

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7290569号

(P7290569)

(45)発行日 令和5年6月13日(2023.6.13)

(24)登録日 令和5年6月5日(2023.6.5)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 M 10/04 (2006.01)

H 0 1 M 10/04

Z

G 0 1 N 25/20 (2006.01)

G 0 1 N 25/20

Z

請求項の数 59 (全34頁)

(21)出願番号	特願2019-539761(P2019-539761)	(73)特許権者	591106945
(86)(22)出願日	平成30年1月18日(2018.1.18)		ナショナル・リサーチ・カウンシル・オブ・カナダ
(65)公表番号	特表2020-510954(P2020-510954 A)		NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA
(43)公表日	令和2年4月9日(2020.4.9)		カナダ、ケイ1エイ・0アール6、オンタリオ、オタワ、モントリオール・ロード1200番
(86)国際出願番号	PCT/CA2018/050055	(74)代理人	110002147
(87)国際公開番号	WO2018/132911		弁理士法人酒井国際特許事務所
(87)国際公開日	平成30年7月26日(2018.7.26)	(72)発明者	レコスキー、スティーブン
審査請求日	令和3年1月15日(2021.1.15)		カナダ国、K1Y0T1 オンタリオ、オタワ、キャロライン アベニュー 119
(31)優先権主張番号	62/448,134	(72)発明者	マクニール、ディーン
(32)優先日	平成29年1月19日(2017.1.19)		カナダ国、K1K4Y9 オンタリオ、
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	62/556,006		
(32)優先日	平成29年9月8日(2017.9.8)		
	最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 バッテリー内で熱暴走を生じさせるための装置および方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

バッテリーセル内に熱暴走を生じさせるための装置であって、
 前記バッテリーセルの領域に熱を伝達するために、前記バッテリーセルと熱接触して配置する加熱素子と、
 前記加熱素子と、前記バッテリーセルとの間での熱エネルギー伝達率を改善するための、前記加熱素子と前記バッテリーセルとの間でかつその両方に接触して配置するための伝熱材と、
 前記加熱素子に電氣的に接続されたエネルギー源と、
 前記熱暴走を生じさせるために、前記バッテリーセルの前記領域を加熱するべく前記加熱素子においてパワーパルスを生成するために、前記加熱素子へ電流パルスを選択的に送るためのスイッチ手段と
 を備え、
前記パワーパルスによって生成された前記加熱素子におけるピーク熱流束密度が少なくとも800,000ワット平方メートル(W/m^2)であり、ここで、ワットで示すパワーは、前記加熱素子における火力であり、平方メートルで示す面積は、前記加熱素子のフットプリント表面積であり、
前記加熱素子の前記フットプリント表面積は、前記バッテリーセルの全外側表面積の20%以下である、ことを特徴とする装置。

【請求項2】

10

20

前記電流パルスは、指数関数的に減衰する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記加熱素子での前記ピーク熱流束密度は、少なくとも $2,000,000\text{ W/m}^2$ である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記加熱素子の前記フットプリント表面積は、前記バッテリーセルの前記全外側表面積の 5 % 以下である、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記エネルギー源は、少なくとも一つのキャパシタを有する、ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項 6】

前記エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも 95 % が、前記スイッチ手段がオンになった後に、60 秒以内に印加される、ことを特徴とする請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

前記エネルギー源内に格納されたエネルギーの少なくとも 95 % が、前記スイッチ手段がオンになった後に、30 秒以内に印加される、ことを特徴とする請求項 5 に記載の装置。

【請求項 8】

前記エネルギー源は、連続直流電源を有する、ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 9】

20

前記バッテリーセルのキロワット (kW) での標準 1C レート定常電流放電サイクルパワーに対する、前記エネルギー源の放電中の前記加熱素子での kW のピーク加熱パワーの比は、少なくとも 50 : 1 であり、ここで、前記 C レートは、バッテリーがその最大容量に関して放電された速度の測定値である、ことを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 10】

前記バッテリーセルのキロジュール (kJ) でのエネルギー格納容量に対する、前記エネルギー源の放電中に前記加熱素子によって消散された熱エネルギー (kJ) の割合は 10 % 未満である、ことを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 11】

30

前記エネルギー源の放電により、前記バッテリーセルの表面は、少なくとも 150 °C に加熱される、ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 12】

前記加熱素子を電氣的に絶縁するために、前記加熱素子の外側に電氣的絶縁バリアコーティングをさらに有する、請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 13】

前記電氣的絶縁バリアコーティングの外側に熱伝導金属ベースコーティングをさらに有する、請求項 12 に記載の装置。

【請求項 14】

前記伝熱材は導電伝熱ペーストを有する、請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の装置。

40

【請求項 15】

前記加熱素子は、平坦形状を有する、ことを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 16】

前記加熱素子は、前記バッテリーセルの外面に対応してその形状が変形可能であるように柔軟である、ことを特徴とする請求項 1 から 15 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 17】

前記加熱素子は、5 ミリメートル以下の厚さを有する、ことを特徴とする請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の装置。

50

【請求項 18】

前記加熱素子は、2ミリメートル以下の厚さを有する、ことを特徴とする請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 19】

前記加熱素子は、ニクロムを含む、ことを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 20】

前記加熱素子は、鉄クロムアルミ (FeCrAl) 合金を含む、ことを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 21】

前記装置は、前記加熱素子へ、単一の電流パルスを送るように構成されている、ことを特徴とする請求項 1 から 20 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 22】

バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための方法であって、
前記バッテリーセルの領域へ熱を伝達するために前記バッテリーセルに熱接触して加熱素子を設ける工程と、

前記加熱素子と、前記バッテリーセルとの間での熱エネルギー伝達率を改善するための伝熱材を、前記加熱素子と前記バッテリーセルとの間でかつその両方に接触して設ける工程と、

前記加熱素子に電氣的に接続されたエネルギー源を与える工程と、
前記熱暴走を生じさせるために、前記バッテリーセルの前記領域を加熱するべく、前記加熱素子においてパワーパルスを生成するために、前記加熱素子へ電流パルスを選択的に送る工程と

を備え、

前記パワーパルスは、前記加熱素子において少なくとも $800,000$ ワット平方メートル (W/m^2) のピーク熱流束密度を生成し、ここで、ワットで示すパワーは、前記加熱素子における火力であり、平方メートルで示す面積は、前記加熱素子のフットプリント表面積であり、

前記加熱素子のフットプリント表面積は、前記バッテリーセルの全外側表面積の 20% 以下である、

ことを特徴とする方法。

【請求項 23】

前記電流パルスは、指数関数的に減衰する、ことを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記加熱素子での前記ピーク熱流束密度は、少なくとも $2,000,000 W/m^2$ である、ことを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 25】

前記加熱素子の前記フットプリント表面積は、前記バッテリーセルの前記全外側表面積の 5% 以下である、ことを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 26】

前記エネルギー源は、少なくとも一つのキャパシタを有する、ことを特徴とする請求項 22 から 25 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 27】

前記エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも 95% が、前記電流パルスが送られ始めてから 60 秒以内に印加される、ことを特徴とする請求項 26 に記載の方法。

【請求項 28】

前記エネルギー源内に格納されたエネルギーの少なくとも 95% が、前記電流パルスが送られ始めてから 30 秒以内に印加される、ことを特徴とする請求項 26 に記載の方法。

【請求項 29】

前記バッテリーセルのキロワット (kW) での標準 1C レート定常電流放電サイク

10

20

30

40

50

ルパワーに対する、前記エネルギー源の放電中の前記加熱素子でのkWのピーク加熱パワーの比は、少なくとも50：1であり、ここで、前記Cレートは、バッテリーがその最大容量に関して放電された速度の測定値である、ことを特徴とする請求項22から28のいずれか一項に記載の方法。

【請求項30】

前記バッテリーセルのキロジュール(kJ)でのエネルギー格納容量(kJ)に対する、前記エネルギー源の放電中に前記加熱素子によって消散された熱エネルギー(kJ)の割合は10%未満である、ことを特徴とする請求項22から29のいずれか一項に記載の方法。

【請求項31】

前記エネルギー源の放電により、前記バッテリーセルの表面は、少なくとも150に加熱される、ことを特徴とする請求項22から30のいずれか一項に記載の方法。

【請求項32】

前記加熱素子の外側に電氣的絶縁バリアコーティングを設ける工程をさらに備える、請求項22から31のいずれか一項に記載の方法。

【請求項33】

前記電氣的絶縁バリアコーティングの外側に熱伝導金属ベースコーティングを設ける工程をさらに備える、請求項32に記載の方法。

【請求項34】

前記伝熱材は導電伝熱ペーストを有する、ことを特徴とする請求項22から33のいずれか一項に記載の方法。

【請求項35】

前記加熱素子は、平坦形状を有する、ことを特徴とする請求項22から34のいずれか一項に記載の方法。

【請求項36】

前記加熱素子は、前記バッテリーセルの外面に対応してその形状が変形可能であるように柔軟である、ことを特徴とする請求項22から35のいずれか一項に記載の方法。

【請求項37】

前記加熱素子は、5ミリメートル以下の厚さを有する、ことを特徴とする請求項22から36のいずれか一項に記載の方法。

【請求項38】

前記加熱素子は、2ミリメートル以下の厚さを有する、ことを特徴とする請求項37に記載の方法。

【請求項39】

前記加熱素子は、ニクロムを含む、ことを特徴とする請求項22から38のいずれか一項に記載の方法。

【請求項40】

前記加熱素子は、鉄クロムアルミ(FeCrAl)合金を含む、ことを特徴とする請求項22から38のいずれか一項に記載の方法。

【請求項41】

前記電流パルスを選択的に送る工程は、前記加熱素子へ、単一の電流パルスを送る工程からなる、ことを特徴とする請求項22から40のいずれか一項に記載の方法。

【請求項42】

前記加熱素子の温度を検知するための温度センサと、
前記温度センサと通信可能に接続された温度制御器と
をさらに備え、

前記温度制御器は、前記加熱素子の検知された前記温度に応答して、前記加熱素子を所定の温度に加熱し、かつ、前記加熱素子を前記所定の温度に保持するよう前記スイッチ手段と協働する、ことを特徴とする請求項1から20のいずれか一項に記載の装置。

【請求項43】

10

20

30

40

50

前記加熱素子は、3秒以下で大気温度から前記所定の温度まで加熱される、ことを特徴とする請求項4.2に記載の装置。

【請求項4.4】

前記温度制御器は、前記加熱素子において生成されたパワーを制御するために、パルス幅変調(PWM)を使用するように構成されている、ことを特徴とする請求項4.2または4.3に記載の装置。

【請求項4.5】

前記エネルギー源は、直流(DC)電源を有する、ことを特徴とする請求項4.2から4.4のいずれか一項に記載の装置。

【請求項4.6】

前記温度センサは、熱電対を有する、ことを特徴とする請求項4.2から4.5のいずれか一項に記載の装置。

【請求項4.7】

前記温度制御器は、前記加熱素子の検知された前記温度に応答して、前記加熱素子の前記温度が、前記所定の温度を5%以上超えないように構成されている、ことを特徴とする請求項4.2から4.6のいずれか一項に記載の装置。

【請求項4.8】

前記加熱素子の温度を検知する工程と、
前記加熱素子の検知された前記温度に応答して、前記加熱素子が所定の温度に加熱され、かつ、前記所定の温度に保持されるように、前記電流パルスを選択的に送る工程を制御することにより、前記加熱素子の前記温度を制御する工程と
をさらに備える、請求項2.2から4.1のいずれか一項に記載の方法。

【請求項4.9】

前記加熱素子を加熱する工程は、3秒以下で大気温度から前記所定の温度まで前記加熱素子を加熱する工程を含む、ことを特徴とする請求項4.8に記載の方法。

【請求項5.0】

前記加熱素子の前記温度を制御する工程は、前記加熱素子の前記温度を制御するために、パルス幅変調(PWM)を使用する、ことを特徴とする請求項4.8または4.9に記載の方法。

【請求項5.1】

前記エネルギー源は、直流(DC)電源を有する、ことを特徴とする請求項4.8から5.0のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5.2】

前記加熱素子の温度を検知する工程は、熱電対を使って実行される、ことを特徴とする請求項4.8から5.1のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5.3】

前記加熱素子の前記温度を制御する工程は、前記加熱素子の検知された前記温度に応答して、前記加熱素子の温度が、前記所定の温度を5%以上超えないようにする工程を含む、ことを特徴とする請求項4.8から5.2のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5.4】

前記加熱素子は抵抗加熱素子である、ことを特徴とする請求項1から2.1のいずれか一項に記載の装置。

【請求項5.5】

前記加熱素子は抵抗加熱素子である、ことを特徴とする請求項2.2から4.1のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5.6】

