

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6310771号
(P6310771)

(45) 発行日 平成30年4月11日(2018.4.11)

(24) 登録日 平成30年3月23日(2018.3.23)

(51) Int.Cl.
HO 1 M 4/525 (2010.01)
HO 1 M 10/052 (2010.01)
HO 1 M 10/613 (2014.01)
HO 1 M 10/6551 (2014.01)
HO 1 M 10/6561 (2014.01)

F 1
HO 1 M 4/525
HO 1 M 10/052
HO 1 M 10/613
HO 1 M 10/6551
HO 1 M 10/6561

請求項の数 14 外国語出願 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-105294 (P2014-105294)
(22) 出願日 平成26年5月21日 (2014.5.21)
(65) 公開番号 特開2014-229617 (P2014-229617A)
(43) 公開日 平成26年12月8日 (2014.12.8)
審査請求日 平成29年5月19日 (2017.5.19)
(31) 優先権主張番号 13/902, 207
(32) 優先日 平成25年5月24日 (2013.5.24)
(33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 500520743
ザ・ボーイング・カンパニー
The Boeing Company
アメリカ合衆国、60606-2016
イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(74) 代理人 100109726
弁理士 園田 吉隆
(74) 代理人 100101199
弁理士 小林 義教
(72) 発明者 コウムバカリス、ニコラス
アメリカ合衆国 カリフォルニア 90740, シール ビーチ, メールコード
110-エスディー54, ピー. オー. ボックス 2515

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】熱管理された電池アセンブリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アノード(14)とカソード(16)とを含む電池アセンブリ(10)であって、前記アノード及び前記カソードのうちの少なくとも一つは、サーモクリスタルメタマテリアル構造(50)を含み、前記サーモクリスタルメタマテリアル構造(50)は、
金属酸化物の結晶格子と、

前記金属酸化物の結晶格子の層の間に組み込まれた金属イオンと、
格子振動の方向を揃え、前記格子振動により発生した熱波を集熱するように構成された、前記金属酸化物の結晶格子内に導入された格子内欠陥及び置換元素の少なくとも一つとを含む、電池アセンブリ(10)。

【請求項 2】

電解質(18)をさらに含み、前記アノード(14)及び前記カソード(16)は、前記電解質に電気的に結合している、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項 3】

前記電解質(18)は非水電解質を含む、請求項2に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項 4】

前記アノード(14)を前記カソード(16)から電気的に絶縁させるように位置決めされるセパレータ(20)をさらに含む、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項 5】

電池ハウジング(12)をさらに含み、前記アノード(14)と前記カソード(16)

10

20

は前記電池ハウジングに格納される、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項6】

前記アノード(14)は、伝導性炭素質材料を含む、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項7】

前記金属酸化物の結晶格子内に導入された格子内欠陥はナノ粒子を含む、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項8】

前記金属酸化物の結晶格子内に導入された置換元素は、鉄及びニッケルの少なくとも一つを含む、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

10

【請求項9】

集熱された熱波によって画定された目的エリアに前記サーモクリスタルメタマテリアル構造(50)に熱的に結合したヒートシンク(22)をさらに含む、請求項1に記載の電池アセンブリ(10)。

【請求項10】

アノードとカソードとを含む電池アセンブリであって、前記カソードはサーモクリスタルメタマテリアル構造を含み、前記サーモクリスタルメタマテリアル構造は、コバルト酸化物の結晶格子と、

前記コバルト酸化物の結晶格子の層の間に組み込まれたリチウムイオンと、格子振動の方向を揃え、前記格子振動により発生した熱波を集熱するように構成された、前記コバルト酸化物の結晶格子内に導入された格子内欠陥及び置換元素の少なくとも一つと

