

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7575269号
(P7575269)

(45)発行日 令和6年10月29日(2024.10.29)

(24)登録日 令和6年10月21日(2024.10.21)

(51)国際特許分類		F I	
H O 1 M	10/0585(2010.01)	H O 1 M	10/0585
H O 1 M	4/131(2010.01)	H O 1 M	4/131
H O 1 M	4/133(2010.01)	H O 1 M	4/133
H O 1 M	4/134(2010.01)	H O 1 M	4/134
H O 1 M	4/38 (2006.01)	H O 1 M	4/38 Z
		請求項の数	23 (全142頁) 最終頁に続く
(21)出願番号	特願2020-526969(P2020-526969)	(73)特許権者	323006529 エノビクス・コーポレーション Enovix Corporation アメリカ合衆国94538カリフォルニア州フレモント、ウエスト・ウォーレン・アベニュー3501
(86)(22)出願日	平成30年11月15日(2018.11.15)	(74)代理人	100145403 弁理士 山尾 憲人
(65)公表番号	特表2021-503165(P2021-503165 A)	(74)代理人	100132241 弁理士 岡部 博史
(43)公表日	令和3年2月4日(2021.2.4)	(74)代理人	100113170 弁理士 稲葉 和久
(86)国際出願番号	PCT/US2018/061254	(72)発明者	ロバート・エス・ブザッカ アメリカ合衆国94118カリフォルニア州サンフランシスコ、マカリストア・
(87)国際公開番号	WO2019/099650	最終頁に続く	
(87)国際公開日	令和1年5月23日(2019.5.23)		
審査請求日	令和3年11月11日(2021.11.11)		
(31)優先権主張番号	62/586,737		
(32)優先日	平成29年11月15日(2017.11.15)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/715,233		
(32)優先日	平成30年8月6日(2018.8.6)		
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 電極アセンブリ及び二次電池

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

充電状態と放電状態との間でサイクルするための二次電池であって、電池筐体と、電極アセンブリと、キャリアイオンと、電極制約の集合と、第1および第2の絶縁メンバの集合と、電池筐体内の電極アセンブリから電流を集めるための電極および対電極バスバーとを備え、ここで、

(a) 前記電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系のx軸、y軸、z軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに前記縦方向に分離された第1の縦端面及び第2の縦端面と、前記電極アセンブリの縦軸A_{E A}を囲むとともに前記第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、前記側面は、前記電極アセンブリの縦軸の両側にあり、前記電極アセンブリの縦軸に直交する第1の方向に分離され、対向する第1および第2の領域を有し、前記電極アセンブリは、前記縦方向に測定された最大幅W_{E A}と、前記側面に囲まれ、前記横方向に測定された最大長L_{E A}と、前記側面に囲まれ、前記高さ方向に測定された最大高さH_{E A}と、を有し、ここで、前記最大長L_{E A}及び前記最大幅W_{E A}の前記最大高さH_{E A}に対する比率は少なくとも2:1であり、

(b) 前記電極アセンブリは、電極構造の集合、電極集電体の集合、前記キャリアイオンに対してイオン透過性を有するセパレータの集合、対電極構造の集合、対電極集電体の集合、およびユニットセルの集合をさらに備え、

(i) 前記電極構造および前記対電極構造の集合のメンバは、縦方向に交互に配列され、

(i i) 前記電極構造の集合の各メンバは、電極活物質層を有し、前記電極活物質層は

、前記電極活物質層の前記第1および第2の対向する横端面間の横方向で測定した前記電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、前記電極活物質層の前記第1及び第2の対向する垂直端面間の高さ方向で測定した前記電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、前記電極活物質層の前記第1及び第2の対向する縦端面間の縦方向に測定した前記電極活物質層のフェレット径に相当する幅 W_E と、を有し、

前記対電極構造の集合の各メンバは、対電極活物質を有し、前記対電極活物質は、前記対電極活物質層の前記第1および第2の対向する横端面間の横方向で測定した前記対電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、前記対電極活物質層の前記第1及び第2の対向する垂直端面間の高さ方向で測定した前記対電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、前記対電極活物質層の前記第1及び第2の対向する縦端面間の縦方向に測定した前記対電極活物質層のフェレット径に相当する幅 W_E と、を有すると共に、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5：1であり、

(i i i) 各ユニットセルは、前記電極集電体の集合の第1メンバのユニットセルの部分と、前記電極の集合の一メンバの第1の電極活物質層と、キャリアイオンがイオン透過する前記セパレータの集合の一メンバと、前記対電極の集合の一メンバの第1の対電極活物質層と、前記対電極集電体の集合の第1のメンバのユニットセルの部分と、を含み、(a a) 前記第1の電極活物質層は、前記セパレータの第1の側面に近接し、前記第1の対電極活物質層は、前記セパレータの対向する第2の側面に近接し、(b b) 前記セパレータは、前記第1の電極活物質層と前記第1の対電極活物質層とを電氣的に分離し、充電状態と放電状態との間の電池のサイクルにおいて、当該各ユニットセルの前記セパレータを介して前記第1の電極活物質層と前記第1の対電極活物質層との間で主にキャリアイオンが交換され、(c c) 前記電極集電体の集合の前記第1のメンバは、横方向に前記電極活物質層の長さ L_E に沿って少なくとも部分的に延び、そのような各ユニットセルの前記対電極活物質層の前記第1の横端面を越えて延びる前記電極集電体の端部を構成し、(d d) 前記対電極集電体の集合の前記第1のメンバは、横方向において前記対電極活物質層の長さ L_C に沿って少なくとも部分的に延び、そのような各ユニットセルの横方向において前記電極活物質層の前記第2の横端面を越えて延びる前記対電極集電体の端部からなり、

(i v) 前記電極構造の集合に含まれる前記電極構造の数は少なくとも5であり、前記対電極構造の集合に含まれる前記対電極構造の数は少なくとも5であって、

(c) (i) 前記電極バスバーは、前記電極集電体の集合に電氣的に接続するように構成され、前記電極アセンブリの縦方向に延びる少なくとも1つの導電性セグメントからなり、前記電極バスバーの前記導電セグメントは、前記電極集電体の集合の前記電極集電体の端部に対して、前記電極集電体の集合の前記電極集電体の端部が独立した電気接続を介して前記導電セグメントに個別に取り付けられるように配置されており、

又は

(c) (i i) 前記対電極バスバーは、前記対電極集電体の集合に電氣的に接続するように構成され、前記電極アセンブリの縦方向に延びる少なくとも1つの導電性セグメントからなり、前記対電極バスバーの前記導電セグメントは、前記対電極集電体の集合の前記対電極集電体の端部に対して、前記対電極集電体の集合の前記対電極集電体の端部が独立した電気接続を介して前記導電セグメントに個別に取り付けられるように配置されており、

(d) 前記第1の絶縁メンバおよび前記第2の絶縁メンバは、前記対電極構造の集合のメンバの前記対電極活物質層のそれぞれの第1および第2の横端面にあり、前記第1および第2の絶縁メンバは、前記対電極活物質層の第1および第2の横端面と、前記第1および第2の横端面のそれぞれに近接するそれぞれの電極バスバーおよび対電極バスバーとの間に横方向に配置されており、

(e) 前記電極制約のセットは、第1および第2の一次成長制約と少なくとも1つの一次接続メンバを含む一次制約系からなり、前記第1および第2の一次成長制約は、縦方向に互いに離間し、少なくとも1つの一次接続メンバは、前記第1および第2の一次成長制約を接続する、

二次電池。

【請求項 2】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 及び第 2 の絶縁メンバは、前記ユニットセルのメンバの前記電極活物質層及び前記対電極活物質層の両方の前記第 1 及び第 2 の横端面の少なくとも一つにわたって延びている、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 3】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 及び第 2 の絶縁メンバは、前記ユニットセルのメンバの縦方向の一端の電極集電体と、縦方向の他端の対電極集電体との間で縦方向に延びる、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 4】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 の絶縁メンバは、前記電極活物質層の第 1 の横端面から延びる第 1 の横方向の厚さ T_1 と、前記対電極活物質層の第 1 の横端面から延びる第 2 の横方向の厚さ T_2 と、を有し、前記第 2 の横方向の厚さ T_2 は、前記ユニットセルのメンバにおいて、前記第 1 の横方向の厚さ T_1 よりも大きい、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 5】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 2 の絶縁メンバは、前記電極活物質層の第 2 の横端面から延びる第 1 の横方向の厚さ T_1 と、前記対電極活物質層の第 2 の横端面から延びる第 2 の横方向の厚さ T_2 と、を有し、前記第 2 の横方向の厚さ T_2 は、前記ユニットセルのメンバにおいて、前記第 1 の横方向の厚さ T_1 よりも大きい、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 6】

各ユニットセル内において、

前記電極活物質層および前記対電極活物質層の第 1 の横端面は、前記電極アセンブリの同じ側にあり、前記電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面における前記電極活物質層の対向する第 1 の横端面の中央値横方向位置の 2 次元マップは、第 1 の横方向端面プロット E_{TP1} をトレースし、前記対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面における前記対電極活物質層の対向する第 1 の横端面の中央値横方向位置の 2 次元マップは、第 1 の横方向端面プロット C_{EP1} をトレースし、前記対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも 60% について、(i) 横方向に測定したプロット E_{TP1} と C_{EP1} との分離距離 S_{X1} の絶対値が $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii) 前記電極活物質層および前記対電極活物質層の前記第 1 の横端面間のように、前記対電極活物質層の第 1 の横端面は、電極活物質層の第 1 の横端面に対して内側に配置され、あるいは、

前記電極活物質層および前記対電極活物質層の第 2 の横端面は、前記電極アセンブリの同じ側にあり、前記対電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面における前記電極活物質層の対向する第 2 の横端面の中央値横方向位置の 2 次元マップは、第 2 の横方向端面プロット E_{TP2} をトレースし、前記対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面における前記対電極活物質層の対向する第 1 の横端面の中央値横方向位置の 2 次元マップは、第 2 の横方向端面プロット C_{EP2} をトレースし、前記対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも 60% について、(i) 横方向に測定したプロット E_{TP2} と C_{EP2} との分離距離 S_{X2} の絶対値が $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii) 前記電極活物質層および前記対電極活物質層の前記第 2 の横端面間のように、前記対電極活物質層の第 2 の横端面は、電極活物質層の第 2 の横端面に対して内側に配置される、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 7】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 の絶縁メンバは、前記電極活物質層の第 1 の横端面から延びる第 1 の横方向の厚さ T_1 と、前記対電極活物質層の第 1 の横端面から延びる第 2 の横方向の厚さ T_2 と、を有し、前記第 2 の横方向の厚さ T_2 は、前記ユニットセルの集合の各メンバについて、前記第 1 の横方向の厚さ T_1 よりも大きく、前記第 2 の厚さ T_2 から前記第 1 の厚さ T_1 を引いた横方向の広がり差は、横方向のオフセットまたは分離距離 S_{X1} に相当する、請求項 4 に記載の二次電池。

【請求項 8】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 2 の絶縁メンバは、前記電極活物質層の第 2 の横端面から延びる第 1 の横方向の厚さ T_1 と、前記対電極活物質層の第 2 の横端面から延びる第 2 の横方向の厚さ T_2 と、を有し、前記第 2 の横方向の厚さ T_2 は、前記ユニットセルの集合の各メンバについて、前記第 1 の横方向の厚さ T_1 よりも大きく、前記第 2 の厚さ T_2 から前記第 1 の厚さ T_1 を引いた横方向の広がり之差は、横方向のオフセットまたは分離距離 S_{x2} に相当する、請求項 4 に記載の二次電池。

【請求項 9】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、前記対電極活物質層の横端面を越えて縦方向に延び、前記ユニットセルのメンバの前記対電極集電体の横端面を覆っている、請求項 1 に記載の二次電池。

10

【請求項 10】

前記ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、前記電極活物質層の横端面を越えて縦方向に延び、前記ユニットセルのメンバの前記電極集電体の横端面を覆っている、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 11】

前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、隣接するユニットセルの対電極活性層の横断面を覆うように延びている、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 12】

前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、隣接するユニットセルの電極活性層の横断面を覆うように延びている、請求項 1 に記載の二次電池。

20

【請求項 13】

ユニットセルの集合の各メンバに対して、前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、ユニットセルのメンバにおいて、対電極活物質層の縦方向の一端の前記セパレータと、縦方向の他端の対電極集電体のユニットセルとの間で縦方向に延びる、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 14】

前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、セラミック、ポリマー、ガラス、およびそれらの組み合わせまたは複合体のいずれかから構成される、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 15】

前記第 1 の絶縁メンバおよび第 2 の絶縁メンバは、ユニットセルのメンバ内の構造物間の短絡を抑制するために電氣的に絶縁されている、請求項 1 に記載の二次電池。

30

【請求項 16】

前記第 1 および第 2 の絶縁メンバは、前記セパレータの集合のメンバよりもキャリアイオンに対するイオン透過性が低い、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 17】

前記電極活物質は、グラファイト、スズ、鉛、マグネシウム、アルミニウム、ホウ素、ガリウム、シリコン、 Si/C 複合体、 Si /グラファイトブレンド、 SiO_x 、多孔質 Si 、金属間 Si 合金、インジウム、ジルコニウム、ゲルマニウム、ビスマス、カドミウム、アンチモン、銀、亜鉛、ヒ素、ハフニウム、イットリウム、リチウム、ナトリウム、黒鉛、カーボン、チタン酸リチウム、パラジウムからなる群から選ばれたいずれかからなる、請求項 1 に記載の二次電池。

40

【請求項 18】

前記キャリアイオンは、リチウム、ナトリウム、およびマグネシウムからなる群から選択されるいずれかである、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 19】

前記電極構造および前記対極構造の集合は、それぞれ正電極構造および負電極構造の集合を構成する、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 20】

前記電極活物質は、前記二次電池を放電状態から充電状態にする際に、前記電極活物質 1 モル当たり 1 モル以上のキャリアイオンを受容する能力を有している、請求項 1 に記載

50

の二次電池。

【請求項 2 1】

第 2 方向に離間し、少なくとも 1 つの二次接続メンバによって接続された第 1 および第 2 の二次成長制約を含む二次制約系であって、前記二次電池のサイクル時に、前記電極アセンブリの前記第 2 方向への成長を少なくとも部分的に抑制し、前記第 2 方向は、前記縦方向と直交している、二次制約系を含む、請求項 1 に記載の二次電池。

【請求項 2 2】

前記第 1 および第 2 の二次成長制約は、電極構造の集合の 1 つまたは複数のメンバ、または対電極構造の集合の 1 つまたは複数のメンバに接続されている、請求項 2 1 に記載の二次電池。

【請求項 2 3】

前記少なくとも 1 つの二次接続メンバは、前記縦軸に沿って前記電極アセンブリの前記第 1 および第 2 の縦端面に内装されている、請求項 2 1 に記載の二次電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して、二次電池等のエネルギー貯蔵デバイスに用いるための電極アセンブリに関する。

【背景技術】

【0002】

ロッキングチェア又は挿入二次電池は、リチウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、又はマグネシウムイオン等のキャリアイオンが、電解質を介して正極と負極の間を移動する一種のエネルギー貯蔵デバイスである。二次電池は、単一の電池セル、又は電氣的に結合されて電池を形成する 2 つ以上の電池セルを含み、各電池セルは、正極と、負極と、微孔性セパレータと、及び電解質とを含み得る。

【0003】

ロッキングチェア電池セルにおいて、正電極及び負電極の両方が、キャリアイオンが挿入及び抽出される材料を含む。セルが放電するとき、キャリアイオンが負電極から抽出され、正電極に挿入される。セルが充電されるとき、逆のプロセスが発生する。即ち、正電極からキャリアイオンが抽出され、負電極に挿入される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

キャリアイオンが電極間を移動する際につきまとう課題の 1 つに、電池が繰り返し充電及び放電される時に電極が膨張及び収縮する傾向があるという事実がある。電極が膨張すると電氣的短絡及び電池の故障を引き起こすため、サイクル中の膨張及び収縮は、電池の信頼性及びサイクル寿命にとって問題となる傾向がある。さらに別の起こり得る問題に、電極配列の不一致がある。これは例えば、製造、使用又は輸送中における電池への物理的又は機械的なストレスが、電池の短絡及び故障に繋がり得る等である。

【0005】

従って、電池の信頼性及びサイクル寿命を改善するために、電池のサイクル中に電極の膨張及び収縮を制御することへの必要性が残っている。電極の配置を制御すること、並びに電池の接地面積を過度に増加させることなく電池の機械的安定性を改善する構造への必要性も残っている。

【0006】

さらに、そのような電池を製造する、信頼できかつ効果的な手段への必要性も残っている。即ち、慎重に制御された配置と、電池のサイクル中の電極アセンブリの制御された膨張とを伴う電極アセンブリを有する電池を提供するための効率的な製造方法への必要性がある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の一態様は、充電状態及び放電状態の間をサイクルするための二次電池に関し、二次電池は、電池筐体と、電極アセンブリと、電池筐体内のリチウムイオンと、及び、電極制約のセットとを含み、ここで、

(a) 電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに分離された第1の縦端面及び第2の縦端面と、電極アセンブリ縦軸 A_{EA} を囲むとともに第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、側面は、縦軸の両側に対向する第1及び第2の領域を有するとともに、縦軸に直交する第1の方向に分離され、電極アセンブリは、横方向測定された最大幅 W_{EA} と、側面により境界づけられかつ横方向計測された最大長 L_{EA} と、側面に境界づけられかつ高さ方向測定された最大高さ H_{EA} とを有し、ここで、最大長 L_{EA} 及び最大幅 W_{EA} の最大高さ H_{EA} に対する比率は少なくとも2:1であり、

10

(b) 電極アセンブリは、電極アセンブリ内の縦軸に並行な積層方向に積層された一連の層を含み、積層された一連の層は、負電極活物質層の集合と、負電極集電層の集合と、セパレータ材料層の集合と、正電極活物質層の集合と、及び、正電極集電材料層の集合とを含み、ここで、

(i) 負電極活物質層の集合の各々は、負電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、負電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

20

(ii) 正電極活物質層の集合の各々は、正電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、正電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、正電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(iii) 負電極活物質層の集合の各々は、少なくとも60質量%の負電極活物質と、20質量%未満の導電助剤と、及びバインダー材料とを含む粒子状材料を含み、負電極活物質はシリコン含有材料を含み、

30

(c) 電極制約のセットは、一次制約系と二次制約系とを含み、

(i) 一次制約系は、第1及び第2の成長制約と、少なくとも1つの一次接続メンバとを含み、第1及び第2の一次成長制約は縦方向に互いに分離され、一次接続メンバは、縦方向の電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に制約する第1及び第2の一次成長制約を接続し、並びに、

(ii) 二次制約系は、第2の方向に分離されかつ積層された一連の層の各々により接続された第1及び第2の二次成長制約を含み、ここで、二次制約系は、二次電池のサイクル時に電極アセンブリの第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は縦方向と直交し、並びに、

40

(iii) 一次制約系は、互いに垂直かつ積層方向に垂直な2つの方向の各々で、電極アセンブリに維持される圧力を超過する、電極アセンブリへの積層方向の圧力を維持し、

(d) 電極アセンブリは、ユニットセルの集合を含み、ここで、各ユニットセルは、電極集電体層の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、キャリアイオンに対してイオン透過性であるセパレータの集合のメンバと、電極活物質の集合の第1のメンバと、対電極集電体の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、及び、対電極活物質層の集合の第1のメンバとを含み、ここで、(aa) 電極活物質層の集合の第1のメンバは、セパレータの第1の側に近接し、対電極材料層の集合の第1のメンバは、セパレータの反対側の第2の側に近接し、(bb) セパレータは、電極活物質層の集合の第1のメンバを、対電極活物

50

質層の集合の第1のメンバから電氣的に分離させ、電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中において、電極活物質層の集合の第1のメンバと対電極活物質層の集合の第1のメンバとの間では、このような各ユニットセルのセパレータを介して、主として、キャリアイオンが交換され、(cc)各ユニットセル内において、

a. 電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置のX-Z平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースし、対電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置のX-Z平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第1の高さ端面プロット C_{EVP1} をトレースし、ここで、第1の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP1} 及び C_{EVP1} の間の分離距離の絶対値 S_{Z1} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面の間において、対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内側に配置され、

b. 電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面にそれぞれ順に対向し、電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置のX-Z平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第2の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースし、対電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置のX-Z平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第2の高さ端面プロット C_{EVP2} をトレースし、ここで、第2の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP2} 及び C_{EVP2} の間の分離距離の絶対値 S_{Z2} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z2}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面の間において、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置される。

【0008】

本開示の別の態様は、充電状態及び放電状態の間をサイクルするための二次電池に関し、二次電池は、電池筐体と、電極アセンブリと、電池筐体内のキャリアイオンと、及び、電極制約のセットとを含む。ここで、

(a) 電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系のx軸、y軸、z軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに分離された第1の縦端面及び第2の縦端面と、電極アセンブリ縦軸 A_{EA} を囲むとともに第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、側面は、縦軸の両側に対向する第1及び第2の領域を有するとともに、縦軸に直交する第1の方向に分離され、電極アセンブリは、横方向測定された最大幅 W_{EA} と、側面により境界づけられかつ横方向計測された最大長 L_{EA} と、側面に境界づけられかつ高さ方向測定された最大高 H_{EA} とを有し、ここで、最大長 L_{EA} 及び／又は最大幅 W_{EA} は最大高さ H_{EA} よりも大きく、

(b) 電極アセンブリは、電極アセンブリ内の縦軸に並行な積層方向に積層された一連の層を含み、積層された一連の層は、負電極活物質層の集合と、負電極集電層の集合と、セパレータ材料層の集合と、正電極活物質層の集合と、及び、正電極集電材料層の集合とを含み、ここで、

(i) 負電極活物質層の集合の各々は、負電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、負電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(ii) 正電極材料層の集合の各々は、正電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、正電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した正電極活

10

20

30

40

50

物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、正電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(iii) 負電極活物質層の集合の各々は、少なくとも60質量%の負電極活物質と、20質量%未満の導電助剤と、及びバインダー材料とを含む粒子状材料を含み、

(c) 電極制約のセットは、一次制約系と二次制約系とを含み、

(i) 一次制約系は、第1及び第2の成長制約と、少なくとも1つの一次接続メンバとを含み、第1及び第2の一次成長制約は縦方向に互いに分離され、一次接続メンバは、縦方向の電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に制約する第1及び第2の一次成長制約を接続し、並びに、

(ii) 二次制約系は、第2の方向に分離されかつ積層された一連の層の各々により接続された第1及び第2の二次成長制約を含み、ここで、二次制約系は、二次電池のサイクル時に電極アセンブリの第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は縦方向と直交し、並びに、

(iii) 一次制約系は、互いに垂直かつ積層方向に垂直な2つの方向の各々で、電極アセンブリに維持される圧力を超過する、電極アセンブリへの積層方向の圧力を維持し、

(d) 積層された一連の層は、横方向に互いに間隔を開けて配置された対向する端面を有する層を含み、層の複数の対向する端面は、対向する端面における層の伸長及び収縮により、横方向に配向された塑性変形及び変形を示す。

【0009】

本開示の他の態様、特徴及び実施形態は、以下の説明及び図面において、部分的に、説明され、部分的に、明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1A】電極アセンブリを伴って配備された制約系の一実施形態の斜視図

【図1B】二次電池のための3次元電極アセンブリの一実施形態の模式図

【図1C】図1Bの電極アセンブリのインセット断面図

【図1D】図1Bの直線Eに沿った、図1Bの電極アセンブリの断面図

【図2A】3次元電極アセンブリの一実施形態の模式図

【図2B】制約及び拡張された構成における陽極構造の集合のメンバを示す、3次元電極アセンブリの一実施形態の模式図

【図2C】制約及び拡張された構成における陽極構造の集合のメンバを示す、3次元電極アセンブリの一実施形態の模式図

【図3A】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3B】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3C】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3D】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3E】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3F】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3G】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図3H】電極アセンブリの異なる形状及びサイズの実施例を示す図

【図4A】図1Aに示す直線A-A'に沿った、電極アセンブリのある実施形態を示し、さらに一次及び二次成長制約系の要素を示す断面図

【図4B】図1Aに示す直線B-B'に沿った、電極アセンブリのある実施形態を示し、さらに一次及び二次成長制約系の要素を示す断面図

【図4C】図1Aに示す直線B-B'に沿った、電極アセンブリのある実施形態を示し、さらに一次及び二次成長制約系の要素を示す断面図

【図5】図1Aに示す直線A-A'に沿った、電極アセンブリのある実施形態を示す断面図

【図6A】電極アセンブリの多孔質二次成長制約の一実施形態と、二次成長制約を電極ア

10

20

30

40

50

センブリに接着するための一実施形態を示す上面図

【図 6 B】電極アセンブリの多孔質二次成長制約の一実施形態と、二次成長制約を電極アセンブリに接着するための一実施形態を示す上面図

【図 7】図 1 A に示す直線 A - A ' に沿い、一次制約系の一実施形態及び二次制約系の一実施形態を含む電極制約のセットをさらに含む電極アセンブリのある実施形態を示す断面図

【図 8 A】電極制約のセットにより電極アセンブリに及ぼされる力と、電極アセンブリを含む電池の繰り返しサイクル時に電極構造により及ぼされる力とを示す、一実施形態に係る力を示す概略図

【図 8 B】電極制約のセットにより電極アセンブリに及ぼされる力と、電極アセンブリを含む電池の繰り返しサイクル時に電極構造により及ぼされる力とを示す、一実施形態に係る力を示す概略図

10

【図 9 A】一次成長制約系の一実施形態と、電極バックボーンが使用された二次成長制約系の一実施形態とを含む電極制約のセットをさらに含む、図 1 A に示す直線 A - A ' に沿った電極アセンブリのある実施形態を示す断面図

【図 9 B】一次成長制約系の一実施形態と、電極集電装置が使用された二次成長制約系の一実施形態とを含む電極制約のセットをさらに含む、図 1 A に示す直線 A - A ' に沿った電極アセンブリのある実施形態を示す断面図

【図 10】成長制約のセットの一実施形態を利用するエネルギー貯蔵デバイス又は二次電池のある実施形態を示す分解図

【図 11 A】電極物質層の高さ端面と対電極物質層の高さ端面との間の、高さオフセット及び／又は分離距離 S_{z1} , S_{z2} を決定するための実施形態を示す図

20

【図 11 B】電極物質層の高さ端面と対電極物質層の高さ端面との間の、高さオフセット及び／又は分離距離 S_{z1} , S_{z2} を決定するための実施形態を示す図

【図 11 C】電極物質層の高さ端面と対電極物質層の高さ端面との間の、高さオフセット及び／又は分離距離 S_{z1} , S_{z2} を決定するための実施形態を示す図

【図 12 A】電極活物質層の横端面及び対電極活物質層の横端面との間の、横オフセット及び／又は分離距離 S_{x1} , S_{x2} を決定するための実施形態を示す図

【図 12 B】電極活物質層の横端面及び対電極活物質層の横端面との間の、横オフセット及び／又は分離距離 S_{x1} , S_{x2} を決定するための実施形態を示す図

【図 12 C】電極活物質層の横端面及び対電極活物質層の横端面との間の、横オフセット及び／又は分離距離 S_{x1} , S_{x2} を決定するための実施形態を示す図

30

【図 13 A】それ自体のフェレット径に従って、電極活物質層及び／又は対電極活物質層の高さ H_E , H_C 及び長さ L_E , L_C を決定するための実施形態を示す図

【図 13 B】それ自体のフェレット径に従って、電極活物質層及び／又は対電極活物質層の高さ H_E , H_C 及び長さ L_E , L_C を決定するための実施形態を示す図

【図 14 A】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z - Y 平面における断面図

【図 14 B】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z - Y 平面における断面図

40

【図 14 C】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z - Y 平面における断面図

【図 14 D】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z - Y 平面における断面図

【図 14 E】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z - Y 平面における断面図

50

【図 1 4 F】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z-Y 平面における断面図

【図 1 4 G】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z-Y 平面における断面図

【図 1 4 H】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、高さオフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Z-Y 平面における断面図

【図 1 5 A】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

10

【図 1 5 B】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

【図 1 5 C】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

【図 1 5 D】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

20

【図 1 5 E】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

【図 1 5 F】電極活物質層及び対電極活物質層を有するユニットセルの実施形態であって、横オフセット及び／又は分離距離を伴うものと伴わないものの両方の、Y-X 平面における断面図

【図 1 6 A】電極バスバー及び対電極バスバーを有する電極アセンブリの実施形態を示す図

【図 1 6 A-1】図 1 6 A の、X-Y 平面における断面図

【図 1 6 B】電極バスバー及び対電極バスバーを有する電極アセンブリの実施形態を示す図

30

【図 1 6 B-1】図 1 6 B の、X-Y 平面における断面図

【図 1 7】電極構造及び対電極構造の交互配置を有する二次電池の実施形態を示す図

【図 1 8 A】補助電極を有する電極アセンブリの実施形態の、Z-Y 平面における断面図

【図 1 8 B】補助電極を有する電極アセンブリの実施形態の、Z-Y 平面における断面図

【図 1 9】負電極サブユニットの端部の除去に続いて集電体端部が露出し、集電体端部における端部の除去の結果発生する集電体端部の部分の塑性変形を示す前と、それを示した後との負電極サブユニットの画像を示す模式図

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の要旨の他の態様、実施形態、及び特徴は、添付の図面に触れながら検討されることで、以下の詳細な説明から明らかになる。添付の図面は概略図であり、一定の縮尺で描かれることを意図したものではない。明確性のため、全ての要素又は構成要素が全ての図で符号を付されているわけではなく、また、当業者が発明の要旨を理解するのに例示が必要でない場合、本発明の要旨の各実施形態の全ての要素又は構成要素が示されているわけでもない。

40

【0012】

[定義]

本明細書で用いられる「ある」「ひとつの」「その」（即ち単数形）は、文脈で明示されているのでない限り、複数の指示対象を指す。例えば、一例では、「ある電極」といった場合、それは単一の電極及び複数の類似の電極の両方を含む。

50

【0013】

本明細書で用いられる「約」及び「およそ」は、記載された値の正負10%、5%、又は1%を指す。例えば、一例では、「約250 μm 」は、225 μm ～275 μm を含む可能性がある。さらなる例として、一例では、「約1000 μm 」は、900 μm ～1100 μm を含む可能性がある。特に明記されない限り、本明細書及び特許請求の範囲で用いられる量（例えば測定値）等を表す全ての数値は、全ての場合において「約」という語で修飾されているものとして理解されるべきである。従って、そうでないと明記されているのでない限り、以下の明細書及び特許請求の範囲に示される数値パラメータは、概算値である。各数値パラメータは少なくとも、報告された有効数字の数を考慮し、かつ通常の丸め手法を適用して理解されるべきである。

10

【0014】

本明細書で二次電池の文脈で用いられる「陽極」は、二次電池の負電極を指す。

【0015】

本明細書で用いられる「陽極活性」は、二次電池の陽極での使用に適した材料を指す。

【0016】

本明細書で二次電池の文脈で用いられる「陰極」は、二次電池の正電極を指す。

【0017】

本明細書で用いられる「陰極活性」は、二次電池の陰極での使用に適した材料を指す。

【0018】

本明細書で二次電池の状態の文脈で用いられる「充電状態」は、二次電池がその定格容量の少なくとも75%まで充電されている状態を指す。例えば、電池は、その定格容量の少なくとも80%、その定格容量の少なくとも90%、又はその定格容量の少なくとも95%（例えばその定格容量の100%）まで充電されていてよい。

20

【0019】

本明細書で用いられる「Cレート」は、二次電池が放電される速度の尺度を指し、これは、放電電流を理論電流ドロウで割った値として定義される。理論電流ドロウの下では、電池は公称定格容量を1時間で供給する。例えば、1CのCレートは、電池を1時間で放電する放電電流を指し、2CのCレートは、電池を1/2時間で放電する放電電流を指し、C/2のCレートは、バッテリーを2時間で放電する放電電流を指す。

【0020】

本明細書で二次電池の状態の文脈で用いられる「放電状態」は、二次電池がその定格容量の25%未満まで放電されている状態を指す。例えば、電池は、その定格容量の20%未満（例えば定格容量の10%）、並びにその定格容量の5%未満（例えば定格容量の0%）まで放電されていてよい。

30

【0021】

本明細書で、充電状態と放電状態の間の二次電池のサイクルの文脈で用いられる「サイクル」は、電池を充電及び／又は放電させて、電池を充電状態又は放電状態である第1の状態から、第1の状態と逆である第2の状態（例えば第1の状態が放電状態ならば充電状態、第1の状態が充電状態ならば放電状態）にサイクル動作させ、その後電池を第1の状態に戻すように動作させてサイクルを完了させることを指す。即ち、充電状態と放電状態との間の二次電池の1サイクルは、充電サイクルにおいては、電池を放電状態から充電状態に充電し、その後、放電して放電状態に戻し、サイクルを完了することを含み得る。1サイクルは、放電サイクルにおいては、電池を充電状態から放電状態に放電し、その後、充電して充電状態に戻し、サイクルを完了することを含み得る。

40

【0022】

電極アセンブリ、電極活物質層、及び／又は対電極活物質層に関して本明細書で参照される「フェレット径」は、2つの平面に垂直な方向で測定される、構造（即ち、電極アセンブリ、電極活物質層、及び／又は対電極活物質層）を制限する2つの平行な平面間の距離として定義される。例えば、電極アセンブリの縦方向のフェレット径は、電極アセンブリを制限する、縦方向に垂直な2つの平行平面間の、縦方向に測定された距離である。ま

50

たとえば、電極アセンブリの横方向のフェレット径は、電極アセンブリを制限する、横方向に垂直な2つの平行平面間の、横方向に測定された距離である。さらに例えば、電極アセンブリの高さ方向のフェレット径は、電極アセンブリを制限する、高さ方向に垂直な2つの平行平面間の、高さ方向測定された距離である。また例えば、電極活物質層の横方向のフェレット径は、電極活物質層を制限する、横方向に垂直な2つの平行平面間の、横方向測定された距離である。さらに例えば、電極活物質層の高さ方向のフェレット径は、電極活物質層を制限する、高さ方向に垂直な2つの平行平面間の、高さ方向測定された距離である。また例えば、対電極活物質層の横方向のフェレット径は、対電極活物質層を制限する、横方向に垂直な2つの平行平面間の、横方向測定された距離である。さらに例えば、対電極活物質層の高さ方向のフェレット径は、対電極活物質層を制限する、高さ方向に垂直な2つの平行平面間の、高さ方向測定された距離である。

10

【0023】

本明細書で用いられる「縦軸」「横軸」及び「高さ軸」は、互いに垂直な（即ち、それぞれが互いに直交する）軸を指す。例えば、本明細書で用いられる「縦軸」「横軸」及び「高さ軸」は、3次元の位置又は方向を定義するために用いられるデカルト座標系に近いものである。従って、本明細書の本発明の要旨の要素の説明は、要素の3次元の方向を説明するのに用いられている特定の1つ以上の軸に限定されない。換言すると、本発明の要旨の三次元的位置を参照するとき、軸は交換可能であり得る。

【0024】

本明細書で用いられる「縦方向」「横方向」及び「高さ方向」は、互いに垂直な（即ちそれぞれが互いに直交する）方向を指す。例えば、本明細書で用いられる「縦方向」「横方向」及び「高さ方向」は、3次元の位置又は方向を定義するために用いられるデカルト座標系の縦軸、横軸、及び高さ軸にそれぞれほぼ平行であってよい。

20

【0025】

本明細書で、二次電池の充電状態及び放電状態の間のサイクルの文脈で用いられる「繰り返しサイクル」は、放電状態から充電状態へ、又は充電状態から放電状態への複数回のサイクルを指す。例えば、充電状態と放電状態の間の繰り返しサイクルは、放電状態から充電状態への少なくとも2回のサイクルを含み得る。これは例えば、放電状態から充電状態への充電、充電状態から放電状態へ戻す放電、再度の充電状態への充電、そして最後に放電状態へ戻す放電、といったようなものである。さらに例えば、充電状態と放電状態との間の少なくとも2回の繰り返しサイクルは、充電状態から放電状態への放電と、充電状態に戻す充電と、再度放電状態への放電と、そして最後に充電状態へ戻す充電と、を含み得る。さらなる例として、充電状態と放電状態との間の繰り返しサイクルは、放電状態から充電状態への少なくとも5回のサイクル、さらには少なくとも10回のサイクルを含み得る。さらなる例として、充電状態と放電状態との間の繰り返しサイクルは、放電状態から充電状態への、少なくとも25回、50回、100回、300回、さらには1000回のサイクルを含み得る。

30

【0026】

本明細書で二次電池の文脈で用いられる「定格容量」は、標準温度（25℃）の条件下で測定された、ある期間にわたって特定の電流を送達する二次電池の容量を指す。例えば、定格容量は、所定の時間にわたって電流出力を決定するか、又は所定の電流に対してその電流が出力され得る時間を決定した上で、電流と時間の積をとることにより、[Amp・時間]の単位で計測され得る。例えば、定格20Amp・時の電池の場合、電流が定格の2アンペアで指定されているとすると、電池はその電流出力を10時間提供可能と理解でき、逆に、定格の時間を10時間と指定した場合、電池は10時間にわたって2アンペアを出力するものと理解できる。特に、二次電池の定格容量は、Cレート等の特定の放電電流における定格容量として与えられ得る。ここで、Cレートは、電池の容量に対する放電率の指標である。例えば1CのCレートは、電池を1時間で放電する放電電流を示し、2Cは電池を1/2時間で放電する放電電流を示し、C/2は電池を2時間で放電する電流を示し、といったようなものである。従って、例えば1CのCレートで定格容量20A

40

50

mp・時の電池は、20Ampの放電電流を1時間提供する一方で、2CのCレートで定格容量20Amp・時の電池は、40Ampの放電電流を1/2時間提供し、また、C/2のCレートで定格容量20Amp・時の電池は、10Ampの放電電流を2時間提供する。

【0027】

本明細書で、電極アセンブリの寸法の文脈で用いられる「最大幅（ W_{EA} ）」は、電極アセンブリの縦端面の対向する2点から縦方向に計測された、電極アセンブリの最大の幅に対応する。

【0028】

本明細書で、電極アセンブリの寸法の文脈で用いられる「最大長（ L_{EA} ）」は、電極アセンブリの側面の対向する2点から横方向に計測された、電極アセンブリの最大の長さに対応する。

【0029】

本明細書で、電極アセンブリの寸法の文脈で用いられる「最大高さ（ H_{EA} ）」は、電極アセンブリの側面の対向する2点から横方向に計測された、電極アセンブリの最大の高さに対応する。

【0030】

本明細書で用いられる「重心」は、平面オブジェクトの幾何学的中心を指し、これはオブジェクト内の全ての点の算術平均位置である。n次元空間において、重心は、オブジェクトの全ての点の、全ての座標方向における平均位置である。例えば負電極サブユニット及び正電極サブユニット、並びに負電極活物質層及び正電極活物質層等の、本明細書のオブジェクトの重心を説明する目的で、オブジェクトを実質的に2Dオブジェクトとして扱い、重心がオブジェクトの質量中心と実質的に同一となるようにできる。例えば、正電極サブユニット若しくは負電極サブユニット、又は、正電極活物質層若しくは負電極活物質層の重心は、その質量中心と実質的に同一であり得る。

【0031】

【詳細な説明】

概して、本開示の態様は、例えば図1B、図2A、及び／又は図20に示すような、充電状態及び放電状態の間をサイクルするエネルギー貯蔵デバイス100（例えば二次電池102）、並びにそれらの製造方法に関する。二次電池102は、電池筐体104と、電極アセンブリ106と、及びキャリアイオンを含み、また、電池筐体内に非水性液体電解質を含み得る。二次電池は、電極アセンブリ106の成長を制限する電極制約108のセットをも含み得る。制限されている電極アセンブリ106の成長とは、電極アセンブリ106の1つ以上の寸法の巨視的な増加であり得る。

【0032】

本開示の態様は、電極活物質層及び対電極活物質層について、高さ及び横方向におけるオフセット及び／又は分離距離の低減をさらに提供する。これは、以下で詳細に説明するように、二次電池の短絡又は故障のリスクを過度に増加させることなく、二次電池の貯蔵容量を改善することができる。本開示の態様はまた、二次電池を製造する方法、及び／又はフットプリントが低減された二次電池の高いエネルギー密度を提供し得る構造及び構成を提供し得る。

【0033】

さらに、特定の実施形態において、本開示の態様は、電池、コンデンサ、燃料電池等のエネルギー貯蔵デバイス100に組み込まれた時に特定の利点を提供する三次元制約構造を含む。一実施形態において、制約構造は、二次電池102が充電状態と放電状態との間で繰り返しサイクルされる場合に起こり得る電極アセンブリの成長、膨潤、及び／又は膨張のうちの少なくとも1つに抵抗するように選択された構成及び／又は構造を持つ。特に、放電状態から充電状態に移行する場合、リチウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、及びマグネシウムのうちの1つ以上等のキャリアイオンが、電池の正電極と負電極との間を移動する。電極に到達したキャリアイオンは、電極材料に

10

20

30

40

50

インターカレート又は合金化され、その電極のサイズ及び体積が増加する。逆に、充電状態から放電状態に移行するように逆転させると、イオンは非インターカレート又は非合金化し、電極が縮小する。この合金化及び／又はインターカレート、並びに非合金化及び／又はデインターカレートは、電極の大きな体積変化を引き起こし得る。さらに別の実施形態では、電極からのキャリアイオンの輸送は、例えば、(LCO及び他の材料を用いて)材料の残留層の静電斥力を増大させることにより、電極のサイズを増大させることができる。二次電池102に膨潤を引き起こし得る他のメカニズムには、例えば、電極上におけるSEIの形成、電解質及び他の成分の分解、さらにガスの形成が含まれ得る。従って、充電時及び放電時の電極の膨張及び収縮の繰り返し、並びにそれ以外の膨潤メカニズムは、電極アセンブリ106におけるひずみを生み出し、二次電池の性能の低下及び最終的には故障を引き起こし得る。

10

【0034】

図2A～図2Cを参照すると、本開示の実施形態による、電極アセンブリ106の繰り返しの拡張及び／又は収縮の影響を説明し得る。図2Aは、電極構造110の集合及び対電極構造112の集合(例えば、それぞれ、陽極及び陰極構造の集合)を有する、三次元電極アセンブリ106の実施形態を示す。この実施形態の三次元電極アセンブリ106は、互いに噛み合う電極構造110と対電極構造112の交互のセットを提供し、図2Aに示す実施形態においては、Y軸に平行な縦軸A_EA、X軸に平行な横軸(図示なし)、及びZ軸に平行な高さ軸(図示なし)を有する。ここに示すX・Y・Z軸は任意の軸であり、基準空間内で互いに直交する基底を示すことのみを目的としたものであり、構造を特定の方向に限定することを意図したものではない。電極アセンブリ106を有する二次電池102の充電及び放電サイクル時に、キャリアイオンは、電極アセンブリ110と対電極アセンブリ112の間を、図2Aに示す実施形態に示されるような一般にY軸に平行な方向等に、それぞれ移動し、また、キャリアイオンの電極材料への挿入及び／又は合金化の効果は、図2B～図2Cに示される実施形態で見られ得る。特に、図2Bは、充電状態と放電状態との間で二次電池106を繰り返しサイクルする前等の比較的拡張されていない状態の電極構造110を備えた電極アセンブリ106の実施形態を示す。比較すると、図2Cは、所定のサイクル数の間、二次電池を繰り返しサイクルした後の、電極構造110を備える電極アセンブリ106の実施形態を示す。この図に示すように、電極構造110の寸法は、電極材料へのキャリアイオンの挿入及び／又は合金化により、又は上述した他のメカニズムにより、積層方向(例えばY方向)に著しく増加し得る。電極構造110の寸法は、Z方向等の別の方向(図2Cでは図示なし)においても著しく増加し得る。さらに、電極構造110の寸法の増加は、電極構造110の膨張に対応するために、アセンブリ内の対電極構造112及びセパレータ130の変形等のように、電極アセンブリ内の構造の変形をもたらし得る。電極構造110の膨張は、図2Cに示す(並びにZ方向の上面及び底面等の他の方向の)実施形態に示されるように、最終的に、電極アセンブリ106のその縦端部での膨らみ及び／又は反りをもたらし得る。従って、一実施形態に係る電極アセンブリ106は、充電及び放電プロセス中のキャリアイオンのインターカレーション及びデインターカレーションにより、アセンブリ106の縦(Y)軸及び他の軸に沿って大幅な膨張及び収縮を示し得る。

20

30

40

【0035】

従って、一実施形態において、一次成長制約系151は、縦方向(即ちY軸に平行な方向)での電極アセンブリの例えば図1Aに示すような成長、拡張、及び／又は膨張のうちの少なくとも1つを軽減及び／又は低減するために、提供される。例えば、一時成長制約系151は、電極アセンブリ106の縦端面116、118における反対の膨張により成長を制約するように構成された構造を含み得る。一実施形態において、一時成長制約系151は、第1及び第2の一次成長制約154、156を含み、これらは縦方向で互いに分離され、かつ第1及び第2の一次成長制約154、156を互いに接続する少なくとも1つの一次接続メンバ162と共に動作して、電極アセンブリ106の成長を制約する。例えば、第1及び第2の一次成長制約154、156は、電極アセンブリ106の第1及び

50

第2の縦端面116, 118を少なくとも部分的に覆っていてよく、また、一次成長制約154, 156を互いに接続する接続メンバ162, 164と連動して動作し、充電及び／又は放電の繰り返しサイクル中に発生する電極アセンブリ106の成長に対抗して制約し得る。一次成長制約系151の実施形態及び動作のさらなる議論は、以下で詳細に提供される。

【0036】

加えて、二次電池102での充電及び放電プロセスを繰り返すサイクルは、電極アセンブリ106の縦方向（例えば図2AのY軸方向）だけでなく、上述のように、横方向及び高さ方向等の縦方向に直交する方向（例えば、図2AのそれぞれX軸及びZ軸方向）への成長及びひずみを誘発することもできる。さらに、特定の実施形態において、一方向の成長を制約するために一次成長制約系151を組み込むことにより、1つ以上の他の方向の成長及び／又は膨れを悪化させることさえあり得る。例えば、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約するために一次成長制約系151が提供される場合、充電及び放電のサイクル中のキャリアイオンのインターカレーション及び結果として生じる電極構造の膨張は、1つ以上の他の方向へのひずみを誘発し得る。特に、一実施形態において、電極の成長／膨れと縦方向の成長制約の組み合わせにより生成されたひずみは、高さ（例えば図2AのZ軸方向）方向又は横（例えば図2AのX軸）方向の電極アセンブリ106の座屈又は他の故障を引き起こし得る。

【0037】

従って、本開示の一実施形態において、二次電池102は、一時成長制約系151だけでなく、少なくとも1つの二次成長制約系152を含み得る。これは、電極アセンブリ106の複数の軸に沿った電極アセンブリ106の成長を制約するために、一時成長制約系151と連携して動作し得る。例えば一実施形態において、二次成長制約系152は、電極アセンブリ106の全体的な成長を制約して、電極アセンブリ106及び一次・二次成長制約系151, 152をそれぞれ有する二次電池の性能の向上及び故障の発生率の低減を提供できるように、一次成長制約系151と連動するか、そうでなければ相乗的に動作するように構成し得る。一次・二次成長制約系151, 152の各々の間の相互関係の実施形態、並びに、電極アセンブリ106の成長を制約するためのそれらの動作のさらなる議論は、以下で詳細に提供される。

【0038】

電極アセンブリ106の成長を制約することは、上述のように、電極アセンブリ106の1つ以上の寸法における全体的な巨視的な増加が制約されていることを意味する。即ち、電極アセンブリ106内の1つ以上の電極の体積の変化が充電及び放電サイクル中に小さな（例えば微視的な）スケールで発生し得るにも関わらず、電極アセンブリ106の全体的な成長は、（X軸、Y軸、及びZ軸に沿った）電極アセンブリ106の1つ以上の寸法の増加が制御されるように制約され得る。電極体積の微視的变化は、例えば、走査型電子顕微鏡（SEM）を介して観測可能であり得る。電極制約108のセットは、微視的レベルでいくつかの個々の電極の成長を阻害することが可能であり得るが、成長は（依然起こり得るものの）少なくとも制約されている。充電／放電時の各電極の体積変化は、個々の電極の微視的レベルの小さな変化であり得るものの、充電状態と放電状態との間のサイクルでは、電極アセンブリ106全体の巨視的レベルにおいて、比較的大きな体積変化をもたらす付加的な効果を有し得、これにより、電極アセンブリ106にひずみを引き起こし得る。

【0039】

一実施形態によると、電極アセンブリ106の陽極に対応する電極構造110で用いられる電極活物質は、二次電池102の充電中にキャリアイオンが電極活物質に挿入されると膨張する材料を含む。例えば、電極活物質は、二次電池の充電中に、例えば、キャリアイオンを挿入又は合金化することにより、電極活物質の体積の増加を引き起こすのに十分な量のキャリアイオンを受け入れる陽極活物質を含み得る。例えば、一実施形態において、電極活物質は、二次電池102が放電状態から充電状態に充電されるときに、電極活物

10

20

30

40

50

質 1 モルあたり 1 モル超のキャリアイオンを受け入れる能力を有する材料を含み得る。さらなる例として、電極活物質は、1 モルの電極活物質あたり 1.5 モル以上（例えば 2.0 モル以上等）のキャリアイオンを受け入れる能力を有する材料を含み得る。また、2.5 モル以上（例えば 3.5 モル以上等）のキャリアイオンを受け入れる能力を有する材料さえも含み得る。電極活物質により受け入れられるキャリアイオンは、リチウム、カリウム、ナトリウム、カルシウム、及びマグネシウムのうちの少なくとも 1 つであり得る。そのような体積変化を提供するために膨張する電極活物質の例は、シリコン（例えば SiO）、アルミニウム、スズ、亜鉛、銀、アンチモン、ビスマス、金、白金、ゲルマニウム、パラジウム、並びにこれらの合金及び化合物のうち 1 つ以上を含む。例えば、一実施形態において、電極活物質は、粒子状シリコン、粒子状酸化シリコン、及びそれらの混合物のうちの 1 つ以上といった、粒子状態のシリコン含有材料を含み得る。さらに別の実施形態では、電極活物質は、より小さい、又は無視し得るほどの体積変化を示す材料を含み得る。例えば、一実施形態において、電極活物質は、黒鉛等の炭素含有材料を含み得る。さらに別の実施形態では、電極構造は、電極活物質層として機能するリチウムの層を含む。

【0040】

本開示のさらに別の実施形態は、二次電池 102 等のエネルギー貯蔵デバイス 100、並びに／又は、電極アセンブリ 106 を含むそのための構造であって、制約系を含まないか、若しくは本明細書に記載の電極制約のセット 108 以外の制約系で制約される構造を備え得る。

【0041】

〔電極アセンブリ〕

再度図 1B 及び図 2A を参照して、一実施形態において、電極アセンブリ 106 は、電極構造 110 の集合、対電極構造 112 の集合、及び電極構造 110 を対電極構造 112 から電気的に絶縁する電気絶縁セパレータ 130 を含む。一例において、図 1B に示すように、電極アセンブリは、交互に配置された電極構造 110 及び対電極構造を備える一連の積層 800 を備える。図 1C は、図 1B の電極アセンブリ 106 を備える二次電池を示す差し込み図であり、図 1D は、図 1B の電極アセンブリ 106 を備える二次電池の断面図である。さらに別の例として、図 2A に示す実施形態において、電極アセンブリ 106 は、互いに噛み合った電極構造及び対電極構造を備える噛み合った電極アセンブリ 106 を備える。

【0042】

さらに、本明細書で用いられるに際し、「電極構造」又は「電極活物質」等の「電極」という語を用いて材料又は構造を記載している各実施形態について、そのような構造及び／又は材料は、特定の実施形態において、「負電極構造」又は「負電極活物質」等の「負電極」のものと対応し得ることは理解されるべきである。同様に、本明細書で用いられるに際し、「対電極構造」又は「対電極活物質」等の「対電極」という語を用いて材料又は構造を記載している各実施形態について、そのような構造及び／又は材料は、特定の実施形態において、「正電極構造」又は「正電極活物質」等の「正電極」のものと対応し得ることは理解されるべきである。即ち、適切な場合、電極及び／又は対電極について説明される任意の実施形態は、電極及び／又は対電極が具体的に負電極及び／又は正電極である同じ実施形態（それぞれに対応する構造及び材料を含む）に対応し得る。

【0043】

一実施形態において、電極構造 110 は、電極活物質層 132、電極活物質層 132 を支持する電極バックボーン 134、及び電極集電体 136 を含む。これは、図 7 に示す実施形態に示されるように、イオンがそこを通過することを可能にするイオンの多孔性の集電体であり得る。例えば、一実施形態において、電極構造 110 は、陽極活物質層、陽極バックボーン、及び陽極集電体を備える陽極構造を含み得る。さらに別の実施形態において、図 1B に示すように、電極構造 110 は、陽極集電体 136 及び陽極活物質層 132 を備える陽極構造を含み得る。例えば、陽極集電体 136 は、1 つ以上の陽極活物質層の間に配置された陽極集電体層を含み得る。さらに別の実施形態において、電極構造 110

は、リチウムシート電極等の単一層の材料を含み得る。同様に、一実施形態において、図 7 に示す実施形態に例示されるように、対電極構造 112 は、対電極活物質層 138、対電極集電体 140、並びに、1つ以上の対電極集電体 140 及び／又は対電極活物質層 138 をサポートする対電極バックボーン 141 を備える。例えば、対電極構造 112 は、一実施形態において、陰極活物質層、陰極集電体、及び陰極バックボーンを含む陰極構造を含み得る。さらに別の実施形態において、図 1B に示すように、対電極構造 110 は、陰極集電体 140 及び陰極的に活物質層 138 を含む陰極構造を含み得る。電気絶縁性微孔性セパレータ 130 は、キャリアイオンが、充電及び／又は放電プロセス中にそこを通過し、電極アセンブリ 106 内の電極構造 110 と対電極構造 112 との間を移動することを可能にする。さらに、電極構造 110 及び対電極構造 112 は、それぞれ本明細書に記載の特定の実施形態及び構造には限定されず、かつ、本明細書で具体的に記載されたものの以外の他の構成、構造、及び／又は材料も、電極構造 110 及び対電極構造 112 を形成するために提供され得ることは理解されるべきである。例えば、図 1B の場合のように、並びに／又は、バックボーンを含む電極構造 110 及び／若しくは対電極構造 112 の領域が代わりに電極活物質及び／若しくは対電極活物質で構成される場合のように、電極構造 110 及び対電極構造 112 は、構造が電極バックボーン 134 及び／若しくは対電極バックボーン 141、又はその両方が実質的に存在しない形で提供され得る。

【0044】

図 1B 及び図 2A に示す実施形態によれば、電極構造の集合 110 及び対電極構造の集合 112 のメンバは、交互の順序で配置され、交互の順序の方向は、積層方向 D に対応する。この実施形態による電極アセンブリ 106 は、互いに直交する縦軸、横軸、及び高さ軸をさらに含み、縦軸 A_{EA} は、電極構造の集合及び対電極構造の集合のメンバの積層方向 D に概ね対応するか又はそれに平行である。図 2A の実施形態に示すように、縦軸 A_{EA} は Y 軸に対応するものとして描かれ、横軸は X 軸に対応するものとして描かれ、高さ軸は Z 軸に対応するものとして描かれている。図 2A は、二次電池及び電極アセンブリに関する寸法及び軸を含む様々な特徴の説明のために本明細書で参照されるが、そのような説明は、図 1B - 図 1E の実施形態を含む、本明細書の他の図に示す実施形態にも適用され得ることは理解されるべきである。

【0045】

さらに、電極アセンブリ 106 は、縦方向（Y 軸方向）に測定された最大幅 W_{EA} 、側面により境界づけられ、横方向（X 軸方向）測定された最大長さ L_{EA} 、及び、側面により境界づけられ、高さ方向（Z 軸方向）測定された最大高さ H_{EA} を有する。最大幅 W_{EA} は、電極アセンブリが縦方向に最も広い電極アセンブリ 106 の縦端面 116, 118 が対向する点から測定したときの電極アセンブリ 106 の最大幅に対応すると理解できる。例えば、図 2A の電極アセンブリ 106 の実施形態を参照して、最大幅 W_{EA} は、縦方向測定したときのアセンブリ 106 の幅に単に対応すると理解できる。しかしながら、図 3H に示す電極アセンブリ 106 の実施形態を参照して、最大幅 W_{EA} は、電極アセンブリ 106 がより狭くなっている対向点 301a, 301b から測定される幅とは対照的に、電極アセンブリが縦方向に最も広くなっている 2 つの対向点 300a, 300b から測定される幅に対応していることが理解できる。同様に、最大長さ L_{EA} は、電極アセンブリが横方向に最も長い電極アセンブリ 106 の側面 142 の対向する点から測定したときの電極アセンブリの最大長さに対応すると理解できる。図 2A の実施形態を再度参照して、最大長さ L_{EA} は、単に電極アセンブリ 106 の長さとして理解できる。一方で、図 3H に示す実施形態において、最大長さ L_{EA} は、電極アセンブリがより短い対向点 303a, 303b から測定される長さとは対照的に、電極アセンブリが横方向に最も長い 2 つの対向点 302a, 302b から測定される電極アセンブリの長さに対応する。同様の線に沿って、最大高さ H_{EA} は、電極アセンブリの側面 143 の高さ方向に最も高い電極アセンブリの側面 143 の対向する点から測定した、電極アセンブリの最大高さに対応すると理解できる。即ち、図 2A に示す実施形態において、最大高さ H_{EA} は単に電極アセンブリの高さである。図 3H に示す実施形態では特に図示されていないが、もし電極アセンブリの高さである。図 3H に示す実施形態では特に図示されていないが、もし電極アセンブリの高さである。

リが縦方向と横方向の1つ以上の点で異なる高さを有する場合、電極アセンブリの最大高さ H_{EA} は、最大幅 W_{EA} 及び最大長さ L_{EA} について類推して説明されているように、電極アセンブリが高さ方向で最も高くなる2つの対向点から測定された高さとは対照的に、電極アセンブリが短くなる対向点から測定された高さに対応すると理解できる。電極アセンブリ106の最大長さ L_{EA} 、最大幅 W_{EA} 、及び最大高さ H_{EA} は、エネルギー貯蔵デバイス100及びその意図された用途に応じて変化し得る。例えば、一実施形態において、電極アセンブリ106は、従来の長さの二次電池の寸法に典型的な最大長さ L_{EA} 、幅 W_{EA} 、及び高さ H_{EA} を含み得る。さらなる例として、一実施形態では、電極アセンブリ106は、薄膜電池の寸法に典型的な最大長さ L_{EA} 、幅 W_{EA} 、及び高さ H_{EA} を含み得る。

10

【0046】

いくつかの実施形態において、寸法 L_{EA} 、 W_{EA} 、 H_{EA} は、高さ軸（Z軸）に沿った最大高さ H_{EA} よりも長い、横軸（X軸）に沿った最大長さ L_{EA} 及び／又は縦軸（Y軸）に沿った最大幅 W_{EA} を有する電極アセンブリ106を提供するように選択される。例えば、図2Aに示す実施形態では、寸法 L_{EA} 、 W_{EA} 、 H_{EA} は、電極構造積層方向Dと直交する横軸（X軸）に沿って、及び電極構造積層方向Dと一致する縦軸（Y軸）に沿って、最大の寸法を有する電極アセンブリ106を提供するために選択される。即ち、最大長さ L_{EA} 及び／又は最大幅 W_{EA} は、最大高さ H_{EA} よりも大きくなり得る。例えば、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大長さ L_{EA} の比率は、少なくとも2：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大長さ L_{EA} の比率は、少なくとも5：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大長さ L_{EA} の比率は、少なくとも10：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大長さ L_{EA} の比率は、少なくとも15：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大長さ L_{EA} の比率は、少なくとも20：1であり得る。異なる寸法の比率は、エネルギー貯蔵デバイス内の最適な構成を可能とし、活物質の量を最大化し、それによりエネルギー密度を増加させることができる。

