

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7116465号
(P7116465)

(45)発行日 令和4年8月10日(2022. 8. 10)

(24)登録日 令和4年8月2日(2022. 8. 2)

(51)Int. Cl.	F I
H O 1 L 35/32 (2006. 01)	H O 1 L 35/32 A
H O 1 L 35/30 (2006. 01)	H O 1 L 35/30
H O 2 N 11/00 (2006. 01)	H O 2 N 11/00 A

請求項の数 11 (全 21 頁)

(21)出願番号	特願2018-20392(P2018-20392)	(73)特許権者	503360115
(22)出願日	平成30年2月7日(2018. 2. 7)		国立研究開発法人科学技術振興機構
(65)公開番号	特開2019-140182(P2019-140182A)		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(43)公開日	令和1年8月22日(2019. 8. 22)	(74)代理人	100087480
審査請求日	令和3年2月3日(2021. 2. 3)		弁理士 片山 修平
(出願人による申告)平成29年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発/薄膜熱電モジュールとその応用に関する研究開発」産業技術力強化法第19条の適用を受ける出願		(72)発明者	菅原 聡 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
		(72)発明者	清野 稔仁 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内
		(72)発明者	千脇 那菜 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】熱電変換装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1基部と、

前記第1基部に対向し、第1領域と、前記第1基部との間隔が前記第1領域における前記第1基部との間隔より大きい第2領域と、を有する第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部の前記第1領域との間に設けられ、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基部の前記第2領域との間に設けられ、前記第1基部を前記第2基部に支持する支持体と、

前記第1基部と前記第2基部の前記第2領域との間に設けられた熱絶縁体と、

を備え、

前記熱電変換ユニットは、

前記第1基部に熱的に接続された複数の第1接続層と、

前記第2基部に熱的に接続された複数の第2接続層と、

前記複数の第1接続層のうち1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち1つの第2接続層との間に電氣的に各々接続された複数の第1熱電層と、

前記1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち前記1つの第2接続層の隣の第2接続層との間に電氣的に各々接続され、前記複数の第1熱電層と反対の導電型を有する複数の第2熱電層と、

前記第1基部と前記第2基部との間において、前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱

電層との間、前記複数の第1接続層の間および前記複数の第2接続層の間に設けられた内部熱絶縁体と、

を有し、

前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱電層とは、前記複数の第1接続層と前記複数の第2接続層とを交互に介して直列に接続されている熱電変換装置。

【請求項2】

第1基部と、

前記第1基部に対向し、第1領域と、前記第1基部との間隔が前記第1領域における前記第1基部との間隔より大きい第2領域と、を有する第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部の前記第1領域との間に設けられ、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基部の前記第2領域との間に設けられ、前記第1基部を前記第2基部に支持する支持体と、

前記第1基部と前記第2基部の前記第2領域との間に設けられた熱絶縁体と、

を備え、

前記熱電変換ユニットは、

前記第1基部および前記第2基部の平面方向に平行な第1方向に交互に設けられた複数の第1接続層および複数の第2接続層と、

前記複数の第1接続層のうち1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち1つの第2接続層との間に電氣的に各々接続された複数の第1熱電層と、

前記1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち前記1つの第2接続層の隣の第2接続層との間に電氣的に各々接続され、前記複数の第1熱電層と反対の導電性を有する複数の第2熱電層と、

前記第1方向に交差する第2方向に延伸し前記複数の第1接続層と前記第1基部とをそれぞれ熱的に接続する複数の第1熱伝導層と、

前記第2方向に延伸し前記複数の第2接続層と前記第2基部とをそれぞれ熱的に接続する複数の第2熱伝導層と、

前記複数の第1熱電層、前記複数の第2熱電層、前記複数の第1接続層および前記複数の第2接続層と前記第1基部および前記第2基部との間と、前記複数の第1熱伝導層の間と、前記複数の第2熱伝導層の間と、に設けられた内部熱絶縁体と、を有し、

前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱電層とは、前記複数の第1接続層と前記複数の第2接続層とを交互に介して直列に接続されている熱電変換装置。

【請求項3】

前記内部熱絶縁体は、

前記1つの第2接続層と、前記1つの第2接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層と、前記1つの第2接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層を挟む一对の第1接続層と、前記一对の第1接続層と前記第1基部とを接続する一对の第1熱伝導層と、前記第1基部と、

に囲まれた領域に設けられた第1内部熱絶縁体と、

前記1つの第1接続層と、前記1つの第1接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層と、前記1つの第1接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層を挟む一对の第2接続層と、前記一对の第2接続層と前記第2基部とを接続する一对の第2熱伝導層と、前記第2基部と、

に囲まれた領域に設けられた第2内部熱絶縁体と、

を有する請求項2に記載の熱電変換装置。

【請求項4】

前記熱絶縁体は、大気圧より低い圧力を有する気体または真空を含み、

前記支持体は、前記気体または真空を囲むように設けられ前記気体または真空を保持する請求項1から3のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項5】

前記熱絶縁体は、固体である請求項1から3のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項6】

10

20

30

40

50

平面視における前記支持体の面積は前記熱絶縁体の面積より小さい請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項 7】

前記第 1 基部と前記第 2 基部の第 2 領域との間隔は、前記第 1 基部と前記第 2 基部の第 1 領域との間隔の 10 倍以上である請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項 8】

前記第 1 基部と前記第 2 基部の第 2 領域との間隔は、前記第 1 基部と前記第 2 基部の第 1 領域との間隔の 100 倍以上である請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

10

【請求項 9】

前記第 1 基部および前記第 2 基部のいずれか一方は恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、

前記第 1 基部および前記第 2 基部の他方は空気に熱的に接続される請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項 10】

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備える請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

【請求項 11】

前記第 1 基部および前記第 2 基部内に設けられ、前記第 1 基部と前記第 2 基部との積層された方向から見て、前記熱電変換ユニットから放射状に設けられた複数のマイクロヒートパイプを備える請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の熱電変換装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱電変換装置に関し、例えば基部間に設けられた熱電変換ユニットを有する熱電変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

熱電材料から構成される熱電薄膜を用いる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知られている。上側の基部の下面および下側の基部の上面にそれぞれ、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接続したゼーベック素子を形成し、上側の基部と下側の基部とを接合した μ TEG が知られている (例えば特許文献 1)。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 7 4 0 2 9 1 0 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

薄膜の熱電材料を用いることで、熱電変換装置の小型化、軽量化、低コスト化および高集積化が可能である。しかしながら、熱電材料が薄膜であること、および薄膜に対応するモジュールの構造上、ゼーベック素子に温度差を付けることは容易ではない。このため、高出力な熱電変換装置を実現することが難しい。

40

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、薄膜の熱電材料を用いた高出力な熱電変換装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

50

本発明は、第1基部と、前記第1基部に対向し、第1領域と、前記第1基部との間隔が前記第1領域における前記第1基部との間隔より大きい第2領域と、を有する第2基部と、前記第1基部と前記第2基部の前記第1領域との間に設けられ、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基部の前記第2領域との間に設けられ、前記第1基部を前記第2基部に支持する支持体と、前記第1基部と前記第2基部の前記第2領域との間に設けられた熱絶縁体と、を備え、前記熱電変換ユニットは、前記第1基部に熱的に接続された複数の第1接続層と、前記第2基部に熱的に接続された複数の第2接続層と、前記複数の第1接続層のうち1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち1つの第2接続層との間に電氣的に各々接続された複数の第1熱電層と、前記1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち前記1つの第2接続層の隣の第2接続層との間に電氣的に各々接続され、前記複数の第1熱電層と反対の導電型を有する複数の第2熱電層と、前記第1基部と前記第2基部との間において、前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱電層との間、前記複数の第1接続層の間および前記複数の第2接続層の間に設けられた内部熱絶縁体と、を有し、前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱電層とは、前記複数の第1接続層と前記複数の第2接続層とを交互に介して直列に接続されている熱電変換装置である。

10

【0007】

本発明は、第1基部と、前記第1基部に対向し、第1領域と、前記第1基部との間隔が前記第1領域における前記第1基部との間隔より大きい第2領域と、を有する第2基部と、前記第1基部と前記第2基部の前記第1領域との間に設けられ、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基部の前記第2領域との間に設けられ、前記第1基部を前記第2基部に支持する支持体と、前記第1基部と前記第2基部の前記第2領域との間に設けられた熱絶縁体と、を備え、前記熱電変換ユニットは、前記第1基部および前記第2基部の平面方向に平行な第1方向に交互に設けられた複数の第1接続層および複数の第2接続層と、前記複数の第1接続層のうち1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち1つの第2接続層との間に電氣的に各々接続された複数の第1熱電層と、前記1つの第1接続層と前記複数の第2接続層のうち前記1つの第2接続層の隣の第2接続層との間に電氣的に各々接続され、前記複数の第1熱電層と反対の導電型を有する複数の第2熱電層と、前記第1方向に交差する第2方向に延伸し前記複数の第1接続層と前記第1基部とをそれぞれ熱的に接続する複数の第1熱伝導層と、前記第2方向に延伸し前記複数の第2接続層と前記第2基部とをそれぞれ熱的に接続する複数の第2熱伝導層と、前記複数の第1熱電層、前記複数の第2熱電層、前記複数の第1接続層および前記複数の第2接続層と前記第1基部および前記第2基部との間と、前記複数の第1熱伝導層の間と、前記複数の第2熱伝導層の間と、に設けられた内部熱絶縁体と、を有し、前記複数の第1熱電層と前記複数の第2熱電層とは、前記複数の第1接続層と前記複数の第2接続層とを交互に介して直列に接続されている熱電変換装置である。

