

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6810510号

(P6810510)

(45) 発行日 令和3年1月6日 (2021. 1. 6)

(24) 登録日 令和2年12月15日 (2020. 12. 15)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 M 10/04 (2006. 01)

H O 1 M 10/04

G O 2 B 6/46 (2006. 01)

G O 2 B 6/46 3 2 1

H O 1 M 50/183 (2021. 01)

H O 1 M 2/08 A

H O 1 M 10/48 (2006. 01)

H O 1 M 10/48 A

H O 1 M 10/48 3 0 1

請求項の数 14 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2015-138298 (P2015-138298)

(22) 出願日 平成27年7月10日 (2015. 7. 10)

(65) 公開番号 特開2016-25081 (P2016-25081A)

(43) 公開日 平成28年2月8日 (2016. 2. 8)

審査請求日 平成30年7月6日 (2018. 7. 6)

(31) 優先権主張番号 14/339, 050

(32) 優先日 平成26年7月23日 (2014. 7. 23)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国 (US)

(73) 特許権者 504407000

パロ アルト リサーチ センター イン

コーポレイテッド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94

304 パロ アルト カイオーテ ヒル

ロード 3333

(74) 代理人 100086771

弁理士 西島 孝喜

(74) 代理人 100088694

弁理士 弟子丸 健

(74) 代理人 100094569

弁理士 田中 伸一郎

(74) 代理人 100067013

弁理士 大塚 文昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電池管理のための埋め込み光ファイバケーブル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アノード及びカソード層を含むバイセル電池構造体の層において少なくとも1つの光ファイバセンサを有する光ファイバケーブルの一部を位置決めすることと、

内部セル環境に互換性のある接着剤で、前記光ファイバケーブルを前記アノード及びカソード層の1つ又はそれより多数の活材料に接合することと、

前記光ファイバケーブルの内側部分が折り畳み層間に配置されるように前記バイセル構造体の前記層を折り畳むことと、

セルケーシング層間に前記折り畳みバイセル構造体を配置することと、

前記光ファイバケーブルの外側部分が前記セルケーシング層から外側に延在するように前記セルケーシング層を封止することとを備える方法。

10

【請求項 2】

前記接合することが、スチレンーブタジエンーゴムを前記光ファイバケーブルに塗布することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記光ファイバケーブルが前記バイセル電池構造体の層の長さに沿って配置され、前記接合の長さが前記層の長さの大部分より小さい、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記光ファイバケーブルが前記バイセル電池構造体の層の長さに沿って配置され、前記光ファイバケーブルが前記長さに沿って複数の位置で接合される、請求項 1 に記載の方法

20

。

【請求項 5】

さらに、封止することに先立ち、前記セルケーシングのエントリポイントにおいて前記光ファイバケーブルの周囲に少なくとも部分的にガスケットを配置することを備える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記ガスケットが、前記光ファイバケーブルの反対側に配置された少なくとも 2 つのフィルム層を含み、前記少なくとも 2 つのフィルム層が接続されている、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記ガスケットが熱封止フィルムを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記セルケーシング層が追加の熱封止フィルムを用いて封止される、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記少なくとも 1 つの光ファイバセンサが接合領域の間に配置される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

さらに、前記セルケーシングにより形成されたエントリポイントの近傍に前記光ファイバケーブルを配置することを備え、前記光ファイバケーブルを配置することが前記光ファイバケーブルに S 屈曲を形成することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記 S 屈曲における各屈曲が 90° 未満の半径を有する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記 S 屈曲を形成することが、前記 S 屈曲における各屈曲を 45° 未満の半径を有するよう形成することを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記エントリポイントの近傍に前記光ファイバケーブルを配置することが、前記エントリポイントから $1 \sim 50 \text{ mm}$ オフセットさせて前記光ファイバケーブルを配置することを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記少なくとも 1 つの光ファイバセンサが、前記バイセル電池構造体における電極歪みの変動を検出するよう構成される、請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、内部に光ファイバケーブルが埋め込まれた電池セルに関する。本特許出願はまた、そのような電池セルに関する要素、装置、システム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

充電状態 (SOC) 及び／又は健全状態 (SOH) を判定するために、電圧、電流及び温度などの外部電池性能パラメータをあてにした電池管理システムは、経年劣化による電池の SOC における不確実性及び／又は電池の劣化を管理するために保守的で過剰に複雑な設計をもたらす。この電池の保守的で過剰に複雑な設計をあてにすることは、SOC 及び SOH に関する精度の低い推定を提供することにより、電気自動車や電力グリッド貯蔵などのクリーン技術の普及に影響を与えている。電池状態を単独で外部パラメータから完全に理解することができないため、電池の保守的で過剰に複雑な設計は部分的に生じる。

【0003】

電池セルの SOC 及び SOH を判定するためのいくつかの外部の方法は、電気化学的インピーダンス分光法 (EIS)、中性子ラジオグラフィ及び光学顕微鏡を含む。これらの

10

20

30

40

50

方法は、E I Sについて非平衡状態中においては適切に動作することができないこと並びに中性子ラジオグラフィ及び光学顕微鏡についての追加の大きくて高価な装置の必要性に起因して、大量生産と流通には効果がない。他の方法は、リチウムイオン電池にMEMS温度センサを埋め込むことを含む。しかしながら、これらの方法は、電磁干渉ノイズの問題と、各セル内の専用アナログ配線の必要性とを被る。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

いくつかの実施形態は、少なくとも1本の埋め込み光ファイバケーブル及びセンサを有する折り畳みバイセル電池スタックを含む電池を対象としている。セルケーシングは、バイセルスタックを包囲しており、セル封止エッジを備える。少なくとも1本の光ファイバケーブルは、電池内に埋め込まれている。光ファイバケーブルは、セルケーシング内に配置され且つそれに配置された少なくとも1つの光センサを有する内部部分と、ケーシングから突出した外側部分とを含む。ガasketは、電池への光ファイバケーブルのエントリポイントにおいて光ファイバケーブルの周囲に且つセル封止エッジ間に少なくとも部分的に配置されている。

10

【0005】

いくつかの実施形態は、アノード、カソード及びセパレータ層を備える折り畳みバイセル電池スタックを含む。セルケーシングは、折り畳みバイセルスタックを包囲する。少なくとも1つの光ファイバケーブルは、アノード、カソード及び／又はセパレータ層に接合される。

20

【0006】

いくつかの実施形態は、電池の製造方法を対象としている。少なくとも1つの光ファイバセンサを有する光ファイバケーブルの一部は、複数層を含む折り畳みバイセル電池構造体層上に配置されている。層は、光ファイバケーブルの内側部分がバイセルスタック内又は上に折り畳まれるように折り畳みバイセル構造体に折り畳まれている。折り畳みバイセル構造体は、セルケーシング層間に配置されており、セルケーシング層は、光ファイバケーブルの外側部分がセルケーシング層から延在するように封止されている。