前記導電伝熱ペーストはニッケルを含む、ことを特徴とする請求項1.4に記載の装置。

【請求項5.7】

前記加熱素子は物理的に密集したフットプリントを有する、ことを特徴とする請求項1から2.1、5.4、および5.6のいずれか一項に記載の装置。

10

20

30

40

50

【請求項 5 8】

前記導電伝熱ペーストはニッケルを有する、ことを特徴とする請求項 3 4 に記載の方法。

【請求項 5 9】

前記加熱素子は物理的に密集したフットプリントを有する、ことを特徴とする請求項 2 から 4 1、5 5、および 5 8 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本願は、2017年1月19日に出願された米国仮特許出願第62/448,134号および2017年9月8日に出願された米国仮特許出願第62/556,006号の優先権の利益を主張するものであり、両者ともここに参考文献として組み込む。

【0 0 0 2】

本開示は、バッテリー技術に関し、特に、バッテリー試験および安全性に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

バッテリーパックの安全性の研究は市場の採用とともに激化している。これは、電気自動車（EV）用のバッテリーパックを含む。多くのエネルギー格納システムは、数百個のリチウムイオンバッテリーセルを使用する。間違った使用シナリオまたは欠陥のために、発熱反応が温度の急激かつ制御不能な上昇を生じさせ、それにより、エネルギー放出および/または火災につながる。危機温度より上になると、発熱反応は、外部環境へ発散される熱を上回り、温度は、急速かつ制御不能に上昇し始める。酸素は活性材料から解放され、しばしば激しい毒性および可燃性有機蒸気の放出が存在する。このプロセスは、熱暴走として知られている。危機温度はバッテリー毎に変化し、かつ、バッテリーセルのサイズ、形状、化学成分等に依存しうる。

【0 0 0 4】

セル故障を引き起こす条件は、セル内の内部短絡などのセル欠陥を含む。他の条件は、例えばバッテリーの過充電などの車両システム障害である。他の条件は、セル貫通または外部熱のような外力の印加である。あるアプリケーションで、隣接セルの近い距離のために、ひとつのセルが熱暴走すると、故障の連鎖反応はバッテリーセルのアレイ全体を通じてカスケード反応しうる。

【0 0 0 5】

複数セルの熱暴走は極端な事象であり、それはエネルギー衝突、隣接火災、および/または深刻な過充電を含む。単一セルの熱暴走は、セル内部回路短絡、製造欠陥、セル寿命などのより繊細な事象であり、バッテリーパックの適切な設計を通じて軽減されることが予想される。

【0 0 0 6】

例えば、テストおよび/または研究目的で、調査すべき熱暴走を引き起こすためのさまざまな方法が存在する。これらは、例えば、釘、ネジ、鈍器、または他の物体によりセルを貫通させまたは穴を開けること、または、セルを壊すことを含む。これらの技術は、通常の方法であるが、再現性に問題があり、最小のエネルギー導入が必要である。残念ながら、複数セルを有するバッテリーパック内の単一セルに対して実行することが困難であり、車両内のバッテリーパックにおいて実行するのが困難であり、また、セル/モジュール境界条件を変化させうる。

【0 0 0 7】

他の通常の熱暴走発生技術は、セル加熱である。セル加熱は、バッテリーまたはバッテリーセルをオープン内またはホットプレート上に配置することにより実行可能である。加熱は、バッテリーセルの全体または一部を抵抗加熱ワイヤで包囲することによっても提供可能である。セル加熱は、良好な再現性を与え、セルに対して外部から（例えば、導体、レーザー、他）または内部から適用可能であり、それは長い動作時間を有し、境界条件に有意な影響を与える隣接セルを加熱させる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

他の熱暴走開始技術は、セル過充電であり、それは、良好な再現性を有するが、異なるセル設計をまたいで実行することが困難である。ビルトイン回路は、セル内のデバイスを遮断し、他の内部安全メカニズムはこの方法を使った熱暴走の開始を妨げうる。この技術はまた、セルに対して有意な非特徴的エネルギーを付加し、それは、生成された熱暴走反応を強化しうる。

【 0 0 0 9 】

他の熱暴走開始技術は、セル欠陥の導入であり、それは、セル内に内部短絡回路を生じさせるべく、欠陥を意図的に導入することに関する。このアプローチは、あまり通常ではなく、再現性が不明であり、特別に作成されたセルを必要とし、実行が困難であり安全上の危険がある。

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

現在、EVバッテリーパック内の包囲セルのセル故障または故障伝搬のリスクを評価する標準化された試験方法は存在しない。

【 0 0 1 1 】

運輸規制機関は、多数のバッテリーの輸送（貨物）およびバッテリーパック設計の安全性を判定するために、バッテリーパック内で熱事象を生じさせる、正確で、再現性があり、単純かつ強固な方法を活発に開発しようとしている。

20

【 0 0 1 2 】

したがって、ひとつ以上のバッテリーセル内で熱暴走を生じさせるためのシステムおよび方法に関連した改善が所望される。

【 0 0 1 3 】

上述した情報は、本開示の理解を助けるための背景情報にすぎない。本開示に関して従来技術として上述したいずれかが応用可能であるか否かについて、主張または認定するものではない。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 4 】

ひとつの態様において、本開示は概して、セルと熱的に接触するように配置された抵抗加熱素子に高パワー電気パルスを与えることによって作成される熱のパルスによって、バッテリーセルを局所的に加熱するべく使用されてよい装置、方法およびシステムを与える。パルスは、ひとつ以上のキャパシタのようなエネルギー源内に格納されたエネルギーの突然かつ急速な解放によって生成され得る。熱生成速度は、外部の短絡回路から観測されるものと同じかほぼ同じであるように設計可能であるが、内部の短絡回路に特化されたより小さい面積に適用されるように設計されてもよい。同じパワーをより小さい面積に印加することは、熱流束を増加させ、より高温の局所的温度を達成することができる。内部バッテリー材料が危機温度に達したとき、熱暴走が始まる。

30

【 0 0 1 5 】

ひとつの態様において、本開示は、バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための装置を与え、当該装置は、バッテリーセルの領域に熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触して配置した熱抵抗発熱素子と、熱抵抗発熱素子に電氣的に接続されたエネルギー源と、熱暴走を生じさせるためにバッテリーセルの領域を加熱するための熱抵抗発熱素子においてエネルギーパルスを生成するために、熱抵抗発熱素子を通じて電流パルスを送るための回路を選択的に形成するためのスイッチとを有する。

40

【 0 0 1 6 】

ひとつの実施形態において、電流パルスは指数関数的に減衰する。

【 0 0 1 7 】

ひとつの実施形態において、パワーパルスによって生成された抵抗加熱素子におけるピーク熱流束密度は、少なくとも $1,000,000$ 平方メートルワット (W/m^2) であり

50

、ここでワットのパワーは、抵抗加熱素子での加熱パワーであり、平方メートルの面積は、抵抗加熱素子のフットプリント表面積である。他の実施形態において、パワーパルスによって生成される抵抗加熱素子でのピーク熱流束密度は、少なくとも800,000ワット平方メートル(W/m^2)、1,600,000 W/m^2 、または他の適当な値である。

【0018】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のピーク熱流束密度は、少なくとも6,000,000 W/m^2 である。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のピーク熱流束密度は、少なくとも2,000,000 W/m^2 である。

【0019】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の20%以下である。

10

【0020】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の10%以下である。

【0021】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の5%以下である。

【0022】

ひとつの実施形態において、エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも95%が、スイッチが回路を形成してから60秒未満に印加される。

20

【0023】

ひとつの実施形態において、エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも95%は、スイッチが回路を形成してから30秒未満に印加される。

【0024】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、少なくとも1つのキャパシタを有する。

【0025】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、連続DC電源を有する。

【0026】

ひとつの実施形態において、バッテリーセルのkWの標準1Cレート定常電流放電サイクルパワーに対する、エネルギー源の放電中の抵抗加熱素子でのkWのピーク加熱パワーの比は、少なくとも50:1であり、ここで、Cレートは、バッテリーがその最大容量に対する放電量の比の測定値である。

30

【0027】

ひとつの実施形態において、バッテリーセルのエネルギー格納容量(kJ)に対する、エネルギー源の放電中の抵抗加熱素子により消散されるキロジュール(kJ)の熱エネルギーの比率は、0.02から0.04の範囲である。ひとつの実施形態において、比率は0.10未満である。

【0028】

ひとつの実施形態において、エネルギー源の放電は、バッテリーセルの表面を、少なくとも150℃まで加熱する。

40

【0029】

ひとつの実施形態において、装置は、抵抗加熱素子を電氣的に絶縁するための抵抗加熱素子の外部の電氣的絶縁バリアをさらに有する。ひとつの実施形態において、電氣的絶縁バリアは、セラミックコーティングを含む。

【0030】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、セラミックコーティングの外側に熱伝導性金属ベースコーティングを有する。

【0031】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、金属ベースコーティングの外側に導体熱伝導ペーストを有する。

50

【 0 0 3 2 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、平坦形状を有する。

【 0 0 3 3 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、バッテリーセルの外側表面に対応するよう形状の修正が可能なように柔軟である。

【 0 0 3 4 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、5ミリ以下の厚さを有する。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、2ミリ以下の厚さを有する。

【 0 0 3 5 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、ニクロムを含む。

10

【 0 0 3 6 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、鉄クロムアルミ (F e C r A l) 合金を含む。

【 0 0 3 7 】

ひとつの実施形態において、装置は、抵抗加熱素子を通じてひとつの電流パルスを送るように構成されている。

【 0 0 3 8 】

他の態様において、本開示は、バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための方法を与え、当該方法は、バッテリーセルの領域に熱を伝達するために、バッテリーセルと熱接触する抵抗加熱素子を与える工程と、抵抗加熱素子と電氣的に接続されるエネルギー源を与える工程と、熱暴走を生じさせるためにバッテリーセルの領域を加熱する抵抗加熱素子において、パワーパルスを生成するべく抵抗加熱素子を通じて電流パルスを送るための回路を選択的に形成する工程とを有する。

20

【 0 0 3 9 】

ひとつの実施形態において、電流パルスは、指数関数的に減衰する。

【 0 0 4 0 】

ひとつの実施形態において、パワーパルスは、抵抗加熱素子において少なくとも1, 000, 000平方メートルワット (W/m^2) のピーク熱流束密度を生成し、ここでワットのパワーは、抵抗加熱素子での加熱パワーであり、平方メートルの面積は、抵抗加熱素子のフットプリント表面積である。ひとつの実施形態において、パワーパルスによって生成された抵抗加熱素子でのピーク熱流束密度は、少なくとも800, 000ワット平方メートル (W/m^2) である。

30

【 0 0 4 1 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のピーク熱流束密度は、少なくとも6, 000, 000 W/m^2 である。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のピーク熱流束密度は、少なくとも2, 000, 000 W/m^2 である。

【 0 0 4 2 】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の20%以下である。

【 0 0 4 3 】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の10%以下である。

40

【 0 0 4 4 】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の5%以下である。

【 0 0 4 5 】

ひとつの実施形態において、エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも95%が、スイッチが回路を形成してから60秒未満に印加される。

【 0 0 4 6 】

ひとつの実施形態において、エネルギー源に格納されたエネルギーの少なくとも95%

50

は、スイッチが回路を形成してから 30 秒未満に印加される。

【0047】

ひとつの実施形態において、所与のエネルギー源は、少なくとも 1 つのキャパシタを有する。

【0048】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、連続 DC 電源を有する。

【0049】

ひとつの実施形態において、バッテリーセルの kW の標準 1 C C レート定常電流放電サイクルパワーに対する、エネルギー源の放電中の抵抗加熱素子での kW のピーク加熱パワーの比は、少なくとも 50 : 1 であり、ここで、C レートは、バッテリーがその最大容量に対する放電量の比の測定値である。

10

【0050】

ひとつの実施形態において、バッテリーセルのエネルギー格納容量 (kJ) に対する、エネルギー源の放電中の抵抗加熱素子により消散されるキロジュール (kJ) の熱エネルギーの比率は、0.02 から 0.04 の範囲である。ひとつの実施形態において、比率は 0.10 未満である。

【0051】

ひとつの実施形態において、エネルギー源の放電は、バッテリーセルの表面を、少なくとも 150 °C まで加熱する。

【0052】

ひとつの実施形態において、方法は、抵抗加熱素子を電氣的に絶縁するために抵抗加熱素子の外部に電氣的絶縁バリアを与える工程をさらに有する。ひとつの実施形態において、電氣的絶縁バリアは、セラミックコーティングを含む。

20

【0053】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、セラミックコーティングの外側に熱伝導性金属ベースのコーティングを有する。

【0054】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、金属ベースコーティングの外側に導体熱伝導ペーストを有する。

【0055】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子は、平坦形状を有する。

30

【0056】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子は、バッテリーセルの外側表面に対応するよう形状の修正が可能なように柔軟である。

【0057】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子は、5 ミリ以下の厚さを有する。ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子は、2 ミリ以下の厚さを有する。

【0058】

ひとつの実施形態において、所与の抵抗加熱素子は、ニクロムを含む。

【0059】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、鉄クロムアルミ (FeCrAl) 合金を含む。

40

【0060】

ひとつの実施形態において、装置は、抵抗加熱素子を通じてひとつの電流パルスを送るよう構成されている。

【0061】

他の態様において、本開示は、バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための装置を与え、当該装置は、バッテリーセルの領域に熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触して配置可能な電気エネルギーを熱に変換するための手段と、抵抗加熱素子と電氣的に接続されたエネルギーを与えるための手段と、熱暴走を生じさせるために、バッテリーセルの

