

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7453973号
(P7453973)

(45)発行日 令和6年3月21日(2024.3.21)

(24)登録日 令和6年3月12日(2024.3.12)

(51)国際特許分類		F I		
H 1 0 N	10/17 (2023.01)	H 1 0 N	10/17	Z
H 1 0 N	10/817 (2023.01)	H 1 0 N	10/817	
H 0 1 L	21/52 (2006.01)	H 0 1 L	21/52	Z
H 0 1 L	25/07 (2006.01)	H 0 1 L	25/04	A

請求項の数 17 (全27頁)

(21)出願番号	特願2021-526725(P2021-526725)	(73)特許権者	522254756
(86)(22)出願日	令和1年11月16日(2019.11.16)		エーティーエス アイピー, エルエルシー
(65)公表番号	特表2022-513060(P2022-513060 A)		アメリカ合衆国 コロラド 8 0 5 2 5 ,
(43)公表日	令和4年2月7日(2022.2.7)		フォート コリンズ, ミッドポイント
(86)国際出願番号	PCT/US2019/061894	(74)代理人	100078282
(87)国際公開番号	WO2020/102785		弁理士 山本 秀策
(87)国際公開日	令和2年5月22日(2020.5.22)	(74)代理人	100113413
審査請求日	令和4年9月22日(2022.9.22)		弁理士 森下 夏樹
(31)優先権主張番号	62/768,679	(74)代理人	100181674
(32)優先日	平成30年11月16日(2018.11.16)		弁理士 飯田 貴敏
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100181641
			弁理士 石川 大輔
		(74)代理人	230113332
			弁理士 山本 健策

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 性能向上のための熱電発電器における熱レンズ電極

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱電デバイスであって、
半導体材料を含むペレットであって、前記ペレットは、側壁を有する、ペレットと、
前記ペレットの第一の部分を囲む第一の金属層と、
前記ペレットの第二の部分を囲む第二の金属層であって、前記第一の金属層および前記
第二の金属層は、前記ペレットの周囲の周りに互いに近接して構成されており、前記ペレ
ットは、前記第一の金属層と前記第二の金属層との間に形成されているギャップにおいて
露出され、前記ギャップは、前記周囲の周りに連続的に形成されており、前記ギャップは
、前記ペレットの周りに側壁高さで構成されており、これにより、前記ペレット内の等温
線表面曲率を修正することによって、前記熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供す
る、第二の金属層と、
結合材料を通して前記ペレットに熱的にかつ電氣的に結合されている金属容器であって
、前記金属容器は、熱レンズ電極構造を提供し、前記第一の金属層および前記ペレットは
、前記ペレットの前記周囲の近傍の面取りされた縁部を含むことにより、前記第一の金属
層および前記第二の金属層を互いに電氣的に分離する、金属容器と
を含む、熱電デバイス。

【請求項2】

前記ペレット内の前記等温線表面曲率は、前記側壁を通じた熱注入を介して前記ペレ
ットの体積内の熱電効果の有効表面積を増加させるように動作可能である、請求項1に記載

の熱電デバイス。

【請求項 3】

前記第一の金属層および前記第二の金属層は、前記ペレットよりも高い熱伝導率を含む、請求項 1 に記載の熱電デバイス。

【請求項 4】

前記第一の金属層および前記第二の金属層のうちの少なくとも一方は、銅を含む、請求項 3 に記載の熱電デバイス。

【請求項 5】

少なくとも前記ペレットおよび前記第二の金属層は、前記熱電デバイスの熱レンズ効果を増加させるように動作可能な形状で構成されている、請求項 1 に記載の熱電デバイス。

10

【請求項 6】

前記形状は、直方体である、請求項 5 に記載の熱電デバイス。

【請求項 7】

前記形状は、円筒である、請求項 5 に記載の熱電デバイス。

【請求項 8】

前記第一の金属層および前記第二の金属層は、互いに電氣的に分離されている、請求項 1 に記載の熱電デバイス。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の熱電デバイスを作製する方法であって、

複数の半導体ペレットを、一つまたは複数の金属層で金属化することと、

20

前記複数の半導体ペレットのそれぞれの周囲の周りの前記複数の金属層の一部を除去することにより、前記複数の半導体ペレットを露出させる前記複数の半導体ペレットのそれぞれの上的前記一つまたは複数の金属層におけるギャップを作り出すことと、

銅から複数のカップを有する基体を形成することと、

前記複数のカップをニッケルで電気めっきすることと、

前記複数のカップの一部をはんだで被覆することと、

各カップの側壁高さがそのそれぞれの半導体ペレットのギャップ位置と合致して、前記複数の半導体ペレットのそれぞれ内の等温線表面曲率を修正することによって前記熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供するように、前記複数の半導体ペレットのうちの各それぞれの半導体ペレットを前記複数のカップのうちのそれぞれのカップの中に配置することと、

30

前記はんだを硬化させることにより、前記複数の半導体ペレットを前記複数のカップに接着させることにより、前記熱電デバイスを形成することと

を含む、方法。

【請求項 10】

前記方法は、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの側壁を通した熱注入を介して前記複数の半導体ペレットのそれぞれの体積内の熱電効果の有効表面積を増加させるように、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの内の前記等温線表面曲率を構成することをさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

40

前記方法は、前記前記複数の半導体ペレットのそれぞれよりも高い熱伝導率で前記複数の金属層を構成することをさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記方法は、前記金属層のうちの少なくとも一つを銅で構成することをさらに含む、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記方法は、前記熱電デバイスの熱レンズ効果を増加させるように動作可能な形状で前記複数のペレットのそれぞれを構成することをさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 14】

前記形状は、直方体である、請求項 13 に記載の方法。

50

【請求項 15】

前記形状は、円筒である、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 16】

前記方法は、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの周囲の周りの前記複数の金属層の前記一部分を除去することに起因して、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの前記複数の金属層の残りの部分を互いに電氣的に分離することをさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 17】

前記方法は、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの周囲の周りの前記複数の金属層の前記一部分を除去することに起因して、前記複数の半導体ペレットのそれぞれの前記複数の金属層の残りの部分を互いに電氣的に分離するように、その周囲の近傍の面取りされた縁部を伴うように前記複数の半導体ペレットのそれぞれを構成することをさらに含む、請求項 9 に記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願

本出願は、35 U.S.C. 119(e)に基づき、2018年11月16日に出願された米国仮特許出願第62/768,679号の「性能向上のための熱電デバイスにおける熱集束の利点」という題名による優先権を主張するものであり、その開示は参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

20

【0002】

本明細書の実施形態は、一般に、半導体構成要素から作製された熱電デバイスに関する。より具体的には、これらの実施形態は、熱電発電器の電力出力の増加をもたらす、半導体ペレットと直接接触する電極の性質に関する設計改善に関連する。

【背景技術】

【0003】

熱電モジュールは数十年にわたって代替発電研究の対象であり、いくつかの製品が廃熱からの電力源に使用される熱電発電器の空間内に存在する。熱電モジュールは、熱流束を電気流束に変換するために、ゼーベックモードでの代替発電に使用することができる。逆に、ペルチェモードでは、電気流束を使用して熱流束を駆動して冷却を提供することができる。そうでなければ、環境に失われてしまう、廃熱は、電気エネルギーにリサイクルして、遠隔地で使用するか、インバータを介して電気グリッドにフィードバックすることができるため、発電用の熱電デバイスは、研究の重要な推進力の一つである。

30

【0004】

しかし、この電力発電のアプローチは、太陽光発電技術などの代替発電における他の方法と比較して、基本的なパラメーターであるワット当たりのコストの点で障壁に出くわしている。このコスト障壁の主な理由は、デバイス内の半導体の熱電特性、および熱エネルギーの電気エネルギーへの変換に必要な高温および低温の表面を提供する熱交換器システムの製造コストに内在する。従って、熱電エネルギー製造法が、クリーンエネルギー変換の生産において、特にメガワット電力範囲以上において、どこにでも存在しかつより大きな電力スケールで進展する場合、熱電発電器(TEG)を製造するあらゆる側面における進歩が不可欠である。

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本明細書に提示されるシステムおよび方法は、半導体表面のより多くの面積および熱電ペレットのペレット体積を利用することによって、クリーンエネルギーの大規模生産に対するコスト効率の高いアプローチを提供する。一実施形態では、電気特性および熱特性の好ましい一致を使用する熱電発電器の性能向上のために、新しいタイプの電子コンポーネントが提案される。熱電モジュール(例えば、ゼーベックモードおよび/またはペルチェ

50

モードで動作する)を構築する一つの方法は、ピックおよび配置装置を有する構成要素のロボット配置などの自動化された技術を使用した、順次層状アSEMBリーに基づく。熱電モジュールは、大量生産のためにこの方法で作製することができる。

【0006】

一実施形態では、TEGは、一般に、直方体または円筒形である形状を含む半導体として構成されるが、形状は、長方形の平行パイプ、球形、円錐台、または他のそのような多面体など、熱エネルギーを、半導体ペレットの隣接する側面のコーナーと頂点を使用して方向づけることができる、熱集束効果を可能にする任意の形状にすることができる。二つの金属電極を使用して、各ペレットを電気的および熱的に電気相互接続に接合し、直列回路を形成して、熱勾配の存在下で熱電効果によって生成される電流を流すことができる。

10

従って、このような様式で配置されたペレットのアレイは、モジュール、典型的には平坦なパッケージを形成するように包装され得る。

【0007】

一般に、ペレットの二つの平坦な金属電極が、ペレットの直接対向する平行な表面上に置かれ、相互接続上にははんだペーストを印刷することによって相互接続に便利に取り付けられる。その後ははんだをリフローして、部品間の接合プロセスを完了させてもよい。より具体的には、本実施形態は、ペレットのバルク内の熱エネルギーの集束を通した熱電デバイスの全体的性能の増加をもたらす、ペレットに密接に結合された電極の幾何学的性質に関する設計改善に関連する。TEGの電力出力は、ペレット内の等温輪郭の性質から著しく増加し得る。

20

【0008】

熱電効果の構成要素は、材料が、それらのドーパントに従って適切な熱電特性を有する、半導体材料のペレットである。通常は、熱電デバイスの作製には、一つは多数電荷キャリア(N型)として電子を有し、もう一つは多数電荷キャリア(P型)として穴を有する、二つのタイプの材料が必要である。典型的には、各ペレットは、直方体形状を有し、標準回路レイアウトにおけるホットサイド上の熱および電流注入のため、ペレットの二つの表面上の平行な平面上に、一つはホットおよび一つはコールドである、二つの対向する平面電極を有する。従って、ペレットのホット電極とコールド電極との間のペレット体積で生成される等温線は、電極に対して平面であり平行である。従って、ペレット内の等温線に対して垂直な熱勾配ベクトルは、ペレットの上部から底部まで各ペレットの側壁の平面と平行であり、熱電効果を通して生成される電流のベクトルは、一般に、各ペレットのバルク中の熱勾配ベクトルと平行である。こうした幾何学的配置は、等温線の面積をペレットの電極の面積のそれに固定する。

30

【0009】

集合的に、モジュール内のペレット間の電流は、熱伝達および導通性をもたらすために、パッケージの底部および上半分に平面状の電気相互接続を配置することによって直列に接続される。電気相互接続、典型的には銅は、モジュールの出力電極を提供する。従って、熱電モジュールのレイアウトは、表面実装技術の方法に都合の良いデバイス形状を有する。

【0010】

さらに、ペレットは、典型的には、空間充填形状であるため直方体形状であり、円筒形ペレットはそうではない。活性熱電ペレットの充填密度が高いほど、一般的に、熱を発電器内の電気エネルギーに変換する、および/またはペルチェモードでの活性冷却を提供する、より活性体積がモジュール中に存在する。本明細書では、直方体は、二つの面が等しい長さであり、高さまたは厚さが異なる値を有する、正方形ペレットと呼ばれる。