20

【0047】

いくつかの実施形態において、最大幅 W_{EA} は、最大高さ H_{EA} よりも大きい電極アセンブリ106の幅を提供するように選択され得る。例えば、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、少なくとも2：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、少なくとも5：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、少なくとも10：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、少なくとも15：1であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大高さ H_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、少なくとも20：1であり得る。

30

【0048】

一実施形態によれば、最大長さ L_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、最適な構成を提供する所定の範囲内になるように選択され得る。例えば、一実施形態において、最大長さ L_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、1：5から5：1の範囲内であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大長さ L_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、1：3から3：1の範囲内であり得る。さらなる例として、一実施形態において、最大長さ L_{EA} に対する最大幅 W_{EA} の比率は、1：2から2：1の範囲内であり得る。

40

【0049】

図1B及び図2Aに示す実施形態において、電極アセンブリ106は、第1の縦端面116と、縦軸 A_{EA} に沿って第1の縦端面116から分離されて対向する第2の縦端面118とを有する。電極アセンブリ106は、縦軸 A_{EA} を少なくとも部分的に囲み、第1及び第2の縦端面116、118を接続する側面142をさらに含む。一実施形態において、最大幅 W_{EA} は、第1の縦端面116から第2の縦端面118まで測定された、縦軸A

50

E_A に沿った寸法である。同様に、最大長さ L_{EA} は、側面142により境界づけられ得て、一実施形態では、縦軸に直交する横軸に沿って側面142の対向する第1及び第2の領域144, 146から測定される寸法であり得る。一実施形態において、最大高さ H_{EA} は、側面142により境界を定められ得て、縦軸に直交する高さ軸に沿って側面142の対向する第1及び第2の領域148, 150から測定され得る。

【0050】

明確性のため、図2Aに示す実施形態では、4つの電極構造110及び4つの対電極構造112のみが示されており、同様に、図1Bには、限られた数の電極構造110及び対電極構造のみが示されている。一実施形態では、電極構造110の集合及び対電極構造112の集合のメンバの交互配列は、エネルギー貯蔵デバイス100及びその意図された使用に応じて、各集合のための任意の数のメンバを含んでよく、電極構造集合110及び対電極構造集合112のメンバの交互配列は、例えば図2Aに示すような間隔を空けて配置され得る。さらなる例として、一実施形態において、交互配列が積層方向Dに沿って終了する場合を覗いて、電極構造110の集合の各メンバは、対電極構造112の集合のうちの2つのメンバの間に存在し得る。さらなる例として、一実施形態において、交互配列が積層方向Dに沿って終了する場合を覗いて、対電極構造112の集合の各メンバは、電極構造110の集合のうちの2つのメンバの間に存在し得る。さらなる例として、一実施形態において、より一般的に論述すると、電極構造110の集合及び対電極構造112の集合は、それぞれN個のメンバを有し、N-1個の電極構造メンバ110の各々は、2つの対電極構造メンバ112の間にあり、N-1個の対電極構造メンバ112の各々は、2つの電極構造メンバ110の間にあり、Nは少なくとも2である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも4である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも5である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも10である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも25である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも50である。さらなる例として、一実施形態では、Nは少なくとも100以上である。一実施形態において、電極集合及び／又は対電極集合のメンバは、想像上のバックプレーン（例えば、電極アセンブリの表面と実質的に一致する平面）から十分に延びており、バックプレーン内のメンバの幾何学的フットプリント（即ち投影）の2倍よりも大きい表面積（空隙率を無視する）を有する。特定の実施形態において、仮想バックプレーンにおけるその幾何学的フットプリントに対する、非層状（即ち3次元）の電極構造及び／又は対電極構造の表面積の比率は、少なくとも約5、少なくとも約10、少なくとも約50、少なくとも約100、及び／又は、少なくとも約500でもあり得る。しかしながら、一般的にはその比率は、約2と約1000との間である。そのような一実施形態において、電極集合のメンバは、本質的に非層状である。さらなる例として、そのような一実施形態では、対電極集合のメンバは、本質的に非層状である。さらなる例として、そのような一実施形態において、電極集合のメンバ及び対電極集合のメンバは、本質的に非層状である。

【0051】

一実施形態によれば、電極アセンブリ106は、電極アセンブリ106が終端する縦端117, 119を有する。一実施形態によれば、電極アセンブリ106における電極構造110及び対電極構造112の交互配列は、電極アセンブリ106の各端部117, 119における電極構造110の縦方向への配置、又は、電極アセンブリ106の各端部117, 119における対電極構造112の縦方向への配置のように、縦方向に沿って対称に終止する。別の実施形態において、電極構造110及び対電極構造112の交互配列は、例えば縦軸 A_{EA} の一端117に電極構造110があり、縦軸 A_{EA} の他端119に対電極構造112がある、というように、縦方向に沿って非対称に終止し得る。さらに別の実施形態において、電極アセンブリ106は、電極アセンブリ106の1つ以上の端部117, 119において、電極構造110及び／又は対電極構造112の1つ以上の下部構造で終止し得る。例として、一実施形態によると、電極構造110及び対電極構造112の交互配列は、電極バックボーン134、対電極バックボーン141、電極集電体136、対

電極集電体 140、電極活物質層 132、対電極活物質層 138 等を含む、電極構造 110 及び対電極構造 112 の 1 つ以上の部分構造で終止してもよいし、セパレータ 130 のような構造で終止してもよいし、電極アセンブリ 106 の各縦端 117, 119 の構造は、同じ（対称）であってもよいし、異なって（非対称）いてもよい。電極アセンブリ 106 の縦終端 117, 119 は、電極アセンブリ 106 の全体的な成長を制約するために第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 によって接触される第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 を含み得る。

【0052】

さらに別の実施形態によれば、電極アセンブリ 106 は、電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 を負荷及び／又は電圧源（図示なし）に電気的に接続するために用いられ得る 1 つ以上の電極タブ 190 及び／又は対電極タブ 192（例えば図 20 参照）に接触し得る第 1 及び第 2 の横端部 145, 147（例えば図 1B、図 2A 参照）を有する。例えば、電極アセンブリ 106 は、各電極構造 110 を接続し得る電極バス 194（例えば図 2A 参照）を含むことができ、それは、電極構造 110 の集合の各メンバからの電流をプールする。同様に、電極アセンブリ 106 は、各対電極構造 112 が接続され得る対電極バス 196 を備えることができ、それは、対電極構造 112 の集合の各メンバからの電流をプールする。電極バス 194 及び／又は対電極バス 196 はそれぞれ、方向 D で測定された長さを有し、互いに噛み合った一連の電極構造 110, 112 の実質的に全長に延在する。図 20 に示す実施形態において、電極タブ 190 及び／又は対電極タブ 192 は、電極バス 194 及び／又は対電極バス 196 と電気的に接続し、実質的に全長に延在する電極タブ延長部 191, 193 を含む。代替的に、電極タブ 190 及び／又は対電極タブ 192 は、タブ延長部 191, 193 を必要とせず、電極バス 194 及び／又は対電極バス 196 の長さに沿ったその中間の端部又は位置に直接接続することができる。従って、一実施形態において、電極バス 194 及び／又は対電極バス 196 は、横方向に電極アセンブリ 106 の終端 145, 147 の少なくとも一部を形成し、電極アセンブリをタブ 190, 192 に接続して、負荷及び／又は電圧源（図示なし）に電気的に接続し得る。さらに、また別に実施形態において、電極アセンブリ 106 は、高さ軸（Z 軸）に沿って配置された第 1 及び第 2 の終端部 149, 153 を備える。例えば、一実施形態によると、各電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 は、図 2 に示されるように、セパレータ材料の上部コーティング及び下部コーティングが施され、ここで、コーティングは、高さ方向において電極アセンブリ 106 の終端 149, 153 を形成する。セパレータ材料のコーティングで形成され得る終端部 149, 153 は、高さ軸に沿った側面 142 の第 1 及び第 2 の表面領域 148, 150 を含み、これは、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 と接触して配置され、高さ方向の成長を制限し得る。

【0053】

一般に、電極アセンブリ 106 は、平面、共平面、又は非平面である縦端面 116, 118 を含み得る。例えば、一実施形態において、対向する縦端面 116, 118 は、凸形状であってよい。さらなる例として、一実施形態では、対向する縦端面 116, 118 は凹形状であってよい。さらなる例として、一実施形態では、対向する縦端面 116, 118 は実質的に平面である。特定の実施形態において、電極アセンブリ 106 は、平面に投影されたときに任意の範囲の二次元形状を有する対抗する縦端面 116, 118 を含み得る。例えば、縦端面 116, 118 は、独立して滑らかな湾曲形状（例えば円形、楕円形、双曲線、又は放物線）を有していてもよいし、それらは独立して一連の線と頂点（例えば多角形）を含んでもよいし、それらは独立して滑らかな曲線形状を含み、1 つ以上の直線と頂点を含んでもよい。同様に、電極アセンブリ 106 の側面 142 は、滑らかな湾曲形状であってよく（例えば、電極アセンブリ 106 は、円形、楕円形、双曲線、又は放物線の断面形状を有していてもよい）、又は、側面 142 は、頂点で接続された 2 つ以上の直線を含んでもよい（例えば、電極アセンブリ 106 は多角形断面を有していてもよい）。例えば、一実施形態において、電極アセンブリ 106 は、円筒形、楕円形円筒形、放物線円筒形、又は双曲線円筒形の形状を有する。さらなる例として、そのような一実施形

10

20

30

40

50

態では、電極アセンブリ106は、同じ寸法及び形状の対向する縦端面116, 118を有する角柱形状、及び平行四辺形の形状である側面142（即ち、対向する縦端面116, 118の間に伸びる面）を有し得る。さらなる例として、そのような一実施形態において、電極アセンブリ106は、三角プリズムに対応する形状を有し、電極アセンブリ106は、2つの対向する三角形の縦端面116, 118と、2つの縦端面の間に伸びる3つの平行四辺形（例えば長方形）からなる側面142とを有する。さらなる例として、そのような実施形態では、電極アセンブリ106は、直角柱に対応する形状を有し、電極アセンブリ106は、2つの対向する長方形縦端面116, 118と、4つの平行四辺形（例えば長方形）面を含む側面とを有する。さらなる例として、そのような一実施形態において、電極アセンブリは、五角柱、六角柱等に対応する形状を有し、電極アセンブリ106は、それぞれ対向する2つの五角形、六角形等の縦端面116, 118と、それぞれ5つ、6つ等の平行四辺形（例えば長方形）の面を含む側面とを含む。

【0054】

ここで図3A～図3Hを参照すると、いくつかの例示的な幾何学的形状が、電極アセンブリ106について概略的に示されている。より具体的には、図3Aにおいて、電極アセンブリ106は、縦軸A_EAに沿って離間した対向する第1及び第2の縦端面116, 118と、縦軸A_EAについての縦端面116, 118を接続する3つの長方形の面を含む側面142とを有する三角柱の形状を有する。図3Bにおいて、電極アセンブリ106は、縦軸A_EAに沿って離間した対向する平行四辺形の第1及び第2の縦端面116, 118と、2つの縦端面116, 118を接続して縦軸A_EAを囲む4つの平行四辺形の面を含む側面142とを有する、平行四辺形柱の形状を有する。図3Cにおいて、電極アセンブリ106は、縦軸A_EAに沿って離間した対向する長方形の第1及び第2の縦端面116, 118と、縦軸A_EAを囲むように2つの縦端面116, 118を接続する4つの長方形の面を含む側面142とを有する、長方形柱の形状を有する。図3Dにおいて、電極アセンブリ106は、縦軸A_EAに沿って離間した対向する五角形の第1及び第2の縦端面116, 118と、縦軸A_EAを囲むように2つの縦端面116, 118を接続する5つの長方形の面を含む側面142とを有する五角柱の形状を有する。図3Eにおいて、電極アセンブリ106は、縦軸A_EAに沿って離間した対向する六角形の第1及び第2の縦端面116, 118と、縦軸A_EAを囲むように2つの縦端面116, 118を接続する6つの長方形の面を含む側面142とを有する六角柱の形状を有する。図3Eにおいて、電極アセンブリは、縦軸A_EAに沿って離間された対向する正方形の第1及び第2の端面116, 118と、縦軸A_EAを囲むように2つの縦端面116, 118を接続する4つの台形面を含む側面142とを有する正方形錐台の形状を有し、ここで、台形面の縦軸に沿った寸法は、第1面116における大きい寸法から第2面118における小さい寸法に向かって先細りになっており、第2面のサイズは、第1面のサイズよりも小さい。図3Fにおいて、電極アセンブリは、縦軸A_EAに沿って離間された対向する正方形の第1及び第2の縦端面116, 118と、縦軸A_EAを囲むように2つの縦端面116, 118を接続する5つの台形面を含む側面とを有する五角錐台形状を有する。台形面は、第1面116における大きな寸法から第2面118における小さな寸法に向かって縦軸に沿って寸法が先細りになっており、第2面のサイズは、第1面のサイズよりも小さい。図3Hにおいて、電極アセンブリ106は、第1の長さから縦軸上の電極アセンブリ106の中央に向かって、縦軸上の電極アセンブリの第1の長さから中央に向かって、電極アセンブリ106の縦端部117, 119における第2の長さまで減少する長さを有する電極構造110及び対電極構造112により、縦方向に錐形の形状を有する。

【0055】

[電極／対電極分離距離]

一実施形態において、電極アセンブリ106は、電極構造110及び対電極構造112を有し、ここで、隣接する電極構造110及び対電極構造112の電極活物質層132と対電極活物質層138との間の高さ（高さ方向）及び／又は長さ（横方向）のオフセットは、所定の範囲内にあるように選択される。説明として、図14Aは、電極構造110の

電極活物質層 132 を含み、対電極構造 112 の対電極活物質層 138 に隣接し、その間に微孔性セパレータ 130 を有する電極アセンブリ 106 の一部の実施形態を示す。この断面図において、電極活物質層 132 の Z 方向の高さは、対電極活物質層 138 の Z 方向の高さとほぼ同じである。電極活物質層 132 と対電極活物質層 138 の高さが同じである構造は、層の間のキャリアイオン容量をマッチングさせ、それにより、高さが等しい層を有する二次電池 102 の蓄電容量を向上させるという点で利点はあるが、そのような高さが等しい層は問題にもなり得る。結果としては、キャリアイオンがメッキされたり、デンドライトが形成されたりする可能性があり、最終的にはバッテリーの性能低下又は故障につながり得る。陰極活物質層 138 の高さは、この問題を軽減するために電極活物質層 134 に対して低減され得るが、サイズの過度の不均一性は、二次電池の貯蔵容量及び機能に影響を与える。さらに、層 138, 132 間にオフセット又は分離距離が設けられている場合でも、二次電池 106 の使用中又は輸送中等、層を有する二次電池の機械的なジャレ又はバンプが、層の間の任意の元のオフセット及び／又は分離距離が無視できる程度になるか、又は排除されるように、層 138, 132 の配列を移動させ、変化させられる場合があり得る。

10

【0056】

従って、本開示の態様は、制約 108 のセット（本明細書に記載の実施形態のいずれかに対応するセット等）を提供することにより、二次電池の通常の使用又は輸送中に遭遇した物理的及び機能的応力の下であっても、電極構造 110 及び対電極構造 112 の層 138, 132 の間の配列を維持することができるという発見に向けられている。従って、所定のオフセット及び／又は分離距離は、二次電池 106 の良好な貯蔵容量を提供するために十分に小さく、同時に、電池の短絡又は故障の低減されたリスクを付与し、所定のオフセットは、わずか $5\text{ }\mu\text{m}$ 、かつ一般的には $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるように選択できる。

20

【0057】

図 14A～図 14H を参照して、本開示によるさらなる態様が記載されている。具体的には、電極アセンブリ 106 は、電極構造 110 の集合、電極集電体 136 の集合、セパレータ 130 の集合、対電極構造 112 の集合、対電極集電体 140 の集合、及びユニットセル 504 の集合を含むことには注意されたい。図 1B 及び図 2A を参照することによっても示されるように、電極構造及び対電極構造の集合のメンバは、縦方向に交互の順序で配置される。電極構造 110 の集合の各メンバは、電極集電体 136 と、第 1 及び第 2 の対向する横端面 502a, 502b の間で横方向測定されたフェレット径に対応する長さ L_E （例えば図 15A 参照）と、電極活物質 132 の第 1 及び第 2 の対向する高さ端面 500a, 500b の間で高さ方向測定されたフェレット径に対応する高さ H_E （例えば図 17 参照）とを有する電極活物質層 132 とを含む。電極構造 110 の各メンバはまた、電極活物質の第 1 及び第 2 の対向面の間で縦方向測定された電極活物質層 132 のフェレット径に対応する幅 W_E を有する電極活物質層 132（例えば図 14A 参照）を有する。対電極構造の集合の各メンバは、対電極集電体 140 と、対電極活物質層 138 の第 1 及び第 2 の対向する端面 503a, 503b の間で横方向測定されたフェレット径に対応する長さ L_C と（例えば図 15A 参照）、対電極活物質層 138 の第 1 及び第 2 の対向する端面 501a, 501b 間で高さ方向測定されたフェレット径に対応する高さ H_C とを有する対電極活物質層 138 とをさらに含む（例えば図 17A 参照）。対電極構造 112 の集合の各メンバは、電極活物質層の第 1 及び第 2 の対向する面の間で縦方向測定された対電極活物質層 138 のフェレット径に対応する幅 W_C を有する対電極活物質層 138 も有する（例えば図 14A 参照）。

30

40

【0058】

上で定義したように、横方向の電極活物質層 132 のフェレット径は、電極活物質層を制限する横方向に垂直な 2 つの平行な平面の間の横方向測定された距離である。電極活物質層 132 の高さ方向のフェレット径は、電極活物質層を制限する高さ方向に垂直な 2 つの平行な平面の間に高さ方向測定された距離である。対電極活物質層 138 の横方向のフェレット径は、対電極活物質層を制限する横方向に垂直な 2 つの平行な平面の間に横方向

50

測定された距離である。対電極活物質層 138 の高さ方向のフェレット径は、対電極活物質層を制限する高さ方向に垂直な 2 つの平行な平面の間の高さ方向測定された距離である。説明のため、図 13A 及び図 13B は、単一の 2D 平面で決定された、電極活物質層 132 及び／又は対電極活物質層 138 のフェレット径を示す。具体的には、図 13A は、Z-Y 平面で取った、電極活物質層 132 及び／又は対電極活物質層の 2D スライスを示す。層を Z 方向（高さ方向）に制限する 2 つの平行な X-Y 平面（505a, 505b）間の距離は、平面における層 H の高さ（即ち H_E 又は H_C ）に対応する。即ち、高さ方向のフェレット径は、層の最大高さの目安に相当すると理解できる。図 13A の描写は説明のために 2D スライスの描写のみであるが、3D 空間では、高さ方向のフェレット径は 1 つのスライスに限定されず、高さ方向に相互に分離された X-Y 平面 505a, 505b 間の距離であり、それらの間の 3 次元層を制限することは理解できる。同様に、図 13B は、電極活物質層 132 及び／又は対電極活物質層 138 の 2D スlice を、X-Z 平面で取ったものとして示している。層を X 方向（横方向）に制限する 2 つの平行な Z-Y 平面（505c, 505d）間の距離は、平面内の層の長さ L（即ち L_E 又は L_C ）に対応する。即ち、横方向のフェレット径は、層の最大長さの目安に相当すると理解できる。図 13B の描写は、説明のために 2D スライスの描写のみであるが、3D 空間では、横方向のフェレット径は 1 つのスライスに限定されず、横方向に相互に分離された Z-Y 平面 505c, 505d 間の距離であり、それらの間の 3 次元層を制限することは理解できる。電極活物質層 132 の幅 W_E 及び／又は対電極活物質層 138 の幅 W_C を得るために、縦方向の電極活物質層及び／又は対電極活物質層のフェレット径が同様に得られる。

【0059】

一実施形態において、電極アセンブリ 106 は、本明細書の他の場所でも説明されているように、それぞれ仮想の三次元デカルト座標系の X、Y、Z 軸に対応する相互に垂直な横軸、縦軸、高さ軸と、互いに縦方向に分離された第 1 及び第 2 の縦端面と、並びに、電極アセンブリの縦軸 A_EA を囲むように第 1 及び第 2 の縦端面を接続する側面とを有することは理解できる。ここで、側面は縦軸の反対側に対向する第 1 及び第 2 の領域を有し、縦軸に直交する第 1 の方向に分離され、電極アセンブリは、縦方向測定された最大幅 W_EA と、側面によって境界付けられ横方向測定された最大長さ L_EA と、側面により境界づけられ高さ方向測定された最大長さ H_EA とを有する。

【0060】

図 14A - 図 14H を再度参照して、各ユニットセル 504 は、電極集電体の集合の第 1 の電極集電体 136 のユニットセル部分と、キャリアイオンに対してイオン透過性であるセパレータ 130（例えば多孔質材料を含むセパレータ）と、電極集合の 1 メンバの第 1 の電極活物質層 132 と、対電極集電体の集合の第 1 の対電極集電体 140 のユニットセル部分と、及び、対電極の集合の 1 メンバの第 1 の対電極活物質層 138 とを含む。一実施形態において、一実施形態では、（例えば図 18A に示すように）ユニットセル集合の接触及び／又は隣接するメンバ 504a, 504b, 504c の場合、電極集電体 136 及び／又は対電極スフ電対の少なくとも一部は、ユニット（504a と 504b、及び 504b と 504c）間で共有されてもよい。例えば、図 18A を参照して、ユニットセル 504a, 504b が対電極集電体 140 を共有しているのに対して、ユニットセル 504b, 504c は電極集電体 136 を共有しているのがわかる。一実施形態において、各ユニットセルは、共有集電体の 1/2 を含むが、他の構造的配置も提供され得る。さらに別の実施形態によれば、電極アセンブリ 106 の縦端部にある端子ユニットセルの一部を形成する集電体の場合、ユニットセル 504 は、非共有集電体を含むことができ、従って、セルの一部として集電体全体を含む。

【0061】

さらに、図 14A - 図 14H 及び図 18A に示すユニットセルを再度参照して、各ユニットセル 504 内で、第 1 の電極活物質層 132a はセパレータ 130 の第 1 の側 506a に近接し、第 1 の対電極活物質層 138a はセパレータ 130 の反対側の第 2 の側 506b に近接することが見て取れる。図 18A の実施形態に示されるように、電極構造 11

0は、ユニットセル504aの一部を形成する第1の電極活物質層132aと、縦方向に隣接するユニットセルの一部を形成する第2の電極活物質層132bとの両方を含む。同様に、対電極構造112は、ユニットセル504aの一部を形成する第1の対電極活物質層138aと、縦方向に隣接するユニットセル(504b)を形成する第2の対電極活物質層138bとの両方を含む。セパレータ130は、第1の電極活物質層132aを第1の対電極活物質層138aから電氣的に分離し、キャリアイオンは主に、充電状態と放電状態との間の電池のサイクル中に、第1の電極活物質層132aと第1の対電極活物質層138aとの間で、そのような各ユニットセル504のセパレータ130を介して交換される。

【0062】

各ユニットセル504内の第1の電極活物質層132a及び第1の対電極活物質層138aとの間のオフセット及び／又は分離距離をさらに明確にするために、図11A-図11C及び図12A-図12Cを参照する。特に、図11A-図11Cを参照して、高さ方向のオフセット及び／又は分離距離が記載される。この実施形態の図11Aに図示されるように、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の高さ端面500a, 501aは、電極アセンブリ106の同じ側にある。さらに、電極活物質層の長さ L_E に沿った、 $X-Z$ 平面における電極活物質層132の第1の対向する高さ端面500aの中央高さ位置の2Dマップは、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースする。即ち、図11Cに示すように、横(X)方向に沿った ZY 平面の各々に対し、その ZY 平面の特定の横位置(X_1, X_2, X_3 等)で、面の Z 位置の中央値を Y の関数として取ることで、電極活物質層132の高さ端面500aの中央高さ位置(Z 位置)を求めることができる。図11Cは、概して、選択された X スライス(例えば X_1 におけるスライス)における特定の ZY 平面に対する高さ端面500aの中央高さ位置(Z 位置)を示す線の例を示す。(図11Cは、概して高さ端面、即ち、電極活物質層132の第1及び第2の高さ端面500a, 500b、並びに／又は、対電極活物質層138の第1及び第2の高さ端面501a, 501bのいずれかに対する中央値高さ位置(図の上下の破線)の決定を示すことには注意されたい。)図11Bは、この中央高さ位置(電極活物質の長さ L_E に沿って(即ち長さ L_E に沿う各 x 位置 X_1, X_2, X_3 で)決定されたもの)の2Dマップが、 x (例えば X_1, X_2, X_3 等)の関数としてプロットされた中央値高さ位置(z 位置)に対応する第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースする実施形態を示す。例えば、電極活物質層132の高さ端面500aの中央値高さ位置132は、電極活物質層の第1の横端部 X_{L0} から電極活物質層の第2の横端部 X_{LE} までに対応する x 位置に対する x の関数としてプロットされ得る。ここで、 $X_{LE}-X_{L0}$ は、横方向の電極活物質層132のフェレット径(電極活物質層132の長さ L_E)に相当する。

【0063】

同様に、対電極活物質層138の第1の対向する端面501aの場合、対電極活物質層138の長さ L_C に沿った $X-Z$ 平面における対電極活物質層の第1の対向する高さ端面501aの中央値高さ位置の2Dマップは、第1の高さ端面プロット C_{EVP1} をトレースする。図11Cを再度参照して、横方向に沿った ZY 平面の各々に対して、その ZY 平面の特定の横位置(X_1, X_2, X_3 等)で、 y の関数として、面の z 位置の中央値を取ることで、対電極活物質層138の高さ端面501aの中央値高さ位置(z 位置)を求めることができる。図11Cは、概して、選択された x スライス(例えば X_1 のスライス)における特定の YZ 平面の高さ端面501aの中央値高さ位置(z 位置)を示す直線の例を示す。図11Bは、この中央値高さ位置(対電極活物質の長さ L_C に沿って(即ち長さ L_C に沿う各 x 位置 X_1, X_2, X_3 で)決定されたもの)の2Dマップが、 x (例えば X_1, X_2, X_3 等)の関数としてプロットされた中央値高さ位置(z 位置)に対応する第1の高さ端面プロット C_{EVP1} をトレースする実施形態を示す。例えば、対電極活物質層138の高さ端面501aの中央値高さ位置138は、対電極活物質層の第1の横端部 X_{0c} から対電極活物質層の第2の横端部 X_{Lc} までに対応する x 位置に対する x の関数としてプロットされ得る。ここで、 $X_{Lc}-X_{L0}$ は、横方向の対電極活物質層138のフェレッ

10

20

30

40

50

ト径（対電極活物質層 138 の長さ L_C ）に相当する。

【0064】

さらに、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 1 の高さ面 500a, 501a の間の高さ分離に対するオフセット及び／又は分離距離要件は、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも 60% について、(i) 高さ方向計測されたプロット E_{VP1} , $C_{E_{VP1}}$ 間の分離距離 S_{Z1} の絶対値が、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ を満たすことを要求する。また、一実施形態において、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも 60% について、(ii) 電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 500a, 500b の間として、対電極活物質層の第 1 の高さ端面が、電極活物質層の第 1 の高さ端面に対して内向きに（例えば 508 に沿って内向きに）配置されていることが要求される。即ち、図 11B を参照して、x に沿った任意の点でのプロット E_{VP1} 及び $C_{E_{VP1}}$ の間の距離に対応する分離距離 S_{Z1} の絶対値は、第 1 の対電極活物質層 138 の長さ L_C の少なくとも 60%、即ち X_{0C} から X_{LC} までの位置 x の少なくとも 60%（横方向の対電極活物質層のフェレット径の 60%）について、 $1000\mu m$ 以下かつ $5\mu m$ 以上であることが要求されていることが見て取れる。また、第 1 の対電極活物質層 138 の長さ L_C の少なくとも 60%、即ち X_{0C} から X_{LC} までの位置 x の少なくとも 60%（横方向の対電極活物質層のフェレット径の 60%）について、対電極活物質層の第 1 の高さ端面は、電極活物質層の第 1 の高さ端面に対して内向きに配置されていることが見て取れる。

【0065】

一実施形態において、 S_{Z1} の絶対値は $5\mu m$ 以上、例えば、 $10\mu m$ 以上、 $15\mu m$ 以上、 $20\mu m$ 以上、 $35\mu m$ 以上、 $45\mu m$ 以上、 $50\mu m$ 以上、 $75\mu m$ 以上、 $100\mu m$ 以上、 $150\mu m$ 以上、及び、 $200\mu m$ 以上であり得る。別の実施形態において、 S_{Z1} の絶対値は、 1000 ミクロン以下、例えば、 $500\mu m$ 以下、 $475\mu m$ 以下、 $425\mu m$ 以下、 $400\mu m$ 以下、 $375\mu m$ 以下、 $350\mu m$ 以下、 $325\mu m$ 以下、 $300\mu m$ 以下、及び、 $250\mu m$ 以下であり得る。一実施形態において、 S_{Z1} の絶対値は、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ 、 $500\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 10\mu m$ 、及び／又は、 $250\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 20\mu m$ 、の関係に従い得る。さらに別の実施形態では、ユニットセル内の対電極活物質層 132 の幅 W_E のフェレット径に対して、 S_{Z1} の絶対値は、 $5 \times W_E \geq |S_{Z1}| \geq 0.05 \times W_E$ の範囲内にあり得る。さらに、一実施形態において、上記の絶対値及び／又は $|S_{Z1}|$ に関する関係は、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の 60% よりも多くにおいて真であり得る。これは例えば、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも 65%、少なくとも 70%、少なくとも 75%、少なくとも 80%、少なくとも 90%、又は、少なくとも 95% に対しても、である。

【0066】

さらに、 X_{0C} から X_{LC} までの位置 x の少なくとも 60%（対電極活物質層の横方向のフェレット径の 60%）に対して、対電極活物質層の第 1 の高さ端面は、電極活物質層の第 1 の高さ端面に対して内側に配置されている。即ち、電極活物質層 132 は、中央値高さ位置（図 11C に示すように、特定の X スライスに対する YZ 平面の z の位置）を有する、つまり、電極活物質層 132 の中央値高さ位置よりも、電極アセンブリ 106 の内側方向 508 に沿っていると理解できる。この電極活物質層 132 の対電極活物質層 138 に対する高さオフセットは、対電極活物質層 138 の高さを越えた電極活物質層 132 の高さを示す図 11A、並びに、横方向に沿って、対電極活物質層の中央値高さ位置 $C_{E_{VP1}}$ を越えた電極活物質層 132 の中央値高さ位置 E_{VP1} を示す図 11B のプロットからも見て取れる。一実施形態において、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の 60% 以上（例えば、第 1 の対電極活物質の長さ L_C の少なくとも 65%、少なくとも 70%、少なくとも 75%、少なくとも 80%、少なくとも 85%、少なくとも 90%、さらには少なくとも 95%）について、対電極活物質層の第 1 の高さ端面は、電極活物質層の第 1 の高さ端面に対して内側に配置される。

【0067】

一実施形態において、分離距離 S_{z1} の、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 500a, 501a に対する上述の関係は、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 500b, 501b (例えば図 18A に示す) に対しても同様に定義できる。即ち、第 2 の高さ端面 500b, 501b は互いに電極アセンブリ 106 の同じ側に存在し、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 500a, 501a にそれぞれ対向する。さらに、上述の分離距離 S_{z1} 及び／又はオフセットについての説明と同様に、電極活物質層の長さ L_E に沿った、XZ 平面における電極活物質層 132 の第 2 の対向する高さ端面 500b の中央値高さ位置の 2D マップは、第 2 の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースする。即ち、図 11A - 図 11C を参照して示されるように、横方向に沿った各 YZ 平面について、その YZ 平面の特定の横位置 (X_1, X_2, X_3 等) で、面の z 位置の中央値を y の関数として取得することで、電極活物質層 132 の第 2 の高さ端面 500b の中央値高さ位置 (z 位置) を決定することができる。図 11C は、概して、選択された x スライス (例えば X_1 のスライス) における特定の YZ 平面に対する第 2 の高さ端面 500b の中央値高さ位置 (z 位置) を示す直線の例を示す。図 11B は、x (例えば X_1, X_2, X_3 等) の関数としてプロットされた中央値高さ位置 (z 位置) に対応する第 2 の高さ端面プロット E_{VP2} を、(電極活物質層の長さ L_E に沿って (即ち長さ L_E に沿った各 x 位置 X_1, X_2, X_3 において) 決定された) この中央値高さ位置の 2D マップがトレースする実施形態を示す。例えば、電極活物質層 132 の第 2 の高さ端面 500b の中央値高さ位置は、x (横位置) の関数としてプロットされ得る。ここで、x 位置は電極活物質層の第 1 の横端面における X_{0E} から電極活物質層の第 2 の横端面における X_{LE} までに対応し、 $X_{LE} - X_{0E}$ は、横方向の電極活物質層 132 のフェレット径 (電極活物質層 132 の長さ L_E) に相当する。

【0068】

同様に、対電極活物質層 138 の第 2 の対向する端面 501b の場合、対電極活物質層 138 の長さ L_C に沿った X-Z 平面における対電極活物質層 138 の第 2 の対向高さ端面 501b の中央値高さ位置の 2D マップは、第 2 の高さ端面プロット C_{EVP2} をトレースする。再度図 11A - 図 11C を参照して、横方向に沿った YZ 平面の各々について、対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 501b の中央値高さ位置 (z 位置) は、その YZ 平面の特定の横位置 (例えば X_1, X_2, X_3 等) において、面の z 位置の中央値を y の関数として取得することで決定され得る。図 11C は、概して、選択された x スライス (例えば X_1 のスライス) における特定の YZ 平面に対する第 2 の高さ端面 501b の中央高さ位置 (z 位置) を示す直線の例を示す。図 11B は、対電極活物質の長さ L_C に沿って (即ち、長さ L_C に沿った x 位置 X_1, X_2, X_3 の各々において) 決定されたこの中央値高さ位置の 2D マップが、中央値高さ位置 (z 位置) に対応する x の関数としてプロットされた第 2 の高さ端面プロット C_{EVP2} をトレースする実施形態を示す。例えば、対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 501b の中央値高さ位置は x (横位置) の関数としてプロットされ、ここで、x 位置は、対電極活物質層の第 1 の横端部における X_{0C} から、対電極活物質層の第 2 の横端部における X_{LC} までに対応し、 $X_{LC} - X_{0C}$ は、対電極活物質層 138 の横方向のフェレット径 (対電極活物質層 138 の長さ L_C) に相当する。

【0069】

さらに、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 500b, 501b の間の高さ分離のオフセット及び／又は分離距離の要件は、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも 60% について、

(i) プロット E_{VP2} 及び C_{EVP2} の間の高さ方向計測された分離距離 S_{z2} の絶対値が、 $1000\mu m \geq |S_{z2}| \geq 5\mu m$ であることを要求する。また、一実施形態において、第 1 の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも 60% について、

(ii) 電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 500b, 501b の間において、対電極活物質層の第 2 の高さ端面は、電極活物質層の第 2 の高さ端面に対して内側に配置されていることが要求される。即ち、図 11B を参照すると、分離距離 S_{z2} の絶対値は、x に沿った任意の所与の点におけるプロット E_{VP2} , C_{EVP2} 間

の距離に対応し、第1の対電極活物質層138の長さ L_c の少なくとも60%、即ち X_{0c} から X_{Lc} までの位置 x の少なくとも60%（対電極活物質層の横方向のフェレット径の60%）について、 $1000\mu m$ 以下かつ $5\mu m$ 以上であることが要求されることが見て取れる。また、第1の対電極活物質層138の長さ L_c の少なくとも60%について、即ち、 X_{0c} から X_{Lc} の位置 x の少なくとも60%（対電極活物質層の横方向のフェレット径の60%）について、対電極活物質層の第2の高さ端面が、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置されていることも見て取れる。

【0070】

一実施形態において、 S_{z2} の絶対値は、 $5\mu m$ 以上であってよく、例えば、 $10\mu m$ 以上、 $15\mu m$ 以上、 $20\mu m$ 以上、 $35\mu m$ 以上、 $45\mu m$ 以上、 $50\mu m$ 以上、 $75\mu m$ 以上、 $100\mu m$ 以上、 $150\mu m$ 以上、並びに、 $200\mu m$ 以上等であり得る。別の実施形態において、 S_{z2} の絶対値は、 $1000\mu m$ 以下であってよく、例えば、 $500\mu m$ 以下、 $475\mu m$ 以下、 $425\mu m$ 以下、 $400\mu m$ 以下、 $375\mu m$ 以下、 $350\mu m$ 以下、 $325\mu m$ 以下、 $300\mu m$ 以下、及び $250\mu m$ 以下等であり得る。一実施形態において、 S_{z2} の絶対値は、 $1000\mu m \geq |S_{z2}| \geq 5\mu m$ 、 $500\mu m \geq |S_{z2}| \geq 10\mu m$ 、及び／又は、 $250\mu m \geq |S_{z2}| \geq 20\mu m$ の関係に従い得る。さらに別の実施形態において、ユニットセル中の対電極活物質層132の幅 W_E のフェレット径に対して、 S_{z2} の絶対値は $5 \times W_E \geq |S_{z2}| \geq 0.05 \times W_E$ の範囲内にあり得る。さらに、一実施形態において、 $|S_{z2}|$ の上述の値及び／又は関係のうちの任意のものは、第1の対電極活物質層の長さ L_c の60%より多く、例えば、第1の対電極活物質層の長さ L_c の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも85%、少なくとも90%、及び少なくとも95%において真であり得る。さらに、 S_{z2} について上述した値及び／又は関係は、 S_{z1} についてのものと同じ及び／又は異なるものであってよく、並びに／又は、長さ L_c の S_{z1} の場合とは異なる割合についても真であり得る。

【0071】

さらに、 X_{0c} から X_{Lc} までの位置 x の少なくとも60%（対電極活物質層の横方向のフェレット径の60%）について、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置されている。即ち、電極活物質層132は、対電極活物質層の長さ L_c の少なくとも60%について、対電極活物質層130よりも側面に近い中央値高さ位置（図11Cに示すような、特定のXスライスに対するYZ平面中の z 位置）を有すると理解できる。換言すると、対電極活物質層138は、電極活物質層132の中央値高さ位置よりも、電極アセンブリ106の内側方向508にさらに沿った中央値高さ位置（図11Cに示すように、特定のXスライスに対するYZ平面中の z 位置）を有すると理解できる。対電極活物質層138に対する電極活物質層132のこの高さオフセットは、対電極活物質層138の高さを超える電極活物質層132の高さを示す図11Aの実施形態と、横方向に沿った対電極活物質層の中央高さ位置 CE_{vp2} よりも低い電極活物質層132の中央高さ位置 E_{vp2} を示す図11Bのプロットと、からも見て取れる。一実施形態において、対電極活物質層の第2の高さ端面は、第1の対電極活物質層の長さ L_c の60%以上（例えば、第1の対電極活物質層の長さ L_c の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも85%、少なくとも90%、及び、少なくとも95%）について、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内側に配置されている。また、対電極活物質が電極活物質よりも内側にある長さ L_c の割合は、第1の高さ端面が第2の高さ端面と比較して異なり得る。

【0072】

さらに、一実施形態において、電極アセンブリ106は、各ユニットセル内の電極活物質層132及び対電極活物質層138の横端部同士の間横オフセット及び／又は分離距離をさらに含む。図12A－図12Cを参照して、横方向のオフセット及び／又は分離距離が記載される。この実施形態の図12Aに示すように、電極活物質層及び対電極活物質層138の第1の横端面502a、503aは、電極アセンブリ106の同じ側にある（

図15A～図15Fも参照)。さらに、電極活物質層の高さ H_E に沿った、電極活物質層132の第1の対抗する横端面502aの $X-Z$ 平面における中央値横位置の2Dマップは、第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースする。即ち、図12Aを参照して示すように、高さ方向に沿った YX 平面の各々について、電極活物質層132の横端面502aの横位置中央値(x 位置)は、 YX 平面の特定の高さ位置(Z_1, Z_2, Z_3 等)で、面の x 位置の中央値を y の関数として取得することで決定され得る。図23Cは、概して、選択された z スライス(例えば Z_1 におけるスライス)における特定の YX 平面の第1の横端面502aの中央値横位置(x 位置)を示す直線の例を示す。図11Cは、概して、選択された X スライス(例えば X_1 におけるスライス)における特定の ZY 平面に対する高さ端面500aの中央高さ位置(Z 位置)を示す線の例を示す。(図23Cは、概して横端面、即ち、電極活物質層132の第1及び第2の横端面502a, 502b、並びに／又は、対電極活物質層138の第1及び第2の横端面503a, 503bのいずれかに対する中央値横位置(図の上下の破線)の決定を示すことには注意されたい。)図12Bは、この中央横位置(電極活物質の長さ H_E に沿って(即ち長さ H_E に沿う各 z 位置 Z_1, Z_2, Z_3 で)決定されたもの)の2Dマップが、 z (例えば Z_1, Z_2, Z_3 等)の関数としてプロットされた中央値横位置(x 位置)に対応する第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースする実施形態を示す。例えば、電極活物質層132の高さ端面502aの中央値横位置は、電極活物質層の第1の横端面 Z_{0E} から電極活物質層の第2の横端面 Z_{HE} までに対応する z 位置に対する z の関数としてプロットされ得る。ここで、 $Z_{HE}-Z_{0E}$ は、高さ方向の電極活物質層132のフェレット径(電極活物質層132の高さ H_E)に相当する。

【0073】

同様に、対電極活物質層138の第1の横端面503aの場合、対電極活物質層138の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面における対電極活物質層138の第1の対向する横端面503aの中央値横位置の2Dマップは、第1の横端面プロット C_{TP1} をトレースする。図12A～図12Cを再度参照して、高さ方向に沿った YX 平面の各々に対して、その YX 平面の特定の高さ位置(Z_1, Z_2, Z_3 等)で、 y の関数として、面の x 位置の中央値を取ることで、対電極活物質層138の横端面503aの中央値横位置(x 位置)を求めることができる。図23Cは、概して、選択された z スライス(例えば Z_1 のスライス)における特定の YX 平面の横端面503aの中央値横位置(x 位置)を示す直線の例を示す。図12Bは、この中央値横位置(対電極活物質の高さ H_C に沿って(即ち高さ H_C に沿う各 z 位置 Z_1, Z_2, Z_3 で)決定されたもの)の2Dマップが、 z (例えば Z_1, Z_2, Z_3 等)の関数としてプロットされた中央値横位置(x 位置)に対応する第1の横端面プロット C_{TP1} をトレースする実施形態を示す。例えば、対電極活物質層138の横端面503aの中央値横位置は、対電極活物質層138の第1の高さ端面 Z_{0C} から対電極活物質層の第2の高さ端面 Z_{HC} までに対応する z 位置に対する z (高さ位置)の関数としてプロットされ得る。ここで、 $Z_{HC}-Z_{0C}$ は、高さ方向の対電極活物質層138のフェレット径(対電極活物質層138の高さ H_C)に相当する。

【0074】

さらに、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の横端面502a, 502bの間の横分離に対するオフセット及び／又は分離距離要件は、第1の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)高さ方向計測されたプロット E_{TP1}, C_{TP1} 間の分離距離 S_{X1} の絶対値が、 $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ を満たすことを要求する。また、一実施形態において、第1の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(ii)電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の横端面502a, 503aの間として、対電極活物質層の第1の横端面が、電極活物質層の第1の横端面に対して内向きに配置されていることが要求される。即ち、図12Bを参照して、 z に沿った任意の点でのプロット E_{TP1} 及び C_{TP1} の間の距離に対応する分離距離 S_{X1} の絶対値は、第1の対電極活物質層138の高さ H_C の少なくとも60%、即ち Z_{0C} から Z_{HC} までの位置 z の少なくとも60%(高さ方向の対電極活物質層のフェレット径の60%)について、 $1000\mu m$ 以下かつ $5\mu m$ 以上であることが要求されていること

が見て取れる。また、第1の対電極活物質層138の高さ H_C の少なくとも60%、即ち Z_{0C} から Z_{HC} までの位置 z の少なくとも60%（高さ方向の対電極活物質層のフェレット径の60%）について、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の横端面に対して内向きに配置されていることが見て取れる。

【0075】

一実施形態において、 S_{X1} の絶対値は $5\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $10\mu\text{m}$ 以上、 $15\mu\text{m}$ 以上、 $20\mu\text{m}$ 以上、 $35\mu\text{m}$ 以上、 $45\mu\text{m}$ 以上、 $50\mu\text{m}$ 以上、 $75\mu\text{m}$ 以上、 $100\mu\text{m}$ 以上、 $150\mu\text{m}$ 以上、及び、 $200\mu\text{m}$ 以上であり得る。別の実施形態において、 S_{X1} の絶対値は、 $1000\mu\text{m}$ 以下、例えば、 $500\mu\text{m}$ 以下、 $475\mu\text{m}$ 以下、 $425\mu\text{m}$ 以下、 $400\mu\text{m}$ 以下、 $375\mu\text{m}$ 以下、 $350\mu\text{m}$ 以下、 $325\mu\text{m}$ 以下、 $300\mu\text{m}$ 以下、及び、 $250\mu\text{m}$ 以下であり得る。一実施形態において、 S_{X1} の絶対値は、 $1000\mu\text{m} \geq |S_{X1}| \geq 5\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m} \geq |S_{X1}| \geq 10\mu\text{m}$ 、及び／又は、 $250\mu\text{m} \geq |S_{X1}| \geq 20\mu\text{m}$ 、の関係に従い得る。さらに別の実施形態では、ユニットセル内の対電極活物質層132の幅 W_E のフェレット径に対して、 S_{X1} の絶対値は、 $5 \times W_E \geq |S_{X1}| \geq 0.05 \times W_E$ の範囲内にあり得る。さらに、一実施形態において、上記の絶対値及び／又は $|S_{X1}|$ に関する関係は、第1の対電極活物質層の高さ H_C の60%よりも多くにおいて真であり得る。これは例えば、第1の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも90%、又は、少なくとも95%に対しても、である。さらに、 S_{X1} についての上述の値及び／又は関係は、 S_{Z1} 及び／又は S_{Z2} に関するものと同じであっても、それと異なってもよい。

【0076】

さらに、 Z_{0C} から Z_{HC} までの位置 z の少なくとも60%（対電極活物質層の高さ方向のフェレット径の60%）に対して、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の横端面に対して内側に配置されている。即ち、電極活物質層132は、中央値横位置（図23Cに示すように、特定のZスライスに対するXY平面の x 位置）を有する、つまり、電極活物質層132の中央値横位置よりも、電極アセンブリ106の内側方向510に沿っていると理解できる。この電極活物質層132の対電極活物質層138に対する横オフセットは、対電極活物質層138の長さを超えた電極活物質層132の長さを示す図12A、並びに、高さ方向に沿って、対電極活物質層の中央値横位置 CE_{TP1} を超えた電極活物質層132の中央値横位置 E_{TP1} を示す図12Bのプロットからも見て取れる。一実施形態において、第1の対電極活物質層の高さ H_C の60%以上（例えば、第1の対電極活物質の高さ H_C の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも85%、少なくとも90%、さらには少なくとも95%）について、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の横端面に対して内側に配置される。

【0077】

一実施形態において、分離距離 S_{X1} の、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の横端面502a、503aに対する上述の関係は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第2の横端面502b、503b（例えば図15A－図15Fに示す）に対しても同様に定義できる。即ち、第2の横端面502b、503bは互いに電極アセンブリ106の同じ側に存在し、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の横端面502a、503aにそれぞれ対向する。さらに、上述の分離距離 S_{X1} 及び／又はオフセットについての説明と同様に、電極活物質層の高さ H_E に沿った、XZ平面における電極活物質層132の第2の対向する横端面502bの中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット E_{TP2} をトレースする。即ち、図12A－図12Cを参照して示されるように、高さ方向に沿った各YX平面について、そのYX平面の特定の高さ位置（ Z_1 、 Z_2 、 Z_3 等）で、面の x 位置の中央値を y の関数として取得することで、電極活物質層132の第2の横端面502bの中央値横位置（ x 位置）を決定することができる。図23Cは、概して、選択されたあるスライス（例えば Z_1 のスライス）における特

定の YX 平面に対する第 2 の横端面 502b の中央値横位置 (x 位置) を示す直線の例を示す。図 12B は、 z (例えば Z_1, Z_2, Z_3 等) の関数としてプロットされた中央値横位置 (x 位置) に対応する第 2 の横端面プロット E_{TP2} を、(電極活物質層の高さ H_E に沿って (即ち高さ H_E に沿った各 z 位置 Z_1, Z_2, Z_3 において) 決定された) この中央値横位置の 2D マップがトレースする実施形態を示す。例えば、電極活物質層 132 の第 2 の横端面 502b の中央値横位置は、 z (高さ位置) の関数としてプロットされ得る。ここで、 z 位置は電極活物質層の第 1 の高さ端面における Z_{0E} から電極活物質層の第 2 の高さ端面における Z_{HE} までに対応し、 $Z_{HE} - Z_{0E}$ は、高さ方向の電極活物質層 132 のフェレット径 (電極活物質層 132 の高さ H_E) に相当する。

【0078】

同様に、対電極活物質層 138 の第 2 の横端面 503b の場合、対電極活物質層 138 の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面における対電極活物質層 138 の第 2 の対向横端面 503b の中央値横位置の 2D マップは、第 2 の横端面プロット $C_{E_{TP2}}$ をトレースする。再度図 12A - 図 12C を参照して、高さ方向に沿った YX 平面の各々について、対電極活物質層 138 の第 2 の横端面 503b の中央値横位置 (x 位置) は、その YX 平面の特定の高さ位置 (例えば Z_1, Z_2, Z_3 等) において、面の z 位置の中央値を y の関数として取得することで決定され得る。図 23C は、概して、選択された z スライス (例えば Z_1 のスライス) における特定の YX 平面に対する第 2 の横端面 503b の中央横位置 (x 位置) を示す直線の例を示す。図 12B は、対電極活物質の高さ H_C に沿って (即ち、高さ H_C に沿った z 位置 Z_1, Z_2, Z_3 の各々において) 決定されたこの中央値横位置の 2D マップが、中央値横位置 (x 位置) に対応する z の関数としてプロットされた第 2 の横端面プロット $C_{E_{TP2}}$ をトレースする実施形態を示す。例えば、対電極活物質層 138 の第 2 の横端面 503b の中央値横位置は z (高さ位置) の関数としてプロットされ、ここで、 z 位置は、対電極活物質層の第 1 の横端面における Z_{0C} から、対電極活物質層の第 2 の横端面における Z_{HC} までに対応し、 $Z_{HC} - Z_{0C}$ は、対電極活物質層 138 の高さ方向のフェレット径 (対電極活物質層 138 の高さ H_C) に相当する。

【0079】

さらに、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 2 の横端面 502b, 503b の間の横分離のオフセット及び/又は分離距離の要件は、第 1 の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも 60% について、

(i) プロット E_{TP2} 及び $C_{E_{TP2}}$ の間の高さ方向計測された分離距離 S_{X2} の絶対値が、 $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であることを要求する。また、一実施形態において、第 1 の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも 60% について、

(ii) 電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 2 の横端面 502b, 503b の間において、対電極活物質層の第 2 の横端面は、電極活物質層の第 2 の横端面に対して内側に配置されていることが要求される。即ち、図 12B を参照すると、分離距離 S_{X2} の絶対値は、 z に沿った任意の所与の点におけるプロット E_{TP2} , $C_{E_{TP2}}$ 間の距離に対応し、第 1 の対電極活物質層 138 の高さ H_C の少なくとも 60%、即ち Z_{0C} から Z_{HC} までの位置 z の少なくとも 60% (対電極活物質層の高さ方向のフェレット径の 60%) について、 $1000\mu m$ 以下かつ $5\mu m$ 以上であることが要求されることが見て取れる。また、第 1 の対電極活物質層 138 の高さ H_C の少なくとも 60% について、即ち、 Z_{0C} から Z_{HC} の位置 z の少なくとも 60% (対電極活物質層の高さ方向のフェレット径の 60%) について、対電極活物質層の第 2 の横端面が、電極活物質層の第 2 の横端面に対して内側に配置されていることも見て取れる。

【0080】

一実施形態において、 S_{X2} の絶対値は、 $5\mu m$ 以上であってよく、例えば、 $10\mu m$ 以上、 $15\mu m$ 以上、 $20\mu m$ 以上、 $35\mu m$ 以上、 $45\mu m$ 以上、 $50\mu m$ 以上、 $75\mu m$ 以上、 $100\mu m$ 以上、 $150\mu m$ 以上、並びに、 $200\mu m$ 以上等でありえる。別の実施形態において、 S_{X2} の絶対値は、 $1000\mu m$ 以下であってよく、例えば、 $500\mu m$ 以下、 $475\mu m$ 以下、 $425\mu m$ 以下、 $400\mu m$ 以下、 $375\mu m$ 以下、 35

10

20

30

40

50

0 μm 以下、325 μm 以下、300 μm 以下、及び250 μm 以下等であり得る。一実施形態において、 S_{X2} の絶対値は、 $1000\ \mu\text{m} \geq |S_{X2}| \geq 5\ \mu\text{m}$ 、 $500\ \mu\text{m} \geq |S_{X2}| \geq 10\ \mu\text{m}$ 、及び／又は、 $250\ \mu\text{m} \geq |S_{X2}| \geq 20\ \mu\text{m}$ の関係に従い得る。さらに別の実施形態において、ユニットセル中の対電極活物質層132の幅 W_E のフェレット径に対して、 S_{X2} の絶対値は $5 \times W_E \geq |S_{X2}| \geq 0.05 \times W_E$ の範囲内にあり得る。さらに、一実施形態において、 $|S_{X2}|$ の上述の値及び／又は関係のうちの任意のものは、第1の対電極活物質層の高さ H_C の60%より多く、例えば、第1の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも85%、少なくとも90%、及び少なくとも95%において真であり得る。さらに、 S_{X2} について上述した値及び／又は関係は、 S_{X1} についてのものと同一及び／又は異なるものであってよく、並びに／又は、高さ H_C の S_{X1} の場合とは異なる割合についても真であり得る。

【0081】

さらに、 Z_{OC} から Z_{HC} までの位置 z の少なくとも60%（対電極活物質層の高さ方向のフェレット径の60%）について、対電極活物質層の第2の横端面は、電極活物質層の第2の横端面に対して内側に配置されている。即ち、電極活物質層132は、対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、対電極活物質層130よりも側面に近い中央値横位置（図23Cに示すような、特定のZスライスに対するXY平面中の x 位置）を有すると理解できる。換言すると、対電極活物質層138は、電極活物質層132の中央値横位置よりも、電極アセンブリ106の内側方向510にさらに沿った中央値横位置（図23Cに示すように、特定のXスライスに対するXY平面中の x 位置）を有すると理解できる。対電極活物質層138に対する電極活物質層132のこの横オフセットは、対電極活物質層138の長さを超える電極活物質層132の長さを示す図12Aの実施形態と、高さ方向に沿った対電極活物質層の中央横位置 C_{ETP2} よりも低い電極活物質層132の中央横位置 E_{TP2} を示す図12Bのプロットと、からも見て取れる。一実施形態において、対電極活物質層の第2の横端面は、第1の対電極活物質層の高さ H_C の60%以上（例えば、第1の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも65%、少なくとも70%、少なくとも75%、少なくとも80%、少なくとも85%、少なくとも90%、及び、少なくとも95%）について、電極活物質層の第2の横端面に対して内側に配置されている。また、対電極活物質が電極活物質よりも内側にある高さ H_C の割合は、第1の横端面が第2の横端面と比較して異なり得る。

【0082】

ある実施形態によると、高さ及び／又は横方向のオフセット及び／又は分離距離は、各ユニットセル中の電極活物質層132及び対電極活物質層138の配置を維持及び安定化させ、かつ電極アセンブリ106中の電極構造110及び対電極構造112の互いに対する位置をも安定化させることが可能な電極制約108のセットを提供することにより維持される。一実施形態において、電極制約108のセットは、本明細書に記載の任意のもの（それらの任意の組み合わせ、又はそれらの部分を含む）を含み得る。例えば、一実施形態において、電極制約108のセットは、第1及び第2の一次成長制約154、156並びに少なくとも1つの一次接続メンバ162を含む一次制約系151を含む。第1及び第2の一次成長制約154、156は、互いに縦方向に分離されており、少なくとも1つの一次接続メンバ162は、第1及び第2の一次成長制約154、156を接続し、一次制約系151は、二次電池の連続する20サイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約する。さらに別の実施形態において、電極制約108のセットは、第2の方向に分離されかつ少なくとも1つの二次接続メンバ166により接続された第1及び第2の二次成長制約158、160を含む二次制約系152を含む。二次制約系155は、二次電池106のサイクルにおける電極アセンブリ106の第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約する。第2の方向は、縦方向に直交する方向である。電極制約108のさらなる実施形態が以下で記載される。

【0083】

図14A－図14Hに戻って、高さ分離距離及び／又はオフセットについて、ユニットセル504の様々な異なる構成が記載される。図示された実施形態において、電極制約108のセットの一部は、複数の層132の少なくとも1つの高さ端面に位置し、ユニットセル504の1つ以上の構造と接続され得る。例えば、電極制約108のセットは、第1及び第2の二次成長制約158, 160を含み、成長制約はユニットセルの構造の高さ端面に接続され得る。図14Aに示す実施形態において、第1及び第2の成長制約158, 160は、ユニットセルの構造を制約158, 160に結合する接着層516を通じて取り付けられる（図1Aの切り取りは、上制約158を示す）。図14Aにおいて、電極集電体136、セパレータ層130、及び対電極集電体140の高さ端面は、接着層516を通じて、第1及び第2の成長制約158, 160に結合される。従って、以下で詳細にさらに記載される通り、電極集電体、セパレータ層130及び対電極集電体140のうちの1つ以上は、独立的に又は集合的に、第1及び第2の成長制約を接続する二次接続メンバ166として振る舞い、電極アセンブリ106の成長を制約する。図14Bは、ユニットセル504の電極集電体136、セパレータ層130、及び対電極集電体140の全てが、第1及び第2の二次成長制約158, 160と結合されているさらなる実施例を示す。代替的に、特定の構造が第1の二次成長制約158に結合され、他の構造が第2の二次成長制約160に結合されてもよい。図14Cに示す実施形態では、電極集電体136及びセパレータ層130の両方の高さ端面は、第1及び第2の二次成長制約158, 160に結合され、一方で、対電極集電体140は第1及び第2の二次成長制約に高さ方向に接触する手前で終端している。図14D－図14Eに示す実施形態において、電極集電体136及び対電極集電体140の両方の高さ端面は第1及び第2の二次成長制約158, 160に結合され、一方で、セパレータ130は第1及び第2の二次成長制約に高さ方向に接触する手前で終端している。図14Fに示す実施形態において、電極集電体136の高さ端面は第1及び第2の二次成長制約158, 160に接続され、一方で、セパレータ130及び対電極集電体140は、第1及び第2の二次成長制約に高さ方向に接触する手前で終端している。図14G－図14Hに示す実施形態において、対電極集電体140の高さ端面は第1及び第2の二次成長制約158, 160に結合され、一方で、セパレータ130及び電極集電体136は、第1及び第2の二次成長制約に高さ方向に接触する手前で終端している。

【0084】

さらに、一実施形態において、ユニットセル504は、電極活物質層132及び／又は対電極活物質層の第1及び第2の高さ面のうち1つ以上の間に配置された1つ以上の絶縁メンバ514を含み得る。絶縁メンバ514は、ユニットセル504内の構造間の短絡を制約するために、電気的に絶縁性であり得る。絶縁メンバは、非イオン透過性であるか、又は少なくともセパレータ130よりもイオン透過性が低く、キャリアイオンの通過を阻害することができる。つまり、絶縁メンバ514は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の高さ面を、メッキアウト、樹状形成（dendrite formation）、及び／又は、そうしない場合に露出した表面が影響を受けやすい他の電気化学反応から絶縁し、絶縁メンバ514を伴うユニットセル504を有する二次電池102の寿命を延長するために提供され得る。例えば、絶縁メンバ514は、同じユニットセル504に設けられたセパレータ130のイオン透過性及び／又はイオンコンダクタンスよりも小さいイオン透過性及び／又はイオンコンダクタンスを有し得る。例えば、絶縁メンバ514は、キャリアイオンに対して、以下でさらに説明するキャリアイオン絶縁材料層674と同じ及び／又は同様の透過性及び／又はコンダクタンスを有し得る。絶縁メンバ514は、セラミック、ポリマー、ガラス、並びにそれらの組み合わせ、及び／又は複合物を含む、いくつかの異なる材料から調製され得る。

