

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6647312号
(P6647312)

(45) 発行日 令和2年2月14日(2020.2.14)

(24) 登録日 令和2年1月16日(2020.1.16)

(51) Int.Cl. F 1
G 2 1 H 1/06 (2006.01) G 2 1 H 1/06

請求項の数 12 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2017-544804 (P2017-544804)	(73) 特許権者	517167144
(86) (22) 出願日	平成27年11月13日 (2015.11.13)		キネティック エナジー オーストラリア
(65) 公表番号	特表2017-535796 (P2017-535796A)		ピーティーワイ リミテッド
(43) 公表日	平成29年11月30日 (2017.11.30)		オーストラリア国 クイーンズランド州
(86) 国際出願番号	PCT/AU2015/050712		4069 フィグツリー ポケット ニー
(87) 国際公開番号	W02016/074044		ダム ストリート 32
(87) 国際公開日	平成28年5月19日 (2016.5.19)	(74) 代理人	100120891
審査請求日	平成30年11月1日 (2018.11.1)		弁理士 林 一好
(31) 優先権主張番号	2014904588	(74) 代理人	100165157
(32) 優先日	平成26年11月14日 (2014.11.14)		弁理士 芝 哲央
(33) 優先権主張国・地域又は機関	オーストラリア (AU)	(74) 代理人	100205659
			弁理士 齋藤 拓也
		(74) 代理人	100126000
			弁理士 岩池 満

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発電機システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射性核種材料、
金属電極、および、
負荷に接続されるときに電気エネルギーの流れを促進する前記電極に接続している電気
接点、
を含む発電機システムであって、

前記システムは、150～1500ナノメートルの間の厚みを有し、少なくとも1つの
前記電極と直接接触して、その間に金属-半導体接合部を形成する酸化亜鉛の薄膜層をさ
らに含み、

前記放射性核種材料から受け取られる放射性放出は、前記金属-半導体接合部で電気エ
ネルギーに変換される、発電機システム。

【請求項 2】

前記酸化亜鉛層は基板材料上に形成される、請求項 1 に記載の発電機システム。

【請求項 3】

前記基板材料は、ガラス、サファイヤまたは水晶から選択される、請求項 2 に記載の発
電機システム。

【請求項 4】

前記酸化亜鉛層と前記基板との間にドーパント金属酸化物材料の層が配置される、請求項
2 または請求項 3 に記載の発電機システム。

【請求項 5】

前記金属電極のうちの1つは、前記ドーブト金属酸化物材料と直接接触して配置される、請求項4に記載の発電機システム。

【請求項 6】

前記金属電極は、金、銀またはアルミニウムで形成される、請求項1～5のいずれか1項に記載の発電機システム。

【請求項 7】

前記放射性核種材料はシール材料に覆われる、請求項1～6のいずれか1項に記載の発電機システム。

【請求項 8】

前記シール材料は、アルミニウム、金属合金、プラスチックまたはマイラから選択される、請求項7に記載の発電機システム。

【請求項 9】

前記放射性核種材料は、Sr-90、Pm-147、Ni-63またはH-3から選択される、請求項1～8のいずれか1項に記載の発電機システム。

【請求項 10】

前記酸化亜鉛層の厚みは1250ナノメートル以下である、請求項1に記載の発電機システム。

【請求項 11】

請求項1～10のいずれか1項に記載の発電機システムを囲むハウジングを含む、電源装置。

【請求項 12】

酸化亜鉛の多層があり、各層は対応する金属電極および電気接点を有し、隣接層は絶縁基板材料によって分離される、請求項11に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発電の分野に、特に放射性放出のエネルギーから変換される電気エネルギーに関する。

【背景技術】

【0002】

電池は、外部負荷を駆動するための電気エネルギーの自己充足的なソースを提供する。電池の一般的な例は、電気化学バッテリーである。電気化学バッテリーは比較的低コストでしばらくの間の電力ニーズを提供することで効果的である一方、限定要因は、材料の種類および重量によって定められる有効エネルギーである。それらの質量に関して電気化学バッテリーの限られたエネルギー貯蔵およびエネルギー密度のため、代替りの電池（例えばエネルギー密度のより高い理論限界のため、放射性同位元素によって動くバッテリー）を生産するさまざまな試みが、あった。

