

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2022-524983

(P2022-524983A)

(43)公表日 令和4年5月11日(2022.5.11)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 M 10/058 (2010.01)	H 0 1 M 10/058	5 H 0 1 7
H 0 1 M 4/64 (2006.01)	H 0 1 M 4/64	5 H 0 2 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全32頁)

(21)出願番号	特願2021-552495(P2021-552495)	(71)出願人	521393959
(86)(22)出願日	令和2年3月3日(2020.3.3)		シンクレア, ポール リンカーン
(85)翻訳文提出日	令和3年10月22日(2021.10.22)		アメリカ合衆国 テキサス 7 8 7 5 6 ,
(86)国際出願番号	PCT/US2020/020736		オースティン, ショールウッド アベニ
(87)国際公開番号	WO2020/180838		ュー 4 7 0 8
(87)国際公開日	令和2年9月10日(2020.9.10)	(74)代理人	100078282
(31)優先権主張番号	62/813,132		弁理士 山本 秀策
(32)優先日	平成31年3月3日(2019.3.3)	(74)代理人	100113413
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 森下 夏樹
(31)優先権主張番号	62/823,547	(74)代理人	100181674
(32)優先日	平成31年3月25日(2019.3.25)		弁理士 飯田 貴敏
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100181641
			弁理士 石川 大輔
(31)優先権主張番号	62/878,733	(74)代理人	230113332
			弁護士 山本 健策

最終頁に続く

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フロースルー電気化学セル

(57)【要約】

本開示は、カソードおよびアノードを収納する、コンテナと、コンテナに流体的に接続される、閉ループと、コンテナおよび閉ループ内にあり、作業イオンを含む、流体電解質と、電気化学セルの放電の間に、第1の方向に閉ループ、多孔質カソード、および多孔質アノードを通して流体電解質を流動させるように構成される、ポンプとを含む、フロースルー再充電可能電気化学セルを提供する。本開示はさらに、複数の電気化学セルと、閉ループと、ポンプとを含む、フロースルー再充電可能バッテリを含む。

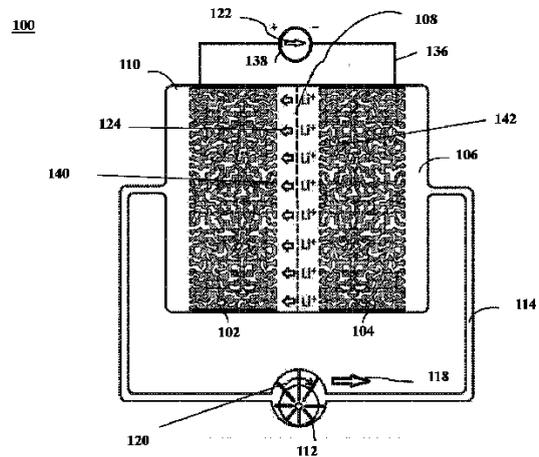


FIG. 1A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フロースルー再充電可能電気化学セルであって、
 コンテナであって、前記コンテナは、カソード活性材料表面を形成するようにカソード活性材料でコーティングされる高気孔率カソードベース材料を含む多孔質カソード、およびアノード活性材料表面を形成するようにアノード活性材料でコーティングされる高気孔率アノードベース材料を含む多孔質アノードを収納する、コンテナと、
 前記コンテナに流体的に接続される閉ループと、
 流体電解質であって、前記流体電解質は、前記コンテナおよび閉ループ内にあり、作業イオンを含む、流体電解質と、
 ポンプであって、前記ポンプは、前記電気化学セルの放電の間に、第 1 の方向に前記閉ループ、前記多孔質カソード、および前記多孔質アノードを通して前記流体電解質を流動させるように構成され、前記第 1 の方向への前記電解質の流動は、前記カソード活性材料表面および前記アノード活性材料表面と平行である、ポンプと
 を備える、フロースルー再充電可能電気化学セル。

10

【請求項 2】

前記ポンプは、前記電気化学セルの充電の間に、前記第 1 の方向と反対の第 2 の方向に前記流体電解質を流動させるように構成される、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 3】

前記カソード、前記アノード、または両方は、40%～99%の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

20

【請求項 4】

前記カソードおよび前記アノードは両方とも、40%～99%の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 5】

前記カソード、前記アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%～50%の気孔率を有する、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 6】

前記カソードおよび前記アノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%～50%の気孔率を有する、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

30

【請求項 7】

前記ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプである、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 8】

前記ポンプは、0.01 cm/秒～100 cm/秒の線形流率において前記電気化学セルを通して前記流体電解質を圧送するように構成される、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

40

【請求項 9】

前記カソード、前記アノード、または両方は、 d が細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ の内部表面積対体積比を有する高気孔率材料を含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 10】

前記カソード、前記アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを備え、0.01 mm～1.0 mm の平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 11】

50

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に前記電極の幅に等しい長さを有する細孔を形成する、請求項 10 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 12】

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に 2 cm ~ 20 cm の長さを有する細孔を形成する、請求項 10 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 13】

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に長さを有する細孔を形成し、前記電極内の全ての細孔の少なくとも 60%、少なくとも 80%、または少なくとも 90% は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している、請求項 10 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

10

【請求項 14】

前記電極は、セルを有するスタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の 10 ~ 100 層を備える、請求項 10 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 15】

前記カソード、前記アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを備える巻回電極である、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 16】

前記高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含む、請求項 15 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

20

【請求項 17】

前記カソード、前記アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の 10 ~ 100 層を備える織金網 (WWM) 電極である、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 18】

前記作業イオンは、アルカリ金属イオンを含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 19】

前記作業イオンは、水素イオン (H^+) またはヒドロキシル (OH^-) イオンを含む、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

30

【請求項 20】

前記アノードは、前記水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含む、請求項 19 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 21】

電気化学セルはさらに、前記膜を通して前記作業イオンの通過および前記流体電解質の流動を可能にするように構成される電子的絶縁透過性膜を備えるセパレータを備える、請求項 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

【請求項 22】

フロースルー再充電可能バッテリーであって、

複数の電気化学セルであって、それぞれ、

40

コンテナであって、前記コンテナは、カソード活性材料表面を形成するようにカソード活性材料でコーティングされる高気孔率カソードベース材料を含む多孔質カソード、およびアノード活性材料表面を形成するようにアノード活性材料でコーティングされる高気孔率アノードベース材料を含む多孔質アノードを収納する、コンテナと、

作業イオンを含む流体電解質と

を備える、複数の電気化学セルと、

閉ループであって、前記閉ループは、前記電気化学セルのコンテナに流体的に接続され、前記流体電解質を含有する、閉ループと、

ポンプであって、前記ポンプは、前記バッテリーの放電の間に、第 1 の方向に前記閉ループおよび前記電気化学セルを通して前記流体電解質を流動させるように構成され、前記第 1

50

の方向への前記電解質の流動は、前記カソード活性材料表面および前記アノード活性材料表面と平行である、ポンプと

を備える、フロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 3】

2 ~ 5 0 0 個の電気化学セルを備える、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 4】

前記ポンプは、前記バッテリーの充電の間に、前記第 1 の方向と反対の第 2 の方向に前記流体電解質を流動させるように構成される、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 5】

前記電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、前記流体電解質を含有する少なくとも 1 つの内部ループを備え、前記ポンプはまた、前記バッテリーの放電の間に、前記第 1 の方向に前記内部ループを通して前記流体電解質を流動させるように構成される、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 6】

前記電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、前記流体電解質を含有する少なくとも 1 つの内部ループを備え、前記ポンプはまた、前記バッテリーの充電の間に、前記第 2 の方向に前記内部ループを通して前記流体電解質を流動させるように構成される、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 7】

前記電気化学セルのうちの少なくとも 2 つを電子的に接続する少なくとも 1 つの内部回路を備える、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 8】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、40% ~ 99% の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 2 9】

前記電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、40% ~ 99% の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 0】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5% ~ 50% の気孔率を有する、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 1】

前記電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5% ~ 50% の気孔率を有する、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 2】

前記ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプである、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 3】

前記ポンプは、0.01 cm / 秒 ~ 100 cm / 秒の線形流率において前記電気化学セルを通して前記流体電解質を圧送するように構成される、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 4】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、 d が細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ の内部表面積対体積比を有する高気孔率材料を含む、請求項 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 3 5】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方

10

20

30

40

50

形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを備え、 $0.01\text{ mm} \sim 10\text{ mm}$ の平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含む、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 36】

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に前記電極の幅に等しい長さを有する細孔を形成する、請求項 35 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 37】

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に $2\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$ の長さを有する細孔を形成する、請求項 35 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 38】

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に長さを有する細孔を形成し、前記アノードまたはカソード内の全ての細孔の少なくとも 60% 、少なくとも 80% 、または少なくとも 90% は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している、請求項 35 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

10

【請求項 39】

前記電極は、セルを有するスタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の $10 \sim 100$ 層を備える、請求項 35 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 40】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを備える巻回電極である、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

20

【請求項 41】

前記高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含む、請求項 40 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 42】

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の $10 \sim 100$ 層を備える織金網 (WWM) 電極である、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 43】

前記作業イオンは、アルカリ金属イオンを含む、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

30

【請求項 44】

前記作業イオンは、水素イオン (H^+) またはヒドロキシル (OH^-) イオンを含む、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 45】

前記電気化学セルのアノードは、前記水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含む、請求項 43 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【請求項 46】

前記電気化学セルはさらに、前記膜を通して前記作業イオンの通過および前記流体電解質の流動を可能にするように構成される電子的絶縁透過性膜を備えるセパレータを備える、請求項 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本願は、以下の米国仮出願、すなわち、参照することによって全体として本明細書に組み込まれる、2019年3月3日に出版され、「FLOW - THROUGH ELECTROCHEMICAL CELL」と題された、米国仮出願第62/813,132号、参照することによって全体として本明細書に組み込まれる、2019年3月25日に出版され、「3 - D PRINTED ELECTRODE FOR FLOW - THROUGH ELECTROCHEMICAL CELL」と題された、米国仮出願第62/82

50

3, 547号、参照することによって全体として本明細書に組み込まれる、2019年7月25日に出願され、「EXPANDABLE ELECTRODE FOR FLOW - THROUGH ELECTROCHEMICAL CELL」と題された、米国仮出願第62/878, 733号、参照することによって全体として本明細書に組み込まれる、2020年2月3日に提出され、「POROUS ELECTRODE FOR FLOW - THROUGH ELECTROCHEMICAL CELL」と題された、米国仮出願第62/969, 620号、および参照することによって全体として本明細書に組み込まれる、2020年2月4日に提出され、「BATTERY USING FLOW - THROUGH ELECTROCHEMICAL CELLS」と題された、米国仮出願第62/970, 156号の利益を主張する。

10

【0002】

本開示は、概して、再充電可能電気化学セルに関し、特に、フロースルー再充電可能電気化学セル、フロースルー電気化学セルを含有するフロースルー再充電可能バッテリー、およびフロースルー再充電可能バッテリーを含むデバイスに関する。

【背景技術】**【0003】**

電気化学セルは、2つの電極、すなわち、アノードおよびカソードと、電解質とを有する。電極は、電子的に活性および化学的に活性の両方である、活性材料と称される材料を含む。アノードおよびカソード内の活性材料は、イオン、典型的には、電気化学セルの作業イオンと称されるカチオン（陽イオン）である、同一のイオンを獲得および損失することができる。電解質は、作業イオンを伝導するが、電子絶縁体である。結果として、アノード作業材料とカソード作業材料との間の電子の任意の移動が、アノードおよびカソードの両方と電子的に接触している外部回路を通して生じなければならない。典型的には、アノード活性材料、カソード活性材料、または両方は、電気化学セルの循環に先立って、作業イオンを含有する。

20

【0004】

再充電可能電気化学セルまたは再充電可能バッテリーは、典型的には、「リチウムイオンバッテリー」、「水素イオンバッテリー」等の識別につながる、その作業イオンに基づくタイプによって識別される。

【0005】

循環の間に、電解質が、電気化学セルの内側で作業イオンを伝導する一方、電子は、外部回路を通して移動する。電子は、放電の間に外部エネルギー入力を要求することなく流動する傾向があり、電気化学セル内に貯蔵されたエネルギーが、例えば、デバイスに給電することを可能にする。充電の間に、外部エネルギー供給部が、典型的には、電気化学セル内のエネルギー供給部からのエネルギーを貯蔵して、電子を反対方向に流動させるために使用される。

