

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第6849137号
(P6849137)

(45) 発行日 令和3年3月24日(2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月8日(2021.3.8)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 23/36 (2006.01) H O 1 L 23/36 D

請求項の数 14 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2020-116687 (P2020-116687)</p> <p>(22) 出願日 令和2年7月6日(2020.7.6)</p> <p>審査請求日 令和2年8月3日(2020.8.3)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005234 富士電機株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号</p> <p>(74) 代理人 110000800 特許業務法人創成国際特許事務所</p> <p>(72) 発明者 加藤 遼一 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内</p> <p>(72) 発明者 浅井 竜彦 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内</p> <p>(72) 発明者 白田 健人 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁基板の底面側に設けられた導電性板を有する積層基板と前記積層基板上に実装された半導体素子とからなる少なくとも1つの半導体アセンブリと、前記導電性板の底部を除いて前記少なくとも1つの半導体アセンブリを封止する封止部とを有する半導体モジュールと、

前記半導体モジュールを載置する載置面を有する冷却器と、

前記半導体モジュールと前記冷却器の前記載置面との間に配置され、前記積層基板の底面に接する熱伝導シートと、

を備え、

前記熱伝導シートは、前記導電性板の底部の外縁の少なくとも一部に対応した凹部を有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項2】

前記半導体モジュールは、M個(M:偶数)の前記半導体アセンブリを有し、

前記M個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有し、

前記凹部は、前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに対向する前記縁部に対応した形状を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】

前記互いに対向する前記縁部は、前記半導体モジュールの中央部において互いに隣接す

る前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに隣接する2つの縁部であることを特徴とする請求項2に記載の半導体装置。

【請求項4】

前記M個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの長手方向に延在する縁部をさらに有し、

前記凹部は、前記長手方向の前記縁部に対応した形状を有していることを特徴とする請求項2又は3に記載の半導体装置。

【請求項5】

前記半導体モジュールは、前記半導体モジュールの長手方向に配置されたN個(N:奇数)の前記半導体アセンブリを有し、

前記N個の半導体アセンブリのうち1個は、前記長手方向の中央領域上に配置され、

前記熱伝導シートは、前記半導体モジュールの短手方向に延在する中心線に対応した凹部を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項6】

前記半導体モジュールは、N個(N:奇数)の前記半導体アセンブリを有し、

前記N個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有し、

前記凹部は、前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに対向する前記縁部に対応した形状を有していることを特徴とする請求項1又は5に記載の半導体装置。

【請求項7】

前記互いに対向する前記縁部は、互いに隣接する前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに隣接する2つの縁部であることを特徴とする請求項6に記載の半導体装置。

【請求項8】

前記N個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの長手方向に延在する縁部をさらに有し、

前記凹部は、前記長手方向の前記縁部に対応した形状を有していることを特徴とする請求項6又は7の何れか1項に記載の半導体装置。

【請求項9】

前記互いに隣接する2つの縁部の各々に対応する凹部を統合して共通の凹部としたことを特徴とする請求項3又は7に記載の半導体装置。

【請求項10】

前記熱伝導シートは、前記凹部に向かって前記熱伝導シートの厚さが減じるスロープ部を有していることを特徴とする請求項1から9の何れか1項に記載の半導体装置。

【請求項11】

前記熱伝導シートのヤング率Yは、 $1 \text{ Pa} < Y < 200 \text{ Pa}$ の条件を満たすことを特徴とする請求項1から10の何れか1項に記載の半導体装置。

【請求項12】

前記熱伝導シートは、カーボンシートからなることを特徴とする請求項1から11の何れか1項に記載の半導体装置。

【請求項13】

前記熱伝導シートは、前記積層基板が配置される中央部よりも、長手方向の両端部の板厚が厚いことを特徴とする請求項1から12の何れか1項に記載の半導体装置。

【請求項14】

前記両端部の板厚をx、前記中央部の板厚をyとしたとき、 $2y < x < 3y$ の関係が成立することを特徴とする請求項13に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体モジュールと冷却器との間に配置された熱伝導シートを有する半導体

10

20

30

40

50

装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電力変換用のスイッチングデバイスとして用いられるパワー半導体モジュールは、パワー半導体素子等から発生する熱によって悪影響を受けることがある。これを抑制するため、パワー半導体には、放熱のための熱伝導層、冷却器等が用いられている。

【0003】

例えば、パワー半導体モジュールのパワー半導体の動作時に発生する熱は、パワー半導体モジュールと冷却器（放熱フィン）との間の熱伝導層を介して冷却器へと伝わり、発熱したパワー半導体素子等を冷却する。

10

【0004】

熱伝導層を設けない場合、半導体モジュールと冷却器の接触面に凹凸があるため、熱伝導性の低い空気層ができてしまい、チップで発生する熱を放熱することができない。そのため、通常、グリース等の熱伝導層が用いられるが、パワー半導体素子の動作温度 T_{jmax} の上昇に伴い、 $T_{jP/C}$ 、 $T_{cP/C}$ 試験時にグリースの流出やポンプアウトが発生して、熱抵抗が増大することがある。

【0005】

例えば、下記の特許文献1には、グリースの塗布時と塗布後の粘度を変化させることで、塗布時には塗布し易く、信頼性試験時及び実機使用時にはポンプアウトが起こり難い粘度の高いグリースが開示されている（段落0019、図3）。

20

【0006】

近年では、カーボンシート等の熱伝導材の利用が検討されており、これを半導体モジュールの下面側に取り付けることで、発生した熱を冷却器に伝導させることも検討されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特許第5383599号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0008】

しかしながら、カーボンシートは比較的硬い材料であるため、半導体モジュールをカーボンシートを介して冷却器にねじ留めする際や信頼性試験の際に、半導体モジュールの反りとは反対方向に、封止樹脂に力がかかり、半導体モジュールの封止樹脂が破損してしまうという問題がある。

【0009】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、半導体モジュールの破損を防止しつつ、放熱性能の高い半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

40

上記目的を達成するため、本発明の半導体装置は、絶縁基板の底面側に設けられた導電性板を有する積層基板と前記積層基板上に実装された半導体素子とからなる少なくとも1つの半導体アセンブリと、前記導電性板の底部を除いて前記少なくとも1つの半導体アセンブリを封止する封止部とを有する半導体モジュールと、前記半導体モジュールを載置する載置面を有する冷却器と、前記半導体モジュールと前記冷却器の前記載置面との間に配置され、前記積層基板の底面に接する熱伝導シートと、を備え、前記熱伝導シートは、前記導電性板の底部の外縁の少なくとも一部に対応した凹部を有していることを特徴とする。