20

30

【0008】

上記構成において、前記内部熱絶縁体は、前記1つの第2接続層と、前記1つの第2接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層と、前記1つの第2接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層を挟む一対の第1接続層と、前記一対の第1接続層と前記第1基部とを接続する一対の第1熱伝導層と、前記第1基部と、に囲まれた領域に設けられた第1内部熱絶縁体と、前記1つの第1接続層と、前記1つの第1接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層と、前記1つの第1接続層を挟む第1熱電層および第2熱電層を挟む一対の第2接続層と、前記一対の第2接続層と前記第2基部とを接続する一対の第2熱伝導層と、前記第2基部と、に囲まれた領域に設けられた第2内部熱絶縁体と、を有する構成とすることができる。

40

【0009】

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または真空を含み、前記支持体は、前記気体または真空を囲むように設けられ前記気体または真空を保持する構成とすることができる。

50

【0010】

上記構成において、前記熱絶縁体は、固体である構成とすることができる。

【0011】

上記構成において、平面視における前記支持体の面積は前記熱絶縁体の面積より小さい構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記第1基部と前記第2基部の第2領域との間隔は、前記第1基部と前記第2基部の第1領域との間隔の10倍以上である構成とすることができる。

【0013】

上記構成において、前記第1基部と前記第2基部の第2領域との間隔は、前記第1基部と前記第2基部の第1領域との間隔の100倍以上である構成とすることができる。

10

【0014】

上記構成において、前記第1基部および前記第2基部のいずれか一方は恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、前記第1基部および前記第2基部の他方は空気に熱的に接続される構成とすることができる。

【0015】

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備える構成とすることができる。

【0016】

上記構成において、前記第1基部および前記第2基部内に設けられ、前記第1基部と前記第2基部との積層された方向から見て、前記熱電変換ユニットから放射状に設けられた複数のマイクロヒートパイプを備える構成とすることができる。

20

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、薄膜の熱電材料を用いた高出力な熱電変換装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

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

30

【図2】図2(a)は、実施例1における熱電変換ユニット近傍の平面図、図2(b)は、図2(a)のA-A断面図である。

【図3】図3(a)は、比較例1に係る熱電変換装置の平面図、図3(b)は、図3(a)のA-A断面図である。図3(c)は、比較例2に係る熱電変換装置の断面図である。

【図4】図4(a)および図4(b)は、シミュレーションに用いた恒温動物モデルを示す図である。

【図5】図5は、比較例1におけるxに対する P_{out} および K_M を示す図である。

【図6】図6(a)および図6(b)は、実施例1におけるそれぞれxおよびHに対する d 、 $(1 -)d$ および m_0 、 P_{out} および K_M を示す図である。

【図7】図7(a)および図7(b)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。

40

【図8】図8(a)は、実施例2に係る熱電変換装置の平面図、図8(b)は、図8(a)のA-A断面図である。

【図9】図9(a)は、実施例2においてシミュレーションに用いた熱電変換ユニットの平面図、図9(b)は、図9(a)のA-A断面図である。

【図10】図10(a)および図10(b)は、それぞれ実施例1および実施例2に係る熱電変換装置の断面模式図である。

【図11】図11は、比較例3におけるxに対する P_{out} および K_M を示す図である。

【図12】図12(a)および図12(b)は、実施例2におけるそれぞれxおよびHに対する P_{out} および K_M を示す図である。

50

【図 1 3】図 1 3 (a) および図 1 3 (b) は、実施例 2 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 1 4】図 1 4 (a) から図 1 4 (d) は、実施例 3 に係る熱電変換装置の平面図である。

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

【図 1 6】図 1 6 (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 1 6 (b) は、図 1 6 (a) の A - A 断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、図面を参照し本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

【0020】

図 1 (a) は、実施例 1 に係る熱電変換装置の平面図、図 1 (b) は、図 1 (a) の A - A 断面図である。図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、基部 2 2 a および 2 2 b の平面方向を X 方向および Y 方向とし、基部 2 2 a から 2 2 b へ向かう方向を Z 方向とする。熱電変換装置 1 0 0 では、基部 2 2 a と 2 2 b とは対向している。基部 2 2 a の基部 2 2 b に対向する面は凸部を有する。基部 2 2 a は、基部 2 2 b の方に突出した領域 3 5 と突出していない領域 3 6 とを有する。領域 3 6 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔 H は、領域 3 5 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔 H_0 より大きい。例えば基部 2 2 b は平板状であり、基部 2 2 a は平板に凸部が設けられて形状である。

【0021】

基部 2 2 a および 2 2 b の周縁における基部 2 2 a と 2 2 b との間に支持体 3 4 が設けられている。支持体 3 4 に囲まれた基部 2 2 a と 2 2 b との間に熱絶縁体 3 2 が設けられている。熱絶縁体 3 2 は例えば大気圧より低い圧力を有する気体または真空である。すなわち、熱絶縁体 3 2 は、大気圧より低い圧力を有する気体または真空を含む。支持体 3 4 は、熱絶縁体 3 2 の圧力または真空を維持する。熱絶縁体 3 2 は大気圧の空気または支持体 3 4 より柔らかい固体でもよい。熱絶縁体 3 2 が気体、真空または柔らかい固体の場合、支持体 3 4 は基部 2 2 a と基部 2 2 b とを機械的に支持する。熱絶縁体 3 2 の熱伝導率は熱電変換ユニット 3 0、基部 2 2 a、2 2 b および支持体 3 4 の熱伝導率より小さい。

【0022】

図 2 (a) は、実施例 1 における熱電変換ユニット近傍の平面図、図 2 (b) は、図 2 (a) の A - A 断面図である。図 2 (a) および図 2 (b) に示すように、熱電変換ユニット 3 0 では、熱電層 1 2 a および熱電層 1 2 b が X 方向に交互に配列されている。熱電層 1 2 a および 1 2 b は例えばそれぞれ n 型および p 型である。隣接する熱電層 1 2 a と 1 2 b とは、- Z 方向および + Z 方向においてそれぞれ接続層 1 4 a および 1 4 b に電気的および熱的に接続されている。一对の熱電層 1 2 a と 1 2 b とは 1 つのゼーベック素子 1 0 を形成する。複数のゼーベック素子 1 0 は、電極 2 4 a と 2 4 b との間に直列に接続されている。接続層 1 4 a は - Z 方向において電気的な絶縁膜 2 0 を介し高温の基部 2 2 a に熱的に接続されている。接続層 1 4 b は + Z 方向において電気的な絶縁膜 2 0 を介し低温の基部 2 2 b に熱的に接続されている。熱電層 1 2 a および 1 2 b の間に電気的および熱的な絶縁層 1 8 が設けられている。

【0023】

基部 2 2 a と 2 2 b との間に温度差が生じるとゼーベック効果によりゼーベック素子 1 0 に起電力が生じる。ゼーベック素子 1 0 を電極 2 4 a と 2 4 b との間に複数直列に接続することにより、電極 2 4 a と 2 4 b との間の起電力を大きくできる。

【0024】

図 3 (a) は、比較例 1 に係る熱電変換装置の平面図、図 3 (b) は、図 3 (a) の A - A 断面図である。図 3 (c) は、比較例 2 に係る熱電変換装置の断面図である。図 3 (a) および図 3 (b) に示すように、比較例 1 の熱電変換装置 1 1 0 では、基部 2 2 a と

10

20

30

40

50

2 2 b との間隔 H_0 は均一であり、基部 2 2 a に凸部は設けられていない。その他の構成は実施例 1 と同じであり説明を省略する。

【0025】

図 3 (c) に示すように、比較例 2 の熱電変換装置 1 1 2 では、支持体 3 4 が設けられていない。熱絶縁体 3 2 は、大気圧の空気または固体である。その他の構成は比較例 1 と同じであり説明を省略する。

【0026】

比較例 2 の熱電変換装置 1 1 2 のように、平面視において、基部 2 2 a および 2 2 b に対し熱電変換ユニット 3 0 を小さく、基部 2 2 a と 2 2 b との間に熱絶縁体 3 2 を設ける。比較例 2 では、比較例 1 における支持体 3 4 を流れる熱流がない。このため、基部 2 2 a と 2 2 b との間の温度差を大きくできる。よって、熱電変換ユニット 3 0 の出力を比較例 1 より大きくできる。