30

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】****【0006】**

本開示は、カソードおよびアノードを収納する、コンテナと、コンテナに流体的に接続される、閉ループと、コンテナおよび閉ループ内にあり、作業イオンを含む、流体電解質と、電気化学セルの放電の間に、第1の方向に閉ループ、多孔質カソード、および多孔質アノードを通して流体電解質を流動させるように構成される、ポンプとを含む、フロースルー再充電可能電気化学セルを提供する。

40

【0007】

電気化学セルはさらに、明確に相互排他的ではない限り、任意の組み合わせで相互と、かつ本明細書に開示される他の特徴と組み合わせられ得る、以下の特徴を含んでもよい。

i) ポンプは、電気化学セルの充電の間に、第1の方向と反対の第2の方向に流体電解質を流動させるように構成されてもよい。

ii) カソード、アノード、または両方は、40% ~ 99%の気孔率を有する、高気孔率

50

ベース材料を含んでもよい。

i i i) カソードおよびアノードは両方とも、40%～99%の気孔率を有する、高気孔率ベース材料を含んでもよい。

i v) カソード、アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%～50%の気孔率を有してもよい。

v) カソードおよびアノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%～50%の気孔率を有してもよい。

v i) ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプであってもよい。

v i i) ポンプは、0.01cm/秒～100cm/秒の線形流率において電気化学セルを通して流体電解質を圧送するように構成されてもよい。 10

v i i i) カソード、アノード、または両方は、dが細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ の内部表面積対体積比を有する、高気孔率材料を含む。

i x) カソード、アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを含み、0.01mm～1.0mmの平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含んでもよい。

x) セルは、セルの断面と垂直な方向に電極の幅に等しい長さを有する、細孔を形成してもよい。

x i) セルは、セルの断面と垂直な方向に2cm～20cmの長さを有する、細孔を形成してもよい。 20

x i i) セルは、セルの断面と垂直な方向に長さを有する、細孔を形成してもよく、電極内の全ての細孔の少なくとも60%、少なくとも80%、または少なくとも90%は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している。

x i i i) 電極は、セルを有する、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の10～100層を含んでもよい。

x i v) カソード、アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを含む、巻回電極であってもよい。

x v) 高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含んでもよい。

x v i) カソード、アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の10～100層を含む、織金網(WWM)電極であってもよい。 30

x v i i) 作業イオンは、アルカリ金属イオンを含んでもよい。

x v i i i) 作業イオンは、水素イオン(H^+)またはヒドロキシルイオン(OH^-)を含んでもよい。

x v i x) アノードは、水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含んでもよい。

x x) 電気化学セルはさらに、膜を通して作業イオンの通過および流体電解質の流動を可能にするように構成される、電子的絶縁透過性膜を含む、セパレータを含んでもよい。

【0008】

本開示はさらに、それぞれ、カソードおよびアノードを収納する、コンテナと、作業イオンを含む、流体電解質とを含む、複数の電気化学セルと、電気化学セルのコンテナに流体的に接続され、流体電解質を含有する、閉ループと、バッテリーの放電の間に、第1の方向に閉ループおよび電気化学セルを通して流体電解質を流動させるように構成される、ポンプとを含む、フロールー再充電可能バッテリーを提供する。 40

【0009】

バッテリーはさらに、明確に相互排他的ではない限り、任意の組み合わせで相互と、かつ本明細書に開示される他の特徴と組み合わせられ得る、以下の特徴を含んでもよい。

i) バッテリーは、2～500個の電気化学セルを含んでもよい。

i i) ポンプは、バッテリーの充電の間に、第1の方向と反対の第2の方向に流体電解質を流動させるように構成されてもよい。

i i i) バッテリーは、電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、流体電解質を含 50

有する、少なくとも1つの内部ループを含んでもよく、ポンプはまた、バッテリーの放電の間に、第1の方向に内部ループを通して流体電解質を流動させるように構成される。

i v) バッテリーは、電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、流体電解質を含有する、少なくとも1つの内部ループを含んでもよく、ポンプはまた、バッテリーの充電の間に、第2の方向に内部ループを通して流体電解質を流動させるように構成される。

v) バッテリーは、電気化学セルのうちの少なくとも2つを電子的に接続する、少なくとも1つの内部回路を含んでもよい。

v i) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、40%~99%の気孔率を有する、高気孔率ベース材料を含んでもよい。

v i i) 電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、40%~99%の気孔率を有する、高気孔率ベース材料を含んでもよい。 10

v i i i) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%~50%の気孔率を有してもよい。

i x) 電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%~50%の気孔率を有してもよい。

x) ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプであってもよい。

x i) ポンプは、0.01 cm/秒~100 cm/秒の線形流率において電気化学セルを通して流体電解質を圧送するように構成されてもよい。

x i i) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、dが細孔内の平均最大内部距離である、1/d~6/dの内部表面積対体積比を有する、高気孔率材料を含んでもよい。 20

x i i i) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを含み、0.01 mm~10 mmの平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含んでもよい。

x i v) セルは、セルの断面と垂直な方向に電極の幅に等しい長さを有する、細孔を形成してもよい。

x v) セルは、セルの断面と垂直な方向に2 cm~20 cmの長さを有する、細孔を形成してもよい。

x v i) セルは、セルの断面と垂直な方向に長さを有する、細孔を形成してもよく、アノードまたはカソード内の全ての細孔の少なくとも60%、少なくとも80%、または少なくとも90%は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している。 30

x v i i) 電極は、セルを有する、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の10~100層を含んでもよい。

x v i i i) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを含む、巻回電極であってもよい。

x i x) 高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含んでもよい。

x x) 電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の10~100層を含む、織金網(WWM)電極であってもよい。 40

x x i) 作業イオンは、アルカリ金属イオンを含んでもよい

x x i i) 作業イオンは、水素イオン(H⁺)またはヒドロキシルイオン(OH⁻)を含んでもよい。

x x i i i) 電気化学セルのアノードは、水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含んでもよい。

x x i v) 電気化学セルはさらに、膜を通して作業イオンの通過および流体電解質の流動を可能にするように構成される、電子的絶縁透過性膜を含む、セパレータを含んでもよい。

【図面の簡単な説明】

【0010】

本開示の実施形態が、必ずしも一定の縮尺ではない添付図を参照して、さらに詳細に一例として説明される。

【0011】

【図1A】図1Aは、放電の間のフロースルー再充電可能電気化学セルの断面概略図である。

【図1B】図1Bは、充電の間の図1Aのフロースルー再充電可能電気化学セルの断面概略図である。

【図1C】図1Cは、図1Aおよび1Bによる、ニッケル水素(NiMH)再充電可能電気化学セルの一部の写真画像である。

【図1D】図1Dは、図1Dの電極の写真画像である。

10

【図2】図2は、電極の断面図の概略図である。

【図3A】図3Aは、巻回発泡シート電極の側面図の概略図である。

【図3B】図3Bは、図3Aの巻回発泡シート電極の上面図の概略図である。

【図3C】図3Cは、図3Aおよび3Bによる、図1Cおよび1Dの電気化学セルで使用されるタイプの巻回発泡シート電極上の写真画像である。

【図4A】図4Aは、織金網(WWM)電極の側面図の概略図である。

【図4B】図4Bは、電極に折畳する前の図4の電極で使用されるWWMの上面図の概略図である。

【図4C】図4Cは、図4Aおよび4BのWWM電極で使用するために修正される、図2に図示されるタイプのセル電極の上面図である。

20

【図5】図5は、図1Aおよび1Bの複数の電気化学セルを含有する、フロースルー再充電可能バッテリーの断面概略図である。

【図6】図6は、図1Aおよび1Bの電気化学セル内のバッテリー充電電流対線形流率のグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本開示は、フロースルー再充電可能電気化学セル、フロースルー再充電可能電気化学セルを含有するフロースルー再充電可能バッテリー、およびフロースルー再充電可能バッテリーを含むデバイス、ならびにそのような電気化学セル、バッテリー、およびデバイスを作製ならびに使用する関連付けられる方法に関する。

30

【0013】

再充電可能電気化学セルは、少なくとも1つの充電/放電サイクルを受け得る、デバイスである。用語「バッテリー」および「電気化学セル」は、時として、同義的に使用される、または異なる文脈で特定の意味を与えられる。用語「電気化学セル」は、1つのアノードと、1つのカソードと、電解質とを含む、デバイスを説明するために本開示で使用される。用語「バッテリー」は、複数の電気化学セルを含有するデバイスを説明するために本開示で使用される。

【0014】

本開示の電気化学セルは、多孔質カソードおよびアノードと、流体流を可能にするセパレータと、電気化学セルを通して流体電解質を循環させるためのポンプとを有してもよい。作業イオンは、リチウムイオン(Li⁺)、ナトリウムイオン(Na⁺)、またはカリウムイオン(K⁺)等のアルカリ金属イオン、水素イオン(H⁺)、もしくはヒドロキシルイオン(OH⁻)であってもよい。

40

【0015】

ここで図1Aおよび1Bを参照すると、電気化学セル100は、コンテナ110に収納される、カソード102と、アノード104(集合的に電極)と、電解質106と、電子的絶縁セパレータ108とを含む。カソード102およびアノード104を通して電解質106の流動を促進するために、コンテナ110は、ポンプ112を含む、閉ループ114に流体的に接続される。

【0016】

50

図 1 A および 1 B に図示されるように、電気化学セルは、電極およびセパレータが、外部回路 1 3 6 を通す以外にアノード 1 0 4 とカソード 1 0 2 との間の電子接触を防止することに役立つために、セパレータ 1 0 8 がアノード 1 0 4 とカソード 1 0 2 との間に位置するスタックに配列されるように、構成される。閉ループ 1 1 4 は、流体電解質が、閉ループ 1 1 4 からコンテナ 1 1 0 に進入し、アノード 1 0 4、セパレータ 1 0 8、およびカソード 1 0 2 のスタックを通して流動し、次いで、コンテナ 1 1 0 から出て閉ループ 1 1 4 に再進入するように、コンテナ 1 1 0 に接続される。図 1 A および 1 B に図示されるように、閉ループ 1 1 4 は、単に、スタックの反対側でコンテナ 1 1 0 に接続されるが、他の構成も、流体がスタックを通して流動する限り可能である。

【 0 0 1 7 】

10

図 1 A および 1 B に図示される電気化学セル 1 0 0 は、セパレータ 1 0 8 を含有するが、代替電気化学セルには、セパレータが欠如し得る。例えば、カソード 1 0 2 およびアノード 1 0 4 は、それらが電子的に接触しないように、電気化学セル 1 0 0 内のコンテナ 1 1 0 または別の非セパレータ構造への取付によって定位置で保持されてもよい。セパレータが欠けている、そのような構成は、セパレータによって遮断される樹枝状結晶の形成に起因して、多くの従来の電気化学セルでは機能しない場合があるが、電気化学セル 1 0 0 を通した流体電解質の流動は、フローセルではなく、セパレータを不必要にする、類似電気化学セルと比較して、樹枝状結晶形成を防止する、または実質的に減少させ得る。

【 0 0 1 8 】

20

電気化学セル 1 0 0 が、円筒形コンテナ 1 0 0 とともに図示されるが、直方体、立方体、または貨幣形等の他のコンテナ形状も、可能である。コンテナ 1 0 0 は、電気化学セル 1 0 0 の循環の間に形成される化学物質を含む、電気化学セル 1 0 0 内で見出される流体電解質または他の化学物質による分解に抵抗することが可能である、任意の好適な材料を含んでもよい。好適な材料はまた、充電および放電の間に、または電気化学セル 1 0 0 の予想寿命にわたって電気化学セル 1 0 0 の形状を維持することも可能であり得る。好適な材料は、鋼鉄、ガラス、瀝青化合物、セラミック材料、およびポリマーを含む。コンテナ 1 1 0 は、例えば、分解耐性内層またはコーティングを伴う金属外層等の複数の材料を含んでもよい。

【 0 0 1 9 】

30

閉ループ 1 1 4 は、コンテナ 1 0 0 と同一の材料または異なる材料を含んでもよい。閉ループ 1 1 4 は、電気化学セル 1 0 0 の循環の間に形成される化学物質を含む、電気化学セル 1 0 0 内で見出される流体電解質または他の化学物質による分解に抵抗することが可能である、任意の好適な材料を含んでもよい。好適な材料はまた、電気化学セル 1 0 0 の予想寿命にわたって圧潰を伴わずに断面形状等の形状を維持することも可能であり得る。好適な材料は、鋼鉄、ガラス、瀝青化合物、セラミック材料、およびポリマーを含む。閉ループ 1 1 4 は、例えば、分解耐性内層を伴う金属外層等の複数の材料を含んでもよい。閉ループ 1 1 4 は、可撓性または剛直性であり得る。

