

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4829552号
(P4829552)

(45) 発行日 平成23年12月7日 (2011. 12. 7)

(24) 登録日 平成23年9月22日 (2011. 9. 22)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 35/30 (2006. 01)	HO 1 L 35/30
HO 1 L 35/34 (2006. 01)	HO 1 L 35/34
HO 2 N 11/00 (2006. 01)	HO 2 N 11/00 A

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2005-197362 (P2005-197362)	(73) 特許権者	000173809
(22) 出願日	平成17年7月6日 (2005. 7. 6)		財団法人電力中央研究所
(65) 公開番号	特開2006-49872 (P2006-49872A)		東京都千代田区大手町 1 丁目 6 番 1 号
(43) 公開日	平成18年2月16日 (2006. 2. 16)	(74) 代理人	100087468
審査請求日	平成20年7月2日 (2008. 7. 2)		弁理士 村瀬 一美
(31) 優先権主張番号	特願2004-198968 (P2004-198968)	(72) 発明者	神戸 満
(32) 優先日	平成16年7月6日 (2004. 7. 6)		東京都狛江市岩戸北 2 - 1 1 - 1 財団法
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		人電力中央研究所 原子力技術研究所内
		(72) 発明者	四方 英雄
			千葉県松戸市稔台 5 2 0 番地 日立粉末冶
			金株式会社内
		審査官	酒井 朋広

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱電変換モジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも一対の熱電半導体と、前記熱電半導体の高温熱源側の面に設置され前記熱電半導体を電氣的に直列に接続する熱源側電極部と、前記熱電半導体の低温熱源側の面に設置され前記熱電半導体を電氣的に直列に接続する放熱側電極部と、前記熱源側電極部を覆い高温熱源から熱を受ける加熱板と、前記放熱側電極部を覆い低温熱源へ熱を伝える冷却板と、少なくとも前記熱源側電極部と前記加熱板との間に介在される熱伝導性を有する滑り材と、前記加熱板と前記冷却板とを連結板で連結することによって該連結板で前記加熱板と前記冷却板の全周側面を覆って前記加熱板と前記冷却板との間の空間を密閉する気密構造とされた容器とを備え、前記容器内の圧力を当該容器の外の圧力よりも低いものとして 10
運転時に 0 . 4 気圧以上の差圧が得られる減圧雰囲気又は真空とし、前記差圧により得られる加圧力により、前記滑り材が前記熱源側電極部に押圧されて前記熱源側電極部と一体に保持され、且つ前記滑り材が前記加圧状態において前記熱源側電極部または前記加熱板との間の相対的摺動を許容する熱電変換モジュール。

【請求項 2】

前記滑り材は低摩擦係数のシート材である請求項 1 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 3】

前記シート材は電気絶縁性の高分子シートであることを特徴とする請求項 2 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 4】

前記シート材はカーボンシートであり、前記電極部と前記シート材との間に電気絶縁材あるいは電気絶縁層が介在している請求項 2 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 5】

前記滑り材としてグリースを用いるものである請求項 1 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 6】

前記容器内を不活性雰囲気または還元雰囲気で満たしたものである請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の熱電変換モジュール。

【請求項 7】

前記容器は前記連結板部分に前記加熱板と前記冷却板との間隔を伸縮可能とするベローズを備え、前記加圧力により前記ベローズを変形させて前記加熱板と前記熱源側電極部とを前記滑り材を介して密着させるものである請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の熱電変換モジュール。

10

【請求項 8】

前記加熱板の前記高温側熱源に向かう面の放射率に比べ、前記連結板の面の放射率を小さくしたものである請求項 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の熱電変換モジュール。

【請求項 9】

熱電変換モジュールの使用温度下で液状を呈する低融点材料と、この低融点材料を封入し且つ液状の前記低融点材料の変形を許容する柔軟性を備えるシェルとを有する伝熱用クッションを、前記加熱板とこれに接触する高温熱源との間または前記冷却板とこれに接触する低温熱源との間の少なくとも一方に備えるものである請求項 1 から 8 のいずれか 1 つに記載の熱電変換モジュール。

20

【請求項 10】

前記伝熱用クッションと前記加熱板あるいは前記冷却板の間には熱伝導性を有する低摩擦係数のシート材からなる第 2 の滑り材が介在されている請求項 9 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 11】

前記熱源側電極部が電極層と電気絶縁層を有する傾斜機能材料で構成され、かつ前記滑り材がカーボンシートである請求項 1 記載の熱電変換モジュール。

【請求項 12】

前記熱源側電極部と前記カーボンシートとの間にさらにマイカシートを介在させたものである請求項 11 記載の熱電変換モジュール。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば各種産業機器および自動車などの廃熱を熱源とする熱電変換システムに用いられる熱電変換モジュールに関する。さらに詳述すると、本発明は、熱電変換モジュールを大型化するための技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の熱電変換モジュールは、図 16 に示すように、複数対の熱電半導体 101 の上下面に電極 102 を備えることで電気回路を構成し、さらにそれぞれの電極の外側に電気絶縁性を備える板 103 例えばセラミックス板あるいは電気絶縁膜を有する金属板などを備える構造が一般的である。これら複数対の熱電半導体 101 と電極 102 を 2 枚の板 103 で挟み付けるようにして接着剤やろう材等の接合材で結合することによって熱電変換モジュールが組み立てられる。別の形式としては、図 17 に示すように、熱電半導体 101 の電極 102 の一方若しくは双方を、電極層と電気絶縁層を有する傾斜機能材料から成るコンプライアント・パッド（FGMコンプライアント・パッド、特許文献 1，特許文献 2 参照）104 に置換し、さらにその外側に、セラミックスなどの電気絶縁性または金属などの導電性の板 103 を備える構造もある。

40

【0003】

50

更に、熱電変換モジュールは、熱電半導体 101 と電極 102 または FGM コンプライアント・パッド 104 のみで電気回路を構成できるため、熱電半導体 101 を挟み付ける板 103 は発電上は必ずしも無くても良い。そこで、片面または両面の板 103 が無い構造の熱電変換モジュールも存在する。このように片面または両面の板 103 が無い構造は、内部が見えることからスケルトン型と呼ばれている。

【0004】

【特許文献 1】特許第 3056047 号

【特許文献 2】特許第 3482094 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

しかしながら、スケルトン型の熱電変換モジュールは、電極 102 または FGM コンプライアント・パッド 104 のみで熱電半導体 101 を互いに結合するため、強度が弱く壊れやすい欠点がある。特に、両面に板 103 を備えないスケルトン構造は、組み立てが難しく、手作業での組み立てはできるにせよ、工業的な量産には適さない。以上の理由から、量産規模の従来の熱電変換モジュールは、両面に板 103 を備える図 16 並びに図 17 に示すような構造が一般的となっている。

【0006】

ところが、図 16 並びに図 17 に示すような熱電変換モジュールの構造では、大型化が難しく、平面寸法が 4 cm 角程度のものが一般的で、大きなものでも 7 cm 角程度である。これ以上の大型化を実現できない理由は、熱電変換モジュールに負荷される温度差に起因する熱応力が、上記温度差と熱電変換モジュールの寸法の積にほぼ比例するためである。即ち、熱電半導体を挟み付ける板、中でも高温熱源側に配置される加熱面側の板 103a が熱膨張するために、この板 103a の周辺部の電極 102 または FGM コンプライアント・パッド 104 並びにこれらと接合された熱電半導体 101 の加熱面側は、板 103a の膨張に伴って同方向に移動する。しかし低温熱源側に配置される冷却面側の板 103b は熱膨張しないため、熱電半導体 101 およびその上下の電極 102 または FGM コンプライアント・パッド 104 には、せん断応力が作用し、脆弱な熱電半導体 101 を破壊したり、各部材間の接合面で剥離を生じる恐れがある。この問題は特に自動車や産業廃熱などを想定した使用温度 500 以上の高温用熱電変換モジュールにおいて重大である。例えば 4 cm 角のモジュールの加熱面側の板 103a として銅またはステンレス鋼を採用している場合において 500 に加熱すると、端部の変位量（板の中心から計った相対変位量）は 0.16 mm 程度となる。上記板 103a がセラミックスの場合は、上記変位量は 0.07 mm 程度となる。この加熱板 103a の熱膨張に起因するせん断力の発生は、加熱板 103a の大型化に伴い無視できない問題となり、モジュールの大型化を妨げる要因となる。

20

30

【0007】

一方、複数の熱電変換モジュールを備えた熱電変換システムにおいて単位面積当たりの出力を上げるには、熱電半導体 101 の充填密度を上げる必要がある。従来の熱電変換システムでは、充填密度は 50 % 程度である。これ以上充填密度を上げられない理由としては、（１）熱電半導体 101 が互いに接触して短絡しないように適度な隙間が必要であること、（２）熱電変換モジュールの周囲およびリード線の取り付け部には熱電半導体 101 を置けない場所があること、（３）隣接する熱電変換モジュールが互いに干渉しないように熱電変換モジュール間に適切な隙間が必要であること、が挙げられる。上記のうち、熱電変換モジュールが小さいほど（２）および（３）の影響が相対的に大きくなる。従って、充填密度を上げるには、できるだけ熱電変換モジュールを大型化することが望ましい。しかし、その場合は上記に述べたように、大型化にともなう別の問題が生じてしまう。また、熱抵抗を低減させることが熱電変換効率を向上させる上で要求されるが、熱電モジュールの構成要素を密着させるために加熱板と冷却板との間で熱電半導体を強力に挟みつけると、脆弱な熱電半導体が圧潰する虞があるので、熱抵抗を低減させることが難しかっ