【0011】

本発明の半導体装置では、半導体モジュールと冷却器との間に熱伝導シートが設けられ

50

、半導体モジュール内の半導体アセンブリで発生した熱を、熱伝導シートを介して冷却器に伝導し、放熱する。

【0012】

半導体アセンブリは封止部によって封止されているが、半導体モジュールに反りが生じたとき、封止部がひび割れすることがある。この点、本発明では、熱伝導シートに導電性板の底部の外縁に対応する凹部が設けられているため、反りが生じたとき前記導電性板が当該凹部に入り込み、熱伝導シートが反発力を生じない。なお、ここでの「凹部」は、熱伝導シートの底面側まで貫通する切欠状態の凹部を含む。これにより、本発明の半導体装置は、反発力によって生じる封止部のひび割れ、すなわち半導体モジュールの破損を防止しつつ、放熱性能を高く保つことができる。

10

【0013】

本発明の半導体装置において、前記半導体モジュールは、 M 個（ M ：偶数）の前記半導体アセンブリを有し、前記 M 個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有し、前記凹部は、前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに対向する前記縁部に対応した形状を有していることが好ましい。

【0014】

M 個（ M ：偶数）の半導体アセンブリが有する導電性板の各々は、半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有している。凹部は、前記導電性板の互いに対向する縁部に対応した形状（全て揃える必要なし）となっているため、半導体モジュールに、その長手方向の反りが生じたとき前記導電性板が当該凹部に入り込み、半導体モジュールの破損を防止することができる。

20

【0015】

また、本発明の半導体装置において、前記互いに対向する前記縁部は、前記半導体モジュールの中央部において互いに隣接する前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに隣接する2つの縁部であることが好ましい。

【0016】

例えば、半導体モジュールが2個の半導体アセンブリを有している場合、各々の導電性板は前記短手方向に延在する2つの縁部を有し、合計4つの縁部が存在する。凹部は、これら縁部のうち互いに隣接する半導体アセンブリが有する導電性板の、互いに隣接する2つの縁部に対応した形状となっている。このため、半導体モジュールの長手方向の両端が持ち上がる正反対策の凹部とすることができる。

30

【0017】

また、本発明の半導体装置において、前記 M 個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの長手方向に延在する縁部をさらに有し、前記凹部は、前記長手方向の前記縁部に対応した形状を有していることが好ましい。

【0018】

M 個（ M ：偶数）の半導体アセンブリが有する導電性板の各々は、さらに半導体モジュールの長手方向に延在する2つの縁部を有している。凹部は、これら縁部に対応した形状（全て揃える必要なし）となっているため、半導体モジュールに短手方向又は長手方向の反りが生じたとき、前記導電性板が当該凹部に入り込み、半導体モジュールの破損を防止することができる。

40

【0019】

また、本発明の半導体装置において、前記半導体モジュールは、前記半導体モジュールの長手方向に配置された N 個（ N ：奇数）の前記半導体アセンブリを有し、前記 N 個の半導体アセンブリのうち1個は、前記長手方向の中央領域上に配置され、前記熱伝導シートは、前記半導体モジュールの短手方向に延在する中心線に対応した凹部を有していることが好ましい。

【0020】

例えば、半導体モジュールが3個の半導体アセンブリを有している場合、長手方向の中

50

央領域上に配置された半導体アセンブリが有する導電性板の、短手方向に延在する中心線の位置は、正反りが発生したとき、下に凸となる位置である。従って、熱伝導シートに、当該中心線に対応した凹部を設けることで、半導体モジュールの正反り対策の凹部とすることができる。なお、半導体モジュールが1個の半導体アセンブリを有する場合には、唯一の積層基板の、当該短手方向に延在する中心線に対応させた凹部を設ければよい。

【0021】

また、本発明の半導体装置において、前記半導体モジュールは、N個（N：奇数）の前記半導体アセンブリを有し、前記N個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有し、前記凹部は、前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに対向する前記縁部に対応した形状を有しているこ

10

【0022】

N個（N：奇数）の半導体アセンブリが有する導電性板の各々は、半導体モジュールの短手方向に延在する縁部を有している。凹部は、前記導電性板の互いに対向する縁部に対応した形状（全て揃える必要なし）となっているため、半導体モジュールに、その長手方向の反りが生じたとき前記導電性板が当該凹部に入り込み、半導体モジュールの破損を防止することができる。

【0023】

また、本発明の半導体装置において、前記互いに対向する前記縁部は、互いに隣接する前記半導体アセンブリが有する前記導電性板の、互いに隣接する2つの縁部であることが

20

【0024】

例えば、半導体モジュールが3個の半導体アセンブリを有している場合、各々の導電性板は前記短手方向に延在する2つの縁部を有し、合計6つの縁部が存在する。凹部は、これら縁部のうち互いに隣接する半導体アセンブリが有する導電性板の、互いに隣接する4つの縁部に対応した形状となっている。このため、半導体モジュールの正反り対策の凹部とすることができる。

【0025】

また、本発明の半導体装置において、前記N個の半導体アセンブリが有する前記導電性板の各々は、前記半導体モジュールの長手方向に延在する縁部をさらに有し、前記凹部は、前記長手方向の前記縁部に対応した形状を有していることが好ましい。

30

【0026】

N個（N：奇数）の半導体アセンブリが有する導電性板の各々は、さらに半導体モジュールの長手方向に延在する2つの縁部を有している。凹部は、これら縁部に対応した形状（全て揃える必要なし）となっているため、半導体モジュールに短手方向又は長手方向の反りが生じたとき、前記導電性板が当該凹部に入り込み、封止部の破損を防止することができる。

【0027】

また、本発明の半導体装置において、前記互いに隣接する2つの縁部の各々に対応する凹部を統合して共通の凹部としてもよい。

40

【0028】

複数の積層基板の間の領域に設けられた、互いに隣接する2つの縁部の各々に対応する凹部を共通にすることで、何れか一方又は両方の積層基板の底部の導電性板が、当該共通の凹部に入り込むようにすることができる。