【 0 0 2 0 】

40

閉ループ 1 1 4 内のポンプ 1 1 2 は、閉ループ 1 1 4 およびコンテナ 1 1 0 内の電極を通して流体電解質 1 0 6 を流動させるため、かつ充電の間に 1 つの方向および放電の間に反対方向に流動を引き起こすように可逆的にさせるために十分な任意のポンプであってもよい。ポンプ 1 1 2 は、図示されるような容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプであってもよい。ポンプ 1 1 2 は、図示されるように、閉ループ 1 1 4 の流体流通路内に位置してもよい、または蠕動ポンプ等の外部ポンプであってもよい。ポンプ 1 1 2 は、固定流率または可変流率において動作してもよい。

【 0 0 2 1 】

閉ループ 1 1 4 内の流率が、電極を通した線形流率または電極を通した体積流率として、測定されてもよい。理論的線形流率が、2 つの電極の間で異なる場合、より低い線形流率が、電極を通した実際の線形流率を決定付けるであろう。線形流率は、ポンプ 1 1 2、および流体電解質 1 0 6 への電極ならびにセパレータ（存在する場合）の透過性等のいくつ

50

かの要因によって決定付けられ得る。好適な線形流率は、流動を伴わない同じ電気化学セルと比較して、2 ~ 20、5 ~ 15、8 ~ 12、または10倍の作業イオンのイオン移動度の増加を引き起こし得る。好適な線形流率は、0.01 cm / 秒 ~ 100 cm / 秒、0.01 cm / 秒 ~ 50 cm / 秒、1 cm / 秒 ~ 100 cm / 秒、または1 cm / 秒 ~ 50 cm / 秒に及び得る。

【0022】

体積流率は、線形流率および電極体積を反映する。好適な体積流率は、流動を伴わない同じ電気化学セルと比較して、2 ~ 20、5 ~ 15、8 ~ 12、または10倍の作業イオンのイオン移動度の増加を引き起こす。

【0023】

一般に、蠕動ポンプまたは回転翼型ポンプは、中程度の電力要件を伴って低いまたは中程度の流率を提供することができる。プログレッシブキャピティポンプは、より高い電力要件を伴ってより高い流率を提供することができる。それらのより高い電力要件に起因して、プログレッシブキャピティポンプは、グリッド貯蔵および他の電気公共事業用途内等の大型定常バッテリー内または船用バッテリー内のフロースルー電気化学セルで使用するためにより好適であり得る。

【0024】

ポンプ112は、電気化学セル100の充電、放電、または両方の間に、外部電力供給源によって給電されてもよい。特に、ポンプ112は、充電の間に充電器144等の同一の外部エネルギー供給部によって給電されてもよい。ポンプ112は、放電の間に電気化学セル100自体によって給電されてもよい。ポンプ112は、特に、閉ループ114内にある場合、電気化学セル100が外部回路136を通じた場合を除いて放電することができないように、電子的絶縁構成要素を含んでもよい。ポンプ112はまた、電解質の短い区分を物理的に単離し、それによって、閉ループ114に沿った可能性として考えられる電子回路を物理的に妨害する、蠕動ポンプ等の容積型ポンプであってもよい。

【0025】

ポンプ112が、閉ループ114の流体流通路内に位置する場合、ポンプ112は、電気化学セル100の循環の間に形成される化学物質を含む、電気化学セル100内で見出される流体電解質または他の化学物質による分解に抵抗することが可能な材料を含む、もしくはそれでコーティングされてもよい。

【0026】

図1A、1B、および5は、単一のポンプ112を伴って図示されるが、複数のポンプが存在し得る。例えば、複数の電気化学セルを含有するバッテリーは、特に、多数の電気化学セルが存在する、または各セルの透過性が高くない場合、流体電解質の流動を維持するように、電気化学セルもしくは電気化学セルのセットの間にポンプを含有してもよい。複数のポンプ112が、それらが同期したままであることに役立つように1つのモータによって、または複数のモータによって駆動されてもよい。

【0027】

セパレータ108は、膜を通して作業イオンの通過および流体電解質106の流動を可能にする、透過性膜であってもよい。セパレータ108は、織繊維、不織繊維、ポリマーフィルム、セラミック、および自然発生物質を含んでもよい。不織繊維は、綿、ナイロン、ポリエステル繊維、紙、およびガラス繊維を含んでもよい。ポリエステルフィルムは、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ(テトラフルオロエチレン)、ポリ(エチレンテレフタレート)、およびポリ塩化ビニルフィルムを含んでもよい。自然発生物質は、ゴム、アスベスト、および木材を含んでもよい。セパレータ108は、厚さ10 μm ~ 5,000 μm、厚さ10 μm ~ 1,000 μm、厚さ10 μm ~ 500 μm、厚さ10 μm ~ 100 μm、または厚さ20 μm ~ 70 μmであってもよく、より薄いセパレータが、多くの電気化学セル100で最も有用である。

【0028】

カソード102は、多孔質カソードであってもよい。例えば、カソード102は、流体電

10

20

30

40

50

解質に対して透過性である、高気孔率金属または炭素発泡体等の高気孔率カソードベース材料を含んでもよい。好適な高気孔率金属発泡体は、Ni、Fe、Cu、およびAl発泡体を含む。高気孔率カソードベース材料の気孔率は、40%~90%または40%~99%等、40%を上回り得る。特に、気孔率は、80%~90%であってもよい。多孔性質はまた、流体電解質106がカソード102を通して流動することも可能にする。

【0029】

高気孔率カソードベース材料は、カソード活性材料でコーティングされてもよい。特に、高気孔率カソードベース材料の細孔表面が、カソード活性材料でコーティングされてもよい。カソード活性材料でコーティングした後、カソード102は、依然として、5%~50%、10%~50%、および20%~50%等の少なくとも5%、少なくとも10%、または少なくとも20%の気孔率、もしくは設定された線形または体積流率において流体電解質106の流動を可能にするために十分な気孔率を維持し得る。

10

【0030】

高気孔率カソードベース材料の多孔性質は、高い内部表面積対体積比を提供する。例えば、内部表面積対体積比は、 d が、球形細孔の平均直径等の細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ または $2/d \sim 4/d$ であってもよい。本比は、細孔径および形状に依存する。例えば、細孔が、球形で、一様なサイズであり、単純な立方体アレイに充塞される場合、各細孔は、6つの他の細孔に接する。理論計算では無視され得る、球体の非常に小さい交差があると、チャンネルが、細孔の全ての間で開放される。細孔直径が、 d である場合、細孔の内部表面積は、 d^2 であり、 d^3 に等しいベース材料の体積を占有する。細孔のセットの表面積/体積比は、したがって、 $1/d$ である。結果として、より小さい細孔直径が、望ましい、より高い比を生成する。しかしながら、厚さ t を有するカソード活性材料で各細孔を被覆し、依然として、細孔を通して流動を可能にする必要性が、漸近下限を細孔直径に課す。好適な流体流を可能にし、好適な気孔率を維持するために、典型的には、 d は、少なくとも $3t$ である。 d はまた、少なくとも $4t$ 、または少なくとも $5t$ 、 $3t \sim 5t$ 、もしくは $3t \sim 10t$ であってもよい。

20

【0031】

細孔の内側表面積をコーティングする活性材料の体積は、 $[d^3/6 - (d - 2t)^3/6]$ であり、 $d = 3t$ である場合、活性材料体積は、 $27t^3$ の単位体積内で $(27 - 1)t^3/6 = 13.61t^3$ である。したがって、全電極体積に対する活性材料の体積の近似比は、 $13.61/27 = 0.504$ または約50%である。適切な比は、5%~60%または5%~55%に及んでもよい。

30

【0032】

理想的な細孔径は、したがって、活性材料の厚さ t によって設定されてもよい。理想的な厚さ t は、作業イオンが活性材料の中に拡散することが可能であり得る、距離によって設定されてもよい。これらの理論計算は、無作為に成形された細孔および80~90%の固有の気孔率を伴う実際の高気孔率カソードベース材料が、上記の理論計算におけるよりも高い表面積/体積比を呈するであろうため、下限を表す。例えば、実践では、 $5/d$ により近い比が、達成可能である。

【0033】

好適なカソード活性材料は、作業イオンが複数の充電/放電サイクルにわたってインターカレートおよび脱インターカレートし得る、結晶性組成物を含んでもよい。特に、カソード活性材料は、遷移金属酸化物、リン酸塩、ケイ酸塩、硫酸塩、またはバナジウム酸塩を含んでもよい。好適な遷移金属は、Co、Fe、Mn、V、Ni、Ti、及びそれらの組み合わせを含む。カソード活性材料は、 $LiCoO_2$ 、 $LiNiO_2$ 、 $LiFePO_4$ 、 $LiCoPO_4$ 、 $LiMnPO_4$ 、 $LiFeSO_4$ 、 $LiCoSO_4$ 、 $LiNiSO_4$ 、 $LiMnSO_4F$ 、 Li_2MnO_3 、 $LiMnO_2$ 、 $LiVO_2$ 、 V_6O_{13} 、 $LiFePO_4F$ 、 $LiVPO_4F$ 、 $LiTiPO_4F$ 、 Li_2CoPO_4F 、 Li_2NiPO_4F 、 $LiFeSO_4F$ 、 $LiCoSO_4F$ 、 $LiNiSO_4F$ 、 $LiMnSO_4F$ 、および $LiMn_2O_4$ 等の単一の遷移金属を含んでもよい。カソード活性材料はまた、 LiN

40

50

$i\text{CoMnO}_2$ 、 LiNiCoAlO_2 、 LiFeCoPO_4 、 $\text{LiNi}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_{1-y-z}\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_{1-y-z}\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ 、 $\text{Li}_x\text{Na}_{0.5-x}\text{MnO}_2$ 、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 等の遷移金属の混合物を含んでもよい。加えて、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ を含浸させたNi発泡体等の $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ またはHカソード活性材料等の具体的NaもしくはKカソード活性材料であり得るような、これらのカソード活性材料のNa、K、または他のアルカリ金属均等物が、使用されてもよい。カソード活性材料は、その電子伝導度を改良するように、多くの場合、 LiFePO_4 上に存在する、炭素コーティング等の電気化学反応に直接関与しない他の材料を一体的に含んでもよい。別の実施例は、Hカソード活性材料の $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 内のニッケル金属粉末または酸化ニッケルの包含である。Co($\text{OH})_2$ のコーティングが、 $\text{Ni}(\text{OH})_2$ の性能を向上させるために使用されてもよい。

【0034】

アノード104は、多孔質アノードであってもよい。例えば、アノード104は、流体電解質に対して透過性である、高気孔率金属または炭素発泡体等の高気孔率アノードベース材料を含んでもよい。好適な高気孔率金属発泡体は、Ni、Fe、Cu、およびAl発泡体を含む。高気孔率カソードベース材料の気孔率は、40%~90%または40%~99%等、40%を上回り得る。特に、気孔率は、80%~90%であってもよい。多孔性質はまた、流体電解質106がアノード104を通して流動することも可能にする。

【0035】

高気孔率アノードベース材料はアノード活性材料でコーティングされてもよい。特に、高気孔率アノードベース材料の細孔表面が、アノード活性材料でコーティングされてもよい。アノード活性材料でコーティングした後、アノード104は、依然として、5%~50%、10%~50%、および20%~50%等の少なくとも5%、少なくとも10%、または少なくとも20%の気孔率、もしくは設定された線形または体積流率において流体電解質106の流動を可能にするために十分な気孔率を維持し得る。

【0036】

代替として、高気孔率アノードベース材料は、単に、コーティングが不必要であるように、アノード活性材料を含んでもよい。

【0037】

高気孔率アノードベース材料は、上記で高気孔率カソードベース材料に関して説明されるものに類似する内部表面積対体積比を有してもよく、比は、類似計算の対象であり得る。

【0038】

好適なアノード活性材料は、作業イオンがその金属形態でめっきし得る、または作業イオンが、例えば、アノード活性材料結晶構造内にインターカレートすることによって反応し得る、組成物を含んでもよい。好適なアノード活性材料組成物は、Li、C、Si、Sn、Pb、Ge、Ti、Cu、Ni、Co、Mn、およびZn化合物を含む。例えば、そのような材料は、硬質炭素材料、軟質炭素材料、カーボンナノチューブ、グラフェン、Siナノワイヤ、Si薄膜、 $\text{Li}_{15}\text{Ge}_4$ 、Sn、Pb、 TiO_2 、 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 、Ti-Nb酸化物、 GeO_2 、Sn酸化物、Si酸化物、CoO、NiO、CuO、MnO、 $\text{Mn}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ 、 ZnCo_2O_4 、 ZnFe_2O_4 、TiNi、および Ti_2Ni を含んでもよい。加えて、TiNi合金、 LaNi_5 、および $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.5}\text{Co}_{2.4}\text{Si}_{0.1}$ 、FeTi、ならびに Mg_2Ni 等のより複雑な合金等のHアノード活性材料であり得るような、これらのアノード活性材料のNa、K、または他のアルカリ金属均等物が、使用されてもよい。アノード活性材料は、その電子伝導度を改良するように、炭素コーティング等の電気化学反応に直接関与しない他の材料を一体的に含んでもよい。