10

【0027】

しかしながら、比較例 2 では、熱絶縁体 3 2 を大気圧より低い圧力の気体または真空とすることはできない。また、熱絶縁体 3 2 が柔らかい物質の場合、基部 2 2 a と 2 2 b とを熱電変換ユニット 3 0 のみにより支持することになる。基部 2 2 a および 2 2 b の平面形状が大きくなると、基部 2 2 b が不安定となる。

【0028】

比較例 1 の熱電変換装置 1 1 0 では、基部 2 2 a と 2 2 b との間に支持体 3 4 を設ける。支持体 3 4 が基部 2 2 b を基部 2 2 a に支持することで、基部 2 2 b が不安定となることを抑制できる。支持体 3 4 が熱絶縁体 3 2 を囲むことで、熱絶縁体 3 2 である気体または真空を保持することができる。

20

【0029】

しかしながら、比較例 1 では、支持体 3 4 を介して基部 2 2 a から 2 2 b に熱流が流れる。これにより、基部 2 2 a と 2 2 b との間の温度差が小さくなり、熱電変換ユニット 3 0 の出力が小さくなる。

【0030】

実施例 1 の熱電変換装置 1 0 0 では、基部 2 2 a を凸構造とし、支持体 3 4 が設けられている領域 3 6 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔 H を熱電変換ユニット 3 0 が設けられている領域 3 5 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔 H_0 より大きくする。これにより、支持体 3 4 の熱抵抗を大きくできるため、基部 2 2 a から 2 2 b に流れる熱流のうち支持体 3 4 を流れる熱流が小さくなる。このため、熱絶縁体 3 2 の材料を適切に選べば、基部 2 2 a から 2 2 b に流れる熱流のうちほとんどは熱電変換ユニット 3 0 を伝導する。よって、基部 2 2 a と 2 2 b との間の温度差が大きくなり熱電変換ユニット 3 0 の出力が大きくなる。

30

【0031】

使用温度が室温近傍または数 1 0 0 程度までの応用では、熱電層 1 2 a および 1 2 b 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 $Bi_{2-x}Te_{3-x}S_{e_x}$ 、および p 型として例えば $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ である。フルホイスラー系合金は、n 型として例えば $Fe_2VAl_{1-x}Ge_x$ 、 $Fe_2VAl_{1-x}Si_x$ または $Fe_2VTa_xAl_{1-x}$ 、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、熱電層 1 2 a および 1 2 b 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、熱電層 1 2 a および 1 2 b に用いる熱電材料として、 Si 、 $SiGe$ 合金または $GeSn$ 合金を

40

50

用いることもできる。

【0032】

熱電層12aおよび12bは、例えばそれぞれn型およびp型を有する上記例示した材料を用いる。熱電層12aと12bとは、上記例示した材料のうち異なる材料系を用いてもよい。また、熱電層12aおよび12bの一方をn型またはp型の上記例示した材料を用い、熱電層12aおよび12bの他方を熱電材料ではない適切な金属で置き換えてもよい。

【0033】

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。

【0034】

絶縁層18aおよび18bとしては、絶縁性が高く熱伝導率が熱電層12a、12b、接続層14a、14b、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、ベークライト樹脂、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、大気圧より圧力の低い気体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ンコート法を用い形成できる。

【0035】

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は絶縁性が高く熱伝導性が高い材料が好ましく、例えば酸化アルミニウム膜等である。絶縁膜20は基部22aおよび22bにスパッタ法または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、スピン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。

【0036】

熱絶縁体32は、窒素ガス等の気体または真空以外にも、絶縁層18aおよび18bの材料を用いることができる。例えば、熱絶縁体32は、ポラスシリコンまたはポラスシリカのような多孔質な固体層でもよい。ポ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ラスシリコンを用いることができる。

【0037】

支持体34は、熱伝導率が低いことが好ましいが、基部22aと22bとを支持する観点、および/または気体層または真空を保持する観点から、熱絶縁体32より硬い材料が好ましい。支持体34として、例えば、樹脂またはゴム等の高分子有機材料を用いることができる。例えば熱絶縁体32が固体の場合、支持体34は熱絶縁体32を補強する観点から支持体34の降伏強度は熱絶縁体32より大きいことが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

[実施例 1 のシミュレーション]

実施例 1 および比較例 1 についてシミュレーションを行った。シミュレーションでは、図 1 (a) から図 3 (b) に示すように、基部 2 2 a、2 2 b、熱電変換ユニット 3 0、熱電層 1 2 a および 1 2 b の平面形状を X 方向および Y 方向の辺を有する正方形とした。なお、実際の熱電変換装置では、各部材の平面形状および断面形状は目的に応じ任意に設計できる。

【 0 0 3 9 】

以下のように構造パラメータを定義した。

D : 基部 2 2 a および 2 2 b の X 方向および Y 方向の幅 10

H : 実施例 1 の領域 3 6 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔

H₀ : 比較例 1 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔、および実施例 1 の領域 3 5 における基部 2 2 a と 2 2 b との間隔

x : 支持体 3 4 の X 方向および Y 方向の幅

L : 熱電変換ユニット 3 0 の X 方向および Y 方向の幅

L₀ : 実施例 1 の領域 3 5 の X 方向および Y 方向の幅

d : 熱電層 1 2 a および 1 2 b の X 方向および Y 方向のピッチ

: トレードオフパラメータ、熱電変換ユニット 3 0 のうち熱電層 1 2 a および 1 2 b のうち 1 つが占める面積が $(d)^2$ となるパラメータ

d : 熱電層 1 2 a および 1 2 b の X 方向および Y 方向の幅、接続層 1 4 a および 1 4 b の Z 方向の高さ 20

$(1 - \quad) d$: 熱電層 1 2 a と 1 2 b との X 方向および Y 方向の間隔

t₀ : 熱電層 1 2 a および 1 2 b の Z 方向の高さ

m₀ : 熱電層 1 2 a および 1 2 b の対数 (すなわちゼーベック素子 1 0 の個数)

P_{out} : 熱電変換装置の出力電力

なお、接続層 1 4 a および 1 4 b の Z 方向の高さは d でなくともよいが、設計を簡単にするため、シミュレーションでは接続層 1 4 a および 1 4 b の Z 方向の高さを d とした。

【 0 0 4 0 】

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。そこで、人体の体温に恒温動物モデルを用いた。

【 0 0 4 1 】

図 4 (a) および図 4 (b) は、シミュレーションに用いた恒温動物モデルを示す図である。図 4 (a) に示すように、熱抵抗 K_h、K_M および K_{air} に直列に定温度差源 5 0 が接続されている。K_h は、人の皮膚近傍の熱抵抗である。K_M は、熱電変換装置の熱抵抗である。K_{air} は熱電変換装置の基部 2 2 b から大気への放熱に関する熱抵抗である。T_s は、人と大気との温度差である。恒温動物は、体温と大気との温度差を一定とする。そこで、定温度差源 5 0 は T_s が一定となるように熱抵抗 K_h、K_M および K_{air} に熱流 Q を流す。T は熱電変換装置に加わる温度差である。温度差 T_s を熱抵抗で分割したときの熱抵抗 K_M に加わる温度差が T となる。

【 0 0 4 2 】

図 4 (b) に示すように、熱抵抗 K_M および K_{air}' に直列に定温度差源 5 0 が接続されている。K_{air}' を図 4 (a) の K_{air} + K_h とした。人の産熱能力を考慮し、10 mW / cm² を熱流 Q の最大値とした。

【 0 0 4 3 】

図 2 (a) および図 2 (b) のような熱電変換ユニット 3 0 では、温度差 T を大きくしようとする、熱電層 1 2 a および 1 2 b の断面積 $(d)^2$ を小さくする、または、熱電層 1 2 a および 1 2 b の高さ t₀ を大きくする。しかし、断面積 $(d)^2$ を小さくし高さ t₀ を大きくすると、電極 2 4 a と 2 4 b との間の電気抵抗が高くなる。温度差

T を大きくしようとするすると電極24aと24bとの間の電気抵抗が高くなる。温度差 T を大きくしても電極24aと24bとの間の電気抵抗が高くなると出力電力 P_{out} は大きくなりません。このように、熱抵抗と電気抵抗とがトレードオフとなる。

【0044】

そこで、トレードオフパラメータ を用い、基部22aの下面と基部22bの上面との間の熱抵抗、および電極24aと24bとの間の電気抵抗を表現する。熱電変換装置の出力電力 P_{out} は、トレードオフパラメータ 、ゼーベック素子10の対数 m_0 、および熱電変換ユニット30の幅 L 等で表現できる。これにより、出力電力 P_{out} が最大化できる、または、所望の出力電力 P_{out} を得られる 、 m_0 および L 等の構造パラメータを算出できる。

