(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年5月6日(06.05.2021)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2021/085234 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 23/36 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/039367

(22) 国際出願日： 2020年10月20日(20.10.2020)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2019-198275 2019年10月31日(31.10.2019) JP

(71) 出願人：三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

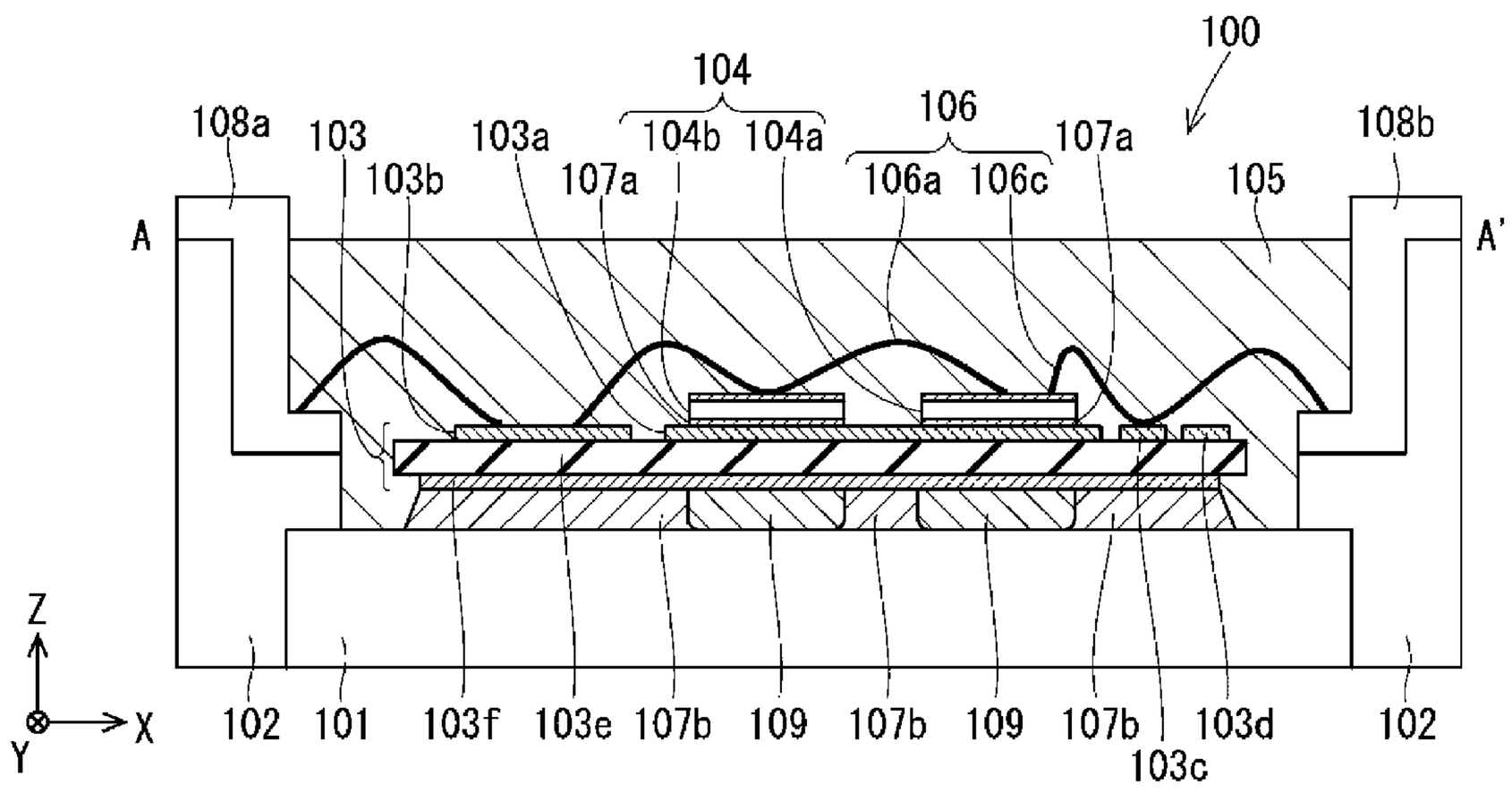
(72) 発明者：柳本 辰則(**YANAGIMOTO Tatsunori**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人：吉竹 英俊，外(**YOSHITAKE Hidetoshi et al.**)；〒5400001 大阪府大阪市中央区城見１丁目４番７０号住友生命ＯＢＰプラザビル１０階 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR MODULE, POWER CONVERSION APPARATUS, METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR MODULE, AND METHOD FOR MANUFACTURING POWER CONVERSION APPARATUS

(54) 発明の名称：半導体モジュール、電力変換装置、半導体モジュールの製造方法、および、電力変換装置の製造方法



(57) **Abstract:** Techniques disclosed herein improve the heat-dissipating performance of a semiconductor element provided on an insulating substrate. A semiconductor module related to the techniques disclosed herein is provided with: an insulating substrate having a conductor pattern on at least an upper surface thereof; at least one semiconductor element provided on an upper surface of the conductor pattern; a first bonding material provided in a part of a lower surface of the insulating substrate; and a metal film which has a thermal conductivity higher than that of the first bonding material, and which is provided in another part of the lower surface of the insulating substrate. The metal film is provided on the lower surface of the insulating substrate at a position corresponding to the position at which the semiconductor element

［続葉有］

WO 2021/085234 A1

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

is disposed.

(57) 要約:本願明細書に開示される技術は、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させる。本願明細書に開示される技術に関する半導体モジュールは、少なくとも上面に導体パターンが設けられる絶縁基板と、導体パターンの上面に設けられる少なくとも1つの半導体素子と、絶縁基板の下面の一部に設けられる第1の接合材と、第1の接合材よりも熱伝導率が高く、かつ、絶縁基板の下面の他の一部に設けられる金属膜とを備え、金属膜は、半導体素子が配置される位置に対応する位置の、絶縁基板の下面に設けられる。

明　細　書

発明の名称 ：

半導体モジュール、電力変換装置、半導体モジュールの製造方法、および、電力変換装置の製造方法

技術分野

[0001] 本願明細書に開示される技術は、半導体モジュール、電力変換装置、半導体モジュールの製造方法、および、電力変換装置の製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] インバータまたはコンバータなどの電力変換器を構成する電力用半導体モジュールの多くは、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（ｉｎｓｕｌａｔｅｄ　ｇａｔｅ　ｂｉｐｏｌａｒ　ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ、すなわち、ＩＧＢＴ）または金属－酸化膜－半導体電界効果トランジスタ（ｍｅｔａｌ－ｏｘｉｄｅ－ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ　ｆｉｅｌｄ－ｅｆｆｅｃｔ　ｔｒａｎｓｉｓｔｏｒ、すなわち、ＭＯＳＦＥＴ）などのスイッチングデバイスと、スイッチングデバイスに逆並列に接続された還流ダイオードとを備えている。

[0003] 一般的に、スイッチングデバイスにはケイ素（Ｓｉ）半導体を材料とするＩＧＢＴが用いられ、還流ダイオードにはＳｉ半導体を材料とするｐｉｎダイオードが用いられる。

[0004] 近年、Ｓｉ半導体よりもバンドギャップが広いワイドバンドギャップ半導体である炭化ケイ素（ＳｉＣ）を用いる半導体装置が開発されている。

[0005] ＳｉＣは、絶縁破壊強度がＳｉの約１０倍と高く、ドリフト層の厚みをＳｉの約１／１０に低減することができる。そのため、半導体装置の低オン電圧を実現することができ、また、高温環境下での動作も可能となる。

[0006] よって、ＳｉＣを半導体材料とする半導体装置は、従来のＳｉを半導体材料とする半導体装置に比較して、小型化および高効率化が可能となる。

[0007] ＩＧＢＴ、ＭＯＳＦＥＴまたはダイオードなどの電力変換用の半導体装置は、主電流が半導体装置の厚み方向に流れる表裏導通型の半導体装置である。表裏導通型の半導体装置をセラミック基板に実装する場合、半導体装置の裏面電極はセラミック基板の金属パターンとはんだ付けされ、半導体装置の表面電極はワイヤーボンディングおよび金属端子とのはんだ付けによって結線されて、通電経路が形成される。

[0008] しかしながら、電力用半導体モジュール（以下、単にモジュールと称する場合がある）に占める半導体装置の製造コストは大きいため、モジュールの低コスト化および小型化のために、それぞれの半導体装置に通電される電流密度およびそれぞれの配線に流される電流密度は上昇する傾向にある。

[0009] 電流密度が上昇すると、動作時の半導体装置の発熱量は増加し、半導体装置の温度と配線温度とが上昇する。これに対し、たとえば、モジュール内部の放熱性を向上させるなどの対策がとられている。

[0010] また、電力変換装置の動作によって急峻な負荷変動が繰り返し発生すると、モジュール内部の温度変化が繰り返し発生する。そして、電力用半導体モジュールの内部におけるセラミック基板とベース板とで挟まれたはんだが、温度変化によって体積膨張と収縮とを繰り返し、クラックが発生する。そうすると、クラックが電力用半導体モジュール全体の放熱性を低下させてしまい、モジュールの故障に至る場合がある（たとえば、非特許文献１を参照）。

[0011] たとえば、特許文献１には、パワー半導体素子が搭載された絶縁部材とベース板とを接合する際に、ベース板のはんだ接合面に凸状段差部を設けることによって、絶縁部材とベース板との相互の熱変形差による熱応力を有効に緩和して、はんだの亀裂進展を抑制している。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開平１１－２６５９７６号公報

非特許文献

[0013] 非特許文献1：福本晃久他、「パワー半導体のはんだ接合層における鉛直方向破壊と熱抵抗との相間調査」、第２４回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム論文集、２４（２０１８）、２０１８年　ｐｐ９－１２

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] しかしながら、特許文献１に示される場合では、パワー半導体素子が搭載された絶縁部材の下面全体とベース板の対応する凸状段差部全体とをはんだを用いて接合しているため、放熱性能が十分ではなかった。

[0015] 本願明細書に開示される技術は、以上に記載されたような問題を鑑みてなされたものであり、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させるための技術である。

課題を解決するための手段

[0016] 本願明細書に開示される技術の第１の態様は、少なくとも上面に導体パターンが設けられる絶縁基板と、前記導体パターンの上面に設けられる少なくとも１つの半導体素子と、前記絶縁基板の下面の一部に設けられる第１の接合材と、前記第１の接合材よりも熱伝導率が高く、かつ、前記絶縁基板の下面の他の一部に設けられる金属膜とを備え、前記金属膜は、前記半導体素子が配置される位置に対応する位置の、前記絶縁基板の下面に設けられる。

発明の効果

[0017] 本願明細書に開示される技術の第１の態様によれば、半導体素子が配置される位置に対応する位置の絶縁基板の下面に金属膜が設けられるため、金属膜によって半導体素子から生じる熱が効率よく放熱される。したがって、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させることができる。

[0018] また、本願明細書に開示される技術に関連する目的と、特徴と、局面と、利点とは、以下に示される詳細な説明と添付図面とによって、さらに明白となる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]実施の形態に関する、電力用半導体モジュールの構成の例を概略的に示す断面図である。

[図2]図１に例が示された電力用半導体モジュールの一部を上面側（図１の紙面上側）から見た場合の平面図である。

[図3]実施の形態に関する、金属膜の成膜方法を説明するための断面図である。

[図4]実施の形態に関する、電力用半導体モジュールの構成の一部の例を概略的に示す断面図である。

[図5]図４に例が示された構成を下面側（図４の紙面下側）から見た場合の平面図である。

[図6]実施の形態に関する、電力用半導体モジュールの構成の一部の他の例を概略的に示す断面図である。

[図7]図６に例が示された構成を下面側（図６の紙面下側）から見た場合の平面図である。

[図8]実施の形態に関する、電力用半導体モジュールの構成の一部の例を概念的に示す断面図である。

[図9]図８に例が示された構成を下面側（図８の紙面下側）から見た場合の平面図である。

[図10]実施の形態の電力変換装置を含む電力変換システムの構成の例を概念的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、添付される図面を参照しながら実施の形態について説明する。以下の実施の形態では、技術の説明のために詳細な特徴なども示されるが、それらは例示であり、実施の形態が実施可能となるためにそれらすべてが必ずしも必須の特徴ではない。

[0021] なお、図面は概略的に示されるものであり、説明の便宜のため、適宜、構成の省略、または、構成の簡略化が図面においてなされるものである。また

、異なる図面にそれぞれ示される構成などの大きさおよび位置の相互関係は、必ずしも正確に記載されるものではなく、適宜変更され得るものである。また、断面図ではない平面図などの図面においても、実施の形態の内容を理解することを容易にするために、ハッチングが付される場合がある。

[0022] また、以下に示される説明では、同様の構成要素には同じ符号を付して図示し、それらの名称と機能とについても同様のものとする。したがって、それらについての詳細な説明を、重複を避けるために省略する場合がある。

[0023] また、以下に記載される説明において、ある構成要素を「備える」、「含む」または「有する」などと記載される場合、特に断らない限りは、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0024] また、以下に記載される説明において、「第１の」または「第２の」などの序数が用いられる場合があっても、これらの用語は、実施の形態の内容を理解することを容易にするために便宜上用いられるものであり、これらの序数によって生じ得る順序などに限定されるものではない。

[0025] また、以下に記載される説明における、相対的または絶対的な位置関係を示す表現、たとえば、「一方向に」、「一方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」または「同軸」などは、特に断らない限りは、その位置関係を厳密に示す場合、および、公差または同程度の機能が得られる範囲において角度または距離が変位している場合を含むものとする。

[0026] また、以下に記載される説明において、等しい状態であることを示す表現、たとえば、「同一」、「等しい」、「均一」または「均質」などは、特に断らない限りは、厳密に等しい状態であることを示す場合、および、公差または同程度の機能が得られる範囲において差が生じている場合を含むものとする。

[0027] また、以下に記載される説明において、「上」、「下」、「左」、「右」、「側」、「底」、「表」または「裏」などの特定の位置または方向を意味する用語が用いられる場合があっても、これらの用語は、実施の形態の内容を理解することを容易にするために便宜上用いられるものであり、実際に実

施される際の位置または方向とは関係しないものである。

[0028] また、以下に記載される説明において、「…の上面」または「…の下面」などと記載される場合、対象となる構成要素の上面自体または下面自体に加えて、対象となる構成要素の上面または下面に他の構成要素が形成された状態も含むものとする。すなわち、たとえば、「甲の上面に設けられる乙」と記載される場合、甲と乙との間に別の構成要素「丙」が介在することを妨げるものではない。

[0029] ＜第１の実施の形態＞

以下、本実施の形態に関する半導体モジュール、および、半導体モジュールの製造方法について説明する。

[0030] また、以下の説明においては、「ＡとＢとが電気的に接続される」という表現は、構成Ａと構成Ｂとの間で双方向に電流が流れ得ることを意味するものとする。

[0031] ＜半導体モジュールの構成について＞

図１は、本実施の形態に関する電力用半導体モジュール１００の構成の例を概略的に示す断面図である。また、図２は、図１に例が示された電力用半導体モジュール１００の一部を上面側（図１の紙面上側）から見た場合の平面図である。

[0032] 図１は、図２のＡ－Ｂ－Ａ’線に沿う断面図に相当する。また、図２においては、図１に例が示されている、開口部を閉じるカバーまたは封止材などは、図示が省略されている。以下、図１および図２を参照しつつ、電力用半導体モジュール１００の構成について説明する。

[0033] 図１に例が示されるように、電力用半導体モジュール１００は、ベース板１０１と、ケース１０２と、絶縁基板１０３と、半導体素子１０４と、配線１０６と、端子１０８と、金属膜１０９とを備えている。