【0039】

従来の電気化学セルおよびバッテリーでは、カソードおよびアノード、特に、電気化学セル循環の間のカソードおよびアノード活性材料の膨張ならびに物理的歪曲が、電気化学セル

に存在する活性材料および他の電子伝導性材料の間の断絶等の電気化学セルへの物理的損傷を引き起こし得る。これは、複数のサイクルにわたって性能低下を引き起こす。例えば、電気化学セルは、複数のサイクルにわたって容量の減少を被り得る。

【0040】

本開示の高気孔率カソードまたはアノード金属発泡体は、発泡体空間上にコーティングされるカソードまたはアノード活性材料が、電極の全体的寸法を有意に変化させることなく、3次元で循環の間に膨張し、物理的に歪曲することを可能にする。これは、循環によって引き起こされる物理的損傷を最小限にし、電極および電気化学セル寿命を改良し、電気化学セルが、第10のサイクルにおける容量と比較して、5%またはそれ未満、もしくは1%それ未満の容量損失を伴って、少なくとも500~1,000サイクル、少なくとも500~2,000サイクル、少なくとも1,000~2,000サイクル、または少なくとも500~5,000サイクルにわたって循環することを可能にする。

10

【0041】

カソード102は、表面140の周囲のカソード102の寸法によって測定される表面積を有し、したがって、表面140における細孔によって寄与されるいずれの表面積も除外する、表面140を有してもよい。カソード102の表面積140は、0.5%またはそれ未満、0.1%またはそれ未満、もしくは0.08%またはそれ未満、特に、0.5%~0.0001%、0.1%~0.0001%、および0.08%~0.0001%等、カソード102内の細孔の内部表面積またはカソード活性材料によってコーティングされるカソード102内の細孔の内部表面積と比較して、小さくあり得る。

20

【0042】

同様に、アノード104は、表面142の周囲のアノード102の寸法によって測定される表面積を有し、したがって、表面142における細孔によって寄与されるいずれの表面積も除外する、表面142を有してもよい。アノード104の表面積142は、0.5%またはそれ未満、0.1%またはそれ未満、もしくは0.08%またはそれ未満、特に、0.5%~0.0001%、0.1%~0.0001%、および0.08%~0.0001%等、アノード104内の細孔の内部表面積またはアノード活性材料によってコーティングされるアノード104内の細孔の内部表面積と比較して、小さくあり得る。

【0043】

カソード102、アノード104、または両方における内部表面積に対する表面積の低い比はまた、電気化学セル100内のカソード102とアノード104との間の樹枝状結晶の形成を阻止し得る。

30

【0044】

図2の電極200は、x-y断面内の断面で図示される。電極200は、電気化学セル100等の電気化学セルで使用されてもよい。カソードまたはアノードであり得る、電極200は、高気孔率ベース材料206を含む。高気孔率ベース材料206は、複数の細孔208を形成する壁210を含む、複数の六角形セル202を含む。細孔208は、カソードまたはアノードを通して流体電解質106等の流体電解質の流動を可能にする。細孔208は、反対頂点から測定される、0.01mm~1mmの平均最大内部断面距離を有してもよい。細孔208は、電極200の断面と垂直な方向に電極200の幅に合致する、例えば、2cm~20cmまたは5cm~10cmの長さを有してもよい。壁210は、1μm~5μmの最大厚さを有してもよい。

40

【0045】

電極200は、電気化学セル内に設置されたとき、細孔208の長さが、流体電解質流の方向にあり、電気化学セルの循環の間に電極200を通して流体電解質の流動を促進するように、設置される。理想的には、流体電解質は、電極200を通じたその通過全体の間、所与の体積の流体電解質が同一の細孔208内に留まっている状態で、細孔208を通して層流状に流動することが可能であろう。遮断された細孔が、電解質流を妨げる。故に、電極200内の全ての細孔208の少なくとも60%、少なくとも80%、または少なくとも90%が、電極200の断面と垂直な方向に電極200の幅に合致する長さに沿

50

って持続的に開放し得る。

【0046】

六角形セル202は、活性材料コーティング204でコーティングされる。コーティングは、図示されるように連続的、または不連続的であり得る。加えて、全ての六角形セル202が、図示されるようにコーティングされてもよい、または六角形セル202の一部のみが、コーティングされてもよい。活性材料コーティングは、カソードまたはアノードを通して電解質の流動を妨げないために十分に薄くあり得る。例えば、活性材料コーティング204の平均厚さは、細孔208の平均最大内部距離の0.1%、0.5%、1%、または2%以下、もしくは0.0001%~0.1%、0.5%、1%、または2%であってもよい。

10

【0047】

高気孔率ベース材料206は、特に、六角形セルの壁が反対方向からの類似力を被る傾向があるため、活性材料の膨張および歪曲によって引き起こされる損傷に耐えることが可能であり得る。

【0048】

幾何学的形状のセルを有する、他の高気孔率ベース材料も、可能である。例えば、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形セルが、使用されてもよい。そのようなセルは、上記に議論される六角形セルに類似する最大内部断面距離と、類似相対最大壁厚さ、長さ、および活性材料コーティング厚さとを有してもよい。そのようなセルの類似割合が、遮断されていなくてもよい。

20

【0049】

高気孔率ベース材料206は、コンピュータ数値制御(CNC)レーザ切断を含む、3D印刷またはレーザ切断等の任意の好適な方法を使用して、形成されてもよい。活性材料は、電気めっき、粉末含浸、または層の電着等の任意の好適な方法を使用して、高気孔率ベース材料206上にコーティングされてもよい。

【0050】

図3Aは、巻回電極300の側面図である。図3Bは、同一の電極の上面図である。そのような巻回電極は、電気化学セル100の形式を有する電気化学セルで使用され得るが、これはまた、ゼリーロール形式の変形例等の他の形式にも好適である。巻回電極300は、高気孔率材料302を含む。例えば、高気孔率材料302は、Ni、Fe、Cu、またはAl発泡体等の金属発泡体、もしくは炭素発泡体を含んでもよい。高気孔率材料302は、少なくとも1枚の薄いシートの形態であってもよい。薄いシートは、0.5mm~3mm、特に、1.0~2.0mmの厚さを有してもよい。高気孔率材料302は、0.01mm~1.0mmの平均最大細孔内部距離を有してもよい。高気孔率材料302は、その細孔内にコーティングされる活性材料を含む。細孔は、全体的または部分的にコーティングされてもよく、細孔の全てまたは一部のみが、コーティングされてもよい。活性材料は、電気めっき、粉末含浸、または層の電着等の任意の好適な方法を使用して、コーティングされてもよい。

30

【0051】

巻回電極300は、高気孔率材料302が巻回される回数によって調節可能である、直径を有してもよい。

40

【0052】

巻回電極300は、高気孔率材料302の巻回を促進するための内部ロッド304を含んでもよい。内部ロッド304は、電子的に絶縁性であり得る、またはこれは、電子的に伝導性であり得る。内部ロッド304は、電気化学セルの循環の間の分解に対して耐性を示し得る。例えば、これは、アクリルであり得る。

【0053】

巻回電極はさらに、Ni、Fe、Cu、またはAl等の金属、もしくはCを含み得る、伝導性ストリップ306を含んでもよい。伝導性ストリップ306および高気孔率材料302が、両方とも金属である場合、伝導性ストリップ306は、1つまたはそれを上回る溶

50

接点 308 において高気孔率材料 302 に溶接されてもよい。

【0054】

電極 300 は、流体電解質が、電気化学セルの循環の間に方向 410 に電極 300 を通して流動するように、電気化学セル 100 等の電気化学セル内に位置付けられてもよい。

【0055】

以下の式が、螺旋巻回長を提供し得る。

$$L = N \cdot (D - D_o) (D_o + h \cdot (N - 1))$$

式中、 D_o = 存在する場合、内側ロッド 304 の直径であり得る、巻回の内径、

h = 高気孔率材料 302、活性材料、および任意のセパレータの厚さ、

N = 螺旋巻数 = $(D - D_o) / 2h$ である。

10

【0056】

そのような電極 300 内の活性材料の表面積は、その幅で乗算される高気孔率材料の長さであり、そのような電極 300 内の活性材料の体積は、活性材料厚さで乗算される活性材料の表面積である。電極 300 は、したがって、同一の全体的寸法を伴うが、高気孔率材料を含まない、巻回箔電極を少なくとも 3 倍、少なくとも 4 倍、少なくとも 5 倍、2 倍 ~ 6 倍、または 2 倍 ~ 5 倍上回り得る、活性材料体積を有する。これは、電極 300 を含有する電気化学セルのためのエネルギー密度の類似増加に変換される。

【0057】

図 4A は、織金網 (WWM) 電極 400 の側面図である。電極は、層 402 を形成するように折畳点 406 において折畳される、図示されるような少なくとも 1 つの WWM を含んでもよい、またはこれは、折畳されない複数の WWM シートを含有してもよい。WWM は、折畳を促進するようにレーザ切断されてもよい。図 4B は、折畳点 406 において折畳することに先立って、折畳された WWM を図示する。

20

【0058】

WWM は、細孔を含有する。例えば、これは、高度に多孔質の材料であってもよい。WWM 電極 400 はさらに、外部回路への電子接続を可能にするための導電性コネクタ 404 を含んでもよい。電極 400 は、10 ~ 100 層、またはより具体的には、20 ~ 50 層 402 を含有してもよい。層 402 は、特に、折畳された WWM から形成されない場合、層 402 の間に内部導電性コネクタを含有してもよい。WWM 402 は、2.5 mm の平均細孔直径等の 0.01 mm ~ 1.0 mm の平均最大細孔内部距離を有してもよい。WWM 402 は、その細孔内にコーティングされる活性材料を含む。細孔は、全体的または部分的にコーティングされてもよく、細孔の全てまたは一部のみが、コーティングされてもよい。活性材料は、電気めっき、粉末含浸、または層の電着等の任意の好適な方法を使用して、コーティングされてもよい。

30

【0059】

WWM 402 は、図 4 に図示されるように、層の間に空間を有してもよい。これらの空間はさらに、循環の間の側方方向 408 への活性材料の膨張および歪曲に適応してもよい。電極 400 は、流体電解質が、充電の間に方向 410 に、かつ放電の間に反対方向に電極 400 を通して流動するように、電気化学セル 100 等の電気化学セル内に位置付けられてもよい。

40

【0060】

電極 200 内の材料はまた、例えば、図 4B に図示されるように折畳点 406 において、または単に、脱離された層として、電極 400 の WWM と同一の様式で折畳されてもよい。そのような実施例では、細孔 208 は、電極全体ではなく、各層の幅に等しい長さを有してもよい。

【0061】

流体電解質 106 は、液体の形態であってもよい。流体電解質は、典型的には、作業イオンを含有しない、または電気化学セル 100 の電気化学反応に作業イオンを寄与しない、溶媒と、電気化学セル 100 の電気化学反応に作業イオンを寄与する、溶質とを含んでもよい。複数の溶媒および複数の溶質の混合物が、電解質では一般的である。ある電解質は

50

また、本質的に溶媒・溶質ではない、より複雑な形態を有してもよい。例えば、そのような電解質は、混和性材料を含んでもよい。電気化学セル100のフロールー性質は、特に、そのような電解質に、または流動によって提供される混合に起因して、溶質が溶液内に容易に残留しない電解質に、非常に適し得る。