10

【0045】

等の構造パラメータの最適化は、次の2つの方法を用いて行った。

方法1：支持体34の幅 $x = 0$ とし、構造パラメータの最適化を行い、最適化した構造パラメータに固定して支持体34の幅 x および基部22aと22bとの間隔 H の最適化を行う。

方法2：各 x で構造パラメータの最適化を行う。

【0046】

各材料および寸法のシミュレーション条件は以下とした。

熱電層12aおよび12b

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

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

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

接続層14aおよび14b : Cu

膜厚 t_{cu} : 10 μm (実施例1)

熱伝導率 κ_{cu} : 386 $W m^{-1} K^{-1}$

電気抵抗率 ρ_{cu} : $1.69 \times 10^{-8} m$

絶縁層18 : ポーラスシリコン

熱絶縁体32 : 真空

支持体34 : 熱伝導率 が 0.15 $W m^{-1} K^{-1}$ の絶縁体

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

$L_0 = L$: 1 mm

t_0 : 1000 nm

T_s : 10 K

K_{air} : 各シミュレーションにより異なる。詳細は後述する。

P_{out} : 出力をインピーダンス整合したときの出力電力

S_n および S_p はそれぞれn型およびp型の熱電層12aおよび12b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型の熱電層12aおよび12b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型の熱電層12aおよび12bの電気抵抗率である。温度差 T_s を10 Kと一定とした。これは、例えば体温が35 であり気温が25 の場合に相当する。

40

【0047】

比較例1について、方法1を用い構造パラメータを最適化した。最適化されたパラメータは、 $L = 2.0 \mu m$ 、 $m_0 = 14500$ 対、 $d = 74 nm$ および $(1 -)d = 43 nm$ である。

【0048】

図5は、比較例1における x に対する P_{out} および K_M を示す図である。 x における P_{out} は最大の出力電力を示す。図5に示すように、 x が大きくなると熱抵抗 K_M が急激に低下し、出力電力 P_{out} が急激に低下する。 x が $1 \mu m$ 以上では P_{out} はほぼ0となる。これは、支持体34を介し基部22aから22bに熱が伝導してしまうためと考えられる。

50

【0049】

実施例1について、 $t_0 = 1000 \text{ nm}$ 、 $L = 100 \text{ }\mu\text{m}$ および $H = 5 \text{ mm}$ または $x = 0.3 \text{ mm}$ として、方法2を用い、各 x のときに d 、 $(1 - \quad) d$ および m_0 を最適化した。 $K_{\text{air}'}$ については最適化した値を用いている。図6(a)および図6(b)は、実施例1におけるそれぞれ x および H に対する d 、 $(1 - \quad) d$ および m_0 、 P_{out} および K_M を示す図である。図6(a)に示すように、 x が 1 mm 以下では P_{out} は $10 \text{ }\mu\text{W}$ 以上になる。図6(b)に示すように、 H が 1 mm では P_{out} は約 $10 \text{ }\mu\text{W}$ である。 H が 5 mm では P_{out} は約 $20 \text{ }\mu\text{W}$ である。

【0050】

図7(a)および図7(b)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。 $t_0 = 1000 \text{ nm}$ 、 $L = 100 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $x = 0.3 \text{ mm}$ 、 $H = 5 \text{ mm}$ 、 $m_0 = 55$ 対、 $d = 3.9 \text{ }\mu\text{m}$ および $(1 - \quad) d = 5.6 \text{ }\mu\text{m}$ とした。図7(a)では、 $Q = 10 \text{ mW/cm}^2$ となるように、 $K_{\text{air}'}$ を最適化し、 $687.1 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ とした。図7(b)では、実際に作製しやすい $K_{\text{air}'}$ を用いた場合で、 $K_{\text{air}'} = 1000 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ とした。基部22aおよび22bの実装面積 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。

【0051】

図7(a)および図7(b)に示すように、出力電圧 V_{out} が 1 V のとき出力電力 P_{out} はピークとなるように、 $D \times D = 1 \text{ cm}^2$ のモジュールを適宜、直列および/または並列に接続している。モジュールをリストバンド状に実装した場合、面積 S が 100 cm^2 のとき、 1 mW 程度から 2 mW 程度の出力電力 P_{out} を得ることができる。この値は、ヘルスケアデバイスまたはウェアラブルデバイスに十分応用化可能である。

【0052】

実施例1によれば、熱電変換ユニット30は、基部22a(第2基部)の領域35(第1領域)と基部22b(第1基部)との間に設けられ、基部22aおよび22bに熱的に接続されている。支持体34は、基部22aの領域36(第2領域)と基部22bとの間に設けられている。熱絶縁体32は、基部22aの領域36と基部22bとの間に設けられている。

【0053】

熱電変換ユニット30は基部22aと22bとの間隔 H_0 が小さい領域35に設けられ、支持体34は基部22aと22bとの間隔 H が大きい領域36に設けられている。これにより、基部22aから22bに至る熱流は主に熱電変換ユニット30を伝導する。これにより、熱電変換ユニット30に加わる温度差を大きくできる。よって、比較例1に比べ、出力電力 P_{out} を大きくできる。

【0054】

基部22aの上面に凸部が設けられている例を説明したが、基部22bの下面に凸部が設けられていてもよい。また、基部22aおよび22bの少なくとも一方に凹部が設けられていてもよい。基部22aの上面および22bの下面の両方に凸部が設けられていてもよい。

【0055】

熱電層12a、12b、基部22a、22bおよび支持体34の熱伝導率より小さい熱伝導率を有することが好ましい。例えば、熱絶縁体32は、大気圧より低い圧力を有する気体または真空を含む。これにより、熱絶縁体32の熱伝導率を低くできる。しかし、気体または真空を保持するため、支持体34を気体または真空を囲むように設けることになる。このため、支持体34のXY平面における断面積が大きくなってしまふ。そこで、領域36における間隔 H を領域35における間隔 H_0 より大きくする。これにより、支持体34を伝導する熱流を小さくできる。よって、出力電力を大きくできる。熱絶縁体32は固体でもよい。

【0056】

熱電変換ユニット30は、基部22aに熱的に接続された接続層14a(第1接続層)

と、基部 2 2 b に熱的に接続された接続層 1 4 b (第 2 接続層) と、接続層 1 4 a と 1 4 b との間に電氣的に接続された熱電層 1 2 a (第 1 熱電層) および熱電層 1 2 b (第 2 熱電層) と、を有する。複数の熱電層 1 2 a は、複数の接続層 1 4 a のうち 1 つの接続層 1 4 a と複数の接続層 1 4 b のうち 1 つの接続層 1 4 b との間に電氣的に各々接続されている。複数の熱電層 1 2 b は、熱電層 1 2 a を挟む接続層 1 4 a と、複数の接続層 1 4 b のうち熱電層 1 2 a を挟む接続層 1 4 b の隣の接続層 1 4 b との間に電氣的に各々接続され、熱電層 1 2 a と反対の導電型を有する。複数の熱電層 1 2 a と複数の熱電層 1 2 b とは、複数の接続層 1 4 a と複数の接続層 1 4 b とを交互に介して直列に接続されている。これにより、熱電変換ユニット 3 0 は、基部 2 2 a と 2 2 b との間の温度差により発電できる。

10

【 0 0 5 7 】

図 2 (a) および図 2 (b) のように、熱電変換ユニット 3 0 は、X 方向および Y 方向における熱電層 1 2 a と 1 2 b との間および接続層 1 4 a と 1 4 b との間に設けられた絶縁層 1 8 (内部熱絶縁体) を有している。このように、熱電変換ユニット 3 0 内の熱電層 1 2 a、1 2 b、接続層 1 4 a および 1 4 b 以外を絶縁層とする。このように、絶縁層 1 8 を設けることで、モジュールの作製が容易となる。しかし、絶縁層 1 8 を設けると、ゼーベック素子の形成領域 (領域 3 5) の熱抵抗を減少させる。また、真空封じ等に用いる支持体 3 4 によってもモジュールの熱抵抗は減少する。絶縁層 1 8 および熱絶縁体 3 2 を熱抵抗の高い熱絶縁体とし、x および H を適切に選択することで、高い出力電力を得ることができる。例えば絶縁層 1 8 を大気圧より低い気体または真空とすることにより、特に高い出力電力を得ることができる。絶縁層 1 8 が気体または真空を含む場合、支持体 3 4 は、絶縁層 1 8 の気体または真空を保持してもよい。

20

【 0 0 5 8 】

支持体 3 4 を伝導する熱流を小さくするため、平面視における支持体 3 4 の面積は熱絶縁体 3 2 の面積より小さいことが好ましい。支持体 3 4 の面積は、熱絶縁体 3 2 の面積の $1 / 10$ 以下が好ましく、 $1 / 100$ 以下がより好ましい。

