

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6995370号
(P6995370)

(45)発行日 令和4年2月4日(2022. 2. 4)

(24)登録日 令和3年12月17日(2021. 12. 17)

(51)Int. Cl.	F I
H O 1 L 35/32 (2006. 01)	H O 1 L 35/32 A
H O 2 N 11/00 (2006. 01)	H O 2 N 11/00 A

請求項の数 11 (全 31 頁)

(21)出願番号	特願2018-536912(P2018-536912)	(73)特許権者	503360115
(86)(22)出願日	平成29年2月23日(2017. 2. 23)		国立研究開発法人科学技術振興機構
(86)国際出願番号	PCT/JP2017/006811		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87)国際公開番号	W02018/042708	(74)代理人	100087480
(87)国際公開日	平成30年3月8日(2018. 3. 8)		弁理士 片山 修平
審査請求日	令和2年2月20日(2020. 2. 20)	(72)発明者	菅原 聡
(31)優先権主張番号	特願2016-168415(P2016-168415)		東京都目黒区大岡山2-1-2-1 国立大 学法人東京工業大学内
(32)優先日	平成28年8月30日(2016. 8. 30)	(72)発明者	近藤 剛
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		東京都目黒区大岡山2-1-2-1 国立大 学法人東京工業大学内
		審査官	加藤 俊哉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】熱電変換装置および電子装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1熱電薄膜および第2熱電薄膜の表面に平行な第1方向に交互に設けられた互いに反対の導電型を有する前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜と、

前記第1熱電薄膜と前記第2熱電薄膜との間において前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜と電気的および熱的に接続され、前記第1方向に交互に設けられた第1接続層および第2接続層と、

前記第1接続層および前記第2接続層にそれぞれ熱的に接続し前記表面に交差する第2方向に延伸する第1熱伝導層および第2熱伝導層と、
を具備し、

前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層は、前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜の表面に対し互いに反対側に設けられており、

前記第1熱伝導層が貫通し前記第1熱伝導層より熱伝導率の小さな固体の第1絶縁体と、
前記第2熱伝導層が貫通し前記第2熱伝導層より熱伝導率の小さな固体の第2絶縁体と、
を具備し、

前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層にそれぞれ熱的に接続する第1基部および第2基部と、
を具備し、

前記第1基部および前記第1絶縁体は、前記第1熱伝導層の間において第1溝を有し、

前記第 2 基部および前記第 2 絶縁体は、前記第 2 熱伝導層の間において第 2 溝を有することを特徴とする熱電変換装置。

【請求項 2】

前記第 1 熱電薄膜、前記第 2 熱電薄膜、前記第 1 接続層、前記第 2 接続層、前記第 1 熱伝導層および前記第 2 熱伝導層を含む層が前記表面に交差する方向に複数積層され、

前記複数の層のうち隣接する層の一方に含まれる第 1 熱伝導層と、前記隣接する層の他方に含まれる第 2 熱伝導層と、は熱的に接続されていることを特徴とする請求項 1 記載の熱電変換装置。

【請求項 3】

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間に設けられ、前記第 1 熱電薄膜、前記第 2 熱電薄膜、前記第 1 接続層、前記第 2 接続層、前記第 1 熱伝導層および前記第 2 熱伝導層を備え、前記第 1 熱伝導層および前記第 2 熱伝導層はそれぞれ前記第 1 基部および前記第 2 基部に接続された熱電変換ユニットと、

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間であって前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、前記第 1 熱電薄膜、前記第 2 熱電薄膜、前記第 1 基部および前記第 2 基部の熱伝導率より小さい熱伝導率を有する熱絶縁体と、

を具備し、

前記第 1 基部は恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、

前記第 2 基部は空気に熱的に接続されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の熱電変換装置。

【請求項 4】

第 1 基部と、

第 2 基部と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間に設けられ、第 1 接続層と第 2 接続層との間に設けられた第 1 熱電材料と前記第 1 熱電材料と反対の導電型を有する第 2 熱電材料とが、前記第 1 接続層と前記第 2 接続層とを介して交互に直列に接続され、前記第 1 接続層および前記第 2 接続層はそれぞれ前記第 1 基部および前記第 2 基部に熱的に接続された熱電変換ユニットと、

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間であって平面視において前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、前記第 1 熱電材料、前記第 2 熱電材料、前記第 1 基部および前記第 2 基部の熱伝導率より小さい熱伝導率を有する熱絶縁体と、

を具備し、

前記熱絶縁体は、平面視における前記熱電変換ユニットの外側の領域において前記第 1 基部および前記第 2 基部に接触し、平面視において前記熱電変換ユニットの面積は前記熱電変換ユニットおよび前記熱絶縁体を介し前記第 1 基部と前記第 2 基部とが対向する領域の面積の $1 / 100$ 以下であることを特徴とする熱電変換装置。

【請求項 5】

前記熱絶縁体は、固体層であることを特徴とする請求項 4 記載の熱電変換装置。

【請求項 6】

前記熱絶縁体は、大気圧より低い圧力を有する気体層または真空である請求項 4 記載の熱電変換装置。

【請求項 7】

第 1 基部と、

第 2 基部と、

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間に設けられ、第 1 接続層と第 2 接続層との間に設けられた第 1 熱電材料と前記第 1 熱電材料と反対の導電型を有する第 2 熱電材料とが、前記第 1 接続層と前記第 2 接続層とを介して交互に直列に接続され、前記第 1 接続層および前記第 2 接続層はそれぞれ前記第 1 基部および前記第 2 基部に熱的に接続された熱電変換ユニットと、

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間であって前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、

大気圧より低い圧力を有する気体層または真空であり、平面視における前記熱電変換ユニットの外側の領域において前記第 1 基部および前記第 2 基部に接触する熱絶縁体と、

前記第 1 基部および前記第 2 基部との間において前記熱電変換ユニットと前記熱絶縁体を囲むように設けられ、前記気体層または真空を保持する保持部と、
を具備し、

平面視において前記熱電変換ユニットの面積は前記熱電変換ユニットおよび前記熱絶縁体を介し前記第 1 基部と前記第 2 基部とが対向する領域の面積の $1 / 100$ 以下であることを特徴とする熱電変換装置。

【請求項 8】

前記第 1 基部と前記第 2 基部との間に前記熱絶縁体を介し互いに離間した複数の前記熱電変換ユニットを具備することを特徴とする請求項 4 から 7 のいずれか一項記載の熱電変換装置。

10

【請求項 9】

前記第 1 熱電材料および前記第 2 熱電材料は、前記第 1 基部および前記第 2 基部の表面に平行な第 1 方向に交互に設けられ、

前記第 1 接続層および前記第 2 接続層は、前記第 1 熱電材料と前記第 2 熱電材料との間において前記第 1 熱電材料および前記第 2 熱電材料と電気的および熱的に接続され、前記第 1 方向に交互に設けられ、

前記熱電変換ユニットは、前記第 1 接続層および前記第 2 接続層にそれぞれ熱的に接続し前記表面に交差する第 2 方向に延伸する第 1 熱伝導層および第 2 熱伝導層を備えることを特徴とする請求項 4 から 8 のいずれか一項記載の熱電変換装置。

20

【請求項 10】

前記第 1 熱電材料および前記第 2 熱電材料は、前記第 1 基部および前記第 2 基部の面方向に配列され、

前記第 1 接続層および前記第 2 接続層は、前記面方向に交差する方向において前記第 1 熱電材料と前記第 2 熱電材料と交互に熱的および電気的に接続されたことを特徴とする請求項 4 から 8 のいずれか一項記載の熱電変換装置。

【請求項 11】

前記第 1 基部は、恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、

前記第 2 基部は、空気に熱的に接続される請求項 4 から 10 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱電変換装置および電子装置に関し、例えば熱電薄膜を有する熱電変換装置および電子装置に関する。

【背景技術】

【0002】

熱電材料から構成されるゼーベック素子を多数集積化した熱電発電モジュール (TEG : Thermoelectric Generator) と呼ばれる熱電変換装置 (または熱電発電装置) は、発電所や工場、さらには自動車の排熱を利用した発電技術として期待されている。最近では、マイクロ熱電発電モジュール (μ TEG : Micro Thermoelectric Generator) と呼ばれる小型の熱電変換装置が、ウェアラブルデバイスやセンサーノードに活用できる環境発電素子として期待されている。また、このような μ TEG ではマイクロプロセッサやシステムオンチップ (SoC) の排熱を利用した発電も考えられる。

40

【0003】

上側の基板の下面および下側の基板の上面にそれぞれ、多数の柱状に加工された n 型および p 型の熱電材料を互い違いに形成し、上側の基板と下側の基板とを接合することで、 μ TEG を作製することが知られている (例えば特許文献 1)。この構造では、熱電層内の熱流および電流の向きは基板の法線方向である。このタイプの μ TEG は 型のゼーベ

ック素子を多数接続した構造となるため、以下では、型ということにする。

【0004】

n型とp型の短冊状の熱電薄膜を短冊の幅方向に交互に配列させ、熱電薄膜の延伸方向の端部を互い違いに接続させる構造が記載されている。この構造では、熱電薄膜内の熱流および電流の向きは短冊の長さ方向である。このタイプのμTEGを以下インプレーン型という。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許第7402910号

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

薄膜の熱電材料を用いることで、熱電変換装置の小型化および高集積化が可能である。しかしながら、型やインプレーン型のμTEGに薄膜の熱電材料を用いると、熱抵抗と電気抵抗とがトレードオフの関係となり、高出力な熱電変換装置を実現することが難しい。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、小型かつ高出力の熱電変換装置および電子装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、第1熱電薄膜および第2熱電薄膜の表面に平行な第1方向に交互に設けられた互いに反対の導電型を有する前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜と、前記第1熱電薄膜と前記第2熱電薄膜との間において前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜と電気的および熱的に接続され、前記第1方向に交互に設けられた第1接続層および第2接続層と、前記第1接続層および前記第2接続層にそれぞれ熱的に接続し前記表面に交差する第2方向に延伸する第1熱伝導層および第2熱伝導層と、を具備し、前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層は、前記第1熱電薄膜および前記第2熱電薄膜の表面に対し互いに反対側に設けられており、前記第1熱伝導層が貫通し前記第1熱伝導層より熱伝導率の小さな固体の第1絶縁体と、前記第2熱伝導層が貫通し前記第2熱伝導層より熱伝導率の小さな固体の第2絶縁体と、前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層にそれぞれ熱的に接続する第1基部および第2基部と、を具備し、前記第1基部および前記第1絶縁体は、前記第1熱伝導層の間において第1溝を有し、前記第2基部および前記第2絶縁体は、前記第2熱伝導層の間において第2溝を有することを特徴とする熱電変換装置である。

30

【0016】

上記構成において、前記第1熱電薄膜、前記第2熱電薄膜、前記第1接続層、前記第2接続層、前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層を含む層が前記表面に交差する方向に複数積層され、前記複数の層のうち隣接する層の一方に含まれる第1熱伝導層と、前記隣接する層の他方に含まれる第2熱伝導層と、は熱的に接続されている構成とすることができる。

40

【0017】

上記構成において、前記第1基部と前記第2基部との間に設けられ、前記第1熱電薄膜、前記第2熱電薄膜、前記第1接続層、前記第2接続層、前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層を備え、前記第1熱伝導層および前記第2熱伝導層はそれぞれ前記第1基部および前記第2基部に接続された熱電変換ユニットと、前記第1基部と前記第2基部との間であって前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、前記第1熱電薄膜、前記第2熱電薄膜、前記第1基部および前記第2基部の熱伝導率より小さい熱伝導率を有する熱絶縁体と、を具備し、前記第1基部は恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、前記第2基部は空気に熱的に接続される構成とすることができる。

50

【0018】

本発明は、第1基部と、第2基部と、前記第1基部と前記第2基部との間に設けられ、第1接続層と第2接続層との間に設けられた第1熱電材料と前記第1熱電材料と反対の導電性を有する第2熱電材料とが、前記第1接続層と前記第2接続層とを介して交互に直列に接続され、前記第1接続層および前記第2接続層はそれぞれ前記第1基部および前記第2基部に熱的に接続された熱電変換ユニットと、前記第1基部と前記第2基部との間であって平面視において前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、前記第1熱電材料、前記第2熱電材料、前記第1基部および前記第2基部の熱伝導率より小さい熱伝導率を有する熱絶縁体と、を具備し、前記熱絶縁体は、平面視における前記熱電変換ユニットの外側の領域において前記第1基部および前記第2基部に接触し、平面視において前記熱電変換ユニットの面積は前記熱電変換ユニットおよび前記熱絶縁体を介し前記第1基部と前記第2基部とが対向する領域の面積の $1/100$ 以下であることを特徴とする熱電変換装置である。

10

【0019】

上記構成において、前記熱絶縁体は、固体層である構成とすることができる。上記構成において、前記熱絶縁体は、大気圧より低い圧力を有する気体層または真空である構成とすることができる。

【0020】

本発明は、第1基部と、第2基部と、前記第1基部と前記第2基部との間に設けられ、第1接続層と第2接続層との間に設けられた第1熱電材料と前記第1熱電材料と反対の導電性を有する第2熱電材料とが、前記第1接続層と前記第2接続層とを介して交互に直列に接続され、前記第1接続層および前記第2接続層はそれぞれ前記第1基部および前記第2基部に熱的に接続された熱電変換ユニットと、前記第1基部と前記第2基部との間であって前記熱電変換ユニットの外側に設けられ、大気圧より低い圧力を有する気体層または真空であり、平面視における前記熱電変換ユニットの外側の領域において前記第1基部および前記第2基部に接触する熱絶縁体と、前記第1基部および前記第2基部との間において前記熱電変換ユニットと前記熱絶縁体を囲むように設けられ、前記気体層または真空を保持する保持部と、を具備し、平面視において前記熱電変換ユニットの面積は前記熱電変換ユニットおよび前記熱絶縁体を介し前記第1基部と前記第2基部とが対向する領域の面積の $1/100$ 以下であることを特徴とする熱電変換装置である。

