

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-506927

(P2024-506927A)

(43)公表日 令和6年2月15日(2024.2.15)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 M 10/052(2010.01)	H 0 1 M 10/052	5 H 0 1 1
H 0 1 M 4/38(2006.01)	H 0 1 M 4/38	Z 5 H 0 2 9
H 0 1 M 4/134(2010.01)	H 0 1 M 4/134	5 H 0 5 0
H 0 1 M 4/36(2006.01)	H 0 1 M 4/36	C
H 0 1 M 10/0569(2010.01)	H 0 1 M 10/0569	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全31頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2023-549572(P2023-549572)  
 (86)(22)出願日 令和4年2月15日(2022.2.15)  
 (85)翻訳文提出日 令和5年9月22日(2023.9.22)  
 (86)国際出願番号 PCT/US2022/016484  
 (87)国際公開番号 WO2022/177914  
 (87)国際公開日 令和4年8月25日(2022.8.25)  
 (31)優先権主張番号 63/211,864  
 (32)優先日 令和3年6月17日(2021.6.17)  
 (33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)  
 (31)優先権主張番号 63/150,880  
 (32)優先日 令和3年2月18日(2021.2.18)  
 (33)優先権主張国・地域又は機関 米国(US)  
 (31)優先権主張番号 63/273,026

最終頁に続く

(71)出願人 523172866  
 イオノーベル, インコーポレイテッド  
 IONOBELL, INC.  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5  
 1 3 8, サンノゼ, オプティカルコート  
 5 9 4 1, スイート 1 0 0  
 (74)代理人 110001302  
 弁理士法人北青山インターナショナル  
 (72)発明者 イオネスク, ロバート, シー.  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5  
 1 3 8, サンノゼ, オプティカルコート  
 5 9 4 1, スイート 1 0 0  
 (72)発明者 リュー, チュエ  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5  
 1 3 8, サンノゼ, オプティカルコート

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 シリコンアノード電池

(57)【要約】

電池は、リチウムカソード、シリコンアノード、リチウムカソードとシリコンアノードとの間のセパレータ、および電解質を含むことができる。シリコンアノードは、シリコン粒子が完全にリチウム化されたときの外部体積膨張率が最大約15%であるシリコン粒子を含むことができる。シリコンアノードの容量は、リチウムカソードの容量の約1.05倍~1.5倍とすることができる。

【選択図】 図1

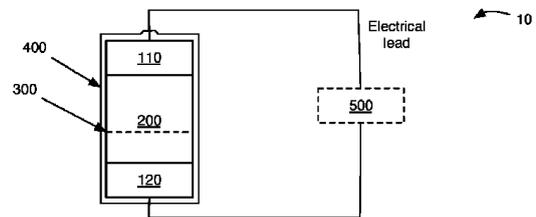


Figure 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電池であって、

- ・リチウムカソードと、
- ・シリコン粒子が完全にリチウム化されたときの外部体積膨張率が最大約 15% であるシリコン粒子を含むシリコンアノードと、
- ・前記シリコンアノードと前記リチウムカソードとの間のセパレータと、
- ・前記リチウムカソードと前記シリコンアノードとの間でイオンを伝導するように構成された電解質とを備えることを特徴とする電池。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の電池において、  
前記シリコン粒子が、少なくとも約  $100 \text{ m}^2 / \text{g}$  の内部表面積と、最大約  $25 \text{ m}^2 / \text{g}$  の外部表面積を有することを特徴とする電池。

10

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の電池において、  
前記シリコン粒子が炭素質材料でコーティングされており、コーティングされたシリコン粒子の表面積が、約  $1 \sim 20 \text{ m}^2 / \text{g}$  であることを特徴とする電池。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の電池において、  
前記炭素質材料が、少なくとも 90% の黒鉛を含むことを特徴とする電池。

20

## 【請求項 5】

請求項 3 に記載の電池において、  
コーティングの厚さが、約  $1 \sim 10 \text{ nm}$  であることを特徴とする電池。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載の電池において、  
前記シリコン粒子が、約  $1 \sim 10$  マイクロメートルのサイズを有することを特徴とする電池。

## 【請求項 7】

請求項 7 に記載の電池において、  
前記シリコン粒子が、互いに融合した約  $2 \sim 100$  ナノメートルのサイズを有する一次粒子を含むことを特徴とする電池。

30

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載の電池において、  
前記シリコン粒子の組成が、炭素約  $2 \sim 10\%$ 、酸素約  $1 \sim 5\%$ 、シリコン約  $85 \sim 97\%$  であることを特徴とする電池。

## 【請求項 9】

請求項 1 に記載の電池において、  
前記電解質が、

- ・フルオロエチレンカーボネートとジメチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、
- ・エチレンカーボネート、ジエチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 0.01 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、
- ・エチレンカーボネートとジメチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、
- ・エチレンカーボネート、ジメチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 0.015 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、
- ・エチレンカーボネート、ジエチルカーボネート、ジメチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 1 : 0.02 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、
- ・DEC とフルオロエチレンカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$ 、または
- ・エチレンカーボネートとジエチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $\text{LiPF}_6$  の

40

50

うちの少なくとも1つを含むことを特徴とする電池。

【請求項10】

請求項1に記載の電池において、

前記リチウムカソードが、リチウムニッケルマンガンコバルト酸化物、リチウムニッケルコバルトアルミニウム酸化物、リチウムマンガン酸化物、リチウム鉄リン酸塩、またはリチウムコバルト酸化物のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする電池。

【請求項11】

電池であって、

- ・リチウムカソードと、
- ・シリコンアノードであって、前記リチウムカソードの容量の約1.05倍～1.5倍の容量を有するシリコンアノードと、
- ・前記シリコンアノードと前記リチウムカソードとの間のセパレータと、
- ・前記リチウムカソードおよび前記シリコンアノードと接触する電解質と、
- ・前記シリコンアノード、前記リチウムカソードおよび前記セパレータを取り囲む筐体とを備えることを特徴とする電池。

【請求項12】

請求項11に記載の電池において、

前記シリコンアノードが、約20%のリチウム化シリコンと、約80%の非リチウム化シリコンとを含むことを特徴とする電池。

【請求項13】

請求項11に記載の電池において、

前記シリコンアノードがシリコン粒子を含み、シリコン粒子が、約5～20m<sup>2</sup>/gの外部表面積と、約50m<sup>2</sup>/gより大きい内部表面積とを有することを特徴とする電池。

【請求項14】

請求項13に記載の電池において、

前記シリコン粒子が、シリカヒュームから製造されたものであることを特徴とする電池。

【請求項15】

請求項13に記載の電池において、

前記シリコン粒子が炭素質コーティングを含み、炭素質コーティングを含まないシリコン粒子の外部表面積が、約10～30m<sup>2</sup>/gであることを特徴とする電池。

【請求項16】

請求項11に記載の電池において、

前記シリコンアノードの組成が、約70%～約85%のシリコン、約15%～30%の炭素であることを特徴とする電池。

【請求項17】

請求項11に記載の電池において、

前記電解質が、固体ゲル電解質、ポリマー電解質またはセラミック電解質のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする電池。

【請求項18】

請求項11に記載の電池において、

前記筐体がパウチを含み、前記パウチが、プラスチック溶接部および金属溶接部を使用して密封され、前記プラスチック溶接部が、前記リチウムカソードまたは前記シリコンアノードから最大約5mmの位置にあることを特徴とする電池。

【請求項19】

請求項11に記載の電池において、

ポリマー固体電解質界面層が前記シリコンアノード上に形成され、前記ポリマー固体電解質界面層が、リチウムエチルカーボネート、リチウムメチルカーボネート、リチウムエチレンジカーボネート、リチウムプロピレンジカーボネート、またはそれらの組合せを含むことを特徴とする電池。

## 【請求項 20】

請求項 11 に記載の電池において、

前記リチウムカソードが、リチウムニッケルマンガンコバルト酸化物、リチウムニッケルコバルトアルミニウム酸化物、リチウムマンガン酸化物、リチウム鉄リン酸塩、またはリチウムコバルト酸化物のうち少なくとも 1 つを含むことを特徴とする電池。

## 【請求項 21】

請求項 11 に記載の電池において、

前記電解質が、

・フルオロエチレンカーボネートとジメチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $LiPF_6$ 、

・エチレンカーボネート、ジエチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 0 . 0 1 の混合物中の  $LiPF_6$ 、

・エチレンカーボネートとジメチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $LiPF_6$ 、

・エチレンカーボネート、ジメチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 0 . 0 1 5 の混合物中の  $LiPF_6$ 、

・エチレンカーボネート、ジエチルカーボネート、ジメチルカーボネートおよびビニレンカーボネートの約 1 : 1 : 1 : 0 . 0 2 の混合物中の  $LiPF_6$ 、

・DEC とフルオロエチレンカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $LiPF_6$ 、または

・エチレンカーボネートとジエチルカーボネートの約 1 : 1 の混合物中の  $LiPF_6$  のうち少なくとも 1 つを含むことを特徴とする電池。

## 【請求項 22】

請求項 11 に記載の電池において、

当該電池の容量が、500 サイクル後に最大 80 % 減少することを特徴とする電池。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、概して電池分野に関し、より具体的には、電池分野における新規かつ有用なシステムおよび方法に関する。

## 【0002】

関連出願に対する相互参照

本出願は、2021年2月18日に提出された米国仮出願第 63 / 150 , 880 号、2021年6月17日に提出された米国仮出願第 63 / 211 , 864 号、並びに、2021年10月28日に提出された米国仮出願第 63 / 273 , 026 号の利益を主張するものであり、それらの出願の各々は、この引用によりその全体が援用されるものとする。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0003】

【図 1】図 1 は、システムの概略図である。

【図 2】図 2 A および図 2 B は、例示的な電池システムの概略図である。

【図 3】図 3 A、図 3 B、図 3 C、図 3 D は、例示的な電池システムの概略図である。

【図 4】図 4 は、例示的なシリコンアノードの概略図である。

【図 5】図 5 A および図 5 B は、SEI 層でコーティングされた例示的なシリコン材料の概略図である。

【図 6】図 6 は、リチウム化シリコンおよび非リチウム化シリコンを含む例示的なシリコンアノードの概略図である。

【図 7】図 7 は、プラスチック溶接部および第 2 の溶接部を含む例示的な電池の概略図である。

【図 8】図 8 A および図 8 B は、タブを含む例示的な電池の概略図である。図 8 C は、例示的なタブレス電池の概略図である。

【図 9】図 9 A ~ 図 9 E は、例示的なシリコン粒子の概略図である。

**【発明を実施するための形態】****【0004】**

本発明の好ましい実施形態についての以下の説明は、本発明をそれらの好ましい実施形態に限定することを意図したのではなく、当業者が本発明を製造および使用できるようにすることを意図したものである。

**【0005】****1. 概要**

図1に示すように、システム10は、電極100（例えば、アノード110、カソード120）および電解質200を含むことができる。このシステムは、任意選択的に、セパレータ300、コネクタ、ハウジング400および/または任意の適切なコンポーネントを含むことができる。

10

**【0006】**

電池システム10は、好ましくは、電力を生成または製造し、かつ/または電力を1または複数の負荷500に提供または供給するように機能する（例えば、電力を別の形態のエネルギーに変換するなど、電力を消費するように機能することができる）。電力は、典型的には、2つの電極間に存在する電気化学ポテンシャルから得られる。電力は、好ましくは、1または複数のコネクタによって供給される。コネクタの例としては、誘導コイル（例えば、無線電気伝送を容易にするため）、ワイヤ、金属パッド、フレーム、ボール、ピンおよび/または任意の適切なコネクタが挙げられる。負荷は、抵抗性負荷、容量性負荷、誘導性負荷および/または任意の適切な1または複数の負荷とすることができる。いくつかの例では、これに限定されるものではないが、特にシステムがフレキシブルである場合、電池システム（および/または負荷）は、IoTデバイス、医療デバイス、電気車両（例えば、電気自動車、電気自転車、電気スクータ、電気トラック、電気飛行機など）、および/または任意の適切な1または複数のアプリケーションに統合することができる。

20

**【0007】****2. 利点**

本技術の態様は、いくつかの利益および/または利点を与えることができる。

**【0008】**

第一に、本技術の態様は、シリコン材料を含む電池が、著しい劣化（例えば、 $< 0.1\%$ 、 $0.1\%$ 、 $0.5\%$ 、 $1\%$ 、 $2\%$ 、 $5\%$ 、 $10\%$ 、 $15\%$ 、 $20\%$ 、 $25\%$ 、 $30\%$ 、それらの間の値または範囲など、多数の充放電サイクルが実行された後の電池容量、開回路電圧、充電状態などの変化）を伴わずに多数（例えば、 $> 10$ 、 $> 50$ 、 $> 100$ 、 $> 500$ 、 $> 1000$ 、 $> 5000$ 、 $> 10000$ 、 $> 50000$ 、 $> 100000$ など）のサイクルを受けることを可能にする。本技術の実施例は、シリコン材料上に安定したSEI層を形成することによって、かつ/またはシリコン材料の膨張中にSEI層が無傷のまま（例えば、クラックが入らない）ように、外部膨張体積が小さいシリコン材料を使用することによって、多数のサイクルを可能にすることができる。