【 0 0 5 9 】

支持体 3 4 を伝導する熱流を小さくするため、基部 2 2 b と基部 2 2 a の領域 3 6 との間隔 H は、基部 2 2 b と基部 2 2 a の領域 3 5 との間隔 H_0 の 10 倍以上が好ましく、 100 倍以上がより好ましく、 1000 倍以上がさらに好ましい。

30

【 0 0 6 0 】

温度差 T を適切にするため、平面視における熱電変換ユニット 3 0 の面積は基部 2 2 a および 2 2 b の面積の $1 / 10$ 以下が好ましく、 $1 / 100$ 以下がより好ましい。また、領域 3 5 の面積は、基部 2 2 a および 2 2 b の面積の $1 / 10$ 以下が好ましく、 $1 / 100$ 以下がより好ましい。

【 0 0 6 1 】

基部 2 2 a は恒温動物の生体の表面に熱的に接続され、基部 2 2 b は空気に熱的に接続される。このように、恒温動物の体温と大気との温度差を用いて発電する場合、温度差が 10 K 程度と小さい。よって、実施例 1 の熱電変換装置 1 0 0 を用いることで、熱電変換装置 1 0 0 の出力電力を大きくできる。熱電変換装置 1 0 0 は他の温度差を用い発電してもよい。

40

【 実施例 2 】

【 0 0 6 2 】

実施例 2 は、熱電変換ユニットが実施例 1 と異なる例である。図 8 (a) は、実施例 2 に係る熱電変換装置の平面図、図 8 (b) は、図 8 (a) の A - A 断面図である。図 8 (a) および図 8 (b) に示すように、熱電変換装置 1 0 2 では、熱電変換ユニット 3 0 は複数のブロック 3 1 a から 3 1 c を有している。各ブロック 3 1 では、複数の熱電層 1 2 a および 1 2 b が交互に X 方向に配列されている。複数のブロック 3 1 a から 3 1 c は Y 方向に配列されている。電極 2 4 c はブロック 3 1 a と 3 1 b とを接続し、電極 2 4 d はブロック 3 1 b と 3 1 c とを接続する。これにより、ゼーベック素子 1 0 は電極 2 4 a と

50

24bとの間に直列に接続される。その他の構成は実施例1の図1(a)および図1(b)と同じであり、説明を省略する。なお、ブロック31は、直線状に配置されていてもよいし、その他の形状で配置されていてもよい。

【0063】

図9(a)は、実施例2においてシミュレーションに用いた熱電変換ユニットの平面図、図9(b)は、図9(a)のA-A断面図である。図9(a)および図9(b)に示すように、シミュレーションでは、 $D \times D$ の基部22aおよび22bのX方向にY方向の幅がLの熱電変換ユニット30が設けられているとした。

【0064】

熱電変換装置102において、平面視において熱電層12aおよび熱電層12bは短冊状である。熱電層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。熱電層12aおよび12bはY方向に交互に配置されており、X方向に延伸していてもよい。熱電層12aおよび12bは例えばそれぞれn型およびp型である。隣接する熱電層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。一对の熱電層12aと12bとで1つのゼーベック素子10を形成する。

10

【0065】

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。

20

【0066】

微細加工技術および薄膜形成技術を用い熱電変換装置を作製するためには、熱電層12aおよび12bの膜厚は数 $10 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは数 μm 以下である。このように、熱電層12aおよび12bが薄いとき、実施例2では実施例1に比べ出力電力 P_{out} を大きくできる理由を説明する。

【0067】

図10(a)および図10(b)は、それぞれ実施例1および実施例2に係る熱電変換装置の断面模式図である。図10(a)および図10(b)に示すように、実施例1および実施例2とも温度差 T の方向はZ方向である。実施例1では、熱電層12aおよび12b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2では、熱電層12aおよび12b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。

30

【0068】

実施例1では、図10(a)のように、熱電層12aおよび12bの薄膜化のため熱電層12aおよび12bの膜厚 t_0 を小さくすると熱電層12aおよび12bの熱抵抗Kが小さくなる。これにより、熱電層12aおよび12bの各々の両端間の温度差 T が小さくなってしまふ。これにより出力電力 P_{out} が小さくなる。

【0069】

実施例2では、図10(b)のように、熱電層12aおよび12bの薄膜化のため熱電層12aおよび12bの膜厚 t_0 を小さくすると熱電層12aおよび12bの熱抵抗Kが大きくなる。これにより、熱電変換装置全体に生じる温度差 T は大きくなる。熱電層12aおよび12bの各々の両端間の温度差 T と温度差 T とを同じにできる。膜厚 t_0 を小さくすると、接続層14aおよび14bの電気抵抗が高くなる。接続層14aおよび14bのY方向の長さLを大きくすることで、接続層14aおよび14b並びに熱電層12aおよび12bの電気抵抗を低くできる。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。このように、実施例2では実施例1に比べ、熱電層12aおよび12bの膜厚 t_0 を小さくできる。

40

【0070】

[実施例2のシミュレーション]

50

シミュレーションでは、簡略化のため、図9(a)および図9(b)に示すように、熱電変換ユニット30は1列で、X方向の幅をDとした。熱電層12aおよび12bはY方向に延びる短冊状であり、Y方向の長さをLとした。なお、実際の熱電変換装置では、図8(a)のように、熱電変換ユニット30を複数のブロック31aから31cに分割することができる。また、熱電変換ユニット30をX方向およびY方向に斜めに配置することができる。このように、熱電変換ユニット30の平面形状は任意に設計できる。

【0071】

以下のように構造パラメータを定義した。

D：基部22aおよび22bのX方向およびY方向の幅、熱電変換ユニットのX方向の幅

H：実施例2の領域36における基部22aと22bとの間隔

H₀：実施例2の領域35における基部22aと22bとの間隔

x：支持体34のX方向およびY方向の幅

L：熱電変換ユニットのY方向の幅

d：熱電層12aおよび12bのX方向のピッチ

(1 -)d：トレードオフパラメータ、熱電変換ユニット30のうち熱電層12aおよび12bが占める幅がdとなるパラメータ

d：熱電層12aおよび12bのX方向の幅

(1 -)d：熱電層12aと12bとのX方向の間隔

t₀：熱電層12aおよび12bのZ方向の高さ

t_c：絶縁層18aおよび18bのZ方向の高さ

m₀：熱電層12aおよび12bの対数（すなわちゼーベック素子10の個数）

P_{out}：熱電変換装置の出力電力

【0072】

各材料および寸法のシミュレーション条件は以下とした。

熱伝導層16a, 16b：Cu

t₀：500nm

K_{air}：各シミュレーションにより異なる。詳細は後述する。

その他のシミュレーションの方法およびパラメータは実施例1のシミュレーションと同じである。

【0073】

比較例3として、熱電変換ユニット30は実施例2と同様であり、図3(a)および図3(b)のようにH = H₀の構造の熱電変換装置について、方法1を用い構造パラメータを最適化した。最適化されたパラメータは、L = 30 μm、m₀ = 480対、d = 10 μmおよび(1 -)d = 250 nmである。

【0074】

図11は、比較例3におけるxに対するP_{out}およびK_Mを示す図である。図11に示すように、xが大きくなると熱抵抗K_Mが急激に低下し、出力電力P_{out}が急激に低下する。xが100 μm以上ではP_{out}はほぼ0となる。

【0075】

実施例2について、方法1を用いxおよびHを変化させP_{out}およびK_Mをシミュレーションした。すなわち、各パラメータを比較例2において最適化したL = 30 μm、m₀ = 480対、d = 10 μmおよび(1 -)d = 250 nmとした。

【0076】

図12(a)および図12(b)は、実施例2におけるそれぞれxおよびHに対するP_{out}およびK_Mを示す図である。図12(a)では、H = 5 mmとし、図12(b)では、x = 0.5 mmとした。K_{air}については最適化した値を用いた。図12(a)に示すように、xが100 μm以下ではP_{out}はほぼ一定である。図12(b)に示すように、Hが1 mmではP_{out}は約5 μWである。Hが3 mmではP_{out}は約10 μWである。

【0077】

10

20

30

40

50

図13(a)および図13(b)は、実施例2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。 $t_0 = 500\text{ nm}$ 、 $L = 30\text{ }\mu\text{m}$ 、 $x = 0.5\text{ mm}$ 、 $H = 5\text{ mm}$ 、 $m_0 = 480$ 対、 $d = 10\text{ }\mu\text{m}$ および $(1 -)d = 250\text{ nm}$ とした。図13(a)および図13(b)は、 K_{air} をそれぞれ、 $717\text{ cm}^2\text{ K/W}$ および $1000\text{ cm}^2\text{ K/W}$ とした。基部22aおよび22bの面積 $S = D \times D = 1\text{ cm}^2$ のモジュールを複数直列および/または並列に接続して、実装面積 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。