[0034] ケース１０２は、上面側（図１における紙面上側）および底面側（図１における紙面下側）がともに開口している。

[0035] ベース板１０１は、樹脂材などでケース１０２と接合され、かつ、ケース

１０２の底面側の開口部に収納される。ベース板１０１は、ケース１０２の底面側の開口部と形状および面積が同一であり、ケース１０２の底面を構成する。

[0036] ベース板１０１は、たとえば、Ｃｕ板、ＡｌＳｉＣまたはＣｕ－Ｍｏなどの複合材によって構成される。ベース板１０１の厚みは５ｍｍ以下であることが適当であり、使用に際して十分な強度を有しているのであれば、当該厚みは薄いほうがより適している。

[0037] ベース板１０１の上面の一部は、絶縁基板１０３の下面の一部に基板下接合材１０７ｂを介して接合される。ベース板１０１の上面の一部には、基板下接合材１０７ｂとの接合性が高まる表面処理が施されており、たとえば、ニッケル（Ｎｉ）めっきが成膜されている。

[0038] 基板下接合材１０７ｂは、たとえば、すず（Ｓｎ）を基材とするはんだである。しかしながら、基板下接合材１０７ｂは、後述するＡｇ焼結材または液相拡散接合層を形成する接合材であってもよい。なお、基板下接合材１０７ｂが広がらないように、樹脂レジストなどによって絶縁基板１０３が接合される領域以外が被覆されていてもよい。

[0039] ケース１０２は、たとえば、ポリフェニルサルファイド樹脂（ＰＰＳ）、ポリブチレンテレフタレート樹脂（ＰＢＴ）またはポリエチレンテレフタレート樹脂（ＰＥＴ）などで構成される。

[0040] ケース１０２の上面側の開口部から樹脂などの封止材１０５を導入することで、ベース板１０１、絶縁基板１０３、半導体素子１０４、配線１０６および端子１０８が封止材１０５で覆われる。

[0041] 封止材１０５には、たとえば、フィラーが混入されたエポキシ材、またはシリコンゲルなどが用いられる。封止材１０５は、電力用半導体モジュール１００の使用に際して十分な絶縁性を有していればよい。

[0042] ベース板１０１の上面の一部には、絶縁基板１０３の下側導体パターン１０３ｆが基板下接合材１０７ｂ（はんだ）を介して接合される。

[0043] 絶縁基板１０３は、絶縁材１０３ｅと、絶縁材１０３ｅの上面に形成され

る上側導体パターン１０３ａと、絶縁材１０３ｅの上面に形成される上側導体パターン１０３ｂと、絶縁材１０３ｅの上面に形成される上側導体パターン１０３ｃと、絶縁材１０３ｅの上面に形成される上側導体パターン１０３ｄと、絶縁材１０３ｅの下面に形成される下側導体パターン１０３ｆとを備えている。

[0044] 絶縁材１０３ｅは、たとえば、酸化アルミニウム（Al_2O_3）、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）または窒化ケイ素（Si_3N_4）などのセラミックス材、または、エポキシ材または液晶ポリマーなどのバインダー材にシリカ、アルミナまたは窒化ホウ素（ＢＮ）などのフィラーが混入された有機絶縁材で構成される。

[0045] 上側導体パターン１０３ａ、上側導体パターン１０３ｂ、上側導体パターン１０３ｃ、上側導体パターン１０３ｄおよび下側導体パターン１０３ｆは、たとえば、Ｃｕ材単体、Ｃｕ材にＮｉめっきまたは銀（Ａｇ）めっきを施したもの、または、Ａｌ材にＮｉめっきまたはＡｇめっきを施したもので構成される。

[0046] 絶縁基板１０３の下側導体パターン１０３ｆの下面のうち、平面視において半導体素子１０４と平面視において重なる領域を含み、かつ、当該重なる領域よりも大きい領域には、基板下接合材１０７ｂの代わりに金属膜１０９が形成されている。金属膜１０９の中心位置は、半導体素子１０４が搭載される領域の中心と平面視において重なる。

[0047] なお、一般的に平面視における半導体素子１０４の外形は矩形であるが、平面視における金属膜１０９の外形も矩形である必要はなく、たとえば、金属膜１０９の外形が円形であってもよい。

[0048] また、金属膜１０９は、コールドスプレー法によって成膜される金属膜であるが、その材質は、下側導体パターン１０３ｆと接合可能な材料であればよく、具体的にはＣｕが適用されていることが望ましい。金属膜１０９の材料は、基板下接合材１０７ｂよりも熱伝導率が大きい材料であればよく、下側導体パターン１０３ｆの表面材料と接合可能な材料であるＮｉまたはＡｇ

などの他の金属材料であってもよい。

[0049] 絶縁基板１０３の上側導体パターン１０３ａの上面には、半導体素子１０４がチップ下接合材１０７ａを介して接合されている。チップ下接合材１０７ａは、たとえば、ナノメートルオーダーのＡｇ粒子、マイクロメートルオーダーのＡｇ粒子、または、ナノメートルオーダーのＡｇ粒子とマイクロメートルオーダーのＡｇ粒子との混合粒子からなるペースト材料を焼結接合させたＡｇ焼結材である。または、チップ下接合材１０７ａは、すず（Ｓｎ）および銅（Ｃｕ）、または、すず（Ｓｎ）およびニッケル（Ｎｉ）などの、液相拡散接合層を形成する接合材であってもよい。または、チップ下接合材１０７ａに代えて、すず（Ｓｎ）または鉛（Ｐｂ）を基材とするはんだ材が用いられてもよい。

[0050] 半導体素子１０４は、スイッチングデバイス１０４ａと還流ダイオード１０４ｂとを含む。スイッチングデバイス１０４ａは、たとえば、ＳｉＣ－ＭＯＳＦＥＴまたはＳｉ－ＩＧＢＴであり、還流ダイオード１０４ｂは、たとえば、ＳｉＣ－ショットキーバリアダイオード（Ｓｃｈｏｔｔｋｙ　ｂａｒｒｉｅｒ　ｄｉｏｄｅ、すなわち、ＳＢＤ）またはＳｉ－フリーホイールダイオード（ｆｒｅｅ－ｗｈｅｅｌｉｎｇ　ｄｉｏｄｅ、すなわち、ＦＷＤ）である。

[0051] 上側導体パターン１０３ａは、スイッチングデバイス１０４ａのドレイン電極に電気的に接続される。以降の説明において、スイッチングデバイス１０４ａと還流ダイオード１０４ｂとを区別する必要がない場合には、単に半導体素子１０４と称する。

[0052] ケース１０２には、主端子１０８ａと制御端子１０８ｂとが設置されている。スイッチングデバイス１０４ａは、主端子１０８ａとワイヤー状配線１０６ａによって結線され、制御端子１０８ｂとソース信号配線１０６ｂおよびゲート信号配線１０６ｃによって結線される。還流ダイオード１０４ｂは、主端子１０８ａとワイヤー状配線１０６ａによって結線される。

[0053] 図１では図示が省略されているが、図２に例が示されるように、スイッチ

ングデバイス１０４ａの上面と還流ダイオード１０４ｂの上面とには、それぞれ上面電極１１０が設けられている。さらに、スイッチングデバイス１０４ａの上面には、ゲートパッド１１０ａが設けられている。

[0054] スイッチングデバイス１０４ａの上面の周縁部には保護膜１１１が形成されている。また、保護膜１１１はスイッチングデバイス１０４ａの上面において、ゲートパッド１１０ａを囲むようにして形成されている。すなわち、上面電極１１０とゲートパッド１１０ａとは保護膜１１１によって絶縁されている。

[0055] 保護膜１１１は、スイッチングデバイス１０４ａの上面および還流ダイオード１０４ｂの上面の物理的な保護と、絶縁距離を増加させるために設けられる。保護膜１１１には、有機物であるポリイミドの他、無機物であるSiO_2またはSiNなどが用いられる。

[0056] 上面電極１１０の最表面は、一般に純ＡＩ、ＡＩＳｉ合金、ＡＩＣｕ合金およびＡＩＳｉＣｕ合金が用いられる。この合金中のＳｉまたはＣｕの混合比率は、合金中での重量比で５ｗｔ％以下である。また、この合金厚みは５μｍ程度である。

[0057] また、配線１０６のうちのワイヤー状配線１０６ａは、ＡＩを主成分とするＡＩワイヤーであり、強度を高くするために微量のＮｉなどの金属が添加されていてもよい。一般に、ワイヤー状配線１０６ａの線径はΦ４００程度が妥当であるが、ウェッジボンディングの打点の数または線径など、必要な通電容量を満たすように任意に設計されるものであり、Φ２００以上、かつ、Φ６００以下の間で任意に選定される。

[0058] また、配線１０６のうちのソース信号配線１０６ｂおよびゲート信号配線１０６ｃに必要な通電容量は、主配線であるワイヤー状配線１０６ａに求められる電流容量と比較してはるかに小さい。そのため、ワイヤー状配線１０６ａと同じ線径かそれよりも小さい線径のワイヤーが選定されればよく、Φ１００μｍ以上、かつ、Φ４００μｍ以下の間で選定されることが一般的である。

[0059] 本実施の形態ではＡｌを主成分とするワイヤーが適用されたが、Ｃｕを主成分とするワイヤーが適用されてもよい。この場合、上面電極１１０の最表面は、Ａｌと比較して硬いＣｕワイヤーによって半導体素子１０４が破壊されないような金属が成膜されていればよく、たとえば、Ｃｕめっきによる電極またはＮｉめっきによる電極が選定される。

[0060] また、図示は省略されるが、ワイヤー状配線１０６ａの形状はワイヤー状である必要はなく、たとえば、板状の配線であってもよく、この場合、主端子１０８ａから半導体素子１０４の上方に延びる板状配線と上面電極１１０とが、たとえば、はんだによって接合されていればよい。また、この場合、上面電極１１０は、はんだの濡れ性を確保することができる金属であればよく、たとえば、Ｎｉめっきの上面にＡｕめっきが成膜された金属であればよい。板状配線の板厚は、通電される電流によって決定されるが、たとえば、０．３ｍｍ以上、かつ、１．５ｍｍ以下程度が適当である。

[0061] 図１および図２には図示されていないが、電力用半導体モジュール１００内には温度検知用のダイオードが設けられている。このダイオードのカソード電極およびアノード電極に接続される配線にも、ゲート信号配線１０６ｃと同様に、ＣｕワイヤーまたはＡｌワイヤーが用いられる。

[0062] 電力用半導体モジュール１００の動作に伴う急峻な温度変化が半導体素子１０４で発生する場合について、以下説明する。

[0063] 半導体素子１０４で発生する熱はベース板１０１の鉛直方向（図１におけるＺ軸方向）に向かって放熱され、冷却器（ここでは、図示しない）によって吸熱（冷却）される。

[0064] 絶縁基板１０３の下面側の基板下接合材１０７ｂであるはんだは、線膨張係数が小さい絶縁材１０３ｅであるセラミックと、線膨張係数が小さいベース板１０１であるＡｌＳｉＣとに間接的に挟まれることとなる。

[0065] 基板下接合材１０７ｂであるはんだ自身の膨張収縮に対して、基板下接合材１０７ｂの上下に位置する絶縁基板１０３およびベース板１０１の膨張収縮が小さい。そのため、基板下接合材１０７ｂであるはんだの内部に繰り返

し圧縮および膨張の応力が加わり、はんだ内部に鉛直方向に亀裂が発生する。

[0066] 温度変化が激しい半導体素子１０４直下のチップ下接合材１０７ａであるはんだにも亀裂が発生する。そうすると、放熱性を悪化させるだけでなく、接合部の信頼性まで損なわれる。

[0067] これに対し、本実施の形態に関する電力用半導体モジュール１００においては、絶縁基板１０３の下面側における下側導体パターン１０３ｆの下面のうち、半導体素子１０４の搭載位置に対向する位置には、コールドスプレー法によって成膜された金属膜１０９が形成されている。具体的には、金属膜１０９は、Ｃｕ粉によって成膜されたコールドスプレー膜である。

[0068] 半導体素子１０４の直下の領域に、基板下接合材１０７ｂであるはんだよりも熱伝導率が大きいＣｕによって構成される金属膜１０９が成膜されていることで、電力用半導体モジュール１００の放熱性が向上する。

[0069] また、Ｃｕの熱膨張率は、はんだの熱膨張率と、ベース板１０１の熱膨張率または絶縁材１０３ｅの熱膨張率との間の値である。したがって、電力用半導体モジュール１００の動作時に基板下接合材１０７ｂに発生する応力を低減させることができる。

[0070] さらに、Ｃｕははんだと比較して機械的強度が高いことから、はんだの場合のような亀裂が発生しにくく、また、発生した場合であっても亀裂進展が遅い。そのため、Ｃｕによれば、接合部の信頼性が低下しにくい。

[0071] 金属膜１０９を湿式めっき法で成膜する場合、成膜レートが遅いため製造コストが高くなる。一方で、コールドスプレー法では後述のように、高圧で粉体を積層することによってコールドスプレー膜が成膜されることから、任意の位置に、任意の形状および任意の膜厚で金属膜１０９を成膜することができる。

[0072] さらに、コールドスプレー膜は完全なバルク体とはならず、膜内部に空孔が生じている。この空孔が緩衝層となり、金属膜１０９に発生する応力を緩和する効果を有する。そのため、金属膜１０９の成膜法として、コールドス

プレー法は望ましい成膜法といえる。

[0073] バルク体のＣｕの熱伝導率は３８７．５Ｗ／ｍ・Ｋである。これに対して、コールドスプレー法の条件によって空孔率は制御可能であるが、空孔を有しているコールドスプレー膜の見かけの熱伝導率は、１５０Ｗ／ｍ・Ｋ以上、かつ、３００Ｗ／ｍ・Ｋ以下の範囲であり、熱伝導率が４０Ｗ／ｍ・Ｋ以上、かつ、５０Ｗ／ｍ・Ｋ以下の範囲であるＳｎまたはＰｂを基材とするはんだの熱伝導率と比較して、遥かに大きい熱伝導率を有していることが分かる。このことから、金属膜１０９が十分な放熱性を有しているといえる。

[0074] ＜半導体モジュールの製造方法について＞

このような金属膜１０９を有する電力用半導体モジュールの製造方法について説明する。チップ下接合材１０７ａと基板下接合材１０７ｂとが同一組成のはんだである場合、または、チップ下接合材１０７ａの融点が基板下接合材１０７ｂの融点よりも低いはんだ材である場合には、アセンブリ投入前に、下側導体パターン１０３ｆの下面の一部に直接コールドスプレーで金属膜１０９が成膜された状態の絶縁基板１０３を、ベース板１０１の上面に、基板下接合材１０７ｂであるはんだを挟むように配置する。

[0075] その後、上側導体パターン１０３ａの上面との間にチップ下接合材１０７ａを挟むように半導体素子１０４の下面を配置して、リフロー炉によってはんだ付けを行う。

[0076] 基板下接合材１０７ｂの厚さは、コールドスプレー膜（金属膜１０９）の厚さに基づいて定められる。金属膜１０９の厚さは１００μｍ以上、かつ、３００μｍ以下であることが適切である。

[0077] 金属膜１０９が形成されていない場合、基板下接合材１０７ｂの厚みが均一になるようにワイヤーバンプなどをベース板１０１に配置することではんだ厚が確保されていたが、金属膜１０９が、複数の半導体素子１０４の搭載位置と対向する位置にそれぞれ配置されていることから、ワイヤーバンプによる基板下接合材１０７ｂのはんだ厚確保の必要性がなくなり、関連する工程数を削減することができる。

[0078] 製造工程において金属膜１０９の下面に配置された状態の基板下接合材１０７ｂであるはんだは、リフロー炉による加熱によって溶融する。そして、絶縁基板１０３および半導体素子１０４の自重によって金属膜１０９の下面から排斥されるが、金属膜１０９の下面における凹凸に留まるはんだとベース板１０１の上面とが接合して接合層が形成される。また、この溶融しているはんだは、金属膜１０９内部の一部の空孔内にも侵入し、一部の空孔がはんだで埋められることによって、金属膜１０９の見かけの熱伝導率も改善する。また、金属膜１０９とはんだとの接触部では、ＣｕがＣｕとＳｎとの金属間化合物相が形成される。