50

領域を加熱するべく、電気的エネルギーを熱に変換するための手段において、パワーパルスを生成するために電気エネルギーを熱に変換するための手段へ電流パルスを選択的に送るためのスイッチ手段とを有する。

【0062】

ひとつの態様において、本開示は、バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための装置が与えられ、当該装置は、バッテリーセルの領域に熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触して配置された抵抗加熱素子と、抵抗加熱素子に電気的に接続されたエネルギー源と、抵抗加熱素子の温度を検知するための温度センサと、温度センサに通信可能に接続された温度制御器であって、当該温度制御器は、熱暴走を生じさせるためにバッテリーセルの領域を加熱するべく、抵抗加熱素子においてパワーを生成するよう抵抗加熱素子を通じて電流を送るためにエネルギー源からエネルギーを解放させるように構成されており、当該温度制御器は、抵抗加熱素子を、抵抗加熱素子の温度の検知に応答して所定の温度に加熱し、かつ、所定の温度に保持するようにさらに構成されている。

10

【0063】

ひとつの実施形態において、生成パワーによって生成された抵抗加熱素子におけるピーク熱流束密度は、少なくとも800,000平方メートルワット(W/m^2)であり、ここでワットのパワーは、抵抗加熱素子での加熱パワーであり、平方メートルの面積は、抵抗加熱素子のフットプリント表面積である。

【0064】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の20%以下である。

20

【0065】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、平坦形状を有する。

【0066】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、3秒以内に大気温度から所定の温度まで加熱される。

【0067】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、バッテリーセルの外側表面に対応するよう形状の修正が可能なように柔軟である。

【0068】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、5ミリ以下の厚さを有する。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、2ミリ以下の厚さを有する。

30

【0069】

ひとつの実施形態において、温度制御器は、抵抗加熱素子において生成されたパワーを制御するのにパルス幅変調(PWM)を使用する。

【0070】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、直流(DC)電源を有する。

【0071】

ひとつの実施形態において、温度センサは、熱電対を有する。

【0072】

ひとつの実施形態において、温度制御器は、抵抗加熱素子の温度が、エネルギー源から解放されたエネルギーに応答して所定の温度を5%以上超えるのを防止する。

40

【0073】

他の態様において、本開示は、バッテリーセル内で熱暴走を生じさせるための方法を与え、当該方法は、バッテリーの領域へ熱を伝達するために、バッテリーセルと熱接触した抵抗加熱素子を与える工程と、抵抗加熱素子に電気的に接続されたエネルギー源を与える工程と、抵抗加熱素子の温度を検知する工程と、熱暴走を生じさせるためにバッテリーセルの領域を加熱するべく抵抗加熱素子においてパワーを生成するようエネルギー源からエネルギーを解放する工程と、抵抗加熱素子の温度の検知に応答して、抵抗加熱素子が所定の温度に加熱され、かつ、所定の温度に保持されるように、抵抗加熱素子の温度を制御す

50

る工程とを有する。

【 0 0 7 4 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子における生成パワーは、抵抗加熱素子において少なくとも 8 0 0 , 0 0 0 平方メートルワット (W/m^2) のピーク熱流束密度を生成する。ここでワットのパワーは、抵抗加熱素子での加熱パワーであり、平方メートルの面積は、抵抗加熱素子のフットプリント表面積である。

【 0 0 7 5 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積は、バッテリーセルのケーシングの全外側表面積の 2 0 % 以下である。

【 0 0 7 6 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、平坦形状を有する。

【 0 0 7 7 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子を加熱することは、3 秒以内に大気温度から所定の温度まで抵抗加熱素子を加熱する工程を含む。

【 0 0 7 8 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、バッテリーセルの外側表面に対応するよう形状の修正が可能なように柔軟である。

【 0 0 7 9 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、5 ミリ以下の厚さを有する。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、2 ミリ以下の厚さを有する。

【 0 0 8 0 】

ひとつの実施形態において、制御する工程は、抵抗加熱素子の温度を制御するのにパルス幅変調 (P W M) を使用する。

【 0 0 8 1 】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、直流 (D C) 電源を有する。

【 0 0 8 2 】

ひとつの実施形態において、温度センサは、熱電対を有する。

【 0 0 8 3 】

ひとつの実施形態において、制御する工程は、抵抗加熱素子の温度が、エネルギー源から解放されたエネルギーに応答して所定の温度を 5 % 以上超えるのを防止する工程を含む。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 4 】

本開示の実施形態は、添付する図面を参照して、例示的に説明される。

【 図 1 】 図 1 は、さまざまなリチウムイオン組成の 1 8 6 5 0 サイズのセルの熱暴走を示す温度と時間の関係のグラフである。

【 図 2 】 図 2 は、ひとつの実施形態に従う回路に接続された加熱素子の図である。

【 図 3 】 図 3 は、ひとつの実施形態に従う、バッテリーセルと接触する加熱素子を有する、熱暴走を開始するための装置の図である。

【 図 4 】 図 4 は、本開示のひとつの実施形態に従う、2 つ以上のセルを有するバッテリー内で熱暴走を開始するための装置の図である。

【 図 5 】 図 5 は、本開示のひとつの実施形態に従う、熱暴走を開始するための装置の略示図である。

【 図 6 】 図 6 は、本開示のひとつの実施形態に従うパワーと時間の関係を示すグラフである。

【 図 7 】 図 7 は、図 6 の 0 秒から 2 秒の間のグラフの拡大図である。

【 図 8 】 図 8 は、本開示のひとつの実施形態に従う、加熱素子のフットプリント表面積を示す、熱暴走を開始するための装置の図である。

【 図 9 】 図 9 は、本開示のひとつの実施形態に従う加熱エレメントの斜視図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、抵抗加熱素子の例を示す図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、抵抗加熱素子の他の例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 2】図 1 2 は、抵抗加熱素子の例を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、いくつかの任意のコーティングを有する抵抗加熱素子の例を示す図である。

【図 1 4】図 1 4 は、いくつかの任意のコーティングを有する図 1 2 の抵抗加熱素子の写真である。

【図 1 5】図 1 5 は、本開示のひとつの実施形態に従うバッテリーセル内で熱暴走を開始するための方法のフローチャートである。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、本開示に従う、ツーステージのランプおよびセットアプローチを示す、温度と時間の関係を示すグラフである。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、ツーステージのランプおよびセットアプローチを示す実験結果の温度と時間の関係を示すグラフである。

10

【図 1 7】図 1 7 は、本開示の実施形態に従う、熱暴走を開始するための装置の略示図である。

【図 1 8】図 1 8 は、抵抗加熱素子の例を示す図である。

【図 1 9】図 1 9 は、本開示の実施形態に従うバッテリーセル内で熱暴走を開始するための処理を示すフローチャートである。

【図 2 0】図 2 0 は、本開示の実施形態に従う電子デバイスの例のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0085】

説明を簡略化するために、各図面を通じて同様の構成要素には同じ参照番号を繰り返し付す。ここで説明する実施形態を理解するためにさまざまな説明が詳細になされる。実施形態は、これらの詳細無しで実行されてもよい。他の例において、周知の方法、手続きおよびコンポーネントは、説明する実施形態との混乱を避けるために詳細に説明されない。詳細な説明は、ここで説明する実施形態の態様を制限することを意図しない。

20

【0086】

図 1 は、3つの異なるリチウムイオン化学組成、すなわち、 LiCoO_2 と $\text{Li}(\text{Ni}_{0.50}\text{Mn}_{0.25}\text{Co}_{0.25})\text{O}_2$ の混合物(LCO/NMC)、 $\text{Li}(\text{Ni}_{0.45}\text{Mn}_{0.45}\text{Co}_{0.10})\text{O}_2$ (NMC)、および LiFePO_4 (LFP)を含む18650個のバッテリーセル内の熱暴走の例を示す温度と時間の関係のグラフ100である。これらの例示的プロット曲線において、リチウムイオンの18650個のセルは、加速度熱量計内に配置され、25 から毎分約2 の熱速度で加熱された。危機設定温度(150 と220 の間)に到達した後、セルは熱暴走を起こした。各々の化学特性のプロット曲線のピークは、LCO/NMC102、NMC104、および、LFP106としてグラフ上に示されている。図1のグラフは、Golubkov, A.W. らによるRoyal Society of Chemistry Advances, 2014, 4, 3633-3642に記載された “Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes” と題する論文に記載されたものであり、ここに参考文献として組み込む。

30

【0087】

図1のグラフ100のX軸は、時間(秒)を表す。0から熱暴走が発生するまでの時間は、ピーク102、104、106で示すように、約3500秒から約7000秒の間で変化し、それはほぼ1時間から2時間に相当する。

40

【0088】

熱暴走を開始させる装置または方法のために以下のひとつ以上の特性が所望される。その特性は、方法が、ピークパワーと反応速度の両方において内部短絡回路の熱生成プロファイルに似ていること、方法が、さまざまなタイプ、サイズおよびジオメトリのセルを使ったフルバッテリーパック内での試験に適応可能であること、方法が、バッテリーパックのレイアウトおよび設計、その構造または隣接セルに影響を及ぼさず、かつ、再充電可能なエネルギーストレージシステム(RESS)内に典型的に存在しない材料の付加およびシステムへの付加的エネルギーの付加を最小化すること、および、方法が、信頼性が高くかつできるだけ侵襲性が小さいことを含む。

50

【 0 0 8 9 】

本開示は概して、複数のバッテリーセルから成るバッテリーセルおよびバッテリーパックの試験および評価を目的としている。加熱素子は、バッテリーセルによって経験される逆の条件をシミュレートするために使用されうる。急速な、局所的加熱ソースは、顧客によるバッテリーの使用中に生じうる潜在的に危険な状況を真似るために使用されてよい。この状況は、セル内の欠陥による短絡回路の過熱、過充電、物理的ブローまたは穴のような外力、あるいは、外部の熱による過熱を含む。ひとつのバッテリーセル内の熱暴走は、故障反応を連鎖的に生じさせ、それは、バッテリーパック全体を通じてカスケード反応する。バッテリーセルに対する急速で局所的な熱の印加は、研究対象の熱暴走を導き、それを持続させ、および/または、それに続く状態を与える。

10

【 0 0 9 0 】

図 2 は、本開示のひとつの実施形態に従うひとつ以上の電気的導体 2 0 5 によって、回路 2 0 4 に接続された加熱素子 2 0 2 を有する装置 2 0 0 の図である。図面に示すコンポーネントは必ずしもスケールが実際と同じものではないことに注意すべきである。装置 2 0 0 は、バッテリーセルが示されていないという意味で独立的に示されている。いくつかの実施形態において、加熱素子 2 0 2 は、抵抗加熱素子である。回路 2 0 4 は、電源 2 0 8 からパワーを与える。装置 2 0 0 は、概して、熱暴走を生じさせるために、バッテリーセルの領域を加熱するべく、抵抗加熱素子においてパワーパルスを生成するために、抵抗加熱素子 2 0 2 を通じて電流パルスを送る回路を選択的に形成するように構成されている。いくつかの実施形態において、回路 2 0 4 はエネルギー源 2 0 8 から加熱素子 2 0 2 へのエネルギーの伝達を制御する回路を含む。ひとつの実施形態において、エネルギー源 2 0 8 は、パルス電源である。ひとつの実施形態において、エネルギー源 2 0 8 は、ひとつ以上のキャパシタを有する。ひとつの実施形態において、ひとつ以上のキャパシタはスーパーキャパシタであってよく、これに制限しないが、電気化学二重層キャパシタなどである。ひとつの実施形態において、ひとつ以上のキャパシタは、パルス放電キャパシタであってよく、それは非常に短時間でその電気的エネルギーを解放することができる。

20

【 0 0 9 1 】

帯電コンデンサによって放電される電流は以下の式で表現される。

【 数 1 】

$$I = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC}$$

30

ここで、 I は電流であり、 V_0 は帯電したコンデンサをまたぐ電圧であり、 t は時間であり、 R は負荷抵抗であり、 C は電荷であり、 RC は時定数である。

【 0 0 9 2 】

図 3 は、熱暴走を生じさせるための例示的な装置 3 0 0 を示す。この例の構成において、加熱素子 3 0 2 は、例えば単一のバッテリーセル 3 0 6 と熱接触して配置される。用語 “熱接触” は、概して、伝導性熱伝達の方法を通じて、2 つのボディがエネルギーを交換することができることを指すのに使用される。エネルギーがエネルギー源 3 0 8 から加熱素子 3 0 2 へ伝達されると、加熱素子 3 0 2 の温度が増加し、熱はバッテリーセルへ伝達される。ある実施形態において、バッテリーセル 3 0 6 へ伝達された熱により、バッテリーセル 3 0 6 の領域は、熱暴走を生じさせる温度に到達する。加熱素子 3 0 2 は、バッテリーセル 3 0 6 のケーシングの外側面に加熱素子 3 0 2 を取り付けることにより、バッテリーセル 3 0 6 と熱接触して配置されてもよい。