【0078】

図13(a)および図13(b)に示すように、出力電圧 V_{out} が1Vのとき出力電力 P_{out} はピークとなる。実施例2では、熱電層12aおよび12bの膜厚($t_0 = 500\text{ nm}$)が、実施例1の膜厚($t_0 = 1000\text{ nm}$)より薄くても、実装面積 S が 100 cm^2 程度で、実施例1と同様の1mW程度から2mW程度の出力電力 P_{out} を得ることができる。

10

【0079】

実施例2によれば、複数の熱電層12aおよび複数の熱電層12bはX方向(平面方向に平行な第1方向)に交互に設けられている。複数の接続層14aおよび複数の接続層14bは、複数の熱電層12aおよび複数の接続層14bの間に交互設けられている。複数の熱伝導層16a(第1熱伝導層)はZ方向(第1方向に交差する方向)に延伸し複数の接続層14aと基部22aとをそれぞれ熱的に接続する。複数の熱伝導層16b(第2熱伝導層)はZ方向に延伸し複数の接続層14bと基部22bとをそれぞれ熱的に接続する。熱電変換ユニット30をこのような構造とすることで、図10(a)および図10(b)において説明したように、熱電層12aおよび12bを薄膜化できる。これにより、微細加工技術および薄膜形成技術を用いた熱電変換装置の製造が容易となる。

20

【0080】

図9(a)および図9(b)のように、熱電変換ユニット30は、X方向における熱電層12a、12b、接続層14aおよび14bと基部22aおよび22bとの間、並びに複数の熱伝導層16aと16bとの間に設けられた絶縁層18aおよび18b(内部熱絶縁体)を有する。このように、熱電変換ユニット30内の熱電層12a、12b、接続層14a、14b、熱伝導層16aおよび16b以外を絶縁層18aおよび18bとする。これにより、 x および H を適切に選択することで、高い出力電力を得ることができる。絶縁層18aおよび18bは大気圧より低い気体または真空を含むことが好ましい。この場合、支持体34は、絶縁層18aおよび18bの気体または真空を保持してもよい。図8(a)のようにブロック31aから31cが配列している場合、ブロック31aから31cの間にも絶縁層18aおよび18bを設けることが好ましい。

30

【0081】

熱電層12aおよび12bは、Y方向に延伸することが好ましい。これにより、熱電層12aおよび12bのX方向の電気抵抗を小さくできる。実施例1と同様に、絶縁層18aおよび18bにより、高い出力電力を得ることができる。

【実施例3】

【0082】

図14(a)から図14(d)は、実施例3に係る熱電変換装置の平面図である。図14(a)に示すように、実施例1および実施例2の $D \times D$ のユニットを複数配置してもよい。図14(b)に示すように、隣り合う支持体34を共通にしてもよい。図14(c)に示すように、複数の熱電変換ユニット30を囲む1つの支持体34aを設けてもよい。支持体34a以外に基部22aと22bとを支持する支柱状の支持体34bを設けてもよい。支柱状の支持体34bは設けられていなくてもよいし、1または複数設けられていてもよい。図14(d)に示すように、熱絶縁体32が大気または固体の場合、熱絶縁体32を囲む支持体を設けず、支柱状の支持体34bを1または複数設けてもよい。その他の構造は実施例1および2と同じである。

40

【0083】

50

実施例 3 によれば、基部 2 2 a と 2 2 b との間に熱絶縁体 3 2 を介し互いに離間した複数の熱電変換ユニット 3 0 を備える。複数の熱電変換ユニット 3 0 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。複数の熱電変換ユニット 3 0 を Z 方向に積層させてもよい。

【実施例 4】

【0084】

図 1 5 (a) および図 1 5 (b) は、実施例 4 に係る熱電変換装置の断面図である。図 1 5 (a) に示すように、基部 2 2 a および基部 2 2 b の熱電変換ユニット 3 0 と接する面にシート 4 0 a および 4 0 b が設けられている。シート 4 0 a および 4 0 b は、基部 2 2 a および 2 2 b より熱伝導率の高い材料であり、例えばグラフィートシートである。基部 2 2 b の空気と接する面に放熱用の層 4 2 が設けられている。層 4 2 は、例えばアルマイト加工した層であり、表面が微細なフィン構造となってもよい。図 1 5 (b) に示すように、基部 2 2 b の空気と接する面に層 4 2 の代わりにフィン構造を有する放熱部 4 3 が設けられている。その他の構造は実施例 1 および 2 と同じであり説明を省略する。

10

【0085】

実施例 3 のように、基部 2 2 a および 2 2 b の少なくとも一方の熱電変換ユニット 3 0 が接する面に放熱用のシートを設けてもよい。これにより、XY 平面内の熱伝導が大きくなる。また、基部 2 2 b の空気と接する面に、放熱用の凹凸を設けてもよい。

【0086】

[実施例 4 の変形例 1]

図 1 6 (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 1 6 (b) は、図 1 6 (a) の A - A 断面図である。図 1 6 (b) は、熱電変換ユニット 3 0 および基部 2 2 a および 2 2 b 内のマイクロヒートパイプ 4 6 を図示している。

20

【0087】

図 1 6 (a) および図 1 6 (b) に示すように、基部 2 2 a および 2 2 b 内に複数のマイクロヒートパイプ 4 6 が設けられている。マイクロヒートパイプ 4 6 は、熱電変換ユニット 3 0 を中心に放射状に設けられている。マイクロヒートパイプ 4 6 を設けることで、XY 平面内の熱伝導を大きくできる。マイクロヒートパイプ 4 6 は、基部 2 2 a および 2 2 b の少なくとも一方に設けられていればよい。

【0088】

実施例 1 から 4 およびその変形例の熱電変換装置として、発電装置を例に説明したがペルチェ素子のように温度制御装置でもよい。

30

【0089】

以上、本発明の好ましい実施例について詳述したが、本発明に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。

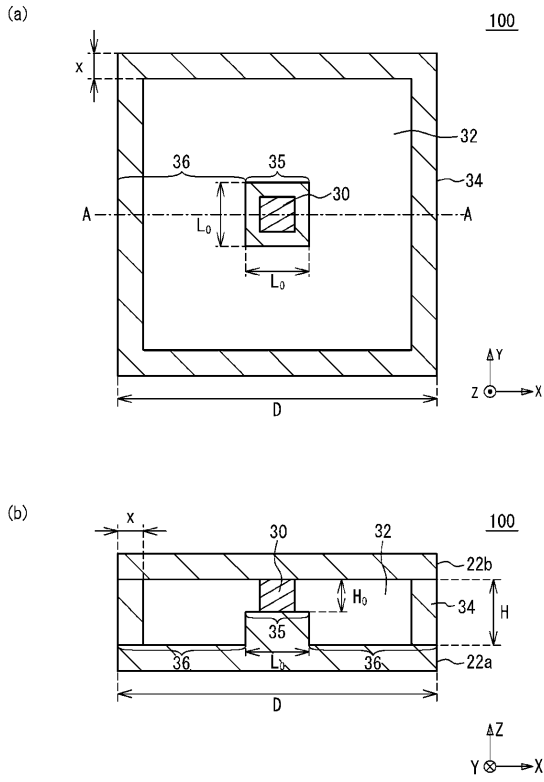
【符号の説明】

【0090】

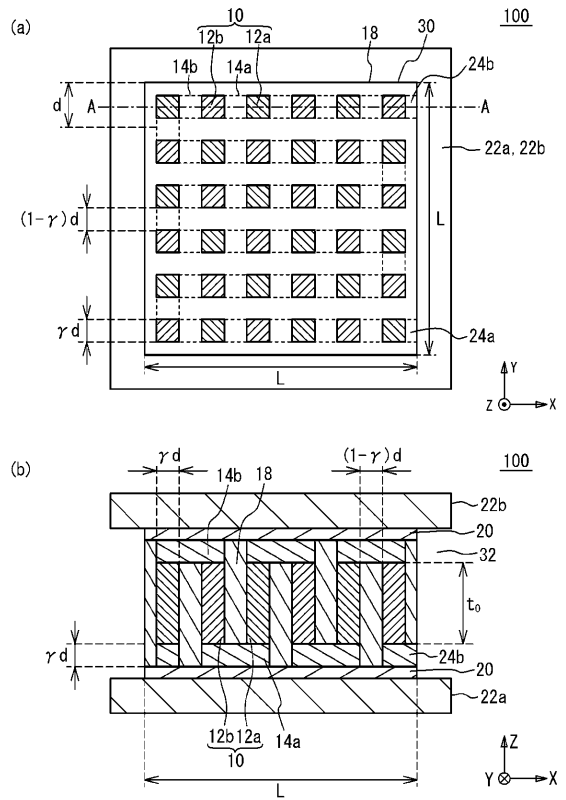
- 1 0 ゼーベック素子
- 1 2 a、1 2 b 熱電層
- 1 4 a、1 4 b 接続層
- 1 6 a、1 6 b 熱伝導層
- 1 8、1 8 a、1 8 b 絶縁層
- 2 0 絶縁膜
- 2 2 a、2 2 b 基部
- 2 4 a - 2 4 d 電極
- 3 0 熱電変換ユニット
- 3 2 熱絶縁体
- 3 4 支持体