40

【0011】

ペレットへの熱伝達は、一般に、直方体(または円筒形)ペレットの上部および底部表面のみに限定される。本明細書では、半導体ペレットのバルクへの熱伝達の改変を分析し、熱電効果のための熱伝達の有効面積を強化する方法を、側壁のほとんどの領域からの熱伝達のための経路としてペレット側壁を使用することによって熱伝達を介して提供する。

50

この新しい種類の構成要素電極からのモジュール出力電力の増加は、ペレットのバルク内の等温線の修正を通して熱電効果の有効面積を増加させることによって達成され得る。有効面積増加から生じる熱電効果からの電力出力の線形効果および非線形効果の両方がある。集束熱エネルギーの電気エネルギーへの熱電変換は、一般に、熱電発電器の場合、ペレット体積当たりより多くの出力電力をもたらす。

【0012】

一実施形態では、熱電デバイスは、半導体材料を含むペレットと、ペレットの第一の部分を囲む第一の金属層と、ペレットの第二の部分を囲む第二の金属層とを含む。第一および第二の金属層は、ペレットの周囲の周りに互いに近接して構成される。ペレットは周囲で露出している。周囲は、ペレットの周りに側壁高さで構成され、ペレット内の等温線表面曲率を修正することによって、熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供する。デバイスは、ペレットに熱的に電氣的に結合される、金属容器を含む。

10

【0013】

別の実施形態では、ペレット内の等温線表面曲率は、側壁を通した熱注入を介してペレットの体積内の熱電効果の有効表面積を増加させるように動作可能である。別の実施形態では、第一および第二の金属層は、ペレットよりも高い熱伝導率を含む。例えば、第一および第二の金属層のうちの少なくとも一つは、銅を含む。別の実施形態では、少なくともペレットおよび第二の金属層は、熱電デバイスの熱レンズ効果を増加させるように動作可能な形状（例えば、直方体および/または円筒形）で構成される。

【0014】

一実施形態では、第一および第二の金属層は、互いに電氣的に分離される。これに関して、第一の金属膜およびペレットは、ペレットの周囲に隣接した面取りされた縁部を含んで、第一および第二の金属層を互いに電氣的に分離し得る。

20

【0015】

一実施形態では、熱電デバイスを作製する方法は、複数の半導体ペレットを、金属の一つまたは複数の層で金属化することと、半導体ペレットの周囲の周りの金属層の一部を除去して、半導体ペレットを露出させる半導体ペレットの各々とのギャップを作り出すこととを含む。方法はまた、銅から複数のカップを形成することと、カップをニッケルで電気めっきすることと、およびカップの一部をはんだでコーティングすることとを含む。方法はまた、各カップの側壁高さが各ペレットのギャップ位置と合致して、ペレット内の等温線表面曲率を修正することによって熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供するように、ペレットの一つをカップのそれぞれの中に配置することと、はんだを硬化してペレットをカップに接着することと、カップを基体に取り付けて熱電デバイスを形成することとを含む。

30

本発明は、例えば、以下を提供する。

(項目1)

熱電デバイスであって、

半導体材料を含むペレットと、

前記ペレットの第一の部分を囲む第一の金属層と、

前記ペレットの第二の部分を囲む第二の金属層であって、前記第一および前記第二の金属層が、前記ペレットの周囲の周りに互いに近接して構成され、前記ペレットが前記周囲で露出され、前記周囲が、前記ペレットの周りに側壁高さで構成されて、前記ペレット内の等温線表面曲率を修正することによって、前記熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供する、第二の金属層と、

40

前記ペレットに熱的にかつ電氣的に結合された金属容器と、を含む、熱電デバイス。

(項目2)

前記ペレット内の前記等温線表面曲率が、前記側壁を通した熱注入を介して前記ペレットの体積内の熱電効果の有効表面積を増加させるように動作可能である、項目1に記載の熱電デバイス。

(項目3)

50

前記第一および第二の金属層は、前記ペレットよりも高い熱伝導率を含む、項目 1 に記載の熱電デバイス。

(項目 4)

前記第一および前記第二の金属層のうちの少なくとも一つは、銅を含む、項目 3 に記載の熱電デバイス。

(項目 5)

少なくとも前記ペレットおよび前記第二の金属層が、前記熱電デバイスの熱レンズ効果を増加させるように動作可能な形状で構成される、項目 1 に記載の熱電デバイス。

(項目 6)

前記形状が直方体である、項目 5 に記載の熱電デバイス。

10

(項目 7)

前記形状が円筒である、項目 5 に記載の熱電デバイス。

(項目 8)

前記第一および前記第二の金属層が互いに電気的に分離される、項目 1 に記載の熱電デバイス。

(項目 9)

前記第一の金属膜および前記ペレットは、前記ペレットの前記周囲の近傍の面取りされた縁部を含み、前記第一および前記第二の金属層を互いに電気的に分離する、項目 1 に記載の熱電デバイス。

(項目 10)

20

熱電デバイスを作製する方法であって、

複数の半導体ペレットを、一つまたは複数の金属層で金属化することと、

前記半導体ペレットの周囲の周りの前記金属層の一部を除去して、前記半導体ペレットを露出させる前記半導体ペレットの各々とのギャップを作り出すことと、

銅から複数のカップを形成することと、

前記カップをニッケルで電気めっきすることと、

前記カップの一部をはんだで被覆することと、

各カップの側壁高さが各ペレットのギャップ位置と合致して、前記ペレット内の等温線表面曲率を修正することによって前記熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供するように、前記ペレットの一つを前記カップのそれぞれの中に配置することと、

30

前記はんだを硬化して、前記ペレットを前記カップに接着させることと、

前記カップを基体に取り付けて、前記熱電デバイスを形成することと、を含む、方法。

【図面の簡単な説明】

【0016】

本開示は、同様の参照番号は、同様の構造要素を示し、添付図面と併せて以下の詳細な説明によって容易に理解される。

【0017】

隣接する要素間の境界を明確にし、また図の読みやすさを促進するために、付随する図におけるクロスハッチングまたはシェーディングの使用が一般的に提供される。従って、クロスハッチングまたは陰影の有無は、添付図面に図示される任意の要素について、特定の材料、材料特性、要素割合、要素寸法、類似の図示された要素の共通性、または任意の他の特性、属性、または性質に対する選好または要件を示すものではない。

40

【0018】

さらに、当然のことながら、さまざまな特徴および要素（ならびにその収集およびグループ化）および境界、分離、その間に提示される位置関係の、比率および寸法（相対的または絶対的のいずれか）が、本明細書に記載されるさまざまな実施形態の理解を容易にするために単に添付図面に提供され、それに応じて、必ずしも縮尺に合わせて提示または図示されなくてもよく、および、それを参照して記載した実施形態の除外し図示した実施形態の任意の選好または要件を示すことを意図していない。

【0019】

50

ここで、いくつかの実施形態を、例示のみにより、添付図面を参照して説明する。同じ参照番号は、全ての図面上の同じ要素または同じタイプの要素を表す。

【0020】

【図1】図1は、四つの熱伝導性側壁（TEFP）を有する一つの例示的な正方形半導体ペレットを示す。

【0021】

【図2】図2は、一つの例示的な熱レンズ電極（TLE）構成要素を示す。

【0022】

【図3】図3は、四つの熱伝導性側壁を有する正方形の半導体ペレットを使用した、一つの例示的な熱強化熱電構成要素（TETC）構成要素を示す。

10

【0023】

【図4】図4は、四つの銅側壁を有する二つの正方形の半導体ペレットを含む、一つの例示的な単一熱電対デバイスを示す。

【0024】

【図5】図5は、四つの銅側壁を有する一つの例示的な単一熱電対デバイスを示す。

【0025】

【図6】図6は、透明なレンダリングを有する熱電対デバイスの例示的な底部構成要素を示す。

【0026】

【図7】図7は、ペレットの上部で始まる側壁の場合の熱電対回路における一つの例示的な計算メッシュである。

20

【0027】

【図8】図8は、ペレットデバイス電力出力に正規化された、熱電対回路のデバイス電力と、ペレット厚との関係を示す。

【0028】

【図9】図9は、金属側壁のないペレットに対する正規化された線形最大電力出力を示す。

【0029】

【図10】図10は、厚さ1mmのペレットに対する金属側壁のないペレットに対する正規化された非線形最大電力出力と、ニッケル金属側壁被覆の割合を示す。

【0030】

30

【図11】図11は、ペレット高さの0.5mmを中心とする0.05mmの側壁の厚さの開口場合の熱レンズ（例えば、ペレットの上部および下部の両方に対称的に存在する熱レンズ）を引き起こす側壁金属のペレットの中心を通る熱勾配の一つの例示的な断面を示す。

【0031】

【図12】図12は、平面の等温線をもたらす、側壁金属がない場合のペレットの中心を通じた、100の熱勾配の一つの例示的な断面を示す。

【0032】

【図13】図13は、1mmの側壁の厚さに対するペレットの上部に位置する0.1mm幅の開口の場合の、一つの例示的な熱集束を示す。

40

【0033】

【図14】図14は、0.2mmのニッケルの厚さに対するペレットの底部に位置する0.05mm幅の開口の場合の一つの例示的な熱集束を示す。

【0034】

【図15】図15Aは、金属開口の中心の関数としての熱電対の例示的な抵抗負荷損失を示す。

【0035】

図15Bは、同じ熱電対のデバイス電力出力を示す。

【0036】

【図16】図16は、パラメーターとしてニッケル金属側壁被覆の割合を有する、外部抵

50

抗負荷ファクタに対する例示的な最大デバイス電力出力を示す。

【0037】

【図17】図17は、パラメータとして金属厚を有する金属側壁被覆の割合に対する熱電対の正規化された最大電力出力の間の一つの例示的なパラメータ関係を示す。

【0038】

【図18】図18は、四つの側壁全てに金属側壁被覆を有する三つの熱電対デバイスの例示的な電流 - 電圧負荷ラインを示す。

【0039】

【図19】図19は、図18の三つの熱電対デバイスの一つの例示的な電力 - 電圧関係を示す。

10

【0040】

【図20】図20は、厚さ1mmでの三つの側壁の場合の、四つの温度（50、100、150、200）に対する例示的な電流 - 電圧負荷ラインを示す。

【0041】

【図21】図21は、TLE構成要素と接合する準備完了の一つの例示的な薄い金属化ペレットを示す。

【0042】

【図22】図22は、TETCの一つの例示的なサブ構成要素層（例えば、集合的にTETCを構成する、金属化ペレット、はんだ層、およびTLE）を示す。

【0043】

【図23】図23は、TETCの構成要素パッケージング形状の一つの例示的な方法を示す。

20

【0044】

【図24】図24は、TETCの構成要素パッケージング形状の別の例示的な方法を示す。

【0045】

【図25】図25Aおよび25Bは、変数の分離を使用してフーリエ法によって計算された等温線の二つのビジュアライゼーションの一つの例示的な比較を示す。

【発明を実施するための形態】

【0046】

図面および以下の説明は、本明細書に開示される特定の例示的な実施形態を示す。従って、当業者は、本明細書に明示的に説明または示されていないが、さまざまな原理を具現化し、特許請求の範囲に含まれる、さまざまな配置を考案することができることが理解されよう。さらに、本明細書に記載される任意の実施例は、実施形態の原理の理解を助けることが意図されており、そのような具体的に列挙された実施例および条件に限定されるものではないと解釈されるべきである。結果として、実施形態は、以下に記載される特定の例に限定されない。

30

【0047】

本明細書に開示される例示的な熱電デバイスおよび方法は、熱電ペレットのバルク内の等温線フィールドの成形によって熱電発電機の性能を増加させ、熱電発電器モジュールの電力出力の増加をもたらす。以下の実施形態では、ペレットの側壁上に金属層の存在による発電に明確な利点があること、および電力出力の増加が一般的に、金属層の厚さ、側壁上の金属被覆の割合、およびペレット上の金属被覆を有する側壁の数に依存すること、が計算的に示される。側壁上の熱伝導性金属の存在は、等温線の3次元湾曲を誘導することによって、熱電効果の等温線の活性領域を効果的に増加させる。