40

【 0 0 9 3 】

ひとつの実施形態において、図示しないが、抵抗加熱素子は、試験目的用にバッテリーセル自身の内部に一体化されてもよい。実施形態において、抵抗加熱素子はバッテリーセルのケーシング内に一体化されてもよい。

50

【 0 0 9 4 】

図 4 は、本開示のひとつの実施形態に従う熱暴走を生じさせるための例示的な装置 4 0 0 を示す。本例の構成は、第 2 のバッテリーセルが存在する点を除いて、図 3 に示す装置と類似している。具体的には、バッテリー 4 1 0 は、第 1 バッテリーセル 4 0 6 a および第 2 バッテリーセル 4 0 6 b を含む。破線で描かれ図示のために透明で示す第 2 のバッテリーセル 4 0 6 b は、第 1 のバッテリーセル 4 0 6 a の正面に示されている。加熱素子 4 0 2 は、2 つのバッテリーセル 4 0 6 a および 4 0 6 b の間に配置される同時に、第 1 のバッテリーセル 4 0 6 a と熱接触して配置される。図 4 に示すバッテリー 4 1 0 は 2 つのバッテリーセルのみを有しているが、本開示の装置および方法は、2 つ以上のセルを有するバッテリーとともに使用可能であることが理解できよう。

10

【 0 0 9 5 】

ひとつの実施形態において、加熱素子 4 0 2 は、バッテリーセル 4 0 6 a および 4 0 6 b の両方と熱接触してよい。ある実施形態において、熱暴走を生じさせるための装置は、複数のバッテリーセルの間に挿入され得る複数の加熱素子を有してよい。

【 0 0 9 6 】

図 5 は、本開示のひとつの実施形態に従う、熱暴走を生じさせるための例示的な回路 5 0 0 の略示図である。回路 5 0 0 は、抵抗加熱素子 5 0 2、および、エネルギー源 5 2 0 を含む回路 5 0 4 を有する。ここで実施形態は抵抗加熱素子を有するように説明されているが、ある実施形態は、ひとつ以上の他のタイプ（すなわち、必ずしも抵抗でない）の加熱素子を有してよい。ひとつの実施形態において、エネルギー源 5 2 0 は、電荷の形式でエネルギーを格納するためのひとつ以上のキャパシタ 5 2 2 を有する。ひとつの実施形態において、ひとつ以上のキャパシタは、ウルトラキャパシタであってよい。充電システム 5 3 0 が、試験の前に、エネルギー源 5 2 0 を充電するために与えられてもよい。ひとつの実施形態において、充電システム 5 3 0 は、直流（DC）電圧源のようなエネルギー源 5 3 2、および、ブロックダイオード 5 3 4 を有する。

20

【 0 0 9 7 】

回路 5 0 4 は、エネルギー源 5 2 0 から抵抗加熱素子 5 0 2 へのエネルギーの伝達を制御するための制御回路 5 4 0 を含んでもよい。上述したように、回路 5 0 0 は、熱暴走を生じさせるためにバッテリーセルの領域を加熱する抵抗加熱素子においてパワーパルスを生成するべく、抵抗加熱素子を通じて電流パルスを送る回路を選択的に形成するように構成されている。ひとつの実施形態において、制御回路 5 4 0 は、エネルギー源 5 2 0 から抵抗加熱素子 5 0 2 へのエネルギーの伝達を生じさせる回路を選択的に形成するためのエネルギー伝達スイッチ 5 4 8 を有する。形成済み回路は、バッテリーセルの領域を加熱する加熱素子においてパワーパルスを生成する加熱素子を通じて、電流パルスのようなエネルギーパルスを送ってもよい。

30

【 0 0 9 8 】

図 5 の実施形態において、エネルギー伝達スイッチ 5 4 8 は、ソレノイド 5 4 6 によって作動する機械的スイッチとして示されている。エネルギー伝達スイッチ 5 4 8 は、制御回路電源 5 4 2 からソレノイド 5 4 6 へエネルギーを伝達するための回路を形成するべく、選択スイッチ 5 4 4 の開閉を通じて、ソレノイド 5 4 6 を付勢することにより開閉されてよい。制御回路電源 5 4 2 は、バッテリーまたは任意の他の適当なソースであってよい。

40

【 0 0 9 9 】

エネルギー伝達スイッチ 5 4 8 は、例えば、コンピュータ、プロセッサ、マイクロコントローラ、デジタル回路、または他の適当な電子回路によって手動または電子的に動作してよい。エネルギー伝達スイッチ 5 4 8 は、これに限定されないが、リレーまたは、半導体技術を使って実装された固体スイッチなどの電子的に制御された機械的スイッチを含む任意のタイプの適当なスイッチであってよい。

【 0 1 0 0 】

図 5 の実施形態は、エネルギー伝達スイッチ 5 4 8 を有するが、他の実施形態は、回路を選択的に形成するためのスイッチ以外の任意のタイプのデバイスを有してよい。

50

【 0 1 0 1 】

少なくともいくつかの実施形態において、熱暴走を生じさせるための装置は、抵抗加熱素子 5 0 2 がバッテリーセルの表面積またはサイズに比べて小さい面積を有するように構成されており、その結果、抵抗加熱素子は、熱暴走を開始する温度までバッテリーセルの一部を加熱するべく、熱エネルギーの局所的パルスまたはバーストを生成することができる。これは、熱暴走を生じさせるために十分な温度までバッテリーセルを加熱しないか、長時間の後にのみ十分な温度までセルを最終的に加熱することができる、バッテリーのより大きい面積またはバッテリー全体にわたって熱エネルギーを適用する方法とは対照的である。また、これは、通常の動作温度範囲外または頂点付近である温度まで、周囲バッテリーセルを十分に加熱することができ、その結果、周囲セルの境界条件は、熱暴走の発生時に十分に影響される。付加的に、抵抗加熱素子 5 0 2 は、熱暴走が始まる温度までバッテリーの領域を加熱するべく十分なパワーを与えることができるような少なくとも所定のサイズであることが必要である。

10

【 0 1 0 2 】

抵抗加熱素子 5 0 2 の特性は、所望の熱エネルギー量、バッテリーセルの形状および/またはサイズ、および、エネルギー源 5 2 0 などの回路 5 0 0 内のコンポーネントなどのひとつ以上の要因に基づいて選択されてよい。抵抗加熱素子の特性は、加熱素子のサイズ、形状、厚さ、材料、およびフットプリント表面積 (FSA) を含んでよい。

【 0 1 0 3 】

多くの実験および試験が、本開示に従う熱暴走開始装置の実施形態を使って実行された。図 6 は、本開示に従う熱暴走開始装置によって、抵抗加熱素子において生成されたパワー 6 6 4 を示す、パワーと時間との関係を表すグラフ 6 0 0 である。グラフ 6 0 0 は、抵抗加熱素子の理論的結果 6 6 2 も示す。装置によって (本実施形態においてキャパシタの放電によって) 生成された電流パルスの結果として、パワーが加熱素子で生成される。パワーの曲線 6 6 2 および 6 6 4 は、加熱素子を通じて送られる電流パルスによって画成される。

20

【 0 1 0 4 】

グラフ 6 0 0 はまた、同じタイプのリチウムイオンセルのハード外部短絡回路の結果 6 6 0 を示す。外部短絡回路は、セルの正と負の端子間で低抵抗回路を閉止することにより発生させた。リチウムイオンセルを含まないこの回路の抵抗は、 $0.2\text{ m}\Omega$ であった。このハード外部短絡回路によって開放されるエネルギーは、内部短絡回路のひとつと類似すると考えてよい。ピークパワー (すなわち、プロットのピーク) およびエネルギー解放形状および時間間隔 (すなわち、ピーク後の減少プロット) は、外部短絡回路の結果 6 6 0 と比べ、熱暴走開始装置の結果 6 6 4 の間の合理的な一致を示す。プロット 6 6 4 のピークは、抵抗加熱素子でのパワーパルスのピークである。エネルギー解放の形状は、レオスタットを回路に付加するか、パルス幅を変更するか、ひとつ以上のパルスを使うか、パルスの高さを変更するなどの、付加的な回路の使用を通じて異なるバッテリーサイズおよびジオメトリ用にさらに制御および調整可能である。ある実施形態において、付加的回路は、加熱素子に直列に付加されるが、代替的な実施形態は、直列および/または並列の付加的回路の組みあわせを使用してもよい。

30

40

【 0 1 0 5 】

図 7 は、図 6 のグラフの 0 から 2 秒の時間範囲内の拡大図である。これに対して、図 6 は、0 から 3 0 秒の間の時間範囲を示している点に注意すべきである。図 7 において、加熱素子 6 6 4 において生成されたパワーは、最初の 0 と約 0.1 秒の間に、約 17 kW まで急激に上昇する。その後、パワーは、約 1.8 秒まで徐々に低下し、そこで大きく降下する。加熱素子のパワーのこの急激な増加およびその後の減少は、本開示に従う加熱素子で生成されうるパワーパルスの例である。

【 0 1 0 6 】

図 8 は、加熱素子 8 0 2 のフットプリント表面積を示す、熱暴走を生じさせるための例示的な装置 8 0 0 の図である。フットプリント表面積 (FSA) は、概して、加熱素子の

50

周囲に描かれた外周によって制限される領域を指す。F S A は、破線 8 6 6 によって本実施形態に示されている。図 8 の実施形態における F S A は、 $F S A = F S A w \times F S A h$ として計算される。F S A は、すべての側面の面積の和として計算される、セル 8 0 6 の全外側表面積より小さい。本実施形態において、F S A は、以下のように計算可能である。

$$2 (C E L L w \times C E L L h) + 2 (C E L L w \times C E L L t) + 2 (C E L L h \times C E L L t)$$

【 0 1 0 7 】

ひとつの実施形態において、加熱素子 8 0 2 の F S A はバッテリーセル 8 0 6 の全表面積に対して、あるサイズ（例えば、比率）に選択されてよい。また、図 8 の実施形態における F S A は矩形形状を有するが、これに限定されない。他の実施形態において、加熱素子は、これに限定しないが、正方形、円形、または楕円形などの他の適当な形状またはレイアウトを有してよい。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、複雑な抵抗加熱素子パターンを有する平面状シートの形式の連続メタリック素子である。用語“抵抗加熱素子パターン”は、概して、少なくともひとつの実施形態において、ひとつ以上の抵抗加熱素子自身の導体トラックのレイアウト、形状、サイズを指す。用語“複雑な”とは、概して、抵抗加熱素子によって放出された熱を物理的に集中させるために、加熱素子のセグメントが加熱素子のひとつ以上の他のセグメントに近いところのレイアウトを有する抵抗加熱素子を指す。加熱素子パターンの例は、加熱素子が前後にループをなしている図 2、9、10 および 11 に記載されたものを含み、本開示で示されかつ説明されている。他の任意のパターンが考えられかつ使用可能であり、本開示は示された実施形態を制限するものではないことは理解されよう。他のパターンは、これに限定しないが、螺旋形状のパターン、十字形状パターン、およびオーバーラップパターンを含む。

【 0 1 0 8 】

図 9 は、本開示の実施形態に従う、加熱素子 9 2 0 の斜視図である。図示のように、加熱素子は、厚み T を有するが概して平坦形状を有する平面形状であってよい。概して平坦形状により、加熱エレメント 9 2 0 は、バッテリーパック内で隣接するバッテリーセル間のようなタイトな空間内に挿入可能となる。加熱素子は、蛇行サブエレメント 9 2 2 を有してよい。厚み T は、任意の適当な値であってよい。さまざまな実施形態において、厚み T は、例えば、約 1 ミリ、2 ミリ、3 ミリ、4 ミリ、5 ミリ、それらの間の任意の値、1 ミリ以下、または、5 ミリ以上であってよい。実施形態において、加熱素子 9 2 0 は、5 ミリ以下の厚みを有する。加熱エレメントの厚み T は、加熱エレメントの所望の抵抗値に部分的に基づいてよい。ここで、抵抗値は、素子の撚り線の断面積に素子の長さを乗算することにより計算されてよい。したがって、厚みを増加すると、抵抗値が反比例して減少する。

【 0 1 0 9 】

他の実施形態において、加熱素子は、成形されるか、バッテリーセルの表面に形成される。ある実施形態において、加熱素子は、屈曲可能または柔軟な材料から製造されてよく、その形状がバッテリーセルの外側表面に対応して変形可能であってよい。これらの選択肢は、バッテリーセルの表面が平坦ではない場合、例えば、円筒形のバッテリーセルが使用される場合に好適である。

【 0 1 1 0 】

加熱素子 9 2 0 は、任意の適当な材料から製造されてよい。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、原則的に金属または合金を有するか、金属または合金から成る。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は全体または部分的にニクロムから製造されており、それは、ニッケルおよびクロムの合金である。ニクロムの組成は、ニッケルが約 8 0 %、クロムが約 2 0 %、または他の適当な比率であってよい。ひとつの実施形態において、金属は、タングステンを含んでよい。ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、鉄クロムアルミ (F e C r A l) 合金を含んでよい。