40

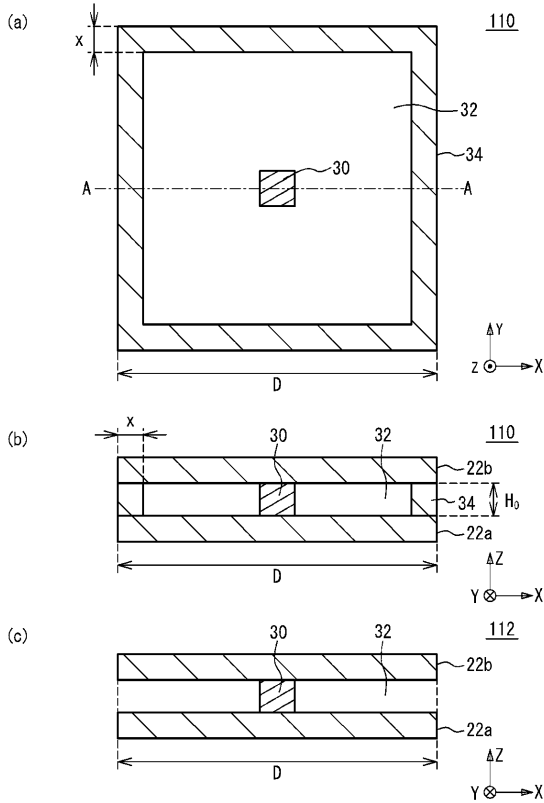
【 図 1 】



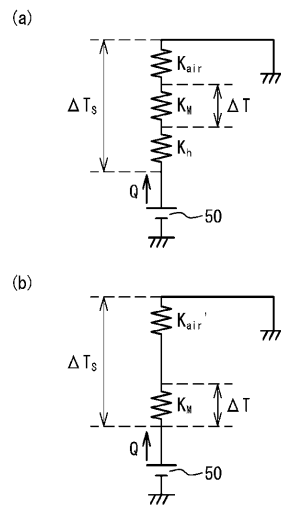
【 図 2 】



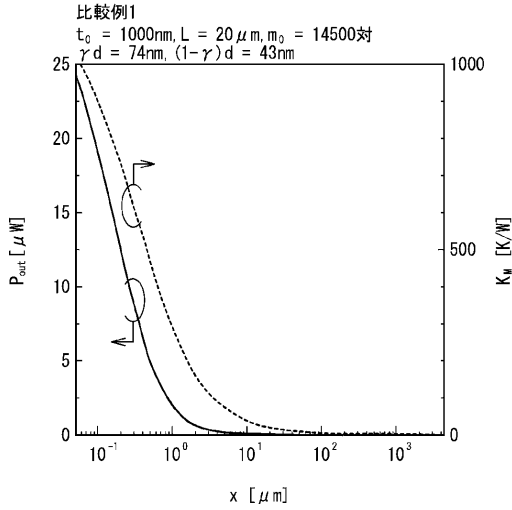
【 図 3 】



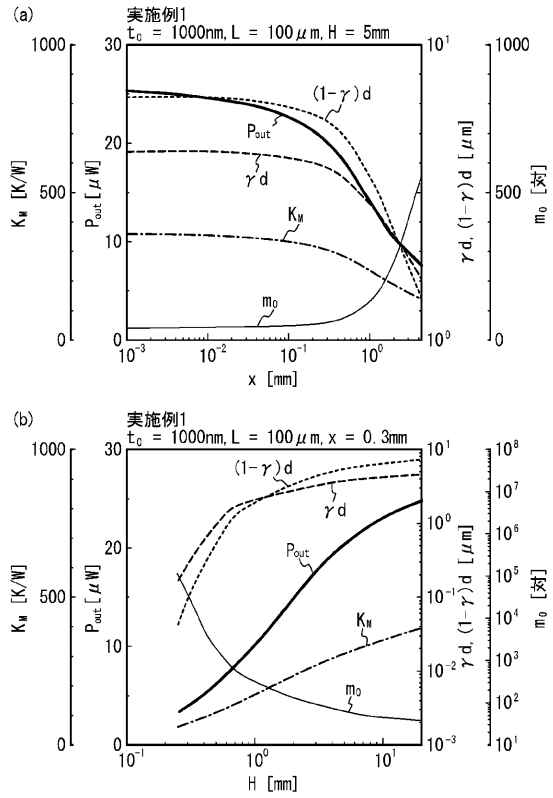
【 図 4 】



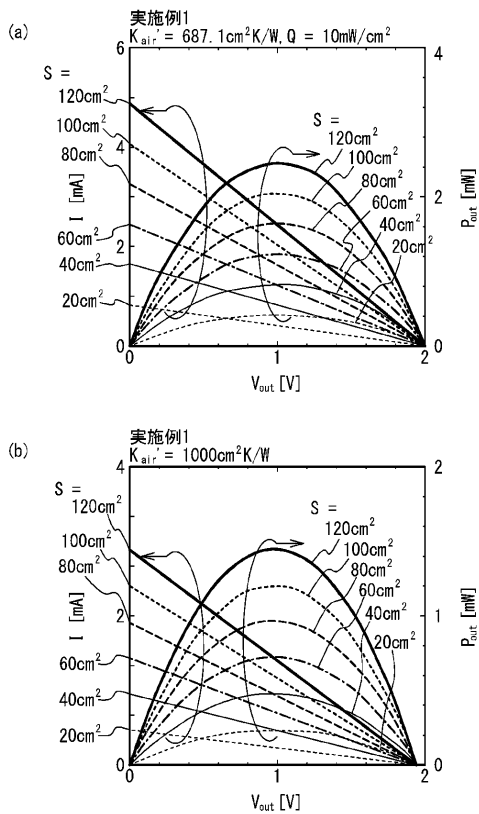
【 図 5 】



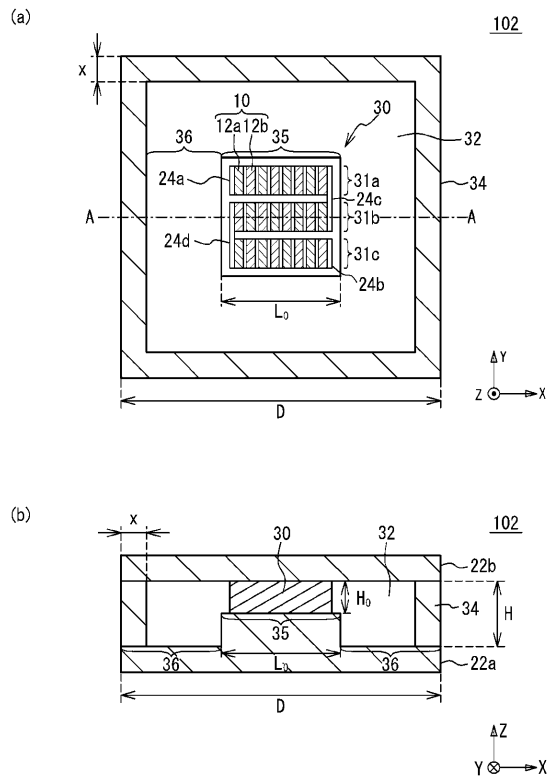
【 図 6 】



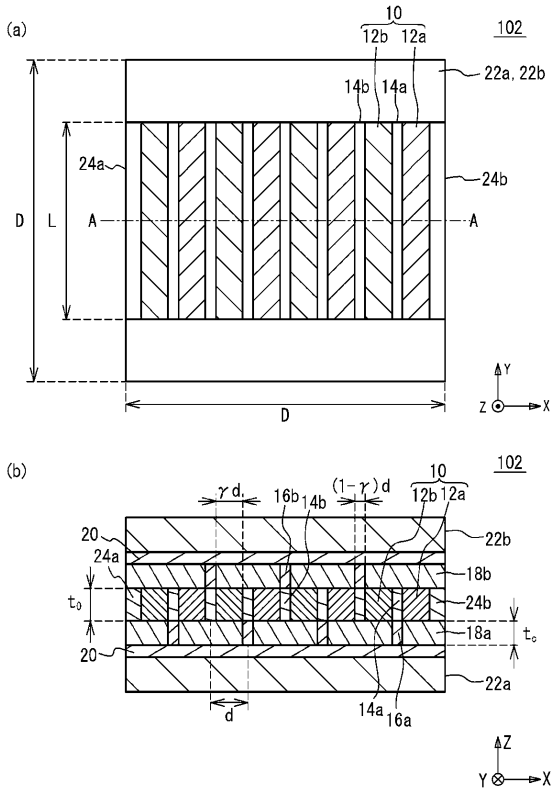
【 図 7 】



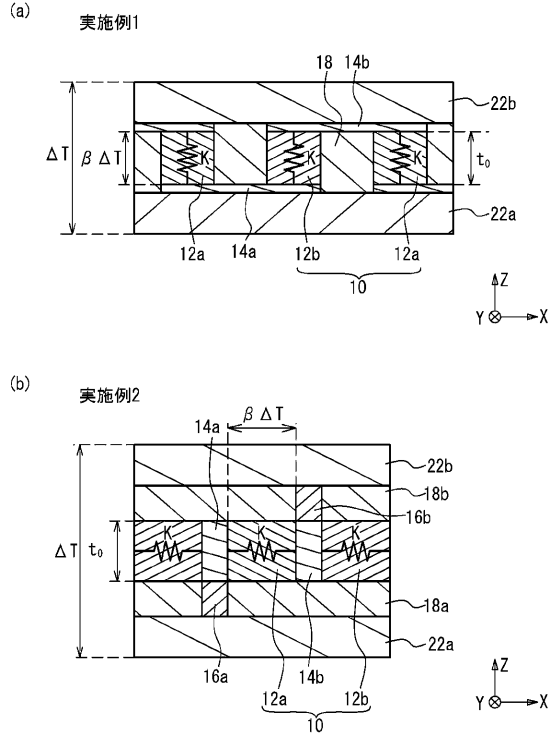
【 図 8 】



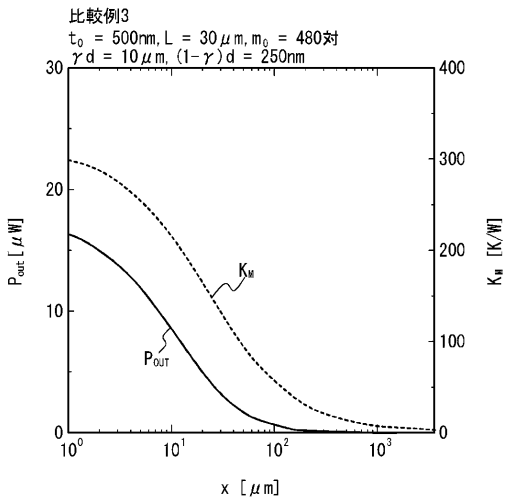
【 図 9 】