20

を含む、電池アセンブリ。

【請求項11】

前記コバルト酸化物の結晶格子内に導入された前記格子内欠陥は、鉄のナノ粒子を含む、請求項10に記載の電池アセンブリ。

【請求項12】

前記コバルト酸化物の結晶格子内に導入された前記置換元素は、前記コバルト酸化物の結晶格子の一部のコバルトを置換するニッケルを含む、請求項10に記載の電池アセンブリ。

30

【請求項13】

前記コバルト酸化物の結晶格子内に導入された前記置換元素は、前記コバルト酸化物の結晶格子の一部のコバルトを置換する鉄を含む、請求項10に記載の電池アセンブリ。

【請求項14】

集熱された熱波によって画定された目的エリアに前記サーモクリスタルメタマテリアル構造に熱的に結合したヒートシンクをさらに含む、請求項10に記載の電池アセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、充電式金属(例:リチウム)イオン電池等の電池に関し、さらに具体的には電池の熱管理に関し、またさらに具体的には、指向性熱制御に基づく電池の熱管理に関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

充電式電池は、航空機及び電子デバイス(例:コンピュータ及び携帯電話)等の様々な用途において使用される。種々の充電式電池が市販されているが、エネルギー密度が比較的高く、また部分充電後の電池メモリがないために、通常、リチウムコバルト酸化物(LiCoO₂)電池等のリチウムイオン電池が使用される。

【0003】

リチウムイオン電池は、負荷下で、また充電中に発熱することで知られる。したがって

50

、電池の用途においてリチウムイオン電池が供給する高いエネルギー密度が要求される場合、熱管理システムが通常採用される。Li-イオンCoO₂電池の熱管理の一例は、種々のセルを物理的に分離させることである。熱管理システムの別の例は、リチウムイオン電池の各セルの温度を監視し、所定の閾値を超える温度に達したセルを遮断することである。

【0004】

すでに進歩は遂げているが、当業者は、電池の熱管理の分野において研究開発の努力を続けている。

【発明の概要】

【0005】

10

一実施形態において、本発明の熱管理された電池アセンブリはアノードとカソードを備え、アノード及びカソードのうちの少なくとも一つは、サーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。

【0006】

別の実施形態では、本発明の熱管理された電池アセンブリは、アノード、カソード及び電解質を備え、カソードは、サーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。

【0007】

別の実施形態では、本発明の熱管理された電池アセンブリは電解質、電解質と電気的に接触しているアノード、及び電解質と電気的に接触しているカソードを備え、カソードは、結晶格子の中に組み込まれた不純物を含むサーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。

20

【0008】

別の実施形態では、本発明の熱管理された電池アセンブリは、電解質、電解質と電気的に接触しているアノード、及び電解質と電気的に接触しているカソードを備え、カソードは、金属酸化物の層の間に組み込まれた金属イオンを有する層状金属酸化物と、金属酸化物の層の中の不純物を含むサーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。

【0009】

さらに別の実施形態では、(1)サーモクリスタルメタマテリアル構造を有する電極を形成し、(2)電極を電池アセンブリに組み込み、(3)サーモクリスタルメタマテリアル構造により熱波がヒートシンクとともに一方向に位置調整されるように、ヒートシンクを電極に熱的に結合させるステップを含む熱管理の方法も開示されている。

30

【0010】

本発明の熱管理された電池アセンブリの他の実施形態及び方法は、後述の詳細な説明、添付図面及び請求の範囲から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の熱管理された電池アセンブリの一実施形態の概略ブロック図である。

【図2】図1の熱管理された電池アセンブリのカソードのサーモクリスタル構造の概略図である。

【図3】電池の熱管理を行う本開示方法の一実施形態を示すフロー図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0012】

電池ハウジング12、アノード14、カソード16、電解質18、セパレータ20及びヒートシンク22を備える、概して10で指定される本発明の熱管理された電池アセンブリの一実施形態を示す図1を参照する。熱管理された電池アセンブリ10のアノード14及びカソード16は、負荷26、チャージャ28、及びスイッチ30を備える電気回路24の一部である。スイッチ30は、少なくとも、熱管理された電池アセンブリ10がチャージャ28によって充電される第1の位置と、熱管理された電池アセンブリ10が負荷26に電力を供給する第2の位置との間で切替式であってよい。