30

**【0009】**

本技術の第2の態様は、高エネルギー密度および高速充電の電池を可能にすることができる。具体例では、図3Aに示すように、電池システムは、シリコンベースのアノード（例えば、高エネルギー密度を促進するため）と、リチウム金属アノード（例えば、高速充電を促進するため）とを含むことができる。

40

**【0010】**

しかしながら、本技術の態様は、他の任意の好適な利益および/または利点を与えることができる。

**【0011】**

本明細書で使用される場合、「実質的に」または他の近似語（例えば、「約」、「およそ」など）は、メトリック、コンポーネントまたは他の基準の予め設定された誤差閾値または許容誤差内（例えば、基準の $0.001\%$ 以内、 $0.01\%$ 以内、 $0.1\%$ 以内、 $1$

50

%以内、5%以内、10%以内、20%以内、30%以内など)であるか、または他の方法で解釈される。

#### 【0012】

### 3. システム

図1に示すように、システム10は、電極100(例えば、アノード110、カソード120)および電解質200を含むことができる。このシステムは、任意選択的に、セパレータ300、ハウジング400、コネクタおよび/または任意の適切なコンポーネントを含むことができる。電池システム10は、好ましくは、電力を生成または製造し、かつ/または電力を1または複数の負荷に提供または供給するように機能する(例えば、電力を別の形態のエネルギーに変換するなど、電力を消費するように機能することができる) 10。電池システムは、好ましくは二次セル(例えば、各電極がアノードまたはカソードとして動作することができるような充電可能な電池システム)であるが、追加的または代替的には、一次セル、双極セルおよび/または任意の適切な電池セルを形成することができる。電池システムは、好ましくは、約2.5V~5V(および/またはその中に含まれる範囲、例えば、2.5~4.2V、2.7V~4.2V、2.5~4V、2.7~3.8V、2.7~4.3Vなど)で作動(例えば、サイクル)されるが、任意の適切な電圧間(例えば、2.5V未満または5V超)でサイクルされ得る。いくつかの態様では、動作電圧の範囲を制限することによって、電池システムの安定性および/または寿命(例えば、著しい劣化が生じるまでのサイクル数、重大な電池故障が生じるまでのサイクル数など) 20を改善することができる。電池システムを作動させることができる電圧範囲は、電極材料、電極容量、電極厚さ、負荷、プログラムされた(または他の方法で指定された)電圧範囲および/または任意の適切な特性によって異なり得る。

#### 【0013】

システムのコンポーネントは、固体状態、流体状態(例えば、液体、プラズマ、ガスなど)、ゲル状態、状態の組合せ(例えば、臨界点、混合状態、第1の状態にある1つのコンポーネントと第2の状態にある別のコンポーネントなど)であってもよく、かつ/または任意の適切な物質の状態を有することができる。得られる電池は、固体構造、Li金属構造(例えば、リチウムイオン電池またはリチウムポリマー電池)、金属-空気構造(例えば、シリコン-空気電池)、および/または他の任意の適切な構造を有することができる。得られる電池は、剛体、可撓性であってもよく、かつ/または他の任意の適切な剛性 30を有することができる(例えば、コンポーネントの厚さ、数、可撓性、剛性、物質の状態、弾性などを、所望の剛性を達成するように選択することができる)。得られる電池は、パウチセル、円筒形セル、角柱形セルとすることができ、かつ/または他の任意の適切なフォームファクタを有することができる。

#### 【0014】

電極100は、好ましくは、イオン(例えば、電子)を生成し、回路の他の部分(例えば、負荷)に接触するように機能する。電池システムは、好ましくは、少なくとも2の電極(例えば、アノードおよびカソード)を含むが、任意の数の電極を含むことができる。カソードとアノードの数は等しくてもよく、アノードがカソードより多くてもよく、カソードがアノードより多くてもよい。例えば、電池は、1、2、3、4、5、6、10、2 400、50、100、それらの間の値または範囲、および/または他の任意の適切な数のアノードおよび/またはカソードを含むことができる。アノードおよび/またはカソードは、片面、両面、および/または他の構成とすることができる。電池が複数のアノードおよび/またはカソードを含む場合、アノードおよびカソードは、好ましくは交互に配置される(例えば、電極スタックにおいて交互に配置される)が、代替的には、カソードおよび/またはアノードは、一緒にグループ化されるか、または積み重ねられ、かつ/または他の方法で配置されることができる(例えば、単一のカソードを、セルの幾何学的形状によって決定される複数のアノードで囲むことができる)。複数のアノードの各アノードは、同じ(例えば、同じ材料、仕様許容範囲内の同じ物理的特性、同じ電気的特性など)であ 50るか、または異なる(例えば、異なる材料、異なる物理的特性、異なる電気的特性などで

ある)ことができる。複数のカソードの各カソードは、同じ(例えば、同じ材料、仕様許容範囲内の同じ物理的特性、同じ電気的特性など)であるか、または異なる(例えば、異なる材料、異なる物理的特性、異なる電気的特性など)である)ことができる。第1の実施例では、図2Aに示すように、電池システムが、電解質を挟んでリチウムカソードと反対側に位置するリチウム金属アノードを含むことができ、リチウムカソードは、電解質を挟んでシリコンアノードの反対側に位置することができる(例えば、各アノードおよびカソードのペア間に、同じまたは異なる電解質を使用することができる)。図2Bに示すような第2の実施例では、第1のリチウムカソードが電解質を挟んでシリコンアノードの反対側に位置することができ、シリコンアノードが電解質を挟んで第2のリチウムカソードの反対側に位置することができる。しかしながら、電極を他の方法で配置することもできる

10

#### 【0015】

各電極は、好ましくは集電体と接触しており、集電体は電子を収集および輸送するように機能する。集電体は、各電極ごとに異なっても同じであってもよい。集電体は、好ましくは導電性であるが、半導電性であるか、かつ/または任意の適切な導電性を有することができる。集電体は、ワイヤ、プレート、箔、メッシュ、発泡体、エッチングされた材料、コーティングされた材料であるか、かつ/または任意の形態を有することができる。例示的な集電体材料としては、アルミニウム、銅、ニッケル、チタン、ステンレス鋼、炭素質材料(例えば、カーボンナノチューブ、黒鉛、グラフェンなど)、真鍮、ポリマー(例えば、PPy、PANi、ポリチオフェンなどの導電性ポリマー)、それらの組合せ、および/または任意の適切な材料が挙げられる。集電体は、電極に固定され、電極に接着され、電極にはんだ付けされ、電極と一体化され(例えば、電極の基板と同一の広がり

20

#### 【0016】

各電極は、層状材料、同一の広がりを有する材料(例えば、単結晶または多結晶)、薄膜(例えば、1nm~100μmの厚さおよび/またはその中の任意の値または部分範囲)、厚膜(例えば、100μmを超える厚さ)、および/または任意の適切な形態を有することができる。層の数は、目標比エネルギー、充電速度、放電速度、コスト、重量、容量(例えば、比容量)、厚さ、電池温度(例えば、負荷近傍の周囲温度、予想動作温度、電池の局所温度、負荷温度など)、セルのばらつき、および/または電極の他の特性に基づいて決定することができる。例えば、電極は、1~100の層を含むことができる。しかしながら、電極は100を超える層を含むこともできる。

30

#### 【0017】

各電極の厚さは、約1μm~1cmの間の任意の適切な値または範囲(1μm、2μm、5μm、10μm、20μm、50μm、100μm、200μm、500μm、1mm、2mm、5mm、1cmなど)、1μm未満の厚さ、および/または1cmを超える厚さとすることができる。各層の厚さは同一および/または異なり得る。例えば、アノードは、カソードの厚さの0.1倍、0.2倍、0.5倍、0.8倍、0.9倍、1倍、1.05倍、1.1倍、1.2倍、1.5倍、2倍、2.1倍、2.2倍、2.5倍、3倍、5倍、10倍にほぼ等しい厚さ、またはそれらの間の値を有することができる。この例の態様では、それらの比は、アノードの容量をカソードに関連付けることができる(例えば、アノードの厚さは、mAh/cm<sup>2</sup>の単位などのカソード容量の比にアノード容量を一致させる厚さを有するように決定することができる)。より厚いアノード(例えば、カソード容量に一致させるのに必要な厚さよりも厚いアノード)を有することは、例えば、カソードが(例えば、放電中に)アノードに物質を移動させるときに、アノードおよびカソードが一致する容量を有する場合ほどアノードが膨張しない可能性があるため、有益であり得る。この利点は、例えば、容量の大きいアノード材料(シリコンなど)を使用することによって実現することができる。しかしながら、より厚いアノードは、他の方法で有益であり、かつ/または実現される可能性がある。

40

#### 【0018】

50

N/P比（例えば、カソードに対するアノードの線形容量、面積容量、体積容量、総容量などの容量比）は、好ましくは約0.5~2（例えば、0.5、0.6、0.75、0.9、1、1.05、1.1、1.15、1.2、1.25、1.3、1.35、1.4、1.45、1.5、1.6、1.7、1.75、1.8、1.9、2、それらの間の値または範囲など）であるが、0.5未満または2より大きくてもよい。より大きなN/P比は、アノードの安定性を高めるために有益であり得る（例えば、アノードは、より小さなN/P比を有する電池と比較して、リチウム化が少なく、体積膨張が少ないため）。N/P比（例えば、最適なN/P比）は、アノード材料（または粒子サイズ、外部膨張係数などのその特性）、カソード材料（またはその特性）、電池安定性（例えば、目標安定性）、電池サイクル（例えば、目標サイクル数、最小サイクル数など）、エネルギー密度、電圧範囲、電極厚さ、温度、セルのばらつき、層数、電解質組成に基づいて選択することができ、かつ/または他の方法で選択または調整することができる。

10

**【0019】**

例示的な実施例では、約4.3mAh/cm<sup>2</sup>の容量を有するカソード（例えば、NMC、LCO、LMOなどのカソード）に対して、アノード（例えば、シリコンアノード）は、約8.6mAh/cm<sup>2</sup>（例えば、8.6±0.5mAh/cm<sup>2</sup>、8.6±0.8mAh/cm<sup>2</sup>など）の容量を有することができる。第1の実施例では、アノードの約半分（例えば、約40~60%）がリチウム化され得る（例えば、カソードを放電する前；これはアノード容量を約半分にする）。第2の実施例では、約4.3mAh/cm<sup>2</sup>の容量を有するカソードに対して、アノードは約6.4±0.5mAh/cm<sup>2</sup>の容量を有することができる。第2の実施例では、アノードの約20~30%をリチウム化することができる。しかしながら、アノードおよび/またはカソードは、他の方法で適合させることができる。第1および/または第2の実施例の態様では、アノード材料のリチウム化されない部分が、カソードの容量と一致する容量を有することが好ましい（例えば、アノードのリチウムによるメッキを妨げるかまたは最小限にするため）。しかしながら、カソードおよび/またはアノードは、（例えば、アノード材料の容量、アノード配合負荷などに応じて）他の方法で適合させることができる。

20

**【0020】**

各電極は、単一の活性表面、2つの活性表面（例えば、上面および下面）を有することができる。露出表面のすべてまたは任意の部分の周囲で活性とすることができ、かつ/または任意の適切な数の活性表面を有することができる。ここで、活性表面は、別の電極に（例えば、電解質を介して）結合された表面、外部負荷に（例えば、集電体を介して）結合された表面、および/または他の方法で定義された表面を指すことができる。

30

**【0021】**

各電極は、好ましくはほぼ同じ容量（例えば、±1%、±2%、±5%、±10%、±20%などの範囲内）を有する。しかしながら、電極は異なる容量を有することもできる。例えば、アノードは、カソード容量（例えば、mAh/cm<sup>2</sup>の単位）の0.1倍、0.2倍、0.5倍、0.8倍、0.9倍、1倍、1.05倍、1.1倍、1.2倍、1.5倍、2倍、2.1倍、2.2倍、2.5倍、3倍、5倍、10倍にほぼ等しい容量、および/またはそれらの間の値を有することができる。しかしながら、アノードは、カソード容量の0.1倍未満または10倍を超える容量を有することができる。カソードよりも大きな容量を有するアノードを有することは、アノードの安定性を変更（例えば、改善）すること、アノードの膨張を変更（例えば、制御）すること、カソードからのアノードメッキの量を変更（例えば、減少）することに有益となり得、かつ/または別の方法で有益となり得る。各電極容量は、電極厚さ、電極材料、電極ドーピング、電解質、電極ドーピング、電極形態（例えば、気孔率、気孔容積、気孔分布など）、電極基板、および/または任意の適切な特性に基づいて、制御または変更することができる。

40

**【0022】**

電極基板130（例えば、集電体）は、好ましくは金属（例えば、アルミニウム、銅、銀、金、ニッケル、それらの合金、または上記元素を組み込んだものなど）であるが、追

50

加的または代替的には、炭素質基板および/または任意の適切な1または複数の基板を含むことができる。基板の厚さは、好ましくは約5~20 $\mu\text{m}$ である。しかしながら、基板の厚さは20 $\mu\text{m}$ より厚くても、5 $\mu\text{m}$ より薄くてもよい。実施例では、アノード基板を厚さ9~16 $\mu\text{m}$ の銅箔とすることができる。第2の実施例では、カソード基板を厚さ9~20 $\mu\text{m}$ のアルミニウム箔とすることができる。しかしながら、任意の基板を使用することができる。