40

【0048】

一実施形態では、熱電デバイスは、半導体材料を含むペレットと、ペレットの第一の部分を囲む第一の金属膜と、ペレットの第二の部分を囲む第二の金属膜とを含む。第一および第二の金属膜は、ペレットの周囲の周りに互いに近接して構成される。ペレットは、周囲で露出され、周囲は、ペレットの周りに側壁高さで構成され、ペレット内の等温線表面曲率を修正することによって、熱電デバイスの電力出力に非線形効果を提供する。デバイ

50

スは、ペレットに熱的に電氣的に結合される、金属容器を含む。

【 0 0 4 9 】

熱電ゼーベック効果における幾何学的効果

熱電ペレットの厚さが減少すると熱電発電器の出力電力が、半導体ペレットの熱コンダクタンスが熱勾配をサポートできない点まで増加することが、分析的に示される。当然ながら、この点で、ペレットの厚さがゼロに近づくと、出力電力はゼロに減少する。同じ関係が計算的に示されており、その結果は、全ての結合層を含まない、理想かつ基本的な熱電対構成要素モデルを使用した計算モデルの確認として本明細書で検証される。より具体的には、最大熱電電力は、半導体の物理的特性に応じて、約 80 ~ 100 ミクロンのペレットの厚さに対して生成され得る。最大電流は、最大電力よりもやや小さい厚さの値で発生してもよく、一方、電圧はペレットの厚さとともに単調に増加する。従って、最大の最大電力点は、最大電流に対するペレットの厚さよりも多少大きい。

10

【 0 0 5 0 】

本明細書の熱電対デバイスの研究は、分析アプローチを介して、および計算モデルで検証された。ここで、パッケージ構成要素の温度依存性特性を使用した。半導体上の薄膜金属電極と半導体との間の電気接触抵抗がなく、接触熱伝達係数がないなどの理想的な条件がモデリングに使用された。このモデルには、T L E とペレットの間のはんだ層を除く、銅、アルミニウムなどの関連する包装材料の温度依存性特性が含まれる。はんだ層は比較的薄く、ペレットよりもはるかに高い熱伝導率を有するため、含まれなかった。一実施形態では、モデリングは、半導体の測定された特性を含んだ。一実施形態では、焼結半導体の半導体バー、および温度の関数としてのゼーベック係数、電気伝導率、および熱伝導率について収集されたデータについて測定を行った。

20

【 0 0 5 1 】

本明細書で使用される計算モデルは、以前の分析および計算結果と一致して、一般に約 100 ミクロンで同じ最大電力点を示す。ペレットの厚さの関数としての熱電効果を図 8 に示す。熱電理論では、ペレットの電力出力は、ペレットの厚さおよびペレットの断面積に関連する。

【 0 0 5 2 】

電力が所与の材料に対して最大である厚さの範囲について、ペレットは、約 100 ミクロン未満で厚膜とみなされる。熱加工を伴うホットプレスまたはコールドプレスの場合、いくつかの半導体材料は脆く、ここで使用されるビスマスおよびアンチモンテルライドのように、焼結後に割れやすい。従って、取り扱いにおける脆弱性のため、熱電性厚膜にピックおよび配置自動化技術を使用することは実用的ではない場合がある。一般に、厚膜は、単結晶として成長し、ウエハ形態でダイス状にされない限り、印刷、分注、またはプレーティング法により作製されるべきである。

30

【 0 0 5 3 】

最適なペレットの厚さに関する上記の結果、およびこのような熱電性テルリド系ペレットが脆性的効果があるという事実に従い、ペレット当たりより多くの電力を得るために、ペレットを薄くする代わりに、代替の方法が提案される。この方法は、ペレットの金属側壁層の使用による、より厚いペレット内の熱勾配の修正を伴う。金属は一般に、熱電半導体と比較して非常に熱的にかつ電氣的に導電性がある。これらの物理的特性は、熱電効果の有効体積を増加させる、半導体ペレットバルク内の等温線温度フィールドを制御する際、明確な利点である。金属の厚膜に隣接するペレットの側壁を通して熱および電気エネルギーを注入することによって、熱電電力が線形および非線形の両方の様式で増加することが計算的に示される。

40

【 0 0 5 4 】

熱伝導が高い熱電ペレットの側壁への金属の接合、およびペレット内の熱勾配の修正は、より多くの電力を取得するために熱電効果の活性体積を効果的に増加させるために提案される代替方法である。この方法は、熱集束を提供する金属側壁層の使用によるペレット内の熱勾配の修正を伴う。所与の半導体体積内の熱電電力発電の増加を引き起こす一つの

50

理由は、熱勾配の制御に関する。特に、熱勾配の形状の制御は、熱電効果の有効体積を増加させる一つの理由である。等温線に3次元湾曲を導入することによって、厚い金属層で被覆されたペレットの側壁を通して熱および電流を注入することによって、ペレットで有効熱電体積が増加することによって熱電電力が増加することが計算的に示される。熱レンズ（集束）効果から生じる熱勾配の湾曲は、ペレットの内部容積内の等温線の形状を変化させた。

【0055】

金属化熱電半導体ペレットを熱電モジュール内の他の構成要素でアセンブルするための表面実装技術の一つの方法は、ペレットの材料、サイズおよび厚さ、ならびに取り扱いの容易さに依存する。例えば、モジュールアSEMBリーにおける自動化技術は、大量製造のためのロボットによるピックおよび配置によるコスト効率の高い方法をもたらす。エッジ上の数ミリメートルのサイズ範囲および約0.5～1.5mmの厚さの金属化ペレットは、ピックおよび配置ロボットが数百個のペレットからなる熱電モジュール（またはカートリッジ）を数分で簡単に構築できるトレイに簡単に配置される。このサイズ範囲のペレットは、特定のプロセス操作（例えば、プロセスが完全に自動化されていない場合）に必要なオペレーターによって容易に処理および追跡されるという点で、明確な利点を有する。

10

【0056】

金属化のいくつかの方法は、特に半自動の技術が妥当な程度に導入される場合、コスト効率もはるかに高くなる。電気めっきはそのような方法の一つであり、金属電極層の厚さは、電気めっきまたは無電気めっきプロセス内で容易に制御される。

20

【0057】

側壁からの熱の注入は、金属などの側壁上の比較的高い熱伝導性材料の層を、熱電半導体などの低熱伝導率の材料の体積内に入れることによって、達成される。熱伝導率の比率は、ペレットの側壁を通る熱の熱注入において重要である。銅、ニッケル、または銀などの金属を電気メッキして、このような層を形成することができる。側壁材料が厚くなると、熱コンダクタンスが高くなり、コンダクタンスに従ってペレットの内部に側壁からより多くの熱が移動し得る。この熱の注入は、ペレット内の熱勾配の形状の変形をもたらす。熱勾配の空間的改変は、ペレットの上部および底部にのみ標準電極を使用する場合のペレットの内部で生成された平面の等温線と比較した場合、熱電効果によって提供される電流の空間的生成の変化をもたらす。

30

【0058】

熱電効果によって生成される電力は、熱勾配の面積に直接依存してもよく、この面積は、ペレットの体積を変化させることなく増加させることができる。上部電極表面と底部電極表面との間のペレットの内部容積はまた、ペレットの側壁を通して利用され得る。側壁上の電極および上部および底部の電極を通して熱が注入されると、熱勾配によって画定されるペレット内の等温線は、側壁上に金属がない場合のように、一般に、上部表面および底部表面（例えば、2次元の平行等温線）に対してもはや平行ではない。

【0059】

側壁への熱の注入は、等温線の形状をペレット内の曲面（ドーム形状）に変化させてもよく、2次元平面形状ではなく3次元形状を有し、それによって熱勾配の面積を増大させる。等温線の形状の3D表面へのこうした変化は、ペレットの体積内の熱電効果の有効面積を増加させ、それによって生成される熱電電力を増加させる。また、側壁を通る電荷キャリア注入（例えば、金属の導電率が高いため）もあるため、熱勾配の強化により、より多くの電荷キャリアを対向電極に駆動することができるので、熱電電流も増大する。

40

【0060】

熱電効果で生成される熱電電流、従って電力は、平行等温線からなる熱勾配の有効表面積に比例する。この電流は一般に、温度勾配の2次元空間導関数に比例し、従って、熱電効果が生じる体積全体を通した熱勾配の法線に略平行である。定常状態では、温度フィールドの2次元空間導関数に関する方程式は、以下のように、ジュール加熱効果（ $\sim I^2$ ）に比

50

例し：

【数 1】

$$\frac{d}{dx} \left(kA \frac{dT}{dx} \right) + \frac{I^2 \rho}{A} = 0$$

式中、I は、熱電電流であり、熱電電流のトムソン寄与度は、0 にバランスするため J では無視される。

【0061】

変数の 2 次導関数は、その曲率を記述し、曲率の逆は半径である。従って、熱レンズ電極効果は、ペレット体積内の等温線の曲率半径を減少させ、ドーム形状等温線を生成し、熱電電流を増加させ、従って出力電力を増大させる。ペレットのサイズまたは形状を増加させることなく、等温線の表面積のこの効果的な増加によって、ペレット体積内により多くの電力を生成できる。従って、より多くの熱エネルギーを、半導体体積当たりの熱輸送を方向づけるか、または集束させることによって電力に変換することができる。熱電モジュールの電力出力は、熱的強化熱電ペレットを使用する場合、最大約 60% 増加し得る。

10

【0062】

要約すると、熱電効果は熱勾配の面積に直接依存するため、TLE によるペレット内の熱勾配の改変は、出力電力の増加をもたらす。電力は、通常、等温線を修正してペレット内の 3D 湾曲を有するようにすることにより、ペレット内部で熱電効果の有効面積を増加させることによって増加する。従って、半導体体積当たりより多くの等温線領域が生成される。より多くの電流、すなわち電力は、等温線の表面積を増加させることによってペレット内で生成することができる。熱電電流はペレット内の等温線の有効表面積に比例するため、熱輸送の強化によってより多くの電力を変換することができる。

20

【0063】

計算解析および関連理論

計算解析は、マルチフィジックス熱電モジュールを含む Comsol マルチフィジックスプログラムを使用して行った。モデリングのためのスケールは、小さな構成要素および高い幾何学的アスペクト比をメッシュ化する際に利便性のために選択された。これらの結果については、6 x 6 x 1 mm のペレット寸法が選択され、他の全ての構成要素は、熱電対の基本的な構成を変更することなく、ペレットの寸法に一致するように幾何学的に自動的にスケール調整された。全ての計算は、時間に依存しない定常状態条件に基づいていた。すなわち、各インターフェイスに対する境界条件は、時間依存性のない温度において本質的に一定である。これらの固定境界条件のため、各側壁上の熱注入は直線状に添加され得る。

30

【0064】

計算解析では、いくつかの金属層を省略して、構成要素間のインターフェイスにおいてメッシュをより簡単に整列させ、計算時間を短縮した。あるいは、メッシュ化に対応するための構成要素の厚さの増加は、熱および電気コンダクタンスの両方を効果的に維持するための物理的特性の適切な減少を伴う。図 1 は、例えば、TLE 110 へのはんだ付けに必要なペレットの薄い金属膜を含まない。両方ともペレットと比較して比較的非常に高い熱伝導率および導電率を有しているためである。図 1 では、四つの熱伝導性側壁 111 が上部電極から出発し、ペレットの底部に 0.25 mm の側壁金属化ギャップが残される状態で、正方形の半導体ペレット 100 が TLE 110 に挿入されるのが示される。ペレット 100 および TLE 110 は、はんだと一緒に接合されて、熱的に強化された熱電構成要素 (TETC) を提供し得る。また、高アスペクト比の厚さの成分を避ける場合、マルチフィジックス解の収束がより達成可能である。ほとんどの場合、高温側から低温側への温度差は、100 であった。パッケージはペレットの中間平面を通して対称であり、熱応力の応力バランスを保てるように機能するため、構成要素間の熱誘起応力は無視された。