【 0 1 1 1 】

図 10 および 11 は、2 つの異なる例示的な抵抗加熱素子を示す。図 10 の素子 1 0 0

10

20

30

40

50

2 は、手作りされたものであり、銅ジョイント 1 0 3 2 によって結合されかつ 2 つの銅ストリップ 1 0 3 4 の間で結合されたクロメル A（ニクロム）から作られたいくつかの別個の抵抗素子を有する。図 1 1 の素子 1 1 0 2 は、精密機械製造され、2 つの銅ストリップ 1 1 3 4 の間に接続されたニクロム製の金属抵抗加熱素子部 1 1 3 0 を有する。金属抵抗加熱素子部 1 1 3 0 は、複数の蛇行サブエレメント 1 1 3 2 およびストリップ 1 1 3 4 などの一対の導体を接続するための一対の接続タブ 1 1 3 3 を有する。加熱素子 1 1 0 2 の F S A は、破線 1 1 6 6 によって本実施形態で示されている。加熱中のタブ 1 1 3 3 の温度は、典型的に蛇行サブエレメント 1 1 3 2 の温度より非常に低いので、図 1 1 に示された F S A 1 1 6 6 は、接続タブ 1 1 3 3 を有しない、しかし、他の実施形態の接続タブは、F S A の一部を形成すると考えてよい。

10

【0 1 1 2】

ひとつの実施形態において、加熱素子 4 0 2 の F S A はバッテリーセルのケーシングの全外側表面積の 2 0 % 以下である。ひとつの実施形態において、加熱素子 4 0 2 の F S A は、全外側表面積の 1 0 % 以下である。ひとつの実施形態において、加熱素子 4 0 2 の F S A は、全外側表面積の 5 % 以下である。ひとつの実施形態において、加熱素子 4 0 2 の F S A は、全外側表面積の 5 % から 1 0 % の範囲内である。他の実施形態において、F S A は、全外側表面積の異なるパーセンテージを有してよい。

【0 1 1 3】

図 1 2 は、他の例の抵抗加熱素子 1 2 0 2 の写真であり、それは、精密機械製造された。素子 1 2 0 2 は、ニクロムから作られ、複数の蛇行サブエレメント 1 2 3 2 および銅ワイヤまたはストリップのような一対の導体と接続するための一対の接続タブ 1 2 3 3 を有する。

20

【0 1 1 4】

ひとつの実施形態において、電氣的絶縁バリアが、抵抗加熱素子が他に接触するところの任意の他の面から、抵抗加熱素子を電氣的に分離するために、抵抗加熱素子の外側に与えられる。抵抗加熱素子を電氣的に絶縁する例は、加熱素子とバッテリーセルとの間に電気絶縁体を配置することである。ある実施形態において、加熱素子は、外部セラミックコーティングを有する。他の実施形態において、電氣的絶縁バリアは、セラミックベースのペーストなどのペーストであってよい。

【0 1 1 5】

また、ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、銅コーティングなどの熱伝導コーティングを有し、それは、セラミックコーティングの外側にあってよい。セラミックコーティングは、導体加熱素子材料を電氣的に絶縁してよいが、熱伝導コーティングは、加熱素子材料からバッテリーセルのケーシングへの熱の伝達および / または分配を促進または改良するために熱伝導面を与える。

30

【0 1 1 6】

さらに、ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子は、ペーストなどの熱伝達材料を有し、それは熱伝導コーティングの外側にあってよい。ペーストは、物理的接触を改善することができ、したがって抵抗加熱素子とバッテリーセルのケーシングとの間の熱エネルギー伝達を改善する。少なくともいくつかの実施形態において、ニッケルベースのペーストは概して、加熱素子とバッテリーセルとの間の熱伝達を改善することが発見された。熱伝達ペーストは、これに限定しないが、ニッケルベースのペーストを含む任意のタイプのペーストであってよい。方法において熱伝達速度制限コンポーネントは、バッテリーセルの外部ケーシングの熱伝達速度である。

40

【0 1 1 7】

図 1 3 は、いくつかの選択的コーティングを有する例示的な抵抗加熱素子 1 3 0 2 を示す。クロムまたは任意の他の適当な材料から作られ得る抵抗加熱素子 1 3 0 2 は、セラミックなどの電氣的絶縁バリアを具備する。加熱素子 1 3 0 2 は、その後、銅などの熱伝導コーティング 1 3 5 2 を具備してもよい。一般に、熱伝達コーティング 1 3 5 2 と抵抗加熱素子 1 3 0 2 A のニクロムまたは他の材料との間に電氣的な接触は存在すべきではない

50

。また、加熱素子 1 3 0 2 の接続タブ 1 2 3 3 は、銅ワイヤまたはストリップ 1 3 3 4 などの一対の導体と接続されてよい。

【 0 1 1 8 】

付加的に、さまざまな物理的な寸法値が図 1 3 に示されているが、それは一例にすぎない。本実施形態において、抵抗加熱素子 1 3 0 2 は、長さが 5 0 mm、幅が 2 4 . 5 mm、コーティング前の厚みが 1 mm である。電氣的絶縁バリア 1 3 5 0 によってコーティングされた加熱素子 1 3 0 2 の部分は、約 3 0 mm であり、電気絶縁バリア 1 3 5 0 の厚さは約 5 0 μ m である。その後、熱伝達コーティング 1 3 5 2 によって被覆された加熱素子 1 3 0 2 の部分は、約 2 8 . 5 mm であり、熱伝達コーティング 1 3 5 2 の厚さは約 5 0 μ m である。しかし、銅などのより厚い熱伝達コーティング 1 3 5 2 が、バッテリーセルとの熱接触を潜在的に改善するべく、コーティング 1 3 5 2 の外側表面で機械処理されてより平坦な面を与えてもよい。また、加熱素子 1 3 0 2 は、熱伝達コーティング 1 3 5 2 が与えられた後少なくとも 2 mm の厚みを有する。再び、本実施形態の物理的寸法は、例示であって、制限することを意図しない。

【 0 1 1 9 】

他の実施形態において、抵抗加熱素子のフットプリント表面積 (F S A) は、5 . 4 cm^2 (図 1 3 の実施形態)、5 . 6 cm^2 (図 1 8 の実施形態) または他の適当な値を含む、5 . 0 から 6 . 0 cm^2 の範囲内であってよい。

【 0 1 2 0 】

図 1 4 は、セラミック電気絶縁体材料 1 4 0 6 によって、その後、銅熱伝導材料 1 4 0 8 によって被覆された図 1 2 の抵抗加熱素子 1 4 0 2 の写真である。ニクロムから銅を電氣的に絶縁するために、銅熱伝導材料 1 4 0 8 と裸のニクロム 1 4 0 4 との間には 1 4 0 6 で示す物理的ギャップが存在する。

【 0 1 2 1 】

上述したように、使用中、抵抗加熱素子は、バッテリーセルの領域に熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触して配置されてよい。ひとつの実施形態において、エネルギー源は、加熱素子に電氣的に接続され、エネルギーはスイッチによって加熱素子へ伝達される。スイッチは、加熱素子においてパワーパルスを生成するべく、加熱素子を通じて電流パルスを送る回路を選択的に形成する。加熱素子に伝達されたエネルギーにより、熱が生じ、それが、加熱素子に近接したバッテリーセルの領域を加熱し、ある状況において熱暴走が始まる。例えば、熱が危機温度を超えたときである。危機温度は、ケースパイケースで変化し、バッテリーセルのタイプ、サイズ、形状、およびそれが作られる材料などのバッテリーセルのひとつ以上の特性にしばしば依存する。内部バッテリー温度は、熱暴走に導く発熱反応を開始するために、典型的に 1 5 0 から 2 2 0 の範囲内である必要がある。

【 0 1 2 2 】

また、バッテリーセルの領域を危機温度に到達させるために、バッテリーケーシングの外側表面で要求される温度もまた、ケーシングの厚さ、ケーシングが作られる材料等のバッテリーの特性に概して依存する。例えば、ケーシングがより厚い場合、外側表面でより高い温度が要求される。ある実施形態において、単一の電流パルスが加熱素子を通じて送られる。単一パルスは、ひとつ以上のキャパシタなどのエネルギー源内に格納されたエネルギーの突然かつ急速な解放によって生成されてよい。

【 0 1 2 3 】

熱暴走を生じさせるために、加熱素子自身は概して、危機温度を上回る温度に加熱される必要がある。加熱素子は、所定の温度に加熱されてよい。ある実施形態において、加熱素子は、素子が壊れずに (例えば、燃えたりせずに) 耐えることができる最高温度付近またはそのすぐ下の温度まで加熱される。これは概して、特定の加熱素子によって可能な限り最速なバッテリーセルの加熱を与える。しかし、他の実施形態において、例えば、バッテリーセルの融解を防止または遅くするか、またはそれ以外の適当な理由のため、加熱素子は、素子が耐えることができる温度より低い温度で加熱されてよい。加熱素子は、2 0

0 から 1 4 0 0 の範囲、または、他の任意の適当な値の温度まで加熱される。ある実施形態において、加熱素子は、約 9 0 0 、 1 0 0 0 、 1 1 0 0 、 1 2 0 0 、 1 3 0 0 、 1 4 0 0 若しくは 1 5 0 0 、または、これらの温度の上下あるいは中間の任意の温度に加熱される。温度は、加熱素子のタイプ、試験中のバッテリーセルのタイプ、バッテリーケーシングの特性などのひとつ以上の要因に典型的に依存する。

【 0 1 2 4 】

抵抗加熱素子の特性は、所望の加熱エネルギーの量、バッテリーセルの形状および/またはサイズ、および、エネルギー源などの装置全体内のコンポーネントなどのひとつ以上の要因に基づいて選択されてよい。抵抗加熱素子の特性は、サイズ、形状、厚み、材料、および、加熱素子のフットプリント表面積 (F S A) を含んでよい。再度、フットプリント表面積は概して、加熱素子の周囲に描かれた外周ラインによって画定される面積を指す。

【 0 1 2 5 】

ひとつの実施形態において、重要な設計特性は、エネルギー源からのエネルギーの放出の結果として、抵抗加熱素子においてパワーパルスによって生成される抵抗加熱素子におけるピーク熱流束密度である。熱流束密度は、1 平方メートルあたりのワットの単位 (W / m^2) で測定される。ワットのパワーは、抵抗加熱素子における加熱パワーであり、平方メートルの面積は、抵抗加熱素子のフットプリント表面積である。ひとつの実施形態において、パワーパルスにより生成された加熱素子におけるピーク熱流束密度は、少なくとも 1 平方メートルあたり 1 , 0 0 0 , 0 0 0 ワット (W / m^2) である。ひとつの実施形態において、ピーク熱流束密度は、少なくとも 6 , 0 0 0 , 0 0 0 W / m^2 である。他の実施形態において、ピーク熱流束密度は、少なくとも 2 , 0 0 0 , 0 0 0 W / m^2 、少なくとも 1 , 0 0 0 , 0 0 0 W / m^2 または他の任意の適当な値である。

【 0 1 2 6 】

ひとつの実施形態において、抵抗加熱素子の特性は、キャパシタ特性に一致するように選択されてよい。ある実施形態において、抵抗加熱素子の特性は、例えば、所望のエネルギーパルス特性を与えるための回路特性に一致している。ある実施形態において、抵抗加熱素子および/または回路の設計は、バッテリーセルの特性に基づいてよい。例示的なバッテリーセルは、低い熱質量を有する薄型バッテリーの一部であってよく、または、大きい熱質量を有する大きい煉瓦形バッテリーの一部であってよい。

【 0 1 2 7 】

抵抗加熱素子においてエネルギーの強烈なパルスを生成するために、ある実施形態において、ひとつ以上のキャパシタなどのエネルギー源がエネルギーを急速に放電することができる。少なくともある実施形態に対して、一次減衰、および、9 5 % のエネルギー減少まで約 3 0 秒かかるとして特徴づけられる外部短絡回路で観測されるものと類似のプロファイルまたは形状を有するピークパワーを与えることができることが所望される。したがって、少なくともある実施形態において、エネルギー源は、指数関数的な減衰にしたがうパワーを与える。

【 0 1 2 8 】

ひとつの実施形態において、エネルギー源は、エネルギー伝達スイッチが閉止されると、6 0 秒以内に、その電氣的エネルギーまたは電荷の少なくとも 9 5 % を放電することができる。ひとつの実施形態において、エネルギー源は、エネルギー伝達スイッチが閉止されたとき、3 0 秒以内にその電氣的エネルギーの少なくとも 9 5 % を放電することができる。他の実施形態において、9 5 % エネルギー減少または放電までの時間は、2 秒から 6 0 秒の範囲、1 2 0 秒以下、または、他の適当な時間または時間範囲であってよい。エネルギー減少の値および達成時間の値は、例示に過ぎず限定するものではないことが理解されよう。上述したように、エネルギー源は、ひとつ以上のキャパシタを有してよく、ある実施形態は、ひとつ以上のスーパーキャパシタを有してよい。少なくともいくつかの実施形態に対して、エネルギーの解放が従来の定常 D C 電源の与えるものに比べ非常に大きくかつ速いため、ウルトラキャパシタが良い選択として決定された。