【0085】

図14Aに示す実施形態において、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の高さ端面500a, 501aの両方が、第1の二次成長制約158に知覚、実質的に

同一の高さでさえある高さ寸法 z を有するため、ユニットセル 504 は、絶縁メンバ 514 を有しない。第 2 の高さ端面 500b, 501b は、同様に、反対の高さ方向（図示なし）で第 2 の二次成長制約 160 に達し得る。特定の実施形態において、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 のうちの 1 つ以上の高さ面に絶縁メンバ 514 が設けられていない場合でも、ユニットセルは、上述のような所定の高さオフセット S_{z1} , S_{z2} を含み得る。従って、一態様において、図 14A に示す実施形態は、絶縁メンバ 514 が設けられていない場合でも、オフセット S_{z1} 及び／又はオフセット S_{z2} （明示なし）を有し得る。

【0086】

図 14B に示す実施形態は、電極活物質層及び対電極活物質層の第 1 の高さ端面 500a, 501a との間の明確なオフセット S_{z1} と、及び／又は、電極活物質層及び対電極活物質層の第 2 の高さ端面 500a, 501a（図示なし）の間のオフセット S_{z2} を有するユニットセル 504 を示す。この実施形態において、絶縁メンバ 514 は、対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 501a と第 1 の二次成長制約 158 の内面との間、並びに／又は、対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 501b と、第 2 の二次成長制約 160（図示なし）の内面との間に提供される。図 14B に示す 2D の Z-Y 平面には示されていないが、絶縁メンバ 515 は、対電極活物質 138 の高さ面上の大部分に、及びさらには全体に（例えば縦方向（y 方向）及び横方向（x 方向、つまり図 14B の紙面に入る方向）に）延在し、高さ面 501a, 501b のうちの 1 つ以上を覆う。さらに、図 14B に示す実施形態において、絶縁メンバ 514 は、対電極活物質層 138 の 1 つの縦端におけるセパレータ 130 及び他端における対電極集電体 140 の間に、及び／又はそれらに囲まれて配置される。

【0087】

図 14C に示す実施形態は、電極活物質層及び対電極活物質層の第 1 の高さ端面 500a, 501a との間の明確なオフセット S_{z1} と、及び／又は、電極活物質層及び対電極活物質層の第 2 の高さ端面 500b, 501b（図示なし）の間のオフセット S_{z2} を有するユニットセル 504 をも示す。この実施形態においても、絶縁メンバ 514 は、対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 500a と第 1 の二次成長制約 158 の内面との間、並びに／又は、対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 501b と、第 2 の二次成長制約 160（図示なし）の内面との間に提供される。図 14C に示す 2D の Z-Y 平面には示されていないが、絶縁メンバ 515 は、縦方向（y 方向）及び横方向（x 方向、つまり図 14C の紙面に入る方向）のような、対電極活物質 138 の高さ面上に実質的に、またさらには全体的に延在し、高さ面 501a, 501b のうちの 1 つ以上を覆う。さらに、図 14C に示す実施形態において、絶縁メンバ 514 は、対電極活物質層 138 の 1 つの縦端におけるセパレータ 130 に囲まれるが、他端における対電極集電体 140 の高さ面 516A の上に延在する。即ち、絶縁メンバは、隣接するユニットセル構造の隣接する対電極活物質層 138 等、隣接ユニットセル構造に向かって、及びその周囲に、縦方向に延在し得る。一実施形態において、絶縁メンバ 514 は、隣接するユニットセル 504a, 504b 内の層 138 を分離する対電極集電体 140 上を通過し、隣接するセル内の隣接する対電極活物質層 138 の高さ面上を通過することにより、隣接する対電極活物質層 138 のうちの 1 つ以上の高さ面 501a, 501b にわたって延在し得る。即ち、絶縁メンバ 514 は、ユニットセル 504a, 504b を縦方向に互いに分離する対電極集電体 140 の高さ面を横断することにより、第 1 のユニットセル 504a 内の対電極活物質層 138 のうち 1 つ以上の、高さ面 501, 501b にわたって、及び、第 1 のユニットセル 504a に隣接する第 2 のユニットセル 504b 内の対電極活物質層 138 のうち 1 つ以上の、高さ面 501a, 501b の上に、延在し得る。

【0088】

図 14D に示す実施形態はユニットセル 504 を示し、ここで、絶縁メンバ 514 は、対電極活物質層 138 の第 1 の高さ端面 500a と、第 1 の二次成長制約 158 の内面との間、及び／又は、対電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 500b と、第 2 の二次成長

10

20

30

40

50

制約160の内面（図示なし）との間に提供され、さらに、電極活物質層138のうち1つ以上の高さ端面500a, 500bを覆うように、セパレータ130の1つ以上の高さ面518a, 518bの上に延在する。即ち、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の第1の高さ端面500aと第1の二次成長制約158の内面との間、及び／又は、電極活物質層132の第2の高さ端面500bと第2の二次成長制約160の内面（図示なし）との間（加えて、第1及び第2の成長制約158, 160とセパレータ130の高さ面518a, 518bとの間の空間内）にも提供される。図14Dに示す2DのZ-Y平面には示されていないが、絶縁メンバ515は、縦方向（y方向）及び横方向（x方向、即ち図14Dの紙面に向かう方向）のような、電極活物質層132及び対電極活物質層138の高さ面の上に実質的に、またさらには全体的に延在し、高さ面500a, 500b, 501a, 501bのうちの1つ以上を覆う。さらに、図14Dに示す実施形態において、絶縁メンバ514は、ユニットセル504の一方の縦端にある電極集電体136と、他方の縦端にある電極集電体140との間に配置され、及び／又はそれらに囲まれている。

【0089】

図14Dに示す実施形態は、電極活物質層及び対電極活物質層の第1の高さ端面500a, 501a間のオフセット S_{v1} 、及び／又は電極活物質層及び対電極活物質層の第2の高さ端面500a, 501a間のオフセット S_{v2} を明確には示していないが、図14Dに示す実施形態の態様は、本明細書に記載のように、高さオフセット S_{z1} 及び／又は S_{z2} のうちの1つ以上を含むことによっても変更され得る。例えば、図14Eに示す実施形態は、絶縁メンバ514が、対電極活物質層138の1つ以上の高さ端面501a, 501bだけでなく、電極活物質層132の1つ以上の高さ端面500a, 500bも覆うという点で、図14Dと同一及び／又は類似の構造を含む。しかしながら、図14Eは、電極活物質層132の高さ端面500a, 500bと対電極活物質層138の高さ端面501a, 501bとの間の明確な高さオフセット及び／又は分離距離 S_{z1} を示す。従って、図示した実施形態では、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の第1及び第2の高さ端面500a, 500bにわたって、絶縁メンバ514の内側及び外側の高さ面内で測定される第1の厚さ T_1 と、対電極活物質層138の第1及び第2の高さ端面501a, 501bにわたって、絶縁メンバ514の内側及び外側の高さ面内で測定される第2の厚さ T_2 とを含み、第1の厚さ T_1 は、第2の厚さ T_2 よりも小さい。また、単一の絶縁メンバ514のみが示されているが、電極活物質層の上に第1の厚さ T_1 を有する第1の絶縁メンバと、対電極活物質層138の上に第2の厚さ T_2 を有する第2の絶縁メンバとが含まれているように、複数の絶縁メンバ514を含んでいる場合もあり得る。図14Fに示す実施形態は、1つ以上の絶縁メンバ514が、それぞれ、電極活物質層及び対電極活物質層の高さ端面上の配置に関して厚さ T_1 , T_2 を有するという点で、図14Eに示す実施形態と類似している。しかしながら、図14Cを参照して上述したように、この実施形態において絶縁メンバ514は、対電極集電体140の1つ以上の高さ面516の上に延在し、並びに、隣接するユニットセル内の表面を覆うように延在し得る。

【0090】

図14Gに示す実施形態はユニットセル504を示し、ここで、絶縁メンバ514は、対電極活物質層138の第1の高さ端面500aと、第1の二次成長制約158の内面との間、及び／又は、対電極活物質層138の第2の高さ端面500bと、第2の二次成長制約160の内面（図示なし）との間に提供され、さらに、電極活物質層138のうち1つ以上の高さ端面500a, 500bを覆うように、セパレータ130の1つ以上の高さ面518a, 518bの上に延在する。即ち、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の第1の高さ端面500aと第1の二次成長制約158の内面との間、及び／又は、電極活物質層132の第2の高さ端面500bと第2の二次成長制約160の内面（図示なし）との間（加えて、第1及び第2の成長制約158, 160とセパレータ130の高さ面518a, 518bとの間の空間内）にも提供される。図14Dに示す2DのZ-Y平面には示されていないが、絶縁メンバ515は、縦方向（y方向）及び横方向（x方向、即ち図14Dの紙面に向かう方向）のような、電極活物質層132及び対電極活物質層13

8の高さ面の上に実質的に、またさらには全体的に延在し、高さ面500a, 500b, 501a, 501bのうちの1つ以上を覆う。さらに、図14Gに示す実施形態において、絶縁メンバ514は、ユニットセル504の1つの縦端における対電極集電体140に囲まれるが、電極集電体136の1つ以上の高さ端面520の上に、縦方向の他方に延在する。例えば、上述の図14Cと同様に、絶縁メンバ514は、隣接するユニットセル構造の隣接する電極活物質層132等、隣接ユニットセル構造に向かって、及びその周囲に、縦方向に延在し得る。一実施形態において、絶縁メンバ514は、隣接するユニットセル504a, 504bの間の層132を分離する電極集電体136上を通過し、隣接するセル内の隣接する電極活物質層132の高さ面上を通過することにより、隣接する電極活物質層132のうちの1つ以上の高さ面500a, 500bにわたって延在し得る。即ち、絶縁メンバ514は、ユニットセル504a, 504bを縦方向に互いに分離する対電極集電体140の高さ端面520a, 520bを横断することにより、第1のユニットセル504a内の電極活物質層132のうち1つ以上の、高さ面500, 500bにわたって、及び、第1のユニットセル504aに隣接する第2のユニットセル504b内の電極活物質層132の高さ面500a, 500bの上に、延在し得る。

【0091】

図14Gに示す実施形態は、電極活物質層及び対電極活物質層の第1の高さ端面500a, 501a間のオフセット S_{z1} 、及び／又は電極活物質層及び対電極活物質層の第2の高さ端面500a, 501a間のオフセット S_{z2} を明確には示していないが、図14Gに示す実施形態の態様は、本明細書に記載のように、高さオフセット S_{z1} 及び／又は S_{z2} のうちの1つ以上を含むことによっても変更され得る。例えば、図14Hに示す実施形態は、絶縁メンバ514が、対電極活物質層138の1つ以上の高さ端面501a, 501bだけでなく、電極活物質層132の1つ以上の高さ端面500a, 500bも覆うという点で、図14Gと同一及び／又は類似の構造を含む。しかしながら、図14Hは、電極活物質層132の高さ端面500a, 500bと対電極活物質層138の高さ端面501a, 501bとの間の明確な高さオフセット及び／又は分離距離 S_{v1} を示す。従って、図示した実施形態では、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の第1及び第2の高さ端面500a, 500bにわたって、絶縁メンバ514の内側及び外側の高さ面内で測定される第1の厚さ T_1 と、対電極活物質層138の第1及び第2の高さ端面501a, 501bにわたって、絶縁メンバ514の内側及び外側の高さ面内で測定される第2の厚さ T_2 とを含み、第1の厚さ T_1 は、第2の厚さ T_2 よりも小さい。また、単一の絶縁メンバ514のみが示されているが、電極活物質層の上に第1の厚さ T_1 を有する第1の絶縁メンバと、対電極活物質層138の上に第2の厚さ T_2 を有する第2の絶縁メンバとが含まれているように、複数の絶縁メンバ514を含んでいる場合もあり得る。

【0092】

図15A－図15Fを参照して、絶縁メンバ514及び／又は横オフセット S_{x1} , S_{x2} を有し、又は有しないユニットセル504のさらなる実施形態が記載される。図15Aに示す実施形態において、電極活物質層132及び138は、例えば図15Bの実施形態に示されるように、上述したオフセット及び／又は分離距離をX軸に沿って提供し得るが、識別可能な横オフセット S_{x1} 及び／又はオフセット S_{x2} を有することなく図示されている。YX平面の2Dスライスを介して示されるように、図15Aに示されたユニットセル504は、電極集電体136、電極活物質層132、セパレータ130、対電極活物質層138、及び対電極集電体140を含む。図15Aの実施形態は絶縁メンバ514を含まないが、電極集電体136は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第2の端部502b, 503bを通過して延在しており、例えば図16A－図16Fに示すように、電極バスバー600に接続されていてもよいことが理解できる。同様に、対電極集電体140は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の第1の横端502a, 503aを通過して延在しており、例えば図16A－図16Fに示すように、対電極バスバー602に接続されていてもよい。

【0093】

図15Bに示す実施形態を参照して、対電極活物質層138の少なくとも1つの横面503a, 503b上に延在する絶縁メンバ514を有するユニットセルの構成が記載される。示された実施形態において、絶縁メンバ514は、対電極活物質層158のいずれかの横端に配置されており、ユニットセル504の一方の縦端にある対電極集電体140と、ユニットセルの他方の縦端にあるセパレータ130との間に（及びそれらにより囲まれて）位置している。絶縁メンバは、示された実施形態において、電極活物質層132の長さ L_E と一致する横エクステントを有し、電極活物質層と同じ横方向の長さを有するセパレータにより電極活物質層132から分離される。絶縁メンバ514のx方向の横エクステントは、一実施形態において、図15Bに示すように、横分離距離及び／又は横オフセット S_{X1} , S_{X2} と同一であってもよい。また、図15Bに示す2DのY-X平面には示されていないが、絶縁メンバは、対電極活物質層138の高さ H_E に沿って、対向する高さ端面501a, 501bの間等のように、z方向に延在していてもよい。

【0094】

図15Cに示す実施形態は、対電極活物質層138の少なくとも1つの横面503a, 503b上に延在する絶縁メンバ514を有するユニットセルの構成も示す。示された実施形態において、絶縁メンバ514は、対電極活物質層138の一方の横端に配置され、ユニットセル504の少なくとも一方の縦端にセパレータ層130を有する。他方の縦端において、絶縁メンバの少なくとも1つは、対電極集電体140によりさらに囲まれている。しかしながら、絶縁メンバ514の少なくとも1つは、ユニットセル504の他方の縦端において、対電極集電体140の横面522a, 522bのうちの1つを越えて延在していてもよい。即ち、絶縁メンバ514は、対電極活物質層138の横端面を越えて縦方向に延在して、対電極集電体140を覆い、さらには、隣接するユニットセルの対電極活物質層の横面を覆ってもよい。図15Bに示す実施形態において、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の長さ L_E と一致する横エクステントを有し、電極活物質層132と同じ横方向の長さを有するセパレータにより電極活物質層132から分離される。絶縁メンバ514のx方向の横エクステントは、一実施形態において、図15Cに示すように、横分離距離及び／又は横オフセット S_{X1} , S_{X2} と同一であってもよい。また、図15Cに示す2DのY-X平面には示されていないが、絶縁メンバは、対電極活物質層138の高さ H_E に沿って、対向する高さ端面501a, 501bの間等のように、z方向に延在していてもよい。図15Eは、対電極集電体140が絶縁メンバ514の横面を通過して延在する長さを有し、電極集電体136の長さもまた、電極活物質層の横端面を通過して延在することを除き、図15Cと同様の構成を有する。

【0095】

図15Dに示す実施形態において、絶縁メンバ514は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の両方の横面502a, 502b, 503a, 503bのうちの少なくとも1つにわたって延在するユニットセル構成が示されている。図示された実施形態において、絶縁メンバ514は、電極活物質層132及び対電極活物質層138のいずれかの横端に配置されている。絶縁メンバは、一方の縦端にある電極集電体136と、他方の縦端にある電極集電体140との間に（及びそれにより囲まれて）配置される。絶縁メンバ514は、電極活物質層132及び対電極活物質層138の横面を通過するように、セパレータ130の横端面524a, 524bの上に延在し得る。図15Dに示す実施形態において、絶縁メンバ514は、一方の横端の電極集電体136の長さ、と他方の横端部の電極集電体140の長さ、とが一致する横エクステントを有する。図示された実施形態において、電極活物質層132及び対電極活物質層138は、横方向オフセット及び／又は分離距離を有するように図示されていないが、分離距離及び／又はオフセットを含んでもよい。また、図15Dに示す2DのY-X平面には図示されていないが、絶縁メンバはまた、対電極活物質層138の高さ H_E に沿って、対向する高さ端面501a, 501bの間等、z方向に延在し得る。

【0096】

図15Fに示す実施形態はまた、絶縁メンバ514が、対電極活物質層138の少なく

とも1つの横面503a, 503bの上に延在するユニットセルの構成を示す。図示された実施形態において、絶縁メンバ514は、対電極活物質層138の横方向のいずれかの端部に配置される。絶縁メンバ514は、電極活物質層及び対電極活物質層の両方の横面を覆っており、一方の縦端における電極集電体136と、他端、即ち少なくとも1つの横端における対電極集電体140との間に（又はそれらに囲まれて）配置される。図示された実施形態において、絶縁メンバはさらに、セパレータ130の横面524a, 524b上に、電極活物質層132及び対電極活物質層138の間で、これらの面上に延在する。示された実施形態において、絶縁メンバ514は、電極活物質層132の高さ端面から延びる第1の横厚さ T_1 を有し、また、対電極活物質層138の高さ端面から延びる第2の横厚さ T_2 を有し、第2の横厚さは第1の横厚さよりも大きい。一実施形態において、第2の厚さ T_2 から第1の厚さ T_1 を引いた横幅の差は、横オフセット及び／又は分離距離 S_{x1} 及び／又は S_{x2} に相当し得る。さらに、図示された実施形態において、絶縁メンバ514の少なくとも1つは、ユニットセル504の縦端のうちの1つにおいて、対電極集電体138の横面522a, 522bのうちの1つの上に延在し得る。即ち、絶縁メンバ514は、対電極活物質層138の横面を越えて、対電極集電体140を覆うように、さらには、隣接するユニットセルの対電極活物質層の横面を覆うように、延在し得る。一方で、対向する横端の絶縁メンバ514は、対電極活物質層の横方向の長さが絶縁メンバの横方向の厚さを超えるように、対電極集電体136により囲まれていてもよい。他方の縦端において、絶縁メンバ514は、絶縁メンバの横方向の厚さが電極集電体136の横方向の長さと同じし、他方の横端においては、電極集電体136が絶縁メンバの横方向の厚さを超えるように、電極集電体136により囲まれる。また、図15Cに図示された2DのY-X平面には図示されないが、絶縁メンバは、対電極活物質層138の高さ H_E に沿って、対向する高さ端面501a, 501bの間等、z方向に延在し得る。

【0097】

さらに、電極活物質層132及び／又は対電極活物質層138の第1及び第2の高さ及び／又は横端面を決定する目的で、各ユニットセル504内の電気化学反応に寄与できる電極活物質及び／又は対電極活物質を含む層の部分のみが、活物質層132, 138の一部であると考えられる。即ち、例えば活物質をイオン絶縁性材料で覆う等、電極活物質又は対電極活物質が電極活物質又は対電極活物質として振る舞えなくなるように変更された場合、電気化学的ユニットセルの寄与部として実質的に除去されたその部分は、電極活物質層132及び／又は対電極活物質層138の一部としては数えられない。

【0098】

〔電極バスバー及び対電極バスバー〕

一実施形態において、二次電池102は、電極集電体136及び対電極集電体140からの電流を集めるために、（図17に示すような）電極バスバー600及び対電極バスバー602のうちの1つ以上を含む。上記のオフセット及び／又は分離距離を有する実施形態に関して同様に説明したように、電極アセンブリ106は、電極構造の集合、電極集電体の集合、セパレータの集合、対電極構造の集合、対電極集電体の集合、並びに、電極構造及び対電極構造の集合のメンバが縦方向に交互に配列されたユニットセルの集合を含み得る。さらに、電極構造の集合の各メンバは、電極集電体と、電極活物質層の第1及び第2の対向する端面の間で横方向測定された電極活物質のフェレット径に対応する長さ L_E 並びに電極活物質層の第1及び第2の対向する端面の間で縦方向測定された電極活物質のフェレット径に対応する幅 W_E を有する電極活物質層と、を含む。

【0099】

さらに、本明細書の他の場所でも記載されているように、一実施形態において、電極アセンブリは、それぞれ虚数三次元直交座標系のx軸、y軸、及びz軸に対応する互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸を有し、縦方向に互いに分離された第1及び第2の縦端面を有し、また、電極アセンブリの縦軸 A_{EA} を囲み第1及び第2の縦端面を接続する側面を有する。

【0100】

図17を参照して、電極構造110の集合の各メンバは、電極活物質層132からの電流を集める電極集電体136を含み、電極集電体は、電極活物質層132の長さ L_E に沿って横方向に少なくとも部分的に延在し、かつ、対電極活物質層138の第1の横端面503aを越えて延びる電極集電体端部604を含む。さらに、対電極構造112の集合の各メンバは、対電極活物質層138から電流を集めるための対電極集電体140を含み、対電極集電体140は、横方向に対電極活物質層132の長さ L_C に沿って少なくとも部分的に延在し、(例えば図15Aにも示されるように)横方向に対電極活物質層の第2の横端面502bを越えて延在する対電極集電体606を含む。図17に示す実施形態において、電極集電体136及び対電極集電体140は、(電極構造110の場合)電極活物質の隣接する層、又は(対電極構造112の場合)対電極活物質の隣接する層の間に挟まれている。しかし、集電体は、電極構造110と対電極構造112との間でセパレータ130に対向する電極活物質層及び/又は対電極活物質層の面の少なくとも一部に存在する面集電体でありえる。さらに、図17に示す実施形態において、電極バスバー600及び対電極バスバー602は、電極アセンブリ106の対向する横側に配置され、電極集電体端604は、一方の横端で電極バスバー600に電氣的及び/又は物理的に接続され、対電極集電体端部606は、対向する横側端部で対電極バスバー602に電氣的及び/又は物理的に接続される。

【0101】

また、上述と同様に、電極アセンブリの各ユニットセル504は、電極集電体の集合の第1の電極集電体のユニットセル部分と、電極集電体の集合の一方のメンバの第1の電極活物質層と、キャリアイオンに対してイオン透過性を有するセパレータと、電極集電体の集合の一方のメンバの第1の電極活物質層と、電極集電体の集合の第1の電極集電体のユニットセル部分とを含む。ここで、電池は、(a a)第1の電極活物質層がセパレータの第1の側面に近接し、第1の対電極活物質層がセパレータの対向する第2の側面に近接し、(b b)セパレータが第1の電極活物質層を第1の対電極活物質層から電氣的に絶縁し、充電状態と放電状態との間の電池のサイクルの間に、当該各ユニットセルのセパレータを介して第1の電極活物質層と第1の対電極活物質層との間でキャリアイオンが主に交換される。

【0102】

(電極集電体又は対電極集電体がそれに取り付けられているかどうかに応じて)電極バスバー600又は対電極バスバー602のいずれかであり得るバスバーの一実施形態を示す図16Aを参照する。即ち、図16Aは、電極バスバー600又は対電極バスバー602のうちいずれかに適した構造を示すと理解できる。図16A-1は電極バスバー600に関して図示されているが、図示されているのと同じ構造は、特に示されない場合においても、本明細書に記載の通り、対電極バスバー602にも適していることは理解されるべきである。二次電池は、電極アセンブリ106の電極集電体及び対電極集電体の全てにそれぞれ接続するための単一の電極バスバー600及び単一の対電極バスバー602を含み、及び/又は、複数のバスバー及び/又は対電極バスバーを提供し得る。例えば、図16Aが電極バスバー600の実施形態を示すものとして理解される場合、電極バスバー600は、電極集電体136の集合に電氣的に接続するように構成され、電極アセンブリ106の第1及び第2の縦端面116、118の間で縦方向(Y方向)に延在する少なくとも1つの導電性セグメント608を含むことが分かる。導電性セグメント608は、対電極活物質層136の第1の横端面503aに面する内面612を有する第1の側面610と、外面616を有する対向する第2の側面614とからなる。さらに、導電性セグメント608は、任意に、縦方向に沿って間隔をあけて配置された複数の開口部618を有する。電極バスバー600の導電性セグメント608は、電極集電体端部604について、電極集電体端部604が導電性セグメント608の厚さを少なくとも部分的に越えて延在し、それと電氣的に接続するように配置されている。導電性セグメント608の総厚さは、内面612と外面616との間で測定されてもよく、電極集電体端部608は、開口部618を介して、少なくとも導電性セグメントの厚さの中に延在してもよいし、導電性セ

10

20

30

40

50

グメントの厚さを完全に超えて延在してもよい（即ち、横方向に測定された厚さ τ を超えて延びてもよい）。単一の導電性セグメント608を有する電極バスバー600が図16Aに描かれているが、特定の実施形態では、複数の導電性セグメントを含み得る。

【0103】

さらに、図16Aが対電極バスバー602の実施形態を示すものとして理解される場合、対電極バスバー602は、対電極集電体140の集合に電氣的に接続するように構成された少なくとも1つの導電性セグメント608を含み、電極アセンブリ106の第1及び第2の縦方向端面116、118の間に縦方向（Y方向）に延在していることが分かる。導電性セグメント608は、電極活物質層136の第2の横端面502bに面する内面612を有する第1の側面610と、外面616を有する対向する第2の側面614とからなる。さらに、導電性セグメント608は、任意に、縦方向に沿って間隔をあけて配置された複数の開口部618を含む。電極バスバー600の導電性セグメント608は、対電極集電体端部606に関して、対電極集電体端部606が導電性セグメント608の厚さを少なくとも部分的に越えて延在し、それに電氣的に接続するように配置されている。導電性セグメント608の総厚さ τ は、内部612と外部表面616との間で測定されてもよく、対電極集電体端部606は、開口部618を介して、少なくとも導電性セグメントの厚さの中に延びてもよく、さらには、導電性セグメントの厚さを完全に超えて延在してもよい（即ち、横方向に測定された厚さ τ を超えて延びてもよい）。単一の導電性セグメント608を有する対電極バスバー602が図16Aに描かれているが、特定の実施形態では、複数の導電性セグメントを含んでもよい。

【0104】

さらに、一実施形態によれば、バスバー600及び対電極バスバー602を有する二次電池102は、さらに、本明細書に記載された制約のいずれかのような電極制約のセットを含む。例えば、一実施形態では、電極制約108のセットは、第1及び第2の一次成長制約154、156と、少なくとも1つの一次接続メンバ162とからなる一次制約系151と、第1及び第2の一次成長制約154、156を縦方向に互いに離間させた第1及び第2の一次成長制約154、156と、第1及び第2の一次成長制約154、156を接続する少なくとも1つの一次接続メンバ162とからなり、一次制約系151は、二次電池の20回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が20%未満となるように、縦方向の電極アセンブリ106の成長を制約している。さらに別の実施形態では、電極制約108のセットは、第2の方向に分離されかつ少なくとも1つの二次接続メンバ166によって接続された第1及び第2の二次成長制約158、160を含む二次制約系152をさらに含み、二次制約系152は、二次電池106のサイクル時に、第2の方向における電極アセンブリ106の成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は、縦方向に直交する。電極制約108のセットのさらなる実施形態を以下に記載する。

【0105】

電極バスバー600及び／又は対電極バスバー602のさらなる実施形態を、図16Aを参照して説明する。一実施形態では、図16Aに示すように、電極バスバー600は、縦方向に沿って間隔をあけて配置された複数の開口部618を有する導電性セグメント608を含み、複数の開口部618の各々は、1つ以上の電極集電体端部604を電極バスバー600に電氣的に接続するために、少なくとも部分的に貫通して延在するように構成されている。同様に、対電極バスバー602は、導電性セグメント608が、縦方向に沿って間隔をあけて配置された複数の開口部618を含み、複数の開口部618の各々は、1つ以上の電極集電体端606が、1つ以上の電極集電体端606を対電極バスバー602に電氣的に接続するために、少なくとも部分的に貫通して延在することを可能にするように構成されている。図16A-1に示されているような切断面を参照すると、電極バスバー側では、電極構造110の集電体132が、電極活物質132の第1の横面502aを越えて延び、導電性セグメントに形成された開口部618を通して延在していることが分かる。電極集電体端部604は、電極バスバー600の外面616に接続されている。

同様に、特に示されていないが、対電極バスバー 602 が配置されている他方の横方向の端部において、対電極構造 112 の電極集電体 140 は、対電極活物質層 138 の第 2 の横方向表面 503b を越えて、導電性セグメント内に形成された開口部 618 を通って延在している。対電極集電体端部 606 は、対電極バスバー 600 の外面 616 に接続されている。

【0106】

さらに、ある実施形態において、電極バスバー 600 及び対電極バスバー 602 の両方が、複数の開口部 618 を含んでもよいが、さらに別の実施形態では、電極バスバー 600 のみが開口部 618 を含み、さらに別の実施形態では、対電極バスバー 602 のみが開口部 618 を含んでもよい。さらに別の実施形態において、二次電池は、電極バスバー及び対電極バスバーの両方を含んでもよく、さらに別の実施形態では、二次電池は、電極バスバー又は対電極バスバーのみを含んでもよく、電流は、別の機構を介して残りの集電体から収集される。図 16A 及び図 16A-1 に示す実施形態では、開口部 618 は、電極集電体又は対電極集電体を通過させるための大きさを有するように示されている。一実施形態では、開口部は、各開口部を通して単一の集電体のみを許容するように大きさが決められかつ構成されていてもよいが、さらに別の実施形態では、開口部は、複数の電極集電体 136 及び／又は対電極集電体 140 を通過させるように大きさが決められていてもよい。さらに別の実施形態では、図 16A 及び図 16A-1 に示すように、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部は、開口部 618 の 1 つ以上を通して全体的に延在し、端部 604, 606 は、開口部 618 の間の外面電極バスバー及び／又は対電極バスバーの部分 622 に取り付けられるために、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの外面 616 に向かって屈曲している。端部 604, 608 は、同時に及び／又は任意に、高さ方向の開口部の上又は下の導電性セグメントの部分等、導電性セグメント 608 の他の部分、及び／又は開口部 618 自体の内面 624 に接続されていてもよい。

【0107】

図 16B 及び図 16B-1 に示すような実施形態では、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部 604, 606 は、開口部 618 のうちの 1 つ以上の開口部を通して全体的に延びており、端部は、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの外面 616 に向かって曲げられている。しかしながら、この実施形態では、電極集電体の端部の少なくとも 1 つ以上は、隣接する開口部 618 に向かって、又は隣接する開口部を過ぎて（例えば、図 16B-1 に示すように隣接する開口部を過ぎて）、別個の電極集電体の端部及び／又は対電極集電体の端部に取り付けるために、縦方向に少なくとも部分的に延びている。即ち、電極集電体及び／又は対電極集電体の端部は、相互に取り付けられてもよい。さらに別の実施形態では、図 16B-1 にも示されているように、電極集電体端部及び／又は電極集電体端部は、第 1 の端部領域 624 において、開口部 618 の間にある電極バスバー及び／又は電極バスバーの外面 616 の部分 622 に取り付けられ、第 2 の端部領域 626 において、別個の電極集電体端部及び／又は電極集電体端部に取り付けられている。

【0108】

一実施形態では、電極集電体端部 604 及び／又は対電極集電体端部 606 は、接着剤、溶接、圧着、ろう付け、リベット、機械的圧力／摩擦、クランプ、及びはんだ付けのうちの少なくとも 1 つを介して、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの外面の部分 622 の 1 つ以上、及び／又は別個の電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部（隣接する開口部を通して延びる隣接する集電体など）に取り付けられている。端部 604, 604 はまた、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの他の部分、例えば開口部 618 の内面 624 又はバスバーの他の部分にも、そのような取り付けを介して接続されてもよい。さらに、バスバーにのみ取り付けられているのに対して、互いに取り付けられている集電体の端部の数は、好ましい実施形態に従って選択することができる。例えば、一実施形態では、所定の集合において、電極集電体端部及び対電極集電体端部のそれぞれが、電極バスバー 600 及び／又は対電極バスバー 602 の外面 616 の部分 622 に個別に取り付けられる。さらに別の実施形態では、電極集電体端部及び／又は電極集電体端部の少なくと

も一部は、互いに取り付けられており（例えば、開口部を通して延在し、その後、隣接する開口部に向かって、又は隣接する開口部を通して延在して隣接する集電体端部に接続するために隣接する開口部を通して延在することにより）、電極集電体端部及び／又は電極集電体端部の少なくとも1つは、（例えば、バスバーと、互いに取り付けられている電極集電体端部との間の電氣的接続を提供するために）電極バスバー及び／又は電極バスバーの外面の一部に取り付けられている。さらに別の実施形態では、集合内の全ての集電体は、他の集電体端部に取り付けられることなく、バスバーに個別に接続されてもよい。

【0109】

さらなる実施形態において、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部は、バスバー及び／又は対電極バスバーの表面（外面など）に接する表面領域（第1の領域624など）を有する。例えば、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部は、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの外面と、バスバー及び／又は対電極バスバーの開口部618の内面624との少なくとも一方に付着する表面領域を有する。一実施形態では、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの1つ以上の端部は、バスバー及び／又は対電極バスバーの内面612に取り付けられた接続表面領域を構成してもよい。接続表面領域の大きさは、端部を電極バスバー及び／又は対電極バスバーに取り付けるために選択されるアタッチメントの種類に応じて選択され得る。一実施形態では、例えば、図16A-1及び図16B-1に示すように、電極バスバー及び／又は対電極バスバーは、電極及び／又は対電極の横方向の端部に近接する内部表面612上の絶縁材料の層628と、内部表面に対向する外部表面616上の導電性材料の層（例えば、導電性セグメント608）とを含む。絶縁材料の層628は、本明細書の他の箇所に記載されているように、電極活物質層132及び／又は対電極活物質層138の横面とバスバーとの間に配置された絶縁メンバ514を含むことができ、及び／又は、バスバーの導電性セグメントから電極アセンブリを絶縁するために、バスバーの内部表面に沿って絶縁材料の別個の層632を構成することができる。

【0110】

一実施形態において、電極集電体136及び／又は対電極集電体140の材料及び／又は物理的特性は、電極アセンブリに良好な構造的安定性を付与する一方で、バスバーへの良好な電氣的接触を提供するように選択されてもよい。例えば、一実施形態では、電極集電体端部604及び／又は対電極集電体端部606（及び任意に、電極及び／又は対電極集電体の少なくとも一部、さらには全体）は、電極バスバー及び／又は対電極バスバーを構成する材料と同じ材料を含む。例えば、バスバー及び／又は対電極バスバーがアルミニウムからなる場合、電極集電体及び／又は対電極集電体もアルミニウムからなり得る。一実施形態において、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部は、アルミニウム、銅、ステンレス鋼、ニッケル、ニッケル合金、炭素、及びそれらの組み合わせ／合金からなる群から選択される任意のものを含む。さらに、一実施形態では、電極集電体端部及び／又は対電極集電体端部は、電極バス及び／又は対電極バスの材料の導電性に比較的近い導電性を有する材料を含み、並びに／又は電極集電体及び／又は対電極集電体は、電極バス及び／又は対電極バスの材料と同じ材料を含み得る。

【0111】

さらに別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体の端部は、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの開口部618を通して延在し、そこに取り付けるために、電極バスバー及び／又は対電極バスバーの外面616に向かって折り返され、外面に取り付けるために折り曲げられた端部の領域624は、例えば図16A及び図16A-1に示されるように、実質的に平面的である。

【0112】

一実施形態では、電極集電体136及び／又は対電極集電体140は、電極材料の層の長さ L_E 及び／又は対電極材料の層の長さ L_C に沿って少なくとも50%、それぞれ横方向に延在しており、ここで、 L_E 及び L_C は上述したように定義される。例えば、一実施形態では、電極集電体及び／又は電極集電体は、電極材料の層の長さ L_E 及び／又は対電

極材料の層の長さ L_c に沿って少なくとも 60%、それぞれ横方向に延在する。別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の長さ L_E 及び／又は対電極材料の層の長さ L_c に沿って、横方向に少なくとも 70% 以上延在する。さらに別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の長さ L_E 及び／又は対電極材料の層の長さ L_c に沿って、横方向に少なくとも 80% 以上延在する。さらに別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の長さ L_E 及び／又は対電極材料の層の長さ L_c に沿って、横方向に少なくとも 90% 以上延在する。

【0113】

さらに、一実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、高さ方向において、それぞれ電極材料の層の高さ H_E 及び／又は対電極材料の層の高さ H_c に沿って少なくとも 50% 延びており、 H_E 及び H_c は上述のように定義される。例えば、一実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の高さ H_E 及び／又は対電極材料の層の高さ H_c に沿って少なくとも 60%、高さ方向に延びている。別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の高さ H_E 及び／又は対電極材料の層の高さ H_c に沿って少なくとも 70%、高さ方向に延びている。さらに別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の高さ H_E 及び／又は対電極材料の層の高さ H_c に沿って少なくとも 80%、高さ方向に延びている。さらに別の実施形態では、電極集電体及び／又は対電極集電体は、それぞれ、電極材料の層の高さ H_E 及び／又は対電極材料の層の高さ H_c に沿って少なくとも 90%、高さ方向に延びている。

【0114】

さらに別の実施形態の態様によれば、図 18A 及び 18B を参照して、電極アセンブリ 106 は、隣接する電極活物質層 132 及び／又は対電極活物質層 138 の第 1 及び第 2 の高さ表面 500a, 500b, 501a, 501b のうちの 1 つ以上の高さ表面 500a, 500b を越えて延在する、高さ電極集電体端部 640 及び高さ対電極集電体端部 642 のうちの少なくとも 1 つから構成される。一実施形態では、高さ集電体端部 640、642 はまた、露出した高さ集電体端部上のキャリアイオンの短絡及び／又はメッキアウトの可能性を低減するために、以下でさらに詳細に説明するように、キャリアイオン絶縁材料で少なくとも部分的に覆ってもよい。

【0115】

一実施形態によると、電極集合のメンバ及び対電極集合のメンバのうち少なくとも 1 つについて、(I) 及び／又は (II) のうちいずれかが成り立つ。

(I) 電極構造 110 の各メンバは、電極活物質層 132 から電流を集めるための電極集電体 136 を含み、電極集電体 136 は、電極活物質層 132 の高さ H_E に沿って高さ方向に少なくとも部分的に延在しており、以下の (a) 及び (b) のうちの少なくとも 1 つを含む。

(a) 電極活物質層 132 の第 1 の高さ端面 500a を越えて延びる第 1 の高さ電極集電体端面 640a

(b) 電極活物質層 132 の第 2 の高さ端面 500b を越えて延びる第 2 の高さ電極集電体端部 640b

(II) 対電極構造 112 の各メンバは、対電極活物質層 138 から電流を集めるための対電極集電体 140 を含み、対電極集電体 140 は、対電極活物質層 138 の高さ H_c に沿って高さ方向に少なくとも部分的に延在しており、以下の (a) 及び (b) のうちの少なくとも 1 つを含む。

(a) 電極活物質層 138 の高さ方向の第 1 の高さ端面 501a を越えて延在する第 1 の高さ対電極集電体端部 642a

(b) 電極活物質層 138 の第 2 の高さ端面 501b を越えて延びる第 2 の高さ電極集電体端部 642b

図 18A に示す実施形態を参照して、電極集電体 136 及び対電極集電体 140 の両方の

高さ端 640a, 640b, 642a, 642b は、電極活物質層 132 及び対電極活物質層 138 の第 1 及び第 2 の高さ端面を過ぎて延在していることが分かる。

【0116】

〔電極制約〕

一実施形態において、例えば図 1A に例示されているように、電極アセンブリ 106 の全体的な巨視的成長を制約する電極制約のセット 108 が提供される。電極制約のセット 108 は、電極アセンブリ 106 の膨潤及び変形を低減するような、1 つ以上の寸法に沿った電極アセンブリ 106 の成長を制約することができ、それにより、電極制約のセット 108 を有するエネルギー貯蔵デバイス 100 の信頼性及びサイクル寿命を向上させることができる。上述したように、いかなる特定の理論にも限定されることなく、二次電池 102 の充放電中に、電極構造 110 と対電極構造 112 との間を移動するキャリアイオンが電極活物質に挿入され、電極活物質及び／又は電極構造 110 を膨張させることができると考えられている。電極構造 110 のこの膨張は、電極及び／又は電極アセンブリ 106 の変形及び膨潤を引き起こし、それにより、電極アセンブリ 106 の構造的完全性を損ない、及び／又は電氣的短絡若しくは他の故障の可能性を高め得る。一実施例において、エネルギー貯蔵デバイス 100 のサイクル中に電極活物質層 132 の過度の膨潤及び／又は膨張及び収縮は、電極活物質の断片を電極活物質層 132 から離脱及び／又は剥離させ、それによりエネルギー貯蔵デバイス 100 の効率及びサイクル寿命を損なう可能性がある。さらに別の実施例では、電極活物質層 132 の過度の膨潤及び／又は膨張及び収縮は、電極活物質が電氣的に絶縁性の微孔性セパレータ 130 を破断する原因となり、それにより、電極アセンブリ 106 の電氣的短絡及び他の故障を引き起こす可能性がある。従って、一連の電極制約 108 は、そうしない場合には充電状態と放電状態との間のサイクルに伴って起こり得るこの膨潤又は成長を制約して、エネルギー貯蔵デバイス 100 の信頼性、効率、及び／又はサイクル寿命を改善する。

【0117】

一実施形態によれば、電極制約のセット 108 は、電極アセンブリ 106 の縦軸（例えば、図 1A の Y 軸）に沿った成長及び／又は膨潤を制約するための一次成長制約系 151 を含む。別の実施形態では、電極制約のセット 108 は、高さ軸（例えば、図 1A の Z 軸）に沿った成長を制約する二次成長制約系 152 を含んでもよい。さらに別の実施形態では、電極制約のセット 108 は、横軸（例えば、図 4C の X 軸）に沿った成長を制約する三次成長制約系 155 を含んでもよい。一実施形態では、電極制約のセット 108 は、それぞれ、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152、さらには、縦軸及び高さ軸（例えば、Y 軸及び Z 軸）に沿って、さらには、縦軸、高さ軸及び横軸の全て（例えば、Y 軸、Z 軸及び X 軸）に沿って同時に成長を制約するように協働的に動作する三次成長制約系 155 を含んでいる。例えば、一次成長制約系 151 は、充電状態と放電状態との間のサイクル中に、そうしない場合には電極アセンブリ 106 の積層方向 D に沿って発生し得る成長を制約し得て、二次成長制約系 152 は、高さ方向における電極アセンブリ 106 の座屈又は他の変形を防止するために、高さ軸に沿って発生し得る膨潤及び成長を制約し得る。さらなる実施形態では、一実施形態では、二次成長制約系 152 は、一次成長制約系 151 によって課される成長の制約により、悪化し得る高さ軸に沿った膨潤及び／又は膨張を制約し得る。三次成長制約系 155 はまた、任意に、サイクルプロセス中に起こり得る横軸に沿った膨潤及び／又は膨張を減少させることができる。即ち、一実施形態によれば、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152、及び任意に三次成長制約系 155 は、電極アセンブリ 106 の多次元成長を協働的に制約するために協働してもよい。

【0118】

図 4A - 図 4B を参照して、電極アセンブリ 106 のための一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 を有する電極制約 108 のセットの一実施形態が示される。図 4A は、結果として得られる 2D 断面が高さ軸（Z 軸）及び縦軸（Y 軸）で図示されるように、縦軸（Y 軸）に沿って切断した図 1A の電極アセンブリ 106 の断面図を示す。図 4B は、結果として得られる 2D 断面が高さ軸（Z 軸）及び横軸（X 軸）で図示されるように

、横軸（X軸）に沿って切断した図1Aの電極アセンブリ106の断面図を示す。図4Aに示すように、一次成長制約系151は、一般的に、縦方向（Y軸）に沿って互いに離間している第1及び第2の一次成長制約154，156をそれぞれ含み得る。例えば、ある実施形態において、第1及び第2の一次成長制約154，156は、それぞれ、電極アセンブリ106の第1の縦端面116を少なくとも部分的に又は全体的に覆う第1の一次成長制約154と、電極アセンブリ106の第2の縦端面118を少なくとも部分的に又は全体的に覆う第2の一次成長制約156とを含む。さらに別の態様では、第1及び第2の一次成長制約154，156のうちの1つ以上は、一次成長制約の1つ以上が電極アセンブリ106の内部構造を含む場合のように、電極アセンブリ106の縦端117，119の内部にあり得る。一次成長制約系151は、第1及び第2の一次成長制約154，156を接続する少なくとも1つの一次接続メンバ162をさらに含み、縦方向に平行な主軸を有し得る。例えば、一次成長制約系151は、実施形態で図示される高さ軸（Z軸）に沿ったような、縦軸に直交する軸に沿って互いに離間している第1及び第2の一次接続メンバ162，164をそれぞれ含み得る。第1及び第2の一次接続メンバ162，164は、それぞれ、第1及び第2の一次成長制約154，156を互いに接続し、電極アセンブリ106の縦軸に沿った成長を制約するように、第1及び第2の一次成長制約154，156を互いに張った状態に維持するのに役立ち得る。

【0119】

一実施形態によれば、一次成長制約系151を含む電極制約のセット108は、二次電池の20回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の増加が、充電状態と放電状態との間で20%未満であるように、縦方向（即ち、電極積層方向D）の電極アセンブリ106の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の30回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の50回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の80回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の100回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の200回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の300回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の500回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の800回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の1000回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系151は、二次電池の2000回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の縦方

10

20

30

40

50

10

20

30

40

50

10

20

30

40

50

10

50

ように、電極アセンブリ 106 の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 は、二次電池の 3000 回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1%未満となるように、電極アセンブリ 106 の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 は、二次電池の 5000 回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1%未満となるように、電極アセンブリ 106 の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 は、二次電池の 8000 回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1%未満となるように、電極アセンブリ 106 の縦方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 は、二次電池の 10000 回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1%未満となるように、電極アセンブリ 106 の縦方向の成長を制約し得る。

10

【0123】

充電状態とは、二次電池 102 がその定格容量の少なくとも 75%、例えば定格容量の少なくとも 80%、さらには定格容量の少なくとも 90%、例えば定格容量の少なくとも 95%、さらには定格容量の 100%まで充電されていることを意味する。放電状態とは、二次電池が定格容量の 25%未満、例えば定格容量の 20%未満、さらには 10%未満、例えば定格容量の 5%未満、さらにはちょうど 0%にまで放電されていることを意味する。さらに、二次電池 102 の実際の容量は、時間の経過とともに、電池が経たサイクル数に応じて変化する可能性があることに留意されたい。即ち、二次電池 102 は、最初は定格容量に近い実測容量を示し得るが、電池の実容量は時間の経過とともに減少し、二次電池 102 は、充電状態から放電状態に移行する際の実容量が定格容量の 80%以下に低下したときに、寿命の終わりにあると考えられる。

20

【0124】

図 4A 及び 4B にさらに示すように、電極制約のセット 108 は、二次成長制約系 152 をさらに含み、これは一般に、図示されている実施形態では高さ軸（Z 軸）に沿ってのように、縦方向に直交する第 2 の方向に沿って互いに離間している第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 をそれぞれ含み得る。例えば、一実施形態では、第 1 の二次成長制約 158 は、少なくとも部分的に、電極アセンブリ 106 の横面 142 の第 1 の領域 148 にわたって延在し、第 2 の二次成長制約 160 は、少なくとも部分的に、第 1 の領域 148 に対向する電極アセンブリ 106 の横面 142 の第 2 の領域 150 にわたって延在する。さらに別の態様では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 154、156 のうちの 1 つ以上は、二次成長制約のうちの 1 つ以上が電極アセンブリ 106 の内部構造を構成する場合など、電極アセンブリ 106 の側面 142 の内部にあってもよい。一実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 は、それぞれ、少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 によって接続されており、この二次接続メンバ 166 は、高さ軸などの第 2 の方向に平行な主軸を有し得る。二次接続メンバ 166 は、例えば高さ方向（例えば Z 軸に沿って）の成長を制約して、縦方向に直交する方向に沿って電極アセンブリ 106 の成長を制約するように、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 をそれぞれ互いに緊張状態で接続して保持するのに役立ち得る。図 4A に描かれた実施形態では、少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 は、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 のうちの少なくとも 1 つに対応し得る。しかしながら、二次接続メンバ 166 は、これに限定されるものではなく、代替的及び／又は追加的に、他の構造及び／又は構成を含み得る。

30

40

【0125】

一実施形態によれば、二次成長制約系 152 を含む電極制約のセットは、二次電池の 20 回の連続したサイクルにわたる第 2 の方向（縦方向と直交する方向、例えば高さ（z 軸）方向）の電極アセンブリのフェレット径の増加が、20%未満であるように、第 2 の方向の電極アセンブリ 106 の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 は、二次電池の 30 回の連続したサイクルにわたる第 2 の方向の

50

40

50

40

50

40

50

さらに別の実施形態によれば、一次成長制約系 151 を含む電極制約のセット 108 は、二次電池の 1 サイクル毎の第 2 の方向の電極アセンブリのフェレット径の増加が、1 % 未満であるように、第 2 の方向の電極アセンブリ 106 の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 は、二次電池の 5 回の連続したサイクルにわたる第 2 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 2 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 は、二次電池の 10 回の連続したサイクルに

40

50

106の全体的な成長を制約するために、それぞれ一次成長制約系151及び二次成長制約系152に加えて提供されてもよく、及び／又は、二次元での電極アセンブリ106の全体的な成長を制約するために、それぞれ一次成長制約系151及び二次成長制約系152のいずれかと組み合わせ提供されてもよい。図4Cは、結果として得られる二次元断面が高さ軸（Z軸）及び横軸（X軸）で図示されるように、横軸（X軸）に沿って切断された図1Aの電極アセンブリ106の断面を示す。図4Cに示すように、三次成長制約系155は、一般的に、横方向（X軸）のような第3の方向に沿って互いに離間した第1及び第2の三次成長制約157, 159をそれぞれ含み得る。例えば、一実施形態では、第1の三次成長制約157は、少なくとも部分的に、電極アセンブリ106の横面142の第1の領域144にわたって延在し、第2の三次成長制約159は、少なくとも部分的に、横方向に第1の領域144に対向する電極アセンブリ106の横面142の第2の領域146にわたって延在する。さらに別の態様では、第1及び第2の三次成長制約157, 159のうちの1つ以上は、三次成長制約の1つ以上が電極アセンブリ106の内部構造を構成する場合などに、電極アセンブリ106の横面142の内部にあってもよい。一実施形態では、第1及び第2の三次成長制約157, 159は、それぞれ、少なくとも1つの三次接続メンバ165によって接続されており、この三次接続メンバ165は、第3の方向に平行な主軸を有し得る。三次接続メンバ165は、第1及び第2の三次成長制約157, 159をそれぞれ互いに緊張状態で接続して保持するように、例えば、縦方向に直交する方向に沿って、横方向（例えば、X軸に沿って）の成長を制約するように、電極アセンブリ106の成長を制約するのに役立ち得る。図4Cに描かれた実施形態では、少なくとも1つの三次接続メンバ165は、第1及び第2の二次成長制約158, 160のうちの少なくとも1つに対応し得る。しかしながら、三次接続メンバ165は、これに限定されず、代替的及び／又は追加的に、他の構造及び／又は構成を含み得る。例えば、少なくとも1つの三次接続メンバ165は、1つの実施形態では、第1及び第2の一次成長制約154, 156（図示なし）のうちの少なくとも1つに対応し得る。

【0130】

一実施形態によれば、三次成長制約系155を有する電極制約のセットは、二次電池の20回の連続したサイクルにわたる第3の方向（縦方向と直交する方向、例えば横（X軸）方向）の電極アセンブリのフェレット径の増加が、20%未満であるように、第3の方向の電極アセンブリ106の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の30回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の50回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の80回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の100回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の200回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の300回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系155は、二次電池の500回の連続したサイクルにわたる第3の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も20%未満となるように、電極アセンブリ106の第3の

20

50

20

50

20

30

50

方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 300 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 500 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 800 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 1000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 2000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 3000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 5000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 8000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。さらなる例として、一実施形態において、三次成長制約系 155 は、二次電池の 10000 回の連続したサイクルにわたる第 3 の方向の電極アセンブリのフェレット径のいかなる増加も 1 % 未満となるように、電極アセンブリ 106 の第 3 の方向の成長を制約し得る。

【0134】

一実施形態によれば、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152、並びにオプションで三次成長制約系 155 は、協調的に動作するように構成されている。例えば、一次成長制約系 151 の一部が二次成長制約系 152 の一部として協調的に動作してもよく、及び／又は、二次成長制約系 152 の一部が一次成長制約系 151 の一部として協調的に作用してもよく、また、一次成長制約系 151 及び／又は二次成長制約系 152 のいずれかの部分は、それぞれ、三次成長制約系の一部として協調的に作用してもよく、その逆であってもよい。例えば、図 4 A 及び図 4 B に示す実施形態では、一次成長制約系 151 の第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 162、164 は、それぞれ、縦方向に直交する第 2 の方向の成長を制約する第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 の少なくとも一部、又は全体の構造として機能し得る。さらに別の実施形態では、上述したように、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 のうちの 1 つ以上は、それぞれ第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 を接続するための 1 つ以上の二次接続メンバ 166 として機能することができる。逆に、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 の少なくとも一部は、それぞれ、一次成長制約系 151 の第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 162、164 として機能することができる、二次成長制約系 152 の少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 は、1 つの実施形態では、それぞれ、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 の 1 つ以上の二次接続メンバ 166 として機能することができる。さらに別の実施形態では、一次成長制約系 151 の第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 162、164 の少なくとも一部、及び／又は二次成長制約系 152 の少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 は、それぞれ、縦方向に直交する横方向の成長を制約する第 1 及び第 2 の三次成長制約 157、159 の少なくとも一部、又は全体の構造として機能することができる。さらに別の実施形態では、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156、及び／又は第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、

160のうちの1つ以上は、それぞれ、第1及び第2の三次成長制約157、159を接続するための1つ以上の三次接続メンバ166として機能することができる。逆に、第1及び第2の三次成長制約157、159の少なくとも一部は、それぞれ、一次成長制約系151の第1及び第2の一次接続メンバ162、164、及び／又は二次成長制約系152の少なくとも1つの二次接続メンバ166として機能することができる。また、三次成長制約系155の少なくとも1つの三次接続メンバ165は、1つの実施形態において、それぞれ第1及び第2の一次成長制約154、156の1つ以上、及び／又は第1及び第2の二次成長制約158、160の1つ以上として機能することができる。代替的及び／又は追加的に、一次成長制約、二次成長制約、及び／又は三次成長制約は、電極アセンブリ106の成長を制約するように協力する他の構造を含み得る。従って、一次成長制約系151及び二次成長制約系152、並びに任意に第3の成長制約系155は、電極アセンブリ106の成長を制約するように作用するための構成要素及び／又は構造を共有し得る。

【0135】

一実施形態では、電極制約のセット108は、一次成長制約及び二次成長制約、並びに一次接続メンバ及び二次接続メンバのような構造物を含み得て、それは、電池筐体104の外部及び／又は内部にある構造物であるか、又は電池筐体104自体の一部であってもよい。例えば、電極制約のセット108は、電池筐体104だけでなく、他の構造メンバを含む構造の組み合わせを構成することができる。そのような一実施形態において、電池筐体104は、一次成長制約系151及び／又は二次成長制約系152の構成要素であってもよく、別の言い方をすれば、一実施形態では、電池筐体104は、単独で、又は1つ以上の他の構造物（電池筐体104内及び／又は外部、例えば、一次成長制約系151及び／又は二次成長制約系152）との組み合わせで、電極積層方向D及び／又は積層方向に直交する第2の方向Dにおける電極アセンブリ106の成長を制約する。例えば、一次成長制約系154、156及び二次成長制約系158、160のうちの1つ以上は、電極アセンブリの内部にある構造を構成することができる。別の実施形態では、一次成長制約系151及び／又は二次成長制約系152は、電池筐体104を含まず、代わりに、電池筐体104以外の1つ以上の離散構造（電池筐体104内及び／又は電池筐体104外）が、電極の積層方向D、及び／又は積層方向Dに直交する第2の方向において、電極アセンブリ106の成長を制約する。別の実施形態では、一時成長制約系及び二次成長制約系、並びにオプションで三次成長制約系も、電池筐体内にあり、これは、密閉された電池筐体のような、閉じられた電池筐体であってもよい。電極アセンブリ106は、エネルギー貯蔵デバイス100又は電極アセンブリ106を有する二次電池の繰り返しサイクルの間に、電極アセンブリ106の成長及び／又は膨潤によって及ぼされる圧力よりも大きい圧力で、電極制約のセット108によって制約されてもよい。

【0136】

一つの例示的な実施形態では、一次成長制約系151は、電極アセンブリ106の一部としての電極構造110を有する二次電池102の繰り返しサイクル時に、積層方向Dにおいて電極構造110によって生成される圧力を超える圧力を作用させることによって、積層方向Dにおける電極構造110の成長を制約する電池筐体104内の一つ以上の離散構造を含む。別の例示的な実施形態では、一次成長制約系151は、電極アセンブリ106の一部としての電極構造112を有する二次電池102の繰り返しサイクル時に、積層方向Dにおいて、積層方向Dにおいて電極構造112によって生成される圧力を超える圧力を与えることによって、積層方向Dにおける電極構造112の成長を制約する、電池筐体104内の1つ以上の離散的な構造を含む。二次成長制約系152は、同様に、電極構造110又は対電極構造112を有する二次電池102の繰り返しサイクル時に、積層方向Dに直交する第2の方向（例えば高さ（Z）軸）に沿って、それぞれ電極構造110又は対電極構造112によって生成される圧力を超える圧力を第2の方向に及ぼすことにより電極構造110及び対電極構造112の少なくとも1つの第2の方向の成長を制約する、1つ以上の離散的な構造を、電池筐体104内に含み得る。

【0137】

さらに別の実施形態において、一次成長制約系 151 の第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 は、それぞれ、電極アセンブリ 106 の第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 に、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 が電極アセンブリ 106 の他の面に及ぼす圧力（電極アセンブリ 106 の側面 142 のうち横軸及び／又は高さ軸に沿った第 1 及び第 2 の領域のように、縦方向に直交する方向の）を超える圧力をかけることにより、電極アセンブリ 106 の成長を制約する。即ち、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 は、横（X 軸）方向及び高さ（Z 軸）方向のような、それに直交する方向において、それによって生じる圧力を超える圧力を縦方向（Y 軸）に及ぼしてもよい。例えば、そのような一実施形態では、一次成長制約系 151 は、第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 上の（即ち、積層方向 D の）圧力が、積層方向 D に直交する 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方の方向において、一次成長制約系 151 によって電極アセンブリ 106 上に維持された圧力を少なくとも 3 倍（by a factor at least 3）上回る圧力で、電極アセンブリ 106 の成長を制約する。さらなる例によると、そのような一実施形態では、一次成長制約系 151 は、積層方向 D に垂直な 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方において、一次成長制約系 151 によって電極アセンブリ 106 上に維持される圧力を少なくとも 4 倍（by a factor at least 4）を超える第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 上の圧力（即ち、積層方向 D において）で、電極アセンブリ 106 の成長を制約し、この圧力は、積層方向 D に垂直な 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方において、一次成長制約系 151 によって電極アセンブリ 106 上に維持される圧力を超える。さらなる例によって、そのような一実施形態では、一次成長制約系 151 は、第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 上の（即ち、積層方向 D の）圧力が、積層方向 D に直交する 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又はその両方において、電極アセンブリ 106 上に維持された圧力を少なくとも 5 倍（by a factor at least 5）を超える圧力で、電極アセンブリ 106 の成長を制約する。