【0013】

50

電池ハウジング12は、アノード14、カソード16及び電解質18を受容して格納する内部チャンバ32を画定する。電池ハウジング12は、アノード14、カソード16、及び電解質18を周辺環境から分離するように構成された防水及び/又は気密性ハウジングである。一実施例として、電池ハウジング12は、剛性のプラスチック、金属、または複合ハウジングである。別の実施例では、電池ハウジングは柔軟なプラスチック製のハウジングである。

【0014】

電解質18は、電池のハウジング12の内部チャンバ32に受容される、電池のハウジング12の内部チャンバ32を部分的に満たす、またはほぼ全体的に満たすものである。電解質18は、液体、固体、または液体と固体の混合物（例：ゲル）である。採用される電池の化学的物質、たとえばリチウム電池の化学的物質などによっては、不都合な化学反応を防ぐために電解質が実質的に水分を含まない（例：非水）ものであってよい。

10

【0015】

当業者であれば、本発明の範囲を逸脱することなく、種々の電解質組成を使用できることが分かるであろう。ある一般的、非限定的な例では、電解質18是有機溶剤のリチウム塩を含む非水電解質である。ある特定の非限定的な例では、電解質18は無水エチレンカーボネート（1、3-ジオキソラン-2-one）のリチウムヘクサフルオロリン酸（LiPF6）を含む非水電解質である。

【0016】

電解質は、適切な溶剤（例：水）に溶解されるとイオン化する任意の化合物である。これには、最溶性の塩、酸、及び基材が含まれる。ある場合には、塩化水素などの気体も高温又は低圧の条件下において電解質としても機能することができる。電解質溶液もまた、荷電官能基を含む高分子電解質と呼ばれるいくつかの生体及び合成高分子を溶解させたものである。電極が電解質に位置決めされ、電圧が印加されると、電解質が溶液内でイオン化するため電気が流れる。電子は単独では電解質を通ることができない。代わりに、カソードにおいて化学反応が起き、アノードから電子が消費される。アノードにおいて別の反応が起きて電子が発生し、この電子は最終的にカソードへ伝送される。その結果、カソード周囲の電解質においてマイナスの電荷雲ができる、アノード周囲にプラスの電荷ができる。電解質のイオンによりこれらの電荷が中和され、これにより電子の流れ、及び反応の継続が可能になる。電池においては、種々の電子親和力を有する2つの材料が電極として使用され、電子は電池の外で一つの電極から他の電極まで流れ、電池の内部では電解質のイオンによって回路が閉じられる。ここで電極の反応により、化学エネルギーが電気エネルギーに変換される。

20

【0017】

セパレータ20は電池ハウジング12の内部チャンバ32に受容され、これにより、内部チャンバ32がアノードチャンバ34とカソードチャンバ36に分離される。セパレータ20により、アノードチャンバ34（したがってアノード14）はカソードチャンバ36（したがってカソード16）から流体的に、また電気的に絶縁され、その一方で、イオンがアノードチャンバ34とカソードチャンバ36の間を通れるようになる。

30

【0018】

セパレータ20は、透過性高分子膜などの透過性の膜である。様々な市販の透過性の膜は、本発明の熱管理された電池アセンブリ10の分離20に使用するのに適切でありうる。分離20に使用するのに適切な透過性の膜の、ある特定の非限定的な例は、ペンシルバニア州ピッツバーグのPPGインダストリーズ社から入手可能なHi-SilTM沈澱シリカから形成された膜である。

40

【0019】

アノード14はアノードチャンバ34に受容され、電解質18と電気的に接触（例：浸水）している。アノード14は、熱管理された電池アセンブリ10のマイナスの電極として機能する。したがって、アノード14は導電性である。