20

30

【0021】

上記構成において、前記第1基部と前記第2基部との間に前記熱絶縁体を介し互いに離間した複数の前記熱電変換ユニットを具備する構成とすることができる。

【0025】

上記構成において、前記第1熱電材料および前記第2熱電材料は、前記第1基部および前記第2基部の表面に平行な第1方向に交互に設けられ、前記第1接続層および前記第2接続層は、前記第1熱電材料と前記第2熱電材料との間において前記第1熱電材料および前記第2熱電材料と電気的および熱的に接続され、前記第1方向に交互に設けられ、前記熱電変換ユニットは、前記第1接続層および前記第2接続層にそれぞれ熱的に接続し前記表面に交差する第2方向に延伸する第1熱伝導層および第2熱伝導層を備える構成とすることができる。上記構成において、前記第1熱電材料および前記第2熱電材料は、前記第1基部および前記第2基部の面方向に配列され、前記第1接続層および前記第2接続層は、前記面方向に交差する方向において前記第1熱電材料と前記第2熱電材料と交互に熱的および電気的に接続された構成とすることができる。上記構成において、前記第1基部は、恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、前記第2基部は、空気に熱的に接続される構成とすることができる。

40

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、小型かつ高出力な熱電変換装置および電子装置を提供することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】図1は、ゼーベック素子を示す模式図である。

【図2】図2(a)および図2(b)は、比較例1に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。

【図3】図3(a)および図3(b)は、比較例2に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。

【図4】図4(a)および図4(b)は、実施例1に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。

【図5】図5(a)から図5(c)は、比較例1における t_0 に対するそれぞれ m_0 、 d および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。 10【図6】図6(a)および図6(b)は、比較例1における t_0 に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -)d$ および t_{cu} のシミュレーション結果を示す図である。【図7】図7は、比較例1における V_s に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -)d$ および t_{cu} のシミュレーション結果を示す図である。【図8】図8(a)から図8(c)は、実施例1における t_0 に対するそれぞれ m_0 、 d および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。【図9】図9は、実施例1における t_0 に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -)d$ および t_{cu} のシミュレーション結果を示す図である。【図10】図10は、実施例1における V_s に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -)d$ および t_{cu} シミュレーション結果を示す図である。 20

【図11】図11(a)および図11(b)は、実施例1の変形例1に係る熱電変換装置の断面図である。

【図12】図12は、実施例1の変形例2に係る熱電変換装置の平面図である。

【図13】図13(a)および図13(b)は、実施例1の変形例3に係る熱電変換装置の断面図および平面図である。

【図14】図14(a)および図14(b)は、実施例1の変形例4に係る熱電変換装置の断面図であり、図14(c)は、実施例1の変形例5に係る熱電変換装置の断面図である。

【図15】図15(a)および図15(b)は、実施例1の変形例6に係る熱電変換装置を用いた電子装置の断面図である。 30

【図16】図16は、実施例2に係る電子装置の断面図である。

【図17】図17は、実施例2の変形例1に係る電子装置のブロック図である。

【図18】図18は、実施例2の変形例1に係る電力システムのブロック図である。

【図19】図19(a)および図19(b)は、シミュレーションモデルを示す図である。

【図20】図20(a)および図20(b)は、実施例1におけるそれぞれ t_0 および m_0 に対する d 、 $(1 -)d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。【図21】図21は、実施例1における t_0 に対する d 、 $(1 -)d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。 40【図22】図22は、比較例1における t_0 に対する d 、 $(1 -)d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。

【図23】図23(a)および図23(b)は、それぞれ比較例1および実施例1に係る熱電変換装置の断面模式図である。

【図24】図24は、実施例1における出力電圧 V_{out} に対する電流 I および出力電力 P_{OUT} を示す図である。【図25】図25は、比較例1における最小寸法に対する d 、 $(1 -)d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。

【図26】図26(a)は、実施例4に係る熱電変換装置の平面図、図26(b)は、図 50

26(a)のA-A断面図である。

【図27】図27は、実施例4におけるDに対する d 、 $(1 -)d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。

【図28】図28(a)は、実施例4の変形例1に係る熱電変換装置の平面図、図28(b)は、図28(a)のA-A断面図である。

【図29】図29(a)は、実施例4の変形例1におけるLに対する t_{cu} 、 d 、 m_0 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図、図29(b)は、 t_{cu} に対するL、 d 、 m_0 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。

【図30】図30は、熱絶縁体が真空のときの t_{cu} に対するL、 d 、 m_0 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。

10

【図31】図31は、実施例4の変形例2に係る熱電変換装置の断面図である。

【図32】図32(a)は、実施例4の変形例3に係る熱電変換装置の平面図、図32(b)は、図32(a)のA-A断面図である。

【図33】図33(a)は、実施例4の変形例4に係る熱電変換装置の平面図、図33(b)は、図33(a)のA-A断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

図1は、ゼーベック素子を示す模式図である。図1に示すように、ゼーベック素子10は、熱電材料32a、32b、電極24a、24bおよび接続層34aを含む。熱電材料32aおよび32bは例えばそれぞれn型およびp型である。熱電材料32aおよび32bの一端は接続層34aを介し接続されている。熱電材料32aおよび32bの他端はそれぞれ電極24aおよび24bに接続されている。接続層34aに矢印36aのように吸熱し、電極24aおよび24bから矢印36bのように放熱すると、ゼーベック効果により、電極24aと24bとの間に起電力が生じる。電極24aと24bとの間に負荷40を接続すると、電流42が流れる。このようなゼーベック素子10を複数直列に接続することにより、起電力を大きくできる。

20

【0029】

熱電変換装置(または熱電発電装置)は、例えば機械加工により切断したn型熱電材料およびp型熱電材料のペレットを多数接合して作製する。また、熱電変換装置は、n型熱電材料を多数のペレット状に形成した基板に、p型熱電材料を多数のペレット状に形成した基板を張り合わせるにより作製することもできる。これらの作製方法では、ゼーベック素子の集積度を大きくすることが難しく、ゼーベック素子の集積度は例えば数100個程度である。

30

【0030】

ゼーベック素子1つ当たりの起電力は小さいため、ゼーベック素子を複数直列に接続して用いることが好ましい。しかし、ゼーベック素子の集積度が小さいと、直列に接続されるゼーベック素子数が制約される。このため、熱電変換装置の出力電力を高くしようとすると、ゼーベック素子1個当たりの起電力を優先して熱電変換装置を設計することになる。このように1個当たりの起電力を優先した設計では、一般的には、出力電力に対し最適化された構造とはならない。

40

【0031】

そこで、半導体集積回路等の作製に用いられるフォトリソグラフィ技術等に基づく微細加工技術および薄膜形成技術を応用して熱電変換装置を作製することが考えられる。このような方法では、集積化されるゼーベック素子の数と素子形状および寸法の大きな自由度から所望の出力特性を有する熱電変換装置を設計できる。これにより、最適化された構造を有するゼーベック素子を高密度かつ大規模に集積化した熱電変換装置を実現できる可能性がある。

【0032】

[比較例1]

熱電材料として薄膜を用いる熱電変換装置の構造について検討した。比較例1は 型の

50

ゼーベック素子を用いる例である。図2(a)および図2(b)は、比較例1に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。図2(a)では、熱電薄膜、接続層および電極を図示している。図2(b)は、図2(a)のA-A断面図である。熱電薄膜12aおよび12bの配列方向をX方向およびY方向とし、各層の積層方法をZ方向としている。

【0033】

図2(a)および図2(b)に示すように、熱電変換装置110において、熱電薄膜12aおよび熱電薄膜12bがX方向に交互に配列されている。熱電薄膜12aおよび12bは例えばそれぞれn型およびp型である。隣接する熱電薄膜12aと12bとは、-Z方向および+Z方向においてそれぞれ接続層14aおよび14bに電気的および熱的に接続されている。10
 一对の熱電薄膜12aと12bとで1つのゼーベック素子10を形成する。複数のゼーベック素子10は、電極24aと24bとの間に直列に接続されている。接続層14aは-Z方向において電気的な絶縁膜20を介し高温の基部22aに熱的に接続されている。接続層14bは+Z方向において電気的な絶縁膜20を介し低温の基部22bに熱的に接続されている。熱電薄膜12aおよび12bの間に電気的および熱的な絶縁層18が設けられている。

【0034】

基部22aおよび22bのX方向およびY方向の寸法をD、1個の熱電薄膜12aまたは12bを含む正方形26の1辺の長さをd、正方形26内の熱電薄膜12aまたは12bの1辺の寸法を素子寸法dとする。電極24aと24bとの間の電圧差のうちゼーベック素子10による起電力 V_s 、基部22aと22bの表面間の温度差を T 、熱電薄膜12aおよび12bの膜厚を t_e 、接続層14aおよび14bの膜厚を t_{cu} 、絶縁膜20の膜厚を t_{A1203} 、基部22aおよび22bの膜厚を t_{HS} とする。 20

【0035】

比較例1では、Z方向に熱伝導が生じる。このため、熱電薄膜12aおよび12bの膜厚 t_e が小さくなる(例えば100nm)と、熱抵抗が小さくなり、熱電薄膜12aおよび12bのZ方向の温度差 T_G (不図示)が小さくなる。このため、起電力が低下してしまう。十分な熱抵抗を得ようとすると、熱電薄膜12aおよび12bのX方向およびY方向の寸法を膜厚 t_e 程度とすることになり、加工プロセスが容易ではなく現実的でない。 30

【0036】

[比較例2]

比較例2は、インプレーン型のゼーベック素子を用いる例である。図3(a)および図3(b)は、比較例2に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。図3(a)では、熱電薄膜、接続層および基部を図示している。図3(b)は、図3(a)のA-A断面図である。熱電薄膜12aおよび12bの配列方向および延伸方向をそれぞれX方向およびY方向とし、各層の積層方法をZ方向としている。

【0037】

図3(a)および図3(b)に示すように、熱電変換装置112において、熱電薄膜12aおよび熱電薄膜12bはX方向に交互に配列されており、Y方向に延伸している。熱電薄膜12aおよび12bは例えばそれぞれn型およびp型である。隣接する熱電薄膜12aと12bとは、-Y方向および+Y方向においてそれぞれ接続層14aおよび14bに電気的および熱的に接続されている。40
 一对の熱電薄膜12aと12bとで1つのゼーベック素子10を形成する。複数のゼーベック素子10は、電極24aと24bとの間に直列に接続されている。接続層14aは-Y方向において高温の基部22aに熱的に接続されている。接続層14bは+Y方向において低温の基部22bに熱的に接続されている。熱電薄膜12aおよび12bの間に絶縁層18が設けられている。

【0038】

比較例2では、熱電薄膜12aおよび12bの熱伝導の生じるY方向の長さLを大きくできる。これにより、熱電薄膜12aおよび12bのY方向の温度差 T_G (不図示)を 50

大きくできる。しかしながら、長さ L が大きくなると熱電薄膜12aおよび12bの電気抵抗が大きくなる。これにより、起電力 V_s を大きくできても出力電力は大きくできない。

【0039】

以上のように、熱電薄膜12aおよび12bを用いた型の比較例1では、熱抵抗が小さくなりすぎ、インプレーン型の比較例2では、電気抵抗が大きくなりすぎる。このように、比較例1および2では、トレードオフ関係にある熱抵抗と電気抵抗とを最適化し高出力電力を実現するために適した構造とはなっていない。

【実施例1】

【0040】

図4(a)および図4(b)は、実施例1に係る熱電変換装置のそれぞれ平面図および断面図である。図4(a)では、熱電薄膜、接続層および電極を図示している。図4(b)は、図4(a)のA-A断面図である。熱電薄膜12aおよび12bの表面をXY平面とし、熱電薄膜12aおよび12bの配列方向(幅方向)および延伸方向(長さ方向)をそれぞれX方向およびY方向とし、各層の積層方法をZ方向としている。

【0041】

図4(a)および図4(b)に示すように、熱電変換装置100において、平面視において熱電薄膜12aおよび熱電薄膜12bは短冊状である。熱電薄膜12aおよび12bはX方向に交互に配列されており、Y方向に延伸している。熱電薄膜12aおよび12bは例えばそれぞれn型およびp型である。隣接する熱電薄膜12aと12bとは、X方向において交互に接続層14aおよび14bに電気的および熱的に接続されている。接続層14aおよび14bはY方向に延伸している。一对の熱電薄膜12aと12bとで1つのゼーベック素子10を形成する。複数のゼーベック素子10は、電極24aと24bとの間に直列に接続されている。接続層14aおよび14bはそれぞれ-Z方向および+Z方向において熱伝導層16aおよび16bと熱的に接続されている。熱伝導層16aおよび16bは電気的な絶縁膜20を介しそれぞれ高温の基部22aおよび低温の基部22bに熱的に接続されている。熱伝導層16aおよび16bの間に絶縁層18aおよび18bが設けられている。

【0042】

熱電変換装置100のX方向およびY方向の寸法をD、X方向の熱電薄膜12aおよび12bのピッチをd、1個の熱電薄膜12aまたは12bの寸法を素子寸法dとする。電極24aと24bとの間の電圧差のうちゼーベック素子10による起電力 V_s 、基部22aと22bの表面間の温度差をTとする。熱電薄膜12aおよび12b並びに接続層14aおよび14bの膜厚を t_0 、熱伝導層16aおよび16bの膜厚を t_{cu} 、絶縁膜20の膜厚を $t_{Al_2O_3}$ 、基部22aおよび22bの膜厚を t_{HS} とする。

【0043】

このような構造では、熱電薄膜12aおよび12bの熱流および電流の方向はX方向となる。比較例1では、熱電薄膜12aおよび12bの膜厚 t_0 が小さくなると、熱抵抗が小さくなったが、実施例1では、膜厚 t_0 が小さくなると熱抵抗は大きくなる。比較例2では、熱電薄膜12aおよび12bのY方向の長さLが大きくなると電気抵抗が大きくなったが、実施例1では、長さLが大きくなると電気抵抗は小さくなる。このように、長さLを膜厚 t_0 に比べ十分大きくすることにより、熱抵抗が小さすぎず、かつ電気抵抗が大きすぎることなく、X方向の素子寸法d(または)を用いトレードオフ関係にある熱抵抗と電気抵抗との最適化を行い所望の出力電力を得ることができる。