【0007】

上記概要は、本開示の各開示された実施形態又は全ての実装を説明するようには意図していない。図面及び詳細な説明は、以下により具体的に例示的な実施形態を例示する。

30

【0008】

明細書をとおして、以下の添付図面が参照される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】図1Aは、本願明細書に説明されたアプローチにかかる電池セル内に埋め込まれた1つ以上の光センサを含む光ファイバ(FO)ケーブルを示している。

【図1B】図1Bは、本願明細書に説明されたアプローチにかかる電池セル内に埋め込まれた1つ以上の光センサを含む光ファイバ(FO)ケーブルを示している。

【図2A】図2Aは、いくつかの実施形態にかかるバイセルスタックの折り畳み層間に配置された光ファイバケーブルの異なる配置を有する電池セルの長手方向断面を図示している。

40

【図2B】図2Bは、いくつかの実施形態にかかるバイセルスタックの折り畳み層間に配置された光ファイバケーブルの異なる配置を有する電池セルの長手方向断面を図示している。

【図2C】図2Cは、いくつかの実施形態にかかるバイセルスタックの折り畳み層間に配置された光ファイバケーブルの異なる配置を有する電池セルの長手方向断面を図示している。

【図3A】図3Aは、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

50

【図 3 B】図 3 B は、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

【図 4 A】図 4 A は、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

【図 4 B】図 4 B は、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

【図 5 A】図 5 A は、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

【図 5 B】図 5 B は、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池を図示している。

10

【図 6 A】図 6 A は、その上にセンサが配置された 1 本以上の光ファイバケーブルを含む電池セルの製造プロセスを図示するフロー図である。

【図 6 B】図 6 B は、埋め込まれた光ファイバケーブルを有するバイセルスタックの層の拡大図である。

【図 7 A】図 7 A は、いくつかの実施形態にかかる光ファイバケーブル用の様々な接合構成を示している。

【図 7 B】図 7 B は、いくつかの実施形態にかかる光ファイバケーブル用の様々な接合構成を示している。

【図 7 C】図 7 C は、いくつかの実施形態にかかる光ファイバケーブル用の様々な接合構成を示している。

20

【図 8】図 8 は、折り畳みバイセルスタック内に折り畳まれた光ファイバケーブルを有する折り畳みバイセルスタックにバイセル層を折り畳むプロセスを図示している。

【図 9 A】図 9 A は、光ファイバケーブルのエントリポイントにおける電池セルの一部の断面図である。

【図 9 B】図 9 B は、図 9 A の折り畳みバイセルスタック及びセルケーシングの一部の斜視図を示している。

【図 10 A】図 10 A は、光ファイバケーブルガasket なしでケース封止が行われる場合に形成するボイドを図示する断面において示された光ファイバケーブルの走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像である。

【図 10 B】図 10 B は、光ファイバケーブルガasket が様々な実施形態にしたがって使用される場合にボイドが低減したことを図示する断面において示された光ファイバケーブルの走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像である。

30

【図 11】図 11 は、埋め込まれた光ファイバケーブルを有する及び有しない封止されたリチウムイオン電解質が充填されたパウチについて加速湿気侵入テストに続いてそれらを切開して滴定を行った後にセルケーシング内で検出された H F の量を示している。

【図 12 A】図 12 A は、埋め込み光ファイバなしの同様の電池セル (図 12 B) と比較した提案手法を使用して製造された光ファイバ埋め込みセルの電荷保持性能を示している。

【図 12 B】図 12 B は、埋め込み光ファイバなしの電池セルの電荷保持性能を示している。

40

【図 13】図 13 は、内部及び外部の光ファイバセンサ信号の比較を図示している。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図面は、必ずしも縮尺どおりではない。図面に使用される同様の符号は、同様の要素を指す。しかしながら、所定の図面における要素を指す符号の使用は、同じ符号によってラベル付けされた他の図面中の要素を限定するものではないことが理解されるであろう。

【0011】

本願明細書に開示された実施形態は、その場でリアルタイムに電池パラメータを監視するために電池に光ファイバセンサを埋め込むためのアプローチを含む。光検出は、電池の内部温度、応力、歪み、音響放射、イオン濃度、化学、気体の存在及び／又は濃度、及び

50

／又は、他の内部パラメータなどの様々な内部電池パラメータを検出するために使用されることができる。

【0012】

図1A－図1Bは、電池セル100に埋め込まれた1つ以上の光センサ150を含む光ファイバ（FO）ケーブル140を示している。図1Aは、電池セル100の内部の側断面図を示している。図1Bは、線A－A'を通してとられた電池セルの横方向断面図を示している。FOケーブル140上に配置されたセンサ150は、ファイバブラッググレーティング（FBG）センサ及び／又はエタロン若しくはファブリペロー（FP）センサを含む任意の種類（又は複数の種類）の光センサを備えることができる。センサは、セルケーシング内において光ファイバケーブルの長さに沿って先端に又は任意の場所に配置されてもよい。

10

【0013】

（図1A－図1Bには示されていない）光源からの入射光は、センサ150にFOケーブル140を通り、入射光はセンサ150と相互作用する。センサ150は、入射光の一部を反射又は吸収することができ、検出されたパラメータの変化に応じて変化する出射光を発する。

【0014】

ファイバブラッググレーティング（FBG）光センサは、例えば、FOケーブルのコアの有限長（典型的には数mm）に沿った屈折率の周期的変調によって形成されることができる。このパターンは、センサの屈折率分布の周期性によって決定されるブラッグ波長と称される波長を反射する。実際には、センサは、典型的には、ブラッグ波長を中心とする波長の狭帯域を反射する。外部刺激の特性や基本値においてブラッグ波長が λ で示され、波長 λ （及び入近傍の波長の狭帯域）を有する光は、センサが基本条件におけるときに反射される。センサが温度、歪み又は他のそのような刺激などの外部刺激を受けると、刺激は、回折格子の周期とFBGの屈折率を変化させ、それにより、基本波長 λ とは異なる波長 λ_s に対して反射波長を変化させる。得られた波長シフト $\Delta\lambda/\lambda = (\lambda - \lambda_s)/\lambda$ は、刺激の直接の尺度である。

20

【0015】

光検出は、単一のFOケーブル上に複数の検出素子を組み込むことを可能とする。合波を通じて、1つのFOケーブルが複数のセンサの出射光を伝搬することが可能である。センサは、時間領域及び／又は波長領域合波／分波を介して個々に調べることができる。