40

50

た。

【 0 0 0 8 】

また、熱電変換モジュールの設置される雰囲気が、高温の空気中など酸化雰囲気であったり、ゴミ焼却炉の燃焼ガスのような腐食性雰囲気である場合、熱電半導体や電極部分が外気に晒される構造の熱電変換モジュールでは酸化または腐食の恐れが伴う。したがって、従来の熱電変換モジュールは、このような雰囲気下に剥き出しにして設置できないため、上記高温ガスをダクトや仕切壁で隔離して、間接的に熱電変換モジュールを加熱する方法が一般的である。しかし、このようなシステムは、ダクトや仕切壁などの構造物が新たに必要になるばかりか、間接加熱のために熱電半導体に加わる温度差が減少する分だけ熱電変換モジュールの発電性能が低下する欠点がある。

10

【 0 0 0 9 】

そこで本発明は、健全性を備えた大型モジュールを実現し、熱電半導体の実質的な充填密度を向上させ、出力密度を増大できる熱電変換モジュールを提供することを目的とする。更に本発明は、強度を向上でき、いかなる雰囲気下でも使用できる熱電変換モジュール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】

【 0 0 1 0 】

かかる目的を達成するため、本発明の熱電変換モジュールは、少なくとも一对の熱電半導体と、前記熱電半導体の高温熱源側の面に設置され前記熱電半導体を電氣的に直列に接続する熱源側電極部と、前記熱電半導体の低温熱源側の面に設置され前記熱電半導体を電氣的に直列に接続する放熱側電極部と、前記熱源側電極部を覆い高温熱源から熱を受ける加熱板と、前記放熱側電極部を覆い低温熱源へ熱を伝える冷却板と、少なくとも前記熱源側電極部と前記加熱板との間に介在される熱伝導性を有する滑り材と、前記加熱板と前記冷却板とを連結板で連結することによって該連結板で前記加熱板と前記冷却板の全周側面を覆って前記加熱板と前記冷却板との間の空間を密閉する気密構造とされた容器とを備え、前記容器内の圧力を当該容器の外の圧力よりも低いものとして運転時に 0 . 4 気圧以上の差圧が得られる減圧雰囲気又は真空とし、前記差圧により得られる加圧力により、前記滑り材が前記熱源側電極部に押圧されて前記熱源側電極部と一体に保持され、且つ前記滑り材が前記加圧状態において前記熱源側電極部または前記加熱板との間の相対的摺動を許容するようにしている。

20

30

【 0 0 1 1 】

したがって、本発明によると、少なくとも熱源側電極部が高温熱源側の加熱板と直接接合されることなく滑り材を介在させることにより、高温熱源側の加熱板が熱膨張しても、加熱板と滑り材との間で滑りが生ずるために、熱電半導体および熱源側電極部および放熱側電極部にはせん断応力が作用しない。また、シート材が介在する界面は、熱電変換モジュールに作用する加圧力により良好に密着し、当該界面における接触熱抵抗を小さくできる。また、気密の容器に熱電変換モジュールの構成部品が密封されるので、外気の影響を受けず、容器の内部に収容された熱電変換モジュールの構成部品並びに滑り材の酸化による劣化を防止できる。加えて、熱電変換モジュールの構成部品が容器内に収容されるので、外部からの物理的衝撃や圧力・温度などの急激な変動などを緩和し、外部からの力に対する強度が高まる。さらに、滑り材が介在する加熱板と熱源側電極部との間の界面は、容器内の圧力を当該容器の外の圧力よりも低いものとして運転時にも 0 . 4 気圧以上の差圧が生じ、差圧により得られる加圧力によって、より良好に密着する。

40

【 0 0 1 4 】

ここで、滑り材は、少なくとも熱伝導性と摺動性（滑り）を備えているものである。この滑り材は電気絶縁性を備えていることが好ましい。しかし、電極部と滑り材との間に電気絶縁材あるいは電気絶縁層が介在されれば、滑り材そのものが電気絶縁性を備える必要はない。そこで、滑り材としては、熱伝導性を有する低摩擦係数のシート材あるいはグリースのような粘性物の使用が好ましい。さらに、シート材としては、カーボンシートあるいは高分子シートの使用が好ましい。カーボンシートは、摺動性に優れる上に熱伝導性並

50

びに耐熱性にも優れるのでより高い最高使用温度の熱電半導体の使用を可能とすると共に、カーボンシートが介在する界面の熱抵抗をこれが存在しない場合の $1/10$ 以下に低減することができる。特に、気密容器に収めて使用する場合には、大気中で使用する場合よりも高温まで使用することができる。また、高分子シートは、摺動性に優れると共に電気絶縁性であることから、電気絶縁層を有さない電極材および電気絶縁層を有する FGM コンプライアント・パッドのいずれにも直接接触させることができる。さら、粘性物質であるグリースを滑り材として加熱板と熱源側電極部との間に介在させる場合には、加熱板の膨張に起因するせん断応力の作用をしない。

【0015】

さらに、滑り材としてカーボンシートを用いる場合、該カーボンシートと接触する電極部には、電極層と電気絶縁層を有する傾斜機能材料で構成される電極部とすることが好ましく、さらに好ましくは熱源側電極部とカーボンシートとの間にさらにマイカシートを介在させることである。この場合には、カーボンと電極部との電気絶縁を確実なものとした上に加熱板と電極部との間での滑りを良好なものとする事ができる。

【0016】

また、滑り材として熱伝導性のグリースを用いる場合には、容器と熱源側電極部との相対的なスライド移動を可能にしてせん断応力の発生を防ぐと共に、粘性物質であるために加熱板と電極部とを隙間なく密着させて当該界面における接触熱抵抗を小さくできる。これにより熱電半導体に大きな温度差を負荷できる。しかも、気密容器に密封されているため、熱酸化によるグリースの劣化やグリースの蒸発などの問題が無くなり、グリースを長期に安定して容器と熱源側電極部との間に保持できる。

【0017】

また、本発明にかかる熱電変換モジュールの容器は連結板部分に加熱板と冷却板との間隔を伸縮可能とするペローズを備え、加熱板と冷却板との間に作用する加圧力によりペローズを変形させて加熱板と熱源側電極部とを滑り材を介して密着させるようにすることが好ましい。この場合、容器の内外での圧力差により加わる圧力によりペローズが変形して、容器の加熱側内面と容器内部の熱電変換モジュールの構成部品との密着が促進される。

【0018】

また、本発明の熱電変換モジュールは、加熱板の高温側熱源に向かう面の放射率に比べ、連結板の面の放射率を小さくすることが好ましい。この場合、放射率が大きい加熱板の高温熱源に向かう面は熱を吸収し易くなって加熱され、熱電半導体の周りを囲む連結板の面は放射率が小さく熱を吸収し難くなって加熱され難くなるので、熱電半導体の周りからの入熱を遮って熱電半導体に負荷される温度差を大きくできる。しかも、熱電変換モジュールの側面即ち連結板部分からの発電に寄与しない入熱量が少なくなるので、気密の容器を用いる場合には無用の内圧の上昇を抑えることができる。

【0019】

また、本発明にかかる熱電変換モジュールは、熱電変換モジュールの使用温度下で液状を呈する低融点材料と、この低融点材料を封入し且つ液状の低融点材料の変形を許容する柔軟性を備えるシェルとを有する伝熱用クッションを、加熱板とこれに接触する高温熱源との間または冷却板とこれに接触する低温熱源との間の少なくとも一方若しくは双方に備えることが好ましい。これにより、使用温度下で液状を呈する低融点材料およびこの低融点材料を封入する柔軟なシェルが、接触する伝熱面の曲面状の変形（面外変形）に追従して、2つの伝熱面の間を良好に充填し、これら2面の間に空隙が生じてしまうことを防いで、接触熱抵抗を小さくする。しかも、液状の低融点材料は熱伝導率が高いので、伝熱用クッションそのものの熱抵抗を低く抑えることができ、効率的に熱を伝える。また、液状の低融点材料を封入した柔軟なシェルがクッションとして機能し、むやみに強く挟み付けなくとも高温熱源と加熱板とを密着させ得る。

【0020】

さらに、好ましくは、伝熱用クッションと加熱板あるいは冷却板との間には熱伝導性を有する低摩擦係数のシート材からなる第2の滑り材を介在させることである。この場合に

は、伝熱面が熱膨張した場合でも、伝熱面を第2の滑り材上で滑らせて面方向にスライド移動させるので、シェルに作用しようとするせん断応力を逃がし、シェルの破壊を防止できる。

【発明の効果】

【0021】

請求項1記載の熱電変換モジュールによれば、高温熱源側の加熱板が膨張しても、熱源側電極部との間に介在される滑り材によって滑りを生じさせるため、熱電半導体および熱源側電極部および放熱側電極部にはせん断応力が作用することがない。このため、熱電変換モジュールを大型化しても、脆弱な熱電半導体を破壊したり、接合面で剥離を生じることがなく、熱電変換モジュールの大型化が可能となり、熱電半導体の実質的な充填密度を向上でき、出力密度（単位面積当たりの出力）を増大することができる。また、滑り材が介在する界面は、熱電変換モジュールに作用する加圧力により良好に密着し、当該界面における接触熱抵抗を小さくできるので、熱電半導体に大きな温度差を負荷できる。さらに、本発明の熱電変換モジュールは、冷却板と加熱板とが連結板で連結され、滑り材を介して冷却板と加熱板との間で熱電半導体並びに電極部を挟んで一体化されているので、モジュールとしての強度が強く壊れ難いものとなると共に取り扱いが容易になる上に、組み立ても容易で工業的な量産に適するものとなる。