【0029】

また、本発明の半導体装置において、前記熱伝導シートは、前記凹部に向かって前記熱伝導シートの厚さが減じるスロープ部を有していることが好ましい。

【0030】

半導体モジュールは、その長手方向の反りが発生することが多いため、熱伝導シートの凹部に向かって、その厚さが減じるスロープ部を設ける。これにより、反りが発生した場

50

合に、積層基板がスロープ部に沿って傾斜し、その底部の導電性板が凹部に入り込むため、封止部が反発力を受け難くなる。

【0031】

また、本発明の半導体装置において、前記熱伝導シートのヤング率 Y は、 $1 \text{ Pa} < Y < 200 \text{ Pa}$ の条件を満たすことが好ましい。

【0032】

熱伝導シートとして、上記条件を満たす材料を使用することで、当該熱伝導シートが押圧され、変形した場合や半導体モジュールに反りが生じた場合に、それに追従するようにして、積層基板で発生した熱を確実に冷却器に伝導することができる。

【0033】

また、本発明の半導体装置において、前記熱伝導シートは、カーボンシートからなることが好ましい。

【0034】

カーボンシートは熱伝導率が高いため、放熱性能が高い。また、カーボンシートは薄くて硬い材料であるため、凹部の加工も行い易い。

【0035】

また、本発明の半導体装置において、前記熱伝導シートは、前記積層基板が配置される中央部よりも、前記中央部以外の両端部の板厚が厚いことが好ましい。

【0036】

この構成によれば、熱伝導シートの中央部の板厚を薄くして、半導体モジュールの反りに追従するようにし、放熱性能を維持する。一方、熱伝導シートの両端部の板厚を比較的厚くすることで、半導体モジュール全体に発生する応力を低減することができる。

【0037】

また、本発明の半導体装置において、前記両端部の板厚を x 、前記中央部の板厚を y としたとき、 $2y < x < 3y$ の関係が成立することが好ましい。

【0038】

この構成によれば、熱伝導シートの中央部及び両端部が上記条件を満たすように設計することで、放熱性能をより向上させ、半導体モジュール全体に発生する応力を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の実施形態に係る半導体モジュールの断面図である。

【図2】図1の領域Rの断面図である。

【図3】半導体モジュールの反りを説明する断面図である。

【図4】半導体モジュールの熱伝導シートを上方から見た図である。

【図5】積層基板(2個)の辺の名称を説明する図。

【図6】(a)正反り(辺A)に対応する凹部を説明する図。(b)正反り(辺A+C)に対応する凹部を説明する図。(c)正反り(辺A+B)に対応する凹部を説明する図。(d)正反り(辺A+B+C)に対応する凹部を説明する図。

【図7】(a)逆反り(辺C)に対応する凹部を説明する図。(b)逆反り(辺C+A)に対応する凹部を説明する図。(c)逆反り(辺C+B)に対応する凹部を説明する図。(d)逆反り(辺C+B+A)に対応する凹部を説明する図。

【図8】積層基板(1個)の辺と中心線の名称を説明する図。

【図9】(a)正反り(辺F)に対応する凹部を説明する図。(b)正反り(辺F+E)に対応する凹部を説明する図。(c)正反り(辺F+D)に対応する凹部を説明する図。(d)正反り(辺F+D+E)に対応する凹部を説明する図。

【図10】(a)逆反り(辺E)に対応する凹部を説明する図。(b)逆反り(辺E+F)に対応する凹部を説明する図。(c)逆反り(辺D+E)に対応する凹部を説明する図。(d)逆反り(辺D+F+E)に対応する凹部を説明する図。

【図11】図4のA-A断面図である。

10

20

30

40

50

【図12】半導体モジュールの熱伝導シートを上方から見た図である（変更形態1）。

【図13】半導体モジュールの熱伝導シートを上方から見た図である（変更形態2）。

【図14】図13のB-B断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

以下、図面を参照しながら、本発明の半導体装置の実施形態を説明する。

【0041】

図1は、本発明の実施形態に係る半導体装置100の断面図を示している。まず、半導体モジュール10は、主に半導体素子1、配線基板2、半導体アセンブリ6A、半導体アセンブリ6B、封止部11等で構成されている。

10

【0042】

ここで、半導体アセンブリ6Aは、積層基板5Aと、当該積層基板5Aに実装された少なくとも1つの半導体素子1（ピン4等の配線を含んでもよい）とからなる部分である。また、半導体アセンブリ6Bは、積層基板5Bと、当該積層基板5Bに実装された少なくとも1つの半導体素子1とからなる部分である。

【0043】

半導体モジュール10は、少なくとも1つの半導体アセンブリ6A、6Bを有しており、それぞれ配線基板2に接続されている。配線基板2、半導体アセンブリ6A及び半導体アセンブリ6Bは、ポッティングやモールド工法によりケース8内に樹脂で封止されている。なお、積層基板5A、5Bの下面側には封止部11が存在しない。

20

【0044】

また、半導体モジュール10は、ねじ9等により、半導体モジュール10（積層基板5A、5B）を冷却する冷却器30に留められている。半導体モジュール10と冷却器30（載置面）との間には、熱伝導シート20が配置されている。

【0045】

半導体素子1は、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、或いはダイオードチップ等のパワーチップであり、種々のSiデバイス、SiCデバイス、GaNデバイス等を用いることができる。また、これらのデバイスを組み合わせて用いてもよい。例えば、Si-IGBTとSiC-SBDを用いたハイブリッドモジュール等を用いることができる。半導体素子1の搭載数は、図示する形態に限定されるものではなく、複数搭載することもできる。

30

【0046】

配線基板2は、半導体素子1の電極と電気的に接続する配線層を有する基板であり、半導体素子1の上面側に配設されている。配線基板2は、絶縁基板の両面を金属箔（金属配線板）で覆った構造であり、下面側の金属箔は半導体素子1に対向するように形成されている。配線基板2は、いわゆるプリント基板でもよい。絶縁基板は誘電率が低く、熱伝導率の高い材料が好ましく、例えば、 Si_3N_4 、 AlN 、 Al_2O_3 を使用することができる。また、金属箔は電気抵抗が低く、熱伝導率の高い材料が好ましく、例えば、Cuを使用することができる。