#### 【0023】

アノード110は、電池の放電中に、電子を外部回路(例えば、負荷)に放出するように機能する。アノードは、好ましくは、電解質によってカソードにイオンの結合され(アノードが電解質と物理的に接触している場合)、負荷によってカソードに(例えば、コネクタ、リード線を介して、閉回路動作中などに)電氣的に結合され得るが、他の方法で任意の適切なコンポーネントに電氣的に結合され得る。アノードは、キャスト、成長、堆積、成形および/または他の方法で製造することができる。

10

#### 【0024】

アノード材料は、好ましくは多孔質であるが、中実、中空、および/または任意の適切な構造を有することができる。アノード材料の多孔質の性質は、好ましくは、アノード材料内での内部膨張を可能にするが、他の方法で機能することもできる。アノード材料内において、粒子は協働して、クラスタ内に細孔(例えば、開いた内部容積、ポイド空間など)を形成することができる(かつ/または一次粒子から二次粒子を形成することができる)、細孔は、粒子の特徴的なサイズ分布(例えば、分布形状、分布サイズなど)により、粒子充填後に残るポイド空間(例えば、不完全な充填効率、最適でない充填効率など)から生じ、粒子どうしが融合することから生じ(例えば、融合粒子の内部に、細孔、開空間などを閉じ込めるため)、かつ/または他の方法で生じ得る。アノード材料の気孔率は、好ましくは約5%~90%であるが、5%未満であっても、90%を超えるものであってもよい。気孔率は、アノード形態(例えば、粒子サイズ、特性サイズ、形状など)、アノード材料源、アノード材料中の不純物、および/または任意の適切な特性に依存し得る。アノード材料の細孔容積は、好ましくは約0.02~2 $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ であるが、0.02 $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ 未満であっても、2 $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ を超えるものであってもよい。アノード材料の細孔サイズは、好ましくは約0.5~200 $\text{nm}$ であるが、0.5 $\text{nm}$ より小さくても、200 $\text{nm}$ より大きくてもよい。細孔サイズ分布(例えば、多孔質粒子内の細孔サイズ分布、細孔間に協働的に規定される細孔サイズ分布など)は、約0.1 $\text{nm}$ ~約5 $\mu\text{m}$ 、例えば、0.2 $\text{nm}$ 、0.5 $\text{nm}$ 、1 $\text{nm}$ 、2 $\text{nm}$ 、5 $\text{nm}$ 、10 $\text{nm}$ 、20 $\text{nm}$ 、25 $\text{nm}$ 、30 $\text{nm}$ 、40 $\text{nm}$ 、50 $\text{nm}$ 、75 $\text{nm}$ 、100 $\text{nm}$ 、150 $\text{nm}$ 、200 $\text{nm}$ 、300 $\text{nm}$ 、400 $\text{nm}$ 、500 $\text{nm}$ 、750 $\text{nm}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、1.5 $\mu\text{m}$ 、2 $\mu\text{m}$ 、3 $\mu\text{m}$ 、4 $\mu\text{m}$ および/または5 $\mu\text{m}$ の細孔サイズ(平均サイズ、平均径など)を有することができる。しかしながら、細孔サイズは0.1 $\text{nm}$ 未満および/または5 $\mu\text{m}$ を超えるものであってもよい。細孔サイズ分布は、単峰性、双峰性、多峰性、および/または任意の適切な数のモードを有することができる。具体例では、細孔サイズ分布を、ガウス分布、ローレンツ分布、ポイト分布、一様分布、緩和一様分布、三角分布、ワイブル分布、ベキ乗分布、対数正規分布、対数双曲線分布、スキュー対数ラプラス分布、非対称分布、スキュー分布および/または任意の適切な分布によって(例えば、近似して)表すことができる。

20

30

40

#### 【0025】

アノード材料の外面は、好ましくは実質的に密封される(例えば、外部環境が外面に浸透するのを妨げるかまたは防止する)。しかしながら、外面を部分的に密封することができる(例えば、外部環境が所定の速度で表面に浸透するのを許容し、外部環境から1または複数の種が表面に浸透するのを許容し)、かつ/または開放することができる(例えば、多孔質とすることができる、貫通孔を含むことができる)。外面は、アノード材料の厚さまたは深さによって規定され得る。厚さは、好ましくは約1 $\text{nm}$ ~10 $\mu\text{m}$ (例えば、1 $\text{nm}$ 、2 $\text{nm}$ 、3 $\text{nm}$ 、5 $\text{nm}$ 、10 $\text{nm}$ 、20 $\text{nm}$ 、50 $\text{nm}$ 、100 $\text{nm}$ 、200 $\text{nm}$ 、

50

m、500nm、1 $\mu$ m、2 $\mu$ m、5 $\mu$ m、10 $\mu$ m、それらの間の値など)であるが、1nm未満であっても、10 $\mu$ mを超えるものであってもよい。厚さは均一(例えば、外面の周りでほぼ同じ)であっても、不均一(例えば、外面の周りで異なる)であってもよい。具体例では、外面は、溶接、融着、溶融(および再固化)することができ、かつ/または任意の形態を有することができる。

#### 【0026】

アノードおよび/またはアノード材料の外面(例えば、粒子の外面、粒子のクラスタの外面、粒子および/またはクラスタの凝集体の外面など)の表面積は、好ましくは小さい(例えば、約0.01、0.5m<sup>2</sup>/g、1m<sup>2</sup>/g、2m<sup>2</sup>/g、3m<sup>2</sup>/g、5m<sup>2</sup>/g、10m<sup>2</sup>/g、15m<sup>2</sup>/g、20m<sup>2</sup>/g、25m<sup>2</sup>/g、30m<sup>2</sup>/g、50m<sup>2</sup>/g未満、それらの間の値または範囲である)が、大きくてもよく(例えば、50m<sup>2</sup>/g、75m<sup>2</sup>/g、100m<sup>2</sup>/g、110m<sup>2</sup>/g、125m<sup>2</sup>/g、150m<sup>2</sup>/g、175m<sup>2</sup>/g、200m<sup>2</sup>/g、300m<sup>2</sup>/g、400m<sup>2</sup>/g、500m<sup>2</sup>/g、750m<sup>2</sup>/g、1000m<sup>2</sup>/g、1250m<sup>2</sup>/g、1400m<sup>2</sup>/gより大きい)、かつ/または任意の適切な値であってもよい。

10

#### 【0027】

アノード材料の内部の表面積(例えば、外面によって外部環境と隔てられた内部環境に曝されている表面、外面を横切って外部環境と流体連通している内部環境に曝されている表面、内部表面など、例えば、粒子内、粒子間、粒子のクラスタ間、凝集体間に協働的に規定される表面など)は、好ましくは大きい(例えば、10m<sup>2</sup>/g、15m<sup>2</sup>/g、20m<sup>2</sup>/g、25m<sup>2</sup>/g、30m<sup>2</sup>/g、50m<sup>2</sup>/g、75m<sup>2</sup>/g、100m<sup>2</sup>/g、110m<sup>2</sup>/g、125m<sup>2</sup>/g、150m<sup>2</sup>/g、175m<sup>2</sup>/g、200m<sup>2</sup>/g、300m<sup>2</sup>/g、400m<sup>2</sup>/g、500m<sup>2</sup>/g、750m<sup>2</sup>/g、1000m<sup>2</sup>/g、1250m<sup>2</sup>/g、1400m<sup>2</sup>/gより大きい)、かつ/または任意の適切な値とすることができる。

20

#### 【0028】

いくつかの態様では、表面積がブルナウアー-エメット-テラー(BET)表面積を指すことができる。しかしながら、表面積の任意の定義、理論および/または測定を使用することができる。

30

#### 【0029】

アノード材料は、好ましくは、最大40%(例えば、最大0%、0.1%、0.5%、1%、2%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、-40%、-30%、-25%、-20%、-15%、-10%、-5%、-2%、-1%、-0.5%、-0.1%など、またはここに規定される範囲内)の外部膨張(例えば、外部線形膨張、外部体積膨張など)を受けるが、他の膨張が内部膨張(例えば、内部体積膨張)である。しかしながら、アノード材料は、40%を超える外部膨張を受けることができる。膨張源の例には、熱膨張、膨潤(例えば、溶媒または電解質の吸収による膨張)、原子またはイオンの置換、原子またはイオンのインターカレーション(例えば、金属化、リチウム化、ナトリウム化、カリウム化など)、静電効果(例えば、静電反発、静電引力など)、および/または任意の適切な膨張源が含まれる。

40

#### 【0030】

アノード材料は、粒子114(例えば、ナノ粒子、メソ粒子、マイクロ粒子、マクロ粒子など)、フィルム、および/または任意の適切なコンポーネントおよび/または形態を含むことができる。アノード材料の特徴的なサイズは、好ましくは、約1nm~約1000nmであり、例えば、2nm、5nm、10nm、20nm、25nm、30nm、50nm、75nm、100nm、125nm、150nm、175nm、200nm、

50

250 nm、300 nm、400 nm、500 nm、1000 nm、1500 nm、2000 nm、5000 nm、それらの間の値または範囲、および/または他のサイズなどである。しかしながら、特徴的なサイズは、追加的または代替的には、約1 nm未満および/または約10000 nmより大きくてもよい。具体例において、特徴的なサイズは、粒子の半径、直径、円周、最長寸法、最短寸法、長さ、幅、高さ、細孔サイズ、シェル厚、膜厚、および/または任意のサイズまたは寸法を含むことができる。粒子の特徴的なサイズは、サイズ分布上に分布することが好ましい。サイズ分布は、実質的に均一な分布（例えば、所与の特性サイズを有する粒子の数または数密度がほぼ一定であるような、緩和一様分布、ボックス分布など）、ワイブル分布、正規分布、対数正規分布、ローレンツ分布、ポイト分布、対数双曲線分布、三角分布、対数ラプラス分布、および/または任意の適切な分布であり得る。 10

#### 【0031】

粒子サイズ分布は、狭いこと（例えば、全幅半値（FWHM）が約1 nm、5 nm、10 nm、20 nm、50 nm、100 nm、500 nm、1 μm、5 μm、それらの間の値などより小さく、標準偏差が約1 nm、5 nm、10 nm、20 nm、50 nm、100 nm、500 nm、1 μm、5 μm、それらの間の値などより小さく、標準偏差などのサイズパラメータが分布の平均値よりも小さく、標準偏差、分散、分布の高次モーメント、スキュー、尖度などのサイズパラメータが、平均値、低次モーメント、最頻値、中央値などの最大0.1%、0.5%、1%、2%、5%、10%、20%であること）が好ましいが、広くすることもでき、かつ/または任意の適切なサイズ分布を有することができる。 20

#### 【0032】

粒子の形状は、球状（例えば、図9Aまたは図9Cに示すような球形、楕円体など）、ロッド、プレートレット、スター、ピラー、バー、チェーン、花、リーフ、ウイスカ、ファイバ、ボックス、多面体（例えば、図9Eに示すように、立方体、直方体、三角柱など）であってもよく、ワームのような形態（例えば、図9Bに示すように、蠕虫状など）を有することができ、泡のような形態を有することができ、卵殻のような形態を有することができ、破片のような形態（例えば、図9Dに示すような形態）を有することができ、かつ/または任意の適切な形態を有することができる。

#### 【0033】

粒子は、自立するもの、クラスタ化、凝集、造粒、相互連結（例えば、融着、溶着など）したものであってもよく、かつ/または任意の適切な関係もしくは1または複数の接続を有することができる。例えば、粒子（例えば、一次構造）は、協働的に二次構造（例えば、クラスタ）を形成することができ、それらは協働的に三次構造（例えば、凝集体）を形成することができる。一次構造の特徴的なサイズ（例えば、半径、直径、最小寸法、最大寸法、円周、長手方向の広がり、横方向の広がり、高さなど）は、約2 ~ 150 nmであり得る。二次構造の特徴的なサイズは、100 nm ~ 10 μmであり得る。三次構造の特徴的なサイズは、約1 μm ~ 100 μmであり得る。実施例において、二次粒子（例えば、約1 ~ 10マイクロメートルのサイズを有する）は、（例えば、一次粒子を粉砕した結果として）互いに融合した一次粒子（例えば、約10 nm ~ 1 μmのサイズ、10 nm ~ 100 nmのサイズのもの）を含むことができる。この実施例の一態様では、二次粒子が凝集して凝集体（例えば、三次粒子）を形成することができる。しかしながら、一次、二次および/または三次構造は、任意の適切な範囲を有することができる。 30 40

#### 【0034】

アノードは、好ましくは、シリコン材料112（例えば、2020年11月13日に出願された「POROUS SILICON MANUFACTURED FROM FUMED SILICA」という名称の米国特許出願第17/097,814号、2021年11月12日に提出された「SILICON MATERIAL AND METHOD OF MANUFACTURE」という名称の米国特許出願第17/525,769号、および/または2021年5月25日に提出された「SILICON MATERI 50