40

【0065】

50

図2は、ペレット100の1mm壁111を有する一つの例示的なTLE構成要素110を示す。TLE構成要素110は、TLE100内のはんだ層を有するペレット100を取り付けるためのTETCのサブ構成要素である。分析はこの厚さを超えて延長しなかった。一実施形態では、図2に示す熱レンズ電極は、この構成要素の変化する金属の厚さおよび高さを使用して、熱レンズ効果の性質を確立した、銅またはニッケルである。

【0066】

図3では、正方形半導体ペレット100が、TLE構成要素110の四つの熱伝導性側壁111内に示される。一実施形態では、ペレット110は、ペレットの底部に0.25mm残された金属ギャップ114を有する上部電極から開始する。半導体ペレット100は、上部電極と底部電極を電気的に分離するための傾斜形状112で図示される。

10

【0067】

図3の構成要素は、熱電デバイスのアSEMBリーに使用される材料に応じて、産業において大きく異なるため、理想的な全てのインターフェイスを有する熱電対、すなわち、電気または熱障壁がない熱電対のCosolの幾何学的構造に例示的に組み込まれた。従って、理想的なデバイスを使用して、非理想的な条件に対して性能の低下が期待され、非理想的な結果が上述の方法によって容易に含まれ得ると期待して、結果を構築した。さらに、モデルは、測定される(半導体)か、またはCosolの材料ライブラリに含まれる温度依存性材料を使用した。

【0068】

図4は、四つの銅側壁を熱電対とする、正方形の二つの半導体ペレット、NおよびPペレットを含む、単一の熱電対デバイス120の一つの例示的な計算幾何学的形状を示す。本実施形態では、熱電対デバイス120の側面図は、二つの正方形の半導体ペレットが、それぞれ各ペレット上の底部電極相互接続部から始まる四つの銅側壁を有する状態で図示される。側壁の厚さは1mmであり、上部電極相互接続に0.15mmの金属ギャップがある。

20

【0069】

銅金属抵抗負荷は、負荷ラインを生成するために変動する負荷をシミュレートするために抵抗率でパラメトリックに変更される、ペレットの上方に示されている。負荷ラインを図18および図20に他のパラメーターとともに示し、それぞれ高温側と低温側の間で金属側壁の厚さおよび温度差を有する。予想通り、これらは直線的な関係である。

30

【0070】

図5は、各ペレットの上部電極から開始する、高さ0.65mmおよび厚み0.2mmの四つの銅側壁、および底部電極に0.35mmの金属ギャップを有する、一つの例示的な単一の熱電対デバイス120のアイソメ図である。

【0071】

図6は、二つのペレット100を有する熱電対デバイス120の別の図を示す。図6は、底部構成要素から上部構成要素までを典型的に示す。すなわち、陽極酸化アルミニウム基体、銅相互接続、N型およびP型ペレット、ならびに熱および電流注入用の各ペレットの三つの側面上の1mm厚の銅側壁(透明レンダリング)を示す。厚めの側壁金属の厚さは、1mmの側壁の厚さが、最も高い電力出力を有する、図18に示すように、より高い熱および電氣的コンダクタンスをもたらす。さらに、側壁被覆の割合が高くなると、0.85および0.65の割合の被覆で0.05mmの場合と比較したとき示されるように、およびパラメーターとして金属側壁被覆の割合を有する0.2mm厚側壁のニッケルの場合、図10で観察されるように、より高い出力がもたらされる。

40

【0072】

図7は、側壁の上部にギャップを有する側壁の場合の熱電対回路における一つの例示的な計算メッシュ140である。メッシュ化の限界は、隣接する構成要素の厚さアスペクト比によって決定される。前述のように、材料の厚みおよび物理的特性を調整することによって、これらの制限を補償する手段が存在する。

【0073】

50

図 8 は、熱電対回路のデバイス電力と、1 mm 厚のペレットデバイス電力出力に正規化されたペレット厚との間の一つの例示的な関係 150 を示す。熱電対の分析解を提供するため、計算が導出される。本明細書におけるこれらの計算は、これらの結果を確認し、代替的な方法、すなわち、側壁金属被覆を熱電モジュールのパッケージに含めることによって、電力出力を増加させる動機を提供する。

【0074】

図 9 は、金属で覆われた側壁の数に対する、金属側壁のない 1 mm の厚さのペレットに対する、例示的な正規化最大電力出力 160 を示す。すなわち、図 9 は、1 mm の厚さのペレットに対する金属側壁のないペレットに対する正規化された線形最大電力出力と、使用される各側壁の金属被覆が、0.8 mm (80%) である、本実施形態におけるニッケル金属側壁被覆の割合を示す。関係は、ペレット上に存在する側壁の数に対する電力出力について線形 ($R^2 = 1$) である。この関係は、定常熱方程式の解に対して、2D 長方形の同様の境界条件を有する分析結果と一致する。分析事例では、均質な (または非混合の境界) 条件が使用される。これは定常熱伝達の場合であり、熱注入が直線的に添加されるので、全ての側壁を互いに独立して処理することができる。従って、熱電効果を通して生成される電力は、各側壁に対して相加的であり、それによって、ペレット上に存在する側壁の数に対する出力電力に対する線形関係をもたらす。ペレット電極の上部と底部との間の短絡を避けるために側壁金属にギャップがあるため、モデル内の境界条件は不均一であるとしても、計算モデルの結果が分析結果と一致することに留意すべきである。これは、温度フィールドの分析解を各側壁、ならびに金属で被覆されていない側壁の各部分について解を分離することによって、解くことができることを意味する。これらの結果を、分析結果からの等温線が図 13 の計算結果からの等温線と一致する、図 25 A、25 B にまとめる。分析結果と計算結果の類似性に注目し、等温線の湾曲を確認する。等温線の湾曲は、熱電効果の面積を増大させ、それゆえ、存在する側壁の数に対して直線的な様式で電力出力する。

【0075】

図 10 は、1 mm の厚さのペレットに対するニッケル金属側壁被覆の割合に対する、金属側壁のないペレットに対する最大電力に対して正規化された、一つの例示的な最大デバイス電力出力 170 を示す。図 10 は、側壁金属被覆の割合をパラメータとする、側壁なしの場合の最大電力出力に正規化された側壁金属被覆を有する熱電対の最大電力出力の例を示す。この場合、金属の厚さは 0.2 mm である。この非線形挙動は、熱電効果が、温度フィールドの解のための以前の分析解では使用されなかったため、以前に示されなかったなにか、熱レンズ効果が側壁被覆の割合に関して、非線形であることを示す。不均一な境界条件の場合の解決策が公知である。非線形挙動を記述するために使用される多項式は、 R^2 が 1 で側壁被覆の割合の 6 乗であることに留意されたい。

【0076】

図 11 は、ペレット高さの 0.5 mm を中心とする 0.05 mm 開口の側壁厚さの場合の熱レンズを引き起こす側壁金属のペレットの中心を通る、熱勾配 180 の一つの例示的な断面を示す。熱レンズは、ペレットの上部および下部の両方に対称的に存在し、熱電効果の活性領域を増加させる、ドーム形状の等温線を生成する。

【0077】

図 12 は、平面の等温線をもたらす、側壁金属がない場合のペレットの中心を通した、100 の熱勾配 190 の一つの例示的な断面を示す。

【0078】

図 13 は、1 mm の側壁の厚さに対するペレットの上部に位置する 0.2 mm 幅の開口の場合の、例示的な熱集束 200 を示す。熱レンズ効果はエッジの近くで非常に強いことに留意すべきである。

【0079】

図 14 は、0.2 mm のニッケル厚さに対するペレットの底部に位置する 0.05 mm 幅の開口の場合の、例示的な熱集束 210 を示す。等温線湾曲は、図 13 の逆であり、等

10

20

30

40

50

温線湾曲が、金属ギャップがペレットの高温側または低温側に位置すると見えるかどうかから本質的に独立していることを示す。

【 0 0 8 0 】

図 1 5 A および 1 5 B は、金属ギャップ位置の例示的な利点を示す。例えば、図 1 5 A は、熱電対の抵抗負荷損失 2 2 0 を、ペレット側壁の四つ全ての幅 0 . 0 5 mm の開口の中心の関数として比較する。図 1 5 B は、熱電電力出力 2 2 2 を示す。本実施形態におけるペレット側壁は、0 . 2 mm の厚さでのニッケル金属である。熱電対デバイス電力出力は、四つの側壁全てにおける幅 0 . 0 5 mm の金属開口の位置中心の関数である。最大電力が、開口がペレットの上部または底部のいずれかの近くに位置するとき発生し、金属ギャップがペレットの高さに対して中心からずれている時に、熱レンズ効果が最も強いことを示すことに留意されたい。一般的に、ペレット側壁の四つ全ての幅 0 . 0 5 mm の開口中心の関数としての熱電対の負荷損失。

10

【 0 0 8 1 】

図 1 5 A はまた、0 . 0 5 mm 幅のギャップの中心が、四つ全てのペレット側壁上の側壁上の位置で変化するとき、実効電力出力の変動を示す。金属ギャップが底部電極または上部電極のいずれかに近接して位置するとき、ギャップの他の位置に対して電力出力が増加する。最大電力が、開口がペレットの上部または底部のいずれかの近くに位置するとき発生し、金属ギャップがペレットの高さに対して中心からずれている時に、熱レンズ効果が最も強いことを示すことに留意されたい。正である抵抗電力負荷は、発電が電力損失の反対とみなされるため負である、発電された電力の反対である。温度等温線の湾曲は、これらの位置に対してより大きく、どちらの位置においても性能に関して完全に対称的である。ギャップが小さいほど、一般に、より高い熱および電流注入が生じ、高い電力出力をもたらす。見たところでは、ギャップ幅の計算限界は、メッシュ化によって決定され、最も可能性が高いものとして、T L E を結合する前にペレット上の金属の薄膜のレーザーアブレーションによって、ペレットの側面上のギャップを製造する実用的な性質によって物理的に決定される。

20

【 0 0 8 2 】

図 1 6 は、パラメーターとしてニッケル金属側壁被覆の割合を有する、外部抵抗負荷ファクタ 2 3 0 に対する一つの例示的な最大デバイス電力出力を示す。各曲線のピークでは、抵抗負荷が、デバイスが内部抵抗の一部としてペレットおよび電気相互接続を含む、熱電対デバイスの内部抵抗と合致する。ピークを通る直線 2 3 2 は、内部デバイス抵抗が側壁の被覆の増加とともに減少しているため、外部抵抗負荷ファクタに対する最大デバイス電力出力の間の逆直線関係を意味する。最大電力は、ペレットの内部抵抗との負荷マッチングがあるときに発生するため、内部デバイス抵抗の減少は、外部マッチングも減少させる必要がある。

30

【 0 0 8 3 】

図 1 7 は、パラメーターとして金属厚を有する金属側壁被覆の割合に対する熱電対の正規化された最大電力出力間の一つの例示的なパラメーター関係 2 4 0 を示す。銅金属側壁被覆は、0 . 0 5 ~ 0 . 2 mm の厚さの範囲のパラメーターとして金属側壁の厚さを有する熱電対の各ペレットの四つの側壁全ての上にある。0 . 2 0 mm の厚さでは、熱レンズ効果が最も強い。金属被覆および厚さの増加は、金属側壁層を通る熱コンダクタンスの増加を伴い、従って、熱注入の増加を伴い、熱集束を増加させる。従って、金属被覆の割合または金属厚さのいずれかが増加すると、デバイス電力出力が増加する。