【0047】

ピン4は、その一端がはんだによって半導体素子1の上面側に接合され、他端は配線基板2との接続に用いられる。ピン4は電気抵抗が低く、熱伝導率の高い金属、例えば、Cuを使用することができる。また、ピン4は、上面側の配線基板2に接続される場合や、取り出し端子に接続される場合がある。ピン4は、リードフレームに接続されてもよい。また、半導体素子1の上面からの配線はピン4の他、リードフレームやAl等からなるワイヤを用いてもよい。

40

【0048】

積層基板5Aは、中央の絶縁基板52と、その上面側に形成される第1導電性板51と、その下面側に形成される第2導電性板53とで構成されている。絶縁基板52としては、電気絶縁性、熱伝導性に優れた材料を用いることができ、例えば、 Al_2O_3 、 AlN 、

50

SiN等が挙げられる。特に、高耐圧用途では、電気絶縁性と熱伝導率を両立した材料が好ましく、AlN、SiNを用いることができるが、これらには限定されない。

【0049】

第1導電性板51、第2導電性板53としては、導電性及び加工性の優れたCu、Al等の金属材料(金属箔)を用いることができる。なお、本明細書において、Cuからなる第2導電性板53を、裏面銅板と称することがある。導電性板51、53は、防錆等の目的で、Niめっき等の処理を行ったCu、Alであってもよい。

【0050】

絶縁基板52の面上に導電性板51、53を配設する方法としては、直接接合法(Direct Copper Bonding法)もしくは、ろう材接合法(Active Metal Brazing法)が挙げられる。積層基板5Bについても、構造は同じである。なお、絶縁基板52の周縁は、導電性板51、53の周縁よりも外側に突出していることが好ましい。

【0051】

半導体素子1の下面側と積層基板5Aの第1導電性板51とは、はんだによって電氣的及び熱的に接合されている。また、積層基板5Aの第1導電性板51、第2導電性板53は電氣的に分離されている。第2導電性板53(裏面銅板)と冷却器30の上面側(載置面)(後述する載置板30b)とは、熱伝導シート20を介して接着されている。

【0052】

また、半導体素子1の下面側と積層基板5Bの第1導電性板51とは、はんだによって電氣的及び熱的に接合されている。積層基板5Bについても、第1導電性板51、第2導電性板53は電氣的に分離されている。第2導電性板53と冷却器30の上面側とは、熱伝導シート20を介して接着されている。

【0053】

熱伝導シート20は、熱伝導性の高い材料で形成されている。また、熱伝導シート20は、半導体素子1を備える積層基板5A、5Bと冷却器30のそれぞれに接触するため、半導体素子1で発生した熱を冷却器30に伝導して、放熱することができる。

【0054】

冷却器30は、例えば、Al、Cu等の熱伝導性の良好な材料で作られた放熱フィン30aと、半導体モジュール10を載置する載置板30bとで構成されている。載置板30bの放熱フィン30aがない側の面は、本発明の「載置面」に相当する。冷却器30として、板状フィンを多数並列させた、複数の流路からなる放熱フィンを用いてもよい。

【0055】

図2は、図1の領域Rの拡大図を示している。

【0056】

半導体装置100は、例えば電力変換のために用いられるが、この際、半導体素子1(積層基板5A、5B)が発熱する。そのため、半導体素子1の温度を一定以下にする必要があり、半導体モジュール10の裏面側に冷却器30が取り付けられている。

【0057】

半導体モジュール10と冷却器30とが接触する面は、マクロ的には半導体モジュール10の反りやうねりによって隙間が生じることがある。また、ミクロ的には冷却器30の載置面の粗さによる細かい凹凸があり、平滑ではない。なお、「反り」とは、半導体モジュール10が、例えば、半導体モジュール10の周辺部が持ち上がるように、又は周辺部が下がるように全体が変形することをいう。

【0058】

半導体モジュール10の封止部11と冷却器30との間に熱伝導率の低い空気層24ができた場合、熱を伝導することはできず、熱抵抗が上昇してしまう。従って、熱伝導シート20は、上述の反りやうねり、細かな凹凸に対しても隙間が生じないように、その空間を満たす必要がある。熱伝導シート20は、半導体モジュール10の熱変形(膨張等)にも追従し、隙間が生じないことが必要である。

【0059】

10

20

30

40

50

本実施形態では、熱伝導シート20として、厚みが25 μm から100 μm 程度のカーボンシート（グラファイトシート等）を採用する。そのメリットとしては、それ自体の熱伝導率がグリース等の軟質の熱伝導層の熱伝導率（1～4W/mK）と比較して、10～40W/mK（Z方向）と高く、加工もし易いことが挙げられる。

【0060】

カーボンシート自体は硬質であるため、そのまま使用すると熱伝導シート20が反りや凹凸を吸収できず、半導体モジュール10と冷却器30との間に隙間が生じて熱を伝導できない場合がある。そこで、ねじ9（図1参照）を締めて、半導体モジュール10と冷却器30と間に荷重をかけることで、半導体モジュール10と冷却器30の凹凸を熱伝導シート20の変形で吸収し、空気層24を作ることなく熱を伝導することができる。熱伝導シート20は、グリースのような軟質の熱伝導層以上に高い放熱効果が期待できる。

10

【0061】

カーボンシートのヤング率（ Y_1 ）は、5GPa Y_1 15GPaの条件を満たすことが好ましい（単位：GPa）。

【0062】

カーボンシートは、カーบอนを主体とする材料を圧縮加工したシート状の部材であり、グラファイトシート等であってもよい。なお、「主体」とは不可避不純物を除き、カーボンが90wt%以上の意味であり、カーボンのみからなってもよい。また、PAN（Polyacrylonitrile）系やピッチ系等のカーボンファイバー、或いはカーボンナノファイバーをシート状に固めたものでもよい。その際、カーボンファイバーの線径は稠密性の点から5 μm から10 μm が好ましく、カーボンナノファイバーの線径は1nmから50nmが好ましい。

20

【0063】

また、グラッシーカーボンのみからなるシートでもよいし、カーボン以外の樹脂を含んだシートを用いてもよい。当該樹脂を含む場合は、カーボンの含有率が80wt%から99wt%であることが好ましく、熱伝導性及び弾性の点から90wt%から95wt%がより好ましい。なお、これより含有率が少ない場合には形成性が損なわれ、含有率が多い場合には熱伝導性が悪化するため好ましくない。また、樹脂としては、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、マレイミド樹脂等が用いられる。