また、この熱電変換モジュールによれば、熱電変換モジュールの構成部品が気密の容器内に密封されるので、いかなる雰囲気例えば酸化雰囲気や腐食性雰囲気の下でも使用することができる。加えて、熱電変換モジュールの構成部品が気密の容器内に収容されるので、外部からの力に対する強度が高まる。さらに、滑り材が介在する少なくとも加熱板と熱源側電極部との間の界面は、容器内外の差圧により容器外から加圧されるため、良好な密着性により当該界面における接触熱抵抗を小さくでき、さらに熱電半導体に大きな温度差を負荷できる。

さらに、この熱電変換モジュールによれば、容器内を真空または不活性雰囲気または還元雰囲気とするので、容器の内部に収容された熱電変換モジュールの構成部品並びに滑り材の酸化による劣化を防止できる。

【0023】

また、請求項2記載の熱電変換モジュールによれば、滑り材としてシート材を採用しているので、組み立て時の取り扱いが容易である。

【0024】

さらに請求項3記載の熱電変換モジュールによれば、滑り材として高分子シート材を採用しているので、摺動性に優れると共に電気絶縁性であることから、電気絶縁層を有さない電極材に対しても、あるいは電気絶縁層を有するFGMコンプライアント・パッドのいずれにも直接接触させることができ、モジュール部品点数を削減できると共に構造を簡単にすることができる。

【0025】

さらに請求項4記載の熱電変換モジュールによれば、滑り材としてカーボンシートを採用することにより、摺動性だけでなく熱伝導性並びに耐熱性にも優れるので、熱抵抗が大幅に低減して大きな熱負荷をかけることができる。しかも、カーボンシートは耐熱性に優れるので、熱電半導体の使用最高温度を高温域のものとすることが可能である。

【0026】

さらに請求項5記載の熱電変換モジュールによれば、滑り材として粘性物質であるグリースを採用しているので、加熱板と電極部とを隙間なく密着させて当該界面における接触熱抵抗を小さくできると共に熱電半導体に大きな温度差を負荷できる。しかも、加熱板の熱膨張時にも、グリースの潤滑効果により、加熱板が滑らかに移動するので、熱源側並びに放熱側の電極部や熱電半導体にはせん断応力が作用しない上に、各電極部と加熱板あるいは冷却板との間の密着関係も損なわれない。

【0028】

さらに請求項7記載の熱電変換モジュールによれば、容器の内外での圧力差により加わ

る圧力によりペローズが変形して、容器の加熱側内面と容器内部の熱電変換モジュールの構成部品との密着が促進されるので、より熱抵抗を少なくして大きな温度差を負荷できる。

【0029】

さらに請求項8記載の熱電変換モジュールによれば、加熱板からの給熱量を大きくしながら熱電半導体の周りからの入熱を遮って熱電半導体に負荷される温度差を大きくできるので、熱電半導体に負荷される温度差を大きくできる。熱電変換モジュールの発電性能は熱電半導体に負荷される温度差のほぼ2乗に比例するため、熱電変換モジュールの発電性能を大幅に向上できる。しかも、熱電変換モジュールの側面即ち連結板部分からの発電に寄与しない入熱量が少なくなるので、気密の容器を用いる場合には内圧の上昇を抑えて、容器の膨張による部品相互の密着を妨げることがないし、容器内の減圧度そのものを少なくすることも可能となる。

10

【0030】

さらに請求項9記載の熱電変換モジュールによれば、使用温度下で液状を呈する低融点材料およびこの低融点材料を封入する柔軟なシェルが、接触する伝熱面の曲面状の変形（面外変形）に追従して、2つの伝熱面の間を良好に充填し、これら2面の間に空隙が生じてしまうことを防いで接触熱抵抗を小さくすると共に液状の低融点材料が熱伝導率が高く伝熱用クッションそのものの熱抵抗を低く抑えることができるので、効率的に熱を伝えることができる。これにより、熱電変換モジュールに負荷できる温度差をさらに増大でき、熱電変換モジュールの発電電力を向上できる。すなわち実質的なエネルギー変換効率を向上できる。これにより熱電変換システムの発電単価を低減できる。また、液状の低融点材料を封入した柔軟なシェルがクッションとして機能し、むやみに強く挟み付けなくとも高温熱源と加熱板とが密着できるので、熱電変換モジュールに作用する加圧力により熱電半導体が破壊してしまうことを防止できる。

20

【0031】

さらに請求項10記載の熱電変換モジュールによれば、伝熱用クッションと加熱板あるいは冷却板との間に低摩擦係数のシート材からなる第2の滑り材が介在されているので、伝熱面が熱膨張した場合でも、伝熱面を第2の滑り材上で滑らせて面方向にスライド移動させるので、シェルに作用しようとするせん断応力を逃がし、シェルの破壊を防止できる。これにより、伝熱面が大型となる場合の大きな熱膨張変位、例えば大型の加熱ダクトの運転・停止中の温度差に起因する熱膨張変位を許容できる。

30

【0032】

さらに請求項11記載の熱電変換モジュールによれば、熱源側電極部として電極層と電気絶縁層を有する傾斜機能材料を用いかつ滑り材としてカーボンシートを用いているので、摺動性だけでなく熱伝導性に優れ、かつびに耐熱性にも優れるので、熱抵抗が大幅に低減して大きな熱負荷をかけることができる。しかも、カーボンシートは耐熱性に優れるので、熱電半導体の使用最高温度を高温域のものとすることが可能である。

【0033】

さらに請求項12記載の熱電変換モジュールによれば、熱源側電極部とカーボンシートとの間にマイカシートを介在させることで、カーボンと電極部との電気絶縁を確実なものとした上に加熱板と電極部との間での滑りを良好なものとする事ができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、本発明の構成を図面に示す実施形態に基づいて詳細に説明する。

【0035】

図1から図9に本発明の熱電変換モジュールの実施の一形態を示す。この熱電変換モジュール1は、気密の容器7に熱電半導体2を密封するタイプであり、少なくとも一対の熱電半導体2と、熱電半導体2の熱源側の面に設置され熱電半導体2と電氣的に接続されている熱源側電極部3と、熱源側電極部3とは反対側で熱電半導体2の低温側の面に設置され熱電半導体2と電氣的に接続されている放熱側電極部4並びに各電極部3, 4をそれぞれ

50

れ覆って受熱部を構成する加熱板 7 a 並びに冷却板 6 とを備え、加熱板 7 a 並びに冷却板 6 を各々介して熱電半導体 2 の高温側の受熱面と低温側の放熱面との間にかかる温度差により発電するものである。

【 0 0 3 6 】

この熱電変換システム 1 の少なくとも加熱板 7 a と熱源側電極部 3 の間には、熱伝導性を有する滑り材 5 が備えられ、滑り材 5 を介在させて加熱板 7 a と熱源側電極部 3 との間の熱的連結が図られている。ここで、滑り材 5 としては少なくとも熱伝導性を有しかつ 2 部材間の摺動を容易ならしめる物質であれば良く、本実施形態においては例えば低摩擦係数の材質からなる熱伝導性を有するシート材あるいは熱伝導性のグリースなどが採用されている。また、本実施形態における加熱板 7 a 並びに冷却板 6 は、熱電半導体 2 と各電極部 3 , 4 を収容する気密性の容器 7 の一部を構成するものである。即ち、加熱板 7 a と冷却板 6 とは、それらの全周側面を連結板 7 b で覆われるように連結されて、加熱板 7 a と冷却板 6 との間の空間を密閉する気密の容器 7 を構成するようにしている。そして、容器 7 内の圧力を当該容器 7 の外の圧力よりも低いものとして、容器内外の差圧により加熱板 7 a と冷却板 6 との間、即ち加熱板 7 a の内側の面（高温面 S 1 と呼ぶ）と冷却板 6 の内側の面（低温面 S 2 と呼ぶ）との間に作用する加圧力により、滑り材 5 が熱源側電極部 3 に押圧されて密着され熱源側電極部 3 と一体に保持されるように設けられている。尚、図 1 から図 9 の例では熱源の図示を省略している。本実施形態の熱電変換モジュールにおいては、受熱の方法は特に限定されず、容器上面の加熱板への熱源との直接接触による伝熱でも、離れた熱源からの放射熱あるいはガス状熱源による熱伝達によっても良い。

【 0 0 3 7 】

本実施形態の場合の気密の容器 7 は、剛性の高い冷却板 6 とその上に被せられる比較的柔軟性のある箱形状の蓋体 7 0 とで構成され、冷却板 6 と蓋体 7 0 の周縁とを溶接あるいは接着剤や口ウ付けで接合することにより一体化されている。蓋体 7 0 は、加熱板 7 a 部分と連結板 7 b 部分とを含むものであり、例えば 1 枚の薄い金属板をプレス成形加工して作製される。ここで、蓋体 7 0 のシート材 5 と対向する上面部 7 a が加熱板に相当し、周辺の側面部 7 b が連結板に相当する。