【0003】

いくつかの異なるタイプのラジオアイソトープで動くバッテリーがある。かつて、この種のタイプは、電気エネルギーを発生するために放射性物質の崩壊の間、生じる熱を使用するラジオ熱ジェネレータ（RTG）である。これらの装置は、電気エネルギーへの熱エネルギーの低い変換効率を有する。したがって、RTGは、電力ソースを発生するために非常に高エネルギーのラジオアイソトープとともに一般に使用され、そして通常相当なシールドを必要とする。加えて、電力出力は低い。

【0004】

別のタイプのラジオアイソトープで動くバッテリーは、ラジオアイソトープ、発光材料および光起電力セルを使用する間接的な変換装置である。ラジオアイソトープによって放出される崩壊粒子は、発光材料を励起する。発光材料によって放出される光は、電気を発生させるために光起電力セルによって吸収される。このタイプのバッテリーは、2段階の変換

10

20

30

40

50

であるので一般に低い効率を、そして発光材料が放出によって損傷を受けるので比較的短い寿命を有する。

【0005】

ラジオアイソトープで動くバッテリーの別の例は、ラジオアイソトープおよび半導体材料を使用する直接的な変換装置である。従来の半導体は、それらがラジオアイソトープ崩壊生成物から副次的な放射線損傷を負うにつれて、この用途において限られた使用だけである。特に、入射する高エネルギーの粒子は、生成された電荷担体を拡散させて止める半導体の欠陥を作成する。損傷は蓄積して、これによりバッテリーの性能を時間とともに低減させる。

【0006】

特許文献1は、付随する熱発生を有する比較的高いエネルギー放射線源、およびラジオアイソトープに反応して欠陥生成によって特徴づけられる大量結晶質半導体(例えばAlGaAs)から成る固体原子力電池を開示する。放射線損傷がバッテリーの上昇した動作温度で焼鈍しにより修理されるように、材料は選択される。この装置は低効率をこうむる。そしてそれは、高エネルギー放射線源の使用を必要として、さらに上昇した動作温度が機能することを必要とする。

【0007】

特許文献2は、結晶質半導体材料(例えばGaNAsP)の基板から成る固体のラジオアイソトープで動く半導体バッテリーを教示する。このバッテリーは、寿命を最大にするために半導体材料の劣化を最小にするために低エネルギー粒子だけを放出するラジオアイソトープを好ましくは使用する。より低エネルギー放射線源を使用する効果は、より低い最大電力出力である。

【0008】

この種のさらなる装置は、特許文献3に開示される。そしてそれは、二十面体のホウ化合物(例えばB₁₂P₂またはB₁₂As₂)、ベータ放射線源、および電気エネルギーを外部負荷に伝えるための手段、を組み込んでいるベータセルを記載する。ホウ素ヒ化物およびホウ素リン化合物を製造することは高価である。そしてそれは、この種の装置を生産するためのコストを上昇させる。さらに、この種の装置の生産は、ヒ化物およびリン化合物材料を扱うことと関連した健康、安全および環境のリスクを増した。

【0009】

要約すると、現在利用可能なラジオアイソトープで動くセルに関する課題は、電気エネルギーへの放出されたエネルギーの変換の非効率性、装置材料に影響を及ぼす放射線損傷、高エネルギー核原料および劣化を受ける半導体材料のシールド要件を含む。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】米国特許第5,260,621号

【特許文献2】米国特許第5,859,484号

【特許文献3】米国特許第6,479,919号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の目的は、耐久性と電力出力との間の改良されたバランスを呈するラジオアイソトープ電池を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明によれば、放射性核種材料、酸化亜鉛の薄膜層、酸化亜鉛に接触して、その間に金属-半導体接合部を形成する金属電極であって、放射性核種材料から受け取られる放射性放出は、金属-半導体接合部で電気エネルギーに変換される、金属電極、および、負荷に接続されるときに電気エネルギーの流れを促進する電極に接続している電気接点、を含

10

20

30

40

50

む、発電機システムが設けられる。

【0013】

酸化亜鉛の使用が驚くべき結果を有することが発明者によって発見された。酸化亜鉛が固有のn型半導体である一方で、それは、安定したドーパドp型ZnO材料の欠乏のため半導体材料として限られたまたは商用でないアプリケーションを有する。したがって、それは、pn接合を形成するための半導体材料の劣った選択であると考えられる。そしてそれは、ラジオアイソトープで動く電池を構築するための主要な方向であった。