【 0 1 2 9 】

バッテリーまたはエネルギー源の放電速度は、C レートの用語で数値化可能である。C レートは、バッテリーまたは他のエネルギー源が最大容量に関して放電される速度の測定値である。ひとつの実施形態において、バッテリーセルのkWの標準的1C C レート定常電流放電サイクルパワーに対する、エネルギー源の放電中の抵抗加熱素子におけるキロワット(kW)のピーク加熱パワーの比は、少なくとも50:1である。ひとつの実施形態において、その比は、少なくとも100:1である。しかし、他の実施形態において、その比はより小さくても、より大きくてもよい。実行された実験において、試験されたバッテリーセルは、標準1C放電パワーが $4.2\text{ V} \times 45\text{ A} = 189\text{ W}$ であった。

【0130】

抵抗加熱素子においてエネルギーパルスによって生成されたピーク加熱パワーは、実施形態ごとに変化してよく、熱暴走を生じさせるために十分な温度までバッテリーセルの領域を加熱することが要求される熱量に依存してよい。ひとつの実施形態において、ピーク加熱パルスは、約17kWのピーク加熱パワーを生成する。他の実施形態において、ピーク加熱パワーは、10kWから23kWまでの範囲であってよい。しかし、これらの値は例示に過ぎない。ある実施形態において、加熱パワーは、信頼できる熱暴走を与えつつ公正な結果を与えるレベルまで減少される。

【0131】

ある実施形態において、熱暴走を開始させるために、最小量の付加的熱を導入することが所望される。付加的に与えられるエネルギーの量は、バッテリーセルのエネルギー格納容量に対する加熱要素によって消散される熱エネルギーの比率である。ある実施形態において、この比率は1未満である。ある実施形態において、バッテリーセルのエネルギー格納容量に対する、エネルギー源の放電中に抵抗加熱素子によって消散されるキロジュール(kJ)の熱エネルギーの比率は、0.02から0.04の範囲内である。ある実施形態において、この比率は0.10未満である。ある実施形態において、この比は、約0.03プラスマイナス0.005である。ある実施形態において、この比率は、これらの範囲および値の外にあってよい。

【0132】

本開示に従う技術と対照的に、既存の低速加熱方法(つまり、より多くの時間にわたってバッテリーセルがゆっくり加熱される)で、この比はより大きい。例えば、ある既存の方法は、約800対1の比を有する。つまり、バッテリーセル内に格納された電気エネルギーより、800倍大きな熱形式のエネルギーが印加される。この付加的な熱の多くは、セルの周囲によって吸収され、かつ、故障の伝搬を深刻に生じさせる。

【0133】

本開示に従う装置に戻って、抵抗加熱素子によって消散される全エネルギーは、バッテリーセルおよび試験シナリオに依存して、実施形態ごとに変化する。ある実施形態において、抵抗加熱素子によって消散される全エネルギーは、約15から25kJの範囲であるが、より広い範囲も可能である。ある例示的な実施形態において、680kJの計測エネルギー格納容量を有するセルに与えられる全消散エネルギーは約22kJである。したがって、比率は、 $22\text{ kJ} / 680\text{ kJ} = 0.032$ である。ある実施形態において、熱暴走の信頼できる開始を保証するためのできるだけ小さいエネルギーが印加される。ある実施形態において、最大印加エネルギーは、エネルギー源によって制限される。

【0134】

少なくともある実施形態において、加熱素子は故障する前にピークパワーを分配することが所望される。ある実施形態において、抵抗加熱素子に伝達される純粋なエネルギー量は、加熱素子に対してダメージを生じさせる。加熱素子が以前のパワーパルスに類似するさらなるパワーパルスを生成することができないように、パワーパルスは、加熱素子にダメージを与えるのに十分なパワーであってよい。ある実施形態において、加熱素子は、さらなる有用なパワーパルスを生成することができない。

【0135】

本開示に従う少なくともひとつの実施形態は、周囲のセルを予熱することなく、ターゲ

10

20

30

40

50

ットセル内で熱暴走を生じさせることが可能である。予熱済みセルは、それが熱暴走危機温度により近いので、伝搬を強く生じさせることが知られている。ひとつ以上の他のバッテリーセルがターゲットバッテリーセルに近接するか、または、接触する場合、これらの他のセルのひとつ以上に伝達される熱が存在しうる。しかし、ある実施形態において、残りのセルへ伝達される熱量を低く維持することが目的である。これは、複数セルを有する全バッテリーを加熱するか、ターゲットセル以外のセルが加熱されるようにバッテリーのより大きい領域を加熱することとは対照的である。

【0136】

ここで説明する実施形態は、これに限定しないが、電気自動車、携帯電話、飛行機、ヘリコプター、または、軍事的ハードウェア、および、再生可能または再生不能ソースからのバルクエネルギーのラージスケールストレージを付勢するためのバッテリーに応用可能である。ここで説明する実施形態は、これに限定しないが、危険物の輸送またはバッテリーの輸送に関連して使用されてよい。

10

【0137】

本開示に従う実施形態が構築され、数回試験された。この実施形態は、約120mmの抵抗値および約25cm²のフットプリント表面積(FSA)を与える約5cm×5cmの寸法を有する抵抗加熱素子を含む。試験されたバッテリーセルは、厚さが無視できると考えられる0.5cmで、約15cm×19cmの寸法を有した。したがって、セルの全外側面積は、約570cm²(285cm²×2側面)であった。よって、セルの全外側面積に対する抵抗加熱素子のFSAの割合は約4.4%であった。試験されたバッテリーセルは、標準1Cで放電量は4.2V×45A=189Wであった。加熱素子のピーク加熱パワーは、約17kWであった。したがって、セルの1C放電量に対するピーク加熱パワーの比率は、約90であった(17kW/0.189kW)。エネルギー源の95%のエネルギー損失までの時間は、約30秒であった。加熱素子に印加される全エネルギーは約22kJであり、バッテリーセルの定格電気エネルギーに対する印加エネルギーの比率は、約3.2%であった。

20

【0138】

この試験実施形態は、パウチおよびプリズムセルを含むさまざまなセル形状で、大気動作温度(0 から25)で12回試験された。熱暴走は、ターゲットセル内で10回うまく生じた。一つ目の失敗は、加熱素子とセルとの間の貧弱な熱接触を生じさせた加熱素子のインストール不良が原因であったと思われる。二つ目の失敗は、低い大気温度(0)およびプリズムバッテリーセル内の厚いセルケースのインシュレーションが原因であったと思われる。

30

【0139】

図15は、本開示に従う実施形態のバッテリーセル内に、熱暴走を生じさせるための方法を示す。

【0140】

方法は、ブロック1500で開始する。ブロック1502に進み、バッテリーセルの領域に熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触した抵抗加熱素子を与えられる。

【0141】

40

方法は、ブロック1504に進み、抵抗加熱素子に電氣的に接続されたエネルギー源を与えられる。

【0142】

方法は、ブロック1506に進み、熱暴走を開始するために、バッテリーセルの領域を加熱するべく、抵抗加熱素子においてパワーパルスを生成するべく、抵抗加熱素子を通じて電流パルスを送る回路が選択的に形成される。

【0143】

方法は、ブロック1508に進み、終了する。

【0144】

本開示の他の態様に従い、バッテリーセルは、熱暴走を生じさせるためにセルと熱接触

50

して配置された抵抗加熱素子へ電流を与えつつ制御することにより作成される熱によって、局所的に加熱される。このアプローチは、クローズドループ制御を使用しかつ少なくとも2つのステージを有し、第1ステージは、所定の温度まで抵抗加熱素子を急速に加熱する。第2ステージは、熱暴走が開始されるまで、抵抗加熱素子を所定の温度付近で保持する。2つのステージは、概して、ランプおよびセットと呼ぶ。したがって、ある実施形態において、ランプおよびセットアプローチが単一電流パルスの替わりに使用される。

【0145】

セル内に熱暴走を誘導するための効率的かつ有効な方法は、少なくとも2つのステージを有するよう決定された。第1ステージは、熱暴走を誘導するための危機温度より高い温度まで加熱素子を急速に加熱するべく、高いパワーを印加することに関連する。第2ステージは、熱暴走が始まるまで、抵抗加熱素子を維持するべく、小さい量のパワーを印加することに関連する。

10

【0146】

ひとつの実施形態において、第1ステージは、非常に短い時間間隔を有してよく、例えば、約1から3秒の範囲であってよい。概して短時間で第1ステージを与えることは、本当の内部短絡回路故障の熱発生プロファイルをシミュレートするための少なくともある実施形態において所望される。短時間第1ステージは、隣接セルに伝達される熱量を制限しうる。第2ステージの時間間隔は、少なくともある実施形態において、バッテリーセルのケーシングまたは壁の厚さおよび熱伝導性によって制限される。したがって、時間間隔は、概して、特定のバッテリーセルに依存して変化する。この時間間隔は、バッテリーセルの物理的特性によって速度制限され、よって、単により多くのパワーを印加しても、必ずしも方法のスピードアップにはならない。

20

【0147】

現在の2ステージアプローチは、隣接バッテリーセルに伝達される熱エネルギーの量を減少させることを含み、前のアプローチに対してひとつ以上の利点を有しうる。内部短絡回路事象をシミュレートするセルの急速な温度上昇のため、大部分の熱がセルに印加されかつ周囲環境に与えられないことを保証しつつ、非常に大きなパワーの印加による加熱エレメントの故障の可能性を減少させることにより、ターゲットバッテリーセル内に熱暴走が発生するより高い確率を保証する。

【0148】

30

図16Aは、本開示に従う2ステージのランプおよびセットアプローチを示す温度と時間のグラフの例である。線1602は、加熱素子の温度(T_{element})を示し、線1604はターゲットバッテリーセルの温度($T_{\text{initiator cell}}$)を示す。第1ステージにおいて、加熱素子は、所定の温度 T_{set} まで急速に加熱され、それはセル内に熱暴走を生じさせるのに必要な危機温度(T_{critical})より上である。第1ステージは、時刻 t_0 において開始し、時刻 t_1 で終了してよい。その間隔は、2秒以内、3秒以内、または他の任意の適当な値であってよい。

【0149】

第2ステージにおいて、加熱素子の温度(T_{element})は、ターゲットバッテリーセルの温度($T_{\text{initiator cell}}$)が危機温度(T_{critical})に到達しかつ熱暴走が時刻 t_2 で生じるまで、所定の温度 T_{set} 付近に保持される。

40

【0150】

時刻 t_0 と t_1 との間の時間間隔、時刻 t_1 と t_2 との間の時間間隔、および、危機温度(T_{critical})は、概して、ターゲットバッテリーセルの物理的および化学的特性にすべて依存する。また、時刻 t_0 と t_1 との間の時間間隔は、加熱素子に印加されるパワーの量にも概して依存する。

【0151】

図16Bは、2ステージのランプおよびセットアプローチを示す実験プロットにより温度と時間の関係を示すグラフである。このグラフは、実際の温度と時間を示す。例えば、加熱素子は、線1612に示すように、大気温度から約900℃まで加熱される。バッテ

50

リーセルの温度は、開始セルとよばれ、上昇して時刻 t_2 付近で熱暴走に達し、その温度は線 1614 に示すように、熱暴走の結果として上昇しつづける。近接セルの温度は、線 1616 によって示され、 t_3 までは熱暴走まで到達せず、開始セルが熱暴走に入るときでも（時刻 t_2 と t_3 との間の時間間隔）、熱暴走危機温度以下の温度に維持される。

【0152】

図 16 A および 16 B は、熱暴走を開始するための 2 ステージアプローチを示す例として与えられる。ラインプロット、温度値、および他のグラフの特徴は、例示に過ぎず、限定するものではない。

【0153】

ひとつの実施形態において、熱暴走を開始するための装置は、加熱素子への電流を制御することにより、加熱素子の温度を制御するべく、クローズドループ制御を使用する。装置は概して、加熱素子、エネルギー源、温度センサ、および温度制御器を有する。

【0154】

加熱素子は、抵抗加熱素子または任意の他の適当なタイプの加熱素子であってよい。エネルギー源は、加熱素子へ、電流または他の形式のエネルギーを供給してよい。エネルギー源は直流電流（DC）電源または他の適当なタイプのエネルギー源であってよい。温度センサは、抵抗加熱素子の温度を検知する。温度センサは、熱電対または他の適当なタイプの検知機器であってよい。温度制御器によって、抵抗加熱素子は、所定の温度まで加熱され、抵抗加熱素子の温度の検知に応答して所定の温度に保持される。ひとつの実施形態において、温度制御器は加熱素子で生成されたパワーを制御するべくパルス幅変調（PWM）を使用する。温度制御器は、加熱素子の温度検知に応答して加熱素子へ電流を与えるべくリレーを制御してよい。リレーは、固体リレーまたは他の任意のタイプの適当なリレーであってよい。

【0155】

図 17 は、本開示の実施形態に従う、熱暴走を生じさせるための回路 1700 の形式の装置の略示図である。回路 1700 は、抵抗加熱素子 1702 およびエネルギー源 1720 を有する。この実施形態は、抵抗加熱素子を有するように説明されるが、ある実施形態ではひとつ以上の他のタイプの加熱素子を有してよい。ひとつの実施形態において、エネルギー源 1720 は、例えば、24 V 直流電源である DC 電源を有する。

