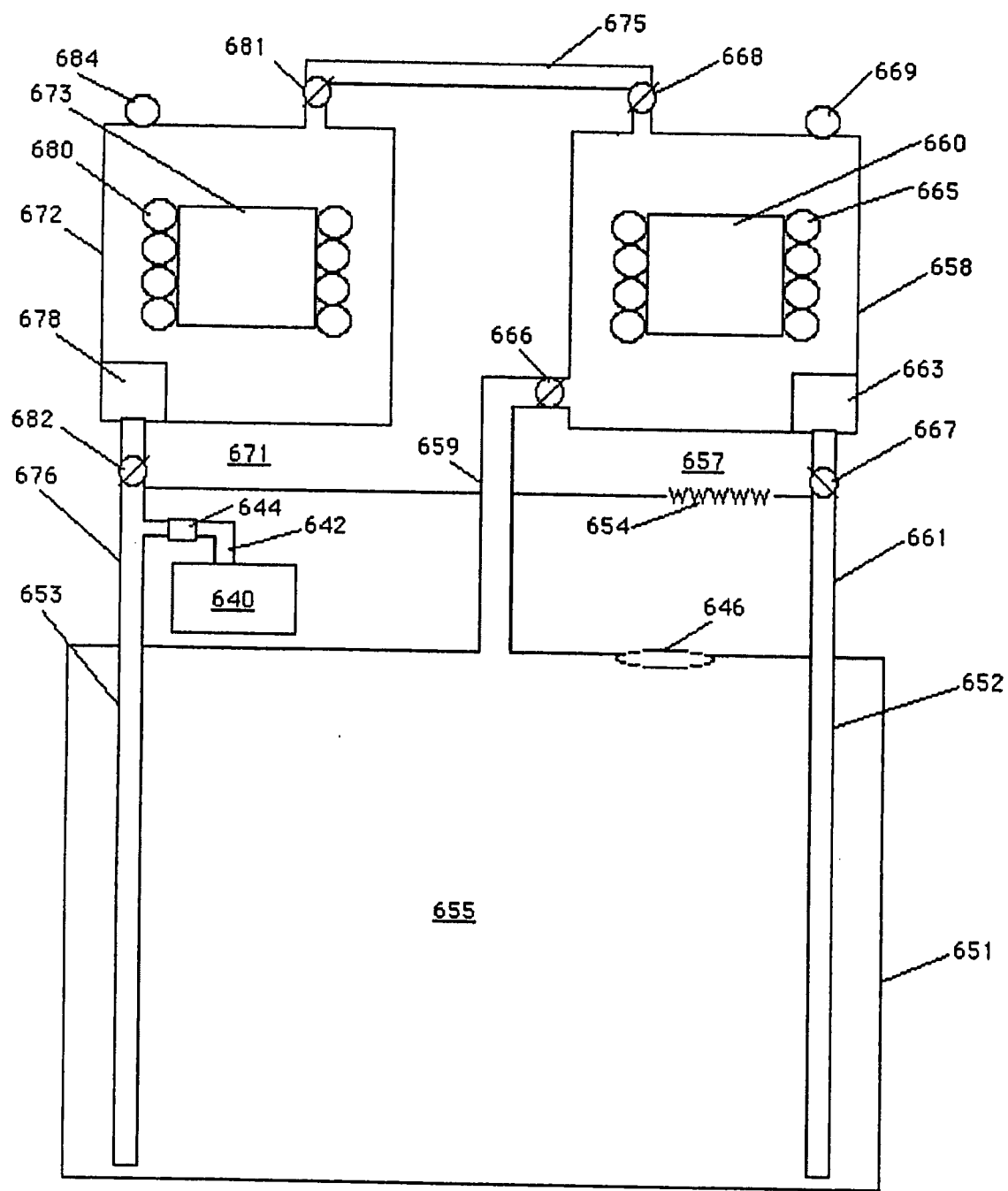


圖4



650
圖5