[0079] 以上では、金属膜１０９が絶縁基板１０３の下側導体パターン１０３ｆに成膜されている構造について説明されたが、ベース板１０１の上面（はんだ接合面）に金属膜１０９が成膜されている状態で基板下接合材１０７ｂによって接合される構造であっても、放熱性の向上および接合部の信頼性の向上が実現される。

[0080] この場合、下側導体パターン１０３ｆの下面と金属膜１０９の上面との間にはんだ層が介在するため、放熱性を向上させるという点では、下側導体パターン１０３ｆに金属膜１０９が成膜されている場合の方が効果的である。

[0081] 次に、チップ下接合材１０７ａの組成と基板下接合材１０７ｂの組成とが異なる場合、特にチップ下接合材１０７ａの融点が基板下接合材１０７ｂの融点よりも高い場合の電力用半導体モジュールの製造方法について説明する。

[0082] 具体的には、チップ下接合材にＡｇ焼結材料またはＳｎとＣｕとによる液層拡散接合層を形成する接合を適用する製造方法である。もちろん、前述の通り、下側導体パターン１０３ｆの下面にあらかじめ金属膜１０９が成膜されている絶縁基板１０３における上側導体パターン１０３ａの上面に、Ａｇ焼結材料によって半導体素子１０４が接合されてもよい。

[0083] 半導体素子１０４が接合された後、上側導体パターン１０３ｂ、上側導体パターン１０３ｃまたは上側導体パターン１０３ｄと半導体素子１０４の上

面電極とを、アルミワイヤーによって配線する。

[0084] このように、ベース板１０１を接合させる前の絶縁基板１０３に、アルミワイヤーによる配線をしておくことで、半導体素子１０４の不具合を事前に確認することができる。

[0085] そうすると、一括で半導体素子１０４と絶縁基板１０３とをはんだ付け（リフロー）する場合と比較して、半導体素子１０４の不具合確認時の仕損費を軽減することができる。

[0086] また、ＡｇまたはＳｎとＣｕとによる液層拡散接合層を形成する接合によって半導体素子１０４を絶縁基板１０３における上側導体パターン１０３ａの上面に接合する場合、ＡｇまたはＳｎとＣｕとによる液相拡散接合層を形成する接合を均一に発生させるために、これらの構成を加熱および加圧して接合させる必要がある。

[0087] 上側導体パターン１０３ａの上面に、熱膨張率が小さい半導体素子１０４が接合されることから、加熱および加圧後の半導体素子１０４が搭載された絶縁基板１０３は、半導体素子１０４が搭載された部分を頂点として上に凸の形状に反る。

[0088] そのため、ＡｇまたはＳｎとＣｕとによる液層拡散接合層を形成する接合の後に、下側導体パターン１０３ｆの下面とベース板１０１の上面を基板下接合材１０７ｂではんだ付けする場合、半導体素子１０４が搭載された位置の直下における下側導体パターン１０３ｆとベース板１０１との間の接合層が厚くなるため放熱性が悪化する。

[0089] しかしながら、コールドスプレー法によってコールドスプレー膜（金属膜１０９）を当該箇所に形成することで、コールドスプレー膜がない場合と比較して、より効果的に放熱性を向上することができる。

[0090] また、半導体素子１０４を上側導体パターン１０３ａに対して、ＡｇまたはＳｎとＣｕとによる液相拡散接合層を形成する接合をした後に、金属膜１０９をコールドスプレー法によって成膜することによって、半導体素子１０４が搭載された部分を頂点として絶縁基板１０３が上に凸形状に反った

状態で、金属膜１０９が成膜される。

[0091] コールドスプレー膜（金属膜１０９）は、その端部と比較してその中心部が厚く成膜される。この際に、金属膜１０９は絶縁基板１０３の形状に沿って成膜されるのではなく、半導体素子１０４が搭載される部分が厚くなるように成膜される。

[0092] ベース板１０１と絶縁基板１０３とが基板下接合材１０７ｂによってはんだ付けされる際に、ベース板１０１と絶縁基板１０３との間に金属膜１０９が成膜されていることで、はんだ付けによって金属膜１０９の温度が上昇し、それに伴って金属膜１０９が膨張する。そうすると、半導体素子１０４が搭載された部分を頂点とする凸形状が緩和されるため好ましい。

[0093] 半導体素子１０４が搭載され、かつ、半導体素子１０４がアルミワイヤーで配線された状態の絶縁基板１０３の下側導体パターン１０３ｆの下面の一部（半導体素子１０４が搭載された部分）に、金属膜１０９が成膜される。この状態で、下側導体パターン１０３ｆの下面を、上面に板状の基板下接合材１０７ｂ（はんだ）が配置された状態のベース板１０１の上面にリフローしてはんだ付けする。

[0094] 次に、主端子１０８ａまたは制御端子１０８ｂがインサート成形またはアウトサート成形によって設置されたケース１０２を、接着剤などを用いてベース板１０１に接着する。その後、絶縁基板１０３、主端子１０８ａおよび制御端子１０８ｂにワイヤー配線などで結線する。その後、封止材１０５をケース１０２内に充填し、さらに、蓋を被せて電力用半導体モジュール１００を完成させる。

[0095] 金属膜１０９の成膜方法について、図３を参照しつつ以下説明する。ここで、図３は、本実施の形態に関する金属膜の成膜方法を説明するための断面図である。

[0096] 半導体素子１０４を上側導体パターン１０３ａに搭載して、ワイヤー状配線１０６ａを配線した後の絶縁基板１０３を、半導体素子１０４を傷つけず、かつ、ワイヤー状配線１０６ａを変形させないように絶縁基板保持治具２

０２上に配置する。そして、金属膜１０９が形成される面である下側導体パターン１０３ｆを部分的に露出させた状態で、金属膜１０９の形状を決定するためのコールドスプレー膜用マスク２０１を配置する。

[0097] そして、コールドスプレー装置（ここでは、図示しない）から金属粉体を吐出することによって、下側導体パターン１０３ｆの露出している部分に金属膜１０９が成膜される。

[0098] コールドスプレー装置から吐出された金属粉体が被接合面である下側導体パターン１０３ｆに衝突すると、金属粉体の熱エネルギーと運動エネルギーとが摩擦熱に変わり、金属粉体および被接合面のそれぞれの最表面で変形が生じて相互に絡み合う。また、それぞれの最表面における金属酸化膜が除去されて、金属粉体と被接合面との界面で生じる反応によりコールドスプレー膜が形成される。また、先に形成されたコールドスプレー膜の上に、連続的にコールドスプレー装置から金属粉体が吐出されて衝突することでコールドスプレー膜の膜厚が増加し、最終的に金属膜１０９となる。

[0099] なお、コールドスプレー装置から供給される金属粉体は、Ｃｕ粉体であり、ＪＩＳ（日本工業規格）に適合する目開きが１００μｍ（１４９メッシュ）の試験用フルイを通過することによって、その粒径が制御されている。

[0100] Ｃｕ粉体の製法としては、電解法、高圧旋回水アトマイズ法、または、水アトマイズ法などが用いられる。電解法によって生成されたＣｕ粉体の粒子形状は、樹枝（デンドライト）形状に近く、高圧旋回水アトマイズ法によって生成されたＣｕ粉体の粒子形状は、球形状に近い。いずれの形状のＣｕ粉体であっても、被接合面に衝突することで原型を留めない薄い扁平状となる。

[0101] 目開きが１００μｍのフルイを通過した粒子は、粒径が１００μｍ以下の粒径分布を有する。ただし、レーザー回折法によって回折散乱パターンを解析して粒径を測定した場合、横軸を粒径とし、縦軸を頻度（個数）とする粒径分布図において、頻度（個数）が最大となる粒径が２０μｍ程度であることが望ましい。すなわち、粒径が２０μｍ程度の粒子が分布のピークを形成

し、当該ピークを形成する粒子を中心に、それよりも粒径が小さな粒子および大きな粒子が存在することが望ましい。どちらかといえば、粒径が２０μｍ以下の粒子ができるだけ多い方が、粒子間隔が緻密なコールドスプレー膜を得るという観点からは望ましく、このような粒径分布の金属粉体を得られるように、粒子の製造条件を制御することが望ましい。

[0102] なお、ここで粒径のピークが２０μｍとする場合、粒径が２０μｍの粒子だけでなく、２０μｍに対して±１０％の差を有する粒径の粒子も、ピークを形成する粒子とする。

[0103] フルイの目開きは、１００μｍ未満であってもよい。たとえば、目開きが５３μｍ（２７０メッシュ）のフルイを用いる場合は、粒径が５３μｍ以下の粒子が得られる。

[0104] ただし、フルイの目開きが小さいと収率が低くなるため、安価にコールドスプレー膜を形成するには、フルイの目開きが１００μｍ程度であることが望ましい。

[0105] 粒径が大きな粒子は、後述するコールドスプレー装置のノズルから吐出される際に、コールドスプレー膜の形成に十分な運動エネルギーを得られない。そのため、先に形成されたコールドスプレー膜に衝突しても粒子どうしの接合が生じず、吐出ガスの流れによって膜外にはじかれ、成膜に寄与しない。

[0106] そのため、均一に金属膜１０９を形成するためには、金属粉体の粒径が小さいほうがよく、１００μｍ以下、より好ましくは６０μｍ以下である。

[0107] なお、金属粉体の粒径の下限は、たとえば、１．０μｍであるが、粒径の下限を制御するためにフルイによる選別を行う必要はない。また、以下に説明する理由から、金属粉体の粒径を均一にする必要はなく、均一にするためにフルイによる選別を行う必要はない。

[0108] すなわち、所定の目開きを有するフルイにかけられた金属粉体は、当該目開き以下の粒径分布を有する。このような金属粉体を用いてコールドスプレーによる成膜を行うと、より重量の軽い微細な粒子から優先的に下側導体パ

ターン１０３ｆに衝突してコールドスプレー膜を形成し、その後、より重量が重く粒径の大きな粒子が先に形成されたコールドスプレー膜に衝突する。

[0109] さらに、成膜の初期段階では微細な粒子が下側導体パターン１０３ｆに衝突するため、下側導体パターン１０３ｆに近い側は、粒径の小さな粒子によって構成された緻密なコールドスプレー膜となる。この緻密なコールドスプレー膜の上に、上述の目開き以下の粒径分布の金属粉体が順次に衝突するので、緻密なコールドスプレー膜上に、より粗いコールドスプレー膜が成膜される。なお、粒径の大きな粒子間に粒径の小さな粒子が衝突することで、粉体粒子間隔が比較的小さな膜が成膜される。そのため、金属膜１０９の上層は比較的緻密な膜となる。

[0110] その結果、金属膜１０９は、その粉体粒子間隔が下側導体パターン１０３ｆに近いほど小さく、下側導体パターン１０３ｆから離れるほど粉体粒子間隔が大きく、金属膜１０９の最表面（下側導体パターン１０３ｆから最も遠い面）に近づくにつれて再び粉体粒子間隔が小さくなる膜構造を有する。

[0111] 金属膜１０９の形状については、コールドスプレー膜用マスク２０１を下側導体パターン１０３ｆに張り合わせて位置決めすることで決定する。コールドスプレー膜用マスク２０１は、開口部を有するＳＵＳ製のマスクであり、厚みが１ｍｍ程度である。コールドスプレー膜用マスク２０１は、コールドスプレー装置からの供給される粉体の衝突によっては変形しにくい材料であり、変形しにくい程度の厚みを有する材料であれば特に制限されない。

[0112] コールドスプレー膜用マスク２０１の開口部が下側導体パターン１０３ｆに張り合わせられた状態で粉体が供給されるため、絶縁材１０３ｅに金属粉体（Ｃｕ粉）が付着することがない。

[0113] なお、下側導体パターン１０３ｆはＣｕからなるが、その表面に湿式めっき法によってＮｉめっき膜が形成されていてもよいし、その表面に真空蒸着によってＮｉスパッタ膜が形成されていてもよいし、はんだ付け可能な他の膜が形成されていてもよい。

[0114] 本実施の形態では、金属膜１０９の材料となる金属粉体としてＣｕ粉体が

用いられている。しかしながら、当該金属粉体は、被接合面との間で金属接合を形成し、かつ、ベース板１０１と絶縁基板１０３とをはんだ付けする際の被接合材となる金属であれば、たとえば、Ｎｉなどであってもよい。

[0115] 金属膜１０９の厚みは、スプレーの照射時間、照射速度（ガス圧）および照射温度によって制御可能である。本実施の形態では、金属膜１０９が溶融状態のはんだにそのすべてが溶解しなければよく、その観点からは、金属膜１０９は１００μｍ以上の厚みがあれば十分である。

[0116] また、金属膜１０９が厚くなり過ぎると、絶縁基板１０３が反り返り、割れてしまう。そのため、金属膜１０９の厚みは、たとえば、３００μｍ以下が望ましい。

[0117] 湿式めっき法によって形成されたＣｕ膜の結晶サイズは５μｍ程度であるのに対して、コールドスプレー膜（金属膜１０９）は、主として２０μｍ程度の粒子によって形成される。したがって、金属膜１０９の最表面は、湿式めっき法によって形成されたＣｕ膜に比べて平滑ではなく、不均一であって凹凸が生じている。

[0118] この凹凸は、たとえば、レーザー顕微鏡によって１００μｍ×１００μｍの範囲で測定された線粗さから導出される算術平均粗さＲａが１μｍ以上、かつ、１０μｍ以下であることが望ましい。ここでの凹凸の大きさは、たとえば、非接触式の白色干渉計によって測定される。

[0119] このように、金属膜１０９最表面に不均一な凹凸が存在することで、基板下接合材１０７ｂ（はんだ）が濡れ拡がる面積が大きくなる。そのため、基板下接合材１０７ｂ（はんだ）と金属膜１０９との接合強度が向上する。

[0120] なお、上述のコールドスプレー膜中の粒子サイズは、たとえば、金属膜１０９を断面観察して電子線後方散乱回折法（ｅｌｅｃｔｒｏｎ　ｂａｃｋｓｃａｔｔｅｒ　ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ、すなわち、ＥＢＳＤ）によって測定された値である。

[0121] 通常、Ｃｕなどの金属膜は、スパッタ蒸着法によって成膜されると、膜厚が２μｍ以上、かつ、３μｍ以下であり、膜厚分布はナノメートルオーダー

と平坦である。

[0122] また、めっき法によって金属膜を形成する場合、膜厚が数μｍ以上、かつ、３０μｍ以下であり、膜厚分布はサブミクロンオーダーと平坦である。

[0123] 一方で、本実施の形態では、金属膜１０９をコールドスプレー法によってコールドスプレー膜用マスク２０１を用いて成膜する。コールドスプレー膜は、コールドスプレー膜用マスク２０１の開口部の壁面に沿って鉛直には立ち上がらず、膜中央部に向かって傾斜を有する形状となる。

[0124] 金属膜１０９の厚さは、超音波探傷検査（Ｓｃａｎｎｉｎｇ　Ａｃｏｕｓｔｉｃ　Ｔｏｍｏｇｒａｐｈｙ、すなわち、ＳＡＴ）によって測定することができる。すなわち、金属膜１０９が成膜された後の半導体装置に対して超音波プローブから発せられる超音波を当て、超音波が金属膜１０９を通過するために要する時間と、金属膜１０９と下側導体パターン１０３ｆとの間の界面で当該超音波が反射されて返ってくるまでの時間との差によって測定される。

[0125] ＜第２の実施の形態＞

本実施の形態に関する半導体モジュール、および、半導体モジュールの製造方法について説明する。なお、以下の説明においては、以上に記載された実施の形態で説明された構成要素と同様の構成要素については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

[0126] ＜半導体モジュールの構成について＞

第１の実施の形態では、１つの半導体素子１０４（スイッチングデバイス１０４ａまたは還流ダイオード１０４ｂ）に対して、それぞれ対応する金属膜１０９が下側導体パターン１０３ｆの下面の対応箇所に成膜されていた。

[0127] 一方で、本実施の形態では、異なる形態について説明する。図４は、本実施の形態に関する電力用半導体モジュールの構成の一部の例を概略的に示す断面図である。また、図５は、図４に例が示された構成を下面側（図４の紙面下側）から見た場合の平面図である。なお、図４および図５においては、基板下接合材１０７ｂを含む他の構成は、簡単のために図示が省略されてい