【0044】

使用温度が室温近傍または数100程度までの応用では、熱電薄膜12aおよび12bに用いる熱電材料として、ビスマステルル系合金、フルホイスラー系合金またはハーフホイスラー系合金とすることができる。ビスマステルル系合金は、n型として例えば $Bi_{2-x}Te_{3-x}S_{x-x}$ 、およびp型として例えば $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-x}$ である。フルホイスラー系合金は、n型として例えば $Fe_2VAl_{1-x}Ge_x$ 、 $Fe_2VAl_{1-x}Si$

10

20

30

40

50

xまたは $Fe_2V_1-xTa_xAl_{1-x}$ 、およびp型として例えば $Fe_2V_{1-x}W_xAl$ 、 $Fe_2V_{1-x}Ti_xAl$ または $Fe_2V_{1-x}Ti_xGa$ 、その他例えば Fe_2NbGa 、 Fe_2HfSi 、 Fe_2TaIn 、 Fe_2TiSn または Fe_2ZrGe を母体とした材料である。ハーフホイスラー系合金は、n型として例えば $TiPtSn$ 、 $(Hf_{1-x}Zr_x)NiSn$ または $NbCoSn$ 、およびp型として例えば $TiCoSn_xSb_{1-x}$ 、 $Zr(Ni_{1-x}Co_x)Sn$ 、 $Zr(Ni_{1-x}In_x)Sn$ 、 $HfPtSn$ である。n型熱電材料とp型熱電材料とを同系の材料とすることで、熱電薄膜12aおよび12bの作製が容易となる。また、使用する温度領域が室温より十分に高い場合には、熱電薄膜12aおよび12bに用いる熱電材料として、SiまたはSiGe合金を用いることもできる。

【0045】

接続層14aおよび14bとしては電気伝導率および熱伝導率が大きな材料が好ましく、例えばCu、Al、AuまたはAg等の金属層を用いることができる。接続層14aと14bとは異なる材料でもよい。

【0046】

熱伝導層16aおよび16bとしては、熱伝導率が大きな材料が好ましく、例えばCu、Al、AuまたはAg等の金属層を用いることができる。熱伝導層16aおよび16bは、熱伝導率が大きければ絶縁体層でもよい。熱伝導層16aと16bとは異なる材料でもよい。接続層14aおよび14bと熱伝導層16aおよび16bとは異なる材料でもよい。

【0047】

絶縁層18aおよび18b(絶縁体)としては、絶縁性が高く熱伝導率が熱伝導層16aおよび16bに比べ十分小さな材料が好ましい。絶縁層18aおよび18bとして、例えば酸化シリコン等の無機絶縁体もしくはこれをポーラス化した材料、アルキル基含有シリカもしくは同様の酸化物および絶縁体、樹脂(例えばアクリル樹脂、エポキシ樹脂、塩化ビニル樹脂、シリコーン樹脂、フッ素樹脂、フェノール樹脂、ペークライト樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリカーボネイト樹脂、ポリスチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂)もしくはゴム(天然ゴム、エチレンプロピレンゴム、クロロプレンゴム、シリコンゴム、ブチルゴムもしくはポリウレタンゴム)等の絶縁体、窒素もしくは空気等の絶縁性ガス、または真空等を用いることができる。絶縁層18aおよび18bは、CVD(Chemical Vapor Deposition)法、スパッタ法またはスピコート法を用い形成できる。

【0048】

絶縁膜20としては、絶縁性が高く熱伝導率が大きい材料が好ましく、例えば酸化アルミニウム等の無機絶縁体を用いることができる。絶縁膜20は、設けなくてもよいが、熱伝導層16aおよび16bと基部22aおよび22bが導電体の場合には絶縁のため設けることが好ましい。

【0049】

基部22aおよび22bとしては、熱伝導率が大きい材料が好ましく、例えばCu、Al、AuもしくはAg等の金属、Siもしくはアルミナなどのセラミックス等を用いることができる。絶縁膜20は基部22aおよび22bにスパッタまたはCVD法を用い形成してもよい。基部22aおよび22bが電気的な絶縁体の場合、絶縁膜20は用いなくてもよい。基部22aおよび22bの少なくとも一方は、スパッタ法またはCVD法を用い形成できる。これにより、基部22aおよび22bを薄膜化できる。基部22aおよび22bの少なくとも一方は、メッキ法で形成できる。これにより、基部22aおよび22bをある程度厚い膜にすることができる。基部22aおよび22bの少なくとも一方を酸化膜またはセラミックスとする場合、スピコート等による塗布膜を用いることができる。基部22aおよび22bとして、熱交換特性および放熱特性の高い構造(例えばフィン構造またはヒートシンク構造)および材料(例えば放熱シート、揮発性材料を含んだ放熱材料または吸熱材料、または表面をアルマイト加工したAlなど)を用いることができる。

【0050】

10

20

30

40

50

比較例 1 および実施例 1 について、トレードオフ関係にある熱抵抗と電気抵抗とを最適化するシミュレーションを行った。基部 2 2 a および 2 2 b の面積に対する熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b が占める割合を示すトレードオフパラメータ α を用いた。シミュレーションは、各材料の熱伝導率、電気伝導率およびゼーベック係数を用い集中定数回路を仮定して行った。シミュレーションでは、基部 2 2 a および 2 2 b の寸法 $D \times D$ 、基部 2 2 a と 2 2 b との間の温度差 T 、ゼーベック素子による起電力 V_s 、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の膜厚 t_0 およびトレードオフパラメータ α を設定し、その他の寸法を算出した。

【 0 0 5 1 】

以下にシミュレーション条件を示す。

熱電薄膜 1 2 a : n 型 $Fe_2VAl_{1-x}Ta_x$

熱電薄膜 1 2 b : p 型 $Fe_2V_{1-x}Ti_xGa$

無次元性能指数 : 0 . 0 9

接続層 1 4 a、1 4 b : Cu

熱伝導層 1 6 a、1 6 b : Cu

絶縁層 1 8 : SiO_2

絶縁膜 2 0 : Al_2O_3 、膜厚 $t_{Al_2O_3}$: 1 0 0 nm

基部 2 2 a、2 2 b : Cu、膜厚 t_{HS} : 1 mm

$D \times D$: 1 0 mm \times 1 0 mm

T : 1 K

【 0 0 5 2 】

[比較例 1 のシミュレーション]

$t_0 = 1 0 0$ nm、 $V_s = 1$ V としてシミュレーションを行った。図 5 (a) から図 5 (c) は、比較例 1 における α に対するそれぞれ素子対数 m_0 、素子寸法 d および出力電力 P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。ゼーベック素子の素子対数 m_0 は、熱電薄膜 1 2 a と 1 2 b の一対の数である。素子寸法 d は、各熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の X 方向の幅である。出力電力 P_{OUT} は、負荷抵抗を調整して得られる熱電変換装置の最大の熱電変換装置の出力電力である。ここでのシミュレーションでは、温度差 T が必ず 1 K つくものとして最適化したものである。実際の設計の際は、投入される熱量を考慮して最適化を行うこととなる。

【 0 0 5 3 】

図 5 (a) に示すように、 α が大きくなると素子対数 m_0 が増加する。これは、トレードオフパラメータ α が大きくなると、基部 2 2 a と 2 2 b 間の熱抵抗が小さくなる。このため、1 つのゼーベック素子 1 0 当たりの起電力が小さくなり、起電力 V_s を確保するためゼーベック素子 1 0 の直列接続数が増加するためである。

【 0 0 5 4 】

図 5 (b) に示すように、 α が大きくなると d が大きくなる。 α^2 は $D \times D$ 内に占める熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の面積比である。 d は d に対する熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の寸法比である。

【 0 0 5 5 】

図 5 (c) に示すように、出力電力 P_{OUT} は、 α が約 0 . 1 2 のときに約 1 1 μ W でありピークとなる。図 5 (a) および図 5 (b) から出力電力 P_{OUT} がピークとなる素子対数 m_0 および素子寸法 d が求まる。

【 0 0 5 6 】

次に、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の膜厚 t_0 を 1 0 nm から 1 0 0 0 0 nm に変化させ、出力電力 P_{OUT} が最大となる素子対数 m_0 および素子寸法 d を算出した。 $T = 1$ K として、起電力 V_s が 1 V のときと 1 0 0 mV のときについてシミュレーションした。

【 0 0 5 7 】

図 6 (a) および図 6 (b) は、比較例 1 における t_0 に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 - \alpha) d$ および t_{Cu} のシミュレーション結果を示す図である。図 6 (a) および図

10

20

30

40

50

6 (b) は、それぞれ $V_s = 1 \text{ V}$ および $V_s = 100 \text{ mV}$ である。 P_{OUT} は出力電力の最大値を示す。なお、図 6 (a) および図 6 (b) では、出力電力を P_{out} と示している。以下の図も同様である。

【 0 0 5 8 】

図 6 (a) および図 6 (b) に示すように、膜厚 t_0 が薄くなると出力電力 P_{OUT} が小さくなる。通常のドライエッチング法等の微細加工技術およびスパッタ法または CVD 法等の薄膜形成技術が適用できる膜厚は、 1000 nm 程度以下であり、好ましくは 100 nm 程度である。この範囲では出力電力 P_{OUT} は非常に小さくなってしまふ。

【 0 0 5 9 】

図 7 は、比較例 1 における V_s に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -) d$ および t_{c_u} のシミュレーション結果を示す図である。膜厚 t_0 を 100 nm としている。図 7 に示すように、 V_s が小さくなると P_{OUT} は小さくなってしまふ。

10

【 0 0 6 0 】

[実施例 1 のシミュレーション]

$t_0 = 100 \text{ nm}$ 、 $V_s = 100 \text{ mV}$ としてシミュレーションを行った。シミュレーション条件は比較例 1 と同じである。熱伝導層 16 a および 16 b の X 方向の幅は接続層 14 a および 14 b の X 方向の幅と同じとした。図 8 (a) から図 8 (c) は、実施例 1 における t_0 に対するそれぞれ m_0 、 d および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。図 8 (a) および図 8 (b) に示すように、 $t_0 < 0.5$ では、解がない。 $0.5 < t_0 < 1$ では 2 つの解が得られる。ゼーベック素子 1 個当たりの起電力が大きく素子数が小さい解 (実線) と、ゼーベック素子 1 個当たりの起電力が小さく素子数が大きい解 (点線) である。図 8 (c) に示すように、出力電力 P_{OUT} は 2 つの解とも同じであり、 $t_0 = 0.5$ において最大となる。素子の作製の容易性の観点で、素子数が小さい解 (実線) を採用した。

20

【 0 0 6 1 】

次に、起電力 V_s が 100 mV のとき、熱電薄膜 12 a および 12 b の膜厚 t_0 を 10 nm から 200 nm に変化させ、出力電力 P_{OUT} が最大となる素子対数 m_0 および素子寸法 d および $(1 -) d$ を算出した。

【 0 0 6 2 】

図 9 は、実施例 1 における t_0 に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -) d$ および t_{c_u} のシミュレーション結果を示す図である。図 9 に示すように、膜厚 t_0 が 200 nm 以下でも出力電力 P_{OUT} は $250 \mu\text{W}$ 以上である。 P_{OUT} は膜厚 t_0 にほとんど依存しない。微細加工技術および薄膜形成技術に適した $t_0 = 100 \text{ nm}$ 程度で P_{OUT} として $250 \mu\text{W}$ を実現できる。

30

【 0 0 6 3 】

図 10 は、実施例 1 における V_s に対する P_{OUT} 、 m_0 、 d 、 $(1 -) d$ および t_{c_u} のシミュレーション結果を示す図である。膜厚 t_0 を 100 nm としている。図 10 に示すように、 V_s が小さくても P_{OUT} は大きい。 V_s を 100 mV 以下としても P_{OUT} として $250 \mu\text{W}$ を実現できる。

【 0 0 6 4 】

熱電薄膜 12 a および 12 b に用いる熱電材料をよりゼーベック係数の大きな BiTe 系材料を用いる。また、絶縁層 18 a および 18 b を樹脂等の SiO_2 より熱伝導率の小さな材料を用いる。さらに、基部 22 a および 22 b を薄膜化することで、出力電力 P_{OUT} をより向上できる。

40

【 0 0 6 5 】

実施例 1 によれば、熱電薄膜 12 a (第 1 熱電薄膜) および熱電薄膜 12 b (第 2 熱電薄膜) は X 方向 (熱電薄膜 12 a および 12 b の表面に平行な第 1 方向) に交互に設けられている。熱電薄膜 12 a および 12 b は互いに反対の導電型を有する。接続層 14 a (第 1 接続層) および 14 b (第 2 接続層) は、熱電薄膜 12 a と 12 b との間において熱電薄膜 12 a および 12 b と電気的および熱的に接続され、 X 方向に交互に設けられてい

50

る。熱伝導層 16 a および 16 b は、接続層 14 a および 14 b にそれぞれ熱的に接続し Z 方向 (XY 平面に交差する第 2 方向) に延伸する。これにより、熱電材料の薄膜を用いても、出力電力 P_{OUT} を大きくできる。

【0066】

また、熱伝導層 16 a および 16 b は、熱電薄膜 12 a および 12 b の表面に対し互いに反対側に設けられている。すなわち、熱伝導層 16 a は、接続層 14 a に熱的に接続し - Z 方向 (XY 平面に交差する第 2 方向) に延伸する。熱伝導層 16 b は、接続層 14 b に熱的に接続し + Z 方向 (第 2 方向に反対の方向) に延伸する。これにより、熱電薄膜 12 a および 12 b の X 方向の温度差が発生し、発電することができる。例えば基部 22 a および 22 b を楕形とすることで、熱伝導層 16 a および 16 b は、熱電薄膜 12 a および 12 b の表面に対し同じ側に設けられていてもよい。