【0064】

図3は、反りが生じた場合の半導体装置100の断面図を示している（一部の部材の図示を省略）。半導体装置100の半導体モジュール10では、その周辺部（長手方向の両端）が持ち上がる正反り（下に凸）が発生することが多い。

30

【0065】

正反りが生じた場合、ねじ9で締結して半導体モジュール10と冷却器30と間に荷重をかける。このときの課題としては、半導体モジュール10の下面の凸部（積層基板5A、5Bの裏面銅板の端部等）がねじ締結の荷重等により熱伝導シート20を押しこむことで、応力が集中する。具体的には、積層基板5A、5Bの端部が熱伝導シート20に強く当たる（図11参照）。ここでいう「端部」とは、具体的には、第2導電性板53の裏面側の縁部（外縁）である。

40

【0066】

そして、積層基板5A、5Bの端部が熱伝導シート20から反発力を受けると、当該反発力により半導体モジュール10（封止部11）が破損する。特に、半導体モジュール10の全体に、図3に示す正反りから逆反りとなるような曲げ応力が加わることで、最も剛性の小さい封止部11がひび割れ等を引き起こす。

【0067】

本実施形態の熱伝導シート20には、半導体モジュール10の破損を防止するため、積層基板5Aに対応する凹部20aと、積層基板5Bに対応する凹部20bとが設けられている。具体的には、第2導電性板53の裏面側（底部の端部）が熱伝導シート20に当たる箇所に対応して、凹部が設けられている。

50

【0068】

ここで、図4を参照して、本実施形態に係る熱伝導シート20の詳細を説明する。以下では、2つの積層基板5A、5Bが半導体モジュール10の長手方向に隣接して配置された場合を説明するが、積層基板は1つ又は3つ以上でもよい。また、半導体モジュール10を上面視したときの形状(例えば、正方形)によっても、積層基板の数や配置が変化する。

【0069】

図4は、熱伝導シート20を上方から見た図であり、熱伝導シート20には凹部20a、20bが設けられている。なお、凹部20a、20bの外側には、半導体モジュール10と冷却器30とをねじ9で締結するためのねじ穴25a、25bが設けられている。ここでいう「外側」とは、熱伝導シート20が略長方形である場合に、凹部20a、20bよりも長手方向の端部に近い位置をいう。このように、ねじ等の締結部の下方にも熱伝導シート20を配置することが、熱伝導性の観点からも好ましい。

10

【0070】

凹部20a、20bは、それぞれ2つの積層基板5A、5Bの外縁に対応した形状となっている。積層基板5A、5Bは、何れも底部側に第2導電性板53を備えている。そして、1つの第2導電性板53の底部の縁部は、熱伝導シート20の短手方向に延在する、対向する二辺を有している。また、1つの第2導電性板53の底部の縁部は、熱伝導シート20の長手方向に延在する、対向する二辺を有している。図4に示すように、熱伝導シート20は、主に長方形であるため、当該長方形の短辺方向が短手方向となる。なお、「熱伝導シート20の短手方向」は、半導体モジュール10の短手方向と一致する。

20

【0071】

凹部20aは、積層基板5Aの第2導電性板53の底部の縁部に対応した形状である。凹部20aは、熱伝導シート20の長手方向に切断箇所があるが、連続した形状であってもよい。凹部20aは、短手方向に延在する当該縁部の対向する二辺と、長手方向に延在する当該縁部の対向する二辺に対応した形状であるが、縁部の一部に対応した形状であってもよい。

【0072】

また、凹部20bは、積層基板5Bの第2導電性板53の底部の縁部に対応した形状である。なお、上面視したときの凹部20a、20bの線幅は、0.5mmから3mmが好ましく、封止部11への応力低減と熱伝導性の点から1mmから2mmがより好ましい。

30

【0073】

なお、図4、図5では、積層基板5A、5Bの長手方向が半導体モジュール10の長手方向に平行になるように配置されているが、積層基板5A、5Bの短手方向が半導体モジュール10の長手方向に平行になるように配置されていてもよい。

【0074】

本実施形態では、半導体モジュール10に、その長手方向の正反りが発生した場合、半導体モジュール10は下に凸となり、半導体モジュール10の中央部、すなわち積層基板5A、5Bの第2導電性板53の底部の端部が凹部20a、20bに入り込む(図3参照)。第2導電性板53の底部の端部が熱伝導シート20の表面に直接当たらないため、半導体モジュール10(封止部11)は、熱伝導シート20からの反発力が抑えられる。

40

【0075】

凹部20a、20bは、熱伝導シート20の底面側まで貫通した切欠部であってもよい。ただし、凹部20a、20bが熱伝導シート20の底面側まで貫通しない場合は、凹部20a、20bが途切れずに、封止部11から露出する第2導電性板53の外周縁を囲むように配置することができる点で好ましい。ここで、「囲むように配置」とは、上面視において、第2導電性板53の底部の外縁を凹部20a、20bが跨ぐような配置を意味する。少なくとも1つ凹部を有するカーボンシートは、成型、プレス加工、切削加工等により、当該凹部を所定の形状に加工することができる。

【0076】

50

一方、熱伝導シート20の底面側まで貫通する場合は、図4に示すように、熱伝導シート20が分離されないように、凹部20a, 20bに一部分の不連続部(切断箇所)を設ける必要がある。なお、凹部20a, 20bが貫通しない場合は、凹部20a, 20bの深さは、熱伝導シート20の厚さに対して40%以上であることが好ましい。上記の範囲とすることで第2導電性板53の底部の端部が凹部20a, 20bに嵌まり、熱伝導シート20への応力を低減することができる。

【0077】

凹部の配置は、半導体モジュール10の正反り、逆反りの何れを対策するかによって変化するので、以下では、図5～図10を参照して、様々なパターンについて説明する。

【0078】

図5に示すように、上面視における熱伝導シート20に配置された2つの積層基板5A, 5Bの第2導電性板53が有する辺(縁部)のうち、半導体モジュール10の短手方向に延在し、互いに対向し、隣接する二辺を辺Aとする。また、短手方向に延在して辺Aに対向する二辺を辺Cとし、長手方向に延在して互いに対向する二辺(2組)を辺Bとする。