【0138】

同様に、一実施形態において、一次成長制約系 151 の第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、電極アセンブリ 106 の側面 142 の第 1 及び第 2 の領域に、電極アセンブリ 106 の第 2 の方向に直交する方向の他の面にそれぞれ第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 により加えられる圧力を超える圧力を、縦方向に直交する第 2 の方向に（例えば、高さ軸に沿って対向する第 1 及び第 2 の面領域 148, 150 に、即ち縦方向に）及ぼすことにより、電極アセンブリ 106 の成長を制約する。即ち、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、横（X 軸）方向及び縦（Y 軸）方向など、それに直交する方向においてそれによって生じる圧力を超える高さ方向（Z 軸）の圧力を及ぼしてもよい。例えば、そのような 1 つの実施形態では、二次成長制約系 152 は、第 1 及び第 2 の対向する表面領域 148, 150 上のそれぞれ（即ち、高さ方向）の圧力が、それに直交する 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方において、二次成長制約系 152 によって電極アセンブリ 106 上に維持される圧力を少なくとも 3 倍（by a factor at least 3）を超えるような圧力で、電極アセンブリ 106 の成長を制約している。さらなる例によって、そのような一実施形態では、二次成長制約系 152 は、第 1 及び第 2 の対向する表面領域 148, 150 上のそれぞれ（即ち、高さ方向）の圧力が、それに直交する 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方において、二次成長制約系 152 によって電極アセンブリ 106 上に維持される圧力を少なくとも 4 倍（by a factor at least 4）を超えるような圧力で、電極アセンブリ 106 の成長を制約している。さらなる例によって、そのような一実施形態では、二次成長制約系 152 は、第 1 及び第 2 の対向する表面領域 148, 150 上のそれぞれ（即ち、高さ方向）の圧力が、それに直交する 2 つの方向のうちの少なくとも 1 つ、又は両方において、二次成長制約系 152 によって電極アセンブリ 106 上に維持される圧力を少なくとも 5 倍（by a factor at least 5）を超えるような圧力で、電極アセンブリ 106 の成長を制約している。

【0139】

さらに別の実施形態において、三次成長制約系 155 の第 1 及び第 2 の三次成長制約 1

57, 159は、電極アセンブリ106の側面142の第1及び第2の領域に、電極アセンブリ106の第2の方向に直交する方向の他の面に三次成長制約系155により加えられる圧力を超える圧力を、縦方向及び第2の方向に直交する第3の方向に（例えば、横軸に沿って対向する第1及び第2の面領域161, 163に、即ち横方向に）及ぼすことにより、電極アセンブリ106の成長を制約する。即ち、第1及び第2の三次成長制約157, 159は、それぞれ、高さ（Z軸）方向及び縦（Y軸）方向など、それに直交する方向においてそれによって生じる圧力を超える横方向（X軸）の圧力を及ぼしてもよい。例えば、そのような1つの実施形態では、三次成長制約系155は、第1及び第2の対向する表面領域144, 146上のそれぞれ（即ち、横方向）の圧力が、それに直交する2つの方向のうちの少なくとも1つ、又は両方において、二次成長制約系152によって電極アセンブリ106上に維持される圧力を少なくとも3倍（by a factor at least 3）超えるような圧力で、電極アセンブリ106の成長を制約している。さらなる例によって、そのような一実施形態では、二次成長制約系152は、第1及び第2の対向する表面領域148, 150上のそれぞれ（即ち、横方向）の圧力が、それに直交する2つの方向のうちの少なくとも1つ、又は両方において、三次成長制約系155によって電極アセンブリ106上に維持される圧力を少なくとも4倍（by a factor at least 4）超えるような圧力で、電極アセンブリ106の成長を制約している。さらなる例によって、そのような一実施形態では、二次成長制約系152は、第1及び第2の対向する表面領域148, 150上のそれぞれ（即ち、横方向）の圧力が、それに直交する2つの方向のうちの少なくとも1つ、又は両方において、三次成長制約系155によって電極アセンブリ106上に維持される圧力を少なくとも5倍（by a factor at least 5）超えるような圧力で、電極アセンブリ106の成長を制約している。

【0140】

一実施形態において、電極制約のセット108は、一次成長制約系151と、二次成長制約系152と、オプションで三次成長制約系155とを含み、縦方向に直交する方向のいずれか（例えばZ又はX方向）に電極制約のセットが及ぼす圧力よりも大きい圧力を電極アセンブリ106に及ぼすように構成され得る。即ち、電極制約の集合108を構成するそれぞれの一次成長制約系151、二次成長制約系152、及びオプションで三次成長制約系155によって及ぼされる圧力が合計されるとき、縦軸に沿って電極アセンブリ106に及ぼされる圧力は、それに直交する方向において電極アセンブリ106に及ぼされる圧力を超える。例えば、そのような一実施形態では、電極制約のセット108は、第1及び第2の縦端面116, 118に（即ち、積層方向Dに）、積層方向Dに直交する2つの方向のうちの少なくとも一方又は両方において、一組の電極制約108によって電極アセンブリ106上に維持される圧力を少なくとも3倍（by a factor at least 3）上回る圧力を及ぼす。さらなる例によって、そのような一実施形態では、電極制約のセット108は、積層方向Dに直交する2つの方向のうちの少なくとも1つ、あるいはその両方において、電極制約のセット108によって電極アセンブリ106に維持される圧力を少なくとも4倍（by a factor at least 4）上回る圧力を第1及び第2の縦端面116, 118に（即ち、積層方向Dに）及ぼす。さらなる例によって、そのような一実施形態では、電極制約のセット108は、第1及び第2の縦端面116, 118に（即ち、積層方向Dに）、積層方向Dに垂直な2つの方向のうちの少なくとも1つ、あるいは両方において、電極アセンブリ106に維持された圧力を少なくとも5倍（by a factor at least 5）超える圧力を及ぼす。

【0141】

一実施形態によれば、第1及び第2の縦端面116, 118は、それぞれ、電極アセンブリ106全体の表面積の所定量よりも小さい複合表面積を有する。例えば、一実施形態では、電極アセンブリ106は、それぞれ第1及び第2の縦端面116, 118と、それぞれ端面116, 118の間に延びる側方面142とを有する矩形プリズムの形状に対応する幾何学的形状を有してもよく、これは、電極アセンブリ106の残りの表面を構成し、X方向に対向する表面領域144, 146（即ち、矩形柱の側面）と、Z方向に対向す

る表面領域 148、150（即ち、矩形プリズムの上面及び下面であり、ここで、X、Y 及び Z は、それぞれ X、Y 及び Z 軸に対応する方向に測定された寸法である）とを有する。従って、全体の表面積は、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 の表面積にそれぞれ第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 の表面積を加えた、横方向表面 142 によって覆われた表面積（即ち、X 及び Z における対向面 144、146、148、150 の表面積）の総和である。本開示の一態様によると、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 のそれぞれの表面積の合計は、電極アセンブリ 106 の総表面積の 33% 未満である。例えば、そのような一実施形態では、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 のそれぞれの表面積の和は、電極アセンブリ 106 の総表面積の 25% 未満である。例えば、そのような一実施形態では、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 のそれぞれの表面積の和は、電極アセンブリ 106 の総表面積の 20% 未満である。例えば、そのような一実施形態では、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 のそれぞれの表面積の和は、電極アセンブリ 106 の総表面積の 15% 未満である。例えば、そのような一実施形態では、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118 のそれぞれの表面積の和は、電極アセンブリ 106 の総表面積の 10% 未満である。

【0142】

さらに別の実施形態において、電極アセンブリ 106 は、積層方向に直交する平面への（即ち、縦方向の）電極アセンブリ 106 の投影の表面積が、他の直交する平面への電極アセンブリ 106 の投影の表面積よりも小さくなるように構成されている。例えば、図 2A に示された電極アセンブリ 106 の実施形態（例えば、矩形柱）を参照すると、積層方向に直交する平面（即ち、X-Z 平面）への電極アセンブリ 106 の投影の表面積は、 $L_{EA} \times H_{EA}$ に相当することが分かる。同様に、電極アセンブリ 106 の Z-Y 平面への投影は $W_{EA} \times H_{EA}$ に相当し、電極アセンブリ 106 の X-Y 平面への投影は $L_{EA} \times W_{EA}$ に相当する。従って、電極アセンブリ 106 は、積層方向が、最小の表面積を有する投影が横たわる平面と交差するように構成されている。従って、図 2A の実施形態では、電極アセンブリ 106 は、積層方向が、 $H_{EA} \times L_{EA}$ に対応する最小の表面積を有する投影が下りる X-Z 平面と交差するように位置決めされる。即ち、電極アセンブリは、最小の表面積を有する投影（例えば、 $H_{EA} \times L_{EA}$ ）が積層方向に直交するように位置決めされる。

【0143】

さらに別の実施形態では、二次電池 102 は、一緒に積層されて電極積層を形成する複数の電極アセンブリ 106 を含み、1 つ以上の共有された電極制約によって制約を受け得る。例えば、一実施形態では、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の 1 つ以上のうちの少なくとも一部は、電極アセンブリ積層を形成する複数の電極アセンブリ 106 によって共有され得る。さらなる例によって、一実施形態では、電極アセンブリ積層を形成する複数の電極アセンブリ 106 が共有された二次成長制約系によって高さ方向に制約されるように、積層の上部の電極アセンブリ 106 に第 1 の二次成長制約 158 を有し、積層の下部の電極アセンブリ 106 に第 2 の二次成長制約 160 を有する二次成長制約系 152 によって、積層を形成する複数の電極アセンブリ 106 が高さ方向に制約されてもよい。同様に、一次成長制約系 151 の一部もまた、共有され得る。従って、一実施形態では、上述した単一の電極アセンブリと同様に、積層方向に直交する平面への（即ち、縦方向の）電極アセンブリ 106 の積層の投影の表面積は、他の直交する平面への電極アセンブリ 106 の積層の投影の表面積よりも小さい。即ち、複数の電極アセンブリ 106 は、積層方向（即ち、縦方向）が交差し、かつ、電極アセンブリ積層 106 の他の直交する平面への投影のうち、電極アセンブリ積層 106 の他の直交する平面への投影の面積が最も小さくなるように構成されていてもよい。

【0144】

一実施形態によれば、電極アセンブリ 106 は、積層方向に直交する平面への（即ち、縦方向の）電極構造 110 の投影の表面積が他の直交する平面への電極構造 100 の投影の表面積よりも大きくなるように構成された電極構造 110 をさらに含む。例えば、図 2

及び図 7 に示すような実施形態を参照すると、電極 110 は、それぞれ、横方向に測定された長さ L_{ES} 、縦方向に測定された幅 W_{ES} 、及び高さ方向に測定された高さ H_{ES} を有すると理解され得る。従って、図 2 及び図 7 に示すように、 $X-Z$ 平面への投影は、表面積 $L_{ES} \times H_{ES}$ を有し、 $Y-Z$ 平面への投影は、表面積 $W_{ES} \times H_{ES}$ を有し、 $X-Y$ 平面への投影は、表面積 $L_{ES} \times W_{ES}$ を有する。これらのうち、最も大きな表面積を有する投影に対応する面は、積層方向と直交するように選択される。同様に、電極 110 は、積層方向に直交する平面への電極活物質 132 の投影の表面積が、他の直交する平面への電極活物質の投影の表面積よりも大きくなるように構成されていてもよい。例えば、図 2 及び図 7 に示す実施形態では、電極活物質は、横方向に測定された長さ L_{ES} 、縦方向に測定された幅 W_{ES} 、及び高さ方向に測定された高さ H_{ES} を有していてもよく、これらの投影の表面積から計算することができる (L_{ES} 、 L_A 、 W_{ES} 、 W_A 、 H_{ES} 、及び H_{EA} は、電極活物質及び／又は電極活物質 132 の寸法が 1 つ以上の軸に沿って変化する場合には、これらの寸法の最大値にも対応していてもよい)。一実施形態では、電極構造 100 及び／又は電極活物質層 132 の最も突出面積の大きい面が積層方向と直交するように電極構造 110 を配置することにより、電極活物質の最大表面積を有する電極構造 110 の表面がキャリアイオンの進行方向に面し、インターカレーション及び／又は合金化による充電状態と放電状態との間のサイクル中に最大の成長を経るような構成を実現することができる。

【0145】

一実施形態では、電極構造 110 及び電極アセンブリ 106 は、電極構造 110 及び／又は電極活物質層 132 の最大の表面積投影と、電極アセンブリ 106 の最小の表面積投影とが、積層方向に直交する平面内に同時に存在するように構成され得る。例えば、図 2 及び図 7 に示すように、電極活物質 132 の $X-Z$ 平面 ($L_A \times H_A$) における電極活物質 132 の投影が最も大きい場合には、電極構造 110 及び／又は電極活物質 132 は、両投影の投影面が積層方向と直交するように、電極アセンブリの最小表面積投影 ($L_{EA} \times H_{EA}$) に対して位置決めされる。即ち、電極構造 110 及び／又は電極活物質の最大の表面積投影を有する平面は、電極アセンブリ 106 の最小の表面積投影を有する平面と平行である (及び／又は同一平面内にある)。このようにして、一実施形態によれば、最も高い体積成長を経る可能性が高い電極構造の表面、即ち、電極活物質層の最も高い含有量を有する表面、及び／又は二次電池の充放電中にキャリアイオンの進行方向と交差する (例えば、直交する) 表面は、最も低い表面積を有する電極アセンブリ 106 の表面に対向する。このような構成を提供することの利点は、この最大の成長方向、例えば縦軸に沿って制約するために使用される成長制約系が、電極アセンブリ 106 の他の表面の面積と比較して、それ自体が比較的小さな表面積を有する成長制約系で実装され得ることであり、それにより、電極アセンブリの成長を制約するための制約系を実装するために必要な体積を減少させることができることである。

【0146】

ある実施形態では、制約のセットは、充電状態と放電状態の間の二次電池のサイクル中に、電極アセンブリによって及ぼされる 2 MPa 以上の圧力に抵抗することができる。別の実施形態では、制約のセットは、二次電池の充電状態と放電状態の間のサイクル中に、電極アセンブリによって及ぼされる 5 MPa 以上の圧力に抵抗することができる。別の実施形態では、制約のセットは、充電状態と放電状態の間の二次電池のサイクル中に、電極アセンブリによって及ぼされる 7 MPa 以上の圧力に抵抗することができる。さらに別の実施形態では、制約のセットは、二次電池の充電状態と放電状態の間のサイクル中に、電極アセンブリによって及ぼされる 10 MPa 以上の圧力に抵抗することができる。制約のセットは、制約のセットの破損又は故障を実質的に伴わずに、そのような圧力に抵抗し、耐えることが可能であり得る。さらに、いくつかの実施形態では、制約のセットは、以下に説明するように、二次電池 102 内に比較的小さな体積を提供しながら、圧力に抵抗することが可能である。

【0147】

一実施形態において、制約系 108 は、電極アセンブリ 106 及び制約系 108 の合計体積の比較的低い体積割合を占める。つまり、電極アセンブリ 106 は、その外面、即ち、第 1 及び第 2 の縦端面 116、118、及び端面を接続する横面 42 によって囲まれた体積（即ち、変位体積）を有するものとして理解され得る。第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 が電極アセンブリ 106 の縦端 117、119 に位置し、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 が横面 142 の対向する端部に位置するような、電極アセンブリ 106 の外部（即ち、縦端表面 116、118 及び横方向表面の外部）にある制約系 108 の部分は、同様に、制約系部分の変位体積に対応する体積を占める。従って、一実施形態において、電極制約のセット 108 の外部部分は、一次成長制約系 151 の外部部分（第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156、並びに少なくとも 1 つの一次接続メンバのうち外部にある任意のもの、又はそれらの外部部分）と、二次成長制約系 152 の外部部分（第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160、並びに少なくとも 1 つの二次接続メンバのうち外部にある任意のもの、又はそれらの外部部分）とを含み、それは、電極アセンブリ 106 と電極制約のセット 108 の外部部分との合計体積のうち 80% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態では、電極制約のセットの外部部分は、電極アセンブリ 106 と電極制約のセットの外部部分との合計体積の 60% 以下を占める。さらに別の例として、一実施形態では、電極制約のセットの外部部分は、電極アセンブリ 106 と電極制約のセットの外部部分との合計体積の 40% 以下を占める。さらに別の例として、一実施形態では、電極制約のセットの外部部分は、電極アセンブリ 106 と電極制約のセットの外部部分との合計体積の 20% 以下を占める。さらに別の実施形態では、一次成長制約系 151 の外部部分（即ち、第 1 及び第 2 の成長制約 154、156 並びに少なくとも 1 つの一次接続メンバのうち外部にある任意のもの、又はそれらの外部部分）は、電極アセンブリ 106 と一次成長制約系 151 の外部部分との合計体積の 40% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と一次成長制約系 151 の外部部分との合計体積の 30% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と一次成長制約系 151 の外部部分との合計体積の 20% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、一次成長制約系 151 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と一次成長制約系 151 の外部部分との合計体積の 10% 以下を占める。さらに別の実施形態において、二次成長制約系 152 の外部部分（即ち、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 並びに少なくとも 1 つの二次接続メンバのうち外部にある任意のもの、又はそれらの外部部分）は、電極アセンブリ 106 と二次成長制約系の外部部分との合計体積の 40% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と二次成長制約系の外部部分との合計体積の 30% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と二次成長制約系の外部部分との合計体積の 20% 以下を占める。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系 152 の外部部分は、電極アセンブリ 106 と二次成長制約系の外部部分との合計体積の 10% 以下を占める。

【0148】

ある実施形態によれば、電極制約のセットの一部によって占有される比較的低い体積の根拠は、図 8A 及び図 8B に示す力の図を参照することによって理解できる。図 8A は、電極活物質層 132 の体積の増加に起因して、二次電池 102 のサイクリング時に第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 に及ぼされる力を示す実施形態を描写している。矢印 198b は、電極活物質層 132 の膨張時に電極活物質層 132 によって及ぼされる力を示し、ここで、w は、電極活物質層 132 の成長に起因して第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 に加えられる荷重を示し、P は、電極活物質層 132 の体積の増加の結果として第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 に加えられる圧力を示している。同様に、図 8B は、電極活物質層 132 の体積の増加の結果として、二次電池 102 のサイクル時に第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 に及ぼされる力を示す実施形態を示

す。矢印 198a は、電極活物質層 132 の膨張時に電極活物質層 132 によって及ぼされる力を示し、ここで、 w は、電極活物質層 132 の成長に起因して第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 に加えられる荷重を示し、 P は、電極活物質層 132 の体積の増加に起因して第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 に加えられる圧力を示している。電極活物質は等方的に（即ち、全方向に）膨張するが、二次電池のサイクル中は、各方向の圧力 P は同じであり、従って、各方向に加わる荷重 w は異なる。説明のため、図 8A 及び 8B に描かれた実施形態を参照すると、第 1 又は第 2 の一次成長制約 154, 156 上の $X-Z$ 平面内の荷重は、 $P \times L_{ES} \times H_{ES}$ に比例し、ここで、 P は、一次成長制約 154, 156 上の電極物質層 132 の膨張によって及ぼされる圧力であり、 L_{ES} は、横方向の電極構造 110 の長さであり、 H_{ES} は、高さ方向の電極構造 110 の高さであることは理解される。同様に、第 1 又は第 2 の二次成長制約 158, 160 上の $X-Y$ 平面内の荷重は、 $P \times L_{ES} \times W_{ES}$ に比例し、ここで、 P は、二次成長制約 158, 160 上の電極活物質層 132 の膨張によって及ぼされる圧力であり、 L_{ES} は、横方向における電極構造 110 の長さであり、 W_{ES} は、縦方向における電極構造 110 の幅である。三次成長制約系が設けられている場合、第 1 又は第 2 の三次成長制約 157, 159 にかかる $Y-Z$ 平面内の荷重は、 $P \times H_{ES} \times W_{ES}$ に比例し、ここで、 P は三次成長制約 157, 159 上の電極活物質層 132 の膨張に起因する圧力であり、 H_{ES} は高さ方向における電極構造 110 の高さであり、 W_{ES} は縦方向における電極構造 110 の幅である。従って、 L_{ES} が W_{ES} 及び H_{ES} の両方よりも大きい場合には、 $Y-Z$ 平面の荷重が最も小さくなり、 $H_{ES} > W_{ES}$ の場合には、 $X-Y$ 平面の荷重が $X-Z$ 平面の荷重よりも小さくなり、つまり、 $X-Z$ 平面が直交する平面の中で最も収容すべき荷重が大きいことを意味する。

【0149】

さらに、一実施形態によれば、一次制約が、 $X-Y$ 平面内で一次制約を提供するのとは対照的に、その平面内の荷重が最も大きい場合に $X-Z$ 平面内で提供される場合、 $X-Z$ 平面内の一次制約は、一次制約が $X-Y$ 平面内にある場合に必要とされる体積よりもはるかに低い体積を必要とすることがある。これは、一次制約が $X-Z$ 平面ではなく $X-Y$ 平面内にある場合、必要とされる成長に対する剛性を有するために、制約がはるかに厚いことが要求されるからである。特に、以下にさらに詳細に説明するように、一次接続メンバ間の距離が増加すると、座屈撓みも増加し、応力も増加し得る。例えば、一次成長制約 154, 156 の曲げによるたわみを支配する式は、次のように書くことができる。

$$\delta = 60 w L^4 / E h^3$$

ここで、 w は電極の膨張により一次成長制約 154, 156 にかかる総分散荷重であり、 L は高さ方向に沿った一次接続メンバ 158, 160 間の距離であり、 E は一次成長制約 154, 156 の弾性率であり、 h は一次成長制約 154, 156 の厚さ（幅）である。電極活物質 132 の膨張による一次成長制約 154, 156 にかかる応力は、次式により算出され得る。

$$\sigma = 3 w L^2 / 4 h^2$$

【0150】

ここで、 w は電極活物質層 132 の膨張により一次成長制約 154, 156 にかかる総分散荷重であり、 L は高さ方向に沿った一次接続メンバ 158, 160 間の距離であり、 h は一次成長制約 154, 156 の厚さ（幅）である。従って、一次成長制約が $X-Y$ 平面にある場合、並びに、一次制約が $X-Z$ 平面にあった場合よりもさらに大きく一次接続メンバが離間している（例えば両縦端にある）場合には、これは、一次成長制約がより厚くあり、従ってそれが $X-Z$ 平面にある場合よりも大きい体積を占めることが要求されることを意味し得る。

【0151】

一実施形態によれば、第 1 及び第 2 の縦端面 116, 118 への電極集合及び対電極集合のメンバの投影は、第 1 及び第 2 の投影領域 2002a, 2002b を囲む。一般に、第 1 及び第 2 の投影領域 2002a, 2002b は、典型的には、第 1 及び第 2 の縦端面

122、124のそれぞれの表面積のかなりの割合を含む。例えば、一実施形態では、第1及び第2の投影領域は、それぞれ、第1及び第2の縦端面122、124の表面積の少なくとも50%を含む。さらなる例によって、ある実施形態では、第1及び第2の投影領域は、それぞれ、第1及び第2の縦端面の表面積の少なくとも75%を含む。さらなる例によれば、そのような1つの実施形態では、第1及び第2の投影領域は、それぞれ、第1及び第2の縦端面の表面積の少なくとも90%を含む。

【0152】

特定の実施形態では、電極アセンブリ106の縦端面116、118は、かなりの圧縮荷重を受けることになる。例えば、いくつかの実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも0.7kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。例えば、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも1.75kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。さらなる例として、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも2.8kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。さらなる例として、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも3.5kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。さらなる例として、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも5.25kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。さらなる例として、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも7kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。さらなる例として、ある実施形態では、電極アセンブリ106の各縦端面116、118は、少なくとも8.75kPaの圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。しかしながら一般には、電極アセンブリ106の縦端面116、118は、約10kPa以下の圧縮荷重（例えば、それぞれの縦端面の合計表面積に平均して）を受けることになる。電極集合及び対電極集合のメンバの縦端面への投影と一致する電極アセンブリの縦端面の領域（即ち、投影された表面領域）もまた、上記の圧縮荷重（それぞれの投影された表面領域の総表面積にわたって平均化されたものとして）の下にあり得る。前述の各例示的な実施形態では、電極アセンブリ106を有するエネルギー貯蔵デバイス100が、その定格容量の少なくとも約80%まで充電されたときに、電極アセンブリ106の縦端面116、118は、そのような圧縮荷重を受け得る。

【0153】

一実施形態によると、二次成長制約系152は、所定の値の制約力を印加することにより、成長制約の過度の歪みを生ずることなく、電極アセンブリ106の高さ方向（Z方向）の成長を制約することができる。例えば、一実施形態において、二次成長制約系152は、対向する高さ領域148、150に1000psiより大きい制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪みを0.2mm/m未満に抑えられる。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系152は、対向する高さ領域148、150に、10000psi以下かつ変位5%未満の制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪みを0.2mm/m未満に抑えられる。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系152は、対向する高さ領域148、150に、10000psi以下かつ変位3%未満の制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪みを0.2mm/m未満に抑えられる。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系152は、対向する高さ領域148、150に、10000psi以下かつ変位1%未満の制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪みを0.2mm/m未満に抑えられる。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系152は、50バッテリーサイクルの後に、対向する高さ領域148、150に、10000psi以下かつ変位15%未満の高さ方向の制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪

みを0.2mm/m未満に抑えられる。さらなる例として、一実施形態において、二次成長制約系152は、150バッテリーサイクルの後に、対向する高さ領域148, 150に、10000psi以下かつ変位5%未満の制約力を加えることにより、電極アセンブリ106の成長を制約しつつ、歪みを0.2mm/m未満に抑えられる。

【0154】

ここで、図5を参照して、電極制約のセット108を有する電極アセンブリ106の一実施形態が、図1Aに示す線A-A'に沿って切られた断面図で示されている。図5に示す実施形態では、一次成長制約系151は、電極アセンブリ106の縦端面116, 118にそれぞれ第1及び第2の一次成長制約154, 156を含み得て、二次成長制約系152は、電極アセンブリ106の横方向表面142の対向する第1及び第2の表面領域148, 150にそれぞれ第1及び第2の二次成長制約158, 160を含み得る。この実施形態によれば、第1及び第2の一次成長制約154, 156は、第1及び第2の二次成長制約158, 160を接続し、縦方向に直交する第2の方向（例えば、高さ方向）において、成長制約を互いに緊張状態に維持するための少なくとも1つの二次接続メンバ166として機能することができる。しかしながら、追加的及び／又は代替的に、二次成長制約系152は、電極アセンブリ106の縦端面116, 118以外の領域に配置された少なくとも1つの二次接続メンバ166を含み得る。また、少なくとも1つの二次接続メンバ166は、電極アセンブリの縦端面116, 118に内部的に配置され、成長を制約するために電極アセンブリ106の縦端面116, 118に配置された別の内部一次成長制約及び／又は一次成長制約のいずれかと協働して作用することができる第1及び第2の一次成長制約メンバ154, 156のうちの少なくとも1つとして作用すると理解され得る。図5に示された実施形態を参照すると、二次接続メンバ166は、電極アセンブリ106の中央領域に向かってなど、電極アセンブリ106の第1及び第2の縦端面116, 118からそれぞれ離れて縦軸に沿って間隔をあけて設けられ得る。二次接続メンバ166は、電極アセンブリ端面116, 118から内側の位置で、それぞれ第1及び第2の二次成長制約158, 160を接続することができ、その位置で二次成長制約158, 160の間に張力がかかっているてもよい。一実施形態では、端面116, 118からの内部位置で二次成長制約158, 160を接続する二次接続メンバ166は、電極アセンブリ端面116, 118に設けられた1つ以上の二次接続メンバ166に加えて設けられ、例えば、縦端面116, 118における一次成長制約154, 156を兼ねる二次接続メンバ166が設けられている。別の実施形態では、二次成長制約系152は、第1及び第2の二次成長制約158, 160とそれぞれ接続する1つ以上の二次接続メンバ166を縦組立体端面116, 118から離間した内部位置に含み、縦組立体端面116, 118に二次接続メンバ166を備えているか、又は備えていない。内部の二次接続メンバ166はまた、一実施形態によれば、第1及び第2の一次成長制約154, 156として機能すると理解され得る。例えば、一実施形態では、内部二次接続メンバ166の少なくとも1つは、以下でさらに詳細に説明するように、電極構造110又は対電極構造112の少なくとも一部を構成することができる。

【0155】

より具体的には、図5に示す実施形態に関して、二次成長制約系152は、電極アセンブリ106の横面142の上部領域148を覆う第1の二次成長制約158と、電極アセンブリ106の横面142の下部領域150を覆う対向する第2の二次成長制約160とを含んでもよく、第1及び第2の二次成長制約158, 160は、高さ方向（即ち、Z軸に沿って）に互いに離間されている。さらに、二次成長制約系152は、電極アセンブリ106の縦端面116, 118から離間している少なくとも1つの内部二次接続メンバ166をさらに含んでもよい。内部二次接続メンバ166は、Z軸に平行に配置されてもよく、第1及び第2の二次成長制約158, 160をそれぞれ接続して、成長制約を互いに緊張状態に維持し、二次制約系152の少なくとも一部を形成する。一実施形態では、少なくとも1つの内部二次接続メンバ166は、単独で、又は電極アセンブリ106の縦端面116, 118に配置された二次接続メンバ166と共に、エネルギー貯蔵デバイス1

10

20

30

40

50

00又は電極アセンブリ106を有する二次電池102の繰り返し充電及び／又は放電の間、高さ方向（即ち、Z軸に沿った方向）において、第1及び第2の成長制約158、160の間で緊張状態にあり、電極アセンブリ106の高さ方向の成長を減少させることができる。さらに、図5に示すような実施形態では、電極制約のセット108は、さらに、電極アセンブリ106の縦端117、119において、電極アセンブリ106の上側及び下側の側面領域148、150において、それぞれ第1及び第2の一次成長制約154、156を有する第1及び第2の一次成長制約151を有する一次成長制約系151を構成する。一実施形態では、二次内部接続メンバ166は、それ自体、二次内部接続メンバ166と、一次成長制約154、156がそれぞれ配置され得る電極アセンブリ106の縦端117、119との間に横たわる電極アセンブリ106の各部分に抑制圧力を及ぼすために、それぞれ第1及び第2の一次成長制約154、156のうちの1つ以上と協働して作用するものとして理解され得る。

10

【0156】

一実施形態では、一次成長制約系151及び二次成長制約系152のうちの1つ以上は、それぞれ第1及び第2の一次成長制約154、156、及び／又は第1及び第2の二次成長制約158、160を含み、それらは複数の制約メンバを含む。即ち、一次成長制約154、156及び／又は二次成長制約158、160の各々は、単一の一元制約メンバであってもよいし、複数の制約メンバを用いて1つ以上の成長制約を構成してもよい。例えば、ある実施形態では、第1及び第2の二次成長制約158、160は、それぞれ、電極アセンブリ側面142の上面領域148及び下面領域150に沿って延びる単一の制約メンバを含み得る。別の実施形態では、第1及び第2の二次成長制約158、160は、それぞれ、側面の対向する表面領域148、150に沿って延びる複数の制約メンバを含み得る。同様に、一次成長制約154、156もまた、複数のメンバで構成されていてもよいし、各電極組立縦端部117、119において、それぞれ単一の一元メンバで構成されていてもよい。一次成長制約154、156と二次成長制約158、160との各々の間の張力を維持するために、成長制約を含む1つ以上のメンバを、成長制約の間で電極アセンブリ106に圧力を及ぼす方法で対向する成長制約メンバに接続するための接続メンバ（例えば、162、164、165、166）が提供される。

20

【0157】

一実施形態では、二次成長制約系152の少なくとも1つの二次接続メンバ166は、成長制約を互いに緊張状態に維持するために、第1及び第2の二次成長制約158、160とそれぞれ接触する領域168、170を形成する。接触領域168、170は、少なくとも1つの二次接続メンバ166の端部172、174の表面がそれぞれ第1及び第2の二次成長制約158、160に接触及び／又は接触する領域であり、例えば、少なくとも1つの二次接続メンバ166の端部172、174の表面がそれぞれ第1及び第2の二次成長制約158、160に付着又は接着されている領域である。接触領域168、170は、各端部172、174にあってもよく、第1及び第2の二次成長制約158、160の表面領域にわたって延びていてもよく、それらの間に良好な接触を提供する。接触領域168、170は、第2の接続メンバ166と成長制約158、160との間に縦方向（Y軸）の接触を提供し、接触領域168、170は、第1及び第2の二次成長制約158、160を互いに緊張状態に維持するために、良好な接触及び接続を提供するために横方向（X軸）に延びていてもよい。一実施形態では、接触領域168、170は、縦方向（Y軸）における電極アセンブリ106のW_{EA}あたりの成長制約158、160に対する、縦方向（Y軸）における1つ以上の第2の接続メンバ166の接触面積の合計（例えば、全ての領域168の合計、及び全ての領域170の合計）が、少なくとも1%である比率を提供する。例えば、一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{EA}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158、160との縦方向（Y軸）の合計接触面積の比率は少なくとも2%である。さらなる例として、一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{EA}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158、160との縦方向（Y軸）の合計接触面積の比率は少なくとも5%である。さらなる例として、

30

40

50

一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{E A}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158, 160との縦方向(Y軸)の合計接触面積の比率は少なくとも5%である。さらなる例として、一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{E A}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158, 160との縦方向(Y軸)の合計接触面積の比率は少なくとも10%である。さらなる例として、一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{E A}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158, 160との縦方向(Y軸)の合計接触面積の比率は少なくとも25%である。さらなる例として、一実施形態では、電極アセンブリ106のW_{E A}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158, 160との縦方向(Y軸)の合計接触面積の比率は少なくとも50%である。一般に、電極アセンブリ106のW_{E A}あたりの、1つ以上の二次接続メンバ166と成長制約158, 160との縦方向(Y軸)の合計接触面積の比率は、100%未満(例えば90%未満)、また75%未満でもあり得る。これは、1つ以上の接続メンバ166が典型的には、縦軸全体にわたって延在する接触領域168, 170を有しないためである。しかしながら、一実施形態において、成長制約158, 160を有する二次接続メンバ166の接触領域168, 170は、横軸(X軸)のかかなりの部分にわたって延在し、さらには、横方向に電極アセンブリ106のL_{E A}全体にわたって延在し得る。例えば、成長制約158, 160を有する1つ以上の横方向の二次接続メンバ166の合計接触領域の電極アセンブリ106の横方向のL_{E A}あたりの比率は少なくとも約50%であり得る。さらなる例として、成長制約158, 160を有する1つ以上の横方向の二次接続メンバ166の合計接触領域の電極アセンブリ106の横方向のL_{E A}あたりの比率は少なくとも約75%であり得る。さらなる例として、成長制約158, 160を有する1つ以上の横方向の二次接続メンバ166の合計接触領域の電極アセンブリ106の横方向のL_{E A}あたりの比率は少なくとも約90%であり得る。さらなる例として、成長制約158, 160を有する1つ以上の横方向の二次接続メンバ166の合計接触領域の電極アセンブリ106の横方向のL_{E A}あたりの比率は少なくとも約95%であり得る。

【0158】

一実施形態によれば、1つ以上の二次接続メンバ166と第1及び第2の成長制約158, 160との間の接触面積168, 170は、エネルギー貯蔵デバイス100又は電極アセンブリ106を有する二次電池102のサイクル中に成長制約158, 160の間の適切な保持及び張力を提供するのに十分な大きさである。例えば、接触領域168, 170は、各成長制約158, 160との接触領域を形成してもよく、それは、例えば、電極アセンブリ106の側面142の表面積の少なくとも2%、例えば、電極アセンブリ106の側面142の表面積の少なくとも10%、さらには、電極アセンブリ106の側面142の表面積の少なくとも20%を含み得る。さらなる例によって、接触領域168, 170は、電極アセンブリ106の側面142の表面積の少なくとも35%、さらには電極アセンブリ106の側面142の表面積の少なくとも40%を含む各成長制約158, 160との接触領域を形成してもよい。例えば、上部及び下部対向表面領域148, 150をそれぞれ有する電極アセンブリ106の場合、少なくとも1つの二次接続メンバ166は、上部及び下部対向表面領域148, 150の面積の少なくとも5%、例えば上部及び下部対向表面領域148, 150の表面領域の少なくとも10%、さらには上部及び下部対向表面領域148, 150の表面領域の少なくとも20%わたり、成長制約部158, 160と接触する領域168, 170を形成し得る。さらなる例によって、それぞれ上部及び下部対向表面領域148, 150を有する電極アセンブリ106は、少なくとも1つの第2の接続メンバ166が、それぞれ上部及び下部対向表面領域148, 150の表面領域の少なくとも40%、例えば上部及び下部対向表面領域148, 150の表面領域の少なくとも50%にわたって、成長制約158, 160との接触領域168, 170を形成し得る。少なくとも1つの接続メンバ166と、電極アセンブリ106の総表面積に対する最小表面積を含む成長制約158, 160との間に接触を形成することにより、成長制約158, 160の間に適切な張力を提供することができる。さらに、一実施形態に

10

20

30

40

50

よれば、接触領域 168, 170 は、単一の二次接続メンバ 166 によって提供され得るか、又は接触総面積は、複数の二次接続メンバ 166 によって提供される複数の接触領域 168, 170 の合計であってもよく、例えば、電極アセンブリ 106 の縦端 117, 119 に配置された 1 つ以上の二次接続メンバ 166、及び／又は電極アセンブリ 106 の縦端 117, 119 から間隔をおいて配置された 1 つ以上の内部二次接続メンバ 166 などであってもよい。

【0159】

さらにまた、一実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152（及び任意で三次成長制約系）は、電極アセンブリ 106 の体積成長割合を制約するために、高さ方向（Z 軸）のような縦方向及び縦方向に直交する第 2 の方向の両方（及び任意で X 軸に沿ってのような第 3 の方向）で、電極アセンブリ 106 の成長を制約することができる。

【0160】

特定の実施形態では、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 のうちの 1 つ以上は、それぞれ、多孔質材料で作られたメンバのように、その中に細孔を有するメンバからなる。例えば、電極アセンブリ 106 上の二次成長制約 158 の上面図を示す図 6A を参照して、二次成長制約 158 は、少なくとも部分的に二次成長制約 158 によって覆われている電極アセンブリ 106 にアクセスするために、電解質がそこを通過することを可能にする孔 176 を含むことができる。一実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 のそれぞれは、そこに細孔 176 を有する。別の実施形態では、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156、ならびに第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 のそれぞれは、そこに細孔 176 を有する。さらなる別の実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 のそれぞれのうちの 1 つ又は一部のみが、そこに細孔を含む。また別の実施形態では、第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 162, 164 のそれぞれの 1 つ以上、ならびに少なくとも 1 つの第 2 の二次接続メンバ 166 は、そこに細孔 176 を含む。細孔 176 を提供することは、例えば、エネルギー貯蔵デバイス 100 又は二次電池 102 が、電池筐体 104 内に一緒に積層された複数の電極アセンブリ 106 を含む場合に、例えば、図 20 に描かれた実施形態のように、二次電池 102 内の異なる電極アセンブリ 106 の間に電解液が流れることを可能にするために、有利であり得る。例えば、ある実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の少なくとも一部をそれぞれ構成する多孔質メンバは、少なくとも 0.25 のポイド率を有し得る。さらなる例として、ある実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の少なくとも一部をそれぞれ構成する多孔質メンバは、少なくとも 0.375 のポイド率を有し得る。さらなる例として、ある実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の少なくとも一部をそれぞれ構成する多孔質メンバは、少なくとも 0.5 のポイド率を有し得る。さらなる例として、ある実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の少なくとも一部をそれぞれ構成する多孔質メンバは、少なくとも 0.625 のポイド率を有し得る。さらなる例として、ある実施形態において、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の少なくとも一部をそれぞれ構成する多孔質メンバは、少なくとも 0.75 のポイド率を有し得る。

【0161】

一実施形態では、電極制約のセット 108 は、一次成長制約系 151 の構成要素を二次成長制約系 152 の構成要素に接着、接着、及び／又は接着することのうちの少なくとも 1 つによって、電極アセンブリ 106 の成長を抑制するために組み立てられ、固定されてもよい。例えば、一次成長制約系 151 の構成要素は、二次成長制約系 152 の構成要素に接着、溶接、接着、又はその他の方法で接着固定されてもよい。例えば、図 4A に示すように、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 は、それぞれ、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 としても機能し得る第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 162, 164 に固着することができる。逆に、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、電極アセンブリ 106 の縦端 117, 119 における成長制約など、第 1 及び第 2

の一次成長制約 154, 156 の少なくとも 1 つとして機能する少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 に固着することができる。図 5 を参照すると、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、縦端 117, 119 から間隔をおいて内部接続メンバ 166 である少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 に固着することもできる。一実施形態では、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 のそれぞれの部分を互いに固定することにより、電極アセンブリ 106 の成長の協調的な抑制を提供することができる。

【0162】

図 6A-図 6B は、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 のうちの 1 つ以上の第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 をそれぞれ 1 つ以上の二次接続メンバ 166 に固定するための実施形態を図示している。図 6A-図 6B は、電極アセンブリ 106 の横
面 142 の上面領域 148 上に第 1 の二次成長制約 158 を有する電極アセンブリ 106
の実施形態の上面図を提供する。また、縦軸（Y 軸）に沿って間隔をあけて配置された第
1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 がそれぞれ示されている。電極構造 110 及び
／又は対電極構造 112 の少なくとも一部に対応し得る二次接続メンバ 166 も示されて
いる。図示されているような実施形態では、第 1 の二次成長制約メンバ 158 は、電解質
イオン及びキャリアイオンが電極構造 110 及び対電極構造 112 に到達することを可能
にするために、そこに細孔 176 を有する。上述したように、特定の実施形態では、第 1
及び第 2 の一次成長制約 154, 156 は、それぞれ、第 1 及び第 2 の二次成長制約 15
8, 160 を接続するための少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 として機能すること
ができる。したがって、図示されているようなバージョンでは、第 1 及び第 2 の二次成長
制約 158, 160 は、それぞれ、電極アセンブリ 106 の周縁部において、第 1 及び第
2 の一次成長制約 154, 156 に接続され得る。しかしながら、一実施形態では、第 1
及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、内部二次接続メンバ 166 を介し
て接続することもできる。図示されているバージョンでは、第 1 の二次成長制約 158 は
、成長制約 158 が内部の二次接続メンバ 166 に結合されている結合領域 178 を含み
、さらに、成長制約 158 が内部の二次接続メンバ 166 に結合されていない非結合領域
180 を含み、成長制約 158 と内部の二次接続メンバ 166 との間に、非結合領域 18
0 の領域と交互に結合領域 178 の列の形で接触する領域 168 を提供するように、成長
制約 158 と内部の二次接続メンバ 166 との間に接触する領域 168 を提供する。一実
施形態では、非結合領域 180 は、電解質イオン及びキャリアイオンが通過することがで
きる開放孔 176 をさらに含む。一実施形態によれば、第 1 及び第 2 の二次成長制約 15
8, 160 は、それぞれ、電極 110 又は対電極 112 の構造、又は電極アセンブリ 10
6 の他の内部構造の少なくとも一部を構成する二次接続メンバ 166 に固着され、この二
次接続メンバ 166 は、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 に固着されている。
一実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、二次接続メ
ンバ 166 を形成する電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 又は他の内部構造の上
端及び下端に固着され、制約が電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 又は他の内部
構造に固着される場所に対応する固着領域 178 と、対電極構造 112 又は他の内部構造
の間に固着されない領域 180 との間の柱状の領域を形成することができる。さらに、第
1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、少なくとも 1 つの二次接続メン
バ 166 を形成する電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 又は他の構造に、非付着
領域 180 において孔 176 が少なくとも開いたままであるように接着又は固着されても
よく、また、接着領域 178 の孔 176 が電解質及びキャリアイオンがそこを通過するこ
とを可能にするために相対的に開いたままであるように固着されてもよい。

【0163】

図 6B に示すように、さらに別の実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、電極アセンブリ 106 の周縁部において、第 1 及び第 2 の一次成長制約 154, 156 に接続されており、さらに、内部二次接続メンバ 166 である二次接続メンバ 166 を介して接続されていてもよい。図示されているようなバージョンでは、第 1 の二次成長制約 158 は、成長制約 158 が内側の二次接続メンバ 166 に結合され

ている結合領域 178 を含み、さらに、成長制約 158 が内側の二次接続メンバ 166 に結合されていない非結合領域 180 を含み、成長制約 158 と内側の二次接続メンバ 166 との間に、非結合領域 180 の領域と交互に結合領域 178 の列の形で接触する領域 168 を提供するように、成長制約 158 と内側の第 2 の接続メンバ 166 との間に接触する領域を提供する。本実施形態では、これらの結合領域 178 及び非結合領域 180 は、それぞれ、二次接続メンバ 166 の寸法を横切って延びることができ、これは、図 6A のような縦方向（Y 軸）とは対照的に、図 6B に示されるような横方向（X 軸）であってもよい。代替的に、結合領域 178 及び非結合領域 180 は、それぞれ、所定のパターンで縦方向及び横方向の両方を横切って延びていてもよい。一実施形態では、非結合領域 180 は、電解質イオン及びキャリアイオンが通過することができる開放孔 176 をさらに含む。第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、一実施形態では、電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 又は第 2 の接続メンバ 166 を形成する他の内部構造の上端及び下端に付着され、成長制約が電極構造 110 及び／又は対電極 112 又は他の内部構造に付着される場所に対応する付着領域 178 の列と、対電極 112 又は他の内部構造の間の非付着領域 180 の領域とを形成することができる。さらに、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 を形成する電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 又は他の構造に、非付着領域 180 において孔 176 が少なくとも開いたままであるように接着又は固着されてもよく、また、接着領域 178 の孔 176 が電解質及びキャリアイオンがそこを通過することを可能にするために相対的に開いたままであるように固着されてもよい。

【0164】

【二次制約系サブアーキテクチャ】

一実施形態によれば、上述したように、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 のうちの 1 つ以上の第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、電極アセンブリ 106 の内部構造の一部、例えば電極 110 及び／又は対電極構造 112 の一部である第 2 の接続メンバ 166 を介して一緒に接続することができる。一実施形態では、電極アセンブリ 106 内の構造物を介して制約間の接続を提供することにより、電極構造 110 の成長によって生じる歪みを十分に補償するような緊密な制約構造を実現することができる。例えば、一実施形態では、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 は、それぞれ、電極構造 110 又は対電極構造 112 の一部である接続メンバ 166 を介した接続を介して互いに緊張状態に配置されることによって、縦方向に直交する方向、例えば高さ方向の成長を制約してもよい。さらに別の実施形態では、電極構造 110（例えば、負極構造）の成長は、第 2 の接続メンバ 166 として機能する電極構造 110（例えば、負極集電体層）を介した第 2 の成長制約 158, 160 の接続によって対抗することができる。さらに別の実施形態では、電極構造 110（例えば、負極構造）の成長は、二次接続メンバ 166 として機能する対電極構造 112（例えば、正極集電体層）を介した二次成長制約 158, 160 の接続によって対抗することができる。

【0165】

一般に、特定の実施形態では、一次成長制約系 151 及び二次成長制約系 152 の構成要素は、それぞれ、電極アセンブリ 106 内の電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 に取り付けられてもよく、また、二次成長制約系 152 の構成要素は、効果的な制約を提供するだけでなく、電極アセンブリ 106 を有するエネルギー貯蔵デバイス 110 又は二次電池 102 のサイズを過度に増大させることなく、電極アセンブリ 106 の体積をより効率的に利用するために、それぞれ、電極アセンブリ 106 内の電極 110 及び／又は対電極構造 112 として具現化されてもよい。例えば、一実施形態では、一次成長制約系 151 及び／又は二次成長制約系 152 は、1 つ以上の電極構造 110 に取り付けられていてもよい。さらなる例によって、ある実施形態では、一次成長制約系 151 及び／又は二次成長制約系 152 は、1 つ以上の対電極構造 112 に取り付けられてもよい。さらなる例によって、特定の実施形態では、少なくとも 1 つの二次接続メンバ 166 は、電極構造 110 の集合として具現化されてもよい。さらなる例によって、特定の実施形態では、

少なくとも1つの二次接続メンバ166は、対電極構造112の集合として具現化されてもよい。

【0166】

ここで、図7を参照して、高さ軸（Z軸）、縦軸（Y軸）、及び横軸（X軸）を有する基準直交座標系が示されており、ここで、X軸は、紙面から出てくるように配向されており、そして、上述したように、Y軸と共平行な積層方向Dの指定が示されている。より具体的には、図7は、一次成長制約系151及び二次成長制約系152の両方の一実施形態を含む、一組の電極制約108の断面を、図1Aと同様に線A-A'に沿って示す。一次成長制約系151は、上述したように、第1の一次成長制約154及び第2の一次成長制約156と、上述したように、第1の一次接続メンバ162及び第2の一次接続メンバ164とを含む。二次成長制約系152は、第1の二次成長制約158と、第2の二次成長制約160と、電極構造110及び／又は対電極構造112の集合として具現化された少なくとも1つの二次接続メンバ166とを含む。したがって、この実施形態では、少なくとも1つの二次接続メンバ166、電極構造110、及び／又は対電極構造112は、交換可能であると理解され得る。さらに、セパレータ130は、第2の接続メンバ166の一部を形成してもよい。さらに、この実施形態では、上述したように、第1の一次接続メンバ162及び第1の二次成長制約メンバ158は、交換可能であると理解され得る。さらに、この実施形態では、第2の一次接続メンバ164及び第2の二次成長制約160は、上述したように、交換可能である。より具体的には、図7に図示されているのは、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160と、電極110又は対電極構造112に対応する二次接続メンバ166とのフラッシュ接続の一実施形態である。フラッシュ接続は、第1の二次成長制約158と二次接続メンバ166との間の接着剤182の層と、第2の二次成長制約160と二次接続メンバ166との間の接着剤182の層とをさらに含んでもよい。接着剤182の層は、第1の二次成長制約158を二次接続メンバ166に貼付し、第2の二次成長制約160を二次接続メンバ166に貼付する。

【0167】

また、第1及び第2の一次成長制約154、156、第1及び第2の一次接続メンバ162、164、第1及び第2の二次成長制約158、160、及び少なくとも1つの二次接続メンバ166のうちの1つ以上は、複数のセグメント1088の形態で提供されてもよく、又は、単一のメンバを形成するために一緒に結合され得る部分の形態で提供されてもよい。例えば、図7に示されるような実施形態では、第1の二次成長制約158は、電極アセンブリ106の縦端117、119に向かって配置された主中間セグメント1088aと第1及び第2の端部セグメント1088bの形態で提供され、中間セグメント1088aは、セグメント1088を互いに結合するためにセグメント1088内に形成されたノッチのような、セグメント1088を結合するために提供された結合部分1089によって各第1及び第2の端部セグメント1088bに結合された状態で提供される。第2の二次成長制約160は、同様に、図7に示すように、制約を形成するために一緒に接続することができる複数のセグメント1088の形態で提供されてもよい。一実施形態では、二次成長制約158、160、少なくとも1つの一次接続メンバ162、及び／又は少なくとも1つの二次接続メンバ166の1つ以上は、完全なメンバを形成するためにノッチのような接続部分を介して一緒に接続することができる複数のセグメント1088の形態で提供されてもよい。一実施形態によれば、切欠きなどの接続部分を介して一緒に接続されたセグメント1088の接続は、セグメントが接続されたときに、複数のセグメントから形成されたメンバの予備張力を提供してもよい。

【0168】

一実施形態では、図7にさらに図示されているように、電極活物質層132、イオン性多孔質電極集電体136、及び電極活物質層132及び電極集電体136を支持する電極バックボーン134を有する電極集合110のメンバが、電極活物質層132及び電極集電体136を支持する電極バックボーン134を有する。同様に、一実施形態では、図7に図示されているように、対電極活物質層138、対電極集電体140、及び対電極活物

10

20

30

40

50

質層 138 及び対電極集電体 140 を支持する対電極バックボーン 141 を有する対電極集合 112 のメンバである。

【0169】

特定の実施形態では（例えば、図 7 のように）、電極集合 110 のメンバは、電極活物質層 132 と、電極集電体 136 と、電極活物質層 132 及び電極集電体 136 を支持する電極バックボーン 134 とを含む。別の実施形態では、図 1B に示すように、電極集合 110 のメンバは、電極活物質層 132 と、隣接する電極活物質層 132 の間に配置された電極集電体 136 とを含む。同様に、特定の実施形態では（例えば、図 7 に示すように）、対電極集合 112 のメンバは、対電極活物質層 138、対電極集電体 140、並びに、対電極活物質層 138 及び対電極集電体 140 を支持する対電極バックボーン 141 を含む。別の実施形態では、図 1B に示すように、対電極集合 112 のメンバは、対電極活物質層 138 と、隣接する電極活物質層 138 の間に配置された対電極集電体 140 とを含む。

10

【0170】

電極集合 110 のメンバは、電極活物質層 132 が電極バックボーン 134 に直接隣接していること、及び電極集電体 136 が電極バックボーン 134 及び電極活物質層 132 に直接隣接し、かつ電極活物質層 132 を実質的に取り囲むことを含むように、図 7 に図示され、本明細書に記載されているが、当技術分野の当業者であれば、電極集合 110 の他の配置が意図されていることを理解する。例えば、一実施形態（図示なし）では、電極集合 110 は、電極活物質層 132 が電極集電体 136 に直接隣接していることと、電極集電体 136 が電極バックボーン 134 に直接隣接していることとを含んでもよい。換言すると、電極バックボーン 134 は、電極活物質層 132 がフランキングし、かつ電極活物質層 136 に直接隣接している状態で、実質的に電極集電体 136 により取り囲まれていてもよい。別の実施形態では、図 1B に示すように、電極集合 110 のメンバは、電極活物質層 132 と、隣接する電極活物質層 132 の間に配置された電極集電体 136 とを含む。当業者には理解されるであろうが、電極活物質層 132 がセパレータ 130 を介して対電極活物質層 138 から分離されている限り、電極集合 110 及び／又は対電極集合 112 の任意の好適な構成が、本明細書に記載された本発明の主題に適用可能である。また、電極集電体 136 は、電極活物質 132 とセパレータ 130 との間に配置されていればイオン透過性を有し、対電極集電体 140 は、対電極活物質 138 とセパレータ 130 との間に配置されていればイオン透過性を有していることが必要である。

20

30

【0171】

図示を容易にするために、電極活物質層 110 の 3 つのメンバ及び対電極活物質層 112 の 4 つのメンバのみが描かれているが、実際には、本明細書の発明的主題を使用するエネルギー貯蔵デバイス 100 又は二次電池 102 は、上述したように、エネルギー貯蔵デバイス 100 又は二次電池 102 の用途に応じて、電極活物質層 110 及び対電極活物質層 112 の追加のメンバを含み得る。さらに、図 7（及び図 1B）に図示されているのは、電極活物質層 132 を対電極活物質層 138 から電氣的に絶縁する微多孔性セパレータ 130 である。

【0172】

40

上述したように、特定の実施形態では、電極構造 110 の集合の各メンバは、電極構造 110 への電解質（図示なし）内へのキャリアイオン（図示なし）の挿入時に膨張し、電極構造 110 からのキャリアイオンの抽出時に収縮してもよい。例えば、一実施形態では、電極構造 110 は、陽極活性であってもよい。さらなる例として、一実施形態では、電極構造 110 は、陰極活性であってもよい。

【0173】

さらに、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 をそれぞれ接続するために、制約 158、160 は、図示のように接着するなどの適切な手段によって、又は代替的に、集電体 136、140 に溶接するなどの適切な手段によって、少なくとも 1 つの接続メンバ 166 に取り付けることができる。例えば、第 1 及び／又は第 2 の二次成長制約 158、

50

160は、それぞれ、電極構造110及び／又は対電極構造112、例えば、それぞれ、電極及び／又は対電極背骨134、141の少なくとも1つ、電極及び／又は対電極集合体136、140の少なくとも1つに対応する二次接続メンバ166に、接着、接着、接着、溶接などの少なくとも1つの方法で取り付けることができる。一実施形態によれば、第1及び／又は第2の二次成長制約158、160は、それぞれ、第1及び／又は第2の二次成長制約158、160を、電極構造110及び／又は対電極構造112の集合の端部などの1つ以上の二次接続メンバ166の端部に機械的に押し付けることによって、二次接続メンバ166に取り付けることができ、一方、接着剤又は他の接着材料を用いて、電極構造110及び／又は対電極構造112の1つ以上の端部を、それぞれ、第1及び／又は第2の二次成長制約158、160の少なくとも1つに接着することができる。

10

【0174】

図8A-図8Bは、一実施形態によれば、一組の電極制約108によって電極アセンブリ106に及ぼされる力、及び電極アセンブリ106を含む二次電池102の繰り返しサイクルに伴って電極構造110によって及ぼされる力を示す力の概略図を描いている。図8A-図8Bに示すように、二次電池102の充放電による繰り返しサイクルは、電極構造110の電極活物質層132へのイオン（例えば、 Li ）のインターカレーション及び／又は合金化に起因して、電極構造110の電極活物質層132のような電極構造110の成長を引き起こすことができる。このように、電極構造110は、電極構造110の体積の成長に起因して、高さ方向に対向する力198aを発揮することができるとともに、縦方向に対向する力198bを発揮することができる。具体的には示されていないが、電極構造110は、体積の変化に起因して、横方向に対向する力を発揮してもよい。これらの力に対抗するため、並びに電極アセンブリ106の全体的な成長を抑制するために、一実施形態では、電極制約のセット108は、電極アセンブリ106の縦端117、119にそれぞれ第1及び第2の一次成長制約154、156を有する一次成長制約系151を含み、これは、電極構造110によって及ぼされる縦方向の力198bに対抗するために、縦方向に力200aを発揮する。同様に、一実施形態では、電極制約のセット108は、電極アセンブリ106の高さ方向に沿った対向面にそれぞれ第1及び第2の二次成長制約158、160を有する二次成長制約系152を含み、この二次成長制約系152は、電極構造110によって及ぼされる高さ方向の力198aに対抗するために高さ方向に力200bを発揮する。さらに、電極アセンブリ106内の電極構造110の体積変化によって及ぼされる横方向の力に対抗するために横方向に対向力を及ぼす三次成長制約系155（図示なし）も、一次成長制約系151及び二次成長制約系152のうちの1つ以上に、代替的に又は追加的に提供することができる。したがって、電極制約のセット108は、充電と放電との間のサイクル中に、電極構造110の体積変化によって電極構造110により及ぼされる力に少なくとも部分的に対抗することができ、それによって、電極アセンブリ106の全体的な巨視的成長が制御され及び抑制され得るようにすることができる。

20

30

【0175】

再び図7を参照して、電極構造110の集合の各メンバはまた、第1の二次成長制約158に隣接する頂部1052と、第2の二次成長制約160に隣接する底部1054と、Z軸に平行な高さ軸 A_{ES} を取り囲む横面（図示なし）と、頂部1052と底部1054とを接続する横面（図示なし）とを含みえる。電極構造110は、長さ L_{ES} 、幅 W_{ES} 、及び高さ H_{ES} をさらに含む。長さ L_{ES} は、側面に囲まれ、X軸に沿って測定される。幅 W_{ES} は、側面に囲まれ、Y軸に沿って測定され、高さ H_{ES} は、上面1052から下面1054まで、高さ軸 A_{ES} 又はZ軸に沿って測定される。

40

【0176】

電極集合110のメンバの L_{ES} は、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、電極集合110のメンバは、典型的には、約5mm～約500mmの範囲の L_{ES} を有する。例えば、そのような一実施形態では、電極集合110のメンバは、約10mm～約250mmの範囲の L_{ES} を有する。さらなる例として、そのような一実施形態では、電極集合110

50

のメンバは、約20mm～約100mmの L_{ES} を有する。

【0177】

電極集合110のメンバの W_{ES} もまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、電極集合110の各メンバは、典型的には、約0.01mmから約2.5mmの範囲内の W_{ES} を有する。例えば、一実施形態では、電極集合110の各メンバの W_{ES} は、約0.025mmから約2mmの範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、電極集合110の各メンバの W_{ES} は、約0.05mmから約1mmの範囲になる。