【0014】

半導体材料(例えばGaAs、GaInAs;またはSi、Si-C;またはCdTe;等)の伝統的に認められた選択は、高レベル放射線にさらされるときに構造的に分解するとわかった。

10

【0015】

酸化亜鉛は、適切な厚みで使用されるときに、高い放射線レベルに耐えることができ、そして、金属-半導体接合部(pn接合とは対照的に)の一部として使用されるときに、好ましい発電出力を与えることができることを、発明者は発見した。

【0016】

本発明の実施形態は、添付図面を参照してここに記載される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、3Vの印加電圧を用いる試験における酸化亜鉛の厚みの変化にともなう生成された電流の変化を示すグラフである。

20

【図2】図2は、3Vの印加電圧を用いる試験における異なる電極材料および構成を有する酸化亜鉛の厚みの変化にともなう生成された電流の変化を示すグラフである。

【図3】図3は、酸化亜鉛層からの放射性核種の距離の変化にともなう印加電圧に対して生成された電流の変化を示すグラフである。

【図4】図4は、電源装置の第1実施形態の概略図である。

【図5】図5は、電源装置の別の実施形態の概略図である。

【図6】図6は、電源装置のさらに別の実施形態の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明は、特定の実例に関して主に記載される。例示されて記載される特定の実施の特徴のバリエーションを用いて、本発明の原理が実施されてよいことが理解されよう。実施例は、本明細書において開示される広い発明の概念の例示としてかつ制限的でないとして考慮されなければならない。

30

【0019】

本発明の1つの実施は、半導体材料と接触する金属電極を有し、そして放射性核種材料からの放射線にさらすn型半導体材料を使用する発電システムである。電極と半導体材料との間に形成される金属-半導体接合部で、放射性放出は電気エネルギーに変換される。生成された電気エネルギーの流れのために、電極間に電位差があることは重要である。それ故、その他と比較して1つの電極でより大きな電荷生成が引き起こされるために、電極間の金属-半導体接触面積において有意差があることを必要とする。より大きな電荷蓄積を有する電極は、効果的に負端子になる。そして他の電極は、正端子になる。

40

【0020】

ラジオアイソトープ電池の発電を最大にするために、比較的高いエネルギーレベルの放射線源および高い活性密度を使用することは、望ましい。しかしながら、大部分の半導体材料は、この種の高いエネルギーレベルに耐えることができなくて、露出によって構造的に分解することができない。

【0021】

酸化亜鉛は、n型半導体であるが、非常に劣った半導体材料であるとしてこの分野では退けられる。しかしながら、酸化亜鉛が比較的高いエネルギーレベルの放射線および高い

50

活性密度に耐える能力を示すことを、本発明の発明者は発見した。

【0022】

残念なことに、提唱された発電システムの酸化亜鉛を使用する最初の試験は、ZnOが劣った半導体材料であるというこの分野で一般に容認されている意見によって予測される期待外れの結果を与えた。高レベルの放射線に耐える能力にもかかわらず、生成された電気出力はごくわずかであった。

【0023】

しかしながら、提唱された発電システムにおいて使用される酸化亜鉛の厚みを変化させることで試験が行われたときに、酸化亜鉛が十分に薄い層またはフィルムの形で設けられるときに、驚くほど良好な結果が見つかった。本説明および請求項のために、「薄い」は約15 μm未満、そして好ましくは10 μm未満を意味する。

10

【0024】

図1は、3Vの印加電圧を用いる試験における酸化亜鉛の厚みの変化にともなう生成された電流の変化を示すグラフである。この試験において、最適電流は1000ナノメートルであった。

【0025】

実際的な実験では、酸化亜鉛の薄膜は、無線周波数マグネトロンスパッタまたは電気化学蒸着によって、5cm×5cmの表面を有する基板の上に形成された。基板は、ガラスの第1層から成った。この点に関して、サファイヤおよび水晶は、この第1層に適しているともみなされる。基板は、ドーパント金属酸化物材料の層からさらに成った。そしてそれは、酸化亜鉛が堆積した表面を形成した。

20

【0026】

ドーパント金属酸化物材料のこの層は、より小さい正電極がその上に形成されることを許容した。これにより、正電極を酸化亜鉛から切り離れたが、ドーパント金属酸化物の半導体的性質のため電流通路を提供した。好適なドーパント金属酸化物材料は、フッ素ドーパント酸化スズおよびスズ・ドーパント酸化インジウムを含むが、これらに限定されない。