【0062】

電解質は、水性または非水性溶媒を含んでもよい。水性電解質は、 KOH 、 LiOH 、または NaOH 等のアルカリ金属水酸化物、もしくはこれらの水酸化物の混合物を含んでもよい。非水性電解質は、有機カーボネート、有機エステル、有機エーテル、イオン液体、およびポリマー溶媒を含んでもよい。有機カーボネートおよび有機エステルは、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート、ブチレンカーボネート、 β -ブチレンカーボネート、 γ -バレロラクトン、 N -メチル-2-オキサゾリジノン、ジメチルカーボネート、ジエチルカーボネート、エチルメチルカーボネート、酢酸エチル、酪酸メチル、または酪酸エチルを含んでもよい。有機エーテルは、2-メチル-テトラヒドロフラン、ジメチルエーテル、ジエチルエーテル、テトラヒドロフラン、2-メチル-テトラヒドロフラン、1,3-ジオキサラン、4-メチル-1,3-ジオキサラン、または2-メチル-1,3-ジオキサランを含んでもよい。さらに別の実施例として、電解質溶媒として使用されるポリマー電解質は、ポリ(エチレンオキシド)、ポリアクリロニトリル、ポリ(メチルメタクリレート)、ポリ(ビニリデンフルオリド)、ポリ(ビニリデンフルオリドco-ヘキサフルオロプロピレン)、ポリエチエングリコール、ポリエチエングリコールジメタクリレート、ポリエチエングリコールジアクリレート、またはポリ(エチレンテレフタレート)を含んでもよい。

10

20

【0063】

好適な溶媒または他の作業イオン源は、作業イオン塩を含む。例えば、 LiPF_6 、 LiBF_4 、または LiClO_4 等のリチウム塩が、作業イオンがリチウムであるときに存在し得る。ナトリウムジフルオロ(オキサレート)ボレート($\text{C}_2\text{O}_4\text{BF}_2\text{Na}$)、 NaPF_6 、または NaClO_4 等のナトリウム塩が、作業イオンがナトリウムであるときに存在し得る。 KPF_6 またはカリウムビス(フルオロスルホニル)イミド等のカリウム塩が、作業イオンがナトリウムであるときに存在し得る。

【0064】

作業イオンが水素である、電気化学セルに関して、溶媒・溶質電解質または他の複雑な電解質が、多くの場合、必要とされない。例えば、 KOH が、単に、水素イオン電気化学セル内の電解質として機能してもよく、多くの場合、最も費用効率的な選択肢である。

30

【0065】

流体電解質の粘度が、電極等の多孔質媒体を通した流動に対する流体電解質の抵抗に直接影響を及ぼす。結果として、電気化学セルの電極を横断した、または両方の電極を横断した流体電解質圧力降下が、流体電解質の粘度による影響を受け、より粘性の流体電解質が、いずれの場合もさらなる圧力降下を呈する。より強力なポンプが、電気化学セル内のより粘性の流体電解質の適切な、または設定された流率を達成するために、あまり粘性ではない流体電解質が使用された場合、必要とされ得る。

【0066】

アルカリ金属水酸化物電解質等の水性流体電解質は、室温(20)における水のものに近い粘度を呈し得る。例えば、 KOH 等の水性アルカリ金属水酸化物電解質は、室温において1~3mPa/秒の粘度を呈し得る。有機液体電解質が、0.5~1mPa/秒の粘度を有してもよい一方、エマルションは、2~20mPa/秒の粘度を有してもよい。

40

【0067】

全ての流体電解質の粘度は、時として実質的に温度とともに変動するであろう。概して、所与の流体電解質の粘度は、温度の低下とともに増加し、温度の上昇とともに減少するであろう。流体電解質に存在する異なる溶質または他の材料は、流体電解質の所与の溶媒もしくは体積的に最大の成分に関して、粘度および温度に伴う温度変化に異なる影響を及ぼし得る。故に、流体電解質の任意の溶質または他の体積的にわずかな成分を含む、所与

50

の流体電解質が、所与の温度範囲において最適な、または設定された流体電解質流率を提供するため、もしくは電気化学セルが極端な温度でさえも機能することを可能にするために、本開示の電気化学セルで使用されてもよい。

【0068】

カソード活性材料、アノード活性材料、および電解質の組み合わせは、作業イオンが、電気化学セルが機能することを可能にする電気化学反応に関与し得るように、公知の電気化学セル原理に基づいてもよい。例えば、アノードおよびカソードは、所与の理論的電圧を生じさせてもよく、電解質は、その所与の電圧において安定することが予期される電解質であってもよい。

【0069】

図1Aおよび1Bは、単一の電気化学セルを示すが、本開示はまた、連続的流体電解質流を伴う複数の電気化学セルを含む、フロースルー再充電可能バッテリーも含む。図5は、そのようなフロースルー再充電可能バッテリー500を図示する。バッテリー500は、スタック内に5つの電気化学セル100を伴って図示されるが、フロースルー再充電可能バッテリーは、2~1,000個、2~500個、2~100個、2~50個、2~20個、2~5個、または2~10個の電気化学セル100を含んでもよい。スタック内の電気化学セル100の数は、多孔質電極を通した流体電解質を通過させる際に圧力降下を克服するために要求される、機械力の増加のみによって限定される。要求される機械力は、全バッテリー電力に比例してスケールアップするが、しかしながら、バッテリーの相対効率は、同一のままである。

【0070】

スタックの端部における電気化学セル100は、閉ループ114に接続され、電気化学セル100は、電気化学セル100のスタックを通して流体電解質106の流動を可能にするように、内部ループ502によってスタック内で内部に接続される。同様に、スタックの端部における電気化学セル100は、外部回路136に接続され、電気化学セル100は、電気化学セル100と電気負荷138等の外側要素との間の電子伝導を可能にするように、内部回路504によってスタック内で内部に接続される。

【0071】

図5は、1つの電気化学セル100のカソード102が、内部回路504によってスタック内の次の電気化学セル100のアノード104に接続されるように、電子的に直列に接続される電気化学セル100を図示するが、並列の接続等の他の電子接続も、内部回路504の設置に応じて可能である。電気化学セル100のスタックを通した流体電解質106の流動の経路は、必ずしも電子回路504の経路に合致する必要はない。

【0072】

フロースルー電気化学セル100が、フロースルー再充電可能バッテリー500内で接続されるとき、それらは、同一の電位にあるため、流体電解質106が、スタックに沿って1つのカソードから次のアノードまで直接通過することは問題ではない。

【0073】

図5はさらに、典型的には、電気化学セル100を通して流動しないときに、電解質106が貯蔵され得る、外部リザーバ508を含む。閉ループ114は、ポンプ112を使用して、閉ループ114を通して、または外部リザーバ508の中に回路内の電解質106を指向するように、開放もしくは閉鎖され得る、1つまたはそれを上回る弁506を含んでもよい。外部リザーバは、極端な温度に対して電解質106を保護するように、絶縁される、加熱される、冷却される、またはそれらの任意の組み合わせであってもよい。外部リザーバ508および弁506が、複数の電気化学セル100を含有するバッテリー500との関連で図5に示されるが、それらはまた、図1Aおよび1Bの電気化学セルとともに等、他の状況で使用されてもよい。

【0074】

本開示による、電気化学セルまたはバッテリーはまた、バッテリー安全および制御構成要素も含有する、もしくはそれに接続されてもよい。例えば、電気化学セルまたはバッテリーは、

10

20

30

40

50

例えば、サーモスタットおよび外部熱交換器を使用して、流体電解質の温度を監視および制御し得る、外部温度コントローラを含有する、もしくはそれに接続されてもよい。代替として、電解質加熱器または冷却器が、閉ループ内に、もしくはその周囲に配設されてもよい。温度監視および制御は、電気化学セルまたはバッテリーが破壊的な温度において動作することを回避し得る。サーモスタットと、充電コントローラとを含む、温度監視システムは、バッテリーが充電の間に過熱する場合、例えば、充電を停止することが可能であり得る。温度監視システムはまた、バッテリー温度が低すぎる場合、放電、充電、または両方を防止し得る。例えば、充電および放電は両方とも、流体電解質が適切な流動のために過剰に粘性である温度において、防止され得る。

【0075】

10

温度監視システムは、電気化学セルまたはバッテリー温度、外部温度、もしくは両方を監視し、また、電気化学セルまたはバッテリーが動作しておらず、極端な温度が存在するときに、閉ループ内のポンプおよび弁を制御し、電解質を外部リザーバの中に指向してもよい。

【0076】

別の実施例として、電気化学セルまたはバッテリーは、流率が調節され得るような方法でポンプに結合され得る、流率モニタを含有してもよい。流率モニタはまた、流率が設定された率を下回って降下する場合、充電または放電を防止することが可能であり得る。

【0077】

さらに別の実施例として、電気化学セルまたはバッテリーは、適切な方向に流体電解質の流動を自動的に指向する、ポンプスイッチを含有してもよい。例えば、バッテリーは、例えば、電流計または電圧計を使用して、充電電流が印加されているかどうかを検出することが可能な構成要素を含有してもよい。ポンプスイッチは、充電電流が検出されるときに、ポンプに、充電のために適切な方向に流体電解質の流動を指向させるように、自動的に切り替えられてもよい。バッテリーはまた、例えば、電流計または電圧計を使用して、負荷が外部回路に印加されるかどうか、もしくは外部回路が充電電流を伴わずに完成されたかどうかを検出することが可能な構成要素を含有してもよい。負荷が印加されるかどうか、または外部回路が完成しているかどうかを検出することが可能な構成要素は、充電電流が印加されているかどうかを検出することが可能な構成要素と同一であり得る。ポンプスイッチは、負荷または充電電流を伴わない完全な外部回路が検出されるときに、ポンプに、放電のために適切な方向に流体電解質の流動を指向させるように、自動的に切り替えられてもよい。ポンプスイッチはまた、外部回路が壊れているかどうかを検出し、これが、例えば、即時に、または設定された時間周期後に起こるときに、流体電解質の流動を停止することも可能であり得る。

20

30

【0078】

バッテリー安全および制御構成要素は、熱交換器等の単純な物理的デバイスであってもよい、またはそれらは、プロセッサがメモリ内に記憶された命令を実行するとき、温度および電解質流率等のバッテリーパラメータを監視または制御する、プロセッサおよびメモリを含む、もしくはそれらによって管理されてもよい。

【0079】

図1Aは、活性材料がアルカリ金属イオン活性材料であるときの放電の間の電気化学セル100を図示する。流体電解質106は、方向120に回転する容積式ポンプ112によって、方向118に圧送される。電子が、電気化学セル100によって給電されているデバイス等の電気負荷138を通して外部回路136に沿って方向122に伝導される。作業イオン、本実施例ではリチウムイオンが、アノード104とカソード102との間で方向124に伝導される。アノード104内の電気化学反応が、アノード活性材料からリチウムイオンを解放する一方、カソード102内の電気化学反応は、カソード活性材料内のリチウムイオンを捕捉する。

40

【0080】

図1Bは、活性材料がアルカリ金属イオン活性材料であるときの充電の間の電気化学セル100を図示する。流体電解質106は、方向126に回転する容積式ポンプ112によ

50

って、反対方向 118 である方向 128 に圧送される。電子が、外部電源に接続され得る充電器 144 を通して外部回路 136 に沿って方向 130 に伝導される。作業イオン、本実施例ではリチウムイオンが、アノード 104 とカソード 102 との間で、反対方向 124 である方向 134 に伝導される。カソード 102 内の電気化学反応が、カソード活性材料からリチウムイオンを解放する一方、カソード 104 内の電気化学反応は、アノード活性材料内のリチウムイオンを捕捉する。

【0081】

方向 124 にもあるアノード 104 およびカソード 102 を通した流体電解質 106 の流動、または方向 134 にもあるカソード 102 およびアノード 104 流体電解質 106 の流動は、アノード 104、カソード 102、または典型的には両方の中の作業イオンの有効イオン移動度を拡大し、より高い率における流動が、さらなる影響を及ぼす。一方または両方の電極内のより高い作業イオン移動度が、充電、放電、または典型的には両方の間に、電解質における抵抗損を低減させ得る。

10

【0082】

水素イオン電気化学セルに関して、多くの場合、水素イオンの反対方向へのヒドロキシルイオンの移動度は、流動が、電気化学セルがアルカリ金属イオンベースの活性材料を含有した場合と反対方向である必要があり得るように、充電および放電を制御する。

【0083】

アノード 104 およびカソード 102 を通した流体電解質 106 の流率は、固定されてもよい、またはこれは、変動し得る。例えば、流率は、電気化学セル 100 が充電または放電されているかどうかに応じて、変動し得る。特に、より速い流率が、より速い充電を促進するため、外部電源を利用するため、または両方のために、充電の間に使用されてもよい。流率はまた、バッテリーが受けたサイクルの数等のバッテリーパラメータに応じて、変動し得る。電気化学セルは、多くの場合、電極が使用によって誘発される変化を受けるにつれて、最初のサイクル、または最初の 2 つもしくは最初の 5 つのサイクルの間でさえも、異なるように挙動することが周知である。異なる流率が、電極が後の電気化学セル性能のためにより有効な状態に到達することに役立つために、または電極への損傷を回避するために、電極調整周期の間に使用されてもよい。同様に、電気化学セルが経年劣化し、性能損失を被るにつれて、流率は、性能損失率を補償するように、または減速するように調節されてもよい。