【0178】

電極集合110のメンバの H_{ES} もまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、電極集合110のメンバは、典型的には、約0.05mmから約100mmの範囲内の H_{ES} を有する。例えば、一実施形態では、電極集合110の各メンバの H_{ES} は、約0.05mmから約5mmの範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、電極集合110の各メンバの H_{ES} は、約0.1mmから約1mmの範囲になる。

【0179】

別の実施形態では、電極構造110の集合の各メンバは、Z軸に平行な高さ軸 A_{ESB} を有する電極構造バックボーン134を含みえる。電極構造バックボーン134はまた、高さ軸 A_{ESB} についての電極構造バックボーン134を取り囲む電極活物質132の層を含んでもよい。換言すると、電極構造バックボーン134は、電極活物質132の層のための機械的安定性を提供し、一次成長制約系151及び／又は二次制約系152のための取付け点を提供してもよい。他の実施形態では、図1Bの実施形態に示すように、電極集電体136は、電極活物質132の層のための機械的安定性を提供し、一次成長制約系151及び／又は二次制約系152のための取付け点を提供してもよい。すなわち、特定の実施形態では、電極集電体136は、電極構造バックボーンとして機能してもよい。特定の実施形態では、電極活物質132の層は、キャリアイオンが電極活物質層132に挿入されると膨張し、キャリアイオンが電極活物質132の層から抽出されると収縮する。例えば、一実施形態では、電極活物質132の層は、陽極活性であってもよい。さらなる例として、一実施形態では、電極活物質132の層は、陰極活性であってもよい。電極構造バックボーン134はまた、第1の二次成長制約158に隣接する頂部1056と、第2の二次成長制約160に隣接する底部1058と、高さ軸 A_{ESB} を取り囲み、頂部1056と底部1058とを接続する横方向の表面（図示なし）とを含んでもよい。電極構造バックボーン134は、長さ L_{ESB} 、幅 W_{ESB} 、及び高さ H_{ESB} をさらに含む。長さ L_{ESB} は、側面により囲まれ、X軸に沿って測定される。幅 W_{ESB} は、側面により囲まれ、Y軸に沿って測定され、高さ H_{ESB} は、上面1056から下面1058までのZ軸に沿って測定される。

【0180】

電極構造バックボーン134の L_{ESB} は、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、電極構造バックボーン134は、典型的には、約5mm～約500mmの範囲の L_{ESB} を有する。例えば、そのような一実施形態では、電極構造バックボーン134は、約10mm～約250mmの範囲の L_{ESB} を有する。さらなる例によって、そのような一実施形態では、電極構造バックボーン134は、約20mm～約100mmの L_{ESB} を有する。一実施形態によれば、電極構造バックボーン134は、少なくとも1つの接続メンバ166として機能する電極構造110の部分構造であってもよい。

【0181】

電極構造バックボーン134の W_{ESB} はまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、各電極構造バックボーン134は、典型的には、少なくとも1マイクロメートルの W_{ESB} を有する。例えば、一実施形態では、各電極構造バックボーン134の W_{ESB} は、実質的に

厚くてもよいが、一般的には、500マイクロメートルを超える厚さを有することはない。さらなる例によって、一実施形態では、各電極構造バックボーン134の W_{ESB} は、約1～約50マイクロメートルの範囲内にある。

【0182】

電極構造バックボーン134の H_{ESB} はまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的には、電極構造バックボーン134は、典型的には少なくとも約50マイクロメートル、より典型的には少なくとも約100マイクロメートルの H_{ESB} を有する。さらに一般的には、電極構造バックボーン134は、典型的には約10,000マイクロメートル以下、より典型的には約5,000マイクロメートル以下の H_{ESB} を有する。例えば、一実施形態では、各電極構造バックボーン134の H_{ESB} は、約0.05mmから約10mmの範囲になる。さらなる実施形態では、一実施形態では、各電極構造バックボーン134の H_{ESB} は、約0.05mmから約5mmの範囲になる。さらなる例によって、一実施形態では、各電極構造バックボーン134の H_{ESB} は、約0.1mmから約1mmの範囲になる。

【0183】

用途に応じて、電極構造バックボーン134は、電氣的に導電性であってもよいし、絶縁性であってもよい。例えば、ある実施形態では、電極構造バックボーン134は、導電性であってもよく、電極活物質132のための電極集電体136を含んでもよい。そのような一実施形態では、電極構造バックボーン134は、少なくとも約 10^3 シーメンス/cmの導電性を有する電極集電体136を含む。さらなる例によって、そのような一実施形態では、電極構造バックボーン134は、少なくとも約 10^4 シーメンス/cmの導電率を有する電極集電体136を含む。さらなる実施形態では、1つのそのような実施形態では、電極構造バックボーン134は、少なくとも約 10^5 シーメンス/cmの導電率を有する電極集電体136を含む。他の実施形態では、電極構造バックボーン134は、比較的非導電性である。例えば、一実施形態では、電極構造バックボーン134は、約10シーメンス/cm未満の導電性を有する。さらなる例によって、一実施形態では、電極構造バックボーン134は、1シーメンス/cm未満の電気伝導度を有する。さらなる例によって、一実施形態では、電極構造バックボーン134は、 10^{-1} シーメンス/cm未満の電気伝導率を有する。

【0184】

特定の実施形態では、電極構造バックボーン134は、金属、半導体、有機物、セラミック、ガラスなどで成形され得る任意の材料を含むことができる。例えば、特定の実施形態では、材料は、シリコン、ゲルマニウムなどの半導体材料を含む。しかし、代替的に、炭素系有機材料、又はアルミニウム、銅、ニッケル、コバルト、チタン、タングステンなどの金属もまた、電極構造バックボーン134に組み込まれてもよい。例示的な一実施形態では、電極構造バックボーン134はシリコンからなる。シリコンは、例えば、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコン、又はそれらの組み合わせであってもよい。

【0185】

特定の実施形態では、電極活物質層132は、少なくとも1マイクロメートルの厚さを有してもよい。しかし、典型的には、電極活物質層132の厚さは、500マイクロメートルを超えない、例えば、200マイクロメートルを超えない。例えば、一実施形態では、電極活物質層132は、約1～約50マイクロメートルの厚さを有し得る。さらなる例によって、一実施形態では、電極活物質層132は、約2～約75マイクロメートルの厚さを有し得る。さらなる例によって、一実施形態では、電極活物質層132は、約10～約100マイクロメートルの厚さを有してもよい。さらなる例によって、一実施形態では、電極活物質層132は、約5～約50マイクロメートルの厚さを有してもよい。

【0186】

特定の実施形態では、電極集電体136は、セパレータ130から電極活物質層132へのキャリアイオンの移動を容易にするためにキャリアイオンに対して十分なイオン透過

性を有し、かつ集電体として機能することを可能にするために十分な電気伝導性を有するイオン透過性導電体材料を含む。電極集電体136が電極活物質層132とセパレータ130との間に配置されている実施形態では、電極集電体136は、電極活物質層132の表面を横切って電極集電体136からの電流を分配することにより、より均一なキャリアイオンの輸送を促進してもよい。これにより、より均一なキャリアイオンの挿入及び抽出が容易になり、それにより、サイクリング中の電極活物質層132の応力が低減され得る。電極集電体136は、セパレータ130に対向する電極活物質層132の表面に電流を分配するので、キャリアイオンに対する電極活物質層132の反応性は、キャリアイオンの濃度が最も大きいところで最大となる。

【0187】

電極集電体136は、イオン伝導性及び電気伝導性を有するイオン透過性導電体材料を含むことができる。別の言い方をすれば、電極集電体136は、電気化学スタック又は電極アセンブリ106において、イオンの透過性の導電層の一方の側のすぐに隣接する電極活物質層132と、電極集電体136の他方の側のすぐに隣接するセパレータ層130との間でのキャリアイオンの移動を容易にする、キャリアイオンのための厚さ、電気伝導性、及びイオン伝導性を有してもよい。さらに別の実施形態では、電極集電体136は、例えば、図1Bのように、電極集電体136が電極構造110の内部バックボーンを形成する場合のように、任意のイオン伝導性に関係なく（例えば、材料がイオン伝導性を有していてもよいし、有していなくてもよい）、電氣的に伝導性を有する導電体材料を構成してもよい。そのような実施形態では、電極集電体は、キャリアイオンの負電極活物質への移動を阻害しないように、電極構造100内に内部的に配置されてもよく、したがって、イオンを伝導する能力は必須でなくあり得る。相対的に見て、電極集電体136は、装置100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又は装置100を放電させるための印加負荷があるときに、そのイオンコンダクタンスよりも大きい電氣的コンダクタンスを有する。例えば、電極集電体136の電気コンダクタンスとイオンコンダクタンス（キャリアイオンの場合）との比は、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電させるための印加負荷があるとき、典型的には、それぞれ少なくとも1000：1である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷がある場合、電極集電体136のイオンコンダクタンス（キャリアイオンの場合）に対する電氣的コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも5000：1である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷がある場合、電極集電体136のイオンコンダクタンス（キャリアイオンの場合）に対する電氣的コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも10000：1である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷がある場合、電極集電体136のイオンコンダクタンス（キャリアイオンの場合）に対する電氣的コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも100000：1である。

【0188】

一実施形態において、かつ、二次電池102が充放電しているときなど、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷があるとき、電極集電体136は、隣接するセパレータ層130のイオンコンダクタンスに匹敵するイオンコンダクタンスを有する。例えば、一実施形態において、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷があるとき、電極集電体136は、セパレータ層130のイオンコンダクタンスの少なくとも50%（即ち、それぞれ0.5：1の比）である（キャリアイオンに対する）イオン

10

20

30

40

50

コンダクタンスを有する。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極集電体136の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極集電体136の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1.25:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極集電体136の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1.5:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極集電体136の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも2:1である。

【0189】

一実施形態では、電極集電体136はまた、電極活物質層132の電気コンダクタンスよりも実質的に大きい電気コンダクタンスを有する。例えば、一実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極集電体136の電気コンダクタンスと電極活物質層132の電気コンダクタンスとの比は、少なくとも100:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極活物質層132の電氣的コンダクタンスに対する電極集電体136の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも500:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極活物質層132の電氣的コンダクタンスに対する電極集電体136の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも1000:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極活物質層132の電氣的コンダクタンスに対する電極集電体136の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも5000:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、電極活物質層132の電氣的コンダクタンスに対する電極集電体136の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも10000:1である。

【0190】

特定の実施形態における縦方向の電極集電体層136の厚さ（すなわち、セパレータ130と、一実施形態では、電極集電体層136が挟まれている間の陽極活性物質層（例えば、電極活物質層132）との間の最短距離、又は、図1Bの実施形態のように、電極集電体が挟まれている隣接する電極活物質層の間で測定される厚さ）は、電極集電体層136の構成及び電気化学スタックの性能仕様に依存する。一般に、電極集電体層136がイオン透過性導体層である場合、それは少なくとも約300オングストロームの厚さを有する。例えば、いくつかの実施形態では、それは、約300～800オングストロームの範囲の厚さを有してもよい。しかし、より典型的には、約0.11マイクロメートルを超える厚さを有する。一般的に、イオン透過性導体層は、約100マイクロメートルを超えない厚さを有する。したがって、例えば、ある実施形態では、電極集電体層136は、約0.1～約10マイクロメートルの範囲の厚さを有する。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、電極集電体層136は、約0.1～約5マイクロメートルの範囲の厚さを

有する。さらなる実施形態では、いくつかの実施形態では、電極集電体層 136 は、約 0.5 ~ 約 3 マイクロメートルの範囲の厚さを有する。他の実施形態では、電極集電体層 136 が、隣接する電極活物質層の間に挟まれた内部層のような電極構造 110 の内部構造である場合（例えば、図 1B に示す実施形態のように）を含めて、その厚さは、一般に、イオン透過性導体層について記載されているようなものであってもよく、より一般的には、約 2 ミクロンから約 20 ミクロンの範囲、約 6 ミクロンから約 18 ミクロンの範囲、及び／又は約 8 ミクロンから約 14 ミクロンの範囲など、20 ミクロン未満の範囲の厚さであってもよい。すなわち、電極集電体の厚さは、20 ミクロン未満、例えば 18 ミクロン未満、さらには 14 ミクロン未満の範囲であってもよく、一般的には少なくとも 2 ミクロン、例えば少なくとも 6 ミクロン、さらには少なくとも 8 ミクロンの範囲であってもよい。一般に、電極集電体層 136 の厚さは、ほぼ均一であることが好ましくあり得る。例えば、ある実施形態では、電極集電体層 136 は、約 25 % 未満の厚さの不均一性を有することが好ましい。特定の実施形態では、厚さの不均一性はさらに小さい。例えば、いくつかの実施形態では、電極集電体層 136 は、約 20 % 未満の厚さの不均一性を有する。さらなる例として、いくつかの実施形態では、電極集電体層 136 は、約 15 % 未満の厚さの不均一性を有する。いくつかの実施形態では、イオン透過性導体層は、約 10 % 未満の厚さの不均一性を有する。

【0191】

一実施形態では、電極集電体層 136 は、イオン透過性及び電気伝導性に寄与する導電性成分及びイオン伝導性成分を含むイオン透過性導体層である。典型的には、導電性成分は、メッシュ又はパターン化された表面、フィルム、又は連続的な導電性材料（例えば、連続的な金属又は金属合金）を構成する複合材料の形態の連続的な導電性材料（例えば、連続的な金属又は金属合金）を含む。さらに、イオン導電性メンバは、典型的には、細孔、例えば、メッシュの間隙、パターン化された金属又は金属合金を含む材料層の間の空間、金属膜の細孔、又はキャリアイオンのための十分な拡散性を有する固体イオン導電体を構成する。特定の実施形態では、イオン透過性導体層は、堆積した多孔質材料、イオン輸送材料、イオン反応性材料、複合材料、又は物理的に多孔質な材料を含む。多孔質である場合、例えば、イオン透過性導体層は、少なくとも約 0.25 のポイド率を有し得る。しかし、一般的には、ポイド率は、典型的には約 0.95 を超えない。より典型的には、イオン性透過性導体層が多孔質である場合、ポイド率は約 0.25 ~ 約 0.85 の範囲であってもよい。いくつかの実施形態では、例えば、イオン性透過性導体層が多孔質であるとき、ポイド率は、約 0.35 から約 0.65 の範囲であってもよい。

【0192】

図 7 に示された実施形態では、電極集電体層 136 は、電極活物質層 132 のための唯一の陽極集電体である。異なる言い方をすれば、電極構造バックボーン 134 は、陽極集電体を含んでもよい。しかしながら、特定の他の実施形態では、電極構造バックボーン 134 は、任意に、陽極集電体を含まないことができる。さらなる他の実施形態では、例えば図 1B に示すように、電極集電体層 136 は、電極構造 110 の内部構造であり、電極活物質層 132 が内部電極集電体層 136 の対向する側に配置された状態で、電極構造 110 のコア又はバックボーン構造として機能してもよい。

【0193】

[対電極構造の集合]

再び図 7 を参照すると、対電極構造 112 の集合の各メンバはまた、第 1 の二次成長制約 158 に隣接する頂部 1068 と、第 2 の二次成長制約 160 に隣接する底部 1070 と、Z 軸に平行な高さ軸 A_{CES} （マークなし）を取り囲む側面（マークなし）と、頂部 1068 と底部 1070 とを接続する側面（マークなし）とを含んでいてもよい。対電極構造 112 は、長さ L_{CES} 、幅 W_{CES} 、及び高さ H_{CES} をさらに含む。長さ L_{CES} は、側面によって囲まれ、X 軸に沿って測定される。幅 W_{CES} は、側面によって囲まれ、Y 軸に沿って測定され、高さ H_{CES} は、上面 1068 から底面 1070 までの高さ軸 A_{CES} 又は Z 軸に沿って測定される。

【0194】

対電極112の集合のメンバの L_{CES} は、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、対電極112の集合のメンバは、典型的には、約5mm～約500mmの範囲の L_{CES} を有する。例えば、そのような一実施形態では、対電極112の集合のメンバは、約10mm～約250mmの範囲の L_{CES} を有する。さらなる例として、そのような一実施形態では、対電極112の集合のメンバは、約25mm～約100mmの範囲の L_{CES} を有する。

【0195】

対電極112の集合のメンバの W_{CES} もまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、対電極112の集合の各メンバは、典型的には、約0.01mm～約2.5mmの範囲内の W_{CES} を有する。例えば、一実施形態では、対電極112の集合の各メンバの W_{CES} は、約0.025mmから約2mmの範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、対電極112の集合の各メンバの W_{CES} は、約0.05mm～約1mmの範囲になる。

【0196】

対電極112の集合のメンバの H_{CES} もまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、対電極112の集合のメンバは、典型的には、約0.05mmから約10mmの範囲内の H_{CES} を有する。例えば、一実施形態では、対電極112の集合の各メンバの H_{CES} は、約0.05mmから約5mmの範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、電極112の集合の各メンバの H_{CES} は、約0.1mm～約1mmの範囲になる。

【0197】

別の実施形態では、対電極構造112の集合の各メンバは、Z軸に平行な高さ軸 A_{CESB} を有する対電極構造バックボーン141を含んでもよい。対電極構造バックボーン141はまた、高さ軸 A_{CESB} について対電極構造バックボーン141を取り囲む対電極活物質層138の層を含んでもよい。換言すると、対電極構造バックボーン141は、対電極活物質層138の機械的安定性を提供し、一次成長制約系151及び／又は二次成長制約系152のための取付け点を提供してもよい。さらに別の実施形態では、図1Bに示すように、対電極集電体140は、対電極活物質層138のための機械的安定性を提供してもよく、一次成長制約系151及び／又は二次成長制約系152のための取付け点を提供してもよい。すなわち、特定の実施形態では、対電極集電体140は、対電極構造バックボーンとして機能してもよい。特定の実施形態では、対電極活物質層138は、対電極活物質層138へのキャリアイオンの挿入時に膨張し、対電極活物質層138からのキャリアイオンの抽出時に収縮する。例えば、一実施形態では、対電極活物質層138は、陽極活性であってもよい。さらなる例として、一実施形態では、対電極活物質層138の層は、陰極活性であってもよい。対電極構造バックボーン141はまた、第1の二次成長制約158に隣接する頂部1072と、第2の二次成長制約160に隣接する底部1074と、高さ軸 A_{CESB} を取り囲み、頂部1072と底部1074とを接続する横方向の表面（図示なし）とを含んでもよい。対電極構造バックボーン141は、長さ L_{CESB} 、幅 W_{CESB} 、及び高さ H_{CESB} をさらに含む。長さ L_{CESB} は、側面により囲まれ、X軸に沿って測定される。幅 W_{CESB} は、側面により囲まれ、Y軸に沿って測定され、高さ H_{CESB} は、上面1072から下面1074までZ軸に沿って測定される。

【0198】

対電極構造バックボーン141の L_{CESB} は、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された用途に応じて変化する。しかしながら、一般的に、対電極構造バックボーン141は、典型的には、約5mm～約500mmの範囲の L_{CESB} を有する。例えば、そのような一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、約10mm～約250mmの範囲の L_{CESB} を有する。さらなる実施形態では、そのような一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、約20mm～約100mmの L_{CESB} を有する。

【0199】

対電極構造バックボーン141の W_{CESB} はまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて変化する。しかしながら、一般的に、各対電極構造バックボーン141は、典型的には、少なくとも1マイクロメートルの W_{CESB} を有する。例えば、一実施形態では、各対電極構造バックボーン141の W_{CESB} は、実質的に厚くてもよいが、一般的には、500マイクロメートルを超える厚さを有することはない。さらなる実施形態では、一実施形態では、各対電極構造バックボーン141の W_{CESB} は、約1～約50マイクロメートルの範囲内にある。

【0200】

対電極構造バックボーン141の H_{CESB} はまた、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された用途に応じて変化する。しかしながら、一般的には、対電極構造バックボーン141は、典型的には少なくとも約50マイクロメートル、より典型的には少なくとも約100マイクロメートルの H_{CESB} を有する。さらに、一般的に、対電極構造バックボーン141は、典型的には、約10000マイクロメートルを超えず、より典型的には、約5000マイクロメートルを超えない H_{CESB} を有する。例えば、一実施形態では、各対電極構造バックボーン141の H_{CESB} は、約0.05mm～約10mmの範囲内にある。さらなる例によって、一実施形態では、各対電極構造バックボーン141の H_{CESB} は、約0.05mmから約5mmの範囲にある。さらなる例によって、一実施形態では、各対電極構造バックボーン141の H_{CESB} は、約0.1mmから約1mmの範囲になる。

【0201】

用途に応じて、対電極構造バックボーン141は、電氣的に導電性であってもよいし、絶縁性であってもよい。例えば、ある実施形態では、対電極構造バックボーン141は、導電性であってもよく、対電極活物質138のための対電極集電体140を含んでもよい。そのような一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、少なくとも約 10^3 シーメンス/cmの導電性を有する対電極集電体140を含む。さらなる例によって、そのような一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、少なくとも約 10^4 シーメンス/cmの導電率を有する対電極集電体140を含む。さらなる実施形態では、そのような一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、少なくとも約 10^5 シーメンス/cmの導電率を有する対電極集電体140を含む。他の実施形態では、対電極構造バックボーン141は、比較的非導電性である。例えば、一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、約10シーメンス/cm未満の導電性を有する。さらなる実施形態では、一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、1シーメンス/cm未満の電気伝導度を有する。さらなる実施形態では、一実施形態では、対電極構造バックボーン141は、 10^{-1} シーメンス/cm未満の電気伝導度を有する。

【0202】

特定の実施形態では、対電極構造バックボーン141は、金属、半導体、有機物、セラミック、ガラスなどの形状を有する任意の材料を含むことができる。例えば、特定の実施形態では、材料は、シリコン、ゲルマニウムなどの半導体材料を含む。しかし、代替的に、炭素系有機材料、又はアルミニウム、銅、ニッケル、コバルト、チタン、タングステンなどの金属も、対電極構造バックボーン141に組み込まれてもよい。一例示的な実施形態では、対電極構造バックボーン141は、シリコンからなる。シリコンは、例えば、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコン、又はそれらの組み合わせであってもよい。

【0203】

特定の実施形態では、対電極活物質層138は、少なくとも1マイクロメートルの厚さを有してもよい。しかしながら、典型的には、対電極活物質層138の厚さは、200マイクロメートルを超えない。例えば、一実施形態では、対電極活物質層138は、約1～約50マイクロメートルの厚さを有してもよい。さらなる例によって、一実施形態では、対電極活物質層138は、約2～約75マイクロメートルの厚さを有してもよい。さらな

る方法で、一実施形態では、対電極活物質層 138 は、約 10 ～ 約 100 マイクロメートルの厚さを有してもよい。さらなる例によって、一実施形態では、対電極活物質層 138 は、約 5 ～ 約 50 マイクロメートルの厚さを有してもよい。

【0204】

特定の実施形態では、対電極集電体 140 は、セパレータ 130 から対電極活物質層 138 へのキャリアイオンの移動を容易にするためにキャリアイオンに対して十分なイオン透過性を有し、かつ集電体として機能することを可能にするために十分な電気伝導性を有するイオン透過性導電体を含む。対電極活物質層 138 とセパレータ 130 との間に配置されているか否かにかかわらず、対電極集電体 140 は、対電極集電体 140 からの電流を対電極活物質層 138 の表面を横切って分配することにより、より均一なキャリアイオンの輸送を促進してもよい。これにより、より均一なキャリアイオンの挿入及び抽出が容易になり、それにより、サイクリング中の対電極活物質層 138 の応力が低減され得る。対電極集電体 140 は、セパレータ 130 に対向する対電極活物質層 138 の表面に電流を分配するので、キャリアイオンに対する対電極活物質層 138 の反応性は、キャリアイオンの濃度が最も高いところで最も大きくなる。

【0205】

対電極集電体 140 は、イオン伝導性及び電気伝導性を有するイオン透過性導体材料を含んでもよい。換言すると、対電極集電体 140 は、電気化学積層又は電極アセンブリ 106 において、イオンの透過性の導体層の一方の側に隣接する対電極活物質層 138 と、対電極集電体 140 の他方の側に隣接するセパレータ層 130 との間でのキャリアイオンの移動を容易にする、厚さ、電気伝導性、及びキャリアイオンに対するイオン伝導性を有してもよい。さらに別の実施形態では、対電極集電体 140 は、例えば図 1B のように、対電極集電体 140 が対電極構造 111 の内部バックボーンを形成する場合のように、任意のイオン伝導性に関係なく（例えば、材料がイオン伝導性を有していてもよいし、有していなくてもよい）、電氣的に伝導性を有する導体材料を含んでもよい。そのような実施形態では、電極集電体は、キャリアイオンの負電極活物質への移動を阻害しないように、電極構造 100 内に内部的に配置されてもよく、したがって、イオンを伝導する能力は必須でなくもあり得る。相対的に、対電極集電体 140 は、デバイス 100 にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス 100 を放電するための印加負荷があるときに、そのイオンコンダクタンスよりも大きい電氣的コンダクタンスを有する。例えば、デバイス 100 内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス 100 を放電させるための印加負荷があるとき、対電極集電体 140 の電気コンダクタンスと（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、典型的には、それぞれ少なくとも 1000 : 1 である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス 100 内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス 100 を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体 140 の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスに対する電氣的コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも 5000 : 1 である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス 100 内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス 100 を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体 140 の層の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスに対する電気コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも 50000 : 1 である。さらなる例によって、そのような一実施形態では、デバイス 100 にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス 100 を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体 140 の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスに対する電気コンダクタンスの比は、それぞれ少なくとも 100000 : 1 である。

【0206】

一実施形態において、かつ、エネルギー貯蔵デバイス100若しくは二次電池102が充放電しているときなど、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷があるとき、対電極集電体140は、隣接するセパレータ層130のイオンコンダクタンスに匹敵するイオンコンダクタンスを有する。例えば、一実施形態において、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流又はデバイス100を放電させるための印加負荷があるとき、対電極集電体140は、セパレータ層130のイオンコンダクタンスの少なくとも50%（即ち、それぞれ0.5:1の比）である（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスを有する。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体140の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体140の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1.25:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体140の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも1.5:1である。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体140の（キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとセパレータ層130の（陽極集電体層の）キャリアイオンに対する）イオンコンダクタンスとの比は、少なくとも2:1である。

【0207】

一実施形態では、対電極集電体140はまた、対電極活物質層138の電気コンダクタンスよりも実質的に大きい電気コンダクタンスを有する。例えば、一実施形態では、デバイス100にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極集電体140の電気コンダクタンスと対電極活物質層138の電気コンダクタンスとの比は、少なくとも100:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極活物質層138の電氣的コンダクタンスに対する対電極集電体140の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも500:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極活物質層138の電氣的コンダクタンスに対する対電極集電体140の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも1000:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極活物質層138の電氣的コンダクタンスに対する対電極集電体140の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも5000:1である。さらなる例として、いくつかの実施形態では、デバイス100内にエネルギーを蓄えるための印加電流があるとき、又はデバイス100を放電するための印加負荷があるとき、対電極活物質層138の電氣的コンダクタンスに対する対電極集電体140の電氣的コンダクタンスの比は、少なくとも10000:1である。

【0208】

特定の実施形態における対電極集電体層140の厚さ（すなわち、セパレータ130と、一実施形態では、対電極集電体層140が間に挟まれている陰極活性物質層（例えば、対電極活物質層138）との間の最短距離）は、対電極集電体層140の構成及び電気化

学スタックの性能仕様に依存する。一般に、対電極集電体層 140 がイオン透過性導体層である場合、それは少なくとも約 300 オングストロームの厚さを有する。例えば、いくつかの実施形態では、それは、約 300 ~ 800 オングストロームの範囲の厚さを有してもよい。しかし、より典型的には、約 0.11 マイクロメートルを超える厚さを有する。一般的に、イオン透過性導体層は、約 100 マイクロメートルを超えない厚さを有する。したがって、例えば、ある実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 0.1 ~ 約 10 マイクロメートルの範囲の厚さを有する。さらなる例によって、いくつかの実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 0.1 ~ 約 5 マイクロメートルの範囲の厚さを有する。さらなる実施形態では、いくつかの実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 0.5 ~ 約 3 マイクロメートルの範囲の厚さを有する。他の実施形態では、対電極集電体層 140 が、隣接する電極活物質層の間に挟まれた内部層のような電極構造 112 の内部構造である場合（例えば、図 1 B に示す実施形態のように）を含めて、その厚さは、一般に、イオン透過性導体層について記載されているようなものであってもよく、より一般的には、約 2 ミクロンから約 20 ミクロンの範囲、約 6 ミクロンから約 18 ミクロンの範囲、及び／又は約 8 ミクロンから約 14 ミクロンの範囲など、20 ミクロン未満の範囲の厚さであってもよい。すなわち、電極集電体の厚さは、20 ミクロン未満、例えば 18 ミクロン未満、さらには 14 ミクロン未満の範囲であってもよく、一般的には少なくとも 2 ミクロン、例えば少なくとも 6 ミクロン、さらには少なくとも 8 ミクロンの範囲であってもよい。一般に、対電極集電体層 140 の厚さは、ほぼ均一であることが好ましい。例えば、ある実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 25 % 未満の厚さの不均一性を有することが好ましい。特定の実施形態では、厚さの不均一性はさらに小さい。例えば、いくつかの実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 20 % 未満の厚さの不均一性を有する。さらなる例として、いくつかの実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 15 % 未満の厚さの不均一性を有する。いくつかの実施形態では、対電極集電体層 140 は、約 10 % 未満の厚さの不均一性を有する。

【0209】

一実施形態では、対電極集電体層 140 は、イオン透過性及び電気伝導性に寄与する導電性成分及びイオン伝導性成分を含むイオン透過性導体層である。典型的には、導電性成分は、メッシュ又はパターン化された表面、フィルム、又は連続的な導電性材料（例えば、連続的な金属又は金属合金）を構成する複合材料の形態の連続的な導電性材料（例えば、連続的な金属又は金属合金）を含む。さらに、イオン導電性メンバは、典型的には、細孔、例えば、メッシュの間隙、パターン化された金属又は金属合金を含む材料層の間の空間、金属膜の細孔、又はキャリアイオンのための十分な拡散性を有する固体イオン導電体を構成する。特定の実施形態では、イオン透過性導体層は、堆積した多孔質材料、イオン輸送材料、イオン反応性材料、複合材料、又は物理的に多孔質な材料を含む。多孔質である場合、例えば、イオン透過性導体層は、少なくとも約 0.25 のポイド率を有し得る。しかし、一般的には、ポイド率は、典型的には約 0.95 を超えない。より典型的には、イオン性透過性導体層が多孔質である場合、ポイド率は約 0.25 ~ 約 0.85 の範囲であってもよい。いくつかの実施形態では、例えば、イオン性透過性導体層が多孔質であるとき、ポイド率は、約 0.35 から約 0.65 の範囲であってもよい

【0210】

図 7 に示された実施形態では、対電極集電体層 140 は、対電極活物質層 138 のための唯一の陰極集電体である。異なる言い方をすれば、対電極構造バックボーン 141 は、陰極集電体を含んでもよい。しかしながら、特定の他の実施形態では、対電極構造バックボーン 141 は、任意に、陰極集電体 140 を含まないことができる。さらなる他の実施形態では、例えば図 1 B に示すように、電極集電体層 136 は、電極構造 110 の内部構造であり、電極活物質層 132 が内部電極集電体層 136 の対向する側に配置された状態で、電極構造 110 のコア又はバックボーン構造として機能してもよい。

【0211】

一実施形態では、第 1 の二次成長制約 158 及び第 2 の二次成長制約 160 は、それぞ

れ、内面1060及び1062と、Z軸に沿って離間したそれぞれの対向する外面1064及び1066を含み、それによって、第1の二次成長制約158の高さ H_{158} 及び第2の二次成長制約160の高さ H_{160} を定義することができる。本開示の態様によれば、第1及び／又は第2の二次成長制約158、160のいずれかの高さをそれぞれ増加させることは、制約の剛性を増加させることができるが、体積の増加を必要とすることもあり、したがって、エネルギー貯蔵デバイス100又は電極アセンブリ106及び制約のセット108を含む二次電池102のエネルギー密度の低下を引き起こすことになる。したがって、制約158、160の厚さは、制約の材料特性、電極100の所定の膨張からの圧力を相殺するために必要な制約の強度、及び他の要因に応じて選択することができる。例えば、一実施形態では、第1及び第2の二次成長制約の高さ H_{158} 及び H_{160} は、それぞれ、高さ H_{ES} の50%未満であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、第1及び第2の二次成長制約の高さ H_{158} 及び H_{160} は、それぞれ、高さ H_{ES} の25%未満であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、第1及び第2の二次成長制約の高さ H_{158} 及び H_{160} は、それぞれ、高さ H_{ES} の10%未満であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、第1及び第2の二次成長制約の高さ H_{158} 及び H_{160} は、それぞれ、高さ H_{ES} の5%未満であってもよい。いくつかの実施形態では、第1の二次成長制約の高さ H_{158} 及び第2の二次成長制約の高さ H_{160} は異なってもよく、第1及び第2の二次成長制約高さ H_{158} 、160のそれぞれに使用される材料も異なってもよい。

【0212】

特定の実施形態では、内面1060及び1062は、電極構造110の集合及び／又は対電極構造112の集合をそこに固定することが可能な表面特徴を含んでもよく、外面1064及び1066は、複数の制約された電極アセンブリ106を積層することが可能な表面特徴を含んでもよい（すなわち、図7内で示唆されるが、明確化のために図示されていない）。例えば、一実施形態では、内面1060及び1062又は外面1064及び1066は、平面であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、内面1060及び1062、又は外面1064及び1066は、非平面であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、内面1060及び1062、又は外面1064及び1066は、平面であってもよい。さらなる態様では、一実施形態では、内面1060及び1062と外面1064及び1066は、非平面であってもよい。さらなる実施形態では、一実施形態では、内面1060及び1062と外面1064及び1066は、実質的に平面であってもよい。

【0213】

本明細書の他の箇所に記載されているように、電極構造110及び／又は対電極112として具現化された少なくとも1つの二次接続メンバ1066を内面1060及び1062に貼るためのモードは、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池1002及びそれらの意図された用途に応じて変化してもよい。図7に示されている1つの例示的な実施形態として、電極構造110（すなわち図示されているように、電極集電体136）の集合の頂部1052及び底部1054、ならびに対電極構造112（すなわち、対電極集電体140、図示されているように）の集合の頂部1068及び底部1070は、接着剤182の層を介して、第1の二次成長制約158の内面1060及び第2の二次成長制約160の内面1062に貼着されてもよい。同様に、第1の一次成長制約154の上面1076及び下面1078、並びに第2の一次成長制約156の上面1080及び下面1082は、接着剤182の層を介して、第1の二次成長制約158の内面1060及び第2の二次成長制約160の内面1062に接着されてもよい。

【0214】

換言すると、図7に示す実施形態では、電極構造110の集合の頂部1052及び底部1054は、第1の二次成長制約158の内面1060及び第2の二次成長制約160の内面1062の両方を実質的に満たす高さ H_{ES} を含み、フラッシュの実施形態では、接着剤182の層を介して、第1の二次成長制約158の内面1060及び第2の二次成長

10

20

30

40

50

制約 160 の内面 1062 に接着されてもよい。さらに、対電極構造 112 の集合の頂部 1068 及び底部 1070 は、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 の両方を実質的に満たす高さ H_{CES} を含み、フラッシュの実施形態において、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 に接着剤 182 の層を介して貼着されてもよい。

【0215】

さらに別の例示的な実施形態では、電極バックボーン 134 の頂部 1056 及び底部 1058、ならびに対電極バックボーン 141 の頂部 1072 及び底部 1074 は、接着剤 182 の層（図示なし）を介して、第 1 の二次成長制約 158 の内側表面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内側表面 1062 に貼着されてもよい。同様に、第 1 の一次成長制約 154 の上面 1076 及び底面 1078、ならびに第 2 の一次成長制約 156 の上面 1080 及び底面 1082 は、接着剤 182 の層を介して、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 に貼着されてもよい（この段落に記載された実施形態に関しては図示なし）。換言すると、電極バックボーン 134 の頂部 1056 及び底部 1058 は、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 の両方を実質的に満たす高さ H_{ESB} を含み、フラッシュの実施形態において、接着剤 182 の層を介して、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 に貼着されてもよい。さらに、対電極バックボーン 141 の上面 1072 及び下面 1074 は、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 の両方を実質的に満たす高さ H_{CESB} を含み、フラッシュの実施形態において、第 1 の二次成長制約 158 の内面 1060 及び第 2 の二次成長制約 160 の内面 1062 に接着剤 182 の層を介して貼着されてもよい。

【0216】

したがって、一実施形態によれば、電極構造 110 及び／又は対電極構造 112、及び／又はセパレータ 130 の集合の少なくとも一部は、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 をそれぞれ二次成長制約系 152 内で互いに接続するための 1 つ以上の二次接続メンバ 166 として機能してもよく、それにより、そのサイクル中に電極アセンブリ 106 の成長を抑制するためのコンパクトでスペース効率のよい制約系を提供することができる。一実施形態によれば、電極構造 110 及び／又は対電極構造 112、及び／又はセパレータ 130 の任意の部分は、充電及び放電サイクルに伴って体積膨張する電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 の任意の部分を除いて、1 つ以上の二次接続メンバ 166 として機能してもよい。すなわち、電極アセンブリ 106 における体積変化の原因である電極構造 110 及び／又は対電極構造 112 のその部分、例えば電極活物質 132 は、典型的には、電極制約メンバ 108 のセットの一部としては機能しない。一実施形態では、一次成長制約系 151 の一部として提供される第 1 及び第 2 の一次成長制約 154、156 は、縦方向の成長をさらに抑制し、また、二次成長制約系 152 の第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 をそれぞれ接続するための二次接続メンバ 166 として機能してもよく、それにより、電極の成長／膨潤を抑制するための協調的で相乗的な制約系（すなわち、電極制約 108 の集合）を提供する。

【0217】

〔電極構造を介する接続〕

以下に記載される代替的な実施形態では、電極構造 110 はまた、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158、160 にそれぞれ独立して貼着されてもよい。ここで、図 9A～図 9B を参照すると、高さ軸（Z 軸）、縦軸（Y 軸）、及び横軸（X 軸）を有する基準直交座標系と、セパレータ 130 と、並びに、上述したように Y 軸と平行な積層方向 D が示される。ただし、X 軸は紙面から手前方向に向けられている。より具体的には、図 9A～図 9B は、それぞれ、上述したように、各第 1 の一次成長制約 154 及び各第 2 の一次成長制約 156 が、接着剤 182 の層を介して第 1 の二次成長制約 158 及び第 2 の二次成長制約 160 に取り付けられてもよい、図 1A のような線 A-A' に沿った断面を示している。特

定の実施形態では、図9A～図9Bの各々に示されるように、非固定の対電極構造112は、それらの頂部1068と第1の二次成長制約158との間、及びそれらの底部1070と第2の二次成長制約160との間に、対電極ギャップ1086を含んでもよい。換言すると、特定の実施形態では、各対電極構造112の頂部1068及び底部1070は、それぞれ、第1及び第2の二次成長制約158、160の間にギャップ1086を有してもよい。さらに、特定の実施形態では、図9A～図9Bに示すように、対電極構造112の頂部1068は、第1の二次成長制約158と固定されることなく接触していてもよく、対電極構造112の底部1070は第2の二次成長制約160と固定されることなく接触していてもよく、又は、対電極構造112の頂部1068が第1の二次成長制約158と固定されることなく接触するとともに、対電極構造112の底部1070が第2の二次成長制約160（図示なし）と固定されることなく接触していてもよい。

10

【0218】

より具体的には、ある実施形態では、図9Aに示すように、複数の電極バックボーン134は、接着剤182の層を介して、第1の二次成長制約158の内側表面1060及び第2の二次成長制約160の内側表面1062に貼着されてもよい。特定の実施形態では、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160にそれぞれ貼付された複数の電極バックボーン134は、貼付された電極バックボーン134に関して接着軸AGについて対称なパターンを含んでもよい。特定の実施形態では、第1及び第2の二次成長制約158、160にそれぞれ貼付された複数の電極バックボーン134は、貼付された電極バックボーン134に関して糊付け軸AGについての非対称又はランダムなパターンを含んでもよい。特定の実施形態では、電極バックボーン134は、電極集電体136を含んでもよく、及び／又は電極集電体136は、例えば図1Bに示される実施形態に示されるように、電極バックボーンの代わりに提供されてもよい。

20

【0219】

一例示的な実施形態では、第1の対称取付けパターンユニットは、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼付された2つの電極バックボーン134を含んでもよく、ここで、貼付された2つの電極バックボーン134は、上述のように、1つの対電極構造112を挟んでいる。したがって、第1の対称取付けパターンユニットは、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて、必要に応じて積層方向Dに沿って繰り返してもよい。別の例示的な実施形態では、第2の対称アタッチメントパターンユニットは、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼付された2つの電極バックボーン134を含んでもよく、貼付された2つの電極バックボーン134は、2つ以上の対電極構造112及び1つ以上の非貼付電極バックボーン134に隣接している。したがって、第2の対称的な取付けパターンユニットは、必要に応じて、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて、積層方向Dに沿って繰り返してもよい。他の例示的な対称取付けパターンユニットも考えられるが、当業者であれば理解できるだろう。

30

【0220】

1つの例示的な実施形態では、第1の非対称又はランダムな取付けパターンは、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に取付けした2つ以上の電極バックボーン134を含んでもよく、ここで、2つ以上の取付け電極バックボーン134は、取付け電極バックボーン134A、取付け電極バックボーン134B、取付け電極バックボーン134C、及び取付け電極バックボーン134Dとして個別に指定され得る。貼付電極バックボーン134A及び貼付電極バックボーン134Bは、 $(1+x)$ 個の対電極構造112を挟んでもよく、貼付電極バックボーン134B及び貼付電極バックボーン134Cは、 $(1+y)$ 個の対電極構造112を挟んでもよく、貼付電極バックボーン134C及び貼付電極バックボーン134Dは、 $(1+z)$ 個の対電極構造112を挟んでもよく、ここで、任意の2つの貼付電極バックボーン134a～134dの間の対電極構造112の合計量（すなわち、 x 、 y 、又は z ）は、不等であり（すなわち、 $x \neq y \neq z$ ）、非貼付電極バックボーン134によってさらに分離されてもよい。代替的に

40

50

述べると、任意の数の電極バックボーン134が、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼り付けられてもよく、それによって、任意の2つの貼り付けられた電極バックボーン134の間には、非取付け電極バックボーン134によって分離された任意の非等数の対電極構造112が含まれてもよい。他の例示的な非対称又はランダムな取り付けパターンも考えられるが、当業者であれば理解できるだろう。

【0221】

より具体的には、ある実施形態では、図9Bに示すように、複数の電極集電体136は、接着剤182の層を介して、第1の二次成長制約158の内側表面1060及び第2の二次成長制約160の内側表面1062に貼着されてもよい。特定の実施形態では、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160にそれぞれ貼付された複数の電極集電体136は、貼付された電極集電体136に関して接着軸AGについて対称なパターンを含んでいてもよい。特定の実施形態では、第1及び第2の二次成長制約158、160にそれぞれ貼付された複数の電極集電体136は、貼付された電極集電体136に関して糊付け軸AGについての非対称パターン又はランダムパターンを含んでもよい。

10

【0222】

例示的な一実施形態では、第1の対称取付けパターンユニットは、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼付された2つの電極電流コレクタ136を含んでもよく、ここで、貼付された2つの電極電流コレクタ136は、上記のように、1つの対電極構造112を挟んで配置される。したがって、第1の対称取付けパターンユニットは、必要に応じて、エネルギー貯蔵デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて、積層方向Dに沿って繰り返されてもよい。別の例示的な実施形態では、第2の対称取付けパターンユニットは、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼付された2つの電極電流コレクタ136を含んでもよく、貼付された2つの電極電流コレクタ136は、2つ以上の対電極構造112及び1つ以上の非貼付電極電流コレクタ136に隣接して配置されている。したがって、第2の対称的な取り付けパターンユニットは、必要に応じて、蓄電デバイス100又は二次電池102及びそれらの意図された使用に応じて、積層方向Dに沿って繰り返してもよい。他の例示的な対称取付けパターンユニットも考えられるが、当業者であれば理解できるだろう。

20

【0223】

例示的な一実施形態では、第1の非対称又はランダムな取り付けパターンは、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に取り付けられた2つ以上の電極電流コレクタ136を含んでもよく、ここで、2つ以上の取り付けられた電極電流コレクタ136は、取り付けられた電極電流コレクタ136A、取り付けられた電極電流コレクタ136B、取り付けられた電極電流コレクタ136C、及び取り付けられた電極電流コレクタ136Dとして個別に指定されてもよい。貼付電極集電体136Aと貼付電極集電体136Bは $(1+x)$ 個の対電極構造112を挟んでもよく、貼付電極集電体136Bと貼付電極集電体136Cは $(1+y)$ 個の対電極構造112を挟んでもよく、貼付電極集電体136Cと貼付電極集電体136Dは $(1+z)$ 個の対電極構造112を挟んでもよい。任意の2つの貼付電極集電体136a~136dの間の対電極構造112の合計量（すなわち、 x 、 y 、又は z ）は、不等であり（すなわち、 $x \neq y \neq z$ ）、非貼付電極集電体136によってさらに分離されてもよい。代替的に述べると、任意の数の電極集電体136は、上記のように、第1の二次成長制約158及び第2の二次成長制約160に貼り付けられてもよく、それによって、任意の2つの貼り付けられた電極集電体136の間には、非貼り付けられた電極集電体136によって分離された任意の非等価数の対電極構造112が含まれてもよい。他の例示的な非対称又はランダムな取り付けパターンも考えられるが、当業者であれば理解できるだろう。

30

40

【0224】

【二次電池】

ここで、図10を参照すると、図示されているのは、本開示の電極制約108aの複数のセットを有する二次電池102の一実施形態の分解図である。二次電池102は、電池

50

筐体104と、電池筐体104内の一組の電極アセンブリ106aとを含み、電極アセンブリ106の各々は、上述したように、第1の縦端面116と、対向する第2の縦端面118（すなわち、示されている直交座標系のY軸に沿って第1の縦端面116から離間している）とを有する。各電極アセンブリ106は、積層方向Dにおいて各電極アセンブリ106内で互いに相対的に積層された電極構造の集合110及び対電極構造の集合112を含む。別の態様では、電極構造110及び対電極構造112の集合は、第1及び第2の縦端面116、118の間でそれぞれ積層方向Dに進行しながら、電極110及び対電極112の交互の系列に配置される（例えば、図2A参照。図2A及び図10に示されるように、積層方向Dは、上述したように、示された直交座標系のY軸に平行である）。さらに、個々の電極アセンブリ106内の積層方向Dは、集合106a内の電極アセンブリ106の集合の積層方向（すなわち、電極アセンブリの積層方向）に垂直である。換言すると、電極アセンブリ106は、個々の電極アセンブリ106内の積層方向Dに垂直な方向（例えば、電極アセンブリの積層方向は、示された直交座標系のZ軸に対応する方向であり、個々の電極アセンブリ106内の積層方向Dは、示された直交座標系のY軸に対応する方向である）にセット106a内で互いに相対的に配置されている。

【0225】

図10に示された実施形態で描かれた電極アセンブリのセット106aは、同じ一般的なサイズを有する個々の電極アセンブリ106を含むが、個々の電極アセンブリ106のうちの1つ以上は、少なくとも1つの次元において、同じようにセット106a内の他の電極アセンブリ106と同じサイズを有するか、及び／又は代替的に異なるサイズを有していてもよい。例えば、一実施形態によれば、二次電池102に提供されるセット106aを形成するために一緒に積層される電極アセンブリ106は、各アセンブリ106の縦方向（すなわち、積層方向D）における異なる最大幅 W_{EA} を有し得る。別の実施形態によれば、二次電池102に提供される積層セット106aを構成する電極アセンブリ106は、縦軸に直交する横軸に沿って異なる最大長さ L_{EA} を有してもよい。さらなる例によって、一実施形態では、二次電池102内に提供される積層集合106aを形成するために一緒に積層される各電極アセンブリ106は、縦軸に沿った最大幅 W_{EA} と、電極アセンブリ106が積層集合106aを形成するために一緒に積層される方向に沿って減少する $L_{EA} \times W_{EA}$ の面積を提供するように選択される横軸に沿った最大長さ L_{EA} とを有する。例えば、各電極アセンブリ106の最大幅 W_{EA} 及び最大長さ L_{EA} は、電極アセンブリ106が積層される第1の方向において隣接する電極アセンブリ106の面積よりも小さく、それとは反対の第2の方向において隣接する電極アセンブリ106の面積よりも大きくなるように選択されてもよく、これにより、電極アセンブリ106が一緒に積層されて、ピラミッド形状の電極アセンブリ106aの集合を有する二次電池102が形成されるようになる。代替的に、各電極アセンブリ106の最大長さ L_{EA} 及び最大幅 W_{EA} は、積層された電極アセンブリセット106aに異なる形状及び／又は構成を提供するように選択することができる。また、1つ以上の電極アセンブリ106の最大高さ H_{EA} は、セット106aの他のアセンブリ106とは異なる形状及び／又は所定の形状及び／又は構成を有する積層型セット106aを提供するように選択することができる、及び／又は代替的に選択することができる。

【0226】

タブ190、192は、電池筐体104から突出しており、セット106aの電極アセンブリ106とエネルギー供給装置又は消費者（図示なし）との間の電氣的接続を提供する。より具体的には、この実施形態では、タブ190は、タブ延長部191に電氣的に接続され（例えば、導電性接着剤を用いて）、タブ延長部191は、電極アセンブリ106の各々によって構成される電極110に電氣的に接続されている。同様に、タブ192は、タブ延長部193に電氣的に接続され（例えば、導電性接着剤を使用して）、タブ延長部193は、電極アセンブリ106の各々によって構成される対電極112に電氣的に接続される。

【0227】

図10に図示された実施形態における各電極アセンブリ106は、縦方向（すなわち、積層方向D）の成長を抑制するための関連する一次成長制約系151を有する。代替的に、一実施形態では、セット106aを構成する複数の電極アセンブリ106は、一次成長制約系151の少なくとも一部を共有してもよい。示されている実施形態では、各一次成長制約系151は、上述したように、それぞれ第1及び第2の縦端面116、118をオーバーラップし得る第1及び第2の一次成長制約154、156と、そして上述したように、それぞれ側方面142をオーバーラップし得る第1及び第2の対向する一次接続メンバ162、164を含んでいる。第1及び第2の対向する一次接続メンバ162、164は、それぞれ、第1及び第2の一次成長制約154、156を互いに引き寄せてもよく、又は代替的に記載されているように、電極アセンブリ106の縦方向への成長を抑制するのを補助してもよく、一次成長制約154、156は、それぞれ、対向する第1及び第2の縦端面116、118に圧縮力又は制約力を加えてもよい。その結果、充電状態と放電状態との間の電池102の形成及び／又はサイクル中に、電極アセンブリ106の縦方向への膨張が抑制される。さらに、一次成長制約系151は、縦方向（すなわち、積層方向D）における電極アセンブリ106に、互いに相互に直交し、かつ縦方向に直交する2つの方向のいずれかにおいて、電極アセンブリ106に維持される圧力を超える圧力を与える（例えば、図示されているように、縦方向はY軸の方向に対応し、互いに相互に直交し、かつ縦方向に直交する2つの方向は、図示されている直交座標系のX軸及びZ軸の方向にそれぞれ対応している）。

【0228】

さらに、図10に図示された実施形態における各電極アセンブリ106は、高さ方向（すなわち、直交座標系のZ軸に沿って）の成長（すなわち、直交座標系のZ軸に沿って）における電極アセンブリ106、電極110、及び／又は対電極112の膨張を抑制するための、関連する二次成長制約系152を有する。代替的に、一実施形態では、セット106aを構成する複数の電極アセンブリ106は、二次成長制約系152の少なくとも一部を共有する。各二次成長制約系152は、それぞれ対応する側方表面142を覆ってもよい第1及び第2の二次成長制約158、160と、上でより詳細に説明したように、少なくとも1つの二次接続メンバ166を含む。二次接続メンバ166は、第1及び第2の二次成長制約158、160をそれぞれ互いに引き寄せてもよく、又は代替的に記載されているように、電極アセンブリ106の高さ方向への成長を抑制するのを補助してもよく、第1及び第2の二次成長制約158、160は、それぞれ、上記でより詳細に記載されているように、側方表面142に圧縮力又は制約力を加えてもよい。その結果、充電状態と放電状態との間の電池102の形成及び／又はサイクルの間に、電極アセンブリ106の高さ方向への膨張が抑制される。さらに、二次成長制約系152は、高さ方向（すなわち、図示直交座標系のZ軸に平行な方向）における電極アセンブリ106に、互いに直角であり、かつ高さ方向（例えば、図示のように、高さ方向はZ軸の方向に対応し、互いに直交する2つの方向と高さ方向に対応する方向は、それぞれ図示の直交座標系のX軸及びY軸の方向に対応する）に直角である2つの方向のいずれかにおいて、電極アセンブリ106に維持される圧力を超える圧力を与える。

【0229】

さらにまた、図10に図示された実施形態の各電極アセンブリ106は、上記でより詳細に説明されたように、縦方向及び高さ方向の成長を抑制するために、関連する一次成長制約系151（及び関連する二次成長制約系152）を有する。さらに、特定の実施形態によれば、電極及び／又は対電極タブ190、192、及びタブ延長部191、193は、それぞれ、三次成長制約系155の一部として機能することができる。例えば、特定の実施形態では、タブ延長部191、193は、第1及び第2の三次成長制約157、159のような三次成長制約系155の一部として機能するように、対向する横の表面領域144、146に沿って延びてもよい。タブ延長部191、193は、一次成長制約154、156が、横方向に沿って電極アセンブリ106を圧縮し、第1及び第2の三次成長制約157、159として作用するように、タブ延長部191、193を互いに緊張状態で

配置する少なくとも1つの三次接続メンバ165として機能するように、電極アセンブリ106の縦方向端部117, 119で一次成長制約154, 156に接続されることが可能である。逆に、タブ190, 192及び／又はタブ延長部191, 193は、一実施形態によれば、それぞれ第1及び第2の一次成長制約154, 156のための第1及び第2の一次接続メンバ162, 164として機能することもできる。さらに別の実施形態では、タブ190, 192及び／又はタブ延長部191, 193は、例えば、二次成長制約158, 160を接続する少なくとも1つの二次接続メンバ166の一部を形成することによって、二次成長制約系152の一部として機能することができる。したがって、タブ190, 192及び／又はタブ延長部191, 193は、それぞれ一次制約系151及び二次制約系152の1つ以上の一部として機能するか、及び／又は三次成長制約系155の一部を形成することによって、電極アセンブリ106を、それぞれ一次制約系151及び二次成長制約系152の1つ以上によって制約されている方向と直交する方向に制約するように制約することによって、電極アセンブリ106の全体的な巨視的成長を抑制するのを補助することができる。

10

【0230】

二次電池102の組み立てを完了するために、電池筐体104は非水電解液（図示なし）で満たされ、蓋104aは折り畳まれて（折り線FLに沿って）、上面104bに密封される。完全に組み立てられたとき、密封された二次電池102は、その外部表面によって制約された体積（すなわち、変位体積）を占め、二次電池筐体104は、電池（蓋104aを含む）の変位体積からその内部体積（すなわち、内部表面104c、104d、104e、104f、104g及び蓋104aによって囲まれた立体の体積）を差し引いた変位体積に対応する体積を占め、セット106aの各成長制約151, 152は、そのそれぞれの変位体積に対応する体積を占めている。したがって、組み合わせると、電池筐体104及び成長制約151, 152は、電池筐体104の外表面によって囲まれた体積（すなわち、電池の変位体積）の75%以下を占める。例えば、そのような一実施形態では、成長制約151, 152及び電池筐体104を組み合わせると、電池筐体104の外表面によって制約される体積の60%以下を占める。さらなる例として、そのような一実施形態では、成長制約151, 152及び電池筐体104を組み合わせると、電池筐体104の外表面によって制約される体積の45%以下を占める。さらなる例として、そのような一実施形態では、成長制約151, 152及び電池筐体104を組み合わせると、電池筐体104の外表面によって制約される体積の30%以下を占める。さらなる例として、そのような一実施形態では、成長制約151, 152及び電池筐体104を組み合わせると、電池筐体104の外表面によって制約される体積の20%以下を占める。

20

30

【0231】

図10の説明を容易にするために、二次電池102は、電極アセンブリ106の1つのセット106aのみを含み、セット106aは、6つの電極アセンブリ106のみを含む。実際には、二次電池102は、電極アセンブリ106の1つ以上のセット106aを含んでもよく、セット106aの各々は、互いに横方向に相対的に（例えば、図10の直交座標系のX-Y平面内に横たわる相対方向に）、又は高さ方向に相対的に（例えば、図10の直交座標系のZ軸に実質的に平行な方向に）配置されている。さらに、これらの各実施形態では、電極アセンブリ106aのセットの各々は、1つ以上の電極アセンブリ106を含んでもよい。例えば、特定の実施形態では、二次電池102は、1個、2個、又はそれ以上の電極アセンブリ106のセット106aを含んでもよく、各そのようなセット106aは、1個又はそれ以上の電極アセンブリ106（例えば、1個、2個、3個、4個、5個、6個、10個、15個、又はそれ以上の電極アセンブリ106を各そのようなセット106a内に含む）を含み、電池102が2個又はそれ以上のそのようなセット106aを含む場合、セット106aは、二次電池102に含まれる他のセットの電極アセンブリ106aに対して横方向又は高さ方向に相対的に配置されていてもよい。これらの様々な実施形態のそれぞれにおいて、個々の電極アセンブリ106は、上述したように、それ自身の成長制約を有してもよく（すなわち、電極アセンブリ106と制約151、1

40

50

5 2 との間の 1 : 1 の関係)、2 つ以上の電極アセンブリ 1 0 6 は、上述したように、共通の成長制約 1 5 1、1 5 2 を有してもよく(すなわち、2 つ以上の電極アセンブリ 1 0 6 のための制約 1 0 8 のセット)、又は 2 つ以上の電極アセンブリ 1 0 6 は、成長制約 1 5 1、1 5 2 (すなわち、2 つ以上の電極アセンブリ 1 0 6 は、例えば上述したように、融合した実施形態のように、共通の圧縮メンバ(例えば、第 2 の二次成長制約 1 5 8)及び/又は張力メンバ 1 6 6 を有していてもよい)の構成要素を共有してもよい。

【0 2 3 2】

[他のバッテリー構成要素]

特定の実施形態では、上述したような一次成長制約系 1 5 1 及び二次成長制約系 1 5 2 を含む電極制約のセット 1 0 8 は、例えば図 1 0 に示すように、長さ L_1 、幅 W_1 、及び厚さ t_1 を有するシート 2 0 0 0 から導出されてもよい。より具体的には、一次成長制約系 1 5 1 を形成するために、シート 2 0 0 0 は、電極アセンブリ 1 0 0 6 に巻き付けられ、電極アセンブリ 1 0 0 6 を囲むように縁 2 0 0 1 で折り畳まれてもよい。代替的に、一実施形態では、シート 2 0 0 0 は、電極アセンブリセット 1 0 6 a を形成するために積層された複数の電極アセンブリ 1 0 6 の周りに巻き付けられてもよい。シートの端部は、互いに重なってもよく、第 1 の一次成長制約 1 5 4 及び第 2 の一次成長制約 1 5 6 と、第 1 の一次接続メンバ 1 6 2 及び第 2 の一次接続メンバ 1 6 4 とを含む一次成長制約系 1 5 1 を形成するために、互いに溶接、接着、又はその他の方法で固定されている。この実施形態では、一次成長制約系 1 5 1 は、シート 2 0 0 0 の変位量(すなわち、 L_1 、 W_1 及び t_1 の乗算積)に対応する体積を有する。一実施形態では、少なくとも 1 つの第 1 の一次接続メンバは、積層方向 D に延伸されて、第 1 及び第 2 の一次成長制約によって圧縮力が及ぼされるように張力状態に置かれる。代替的な実施形態では、少なくとも 1 つの第 2 の二次接続メンバは、メンバを緊張状態に置くために第 2 の方向に延伸され、これにより、第 1 の二次成長制約、第 2 の二次成長制約により圧縮力が及ぼされるようになる。別の代替実施形態では、接続メンバを張力に置くために延伸する代わりに、接続メンバ及び/又は第 1 及び第 2 の二次成長制約系の 1 つ以上の成長制約系の他の部分を、電極アセンブリ上及び/又は電極アセンブリ内に設置する前に予め張力を与えておいてもよい。別の代替実施形態では、接続メンバ及び/又は成長制約及び/又は一次及び二次成長制約系の一又は複数の他の部分は、電極アセンブリへの取り付け時及び/又は電極アセンブリ上への取り付け時には、最初は緊張状態ではなく、むしろ、電池の形成により、電極アセンブリが膨張し、接続メンバ及び/又は成長制約のような一次及び/又は二次成長制約系の部分に張力を誘発する(すなわち、自己張力化)。