【0020】

50

当業者には、種々のアノード組成を採用することができる事が分かるだろう。アノード 14 の組成の選択は、中でも電解質 18 の組成（例：アノード 14 は電解質 18 に露出された時に分解しない材料から形成される）によって決まる。ある一般的、非限定的な例では、アノード 14 は伝導性炭素質材料から形成される。ある特定の非限定的な例では、アノード 14 はグラファイトから形成される。

【0021】

カソード 16 はカソードチャンバ 36 に受容され、電解質 18 と電気的に接触（例：浸水）している。カソード 16 は、熱管理された電池アセンブリ 10 のプラス電極として機能する。したがって、カソード 16 は導電性である。

【0022】

カソード 16 内の高周波の格子振動により熱が発生する。従来技術のカソードでは、この熱は全方向に分散されるため、熱を効果的に除去することが難しい。本発明の熱管理された電池アセンブリ 10 の熱管理は、カソード 16 をサーモクリスタルメタマテリアル構造として構成することによって改善されると考えられる。カソード 16 のサーモクリスタルメタマテリアル構造は電気を良く通す。しかしながら、カソード 16 のサーモクリスタルメタマテリアル構造は、（テラヘルツの域でありうる）熱を発生させる格子振動の周波数を低周波域（例：約 100 ~ 300 ギガヘルツ）へシフトさせ、振動を一方向に位置調整する。したがって、いかなる特定の理論にも縛られることなく、カソード 16 のサーモクリスタルメタマテリアル構造は、熱波（又は熱波の少なくともかなりの周波数の部分）を、熱を全方向に放射する、又は全方向の熱の多方向伝播を可能にする代わりに、ヒートシンク 22 に集熱する。

【0023】

カソード 16 のサーモクリスタルメタマテリアル構造は、従来の結晶カソード材料（例：リチウムコバルト酸化物）等の当技術分野で周知の種々のカソード材料を使用して構成される。カソード 16 の特定の組成は、中でも電池の化学的物質と、電解質の互換性、及び対象の材料を使用して電池のカソードとして使用するのに適切なサーモクリスタルメタマテリアルを形成する能力によって決定づけられる。

【0024】

ある特定の実装態様では、カソード 16 は、当技術分野で周知の、金属酸化物の結晶格子の層の間に組み込まれる金属イオンを有する層状の金属酸化物を含む。しかしながら、金属酸化物の結晶格子に不純物を導入してエネルギー帯を歪ませ、これにより、カソード 16 をサーモクリスタルメタマテリアル構造にすることができる。本明細書で使用する結晶格子の「不純物」には、結晶格子のすべての格子間欠陥、及び結晶格子に対する工学的な組成改良、例えば結晶格子のある元素を他の元素に置き換えてメタマテリアルを得ることが含まれる。

【0025】

ある特定の非限定的な実施例では、カソード 16 は、リチウムコバルト酸化物ベースのサーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。図 2 に示すように、概して 50 で指定される、リチウムコバルト酸化物ベースのサーモクリスタルメタマテリアル構造は、コバルト酸化物 (CoO₂) 52 の層間に組み込まれるリチウムイオン (Li⁺) 54 を有するコバルト酸化物 52 の層を含む。カソード 16 (図 1) のサーモクリスタルメタマテリアル構造 50 により熱波が一方向にヒートシンク 22 (図 1) へ誘導されるように、コバルト酸化物 52 の層に不純物 56 を導入してサーモクリスタルメタマテリアル構造 50 が形成される。

【0026】

さらに図 2 を参照する。図 2 では、格子 52 内のコバルト (Co) のいくつかを同様の元素で置き換えることによって、コバルト酸化物の結晶格子 52 に不純物 56 が導入されている。例えば、周期表のコバルトの隣に位置づけされる金属である鉄 (Fe) 及び / 又はニッケル (Ni) を、鉄とニッケルが不純物 56 として機能するように、結晶格子 52 内のいくつかのコバルトと置き換えることができる。