40

【 0 0 8 4 】

図 1 8 は、金属側壁被覆が、0 . 0 5 mm および 1 mm の金属側壁の厚さ、ならびにペレット高さの 0 . 6 5 および 0 . 8 5 の割合で側壁の被覆に対して、四つの全ての側壁上にある状態で、三つの熱電対デバイス 2 5 1、2 5 2、および 2 5 3 の例示的な電流 - 電圧負荷ライン 2 5 0 を示す。1 mm 厚の側壁は、0 . 0 5 mm 厚の側壁と比較して熱コンダクタンスが増加したため、より多くの電力を生成することが期待される。0 . 0 5 mm の負荷ラインにおける 0 . 0 5 mm と 0 . 8 5 の割合の比較は、0 . 8 5 mm のケースの

50

金属被覆の増加が側壁に沿ったデバイスの部分的な短絡を通して開回路電圧を減少させるため、高電圧でのクロスオーバー点があることを明らかにする。しかしながら、高電流では、熱集束効果は、より大きな短絡電流をもたらす一方、最大電力（短絡電流の1/2、および開回路電圧の1/2で発生）は、0.85の場合、0.65の場合よりもわずかに大きい。これら2本の負荷ラインは、最大電力の金属被覆に対する感度を示す。

【0085】

図19は、金属側壁被覆が、0.05mmおよび1mmの金属側壁の厚さ、ならびにペレット高さの0.65および0.85の割合で側壁の被覆に対して、四つの全ての側壁にある状態で、図18の三つの熱電対デバイス251、252、および253の一つの例示的な電流-電圧負荷線260を示す。金属側壁被覆での、デバイス電力対抵抗負荷は、一つのパラメータである。ピークは、抵抗負荷が熱電対デバイスの内部抵抗と合致する場所である。出力電力は、0.85の被覆が0.5の被覆より大きく、クロスオーバーが0.25ボルトにあることを示す。

10

【0086】

図20は、厚さ1mmでの三つの側壁の場合の、四つの温度（50、100、150、200）に対する例示的な電流-電圧負荷ライン270を示す。傾向が予想され、さらに計算モデルを確認する。

【0087】

図21は、TETCの一つの例示的な半導体ペレットサブ構成要素280を示す。例えば、図21は、TLE構成要素と接合する準備ができていて、一つの例示的な薄い金属化（253）ペレットを示す。四つの特徴は、熱電半導体ペレット281、接着およびまたは拡散バリア（チタン、タングステン、Ni-P[20]、クロム、活性ろう付け合金など）用の一次金属層282、はんだ付け可能であり酸化しにくい金属の層283（金、パラジウム、およびNi-P）、および金属層282表面からペレット281の半導体材料までの金属層283内のギャップ284（例えば、不連続性）である。任意の数の薄膜金属層を、金、銀、Ni-Pなどのはんだ付け可能な表面を提供する最終層に従って使用し得る。一般に、金属ギャップ284は、ペレット側壁上の導通性を上部電極から下部電極まで断ち切ることである。

20

【0088】

図22は、層の詳細を有する、一つの例示的完成したTETC構成要素290を示す。特徴には、NまたはPタイプの半導体ペレット281と、材料が多層堆積物を通して除去され、ペレット281の半導体表面まで、金属表面282/283において、ギャップ284（つまり、不連続性）を作成することと、不連続な金属ギャップ284が配置される場所以外、ペレット281の外部表面をサブ構成要素TLE292の内部表面に熱的および電気的に結合するはんだ（Sn-Ag-Cu、In-Ag[21]、In-Sn）などの結合材料291とが含まれる。特徴282および283は、図21で論じる薄膜であるが、要件を満たす任意の数の薄膜層を使用できる。

30

【0089】

図23は、適用の例として、熱電モジュール300に取り付けられた二つのTETC構成要素の一つの例示的詳細断面を示す。このパッケージングオプションでは、二つの別個の金属相互接続（サブマウント）が、ペレット281を基体304に接合する役目もする、はんだ層291と接合される。上部金属基体は、金属化半導体ペレット層用の熱レンズを提供するために、正方形の貫通孔を有する。

40

【0090】

図24は、適用の例として、熱電モジュール300に取り付けられた二つのTETC構成要素の一つの例示的詳細断面を示す。このパッケージングオプションは、プレス成形された金属基体を使用して、ペレット281に熱レンズを提供する。

【0091】

図25Aおよび25Bは、変数の分離を使用してフーリエ法によって計算され、本明細書の計算方法によって決定される等温線と同一である、等温線の二つの可視化の一つの例

50

示的な比較を示す。

【0092】

熱強化熱電構成要素（TETC）の組み立て態様

本明細書では、熱電モジュールのアセンブリーで使用される半導体ペレット構成要素の電極形状を変更することによって、熱電発電器デバイス出力電力を有意要因で増加させる方法を提示する。金属側壁は、サブ構成要素として別個の組立工程によって形成され、その後ははんだ結合を介して事前金属化された半導体ペレットと接合されることを提案した。これら二つのサブ構成要素が結合して、高速パッケージング表面実装技術のための新しい電子コンポーネントを形成する。この方法は、ペルチェ効果およびゼーベック効果が対向する（バッキングする）電流であるため、熱電モジュールの冷却モードには適用されない。ペルチェ動作モードに対する熱レンズ電極の効果は、冷却モードでの性能係数のわずかな減少をもたらす。

10

【0093】

側壁に金属を使用する場合、側壁は、ペレット281の上部電極と底部電極との間の導通性を断ち切り、電氣的短絡を防止する、開口、またはギャップ284を有する。こうした開口は、ペレット281の薄膜金属化後の側壁に沿ったレーザーアブレーションによって作製され得る。開口幅は、50ミクロン以下、または実用的な限界まで狭くすることができる。側壁金属に小さな開口を使用する場合、開口の位置に応じて、二つの集束効果があり得る。側壁の中心で、上部表面と平行にペレットの周りに位置する狭い開口は、ペレットの上部側の近くに一つ、および底部側の近くに一つの二つの熱集束効果を生成する。ペレットの上部または底部の近くに位置する開口の中心は、開口の他の位置よりも高い電力出力をもたらす。

20

【0094】

ペレットの上部または底部の四つの縁を面取りすることで、側壁の導通性の切断を達成することができる

【0095】

熱強化ペレット（TEP）の作製は、一般に、（1）レンズ電極（TLE）構成要素、（2）全ての側壁上の導通性における切断（すなわち、ギャップ284）を有する金属化ペレット（281、282、283）、および/または（3）TLEとペレットを結合するためのはんだを含む。作製は、二つのステッププロセスによって実用的な意味で達成され得る。第一に、各サブ構成要素上のはんだ付け可能な表面を使用して、はんだで接合された結合を形成し得る。電気めっきまたは無電気メッキなどの薄膜方法を使用して、ペレットをさまざまな金属で被覆して、さまざまな方法で接着層、拡散バリア、およびはんだ付け可能な層を形成することができる。最終金属層は一般に、好ましくは、銅、ニッケル、銀、またははんだ付け可能な仕上げを有する任意の金属から作製される、TLEに接合するはんだ付け可能な金属を有する。適切な量のはんだをTLEに分注するか、または適切な厚さのフラックスなしプリフォームをTLEの底部に挿入し、次いでペレットをTLE内に配置する。ペレット281の底部および側壁ではんだの再流後に、二つを一緒に接合する。パッケージ構成要素の残りを接合するために使用されるはんだよりも高い温度で溶融するはんだを使用することが望ましい。このように、電子コンポーネントは、高速ピックおよび配置方法が使用され得る、アセンブリーのために作製される。

30

40

【0096】

発電モードでの単一の熱電対について、ペレットの側壁への熱および電気注入によって、デバイスの電力出力の増加が達成されることが示される。（1）側壁が同じ厚さの金属になるまで（側壁の数による線形依存性）同じ厚さの金属化された側壁を段階的に追加する効果、（2）側壁高さが、ペレットの厚さの0の高さから約0.95まで変化する（金属側壁高さとともに増加する非線形効果）、および/または（3）側壁金属の0.050mmギャップの位置を変える、ケースが、調べられてもよい。それぞれのバリエーションは、熱集束を通じてデバイス電力出力を増加させるという独自の効果がある。実際、（例えば、側壁に沿って部分的な電氣的短絡が予想され、その結果、デバイス電力出力が低下

50

する) 熱電電力発生装置の組み立て方法における通常の慣行とは反対に、半導体ペレットの側壁を部分的に金属化することには利点がある。電氣的短絡を回避するために、上部と下部の金属電極間の全ての側壁の金属化において、狭いギャップまたはスリットを残すことによって。これにより、熱集束またはレンズによる熱電電力発生が大幅に増加することをもたらす得る。結果は、測定された物理的特性を有し、四つの側壁全てで50ミクロンの金属化ギャップ幅厚さと、0.05~1mmの均一な金属化厚さの計算解析に基づいて提示することができる(例えば、ビスマス-セレン-テルライドおよびアンチモン-ビスマス-テルライド熱電ペレット)。導通性を断ち切るギャップ284は、ペレット281の周りに対称的に位置付けられる。

【0097】

熱電発電器の出力電力を有意要因で増加させる一つの方法は、熱電モジュールの構成要素アセンブリーで使用される半導体ペレット281に隣接する電極形状を変更することを含む。熱電モジュールの表面実装構成要素アセンブリーで使用される新しい構成要素が推奨される。電力出力の増加は、ペレット281の側壁を通る半導体ペレットのパルクへの熱および電気注入によって達成される。実際に、通常の組み立て方法とは異なり、半導体ペレット281の側壁を部分的に金属化する利点がある。さらに、上部金属電極と下部金属電極との間に側壁の金属化に小さなギャップ284またはスリットを残すと、熱レンズ電極を通して熱電電力の発生が著しく増加する。結果は、対称的に配置される、テルリド系熱電ペレットの四つの全ての側壁上の50ミクロンの金属化ギャップ幅の計算解析に基づいて提示される。

【0098】

図21は、TETC用のペレット281サブ構成要素の一つの例示的な断面図を示す。典型的には、ペレットは、これらの方法が現代のメッキ会社で大量に容易に実施され得るため、電気メッキまたは無電解メッキ法とすることができる。いくつかの層(例えば、層282および283)は、接着、拡散バリア、および他の構成要素に接合するはんだ付け可能な層を満たすために順次メッキされ得る。層の数は、典型的には、前の節に記載されるように、必要に応じて3~4層とすることができる。これらの層を堆積させるための方法は、物理蒸着、爆発性ラミネーション、電気めっき、無電解メッキ、高圧縮ラミネーション、またはプレスである。金属層がNタイプおよびPタイプのペレットの両方に堆積されると、金属層内のギャップ284が、半導体ペレット281の四つの側壁全て上に形成され、ペレットの側壁に導通性を断ち切る。この作業には、研削盤、特殊ソー、レーザー、研磨ワイヤ、またはEDM技術が含まれ得る。ペレット側壁に沿った適切な高さの側壁金属の除去は、上述のように重要であり、ギャップ284は、全ての側壁に沿って、好ましくは四つの側壁全てで同じ高さで連続している。

【0099】

図22は、上述したように、層の詳細を有し、図21にまさに記載した半導体ペレットの同じ態様を使用する、一つの例示的完成したTETC構成要素を示す。金属TLE 292(例えば、正方形の金属カップのような形状)の組み立て方法は、さまざまな技術によって具現化することができる。プレス、成形、電気成形、ステンシル、金型、および鋳造などの技術が使用され得る。TLEは、TLEを金属基体(電気相互接続)に取り付けるはんだの温度とは異なる温度でリフローする、前の節で言及したように、従来のまたは特別なはんだによってNペレットおよびPペレットに取り付けられる。リフロー温度の差は、通常、多段階アセンブリーを可能にするために必要である。はんだ候補には、一過性の液相合金が含まれる。これらの合金は、低温で溶融する純粋な金属(In、Sn)、および高温で溶融する金属(Ag、Cu)を含有する。溶融が開始されると、中間体がブプロセス中に形成され、はんだの凍結が開始される。中間体化合物が形成されると、次の溶解は比較的高い(In-Agの場合、650)。従って、Sn-Ag-Cu(SAC)などのより従来の合金を、残りのアセンブリーに使用して構成要素を接合することができる。現場での合金のこれらの種類について、一実施形態は、材料コストを低く維持するためにAg-Snを使用することを含む。さらに、より従来のはんだ、好ましくは鉛フリ