30

【0016】

電池セル100は、円筒、ボタン、プリズム、パウチ又は他の種類のセルとすることができる。電池セル100は、電池セル100内の要素を囲んで包囲するセルケーシング130を含む。例えば、電池セル100は、アノード105aと、カソード105bと、セパレータ層120とを含むことができる。アノード及びカソード105a、105bは、セルケーシング130を通して延在し且つそこから突出した外部接続、アノード及びカソードコネクタタブ110a、110bを有する。折り畳みバイセル電池スタック160は、アノード層（アノード集電層及びアノード電極層）と、セパレータ層120によって分離されたカソード層（カソード集電層及びカソード電極層）とを備える、折り畳まれた又は丸められたバイセル層のスタックである。

40

【0017】

図1A及び図1Bは、封止された可撓性セルケーシング130を有するパウチタイプのセルを図示している。セルケーシング130は、第1の封止エッジ131aを有する第1のセルケーシング層131と、第2の封止エッジ132aを有する第2のセルケーシング層132とを含む。第1のセルケーシング層131及び第2のセルケーシング層132は、第1及び第2の封止エッジ131a、132aにおいて一体に密封されている。図1A及び図1Bに示されるように、少なくとも1本の光ファイバケーブル140は、エントリポイント145においてアノード及びカソード接続タブ110a、110bの間の領域においてセルケーシング130に入る。光ファイバケーブル140は、セルケーシング13

50

0内に配置された内側部分と、エントリポイント145においてセルケーシングから突出した外側部分とを有する。図示された実施形態において、エントリポイント145は、アノード及びカソードタブ110a、110bの間においてほぼ途中に配置されているが、セルケーシングに沿ってアノード若しくはカソードタブ110a、110bのうちの一方に又は他の場所に近く配置されることができた。図示された実施形態において、光ファイバケーブル140は、セルケーシングのエッジに垂直な角度でエントリポイント145においてセルケーシングに入る。いくつかの実施形態において、光ファイバケーブルは、ケーシングのエッジに対して所定角度でセルケーシングに入ることができる。

【0018】

いくつかの実施形態において、電池セル内に埋め込まれた複数の光ファイバケーブルがあってもよい。図1Bは、複数の光ファイバケーブルが埋め込まれた電池セルの線A-A'を通る横方向断面を示している。光ファイバケーブルは、バイセル層160間、セパレータ層120、セルケーシング130とバイセルスタックとの間又は他の位置に配置することができる。図1Bにおける光ファイバケーブル140は、第1のバイセルと第2のバイセルとの間、第2のバイセルと第3のバイセルとの間、及び、第5のバイセルとセルケーシングとの間に配置されている。光ファイバケーブル140は、これらの例示位置の3つ全て又は現在示されていない他の位置に加えて、1つ又は数個のこれらの例示位置に配置されてもよい。光ファイバケーブル140は、光ファイバセンサ150によって検出されたパラメータにตอบสนองして信号を増強するために戦略的な位置に配置されることができる。複数のFOケーブルが使用される実施形態において、ケーブルは、セルケーシング130内の同じエントリポイントを介して電池セル100に入ることができる。あるいは、複数の光ファイバケーブルのうちの少なくとも一部は、別個のエントリポイントを介してセルケーシング130に入ることができる。

【0019】

封止エッジの領域におけるFOケーブルの大幅な屈曲は、特に電池製造及び活性化における典型的な内部セル圧力においてケーブルに損傷を与えることがある。光ファイバケーブルの大幅な屈曲は、光ファイバケーブル140がセル活性化プロセス中に破壊する可能性を増加させる。FOケーブルに対する損傷は、屈曲が封止エッジにおいて又はその近くにおいて低減又は最小化されるようにFOケーブルを向けることによって回避することができる。電池の内部において、製造中のケーブルの応力は、大幅な屈曲に起因した高い断線の可能性なしで光ファイバケーブルが電池セル内のループ内にさらに配置されることができるようにインパクトを小さくすることができる。

【0020】

図2A-図2Cは、バイセルスタックの折り畳み層間に配置された光ファイバケーブル211、212、213の異なる配置を有する電池セル201、202、203の（例えば、図1Aに示される線B-B'を通る）長手方向断面図を図示している。光ファイバケーブル211、212、213のそれぞれは、電池セル201、202、203内に配置された内側部分211a、212a、213aと、電池セル201、202、203から突出した外部部分211b、212b、213bとを有する。ケーブル211、212、213の内側部分211a、212a、213aは、電池セル201、202、203の内部への光ファイバケーブル211、212、213のエントリポイント245、246、247の近くの移行部分211c、212c、213cを有する。光ファイバケーブル211、212、213は、セルケーシング231、232、233の封止エッジ231a、231b、232a、232b、233a、233b間においてセルケーシング231、232、233に入る。第1の内側部分211a、212a、213aは、バイセルスタックの折り畳み層間に配置されている。

【0021】

電池セル201、202のセルケーシング231、232は、略平坦なベース層251、252と、ベース層251、252に対して封止されたカバー層241、242とを有する。電池セル203のセルケーシング233は、比較的対称なベース243及びカバー

10

20

30

40

50

253層を有する。光ファイバケーブル211、212、213の移行部分211c、212c、213cは、少なくとも1つの屈曲、例えばS屈曲を含み、S屈曲における各屈曲は、約90°未満、又は約60°未満又はさらに約45°未満の半径を有する。例えば、いくつかの実施形態において、S屈曲における各屈曲は、0°よりも大きく且つ約90°未満又は約60°未満又はさらに約45°未満である。いくつかの実施形態において、第1の内側部分211a、212a、213aは、約1mmから約50mmだけエントリポイント245、246、247からオフセットされている。

【0022】

折り畳まれた電池セルのいくつかの実施形態において、光ファイバケーブルの内側部分は、光ファイバケーブルのエントリポイントの平面から第4及び第5のバイセル折り畳み層間の空間よりもさらに離れていないバイセル折り畳み層間の空間に配置されることができる。

10

【0023】

図2Aは、エントリポイント245を含むx-y平面に近い第1及び第2のバイセル折り畳み層281及び282の間の空間291に位置する光ファイバケーブル211の第1の内側部分211aを示している。この構成は、移行部分211cにおける光ファイバケーブル211において小さなS屈曲のみを形成し、光ファイバケーブル211は、略直線の向きで電池セルの内部に入る。小さな屈曲は、封止プロセス中により安定した構成を提供し、光ファイバケーブル211の破壊の危険性を低減する。

【0024】

20

図2Bは、エントリポイント246を含むx-y平面から十分な距離である第5及び第6のバイセル折り畳み層285、286の間の空間291に配置された第1の内側部分212aを有する電池セルの内部に延在する光ファイバケーブル212を示している。この構成は、移行部分212cにおいて光ファイバケーブル212における十分なS屈曲を形成する。この光ファイバケーブル212の十分な屈曲は、封止プロセス中にファイバの破壊の危険性を増大させる。