【0027】

多くの金属材料(すなわち、金、銅、アルミニウムおよび銀)が電極としての適合性を見つけるため検査された。加えて、異なる電極構成(第1は電極が酸化亜鉛層の全表面をカバーした、そして第2は櫛状または指状グリッド構造が酸化亜鉛表面上に使われた)が検討された。金属電極材料の一般の厚みは、100~1000ナノメートルの範囲、そして好ましくは150ナノメートルであった。

30

【0028】

金および銅は、スパッタリング技術を用いて堆積した。一方、アルミニウムおよび銀は、熱蒸発技術を用いて堆積した。

【0029】

異なるサンプルは、Sr-90にさらされた。これらの金属と酸化亜鉛との間にオーム接触の望ましい程度を示唆する金属-半導体接合部で、金、アルミニウムおよび銀が線形および対称電流電圧曲線を生じることを、結果は発見した。

【0030】

銅は、本目的に不適當であることを示唆する、ショットキーバリアを示す非線形および非対称結果をもたらした。

40

【0031】

異なる構成に関して、結果のごくわずかな違いが強調された。これは、より少ない金属を使用する櫛状グリッド構成が現実的なオプションであることを示唆する。他のジオメトリおよび構成が本発明の範囲内で考察されることはいうまでもない。

【0032】

同様に、金属-半導体接合部において、本発明が合金を含む異なる金属を用いて実施することができることが理解されよう。

【0033】

50

試験は、150ナノメートルと1500ナノメートルとの間の酸化亜鉛層の異なる厚みによって行われた。

【0034】

厚みが150ナノメートルから増加するにつれて、生成された電気出力も最適厚みまで増加し、そしてその後、厚みを増加は生成された電気出力を減少させたことを、驚くべき結果は発見した。ほぼ1500ナノメートルを越えて、出力は、実際にはあまりに低くなった。その結果、試験は、酸化亜鉛が150ナノメートルと1500ナノメートルとの間にある理想的な厚みの範囲を示唆した。最適厚みは、材料の選択によって変化した。

【0035】

最適厚みは、材料の選択によって変化した。図2は、定常の電圧および放射線源での厚みを用いるが、異なる材料および材料の厚みをともなう電流の変化を示す。材料は、指状電極構成の銀、完全電極の銀、指状電極構成のアルミニウム、完全カバーのアルミニウム、完全カバーの金を含んだ。

10

【0036】

図1および図2に示すように、或る試験では、最適厚みは1000ナノメートルであった。一方、他の試験では、最適厚みは1250ナノメートルであった。にもかかわらず、厚みの全体の有効範囲は、かなり一定のままであった。放射性核種材料の選択によって、最適厚さが範囲の中で変化することもできることが予想される。

【0037】

本発明の実施において使用することができる代替りのベータ放出材料は、Pm-147、Ni-63およびトリチウム、または他のいかなる適切なベータ放出材料も含む。本発明は、他の種類の放射性物質（例えば、X線源、ガンマ線源、または他のいかなる適切な物質も）を使用することが原則として可能である。放射性核種は、いかなる適切な化学形態にあってもよい。そして材料は、原則として異なる放射性核種の、または他の材料との混合物でありえた。

20

【0038】

図3に示すように、酸化亜鉛層に対するSr-90材料の距離および入射角を変化させる（2mmと350mmとの間を変化させる）ことでも試験が行われた。図3は、酸化亜鉛層からの放射性核種の距離の変化にともなう印加電圧に対して生成された電流の変化を示すグラフである。

30

【0039】

予想されるように、距離が増加するにつれて、最善の出力は、出力減少によって最も小距離で発生した。にもかかわらず、試験範囲を通じてまだかなりの出力が（特に最高ほぼ300mmおよび角度<45°）あった。発電機の厚み寸法を与えられて、これは広いスペースであり、そして、多くの発電機構成が同じ放射性核種材料を有する階層構造に配置されることができると示唆した。これにより、単一の放射性核種源からの電気出力容量を増やした。