10

20

30

40

50

ーはんだ合金も使用することができる。

【0100】

図22では、NまたはPタイプの半導体ペレットサブ構成要素は、多層堆積物を通して除去された材料283/284を有し、半導体表面まで金属表面内に不連続性を生成する。金属化ペレットおよび四つの全ての側壁（例えば、不連続金属ギャップまたはわずかに低い高さまで）上のペレット表面を囲むTLE292を接合するために塗布される、上記で論じた半田層291（Sn-Ag-Cu、In-Ag[21]、In-Sn、Ag-Sn）、およびペレットの外部表面およびTLEサブ構成要素の内部表面に熱的に電氣的に結合される結合材料。金属層282/283は、不連続金属ギャップ284が配置される場所を除いて、TLE292に再び示される。本実施形態では、金属層282/283は、

10

【0101】

図23は、両方の基体が、一致した基体の周囲を有する一方が他方の上に嵌合するために順に横方向寸法で一致している、2ピースアセンブリー（すなわち、TETC-2L）を利用したTETC300の一つのタイプの塗布の断面を示す。言い換えれば、基体は一般に同一部品であり、垂直に積み重ねられたとき、二つの基体は、TETC構成要素配置のための単一のユニットを意図する。底部基体304は固体であるのに対し、上部基体306は、基体の厚さを通して二つの正方形の開口（貫通孔）を有する。トップ基体の正方形の穴は、レーザー切断、プレス、鋳造、金型、機械加工、および手動切断などのプロセスを通して作製することができる。これらの正方形の開口は、はんだ291によって基体に接合された後、NおよびPペレット281の熱レンズのための熱を提供する。図21および図22に記載されるような以前の特徴は、二つの半導体ペレット281に熱レンズを提供する二重TLE構成要素を提供するように変更される。2ピースTLEの下ピース304は、TLE構成要素の上部を支持する。従って、構成要素306では、変更された基体は、二つの基体層、またはTETC-2Lを有する二重熱レンズ電極構成要素を有する。

20

【0102】

図24は、ペレット281に熱レンズを塗布するさらに別の方法を示す。TECT-2Lの場合と同様に、TLEサブ構成要素は、二つのペレット281を含むように変更される。このパッケージングオプションでは、TLEは、レーザー切断、プレス、鋳造、金型、機械加工、および手動切断などのプロセスを通して、TECT-2Lと同じ方法で変更される。図23に示すように、図21および22に記述された以前の特徴が図24で使用される。図24では、特徴306および304の部分は、一つの金属基体を使用した二つの半導体ペレットの熱レンズを提供する二重TLE構成要素を提供するように変更される。従って、この構成要素では、この変更された基体は、一つの基体層、またはTETC-1Lを有する二重熱レンズ電極構成要素である。

30

【0103】

上述の実施例のいずれかまたは全てにおいて、TETCの金属サブ構成要素は、比較的高い熱伝導率および導電率を有する（例えば、ニッケルでメッキされた銅）。

【0104】

図23は、製造に使用され得るいくつかの例示的な特徴を示す。例えば、一実施形態では、ペレット281は、特徴282、拡散バリア、および層283（例えば、酸化を防止するためにペレット281基材の上部に貴金属）を含む複数層で金属化された熱電半導体構成要素である。ペレット上にこのような多層堆積物を作るために使用される製造方法には、物理蒸着（PVD）、爆発性ラミネーション、スパッタリング、電気めっき、無電気めっき、および高温ラミネーションが含まれ得る。

40

【0105】

ギャップ284は、短絡を避けるためにペレットの外周縁部に熱的および電氣的切断を生じるために金属除去が行われたスリットを含む。この切断は、電力出力を改善するための熱レンズ効果を提供する。ギャップ284に特徴を作り出すために使用されるいくつかの製造方法には、ワイヤ放電加工（EDM）、研磨ワイヤ切断、金属化プロセスマスク

50

グ、研磨ソー切断、およびレーザーエッチングが含まれる。次いで、金属化ペレット 281 は、固体構成要素 304 と、構成要素 306 によって実装される双子空洞とからなる 2 ピース熱レンズ装置に配置され得る。構成要素 304 および 306 は、プレス、3D印刷、レーザー切断、ウォータージェット切断、ワイヤEDM、CNC機械加工、または鋳造によって製造され得る。構成要素 304 および 306 はまた、3D印刷、プレス、および CNC 機械加工によって、一つの部品で作製することができる。構成要素 304 および 306 は、酸化を防止するために、銅を含むことができ、ニッケルで電気メッキされ得る。構成要素 306 の空洞は一般に、ペレット 281 の形状と合致する（例えば、ペレット 281 よりもわずかに大きく、接合材料 291 の空間を提供する）。構成要素 304 は、熱はんだ付け、超音波はんだ付け、爆発性ラミネーション、高温プレス、および熱的および電気的に適合する接着剤によって固体片構成要素 306 に取り付けられる空洞を含み得る。従って、構成要素 304 および 306 は、ギャップ 284 を有する完成した金属化ペレット 281 が、はんだ結合材料の接着方法に特有の硬化プロセスを通して構成要素 304 および 306 に配置され、取り付けられ得るように、二つの空洞を有する 1 ピース構成要素となる。

10

【0106】

ペレット 281（および層 282 および 283）がそれに取り付けられ得るように、構成要素 306 の開口部によって形成される内部の正方形の空洞は、はんだで被覆され得る（例えば、分注、ステンシル印刷、およびマスクスプレーによって）。構成要素の全てまたは一部は、ロボットシステムによる高速配置を利用するために、テープ&リール、振動ボウル、チューブ、または Joint Electron Device Engineering Council (JEDEC) トレイに配置され得る。適切な熱接着剤が、高速ロボットによるピックおよび配置中に構成要素 304 および 306 を保持するためのステンシルを使用して印刷され得る。このプロセスは、パッケージ基板に実装し、大型の産業モジュールまたはカートリッジを構築するために何度も繰り返され得る。次に、PタイプおよびNタイプのペレット 281 は、構成要素 306 の側壁高さが、高速ロボットシステムを利用してギャップ 284 スリットの高さと同様に合致する、これらの空洞内に配置され得る。熱レンズアセンブリー 300 は、カートリッジ（またはモジュール）の下半分の要素がペレット 281 を囲むように、モジュールパッケージ基板（例えば、銅被覆アルミナ、陽極酸化アルミニウム、または他の適切な平坦な基体）上で何度も繰り返され得る。金属相互接続（例えば、層 304）が取り付けられた上部基板は、適切な位置および番号に位置付けられ、接合されて、底部基板上の構成要素間の直列回路を完成させてもよい。はんだは、底部基板上のペレット 281 の上部に印刷されて、一緒にパッケージ基板に接合され得る。次に、この折り畳み式様アセンブリーは、アセンブリーされたモジュールにわずかな圧力をかけるアルミニウムリテーナー内に取り付けられてもよい。次いで、アセンブリーは、パッチオープン、コンベヤ式リフローオープン、紫外線（UV）硬化、および/または超音波溶接システムによって熱処理されて、材料の硬化およびはんだのリフローのプロセスを完了させてもよい。