【0 2 3 3】

シート 2 0 0 0 は、電極アセンブリ 1 0 0 6 に所望の力を加えることができる互換性のある材料の広い範囲の任意のものから構成されてもよい。一般に、一次成長制約系 1 5 1 及び/又は二次成長制約系 1 5 5 は、典型的には、少なくとも 1 0 0 0 0 p s i ($> 7 0$ M P a) の究極の引張強さを有し、電池電解液と適合性があり、電池 1 0 0 2 のフローティング電位又は陽極電位で著しく腐食せず、4 5 °C、さらには 7 0 °C までの温度でも著しく反応しないか、又は機械的強度を失うことがない材料からなる。例えば、一次成長抑制系 1 5 1 及び/又は二次成長抑制系は、広範囲の金属、合金、セラミック、ガラス、プラスチック、又はそれらの組み合わせ(すなわち、複合体)のいずれかで構成されていてもよい。一つの例示的な実施形態では、一次成長制約系 1 5 1 及び/又は二次成長制約系 1 5 5 は、ステンレス鋼(例えば、S S 3 1 6、4 4 0 C 又は 4 4 0 C ハード)、アルミニウム(例えば、アルミ 7 0 7 5 - T 6、ハード H 1 8)、チタン(例えば、6 A l - 4 V)、ベリリウム、ベリリウム銅(ハード)、銅(O_2 フリー、ハード)、ニッケルなどの金属からなる。しかしながら、一般的に、一次成長制約系 1 5 1 及び/又は二次成長制約系 1 5 5 が金属からなる場合、腐食を制限し、電極 1 1 0 と対電極 1 1 2 との間に電氣的短絡を生じさせることを制限するような方法で組み込まれることが好ましい。別の例示的な実施形態では、一次成長制約系 1 5 1 及び/又は二次成長制約系 1 5 5 は、アルミナ(例えば、焼結又は C o o r s t e k A D 9 6)、ジルコニア(例えば、C o o r s t e k

YZTP)、イットリア安定化ジルコニア(例えば、ENrG E-Strate(登録商標))などのセラミックからなる。別の例示的な実施形態では、一次成長抑制系151は、ショットD263強化ガラスなどのガラスからなる。別の例示的な実施形態では、一次成長制約系151及び/又は二次成長制約系155は、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)(例えば、Aptiv 1102)、炭素を有するPEEK(例:Victrex 90HMF40又はXycomp 1000-04)、炭素を有するポリフェニレンサルファイド(PPS)(例えば、Tepex Dynalite 207)、30%ガラスを有するポリエーテルエーテルケトン(PEEK)、(例:Victrex 90HMF40又はXycomp 1000-04)、ポリイミド(例:カプトン)などのプラスチックで構成される。別の例示的な実施形態では、一次成長制約系151及び/又は二次成長制約系は、EガラスStdファブリック/エポキシ、0度、EガラスUD/エポキシ、0度、ケブラーStdファブリック/エポキシ、0度、ケブラーUD/エポキシ、0度、カーボンStdファブリック/エポキシ、0度、カーボンUD/エポキシ、0度、東洋紡ザイロン(登録商標)HM繊維/エポキシのような複合材料からなる。別の例示的な実施形態では、一次成長制約系151及び/又は二次成長制約系155は、ケブラー49アラミド繊維、Sガラス繊維、炭素繊維、ベクトランUM LCP繊維、ダイニーマ、ザイロンなどの繊維からなる。

【0234】

一次成長制約系151の厚さ(t_1)は、例えば、一次成長制約系151の構造の材料、電極アセンブリ106の全体的な寸法、及び電池陽極及び陰極の構成を含む、様々な要因に依存する。いくつかの実施形態では、例えば、一次成長制約系151は、約10マイクロメートルから約100マイクロメートルの範囲の厚さを有するシートで構成される。例えば、そのような一実施形態では、一次成長制約系151は、約30 μm の厚さを有するステンレス鋼シート(例えば、SS316)からなる。さらなる例として、別のそのような実施形態では、一次成長制約系151は、約40 μm の厚さを有するアルミニウム板(例えば、7075-T6)で構成されている。さらなる例として、別のそのような別の実施形態では、一次成長制約系151は、約30 μm の厚さを有するジルコニアシート(例えば、Coorstek YZTP)で構成されている。さらなる例として、別のこのような別の実施形態では、一次成長制約系151は、約75 μm の厚さを有するEガラスUD/エポキシ0degシートからなる。さらなる例として、別のそのような別の実施形態では、一次成長制約系151は、50%以上の充填密度を有する12 μm の炭素繊維からなる。

【0235】

本明細書に記載されるような接着のための方法は、特定の理論に拘束されことなく、接着、はんだ付け、接合、焼結、プレス接触、ろう付け、溶射接合、クランプ、又はそれらの組み合わせを含み得る。接着は、導電性エポキシ、導電性エラストマー、ニッケル充填エポキシ、カーボン充填エポキシなどのような導電性金属を充填した絶縁性有機接着剤の混合物などの導電性材料で材料を接合することを含んでもよい。材料と一緒に接合するために導電性ペーストを使用することができ、接合強度は、温度(焼結)、光UV硬化、架橋)、化学硬化(触媒ベースの架橋)によって調整され得る。接合プロセスは、ワイヤ接合、リボン接合、超音波接合を含むことができる。溶接工程は、超音波溶接、抵抗溶接、レーザービーム溶接、電子ビーム溶接、誘導溶接、冷間溶接を含んでもよい。また、これらの接合は、プラズマ溶射、火炎溶射、アーク溶射などの溶射コーティングなどのコーティング工程を用いて、材料同士を接合してもよい。例えば、ニッケルバスにニッケルや銅のメッシュを接着剤としてニッケル溶射を用いて接合することができる。

【0236】

電極構造110及び対電極構造112の集団のメンバは、リチウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン又はアルミニウムイオンなどのキャリアイオンを吸収して放出することが可能な電気活物質を含む。いくつかの実施形態では、電極構造110の集合のメンバは、陽極活性電気活物質(負電極と呼ばれ

10

20

30

40

50

ることもある)を含み、対電極構造112の集合のメンバは、陰極活性電気活物質(正電極と呼ばれることもある)を含む。他の実施形態では、電極構造110の集合のメンバは、陰極活性電気活物質を含み、対電極構造112の集合のメンバは、陽極活性電気活物質を含む。本段落で言及された各実施形態及び実施例において、負電極活物質は、微粒子凝集体電極、微粒子材料のスラリーを形成して層状に鑄造することによって形成された電極活物質、又はモノリシック電極であってもよい。

【0237】

例示的な陽極活物質としては、グラファイト、軟質又は硬質炭素などの炭素材料、又はリチウムとの合金を形成することができる金属、半金属、合金、酸化物及び化合物のいずれかの範囲が挙げられる。負極材料を構成することができる金属又は半金属の具体例としては、グラファイト、スズ、鉛、マグネシウム、アルミニウム、ホウ素、ガリウム、シリコン、Si/Cコンポジット、Si/グラファイトブレンド、 SiO_x 、多孔質Si、金属間Si合金、インジウム、ジルコニウム、ゲルマニウム、ビスマス、カドミウム、アンチモン、銀、亜鉛、ヒ素、ハフニウム、イットリウム、リチウム、ナトリウム、グラファイト、炭素、チタン酸リチウム、パラジウム、及びそれらの混合物等が挙げられる。例示的な一実施形態では、陽極活物質は、アルミニウム、スズ、又はシリコン、又はそれらの酸化物、窒化物、フッ化物、又はそれらの他の合金からなる。別の例示的な実施形態では、陽極活物質は、シリコン、酸化シリコン、又はその合金からなる。

【0238】

さらなる実施形態では、陽極活物質は、リチウム金属、リチウム合金、炭素、石油コークス、活性炭、黒鉛、シリコン化合物、スズ化合物、及びそれらの合金から構成され得る。一実施形態では、陽極活物質は、非黒鉛化可能な炭素、黒鉛ベースの炭素などの炭素、 $Li_xFe_2O_3$ ($0 \leq x \leq 1$)、 Li_xWO_2 ($0 \leq x \leq 1$)、 $Sn_xMe_{1-x}Me'yO_z$ のような金属錯体酸化物 (Meは、Mn、Fe、Pb、Geであり、Me'は、Al、B、P、Si、周期表第1族、第2族及び第3族に含まれる元素、ハロゲンであり、 $0 < x \leq 1$ 、 $1 \leq y \leq 3$ 、かつ $1 \leq z \leq 8$ である) 等、リチウム金属、リチウム系合金、珪素基合金、スズ系合金、 SnO 、 SnO_2 、 PbO 、 PbO_2 、 Pb_2O_3 、 Pb_3O_4 、 Sb_2O_3 、 Sb_2O_4 、 Sb_2O_5 、 GeO 、 GeO_2 、 Bi_2O_3 、 Bi_2O_4 、 Bi_2O_5 等の金属酸化物、ポリアセチレン等の導電性ポリマー、Li-Co-Niベースの材料等を含む。一実施形態では、陽極活物質は、天然黒鉛、合成黒鉛などの結晶性黒鉛、及びソフトカーボン、ハードカーボンなどの非晶質炭素を含む炭素系活物質を含み得る。陽極活物質に適した炭素材料の他の例としては、黒鉛、キッシュ黒鉛、熱分解炭素、メソフェーズピッチ炭素繊維、メソカーボンマイクロビーズ、メソフェーズピッチ、黒鉛化炭素繊維、石油又はコールタールピッチ由来のコークスなどの高温焼結炭素などを挙げることができる。一実施形態では、負電極活物質は、酸化スズ、硝酸チタン、及びシリコンからなることができる。別の実施形態では、負電極は、リチウム金属膜のようなリチウム金属、又はリチウムとNa、K、Rb、Cs、Fr、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Ra、Al及びSnからなる群から選択される1種以上の金属との合金のようなリチウム合金から構成され得る。さらに別の実施形態では、陽極活物質は、Si、Al、C、Pt、Sn、Pb、Ir、Ni、Cu、Ti、Na、K、Rb、Cs、Fr、Be、Ca、Sr、Sb、Ba、Ra、Ge、Zn、Bi、In、Mg、Ga、Cd、Si合金、Sn合金、Al合金などのリチウムと合金化及び/又はインターカレーションすることが可能な金属化合物、 SiO_v ($0 < v < 2$)、 SnO_2 、酸化バナジウム又は酸化リチウムバナジウムのようなリチウムイオンをドーピング及びデンドープすることができる金属酸化物、及び、金属化合物と、Si-C複合体又はSn-C複合体のような炭素材料を含む複合体からなり得る。例えば、一実施形態ではリチウムとの合金化/インターカレーションが可能な材料は、リチウム、インジウム、スズ、アルミニウム、シリコンなどの金属、又はそれらの合金、 $Li_4/3Ti_5/3O_4$ 又は SnO 等の遷移金属酸化物、並びに、人造黒鉛、黒鉛炭素繊維、樹脂焼成炭素、熱分解気化炭素、コルク、メソカーボンマイクロビーズ(「MCMB」)、フルフリルアルコール樹脂焼成炭素、ポリアセン、ピッチベース炭素

繊維、気化成長炭素繊維、又は天然黒鉛などの炭素質材料を含み得る。さらなる一実施形態では、負電極活物質は、ナトリウム又はマグネシウムのようなキャリアイオンに適した組成物からなることができる。例えば、一実施形態では、負電極活物質は、層状炭素質材料、並びに、層状炭素質材料の層の間に配置された式 $\text{Na}_x\text{S}_{n-y-z}\text{M}_z$ の組成物からなることができ、ここで、 M は、 Ti 、 K 、 Ge 、 P 、又はそれらの組み合わせであり、 $0 < x \leq 15$ 、 $1 \leq y \leq 5$ 、及び $0 \leq z \leq 1$ である。

【0239】

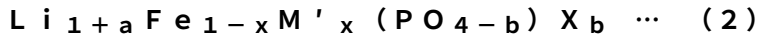
一実施形態では負電極活物質は、

(1) カーボン系の材料、(2) カーボンブラック、(3) 黒鉛、(4) グラフェン、(5) 活性炭と、(6) 炭素繊維、(7) アセチレンブラック、ケッチェンブラック、チャンネルブラック、ファーンズブラック、ランプブラック、サーマルブラック等のカーボンブラック、(8) 炭素繊維、金属繊維などの導電性繊維、(9) カーボンナノチューブ等の導電性チューブ、(10) フッ化炭素粉末、アルミニウム粉末、ニッケル粉末等の金属粉末、(11) 酸化亜鉛、チタン酸カリウム等の導電性ウイスキー、(12) 酸化チタンなどの導電性金属酸化物、又は、(13) ポリフェニレン誘導体等の導電性材料、等の、導電性材料及び／又は導電性助剤をさらに含み得る。さらに別の実施形態では、(1) 金属メッシュなどの金属繊維、(2) 銅、銀、ニッケル、アルミニウムなどの金属粉末、又は、(3) ポリフェニレン誘導体などの有機導電性材料、を用いてもよい。さらに別の実施形態では、例えば、ポリエチレン、オリエチレンオキシド、ポリプロピレン、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)、ポリフッ化ビニリデン (PVDF)、スチレン-ブタジエンゴム、テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体、フッ化ビニリデン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体、フッ化ビニリデン-クロロトリフルオロエチレン共重合体、エチレン-テトラフルオロエチレン共重合体、ポリクロロトリフルオロエチレン、フッ化ビニリデン-ペンタフルオロプロピレン共重合体、プロピレン-テトラフルオロエチレン共重合体、エチレン-クロロトリフルオロエチレン共重合体、フッ化ビニリデン-パーフルオロメチルビニルエーテル-テトラフルオロエチレン共重合体、エチレン-アクリル酸共重合体等のうちの1つ以上が単独又は混合して用いられたバインダが提供され得る。

【0240】

例示的な陰極活物質は、広範囲の陰極活物質のうちの任意のものを含み得る。例えば、リチウムイオン電池の場合、正極活物質は、遷移金属酸化物、遷移金属硫化物、遷移金属窒化物、リチウム遷移金属酸化物、リチウム遷移金属硫化物、及びリチウム遷移金属窒化物から選択的に選択される正極活物質から構成されていてもよい。これらの遷移金属酸化物、遷移金属硫化物、遷移金属窒化物の遷移金属元素としては、 d 殻又は f 殻を有する金属元素を含むことができる。このような金属元素の具体例としては、 Sc 、 Y 、ランタノイド、アクチノイド、 Ti 、 Zr 、 Hf 、 V 、 Nb 、 Ta 、 Cr 、 Mo 、 W 、 Mn 、 Tc 、 Re 、 Fe 、 Ru 、 Os 、 Co 、 Rh 、 Ir 、 Ni 、 Pb 、 Pt 、 Cu 、 Ag 、 Au などが挙げられる。追加の正極活物質としては、 LiCoO_2 、 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z)\text{O}_2$ 、 LiFePO_4 、 Li_2MnO_4 、 V_2O_5 、モリブデンオキシ硫化物、リン酸塩、ケイ酸塩、バナジン酸塩、硫黄、硫黄化合物、酸素 (空気)、 $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$ 、及びそれらの組み合わせが挙げられる。さらに、陰極活物質層のための化合物は、リチウム、コバルト及び酸素からなる化合物 (例えば、 LiCoO_2)、リチウム、マンガン及び酸素からなる化合物 (例えば、 LiMn_2O_4)、及びリチウム鉄及びリン酸塩からなる化合物 (例えば、 LiFePO_4) などの金属酸化物又は金属リン酸塩からなるリチウム含有化合物をさらに含むことができる。一実施形態では、陰極活物質は、リチウムマンガン酸化物、リチウムコバルト酸化物、リチウムニッケル酸化物、リチウム鉄リン酸塩、又は前記酸化物の組み合わせから形成された複合酸化物のうちの少なくとも1つからなる。別の実施形態では、陰極活物質は、(1) リチウムコバルト酸化物 (LiCoO_2)、リチウムニッケル酸化物 (LiNiO_2) 等、若しくは1つ以上の遷移金属のうちの1つとの置換化合物、(2) $\text{Li}_{1+x}\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$ (こ

ここで、 x は $0 \sim 0.33$ ）、 LiMnO_3 、 LiMn_2O_3 、 LiMnO_2 などのリチウムマンガン酸化物、(3) リチウム銅酸化物(Li_2CuO_2)、(4) LiV_3O_8 、 LiFe_3O_4 、 V_2O_5 、 $\text{Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ 等のバナジウム酸化物、(5) $\text{LiNi}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_2$ （ここで、 $\text{M}=\text{Co}$ 、 Mn 、 Al 、 Cu 、 Fe 、 Mg 、 B 又は Ga 、 $x=0.01 \sim 0.3$ ）の化学式で表されるNiサイト型リチウムニッケル酸化物、(6) $\text{LiMn}_{2-x}\text{M}_x\text{O}_2$ （ここで、 M は Co 、 Ni 、 Fe 、 Cr 、 Zn 又は Ta 、及び $x=0.01 \sim 0.1$ ）又は $\text{Li}_2\text{Mn}_3\text{MO}_8$ （ここで、 $\text{M}=\text{Fe}$ 、 Co 、 Ni 、 Cu 又は Zn ）の化学式で表されるリチウムマンガン複合酸化物、(7) Li の一部がアルカリ土類金属イオンで置換されている LiMn_2O_4 、(8) ジスルフィド化合物、(9) $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ 等、のうちの1つ以上を含み得る。一実施形態において、陰極活物質は、以下の式(2)のオリビン結晶構造を有する金属リン酸リチウムを含み得る。



ここで、 M' は、 Al 、 Mg 、 Ni 、 Co 、 Mn 、 Ti 、 Ga 、 Cu 、 V 、 Nb 、 Zr 、 Ce 、 In 、 Zn 、 Y から少なくとも1つが選択され、 X は、 F 、 S 、 N から少なくとも1つが選択され、 $-0.5 \leq a \leq +0.5$ 、 $0 \leq x \leq 0.5$ 、及び $0 \leq b \leq 0.1$ のうちの $0.5 \leq a \leq +0.5$ 、 $0 \leq x \leq 0.5$ 、及び、 $0 \leq b \leq 0.1$ が成り立つ。このようなものには、 LiFePO_4 、 $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn})\text{PO}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Co})\text{PO}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Ni})\text{PO}_4$ 等のうち少なくとも1つがある。一実施形態では、陰極活物質は、 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiMnO_2 、 LiMn_2O_4 、 $\text{LiNi}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_2$ 、 $\text{LiCo}_{1-y}\text{Mn}_y\text{O}_2$ 、 $\text{LiNi}_{1-y}\text{Mn}_y\text{O}_2$ ($0 \leq y \leq 1$)、 $\text{Li}(\text{Ni}_a\text{Co}_b\text{Mn}_c)\text{O}_4$ ($0 < a < 2$ 、 $0 < b < 2$ 、 $0 < c < 2$ 、 $a+b+c=2$)、 $\text{LiMn}_{2-z}\text{Ni}_z\text{O}_4$ 、 $\text{LiMn}_{2-z}\text{Co}_z\text{O}_4$ ($0 < z < 2$)、 LiCoPO_4 、 LiFePO_4 のうちの少なくとも1つを含む。

【0241】

さらに別の実施形態では、陰極活物質は、元素硫黄(S_8)、硫黄系列化合物、又はそれらの混合物を含み得る。硫黄系列化合物は、具体的には、 Li_2S_n ($n \geq 1$)、有機硫黄化合物、炭素-硫黄ポリマー($(\text{C}_2\text{S}_x)_n$ 、ただし $x=2.5 \sim 50$ 、 $n \geq 2$)等であり得る。さらに別の実施形態では、陰極活物質は、リチウム及びジルコニウムの酸化物をコバルト化することができる。

【0242】

さらに別の実施形態において、陰極活物質には、リチウムと金属の少なくとも1つの複合酸化物（例えばコバルト、マンガン、ニッケル又はそれらの組み合わせ）が用いられ得る。これらは例えば、 $\text{Li}_a\text{E}_{1-b}\text{MbO}_2-c\text{D}_c$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ ）、 $\text{LiE}_{2-b}\text{MbO}_4-c\text{D}_c$ （ここで、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、及び $0 \leq c \leq 0.05$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Co}_b\text{M}_c\text{D}_a$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a \leq 2$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Co}_b\text{M}_c\text{O}_2-a\text{X}_a$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a < 2$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Co}_b\text{M}_c\text{O}_2-a\text{X}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a < 2$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Mn}_b\text{M}_c\text{D}_a$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a \leq 2$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Mn}_b\text{M}_c\text{O}_2-a\text{X}_a$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a < 2$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_{1-b-c}\text{Mn}_b\text{M}_c\text{O}_2-a\text{X}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.5$ 、 $0 \leq c \leq 0.05$ 、及び $0 < a < 2$ ） $\text{Li}_a\text{Ni}_b\text{EcGdO}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.9$ 、 $0 \leq c \leq 0.5$ 、及び $0.001 \leq d \leq 0.1$ ）、 $\text{Li}_a\text{Ni}_b\text{Co}_c\text{Mn}_d\text{GeO}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 0.9$ 、 $0 \leq c \leq 0.5$ 、 $0 \leq d \leq 0.5$ 、及び $0.001 \leq e \leq 0.1$ ）、 $\text{Li}_a\text{NiG}_b\text{O}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 、 $0.001 \leq b \leq 0.1$ ）、 $\text{Li}_a\text{CoG}_b\text{O}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 及び $0.001 \leq b \leq 0.1$ ）、 $\text{Li}_a\text{MnG}_b\text{O}_2$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 及び $0.001 \leq b \leq 0.1$ ）、 $\text{Li}_a\text{Mn}_2\text{G}_b\text{O}_4$ （ここで、 $0.90 \leq a \leq 1$ 及び $0.001 \leq b \leq 0.1$ ）、 QO_2 、 QS_2 、 LiQ

S_2 、 V_2O_5 、 LiV_2O_5 、 $\text{LiX}'\text{O}_2$ 、 LiNiVO_4 、 $\text{Li}_{(3-f)}\text{J}_2(\text{PO}_4)_3$ ($0 \leq f \leq 2$)、 $\text{Li}_{(3-f)}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ ($0 \leq f \leq 2$)、及び LiFePO_4 等である。上記式中において、AはNi、Co、Mn、又はそれらの組み合わせであり、Mは、Al、Ni、Co、Mn、Cr、Fe、Mg、Sr、V、希土類元素、又はそれらの組み合わせであり、Dは、O、F、S、P、又はそれらの組み合わせであり、Eは、Co、Mn、又はそれらの組み合わせであり、Xは、F、S、P、又はその組み合わせであり、GはAl、Cr、Mn、Fe、Mg、La、Ce、Sr、V、又はその組み合わせであり、QはTi、Mo、Mn、又はそれらの組み合わせであり、X'は、Cr、V、Fe、Sc、Y、又はそれらの組み合わせであり、そして、Jは、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、又はそれらの組み合わせである。例えば、 LiCoO_2 、 LiMn_xO_2 ($x=1$ 又は 2)、 $\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ ($0 < x < 1$)、 $\text{LiNi}_{1-x-y}\text{Co}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.5$ 、 $0 \leq y \leq 0.5$)、又は FePO_4 が用いられ得る。一実施形態では、陰極活物質は、(1) リチウムコバルト酸化物、リチウムニッケル酸化物、リチウムニッケルコバルト酸化物、リチウムニッケルコバルトアルミニウム酸化物、リチウムニッケルコバルトマンガン酸化物、リチウムマンガン酸化物、リチウムマンガン酸化物、又はリン酸鉄リチウムなどのリチウム化合物、(2) 硫化ニッケル、(3) 硫化銅、(4) 硫黄、(5) 酸化鉄、又は、(6) 酸化バナジウム、のうちの少なくとも1つを含む。

【0243】

一実施形態では、陰極活物質は、ナトリウム含有材料、例えば、 NaFeO_2 、 NaMnO_2 、 NaNiO_2 、又は NaCoO_2 のような式 NaM^1aO_2 で表される酸化物のうちの少なくとも1つを含む材料、又は、式 $\text{NaMn}_{1-a}\text{M}^1\text{aO}_2$ で表される酸化物を含み得る。ここで、 M^1 は少なくとも1つの遷移金属元素であり、 $0 \leq a < 1$ である。代表的な正活物質としては、 $\text{Na}[\text{Ni}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ 、 $\text{Na}_{2/3}[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ 、 $\text{Na}_{0.44}\text{Mn}_{1-a}\text{M}^1\text{aO}_2$ で表される酸化物、 $\text{Na}_{0.7}\text{Mn}_{1-a}\text{M}^1\text{aO}_2$ (ここで、 M^1 は少なくとも1つの遷移金属元素であり、 $0 \leq a < 1$) で表される酸化物、 $\text{Na}_6\text{Fe}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ 又は $\text{Na}_2\text{Fe}_5\text{Si}_{12}\text{O}$ として $\text{Na}_b\text{M}^2\text{cSi}_{12}\text{O}_{30}$ で表される酸化物 (ここで、 M^2 は少なくとも1つの遷移金属元素であり、 $2 \leq b \leq 6$ であり、 $2 \leq c \leq 5$ である)、 $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 又は $\text{Na}_2\text{MnFeSi}_6\text{O}_{18}$ などの $\text{Na}_d\text{M}^3\text{eSi}_6\text{O}_{18}$ で表される酸化物 (ここで、 M^3 は少なくとも1つの遷移金属元素であり、 $3 \leq d \leq 6$ であり、 $1 \leq e \leq 2$ である)、 $\text{Na}_2\text{FeSiO}_6$ などの $\text{Na}_f\text{M}^4\text{gSi}_2\text{O}_6$ で表される酸化物 (ここで、 M^4 は遷移金属元素、マグネシウム(Mg)及びアルミニウム(Al)から選ばれる少なくとも1種の元素であり、 $1 \leq f \leq 2$ 及び $1 \leq g \leq 2$ である)、 NaFePO_4 、 $\text{Na}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_4\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$ などのリン酸塩、 NaFeBO_4 又は $\text{Na}_3\text{Fe}_2(\text{BO}_4)_3$ などのホウ酸塩、 Na_3FeF_6 又は Na_2MnF_6 等の NaHM^5F_6 (ここで、 M^5 は少なくとも1つの遷移金属元素であり、 $2 \leq h \leq 3$) で表されるフッ化物、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{FO}_2$ 等のフルオロリン酸塩等が挙げられる。陽性活物質は前記に限定されるものではなく、当技術分野で使用されている任意の好適な陽性活物質を使用することができる。一実施形態では、好ましくは、正活物質は、 NaMnO_2 、 $\text{Na}[\text{Ni}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ 、 $\text{Na}_{2/3}[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ などの層状酸化物正極材料、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_4\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2\text{P}_2\text{O}_7$ などのリン酸塩正極、又は $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ 、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{FO}_2$ などのフルオロリン酸塩正極を含む。

【0244】

一実施形態では、負電極集電体136は、金属材料などの適切な導電性材料を含み得る。例えば、一実施形態では、負電極集電体は、銅、ニッケル、アルミニウム、ステンレス鋼、チタン、パラジウム、焼成炭素、焼成炭素、インジウム、鉄、マグネシウム、コバルト、ゲルマニウム、リチウム、炭素、ニッケル、チタン、銀、アルミニウム-カドミウム合金、及び/又はそれらの他の合金と銅又はステンレス鋼の表面処理された材料のうちの

少なくとも1つを含み得る。別の例として、一実施形態では、負電極集電体は、銅、ステンレス鋼、アルミニウム、ニッケル、チタン、焼成炭素、炭素、ニッケル、チタン、銀、アルミニウムカドミウム合金、及び／又はそれらの他の合金を有する銅又はステンレス鋼の表面処理材のうちの少なくとも1つを含む。一実施形態では、負電極集電体は、銅及びステンレス鋼の少なくとも1つを含む。

【0245】

一実施形態では、正電極集電体140は、金属材料のような適切な導電性材料を含み得る。一実施形態では、正電極集電体は、ステンレス鋼、アルミニウム、ニッケル、チタン、焼結炭素、焼結炭素、炭素、ニッケル、チタン、銀、及び／又はそれらの合金を含むアルミニウム又はステンレス鋼の表面処理材のうちの少なくとも1つを含む。ある実施形態では、正電極集電体はアルミニウムからなる。

10

【0246】

さらに別の実施形態では、陰極活物質は、導電性助剤及び／又はバインダーのうちの1つ以上をさらに含むことができ、これは、例えば、本明細書に陽極活物質について記載された導電性助剤及び／又はバインダーのうちのいずれかであってもよい。一般的に、負電極活物質のボイド体積分率は、少なくとも0.1である。しかし、典型的には、負電極活物質のボイド体積分率は0.8より大きくない。例えば、一実施形態では、負電極活物質のボイド体積分率は、約0.15～約0.75である。さらなる例によれば、一実施形態では、負電極活物質のボイド体積分率は、約0.2～約0.7である。さらなる例によれば、一実施形態では、負電極活物質のボイド体積分率は、約0.25～約0.6である。

20

【0247】

微細構造化された負電極活物質の組成及びその形成方法に応じて、微細構造化された負電極活物質は、マクロポーラス材料層、ミクロポーラス材料層、又はメソポーラス材料層、又はそれらの組み合わせ、例えばミクロポーラスとメソポーラスの組み合わせ、又はメソポーラスとマクロポーラスの組み合わせから構成されていてもよい。微多孔性材料は、典型的には、10nm未満の細孔寸法、10nm未満の壁寸法、1～50マイクロメートルの細孔深さ、及び一般的に「スポンジ状」で不規則な外観、滑らかな壁、及び分岐した細孔を特徴とする細孔形態を有することを特徴とする。メソポーラス材料は、典型的には、細孔の寸法が10～50nm、壁の寸法が10～50nm、細孔の深さが1～100マイクロメートルであり、一般的には、ある程度よく定義された枝分かれした細孔又は樹枝状細孔を特徴とする細孔の形態を特徴とする。マクロポーラス材料は、一般的に、50nmを超える細孔の寸法、50nmを超える壁の寸法、1～500マイクロメートルの細孔の深さ、及び変化に富んでいてもよい細孔の形態、直線状、分岐状、又は樹枝状の細孔、及び滑らかな又は粗い壁を有する細孔の形態を特徴とする。さらに、空隙容積は、開放空隙又は閉鎖空隙、又はそれらの組み合わせから構成されてもよい。一実施形態では、空隙体積は開放空隙を含み、すなわち、負電極活物質は、リチウムイオン（又は他のキャリアイオン）が負電極活物質に出入りすることができる負電極活物質の側方表面に開口部を有する空隙を含む。例えば、リチウムイオンは、正電極活物質を離れた後に、空隙の開口部を介して負電極活物質に入ることができる。別の実施形態では、空隙容積は、閉じた空隙を含み、すなわち、負電極活物質は、負電極活物質によって囲まれた空隙を含む。一般に、開いたボイドは、キャリアイオンのためのより大きな界面表面積を提供することができ、一方、閉じたボイドは、固体電解質界面の影響を受けにくくなる傾向があり、一方、それぞれが、キャリアイオンの進入時に負電極活物質の膨張のための余地を提供する。したがって、特定の実施形態では、負電極活物質は、開放空隙と閉鎖空隙の組み合わせで構成されることが好ましい。

30

40

【0248】

一実施形態では、負電極活物質は、多孔質アルミニウム、スズ、又はシリコン、又はそれらの合金を含む。多孔質シリコン層は、例えば、陽極酸化、エッチング（例えば、金、白金、銀、又は金／パラジウムなどの貴金属を単結晶シリコンの表面に堆積させ、フッ化水素酸と過酸化水素の混合物で表面をエッチングすることによって）、又はパターン化さ

50

れた化学エッチングなどの当技術分野で知られている他の方法によって形成されてもよい。さらに、多孔性の負電極活物質は、一般に、少なくとも約0.1から約0.8未満の空隙率を有し、約1から約100マイクロメートルの厚さを有する。例えば、一実施形態では、負電極活物質は、多孔質シリコンからなり、約5マイクロメートルから約100マイクロメートルの厚さを有し、約0.15から約0.75の空隙率を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極活物質は多孔質シリコンを含み、約10マイクロメートルから約80マイクロメートルの厚さを有し、約0.15から約0.7の空隙率を有している。さらなる例として、このような一実施形態では、負電極活物質は多孔質シリコンからなり、約20マイクロメートルから約50マイクロメートルの厚さを有し、約0.25から約0.6の空隙率を有している。さらなる例として、一実施形態では、負電極活物質は、多孔質シリコン合金（例えば、ニッケルシリサイド）からなり、約5マイクロメートルから約100マイクロメートルの厚さを有し、約0.15から約0.75の空隙率を有している。

10

【0249】

別の実施形態では、負電極活物質は、アルミニウム、スズ、又はシリコン、又はそれらの合金の繊維からなる。個々の繊維は、約5nmから約10000nmの直径（厚さ寸法）を有してもよく、長さは一般的には負電極活物質の厚さに対応する。シリコンの繊維（ナノワイヤ）は、例えば、化学的気相成長又は気相液体固体（VLS）成長及び固相液体固体（SSS）成長のような当該技術で知られている他の技術によって形成されてもよい。さらに、負電極活物質は、一般に、少なくとも約0.1から約0.8未満の空隙率を有し、約1から約200マイクロメートルの厚さを有する。例えば、一実施形態では、負電極活物質は、シリコンナノワイヤからなり、約5から約100マイクロメートルの厚さを有し、約0.15から約0.75の空隙率を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極活物質はシリコンナノワイヤからなり、約10～約80マイクロメートルの厚さを有し、約0.15～約0.7の空隙率を有する。さらなる例として、このような一実施形態では、負電極活物質はシリコンナノワイヤからなり、約20～約50マイクロメートルの厚さを有し、約0.25～約0.6の空隙率を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極活物質は、シリコン合金（例えば、ニッケルシリサイド）のナノワイヤからなり、約5～約100マイクロメートルの厚さを有し、約0.15～約0.75の空隙率を有する。

20

30

【0250】

一実施形態では、電極110の集合の各メンバは、底部、上部、及びその底部から上部に向かって延びる縦軸（ A_E ）を有し、電極構造110と対電極構造112の交互のシーケンスが進行する方向に一般的に垂直な方向にある。さらに、電極110の集合の各メンバは、電極の縦軸（ A_E ）に沿って測定された長さ（ L_E ）と、電極構造110と対電極構造112の交互のシーケンスが進行する方向に測定された幅（ W_E ）と、長さ（ L_E ）と幅（ W_E ）のそれぞれの測定方向に直交する方向に測定された高さ（ H_E ）とを有する。また、電極集合の各メンバは、その縦軸に法線である平面内での電極の投影の側面の長さの和に対応する周囲長（ P_E ）を有する。

【0251】

40

電極集団のメンバの長さ（ L_E ）は、エネルギー貯蔵デバイスとその意図された用途に応じて変化する。しかし、一般的には、電極集団のメンバは、一般的に約5mmから約500mmの範囲の長さ（ L_E ）を持つ。例えば、そのような一実施形態では、電極集団のメンバは、約10mmから約250mmの長さ（ L_E ）を有する。さらなる例として、そのような一実施形態では、電極の個体群のメンバは、約25mmから約100mmの長さ（ L_E ）を持つ。

【0252】

電極集団のメンバの幅（ W_E ）もまた、エネルギー貯蔵デバイスとその意図された用途に応じて変化する。しかし、一般的には、電極集団の各メンバの幅（ W_E ）は約0.01mmから2.5mmの範囲内にある。例えば、一実施形態では、電極集団の各メンバの幅

50

(W_E) は、約 0.025 mm から約 2 mm の範囲にある。さらなる例として、一実施形態では、電極集団の各メンバの幅 (W_E) は、約 0.05 mm から約 1 mm の範囲になる。

【0253】

電極集団のメンバの身長 (H_E) もまた、エネルギー貯蔵デバイスとその意図された用途によって異なる。しかし、一般的には、電極集団のメンバの高さ (H_E) は、一般的に約 0.05 mm から約 10 mm の範囲にある。例えば、一実施形態では、電極集団の各メンバの高さ (H_E) は、約 0.05 mm から約 5 mm の範囲にある。さらなる例として、一実施形態では、電極集団の各メンバの高さ (H_E) は、約 0.1 mm から約 1 mm の範囲になる。一実施形態によれば、電極集団のメンバは、第 1 の高さを有する 1 つ以上の第 1 の電極メンバと、第 1 の高さ以外の第 2 の高さを有する 1 つ以上の第 2 の電極メンバとを含む。例えば、一実施形態では、1 つ以上の第 1 の電極メンバは、電極メンバが高さ方向 (Z 軸) の二次制約系の一部に接触することができるように選択された高さを有してもよい。例えば、1 つ以上の第 1 の電極メンバの高さは、第 1 の電極メンバの少なくとも 1 つ又はその部分構造が第 2 の接続メンバ 166 として機能する場合のように、第 1 の電極メンバが高さ軸に沿って第 1 及び第 2 の二次成長制約系 158, 160 の両方の間に延びて接触するような十分な高さであってもよい。さらに、1 つの実施形態によれば、1 つ以上の第 2 の電極メンバは、例えば、1 つ以上の第 2 の電極メンバが、第 1 の二次成長制約系 158, 160 の両方に接触するように完全には伸びないような、1 つ以上の第 1 の電極メンバよりも小さい高さを有してもよい。さらに別の実施形態では、1 つ以上の第 1 の電極メンバ及び 1 つ以上の第 2 の電極メンバの異なる高さは、例えば、縦軸及び／又は横軸の 1 つ以上に沿った異なる高さを有する電極アセンブリ形状のような、電極アセンブリ 106 の所定の形状に対応するように、及び／又は二次電池の所定の性能特性を提供するように選択されてもよい。

【0254】

電極集団のメンバの周囲 (P_E) は、同様に、エネルギー貯蔵デバイスとその意図された用途に応じて変化する。しかし、一般的には、電極集団のメンバは、典型的には、約 0.025 mm から約 25 mm の範囲内の周縁 (P_E) を有する。例えば、一実施形態では、電極集団の各メンバの周縁 (P_E) は、約 0.1 mm から約 15 mm の範囲にある。さらなる例として、一実施形態では、電極集団の各メンバの周囲 (P_E) は、約 0.5 mm から約 10 mm の範囲になる。

【0255】

一般に、電極集団のメンバは、その幅 (W_E) 及び高さ (H_E) のそれぞれより実質的に大きい長さ (L_E) を有する。例えば、一実施形態では、電極集団の各メンバについて、 W_E 及び H_E のそれぞれに対する L_E の比率は、それぞれ少なくとも 5 : 1 である（すなわち、 W_E に対する L_E の比率は少なくとも 5 : 1 であり、 H_E に対する L_E の比率は少なくとも 5 : 1 である）。さらなる例として、一実施形態では、 W_E 及び H_E のそれぞれに対する L_E の比率は、少なくとも 10 : 1 である。さらなる方法では、一実施形態では、 W_E 及び H_E のそれぞれに対する L_E の比率は、少なくとも 15 : 1 である。さらなる実施形態では、一実施形態では、 W_E 及び H_E のそれぞれに対する L_E の比率は、電極集団の各メンバに対して、少なくとも 20 : 1 である。

【0256】

さらに、電極集団のメンバは、その周囲 (P_E) よりも実質的に大きい長さ (L_E) を有することが一般的に好ましい。例えば、ある実施形態では、 L_E と P_E の比率は、電極集団の各メンバについて、それぞれ少なくとも 1.25 : 1 である。さらなる例では、一実施形態では、 L_E と P_E の比率は、それぞれ、電極の集合の各メンバに対して、少なくとも 2.5 : 1 である。さらなる例では、一実施形態では、 L_E と P_E の比率は、それぞれ、電極集団の各メンバに対して、少なくとも 3.75 : 1 である。

【0257】

一実施形態では、電極集団のメンバの高さ (H_E) と幅 (W_E) の比は、それぞれ少な

くとも 0.4 : 1 である。例えば、一実施形態では、電極集団の各メンバについて、 H_E と W_E の比は、それぞれ少なくとも 2 : 1 である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_E と W_E の比率は、それぞれ少なくとも 10 : 1 になる。さらなる例では、ある実施形態では、 H_E と W_E の比率は、それぞれ少なくとも 20 : 1 である。しかし、典型的には、 H_E と W_E の比率は、一般的に、それぞれ 1000 : 1 未満である。例えば、一実施形態では、 H_E と W_E の比率は、それぞれ 500 : 1 未満である。さらなる方法では、一実施形態では、 H_E と W_E の比率は、それぞれ 100 : 1 未満である。さらなる方法では、一実施形態では、 H_E と W_E の比率は、それぞれ 10 : 1 未満である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_E と W_E の比率は、電極集団の各メンバについて、それぞれ約 2 : 1 から約 100 : 1 の範囲内にある。

10

【0258】

対電極集合の各メンバは、底面、頂面、底面から頂面までの縦軸 (A_{CE}) を持ち、電極構造と対電極構造の交互配列が進行する方向に概ね垂直な方向に延びる。さらに、対電極集合の各メンバは、縦軸 (A_{CE}) に沿って測定された長さ (L_{CE}) と、電極構造物と対電極構造物の交互配列が進行する方向に測定された幅 (W_{CE}) と、長さ (L_{CE}) と幅 (W_{CE}) の各測定方向に直交する方向に測定された高さ (H_{CE}) を有しています。また、対電極の各メンバは、その縦軸に垂直な平面内での対電極の投影の側面の長さの和に対応する周囲長 (P_{CE}) を有する。

【0259】

対電極集合のメンバの長さ (L_{CE}) は、エネルギー貯蔵デバイス及びその意図された使用に応じて変化する。しかし、一般的には、対電極集合の各メンバは、典型的には、約 5 mm から約 500 mm の範囲の長さ (L_{CE}) を有する。例えば、そのような一実施形態では、対電極集合の各メンバは、約 10 mm から約 250 mm の長さ (L_{CE}) を有する。さらなる例として、そのような一実施形態では、対電極集合の各メンバは、約 25 mm から約 100 mm の長さ (L_{CE}) を持つ。

20

【0260】

対電極集合のメンバの幅 (W_{CE}) もまた、エネルギー貯蔵デバイス及びその意図された使用に応じて変化する。しかし、一般的には、対電極集合のメンバは、一般的に約 0.01 mm から 2.5 mm の範囲内の幅 (W_{CE}) を持つことになる。例えば、一実施形態では、対電極集合の各メンバの幅 (W_{CE}) は、約 0.025 mm から約 2 mm の範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、対電極集合の各メンバの幅 (W_{CE}) は、約 0.05 mm から約 1 mm の範囲内にある。

30

【0261】

対電極集合のメンバの高さ (H_{CE}) もまた、エネルギー貯蔵デバイス及びその意図された使用に応じて変化する。しかし、一般的には、対電極集合のメンバは、約 0.05 mm から約 10 mm の範囲内の高さ (H_{CE}) を持つ。例えば、一実施形態では、対電極集合の各メンバの高さ (H_{CE}) は、約 0.05 mm から約 5 mm の範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、対電極集合の各メンバの高さ (H_{CE}) は、約 0.1 mm から約 1 mm の範囲内にある。一実施形態によれば、対電極集合のメンバは、第 1 の高さを有する 1 つ以上の第 1 の対電極メンバと、第 1 の高さ以外の第 2 の高さを有する 1 つ以上の第 2 の対電極メンバとを含む。例えば、一実施形態では、1 つ以上の第 1 の対電極メンバは、対電極メンバが高さ (Z 軸) 方向に二次制約系の一部に接触することを可能にするように選択された高さを有してもよい。例えば、1 つ以上の第 1 の対電極メンバの高さは、第 1 の対電極メンバ又はその部分構造の少なくとも 1 つが第 2 の接続メンバ 166 として機能する場合のように、第 1 の対電極メンバが高さ軸に沿って第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 の両方の間に延びて接触するのに十分な高さであってもよい。さらに、一実施形態によれば、1 つ以上の第 2 の対電極メンバは、例えば、1 つ以上の第 2 の対電極メンバが、第 1 及び第 2 の二次成長制約 158, 160 の両方に接触するほど完全には延びないように、1 つ以上の第 1 の対電極メンバよりも小さい高さを有してもよい。さらに別の実施形態では、1 つ以上の第 1 の対電極メンバ及び 1 つ以上の第 2 の対電極メ

40

50

ンバの異なる高さは、電極アセンブリ 106 の所定の形状、例えば、縦軸及び／又は横軸の 1 つ以上に沿った異なる高さを有する電極アセンブリ形状に対応するように、及び／又は二次電池の所定の性能特性を提供するように選択されてもよい。

【0262】

対電極集団のメンバの境界線 (P_{CE}) もまた、エネルギー貯蔵デバイス及びその意図された用途に応じて変化する。しかしながら、一般的には、対電極集団のメンバは、典型的には、約 0.025 mm から約 25 mm の範囲内の周囲長 (P_{CE}) を有する。例えば、一実施形態では、対電極集団の各メンバの周辺部 (P_{CE}) は、約 0.1 mm から約 15 mm の範囲内にある。さらなる例として、一実施形態では、対電極集団の各メンバの周囲 (P_{CE}) は、約 0.5 mm から約 10 mm の範囲になる。

10

【0263】

一般に、対電極集団の各メンバは、幅 (W_{CE}) よりも実質的に大きい長さ (L_{CE}) 及び高さ (H_{CE}) よりも実質的に大きい長さ (L_{CE}) を有する。例えば、一実施形態では、対電極集団の各メンバについて、 W_{CE} 及び H_{CE} のそれぞれに対する L_{CE} の比率は、それぞれ少なくとも 5 : 1 である (すなわち、 W_{CE} に対する L_{CE} の比率は少なくとも 5 : 1 であり、 H_{CE} に対する L_{CE} の比率は少なくとも 5 : 1 である)。さらなる例によって、一実施形態では、対電極集団の各メンバについて、 W_{CE} 及び H_{CE} のそれぞれに対する L_{CE} の比率は、少なくとも 10 : 1 である。さらなる態様では、一実施形態では、 W_{CE} 及び H_{CE} のそれぞれに対する L_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバに対して少なくとも 15 : 1 である。さらなる実施形態では、一実施形態では、 W_{CE} 及び H_{CE} のそれぞれに対する L_{CE} の比率は、対電極集団の各構成員に対して少なくとも 20 : 1 である。

20

【0264】

さらに、対電極集団のメンバが、その周囲 (P_{CE}) よりも実質的に大きい長さ (L_{CE}) を有することが一般的に好ましい。例えば、一実施形態では、 L_{CE} と P_{CE} の比は、対電極集団の各メンバについて、それぞれ少なくとも 1.25 : 1 である。さらなる例では、一実施形態では、 L_{CE} と P_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバに対して、それぞれ少なくとも 2.5 : 1 である。さらなる例では、一実施形態では、 L_{CE} と P_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバに対して、それぞれ少なくとも 3.75 : 1 である。

【0265】

一実施形態では、対電極集団のメンバの高さ (H_{CE}) と幅 (W_{CE}) の比は、それぞれ少なくとも 0.4 : 1 である。例えば、一実施形態では、対電極集団の各メンバの H_{CE} と W_{CE} の比は、それぞれ少なくとも 2 : 1 である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバについて、それぞれ少なくとも 10 : 1 である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバに対して、それぞれ少なくとも 20 : 1 である。しかしながら、典型的には、 H_{CE} と W_{CE} の比は、一般的に、電極集団の各メンバに対して、それぞれ 1000 : 1 未満である。例えば、ある実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比率は、対電極集団の各メンバに対して、それぞれ 500 : 1 以下である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比率は、それぞれ、100 : 1 未満である。さらなる方法では、一実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比は、それぞれ 10 : 1 未満である。さらなる例によって、一実施形態では、 H_{CE} と W_{CE} の比は、対電極集団の各メンバについて、それぞれ約 2 : 1 から約 100 : 1 の範囲内である。

30

40

【0266】

一実施形態では、負電極集団の各メンバに含まれる負電極電流導体層 136 は、そのような負電極集電体を構成するメンバの長さ L_{NE} の少なくとも 50 % である長さ L_{NC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極集団の各メンバに含まれる負電極電流導体層 136 は、そのような負電極集電体を構成するメンバの長さ L_{NE} の少なくとも 60 % である長さ L_{NC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極集団の各メンバに含まれる負電極電流導体層 136 は、そのような負電極集電体を構成するメンバの

50

長さ L_{NE} の少なくとも70%である長さ L_{NC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極集団の各メンバに含まれる負電極電流導体層136は、そのような負電極集電体を構成するメンバの長さ L_{NE} の少なくとも80%である長さ L_{NC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、負電極集団の各メンバに含まれる負電極電流導体層136は、そのような負電極集電体を構成するメンバの長さ L_{NE} の少なくとも90%である長さ L_{NC} を有する。

【0267】

一実施形態では、正電極集団の各メンバに含まれる正電極電流導体140は、そのような正電極集電体を構成するメンバの長さ L_{PE} の少なくとも50%である長さ L_{PC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、正電極集団の各メンバに含まれる正電極電流導体140は、そのような正電極集電体を構成するメンバの長さ L_{PE} の少なくとも60%である長さ L_{PC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、正電極集団の各メンバに含まれる正電極電流導体140は、そのような正電極集電体を構成するメンバの長さ L_{PE} の少なくとも70%である長さ L_{PC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、正電極集団の各メンバに含まれる正電極電流導体140は、そのような正電極集電体を構成するメンバの長さ L_{PE} の少なくとも80%である長さ L_{PC} を有する。さらなる例として、一実施形態では、正電極集団の各メンバに含まれる正電極電流導体140は、そのような正電極集電体を構成するメンバの長さ L_{PE} の少なくとも90%である長さ L_{PC} を有する。

【0268】

特定の実施形態では、負電極活物質層とセパレータとの間に配置されることにより、負電極集電体136は、負電極集電体からの電流を負電極活物質層の表面を横切って分配することにより、より均一なキャリアイオンの輸送を促進してもよい。これにより、キャリアイオンのより均一な挿入及び抽出が容易になり、それにより、サイクリング中の負電極活物質の応力を低減することができるかもしれない。負電極集電体136は、セパレータに面する負電極活物質層の表面に電流を分配するので、キャリアイオンに対する負電極活物質層の反応性は、キャリアイオンの濃度が最も大きいところで最も大きくなる。さらに別の実施形態では、例えば図1Bに示すように、負電極集電体136と負電極活物質層の位置が逆になっていてもよい。

【0269】

一実施形態によれば、正電極の各メンバは、例えば、正電極背骨と正電極活物質層との間に配置されてもよい正電極集電体140を有する。さらに、負電極集電体136及び正電極集電体140の1つ以上は、アルミニウム、炭素、クロム、金、ニッケル、NiP、パラジウム、白金、ロジウム、ルテニウム、シリコンとニッケルの合金、チタン、又はそれらの組み合わせなどの金属で構成され得る(A・H・ホワイトヘッド及びM・シュライバーによる「リチウムベースバッテリーの正電極のための集電体」(ジャーナル・オブ・ジ・エレクトロケミカル・ソサエティ、152(11)A2105-A2113(2005))を参照のこと)。さらなる例によって、一実施形態では、正電極集電体140は、金又は金シリサイドのようなその合金からなる。さらなる実施形態では、一実施形態では、正電極集電体140は、ニッケル又はニッケルシリサイドのようなその合金からなる。さらに別の実施形態では、正電極集電体140は、例えば図1Bに示すように、隣接する正電極活物質層136の間に配置されてもよい。

【0270】

別の実施形態では、正電極集電体層と正電極活物質層の位置は逆になっていてもよく、例えば、正電極集電体層がセパレータ層と正電極活物質層との間に配置されるようにする。そのような実施形態では、すぐに隣接する正電極活物質層のための正電極集電体140は、負電極集電体層に関連して記載されているような構成及び構造を有するイオン透過性導電体からなる。すなわち、正電極集電体層は、イオン性及び電氣的に導電性を有するイオン性透過性導体材料の層を構成する。この実施形態では、正電極集電層は、電気化学スタックにおいて、正電極集電層の一方の側のすぐに隣接する正電極活物質層と、正電極集

電層の他方の側のすぐに隣接するセパレータ層との間でのキャリアイオンの移動を容易にするような厚さ、電気伝導性、及びキャリアイオンのためのイオン伝導性を有する。

【0271】

電氣的に絶縁性のセパレータ層130は、電極構造110の集合の各構成要素を、対電極構造112の集合の各構成要素から取り囲み、電氣的に絶縁してもよい。電氣的に絶縁性セパレータ層130は、典型的には、非水電解質を透過させることができる微多孔性セパレータ材料を含む。例えば、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料は、少なくとも50オングストローム、より典型的には約2500オングストロームの範囲内の直径を有する細孔を含み、約25%から約75%の範囲内の空隙率を有し、より典型的には約35%から約55%の範囲内の空隙率を有する。さらに、微多孔性セパレータ材料は、電極集団及び対電極集団の隣接するメンバ間のキャリアイオンの伝導を可能にするために、非水電解質で透過されていてもよい。特定の実施形態では、例えば、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、充放電サイクル中のイオン交換のために、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合の最も近いメンバ（すなわち、「隣接するペア」）との間の電氣的に絶縁されたセパレータ材料の少なくとも70体積%が、微多孔性セパレータ材料である。換言すると、微多孔性セパレータ材料は、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合の最も近いメンバとの間の電氣的に絶縁された材料の少なくとも70体積%を構成する。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも75体積%を構成している。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも80体積%を構成している。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも85体積%を構成している。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも90体積%を構成している。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも95体積%を構成している。さらなる例として、一実施形態では、微多孔性セパレータ材料の空隙率を無視して、微多孔性セパレータ材料は、それぞれ、電極構造110の集合のメンバと対電極構造112の集合のメンバとの間の隣接する対の間の電氣的に絶縁性のセパレータ材料層の少なくとも99体積%を構成している。

【0272】

一実施形態では、微多孔質セパレータ材料は、粒子状材料とバインダーからなり、少なくとも約20体積%の空隙率（ボイド率）を有する。微多孔質セパレータ材料の細孔は、少なくとも50オングストロームの直径を有し、典型的には約250～2500オングストロームの範囲内に収まる。微多孔性セパレータ材料は、典型的には約75%未満の空隙率を有する。一実施形態では、微多孔質セパレータ材料は、少なくとも約25体積%の空隙率（ボイド率）を有する。一実施形態では、微多孔質セパレータ材料は、約35～55%の空隙率を有する。

【0273】

微多孔性セパレータ材料のバインダーは、無機材料又は高分子材料からなる群から選択されてもよい。例えば、一実施形態では、バインダーは、ケイ酸塩、リン酸塩、アルミネート、アルミノケイ酸塩、及び水酸化マグネシウム、水酸化カルシウムなどの水酸化物が

らなる群から選択される有機材料である。例えば、一実施形態では、バインダーは、フッ化ビニリデン、ヘキサフルオロプロピレン、テトラフルオロプロペン等を含むモノマーに由来するフッ素樹脂である。別の実施形態では、バインダーは、変化する分子量及び密度の範囲のいずれかを有する、ポリエチレン、ポリプロピレン、又はポリブテンなどのポリオレフィンである。別の実施形態では、バインダーは、エチレンージエンープロペンターポリマー、ポリスチレン、ポリメチルメタクリレート、ポリエチレングリコール、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルブチラール、ポリアセタール、及びポリエチレングリコールジアクリレートからなる群から選択される。別の実施形態では、バインダーは、メチルセルロース、カルボキシメチルセルロース、スチレンゴム、ブタジエンゴム、スチレンブタジエンゴム、イソプレンゴム、ポリアクリルアミド、ポリビニルエーテル、ポリアクリル酸、ポリメタクリル酸、ポリアクリロニトリル、ポリフッ化ビニリデンポリアクリロニトリル及びポリエチレンオキサイドからなる群から選択される。別の実施形態では、バインダーは、アクリレート、スチレン、エポキシ、及びシリコンからなる群から選択される。他の好適なバインダーは、ポリフッ化ビニリデンーコーヘキサフルオロプロピレン、ポリフッ化ビニリデンーコートリクロロエチレン、ポリメチルメタクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリビニルピロリドン、ポリ酢酸ビニル、ポリエチレンーコービニルアセテート、ポリエチレンオキサイド、セルロースアセテート、セルロースアセテートブチレート、セルロースアセテートプロピオネート、シアノエチルプルラン、シアノエチルポリビニルアルコール、シアノエチルセルロース、シアノエチルスクロース、プルラン、カルボキシメチルセルロース、アクリロニトリルースチレンーブタジエン共重合体、ポリイミド又はその混合物のうちから選択され得る。また別の実施形態では、バインダーは、ポリフッ化ビニリデン・ヘキサフルオロプロピレン、ポリフッ化ビニリデン・トリクロロエチレン、ポリメチルメタクリレート、ポリアクリロニトリル、ポリビニルピロリドン、ポリ酢酸ビニル、エチレンー酢酸ビニル共重合体、ポリエチレンオキサイド、セルロースアセテート、セルロースアセテートブチレート、セルロースアセテートプロピオネート、シアノエチルプルラン、シアノエチルポリビニルアルコール、シアノエチルセルロース、シアノエチルスクロース、プルラン、カルボキシメチルセルロース、アクリロニトリルースチレンーブタジエン共重合体、ポリイミド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート、ポリエステル、ポリアセタール、ポリアミド、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンオキサイド、ポリフェニレンサルファイド、ポリエチレンナフタレン、及び／又はそれらの組み合わせのうちいずれかから選択されてもよい。別の実施形態では、バインダーは、前記ポリマーの２種以上のコポリマー又はブレンドである。

【 0 2 7 4 】

微多孔質セパレータ材料によって構成される微粒子材料はまた、広範囲の材料から選択されてもよい。一般に、そのような材料は、動作温度において比較的低い電子伝導性及びイオン伝導性を有し、微多孔性セパレータ材料に接触する電池電極又は集電体の動作電圧の下で腐食しない。例えば、一実施形態では、微粒子材料は、 $1 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ 未満のキャリアイオン（例えば、リチウム）に対する導電率を有する。さらなる態様では、一実施形態では、微粒子材料は、 $1 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$ 未満のキャリアイオンに対する導電性を有する。さらなる例によって、一実施形態では、粒子状材料は、 $1 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$ 未満のキャリアイオンのための導電性を有する。例示的な微粒子材料は、微粒子ポリエチレン、ポリプロピレン、 TiO_2 ポリマー複合体、シリカエアロゲル、ヒュームドシリカ、シリカゲル、シリカハイドロゲル、シリカゼロゲル、シリカゾル、コロイダルシリカ、アルミナ、チタニア、マグネシア、カオリン、タルク、珪藻土、ケイ酸カルシウム、ケイ酸アルミニウム、炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、又はそれらの組み合わせを含む。例えば、一実施形態では、微粒子材料は、 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 GeO_2 、 B_2O_3 、 Bi_2O_3 、 BaO 、 ZnO 、 ZrO_2 、 BN 、 Si_3N_4 、 Ge_3N_4 などの微粒子酸化物又は窒化物からなる（例えば、P. Arora and J. Zhang の「バッテリーセパレータ」（ケミカル・レビューズ 2004, 104, 4419-4

10

20

30

40

50

462)を参照のこと。)。他の好適な粒子は、 BaTiO_3 、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)、 $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{TiO}_3$ (PLZT)、 $\text{Pb}(\text{Mg}_3\text{Nb}_2/3)\text{O}_3$ 、 PbTiO_3 (PMN-PT)、ハフニア (HfO_2)、 SrTiO_3 、 SnO_2 、 CeO_2 、 MgO 、 NiO 、 CaO 、 ZnO 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 SiC 、又はそれらの混合物を含み得る。一実施形態では、微粒子材料は、約20nm～2マイクロメートル、より典型的には200nm～1.5マイクロメートルの平均粒子径を有する。一実施形態では、微粒子材料は、約500nm～約1マイクロメートルの平均粒子径を有する。