【0079】

半導体モジュール10が長方形である場合、半導体モジュール10の長手方向の正反り、又は逆反りが生じることが多い。正反りの対策としては、図6に示すように、熱伝導シート20に(1)辺Aに対応する凹部26a, 26b(図6(a)参照)、(2)辺A及び辺Cに対応する凹部26a, 26a', 26b, 26b'(図6(b)参照)、(3)辺A及び辺Bに対応する凹部27a, 27b(図6(c)参照)、(4)辺A、辺B及び辺Cに対応する凹部28a, 凹部28a', 28b, 28b'(図6(d)参照)を設けることが好ましい。

【0080】

一方、半導体モジュール10の逆反りの対策としては、図7に示すように、熱伝導シート20に(1)辺Cに対応する凹部31a, 31b(図7(a)参照)、(2)辺C及び辺Aに対応する凹部31a, 31a', 31b, 31b'(図7(b)参照)、(3)辺C及び辺Bに対応する凹部32a, 32b(図7(c)参照)、(4)辺C、辺B及び辺Aに対応する凹部33a, 33a', 33b, 33b'(図7(d)参照)を設けることが好ましい。正反り又は逆反りに対処する上述の各凹部の配置は、積層基板が偶数個(例えば、4個)の場合に当てはまる。

【0081】

積層基板が1つの場合にも、正反りの場合には積層基板の中央部が下に凸となり、熱伝導シート20に強く当たり、第2導電性板53の底部は熱伝導シート20から大きな反発力を受ける。そのため、前記中央部の凸部に対応する熱伝導シート20の箇所(凹部)を形成するとよい。ここでの「凸部」は、熱伝導シート20の方向に凸の意味であり、「凸部に対応する...凹部」とは、凸部の少なくとも一部が入り込む位置に合わせて設けられた凹部(凹部)の意味である。

【0082】

また、半導体モジュール10内に積層基板が3つ以上配置される場合は、半導体モジュール10の長手方向の中央部に位置する第2導電性板53が下に凸となり、熱伝導シート20に大きな力を及ぼす。そのため、半導体モジュール10の中央部に位置し、凸部となる第2導電性板53の箇所に対応する凹部を熱伝導シート20に形成するとよい。

【0083】

図8に示すように、上面視における熱伝導シート22に配置された1つの積層基板5Cの第2導電性板53が有する辺(縁部)のうち、半導体モジュール10の長手方向に延在して互いに対向する二辺を辺Dとする。また、短手方向に延在して互いに対向する二辺を辺Eとし、短手方向に延在する辺Dの中心線を線Fとする。

【0084】

半導体モジュール10が長方形である場合、半導体モジュール10の長手方向の辺に正

10

20

30

40

50

反り又は逆反りが生じることが多い。正反りの対策として、図9に示すように、熱伝導シート22に(1)辺Fに対応する凹部34a(図9(a)参照)、(2)辺F及び辺Eに対応する凹部34a, 34b, 34c(図9(b)参照)、(3)辺F及び辺Dに対応する凹部35a(凹部34aを含む形状)(図9(c)参照)、(4)辺F、辺E及び辺Dに対応する凹部36a, 36b, 36c(図9(d)参照)を設けることが好ましい。

【0085】

一方、半導体モジュール10の逆反りの対策としては、図10に示すように、熱伝導シート22に(1)辺Eに対応する凹部37a, 37b(図10(a)参照)、(2)辺E及び辺Fに対応する凹部37a, 37b, 37c(図10(b)参照)、(3)辺D及び辺Eに対応する凹部38a, 38b, 38c(図10(c)参照)、(4)辺D、辺E及び辺Fに対応する凹部39a, 39b, 39c(図10(d)参照)を設けることが好ましい。正反り又は逆反りに対処する上述の各凹部の配置は、積層基板が奇数個(例えば、3個)の場合に当てはまる。

【0086】

次に、図11に、図4のA-A断面図を示す。

【0087】

熱伝導シート20の凹部20a付近には、当該凹部20aに向かって熱伝導シート20の厚さが減じるスロープ部20sを設けるようにしてもよい。スロープ部20sは、積層基板5Aの反りに対応した傾斜(水平面に対して30°から45°程度)を有している。これにより、積層基板5Aの第2導電性板53の端部がスロープ部20sに接触するので、第2導電性板53と熱伝導シート20との接触面積が増大し、第2導電性板53が熱伝導シート20に与える応力が低減する。そのため、半導体モジュール10(封止部11)の破損を防止することができる。なお、凹部20b付近には、同様のスロープ部20sが設けられている。

【0088】

また、熱伝導シート20の凹部20aと凹部20bの間の領域には、スロープ部20tが設けられている。スロープ部20tは、積層基板5A, 5Bの大きな反りに対応した、凹部20a, 20bに向かって厚さが減じる傾斜(水平面に対して60°から80°程度)である。この構造も、半導体モジュール10の破損防止につながる。

【0089】

次に、図12~図14を参照して、熱伝導シートの変更形態を説明する。

【0090】

変更形態1(半導体装置200)は、半導体モジュール10、冷却器30、及び半導体モジュール10と冷却器30(載置面)との間に配置された熱伝導シート40を備えているとする。

【0091】

図12において、熱伝導シート40は、凹部40a~40cを有している。凹部40aと凹部40cの間の領域に、半導体モジュール10の積層基板5Aが配置され、凹部40bと凹部40cの間の領域に、半導体モジュール10の積層基板5Bが配置される。なお、熱伝導シート40は、凹部40a~40cの全てが揃っている必要はない。例えば、正反りの発生が多いことを考慮して、少なくとも凹部40cは設けるようにして、適宜、凹部40a又は凹部40bを設けてもよい。

【0092】

ここで、凹部40cは、積層基板5Aと積層基板5Bに共通の凹部となっている。なお、凹部40a, 40bの外側には、ねじ穴45a, 45bが設けられている。

【0093】

半導体装置200に正反りが生じたとき、積層基板5A, 5Bの底部の第2導電性板53の底面がスロープ部に接触するので(図11参照)、第2導電性板53と熱伝導シート40との接触面積が増大し、第2導電性板53が熱伝導シート40に与える応力が低減する。そのため、半導体モジュール10(封止部11)の破損を防止しつつ、放熱性能を高

10

20

30

40

50

めることができる。

【0094】

次に、変更形態2（半導体装置300）は、半導体モジュール10、冷却器30、及び半導体モジュール10と冷却器30（載置面）との間に配置された熱伝導シート60を備えているとする。