20

30

40

50

【図面】
【図 1】

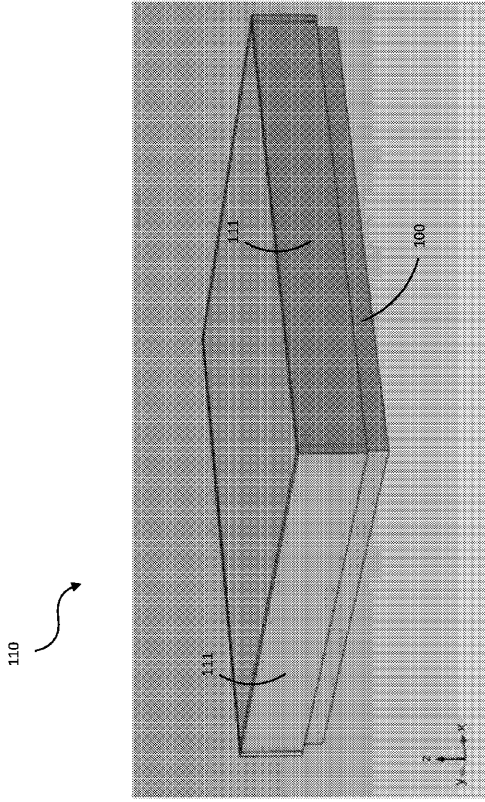


Fig. 1

【図 2】

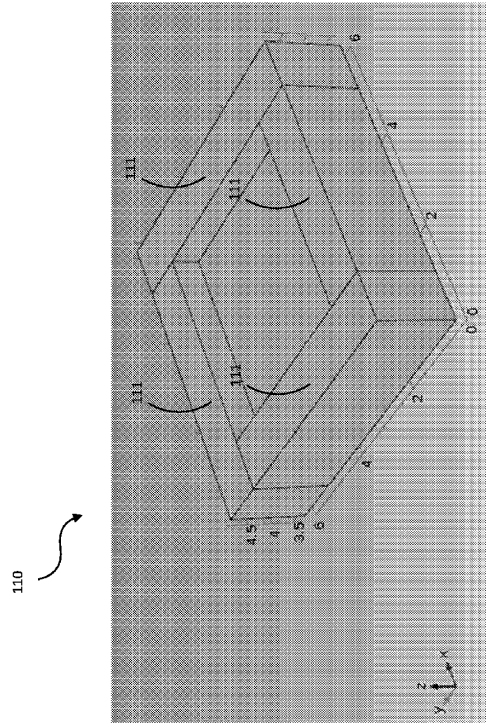


Fig. 2

【図 3】

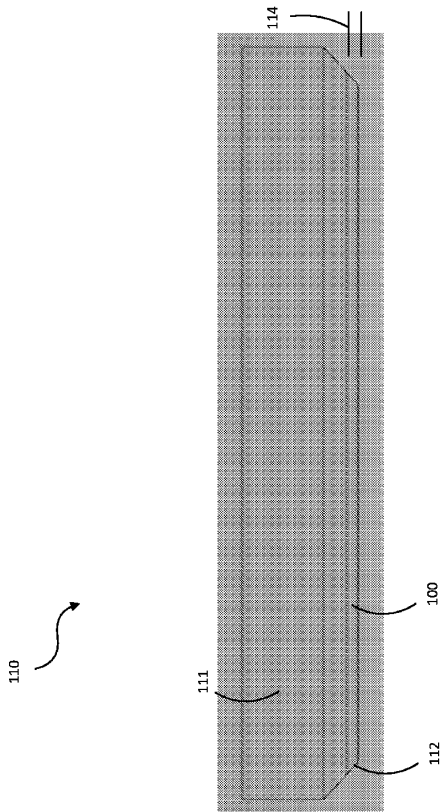


Fig. 3

【図 4】

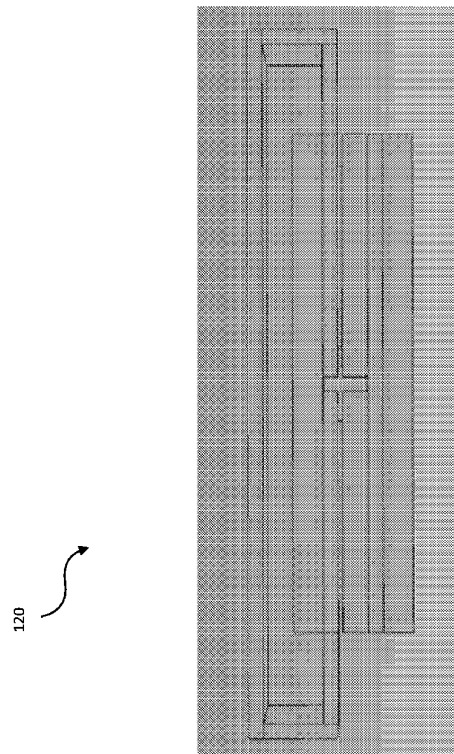


Fig. 4

10

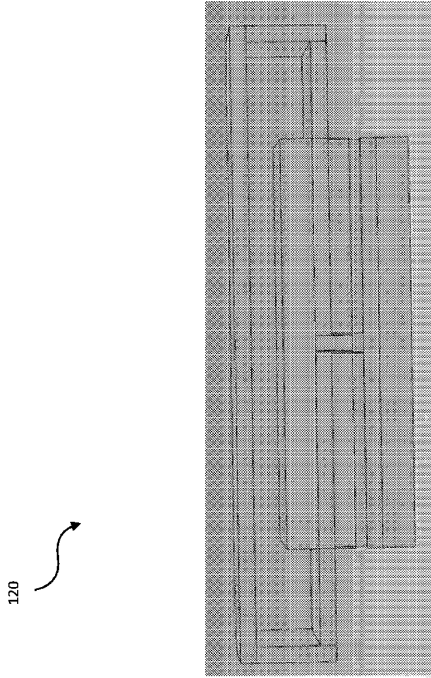
20

30

40

50

【図 5】



【図 6】

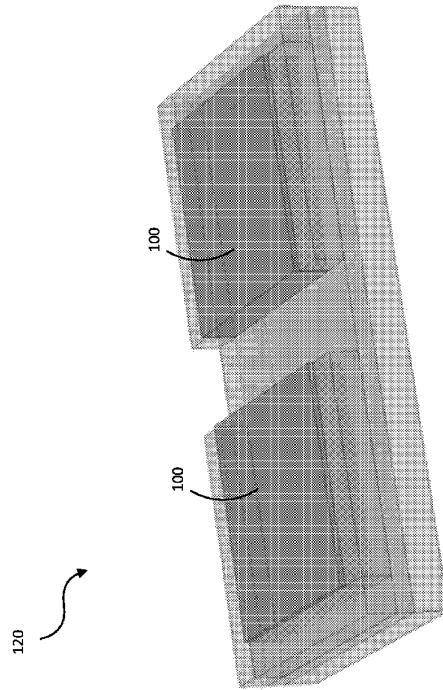


Fig. 5

Fig. 7

【図 8】

【図 8】

【図 7】

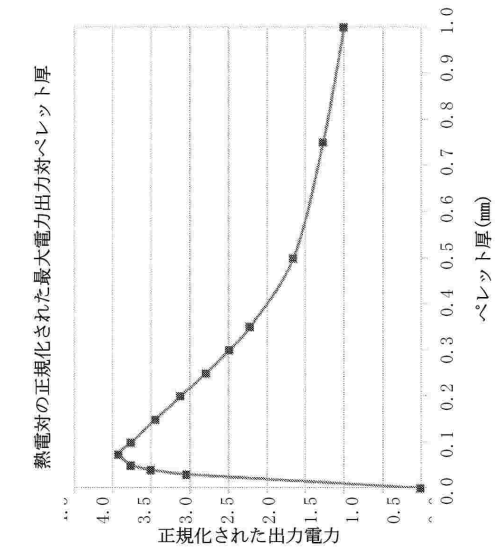
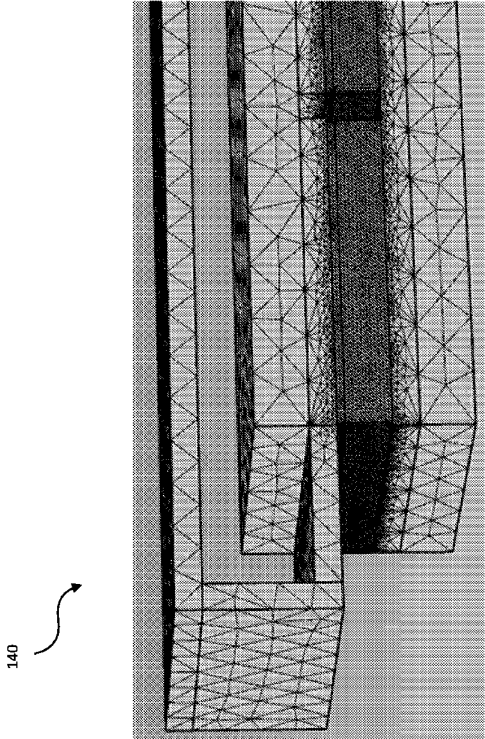