【0156】

回路 1700 は、エネルギー源 1720 から抵抗加熱素子 1702 へのエネルギーの伝達を制御するための温度制御器の形式の制御回路 1740 を有してよい。温度センサ 1741 は、加熱素子 1702 に与えられ、かつ、温度制御器 1740 と通信可能に接続されている。

【0157】

回路 1700 はまた、エネルギー源 1720 を加熱素子 1702 に電氣的に接続する回路を選択的に形成するためのエネルギー伝達スイッチまたはリレー 1730 を有する。温度制御器 1740 に通信可能に接続されたエネルギー伝達リレー 1730 は、加熱素子 1702 の温度を制御するべく温度制御器 1740 によって制御される。エネルギー伝達リレー 1730 は、固定リレーとして示されているが、他のタイプのリレーまたはスイッチが使用されてもよい。

【0158】

回路 1700 は、エネルギー源 1720 を加熱素子 1702 に電氣的に接続するための回路を選択的に形成する回路パワーリレー 1748 を有する。回路パワーリレー 1748 は、単極、単投の電気機械式リレーとして示されているが、他のタイプのリレーまたはスイッチ機構が使用されても良い。また、回路パワーリレー 1748 は、トリガー 1746 によって作動されるように示されている。回路パワーリレー 1748 は、DC 電源またはバッテリーなどのエネルギー源 1742 によって付勢されてよい。

【0159】

上述したように、回路 1700 は、熱暴走を生じさせるために、バッテリーセルの領域

10

20

30

40

50

を加熱するための抵抗加熱素子の温度を選択的に制御するように構成されている。

【 0 1 6 0 】

図 1 8 は、抵抗加熱素子 1 8 0 2 の実施形態を示す。加熱素子 1 8 0 2 は、ここで説明する他の実施形態と類似しているが、ひとつ以上の点が異なっている。例えば、ひとつの実施形態において、加熱素子 1 8 0 2 は、ニクロム (8 0 / 2 0) を含む。蛇行サブエレメント 1 8 2 2 のエッジ (例えば、コーナー) は、面取りされてよく、それは、絶縁バリアコーティングの適用を促進する。ひとつの実施形態において、面取りは、約 2 mm × 4 5 度であってよい。また、加熱素子 1 8 0 2 は、温度センサ (図示せず) を加熱素子 1 8 0 2 に取り付けのを容易にするために、チャンネルまたは溝 1 8 0 4 を有してよい。チャンネル 1 8 0 4 は、図 1 8 の実施形態に示すように、サーペント形状チャンネルであってよく、または、他の任意の適当な形状およびサイズを有してよい。ひとつの実施形態において、サーペント形状を有するチャンネルにより、温度センサは、加熱素子に固定して接続可能となり、準備および試験中に取り外せない。

10

【 0 1 6 1 】

また、加熱素子 1 7 0 2 の寸法は、任意の適当な値を有してよい。ひとつの実施形態において、寸法はほぼ次のようなものである。すなわち、L 1 が 5 0 mm、L 2 が 1 0 mm、L 3 が 5 mm、W 1 が 2 3 . 5 mm、W 2 が 0 . 5 mm、W 3 が 1 . 5 mm、W 4 および W 5 が 5 mm、W 6 および W 7 が 1 0 mm、D 1 (直径) が 3 mm である。

【 0 1 6 2 】

図 1 9 は、本開示に従う実施形態のバッテリーセル内で熱暴走を開始させるための方法のフローチャートである。

20

【 0 1 6 3 】

方法は、ブロック 1 9 0 0 で開始する。ブロック 1 9 0 2 に進み、抵抗加熱素子が、バッテリーセルの領域へ熱を伝達するためにバッテリーセルと熱接触される。

【 0 1 6 4 】

方法は、ブロック 1 9 0 4 に進み、熱暴走を開始するために、バッテリーセルの領域を加熱するべく、エネルギーが抵抗加熱素子に印加される。

【 0 1 6 5 】

方法は、ブロック 1 9 0 6 に進み、抵抗加熱素子の温度が検知される。

【 0 1 6 6 】

方法は、ブロック 1 9 0 8 に進み、抵抗加熱素子の温度の検知に応答して、抵抗加熱素子が所定の温度まで加熱され、かつ、所定の温度に保持されるように、加熱素子の温度が制御される。

30

【 0 1 6 7 】

方法は、ブロック 1 9 1 0 に進み終了する。

【 0 1 6 8 】

図 2 0 は、本開示に従うひとつの実施形態のひとつ以上の態様またはコンポーネントを実装する際に使用される例示的な電子デバイス 2 0 0 0 のブロック図であり、これは、熱暴走を開始するための装置を含むがそれに限定されない。ひとつの実施形態において、電子デバイス 2 0 0 0 は、制御および / または処理能力を与えるのに使用されてよい。

40

【 0 1 6 9 】

電子デバイス 2 0 0 0 は、ひとつ以上の中央演算装置 (C P U) 2 0 0 2、メモリ 2 0 0 4、大容量記憶装置 2 0 0 6、入力 / 出力 (I / O) インターフェース 2 0 1 0、および通信サブシステム 2 0 1 2 を有してよい。電子デバイス 2 0 0 0 のひとつ以上のコンポーネントまたはサブシステムが、ひとつ以上のバス 2 0 1 4 によってまたは任意の他の適当な方法で相互接続されてよい。

【 0 1 7 0 】

バス 2 0 1 4 は、任意のタイプのいくつかのバスアーキテクチャであってよく、それは、メモリバス、ストレージバス、メモリコントローラバス、周辺バス等を含む。C P U 2 0 0 2 は、これに制限しないが、F P G A、マイクロプロセッサ、および、マイクロコ

50

ントローラを含む、任意のタイプの電子データプロセッサを有してよい。ステートマシンは、発明の範囲を越えることなくCPU2002と置換可能である。メモリ2004は、ダイナミックランダムメモリ(DRAM)、スタティックランダムアクセスメモリ(SRAM)、同期DRAM(SDRAM)、リードオンリーメモリ(ROM)、それらの組み合わせ等などの任意のタイプのシステムメモリを有してよい。ひとつの実施形態において、メモリはブートアップ時に使用するためのROM、および、プログラムを実行する間に使用するためのプログラムおよびデータ保存用のDRAMを含んでよい。

【0171】

大容量記憶装置2006は、データ、プログラム、および他の情報を格納し、かつ、バス2014を介してデータ、プログラムおよび他の情報にアクセス可能にするように構成された任意のタイプの記憶デバイスを有してよい。大容量記憶装置2006は、ひとつ以上のソリッドステートドライブ(SSD)、ハードディスク(HDD)、磁気ディスクドライブ、光学式ディスクドライブ等を有してよい。ある実施形態において、データ、プログラム、または他の情報は、例えば、クラウド内に遠隔的に格納されてもよい。電子デバイス2000は、ネットワークまたは他のデータ通信媒体を介して、通信サブシステム2012を含む任意の適当な方法で遠隔ストレージへ情報を送受信してよい。

10

【0172】

I/Oインターフェース2010は、電子デバイス2000へひとつ以上の他のデバイス(図示せず)を接続するためのインターフェースを与えてよい。他のデバイスは、これに限定しないが、エネルギー伝達スイッチ548、選択スイッチ、制御回路540、回路504、エネルギー源520、充電システム530、エネルギー伝達リレー1730、温度センサ1741、トリガー1746、および、回路パワーリレー1748を有してよい。また、付加的またはより少ないインターフェースが使用されてもよい。例えば、ユニバーサルシリアルバス(USB)(図示せず)のようなひとつ以上のシリアルインターフェースが与えられてもよい。

20

【0173】

通信サブシステム2012は、送信および受信信号の一方または両方に対して設けられてよい。通信サブシステムは、ひとつ以上の有線および無線インターフェースを通じた通信を可能にするための任意のコンポーネントおよびコンポーネントの集合を有してよい。これらのインターフェースは、これに限定しないが、USB、Ethernet、high-definition multimedia interface (HDMI(登録商標))、Firewire(例えば、IEEE 1394)、Thunderbolt(商標)、WiFi(商標)(例えばIEEE 802.11)、WiMAX(例えばIEEE 802.16)、Bluetooth(登録商標)、またはNear-field communications (NFC)、および、GPRS、UMTS、LTE、LTE-A、狭域通信(DSRC)、およびIEEE 802.11を含んでよい。通信サブシステム2012は、ひとつ以上の有線接続用の(図示せず)ひとつ以上のポートまたは他のコンポーネントを含んでよい。付加的または代替的に、通信サブシステム2012は、ひとつ以上のトランスミッタ、レシーバ、および/または、アンテナ素子(図示せず)を有してよい。

30

【0174】

図20の電子デバイス2000は、例示に過ぎず、限定するものではない。さまざまな実施形態が、図示されまたは説明されたいくつかまたはすべてのコンポーネントを使用してよい。ある実施形態は、図示せずまたは説明されていないが、当業者に周知の他のコンポーネントを使用してよい。また、図20の電子デバイス2000の境界は、あるコンポーネントが、電子デバイス2000の外部にあるが、他のコンポーネントは内部になるという意味で制限されない。

40

【0175】

上述した説明において、説明のために、多くの詳細が実施形態の理解を与えるために説明されてきた。しかし、これらの特定の詳細は、必要ではないことは理解されよう。他の例において、周知の電子ストラクチャーおよび回路が理解を妨げないようにブロック図で示されている。例えば、特定の詳細は、ここで説明した実施形態がソフトウェア、ハード

50

ウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組みあわせ内に実装されるか否かについて記載していない。

【0176】

本開示の実施形態は、機械読み取り可能媒体（コンピュータ読み取り可能媒体、プロセッサ読み取り可能媒体、または、コンピュータ読み取り可能プログラムコードを含んだコンピュータ使用可能媒体ともいう）に格納されコンピュータプログラムプロダクトとして表現されてもよい。機械読み取り可能媒体は、ディスクット、コンパクトディスクリードオンリーメモリ（CD-ROM）、メモリデバイス（揮発性または不揮発性）、または同様の記憶機構を含む、磁気、光学または電気記憶媒体を有する任意の適当な有体、非一過性媒体であってよい。機械読み取り可能媒体は、インストラクション、コードシーケンス、コンフィギュレーション情報、または他のデータのさまざまなセットを含む。それらは、実行される際に、本開示の実施形態に従う方法のステップをプロセッサに実行させる。説明した方法を実行するのに必要な他のインストラクションおよびオペレーションもまた機械読み取り可能媒体に格納可能であることは当業者の知るところである。機械読み取り可能媒体に格納されたインストラクションは、プロセッサまたは他の適当な処理デバイスによって実行可能であり、説明したタスクを実行するための回路とインターフェース可能である。

10

【0177】

ここで説明した特定の実施形態の構造、特徴、アクセサリおよび代替は、互換性があるかぎり、ここで説明し図示した実施形態のすべてを含む本開示のすべての教示に概して適応されることを意図している。換言すれば、特定の実施形態の構造、特徴、アクセサリ、および代替は、特に示さない限り、特定の実施形態に限定することを意図しない。

20

【0178】

さらに、ここで説明した方法のステップおよびステップの順序は、これに限定されない。方法は、異なるステップ、異なる数のステップ、および/または、異なる順序のステップを有することも考えられる。

【0179】

上述した実施形態は、例示にすぎない。添付する特許請求の範囲に記載された発明の範囲から離れることなく、特定の実施形態に対する代替、修正および変更が可能であることは当業者の知るところである。

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0180】

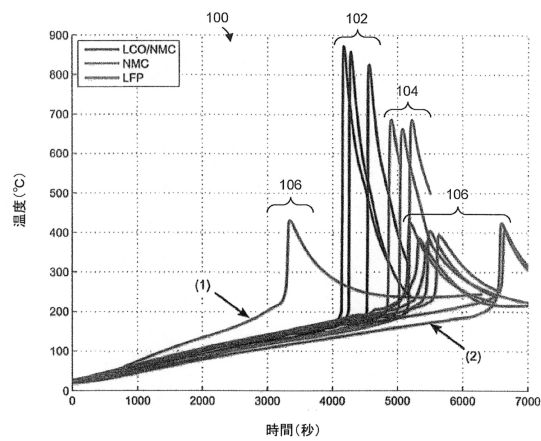
【文献】Golubkov, A.W. らによるRoyal Society of Chemistry Advances, 2014, 4, 3633-3642に記載された “Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes” と題する論文