AL AND METHOD OF MANUFACTURE」という名称の米国仮出願第63/192,688号に開示されたシリコン材料)を含むことができる(それら出願の各々は、この引用によりその全体が援用されるものとする)。しかしながら、アノードは、追加的または代替的に、黒鉛粉末(例えば、人造黒鉛、天然黒鉛)、リチウムチタン酸化物、活性炭、炭素質材料(例えば、ナノ構造炭素質材料)、金属酸化物、金属窒化物、金属硫化物、金属リン化合物、シリコン、ゲルマニウム、スズ、リン、アンチモン、インジウム、リチウム金属111、および/または任意の適切なアノード材料を含むことができる。アノードは、好ましくは、少なくとも約50%(例えば、重量比、体積比、化学量論比など)のシリコンであるが、50%未満のシリコンであってもよい。

#### 【0035】

アノード材料は、1または複数のドーパント117を含むことができる。1または複数のドーパントは、好ましくは、結晶性元素(炭素、ゲルマニウム、スズ、鉛などの第14族元素、アダマントゲン、IV族元素とも呼ばれる)である。しかしながら、1または複数のドーパントは、追加的または代替的に、カルコゲン(例えば、酸素、硫黄、セレン、テルルなど)、プニクトゲン(例えば、窒素、リン、ヒ素、アンチモン、ビスマスなど)、第13族元素(ホウ素、アルミニウム、ガリウム、インジウム、タリウムなど、III族元素とも呼ばれる)、ハロゲン(例えば、フッ素、塩素、臭素、ヨウ素など)、アルカリ金属(例えば、リチウム、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウムなど)、アルカリ土類金属、遷移金属、ランタニド、アクチニドおよび/または任意の適切な材料を含むことができる。ドーパント濃度(例えば、質量濃度、純度濃度、原子濃度、化学量論的濃度、体積濃度など)は、好ましくは、最大約45%(例えば、45%、40%、30%、25%、20%、15%、10%、5%、2%、1%、0.5%、0.1%、2~10%、5~15%、8~12%、15~25%、10~30%、それらの間の値または範囲など)であるが、アノード材料組成(例えば、粒子組成)の45%を超えることもできる。

#### 【0036】

アノードには、好ましくは、 $0.1\text{ mg/cm}^2 \sim 50\text{ mg/cm}^2$ のアノード材料が充填されるが、 $0.1\text{ mg/cm}^2$ 未満の、 $50\text{ mg/cm}^2$ を超える、および/または任意の適切な量のアノード材料を担持することができる。アノード材料の量は、目標容量、目標出力電力、目標エネルギー密度、アノード材料、負荷、負荷用途、充放電速度、電池温度、セルのばらつき、サイクル寿命に依存することができ、かつ/または他の方法で決定することができる。

#### 【0037】

アノード材料は、コーティングされるようにしても、コーティングされなくてもよい。1または複数のコーティング118は、アノードの導電率を変更(例えば、増加、減少)する機能、アノードの(例えば、自己のアノード材料に対する)導電経路長を変更(例えば、増加、減少)する機能、アノードの物理的特性(例えば、弾性率、機械的弾性、ヤング率など)を変更する機能、アノードの(例えば、標的種に再活性化される)化学的特性を変更する機能、アノード上の界面層の形成を抑制(または促進)する機能、および/または他の機能を果たすことができる。コーティングは均一であっても不均一であってもよい。コーティングは、アノード材料の内部表面(例えば、細孔容積)、外部表面、それらの一部、および/またはアノード材料の任意の適切な範囲を被覆することができる。コーティングは、好ましくは弾性であるが、剛性、脆性であってもよく、かつ/または任意の適切な機械的特性を有することができる。コーティングは好ましくは電気絶縁性であるが、半導電性または導電性であってもよい。コーティングは、好ましくはイオン伝導性である(例えば、水素、リチウム、または他の活性イオンなどのイオンを通過させるか、または通過を可能にする)が、イオン絶縁性であってもよく、イオンポンピング構造を含むことができ、かつ/または任意の適切なイオン伝導性を有することができる。具体例では、アノード材料は、2022年2月8日に開示された「SILICON MATERIAL AND METHOD OF MANUFACTURE」という名称の第17/667,

10

20

30

40

50

361号に開示されているようなコーティングされた材料とすることができる（かつ／またはコーティングされ得る）。この出願は、この引用によりその全体が援用されるものとする。

【0038】

例えば、シリコンから得られたアノードは、炭素質材料（例えば、有機分子、ポリマー、無機炭素、ナノ炭素、アモルファス炭素など）、無機材料、可塑剤、生体高分子膜、イオン性ドーパント、および／または任意の適切な材料でコーティングすることができる。ポリマーコーティングの例としては、ポリアクリロニトリル（PAN）、ポリピロール（PPy）、不飽和ゴム（例えば、ポリブタジエン、クロロプレンゴム、イソプレンとイソブレンとの共重合体（IIR）などのブチルゴム、スチレンとブタジエンとの共重合体（SBR）などのスチレンブタジエンゴム、ブタジエンとアクリロニトリルとの共重合体（NBR）などのニトリルゴムなど）、飽和ゴム（例えば、エチレンとプロペンの共重合体であるエチレンプロピレンゴム（EPM）、エチレンプロピレンジエンゴム（EPDM）、エピクロルヒドリンゴム（ECO）、アクリル酸アルキル共重合体（ACM）、アクリロニトリルブタジエンゴム（ABR）などのポリアクリルゴム、シリコーン（SI）、ポリメチルシリコーン（Q）、ビニルメチルシリコーン（VMQ）などのシリコーンゴム、フルオロシリコーンゴム（FVMQ）など）、および／または任意の適切な1または複数のポリマーが挙げられる。

10

【0039】

具体例では、図4に示すように、アノードは、シリコン材料、バインダ（コーティングをシリコン材料に結合させる機能、シリコン材料を基板に接着させる機能などを有する）、および基板（例えば、集電体）上に配置された導電性材料を含むことができる。

20

【0040】

一実施例では、シリコン材料は、2020年11月13日に出願された「POROUS SILICON MANUFACTURED FROM FUMED SILICA」という名称の米国特許出願第17/097,814号、2021年11月12日に出願された「SILICON MATERIAL AND METHOD OF MANUFACTURE」という名称の米国特許出願第17/525,769号、および／または2021年5月25日に出願された「SILICON MATERIAL AND METHOD OF MANUFACTURE」という名称の米国仮出願第63/192,688号

30

【0041】

第2の実施例では、シリコン材料は、多孔質炭素注入シリコン、多孔質炭素装飾シリコン構造、多孔質シリコン炭素ハイブリッド、多孔質シリコン炭素合金、多孔質シリコン炭素複合体、シリコン炭素合金、シリコン炭素複合体、炭素装飾シリコン構造、炭素注入シリコン、カーボランダム、炭化ケイ素、および／またはシリコン、炭素および／または酸素の任意の適切な同素体または混合物であるか、またはそれらを含むことができる。例えば、シリコン材料の元素組成は、 $SiO_C$ 、 $Si_C$ 、 $Si_xO_xC$ 、 $Si_xO_xC_y$ 、 $SiO_xC_y$ 、 $Si_xC_y$ 、 $SiO_x$ 、 $Si_xO_y$ 、 $SiO_2C$ 、 $SiO_2C_x$ 、 $SiO_CZ$ 、 $Si_CZ$ 、 $Si_xO_yCZ$ 、 $Si_xO_xC_xZ_x$ 、 $Si_xC_xZ_y$ 、 $SiO_xZ_x$ 、 $Si_xO_xZ_y$ 、 $SiO_2CZ$ 、 $SiO_2C_xZ_y$ を含むことができ、かつ／または任意の適切な組成を有し（例えば、1または複数の追加元素を含み）、ここで、Zは周期表の任意の好適な元素を指すことができ、xおよび／またはyは同一でも異なっていてもよく、それぞれ約0.001~2（例えば、0.001、0.005、0.01、0.05、0.1、0.5、1、2、0.001~0.05、0.01~0.5、0.01~0.1、0.001~0.01、0.005~0.1、0.5~1、1~2、それらの間の値または範囲など）であるか、0.001未満であるか、または2より大きくてもよい。

40

【0042】

50

第3の実施例では、アノード材料が、高純度シリコン材料（例えば、95%、97%、98%、99%、99.5%、99.9%、99.99%、99.995%、99.999%、それらの間の値などの少なくとも90%のSi純度を有するシリコン材料；最大約1%、0.5%、0.1%、0.05%、0.01%、0.005%、0.001%などのアルミニウム、カルシウム、鉄、チタン、酸素、炭素および/または他の不純物または介在物を有するシリコン材料）を含むことができる。第3の具体例の一態様では、シリコン材料が100nm未満のシリコン粒子を含むことができる。第3の具体例の第2の態様では、シリコン材料が、100nm~100μmのシリコン粒子（例えば、0.3μmのナノ粒子、2~5μmの粒子、1~5μmの粒子、0~5μmの粒子、0~10μmの粒子、0~20μmの粒子、その中に含まれ得る範囲など；10nm~1μmの粒子などのより小さいシリコン粒子の粉碎、共溶接、融着、アニーリングなどによって製造され得る範囲）を含むことができる。

10

**【0043】**

第4の具体例では、アノード材料が、狭いサイズ分布を有するシリコン粒子（例えば、±100nm、±200nm、±500nm、±1μmなどのサイズ分布を有する3μm粒子；±100nm、±200nm、±500nm、±750nm、±1μmなどのサイズ分布を有する3.5μm粒子；±100nm、±500nm、±1μm、±2μm、±3μmなどのサイズ分布を有する5μm粒子；±100nm、±500nm、±1μm、±3μm、±5μm、±7.5μmなどサイズ分布を有する10μm粒子；粒子の平均または他の特徴的なサイズに対して、±0.1%、±0.5%、±1%、±2%、±3%、±4%、±5%、±10%、20%、それらの間の値または範囲、<0.1%などの分散または偏差を有する粒子など）を含むことができる。しかしながら、シリコン粒子は、大きなサイズ分布（例えば、より小さい粒子が使用中に凝集、クラスタ化、造粒、分解などするにつれて、分布が材料の操作または使用中に小さくなり得る）および/または任意の適切なサイズ分布を有することができる。

20

**【0044】**

アノード材料の第5の具体例では、アノード材料が、約75%（例えば、70~80%）のシリコン（例えば、シリコン粒子）、約10%（例えば、5~15%）の導電性材料（例えば、黒鉛状炭素、導電性炭素、カーボンブラック、スーパーPカーボンブラック、カーボンスーパーPなど）、および約15%（例えば、10~20%）のバインダ（例えば、PAA、CMC/SBRなど）である組成を有することができる。パーセントは、質量パーセント、体積パーセント、組成パーセントおよび/または任意の適切なパーセントを指すことができる。第5の具体例の一態様では、アノード材料が、約75%のシリコン、10~15%の炭素質材料（例えば、黒鉛状炭素）、2.5~5%のポリマー（例えば、PAN、PAA、CMC/SBRなど）、および2.5~5%の導電性添加剤（例えば、C65カーボンブラック、導電性カーボンなど）である組成物を含むことができる。

30

**【0045】**

アノード材料の第6の具体例において、アノード材料が、約90%（例えば、80~95%）のシリコン（例えば、シリコン粒子）および約10%（例えば、5~20%）のPAN（例えば、導電性材料、バインダなどとして機能することができる）を含む組成を有することができる。パーセントは、質量パーセント、体積パーセント、組成パーセントおよび/または任意の適切なパーセントを指すことができる。

40

**【0046】**

アノード材料の第7の具体例では、アノード材料が、約5%~15%の炭素、約1%~10%の酸素、および約75%~94%のシリコン（潜在的に微量の他の元素種を含む）の組成を有することができる。パーセントは、質量パーセント、体積パーセント、組成パーセント（例えば、アノード材料の元素分析）および/または任意の適切なパーセントを指すことができる。第7の具体例では、炭素の組成が、ドーパント（例えば、シリコン内）、コーティング、バインダ、炭素との合金化シリコン、シリコンと炭素との複合体および/または任意の適切な材料を含むことができる。第7の具体例の態様では、炭素組成物

50

の少なくとも90%が、好ましくは黒鉛状炭素である（これは、アノードの容量に寄与できるため有益であり得る）。しかしながら、炭素組成物の90%未満を黒鉛状炭素とすることもできる（例えば、他の導電性炭素を使用することができ、添加バインダを存在させることができる）。

**【0047】**

いくつかの態様では、先の具体例の組合せを組み合わせることができる。例えば、第1のアノード層は第1のタイプのアノードを含むことができ、第2のアノード層は第2のタイプのアノード材料を含むことができる。同様に、アノードはアノード材料の混合物を含むことができる。追加的または代替的には、アノードは、2以上の具体例によって同時に説明することができる。しかしながら、具体例は、他の方法で組み合わせることができる（かつ/または、併せてまたは単独で使用することができる）。