10

【0067】

熱電薄膜 12 a および 12 b の膜厚 t_0 は、 $10 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $5 \mu\text{m}$ 以下がより好ましい。形状および寸法の自由度を高めることができる半導体集積回路の作製技術を用いて成膜できる熱電薄膜 12 a および 12 b の膜厚 t_0 は $1 \mu\text{m}$ 以下である。膜厚 t_0 は $1 \mu\text{m}$ 以下でも、実施例 1 では比較例 1 と比べ出力電力 P_{OUT} を大きくできる。実施例 1 および比較例 1 のシミュレーション結果では、膜厚 t_0 は、 500nm 以下が好ましく 200nm 以下がより好ましい。

【0068】

絶縁層 18 a および 18 b (絶縁体) は、熱伝導層 16 a および 16 b が貫通し熱伝導層 16 a および 16 b より熱伝導率が小さい。熱伝導層 16 a および 16 b が + Z 側および - Z 側に設けられている場合、絶縁層 18 a (第 1 絶縁体) および 18 b (第 2 絶縁体) は、熱電薄膜 12 a および 12 b の - Z 方向側および + Z 方向側にそれぞれ熱伝導層 16 a および 16 b が貫通し熱伝導層 16 a および 16 b より熱伝導率が小さい。このように、絶縁層 18 a および 18 b を用いることにより、基部 22 a と 22 b 間の熱伝導層 16 a および 16 b 以外の部分の熱抵抗を大きくできる。

20

【0069】

熱電薄膜 12 a および 12 b は、Y 方向 (表面に平行な方向であって第 1 方向に交差する第 3 方向) に延伸する。これにより、熱電薄膜 12 a および 12 b の X 方向の電気抵抗を小さくできる。熱電薄膜 12 a および 12 b の Y 方向の長さは、膜厚 t_0 の 10 倍以上が好ましく、100 倍以上がより好ましく、1000 倍以上はさらに好ましい。

30

【0070】

熱電薄膜 12 a および 12 b の d (X 方向の幅) は、熱電薄膜 12 a および 12 b の膜厚 t_0 より大きい。これにより、熱電薄膜 12 a および 12 b の X 方向の熱抵抗を大きくできる。素子寸法 d は膜厚 t_0 の 2 倍以上が好ましく、10 倍以上がより好ましい。

【0071】

[実施例 1 の変形例 1]

図 11 (a) および図 11 (b) は、実施例 1 の変形例 1 に係る熱電変換装置の断面図である。図 11 (a) に示すように、熱伝導層 16 a および 16 b の X 方向の幅は、接続層 14 a および 14 b の X 方向の幅より大きくてもよい。図 11 (b) に示すように、熱伝導層 16 a および 16 b の X 方向の幅は接続層 14 a および 14 b より小さくてもよい。その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。

40

【0072】

[実施例 1 の変形例 2]

図 12 は、実施例 1 の変形例 2 に係る熱電変換装置の平面図である。図 12 に示すように、Y 方向に複数のモジュール 30 が設けられている。各モジュール 30 は、電極 24 a と 24 b との間に X 方向に配列したゼーベック素子 10 を備えている。各モジュール 30 間は絶縁層 18 により電気的および熱的に分離されている。用途に応じ、各モジュール 30 を直列に接続、並列に接続、または直列と並列を組み合わせることで電気接続できる。モジュール 30 間を接続する配線を基板上に集積化することで、配線の内部抵抗を低減できる。

50

その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

[実施例 1 の変形例 3]

図 1 3 (a) および図 1 3 (b) は、実施例 1 の変形例 3 に係る熱電変換装置の断面図および平面図である。図 1 3 (a) に示すように、基部 2 2 a および絶縁層 1 8 a に溝 2 8 a が形成され、基部 2 2 b および絶縁層 1 8 b に溝 2 8 b が形成されている。絶縁層 1 8 a および 1 8 b は固体である。溝 2 8 a および 2 8 b 内は空気等の気体または真空であり絶縁層 1 8 a および 1 8 b より熱伝導率が高い。このため、基部 2 2 a と 2 2 b 間の温度差が同じでも熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の温度差を大きくできる。図 1 3 (b) に示すように、基部 2 2 b に複数の溝 2 8 b が設けられている。基部 2 2 a にも同様に複数の溝 2 8 a が設けられている。溝 2 8 b は X 方向および Y 方向に配列されている。溝 2 8 b を短く分断することで、熱電変換装置の強度を高くできる。溝 2 8 b は Y 方向に延伸するように設けられていてもよい。その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。

10

【 0 0 7 4 】

実施例 1 の変形例 3 によれば、基部 2 2 a および絶縁層 1 8 a は、熱伝導層 1 6 a の間において溝 2 8 a (第 1 溝) を有している。基部 2 2 b および絶縁層 1 8 b は、熱伝導層 1 6 a の間において溝 2 8 b (第 2 溝) を有する。これにより、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b 間の温度差を大きくできる。なお、絶縁層 1 8 a および 1 8 b が全て除去されて溝 2 8 a および 2 8 b を形成してもよい。

20

【 0 0 7 5 】

[実施例 1 の変形例 4]

図 1 4 (a) は、実施例 1 の変形例 4 に係る熱電変換装置の断面図である。図 1 4 (a) に示すように、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の Z 方向の位置は同じでない。その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の製造方法によっては、熱電薄膜 1 2 a と 1 2 b とは同一の X Y 平面上に位置していなくてもよい。

【 0 0 7 6 】

図 1 4 (b) は、実施例 1 の変形例 4 の別の例である。図 1 4 (b) に示すように、接続層 1 4 a および 1 4 b は、+ Z 方向において熱電薄膜 1 2 a と接触し、- Z 方向において熱電薄膜 1 2 b と接触してもよい。熱伝導層 1 6 a は、熱電薄膜 1 2 b を介し接続層 1 4 a および 1 4 b と熱的に接続し、熱伝導層 1 6 b は、熱電薄膜 1 2 a を介し接続層 1 4 a および 1 4 b と熱的に接続してもよい。熱伝導層 1 6 a および 1 6 b の X 方向の幅は、接続層 1 4 a および 1 4 b の X 方向の幅より大きくてもよい。熱伝導層 1 6 a および 1 6 b の X 方向の幅は接続層 1 4 a および 1 4 b より小さくてもよい。図 1 4 (b) では熱電薄膜 1 2 b、接続層 1 4 a および 1 4 b、並びに熱電薄膜 1 2 a が Z 方向に積層させるため、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b と接続層 1 4 a および 1 4 b との接触が容易となる。

30

【 0 0 7 7 】

[実施例 1 の変形例 5]

図 1 4 (c) は、実施例 1 の変形例 5 に係る熱電変換装置の断面図である。図 1 4 (c) に示すように、基部 2 2 a と 2 2 b との間に、層 4 8 が絶縁膜 2 0 を介し複数積層されている。各層 4 8 は、実施例 1 の変形例 4 の熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b、接続層 1 4 a および 1 4 b、熱伝導層 1 6 a および 1 6 b、並びに絶縁層 1 8 a および 1 8 b を含む。絶縁膜 2 0 は、電気的な絶縁体でありかつ熱伝導率が高い。その他の構成は、実施例 1 と同じであり説明を省略する。

40

【 0 0 7 8 】

実施例 1 の変形例 5 によれば、複数の層 4 8 のうち隣接する層の一方に含まれる熱伝導層 1 6 a と、隣接する層 4 8 の他方に含まれる熱伝導層 1 6 b と、は電気的な絶縁膜 2 0 を介し熱的に接続されている。このように、熱電材料を薄膜とすることで、複数の層 4 8 が基部 2 2 a と 2 2 b との間に熱的に直列に接続することができる。これにより、効率的に熱を電力に変換することができる。実施例 1 およびその変形例 1 から 3 のゼーベック素子を実施例 1 の変形例 5 のように積層してもよい。

50

【 0 0 7 9 】

実施例 1 およびその変形例に係る熱電変換装置は、ウェアラブルデバイス、マイクロコントローラまたはセンサの電源として用いることができる。例えば、熱電変換装置を身体に装着する。これにより、熱電変換装置は、身体からの放熱を用い発電し、発電した電力をウェアラブルデバイスまたはセンサに供給することができる。また、熱電変換装置を、車のエンジンからの排熱（排気ガスによる熱）などによる発電に用いることができる。

【 0 0 8 0 】

[実施例 1 の変形例 6]

実施例 1 の変形例 6 は、実施例 1 およびその変形例に係る熱電変換装置をペルチェ素子として用いる例である。図 1 5 (a) および図 1 5 (b) は、実施例 1 の変形例 6 に係る熱電変換装置を用いた電子装置の断面図である。図 1 5 (a) に示すように、プリント基板等の基板 5 8 上に集積回路素子 5 2 が搭載されている。集積回路素子 5 2 は、例えばマイクロプロセッサまたは S o C (System on a Chip) である。集積回路素子 5 2 上に熱伝導部材 5 6、熱電変換装置 5 1、熱伝導部材 5 6 および放熱部材 5 4 が設けられている。熱電変換装置 5 1 は、実施例 1 およびその変形例に係る熱電変換装置をペルチェ素子として用いている。熱伝導部材 5 6 は例えば銅またはインジウム等のように熱コンタクトをとる金属層である。放熱部材 5 4 は例えば放熱フィンである。熱伝導部材 5 6 および放熱部材 5 4 には、実施例 2 において例示する材料を用いてもよい。図 1 5 (b) に示すように、集積回路素子 5 2 上に熱電変換装置 5 1 を直接搭載してもよい。

【 0 0 8 1 】

実施例 1 の変形例 6 のように、ペルチェ素子である熱電変換装置 5 1 に電力を加えることで、集積回路素子 5 2 を冷却することができる。図 1 5 (a) のように、熱電変換装置 5 1 を集積回路素子 5 2 と放熱部材 5 4 との間に熱伝導部材 5 6 を介し実装してもよい。図 1 5 (b) のように、半導体プロセスを用い熱電変換装置 5 1 を集積回路素子 5 2 上に直接集積化してもよい。この場合は、集積回路素子 5 2 上の熱の上昇が特に高くなる箇所の直上に熱電変換装置 5 1 を集積化することも可能である。これらによって、集積回路素子 5 2 を強制的に冷却することで、集積回路素子 5 2 における放熱の問題を解決することができる。

【 実施例 2 】

【 0 0 8 2 】

実施例 2 は、熱電変換装置を有する電子装置の例である。図 1 6 は、実施例 2 に係る電子装置の断面図である。図 1 6 に示すように、電子装置 1 0 5 において、発電装置 5 0 は、集積回路素子 5 2 と放熱部材 5 4 との間に設けられている。集積回路素子 5 2 は、基板 5 8 上に搭載されている。発電装置 5 0 と集積回路素子 5 2 とは熱伝導部材 5 6 を介し熱的に接続されている。

【 0 0 8 3 】

発電装置 5 0 は、例えば比較例 1、比較例 2、実施例 1 およびその変形例に係る熱電変換装置を含む。熱電変換装置のうち接続層 1 4 a および 1 4 b の一方は、基部 2 2 a および 2 2 b の一方を介し熱伝導部材 5 6 に熱的に接続されている。接続層 1 4 a および 1 4 b の他方は、基部 2 2 a および 2 2 b の他方を介し放熱部材 5 4 に熱的に接続されている。

【 0 0 8 4 】

集積回路素子 5 2 は、例えば S o C (System on a Chip) 等の集積回路が形成されたチップまたは集積回路チップが実装されたパッケージである。集積回路素子 5 2 は、マイクロプロセッサ等でもよい。基板 5 8 は、例えばプリント基板である。熱伝導部材 5 6 は、熱伝導率が大きい材料が好ましく、例えば C u、A l、A u もしくは A g 等の金属、セラミックスまたは高熱伝導性シリコン樹脂等を用いることができる。熱伝導部材 5 6 を設けず、熱電変換装置の基部 2 2 a および 2 2 b を直接集積回路素子 5 2 に接触させてもよい。放熱部材 5 4 は、例えば電子装置の筐体、アルマイト加工などを施した放熱板、放熱フィンまたは放熱ファンである。発電装置 5 0 は、型の熱電変換装置およびその他の熱

電変換装置でもよい。

【0085】

実施例2によれば、集積回路素子52が動作すると、集積回路素子52において熱が発生する。発生した熱は、熱伝導部材56、発電装置50を介し放熱部材54に伝導し、放熱部材54により放熱される。発電装置50は、比較例1、2、実施例1およびその変形例のように、接続層14aと14bとの間に設けられた熱電薄膜（熱電材料）12aと12bとが、接続層14aと14bとを介して交互に直列に接続された熱電変換装置を含む。接続層14aと14bの一方が集積回路素子52に熱的に接続し、接続層14aと14bの他方が放熱部材54に接続されている。

【0086】

これにより、集積回路素子52と放熱部材54との温度差を用い発電することができる。発電装置50として、実施例1およびその変形例を用いることにより、発電装置50の出力電力を大きくできる。

【0087】

[実施例2の変形例1]

図17は、実施例2の変形例1に係る電子装置のブロック図である。図17に示すように、電子装置106は、実施例2に係る電子装置105に加え制御回路60および蓄電装置62を備えている。蓄電装置62は、例えば2次電池である。制御回路60には、外部電力70が供給される。制御回路60は電力71を集積回路素子52に供給する。制御回路60は、集積回路素子52の電源電圧に対応し集積回路素子52に複数の電圧の電力71を供給してもよい。

【0088】

集積回路素子52において発生した熱80は、発電装置50に伝導または伝達する。発電装置50において一部の熱は電力72に変換される。残りの熱81は放熱部材54に伝導または伝達する。放熱部材54より熱82は放出される。

【0089】

発電装置50において発電された電力72は制御回路60に出力される。制御回路60は、発電装置50が発電した電力72を蓄電装置62または集積回路素子52に供給する。蓄電装置62は、制御回路60から供給された電力73を蓄電する。また、蓄電装置62は電力74を制御回路60に供給する。制御回路60は、蓄電装置62から供給された電力74を集積回路素子52に電力71として供給する。