【0025】

図2Cは、略対称である第1及び第2のカバー層243、253を有する電池ケーシングを図示している。この実施形態において、光ファイバケーブル213の第1の内側部分213aは、エントリポイント247を含むx-y平面下方の第1及び第2のバイセル折り畳み層281及び282の間の空間291に位置する。この構成は、移行部分213cにおける光ファイバケーブル213において小さいS屈曲のみを形成し、光ファイバケーブル213は、略直線の向きで電池セルの内部に入る。小さな屈曲は、封止プロセス中により安定した構成を提供し、光ファイバケーブル213の破壊の危険性を低減する。

30

【0026】

いくつかの実施形態において、折り畳みバイセルスタックは、 $n = -M$ から N を範囲とする折り畳み層 f_n を含み、 n は、セルケーシングのベース層に対する折り畳み層の位置を示す整数インデックスである。折り畳み層 f_0 は、ベース層に最も近い。そして、光ファイバケーブルは、層 $f_{+/-x}$ 及び $f_{+/- (x+1)}$ の間に配置されている。ここで、 $|x|$ は、3以下である。

40

【0027】

図3A-図3B、図4A-図4B及び図5A-図5Bは、様々な異なる配置及びエントリポイントを有する光ファイバケーブルを含む電池セルを図示している。これらの光ファイバケーブルの配置は、互いの組み合わせ、又は、例えば図1A-図1Bの電極タブ間のエントリポイントを示す前の実施形態との組み合わせとすることができる。

【0028】

図3A及び図3Bは、バイセルスタック390内に配置され且つセパレータ層320の折り畳まれた表面間の曲線状の光ファイバケーブル311を有する電池セル300の断面内部図である。図3Bは、線A-A'に沿ってとられた図3Aに示される電池セルの断面図を示している。光ファイバケーブル311は、(図3A及び図3Bに示されるように)

50

アノードタブ 310a に対して近い電池セルの側に位置してもよく、又は、カソードタブ 310b に対して近い反対側に位置してもよい。いくつかの実施形態において、光ファイバケーブル 311 は、バイセルスタック 390 の折り畳み内において且つスタックの折り畳み線に略平行に（図 3A 及び図 3B の y 軸に実質的に沿って）、電池セルのセルケーシング 330 内に配置されている。いくつかの実施形態において、光ファイバケーブル 311 は、バイセルスタックに対して所定角度でセルケーシングに入り、折り畳み線に対して所定角度で折り目の間に配置されることができる。1 つ以上の光センサは、光ファイバケーブル 311 に沿って配置されることができる。

【0029】

図 4A は、セパレータ層 420 の表面とセルケーシング 430 の内面との間においてバイセルスタック 490 の外部に配置された光ファイバケーブル 411 を図示している。図 4B は、線 A-A' に沿ってとられた図 4A に示される電池セルの断面図を示している。図 4A は、バイセルスタック 490 の上部と底部との間のほぼ途中の光ファイバケーブル 411 における光センサ 499 を示している。いくつかの実施形態において、電池セル 400 の底部からバイセルスタック 490 の上部までの距離 d_1 は、約 7-8 mm であり、光ファイバセンサ 499 は、電池セル 400 の底部から約 3 cm である距離 d_2 に配置されている。光センサについての他の配置位置もまた可能である。

【0030】

図 3A、図 3B、図 4A 及び図 4B は、一般に y 軸に沿って延在し且つバイセルスタック 390、490 の折り目に略平行な光ファイバケーブル 311、411 を図示している。図 5A 及び図 5B は、電池セル 500 内に配置され且つ x 軸に沿って横方向に延在し且つ折り目に略垂直な光ファイバケーブル 511 を図示している。図 5B は、線 A-A' に沿ってとられた図 5A に示される電池セルの断面図を示している。図 5A は、バイセルスタック 590 の左右側間のほぼ途中の光ファイバケーブル 511 の光センサ 599 を示している。図示された例において、電池セル 500 の右側からバイセルスタックの反対のエッジまでの距離 d_3 は約 3 cm であり、光ファイバセンサ 599 は、電池セル 400 の右側から約 1 cm とすることができる距離 d_4 に配置されている。光センサについての他の配置位置もまた可能である。

【0031】

図 6A は、センサがその上に配置された 1 本以上の埋め込み光ファイバケーブルを含む電池セルの製造プロセスを図示するフロー図である。光ファイバケーブルの一部は、バイセルの層上に位置している 610。光センサ 681 がその上に配置された光ファイバケーブル 680 は、図 6B に示されるように、アノード集電層 691、アノード電極層 692、カソード集電層 693、カソード電極層 694 及びセパレータ層 695 などのバイセル層 691-695 のいずれかに配置されることができる。必要に応じて、光ファイバケーブルは、バイセルスタックを形成するようにバイセル層が折り畳まれる 630 か又は丸められる前にバイセル層に対して取り付けられる 610。折り畳み又は丸め後に、バイセルスタックは、セルケーシング層内に配置される 640。セルケーシングの封止エッジにおいて、セルケーシングが封止エッジにおいて封止される 660 前に、光ファイバケーブルの周囲において少なくとも部分的に 1 つ以上のガスケット層が配置される 650。

【0032】

いくつかの実施形態において、光ファイバケーブルは、アノード電極層上に配置されて接合される。例えば、アノード電極層に対する光ファイバケーブルの接合は、光ファイバケーブルにスチレン-ブタジエン-ゴム又は他の適切な接着剤を塗布することを備えてもよい。

【0033】

図 7A 及び図 7B に図示されるように、接合領域 791、792 の組み合わせ長 L_{bT} は、バイセル層 781、782 の長さ及び／又は光ファイバケーブル 711、712 の長さ L の大部分未満とすることができる。図 7C に示されるように、いくつかの実施形態において、接合 793 領域は、接合 793 がバイセル層 783 及び／又は光ファイバケーブル

10

20

30

40

50

ル713の長さLの大部分(少なくとも50%)又は略大部分(75%超)に沿って延在するように、組み合わせ長 L_{bT} を有することができる。接合791、792、793が光ファイバケーブル711、712、713に配置された光ファイバセンサと干渉しないように、接合791、792、793が位置してもよい。いくつかの実施形態において、センサは、接合領域間に配置されてもよい。

【0034】

接合後、バイセル層は、折り畳まれ、丸められ又は他の方法でバイセルスタックに形成される。図8は、折り畳み後に、アノード及びカソード電極を分離するセパレータ層830によるアノード810及びカソード820の電極材料の交互領域を有する折り畳みバイセル層の一例を図示している。この例において、光ファイバケーブル840は、カソード電極層820に隣接して配置されている。