【0275】

代替的な実施形態では、微多孔性セパレータ材料によって構成される微粒子材料は、電池の機能のためのイオン伝導性を提供するために電解質の浸入のために所望される空隙率を維持しながら、焼結、結合、硬化などの技術によって結合されてもよい。

【0276】

微多孔質セパレータ材料は、例えば、静電引力又はファンデルワールス力のような表面エネルギーによって粒子が合体する微粒子セパレータ材料の電気泳動堆積、微粒子セパレータ材料のスラリー堆積 (スピンコーティング又はスプレーコーティングを含む)、スクリーン印刷、ディップコーティング、及び静電スプレー堆積によって堆積されてもよい。バインダーは、堆積プロセスに含まれていてもよい。例えば、微粒子材料は、溶媒の蒸発時に沈殿する溶解したバインダーを用いてスラリー状に堆積させてもよく、溶解したバインダー材料の存在下で電気泳動的に堆積させてもよく、又はバインダー及び絶縁性粒子などと共電気泳動的に堆積させてもよい。代替的に、又は追加的に、粒子が電極構造に堆積された後、又は電極構造上に堆積された後に、バインダーが添加されてもよい。例えば、微粒子材料を有機バインダー溶液に分散させ、ディップコート又はスプレーコートした後、乾燥、溶融、又はバインダー材料を架橋して接着力を付与してもよい。

【0277】

組み立てられたエネルギー貯蔵デバイスにおいて、微多孔性セパレータ材料は、二次電池の電解質として使用するのに適した非水電解質で透過される。典型的には、非水電解質は、有機溶媒及び／又は溶媒混合物に溶解したリチウム塩及び／又は塩の混合物からなる。例示的なリチウム塩としては、 LiClO_4 、 LiBF_4 、 LiPF_6 、 LiAsF_6 、 LiCl 、 LiBr などの無機リチウム塩と、 $\text{LiB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$ 、 $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_3$ 、 $\text{LiNSO}_2\text{CF}_3$ 、 $\text{LiNSO}_2\text{CF}_5$ 、 $\text{LiNSO}_2\text{C}_4\text{F}_9$ 、 $\text{LiNSO}_2\text{C}_5\text{F}_{11}$ 、 $\text{LiNSO}_2\text{C}_6\text{F}_{13}$ 、及び $\text{LiNSO}_2\text{C}_7\text{F}_{15}$ などの有機リチウム塩とを含む。さらに別の例として、電解質は、そこに溶解したナトリウムイオン、例えば、 NaClO_4 、 NaPF_6 、 NaBF_4 、 NaCF_3SO_3 、 $\text{NaN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ 、 $\text{NaN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$ 、 $\text{NaC}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$ のうちの任意の1つ以上を含んで構成することができる。マグネシウム及び／又はカリウムの塩も同様に提供することができる。例えば、塩化マグネシウム (MgCl_2)、臭化マグネシウム (MgBr_2)、又はヨウ化マグネシウム (MgI_2) などのマグネシウム塩が提供され得る。並びに／又は、過塩素酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$)、硝酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$)、硫酸マグネシウム (MgSO_4)、テトラフルオロホウ酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{BF}_4)_2$)、テトラフェニルホウ酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4)_2$)、ヘキサフルオロリン酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{PF}_6)_2$)、ヘキサフルオロアルセン酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{AsF}_6)_2$)、パーフルオロアルキルスルホン酸マグネシウム ($\text{Mg}(\text{R}_{f1}\text{SO}_3)_2$)、ここで R_{f1} はパーフルオロアルキル基である)、マグネシウムパーフルオロアルキルスルホニルイミド ($\text{Mg}((\text{R}_{f2}\text{SO}_2)_2\text{N})_2$)、ここで R_{f2} はパーフルオロアルキル基)、及びマグネシウムヘキサアルキルジシラジド ($\text{Mg}(\text{HRDS})_2$ 、ここで R はアルキル基)を含む群から選択される少なくとも1種であるマグネシウム塩が提供されてもよい。リチウム塩を溶解するための有機溶媒の例示的な例としては、環状エステル類、鎖状エステル類、環状エーテル類、鎖状エーテル類などが挙げられる。環状エステルの具体例としては、プロピレンカーボネート、エチレン

10

20

30

40

50

カーボネート、ブチレンカーボネート、 γ -ブチロラクトン、ビニレンカーボネート、2-メチル- γ -ブチロラクトン、アセチル- γ -ブチロラクトン、 γ -バレロラクトン等が挙げられる。環状エステル具体例としては、炭酸ジメチル、炭酸ジエチル、炭酸ジブチル、炭酸ジプロピル、炭酸メチルエチル、炭酸メチルブチル、炭酸メチルプロピル、炭酸エチルブチル、炭酸エチルプロピル、炭酸ブチルプロピル、アルキルプロピオネート、ジアルキルマロン酸塩、アルキルアセテート等が挙げられる。環状エーテル具体例としては、テトラヒドロフラン、アルキルテトラヒドロフラン、ジアルキルテトラヒドロフラン、アルコキシテトラヒドロフラン、ジアルコキシテトラヒドロフラン、1,3-ジオキソラン、アルキル-1,3-ジオキソラン、1,4-ジオキソラン等が挙げられる。鎖状エーテル具体例としては、1,2-ジメトキシエタン、1,2-ジエトキシエタン、ジエチルエーテル、エチレングリコールジアルキルエーテル、ジエチレングリコールジアルキルエーテル、トリエチレングリコールジアルキルエーテル、テトラエチレングリコールジアルキルエーテル等が挙げられる。

【0278】

別の実施形態では、二次電池102は、有機液体電解質、無機液体電解質、固体高分子電解質、ゲル高分子電解質、無機固体電解質、熔融型無機電解質などのいずれであってもよい電解質を含んでいてもよい。さらに別の実施形態では、電解質が固体電解質である場合、固体電解質は、それ自体が、別個のセパレータ層を必要としないように、電極とキャリアイオンの通過との間に絶縁を提供することが可能であってもよい。すなわち、特定の実施形態では、固体電解質は、本明細書の実施形態で説明したセパレータ130の代わりをしてよい。一実施形態では、固体高分子電解質は、ポリエチレンオキシド（PEO）ベース、ポリ酢酸ビニル（PVA）ベース、ポリエチレンイミン（PEI）ベース、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）ベース、ポリアクリロニトリル（PAN）ベース、LiPON、及びポリメチルメタクリレート（PMMA）ベースのポリマー又はそれらのコポリマーから形成されたポリマーのいずれかを含むことができる。別の実施形態では、リチウム及び／又はリン、例えば Li_2S 及び P_2S_5 のうちの少なくとも1つ、及び／又は SiS_2 、 GeS_2 、 Li_3PS_4 、 $Li_4P_2S_7$ 、 Li_4SiS_4 、 $Li_2S-P_2S_5$ 、及び $50Li_4SiO_4 \cdot 50Li_3BO_3$ 、及び／又は B_2S_3 のような他の硫化物からなる硫化物ベースの固体電解質が提供されてもよい。しかし、固体電解質の他の実施形態では、 Li_3N 、 LiI 、 Li_5NI_2 、 $Li_3N-LiI-LiOH$ 、 $LiSiO_4$ 、 $LiSiO_4-LiI-LiOH$ 、 Li_2SiS_3 、 Li_4SiO_4 、 $Li_4SiO_4-LiI-LiOH$ 、及び $Li_3PO_4-Li_2S-SiS_2$ のようなリチウム（Li）の窒化物、ハロゲン化物、及び硫酸塩を含みえる。

【0279】

さらに、一実施形態によれば、微多孔性セパレータ130及び他の電極110及び／又は対電極112の構造を含む二次電池102の構成要素は、二次電池102の充放電中に電極活物質132の膨張が生じた場合であっても、構成要素が機能することができるような構成及び組成を含む。すなわち、その充放電中に電極活物質132の膨張による構成部品の故障が許容範囲内となるように構成してもよい。

【0280】

[電極制約のパラメータ]

一実施形態によれば、電極制約の集合108の設計は、(i) 電極活物質層132の膨張によって電極制約の集合108の構成要素に及ぼされる力、及び(ii) 電極活物質層132の膨張によって及ぼされる力を打ち消すために必要とされる電極制約の集合108の強度、を含むパラメータに依存する。例えば、一実施形態によれば、電極活物質の膨張によって系に及ぼされる力は、特定の方向に沿った断面の電極面積に依存する。例えば、縦方向に及ぼされる力は、電極(L_E)の長さに電極(H_E)の高さを乗じたものに比例し、高さ方向には、電極(L_E)の長さに電極(W_E)の幅を乗じたものに比例し、横方向に及ぼされる力は、電極(W_E)の幅に電極(H_E)の高さを乗じたものに比例する。

【0281】

一次成長制約 154、156 の設計は、多くの変数に依存してもよい。一次成長制約 154、156 は、電極活物質層 132 の縦方向への拡張に起因する電極アセンブリ 106 の巨視的成長を抑制する。図 8 A に示すような実施形態では、一次成長制約 154、156 は、少なくとも 1 つの一次接続メンバ 158（例えば、第 1 及び第 2 の一次接続メンバ 158、160）と協働して作用し、電極活物質層 132 を有する電極構造 110 の成長を抑制する。成長を抑制する際に、少なくとも 1 つの接続メンバ 158 は、一次成長制約 154、156 を、電極活物質層 132 の成長によって及ぼされる力を打ち消すために圧縮力を発揮するように、互いに緊張状態に配置する。一実施形態によれば、一次成長制約 154、156 に力が及ぼされるとき、一次成長制約 154、156 は、一次接続メンバ 158 の引張強さに応じて、以下のうちの少なくとも 1 つを行うことができる。i) 互いに離れて並進（縦方向に離れて移動）し、(ii) 厚さで圧縮し、及び (iii) 力に対応するために、縦方向に沿って屈曲し、及び／又はたわむ。一次成長制約 154、156 が互いに離れて並進する程度は、一次接続メンバ 158、160 の設計に依存してもよい。一次成長制約 154、156 が圧縮できる量は、一次成長制約材料特性、例えば、一次成長制約 154、156 を形成する材料の圧縮強度の関数である。一実施形態によれば、一次成長制約 154、156 が撓むことができる量は、(i) 縦方向の電極構造 110 の成長によって及ぼされる力、(ii) 一次成長制約 154、156 の弾性率、(iii) 高さ方向の一次接続メンバ 158、160 間の距離、及び (iv) 一次成長制約 154、156 の厚さ（幅）、に依存し得る。一実施形態では、一次成長制約 154、156 の最大たわみは、一次接続メンバ 158、160 の間の高さ方向の成長制約 154、156 の中点で発生してもよい。たわみは、高さ方向に沿って一次接続メンバ 158、160 の間の距離の 4 乗で増加し、制約材料弾性率とともに直線的に減少し、一次成長制約の厚さ（幅）の 3 乗で減少する。一次成長制約メンバ 154、156 の曲げによるたわみを支配する式は、次のように書くことができる。

$$\delta = 60wL^4 / Eh^3$$

【0282】

ここで、w は電極の膨張により一次成長拘束メンバ 154、156 に適用される総分散荷重であり、L は高さ方向に沿った一次接続メンバ 158、160 間の距離であり、E は一次成長制約 154、156 の弾性係数であり、h は一次成長制約 154、156 の厚さ（幅）である。

【0283】

一実施形態では、電極活物質 132 の膨張に起因する一次成長制約 154、156 に対する応力は、以下の式を用いて計算され得る。

$$\sigma = 3wL^2 / 4h^2$$

【0284】

ここで、w は電極活物質層 132 の膨張により一次成長制約 154、156 にかかる総分散荷重であり、L は高さ方向に沿った一次接続メンバ 158、160 間の距離であり、h は一次成長制約 154、156 の厚さ（幅）である。

【0285】

[リチウムイオン二次電池]

【0286】

再び図 1 B を参照すると、一実施形態では、シリコン含有電極活物質からなるリチウムイオン二次電池が提供される。リチウムイオン二次電池 102 は、充電状態と放電状態との間でサイクルすることが可能であり、二次電池は、電池筐体 104 と、電極アセンブリ 106 と、電池筐体内のリチウムイオンを構成するキャリアイオンと、一組の電極制約 108 とを含む。この実施形態において、二次電池の電極アセンブリは、互いに垂直な横軸、縦軸及び高さ軸を有し、それらはそれぞれ、仮想 3 次元直交座標系の x 軸、y 軸、z 軸に対応する。第 1 の縦端面 116 及び第 2 の縦端面 118 は互いに縦方向に離間され、側面 142 は電極アセンブリの縦軸 A-EA を囲んで第 1 及び第 2 の縦端面を（例えば図 2 A に示すように）接続する。側面は縦軸の逆側に対向する第 1 及び第 2 の領域を有し、縦軸

10

20

30

40

50

と垂直な第1の方向に離間されている。電極アセンブリは縦方向計測された最大幅 W_{EA} と、側面に囲まれて横方向計測された最大長さ L_{EA} と、側面に囲まれて高さ方向計測された最大高さ H_{EA} とを有し、最大幅 W_{EA} の最大高さ H_{EA} に対する比率は（例えば図2Aに示すように）少なくとも2：1である。

【0287】

一実施形態によれば、電極アセンブリ106は、電極アセンブリ106内で縦軸に平行な積層方向に積層された一連の層800からなり、積層された一連の層800は、負電極活物質層132の集合、負電極集電体層136の集合、セパレータ材料層130の集合、正電極活物質層138の集合、及び正電極集電体層140の集合から構成されている。本実施形態によると、負電極活物質層の集合の各メンバは、負電極活物質層132の第1及び第2の対向横端面の間で横方向計測された負電極活物質層132のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層132の第1及び第2の対向高さ端面の間で高さ方向計測された負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、負電極活物質層132の第1及び第2の対向端面の間で縦方向計測された負電極活物質層132のフェレット系に対応する幅 W_E とを有する。ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5：1である。さらに、正電極活物質層138の集合の各メンバは、負電極活物質層の第1及び第2の対向横端面の間で横方向計測された正電極活物質層138のフェレット径に対応する長さ L_C と、正電極活物質層138の第1及び第2の対向高さ端面の間で高さ方向計測された正電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_C と、正電極活物質層138の第1及び第2の対向端面の間で縦方向計測された正電極活物質層138のフェレット系に対応する幅 W_C とを有する。ここで、 H_C 及び W_C に対する L_C の比率は、少なくとも5：1である。

【0288】

一実施形態では、リチウムイオン二次電池に提供される電極制約のセット108は、一次制約系151と二次制約系155とを含む。一次制約系151は、第1及び第2の一次成長制約154、156と、少なくとも1つの一次接続メンバ162とからなり、第1及び第2の一次成長制約は、縦方向に互いに離間しており、第1及び第2の一次成長制約を接続する少なくとも1つの一次接続メンバは、縦方向における電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に抑制するように構成されている。二次制約系155は、第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約158、160を構成し、積層された直列の層800のメンバによって接続され、二次制約系155は、二次電池のサイクル時に、第2の方向における電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に抑制し、第2の方向は、縦方向に直交するようになっている。例えば、図1Bを参照すると、第1及び第2の二次成長制約158、160は、負電極集電体層136の集合のメンバ、正電極集電体層140の集合のメンバ、負電極活物質層132の集合のメンバ、正電極活物質層138の集合のメンバ、セパレータ層130の集合のメンバ、又はそれらの任意の組み合わせのうちの任意の1つ以上のメンバによって互いに接続されていてもよい。図1B及び図29A-Dを参照すると、一実施形態では、第1及び第2の二次成長制約158、160は、負電極集電体層136の集合のメンバ及び／又は正電極集電体層140の集合のメンバのうちの1つ以上を介して接続されてもよい。さらに、一実施形態によれば、一次制約系は、積層方向において、積層方向に相互に直交する2つの方向のそれぞれにおいて、電極アセンブリに維持される圧力を超える圧力を電極アセンブリに維持する。

【0289】

さらに別の実施形態では、リチウムイオン二次電池102は、本明細書で他の場所で議論されるように、同じ単位セル504内の負電極活物質層132と正電極材料層138との間のオフセットを構成することができる。例えば、一実施形態では、電極アセンブリ106は、単位セル504の集合を構成し、ここで、各単位セル504は、電極集電層集合の第1のメンバの単位セル部分、キャリアイオンに対してイオン透過性を有するセパレータ集合のメンバ、電極活物質集合の第1のメンバの単位セル部分、対電極集電層集合の第1のメンバの単位セル部分、及び対電極活物質集合の第1のメンバの単位セル部分を含む

。前記電極活物質層集合の第1のメンバは、前記セパレータ層の第1の側面に近接しており、前記対電極活物質層集合の第1のメンバは、前記セパレータ層の対向する第2の側面に近接しており、前記対電極活物質層集合の第1のメンバは、前記セパレータ層の対向する第2の側面に近接している。セパレータは、電極活物質層の第1のメンバと対電極活物質層の第1のメンバとを電氣的に隔離し、キャリアイオンは、充放電状態と放電状態との間の電池のサイクル中に、当該各単位セルのセパレータを介して、電極活物質層の第1のメンバと対電極活物質層の第1のメンバとの間で主に交換される。

【0290】

さらに、各単位セル内において、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の高さ端面は電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の長さ L_E に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースし、対電極活物質層の長さ L_C に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第1の高さ端面プロット $C_{E_{VP1}}$ をトレースする。ここで、第1の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{VP1} 、 $C_{E_{VP1}}$ 間の高さ方向計測された分離距離 S_{Z1} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第1の高さ端面と対電極活物質層の第1の高さ端面との間と同様に、対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内向きに配置されている。

【0291】

さらに、一実施形態によると、各単位セル内において、電極活物質層及び負電極活物質層の第2の高さ端面は電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の高さ端面と対向し、電極活物質層の長さ L_E に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第2の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースし、対電極活物質層の長さ L_C に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第2の高さ端面プロット $C_{E_{VP2}}$ をトレースする。ここで、第2の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{VP2} 、 $C_{E_{VP2}}$ 間の高さ方向計測された分離距離 S_{Z2} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{Z2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第2の高さ端面と対電極活物質層の第1の高さ端面との間と同様に、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内向きに配置されている。

【0292】

さらに別の実施形態によると、各単位セル内において、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面は電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第1の横端面プロット $C_{E_{TP1}}$ をトレースする。ここで、対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP1} 、 $C_{E_{TP1}}$ 間の横方向計測された分離距離 S_{X1} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第1の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内向きに配置されている。さらに、電極活物質層及び負電極活物質層の第2の横端面は電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面と対向し、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット E_{TP2} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット $C_{E_{TP2}}$ をトレースする。ここで、第2の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP2} 、 $C_{E_{TP2}}$ 間の横方向計測された分離距離 S_{X2} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第2の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第2の横端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内向きに配置されている。

【0293】

さらに別の実施形態では、リチウムイオン二次電池102は、本明細書に記載された任意の製造方法に従って製造されたものであってよく、例えば、製造工程の一部として、負電極及び／又は正電極シート及び／又はサブユニットの弱体化された領域が提供される製造方法によって製造されたものであってもよい。したがって、特定の実施形態では、積層された一連の層800は、横方向に互いに離間している対向する端面を有する層からなり、層の対向する端面の複数は、対向する端面における材料の層の伸長及び狭窄に起因して、横方向に配向した塑性変形及び破断を引き起こす。例えば、図19を参照して、一実施形態では、負電極集電体層136及び／又は正電極集電体層140のうち1つ以上は、領域705に近接した弱化した領域での分離による塑性変形及び破壊を示す領域705を有する対向端面978a, 978b, 982a, 982bを含む。一実施形態では、リチウムイオン二次電池は、少なくとも60質量%の負電極活物質層、20質量%未満の導電性助剤、及びバインダー材料を有する微粒子材料を有する負電極活物質層のメンバを含む。一実施形態では、負電極活物質層のメンバは、少なくとも80質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む。別の実施形態では、負電極活物質層のメンバは、少なくとも90質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む。さらに別の実施形態では、負電極活物質層のメンバは、少なくとも95質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む。さらに別の実施形態では、負電極活物質層のメンバは、10質量%未満の導電性助剤を含み、かつ少なくとも1質量%の導電性助剤を含む。一実施形態では、ケイ素含有材料を含む電極活物質は、ケイ素、酸化ケイ素、及びそれらの混合物のうちの少なくとも1つを含む。例えば、一実施形態では、電極活物質層は、ケイ素含有微粒子電極活物質の成形体を含む。別の実施形態では、負電極活物質層の構成要素は、銅、ニッケル及び炭素のうちの少なくとも1つを含む導電性助剤を含む。別の実施形態では、正電極活物質層の構成要素は、リチウムを含む遷移金属酸化物材料と、コバルト及びニッケルの少なくとも1つとを含む正電極活物質を含む。

10

20

【0294】

一実施形態では、例えば図1B－図1D及び図29A－図29Dに示されるように、第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電層136の集合のメンバからなる層の一連の積層800のメンバによって互いに接続されていてもよい。例えば、図1Bを参照すると、第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電層136の集合のメンバからなる一連の積層の層800のメンバによって互いに接続されていてもよく、ここで、負電極集電層136は、その一部である電極構造110のための負電極バックボーン層を形成している。すなわち、負電極集電層集合136のメンバは、少なくとも1つの負電極活物質層132がその表面上に配置されている電極構造110のバックボーン層を形成してもよく、さらには、電極活物質層132がその対向する両表面上に配置されている電極構造110のコアを形成してもよい。

30

【0295】

一実施形態によれば、第1及び第2の二次制約158, 160を接続する役割を果たす（例えば、接続メンバ166として機能する）負電極集電層集合136のメンバは、過度の圧縮に抵抗するための適切な導電性及び圧縮強度を有する材料、例えば、銅及びステンレス鋼のうちの1つ以上の材料で構成され、一実施形態では、負電極集電層136は銅膜で形成され得る。負電極集電体の厚さもまた、圧縮強度と同様に、層全体に適切なコンダクタンスを提供するために選択されてもよく、例えば、少なくとも2ミクロンの厚さ、典型的には20ミクロン未満の厚さ、例えば6ミクロンから18ミクロン、及び／又は8ミクロンから14ミクロンの厚さなどが挙げられる。

40

【0296】

一実施形態では、負電極集電層の集合のメンバは、銅含有層を含み、積層された一連の層800は、負電極集電層の集合のメンバを、負電極集電層の対向する側に配置された負電極活物質層のメンバと積層された順序で構成される。さらに別の実施形態では、負電極活物質層の集合のメンバは、粒子状ケイ素含有材料の成形体を含み、負電極活物質

50

層の集合のメンバは、負電極バックボーンを形成する銅含有負電極集電体の対向する側に配置されている。さらに、一実施形態によれば、電極活物質層の集合のメンバは、少なくとも2.5 mm、例えば少なくとも3 mmの高さ寸法 H_E を含む。

【0297】

さらに別の実施形態によれば、リチウムイオン二次電池は、第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約を構成し、これらは、正電極集電体層140の集合のメンバを構成する積層直列の層800のメンバによって互いに接続されている。上記の負電極集電体と同様に、正電極集電体の材料及び特性は、適切なコンダクタンスを提供する一方で、過度の圧縮に抵抗するのに十分な圧縮強度を付与するように選択されてもよい。一実施形態では、正電極集電体層のメンバはアルミニウムからなる。正電極集電体の厚さは、少なくとも2ミクロンであってもよいが、典型的には20ミクロン未満、例えば6ミクロンから18ミクロン、及び／又は8ミクロンから14ミクロンである。

【0298】

さらに別の実施形態によれば、リチウムイオン二次電池は、第2の方向に分離されるとともに負電極活物質層132の集合のメンバを含む一連の積層800のメンバによって互いに接続された第1及び第2の二次成長制約を含む。さらに別の実施形態では、第1及び第2の二次成長制約は、正電極活物質層132の集合のメンバからなる一連の積層の層のメンバによって互いに接続されている。まだ別の実施形態では、第1及び第2の二次成長制約は、セパレータ材料層の集合のメンバからなる一連の積層のメンバによって互いに接続されている。すなわち、第1及び第2の二次成長制約は、正電極集電体層の集合の少なくとも一部のメンバに加えて、負電極集電体層の集合のメンバ、さらにはセパレータ物質層の集合の少なくとも一部のメンバ、又は積層された一連の層800を構成する層のいくつかの他の組み合わせのメンバを介して互いに接続されてもよい。

【0299】

上述したように、特定の実施形態では、電極アセンブリ106を含む電池筐体104は、密閉されていてもよい。さらに、一次系制約及び二次系制約のうちの1つ以上、又はそのうちの少なくとも一部、さらにはすべてが、密閉された筐体内にあってよい。さらに別の実施形態によれば、二次電池は、上述したような第3の方向、例えばX方向に制約するための三次制約系をさらに含み、この三次制約系の少なくとも一部又はさらにはすべてが、密閉された筐体内に提供されてもよい。

【0300】

一実施形態によれば、リチウムイオン二次電池は、上で議論されてきたように、成長をある程度制限することが可能な一組の制約系108を含む。例えば、一実施形態では、一次制約系は、二次電池の20回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が20%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を制約し、ここで、二次電池の充電状態は、二次電池の定格容量の少なくとも75%であり、二次電池の放電状態は、二次電池の定格容量の25%未満である。別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の50回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が20%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の100回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が20%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の10回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が10%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の30回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が10%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の80回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が10%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の5回の連続したサイクル

にわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が5%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の20回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が5%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の50回の連続したサイクルにわたる縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が5%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに別の実施形態では、一次制約アレイは、二次電池の1サイクル毎の縦方向の電極アセンブリのフェレット径の任意の増加が5%未満となるように、縦方向の電極アセンブリの成長を抑制する。さらに、一実施形態では、二次成長抑制系は、二次電池の繰り返しサイクルに伴う第2の方向の電極アセンブリのフェレット径の連続した20サイクルにわたる増加が20%未満であるように、第2の方向の電極アセンブリの成長を抑制する。別の実施形態では、二次成長抑制系は、二次電池の5回の連続サイクルにわたる第2の方向の電極アセンブリのフェレット径の増加が5%未満であるように、第2の方向の電極アセンブリの成長を抑制する。別の実施形態では、二次成長抑制系は、二次電池の1サイクル毎の第2の方向の電極アセンブリのフェレット径の増加が1%未満であるように、第2の方向の電極アセンブリの成長を抑制する。

10

【0301】

[実施例]

本実施例は、二次電池102のための一連の制約108を有する電極アセンブリ106を作製する方法を示す。本開示の側面に従って電極アセンブリ106及び／又は二次電池102を形成するためのプロセスの具体的な例は、以下に提供される。これらの例は、本開示の態様を例示する目的で提供され、限定を意図していない。

20

【0302】

[実施例1：吹付けセパレータを有するLMO/Si]

この実施例では、電極集電体136として提供されるCu箔の両面がSiからなる電極活物質層132によりコーティングされている。電極活物質層132に使用するのに適した活性Si含有材料の例としては、Si、Si/Cコンポジット、Si/グラファイトブレンド、SiO_x、多孔質Si、及び金属間Si合金を挙げることができる。Si含有電極活物質層132の上には、セパレータ材料が噴霧される。Si含有電極活物質層/Cu箔/セパレータの組み合わせは、所定の長さ及び高さ（例えば、所定のL_E及びH_E）にダイシングされ、電極構造110を形成する。さらに、Cu箔の領域が露出したまま（例えば、Si含有電極活物質層132によってコーティングされていない）で、電極バスバー600に接続することができる横電極集電体端部を提供してもよい。

30

【0303】

さらに、対極集電体140として設けられたAl箔の両面に、リチウムコバルト酸化物(LCO)、リチウムニッケルコバルトアルミニウム酸化物(NCA)、リチウムニッケルマンガンコバルト酸化物(NMC)、又はそれらの組み合わせなどのリチウム含有金属酸化物(LMO)からなる対極電極活物質層138を被覆する。LMO含有対極電極活物質層138の上にセパレータ材料が噴霧され、LMO含有対極電極活物質層/Al箔/セパレータの組み合わせは、対極電極構造110を形成するために、所定の長さ及び高さ（例えば、所定のL_E及びH_E）にダイシングされる。さらに、Al箔の領域は、対極バスバー602に接続可能な横型対極集電体端部を提供するために、露出したまま（例えば、LMO含有対極電極活物質層138によってコーティングされていない）であってもよい。セパレータ層を有する陽極構造110と陰極構造112は、セパレータ/Si/Cu箔/Si/セパレータ/LMO/Al箔/LMO/セパレータの繰り返し構造を形成するように交互に積層されている。また、最終的な積層構造において、対極電極活物質層138は、本明細書に記載されているように、電極活物質層132に対して高さ及び／又は横方向のオフセットを備えていてもよい。

40

【0304】

スタッキングしている間、電極電流コレクタの横端は、例えば、バスバー内の開口部及

50

び／又はスロットを通して挿入されることによって、電極バスバーに取り付けることができる。同様に、対電極集電体の横端は、例えば、対電極バスバー内の開口部及び／又はスロットを通して挿入されることによって、対電極バスバーに取り付けられることができる。例えば、各集電体及び／又は対電極集電体の端部は、個別に別個の開口部に挿入されてもよいし、複数の端部が同じ開口部を介して挿入されてもよい。端部は、溶接（例えば、スティッチ、レーザ、超音波など）などの好適な取り付け方法によってバスバーに取り付けられる。

【0305】

さらに、制約材料（例えば、ガラス繊維／エポキシ複合材料、又は他の材料）は、積層された電極アセンブリ106のXY寸法に一致するようにダイシングされ、電極アセンブリの高さ端部に第1及び第2の二次成長制約を提供する。制約は、積層された電極への電解質の自由な流れを可能にするために、（例えば、図6C及び6Dに示された実施形態で描かれているように）そこに穴を設けてもよい。また、高さ制約は、電極及び／又は対電極構造110、112の所定数の「バックボーン」に取り付けられてもよく、この例では、電極及び対電極電流集電体136、140を形成するCu及び／又はAl箔であってもよい。第1及び第2の高さ拘束部は、所定数の電極及び／又は対電極集電体136、140の高さ端部に、例えばエポキシ等の接着剤を介して取り付けられていてもよい。

【0306】

電極アセンブリ、拘束具、バスバー、及びタブ延長部の全体を、メタライズされたラミネートパウチのような外側包装材料の中に配置することができる。パウチは密閉され、バスバーの端部はパウチシールの1つを通して突出する。あるいは、アセンブリは、缶内に配置される。バスバー延長部は、缶の正接続部及び負接続部に取り付けられる。缶は、溶接又は圧着方法によって密封される。

【0307】

まだ別の実施形態では、アセンブリをポーチに入れる前に、Liを放出することができる第3の補助電極が上部拘束系の外側に配置される。あるいは、追加のLi放出電極もまた、底部拘束系の外側に配置される。補助電極の1つ又は両方は、タブに接続されている。この系は、最初は、電極対電極を充電することによって形成されてもよい。形成工程が完了した後、パウチを開封し、補助電極を除去し、パウチを再封することができる。

【0308】

以下の実施形態は、本開示の態様を例示するために提供されるが、実施形態は限定を意図するものではなく、他の側面及び／又は実施形態も提供され得る。

【0309】

実施形態1.

充電状態及び放電状態の間をサイクルするための二次電池であって、電池筐体と、電極アセンブリと、電池筐体内のリチウムイオンと、及び、電極制約のセットとを含み、ここで、

(a) 電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系のx軸、y軸、z軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに分離された第1の縦端面及び第2の縦端面と、電極アセンブリ縦軸 A_{EA} を囲むとともに第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、側面は、縦軸の両側に対向する第1及び第2の領域を有するとともに、縦軸に直交する第1の方向に分離され、電極アセンブリは、横方向測定された最大幅 W_{EA} と、側面により境界づけられかつ横方向計測された最大長 L_{EA} と、側面に境界づけられかつ高さ方向測定された最大高さ H_{EA} とを有し、ここで、最大長 L_{EA} 及び最大幅 W_{EA} の最大高さ H_{EA} に対する比率は少なくとも2:1であり、

(b) 電極アセンブリは、電極アセンブリ内の縦軸に並行な積層方向に積層された一連の層を含み、積層された一連の層は、負電極活物質層の集合と、負電極集電層の集合と、セパレータ材料層の集合と、正電極活物質層の集合と、及び、正電極集電材料層の集合とを含み、ここで、

(i) 負電極活物質層の集合の各々は、負電極活物質層の対向する第1及び第2の横端

面の間において横方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、負電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(ii) 正電極活物質層の集合の各々は、正電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、正電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、正電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

10

(iii) 負電極活物質層の集合の各々は、少なくとも60質量%の負電極活物質と、20質量%未満の導電助剤と、及びバインダー材料とを含む粒子状材料を含み、負電極活物質はシリコン含有材料を含み、

(c) 電極制約のセットは、一次制約系と二次制約系とを含み、

(i) 一次制約系は、第1及び第2の成長制約と、少なくとも1つの一次接続メンバとを含み、第1及び第2の一次成長制約は縦方向に互いに分離され、一次接続メンバは、縦方向の電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に制約する第1及び第2の一次成長制約を接続し、並びに、

20

(ii) 二次制約系は、第2の方向に分離されかつ積層された一連の層の各々により接続された第1及び第2の二次成長制約を含み、ここで、二次制約系は、二次電池のサイクル時に電極アセンブリの第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は縦方向と直交し、並びに、

(iii) 一次制約系は、互いに垂直かつ積層方向に垂直な2つの方向の各々で、電極アセンブリに維持される圧力を超過する、電極アセンブリへの積層方向の圧力を維持し、

(d) 電極アセンブリは、ユニットセルの集合を含み、ここで、各ユニットセルは、電極集電体層の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、キャリアイオンに対してイオン透過性であるセパレータの集合のメンバと、電極活物質の集合の第1のメンバと、対電極集電体の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、及び、対電極活物質層の集合の第1のメンバとを含み、ここで、(aa) 電極活物質層の集合の第1のメンバは、セパレータの第1の側に近接し、対電極材料層の集合の第1のメンバは、セパレータの反対側の第2の側に近接し、(bb) セパレータは、電極活物質層の集合の第1のメンバを、対電極活物質層の集合の第1のメンバから電氣的に分離させ、電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中において、電極活物質層の集合の第1のメンバと対電極活物質層の集合の第1のメンバとの間では、このような各ユニットセルのセパレータを介して、主として、キャリアイオンが交換され、(cc) 各ユニットセル内において、

30

a. 電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースし、対電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第1の高さ端面プロット C_{EVP1} をトレースし、ここで、第1の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i) 高さ方向計測されたプロット E_{VP1} 及び C_{EVP1} の間の分離距離の絶対値 S_{Z1} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii) 電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面の間において、対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内側に配置され、

40

b. 電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面にそれぞれ順に対向し、電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値

50

高さ位置の $X-Z$ 平面における $2D$ マップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第2の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースし、対電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における $2D$ マップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第2の高さ端面プロット C_{EVP2} をトレースし、ここで、第2の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP2} 及び C_{EVP2} の間の分離距離の絶対値 S_{Z2} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z2}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面の間において、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置される、二次電池。

【0310】

実施形態2.

実施形態1に記載の二次電池であって、積層された一連の層は、横方向に互いに間隔を開けて配置された対向する端面を有する層を含み、層の複数の対向する端面は、対向する端面における層の伸長及び収縮により、横方向に配向された塑性変形及び変形を示す、二次電池。

【0311】

実施形態3.

実施形態1-2のうちいずれかに記載の二次電池であって、各単位セル内において、
c. 電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面は電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の $2D$ マップは、第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向横端面の中央値横位置の $2D$ マップは、第1の横端面プロット C_{ETP1} をトレースする。ここで、対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP1} 、 C_{ETP1} 間の横方向計測された分離距離 S_{X1} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第1の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内向きに配置されており、

d. 電極活物質層及び負電極活物質層の第2の横端面は電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面と対向し、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の $2D$ マップは、第2の横端面プロット E_{TP2} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の $2D$ マップは、第2の横端面プロット C_{ETP2} をトレースする。ここで、第2の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP2} 、 C_{ETP2} 間の横方向計測された分離距離 S_{X2} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第2の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第2の横端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内向きに配置されている、

二次電池。

【0312】

充電状態及び放電状態の間をサイクルするための二次電池であって、電池筐体と、電極アセンブリと、電池筐体内のキャリアイオンと、及び、電極制約のセットとを含み、ここで、

(a) 電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに分離された第1の縦端面及び第2の縦端面と、電極アセンブリ縦軸 A_{EA} を囲むとともに第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、側面は、縦軸の両側に対向する第1及び第2の領域を有するとともに、縦軸に直交する第1の方向に分離され、電極アセンブリは、横方向測定された最大幅 W_{EA} と、側面により境界づけられかつ横方向計測された最大長 L_{EA} と、側面に境界づけられかつ高さ方向測定された最大高 H_{EA} とを有し、ここで、最大長 L_{EA} 及び／又は最大幅

10

20

30

40

50

W_{EA} は最大高さ H_{EA} よりも大きく、

(b) 電極アセンブリは、電極アセンブリ内の縦軸に並行な積層方向に積層された一連の層を含み、積層された一連の層は、負電極活物質層の集合と、負電極集電層の集合と、セパレータ材料層の集合と、正電極活物質層の集合と、及び、正電極集電材料層の集合とを含み、ここで、

(i) 負電極活物質層の集合の各々は、負電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、負電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

10

(ii) 正電極材料層の集合の各々は、正電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、正電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、正電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(iii) 負電極活物質層の集合の各々は、少なくとも60質量%の負電極活物質と、20質量%未満の導電助剤と、及びバインダー材料とを含む粒子状材料を含み、

(c) 電極制約のセットは、一次制約系と二次制約系とを含み、

20

(i) 一次制約系は、第1及び第2の成長制約と、少なくとも1つの一次接続メンバとを含み、第1及び第2の一次成長制約は縦方向に互いに分離され、一次接続メンバは、縦方向の電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に制約する第1及び第2の一次成長制約を接続し、並びに、

(ii) 二次制約系は、第2の方向に分離されかつ積層された一連の層の各々により接続された第1及び第2の二次成長制約を含み、ここで、二次制約系は、二次電池のサイクル時に電極アセンブリの第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は縦方向と直交し、並びに、

(iii) 一次制約系は、互いに垂直かつ積層方向に垂直な2つの方向の各々で、電極アセンブリに維持される圧力を超過する、電極アセンブリへの積層方向の圧力を維持し、

30

(d) 積層された一連の層は、横方向に互いに間隔を開けて配置された対向する端面を有する層を含み、層の複数の対向する端面は、対向する端面における層の伸長及び収縮により、横方向に配向された塑性変形及び変形を示す、

二次電池。

【0313】

実施形態5。

実施形態4に記載の二次電池であって、

電極アセンブリは、ユニットセルの集合を含み、ここで、各ユニットセルは、電極集電体層の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、キャリアイオンに対してイオン透過性であるセパレータの集合のメンバと、電極活物質の集合の第1のメンバと、対電極集電体の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、及び、対電極活物質層の集合の第1のメンバとを含み、ここで、(aa) 電極活物質層の集合の第1のメンバは、セパレータの第1の側に近接し、対電極材料層の集合の第1のメンバは、セパレータの反対側の第2の側に近接し、(bb) セパレータは、電極活物質層の集合の第1のメンバを、対電極活物質層の集合の第1のメンバから電氣的に分離させ、電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中において、電極活物質層の集合の第1のメンバと対電極活物質層の集合の第1のメンバとの間では、このような各ユニットセルのセパレータを介して、主として、キャリアイオンが交換され、(cc) 各ユニットセル内において、

40

a. 電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$

50

平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースし、対電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第1の高さ端面プロット CE_{VP1} をトレースし、ここで、第1の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP1} 及び CE_{VP1} の間の分離距離の絶対値 S_{Z1} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面の間において、対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内側に配置され、電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面にそれぞれ順に対向し、電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第2の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースし、対電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第2の高さ端面プロット CE_{VP2} をトレースし、ここで、第2の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP2} 及び CE_{VP2} の間の分離距離の絶対値 S_{Z2} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z2}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面の間において、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置される、

二次電池。

【0314】

実施形態6.

実施形態4-5のうちいずれかに記載の二次電池であって、各単位セル内において、

c. 電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面は電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の2Dマップは、第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第1の横端面プロット CE_{TP1} をトレースする。ここで、対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP1} 、 CE_{TP1} 間の横方向計測された分離距離 S_{X1} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第1の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内向きに配置されており、

d. 電極活物質層及び負電極活物質層の第2の横端面は電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面と対向し、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット E_{TP2} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット CE_{TP2} をトレースする。ここで、第2の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP2} 、 CE_{TP2} 間の横方向計測された分離距離 S_{X2} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第2の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第2の横端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内向きに配置されている、

二次電池。

【0315】

実施形態7.

充電状態及び放電状態の間をサイクルするための二次電池であって、電池筐体と、電極アセンブリと、電池筐体内のリチウムイオンと、及び、電極制約のセットとを含み、ここで、

(a) 電極アセンブリは、仮想の三次元デカルト座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸にそれぞれ対応する、互いに垂直な横軸、縦軸、及び高さ軸と、互いに分離された第1の縦端面及び第

2の縦端面と、電極アセンブリ縦軸 A_{EA} を囲むとともに第1及び第2の縦端面を接続する側面と、を有し、側面は、縦軸の両側に対向する第1及び第2の領域を有するとともに、縦軸に直交する第1の方向に分離され、電極アセンブリは、横方向測定された最大幅 W_{EA} と、側面により境界づけられかつ横方向計測された最大長 L_{EA} と、側面に境界づけられかつ高さ方向測定された最大高さ H_{EA} とを有し、ここで、最大長 L_{EA} 及び最大幅 W_{EA} の最大高さ H_{EA} に対する比率は少なくとも2:1であり、

(b) 電極アセンブリは、電極アセンブリ内の縦軸に並行な積層方向に積層された一連の層を含み、積層された一連の層は、負電極活物質層の集合と、負電極集電層の集合と、セパレータ材料層の集合と、正電極活物質層の集合と、及び、正電極集電材料層の集合とを含み、ここで、

(i) 負電極活物質層の集合の各々は、負電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、負電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、負電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した負電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(ii) 正電極活物質層の集合の各々は、正電極活物質層の対向する第1及び第2の横端面の間において横方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する長さ L_E と、正電極活物質層の対向する第1及び第2の高さ端面の間において高さ方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する高さ H_E と、並びに、正電極活物質層の対向する第1及び第2の対向する面の間において縦方向測定した正電極活物質層のフェレット径に対応する W_E とを有し、ここで、 H_E 及び W_E に対する L_E の比率は、少なくとも5:1であり、

(iii) 負電極活物質層の集合の各々は、少なくとも60質量%の負電極活物質と、20質量%未満の導電助剤と、及びバインダー材料とを含む粒子状材料を含み、負電極活物質はシリコン含有材料を含み、

(c) 電極制約のセットは、一次制約系と二次制約系とを含み、

(i) 一次制約系は、第1及び第2の成長制約と、少なくとも1つの一次接続メンバとを含み、第1及び第2の一次成長制約は縦方向に互いに分離され、一次接続メンバは、縦方向の電極アセンブリの成長を少なくとも部分的に制約する第1及び第2の一次成長制約を接続し、並びに、

(ii) 二次制約系は、第2の方向に分離されかつ積層された一連の層の各々により接続された第1及び第2の二次成長制約を含み、ここで、二次制約系は、二次電池のサイクル時に電極アセンブリの第2の方向への成長を少なくとも部分的に制約し、第2の方向は縦方向と直交し、並びに、

(iii) 一次制約系は、互いに垂直かつ積層方向に垂直な2つの方向の各々で、電極アセンブリに維持される圧力を超過する、電極アセンブリへの積層方向の圧力を維持し、

(d) 電極アセンブリは、ユニットセルの集合を含み、ここで、各ユニットセルは、電極集電体層の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、キャリアイオンに対してイオン透過性であるセパレータの集合のメンバと、電極活物質の集合の第1のメンバと、対電極集電体の集合の第1のメンバのユニットセル部分と、及び、対電極活物質層の集合の第1のメンバとを含み、ここで、(aa) 電極活物質層の集合の第1のメンバは、セパレータの第1の側に近接し、対電極材料層の集合の第1のメンバは、セパレータの反対側の第2の側に近接し、(bb) セパレータは、電極活物質層の集合の第1のメンバを、対電極活物質層の集合の第1のメンバから電氣的に分離させ、電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中において、電極活物質層の集合の第1のメンバと対電極活物質層の集合の第1のメンバとの間では、このような各ユニットセルのセパレータを介して、主として、キャリアイオンが交換され、(cc) 各ユニットセル内において、

c. 電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面は電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向高さ端面の中央値高さ位置の

10

20

30

40

50

2Dマップは、第1の横端面プロット E_{TP1} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第1の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第1の横端面プロット $C_{E_{TP1}}$ をトレースする。ここで、対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP1} 、 $C_{E_{TP1}}$ 間の横方向計測された分離距離 S_{X1} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X1}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第1の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第1の横端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内向きに配置されており、

d. 電極活物質層及び負電極活物質層の第2の横端面は電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層及び負電極活物質層の第1の横端面と対向し、電極活物質層の高さ H_E に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット E_{TP2} をトレースし、対電極活物質層の高さ H_C に沿った $X-Z$ 平面内の第2の対向横端面の中央値横位置の2Dマップは、第2の横端面プロット $C_{E_{TP2}}$ をトレースする。ここで、第2の対電極活物質層の高さ H_C の少なくとも60%について、(i)プロット E_{TP2} 、 $C_{E_{TP2}}$ 間の横方向計測された分離距離 S_{X2} の絶対値は $1000\mu m \geq |S_{X2}| \geq 5\mu m$ であり、(ii)電極活物質層の第2の横端面と対電極活物質層の第1の横端面との間と同様に、対電極活物質層の第2の横端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内向きに配置されている、

二次電池。

【0316】

実施形態8。

実施形態7に記載の二次電池であって、積層された一連の層は、横方向に互いに間隔を開けて配置された対向する端面を有する層を含み、層の複数の対向する端面は、対向する端面における層の伸長及び収縮により、横方向に配向された塑性変形及び変形を示す、

二次電池。

【0317】

実施形態9。

実施形態7-8のうちいずれかに記載の二次電池であって、各単位セル内において、

a. 電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあり、電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第1の高さ端面プロット E_{VP1} をトレースし、対電極活物質層の第1の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第1の高さ端面プロット $C_{E_{VP1}}$ をトレースし、ここで、第1の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP1} 及び $C_{E_{VP1}}$ の間の分離距離の絶対値 S_{Z1} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z1}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面の間において、対電極活物質層の第1の高さ端面は、電極活物質層の第1の高さ端面に対して内側に配置され、

b. 電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極アセンブリの同じ側にあるとともに、電極活物質層の第1の高さ端面及び対電極活物質層の第1の高さ端面にそれぞれ順に対向し、電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、電極活物質層の長さ L_E に沿い、第2の高さ端面プロット E_{VP2} をトレースし、対電極活物質層の第2の対向する高さ端面の中央値高さ位置の $X-Z$ 平面における2Dマップは、対電極活物質層の長さ L_C に沿い、第2の高さ端面プロット $C_{E_{VP2}}$ をトレースし、ここで、第2の対電極活物質層の長さ L_C の少なくとも60%において、(i)高さ方向計測されたプロット E_{VP2} 及び $C_{E_{VP2}}$ の間の分離距離の絶対値 S_{Z2} は、 $1000\mu m \geq |S_{Z2}| \geq 5\mu m$ を満たし、(ii)電極活物質層の第2の高さ端面及び対電極活物質層の第2の高さ端面の間において、対電極活物質層の第2の高さ端面は、電極活物質層の第2の高さ端面に対して内側に配置される、

二次電池。

【0318】

実施形態10.

負電極活物質層のメンバは、少なくとも80質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む、実施形態1-9のうちいずれかに記載の二次電池。

【0319】

実施形態11.

負電極活物質層のメンバは、少なくとも90質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む、実施形態1-10のうちいずれかに記載の二次電池。

【0320】

実施形態12.

負電極活物質層のメンバは、少なくとも95質量%の負電極活物質を有する微粒子材料を含む、実施形態1-11のうちいずれかに記載の二次電池。

【0321】

実施形態13.

ケイ素含有材料を含む電極活物質は、ケイ素、酸化ケイ素、及びそれらの混合物のうちの少なくとも1つを含む、実施形態1-12のうちいずれかに記載の二次電池。

【0322】

実施形態14.

負電極活物質層のメンバは、10質量%未満の導電性助剤を含む、実施形態1-13のうちいずれかに記載の二次電池。

【0323】

実施形態15.

負電極活物質層の構成要素は、銅、ニッケル及び炭素のうちの少なくとも1つを含む導電性助剤を含む、実施形態1-14のうちいずれかに記載の二次電池。

【0324】

実施形態16.

正電極活物質層の構成要素は、リチウムを含む遷移金属酸化物材料と、コバルト及びニッケルの少なくとも1つとを含む正電極活物質を含む、実施形態1-15のうちいずれかに記載の二次電池。

【0325】

実施形態17.

第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電層136の集合のメンバからなる層の一連の積層のメンバによって互いに接続されている、実施形態1-16のうちいずれかに記載の二次電池。

【0326】

実施形態18.

第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電体層136の集合のメンバからなる一連の積層の層のメンバによって互いに接続されており、負電極集電体層136は、その一部である電極構造110のための負電極バックボーン層を含む、実施形態1-17のうちいずれかに記載の二次電池。

【0327】

実施形態19.

第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電体層136の集合のメンバからなる一連の積層の層のメンバによって互いに接続されており、負電極集電体層の各メンバについて、負電極集電体層のメンバは、その表面に配置された負電極活物質層の集合のメンバを有する、

実施形態1-18のうちいずれかに記載の二次電池。

【0328】

実施形態20.

第2の方向に分離された第1及び第2の二次成長制約は、負電極集電体層136の集合

10

20

30

40

50

のメンバからなる一連の積層の層のメンバによって互いに接続されており、負電極集電体層の集合のメンバは、一連の積層においてその両方の対向面に配置された負電極活物質層のメンバを含む、

実施形態 1－19 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0329】

実施形態 21.

負電極集電体層の集合のメンバは、銅及びステンレス鋼のうちの 1 つ以上を含む、実施形態 1－20 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0330】

実施形態 22.

負電極集電体の集合のメンバは、積層方向計測された 20 ミクロン未満 2 ミクロン以上の厚さを有する、実施形態 1－21 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0331】

実施形態 23.

負電極集電体層の集合のメンバは、積層方向計測された 6～18 ミクロンの範囲内の厚さを有する、実施形態 1－22 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0332】

実施形態 24.

負電極集電体層の集合のメンバは、積層方向計測された 8～14 ミクロンの範囲内の厚さを有する、実施形態 1－23 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0333】

実施形態 25.

第 1 及び第 2 の二次成長制約は、第 2 の方向に分離された第 1 及び第 2 の二次成長制約は、正電極集電層の集合のメンバを有する一連の積層のメンバによって互いに接続される、実施形態 1－24 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0334】

実施形態 26.

正電極集電体層のメンバはアルミニウムを含む、実施形態 1－25 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0335】

実施形態 27.

正電極集電体層のメンバは、積層方向計測された 20 ミクロン未満 2 ミクロン以上の厚さを有する、実施形態 1－26 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0336】

実施形態 28.

正電極集電体層のメンバは、積層方向計測された 6－18 ミクロンの範囲内の厚さを有する、実施形態 1－27 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0337】

実施形態 29.

正電極集電体層のメンバは、積層方向計測された 8－14 ミクロンの範囲内の厚さを有する、実施形態 1－28 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0338】

実施形態 30.

第 2 の方向に離間された第 1 及び第 2 の二次成長制約は、負電極活物質層の集合のメンバを含む一連の積層のメンバにより互いに接続される、実施形態 1－29 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0339】

実施形態 31.

第 2 の方向に離間された第 1 及び第 2 の二次成長制約は、正電極活物質層の集合のメンバを含む一連の積層のメンバにより互いに接続される、実施形態 1－30 のうちいずれか

10

20

30

40

50

に記載の二次電池。

【0340】

実施形態32.

第2の方向に離間された第1及び第2の二次成長制約は、セパレータ材料層の集合のメンバを含む一連の積層のメンバにより互いに接続される、実施形態1-31のうちいずれかに記載の二次電池。

【0341】

実施形態33.

筐体は密閉されている、実施形態1-32のうちいずれかに記載の二次電池。

【0342】

実施形態34.

制約のセットは電池筐体内にある、実施形態1-33のうちいずれかに記載の二次電池。

【0343】

実施形態35.

一次制約系は電池筐体内にある、実施形態1-34のうちいずれかに記載の二次電池。

【0344】

実施形態36.

二次制約系は電池筐体内にある、実施形態1-35のうちいずれかに記載の二次電池。

【0345】

実施形態37.

第1及び第2の三次成長制約を含む三次成長制約系をさらに含み、ここで、第1及び第2の三次成長制約は縦方向及び第2の方向に垂直な第3の方向に互いに離間されており、少なくとも1つの三次接続メンバが第1及び第2の三次成長制約を接続して、電極アセンブリの第3の方向の成長を少なくとも部分的に抑制する、

実施形態1-36のうちいずれかに記載の二次電池。

【0346】

実施形態38.

三次成長制約系は電池筐体内にある、実施形態1-37のうちいずれかに記載の二次電池。

【0347】

実施形態39.

セパレータ材料層は、高分子電解質を含むか、又は液体電解質を通過させる多孔性セパレータ材料を含む、実施形態1-38のうちいずれかに記載の二次電池。

【0348】

実施形態40.

電極活物質は、シリコン含有粒子電極活物質の成形体を含む、実施形態1-39のうちいずれかに記載の二次電池。

【0349】

実施形態41.

負電極集電体層の集合のメンバは、銅含有層を含み、一連の積層800は、負電極集電体層の集合のメンバを、負電極集電体層の対向する側に配置された負電極活物質層のメンバと積層された順序で含む、

実施形態1-40のうちいずれかに記載の二次電池。

【0350】

実施形態42.

負電極活物質層の集合のメンバは、粒子シリコン含有材料の成形体を含み、当該メンバは、負電極バックボーンを形成する銅含有負電極集電体の対向側に配置される、実施形態1-41のうちいずれかに記載の二次電池。

【0351】

実施形態43.

10

20

30

40

50

電極活物質層の集合のメンバは、少なくとも 2.5 mm である高さ寸法 H_E を有する、実施形態 1-42 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0352】

実施形態 44.

電極活物質層の集合のメンバは、少なくとも 3 mm である高さ寸法 H_E を有する、実施形態 1-43 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0353】

実施形態 45.

負電極集電体は、導電性バスバーに溶接された両縦端を有する、実施形態 1-44 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0354】

実施形態 46.

正電極集電体の集合のメンバはアルミニウム含有材料を含む、実施形態 1-45 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0355】

実施形態 47.

一次制約系は電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 20 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 20% 未満となるようにする、ここで、二次電池の充電状態は二次電池の定格容量の少なくとも 75% であり、二次電池の放電状態は二次電池の定格容量の 25% 未満である、

実施形態 1-46 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0356】

実施形態 48.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 50 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 20% 未満となるようにする、実施形態 1-47 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0357】

実施形態 49.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 100 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 20% 未満となるようにする、実施形態 1-48 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0358】

実施形態 50.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 10 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 10% 未満となるようにする、実施形態 1-49 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0359】

実施形態 51.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 30 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 10% 未満となるようにする、実施形態 1-50 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0360】

実施形態 52.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 80 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 10% 未満となるようにする、実施形態 1-51 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0361】

実施形態 53.

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 5 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 5% 未満となるよ

10

20

30

40

50

うにする、実施形態 1-52 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0362】

実施形態 54 .

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 20 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 5 %未満となるようにする、実施形態 1-53 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0363】

実施形態 55 .

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 50 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 5 %未満となるようにする、実施形態 1-54 のうちいずれかに記載の二次電池。

10

【0364】

実施形態 56 .

一次制約アレイは、電極アセンブリの縦方向の成長を抑制して、二次電池の 1 サイクル毎の電極アセンブリの縦方向のフェレット径の増加が 1 %未満となるようにする、実施形態 1-55 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0365】

実施形態 57 .

二次制約系は、電極アセンブリの第 2 の方向の成長を抑制して、二次電池の 20 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの第 2 の方向のフェレット径の増加が 20 %未満となるようにする、

20

実施形態 1-56 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0366】

実施形態 58 .

二次制約系は、電極アセンブリの第 2 の方向の成長を抑制して、二次電池の 5 回の連続するサイクルにわたる電極アセンブリの第 2 の方向のフェレット径の増加が 5 %未満となるようにする、

実施形態 1-57 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0367】

実施形態 59 .

二次制約系は、電極アセンブリの第 2 の方向の成長を抑制して、二次電池の 1 サイクル毎の電極アセンブリの第 2 の方向のフェレット径の増加が 1 %未満となるようにする、実施形態 1-58 のうちいずれかに記載の二次電池。

30

【0368】

実施形態 60 .

制約のセットは、二次電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中における電極アセンブリからの 2 MPa 以上の圧力に抵抗することが可能な、実施形態 1-59 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0369】

実施形態 61 .

制約のセットは、二次電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中における電極アセンブリからの 5 MPa 以上の圧力に抵抗することが可能な、実施形態 1-60 のうちいずれかに記載の二次電池。

40

【0370】

実施形態 62 .

制約のセットは、二次電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中における電極アセンブリからの 7 MPa 以上の圧力に抵抗することが可能な、実施形態 1-61 のうちいずれかに記載の二次電池。

【0371】

実施形態 63 .

50

制約のセットは、二次電池の充電状態及び放電状態の間のサイクル中における電極アセンブリからの10MPa以上の圧力に抵抗することが可能な、実施形態1-62のうちいずれかに記載の二次電池。

【0372】

実施形態64.

電極制約のセットの一部は、電極アセンブリ及び電極制約の外部部分の合計総体積の80%以下を占める、実施形態1-63のうちいずれかに記載の二次電池。

【0373】

実施形態65.

一次成長制約系の電極アセンブリの外部にある部分は、電極アセンブリ及び一次成長制約系の外部部分の合計総体積の40%以下を占める、実施形態1-64のうちいずれかに記載の二次電池。

【0374】

実施形態66.