【0090】

制御回路60は、例えば充電モードと動作アシストモードを選択する。充電モードでは、制御回路60は、発電装置50が発電した電力72を主に蓄電装置62の充電に用いる。集積回路素子52に供給する電力71は主に外部電力70を用いる。充電モードでは、蓄電装置62の電力消費速度を緩和できる。または、外部電源のみで蓄電装置62を充電する場合に比べ、蓄電装置62の充電時間を早くできる。

【0091】

動作アシストモードでは、制御回路60は、外部電力70に加え発電装置50が発電した電力72および/または蓄電装置62が放電した電力74を集積回路素子52に供給する。動作アシストモードでは、充電モードなど動作アシストモードを使用しない場合に比べ、集積回路素子52の動作速度が同じであれば、外部電力70の消費を抑制できる（すなわち低消費電力となる）。外部電力70が同じであれば、集積回路素子52をより高速動作させる（すなわち、熱電発電による電圧ブーストする）ことができる。また、熱電変換装置から回収したエネルギーで、集積回路がスリープ状態となったときの、集積回路内のメモリのデータ保持を行うこともできる。このデータ保持には、動作アシストモードやバッテリーからのエネルギーも活用することができる。

【0092】

実施例2の変形例1によれば、蓄電装置62は、発電装置50が発電した電力を蓄え、蓄えた電力を集積回路素子52に供給する。これにより、低消費電力および/または高速

10

20

30

40

50

動作が可能となる。

【 0 0 9 3 】

[実施例 2 の変形例 2]

図 1 8 は、実施例 2 の変形例 2 に係る電力システムのブロック図である。図 1 8 に示すように、電力システム 1 0 8 は、電子装置 1 0 5 に加え制御回路 6 0 および電力回収装置 6 4 を備えている。制御回路 6 0 は、外部電力 7 0 を集積回路素子 5 2 に供給する。電力回収装置 6 4 は、複数の電子装置 1 0 5 における発電装置 5 0 が発電した電力 7 2 を回収する。電力回収装置 6 4 は、回収した電力 7 2 を集積した電力 7 5 を外部に供給する。

【 0 0 9 4 】

データセンタ等では、膨大なマイクロプロセッサ等の集積回路素子 5 2 が動作している。このため、膨大な電力を消費している。そこで、集積回路素子 5 2 において発生した熱の一部を発電装置 5 0 において電力 7 2 に変換する。電力 7 2 を回収し、再利用する。再利用する電力 7 5 は、例えばデータセンタ等の空調または照明等の電力に使用する。回収される電力 7 2 が集積回路素子 5 2 の消費電力の 1 0 % 程度であっても、空調または照明等の電力として十分使用することができる。

【 0 0 9 5 】

[恒温動物モデルを用いたシミュレーション]

上記比較例 1 および実施例 1 のシミュレーションは、熱電変換装置に加わる温度差 T が一定としている。このモデルは熱電発電モジュール単体の評価方法の 1 つである。しかし、熱電変換装置をウェアラブルデバイスの電源として用いる場合、熱電変換装置は人体の体温と大気との温度との温度差を用いて発電することになる。このような場合、上記シミュレーションは適正でない。そこで、人体の皮膚温度に恒温動物モデルを用い、実施例 1 における熱電変換装置のシミュレーションを行った。

【 0 0 9 6 】

図 1 9 (a) および図 1 9 (b) は、シミュレーションモデルを示す図である。図 1 9 (a) および図 1 9 (b) はそれぞれ定熱流モデルおよび定温度差モデルを示している。定熱流は等価な電気回路で表現すれば定電流源モデルに相当し、定温度差は等価な電気回路で表現すれば定電圧源モデルに相当する。熱電変換装置の性能評価には一般に定電流源モデルが用いられる。

【 0 0 9 7 】

図 1 9 (a) に示すように、熱抵抗 k_M および k_{air} が直列に接続されている。 k_M および k_{air} はそれぞれ熱電変換装置の熱抵抗および熱電変換装置と大気との間の熱抵抗に相当する。熱抵抗 k_M および k_{air} に直列に定電流源 6 6 (すなわち定熱流源) が設けられている。定電流源モデルでは定電流源 6 6 が熱抵抗 k_M の一端にパワー Q を投入し k_M および k_{air} を流れる熱流を一定とする。パワー Q は人体の皮膚から熱電変換装置に投入されるパワーに相当する。しかし、定電流源モデルでは、熱抵抗 k_M の大きさによって皮膚表面の温度が変化する。これは恒温動物である人体を表現できていない。このため、例えば熱抵抗 k_M が大きい場合、熱流を一定にするため大きなパワー Q を投入することになる。しかし人体から投入されるパワーには限りがあり、ウェアラブルデバイス用の電源のシミュレーションモデルとして定電流源モデルは適切でない。

【 0 0 9 8 】

図 1 9 (b) に示すように、熱抵抗 k_M および k_{air} に直列に定電圧源 6 8 (すなわち定温度差源) が設けられている。定電圧源モデルでは、人体が恒温動物であることを考慮し、外気と皮膚表面との間の温度差を一定に保つことで、人体の皮膚の表面の温度を一定とする。すなわち、定電圧源 6 8 は熱抵抗 k_M および k_{air} に加わる温度差 T_s を一定とする。熱電変換装置の両側に加わる温度差 T は、熱抵抗 k_M および k_{air} に依存して変化するが、皮膚表面の温度は一定に保てる。

【 0 0 9 9 】

実施例 1 の構造は図 4 (a) および図 4 (b) とし、比較例 1 の構造は図 2 (a) および図 2 (b) とした。

以下にシミュレーション条件を示す。

大気の熱抵抗 k_{air} : 212.5 K/W

熱電薄膜 12 a および 12 b

ゼーベック係数 $S = S_p - S_n$: 434 $\mu\text{V}/\text{K}$

熱伝導率 $\kappa = (\kappa_p + \kappa_n) / 2$: 1.43 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

電気抵抗率 $\rho = (\rho_p + \rho_n) / 2$: 8.11 μm

接続層 14 a および 14 b : Cu

膜厚 t_{cu} : 10 μm (実施例 1)、10 μm (比較例 1)

熱伝導率 κ_{cu} : 386 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

電気抵抗率 ρ_{cu} : 1.69×10^{-8} m

絶縁層 18 : 真空

$D \times D$: 10 mm \times 10 mm

T_s : 10 K

S_n および S_p はそれぞれ n 型および p 型の熱電薄膜 12 a および 12 b のゼーベック係数、 κ_n および κ_p はそれぞれ n 型および p 型の熱電薄膜 12 a および 12 b の熱伝導率、並びに ρ_n および ρ_p はそれぞれ n 型および p 型の熱電薄膜 12 a および 12 b の電気抵抗率である。D はモジュールの一辺の長さである。

【0100】

以上のように、恒温動物モデルでは、皮膚の表面温度と外気温との温度差 T_s を 10 K と一定とした。これは、例えば体温が 35 °C であり気温が 25 °C の場合に相当する。熱電変換装置の基部からの対流および輻射による放熱の熱抵抗 k_{air} を温度に依存せず 212.5 K/W と一定とした。

【0101】

[実施例 1 のシミュレーション]

実施例 1 について恒温動物モデルを用いシミュレーションを行った。 T_s を一定としたシミュレーションと同様に、出力電力 P_{OUT} が最大となるトレードオフパラメータ d および出力電力 P_{OUT} が最大となる素子対数 m_0 で最適化した。

【0102】

図 20 (a) および図 20 (b) は、実施例 1 におけるそれぞれ d および m_0 に対する $(1 - \beta)d$ 、 T_c 、 T_h 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。 T_c は熱電薄膜 12 a および 12 b の各々の両端間の温度差である。その他のパラメータは T_s を一定としたシミュレーションと同じである。

【0103】

図 20 (a) は、 $m_0 = 100$ ペア、 $t_0 = 100$ nm において P_{OUT} を最適化するときの図である。図 20 (a) に示すように、 d が変化すると P_{OUT} が変化する。 P_{OUT} が最大となる d が最適化された d_{opt} である。 P_{OUT} が d に対しピークを持たない場合、 $d_{opt} = 1 \mu\text{m}$ かつ $(1 - \beta)d_{opt} = 1 \mu\text{m}$ の範囲内で P_{OUT} が最大となる d を最適化された d_{opt} とした。

【0104】

図 20 (b) は、 $t_0 = 100$ nm において m_0 を最適化するときの図である。 m_0 毎に図 20 (a) の方法で d を最適化している。図 20 (b) に示すように、 m_0 が変化すると P_{OUT} が変化する。図に示すように、 P_{OUT} と V_s のピークをとる m_0 は異なるため、例えば、 $V_s = 100$ mV の範囲でかつ P_{OUT} が最大となる m_0 を最適化された m_0 とすることができる。

【0105】

図 21 は、実施例 1 における t_0 に対する d 、 $(1 - \beta)d$ 、 T_c 、 T_h 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。 t_0 毎に図 20 (b) の方法で m_0 を最適化している。図 21 に示すように、膜厚 t_0 が 300 nm 以下において P_{OUT} は 100 μW 以上である。

【0106】

10

20

30

40

50

[比較例 1 のシミュレーション]

比較例 1 の型について恒温動物モデルを用い実施例 1 と同様にシミュレーションを行った。図 2 2 は、比較例 1 における t_0 に対する d 、 $(1 -) d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{out} のシミュレーション結果を示す図である。ここでは、 d および $(1 -) d$ の最小値を $1 \mu m$ に制限してある。図 2 2 に示すように、膜厚 t_0 が小さくなると P_{out} が小さくなる。膜厚 t_0 が $1000 nm$ 以下となると P_{out} が $100 \mu W$ 以下となる。

【 0 1 0 7 】

以上のように、恒温動物モデルを用いたシミュレーションを用いても、 T を一定としたシミュレーション結果と同様の結果が得られた。すなわち、実施例 1 では出力電力 P_{out} は膜厚 t_0 にほとんど依存しない。一方、比較例 1 では、膜厚 t_0 が小さくなると出力電力 P_{out} が小さくなる。

【 0 1 0 8 】

実施例 1 では比較例 1 に比べ熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の膜厚 t_0 を小さくしても出力電力 P_{out} を大きくできる理由を説明する。

【 0 1 0 9 】

図 2 3 (a) および図 2 3 (b) は、それぞれ比較例 1 および実施例 1 に係る熱電変換装置の断面模式図である。図 2 3 (a) および図 2 3 (b) に示すように、比較例 1 および実施例 1 とともに温度差 T の方向は Z 方向である。比較例 1 では、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の熱流の流れる方向は温度差 T と同じ Z 方向である。実施例 1 では、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の熱流の流れる方向は温度差 T と交差する X 方向である。

【 0 1 1 0 】

比較例 1 では、図 2 3 (a) のように、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の薄膜化のため熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の膜厚 t_0 を小さくすると熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の熱抵抗 k が小さくなる。熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の各々の両端間の温度差 T が小さくなってしまふ。図 2 2 のように、膜厚 t_0 が小さくなると、熱電変換装置 (モジュール) 全体に生じる温度差 T が小さくなるが、さらに、温度差 T に比べ T が小さくなる。これにより出力電力 P_{out} が小さくなる。

【 0 1 1 1 】

実施例 1 では、図 2 3 (b) のように、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の薄膜化のため熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の膜厚 t_0 を小さくすると熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の熱抵抗 k が大きくなる。これにより、図 2 1 のように、熱電変換装置全体に生じる温度差 T は大きく、熱電薄膜 1 2 a および 1 2 b の各々の両端間の温度差 T と温度差 T とはほとんど同じとなる。これにより、膜厚 t_0 が小さくなくても出力電力 P_{out} は低下しない。

【 0 1 1 2 】

図 2 4 は、実施例 1 における出力電圧 V_{out} に対する電流 I および出力電力 P_{out} を示す図である。膜厚 t_0 を $100 nm$ とし X Y 平面の面積 S を $20 cm^2$ から $120 cm^2$ まで $20 cm^2$ ステップで変えている。出力電力 P_{out} の最大値は出力をインピーダンス整合したときの出力電力である。図 2 4 に示すように、出力電圧 V_{out} が $1 V$ のとき出力電力 P_{out} はピークとなる。リストバンド方式のウェアラブルデバイスでは実装面積は $100 cm^2$ 程度である。面積 S が $100 cm^2$ 程度でも $10 mW$ 程度の出力電力 P_{out} を得ることができ、ヘルスケアデバイスまたは短・中距離通信を含むウェアラブルデバイスに十分応用化可能である。

【 0 1 1 3 】

比較例 1 において、 $d = 1 \mu m$ かつ $(1 -) d = 1 \mu m$ の条件をなくし、シミュレーションを行った。図 2 5 は、比較例 1 における最小寸法に対する d 、 $(1 -) d$ 、 T 、 T 、 V_s および P_{out} のシミュレーション結果を示す図である。最小寸法は d に対応する。膜厚 t_0 を $100 nm$ とした。比較例 1 においても最小寸法を小さくすると、熱電変換装置の全体の温度差 T が大きくなり、熱電材料に生じる温度差 T は

Tとの差が小さくなる。このことで、温度差 T_1 と T_2 との差が小さくなり、出力電力 P_{OUT} が大きくなる。例えば最小寸法が $1 \mu\text{m}$ 以下では出力電力 P_{OUT} は $20 \mu\text{W}$ 以上となる。最小寸法が 100nm 以下では温度差 T_1 と T_2 とがほぼ同じとなり、出力電力 P_{OUT} は $100 \mu\text{W}$ 以上となる。

【0114】

このように、比較例1でも最小寸法を小さくすると、出力電力 P_{OUT} を向上できる。しかし、最小寸法をミクロンオーダー（例えば $1 \mu\text{m}$ ）より小さくすると、微細加工に関するコストアップとなる。実施例1では、最小寸法が $1 \mu\text{m}$ 以上でも出力電力 P_{OUT} を大きくでき、低コストで高い出力電力を実現できる。