10

【0035】

いくつかの実装において、光ファイバケーブルの周りにセルケーシングから流体が漏れる可能性を低減するために、ガスケットは、セルケーシングが封止される前にエントリポイントの近くの光ファイバケーブルの周りに少なくとも部分的に配置されている。図9Aは、光ファイバのエントリポイントにおける電池セルの一部の断面図を示しており、図9Bは、折り畳みバイセルスタック970及びセルケーシング930の一部の斜視図を示している。光ファイバガスケット910は、光ファイバケーブル920の周囲において部分的に配置された第1の光ファイバ封止層911と、光ファイバケーブル920の周囲において部分的に配置された第2の光ファイバ封止層912とを備える。セルケーシング930は、第1及び第2のケース封止エッジ931、932を含む。セルケーシング930は、ケース封止エッジに配置された第1及び第2のケース封止層941、942を使用して封止されることができる。(図9Bには、セルケーシングの半分のみ及び1つのケース封止層942のみが示されている)。

20

【0036】

図9Bに示されるように、いくつかの構成において、電極タブ951、952はまた、電池ケース930内外への流体の漏れを防止するガスケット961、962を含むことができる。いくつかの実装において、ケース封止層941、942、電極ガスケット層961、962及び／又は光ファイバガスケット層911、912は、同一の材料であるか又はそれを含んでもよい。例えば、ケース封止層941、942、電極ガスケット層961、962及び／又は光ファイバガスケット層911、912のうちの1つ以上は、熱封止フィルムであるか又はを含んでもよい。好適な材料としては、ポリオレフィン系ポリマ、ポリプロピレン若しくはポリエチレン材料、例えば、塩素化ポリプロピレン、エチレン-プロピレン共重合体、ポリエチレン-アクリル酸共重合体及び／又はポリプロピレン-アクリル酸共重合体などの耐薬品性の材料を含む。光ファイバケーブルが電極近くの電池ケースから延在する実施形態において、2つの連続封止層、すなわち、光ファイバ及び電極の両側に配置された1つの連続封止層は、光ファイバ及び電極の双方にガスケットを形成してもよい。

30

【0037】

ケース封止層は、セルケース封止エッジ上に配置されており、光ファイバの内側部分は、セル層上に配置されて接合されている。光ファイバガスケット層は、光ファイバケーブル及び／又はケース封止エッジにおける電極の周りに配置されており、ガスケット層及びセルケースは、例えば熱融着によって同時に封止されている。

40

【0038】

電池ケースが光ファイバケーブルについてガスケットなしで封止されているときにボイドを形成してもよい。図10Aは、光ファイバコア及びクラッド1001と、ガスケットなしで行われるケース封止に起因して形成されるボイド1003を有するコーティング1002とを備える光ファイバケーブルの走査型電子顕微鏡(SEM)画像の断面を示している。図10Bは、封止シールフィルムを備えるガスケットが使用されるときにボイドが低減することを図示するSEM画像である。

50

【0039】

光ファイバガasketが使用された場合、図11によって図示されるように、電池の封止は、内部に埋め込まれた光ファイバケーブルを有しない電池と同様に行われる。図11のグラフは、1) 光ファイバ1101なしで、2) 埋め込まれた125 μm の光ファイバ1102により、及び、3) 埋め込まれた254 μm の光ファイバ1103により、加速湿気侵入テストにおいてLiイオン電解質によって封止されたパウチについてセルケーシング内部で検出されたフッ化水素(HF)ガスの量を示している。

【0040】

図12A及び図12Bは、埋め込み光ファイバなしの同様の電池セル(図12B)と比較した提案手法を使用して製造された光ファイバ埋め込みセル(図12A)の電荷保持性能を示している。図12A及び図12Bによって図示されたように、埋め込まれた光ファイバセルは、光ファイバがないセルよりも僅かに多い変動を呈するが、テストされたセルの容量は、異なるセルバッチにわたって観察された変動範囲内である。

【0041】

図13は、内部及び外部の光ファイバセンサ信号を使用した検出を比較している。上のグラフは、電池セルの電圧1310及び電流1320の変化を示している。グラフ1303は、候補設定を使用した内部の最も外側のスタック電極に接合されたセンサの対応する波長シフトを示している。グラフ1304は、外部のセルスキンに接合されたグラフの波長シフトを示している。そこにみられるように、セルスキンの両側における2つのセンサの相対的な近接性にもかかわらず、電極に取り付けられた内部センサは、実質的により強い歪み信号を示しており、セル内に内部FOセンサを埋め込むことの利点を強調している。

【0042】

電圧、電流及び温度などの外部性能パラメータを監視することをあてにしている現代のバッテリー管理システム(BMS)の実務は、次善の監視解決策である。より有益な埋め込みセンサが望ましく、特に内部状態監視のために、充電状態(SOC)推定及び初期の問題の早期徴候の正確な状態を提供することができ、はるかに改善されたBMSについての健全状態(SOH)推定を可能とする。電池のSOH推定のための1つの従来のアプローチは、電気化学的インピーダンス分光法(EIS)である。しかしながら、この方法は、「健全」状態における広範囲の前較正を必要とする。また、バッテリーが電気化学的平衡状態となるのを必要とし、したがって、ランタイム監視には適していない。電池の開発者の想像力を魅了してきた他のアプローチは、基準電極を埋め込むことである。しかしながら、この技術は、通常の電池動作についての性能問題を引き起こす可能性があり、セル内部電圧場上の単一の追加データポイントのその利点を正当化することはできない。電気測定の場合、それはまた、場の展開についての電磁干渉(EMI)の新たな課題に直面している。

【0043】

モデル検証のための内部セル状態の実験室レベルでの特徴付けについての他のアプローチは、石英視認窓付きの特別に設計されたセルに中性子ラジオグラフィ及び光学顕微鏡法を含んでいる。そのようなアプローチは、充電/放電中における電極歪みの変動及び結果として生じる動的なセル特性の観点からリチウムイオンセル内における複雑な内部機構に興味深い洞察を提供している。これらのアプローチは、効果的なBMSのための内部検出の必要性を改めて表明する。しかしながら、それらは、大きくて高価な装置及び手動の読影を使用することから、埋め込まれた場展開のためには拡張性がない。

【0044】

一般に、分布した埋め込み検出システムの様々な要素を組み込むことに関連したコストの要因及び課題は、監視のための従来のセンサネットワークの広範囲な展開/埋め込みの主要な制約要因となっている。電池の腐食、スパークに敏感な電氣的ノイズの多い環境は、さらに利用可能な選択肢を制限する。近年、リチウムイオンセルに埋め込まれた微小電気機械システム(MEMS)の温度センサは、それらの過酷な環境を生き延びている。し