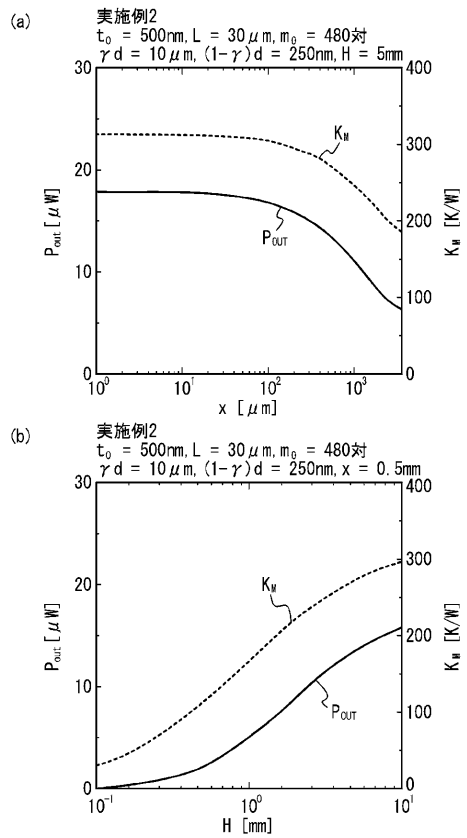
【 図 1 0 】



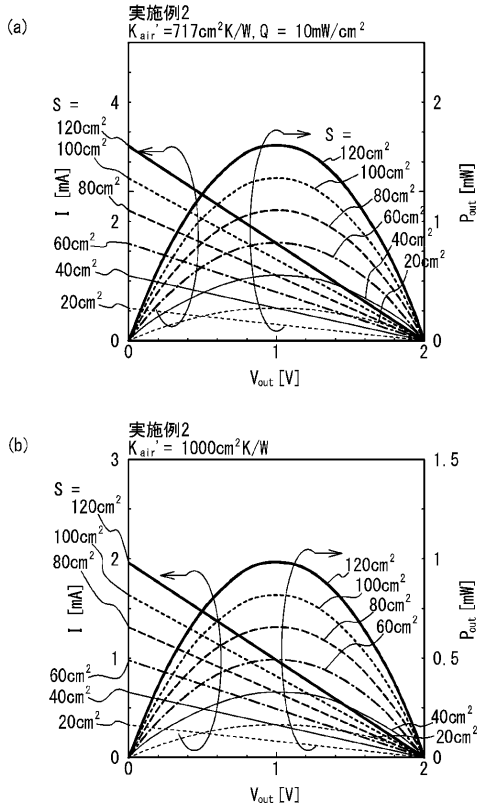
【 図 1 1 】



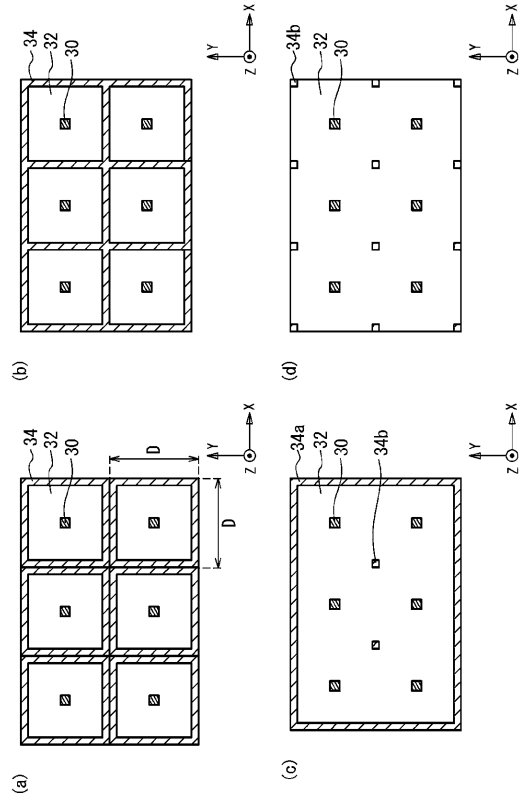
【 図 1 2 】



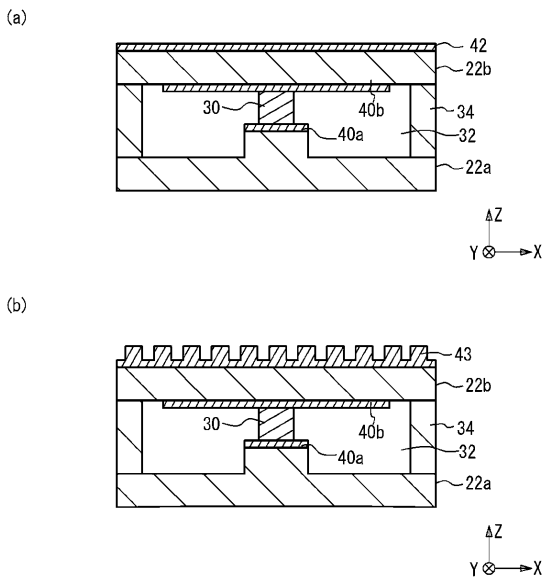
【 図 1 3 】



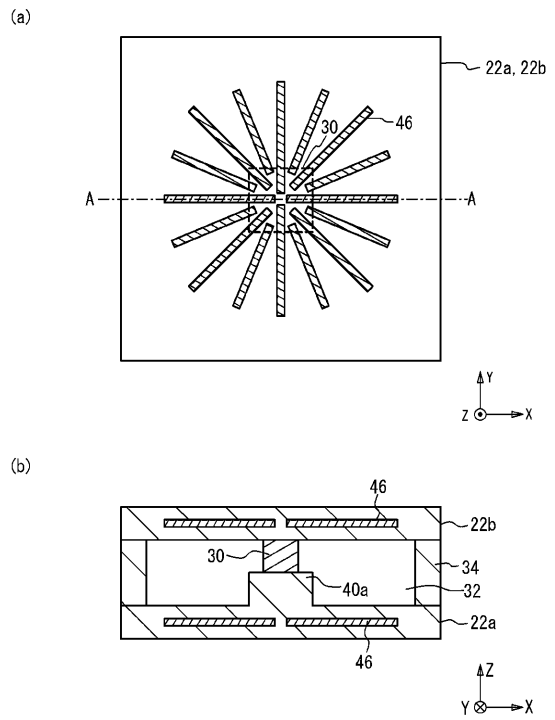
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

審査官 西出 隆二

(56)参考文献 特開2003-318452(JP,A)
特開2014-135455(JP,A)
特開2016-187008(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 35/32
H01L 35/30
H02N 11/00