【実施例3】

【0115】

図2(a)および図2(b)のように、熱電薄膜12aおよび12bが基部22aおよび22bの面方向に配列されている。接続層14aおよび14bは、それぞれ基部22aおよび22bに熱的に接続されており、面方向に交差する方向（Z方向）において熱電薄膜12aと12bと交互に熱的および電氣的に接続されている。このような型の熱電変換装置において、図25のように、熱電薄膜12aおよび12bのピッチ（周期：例えば寸法 d および $(1 - \alpha)d$ ）を $1 \mu\text{m}$ 以下とすることで、出力電力 P_{OUT} を大きくできる。熱電薄膜12aおよび12bの大きさは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下がより好ましい。熱電薄膜12aおよび12bを薄膜技術で作製するため、熱電薄膜12aおよび12bの膜厚 t_0 は、 $10 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $5 \mu\text{m}$ 以下がより好ましい。また、半導体集積回路の作製技術を用いて成膜する熱電薄膜12aおよび12bの膜厚は $1 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 500nm 以下がより好ましく 200nm 以下がさらに好ましい。図25のように膜厚 t_0 が 100nm でも出力電力 P_{OUT} を大きくできる。

【実施例4】

【0116】

図26(a)は、実施例4に係る熱電変換装置の平面図、図26(b)は、図26(a)のA-A断面図である。図26(a)は、基部22a、22bおよび熱電変換ユニット44を示している。図26(a)および図26(b)に示すように、基部22aと22bとの間に熱電変換ユニット44が設けられている。熱電変換ユニット44は、比較例1の図2(a)および図2(b)と同様に熱電薄膜12a、12b、接続層14a、14bおよび絶縁層18を有している。平面視において基部22aおよび22bに比べ熱電変換ユニット44の面積を小さくする。基部22aと22bとの間の熱電変換ユニット44以外の部分には熱絶縁体46が設けられている。熱絶縁体46は、熱電薄膜12a、12b、接続層14a、14b、基部22aおよび22bより熱伝導率が小さい。このように、熱絶縁体46は電氣的および熱的絶縁体である。基部22aおよび22bの大きさは $D_0 \times D_0$ であり、熱電変換ユニット44の大きさは $D \times D$ である。

【0117】

実施例4について、恒温動物モデルを用いシミュレーションを行った。シミュレーションでは、 $D_0 = 1 \text{cm}$ 、 $t_0 = 100 \text{nm}$ 、 T_s を 10K 、熱絶縁体46および絶縁層18を真空とし、 $d = 1 \mu\text{m}$ かつ $(1 - \alpha)d = 1 \mu\text{m}$ とした。 m_0 で最適化を行った。

【0118】

図27は、実施例4における D に対する d 、 $(1 - \alpha)d$ 、 T_1 、 T_2 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。図27に示すように、熱電変換ユニット44が比較例1と同様の型であっても D を小さくすると出力電力 P_{OUT} が大きくなる。熱電変換ユニット44が型の場合、 $D_0 \times D_0$ の領域に熱電薄膜12aおよび12bを均一に分散させると、熱電薄膜12aおよび12b間を電氣的に接続する接続層14aおよび14bが長くなり、内部インピーダンスが高くなる。実施例4のように、 $D \times D$ の狭い範囲に熱電薄膜12aおよび12bを収めると接続層14aおよび14bが短く

10

20

30

40

50

なり、内部インピーダンスを小さくできる。

【0119】

[実施例4の変形例1]

図28(a)は、実施例4の変形例1に係る熱電変換装置の平面図、図28(b)は、図28(a)のA-A断面図である。図28(a)は、基部22a、22bおよび熱電変換ユニット44を示している。図28(a)および図28(b)に示すように、熱電変換ユニット44は、実施例1の図4(a)および図4(b)と同様に熱電薄膜12a、12b、接続層14a、14b、熱伝導層および絶縁層を有している。平面視において基部22aおよび22bに比べ熱電変換ユニット44の面積を小さくする。熱絶縁体46は、熱電薄膜12a、12b、接続層14a、14b、基部22aおよび22bより熱伝導率が小さい。基部22aおよび22bの大きさは $D \times D$ であり、熱電変換ユニット44の長さは L である。

10

【0120】

実施例4の変形例1について、恒温動物モデルを用いシミュレーションを行った。シミュレーションでは、 $D = 1 \text{ cm}$ 、 $t_o = 100 \text{ nm}$ 、 T_s を 10 K 、熱電変換ユニット44内の絶縁層18aおよび18bをポーラスシリコン(熱伝導率が $35.7 \text{ mWm}^{-1} \text{ K}^{-1}$)とし、熱絶縁体46をポーラスシリコンまたは真空とし、 $d = 1 \mu\text{m}$ かつ $(1 -)d = 1 \mu\text{m}$ とした。と m_o で最適化を行った。

【0121】

図29(a)は、実施例4の変形例1における L に対する t_{cu} 、 d 、 m_o 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図、図29(b)は、 t_{cu} に対する L 、 d 、 m_o 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。熱電変換ユニット44内の絶縁層18aおよび18bおよび熱絶縁体46をポーラスシリコンとした。図29(a)に示すように、熱絶縁体46がポーラスシリコンのとき、 L を小さくすると出力電力 P_{OUT} が大きくなる。この例では L が約 $30 \mu\text{m}$ で出力電力 P_{OUT} が最大となる。図29(b)のように、 L が約 $30 \mu\text{m}$ および t_{cu} が約 $500 \mu\text{m}$ のとき、出力電力 P_{OUT} は約 $20 \mu\text{W}$ で最大となる。熱絶縁体46をポーラスシリコンの場合、熱絶縁体46を介した熱流を抑制するため、 t_{cu} を大きくすることで P_{OUT} が大きくなるが、 t_{cu} が大きすぎると熱伝導層の熱抵抗が大きくなるため P_{OUT} はピークを持つ。

20

【0122】

図30は、熱絶縁体46が真空のときの t_{cu} に対する L 、 d 、 m_o 、 V_s および P_{OUT} のシミュレーション結果を示す図である。熱電変換ユニット44内の絶縁層18aおよび18bはポーラスシリコンとした。図30に示すように、 L および t_{cu} が小さくなると出力電力 P_{OUT} が小さくなる。 L および t_{cu} が約 $0.1 \mu\text{m}$ のとき出力電力 P_{OUT} は約 $100 \mu\text{W}$ である。このように、熱絶縁体46を真空とすると出力電力 P_{OUT} が大きくなる。熱絶縁体46を介した熱流がほとんど流れないため、 t_{cu} が薄くても出力電力 P_{OUT} を大きくできる。

30

【0123】

[実施例4の変形例2]

図31は、実施例4の変形例2に係る熱電変換装置の断面図である。図31に示すように、基部22aと22bとの間を真空46aに保持するための保持壁47を備えている。その他の構成は実施例4およびその変形例1と同じであり説明を省略する。

40

【0124】

実施例4およびその変形例1および2によれば、基部22a(第1基部)は人体等の恒温動物の生体の表面に熱的に接続される。基部22b(第2基部)は、大気(空気)に熱的に接続される。熱電変換ユニット44(熱電変換ユニット)は、基部22aと22bとの間に設けられている。熱絶縁体46は、基部22aと基部22bとの間であって熱電変換ユニット44の外側に設けられ、熱電薄膜12a、12b、基部22aおよび基部22bの熱伝導率より小さい熱伝導率を有する。これにより、図27、図29(a)から図30のシミュレーション結果のように、出力電力 P_{OUT} を向上できる。

50

【 0 1 2 5 】

熱絶縁体 4 6 は、実施例 4 の図 2 6 (a) ように平面視において熱電変換ユニット 4 4 を完全に囲っていてもよい。熱絶縁体 4 6 は、実施例 4 の変形例 1 の図 2 8 (a) ように平面視において熱電変換ユニット 4 4 の両側のみに設けられていてもよい。熱絶縁体 4 6 は、熱電変換ユニット 4 4 の片側のみに設けられていてもよい。熱電変換ユニット 4 4 の X 方向の幅は D より小さくてもよい。すなわち、熱電変換ユニット 4 4 の ± X 方向の少なくとも一方は熱絶縁体 4 6 が設けられていてもよい。図 2 6 (a) および図 2 8 (a) の場合ともに、平面視において、熱電変換ユニット 4 4 の面積は基部 2 2 a および 2 2 b の面積の 1 / 1 0 以下が好ましく、1 / 1 0 0 以下がより好ましい。

【 0 1 2 6 】

熱絶縁体 4 6 は、実施例 1 において例示した絶縁層 1 8 a および 1 8 b の材料を用いることができる。例えば、熱絶縁体 4 6 は、ポーラスシリコンのような固体層でもよい。ポーラスシリコンとしては、例えば高抵抗シリコンを用いたポーラスシリコン、または酸化等により電気的および熱的に絶縁体となるポーラスシリコンを用いることができる。これにより、基部 2 2 a および 2 2 b を補強することができる。固体層としては、ポーラスシリコン以外のポーラスシリカなどの多孔質層等を用いることができる。

【 0 1 2 7 】

また、実施例 4 の変形例 2 のように、熱絶縁体 4 6 は、大気圧より低い圧力を有する気体層または真空であり、保持壁 4 7 (保持部) が真空を保持する。これにより、熱絶縁体 4 6 を固体層とする場合に比べ熱絶縁体 4 6 の熱伝導率を小さくできる。よって、図 3 0 のように、出力電力 P_{OUT} を大きくできる。熱絶縁体 4 6 は大気圧の空気またはその他の気体 (例えば窒素等) でもよい。実施例 4 についても、熱絶縁体 4 6 は、真空、大気圧の空気またはその他の気体でもよい。また、実施例 4 およびその変形例において、熱電変換ユニット 4 4 内の絶縁層 1 8、1 8 a および 1 8 b (図 4 (b) 等参照) は、固体以外に真空、空気またはその他の気体でもよい。

【 0 1 2 8 】

熱絶縁体 4 6 と絶縁層 1 8、1 8 a および 1 8 b とは同じ材料でもよいし異なる材料でもよい。絶縁層 1 8、1 8 a および 1 8 b は、熱電薄膜 1 2 a、1 2 b、接続層 1 4 a および 1 4 b を保持するため固体層とし、熱絶縁体 4 6 は出力電力 P_{OUT} を大きくするため空気層または真空としてもよい。

【 0 1 2 9 】

[実施例 4 の変形例 3]

図 3 2 (a) は、実施例 4 の変形例 3 に係る熱電変換装置の平面図、図 3 2 (b) は、図 3 2 (a) の A - A 断面図である。図 3 2 (a) および図 3 2 (b) に示すように、単一の基部 2 2 a と単一の基部 2 2 b との間に実施例 4 の熱電変換ユニット 4 4 に対応する熱電変換ユニット 4 4 が複数設けられている。各熱電変換ユニット 4 4 は平面視において熱絶縁体 4 6 に囲まれている。複数の熱電変換ユニット 4 4 は、電気的に直列または並列に接続されていてもよい。

【 0 1 3 0 】

[実施例 4 の変形例 4]

図 3 3 (a) は、実施例 4 の変形例 4 に係る熱電変換装置の平面図、図 3 3 (b) は、図 3 3 (a) の A - A 断面図である。図 3 3 (a) および図 3 3 (b) に示すように、単一の基部 2 2 a と単一の基部 2 2 b との間に実施例 4 および変形例 1 の熱電変換ユニット 4 4 に対応する熱電変換ユニット 4 4 が複数設けられている。各熱電変換ユニット 4 4 は平面視において熱絶縁体 4 6 に囲まれている。複数の熱電変換ユニット 4 4 は、電気的に直列または並列に接続されていてもよい。

【 0 1 3 1 】

実施例 4 の変形例 3 および 4 によれば、基部 2 2 a と 2 2 b との間に熱絶縁体 4 6 を介し互いに離間した複数の熱電変換ユニット 4 4 が設けられている。これらの相互接続により、出力電圧および電力を適切に設定できる。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 2 】

以上、本発明の好ましい実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【 符号の説明 】

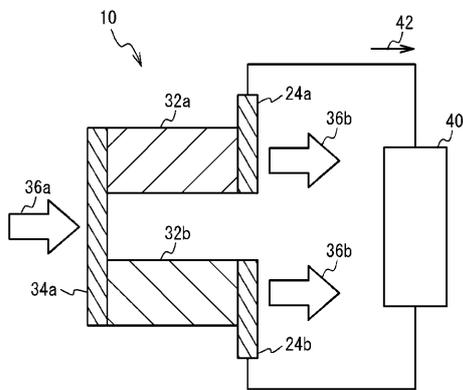
【 0 1 3 3 】

- 10 ゼーベック素子
- 12 a、12 b 熱電薄膜
- 14 a、14 b 接続層
- 16 a、16 b 熱伝導層
- 18、18 a、18 b 絶縁層
- 20 絶縁膜
- 22 a、22 b 基部
- 24 a、24 b 電極
- 28 a、28 b 溝
- 44 熱電変換ユニット
- 46 熱絶縁体
- 47 保持壁
- 50 発電装置
- 52 集積回路素子
- 54 放熱部材
- 60 制御回路
- 62 蓄電装置