10

20

30

40

50

かしながら、これらのセンサは、電磁干渉（EMI）ノイズの問題や各セルにおける専用アナログ配線の必要性に苦しみ、100個のセルのパックの課題を形成している。

【0045】

その点で、適切な要素からなるFOセンサは、様々な腐食環境に耐えることができる。これらのケーブルがセンサ素子としてのそれらの組み込みを介してシステムの性能を低下させるべきではないように、薄いサイズ（100–500 μm の直径）のFOケーブルは、ガasketとの適切な封止を可能とする。電解質濃度に感度がある埋め込みU字型ファイバ曲げ要素は、有望な結果を有する鉛酸電池で検討されている。長期間の鉛酸電池の過酷な環境でのプラスチック光ファイバの生存率は、加速ライフサイクルテストによって検証されている（20–30℃以上で13–25年の推定寿命）。しかしながら、使用される伝送減衰ベースの光検出素子は、濃度のみに感度があり、合波には向いていない。

10

【0046】

光ファイバセンサの使用は、リチウムイオン電池における埋め込み内部検出及びより良好な制御を可能とすることができる。セルの封止の完全性、セル内の電極スタック又は光ファイバケーブル自体の損傷を有意に損なうことのない埋め込み光ファイバのアプローチは、本願明細書に記載された実施形態によって対処される。光ファイバケーブルは、作動サイクル中にセルを封止するために使用されるプレス機械の高い動圧と高い内部ガス圧に耐えることができる必要がある。本願明細書で説明されるアプローチは、光ファイバの位置決めと、FOケーブル又はセル材料のいずれかへの損傷を軽減する埋め込みプロセス自体の態様を含む。いくつかの実施形態において、光ファイバは、第1のバイセル（セパレータ層によって分離された3電極のスタック）とセパレータとの間に配置される。FOケーブルの応力による封止プロセス中のFOの損傷を回避するために、屈曲は、指定された屈曲角度未満に維持される。封止点のレベルと埋め込みレベルとの間の距離は、埋め込まれた光ファイバの応力を低減するために限界に維持される。光ファイバの過度の屈曲は、封止プロセス中にファイバが壊れる危険性を増大させる。逆に、屈曲していないか又は僅かに屈曲したファイバは、封止プロセス中により強固で且つより安定している。

20

【0047】

セル内部のFOの位置に加え、埋め込み及び封止プロセス自体は、本願明細書に記載されたアプローチの態様である。FOケーブルは、この埋め込み又は封止プロセス中に損傷を受けるべきではない。FOケーブルは、図8に示された折り畳み中の電池セルに埋め込まれてもよい。いくつかの実装形態において、光ファイバは、バイセル層とセパレータ層との間に配置される。折り畳みプロセス中にファイバを埋め込むことにより、代わりに、その後、FO自体及び／又はセル材料が損傷される可能性を低減する。セルを封止するための特定の温度及び圧力は、例えば約200℃まで（通常は約90℃）且つ約1.0 MPaまで封止点においてのFOへの損傷を防止するために使用されることができる。

30

【0048】

本願明細書に記載された封止アプローチは、セルがセル内のFOエン트리ポイント近くの漏れを成長させる可能性を軽減する。漏れセルは、初期故障及び安全性の問題につながる可能性がある。この目的のために、ポリプロピレンやポリエチレンなどの保護熱封止フィルムは、パウチのスキン表面間のFOケーブルの周りにおいて少なくとも部分的に包まれている。この熱封止フィルムは、セルの電極接続タブの周りに配置された熱封止フィルムのために使用されるものと同じ材料であるか又はそれを含むことができる。この方法は、FOケーブルの周りの間隙が熱封止材によって充填され、ボイドを防止するのを確実にする傾向がある。さらにまた、FOは封止点で電池ケースに固定されていることから、FOの位置は安定する。

40

【0049】

セル電極層、集電層及び／又はセパレータのいずれかに対するファイバの接合は、改善された接触に起因して、測定信号、例えば歪み信号を増加させるのに使用されることができる。これは、内部セル環境に互換性のある接着剤によって実現されることができた。いくつかの可能な接合構成は、図7A–図7Cに示されている。単一の接合領域が使用され

50

る場合、単一の接合領域（例えば、図 7 A）は、光ファイバセンサ近く又はエッジにすることができる。歪み応答を改善するために、2つの点（例えば、図 7 B）において F O を接合するか又は実質的に F O 全体（例えば、図 7 C）を接合することができる。

【0050】

本開示は、電池性能に悪影響を及ぼさず且つ電池管理能力を強化したエネルギー貯蔵セルに光ファイバ（F O）ケーブルを埋め込む方法を提供する。いくつかのアプローチは、複数の F O ケーブルを代わりに使用することができるものの、多重化されたセンサを有する単一の F O ケーブルを想定している。熱封止フィルムの使用は、エントリポイントの近くの F O ケーブルの周りの漏れを防止する。スタック内に埋め込まれた F O ケーブルの配置は、内部セルパラメータを監視しながら、F O ケーブル又は電極スタック機能への損傷を回避する。波長及び／又は時分割合波は、F O ケーブルの多数のセンサ素子を調べるのを可能とする。F O ケーブルとスタックとの間の接着剤の選択的使用は、歪み又は歪み及び温度の組み合わせに対する F O センサの感度を高めることができる。

10

【0051】

エントリポイントにおける F O ケーブルとセルスキンとの間の熱封止フィルム又は他の適切な封止剤の使用は、ボイドのない良好なセル封止を提供することである。F O ケーブルの適切な配置は、ケーブルの損傷を回避するために F O ケーブルの曲率を低減する。F O ケーブルは、1つ以上の点において電極スタックに F O ケーブルを取り付けるために接着剤を用いて又は用いずに配置されることができる。F O ケーブルは、それに一体化され且つ電池管理に使用される 1つ以上の検出要素を有することができる。

20

【0052】

特に明記しない限り、明細書及び特許請求の範囲において使用される特徴のサイズ、量及び物理的特性を表す全ての数は、用語「約」によって全ての例において変更されるものとして理解されるべきである。したがって、逆を明記しない限り、上述した明細書及び添付された特許請求の範囲に記載された数値パラメータは、本願明細書に開示された教示を利用する当業者によって得ることが求められる所望の特性に応じて変更することができる近似値である。エンドポイントによる数値範囲の使用は、その範囲内の全ての数（例えば、1 から 5 は、1. 5、2、2. 75、3、3. 80、4 及び 5 を含む）及びその範囲内の任意の範囲を含む。