40

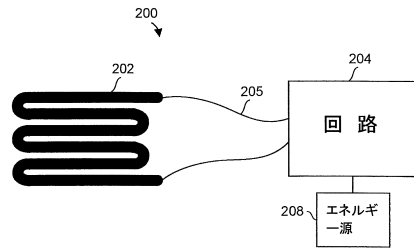
50

【図面】

【図 1】

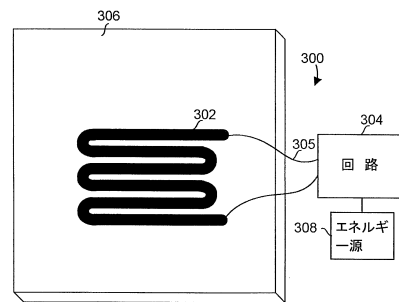


【図 2】

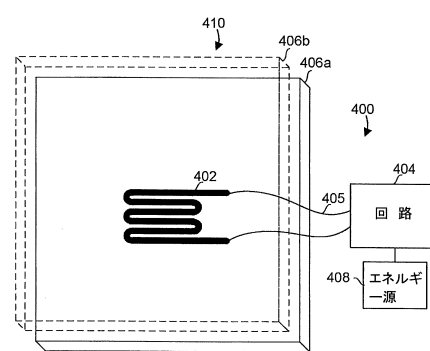


10

【図 3】



【図 4】



20

30

40

50

【図 5】

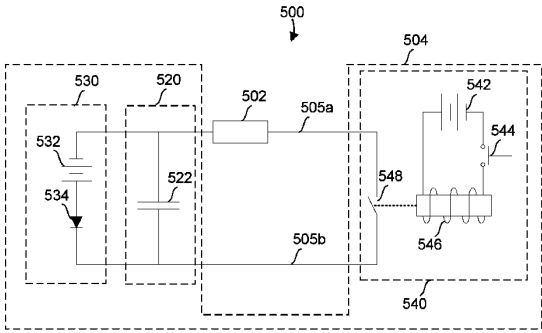
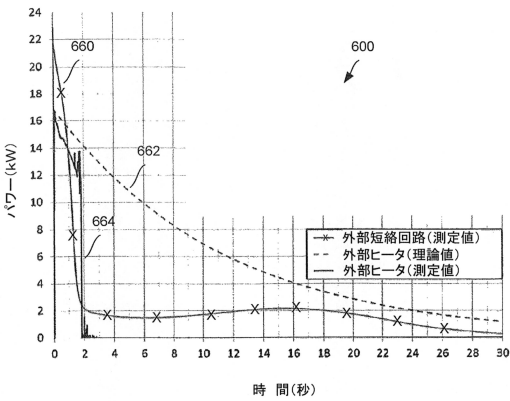


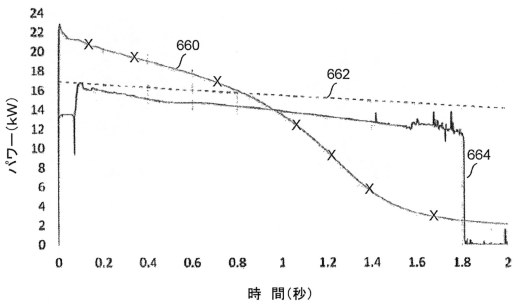
FIG. 5

【図 6】

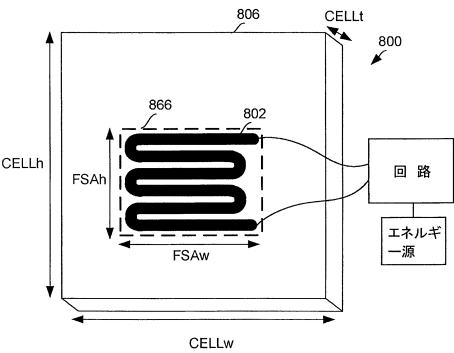


10

【図 7】



【図 8】



20

30

40

50

【図 9】

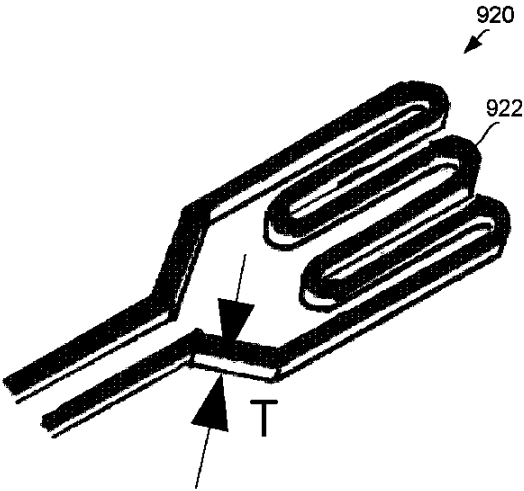


FIG. 9

【図 10】

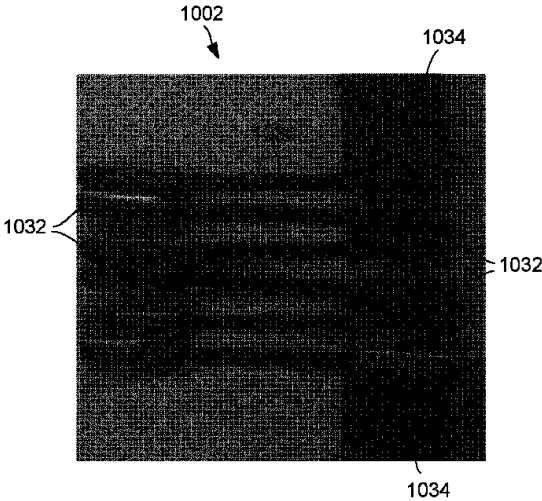


FIG. 10

10

【図 11】

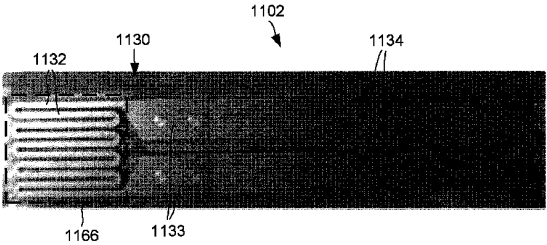


FIG. 11

【図 12】

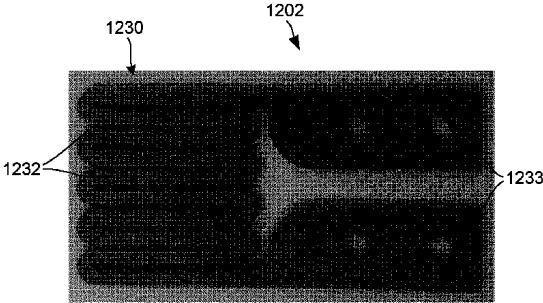


FIG. 12

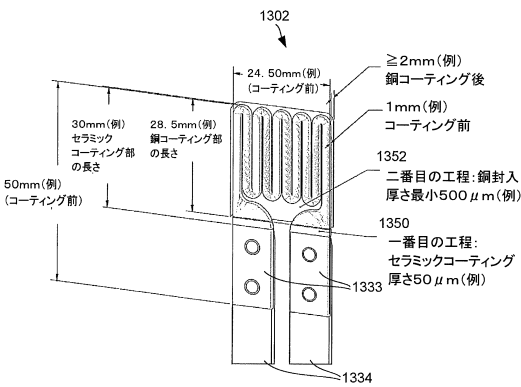
20

30

40

50

【図 1 3】



【図 1 4】

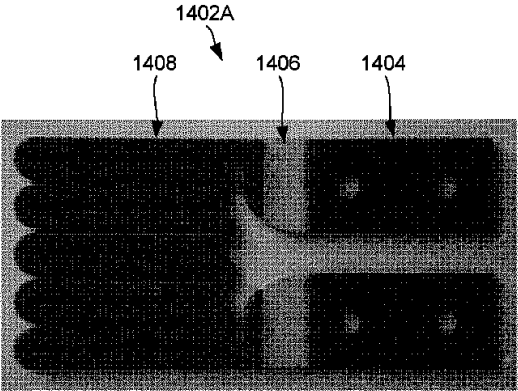
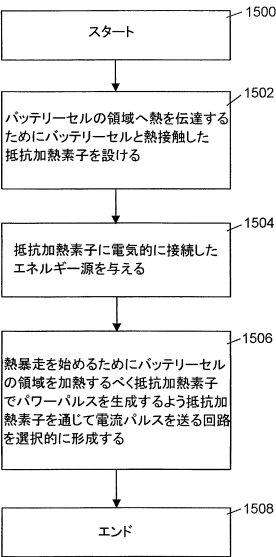
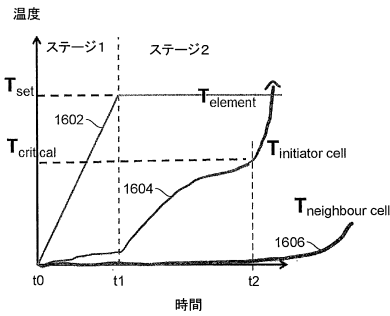


FIG. 14

【図 1 5】



【図 1 6 A】



10

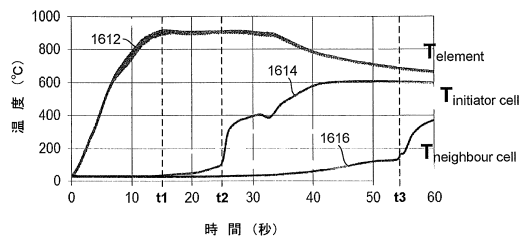
20

30

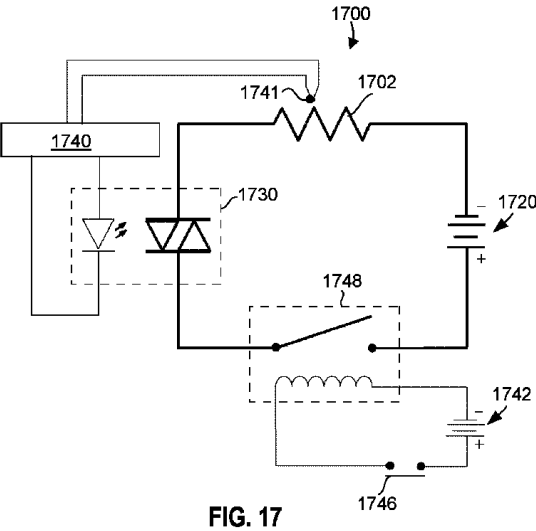
40

50

【図 16 B】



【図 17】



10

【図 18】

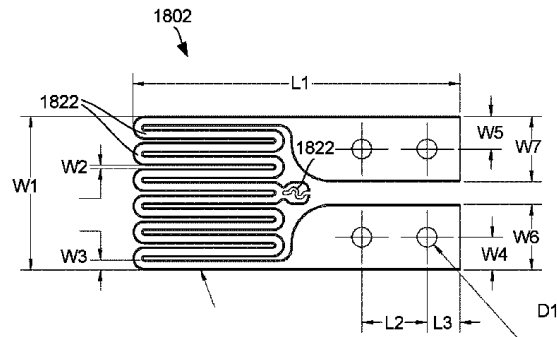
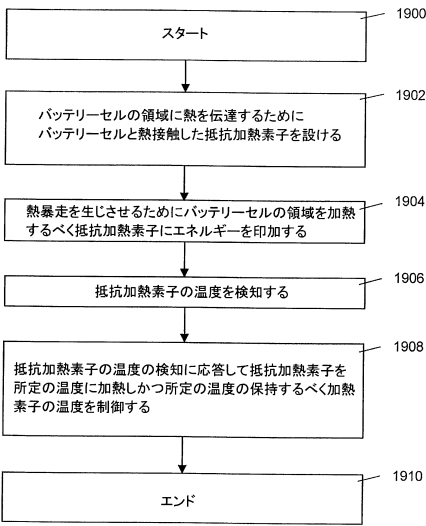


FIG. 18

【図 19】



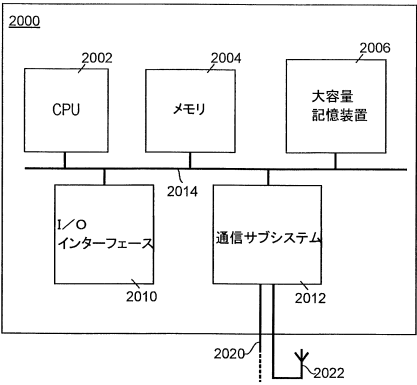
20

30

40

50

【図 20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

前置審査

オタワ, アプロ サークル 1 8 7

(72)発明者 トーロン, ギリオ

カナダ国, K 4 A 3 T 7 オンタリオ, オタワ, ニコレット ウェイ 1 8 0 2

(72)発明者 コドラ, オルション

カナダ国, K 2 E 0 A 6 オンタリオ, オタワ, チボリ プライベート 2 5 2

(72)発明者 ペロン, ジョエル

カナダ国, K 4 A 4 L 9 オンタリオ, オタワ, スカリー ウェイ 2 0 8 2

審査官 松嶋 秀忠

(56)参考文献

中国特許出願公開第 1 0 3 5 6 0 3 0 2 (C N , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 2 4 1 3 9 4 (U S , A 1)

国際公開第 2 0 1 2 / 1 0 5 6 3 6 (W O , A 1)

特開 2 0 1 3 - 1 4 9 3 7 9 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 2 8 9 5 2 0 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 0 1 M 1 0 / 0 4 - 3 9

H 0 1 M 1 0 / 4 8

H 0 1 M 1 0 / 6 0 - 6 6 7

G 0 1 N 2 5 / 2 0