【 0 0 3 8 】

容器 7 は内外の差圧により外側から押圧力を受ける。この押圧力を利用して容器 7 の加熱板 7 a 部分の内面により、シート材 5 および更に内側に位置する熱源側電極部 3 を均一に押しつける。容器 7 は、内外の差圧により変形してシート材 5 を良好に押圧できる程度の柔軟性と、外気に押圧されても密封性を確保できる程度の剛性とを備える。

【 0 0 3 9 】

熱電半導体 2 として例えば B i T e などを用いて低温用の熱電変換モジュール 1 を構成する場合、容器 7 の上面の加熱板 7 a 部分の温度は例えば 2 5 0 程度以下となるため、蓋体 7 0 の材質としては、アルミニウム (A l) 、銅 (C u) 、ステンレス鋼 (例えば S U S 3 0 4 , S U S 3 1 6) などを採用できる。また、熱電半導体 2 として例えば F e S i などを用いて高温用の熱電変換モジュール 1 を構成する場合、容器 7 の加熱側即ち加熱板 7 a 部分の温度は例えば 6 0 0 程度となるため、蓋体 7 0 の材質としては、インコネル (Special Metals Corporation の登録商標) などを採用できる。

【 0 0 4 0 】

但し、蓋体 7 0 の材質は上記に例示したものに限定されず、また必ずしも金属に限定されず、耐熱性、耐蝕性、加工性などの観点から適宜選択して良い。またプレス成形加工により一体品の蓋体 7 0 を作製することには限定されない。例えば一枚の板をプレス成形加工で深絞りすることが困難な材質の場合は、シート材 5 と対向する上面の加熱板 7 a 部分とその周辺の曲率部 (連結板の一部) のみを一枚の板でプレス成形加工し、他の側面部即ち残りの連結板部分を冷却板と一体にあるいは別の部材 (金属またはセラミックなど) で用意して、これらを溶接またはろう材や接着剤を用いた接合などの方法により組み立てて、容器 7 を構成するようにしても良い。

【 0 0 4 1 】

容器 7 の加熱板 7 a 部分と連結板 7 b 部分とを構成する蓋体 7 0 の厚みは、内外の差圧により変形してシート材 5 を良好に押圧できるように、また熱抵抗を小さくする観点から、薄くすることが望ましく、例えば $20\ \mu\text{m} \sim 0.5\ \text{mm}$ 程度とすることが好ましい。但し、上記例示に限定されるものではなく、熱電変換モジュール 1 の大きさや差圧の大きさなどに応じて適宜決定するべきである。

【0042】

容器 7 の加熱板 7 a 部分の内面（高温面 S 1）と熱源側電極部 3 との間に介在させるシート材 5 としては、接触熱抵抗を低減でき、且つ高い摺動性（即ち低摩擦係数）、耐熱性、容器 7 の加熱板 7 a 部分の変形に追従できる柔軟性を備えるものが選択される。より望ましくは、厚さ方向に高い熱伝導率を有する材質が選択される。例えば、カーボンシート

10

【0043】

尚、カーボンシートは電気伝導性であるため、カーボンシートをシート材 5 として用いる場合には、熱源側電極部 3 は絶縁層を備える必要がある。一方、高分子シートなどの電気絶縁性シートをシート材 5 として用いる場合には、熱源側電極部 3 は絶縁層を備える必要がない。絶縁層を備える熱源側電極部 3 として、電極層と電気絶縁層を有する傾斜機能材料から成るコンプライアント・パッド（FGMコンプライアント・パッド）30 を用いても良い。FGMコンプライアント・パッド 30 は、例えば熱電半導体 2 側が電極層、その反対側が電気絶縁層で、両者の組成が連続的に変化するものであり、例えば特許第 3056047 号や特許第 3482094 号に開示された物を利用することができる。尚、両面が電極層、内部が電気絶縁層から成る FGMコンプライアント・パッド 30 を用いても良い。

20

【0044】

ここで、既存のカーボンシートは、面方向の熱伝導率は高いが、厚さ方向の熱伝導率が低いものが一般的である。しかし、このような既存のカーボンシートでも、接触熱抵抗を大きく低減できる効果が得られることが、本願発明者の実験により明らかになった。以下に当該実験について説明する。

【0045】

例えば厚さ方向の熱伝導率が $5\ \text{W}/\text{mK}$ 、厚さ $0.15\ \text{mm}$ のカーボンシートを、銅製の 2 つのブロックの間に介在させて、 $0.4\ \text{kg}/\text{cm}^2$ で加圧して、熱抵抗を測定した。また、比較例として、カーボンシートを介在させずに、上記 2 つのブロックを上記と同じ圧力で加圧して、熱抵抗を測定した。さらに上記測定を温度条件を変化させて行った。測定結果を表 1 に示す。

30

【0046】

【表 1】

温度 (°C)	150	200	300	400
カーボンシート使用時の 熱抵抗合計 $\times 10^{-5}\ (\text{m}^2\text{K}/\text{W})$	10	10	9	9
カーボンシート無しの場合の 接触熱抵抗 $\times 10^{-5}\ (\text{m}^2\text{K}/\text{W})$	140	120	100	100

40

【0047】

表 1 に示すカーボンシート使用時の熱抵抗の値はカーボンシートを挟む 2 個の銅ブロックをカーボンシートの面と平行に相対変位させてもほとんど変化しない。また、表 1 に示

50

すカーボンシート使用時の熱抵抗は、カーボンシートの上下面における銅ブロックとの接触熱抵抗およびカーボンシート自体の熱抵抗の合計である。このうちカーボンシート自体の熱抵抗 R_c は式 1 の計算で求めることができる。

【 0 0 4 8 】

$$\begin{aligned} \text{カーボンシート自体の熱抵抗 } R_c &= (\text{厚さ}) / (\text{熱伝導率}) \\ &= 0.15 \times 10^{-3} \text{ (m)} / 5 \text{ (W/mK)} \\ &= 3 \times 10^{-5} \text{ (m}^2 \text{ K / W)} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

【 0 0 4 9 】

一方、熱抵抗の合計を R とすると、カーボンシートの上下面における銅ブロックとの接触熱抵抗は $(R - R_c) / 2$ で計算される。即ち、カーボンシートの上下面における銅ブロックとの接触熱抵抗は、 $150 \sim 200$ で $3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ K / W}$ 、 $300 \sim 400$ で $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ K / W}$ と推定される。

【 0 0 5 0 】

他方、カーボンシートを介在させない場合の 2 個の銅ブロックの接触熱抵抗は、 $100 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ K / W}$ 以上である。従ってカーボンシートを採用することにより、熱抵抗を $1 / 10$ 以下に低減できる。また、上記実験結果から、カーボンシートが接触熱抵抗を低減する効果を発揮するために、 0.4 kg / cm^2 以上の加圧力をカーボンシートに作用させることが望ましいと考えられる。尚、厚さ方向の熱伝導率を高くしたカーボンシートも開発される途上にあり、このようなカーボンシートを採用すれば、上記熱抵抗をさらに低減することができる。

【 0 0 5 1 】

また、カーボンシートは、一般に、空気中では 400 程度まで、真空および不活性雰囲気中では 1100 程度まで使用可能である。従って容器 7 内部を真空または不活性雰囲気とすれば、カーボンシート自体は 1100 まで使用可能である。熱電変換モジュール 1 の最高使用温度は、一般的には熱電半導体 2 の制約により決まるが、最も高温で利用できる SiGe でも最高使用温度は 1100 である。従ってカーボンシートを使って容器 7 内部を真空または不活性雰囲気とすれば、いかなる熱電半導体 2 にも対応できる。

【 0 0 5 2 】

容器 7 の加熱側内面 (高温面 S_1) と熱源側電極部 3 とがシート材 5 を介して密着するように、容器 7 の内部は真空となっているか、容器 7 が設置される雰囲気の圧力において負圧となっている必要がある。容器 7 の内部を真空とするか、或いは減圧雰囲気とするかは、設置雰囲気の圧力および運転温度などに基づいて適宜決定して良い。また、容器 7 の内部を減圧雰囲気とする場合においては、当該容器 7 の内部を不活性雰囲気または還元雰囲気としても良い。これにより、容器 7 の内部に収容された熱電変換モジュール 1 の構成部品の酸化による劣化を防止できる。尚、不活性ガスとしてはアルゴン (Ar) が最適である。この他の不活性ガスも使用できるが、窒素 (N) は高温で反応する材料もあるので注意が必要であり、ヘリウム (He) は漏れやすいので余り適さない。また、水素 (H_2) を封入して還元雰囲気とすることが適する材料系もある。

【 0 0 5 3 】

例えば 550 、大気圧下で運転する熱電変換モジュール 1 で、室温 (27) での封入圧力 (P_{RT}) を -0.8 気圧 (ゲージ圧) とすると、 550 に加熱した際の内圧 P_{550} はボイル・シャルルの法則により式 2 で計算される。

【 0 0 5 4 】

$$\begin{aligned} P_{550} &= 0.2 \times (550 + 273) / (27 + 273) \\ &= 0.55 \text{ 気圧 (絶対圧)} \\ &= -0.45 \text{ 気圧 (ゲージ圧)} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