る。

[0128] 図４および図５に例が示されるように、電力用半導体モジュールは、絶縁基板１０３と、半導体素子１０４と、配線１０６と、金属膜１０９ａとを備えている。

[0129] 金属膜１０９ａは、複数の半導体素子１０４（スイッチングデバイス１０４ａおよび還流ダイオード１０４ｂ）が搭載される箇所にまたがって成膜されている。図５においては、金属膜１０９ａは、４つの半導体素子１０４の搭載箇所全体にまたがって成膜されている。

[0130] 金属膜１０９ａの作成方法は、第１の実施の形態で説明された場合と同様である。すなわち、金属膜１０９ａを成膜する部分に開口部が設けられたコールドスプレー膜用マスクを下側導体パターン１０３ｆに配置し、さらに、コールドスプレー装置によって金属粉体を照射することで成膜することができる。

[0131] このような構成によれば、同一の絶縁基板上に異なる種類の半導体素子を搭載する場合であっても、金属膜の成膜過程において段取り替えが生じない。したがって、生産性を下げずにパワーモジュールを生産することができる。

[0132] 図６は、本実施の形態に関する電力用半導体モジュールの構成の一部の他の例を概略的に示す断面図である。また、図７は、図６に例が示された構成を下面側（図６の紙面下側）から見た場合の平面図である。なお、図６および図７においては、基板下接合材１０７ｂを含む他の構成は、簡単のために図示が省略されている。

[0133] 図６および図７に例が示されるように、電力用半導体モジュールは、絶縁基板１０３と、半導体素子１０４と、配線１０６と、金属膜１０９ｂとを備えている。

[0134] 金属膜１０９ｂは、それぞれの半導体素子１０４（スイッチングデバイス１０４ａまたは還流ダイオード１０４ｂ）が搭載される箇所に対応して複数個ずつ成膜されている（すなわち、複数箇所に分かれて成膜されている）。

図７においては、金属膜１０９ｂは、１つの半導体素子１０４の搭載箇所に対して６つずつ成膜され、また、半導体素子１０４の搭載箇所間においても、複数個が成膜されている。

[0135] 金属膜１０９ｂの作成方法は、第１の実施の形態で説明された場合と同様である。すなわち、複数の金属膜１０９ｂを成膜する部分に対応して複数の開口部が設けられたコールドスプレー膜用マスクを下側導体パターン１０３ｆに配置し、さらに、コールドスプレー装置によって金属粉体を照射することで成膜することができる。

[0136] このような構成によれば、半導体素子１０４の数と金属膜１０９ａの数とが同一である場合と比較して、必要となるＣｕ粉体の量を抑えつつ、放熱性が向上し、また、ベース板１０１と絶縁基板１０３との間の接合部の接合信頼性が向上する。

[0137] ＜第３の実施の形態＞

本実施の形態に関する半導体モジュール、および、半導体モジュールの製造方法について説明する。なお、以下の説明においては、以上に記載された実施の形態で説明された構成要素と同様の構成要素については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

[0138] ＜半導体モジュールの構成について＞

第１の実施の形態および第２の実施の形態では、半導体素子１０４（スイッチングデバイス１０４ａまたは還流ダイオード１０４ｂ）に対して、それぞれ対応する金属膜１０９が下側導体パターン１０３ｆの下面の対応箇所に成膜されていた。

[0139] 一方で、本実施の形態では、異なる形態について説明する。図８は、本実施の形態に関する電力用半導体モジュールの構成の一部の例を概念的に示す断面図である。また、図９は、図８に例が示された構成を下面側（図８の紙面下側）から見た場合の平面図である。

[0140] 図８および図９に例が示されるように、電力用半導体モジュール１００ａは、絶縁基板１０３と、ケース１０２と、半導体素子１０４と、配線１０６

と、端子２０８と、金属膜１０９と、ベース板１０１とを備えている。

[0141] ケース１０２には、主端子２０８ａと制御端子１０８ｂとが設置されている。スイッチングデバイス１０４ａは、主端子２０８ａとワイヤー状配線１０６ａによって結線され、制御端子１０８ｂとソース信号配線１０６ｂおよびゲート信号配線１０６ｃによって結線される。還流ダイオード１０４ｂは、主端子２０８ａとワイヤー状配線１０６ａによって結線される。

[0142] 絶縁基板１０３の下面側における下側導体パターン１０３ｆの下面のうち、半導体素子１０４の搭載位置に対向する位置、および、主端子２０８ａが搭載される位置には、金属膜１０９（または、金属膜１０９ａ、金属膜１０９ｂ）が形成されている。金属膜１０９は、当該膜を成膜する部分に開口部が設けられたコールドスプレー膜用マスクを下側導体パターン１０３ｆの下面に配置し、さらに、コールドスプレー装置によって金属粉体を照射することによって成膜することができる。金属膜１０９は、主端子２０８ａの接合部２０８ｂの投影面積よりも大きい面積で成膜されている（図９を参照）。

[0143] 電力用半導体モジュール１００ａの動作に伴い、主端子２０８ａには大電流が通電される。主端子２０８ａの断面積は、電力用半導体モジュール１００ａの動作に必要な通電容量を満たすように任意に設計されるものである。主端子２０８ａは、たとえば、板厚が１ｍｍのＣｕから形成されていることが多い。

[0144] 第１の実施の形態では、主端子１０８ａは、ワイヤー状配線材を介して上側導体パターン１０３ｂと結線されていた。ワイヤー状配線材での結線では設計上必要な通電容量が得られない場合には、主端子２０８ａのように、主端子２０８ａの接合部２０８ｂと上側導体パターン１０３ｂとを接合する必要がある。

[0145] 一般的に、主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとの接合ははんだ材によって接合されるが、近年、電力用半導体モジュールの動作温度範囲が拡大し、当該接合部に要求される接合信頼性が高まっている。

[0146] 本実施の形態では、主端子２０８ａの接合部２０８ｂと上側導体パターン

１０３ｂとを直接接合するために、超音波による固相拡散接合を用いる。

[0147] なお、本実施の形態では、主端子２０８ａは厚さが１ｍｍのＣｕ材からなり、上側導体パターン１０３ｂはＣｕ材からなる金属パターンであり、絶縁材１０３ｅは窒化ケイ素（ＡｌＮ）からなるものとするが、これらの構成の材料は当該内容に限定されるものではない。

[0148] 電力用半導体モジュール１００ａの動作に伴う通電が生じると、主端子２０８ａが発熱する。そうすると、当該発熱に基づく温度変化が生じ得る。

[0149] 上記の発熱に基づく温度変化、または、電力用半導体モジュール１００ａの周囲環境の温度変化によって、主端子２０８ａと絶縁材１０３ｅなどの材料との熱膨張係数の差に応じて接合部２０８ｂに応力（主にせん断方向）が生じる。また、上記の温度変化によって、主端子２０８ａの膨張または収縮などが生じて主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとの接合部２０８ｂに応力（主に縦方向）が生じる。

[0150] 特に、本実施の形態で用いられる絶縁材１０３ｅの材料である窒化ケイ素（ＡｌＮ）は、熱伝導率が大きく、かつ、放熱性に優れる。そのため、近年用いられることが多くなっている。

[0151] Ｃｕ材である主端子２０８ａと窒化ケイ素（ＡｌＮ）である絶縁材１０３ｅとの熱膨張係数の差が大きい場合、接合部２０８ｂに生じる応力が大きく、従来のはんだ接合では接合材であるはんだ（ここでは、図示しない）に亀裂が伸展してしまう。そうすると、通電経路が小さくなり、さらに、接合部の温度が上昇するため、破断してオープン故障してしまう恐れがあった。

[0152] このような課題に対して、本実施の形態では、主端子２０８ａのＣｕと上側導体パターン１０３ｂのＣｕとを直接接合して強固な接合部２０８ｂが得られ、要求される接合信頼性も満足することができる。

[0153] 従来のはんだ接合では、接合部に発生する応力は、はんだ材のクリープまたははんだ材に亀裂が伸展することで緩和されていた。しかしながら、ＣｕとＣｕとの直接接合で強固な接合部を形成する場合、材料間の熱膨張率の差により発生する応力または主端子２０８ａ自体の膨張または収縮などで生じ

る応力によって、主端子２０８ａの接合部２０８ｂの直下の、下側導体パターン１０３ｆとベース板１０１との間の基板下接合材１０７ｂであるはんだが劣化することになった。

[0154] 基板下接合材１０７ｂであるはんだの劣化によって、主端子２０８ａが通電されることで生じる発熱または半導体素子１０４の動作で生じる発熱を、効率的にベース板１０１に伝えることができなくなる。そうすると、放熱性が悪化する。

[0155] 特に、はんだの劣化は、電力用半導体モジュール１００ａの動作によって主端子２０８ａの直下部分だけで局所的に進むことになる。

[0156] これに対し、本実施の形態に関する電力用半導体モジュール１００ａにおいては、絶縁基板１０３の下面側における下側導体パターン１０３ｆの下面の内、主端子２０８ａの搭載位置に対向する位置にも、コールドスプレー法によって成膜された金属膜１０９が形成されている。

[0157] 主端子２０８ａの直下の領域に、基板下接合材１０７ｂであるはんだよりも熱伝導率が大きいＣｕで構成される金属膜１０９が成膜されていることで、電力用半導体モジュール１００ａの放熱性が向上する。

[0158] また、Ｃｕの熱膨張率は、はんだの熱膨張率と、ベース板１０１の熱膨張率または絶縁材１０３ｅの熱膨張率との間の値である。したがって、電力用半導体モジュール１００ａの動作時に、基板下接合材１０７ｂに発生する応力を低減させることができる。

[0159] さらに、Ｃｕははんだと比較して機械的強度が高いことから、はんだ接合の場合のような亀裂が発生しにくく、また、そのような亀裂が生じた場合であっても亀裂進展が遅い。そのため、Ｃｕによれば、接合部の信頼性が低下しにくい。

[0160] さらに、コールドスプレー膜は完全なバルク体とはならず、膜内部に空孔が生じている。この空孔が緩衝層となり、主端子２０８ａの接合部２０８ｂの直下の、基板下接合材１０７ｂに生じる応力を緩和する。そのため、金属膜１０９の成膜法として、コールドスプレー法は望ましい成膜法と言える。

[0161] 本実施の形態では、Ｃｕ材である主端子２０８ａとＣｕパターンである上側導体パターン１０３ｂとの超音波による固相拡散接合による構造を説明したが、それだけでなく、レーザー照射による主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとのレーザー直接接合、または、レーザー照射で主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとの間にはさんだ接合材であるろう材を溶融させて主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとを接合する方法でも同様に適用可能である。

[0162] 本実施の形態では、主端子２０８ａと上側導体パターン１０３ｂとの接合によって形成される構造が説明されたが、制御端子１０８ｂと上側導体パターン１０３ｃとの接合部を超音波接合した場合に、制御端子１０８ｂの直下の領域に、基板下接合材１０７ｂであるはんだよりも熱伝導率が大きいＣｕによって構成される金属膜１０９が成膜されていることで、基板下接合材１０７ｂの亀裂を抑制するとともに、電力用半導体モジュール１００ａの放熱性が向上することが可能となる。

[0163] このような構成によれば、主端子２０８ａとＣｕパターンである上側導体パターン１０３ｂとを超音波接合することによって従来のはんだ接合よりも接合強度を向上させた場合であっても、主端子２０８ａの直下の下側導体パターン１０３ｆとベース板１０１との間の基板下接合材１０７ｂに亀裂が伸展することが抑制され、放熱性を向上させることが可能な電力用半導体モジュール１００ａを得ることができる。

[0164] ＜第４の実施の形態＞

本実施の形態に関する電力変換装置、および、電力変換装置の製造方法について説明する。以下の説明においては、以上に記載された実施の形態で説明された構成要素と同様の構成要素については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

[0165] ＜電力変換装置の構成について＞

本実施の形態は、以上に記載された実施の形態に関する半導体モジュールを電力変換装置に適用するものである。適用する電力変換装置は特定の用途

のものに限定されるものではないが、以下では、三相のインバータに適用する場合について説明する。

[0166] 図１０は、本実施の形態の電力変換装置を含む電力変換システムの構成の例を概念的に示す図である。

[0167] 図１０に例が示されるように、電力変換システムは、電源２１００と、電力変換装置２２００と、負荷２３００とを備える。電源２１００は、直流電源であり、かつ、電力変換装置２２００に直流電力を供給する。電源２１００は種々のもので構成することが可能であり、たとえば、直流系統、太陽電池または蓄電池などで構成することができる。また、電源２１００は、交流系統に接続された整流回路またはＡＣ－ＤＣコンバータなどで構成することができる。また、電源２１００を、直流系統から出力される直流電力を所定の電力に変換するＤＣ－ＤＣコンバータによって構成することもできる。

[0168] 電力変換装置２２００は、電源２１００と負荷２３００との間に接続される三相のインバータである。電力変換装置２２００は、電源２１００から供給された直流電力を交流電力に変換し、さらに、負荷２３００に当該交流電力を供給する。

[0169] また、電力変換装置２２００は、図１０に例が示されるように、直流電力を交流電力に変換して出力する変換回路２２０１と、変換回路２２０１のそれぞれのスイッチング素子を駆動するための駆動信号を出力する駆動回路２２０２と、駆動回路２２０２を制御するための制御信号を駆動回路２２０２に出力する制御回路２２０３とを備える。

[0170] 負荷２３００は、電力変換装置２２００から供給された交流電力によって駆動される三相の電動機である。なお、負荷２３００は特定の用途に限られるものではなく、各種電気機器に搭載される電動機であり、たとえば、ハイブリッド自動車、電気自動車、鉄道車両、エレベータ、または、空調機器向けの電動機として用いられるものである。

[0171] 以下、電力変換装置２２００の詳細を説明する。変換回路２２０１は、スイッチング素子と還流ダイオードとを備える（ここでは、図示しない）。そ

して、スイッチング素子がスイッチング動作をすることによって、電源２１００から供給される直流電力を交流電力に変換し、さらに、負荷２３００に供給する。

[0172] 変換回路２２０１の具体的な回路構成は種々のものがあるが、本実施の形態に関する変換回路２２０１は、２レベルの三相フルブリッジ回路であり、かつ、６つのスイッチング素子とそれぞれのスイッチング素子に逆並列に接続される６つの還流ダイオードとを備えるものである。

[0173] 変換回路２２０１におけるそれぞれのスイッチング素子とそれぞれの還流ダイオードの少なくとも一方には、以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールを適用する。６つのスイッチング素子は２つのスイッチング素子ごとに直列接続されて上下アームを構成し、それぞれの上下アームは、フルブリッジ回路のそれぞれの相（すなわち、Ｕ相、Ｖ相およびW相）を構成する。そして、それぞれの上下アームの出力端子（すなわち、変換回路２２０１の３つの出力端子）は、負荷２３００に接続される。

[0174] また、変換回路２２０１は、それぞれのスイッチング素子を駆動するための駆動回路（ここでは、図示しない）を備えているが、当該駆動回路は半導体モジュールに内蔵されていてもよいし、半導体モジュールとは別に駆動回路を備える構成であってもよい。

[0175] 駆動回路２２０２は、変換回路２２０１のスイッチング素子を駆動するための駆動信号を生成し、さらに、変換回路２２０１のスイッチング素子の制御電極に当該駆動信号を供給する。具体的には、後述する制御回路２２０３から出力される制御信号に基づいて、スイッチング素子をオン状態にする駆動信号とスイッチング素子をオフ状態にする駆動信号とをそれぞれのスイッチング素子の制御電極に出力する。

[0176] スイッチング素子をオン状態に維持する場合、駆動信号はスイッチング素子のしきい値電圧以上の電圧信号（すなわち、オン信号）であり、スイッチング素子をオフ状態に維持する場合、駆動信号はスイッチング素子のしきい値電圧以下の電圧信号（すなわち、オフ信号）となる。