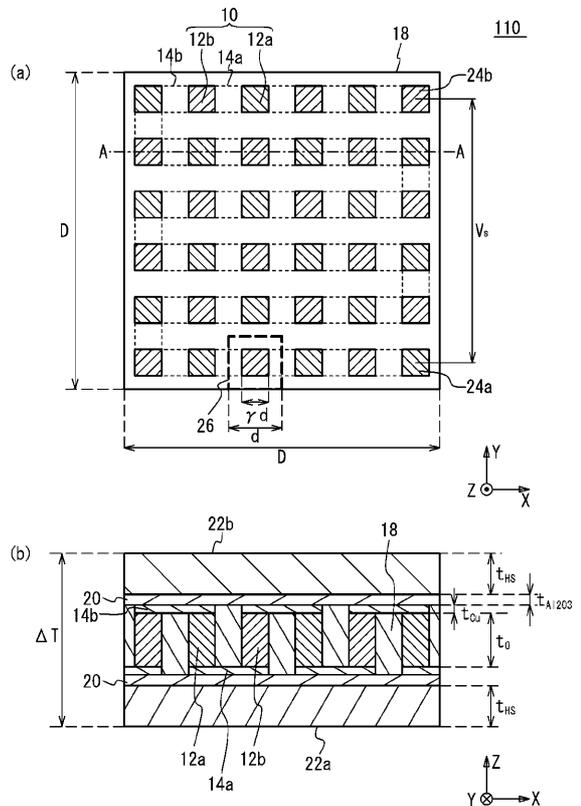
10

20

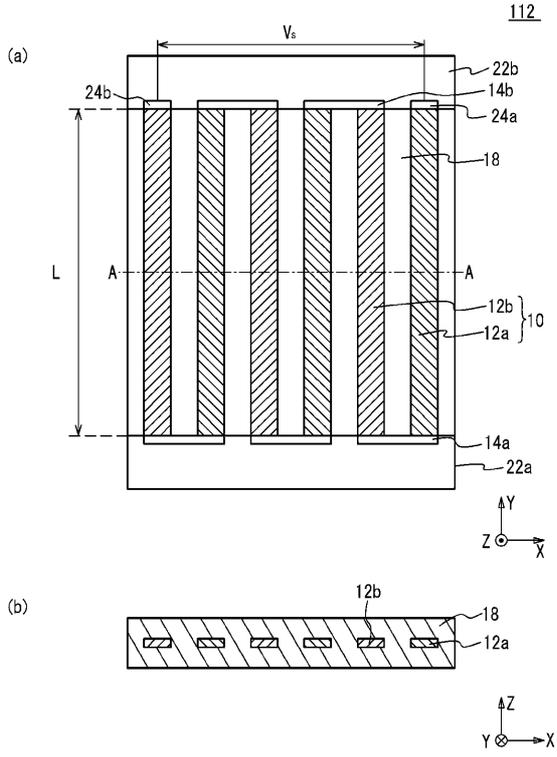
【 図 1 】



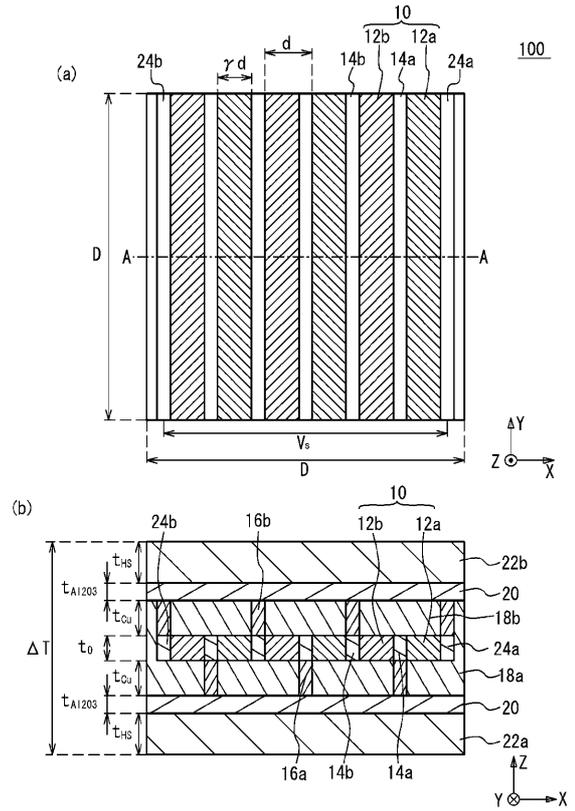
【 図 2 】



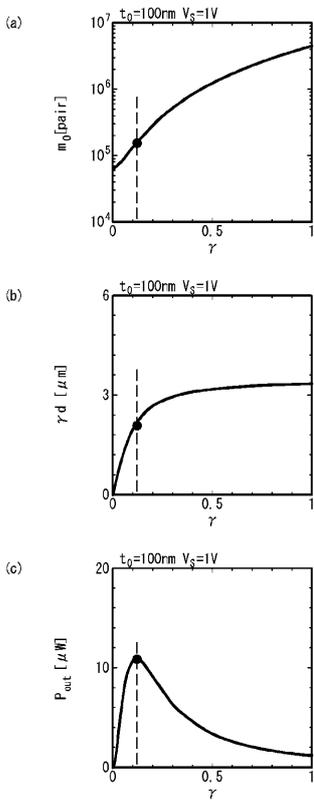
【 図 3 】



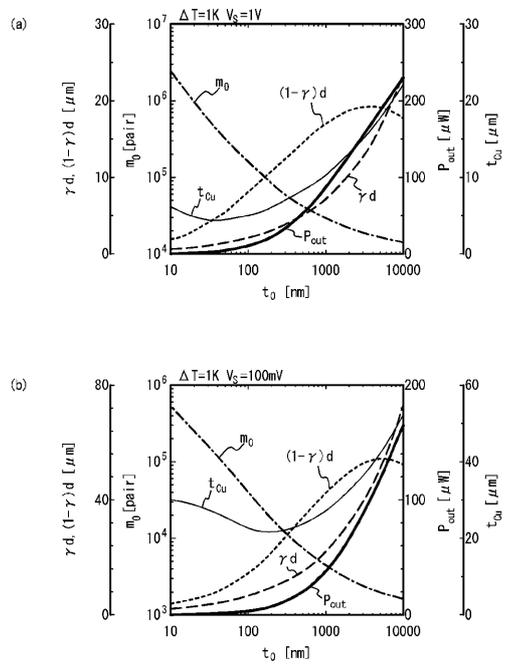
【 図 4 】



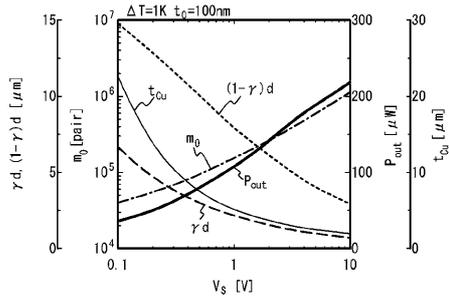
【 図 5 】



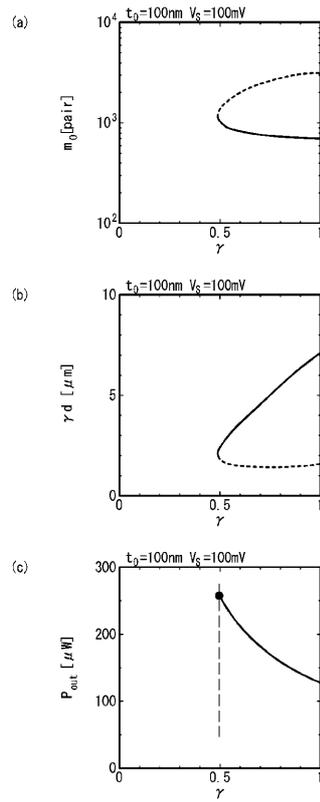
【 図 6 】



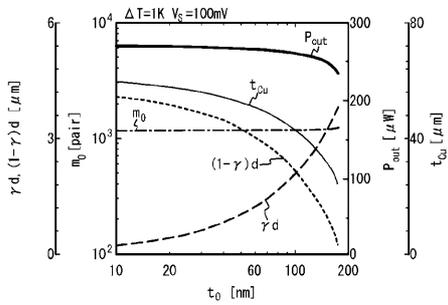
【 図 7 】



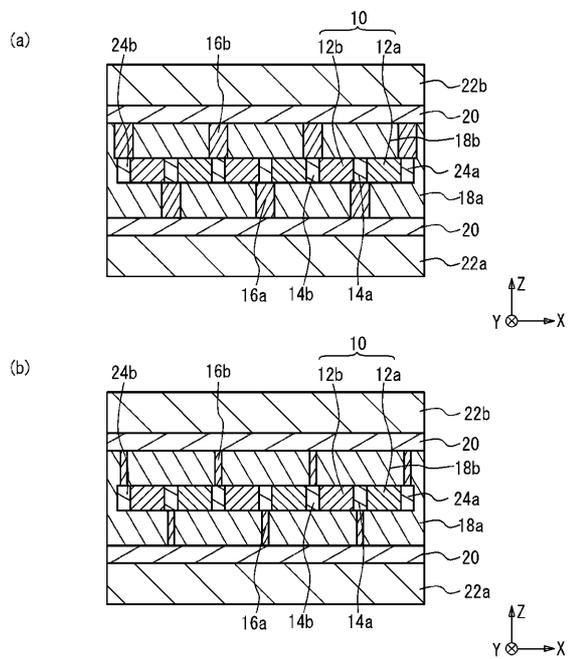
【 図 8 】



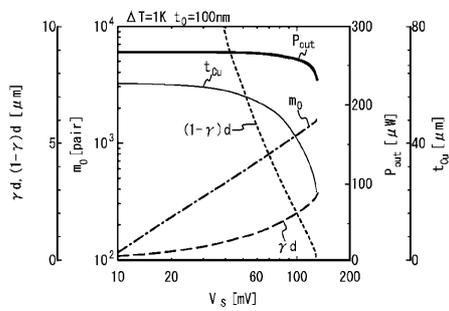
【 図 9 】



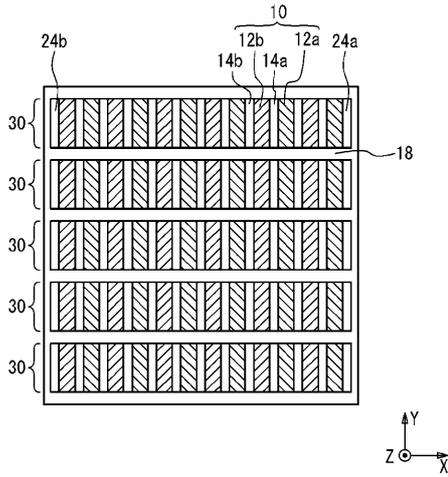
【 図 1 1 】



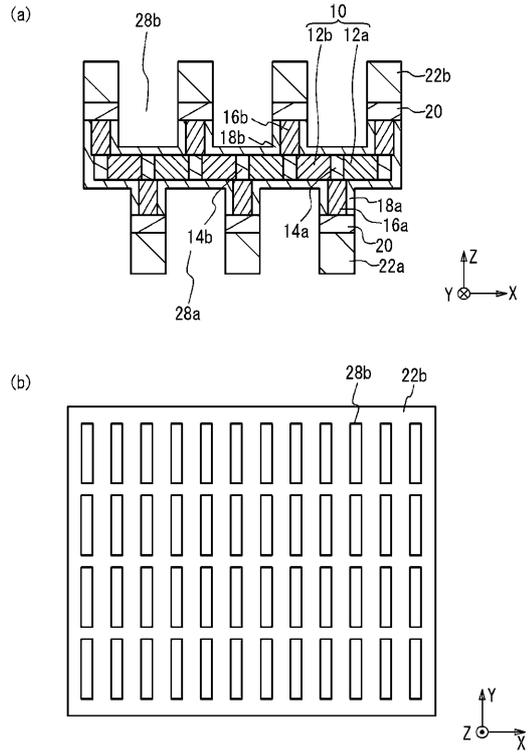
【 図 1 0 】



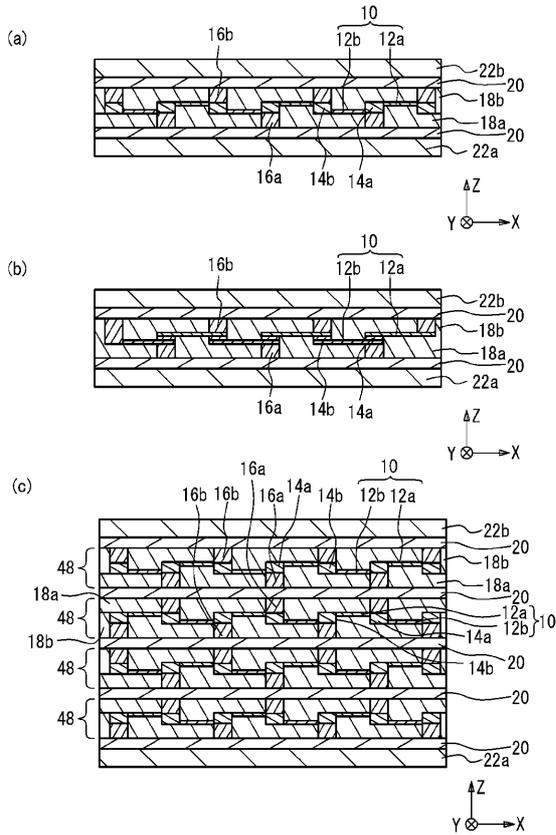
【 図 1 2 】



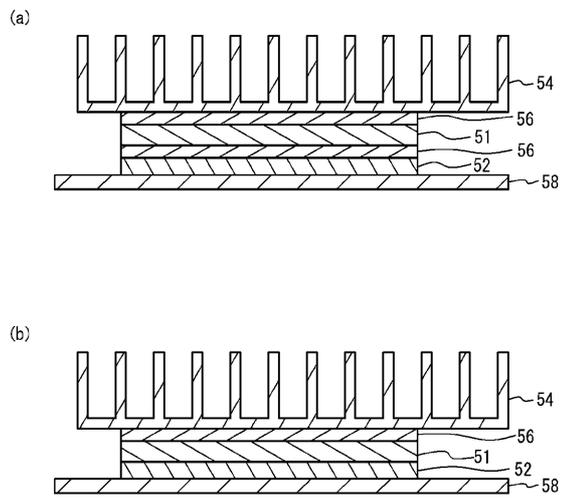
【 図 1 3 】



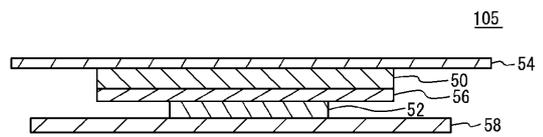
【 図 1 4 】



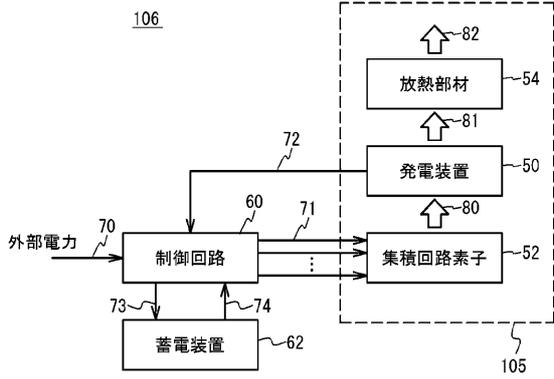
【 図 1 5 】



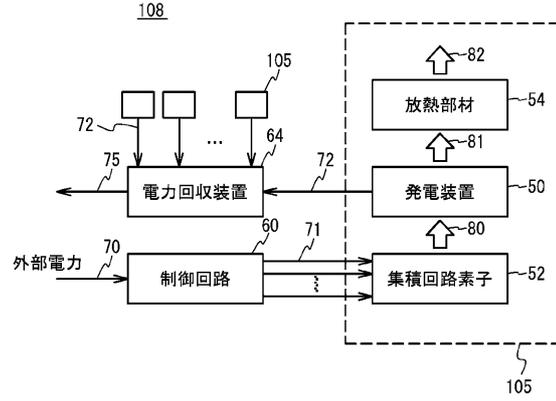
【 図 1 6 】



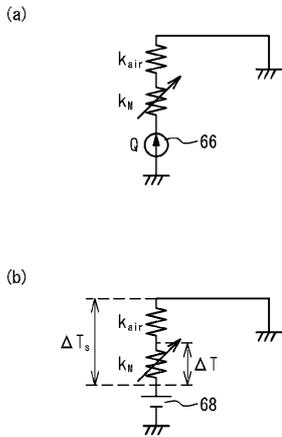
【図17】



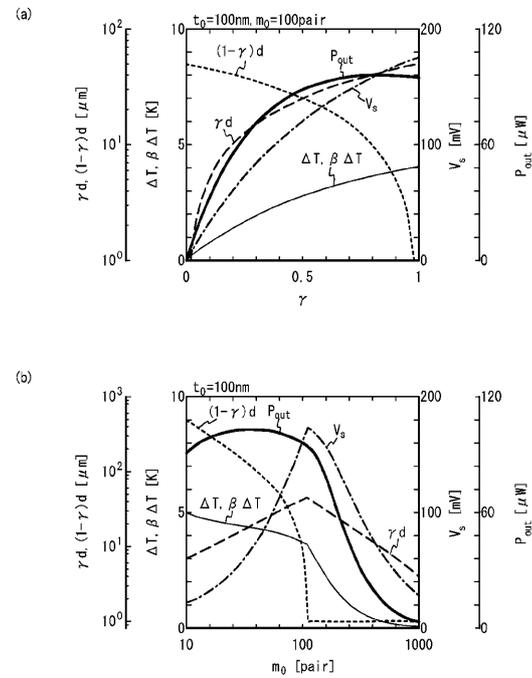
【図18】



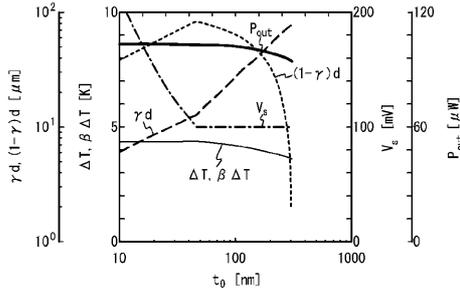
【図19】



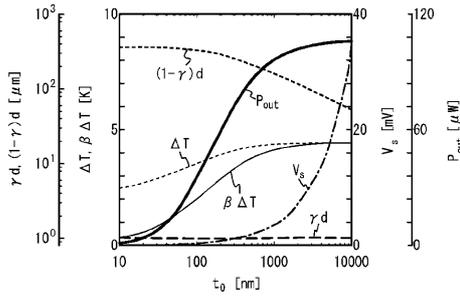
【図20】



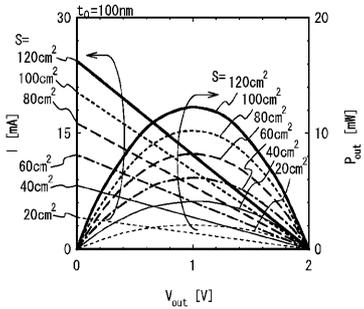
【図 2 1】



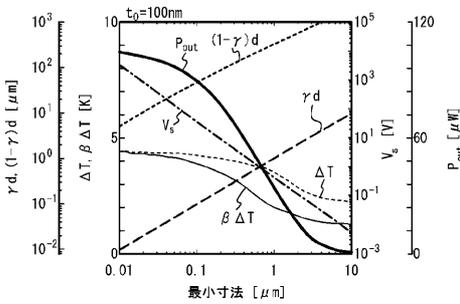