【 0 0 5 5 】

従って、 550 でも負圧を維持できる。この場合に容器 7 を外部から押しつける圧力は $0.45 \text{ kg / cm}^2 = 4.5 \text{ ton / m}^2$ である。表 1 に示したごとく、カーボンシートを介在させて 0.4 kg / cm^2 で加圧すれば接触熱抵抗の低減に有効である。よっ

10

20

30

40

50

て上述したカーボンシートの効果が期待できる。

【 0 0 5 6 】

室温（ 2 7 ）での封入圧力と 5 5 0 での差圧の関係を表 2 に示す。熱電変換モジュール 1 が設置される雰囲気（外圧）は大気圧として計算した。尚、表 2 に示す圧力の単位は気圧である。

【 0 0 5 7 】

【表 2】

検討事例	1	2	3	4
室温(27℃)での 封入圧力（ゲージ圧） 封入圧力（絶対圧）： P_{RT}	-1 0	-0.8 0.2	-0.7 0.3	-0.6 0.4
550℃での内圧（絶対圧）： P_{550}	0	0.55	0.82	1.1
外圧（絶対圧）： P_{out}	1.0	1.0	1.0	1.0
差圧： $P_{out} - P_{550}$	1.0	0.45	0.18	-0.1
判定	良好	良好	不可	不可

10

【 0 0 5 8 】

事例 1 は容器 7 内を真空とした場合で、1 気圧の差圧を受けるため十分な効果が得られる。事例 2 は上述した室温（ 2 7 ）での封入圧力（ P_{RT} ）を - 0 . 8 気圧（ゲージ圧）とした場合であり、これも十分な効果が得られる。事例 3 は差圧が不十分で、当該箇所接触熱抵抗が若干増大する恐れがある。事例 4 は容器 7 の内圧の方が大きく、容器 7 が膨らむために容器 7 の加熱側内面（高温面 S 1）と熱源側電極部 3 とがシート材 5 を介して密着できず、接触熱抵抗が極端に増大する。以上より、0 . 4 気圧以上の差圧を達成するには表 2 の事例 1 および事例 2 が望ましく、事例 3 および事例 4 は避けるべきである。

20

【 0 0 5 9 】

容器 7 の内圧を目的値に設定する方法の例を以下に説明する。容器 7 を構成する蓋体 7 0 と冷却板 6 を電子ビーム溶接する場合は、真空雰囲気で行うため、上記溶接方法を採用すれば容器 7 内部を真空とできる。また、容器 7 内部を真空とせずに、容器 7 の内圧を目的値に設定する方法としては、例えば図 6 に示すように容器 7 側面にノズル部 8 を設けておく。そして、蓋体 7 0 と冷却板 6 を溶接またはろう材等で接合し、一体化された蓋体 7 0 と冷却板 6 を図示を省略するグローブボックスに入れて先ず真空引きし、次にグローブボックスに不活性ガス又は還元ガスを目的の圧力となるように導入する。これにより容器 7 の内部も同一圧力になる。その後、ノズル部 8 の先端を工具で押し潰して、容器 7 を応急的に密閉する。さらに容器 7 をグローブボックスから取り出してノズル部 8 の先端を溶接またはろう材等で完全に密閉する。

30

【 0 0 6 0 】

熱電変換モジュール 1 の構成例を図 1 ～ 図 9 に示す。

40

例えば図 1 に示す熱電変換モジュール 1 は、交互に並ぶ複数の熱電半導体 2 としての P 型熱電半導体 2 a と N 型熱電半導体 2 b と、隣接する P 型熱電半導体 2 a と N 型熱電半導体 2 b とを熱源側で電氣的に直列に連結する熱源側電極部 3 としての FGM コンプライアント・パッド 3 0 と、隣接する P 型熱電半導体 2 a と N 型熱電半導体 2 b とを冷却板 6 側で電氣的に直列に連結する放熱側電極部 4 としての電極材 4 0 と、FGM コンプライアント・パッド 3 0 の面に載置されるシート材 5 としてのカーボンシートと、電極材 4 0 が設置される冷却板 6 と、冷却板 6 と周縁部が接合されて気密の容器 7 を構成する蓋体 7 0 とを備え、蓋体 7 0 の上面の加熱板 7 a 部分と冷却板 6 との間でシート材 5 を介在させて熱電半導体 2 および各電極部 3 , 4 を挟んで一体化すると共に収容するようにしている。

【 0 0 6 1 】

50

冷却板 6 は例えば金属板 6 0 であり、この金属製冷却板 6 0 には電気絶縁性接合材 9 により電気伝導性の電極材 4 0 が接合されている。また、熱電半導体 2 としての P 型熱電半導体 2 a と N 型熱電半導体 2 b は、導電性接合材 1 0 により F G M コンプライアント・パッド 3 0 および電極材 4 0 に接合されている。F G M コンプライアント・パッド 3 0 は電気絶縁層を内在するので、シート材 5 としての電気伝導性のカーボンシート 5 を直接接触させることができる。また、金属製冷却板 6 0 の上に F G M コンプライアント・パッド 3 0 を接合すれば、電気絶縁性接合材 9 により電気伝導性の電極材 4 0 を配置することはない。このように滑り材 5 として耐熱性に優れるカーボンシートを気密容器 7 内で使用する場合には、熱電半導体として F e S i (最高使用温度 7 0 0 程度) や S i G e (最高使用温度 1 0 0 0 程度) を用いることが可能となる。更には、カーボンシート 5 と F G M コンプライアント・パッド 3 0 との間には、図 1 5 に示すように、電気絶縁性を有するシート材例えばマイカシート 2 5 を介在させることでより電気絶縁性を十分なものとするのが好ましい。ここで、熱源側電極 3 と加熱板 7 a との間に介在される滑り材 5 が熱伝導性と電気絶縁性並びに摺動性 (滑り) の全てを兼ね備えた材質例えば高分子シートのようなものであれば、上述のような複層にする必要はない。尚、蓋体 7 0 と金属製冷却板 6 0 とは例えば溶接等の手段で密着される。

【 0 0 6 2 】

また、図 2 に示す熱電変換モジュール 1 は、図 1 における金属製冷却板 6 0 とこれに接合された電極材 4 0 の代わりに、電極材 4 0 が蒸着または接合されたセラミック製の冷却板 6 1 を採用している。電気絶縁性のセラミック板 6 1 を用いて冷却板 6 を構成するため、冷却板 6 と電極材 4 0 との間に電気絶縁性接合材 9 は不要である。例えばアルミナなどの板に銅を電極の形状に蒸着した製品が D B C (Direct Bonding Copper) として入手可能であり、これを冷却板 6 および電極材 4 0 として利用することができる。蓋体 7 0 とセラミック製冷却板 6 1 は、例えば接着剤やろう材などを用いて接合され密着される。

【 0 0 6 3 】

また、図 3 に示す熱電変換モジュール 1 は、図 1 における F G M コンプライアント・パッド 3 0 の代わりに、放熱側電極部 4 と同じ電気伝導性の電極材 4 0 を熱源側電極部 3 として採用している。シート材 5 は、カーボンシートではなく高分子シートとしている。高分子シートは電気絶縁性であり、電気絶縁層を有さない電極材 4 0 および電気絶縁層を有する F G M コンプライアント・パッド 3 0 のいずれにも直接接触させることができる。高分子としては、例えばポリアリレート、ポリサルファン、ポリエーテルイミド、ポリフェニレンサルファイドなどの準スーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれるもの、あるいは PEEK、ポリアミドイミド、全芳香族エステル、ポリイミドなどのスーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれるものの使用が好ましい。これらプラスチックの場合には、使用限界温度が 2 0 0 ~ 2 5 0 程度なので、熱電半導体 2 として例えば B i T e などを用いて低温用の熱電変換モジュール 1 を構成することが可能である。また、図 4 に示す熱電変換モジュール 1 は、図 2 における F G M コンプライアント・パッド 3 0 の代わりに、放熱側電極部 4 と同じ電極材 4 0 を熱源側電極部 3 として採用している。シート材 5 は、カーボンシートではなく高分子シートとしている。また、図 6 に示す熱電変換モジュール 1 は、図 1 における熱電変換モジュール 1 の容器 7 に、容器 7 の内圧を目的値に設定するためのノズル部 8 を設けた例である。また、図 7 は熱電変換モジュール 1 の平面形状の一例を示す。蓋体 7 0 を一枚の板からプレス加工するには、図 7 に示すように角 7 c に曲率を付けることが、成形性の観点で好ましい。

【 0 0 6 4 】

ここで、容器 7 には、例えばその側面部 7 b において電気絶縁体 1 1 を介して一对の導電部 1 2 が貫通している。この導電部 1 2 の容器 7 内側の端は、例えばリード線 1 3 を介して熱電変換モジュール 1 の熱源側電極部 3 と接続される。本実施形態ではこの構成により、容器 7 の密封性を保ちつつ、熱電変換モジュール 1 が発電した電力を容器 7 の外側へと取り出すことができるようにしている。熱電変換モジュール 1 が発生した電力は図示を省略する電力回収用ラインを介して蓄電装置や電力利用機器などに供給される。

【 0 0 6 5 】

図 8 および図 9 は、容器 7 の他の構成例を示す。図 8 は、図 1 における金属製冷却板 60 の周縁を熱源側に向かって立ち上げて、冷却板 60 の当該立ち上げた部分 60a に、電気絶縁体 11 を介して一对の導電部 12 を設けた例である。一方、図 9 は、図 2 におけるセラミック製冷却板 61 の周縁を熱源側に向かって立ち上げて、この立ち上げ部分 61a に、一对の導電部 12 を設けた例である。図 9 の構成では、セラミック製冷却板 61 が電気絶縁性であるため、導電部 12 を電気絶縁体 11 を介することなく冷却板 6 に直接取り付けすることができる。