[0177] 制御回路２２０３は、負荷２３００に所望の電力が供給されるよう変換回路２２０１のスイッチング素子を制御する。具体的には、負荷２３００に供給すべき電力に基づいて変換回路２２０１のそれぞれのスイッチング素子がオン状態となるべき時間（すなわち、オン時間）を算出する。たとえば、出力すべき電圧に応じてスイッチング素子のオン時間を変調するＰＷＭ制御によって、変換回路２２０１を制御することができる。

[0178] そして、制御回路２２０３は、それぞれの時点においてオン状態となるべきスイッチング素子にはオン信号が、オフ状態となるべきスイッチング素子にはオフ信号がそれぞれ出力されるように、駆動回路２２０２に制御指令（すなわち、制御信号）を出力する。駆動回路２２０２は、当該制御信号に基づいて、それぞれのスイッチング素子の制御電極にオン信号またはオフ信号を駆動信号として出力する。

[0179] 本実施の形態に関する電力変換装置２２００では、変換回路２２０１のスイッチング素子または還流ダイオードとして以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールを適用するため、通電サイクルを経た後のオン抵抗を安定させることができる。

[0180] なお、本実施の形態では、２レベルの三相インバータに以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールを適用する例が説明されたが、適用例はこれに限られるものではなく、種々の電力変換装置に以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールを適用することができる。

[0181] また、本実施の形態では、２レベルの電力変換装置について説明されたが、３レベルまたはマルチレベルの電力変換装置に以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールが適用されてもよい。また、単相負荷に電力を供給する場合には、単相のインバータに以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールが適用されてもよい。

[0182] また、直流負荷などに電力を供給する場合には、ＤＣ－ＤＣコンバータまたはＡＣ－ＤＣコンバータに、以上に記載された実施の形態のいずれかにお

ける半導体モジュールを適用することもできる。

[0183] また、以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールが適用された電力変換装置は、上述された負荷が電動機である場合に限定されるものではなく、たとえば、放電加工機、レーザー加工機、誘導加熱調理器または非接触給電システムの電源装置として用いることもできる。また、以上に記載された実施の形態のいずれかにおける半導体モジュールが適用された電力変換装置は、太陽光発電システムまたは蓄電システムなどにおけるパワーコンディショナーとして用いることもできる。

[0184] 以上に記載された実施の形態において用いられる半導体スイッチング素子は、シリコン（Ｓｉ）半導体から成るスイッチング素子に限られるものではなく、たとえば、半導体スイッチング素子は、Ｓｉ半導体よりもバンドギャップが広い非Ｓｉ半導体材料から成るものであってもよい。

[0185] 非Ｓｉ半導体材料であるワイドバンドギャップ半導体としては、たとえば、炭化珪素、窒化ガリウム系材料またはダイヤモンドなどがある。

[0186] ワイドバンドギャップ半導体から成るスイッチング素子は、Ｓｉ半導体ではユニポーラ動作が困難な高電圧領域でも使用可能であり、スイッチング動作時に発生するスイッチング損失を大きく低減することができる。そのため、電力損失の大きな低減が可能となる。

[0187] また、ワイドバンドギャップ半導体から成るスイッチング素子は、電力損失が小さく、耐熱性も高い。そのため、冷却部を備えるパワーモジュールを構成する場合、ヒートシンクの放熱フィンを小型化することが可能であるため、半導体モジュールの一層の小型化が可能となる。

[0188] また、ワイドバンドギャップ半導体から成るスイッチング素子は、高周波スイッチング動作に適している。そのため、高周波化の要求が大きいコンバータ回路に適用された場合、スイッチング周波数の高周波化によって、コンバータ回路に接続されるリアクトルまたはコンデンサなどを小型化することもできる。

[0189] よって、以上に記載された実施の形態における半導体スイッチング素子は

、炭化珪素などのワイドギャップ半導体から成るスイッチング素子となる場合にも、同様な効果が得られる。

[0190] ＜以上に記載された実施の形態によって生じる効果について＞

次に、以上に記載された実施の形態によって生じる効果の例を示す。なお、以下の説明においては、以上に記載された実施の形態に例が示された具体的な構成に基づいて当該効果が記載されるが、同様の効果が生じる範囲で、本願明細書に例が示される他の具体的な構成と置き換えられてもよい。

[0191] また、当該置き換えは、複数の実施の形態に跨ってなされてもよい。すなわち、異なる実施の形態において例が示されたそれぞれの構成が組み合わされて、同様の効果が生じる場合であってもよい。

[0192] 以上に記載された実施の形態によれば、半導体モジュールは、絶縁基板１０３と、少なくとも１つの半導体素子１０４と、第１の接合材と、金属膜１０９（または、金属膜１０９ａ、金属膜１０９ｂ）とを備える。ここで、第１の接合材は、たとえば、基板下接合材１０７ｂなどに対応するものである。絶縁基板１０３は、少なくとも上面に導体パターンが設けられる。ここで、導体パターンは、たとえば、上側導体パターン１０３ａなどに対応するものである。半導体素子１０４は、上側導体パターン１０３ａの上面に設けられる。基板下接合材１０７ｂは、絶縁基板１０３の下面の一部に設けられる。金属膜１０９は、基板下接合材１０７ｂよりも熱伝導率が高い。また、金属膜１０９は、絶縁基板１０３の下面の他の一部に設けられる。そして、金属膜１０９は、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の、絶縁基板１０３の下面に設けられる。

[0193] このような構成によれば、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の絶縁基板１０３の下面に金属膜１０９が設けられるため、金属膜によって半導体素子から生じる熱が効率よく放熱される。したがって、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させることができる。また、金属膜１０９がＣｕで形成されている場合、はんだで構成される接合材と比較して機械的強度が高いことから、はんだの場合のような亀裂が発生しにくく、

また、発生した場合であっても亀裂進展が遅い。そのため、接合部の信頼性が低下しにくい。

[0194] なお、上記の構成に本願明細書に例が示された他の構成を適宜追加した場合、すなわち、上記の構成としては言及されなかった本願明細書中の他の構成が適宜追加された場合であっても、同様の効果を生じさせることができる。

[0195] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９は、コールドスプレー法によって成膜されるコールドスプレー膜である。このような構成によれば、コールドスプレー膜は完全なバルク体とはならず、膜内部に空孔が生じているため、空孔が緩衝層となり、金属膜１０９に発生する応力を緩和する効果を有する。したがって、接合部の信頼性が低下しにくい。また、空孔を有しているコールドスプレー膜の見かけの熱伝導率は、はんだなどの熱伝導率と比較して大きいため、放熱性が高まる。

[0196] なお、コールドスプレー膜は、高圧で粉体を積層することによって成膜される膜である。当該方法によって成膜されたコールドスプレー膜は、空孔を有し、熱伝導率がはんだなどよりも高く同一物質のバルク体などよりも低く、また、表面に凹凸を有するという特徴を備えている。

[0197] すなわち、コールドスプレー膜は、たとえば、熱伝導率を測定してバルク体と比較すること、または、算術平均粗さＲａを測定するなどによって、はんだなどを含む他の金属膜（接合材）の構造とは明らかに区別される構造を指すものである。

[0198] したがって、コールドスプレー膜との用語は、単に状態を示すことにより物の構造または物の特性を特定しているにすぎない用語である。

[0199] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９は、少なくとも、平面視において半導体素子１０４と重なる位置に成膜される。このような構成によれば、金属膜１０９によって、半導体素子１０４から生じる熱を効率よく放熱することができる。

[0200] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９が成膜される

面積は、半導体素子１０４が配置される領域の面積よりも大きい。このような構成によれば、金属膜１０９によって、半導体素子１０４から生じる熱を、半導体素子１０４から絶縁基板１０３の面方向に広がる成分を含めて効率よく放熱することができる。

[0201] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９の中心位置は、平面視において、半導体素子１０４の中心位置と一致する。このような構成によれば、金属膜１０９によって、半導体素子１０４から生じる熱を効率よく放熱することができる。

[0202] また、以上に記載された実施の形態によれば、半導体モジュールは、第２の接合材と、ベース板１０１とを備える。ここで、第２の接合材は、たとえば、チップ下接合材１０７ａなどに対応するものである。チップ下接合材１０７ａは、半導体素子１０４の下面と上側導体パターン１０３ａの上面とを接合する。ベース板１０１は、基板下接合材１０７ｂによって絶縁基板１０３の下面と接合される。そして、チップ下接合材１０７ａの融点が、基板下接合材１０７ｂの融点よりも高い。このような構成によれば、半導体素子１０４が先に搭載されて絶縁基板１０３が上に凸形状に反った状態であっても、ベース板１０１と絶縁基板１０３とがはんだ付けされる際に金属膜１０９の温度が上昇し、それに伴って金属膜１０９が膨張する。したがって、半導体素子１０４が搭載された部分を頂点とする凸形状を緩和することができる。

[0203] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９ｂは、対応する１つの半導体素子１０４に対して複数箇所に分かれて絶縁基板１０３の下面に設けられる。このような構成によれば、半導体素子１０４の数と金属膜１０９ａの数とが同一である場合と比較して、必要となるＣｕ粉体の量を抑えつつ、放熱性を向上させることができる。

[0204] また、以上に記載された実施の形態によれば、半導体素子１０４は、複数備えられる。そして、金属膜１０９ａは、複数の半導体素子１０４が配置されるそれぞれの位置にまたがる位置の、絶縁基板１０３の下面に設けられる

。このような構成によれば、半導体素子１０４の数と金属膜１０９ａの数とが同一である場合と比較して、放熱性を向上させることができる。また、同一の絶縁基板上に異なる種類の半導体素子を搭載する場合であっても、金属膜の成膜過程において段取り替えが生じない。したがって、生産性を下げずにパワーモジュールを生産することができる。

[0205] また、以上に記載された実施の形態によれば、電力変換装置は、上記の半導体モジュールを有し、かつ、入力される電力を変換して出力する変換回路２２０１と、半導体モジュールを駆動するための駆動信号を半導体モジュールに出力する駆動回路２２０２と、駆動回路２２０２を制御するための制御信号を駆動回路２２０２に出力する制御回路２２０３とを備える。このような構成によれば、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の絶縁基板１０３の下面に金属膜１０９が設けられるため、金属膜によって半導体素子から生じる熱が効率よく放熱される。したがって、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させることができる。

[0206] 以上に記載された実施の形態によれば、半導体モジュールの製造方法において、少なくとも上面に上側導体パターン１０３ａが設けられる絶縁基板１０３の上側導体パターン１０３ａの上面に、少なくとも１つの半導体素子１０４を設ける。そして、絶縁基板１０３の下面の一部に基板下接合材１０７ｂを設ける。そして、絶縁基板１０３の下面の他の一部に、基板下接合材１０７ｂよりも熱伝導率が高い金属膜１０９を設ける。そして、金属膜１０９を設けることは、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の絶縁基板１０３の下面に、金属膜１０９を設けることである。

[0207] このような構成によれば、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の絶縁基板１０３の下面に金属膜１０９が設けられるため、金属膜によって半導体素子から生じる熱が効率よく放熱される。したがって、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させることができる。

[0208] なお、特段の制限がない場合には、それぞれの処理が行われる順序は変更することができる。

[0209] なお、上記の構成に本願明細書に例が示された他の構成を適宜追加した場合、すなわち、上記の構成としては言及されなかった本願明細書中の他の構成が適宜追加された場合であっても、同様の効果を生じさせることができる。

[0210] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９を設けることは、金属膜１０９を、コールドスプレー法によって成膜することである。このような構成によれば、コールドスプレー膜は完全なバルク体とはならず、膜内部に空孔が生じているため、空孔が緩衝層となり、金属膜１０９に発生する応力を緩和する効果を有する。したがって、接合部の信頼性が低下しにくい。また、空孔を有しているコールドスプレー膜の見かけの熱伝導率は、はんだなどの熱伝導率と比較して大きいため、放熱性が高まる。

[0211] また、以上に記載された実施の形態によれば、金属膜１０９を設けることは、金属膜１０９を、少なくとも、平面視において半導体素子１０４と重なる位置に成膜することである。このような構成によれば、金属膜１０９によって、半導体素子１０４から生じる熱を効率よく放熱することができる。

[0212] また、以上に記載された実施の形態によれば、半導体素子１０４の下面と上側導体パターン１０３ａの上面とをチップ下接合材１０７ａによって接合する。そして、半導体素子１０４の下面と上側導体パターン１０３ａの上面とを接合した後に、基板下接合材１０７ｂによって、絶縁基板１０３の下面にベース板１０１を接合する。ここで、チップ下接合材１０７ａの融点は、基板下接合材１０７ｂの融点よりも高い。このような構成によれば、半導体素子１０４と上側導体パターン１０３ａとをチップ下接合材１０７ａによって接合された後に、絶縁基板１０３の下面とベース板１０１とが基板下接合材１０７ｂによって接合される場合に、絶縁基板１０３が上に凸形状に反った状態であっても、ベース板１０１と絶縁基板１０３とがはんだ付けされる際に金属膜１０９の温度が上昇し、それに伴って金属膜１０９が膨張する。したがって、半導体素子１０４が搭載された部分を頂点とする凸形状を緩和することができる。

[0213] また、以上に記載された実施の形態によれば、基板下接合材１０７ｂによって、絶縁基板１０３の下面にベース板１０１を接合する。そして、絶縁基板１０３の下面とベース板１０１の上面とを接合した後に、半導体素子１０４の下面と上側導体パターン１０３ａの上面とをチップ下接合材１０７ａによって接合する。ここで、チップ下接合材１０７ａの融点は、基板下接合材１０７ｂの融点以下である。このような構成によれば、半導体素子１０４を絶縁基板１０３に搭載する前にベース板１０１の接合を終わらせることができるため、前述の異なる工順と併せて工順の自由度を高めることができる。

[0214] また、以上に記載された実施の形態によれば、電力変換装置の製造方法において、上記の製造方法で製造される半導体モジュールを有し、かつ、入力される電力を変換して出力する変換回路２２０１を設ける。そして、半導体モジュールを駆動するための駆動信号を半導体モジュールに出力する駆動回路２２０２を設ける。そして、駆動回路２２０２を制御するための制御信号を駆動回路２２０２に出力する制御回路２２０３を設ける。このような構成によれば、半導体素子１０４が配置される位置に対応する位置の絶縁基板１０３の下面に金属膜１０９が設けられるため、金属膜によって半導体素子から生じる熱が効率よく放熱される。したがって、絶縁基板に設けられた半導体素子の放熱性能を向上させることができる。

[0215] ＜以上に記載された実施の形態の変形例について＞

以上に記載された実施の形態では、それぞれの構成要素の材質、材料、寸法、形状、相対的配置関係または実施の条件などについても記載する場合があるが、これらはすべての局面においてひとつの例であって、本願明細書に記載されたものに限られることはないものとする。

[0216] したがって、例が示されていない無数の変形例、および、均等物が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。たとえば、少なくとも１つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも１つの実施の形態における少なくとも１つの構成要素を抽出し、他の実施の形態における構成要素と組み合わせる場合が含まれるもの

とする。

[0217] また、以上に記載された実施の形態において、特に指定されずに材料名などが記載された場合は、矛盾が生じない限り、当該材料に他の添加物が含まれた、たとえば、合金などが含まれるものとする。

[0218] また、矛盾が生じない限り、以上に記載された実施の形態において「１つ」備えられるものとして記載された構成要素は、「１つ以上」備えられていてもよいものとする。

[0219] さらに、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素は概念的な単位であって、本願明細書に開示される技術の範囲内には、１つの構成要素が複数の構造物から成る場合と、１つの構成要素がある構造物の一部に対応する場合と、さらには、複数の構成要素が１つの構造物に備えられる場合とを含むものとする。

[0220] また、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素には、同一の機能を発揮する限り、他の構造または形状を有する構造物が含まれるものとする。