10

**【0048】**

ある態様では、アノードおよび/またはその材料は、カソード材料を予め装填するなど、金属化（例えば、リチウム化）することができる。これは、電池の動作および/またはサイクル（例えば、充電および/または放電サイクル）中にカソード材料による（例えば、アノード、容器壁などの）メッキを減少させること（例えば、防止すること、最小限にすること、遅くすること、妨げることなど）、カソードからの材料の損失を減少させること（例えば、最小化すること、防止すること、妨げることなど）に有益であり、カソード材料のリザーバとして機能する（例えば、消耗したカソード材料を補充するように、動作中にカソードに追加のカソード材料を供給する）ことができ、SEI層を形成する（例えば、予め形成する）ことができ、かつ/または他の方法で有益であり得る。アノード材料は、完全に金属化され（例えば、可能な限り最大の化学量論的量で装填され）、かつ/または部分的に金属化される（例えば、予め設定された量のカソード材料で装填される、目標量のカソード材料で装填される、アノード材料の一部がカソード材料で装填されるが第2の部分がカソード材料を含まない）ことができる。金属化の程度は、好ましくは、非金属化アノード材料の容量がカソードの容量と同じかそれよりも大きくなるように選択されるが、非金属化アノード材料は、カソードの容量よりも小さい容量を有することができる。追加的または代替的には、金属化の程度は、アノードの厚さ、アノードの膨張（例えば、金属化中の膨張）、アノード材料、アノード容量、カソードの厚さ、カソード容量、電池の充放電速度、電池温度、負荷用途、負荷、セルのばらつき、および/または任意の適切なアノードまたはカソードの1または複数の特性に依存し得る。例えば、約10%~100%の間の任意の範囲のアノードを金属化することができる。しかしながら、アノードの10%未満をリチウム化することもできる。

20

30

**【0049】**

図6に示すような実施例では、アノードの約45%をリチウム化114'（例えば、予めリチウム化）し、アノードの約55%を脱リチウム化114'（例えば、以前にリチウムが装填された後にリチウムを除去すること、リチウム化しないことなど）ができる。この実施例では、アノードの脱リチウム化された部分の容量が、カソードの容量とほぼ同じ（例えば、約10%以内）とすることができる。この実施例の一態様では、アノードが、シリコンアノードの約5~10%を占めることができる（脱リチウム化および/またはリチウム化されたシリコン材料のいずれかまたは両方を補足または置換する）追加のシリコン材料（例えば、以前にリチウム化されていないシリコン材料）を含むことができる。

40

**【0050】**

アノード材料は、例えば、C/50、C/20、C/5、C/2、1Cなどの速度で、かつ/または任意の適切な速度で、アノードをサイクル（例えば、充電および/または放電）させることによって、金属化することができる。例えば、アノード材料は、2.5~5Vまたはその任意のサブセット（例えば、2.5V~4.2V、2.7V~4.2、2.5~4V、2.7~3.8V、2.7~4.3Vなど）でサイクルさせることができる。しかしながら、アノード材料は任意の適切な電圧間でサイクルさせることができる。い

50

くつかの態様では、アノードを金属化することが、予め設定された金属化度を有する構造を形成するなど、アノードを（例えば、予め設定された金属化レベルまで、予め設定された時間、放電することにより）脱金属化することを含むことができる。アノード材料は、好ましくは、電池スタックを形成する前に金属化（および/または脱金属化）されるが、電池スタックを形成した後に金属化することもできる。アノード材料は、同じ速度または異なる速度で金属化および脱金属化することができる。いくつかの態様では、金属化および/または脱金属化の後、追加（例えば、元の状態、未使用など）のアノード材料をアノードスタックに（例えば、堆積によって）追加することができる。追加のアノード材料は、好ましくは、完全な電池セルを形成する前に追加されるが、電池セル形成中または形成後に追加することもできる。

10

**【0051】**

アノード（例えば、アノード材料）は、好ましくは足場材料を含まない（例えば、アノード材料は好ましくは自立型である）。しかしながら、アノードは、任意選択的に、足場材料を含むことができる（例えば、アノード材料を、多孔質炭素、活性炭、ポリマー足場などの足場材料上に成長させ、それらに捕捉、一体化等することができる）。

**【0052】**

カソード120は、電池システムの通常の放電中に、外部回路から（例えば、負荷から）電子を収集するように機能する。カソードは、好ましくは、電解質によってアノードに電気的に結合され（カソードが電解質と物理的に接触している場合）、負荷に（例えば、コネクタを介して）電気的に結合され得るが、他の方法で任意の適切なコンポーネントに電気的に結合され得る。カソード材料（例えば、カソードの活性イオンが由来し得る）は、好ましくはリチウムを含むが、追加的または代替的には、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、セシウム、ベリリウム、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、亜鉛、および/または任意の適切なカソード材料を含むことができる。カソードは、キャスト、成長、堆積、成形および/または他の方法で製造することができる。

20

**【0053】**

カソード材料の例としては、リチウムコバルト酸化物（ $\text{LCO}$ ）、リチウムニッケルマンガコバルト酸化物（ $\text{NMC}$ ）、リチウムニッケルマンガン酸化物（ $\text{LNMO}$ ）、リチウム鉄リン酸塩（ $\text{LFP}$ ）、リチウムマンガン酸化物（ $\text{LMO}$ ）、リチウムニッケルコバルトアルミニウム酸化物（ $\text{NCA}$ ）および/または任意の適切なカソード材料が挙げられる。

30

**【0054】**

カソードには、好ましくは、 $0.1\text{ mg/cm}^2 \sim 50\text{ mg/cm}^2$ のカソード材料が装填されるが、 $0.1\text{ mg/cm}^2$ 未満、 $50\text{ mg/cm}^2$ 超、および/または任意の適切な量のカソード材料が装填されるようにしてもよい。カソード材料の量は、目標容量、目標出力電力、目標エネルギー密度、カソード材料に依存することができ、かつ/または他の方法で決定され得る。

**【0055】**

電極は、任意選択的には、1または複数の添加剤を含むことができ、添加剤は、電極（および/または電池システム）の化学的、電気的、機械的および/または他の特性を変更するように機能することができる。添加剤の例としては、バインダ、導電性材料および/または他の添加剤が挙げられる。添加剤は、電極材料と混合することができ、電極または電極材料の1または複数の表面（例えば、広い面）を被覆することができ、かつ/または他の方法で電極材料と一体化することができ、または電極材料と接触させることができる。添加剤は、好ましくは弾性であるが、脆性であってもよく、かつ/または任意の適切な機械的特性を有することができる。添加剤は、好ましくは可撓性であるが、剛性であってもよく、かつ/または任意の適切な機械的特性を有することができる。添加剤は、好ましくはイオン伝導性であるが、イオン絶縁性であってもよく、イオン拡散を促進（または阻害）することができ、かつ/または任意の適切なイオン伝導性を有することができる。い

40

50

くつかの変形例では、添加剤（および/またはコーティング材料）が、（例えば、電解質および/または溶媒を吸収した後に）膨潤することができ、それによりイオン伝導性が変化することがある。好ましくは、約1～80%（重量比、体積比など）の添加剤が電極に添加される。しかしながら、1%未満または80%を超える添加剤を電極に含めることもできる。

#### 【0056】

バインダ115は、電極を電池システムの基板および/またはケースに固定（例えば、接着）する機能を果たす。いくつかの態様では、バインダがセパレータとして機能することができる。例えば、バインダは、アノードおよび/またはカソード上に（例えば、1～50 $\mu$ mの間の厚さに）キャストすることができる。バインダは、好ましくは電気絶縁性であるが、導電性、半導電性であってもよく、かつ/または任意の適切な導電性を有することができる。バインダの例としては、カルボキシメチルセルロース（CMC）、スチレン-ブタジエンゴム（SBR）、ポリ（アクリル酸）（PAA）、アルギン酸ナトリウム（SA）、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）、ポリアニリン（PANI）、ポリ（9,9-ジオクチルフルオレン-コフルオレン-コ-メチル安息香酸エステル）（PFM）、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、ポリ（エチレンオキシド）（PEO）、ポリビニルアルコール（PVA）、ポリアクリロニトリル（PAN）、カルボキシメチルキトサンナトリウム（CCTS）、ポリ（3,4-エチレンジオキシチオフエン）ポリスチレンスルホネート（PEDOT: PSS）、3,4-プロピレンジオキシチオフエン（PrDOT）、塩酸ドーパミン、ポリロタキサン、ポリチオフエン、それらの組合せ、および/または任意の適切なバインダが挙げられる。

10

20

#### 【0057】

導電性材料116は、（例えば、電極が少なくとも閾値の伝導率を有するように、電極が最大で閾値の伝導率を有するように）電極の導電率を変更する機能を果たす。導電性材料の例としては、カーボンスーパーP、アセチレンブラック、カーボンブラック（例えば、C45、C65など）、メソカーボンマイクロビーズ（MCMB）、グラフェン、カーボンナノチューブ（CNT）（例えば、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、半導電性カーボンナノチューブ、金属カーボンナノチューブなど）、還元型酸化グラフェン、黒鉛、フラーレン、導電性ポリマー、それらの組合せ、および/または任意の適切な1または複数の材料が挙げられる。

30

#### 【0058】

各電極は、界面層（例えば、固体電解質界面（SEI）層119）によって不動態化することができる。界面層は、典型的には、電池システムの使用中（例えば、充放電中）に電解質の分解から形成されるが、電池システムが組み立てられる前に形成することができる、かつ/または他の方法で形成することができる。界面層は、（例えば、図5Aに示すように）電極材料のコーティングを取り囲む（例えば、被覆する）ことができ、（例えば、図5Bに示すように）電極材料を被覆することができ、電極材料またはそのコーティングに一体化または介在させることができ、（例えば、コーティングによって）被覆することができ、かつ/または他の方法で配置することができる。

#### 【0059】

界面層は、好ましくは安定である（例えば、その形成後、充放電中に、実質的に変化しないままである）が、不安定であってもよく（例えば、1または複数のサイクル中に、劣化し、潜在的に再形成するものであってもよく）、かつ/または任意の適切な安定性を有することができる。例えば、界面層は、有機または有機金属化合物などの弾性またはポリマー様化合物（リチウムアルキルカーボネート、ポリ（エチレンオキシド）など）とすることができる、（実質的に破断または亀裂することなく）膨張することができ、または他の方法でシリコンアノードが膨張および収縮する際の変化に対応することができる。界面層材料の例としては、リチウムエチルカーボネート（LEC）、リチウムメチルカーボネート（LMC）、リチウムエチレンジカーボネート（LEDC）、リチウムプロピレンジカーボネート（LPDC）、重合ビニレンカーボネートまたはポリ（ビニルカーボネート）

40

50

(PVC A)、カルボン酸、フッ化リチウム、酸化リチウム、ケイ酸リチウム、炭酸リチウム、それらの組合せ、および/または他の材料が挙げられる。しかしながら、電極は、界面層によって活性化することができ、界面層を含まないこともでき、かつ/または任意の適切な界面層を形成することもできる。

#### 【0060】

電解質200は、好ましくは、1または複数のアノードを1または複数のカソードに電気的に接続し、電極間のイオン(好ましくは電子ではない)の移動を可能にするかまたは促進するように機能する。しかしながら、電解質はそれ以外の機能を果たすこともできる。電解質は、固相、流体相(例えば、液相)、および/または任意の適切な相であり得る。例えば、電解質は、ゲル、粉末、溶媒に溶解した塩、酸、塩基、ポリマー、セラミック、塩(例えば、溶融塩)、プラズマ、イオン液体であるか、それらを含むことができ、かつ/または物質の任意の適切な状態またはその組合せを有することができる。電解質は、有機材料、無機材料および/またはそれらの組合せを含むことができる。

10

#### 【0061】

電解質(例えば、電解質塩)の例としては、特にリチウムイオン電池とともに使用するためのものに限定されるものではないが、チタン酸リチウムランタン(例えば、 $Li_{0.34}La_{0.51}TiO_{2.94}$ 、 $Li_{0.75}La_{0.5}TiO_3$ 、 $(Li_{0.33}La_{0.56})_{1.005}Ti_{0.99}Al_{0.01}O_3$ など)、リン酸アルミニウムリチウム(例えば、 $Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$ 、 $Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}(PO_4)_3$ など)、ジルコン酸リチウム(例えば、 $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ 、 $Li_{6.55}La_3Zr_2Ga_{0.15}O_{12}$ 、 $Li_{6.4}La_3Zr_2Al_{0.2}O_{12}$ など)、リン酸リチウムシリコン(例えば、 $Li_{3.25}Si_{0.25}P_{0.75}O_4$ )、ゲルマニウム酸リチウム(例えば、 $Li_{2.8}Zn_{0.6}GeO_4$ 、 $Li_{3.6}Ge_{0.8}S_{0.2}O_4$ など)、リン酸リチウム窒化物(例えば、 $Li_{2.9}PO_3.3N_{0.46}$ )、リン酸リチウム硫化物(例えば、 $Li_7P_3S_{11}$ 、 $Li_{10}GeP_2S_{12}$ 、 $Li_{3.25}Ge_{0.25}P_{0.75}S_4$ 、 $Li_{3.4}Si_{0.4}P_{0.6}S_4$ 、 $Li_3PS_4$ など)、リチウムシリコンリン酸塩(例えば、 $Li_{3.5}Si_{0.5}P_{0.5}O_4$ )、リチウムアルギロダイト(例えば、 $Li_6PS_5Br$ 、 $LiPS_5Cl$ 、 $Li_7PS_6$ 、 $Li_6PS_5I$ 、 $Li_6PO_5Cl$ など)、リチウム窒化物(例えば、 $Li_3N$ 、 $Li_7PN_4$ 、 $LiSi_2N_3$ など)、リチウムイミド(例えば、 $Li_2NH$ )、水素化ホウ素リチウム(例えば、 $LiBH_4$ )、水素化アルミニウムリチウム(例えば、 $LiAlH_4$ )、リチウムアミド(例えば、 $LiNH_2$ 、 $Li_3(NH_2)_2I$ など)、塩化カドミウムリチウム(例えば、 $Li_2CdCl_4$ )、塩化マグネシウムリチウム(例えば、 $Li_2MgCl_4$ )、ヨウ化亜鉛リチウム(例えば、 $Li_2ZnI_4$ )、ヨウ化カドミウムリチウム(例えば、 $Li_2CdI_4$ )、塩素酸リチウム(例えば、 $LiClO_4$ )、リチウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド(例えば、 $LiC_2F_6NO_4S_2$ )、ヘキサフルオロヒ酸リチウム(例えば、 $LiAsF_6$ )、ヘキサフルオロリン酸リチウム(例えば、 $LiPF_6$ )、それらの組合せ、および/または任意の適切な電解質(例えば、電解質塩、例えば、リチウムを電池のカソードに関連する適切なイオンで置き換えたもの)が挙げられる。