【 0 0 6 6 】

また、図 5 に示す熱電変換モジュール 1 は、図 1 におけるシート材 5 の代わりに熱伝導性のグリース 14 を用いた例である。グリース 14 により、容器 7 の加熱板 7a 部分の内面（高温面 S1）と熱源側電極部 3 との間の円滑なスライド移動を実現できる。容器 7 の加熱板 7a 部分の内面と熱源側電極部 3 との間に介在させるグリース 14 として、例えばシリコンオイル系のグリース 14 で耐熱温度 300 程度のものの利用が好ましい。特に、シリコンオイルにアルミナなど熱伝導性のよい粉末を配合したグリース状の製品の利用が好ましい。容器 7 を密封し、また容器 7 内を真空または不活性雰囲気とすることで、熱酸化によるグリース 14 の劣化やグリース 14 の蒸発などの問題が無くなり、グリース 14 を長期に安定して容器 7 の加熱板 7a 部分と熱源側電極部 3 との間に保持できる。また、グリース 14 は良好に容器 7 の加熱板 7a 部分および熱源側電極部 3 に密着するため、接触熱抵抗を低減できる。

【 0 0 6 7 】

例えば厚さ方向の熱伝導率 0.8 W/mK 、厚さ 0.04 mm のグリース 14 自体の熱抵抗 R_g は、式 3 の計算で求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{グリース自体の熱抵抗 (} R_g \text{)} &= (\text{厚さ}) / (\text{熱伝導率}) \\ &= 0.04 \times 10^{-3} (\text{m}) / 0.8 (\text{W/mK}) \\ &= 5 \times 10^{-5} (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad \dots (3) \end{aligned}$$

【 0 0 6 8 】

従って、グリース 14 が介在する界面の接触熱抵抗と上記 R_g を合計しても、熱抵抗合計は上述のカーボンシート使用時と同等の値が得られると予想される。熱電半導体 2 として BiTe を使用する場合、最高使用温度が 220 程度となり、上記に例示したシリコンオイル系のグリース 14 を使用できる。

【 0 0 6 9 】

尚、上記に示した熱電変換モジュール 1 の構成例は好適例であって、これらの例示に限定されない。例えば、放熱側電極部 4 として、電極材 40 ではなく FGM コンプライアント・パッド 30 を用いても良い。また、熱電変換モジュール 1 を最小単位の熱電半導体 2 を有するものにする、例えば P 型と N 型の熱電半導体を各 1 個備えるユニ・カップル型としても構わない。また、容器 7 の内外の差圧による加圧力によって熱電変換モジュール 1 が一体に保持された状態が常に維持できるような場合には、熱源側電極部 3 または放熱側電極部 4 と熱電半導体 2、放熱側電極部 4 と冷却板 6 とを結合する接合材は必ずしも必要ない。

【 0 0 7 0 】

以上のように構成された熱電変換モジュール 1 によれば、容器 7 の加熱板 7a 部分（高温面 S1）と熱源側電極部 3 との間に介在するシート材 5 またはグリース 14 が、加熱板 7a 部分と熱源側電極部 3 との相対的なスライド移動を可能にする。このため、例えば容器 7 が熱膨張しても、容器 7 の加熱板 7a 部分をシート材 5 またはグリース 14 上で滑らせて面方向にスライド移動させるので、熱電半導体 2 および熱源側電極部 3 および放熱側電極部 4 には、せん断応力は作用しない。従って、熱電変換モジュール 1 を大型化しても、脆弱な熱電半導体 2 を破壊したり、接合面で剥離を生じることはない。また、シート材 5 またはグリース 14 が介在する界面は、容器 7 内外の差圧により容器 7 外から加圧されるため、良好な密着性により当該界面における接触熱抵抗を小さくできる。これにより熱

10

20

30

40

50

電半導体 2 に大きな温度差を負荷できる。

【 0 0 7 1 】

また、上記のように部材の熱膨張を許容する構造とすることで、熱電変換モジュール 1 を大型化することが可能となるので、熱電半導体 2 の実質的な充填密度を向上でき、出力密度（単位面積当たりの出力）を増大することができる。また、熱電変換モジュール 1 の構成部品は容器 7 内に收容されるので、外部からの力に対する強度が高まる。また、熱電変換モジュール 1 の構成部品は容器 7 に密封されるため、いかなる雰囲気の下でも、例えば酸化雰囲気や腐食性雰囲気の下でも、熱電変換モジュール 1 を直接設置して使用できる。

【 0 0 7 2 】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。尚、以下に説明する他の実施形態において上述の実施形態と同様の構成要素については、同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

例えば図 1 0 に示すように、容器 7 の側面部 7 b にペローズ 1 5 を設ける構造として、容器 7 の外より加わる圧力によりペローズ 1 5 が変形して、容器 7 の加熱側内面（高温面 S 1 ）と容器 7 内部の熱電変換モジュール 1 の構成部品との密着を促進するようにしても良い。

【 0 0 7 4 】

また、図 1 1 に示す熱電変換モジュール 1 は、使用温度下で液状を呈する低融点材料 1 6 と、この低融点材料 1 6 を封入し且つ液状の前記低融点材料 1 6 の変形を許容する柔軟性を備えるシェル 1 7 とを有する伝熱用クッション 1 8 を更に備えている。図 1 1 の例では容器 7 の加熱板 7 a 側に伝熱用クッション 1 8 を備えている。但し、容器 7 の加熱板 7 a 側のみに伝熱用クッション 1 8 を備える構成に限定されず、冷却板 6 側のみ又は加熱板 7 a 側と冷却板 6 側の双方に、伝熱用クッション 1 8 を備える構成としても良い。

【 0 0 7 5 】

シェル 1 7 の厚みは、シェル 1 7 が対向する面の温度差による曲面状の変形（面外変形）に柔軟に追従することができるように、また熱抵抗を小さくする観点から、薄くすることが望ましく、例えば $20\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ （ $0.1\ \text{mm}$ ）程度とすることが好ましい。また、シェル 1 7 の材料は、使用温度下で低融点材料 1 6 を確実に密封できるように融点

が使用温度よりも高く、且つ封入する低融点材料 1 6 との共存性が良いものが選択される。特に高い熱伝導率を有する金属材料の利用が好ましい。例えば、使用温度が 250 以下の場合にはアルミニウム（Al）、銅（Cu）などが利用でき、使用温度が 400 以下ではステンレス鋼（SUS304、SUS316）などが利用でき、使用温度が 600

【 0 0 7 6 】

以下では、インコネル（Special Metals Corporationの登録商標）などが利用できる。本実施形態のシェル 1 7 は例えば薄い金属フォイル（金属箔）を用いて形成されている。但し、シェル 1 7 の材料が金属に限定されるものではない。

一方、低融点材料 1 6 は、使用温度よりも融点が低く、且つ高い熱伝導率を有し、シェル 1 7 との共存性が良いものが選択される。具体的には、すず（Sn：融点 232 ）、ビスマス（Bi：融点 271 ）などが利用できる。ここで、融点の使用温度以下の金属に、当該金属よりも熱伝導率の高い微粒子を添加することで、使用温度よりも融点が低く且つ高い熱伝導率を有するとの条件を満足した低融点材料 1 6 を得るようにしても良い。例えばビスマスに、銅（Cu）またはタングステン（W）などの微粒子を添加することで、見かけの熱伝導率を高めることができる。この他、高価なため一般的ではないが、ガリウム（Ga：融点 30 ）、インジウム（In：融点 157 ）なども低融点材料 1 6 として利用可能である。但し、低融点材料 1 6 が金属に限定されるものではない。例えば、金属以外では溶融塩（例えば $\text{NaNO}_3 / \text{KNO}_3$ ）などを低融点材料 1 6 として利用できる。

【 0 0 7 7 】

伝熱用クッション 18 は例えば次のように作製される。例えば、2 枚の薄い平板状の金属フォイルの一方または両方に対してプレス成形加工などを施し、これら 2 枚の金属フォイルの周縁を合わせた場合にこれら 2 枚の金属フォイル間に 1 ~ 2 mm 程度の隙間ができるようにする。この隙間に、当該隙間と同一厚さのシート状に成形された低融点材料 16 を入れて、前記 2 枚の金属フォイルを合わせた状態で、周囲を電子ビーム溶接などの方法により密封する。これにより、上記 2 枚の金属フォイルはシェル 17 として機能する。尚、図 11 は、2 枚の平板状金属フォイルの一方のみに対してプレス成形加工を施し、低融点材料 16 を封入するための隙間を形成した例を示す。但し、図 11 の構成には限定されず、例えば 2 枚の平板状金属フォイルの双方に対してプレス成形加工などを施して、シェル 17 を構成する 2 枚の金属フォイルを上下対称の形状として、当該シェル 17 の内部に低融点材料 16 を封入するための隙間を形成するようにしても良い。また、低融点材料 16 を粉末（例えば上記に例示した金属の粉末）とし、当該粉末状の低融点材料 16 をシェル 17 の内部に形成した隙間に充填するようにしても良い。