20

30

【0084】

流体電解質 106 の流動は、電気化学セルが電気負荷 138 に給電するように充電または放電されているとき以外の時間に起こり得る。例えば、ポンプ 112 は、動作し続けてもよく、流体電解質 106 は、充電が完了している場合でさえも、充電器 144 が電気化学セル 100 に接続されている限り、流動し続けてもよい。別の実施例では、ポンプ 112 は、放電が停止した後に、ある時間周期にわたって動作し続けてもよい。

【0085】

-40 ~ 100、-40 ~ 90、または -20 ~ 90 ではない温度等の極端な温度の間に、電気化学セルまたはバッテリーは、充電もしくは放電によって損傷され得る。温度センサを含む、制御構成要素は、極端な温度の間に外部回路 136 を妨害させ、電気化学セルまたはバッテリーが、充電または放電されない、もしくは両方を行われないように防止し得る。

40

【0086】

電気化学セル 100 が、充電または放電していないとき、ポンプ 112 は、流体電解質 106 を図 5 に示される外部リザーバ 508 等の外部リザーバの中に圧送してもよい。図 5 に示される弁 506 等の弁が、流体電解質 106 を外部リザーバの中に流入させるように開放または閉鎖されてもよい。流動の方向の変化は、電気化学セル 100 がもはや充電器 144 または電気負荷 138 に接続されなくなると、もしくは外部信号に応答して、自動的に起こり得る。同様に、電気化学セル 100 が、後に充電器 144 または電気負荷 138 に接続されるとき、もしくは外部信号に応答して、ポンプ 112 は、弁 506 が適切

50

に開放または閉鎖されている状態で、外部リザーバ508から閉ループ114の中に流体電解質106を圧送してもよい。いくつかの事例では、流体電解質106は、電気化学セル100またはバッテリー500が、極端な温度によって損傷される可能性が低いように、電気化学セル100またはバッテリー500の温度、もしくは外部温度にตอบสนองして、外部リザーバ508の中または外に圧送されてもよい。これは、外部リザーバ508が、絶縁される、加熱される、冷却される、またはそれらの任意の組み合わせである場合、特に有用であり得る。充電が完了したときに、流体電解質106を外リザーバ508の中に圧送することもまた、電気化学セルまたはバッテリーの自己放電を防止するための効果的な方法であり得る。

【0087】

10

本開示の電気化学セルまたはバッテリーは、最初のサイクル、最初の2つのサイクル、もしくは最初の5つのサイクルの間等の初期サイクルの間に、カソードまたはアノードから外への固体材料のある程度の移動を被り得ることが、可能性として考えられる。例えば、活性材料コーティングまたは高気孔率ベース材料の固体断片が、電解質の流動にตอบสนองして、解放され得る。電気化学セルまたはバッテリーからこれらの材料を除去することが有利であり得る。閉ループ内、電極の間、または両方のフィルタが、これらの材料を除去してもよい。電極はまた、典型的には、静的電解質を用いた従来の電気化学セルによっては直面されない、本問題を回避することに役立つように、電気化学セルへの組立に先立って、流体電解質または類似材料等の流動流体を用いた前処理を受け得る。

【0088】

20

いったん作業イオンが電極の細孔の内側で搬送されると、局所電場は、ごくわずかであり、作業イオンのさらなる移動を引き起こさないであろうが、細孔を通じた流体電解質の流動が、作業イオンを移動させ続ける。これは、作業イオンを電極の表面から遠くに位置する活性材料まで移動させ、活性材料のより効率的かつ完全な使用を可能にする。本開示のフロースルー電気化学セルでは、カソード、アノード、または両方の中の活性材料の少なくとも90%、少なくとも95%、少なくとも99%、もしくは少なくとも99.9%が、充電または放電もしくは両方の間の作業イオンとの反応のために利用可能である。これは、電気化学セルが、10サイクル後に測定されたときに、その理論的容量の少なくとも80%、少なくとも90%、少なくとも95%、少なくとも99%、または少なくとも99.9%である、実際の容量を有することを可能にする。

30

【0089】

本開示のバッテリーおよび方法は、車、トラック、バイク、配達車両、アシスト付き自転車、スクータ、軍用地上車両、フォークリフト、建設機器、産業用機器、船、フェリーボート、潜水艦、航空機、自律走行車、車椅子、個人用移動デバイス、ロボット支援デバイス、医療機器、家庭用貯蔵デバイス、およびグリッド貯蔵デバイスを含む、再充電可能バッテリーが好適である、任意のデバイスで使用されてもよい。

【実施例】

【0090】

以下の実施例が、本発明の原理および具体的側面をさらに例証するように提供される。それらは、本発明の全ての側面の範疇全体を包含することを意図しておらず、そのように解釈されるべきではない。

40

【0091】

(実施例1) リチウムイオンフロースルー電気化学セル

フロースルー電気化学セルが、図1Aおよび1Bに図示されるように構築ならびに動作されてもよい。

【0092】

300ケルビン(室温)における水中のリチウムイオンのイオン移動度は、 $4 \times 10^{-8} \text{ m}^2 / (\text{Vs})$ である。アノードおよびカソードが、電気化学セルの放電電圧が3.6Vであり、典型的セパレータが50 μm の厚さを有するように、選定される場合、電気化学セル内の電場は、 $3.6 \text{ V} / (50 \times 10^{-6} \text{ m}) = 7.2 \times 10^4 \text{ V} / \text{m}$ である。イオ

50

ンドリフト速度は、次いで、 $4 \times 10^{-8} \text{ m}^2 / (\text{Vs}) \times 7.2 \times 10^4 \text{ V/m} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m/秒} = 2.9 \text{ mm/秒}$ である。流体電解質が、 2.9 cm/秒 の線形流体流率において電気化学セルを通して流動する場合、イオン電流の形態の有効イオン移動度は、10倍増加されるであろう。イオン移動度が、電流を制御するため、放電電流も、10倍増倍されるであろう。充電電圧が、放電電圧に類似する、または同じであるため、類似効果が、充電の間に見られるであろう。

【0093】

セパレータを横断する通過時間は、いずれの流動も存在しない場合は $50 \mu\text{m} / 2.9 \times 10^{-3} \text{ m/秒} = 17.2 \text{ ミリ秒}$ であるが、 2.9 cm/秒 の流率ではわずか 1.72 ミリ秒 である。これは、電気化学セルが、フロールー流体電解質を伴わない類似セルよりも迅速に負荷電流の変化に迅速に応答することを可能にし得る。 10

【0094】

これは、セルが、はるかに速く負荷電流の変化に応答し得、これは、いくつかの用途では非常に重要であり得ることを意味する。

【0095】

自動車用途のための典型的フロールーセルは、 12.7 cm の全体的直径を伴う電極を有してもよい。電解質流に面する電極の表面積は、 127 cm^2 である。 2.9 cm/秒 の線形流率は、 $127 \times 2.9 / 1000 = 0.37 \text{ L/秒}$ の体積流率を要求する。

【0096】

現在のリチウムイオンセルでは、活性材料の典型的厚さ $t = 0.005 \text{ cm}$ である。これは、多孔質電極の有効面積/体積比を $\pi / 2d = \pi / 6t = 105 \text{ cm}^{-1}$ として計算することを可能にする。電極が、直径 $D = 12.7 \text{ cm}$ および幅 $W = 12.7 \text{ cm}$ を伴う円筒形金属発泡体材料等の高気孔率ベース材料を含有する場合、電極は、体積 $= (12.7)^3 / 6 = 1,073 \text{ cm}^3$ を有するであろう。活性材料表面積は、 $105 \times 1,073 = 112,630 \text{ cm}^2$ であろう。厚さで乗算することは、 563 cm^3 の活性材料の全体積または全電極体積の52%をもたらす。 20

【0097】

巻回発泡シート電極が、 $D = 12.7 \text{ cm}$ 、 $D_o = 1.7 \text{ cm}$ 、および $h = 0.023 \text{ cm}$ とともに併用され、次いで、式 $L = N \cdot (D - D_o) (D_o + h \cdot (N - 1))$ を適用する場合、 $L = 2,700 \text{ cm}$ である。 30

【0098】

活性材料の面積は、幅 W で乗算された長さであり、合計 $34,290 \text{ cm}^2$ をもたらす。活性材料の体積は、面積 $\times 0.005 \text{ cm}$ の活性材料厚さである。これは、 172 cm^3 の活性材料の全体積をもたらす。

【0099】

(実施例2) Ni発泡体フロールーバッテリー

ニッケル水素セル(NiMH)およびニッケルカドミウム(NiCd)電気化学セルは、NiMHカソード活性材料を含浸させたNi金属発泡体カソードベース材料を使用してもよい。電気めっきを使用して調製される、そのような材料の実施例が、図3Aおよび3Bに説明されるような構造を有する、図3Cで提供される。そのような電極では、Ni金属発泡体に電気めっきされるNi(OH)₂の好適な量は、発泡体の単位体積あたり $0.01 \text{ g/cm}^3 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ 重量のNi(OH)₂である。本カソードを含有する電気化学セルの電極部分は、図1Cおよび1Dに図示される。 40

【0100】

アノードは、水素イオンと電気化学的に反応する、金属発泡体等の高気孔率チタン/ニッケル合金を含んでもよい。アノードはまた、わずかな、典型的には、1%未満、0.5%未満、0.1%未満、または $0.0001\% \sim 1\%$ 、0.5%、もしくは0.1%希土類金属を含み、向上した水素貯蔵のためのより開放した結晶格子を生成してよい。好適な希土類金属は、ランタン、セリウム、ネオジウム、バナジウム、およびプラセオジウムを含む。NiMHセルの場合、アノードは、金属がアノード活性材料として作用するため、高気孔 50

率材料ではなく、低気孔率金属を含んでもよい。具体的には、20%～30%の正味気孔率を伴う焼結金属粉末が、金属合金の量を最大限にし、したがって、より多くの水素イオンを貯蔵するため、使用されてもよい。設定された率において電解質流を可能にするために十分な透過性を促進する、任意の気孔率が、十分である。高気孔率チタン/ニッケル合金アノードを含有する電気化学セルの電極部分は、図1Cおよび1Dに図示される。

【0101】

水素イオンは、実際にアノード金属内で溶解し、金属水素化物固溶体を形成する。固体金属内の水素密度は、液体水素内よりも2倍高いことが可能性として考えられる。本高体積効率は、固溶体内の金属原子よりも数倍の数の水素イオンが存在し得るため、達成され、金属水素化物セルが、全ての可能性として考えられるバッテリー化学物質の最高エネルギー密度のうちの1つを潜在的に有することを可能にする。例えば、LaNi₅タイプの合金では、全ニッケル原子のために金属の中に組み込まれる6つの水素原子が存在し得る。

10

【0102】

NiMHセル内の電解質は、濃縮水性KOHであってもよい。移動性種は、おそらく、 $20.64 \times 10^{-8} \text{ m}^2 / \text{V} \times \text{秒}$ の水性移動度を伴うヒドロキシルイオンであり、これは、充電の間にアノードとカソードとの間を進行し、カソード内のニッケル水酸化物と合体し、ニッケル酸水素化物および水を形成する。水は、アノードにおいて水素およびヒドロキシルイオンに分割される。ヒドロキシルイオン移動度が、リチウムのももの約5倍であるため、ニッケル水素フローセルは、より高い電解質流率を有し、リチウムイオンバージョンのもものと同等の電流および電力定格の改良を獲得し得る。

20

【0103】

本電気化学セルで使用される金属発泡体は、シートが、80～90%の気孔率とともに、0.2～2mmの範囲内の厚さと、110 PPI (1インチあたりの細孔)の典型的仕様に対応する、0.22mmの平均細孔最大内部距離とを有する、巻回電極の形態であってもよい。そのような金属発泡体は、図1Cおよび1Dに図示される電気化学セルの電極部分で使用された。

【0104】

アノードおよびカソードを含有する、図1Cおよび1Dに図示される電気化学セルの電極部分は、本実施例2に説明され、また、セパレータ146を含有するものは、閉ループおよびポンプに接続され、KOH電解質で充填された。+1.4Vの一定の電位差が、アノードとカソードとの間に印加され、充電電力が、持続的に測定された。電極は、ポンプがカソードからアノードの流動またはアノードからカソードの流動のいずれかを提供するように図6に示される線形流率において動作されている間に充電された。図6が示すように、充電電流は、流動の方向および線形流率に応じて変動し、流体電解質の流動が電気化学セルの動作パラメータに影響を及ぼすことを示す。セルを充電した後、開放回路電位は、+1.2Vと測定された。