20

30

#### 【0062】

マトリックスの例(例えば、ゲル、ヒドロゲル、ポリマー、溶媒など)としては、例えば、ポリ(エチレンオキシド)(PEO)、ポリ(フッ化ビニリデン)(PVDF)、ポリアクリロニトリル(PAN)、ポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)、エチレンカーボネート(EC)、ジエチルカーボネート(DEC)、ジメチルカーボネート(DMC)、プロピレンカーボネート(PC)、ポリエチレングリコール(PEG)、グリセロール、水、それらの組合せが挙げられ、かつ/または任意の適切なマトリックスが使用され得る。典型的には、電解質塩は、約0.1M~10Mの間の濃度にマトリックス中に溶解されるが、電解質塩の濃度は、0.1M未満であっても、10Mを超えるものであってもよい。

40

#### 【0063】

50

いくつかの例では、無機電解質と有機電解質の混合物、例えば、PEO/LiTFSI中の $Li_{6.4}La_{3}Zr_{2}Al_{0.2}O_{12}$ 、PVDF/LiClO<sub>4</sub>中の $Li_{1.5}Al_{10.5}Ti_{1.5}(PO_4)_3$ 、またはPAN/LiClO<sub>4</sub>中の $Li_{0.33}La_{0.557}TiO_3$ を使用することができる。しかしながら、任意の純粋な電解質または電解質の組合せを使用することができる。

#### 【0064】

いくつかの実施形態では、電解質は、界面層の形成を促進する（または妨げる）ように機能することができる1または複数の添加剤を含むことができる。添加剤の例としては、ビニレンカーボネート（VC）、フルオロエチレンカーボネート（FEC）、プロピレンカーボネート（およびその誘導体）、アンモニウムパーフルオロカプリレート（APC）、10  
、ビニルエチレンカーボネート（VEC）、マレイミド（例えば、オルト-フェニレンジマレイミド、パラ-フェニレンジマレイミド、メタ-フェニレンジマレイミドなど）、グリコリド、テトラオキサスピロ[5,5]ウンデカン（TOS; 3,9-ジビニル-2,4,8,10-テトラオキサスピロ[5,5]ウンデカンなど）、ポリエーテル変性シロキサン、それらの組合せ、および/または他の添加剤が挙げられる。

#### 【0065】

第1の例では、電解質は、1:1 v/vのFEC/DMC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第2の例では、電解質は、2% volのVCを含む1:1 v/vのEC/DEC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第3の例では、電解質は、1:1 v/vのEC/DMC中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第4の例では、電解質は、3% volのVCを含む1:1 v/vのEC/DMC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第5の例では、電解質は、5 wt%のVCを含む1:1:1 v/vのEC/DEC/DMC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第6の例では、電解質は、1:1 v/vのDEC/FEC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。第7の例では、電解質は、1:1 v/vのEC/DEC溶媒中の1MのLiPF<sub>6</sub>を含むことができる。しかしながら、任意の適切な電解質を使用することができる。20

#### 【0066】

任意選択的なセパレータ300は、好ましくは、イオンがセパレータを通過することを可能にする一方で、アノードおよびカソードが互いに電氣的に接触する（それによって電池が短絡する）ことを妨げ、遅くし、または防止するように機能する。セパレータは、好ましくは可撓性であるが、剛性であってもよく、かつ/または任意の適切な機械的特性を有することができる。1または複数のセパレータは、好ましくはイオン伝導性であるが、イオン絶縁性であってもよく、イオン拡散を促進（または阻害）することができる。かつ/または任意の適切なイオン伝導性を有することができる。1または複数のセパレータは、電解質に対して透過性（例えば、多孔質）とすることができ、電解質を放出することができ、電解質をポンピングすることができ、固体とすることができ、貫通孔を含むことができ、メッシュとすることができ、一方向経路を有することができ、かつ/または他の方法で、セパレータの一方の側から他方の側への電解質の（実際の、見かけ上の、または効果的な）移動を促進することができる。少なくとも1つのセパレータは、各カソード/アノードのペア間に配置されるのが好ましい。しかしながら、1または複数のセパレータは別の方法で配置することも可能である。セパレータは、カソードとアノードとの間に等距離に配置することも、アノードに近づく（例えば、近位に配置する）ことも、カソードに近づく（例えば、近位に配置する）こともできる。しかしながら、セパレータは他の方法で配置することもできる。セパレータは、好ましくは約10 μm ~ 50 μmの厚さを有するが、10 μmより薄くても、50 μmより厚くてもよい。30

#### 【0067】

セパレータは、セラミック、ゲル、ポリマー、プラスチック、ガラス、木材および/または任意の適切な材料で作られるか、またはそれらを含むことができる。いくつかの態様では、「乾電池セパレータ」と呼ばれるセパレータを使用することができる。セパレータ材料の例としては、ポリオレフィン、ポリプロピレン、ポリエチレン、それらの組合せ（40

10

20

30

40

50

例えば、PPとPEの混合物または配合物)、および/または任意の適切な1または複数のセパレータ材料が挙げられる。いくつかの態様では、セパレータは多層セパレータであってもよい。例えば、ポリプロピレン/ポリエチレン/ポリプロピレンセパレータまたはセラミックコーティングセパレータ(例えば、セラミックコーティングPP、セラミックコーティングPE、セラミックコーティングPP/PE混合物など)を使用することができる。しかしながら、任意の適切なセパレータを使用することができる。

【0068】

いくつかの態様では、イオン伝導性ポリマーを、セパレータとして、かつ/またはイオン伝導経路として(例えば、電解質として、導電性材料などとして)使用することができる。イオン伝導性ポリマーは、アノードおよび/またはカソードに混合され、かつ/またはアノードおよび/またはカソードをコーティングし、セル全体にイオン伝導性ネットワークを形成することができる。しかしながら、イオン伝導性ポリマーは、他の方法で配置することもできる。

10

【0069】

いくつかの態様では、セパレータと電解質は同じであり、かつ/または一体化することができる。例えば、セパレータおよび/または電解質は、リチウムイオン伝導性ガラスまたはセラミック材料、例えば、チタン酸リチウムランタン(LLTO; 例えば、 $Li_{3x}La_{2/3-x}TiO_3$ 、 $x = 0.11$ のように $0 < x < 2/3$ )、ジルコン酸リチウムランタン(LLZO; 例えば、 $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ )、タンタル酸リチウムランタンジルコニウム(LLZTO; 例えば、 $Li_{6.75}La_3Zr_{1.75}Ta_{0.25}O_{12}$ )、リン酸リチウムアルミニウムゲルマニウム(LAGP; 例えば、 $Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}P_3O_{12}$ )、リチウムアルミニウムシリコンリン酸化チタン(LASPT; 例えば、 $Li_2Al_2SiP_2TiO_{13}$ )、それらの組合せ、および/または任意の適切な材料を含むことができる。しかしながら、任意の適切なリチウムイオン導電性ガラスまたはセラミック材料を使用することができる。

20

【0070】

電池システムの態様は、(例えば、電極層の数を制御することによって、可撓性セパレータなどの可撓性コンポーネントを使用することによって)可撓性であっても、半可撓性であっても、剛性であってもよく、かつ/または任意の適切な機械的特性を有することができる。

30

【0071】

いくつかの実施形態では、電池が、任意選択的に、電池の1または複数のコンポーネントを固化(例えば、乾燥、ゲル化など)させるように機能する凝固剤またはゲル化剤を含むことができ、それにより、電池の発火を遅らせるか、またはその可能性を減少させるという利点を提供することができる。凝固剤は、衝撃(例えば、閾値の力、閾値圧力など)、温度(例えば、閾値温度)、湿度(例えば、閾値含水量)、環境への暴露(例えば、閾値酸素含有量、閾値窒素含有量、閾値有機含有量、所定の種の存在下など)、および/または任意の刺激に応答して凝固することができる。凝固剤は、電解質と混合され(例えば、添加剤として)、電極(アノード、カソード)と一体化され、電池ハウジングの本体に一体化され、電池の別個のコンポーネントに含まれ、かつ/または他の方法で配置されることができる。凝固剤の例としては、有機凝固剤(例えば、ポリアミン、ポリDADMAC、メラミンホルムアルデヒド、タンニンなど)、無機凝固剤(例えば、硫酸アルミニウム、塩化アルミニウム、ポリ塩化アルミニウム、クロロヒドロキシアルミニウム、硫酸第二鉄、硫酸第一鉄、塩化第二鉄、シリカなど)、ポリマーゲル凝固剤(例えば、ポリ(アクリロニトリル-co-メタクリレート)(P(AN-co-MA))、ポリエチレングリコール(PEG)など)、それらの組合せ、および/または任意の適切な凝固剤が挙げられる。しかしながら、追加的または代替的には、電池は、難燃性添加剤(例えば、トリフェニルホスフェート、トリブチルホスフェートなどの有機リン酸化合物、水酸化アルミニウム、水酸化マグネシウムなどの鉱物、クロレンド酸、デカプロモジフェニルエーテルなどの有機ハロゲン化合物など)、および/または任意の適切な電池添加剤を含むことが

40

50

できる。

【0072】

電池システムは、好ましくはハウジング400（例えば、容器）を含み、このハウジングが、電極、電解液、セパレータおよび/または集電体を取り囲むように機能する。ハウジングは、外部環境の物体との接触に起因する電極の短絡を防止するように機能することができる。ハウジングは、金属（例えば、鋼、ステンレス鋼など）、セラミック、プラスチック、木材、ガラスおよび/または任意の適切な材料で作ることができる。ハウジング形状の例としては、円形（例えば、コイン、ボタン、円筒形など）、非円形、平坦（例えば、層構造、パウチ450など）、角柱形（例えば、正方形、矩形など）、および/または任意の適切な形状が挙げられる。

10

【0073】

ハウジングは、好ましくは、2つの端子（例えば、1つの正端子および1つの負端子）を含むが、2つより多い端子（例えば、2つ以上の正端子、2つ以上の負端子）、単一の端子、および/または任意の数の端子を含むことができる。端子は、電池電極を負荷に接続するように機能することができる。端子の例としては、コイル端子、バネ端子、プレート端子、および/または任意の適切な端子が挙げられる。

【0074】

ハウジングは、エンドキャップを含むことができる。エンドキャップは、集電体として機能し、かつ/または他の機能を果たすことができる。エンドキャップは、タブ付きエンドキャップ460、460'（例えば、図8Aまたは図8Bに示すように、ハウジングから延出することができ、ハウジングと同一平面上に位置することができ、ハウジングから目標厚さだけ延出することができ、ハウジングの1または複数のエッジに沿って延出することができる）、タブなしエンドキャップ470、470'（例えば、図8Cに示すように、ハウジングに、電極集電体、基板などへのアクセスを可能にする穴または開口部を有するものなど）、またはプレートキャップとすることができ、かつ/または任意の適切な形態を有することができる。エンドキャップは、アルミニウム、銅、ニッケル、炭素質材料、および/または任意の適切な導電性材料（例えば、金属）で作ることができる。エンドキャップ（例えば、タブ、ハウジングの開口部など）は、対称（例えば、アノードおよび/またはカソードについて、同じサイズ、同じ形状など）かつ/または非対称（例えば、アノードおよび/またはカソードについて、異なるサイズ、異なる形状など）であり得る。タブが使用される場合、タブを、ハウジングの短辺、長辺、および/または任意の適切な辺に配置することができる。例えば、タブは、ハウジングの表面（例えば、エッジ、本体など）から約2mm延出することができ（例えば、ハウジングが約40mm、100mmなどの寸法を有する場合）、ハウジング寸法（例えば、長さ、幅、対角線サイズなど）の1%~100%のうちの何れかの範囲を有することができる。しかしながら、ハウジングは、任意の適切な配置で任意の適切なキャップまたは集電体を含むことができる。