10

【0078】

ここで、低融点材料 16 を封入した状態でシェル 17 の内部に隙間 19 ができるようにすることが好ましい。例えば本実施形態では、低融点材料 16 のシートの寸法をシェル 17 の内部の平面寸法よりも小さくして、シェル 17 の内部の隙間 19 を確保するようにしている。隙間 19 を確保することで、低融点材料 16 が溶融した際の体積膨張を吸収することができ、低融点材料 16 の体積膨張によりシェル 17 が破損してしまうことを防止できる。

20

【0079】

さらに、シェル 17 の内部に確保した隙間 19 は、真空または不活性雰囲気とすることが、低融点材料 16 の酸化を防ぐ上で好ましい。尚、シェル 17 の周囲を電子ビーム溶接により密封する場合は、電子ビーム溶接が真空雰囲気で行われるため、シェル 17 の内部は自ずと真空になる。シェル 17 の内部を不活性雰囲気とする場合には、例えばアルゴン（Ar）やヘリウム（He）などの不活性ガスを低融点材料 16 とともにシェル 17 内に封入するようにする。

【0080】

シェル 17 を構成する 2 枚の金属フォイルの間の隙間の大きさ、換言すれば伝熱用クッション 18 の厚み h は、大きくするほど、シェル 17 と対向する面の温度差による曲面状の変形に柔軟に追従することができ、シェル 17 を挟む 2 枚の面の間を良好に充填することができるが、伝熱用クッション 18 自体の熱抵抗も大きくなるため、必要最小限とすることが好ましい。このため、伝熱用クッション 18 の厚み h は、シェル 17 と対向する面に想定される変形の程度により適宜決定する。

30

【0081】

図 11 の例では、例えば加熱ダクトが熱源 20 であり、伝熱用クッション 18 は熱源 20 と容器 7 との間に介在する。熱電変換モジュール 1 の冷却板 6 は、例えば冷媒が内部を通過する冷却ダクト 21 に高い熱伝導率を有する接合材（例えば接着剤やろう材）を用いて接合される。熱源 20 としての加熱ダクトと冷却手段としての冷却ダクト 21 には、熱電変換モジュール 1 を押圧する力が作用する。例えば冷却ダクト 21 が固定され熱源 20 が移動可能となる構成とし、熱源 20 を冷却ダクト 21 側に移動させて、図 11 に示す加圧力 P を作用させる。

40

【0082】

シェル 17 内に封入された低融点材料 16 は例えば熱源 20 で加熱されて溶融する。シェル 17 は液状の低融点材料 16 の変形を許容する柔軟性を備えるので、伝熱用クッション 18 は熱源 20 の加熱面および容器 7 の加熱板 7a 部分に密着し、熱源 20 の加熱面や容器 7 の加熱板 7a 部分が温度差により曲面状に変形してもこの変形に柔軟に追従して、熱源 20 と容器 7 の加熱板 7a 部分との間を良好に充填し、熱源 20 と容器 7 の加熱板 7a 部分との間に空隙が生じてしまうことを防ぐ。従って、伝熱用クッション 18 は熱源 20 および容器 7 と常に良好な密着状態を保つ。

50

【0083】

ここで、シェル17の熱源20と対向する面または容器7と対向する面の一方または双方に、熱源20または容器7が接触し且つ摺動可能な第2のシート材22を設けることがより好ましい。この場合、熱源20や容器7の伝熱用クッション18との接触面が熱膨張により大きく相対変位しても、熱源20や容器7が第2のシート材22上を滑りスライド移動するので、当該熱膨張変位を柔軟に許容し、シェル17にせん断応力が作用することを防ぎ、シェル17が破壊されてしまうことを防止できる。第2のシート材22は、例えば熱伝導率の高い接合材（例えば接着剤）を用いて、シェル17の熱源20と対向する面に貼り付けられる。また、シェル17の容器7と対向する面は、熱伝導率の高い接合材（例えば接着剤）23を用いて、容器7に貼り付けられる。第2のシート材22には、例えば上述したシート材5と同じカーボンシートや高分子シートなどを用いてよい。

10

【0084】

この図11に示す熱電変換モジュール1によれば、液状の低融点材料16およびこの低融点材料16を封入する柔軟なシェル17が、熱源20や容器7の加熱板7a部分の曲面状の変形（面外変形）に追従して、熱源20と容器7との間を良好に充填し、熱源20と容器7との間に空隙が生じてしまうことを防ぐ。従って、伝熱用クッション18は熱源20および容器7と常に良好な密着状態を保つ。しかも、熔融した金属である低融点材料16は熱伝導率が高く、シェル17は金属製であり且つ柔軟性を達成するように薄く形成されているので、伝熱用クッション18自体の熱抵抗は低く、効率的に熱源20から容器7内の熱電半導体2へと熱を伝えることができる。この伝熱用クッション18を用いることにより、熱源20としての加熱ダクトおよび容器7の平面度および表面粗さに対する要求条件を緩和できる。また、液状の低融点材料16を封入した柔軟なシェル17がクッションとして機能し、熱電変換モジュール1に作用する加圧力Pにより熱電半導体2が破壊してしまうことを防止する。

20

【0085】

さらに、熱源20としての加熱ダクトが熱膨張した場合でも、熱源20の熱電変換モジュール1に対する接触面を第2のシート材22上で滑らせて面方向（図11中の矢印A方向）にスライド移動させるので、シェル17に作用しようとするせん断応力を逃がし、シェル17の破壊を防止する。これにより、加熱ダクトの運転・停止中の温度差に起因する熱膨張変位を許容できる。また、第2のシート材22としてのカーボンシートが介在する界面の熱抵抗を、これがない場合の1/10以下に低減することができる。以上により、熱電変換モジュール1に負荷できる温度差を従来よりも増大でき、熱電変換モジュール1の発電電力を向上できる。すなわち実質的なエネルギー変換効率を向上できる。これにより熱電変換システムの発電単価を低減できる。

30

【0086】

また、図12に示す熱電変換モジュール1は、容器7は図示を省略する熱源から放射で熱を受ける受熱面S3を有し、受熱面S3に対して側面S4となる容器7の外周面部分の放射率を受熱面S3の放射率よりも小さくするようにしている。放射率が小さい面ほど熱を吸収し難くなって加熱され難くなり、逆に放射率が大きい面ほど熱を吸収し易くなって加熱され易くなる。従って、容器7の受熱面S3（上面）の放射率を大きく設定することで受熱面S3は加熱され易くなり、熱電半導体2に負荷される温度差を大きくでき、一方、容器7の側面S4の放射率を小さく設定することで当該容器7の側面S4は加熱され難くなり、熱電半導体2の熱落差が小さくならないことを防止できる。熱電変換モジュール1の発電性能は熱電半導体2に負荷される温度差のほぼ2乗に比例するため、上記のように受熱面S3と側面S4に異なる放射率を設定することで、熱電変換モジュール1の発電性能を大幅に向上できる。

40

【0087】

放射率は、材料のみならず、表面仕上げ状態にも依存し、また空気中での使用する場合には、酸化の程度にも依存する。したがって、容器7の表面の放射率は、例えば容器7を構成する材料の選択によって、または容器素材の一部または全部を覆う1または2以上の

50

被覆材の選択によって、または容器 7 の表面の仕上げの状態すなわち表面粗さの程度によって、目的とする値に設定することができる。勿論、上述した方策の一部または全部を組み合わせて、容器 7 表面の放射率を目的とする値に設定することも可能である。被覆材は、例えばコーティングまたは蒸着、メッキ、塗装、貼り付けなどによって素地材に付着させることができる。また、容器 7 表面を鏡面仕上げとすれば放射率を小さくでき、容器 7 表面上に微細な凹凸があるような粗仕上げとすれば放射率を大きくできる。

【 0 0 8 8 】

なお、上述の実施形態は本発明の好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば上述の実施形態では、気密の容器 7 を採用し、熱電半導体 2 などの構成部品を収めた容器 7 内を真空または減圧雰囲気とする構成を主に挙げて説明したが、熱電変換モジュールの一体化と強度の保持を達成するという観点からは、気密容器 7 である必要なく、加熱板と冷却板との全周縁にわたって連結板を配置していても非気密の容器としても良いし、連結板で部分的に連結するようにしても良い。例えば図 1 3 に示すように、加熱板 2 6 と、放熱側電極部 4 が接触する冷却板 6 とを少なくとも 2 点、好ましくは数点以上において連結板 2 4 を用いて接続して、加熱板 2 6 と冷却板 6 とに挟まれた熱電変換モジュール 1 に加圧力 P を作用させるようにしている。これにより、シート材 5 が熱源側電極部 3 に押圧されて熱電半導体 2 並びに放熱側電極部 4 とともに一体に保持されている。尚、使用時には、熱源 2 0 としての加熱ダクトと、冷却ダクト 2 1 との間に熱電変換モジュール 1 を挟み、当該加熱ダクトと冷却ダクト 2 1 との間の距離を調整することで、熱電変換モジュール 1 に対して適切な加圧力を作用させるようにしても良い。