10

20

30

40

50

【0027】

選択的な元素の置換に代えて、又は加えて、材料を結晶格子52の格子間に組み込むことによって、不純物56をコバルト酸化物の結晶格子52に導入することができる。例えば、鉄のナノ粒子等のナノ粒子を格子間欠陥としてコバルト酸化物の結晶格子52の中に組み込むことができる。

【0028】

図1を再度参照すると、ヒートシンク22は、カソード16に熱的に結合される。ある非限定的な実施例では、ヒートシンク22は、カソード16に近接して（例：当接して）位置決めされる。別の非限定的な実施例では、熱伝導性接着剤により、ヒートシンク22がカソード16に熱的に結合される。

10

【0029】

カソード16に対するヒートシンク22の特定位置は、カソード16の構成によって決まる。具体的には、ヒートシンク22は、カソード16のサーモクリスタルメタマテリアル構造が集熱する対象エリア23に近接して位置づけされる。

【0030】

ヒートシンク22は、熱管理された電池アセンブリ10から熱を除去することができる任意の装置又はシステムである。したがって、ヒートシンク22は、電池ハウジング12内に発生する熱エネルギー（熱）を熱管理された電池アセンブリ10から取り除く。ヒートシンク22は能動的又は受動的である。ある非限定的な実施例では、ヒートシンク22は、一塊のフィン付きである、又はフィン付きでない熱伝導性材料（例：銅）である。別の非限定的な実施例では、ヒートシンク22は、流動冷却流体を含む。冷却流体は、液体（例：水又はグリコール）又は気体（例：外気）である。

20

【0031】

本開示内容は、熱管理された電池アセンブリ10のカソード16をサーモクリスタルメタマテリアル構造として構成することに焦点を当てているが、アノード14等の熱管理された電池アセンブリ10の一又は複数の他のコンポーネントも、熱管理を改善するためのサーモクリスタルメタマテリアル構造として構成することができると考えられる。カソードの代わりにアノードがサーモクリスタルメタマテリアル構造であるように、又はアノードとカソードの両方がサーモクリスタルメタマテリアル構造であるように電池アセンブリを改良することは、本発明の範囲から逸脱したことにはならない。

30

【0032】

図3を参照する。図3には、概して100で指定されている、電池アセンブリを熱管理する方法も開示されている。方法100は、ブロック102において、電極をサーモクリスタルメタマテリアル構造として形成するステップによって開始される。リチウムコバルト酸化物等、結晶格子に不純物を導入することによって、電極のサーモクリスタルメタマテリアル構造が形成される。

【0033】

ブロック104において、ブロック102で形成される電極が電池アセンブリに組み込まれる。例えば、サーモクリスタルメタマテリアル構造を有する電極は、電池アセンブリのカソードとして使用される。したがって、リチウムイオン電池であってよい電池アセンブリは、電解質と、電解質に浸されているアノードと、電解質に浸されているサーモクリスタルメタマテリアル構造の電極（カソード）と、アノードをカソードから分離させているセパレータを含む。

40

【0034】

ブロック106において、ヒートシンクはサーモクリスタルメタマテリアル構造の電極に熱的に結合される。したがって、サーモクリスタルメタマテリアル構造の電極により、熱がヒートシンクに集中し、ヒートシンクにより電池アセンブリから熱が抽出される。

【0035】

この結果、本発明の熱管理された電池アセンブリと、それに関する方法は、サーモクリスタルメタマテリアル構造を用いて、過剰な熱を単一のポイント（又は特定のいくつかの

50

ポイント)から抽出するだけでよいように、熱を单一の目的エリア(又は特定のいくつかの目的エリア)に集中させる。このように、本発明の熱管理された電池アセンブリはさらに軽量で小型である一方、熱暴走も起こりにくい。