30

【0105】

上記に開示される主題は、制限的ではなく、例証的と見なされるものであり、添付の請求項は、本開示の真の精神および範囲内に該当する、全てのそのような修正、向上、ならびに他の実施形態を網羅することを意図している。したがって、法によって可能にされる最大の程度に、本開示の範囲は、以下の請求項およびそれらの均等物の最も広義の許容解釈によって判定されるものであり、前述の発明を実施するための形態によって制限または限定されないものとする。

40

(項目1)

フローセル再充電可能電気化学セルであって、カソードおよびアノードを収納するコンテナと、前記コンテナに流体的に接続される閉ループと、前記コンテナおよび閉ループ内にあり、作業イオンを含む流体電解質と、ポンプであって、前記ポンプは、前記電気化学セルの放電の間に、第1の方向に前記閉ループ、前記多孔質カソード、および前記多孔質アノードを通して前記流体電解質を流動さ

50

せるように構成される、ポンプと
を備える、フロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目2)

前記ポンプは、前記電気化学セルの充電の間に、前記第1の方向と反対の第2の方向に前記流体電解質を流動させるように構成される、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目3)

前記カソード、前記アノード、または両方は、40%~99%の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目4)

前記カソードおよび前記アノードは両方とも、40%~99%の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目5)

前記カソード、前記アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%~50%の気孔率を有する、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目6)

前記カソードおよび前記アノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5%~50%の気孔率を有する、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目7)

前記ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプである、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目8)

前記ポンプは、0.01cm/秒~100cm/秒の線形流率において前記電気化学セルを通して前記流体電解質を圧送するように構成される、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目9)

前記カソード、前記アノード、または両方は、 d が細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ の内部表面積対体積比を有する高気孔率材料を含む、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目10)

前記カソード、前記アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを備え、0.01mm~1.0mmの平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含む、項目1に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目11)

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に前記電極の幅に等しい長さを有する細孔を形成する、項目10に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目12)

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に2cm~20cmの長さを有する細孔を形成する、項目10に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目13)

前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に長さを有する細孔を形成し、前記電極内の全ての細孔の少なくとも60%、少なくとも80%、または少なくとも90%は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している、項目10に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目14)

前記電極は、セルを有するスタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の10~100層を備える、項目10に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

10

20

30

40

50

(項目 15)

前記カソード、前記アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを備える巻回電極である、項目 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目 16)

前記高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含む、項目 15 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目 17)

前記カソード、前記アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の 10 ~ 100 層を備える織金網 (WWM) 電極である、項目 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

10

(項目 18)

前記作業イオンは、アルカリ金属イオンを含む、項目 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目 19)

前記作業イオンは、水素イオン (H^+) またはヒドロキシル (OH^-) イオンを含む、項目 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目 20)

前記アノードは、前記水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含む、項目 19 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

(項目 21)

電気化学セルはさらに、前記膜を通して前記作業イオンの通過および前記流体電解質の流動を可能にするように構成される電子的絶縁透過性膜を備えるセパレータを備える、項目 1 に記載のフロースルー再充電可能電気化学セル。

20

(項目 22)

フロースルー再充電可能バッテリーであって、
複数の電気化学セルであって、それぞれ、
カソードおよびアノードを収納するコンテナと、
作業イオンを含む流体電解質と
を備える、複数の電気化学セルと、
閉ループであって、前記閉ループは、前記電気化学セルのコンテナに流体的に接続され、
前記流体電解質を含有する、閉ループと、
ポンプであって、前記ポンプは、前記バッテリーの放電の間に、第 1 の方向に前記閉ループ
および前記電気化学セルを通して前記流体電解質を流動させるように構成される、ポンプ
と
を備える、フロースルー再充電可能バッテリー。

30

(項目 23)

2 ~ 500 個の電気化学セルを備える、項目 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 24)

前記ポンプは、前記バッテリーの充電の間に、前記第 1 の方向と反対の第 2 の方向に前記流体電解質を流動させるように構成される、項目 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

40

(項目 25)

前記電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、前記流体電解質を含有する少なくとも 1 つの内部ループを備え、前記ポンプはまた、前記バッテリーの放電の間に、前記第 1 の方向に前記内部ループを通して前記流体電解質を流動させるように構成される、項目 22 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 26)

前記電気化学セルのコンテナの間に流体的に接続され、前記流体電解質を含有する少なくとも 1 つの内部ループを備え、前記ポンプはまた、前記バッテリーの充電の間に、前記第 2

50

- の方向に前記内部ループを通して前記流体電解質を流動させるように構成される、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 2 7)
- 前記電気化学セルのうちの少なくとも 2 つを電子的に接続する少なくとも 1 つの内部回路を備える、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 2 8)
- 前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、40% ~ 99% の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 2 9)
- 前記電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、40% ~ 99% の気孔率を有する高気孔率ベース材料を含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。 10
- (項目 3 0)
- 前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5% ~ 50% の気孔率を有する、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 1)
- 前記電気化学セルのカソードおよびアノードは両方とも、活性材料でコーティングされる高気孔率ベース材料を含み、5% ~ 50% の気孔率を有する、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 2) 20
- 前記ポンプは、容積式ポンプ、蠕動ポンプ、回転翼型ポンプ、またはプログレッシブキャピティポンプである、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 3)
- 前記ポンプは、0.01 cm / 秒 ~ 100 cm / 秒の線形流率において前記電気化学セルを通して前記流体電解質を圧送するように構成される、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 4)
- 前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、 d が細孔内の平均最大内部距離である、 $1/d \sim 6/d$ の内部表面積対体積比を有する高気孔率材料を含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。 30
- (項目 3 5)
- 前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、八角形、六角形、正方形、長方形、菱形、三角形、卵形、偏球形、または円形断面を伴うセルを備え、0.01 mm ~ 10 mm の平均断面最大内部距離を有する、高気孔率材料を含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 6)
- 前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に前記電極の幅に等しい長さを有する細孔を形成する、項目 3 5 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 7)
- 前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に 2 cm ~ 20 cm の長さを有する細孔を形成する、項目 3 5 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。 40
- (項目 3 8)
- 前記セルは、前記セルの断面と垂直な方向に長さを有する細孔を形成し、前記アノードまたはカソード内の全ての細孔の少なくとも 60%、少なくとも 80%、または少なくとも 90% は、それらの個別の長さに沿って持続的に開放している、項目 3 5 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 3 9)
- 前記電極は、セルを有するスタック、折畳、またはスタックおよび折畳された高気孔率材料の 10 ~ 100 層を備える、項目 3 5 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。
- (項目 4 0) 50

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、高気孔率材料の巻回シートを備える巻回電極である、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 1)

前記高気孔率材料は、金属発泡体または炭素発泡体を含む、項目 4 0 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 2)

前記電気化学セルのカソード、アノード、または両方は、スタック、折畳、またはスタックおよび折畳された織金網の 1 0 ~ 1 0 0 層を備える織金網 (W W M) 電極である、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 3)

前記作業イオンは、アルカリ金属イオンを含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 4)

前記作業イオンは、水素イオン (H +) またはヒドロキシル (O H -) イオンを含む、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 5)

前記電気化学セルのアノードは、前記水素イオンの固溶体を形成するように動作可能な金属を含む、項目 4 3 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

(項目 4 6)

前記電気化学セルはさらに、前記膜を通して前記作業イオンの通過および前記流体電解質の流動を可能にするように構成される電子的絶縁透過性膜を備えるセパレータを備える、項目 2 2 に記載のフロースルー再充電可能バッテリー。

【 図 面 】

【 図 1 A 】

【 図 1 B 】

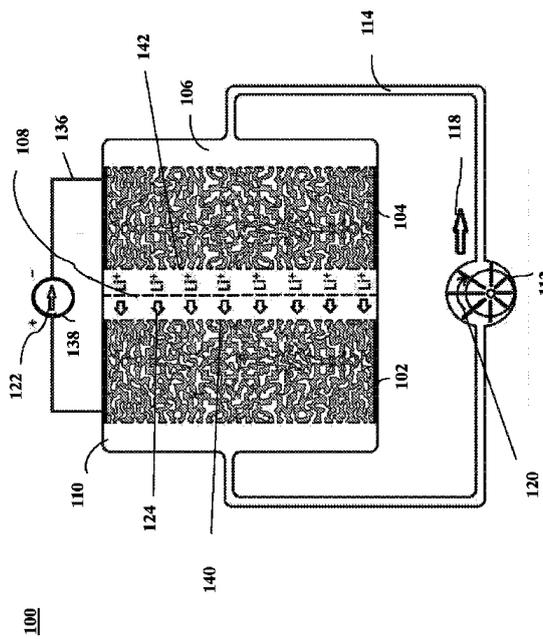


FIG. 1A

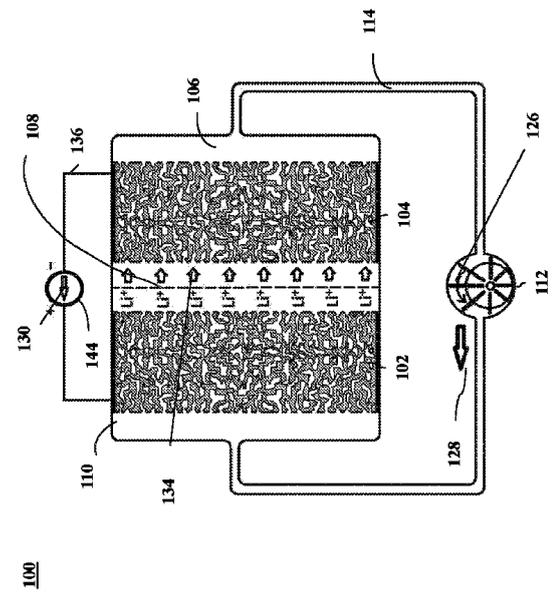


FIG. 1B

10

20

30

40

50

【 図 1 C 】

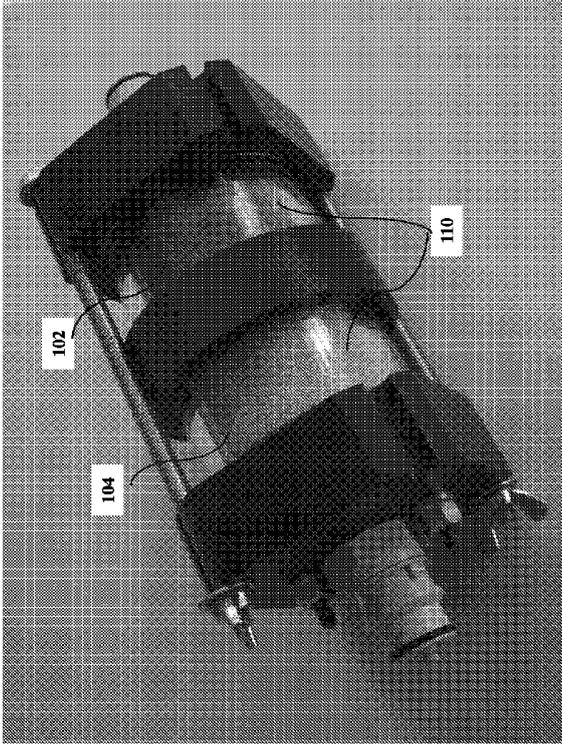


FIG. 1C

【 図 1 D 】

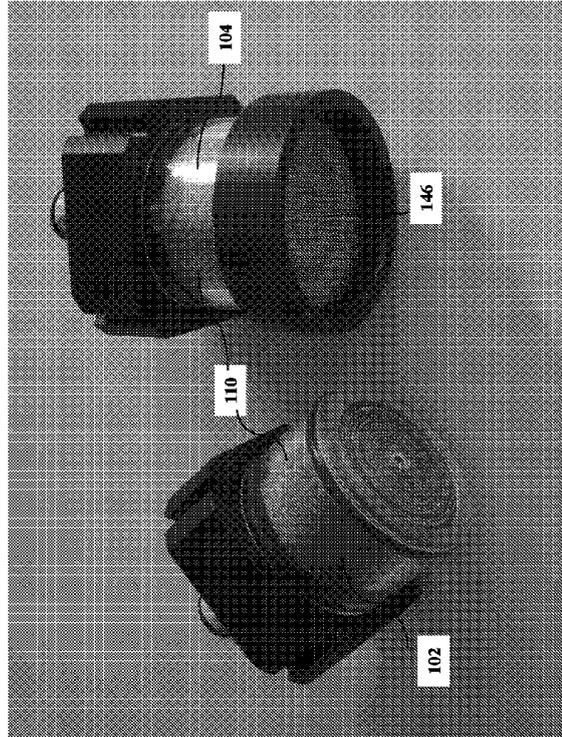
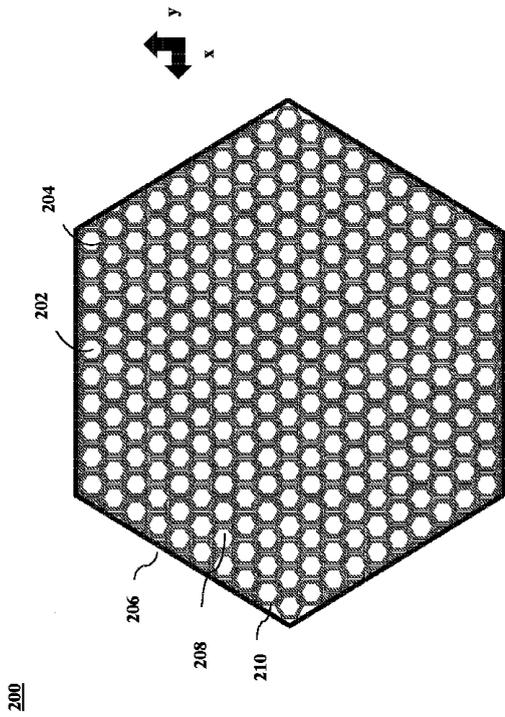