【0040】

ここで、発電機システムを使用する電源装置の実施例を説明する。

【0041】

40

図4には、基本的な「シングル層」装置10が示される。示すように、装置10はハウジング12を含む。ハウジング12の中にはその中心に、シールされた放射性核種14（例えば、Sr-90、Pm-147、Ni-63またはH-3）の層がある。ハウジング12は、さまざまな適切な材料（例えば、アルミニウム、鋼、その他）で形成されることができ、空気28の雰囲気を含む。シール16は、アルミニウム、プラスチック、マイラ、他の適切な金属合金または類似の低Z-材料（Zは原子量である）であることができる。放射性核種14の各側は、スズ・ドープト酸化インジウム20の層、およびその上に形成される酸化亜鉛22の薄膜層を有する基板（例えばガラス基板）18である。スズ・ドープト酸化インジウムの代替例は、フッ化インジウム・スズであることができる。メインの負電極24は、酸化亜鉛22の他の表面上に形成される。そして、より小さい正電極

50

26は、スズ・ドープト酸化インジウム20の表面上に形成される。導電性リード30は、両電極24、26に接続され、そして、負荷に接続するためのハウジング12の外部に導く。

【0042】

図5には、「ダブル層」装置110が示される。中心の放射性核種114の各側は、2つの酸化亜鉛層122の配置を有する。その各々は、対応する電極124、126、ドープト金属酸化物層120を有し、そして、絶縁基板132によって分離される。

【0043】

図6には、「トリプル層」装置210が示される。そして、基板およびZnOの層がサンドイッチ配置において配置される。他の実施例と同様に、中心のシールされた放射性核種214は、各側がZnO層222、ドープト金属酸化物層220および電極224、226を有する、3つの層の基板232の配置を有する。

10

【0044】

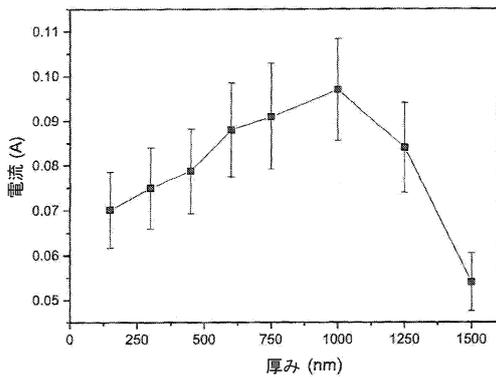
明らかなように、層の数を増加させ続けることは、結果として、生成された電気出力を増加させることができる。どれくらいの層が使用されることができるといふ限界は、最も遠い層が放射性核種材料からどれくらい遠く離れるかによって規定される。

【0045】

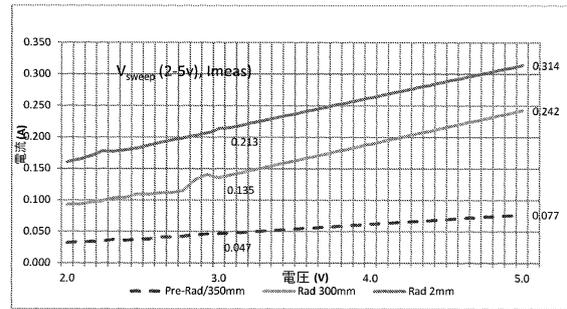
所望の電力レベルを提供するために複数のサンドイッチ構造を加えて、放射性核種の複数の層を有する構造が用いられてよいことはいうまでもない。記載されている構造が形状において通常は四角いにもかかわらず、構造は、いかなる所望の形状でもありえて、適切な空間が維持されることができるといふ場合、適切な実施においてカーブすることができることも理解される。