[0221] また、本願明細書における説明は、本技術に関連するすべての目的のために参照され、いずれも、従来技術であると認めるものではない。

符号の説明

[0222] １００　電力用半導体モジュール、１０２　ケース、１０１　ベース板、１０３　絶縁基板、１０３ａ，１０３ｂ，１０３ｃ，１０３ｄ　上側導体パターン、１０３ｅ　絶縁材、１０３ｆ　下側導体パターン、１０４　半導体素子、１０４ａ　スイッチングデバイス、１０４ｂ　還流ダイオード、１０５　封止材、１０６　配線、１０６ａ　ワイヤー状配線、１０６ｂ　ソース信号配線、１０６ｃ　ゲート信号配線、１０７ａ　チップ下接合材、１０７ｂ　基板下接合材、１０８　端子、１０８ａ　主端子、１０８ｂ　制御端子、１０９，１０９ａ，１０９ｂ　金属膜、１１０　上面電極、１１０ａ　ゲートパッド、１１１　保護膜、２０１　コールドスプレー膜用マスク、２０２　絶縁基板保持治具、２１００　電源、２２００　電力変換装置、２２０

１　変換回路、２２０２　駆動回路、２２０３　制御回路、２３００　負荷

。

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも上面に導体パターンが設けられる絶縁基板と、

前記導体パターンの上面に設けられる少なくとも１つの半導体素子と、

前記絶縁基板の下面の一部に設けられる第１の接合材と、

前記第１の接合材よりも熱伝導率が高く、かつ、前記絶縁基板の下面の他の一部に設けられる金属膜とを備え、

前記金属膜は、前記半導体素子が配置される位置に対応する位置の、前記絶縁基板の下面に設けられる、

半導体モジュール。

[請求項2] 請求項１に記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜は、コールドスプレー法によって成膜されるコールドスプレー膜である、

半導体モジュール。

[請求項3] 請求項１または２に記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜の表面における凹凸に前記第１の接合材が侵入し接合することによって、金属間化合物相が形成される、

半導体モジュール。

[請求項4] 請求項１から３のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜は、少なくとも、平面視において前記半導体素子と重なる位置に成膜される、

半導体モジュール。

[請求項5] 請求項１から４のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜が成膜される面積は、前記半導体素子が配置される領域の面積よりも大きい、

半導体モジュール。

[請求項6] 請求項１から５のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜の中心位置は、平面視において、前記半導体素子の中心位置と一致する、

半導体モジュール。

[請求項7] 請求項１から６のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記半導体素子の下面と前記導体パターンの上面とを接合する第２の接合材と、

前記第１の接合材によって前記絶縁基板の下面と接合されるベース板とをさらに備え、

前記第２の接合材の融点が、前記第１の接合材の融点よりも高い、

半導体モジュール。

[請求項8] 請求項１から７のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜は、対応する１つの前記半導体素子に対して複数箇所に分かれて、前記絶縁基板の下面に設けられる、

半導体モジュール。

[請求項9] 請求項１から７のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールであり、

前記半導体素子は、複数備えられ、

前記金属膜は、複数の前記半導体素子が配置されるそれぞれの位置にまたがる位置の、前記絶縁基板の下面に設けられる、

半導体モジュール。

[請求項10] 少なくとも上面に導体パターンが設けられる絶縁基板と、

前記導体パターンの上面に設けられる少なくとも１つの半導体素子と、

前記導体パターンの上面に設けられる少なくとも１つの電極と、

前記絶縁基板の下面の一部に設けられる第１の接合材と、

前記第１の接合材よりも熱伝導率が高く、かつ、前記絶縁基板の下面の他の一部に設けられる金属膜とを備え、

前記金属膜は、前記電極が配置される位置に対応する位置の、前記絶縁基板の下面に設けられる、

半導体モジュール。

[請求項11] 請求項１０に記載の半導体モジュールであり、

前記電極と前記導体パターンとが、超音波による固相拡散接合で接続される、

半導体モジュール。

[請求項12] 請求項１０または１１に記載の半導体モジュールであり、

前記金属膜は、コールドスプレー法によって成膜されるコールドスプレー膜である、

半導体モジュール。

[請求項13] 請求項１から請求項１２のうちのいずれか１項に記載の半導体モジュールを有し、かつ、入力される電力を変換して出力する変換回路と、

前記半導体モジュールを駆動するための駆動信号を前記半導体モジュールに出力する駆動回路と、

前記駆動回路を制御するための制御信号を前記駆動回路に出力する制御回路とを備える、

電力変換装置。

[請求項14] 少なくとも上面に導体パターンが設けられる絶縁基板の前記導体パターンの上面に、少なくとも１つの半導体素子を設け、

前記絶縁基板の下面の一部に第１の接合材を設け、

前記絶縁基板の下面の他の一部に、前記第１の接合材よりも熱伝導率が高い金属膜を設け、

前記金属膜を設けることは、前記半導体素子が配置される位置に対

応する位置の前記絶縁基板の下面に、前記金属膜を設けることである

、

半導体モジュールの製造方法。

[請求項15] 請求項１４に記載の半導体モジュールの製造方法であり、

前記金属膜を設けることは、前記金属膜を、コールドスプレー法によって成膜することである、

半導体モジュールの製造方法。

[請求項16] 請求項１４または１５に記載の半導体モジュールの製造方法であり

、

前記金属膜を設けることは、前記金属膜を、少なくとも、平面視において前記半導体素子と重なる位置に成膜することである、

半導体モジュールの製造方法。

[請求項17] 請求項１４から１６のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールの製造方法であり、

前記半導体素子の下面と前記導体パターンの上面とを第２の接合材によって接合し、

前記半導体素子の下面と前記導体パターンの上面とを接合した後に、前記第１の接合材によって、前記絶縁基板の下面にベース板を接合し、

前記第２の接合材の融点は、前記第１の接合材の融点よりも高い、

半導体モジュールの製造方法。

[請求項18] 請求項１４から１６のうちのいずれか１つに記載の半導体モジュールの製造方法であり、

前記第１の接合材によって、前記絶縁基板の下面にベース板を接合し、

前記絶縁基板の下面と前記ベース板の上面とを接合した後に、前記半導体素子の下面と前記導体パターンの上面とを第２の接合材によって接合し、

前記第２の接合材の融点は、前記第１の接合材の融点以下である、半導体モジュールの製造方法。

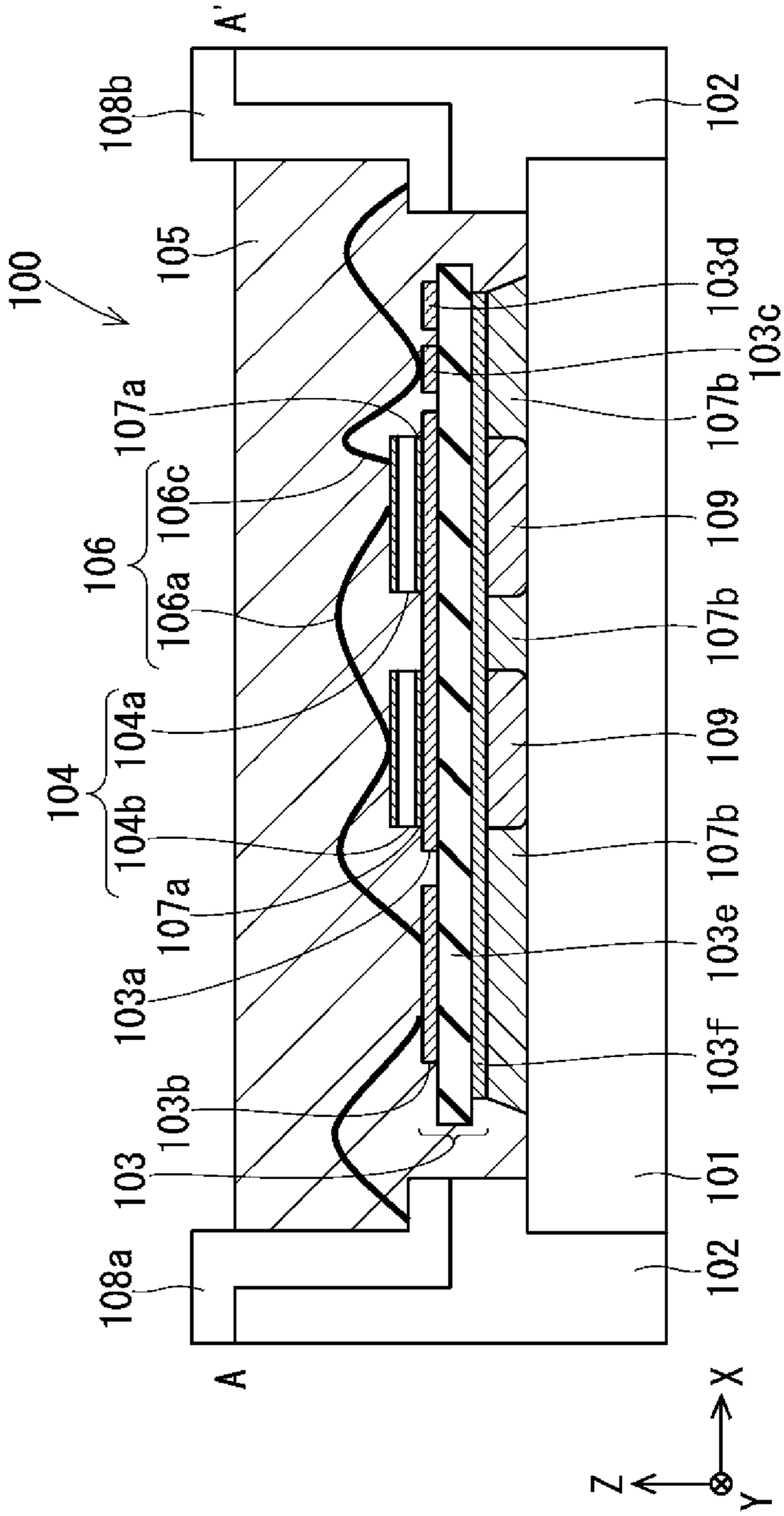
[請求項19] 請求項１４から請求項１８のうちのいずれか１項に記載の製造方法で製造される半導体モジュールを有し、かつ、入力される電力を変換して出力する変換回路を設け、

前記半導体モジュールを駆動するための駆動信号を前記半導体モジュールに出力する駆動回路を設け、

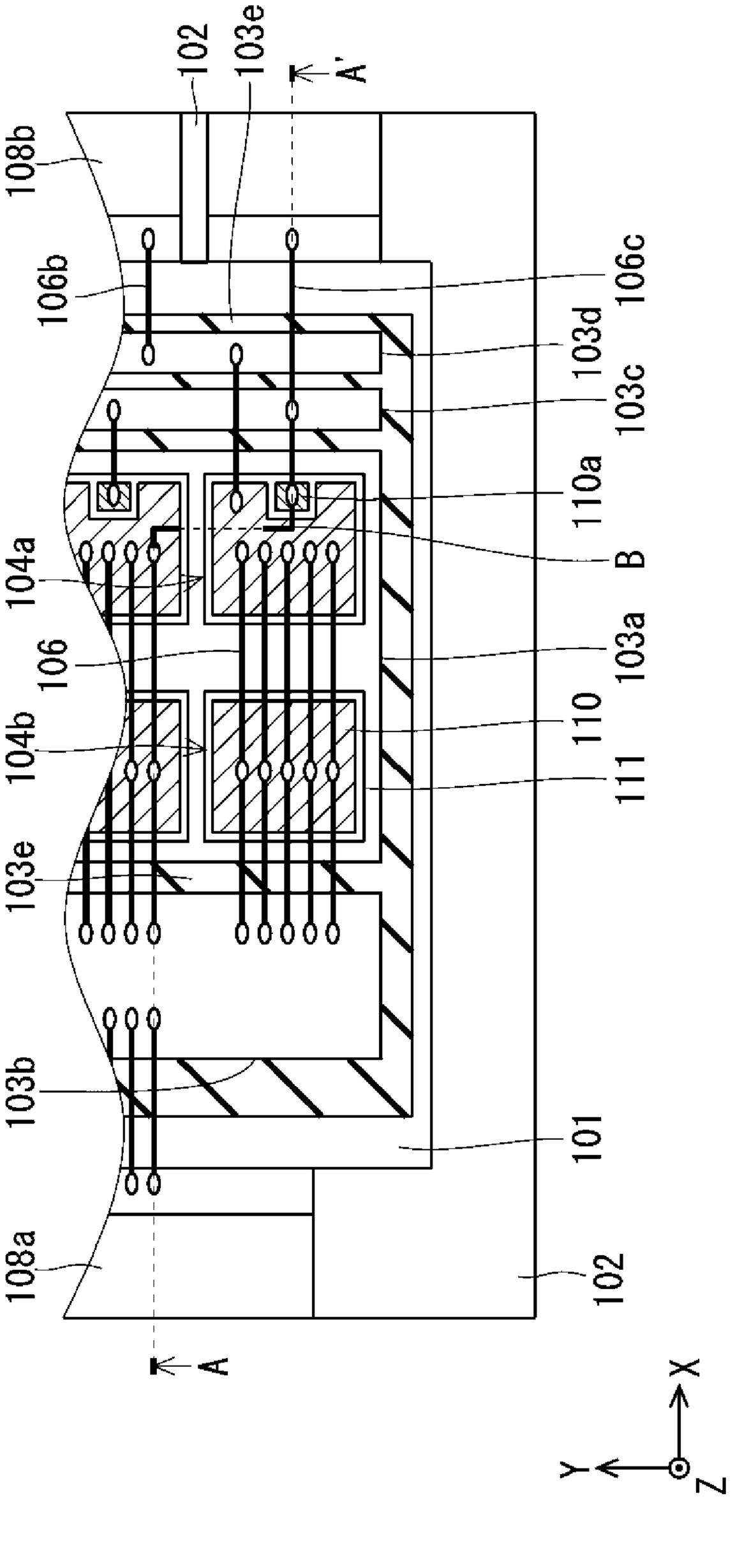
前記駆動回路を制御するための制御信号を前記駆動回路に出力する制御回路を設ける、

電力変換装置の製造方法。

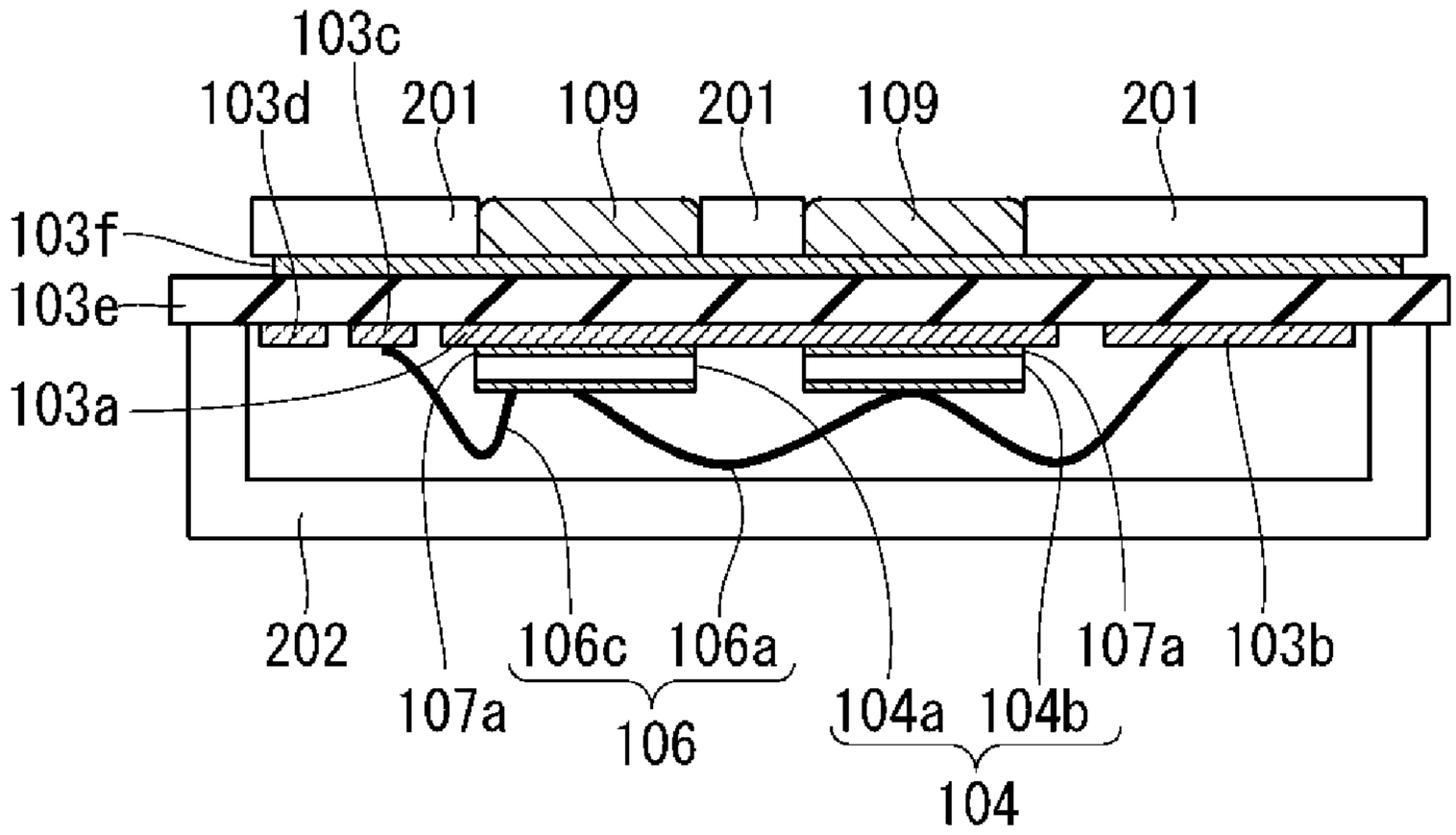
[図1]