【0095】

図13において、熱伝導シート60は、凹部60a、60bを有している。凹部60aの間の領域に、半導体モジュール10の積層基板5Aが配置され、凹部60bの間の領域に、半導体モジュール10の積層基板5Bが配置される。ここでも、熱伝導シート60は、凹部60a、60bの全てが揃っている必要はなく、例えば、凹部60a、60bを構成する要素を適宜組み合わせた凹部としてもよい。

10

【0096】

ここで、熱伝導シート60の長手方向の端部（斜線部）は、ねじ等の締結部を有する箇所であり、熱伝導シート60の中央部の膜厚より厚くすることで、熱伝導シート60の全体強度を高めている。また、熱伝導シート60の中央部（上面側に積層基板5A、5Bが配置される部分）は、その両端部より膜厚が薄いため、半導体モジュール10の反りに追従して放熱性能を維持することができる。なお、熱伝導シート60の中央部は1枚のカーボンシート61cで構成し、端部のカーボンシート61a、61bは、それぞれ上方に重ねてもよい。

【0097】

20

熱伝導シート60の厚い部分は、カーボンシート61cの長手方向の縁部から凹部60a、60bが存在する部分までの領域が好ましく、ねじ等の締結部を含んでいることが好ましい。両端部（斜線部）のカーボンシートは2枚重ねに限られず、3枚以上重ねてもよい。また、重ねるカーボンシートはそれぞれ厚みが異なるものでもよい。

【0098】

凹部60a、60bの外側にはねじ穴65a、65bがあるが、熱伝導シート60の両端部（斜線部）の膜厚が厚いため、特に半導体モジュール10が正反りを起こす場合、半導体装置300全体に発生する応力を低減することができる。積層基板5Aと積層基板5Bの間の領域は、図12に示したように、両積層基板に共通の凹部としてもよい。

【0099】

30

次に、図14に、図13のB-B断面図を示す。

【0100】

ここで、熱伝導シート60の端部の板厚 x とし、熱伝導シート60の中央部の板厚を y としたとき、 $2y < x < 3y$ の関係が成立することが好ましい。この条件を満たすように設計することで、放熱性能を高めつつ、半導体モジュール10全体に発生する応力を低減することができる。なお、当該端部の長手方向の幅は、5mmから30mmが好ましく、熱伝導シート60の固定性、締結性の観点から10mmから20mmがより好ましい。

【0101】

以上、本発明を実施するための実施形態を説明したが、本発明は上記の実施形態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、適宜変更することができる。

40

【0102】

図11において、熱伝導シート20は、スロープ部20s、20tを有していたが、必須の構成ではない。スロープ部を設けず、逆に積層基板5A、5Bの裏面銅板の端部（底端部）を斜めに切削して、熱伝導シート20に当該底端部が当接しないようにしてもよい。

【0103】

上記の実施形態の説明では、主に2枚の積層基板の間の領域が谷となる反り（正反り）が発生する場合であり、少なくとも両積層基板の間の領域に凹部が設けられていた。しかしながら、積層基板が1枚の場合にも同様の反りが発生し得るため、当該積層基板の底部

50

の外縁に対応した凹部を設けておくことが好ましい。

【0104】

凹部は、積層基板（第2導電性板）の底端部の少なくとも一部が入り込む深さがあればよい。そのため、熱伝導シートの底面側まで貫通しない凹部でもよいし、当該底面側まで貫通した凹部（切欠部）でもよい。具体的には、凹部の深さは、熱伝導シート20の厚みの40%以上が好ましい。

【0105】

凹部は、熱伝導シートの底部の外縁に対応して設けられることで、反りの方向を問わず積層基板の導電性板の底端部が入り込むことができ、封止部は、熱伝導シートから受ける反発力が低減する。反り易い方向に対する凹部は連続的に形成し、一定の幅を有することが好ましい。また、反り難い方向に対する凹部は断続的に形成したり、幅を狭くしたりしてもよい。

10

【符号の説明】

【0106】

- 1 半導体素子
- 2 配線基板
- 4 ピン
- 5 A ~ 5 C 積層基板
- 6 A , 6 B 半導体アセンブリ
- 8 ケース
- 9 ねじ
- 10 半導体モジュール
- 11 封止部
- 20 , 22 , 40 , 60 熱伝導シート
- 20 a , 20 b , 26 a ~ 28 b ' , 31 a ~ 39 c , 40 a ~ 40 c , 60 a , 60 b
凹部
- 20 s , 20 t スローブ部
- 24 空気層
- 25 a , 25 b , 45 a , 45 b , 65 a , 65 b ねじ穴
- 30 冷却器
- 30 a 放熱フィン
- 30 b 載置板
- 61 a ~ 61 c カーボンシート
- 100 , 200 , 300 半導体装置

20

30

【要約】

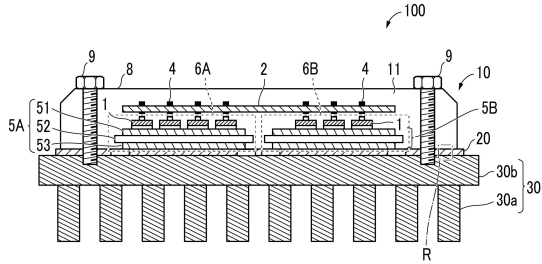
【課題】半導体モジュールの破損を防止しつつ、放熱性能の高い半導体装置を提供する。

【解決手段】本発明の半導体装置100は、配線基板2、半導体素子1が実装された積層基板5Aを含む半導体アセンブリ6A、6B、封止部11を有する半導体モジュール10と、冷却器30と、半導体モジュール10と冷却器30の載置面との間に配置され、積層基板5A、5Bの底面に接する熱伝導シート20を備えている。熱伝導シート20は、積層基板5A、5Bの底部に設けられた第2導電性板53の外縁の少なくとも一部に対応する凹部20a、20bを有している。