20

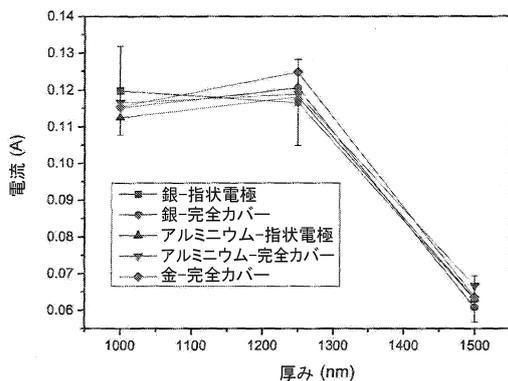
【図1】



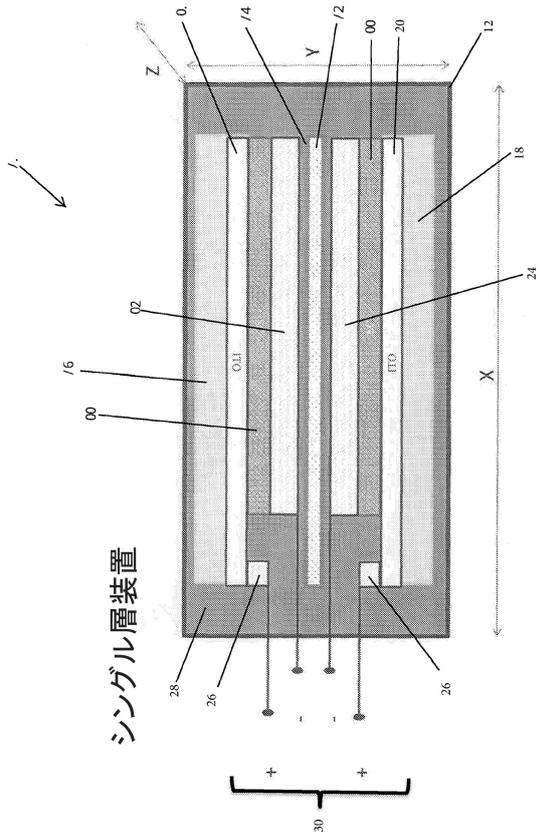
【図3】



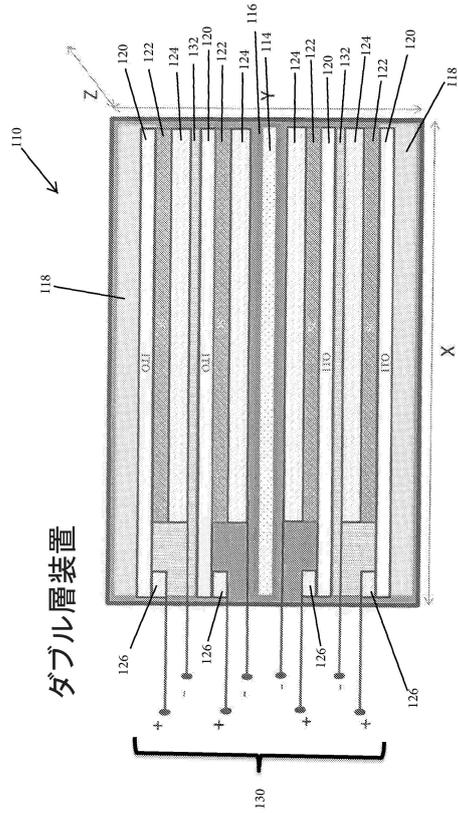
【図2】



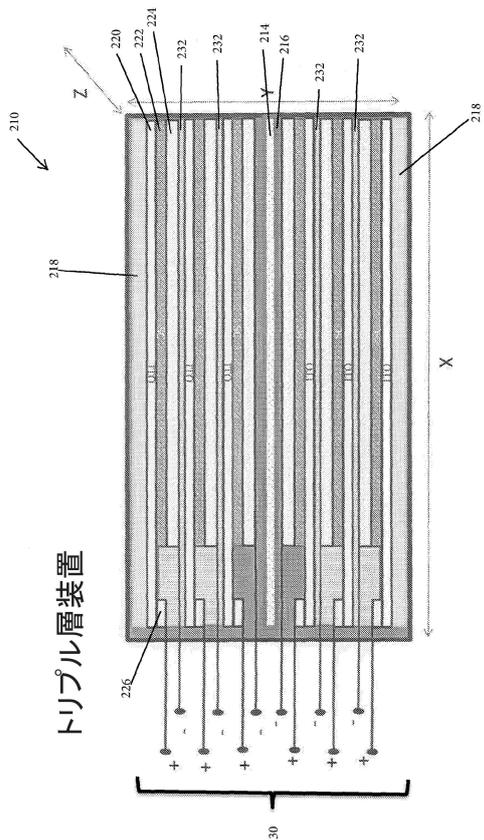
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(74)代理人 100185269

弁理士 小菅 一弘

(74)代理人 100202577

弁理士 林 浩

(72)発明者 ホワイトヘッド スティーヴン

オーストラリア国 クイーンズランド州 4069 フィグツリー ポケット ニーダム ストリート 32

審査官 鳥居 祐樹

(56)参考文献 特公昭33-001027(JP, B1)

特開昭48-038787(JP, A)

特開平09-127298(JP, A)

特開2002-196099(JP, A)

特開2003-279691(JP, A)

特表2012-520466(JP, A)

米国特許第06479919(US, B1)

米国特許出願公開第2013/0098440(US, A1)

国際公開第2014/121121(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21H 1/06