20

30

【0075】

ハウジングは、接着剤、1または複数のファスナ、1または複数のコネクタ、1または複数のバインダ、物理的シール、化学的シール、電磁シール、および/または任意の適切なコネクタもしくはシール機構を使用して密封することができる。ハウジングは、1、2、3、4、10、それらの間の値、および/または任意の適切な数のシールを含むことができる。実施例では、例えば図7に示すように、ハウジングは、第1の溶接部453（例えば、プラスチック超音波溶接、熱溶接、スピードチップ溶接、押出溶接、接触溶接、熱板溶接、非接触溶接、IR溶接、高周波溶接、誘導溶接、射出溶接、摩擦溶接、スピン溶接、レーザ溶接など）に続いて、第2の溶接部456（例えば、金属溶接、超音波金属溶接、高温溶接、アーク溶接、鍛造溶接、酸素燃料溶接、摩擦溶接、磁気パルス溶接、共押出溶接、冷間溶接、拡散接合、発熱溶接、高周波溶接、熱間圧接、誘導溶接、ロールボンドなど）を使用して密封することができる。この実施例は、（例えば、電極が損傷するリスクをより低くしながら）溶接部を電極のより近くに形成できるようにすること（例えば、ハウジングの内部容積を減少させること、ハウジングに充填するのに必要な電解質の量

40

50

を減少させること、余分なハウジング材料の量を減少させることなど)によって、ハウジング(例えば、パウチ)のサイズ(例えば、面積、体積、重量など)を減少させるという技術的な利点を提供することができる。例えば、プラスチック溶接部は、電極から約0.5 mm、1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、7.5 mm、10 mm、それらの間の値または範囲、> 10 mmの位置に形成することができる。セパレータが電極を完全に分離するためには、少しの余分な空間(例えば、溶接部と電極の間の距離)を確保するのが好ましいが、電極のエッジ上(例えば、電極から約0 mm)にプラスチック溶接部を形成することも可能である。プラスチック溶接の後、ハウジングが確実に密封される(そして密封を維持する)のを助けるために、第2の溶接部(例えば、金属溶接部)を形成することができる。例えば、超音波溶接部は、プラスチック溶接部から約0.5 mm、1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、7.5 mm、10 mm、またはそれらの間の値または範囲、> 10 mmの位置に形成することができる。第2の溶接部は、通常、第2の溶接部と電極との間の距離を広げるために(そしてそれによって溶接プロセス中に電極を損傷する可能性を減らすために)、プラスチック溶接部の外側に形成される。例えば、第2の溶接部は、電極から1 mm、2 mm、3 mm、4 mm、5 mm、6 mm、7 mm、8 mm、10 mm、および/またはそれより近くまたは遠くに配置することができる。しかしながら、第2の溶接部は、第1の(例えば、プラスチック)溶接部と一致させることができ、その内側に配置することができる、かつ/または他の方法で第1の(例えば、プラスチック)溶接部に対して相対的に配置することができる。追加的または代替的には、溶接部の1または複数を、ろう付け、はんだ付け、および/または任意の適切な固定方法で置換および/または補強することができる。

#### 【0076】

電池は、従来の組立方法、カスタム組立方法、および/または他の方法を使用して組み立てることができる。例えば、1または複数の電極(または他のコンポーネント)を印刷、堆積、乾燥、キャスト(例えば、ドロップキャスト、スピンキャストなど)、成長、および/または他の方法で生成または接触させることができる。一例では、シリコンスラリーを基板上に印刷してシリコンアノードを形成することができる。しかしながら、コンポーネントは他の方法で製造することもできる。

#### 【0077】

一実施例では、図3Aに示すように、多電極電池が、シリコンベースのアノードと、リチウム金属アノードと、2つのアノードの間に配置されたカソード(例えば、NMC、LCOなど)とを含むことができる。図3Bに示すように、この実施例の変形例では、シリコンベースのアノード(例えば、両面アノード)を2つのカソード(例えば、両面カソード、LCOカソード、NMCカソードなど)の間に配置することができる。この変形例では、各カソードを、それぞれの第2のアノード(例えば、図3Cに示すように、リチウム金属アノード、シリコンアノードなど)と関連付けることができる。この実施例および変形例では、アノードおよびカソードは、電解質を挟んで電氣的に接触することができ、電解質は固相または流体相とすることができる。シリコンアノードとカソードとの間の電解質およびセパレータは、リチウム金属アノードとカソードとの間の電解質および/またはセパレータと同じであっても異なってもよい。特定の例では、この構造により、ハイブリッドセル・リチウム金属セルまたは固体セルを製造することができる。

#### 【0078】

図3Dに示すように、この具体例の第2の変形例では、リチウム金属アノード(例えば、両面アノード)を2つのカソード(例えば、両面カソード、LCOカソード、NMCカソードなど)の間に配置することができる。この変形例では、各カソードを、それぞれの第2のアノード(例えば、シリコンアノード)と関連付けることができる。この変形例では、アノードおよびカソードは、電解質を挟んで電氣的に接触することができ、電解質は、固相(例えば、ゲル、セラミックなど)または流体相とすることができる。シリコンアノードとカソードとの間の電解質およびセパレータは、リチウム金属アノードとカソードとの間の電解質および/またはセパレータと同じであっても異なってもよい。しかし

ながら、電極を他の方法で配置することも可能である。

【 0 0 7 9 】

システムおよび/または方法の実施形態は、様々なシステムコンポーネントおよび様々な方法プロセスのあらゆる組合せおよび順列を含むことができ、本明細書に記載の方法および/またはプロセスの1または複数のインスタンスは、本明細書に記載のシステム、要素および/またはエンティティの1または複数のインスタンスによって、かつ/またはそれらを使用して、非同期に（例えば、順次）、同時に（例えば、並行して）、または他の任意の適切な順序で実行することができる。

【 0 0 8 0 】

当業者であれば、上述した詳細な説明、図面および特許請求の範囲から分かるように、以下の請求項に規定される本発明の範囲から逸脱することなく、本発明の好ましい実施形態に修正および変更を加えることが可能である。