【 0 0 8 9 】

また、図 1 4 に示すように、加熱板 2 6 と冷却板 6 とを連結する連結板 2 4 の範囲を拡張し、ほぼ全周縁にわたって連結板 2 4 を配置することで、加熱板と冷却板との間で非気密の容器を構成するようにしても良い。例えば、幅の広い連結板 2 4 を加熱板 2 6 と冷却板 6 とにそれぞれ溶接あるいは接着やろう付けなどで接合したり、加熱板 2 6 の周りに 4 枚の連結板 2 4 を配置した 1 枚の板を曲げ加工などによって一体に成形したものを冷却板 6 と接合したりすることによって容易に成形できる。更には、前述の気密容器を構成する蓋体 7 0 の側面の一部に貫通孔をあけて非気密状態とすることも可能である。

【 0 0 9 0 】

この構成によっても、熱源側電極部 3 は加熱板 2 6 に直接接合されず、加熱板 2 6 と熱源側電極部 3 との間に介在するシート材 5 が、加熱板 2 6 と熱源側電極部 3 と相対的なスライド移動を可能にする。このため、加熱板 2 6 の加熱面が熱膨張しても、加熱板 2 6 の加熱面をシート材 5 上で滑らせて面方向にスライド移動させるので、熱電半導体 2 および熱源側電極部 3 および放熱側電極部 4 には、せん断応力は作用しない。従って、熱電変換モジュール 1 を大型化しても、脆弱な熱電半導体 2 を破壊したり、接合面で剥離を生じることはない。また、シート材 5 が介在する界面は、熱電変換モジュール 1 に作用する加圧力 P により良好に密着し、当該界面における接触熱抵抗を小さくできる。これにより熱電半導体 2 に大きな温度差を負荷できる。また、熱電変換モジュール 1 を大型化することが可能となるので、熱電半導体 2 の実質的な充填密度を向上でき、出力密度（単位面積当たりの出力）を増大することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 1 】

【図 1】本発明の熱電変換モジュールの実施の一形態を示す縦断面図である。

【図 2】本発明の熱電変換モジュールの他の構成例を示す縦断面図である。

【図 3】本発明の熱電変換モジュールの更に他の構成例を示す縦断面図である。

【図 4】本発明の熱電変換モジュールの更に他の構成例を示す縦断面図である。

【図 5】シート材に代えてグリースを用いた熱電変換モジュールの構成例を示す縦断面図である。

【図 6】熱電変換モジュールの容器の内圧を目的値に設定するためのノズル部を設けた構

成例を示す縦断面図である。

【図 7】図 1 の熱電変換モジュールの平面図である。

【図 8】容器の他の構成例を示す縦断面図である。

【図 9】容器の更に他の構成例を示す縦断面図である。

【図 10】ベローズを備えた熱電変換モジュールの構成例を示す縦断面図である。

【図 11】伝熱用クッションを備えた熱電変換モジュールの構成例を示す縦断面図である

。

【図 12】異なる放射率を有する熱電変換モジュールの構成例を示す縦断面図である。

【図 13】本発明の熱電変換モジュールの他の実施形態の一例を示す縦断面図である。

【図 14】非気密性の容器を用いる熱電変換モジュールの一実施形態を示す縦断面である 10

。

【図 15】気密性容器を用いた熱電変換モジュールの一実施形態を示す斜視図であり、容器を部分的に断面して内部構造を示す。

【図 16】従来の熱電変換モジュールを示す縦断面図である。

【図 17】従来の熱電変換モジュールの他の構成を示す縦断面図である。

【符号の説明】

【0092】

1 熱電変換モジュール

2 熱電半導体

3 熱源側電極部 20

4 放熱側電極部

5 シート材

6 冷却板

7 容器

7 a 加熱板

7 b 連結板

14 グリース

15 ベローズ

16 低融点材

17 シェル 30

18 伝熱用クッション

22 第 2 のシート

24 連結板

70 蓋体

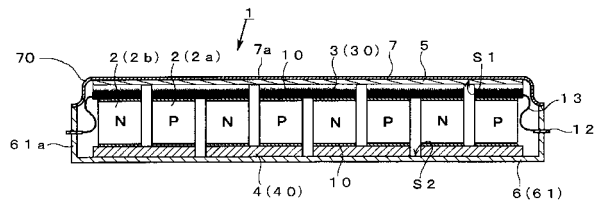
S1 高温面

S2 低温面

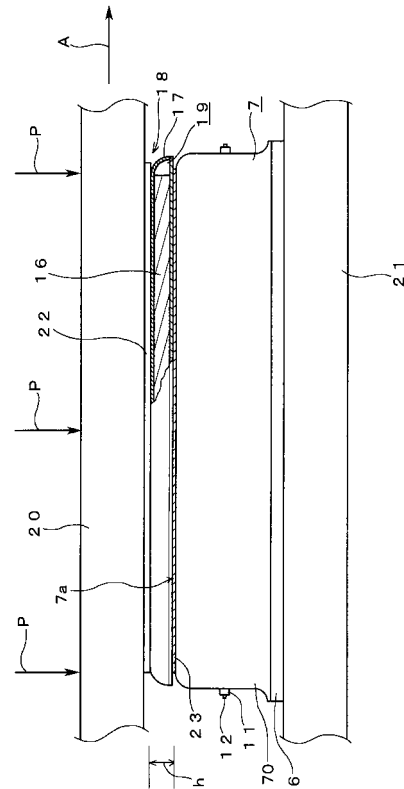
S3 受熱面

S4 側面

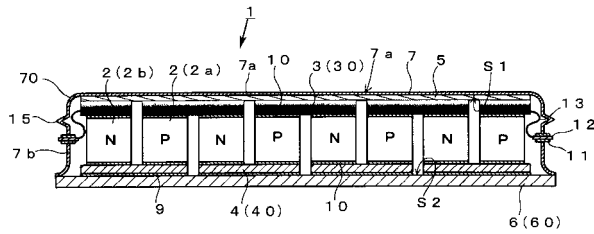
【図 9】



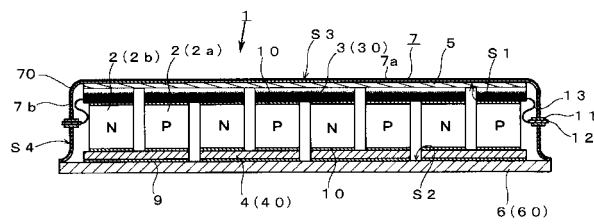
【図 11】



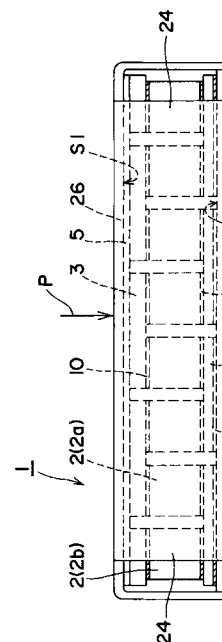
【図 10】



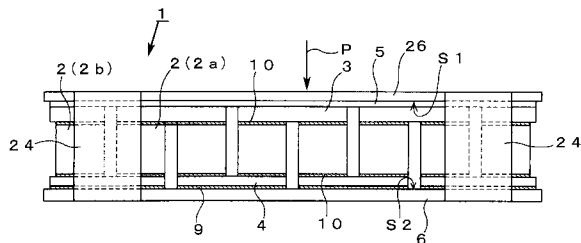
【図 12】



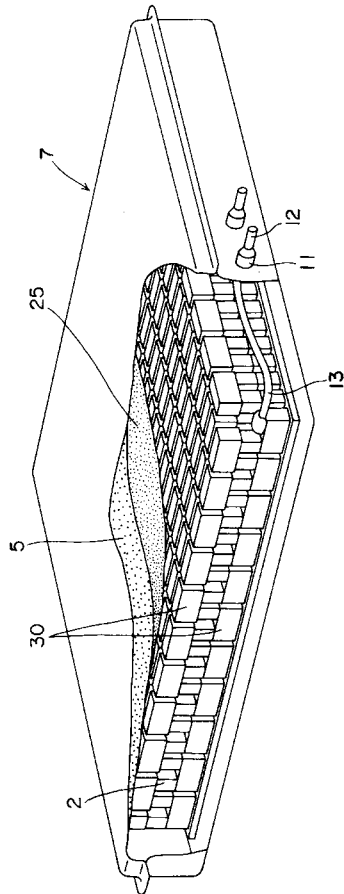
【図 14】



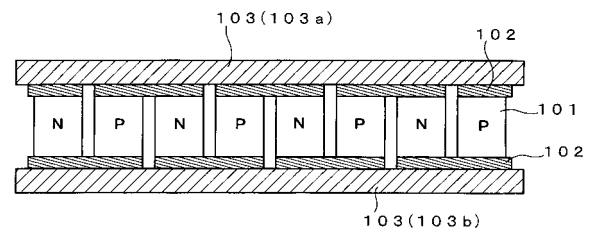
【図 13】



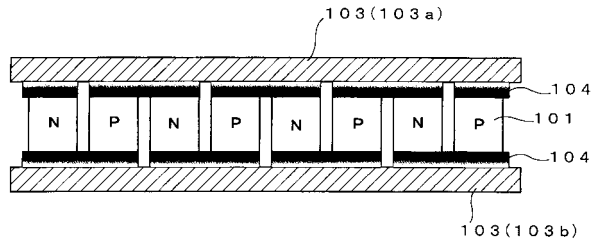
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-183025(JP,A)
実公昭41-018988(JP,Y1)
特開平10-125960(JP,A)
特開2005-277206(JP,A)
特開2000-050661(JP,A)
特開平09-321349(JP,A)
特開2000-214934(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 35/30
H01L 35/34
H02N 11/00