A'
108b
102
105
100
103d
103c
107a
106
106c
106a
104
104a
104b
107a
103a
103b
103
108a
107b
109
107b
109
107b
103e
103f
101
102
A
X
Z
Y

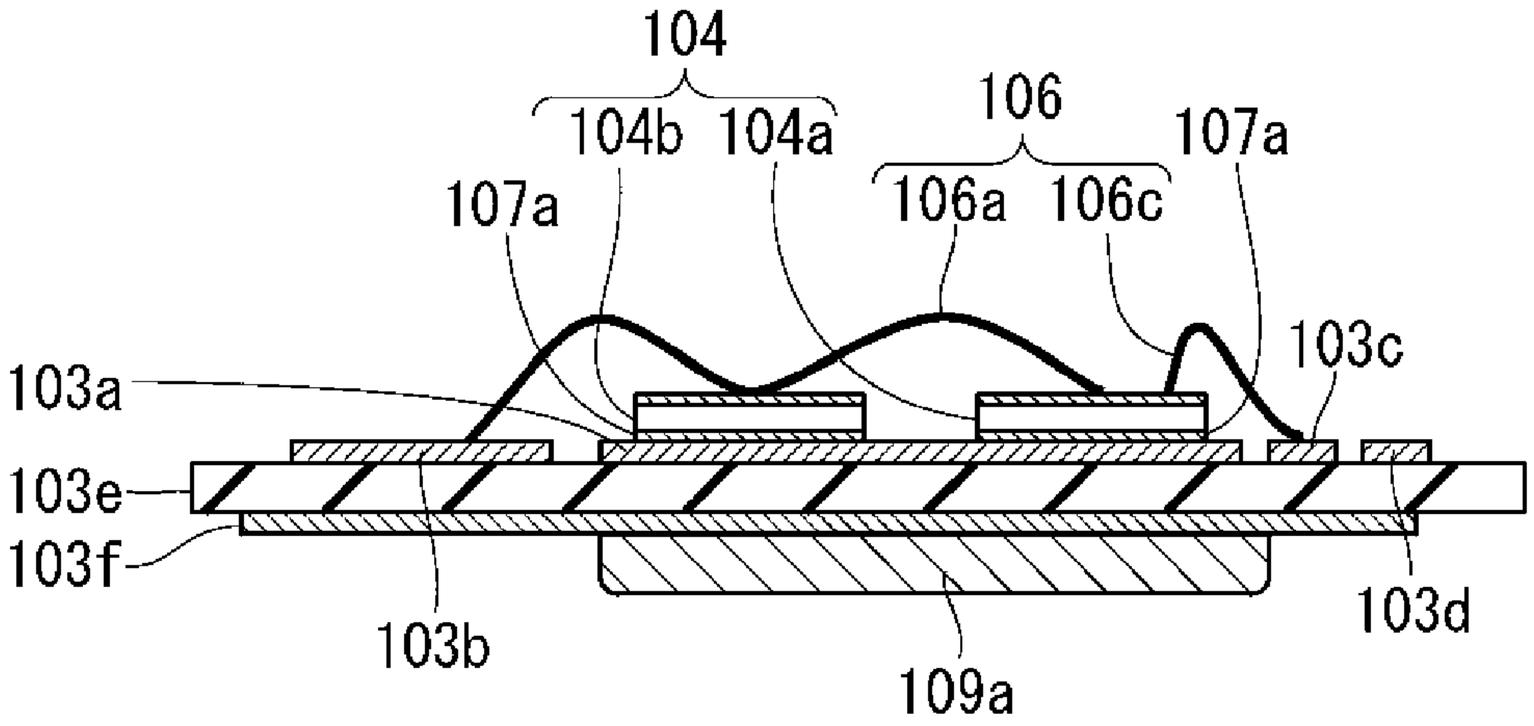
[図2]


102
103e
A'
108b
106b
106c
103d
103c
110a
B
104a
106
103a
104b
110
111
103e
103b
101
108a
102
A
Y
X
Z

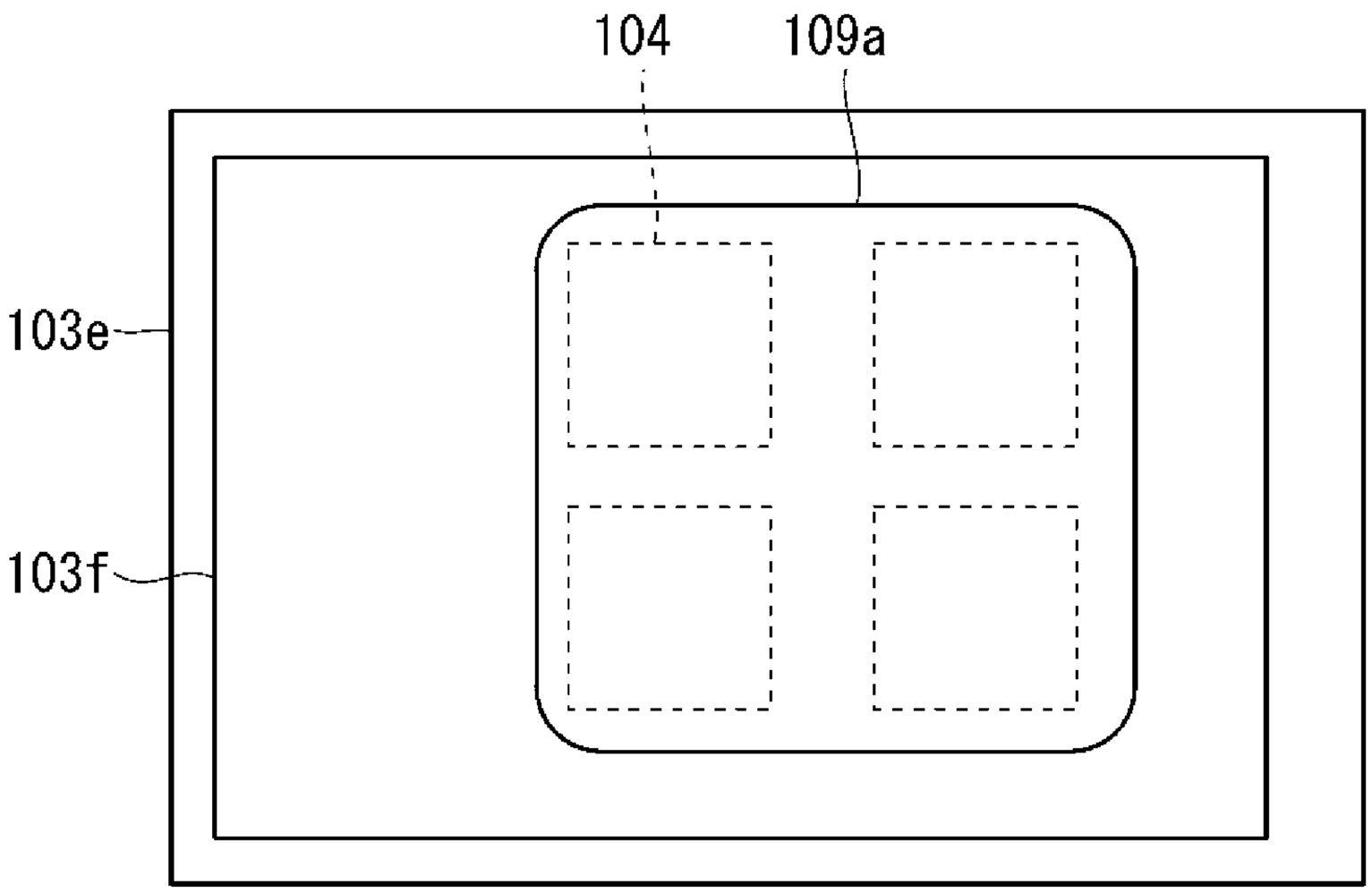
[図3]


103c
103d
201
109
201
109
201
103f
103e
103a
202
107a
106c
106a
106
104a
104b
104
107a
103b

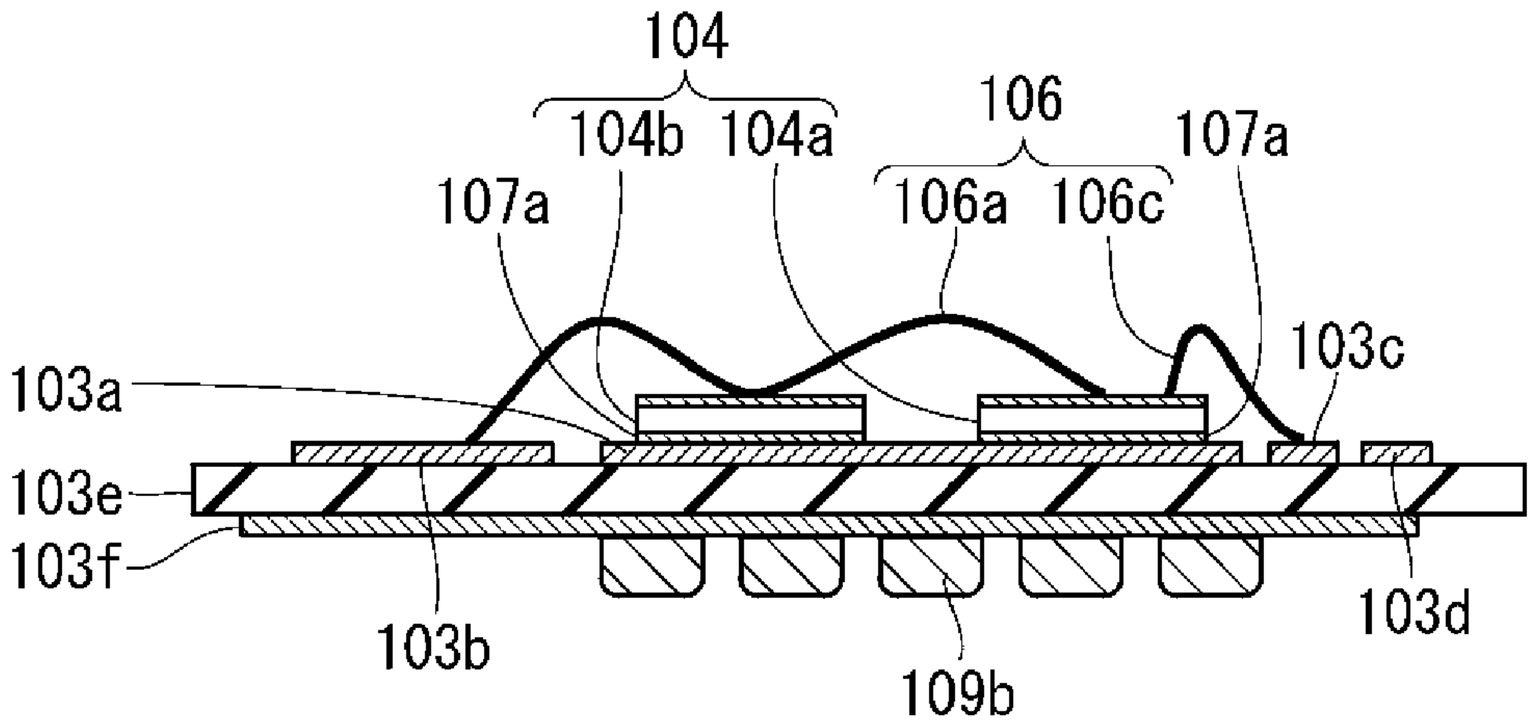
[図4]


104
104b
104a
106
106a
106c
107a
107a
103a
103c
103e
103f
103b
103d
109a

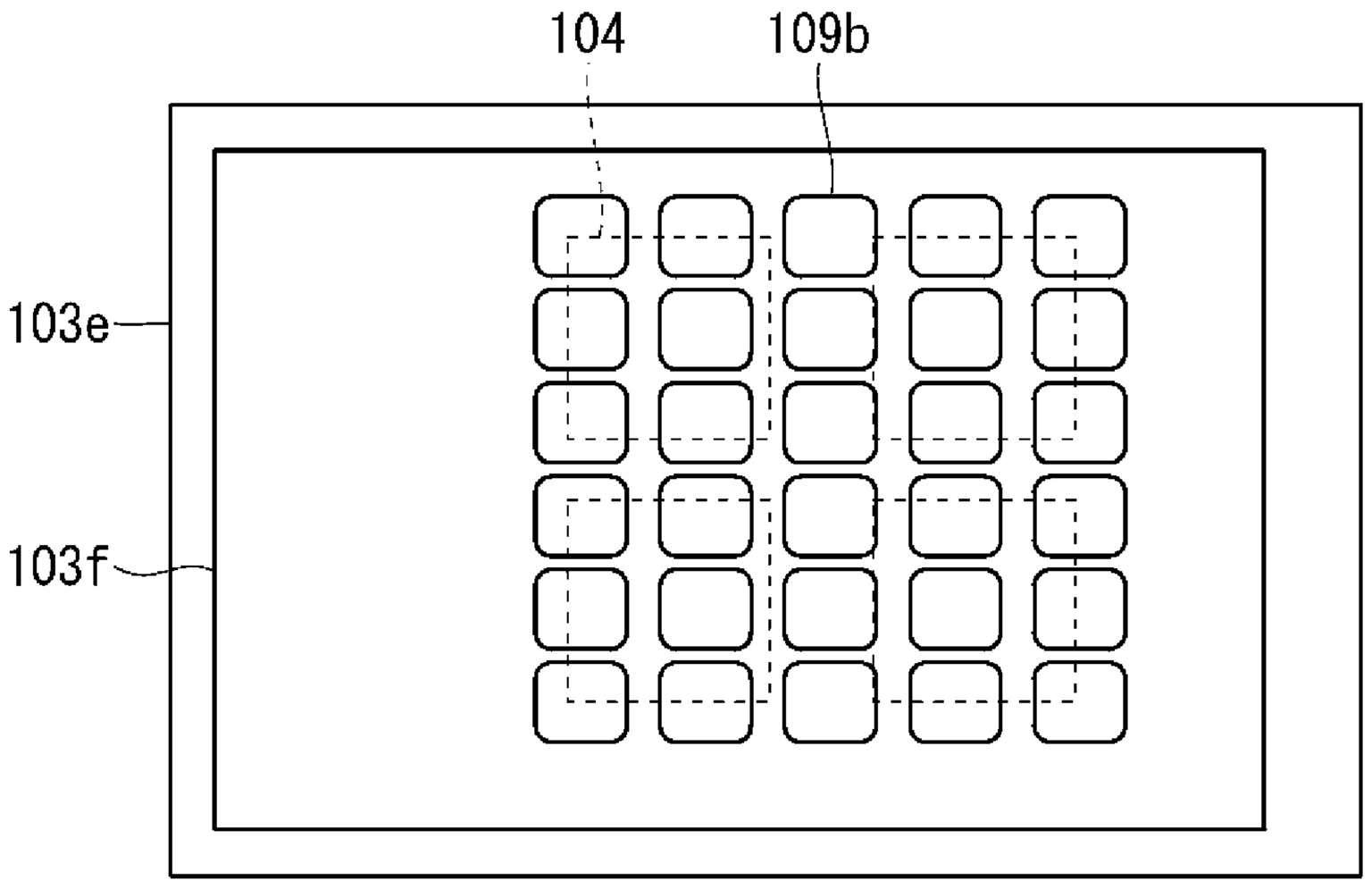
[図5]