二次成長制約系の電極アセンブリの外部にある部分は、電極アセンブリ及び二次成長制約系の外部部分の合計総体積の40%以下を占める、実施形態1-65のうちいずれかに記載の二次電池。

【0375】

[参照による組み込み]

下に記載された項目を含む、本明細書に記載されたすべての刊行物及び特許は、それぞれの個々の刊行物又は特許が具体的かつ個別に参照により組み込まれているかのように、すべての目的のために参照によりその全体が本明細書に組み込まれている。矛盾が起きる場合には、本明細書に記載された任意の定義を含む本願が支配する。

【0376】

[等価物]

特定の実施形態が議論されているが、上記の明細書は例示的なものであり、限定的なものではない。多くの変形は、本明細書を検討すると、当技術分野に熟練した当業者には明らかになる。実施形態の全範囲は、特許請求の範囲（等価物の全範囲を含む）及び明細書（そのような変形を含む）への参照により定義されるべきである。

【0377】

別段の記載がない限り、本明細書及び特許請求の範囲で使用されている成分の量、反応条件などを表すすべての数値は、すべての場合において"約"という用語によって修飾されていると理解されるべきである。従って、そうでないと明示されない限り、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載されている数値パラメータは、得られようとする所望の特性に応じて変化し得る近似値である。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

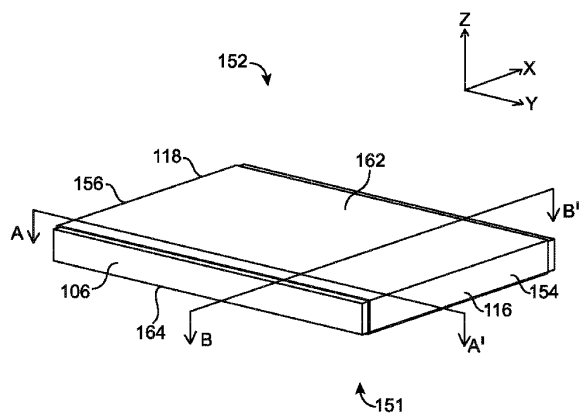


FIG. 1A

【図 1 B】

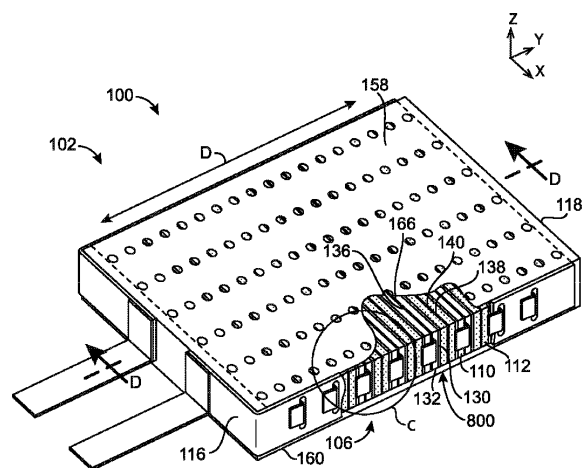


FIG. 1B

【図 1 C】

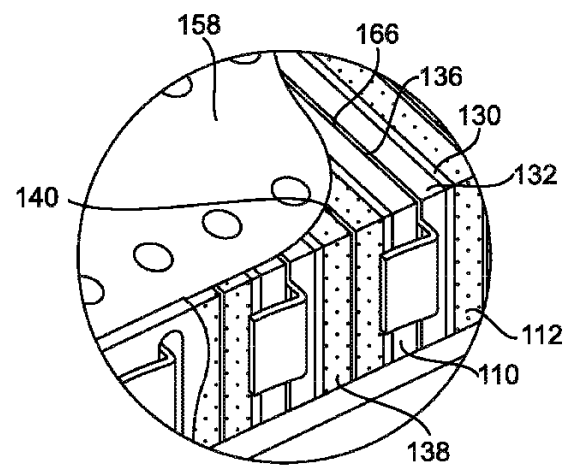


FIG. 1C

【図 1 D】

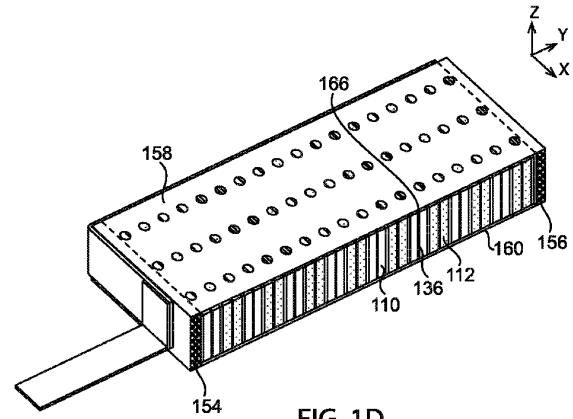


FIG. 1D

10

20

30

40

50

【図 2 A】

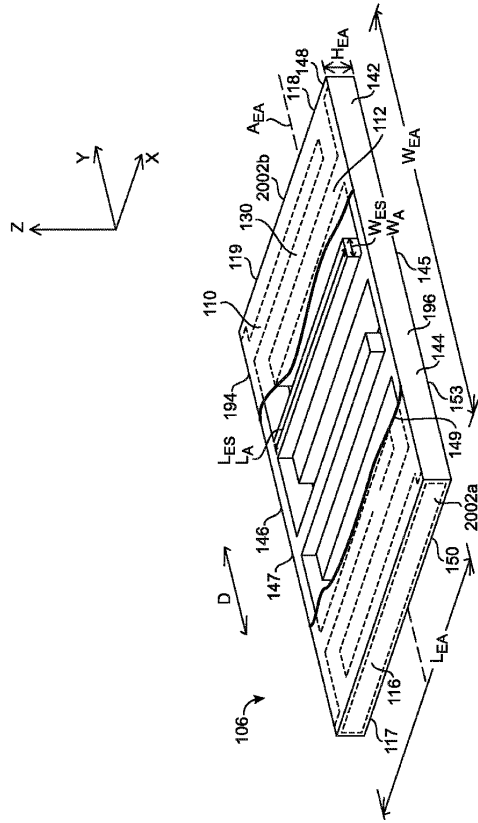


FIG. 2A

【図 2 B】

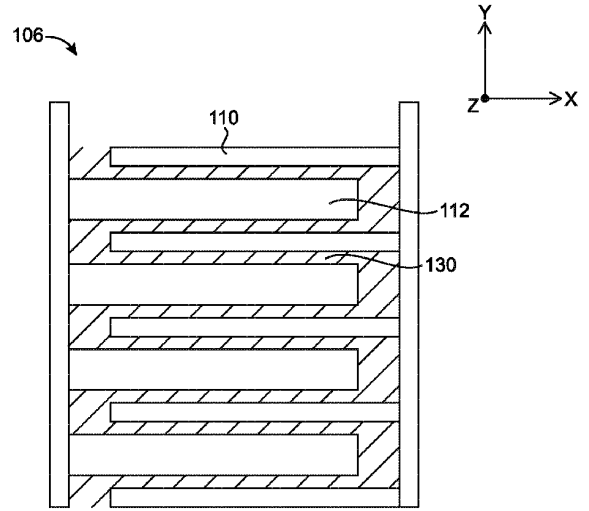


FIG. 2B

【図 2 C】

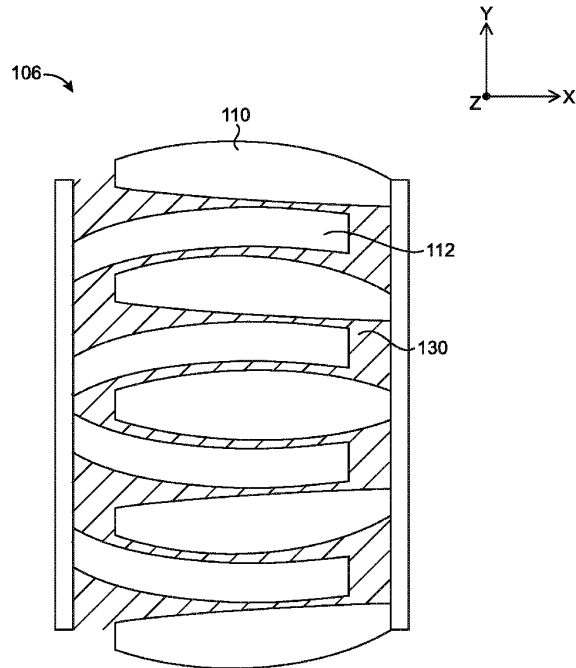


FIG. 2C

【図 3 A】

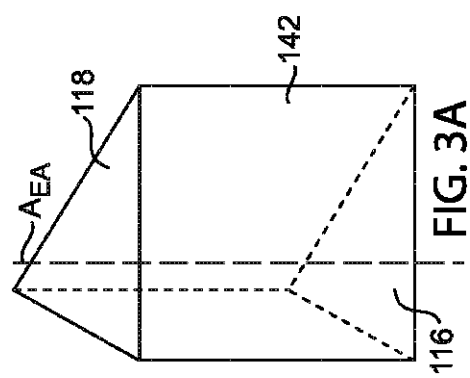


FIG. 3A

10

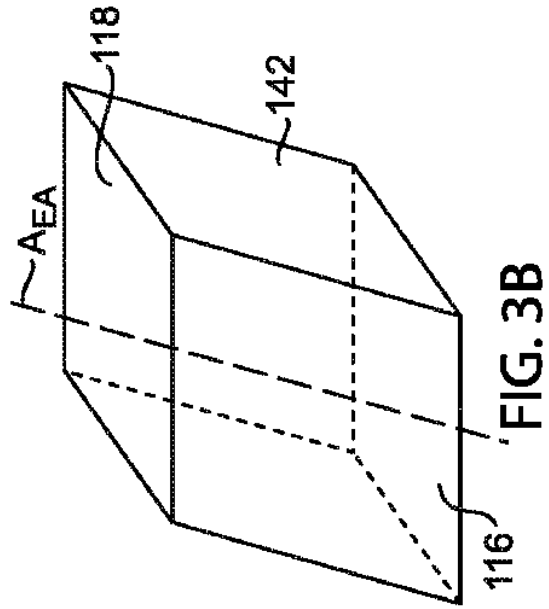
20

30

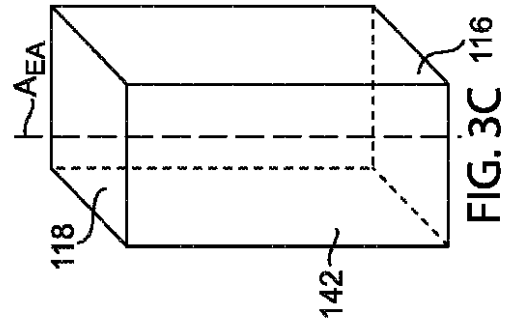
40

50

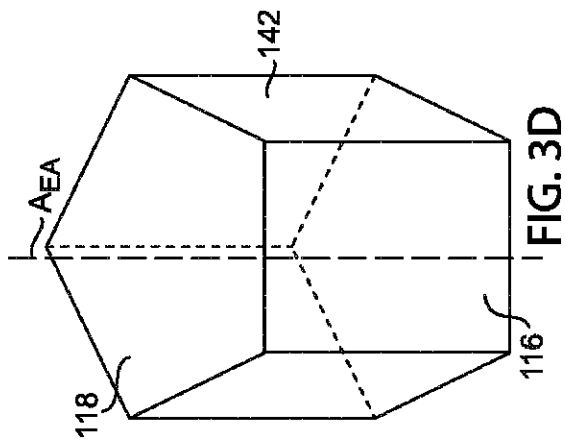
【図 3 B】



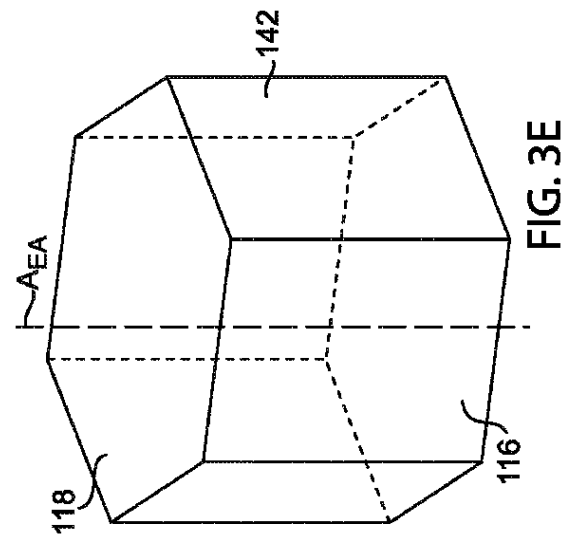
【図 3 C】



【図 3 D】



【図 3 E】



10

20

30

40

50

【図 3 F】

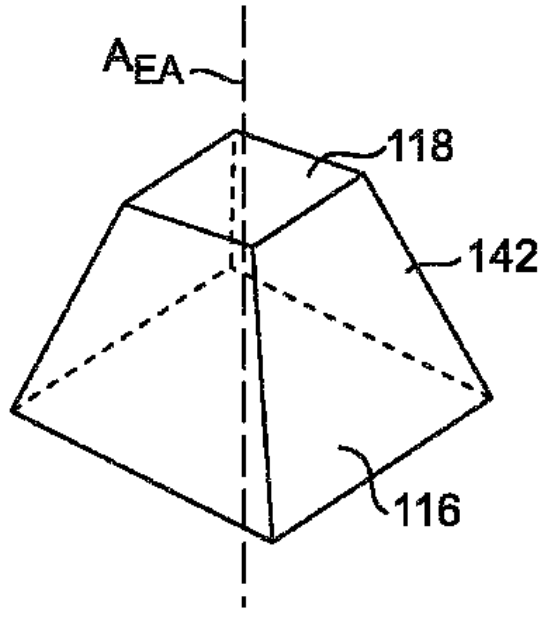


FIG. 3F

【図 3 G】

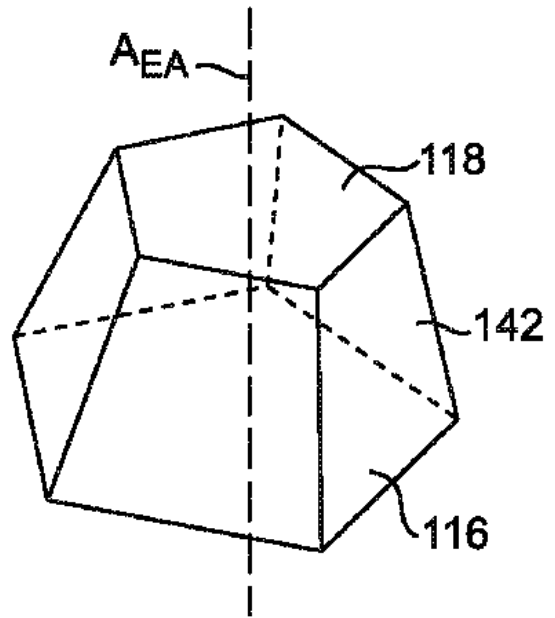


FIG. 3G

【図 3 H】

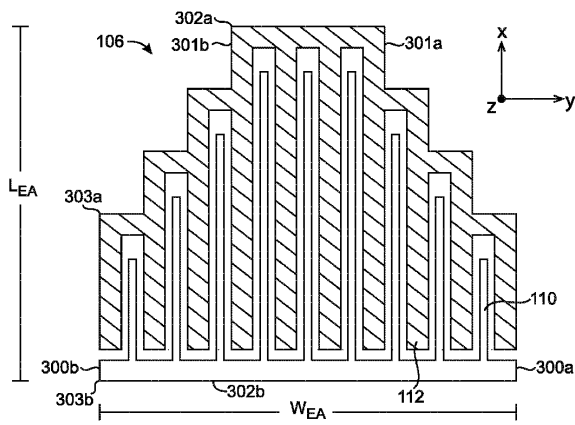


FIG. 3H

【図 4 A】

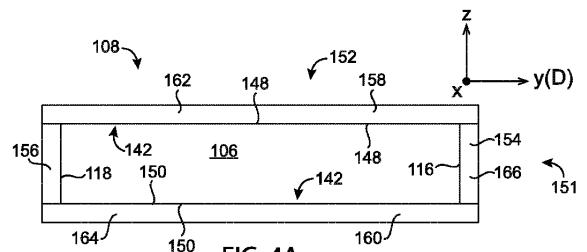


FIG. 4A

10

20

30

40

50

【図 4 B】

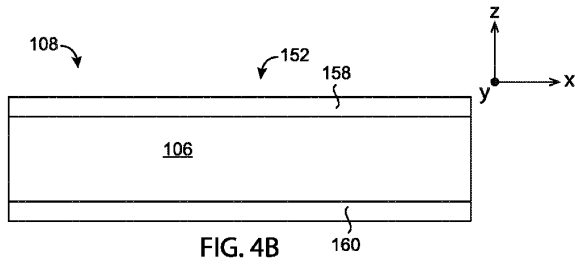


FIG. 4B

【図 4 C】

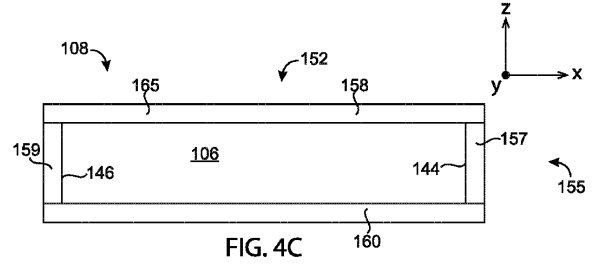


FIG. 4C

【図 5】

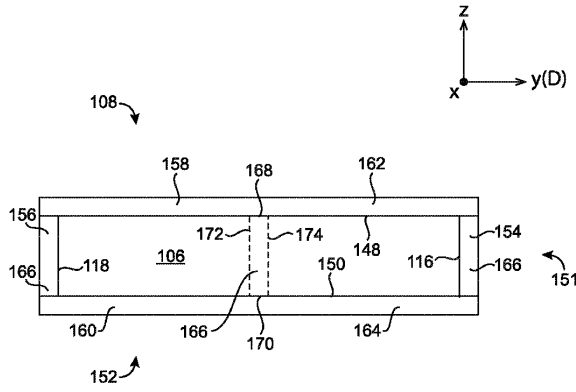


FIG. 5

【図 6 A】

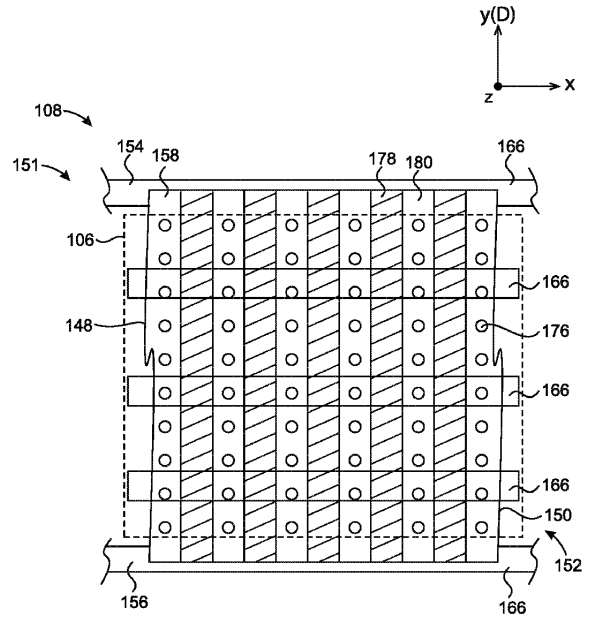


FIG. 6A

10

20

30

40

50

【図 6 B】

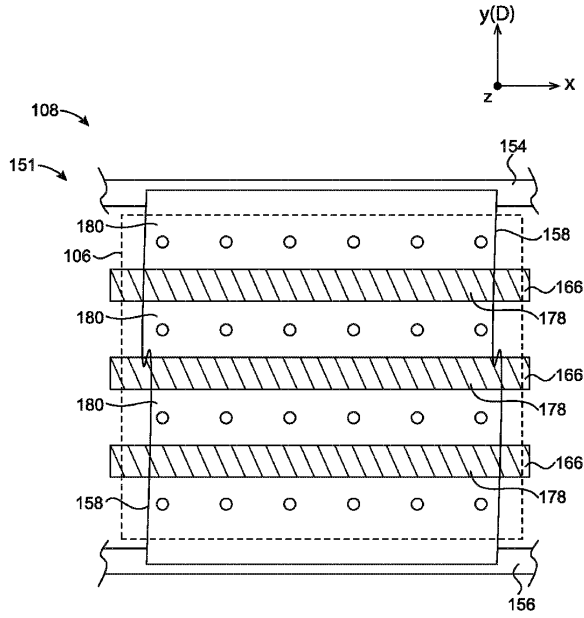


FIG. 6B

【図 7】

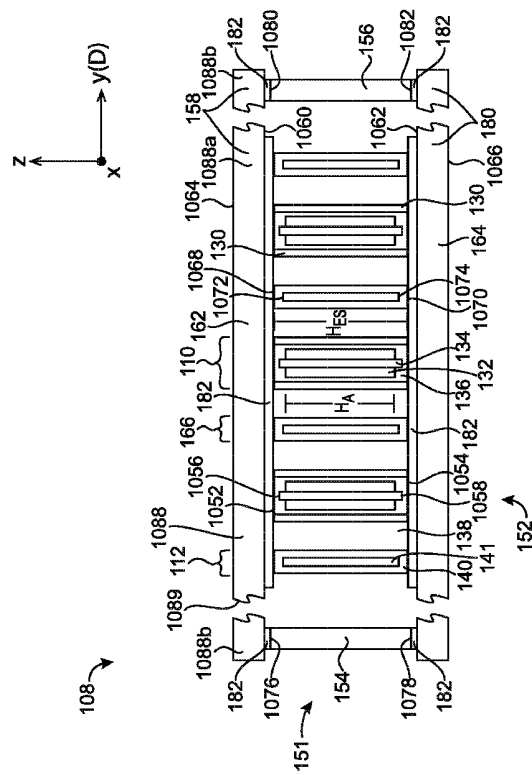


FIG. 7

【図 8 A】

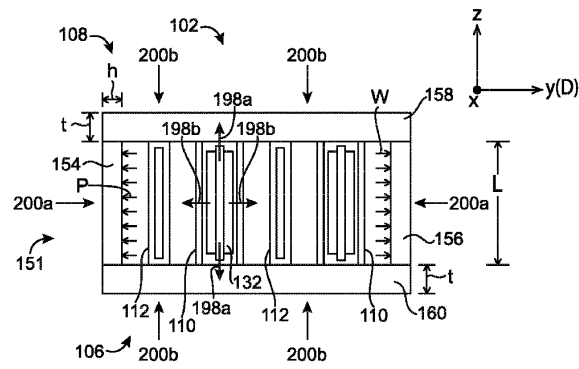


FIG. 8A

【図 8 B】

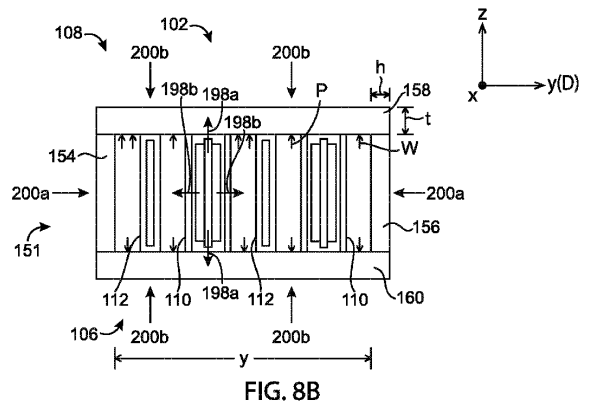


FIG. 8B

10

20

30

40

50

【図 9 A】

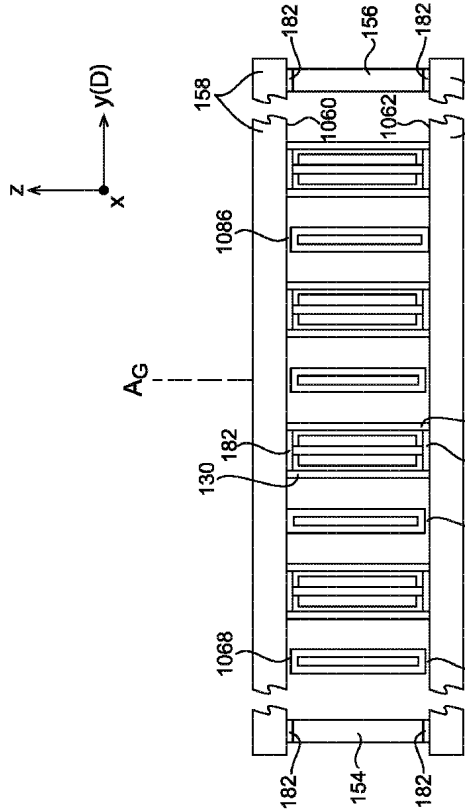


FIG. 9A

【図 9 B】

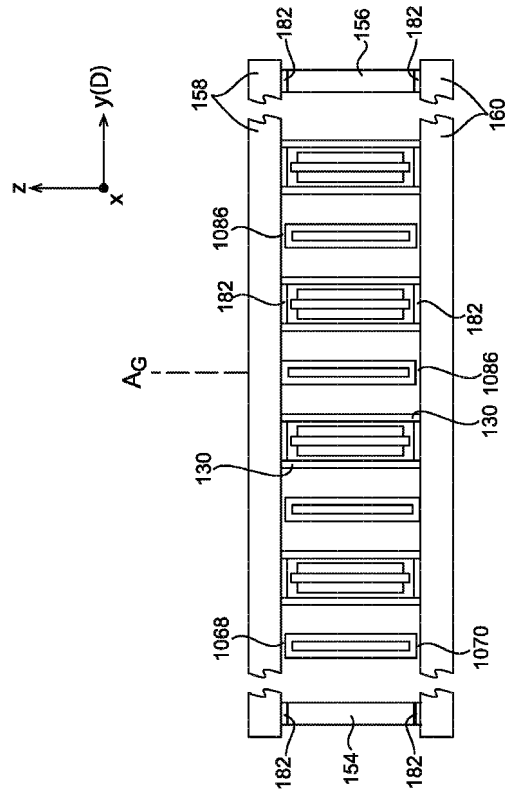


FIG. 9B

【図 10】

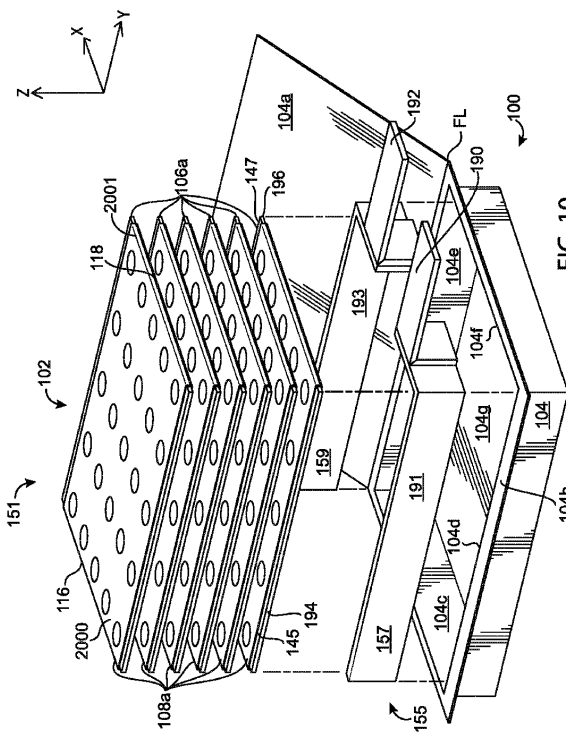


FIG. 10

【図 11 A】

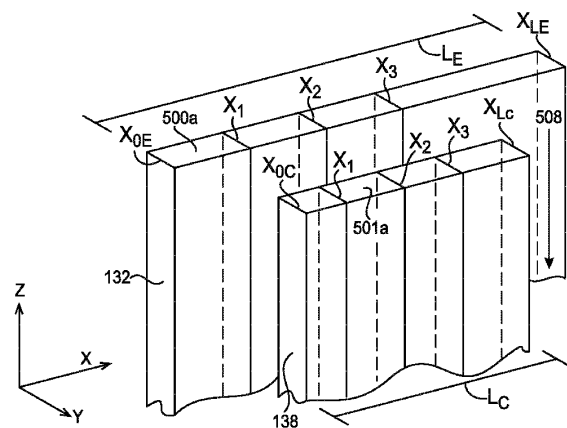


FIG. 11A

10

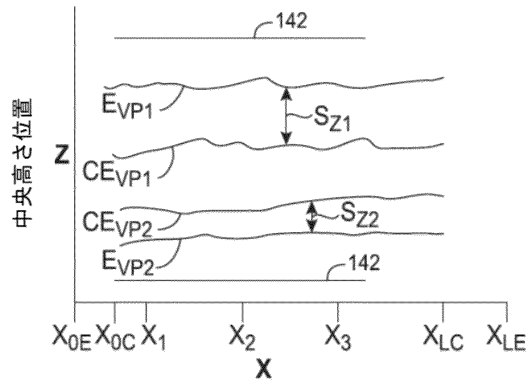
20

30

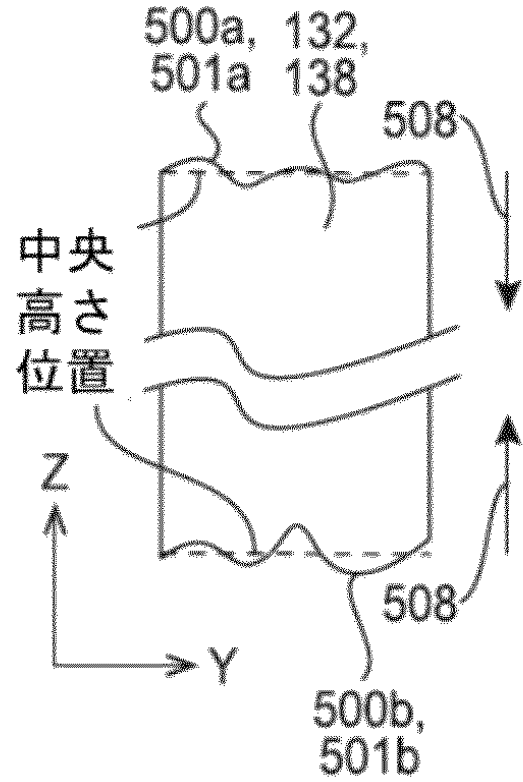
40

50

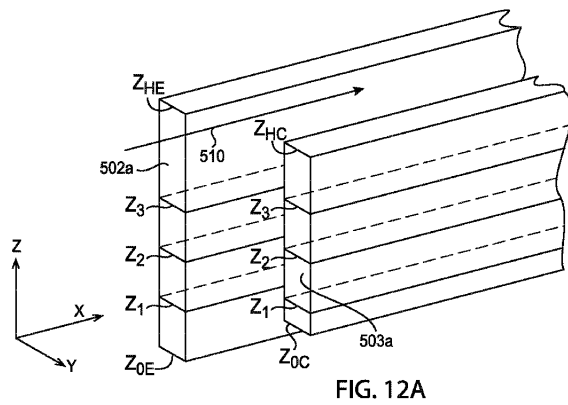
【図 1 1 B】



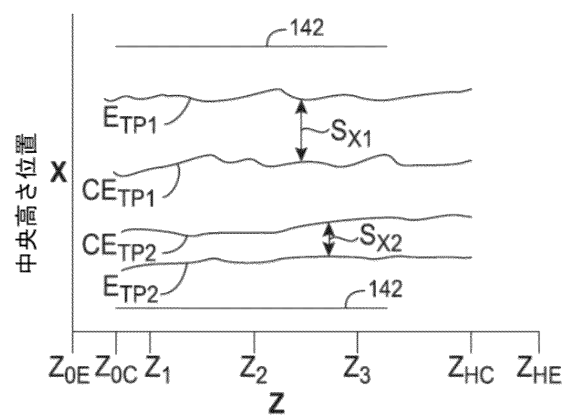
【図 1 1 C】



【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



10

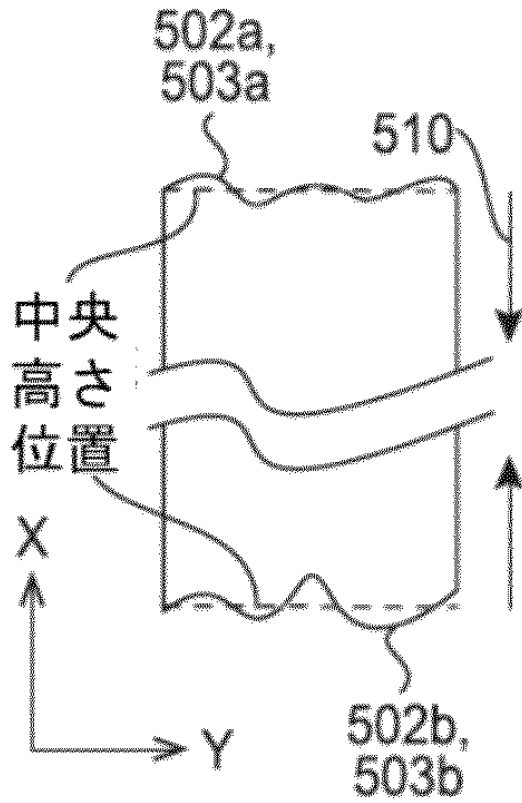
20

30

40

50

【図 1 2 C】



【図 1 3 A】

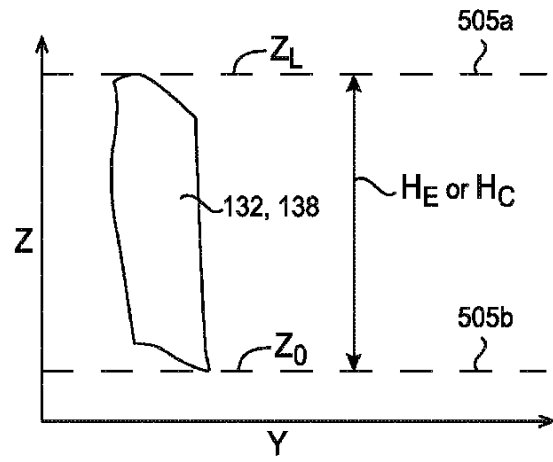


FIG. 13A

【図 1 3 B】

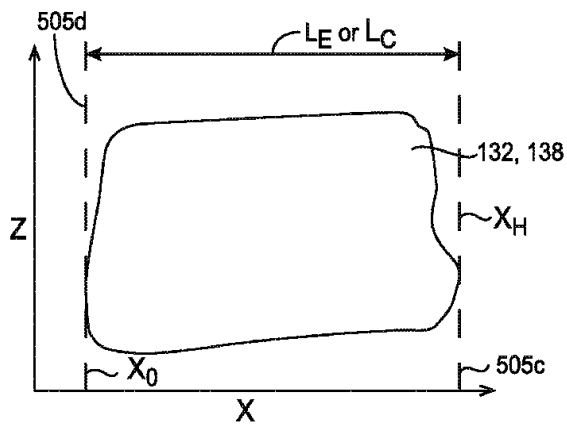


FIG. 13B

【図 1 4 A】

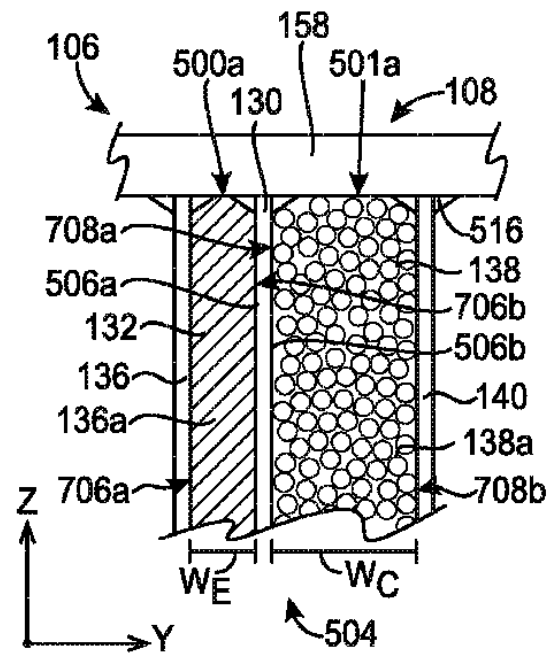


FIG. 14A

10

20

30

40

50

【図 14 B】

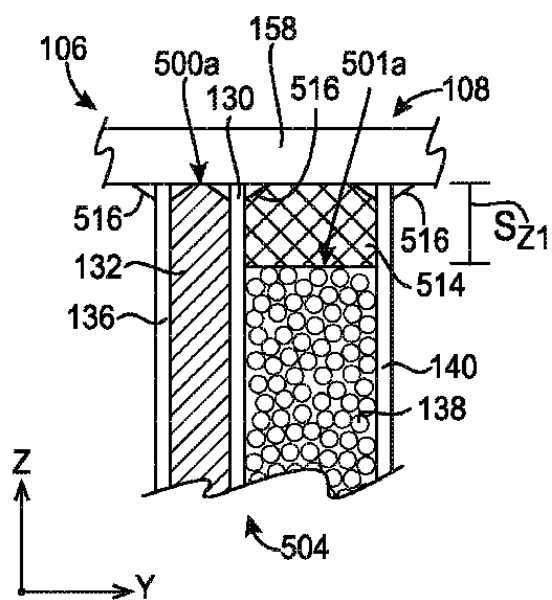


FIG. 14B

【図 14 C】

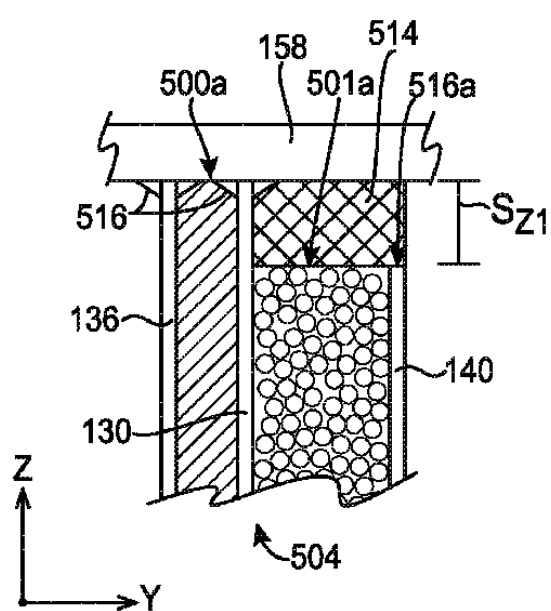


FIG. 14C

【図 14 D】

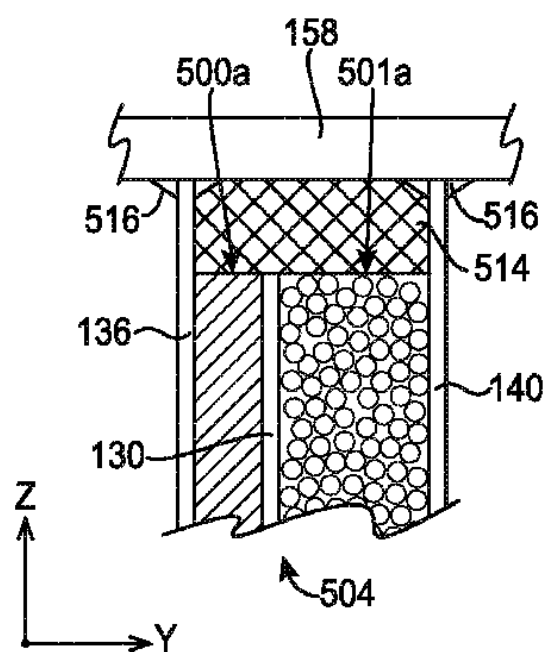


FIG. 14D

【図 14 E】

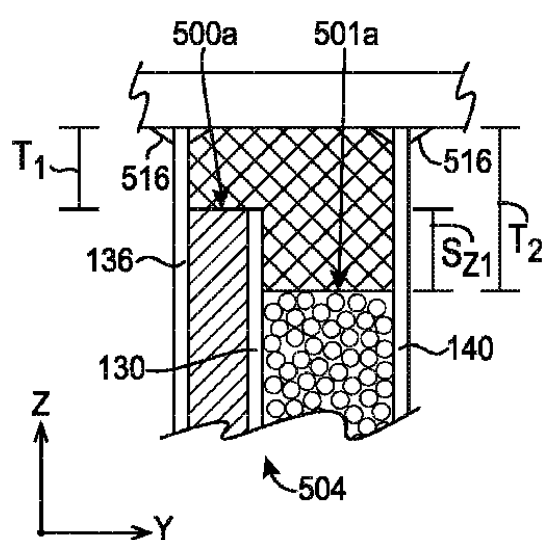


FIG. 14E

【図 1 4 F】

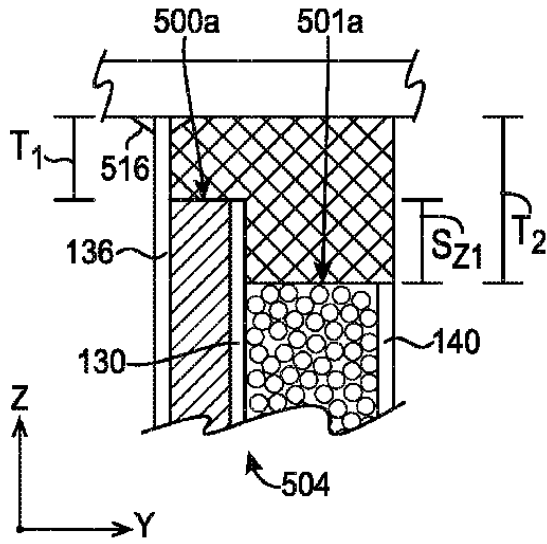


FIG. 14F

【図 1 4 G】

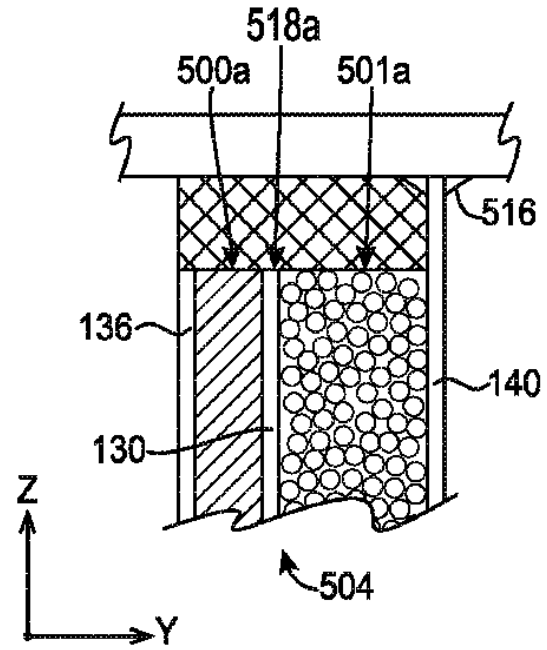


FIG. 14G

【図 1 4 H】

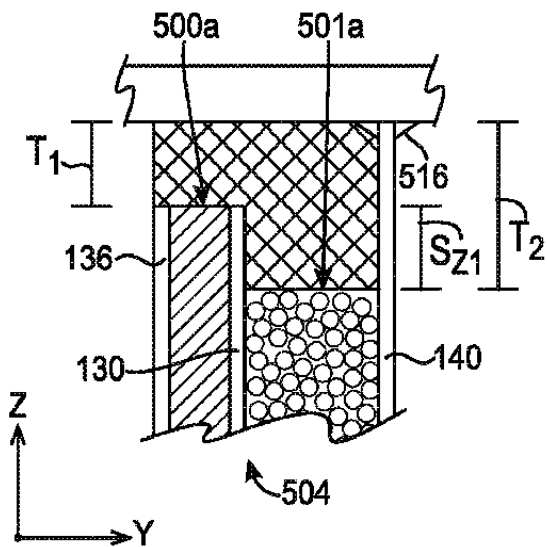


FIG. 14H

【図 1 5 A】

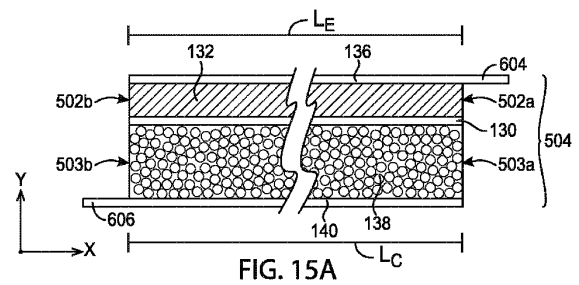


FIG. 15A

10

20

30

40

50

【図 15 B】

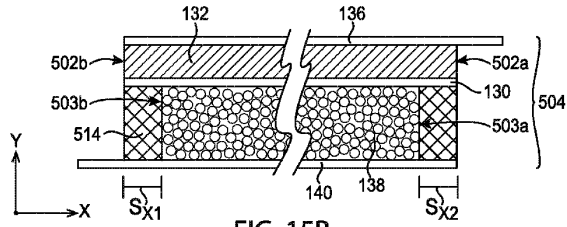


FIG. 15B

【図 15 C】

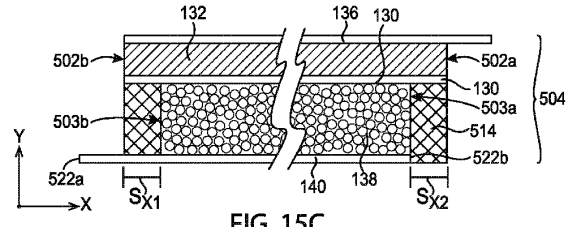


FIG. 15C

【図 15 D】

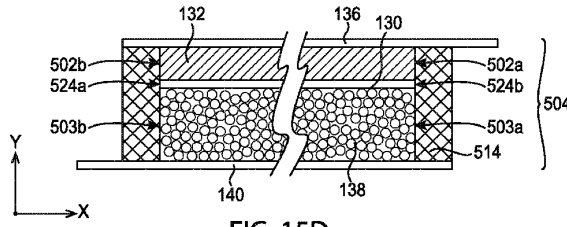


FIG. 15D

【図 15 E】

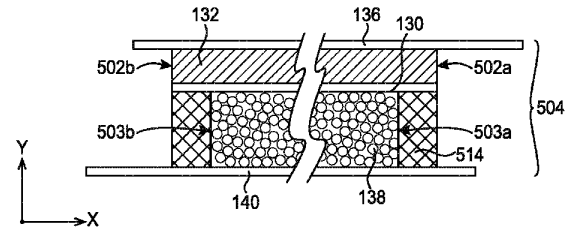


FIG. 15E

【図 15 F】

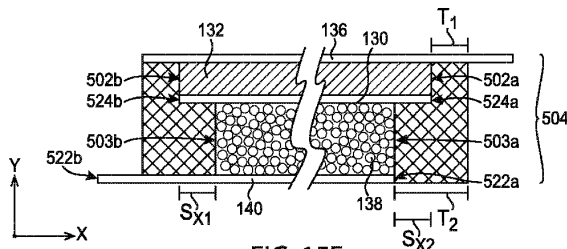


FIG. 15F

【図 16 A】

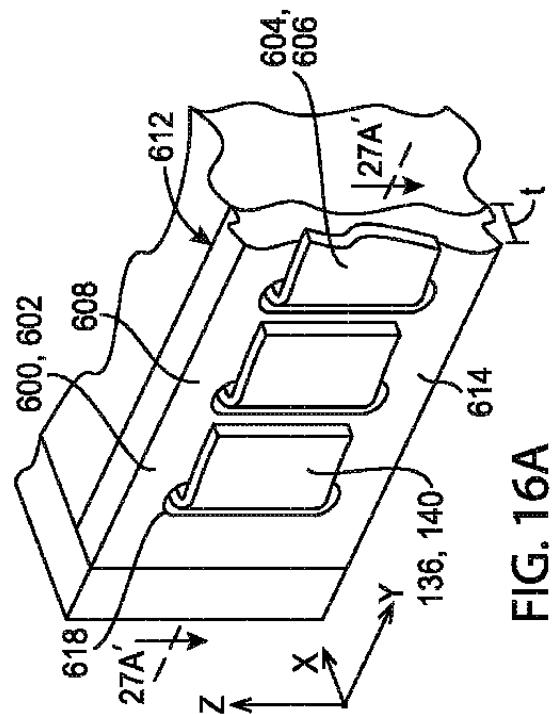


FIG. 16A

10

20

30

40

50

【図 16 A - 1】

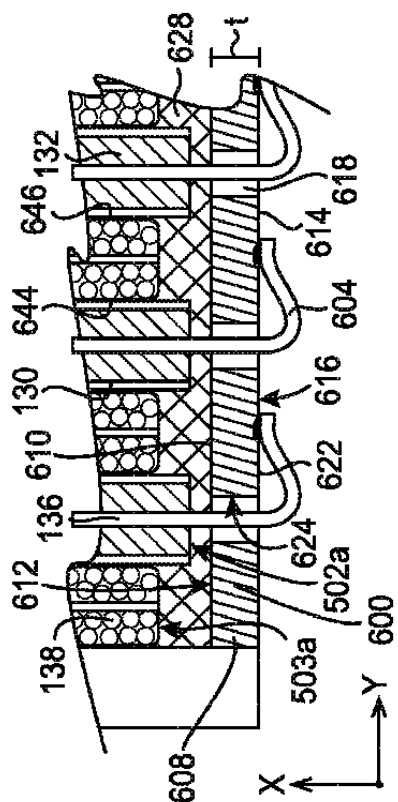


FIG. 16A'

【図 16 B】

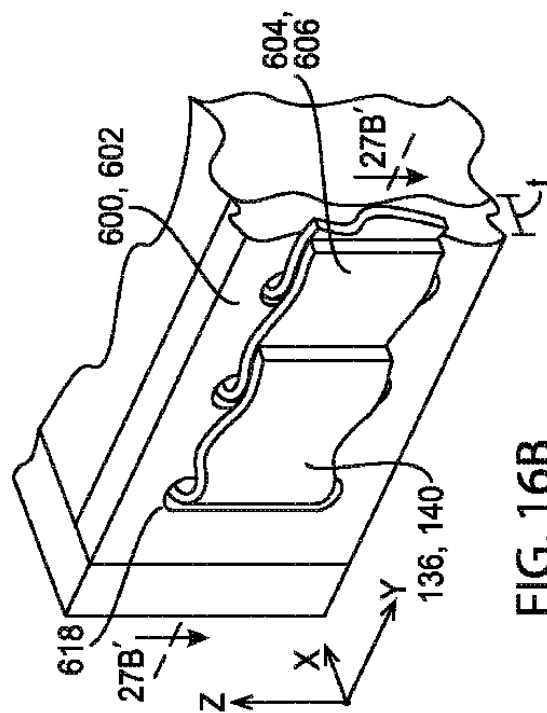


FIG. 16B

【図 16 B - 1】

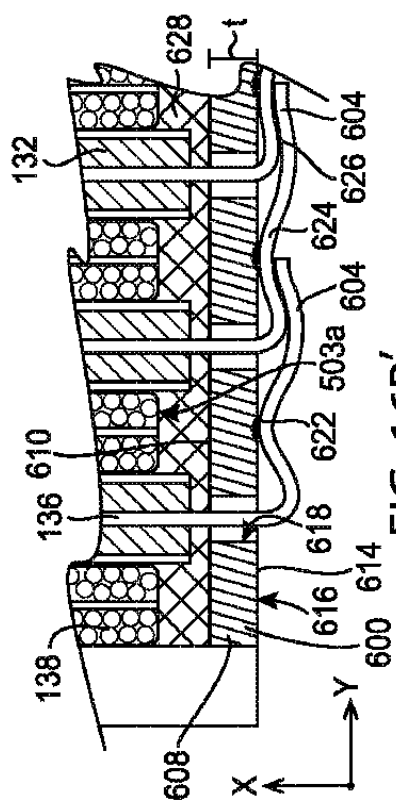


FIG. 16B'

【図 17】

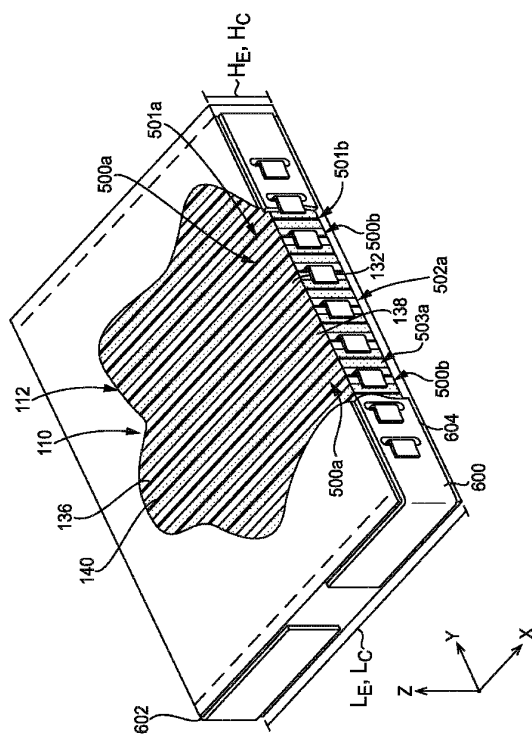


FIG. 17

【図 18 A】

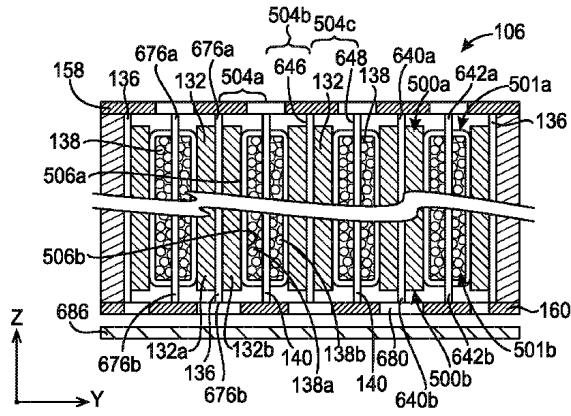


FIG. 18A

【図 18 B】

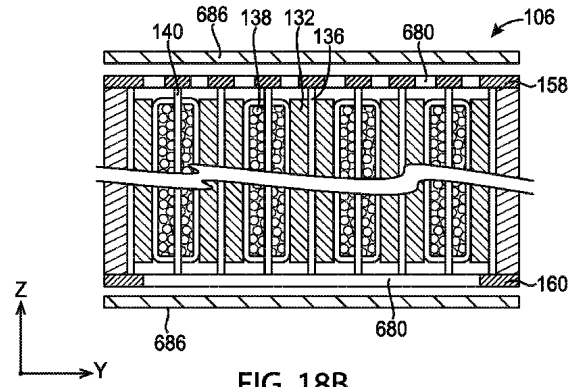


FIG. 18B

【図 19】

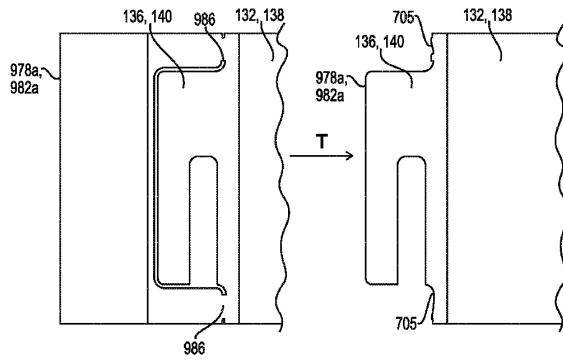


FIG. 19

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 M 4/64 (2006.01)

H 0 1 M 4/64

A

H 0 1 M 10/052 (2010.01)

H 0 1 M 10/052

H 0 1 M 10/054 (2010.01)

H 0 1 M 10/054

H 0 1 M 50/54 (2021.01)

H 0 1 M 50/54

H 0 1 M 50/593 (2021.01)

H 0 1 M 50/593

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

ストリート 2 5 4 0 番

(72)発明者 アショク・ラヒリ

アメリカ合衆国 9 5 0 1 4 カリフォルニア州クーパーティノ、プレイサー・スプリング・コート
1 1 8 4 2 番

(72)発明者 ムラリ・ラマサブラマニアン

アメリカ合衆国 9 4 5 3 9 カリフォルニア州フレモント、サウス・モレイ・ストリート 4 3 9 7 0
番

(72)発明者 ブルーノ・エイ・バルデス

アメリカ合衆国 9 4 0 8 7 カリフォルニア州サニーベイル、パーシモン・アベニュー 1 0 0 3 番

(72)発明者 ガードナー・キャメロン・デイルズ

アメリカ合衆国 9 5 0 3 2 カリフォルニア州ロス・ガトス、テレシータ・ウェイ 1 0 5 番

(72)発明者 クリストファー・ジェイ・スピント

アメリカ合衆国 9 4 0 2 5 カリフォルニア州メンロ・パーク、ヒルサイド・アベニュー 1 1 5 番

(72)発明者 ジェフリー・マシュー・ホー

アメリカ合衆国 9 4 5 8 3 カリフォルニア州サン・ラモン、サンダーバード・ドライブ 9 6 4 5 番

(72)発明者 ハロルド・ジェイ・ラスト・ザ・サード

アメリカ合衆国 9 4 5 0 7 カリフォルニア州アラモ、アラモ・カントリー・サークル 2 5 2 8 番

(72)発明者 ジェイムズ・ディ・ウィルコックス

アメリカ合衆国 9 4 5 6 6 カリフォルニア州ブレザントン、カミーノ・ブラソス 2 2 2 0 番

(72)発明者 ジョン・エフ・バーニ

アメリカ合衆国 9 5 0 3 2 カリフォルニア州ロス・ガトス、トッピング・ウェイ 1 6 5 6 6 番

(72)発明者 キム・ハン・リー

アメリカ合衆国 9 4 5 8 8 カリフォルニア州ブレザントン、ランチョ・コート 6 7 8 9 番

(72)発明者 ニラブ・エス・シャー

アメリカ合衆国 9 4 5 6 6 カリフォルニア州ブレザントン、アーリーン・プレイス 4 7 2 6 番

(72)発明者 リチャード・ジェイ・コントレラス

アメリカ合衆国 9 5 0 0 8 カリフォルニア州キャンベル、ノッティンガム・ウェイ 4 3 1 番

(72)発明者 リン・バン・アーデン

アメリカ合衆国 9 5 7 2 6 カリフォルニア州ボロック・パインズ、クリスタル・サミット・ロード
3 0 5 1 番

(72)発明者 ケン・エス・マツバヤシ

アメリカ合衆国 9 4 5 3 9 カリフォルニア州フレモント、ピア・サン・ルイス・レイ 4 2 0 7 8 番

(72)発明者 ジェレミー・ジェイ・ダルトン

アメリカ合衆国 9 5 1 3 1 カリフォルニア州サンノゼ、フミア・ドライブ 1 7 5 7 番

(72)発明者 ジェイソン・ニュートン・ハワード

アメリカ合衆国 3 0 0 0 4 ジョージア州アルファレッタ、キングズ・カウンティ・コート 5 1 5 番

(72)発明者 ロバート・キース・ローゼン

アメリカ合衆国 9 5 6 7 7 カリフォルニア州ロックリン、サンセット・ブルバード 2 6 5 1 番、
アパートメント 8 1 2

(72)発明者 ジョナサン・シー・ドーン

アメリカ合衆国 9 4 5 6 6 カリフォルニア州ブレザントン、ラリキート・コート 2 5 4 7 番

(72)発明者 マイケル・ジェイ・アームストロング

- アメリカ合衆国 9 4 5 2 6 カリフォルニア州ダンビル、アリカンテ・コート 2 0 2 番
(72)発明者 アンソニー・カルカテラ
アメリカ合衆国 9 5 0 3 5 カリフォルニア州ミルピタス、ディクソン・ランディング・ロード 4 4
0 番、ビー 1 0 6
(72)発明者 ベンジャミン・エル・カルドソ
アメリカ合衆国 9 4 3 0 6 カリフォルニア州パロ・アルト、キップリング・ストリート 2 7 4 5 番
(72)発明者 ジョシュア・デイビッド・ワイナンス
アメリカ合衆国 9 4 0 4 3 カリフォルニア州マウンテン・ビュー、スプリング・ストリート 1 7 8
2 番
(72)発明者 ニーラム・シン
アメリカ合衆国 9 4 5 3 8 カリフォルニア州フレモント、スティーブソン・コモン 3 9 9 3 9 番
、アパートメント 2 0 2 3
(72)発明者 ジェフリー・グレン・バック
アメリカ合衆国 9 3 9 0 1 カリフォルニア州サリナス、ラ・メサ・ドライブ 4 5 2 番
(72)発明者 トーマス・ジョン・シューアーライン
アメリカ合衆国 9 4 5 6 6 カリフォルニア州プレザントン、ハーベスト・サークル 1 0 7 8 番
(72)発明者 キム・レスター・フォーチュナティ
アメリカ合衆国 9 4 5 8 8 カリフォルニア州プレザントン、ノールブルック・ドライブ 7 7 1 2 番
(72)発明者 ニール・サーズワット
アメリカ合衆国 9 4 5 6 6 カリフォルニア州プレザントン、イースト・ゲイト・ウェイ 1 5 5 2 番
、ナンバー 2 3 1
審査官 鈴木 雅雄
(56)参考文献 特表 2 0 1 6 - 5 1 7 6 1 8 (JP, A)
国際公開第 2 0 1 6 / 1 8 3 4 1 0 (WO, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H 0 1 M 1 0 / 0 5 8 5
H 0 1 M 4 / 1 3 1
H 0 1 M 4 / 1 3 3
H 0 1 M 4 / 1 3 4
H 0 1 M 4 / 3 8
H 0 1 M 4 / 6 4
H 0 1 M 1 0 / 0 5 2
H 0 1 M 1 0 / 0 5 4
H 0 1 M 5 0 / 5 4
H 0 1 M 5 0 / 5 9 3