【0036】

本発明の熱管理された電池アセンブリ及び方法の様々な実施形態を示し説明してきたが、本明細書を読んだ当業者には変更例が想起されうるであろう。本発明はそのような変更例も含んでおり、請求の範囲によってのみ限定される。

【0037】

さらに、本開示は、下記の条項による実施形態を含む。

【0038】

条項1 アノード及びカソードを含む電池アセンブリであり、前記アノード及び前記カソードのうちの少なくとも一つはサーモクリスタルメタマテリアル構造を含む。

【0039】

条項2 さらに電解質を含み、前記アノード及び前記カソードは前記電解質に電気的に結合されている、条項1に記載の電池アセンブリ。

【0040】

条項3 前記電解質は非水電解質である、条項2に記載の電池アセンブリ。

【0041】

条項4 さらに前記アノードを前記カソードから電気的に絶縁するように位置決めされるセパレータを含む、条項1に記載の電池アセンブリ。

20

【0042】

条項5 さらに電池ハウジングを含み、前記アノード及び前記カソードは前記電気ハウジングに格納されている、条項1に記載の電池アセンブリ。

【0043】

条項6 前記アノードは伝導性炭素質材料を含む、条項1に記載の電池アセンブリ。

【0044】

条項7 前記サーモクリスタルメタマテリアル構造は、結晶格子内に不純物を有する金属酸化物の前記結晶格子を含む、条項1に記載の電池アセンブリ。

【0045】

条項8 前記不純物は、前記結晶格子の格子間欠陥を含む、条項7に記載の電池アセンブリ。

30

【0046】

条項9 前記不純物は、前記結晶格子内に元素置換を含む、条項7に記載の電池アセンブリ。

【0047】

条項10 前記サーモクリスタルメタマテリアル構造に熱的に結合されるヒートシンクをさらに含む、条項1に記載の電池アセンブリ。

【0048】

条項11 アノードとカソードを含み、前記カソードが前記サーモクリスタルメタマテリアル構造を含む電池アセンブリ。

40

【0049】

条項12 電解質をさらに含み、前記アノード及び前記カソードが前記電解質に電気的に結合される、条項11に記載の電池アセンブリ。

【0050】

条項13 前記アノードを前記カソードから電気的に絶縁するように位置決めされるセパレータをさらに含む、条項11に記載の電池アセンブリ。

【0051】

条項14 電池ハウジングをさらに含み、前記アノード及び前記カソードは前記電池ハウジングに格納される、条項11に記載の電池アセンブリ。

【0052】

50

条項 15 前記アノードは伝導性炭素質材料を含む、条項 11 に記載の電池アセンブリ。

【0053】

条項 16 前記サーモクリスタルメタマテリアル構造はコバルト酸化物の結晶格子にリチウムイオンを含む、条項 11 に記載の電池アセンブリ。

【0054】

条項 17 前記サーモクリスタルメタマテリアル構造は前記コバルト酸化物の結晶格子内に不純物をさらに含む、条項 16 に記載の電池アセンブリ。

【0055】

条項 18 前記不純物は鉄及びニッケルからなるグループから選択される元素を含む、10 条項 17 に記載の電池アセンブリ。

【0056】

条項 19 前記サーモクリスタルメタマテリアル構造に熱的に結合されるヒートシンクをさらに含む、条項 11 に記載の電池アセンブリ。

【0057】

条項 20 サーモクリスタルメタマテリアル構造を有する電極を形成し、前記電極を電池アセンブリに組み込み、前記サーモクリスタルメタマテリアル構造により熱波がヒートシンクとともに一方向に位置調整されるように前記ヒートシンクを前記電極に熱的に結合させるステップを含む、熱管理する方法。