104
109a
103e
103f

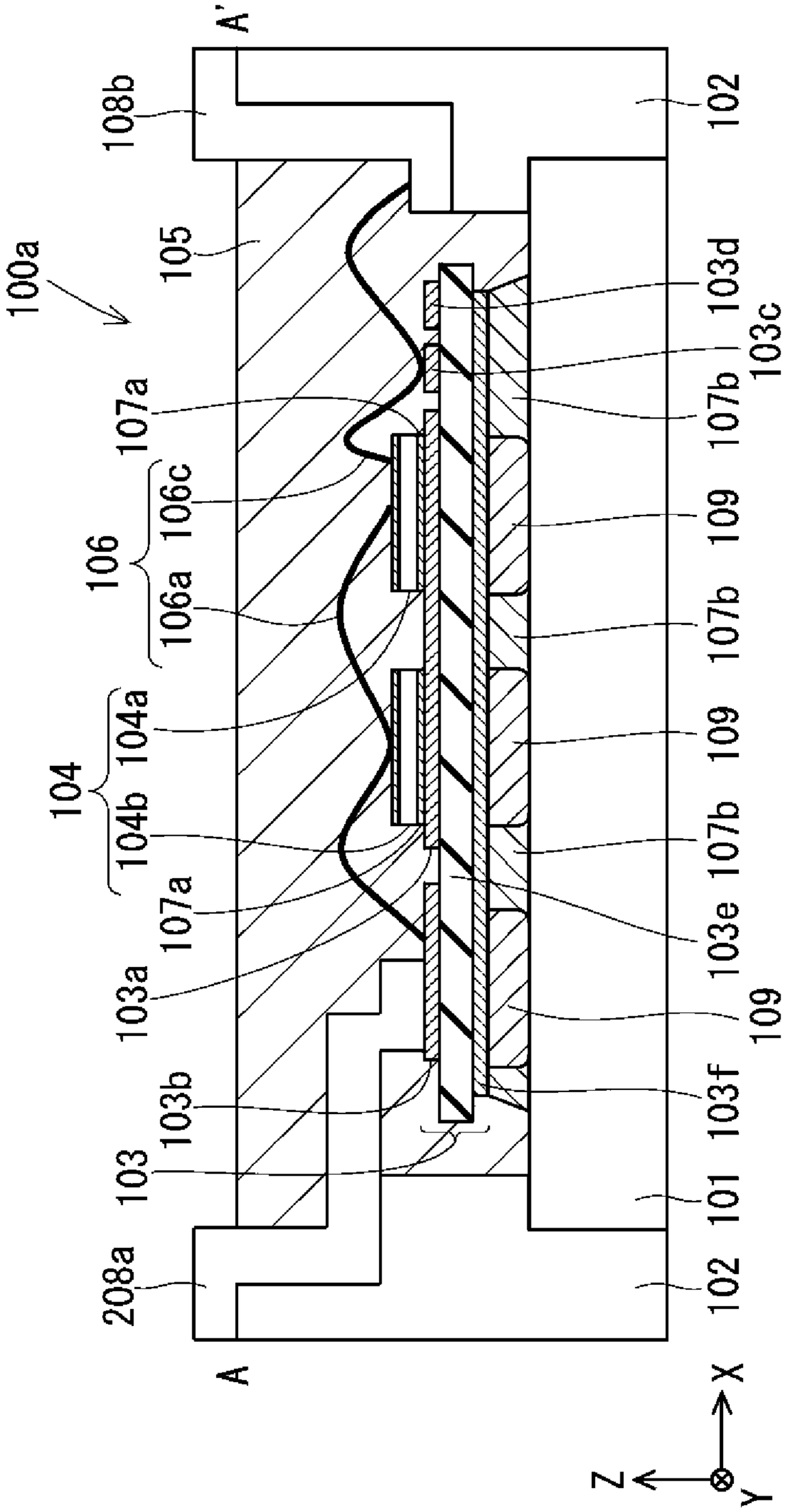
[図6]


104
104b
104a
106
106a
106c
107a
107a
107a
103c
103a
103e
103f
103b
103d
109b

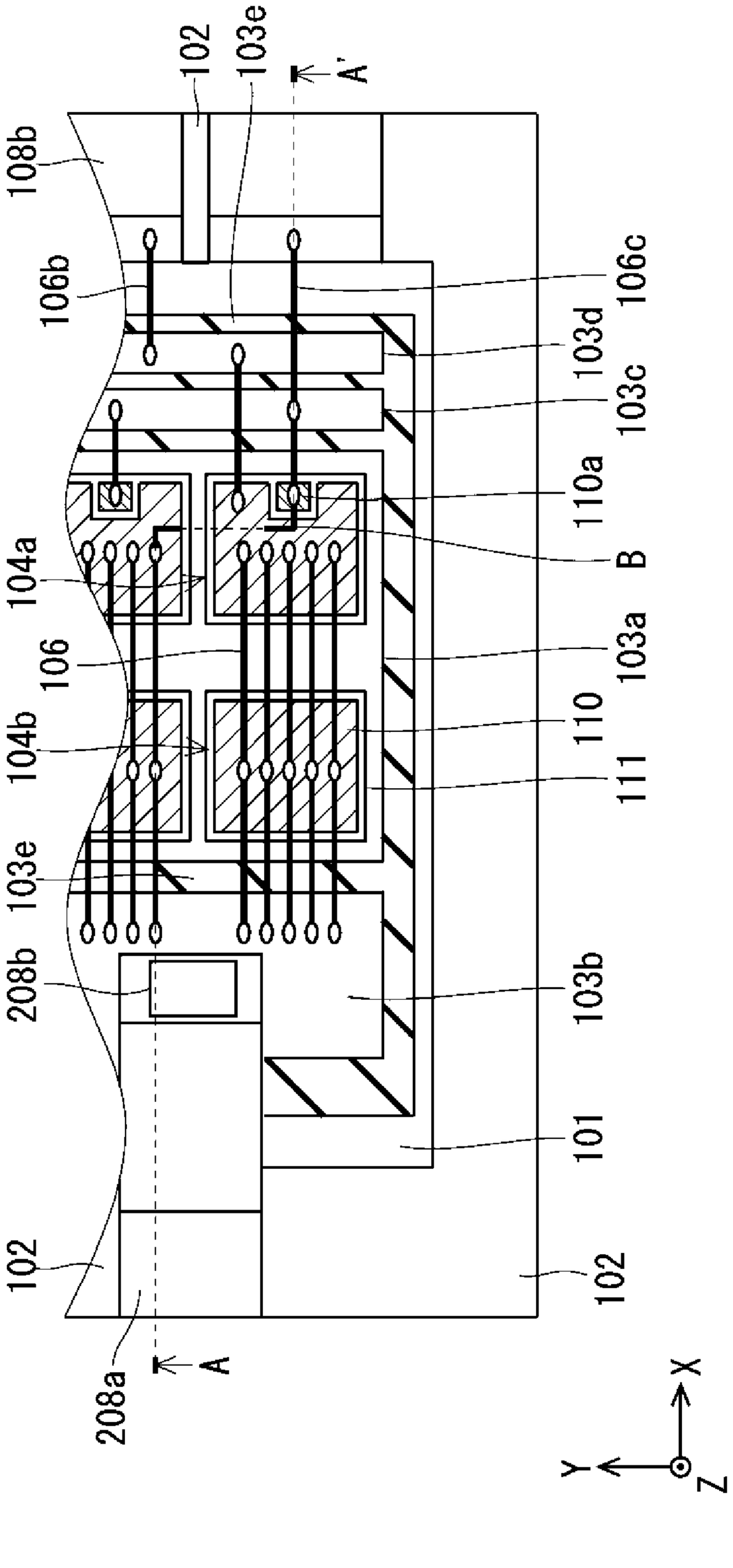
[図7]


104
109b
103e
103f

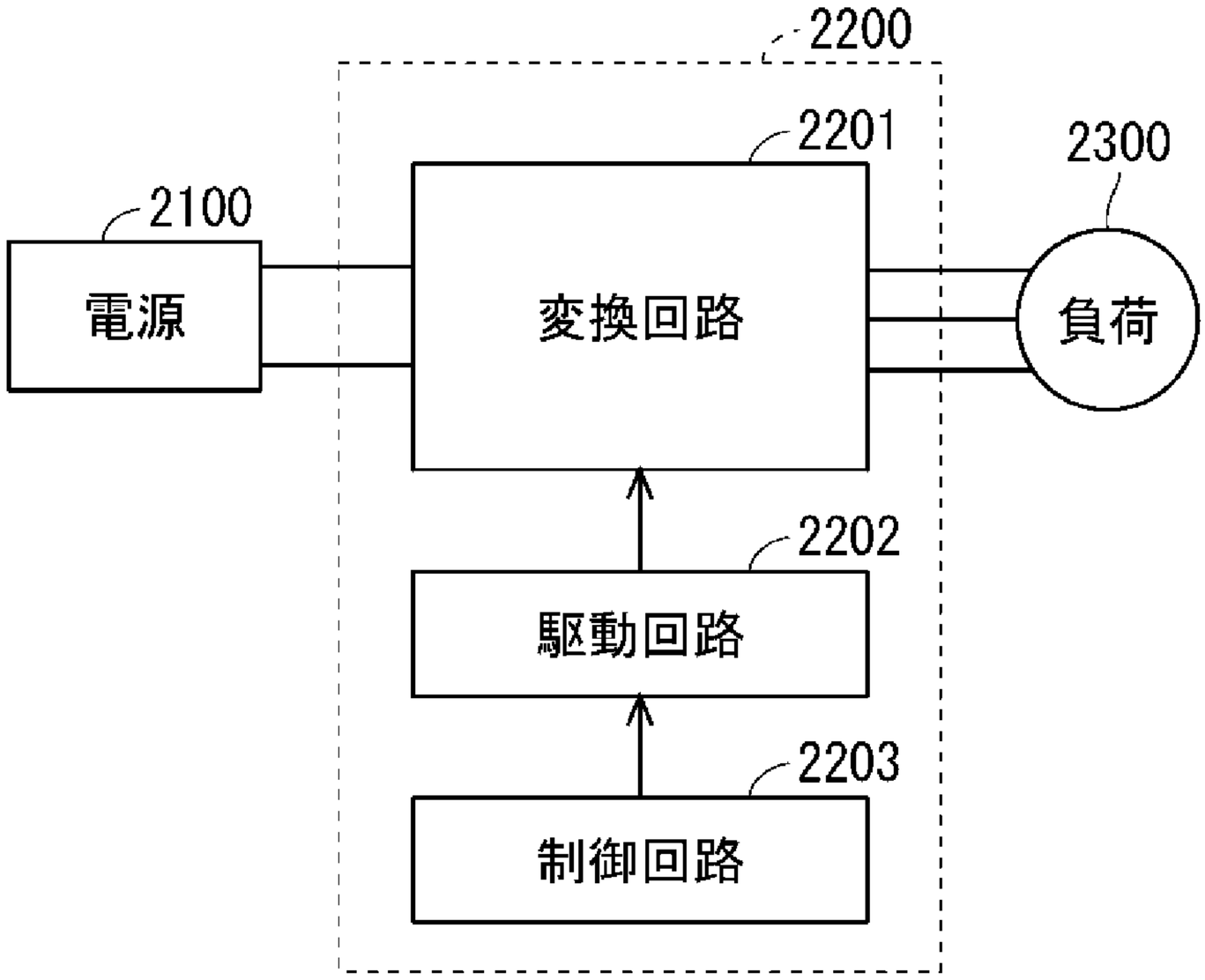
[図8]


A'
108b
102
105
100a
103d
103c
107a
107b
106
106c
106a
109
107b
104
104a
104b
109
107b
107a
103e
103a
109
103b
103f
103
101
208a
102
A
X
Z
Y

[図9]


102
103e
A'
108b
106b
106c
103d
103c
110a
B
104a
106
103a
104b
110
111
103e
208b
103b
101
102
102
208a
A
Y
X
Z

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/039367

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L 23/30(2006.01)i
FI: H01L23/36 D
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L23/36

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2017-139345 A (HITACHI, LTD.) 10 August 2017 (2017-08-10) paragraphs [0008]-[0052], fig. 1-4	1, 4-6, 8-10, 14, 16
Y		2, 11-13, 15, 19
A		3, 7, 17, 18
X	JP 2018-182198 A (TOSHIBA CORP.) 15 November 2018 (2018-11-15) paragraphs [0002]-[0074], fig. 5, 6	1, 4-6, 8-10, 14, 16
Y		2, 11-13, 15, 19
A		3, 7, 17, 18
Y	JP 2012-138029 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 19 July 2012 (2012-07-19) paragraph [0029]	2, 12, 15
Y	JP 2010-134580 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 25 July 2016 (2016-07-25) paragraph [0019]	11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
06 January 2021 (06.01.2021)	19 January 2021 (19.01.2021)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/039367

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2018-142582 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 13 September 2018 (2018-09-13) paragraphs [0140]-[0142]	13, 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/039367

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2017-139345 A	10 Aug. 2017	(Family: none)	
JP 2018-182198 A	15 Nov. 2018	US 2018/0308833 A1 paragraphs [0002]-[0076], fig. 5, 6 EP 3392907 A1 paragraphs [0003]-[0091], fig. 5, 6 CN 108735721 A	
JP 2012-138629 A	19 Jul. 2012	(Family: none)	
JP 2016-134586 A	25 Jul. 2016	(Family: none)	
JP 2018-142582 A	13 Sep. 2018	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/039367

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 23/36(2006.01)i
FI: H01L23/36 D

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L23/36

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2017-139345 A (株式会社日立製作所) 10.08.2017 (2017-08-10) 段落８－５２，図１－４	1,4-6,8-10,14,16
Y		2,11-13,15,19
A		3,7,17,18
X	JP 2018-182198 A (株式会社東芝) 15.11.2018 (2018-11-15) 段落２－７４，図５，６	1,4-6,8-10,14,16
Y		2,11-13,15,19
A		3,7,17,18
Y	JP 2012-138629 A (富士電機株式会社) 19.07.2012 (2012-07-19) 段落２９	2,12,15
Y	JP 2016-134586 A (三菱電機株式会社) 25.07.2016 (2016-07-25) 段落１９	11
Y	JP 2018-142582 A (三菱電機株式会社) 13.09.2018 (2018-09-13) 段落１４０－１４２	13,19

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

*　引用文献のカテゴリー
“A”　特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E”　国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L”　優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O”　口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P”　国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T”　国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X”　特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y”　特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&”　同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
06.01.2021	19.01.2021

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
井上　弘亘　5F　3248
電話番号 03-3581-1101　内線 3516

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2020/039367

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-139345 A	10.08.2017	（ファミリーなし）	
JP 2018-182198 A	15.11.2018	US 2018/0308833 A1 段落２－７６，図５，６ EP 3392907 A1 段落３－９１，図５，６ CN 108735721 A	
JP 2012-138629 A	19.07.2012	（ファミリーなし）	
JP 2016-134586 A	25.07.2016	（ファミリーなし）	
JP 2018-142582 A	13.09.2018	（ファミリーなし）	