図 8

10

20

30

40

50

【図 9】

【図 9】

160

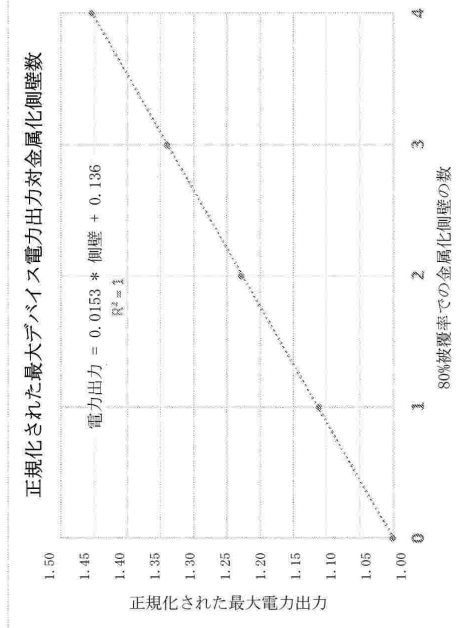


図 9

【図 10】

【図 10】

170

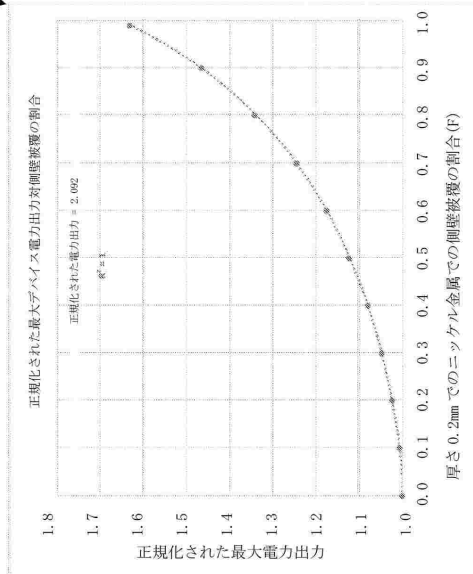


図 10

【図 11】

180

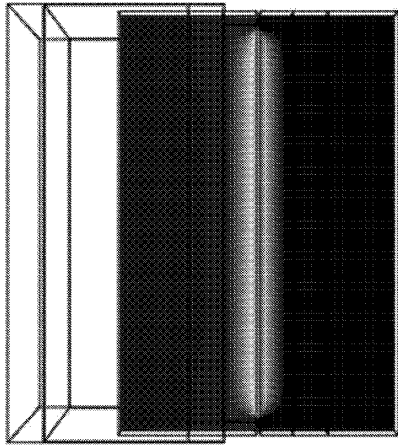


Fig. 11

【図 12】

190

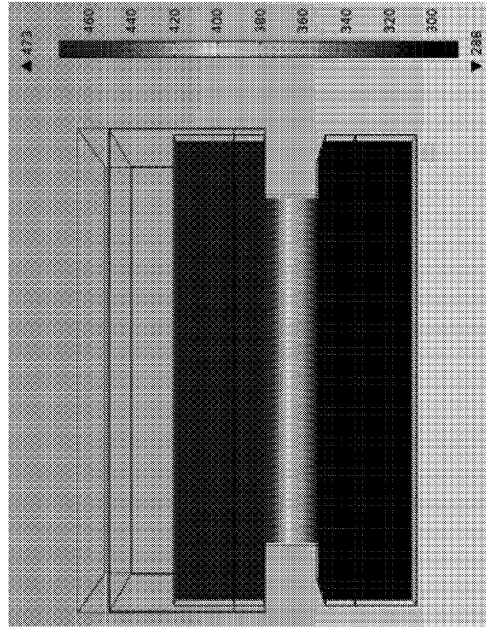


Fig. 12

10

20

30

40

50

【図 13】

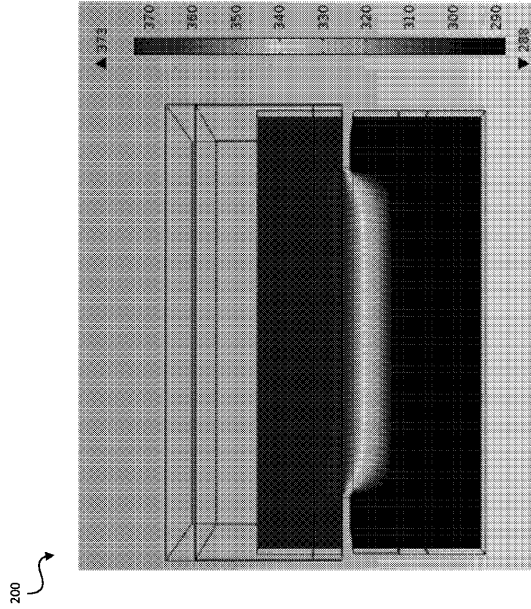


Fig. 13

【図 14】

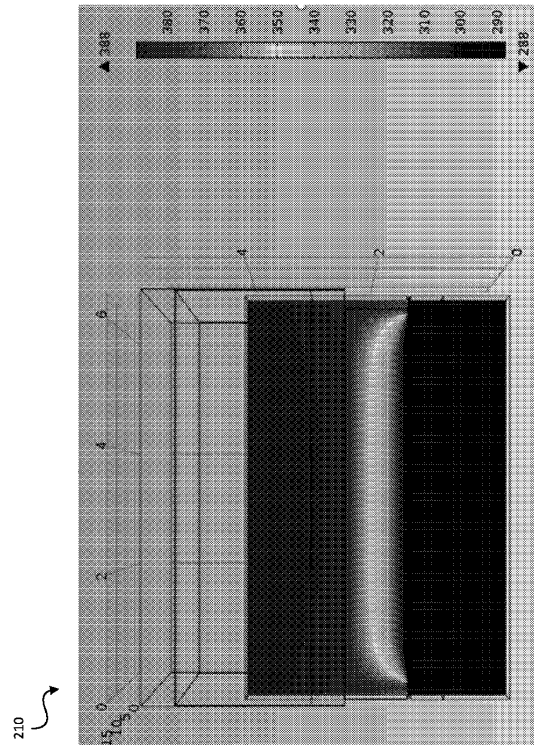


Fig. 14

【図 15】

【図 15】

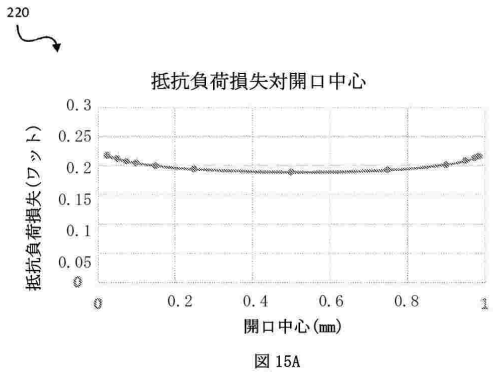


図 15A

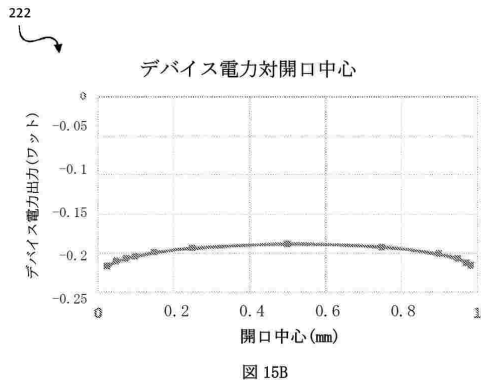


図 15B

【図 16】

【図 16】

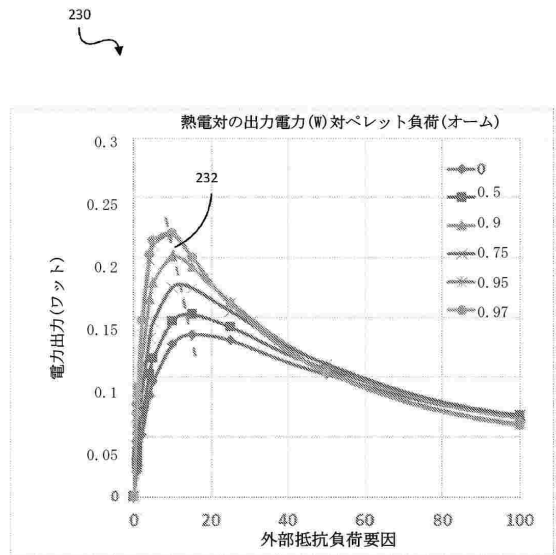


図 16

10

20

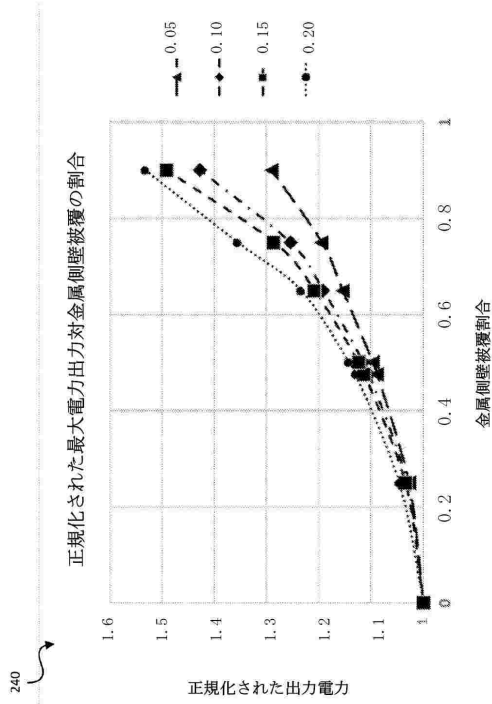
30

40

50

【図 17】

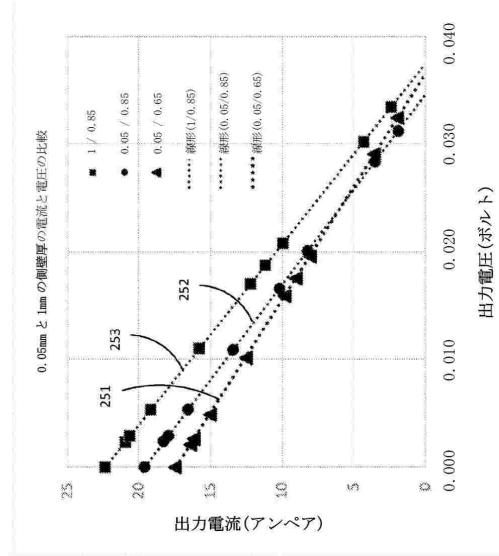
【図 17】



240

【図 18】

【図 18】



250

図 17

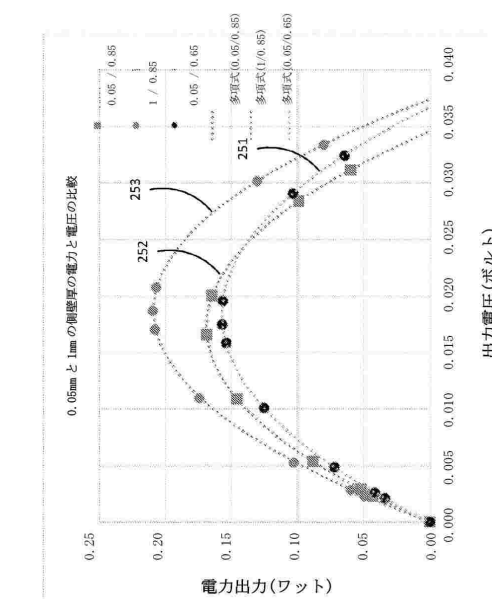
図 18

10

20

【図 19】

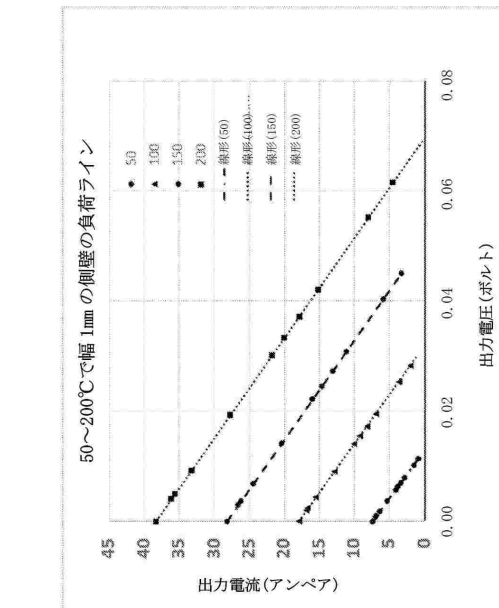
【図 19】



260

【図 20】

【図 20】



270

図 19

図 20

30

40

50

【 2 1 】

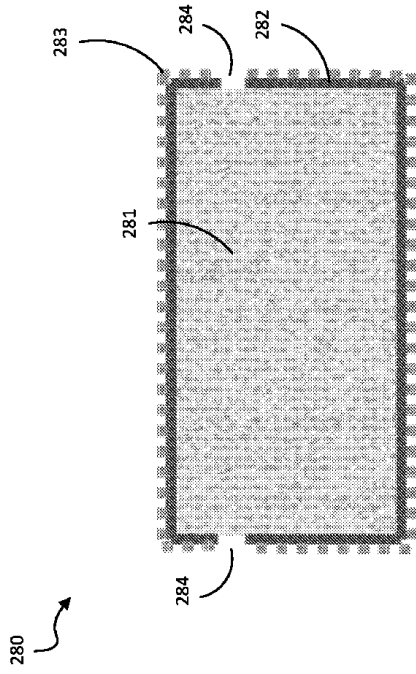


Fig. 21

【 2 2 】

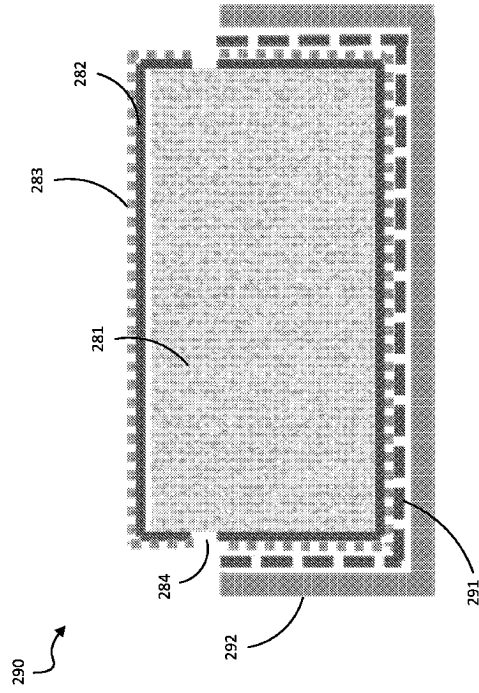


Fig. 22

【 2 3 】

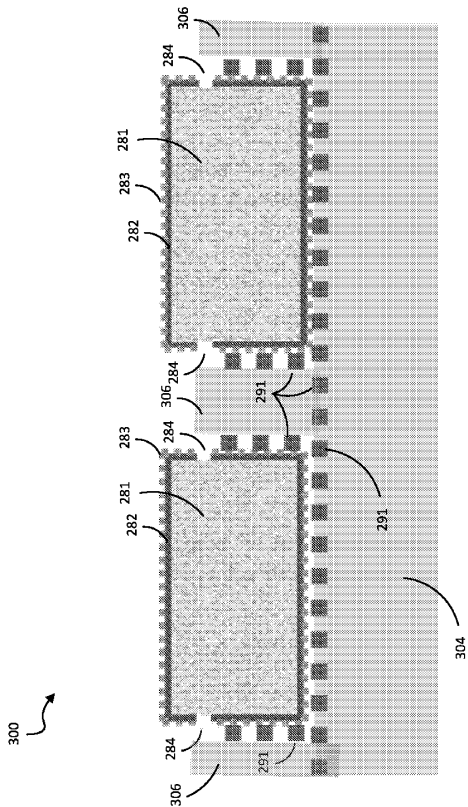


Fig. 23

【 2 4 】

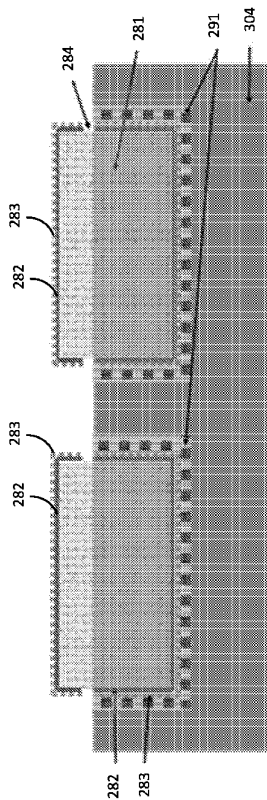


Fig. 24

10

20

30

40

50

【 2 5 A 】

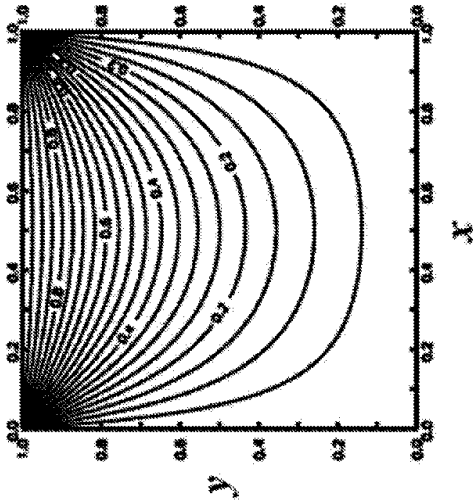


Fig. 25A

【 2 5 B 】

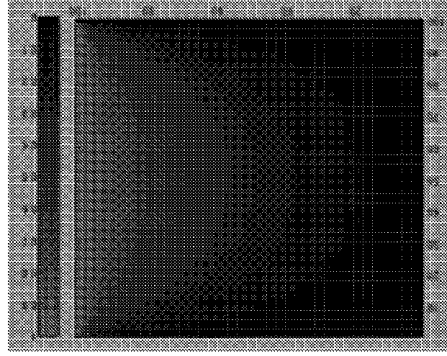


Fig. 25B

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 ペトキー, ロナルド
アメリカ合衆国 コロラド 80538, ラブランド, イー. 37ティーエイチ ストリート 1
17, スイート 500, パーケン エナジー, エルエルシー 気付
- (72)発明者 ニューマン, ジョン ビー.
アメリカ合衆国 コロラド 80538, ラブランド, イー. 37ティーエイチ ストリート 1
17, スイート 500, パーケン エナジー, エルエルシー 気付
- (72)発明者 バサ, イオン エム.
アメリカ合衆国 コロラド 80538, ラブランド, イー. 37ティーエイチ ストリート 1
17, スイート 500, パーケン エナジー, エルエルシー 気付

審査官 脇水 佳弘

- (56)参考文献 特開2006-294935(JP,A)
特開2009-117645(JP,A)
特開2013-026567(JP,A)
特開平09-293906(JP,A)
特開2004-087827(JP,A)
特開2008-166638(JP,A)
特開平10-022532(JP,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H10N 10/17
H10N 10/817
H01L 21/52
H01L 25/07