【図 1 A】

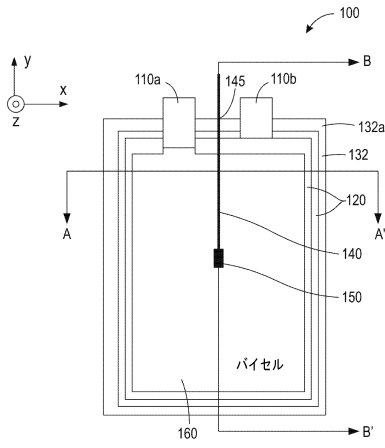


図 1 A

【図 2 A】

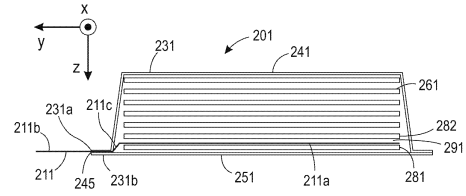


図 2 A

【図 2 B】

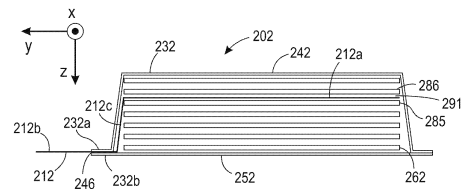


図 2 B

【図 2 C】

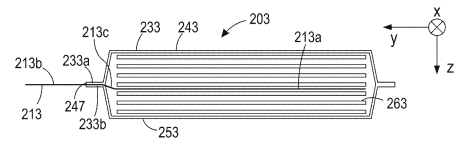


図 2 C

【図 1 B】

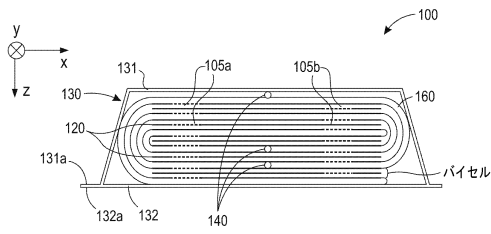


図 1 B

【図 3 A】

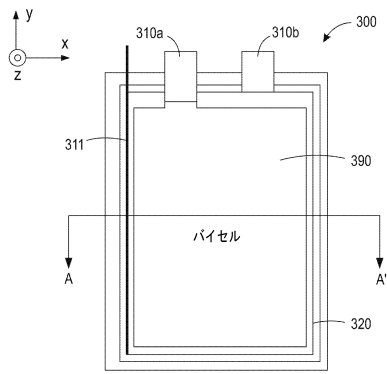


図 3 A

【図 4 A】

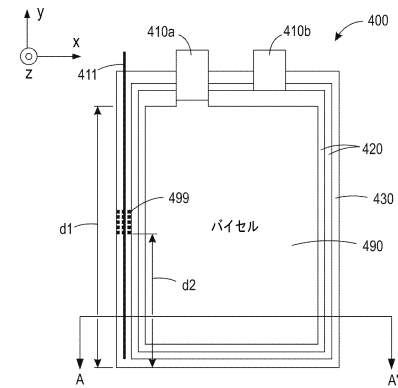


図 4 A

【図 3 B】

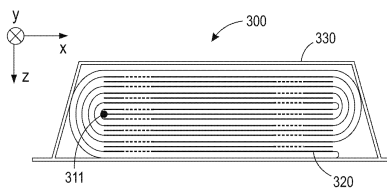


図 3 B

【図 4 B】

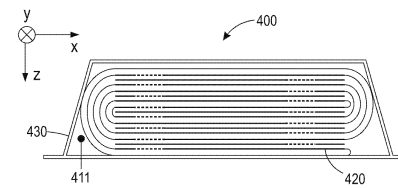


図 4 B

【図 5 A】

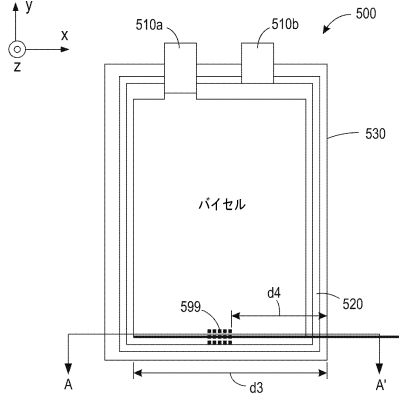


図 5 A

【図 5 B】

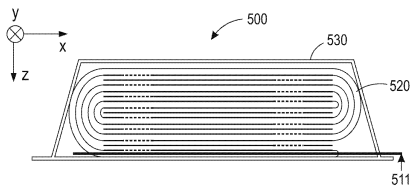


図 5 B

【図 6 A】

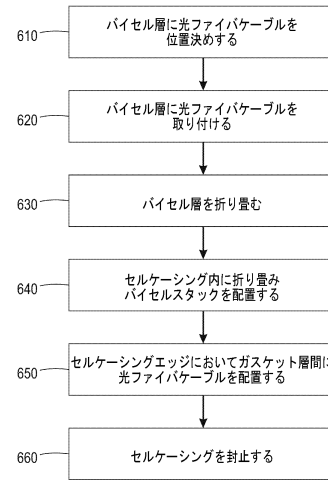


図 6 A

【図 6 B】

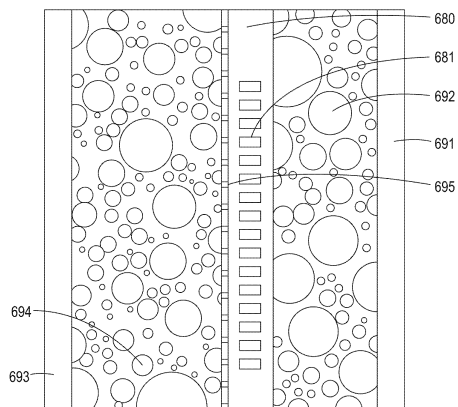
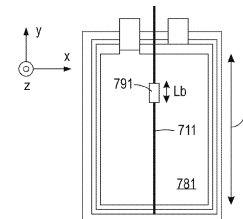