FIG. 1D

10

20

【 図 2 】



200

【 図 3 A 】

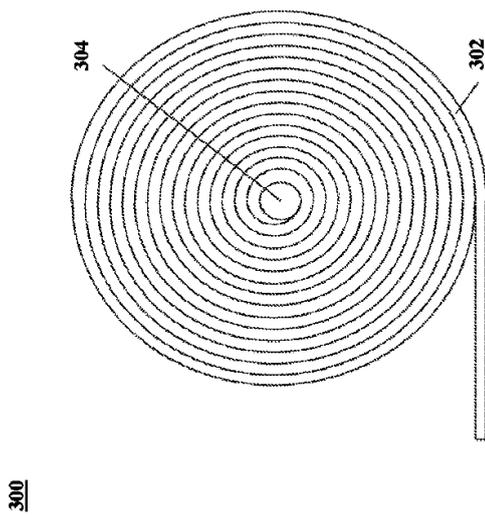


FIG. 2

FIG. 3A

300

30

40

50

【 図 3 B 】

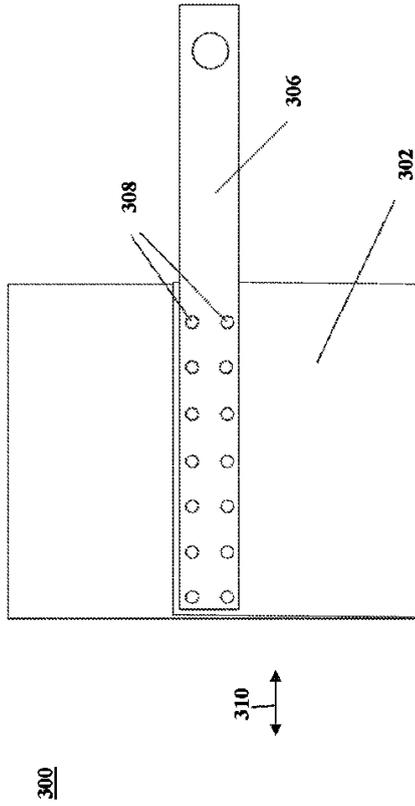


FIG. 3B

【 図 3 C 】

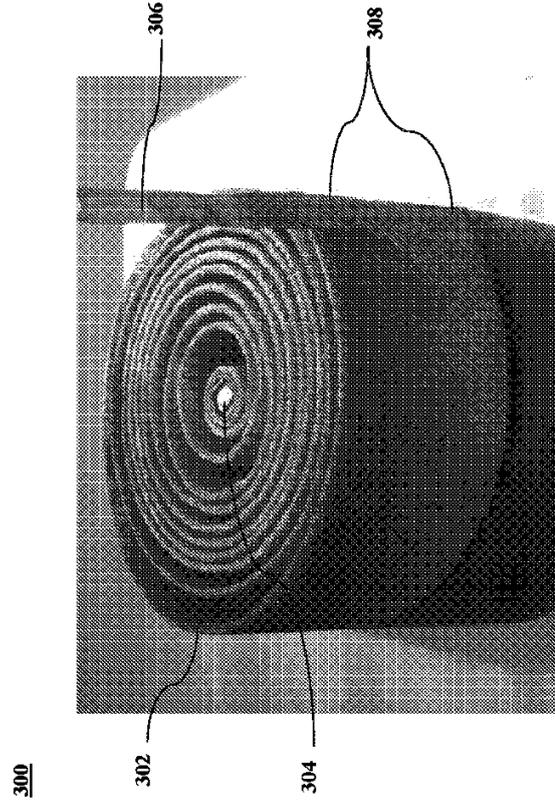


FIG. 3C

10

20

【 図 4 A 】

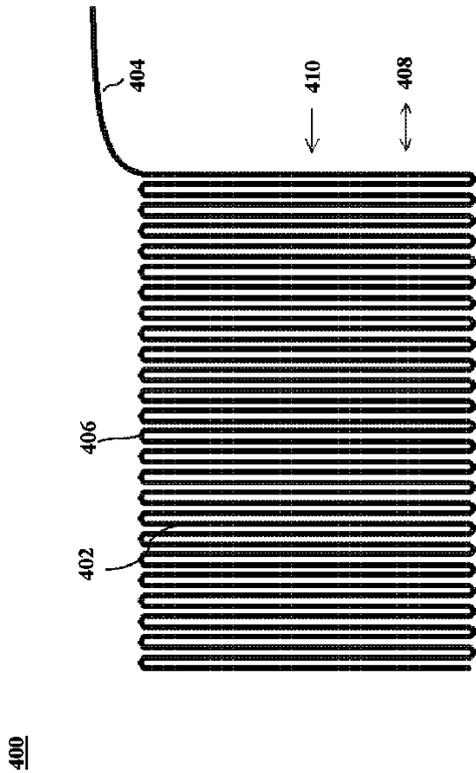


FIG. 4A

【 図 4 B 】

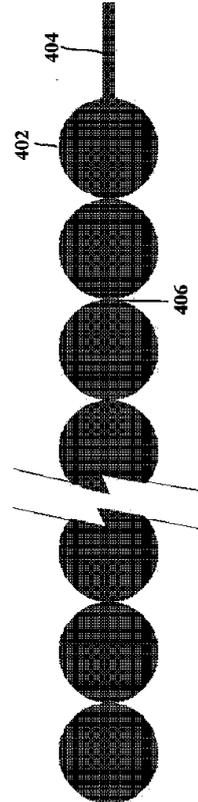


FIG. 4B

30

40

50

【 図 4 C 】

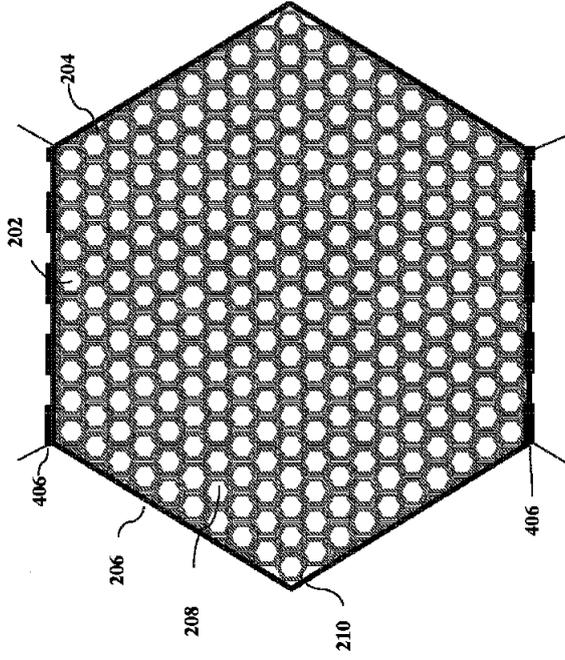


FIG. 4C

【 図 5 】

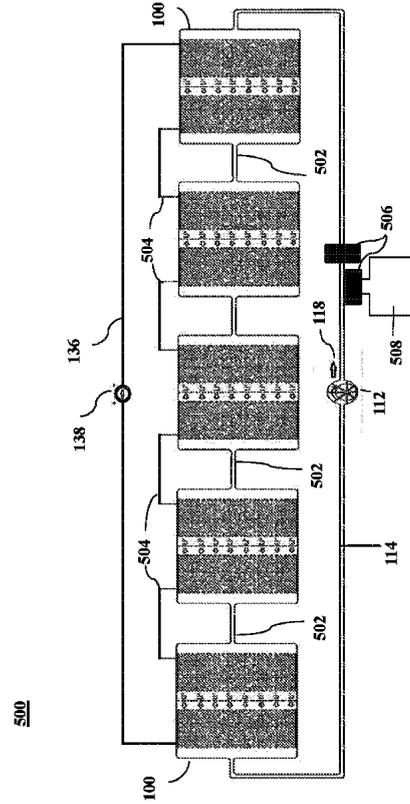


FIG. 5

10

20

【 図 6 】

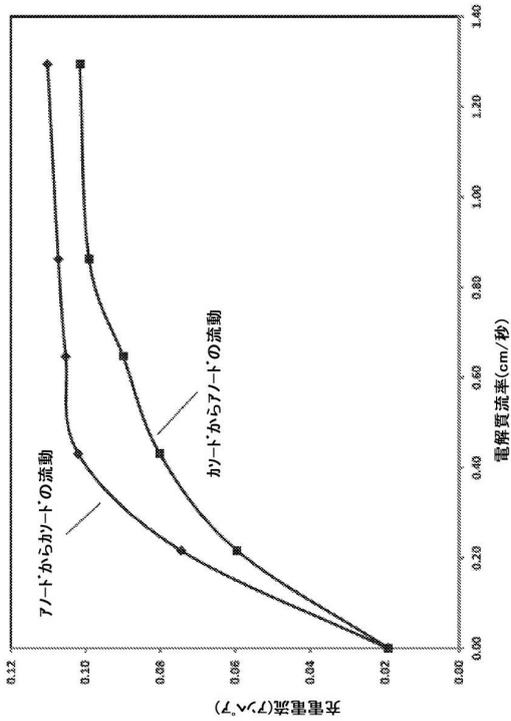


FIG. 6

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 2020736

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC - H01M 10/6568, H01M 4/74 (2020.01)
 CPC - H01M 10/6568, H01M 4/74, H01M 4/747, H01M 4/9041, H01M 4/8605, H01M 4/8657, H01M 2300/0002

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/0082873 A1 (FISCHEL) 05 April 2012 (05.04.2012), Fig 1A; para [0006], [0047], [0064], [0069], [0093]-[0096], [0235]	1, 2, 3a, 3b, 4-9, 17-34, 42-45
Y		13, 16, 38, 41
A		10-12, 14, 15, 35-37, 39, 40
Y	US 5,705,051 A (COIN et al.) 06 January 1998 (06.01.1998), col 4, ln 7-17; col 9, ln 36-37; col 6, ln 30-32	13, 16, 38, 41
A	US 2017/0025897 A1 (PRIMUS POWER CORPORATION) 26 January 2017 (26.01.2017), entire document	1-45

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "D" document cited by the applicant in the international application
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 16 May 2020

Date of mailing of the international search report
 10 JUN 2020

Name and mailing address of the ISA/US
 Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents
 P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450
 Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer
 Lee Young

Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(32)優先日 令和1年7月25日(2019.7.25)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(31)優先権主張番号 62/969,620

(32)優先日 令和2年2月3日(2020.2.3)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(31)優先権主張番号 62/970,156

(32)優先日 令和2年2月4日(2020.2.4)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 シンクレア, ポール リンカーン

アメリカ合衆国 テキサス 78756, オースティン, ショールウッド アベニュー 4708

Fターム(参考) 5H017 AA03 CC28 EE01 EE04 EE05 HH02

5H029 AJ03 AK01 AK03 AL02 AL07 AL08 AL12 AM03 AM04 AM05

AM07 AM16 BJ12 BJ21 HJ00 HJ04 HJ07 HJ09