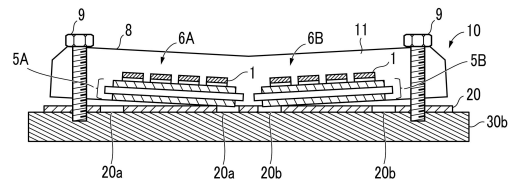
40

【選択図】図3

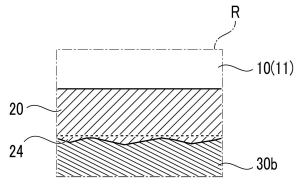
【図1】



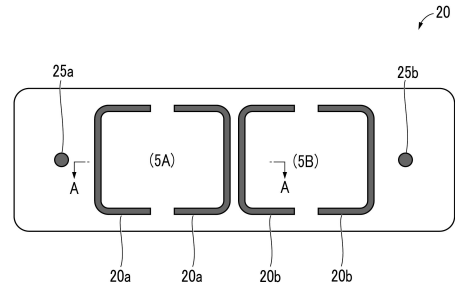
【図3】



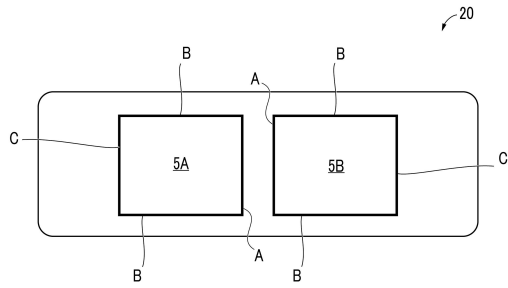
【図2】



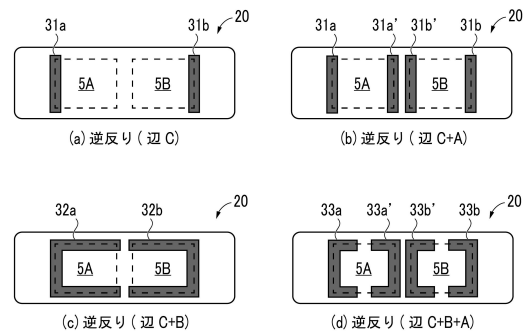
【図4】



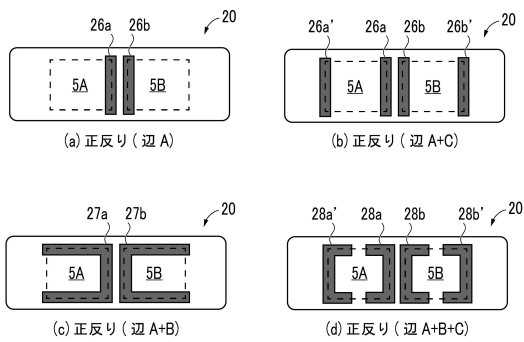
【図5】



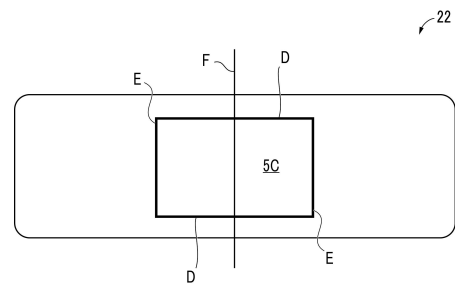
【図7】



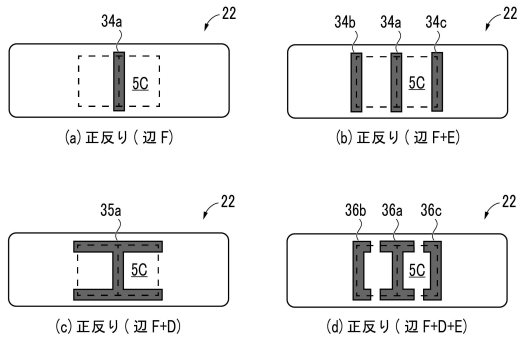
【図6】



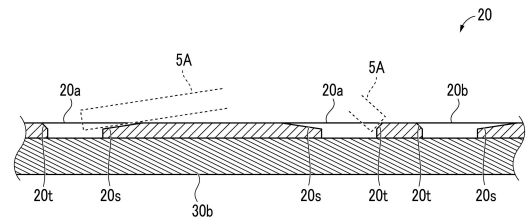
【図8】



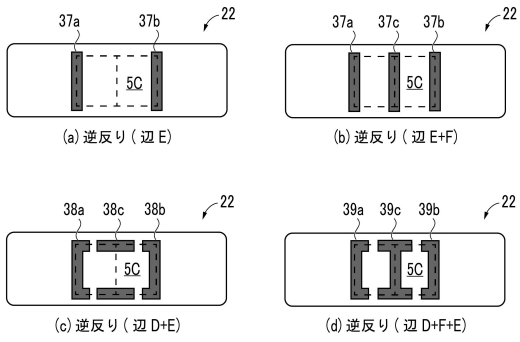
【図 9】



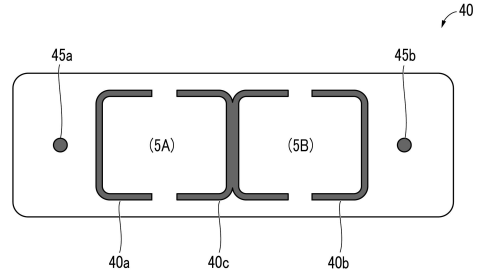
【図 11】



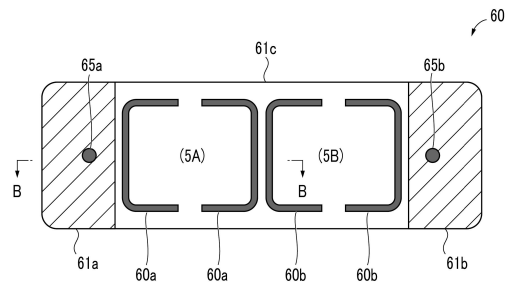
【図 10】



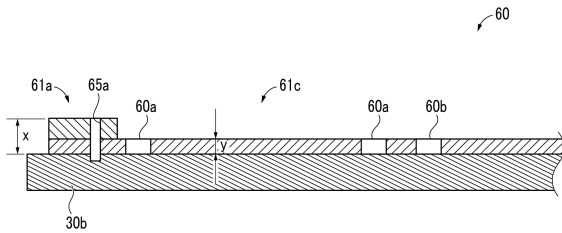
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

審査官 庄司 一隆

(56)参考文献 特開2009-081242(JP,A)
特表2016-533634(JP,A)
特開2020-087966(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 23/36