【図 2 2】



【図 2 4】

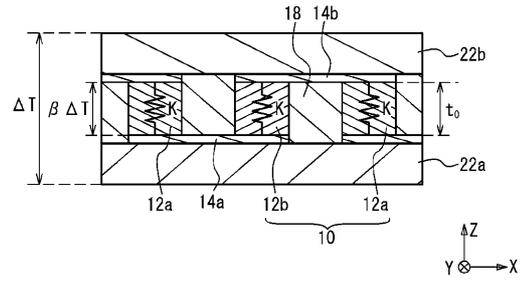


【図 2 5】

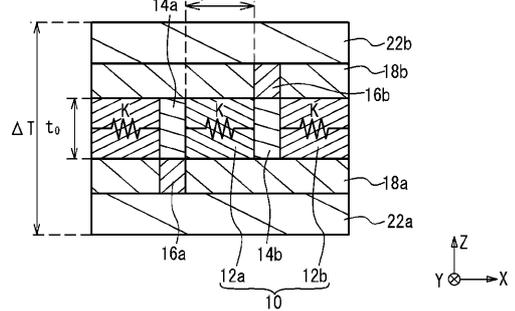


【図 2 3】

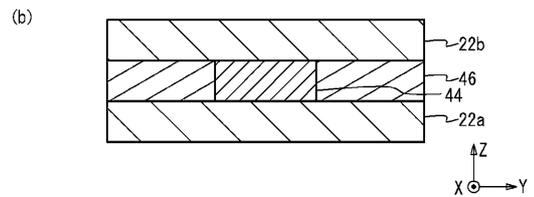
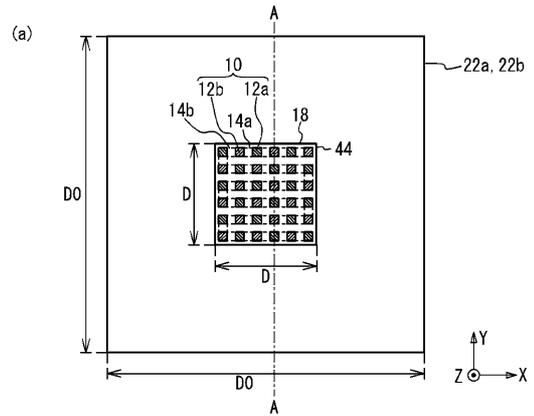
(a) 比較例1



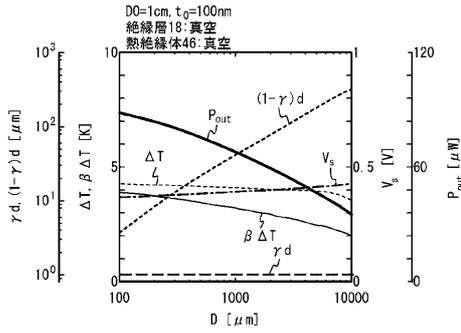
(b) 実施例1



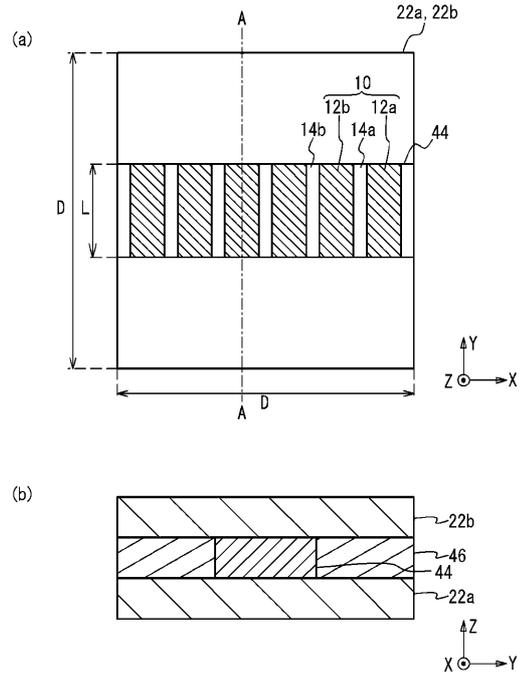
【図 2 6】



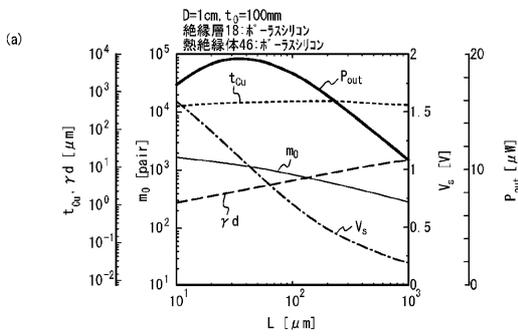
【 図 2 7 】



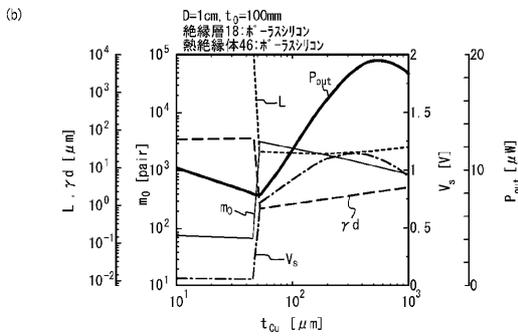
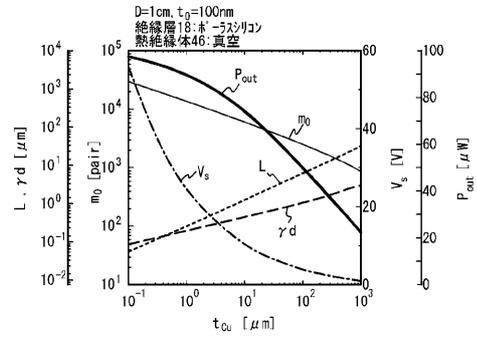
【 図 2 8 】



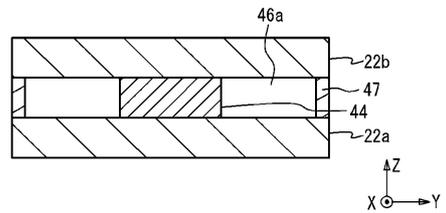
【 図 2 9 】



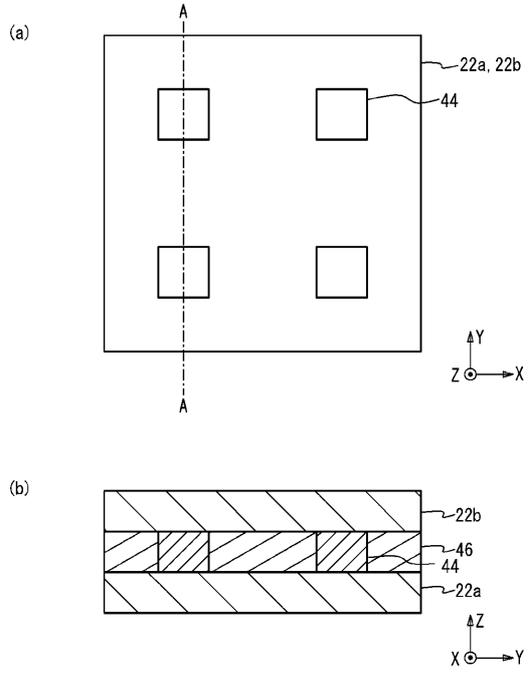
【 図 3 0 】



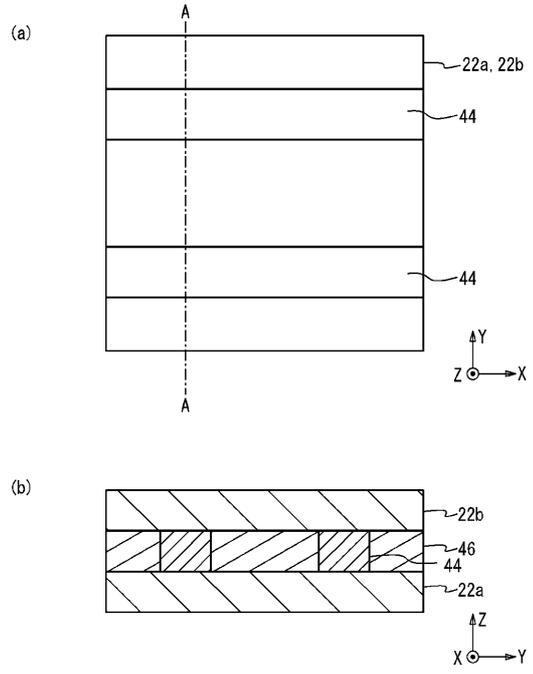
【 図 3 1 】



【図 3 2】



【図 3 3】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 (1) 刊行物名 2016年 第63回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集
主催者名 公益社団法人 応用物理学会 発行日平成28年3月3日 (2) 集会名 第63回応用物理学会春
季学術講演会 主催者名 公益社団法人 応用物理学会 開催日 平成28年3月21日

(56) 参考文献 特開2009-158760 (JP, A)
特開2014-135455 (JP, A)
特開2005-079347 (JP, A)
特開2002-100816 (JP, A)
国際公開第2005/117154 (WO, A1)
特開2016-187008 (JP, A)
近藤剛, 他2名, 高密度集積化マイクロ熱発電モジュールの設計法, 第63回応用物理学会春
季学術講演会 講演予稿集, 日本, 公益社団法人応用物理学会, 2016年03月03日, 21p W323 11

(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 35/32

H02N 11/00