【符号の説明】

【0058】

- 10 熱管理された電池アセンブリ
- 12 電池ハウジング
- 14 アノード
- 16 カソード
- 18 電解質
- 20 セパレータ
- 22 ヒートシンク
- 23 サーモクリスタルメタマテリアル構造が集熱する対象エリア
- 24 電気回路
- 26 負荷
- 28 チャージャ
- 30 スイッチ
- 32 内部チャンバ
- 34 アノードチャンバ
- 36 カソードチャンバ
- 50 サーモクリスタルメタマテリアル構造
- 52 コバルト酸化物 (CoO₂)
- 54 リチウムイオン (Li⁺)
- 56 不純物
- 100 電池アセンブリを熱管理する方法

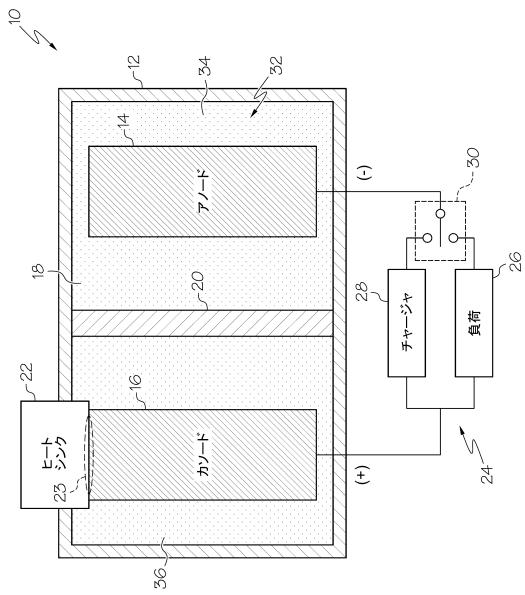
10

20

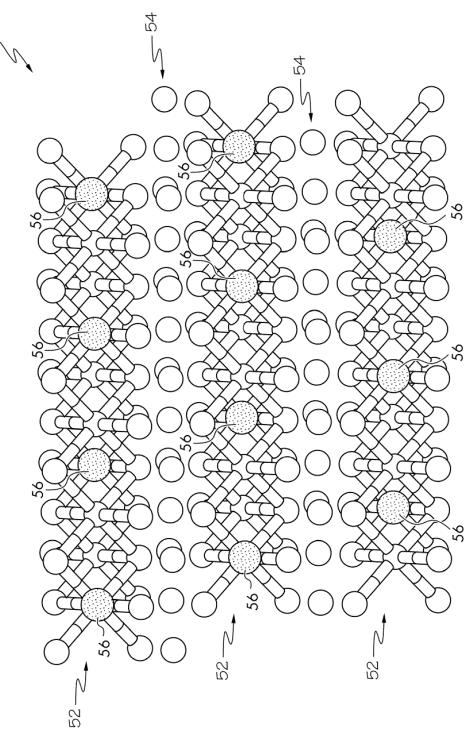
30

40

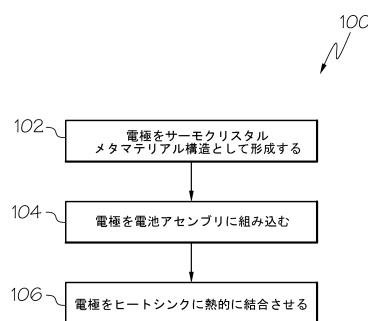
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 01M 10/6567 (2014.01) H 01M 10/6567

(72)発明者 ハント, ジェフリー エイチ.
アメリカ合衆国 カリフォルニア 90740, シール ビーチ, メールコード 110-エ
スディー54, ピー.オー. ボックス 2515

審査官 式部 玲

(56)参考文献 特開2002-352863 (JP, A)
特開2008-226465 (JP, A)
特表平06-507265 (JP, A)
米国特許第08094023 (US, B1)
MARTIN, Maldovan, "Narrow Low-Frequency Spectrum and Heat Management by Thermocrystals", PHYSICAL REVIEW LETTERS, American Physical Society, 2013年 1月 9日, Vol.110, No.2, pp.025902-1 - 025902-5

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01M 4/00 - 4/62
H 01M 10/05 - 10/0587
H 01M 10/52 - 10/667