【 図 面 】

【 図 1 】

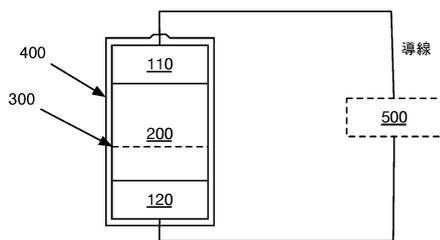


Figure 1

【 図 2 A 】

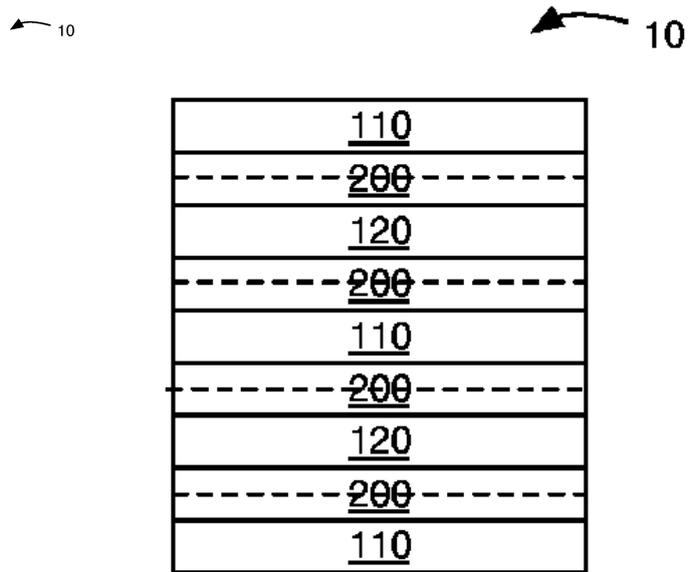


Figure 2A

10

20

30

40

50

【 図 2 B 】

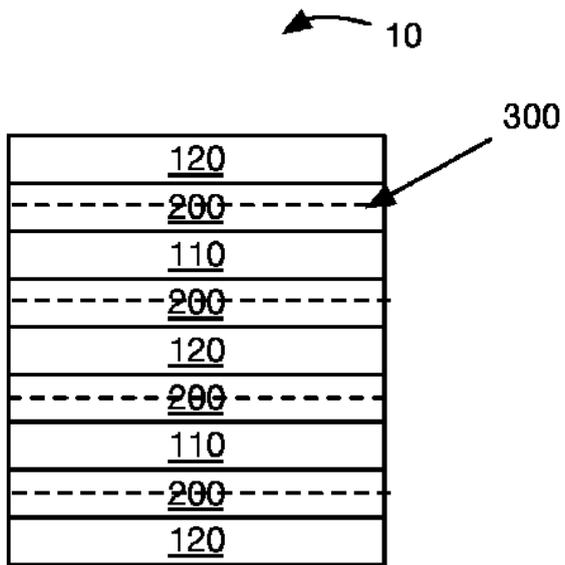


Figure 2B

【 図 3 A 】

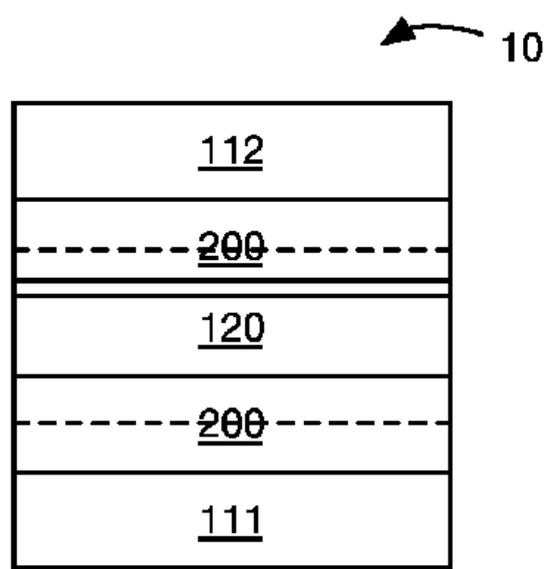


Figure 3A

10

20

【 図 3 B 】

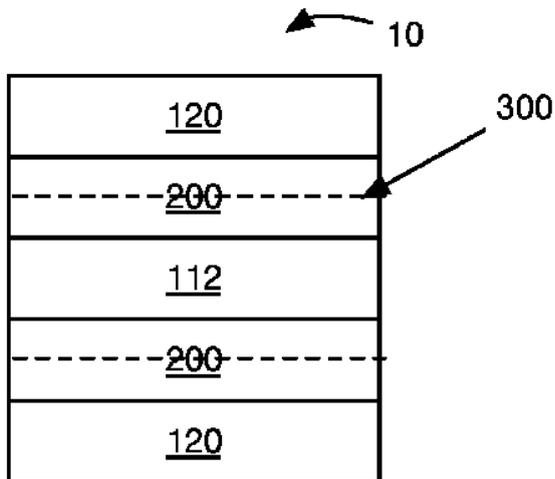


Figure 3B

【 図 3 C 】

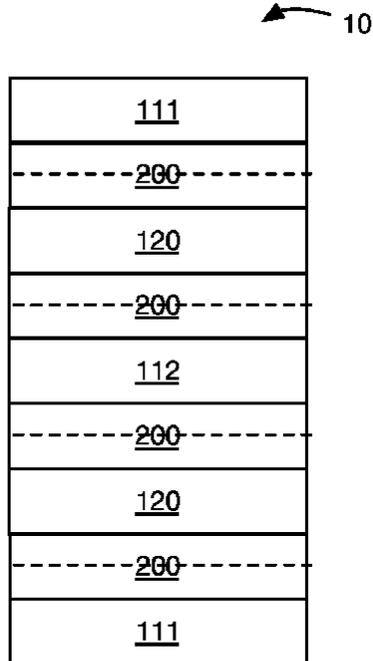


Figure 3C

30

40

50

【 図 3 D 】

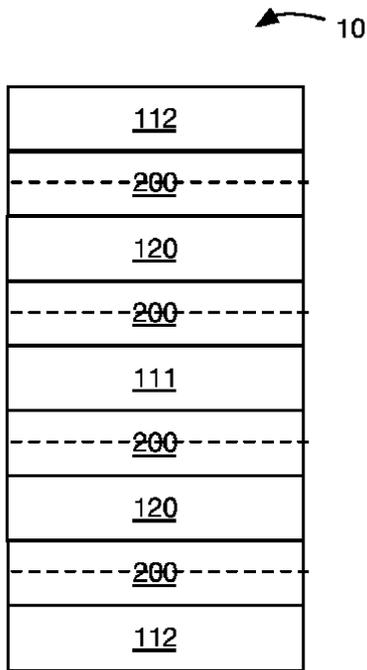


Figure 3D

【 図 4 】

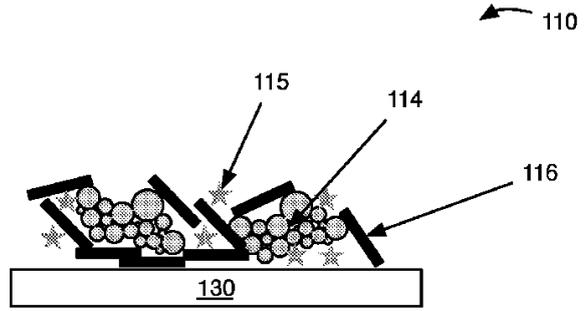


Figure 4

【 図 5 A 】

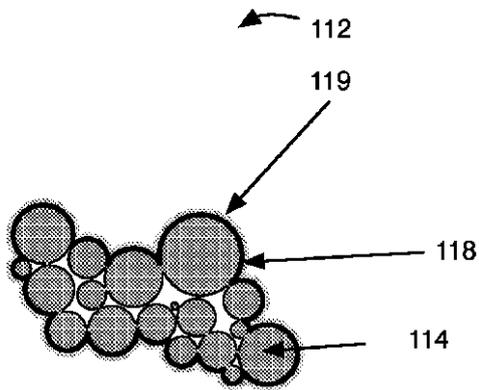


FIGURE 5A

【 図 5 B 】

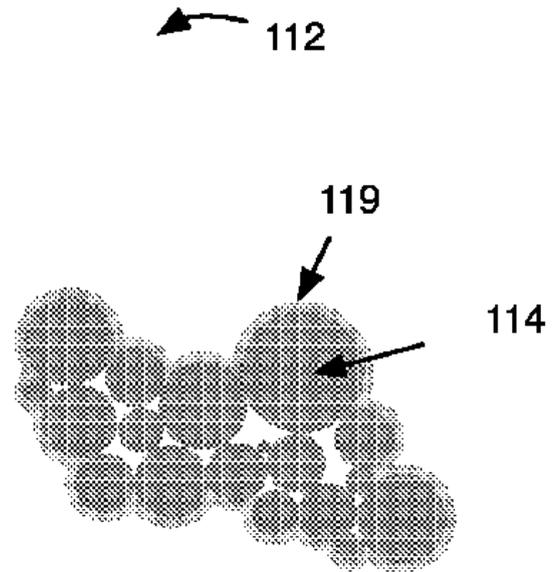


FIGURE 5B

10

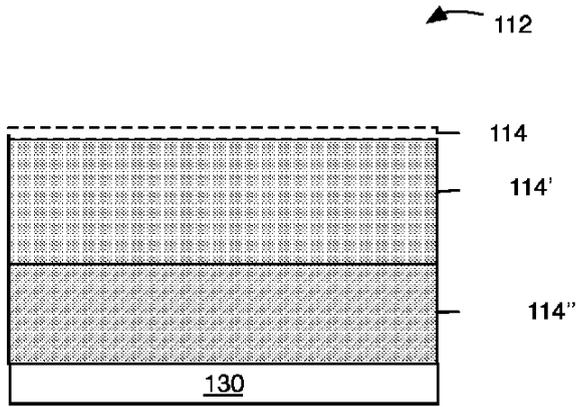
20

30

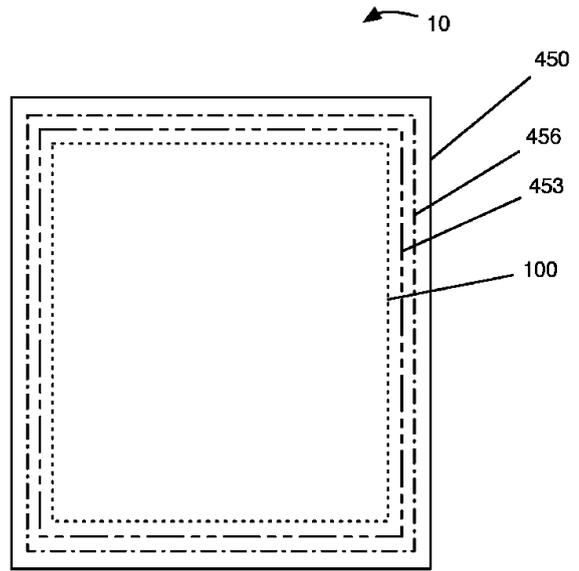
40

50

【 図 6 】



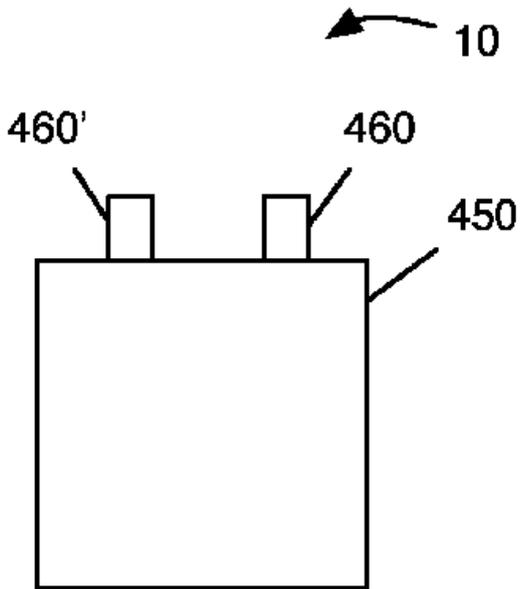
【 図 7 】



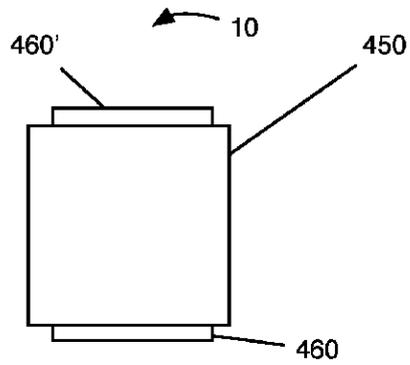
10

20

【 図 8 A 】



【 図 8 B 】



30

40

50

【 図 8 C 】

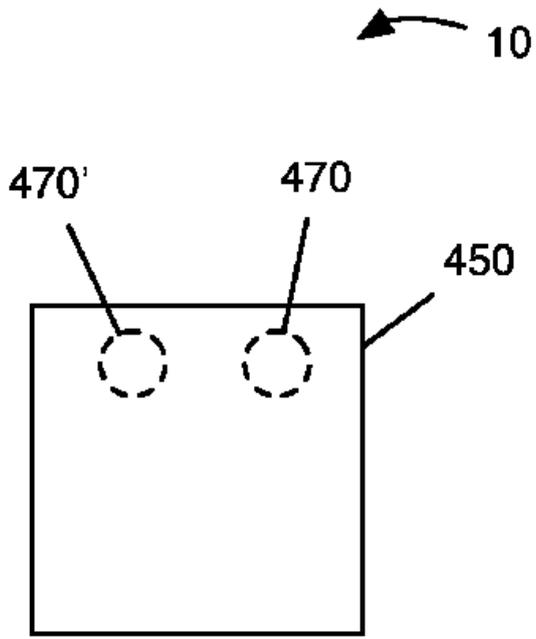


FIGURE 8C

【 図 9 A 】

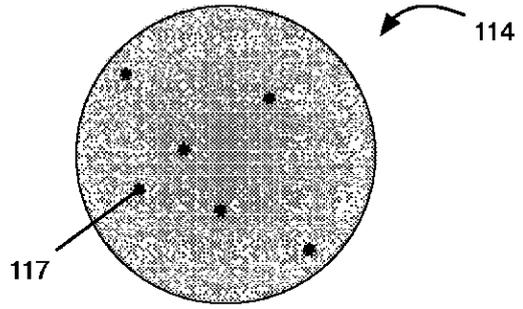


FIGURE 9A

10

20

【 図 9 B 】

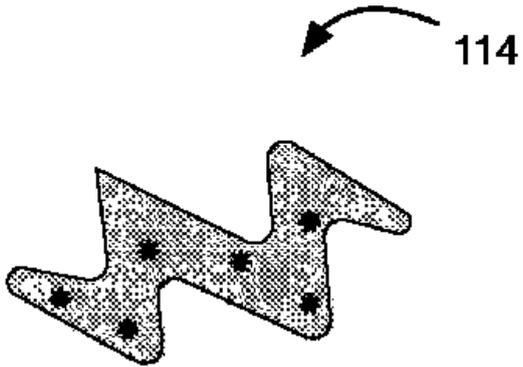


FIGURE 9B

【 図 9 C 】

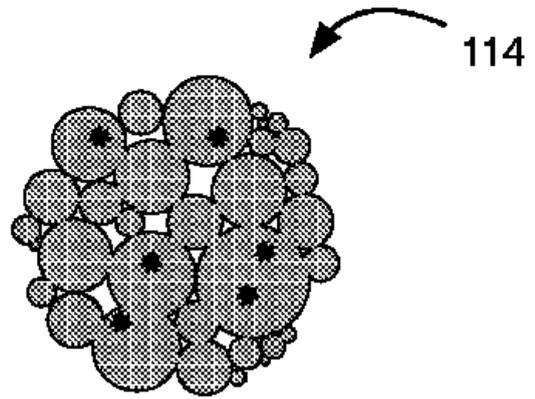


FIGURE 9C

30

40

50

【 9 D 】

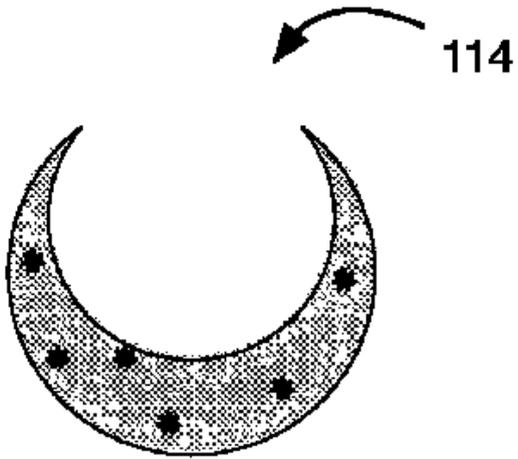


FIGURE 9D

【 9 E 】

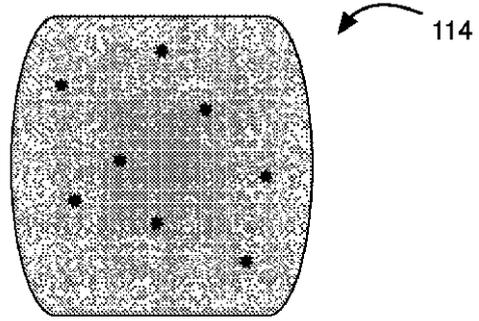


FIGURE 9E

10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US22/16484

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC - C25B 11/04; H01M 6/00; H01M 4/134 (2021.01)  
 CPC - C25B 11/04; H01M 4/134; H01M 6/00

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.
Y	US 2013/0115512 A1 (JIANG, H ET AL.) 09 May 2013; paragraphs [0055], [0058], [0054], [0064]	1-22
Y	US 2015/0099187 A1 (BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 09 April 2015; Paragraphs [0073], [0078], [0046], [0079], [0053], [0051], [0055], [0098]	1-10, 13-16
Y	US 2005/0136330 A1 (MAO, Z ET AL.) 23 June 2005; paragraphs [0018] and [0023]	4
Y	DE 102016221782 A1 (WACKER CHEMIE AG) 09 May 2018; see machine translation; entire document	8
Y	US 10,601,037 B2 (UMICORE) 24 March 2020; column 1 lines 21-29	10, 20
Y	US 2020/0335826 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 22 October 2020; paragraphs [0002] and [0118]	11-22
Y	US 2019/0181440 A1 (ENEVATE CORPORATION) 13 June 2019; paragraphs [0007] and [0008]	12
Y	US 2018/0309095 A1 (UNIFRAX I LLC) 25 October 2018; paragraphs [0056], [0053], and [0016]	18
Y	CN 110828774 A (BYD CO LTD) 21 February 2020; see machine translation; entire document	19

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  
17 May 2022 (17.05.2022)

Date of mailing of the international search report  
**JUN 16 2022**

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  
Shane Thomas  
Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

10

20

30

40

50

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/US22/16484

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,Y	US 11,066,305 B1 (IONOBELL INC) 20 July 2021; entire document	1-22

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 M 10/0568(2010.01)	H 0 1 M 10/0568	
H 0 1 M 4/525(2010.01)	H 0 1 M 4/525	
H 0 1 M 4/505(2010.01)	H 0 1 M 4/505	
H 0 1 M 4/131(2010.01)	H 0 1 M 4/131	
H 0 1 M 4/58 (2010.01)	H 0 1 M 4/58	
H 0 1 M 4/136(2010.01)	H 0 1 M 4/136	
H 0 1 M 10/0562(2010.01)	H 0 1 M 10/0562	
H 0 1 M 10/0565(2010.01)	H 0 1 M 10/0565	
H 0 1 M 50/105 (2021.01)	H 0 1 M 50/105	
H 0 1 M 50/193 (2021.01)	H 0 1 M 50/193	
H 0 1 M 50/191 (2021.01)	H 0 1 M 50/191	

(32)優先日 令和3年10月28日(2021.10.28)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JM,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  
5 9 4 1 , ス イ ー ト 1 0 0

F ターム (参考) 5H011 AA03 CC02 CC06 CC10  
5H029 AJ02 AJ03 AJ05 AK01 AK03 AL02 AL03 AL04 AL07 AL08  
AL11 AL12 AM03 AM05 AM07 AM12 AM16 HJ07 HJ19  
5H050 AA02 AA07 AA08 BA17 CA01 CA08 CA09 CB02 CB03 CB05  
CB08 CB09 CB11 CB12 HA04 HA05 HA07 HA19