図 6 B

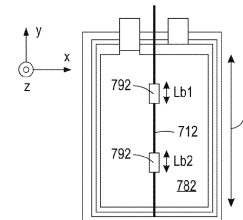
【図 7 A】

図 7 A



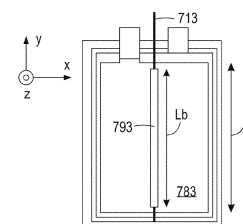
【図 7 B】

図 7 B



【図 7 C】

図 7 C



【図 8】

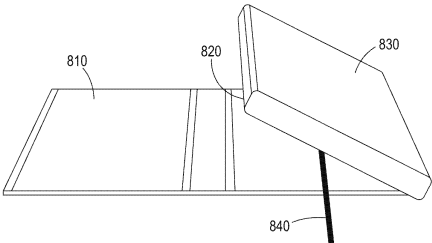


図 8

【図 9 A】

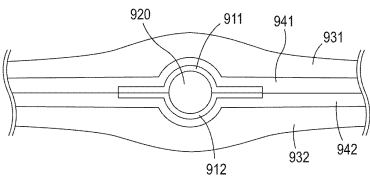


図 9 A

【図 9 B】

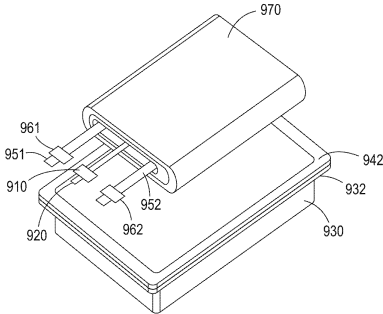


図 9 B

【図 10 A】

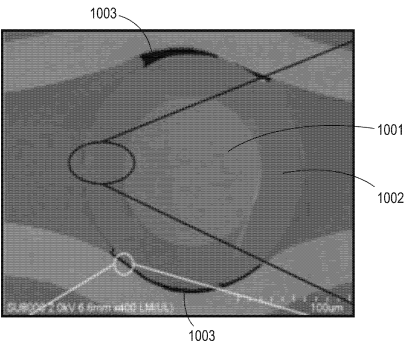


図 10 A

【図 10 B】

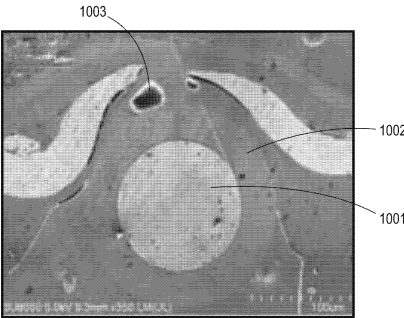


図 10 B

【図 11】

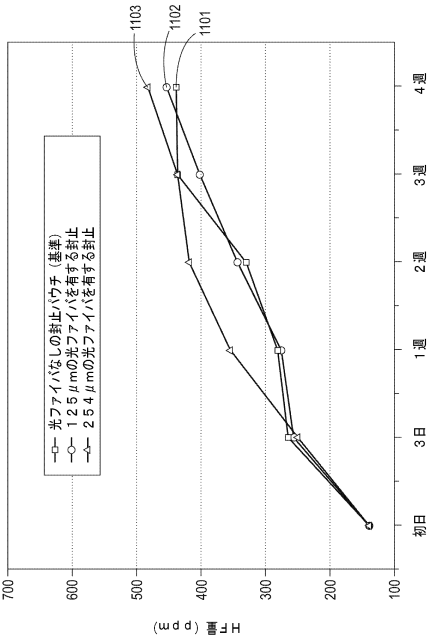


図 11

【図 1 2 A】

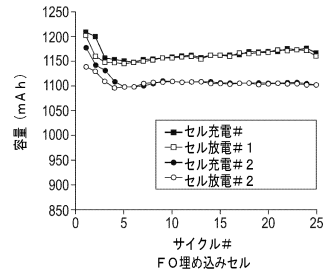


図 1 2 A

【図 1 2 B】

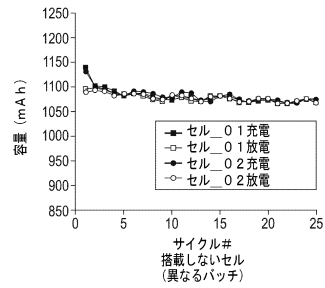


図 1 2 B

【図 1 3】

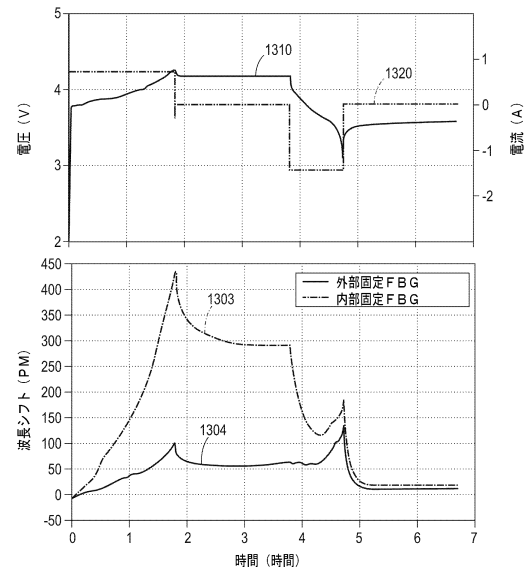


図 1 3

フロントページの続き

- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
- (72)発明者 アジャイ・ラガバン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94043 マウンテン・ビュー ライト・アベニュー 1
725 ナンバー 56
- (72)発明者 ピーター・キーゼル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94306 パロ・アルト エル・セントロ 3795
- (72)発明者 ラーズ・ウィルコ・ソマー
ドイツ連邦共和国 75015 プレッテン メリアンストラッセ 27
- (72)発明者 バスカ・サハ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94065 レッドウッド・シティ メンダシーノ・ウェイ
701
- (72)発明者 サロージ・サフ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94539 フリーモント ベア・コート 196
- (72)発明者 アレクサンダー・ロシュバウム
ドイツ連邦共和国 76829 ランダウ アム・フローナッカー 3アー
- (72)発明者 トビアス・スタウト
ドイツ連邦共和国 90482 ニュルンベルク ウンタービュルガー・ストラッセ 6
- (72)発明者 チャンー・ジュン・ベ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94040 マウンテン・ビュー ウェスト・エル・カミノ
・リアル 2043 ナンバー 116
- (72)発明者 モハメド・アラームギール
アメリカ合衆国 ミシガン州 48306 ロチェスター・ヒルズ クリアー・クリーク・ドライ
ブ 1416
- (72)発明者 ホエ・ジン・ハー
大韓民国 305-738 デジョン ユソンーク ムンジーロ 188
- (72)発明者 ボッキュ・チョイ
日本国 153-8505 東京都 目黒区 駒場 4-6-1
- (72)発明者 ギューオク・ウォン
大韓民国 305-738 デジョン ユソンーク ムンジーロ 188
- (72)発明者 クン・チャン・チュン
大韓民国 305-738 デジョン ユソンーク ムンジーロ 188

審査官 結城 佐織

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0092375 (US, A1)
特開平05-166545 (JP, A)
特開2012-174675 (JP, A)
米国特許第05949219 (US, A)
特開2000-131405 (JP, A)
特開2001-116950 (JP, A)
特開2014-116251 (JP, A)
特開2007-317638 (JP, A)
特表2009-505366 (JP, A)

米国特許出願公開第2010/0124250 (US, A1)

特開2002-050328 (JP, A)

ビギナーズブックス20 はじめての二次電池技術, 株式会社工業調査会, 2008年, 初版,
p.167

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01M 10/04

H01M 10/058

G02B 6/46

H01M 2/02

H01M 2/08

H01M 10/48

JDreamII

Japio-GPG/FX