

(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
2014 年 3 月 6 日(06.03.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/034332 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 23/36 (2006.01) C23C 4/18 (2006.01)
C23C 4/10 (2006.01) H01L 23/373 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/069969
- (22) 国際出願日: 2013 年 7 月 24 日(24.07.2013)
- (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 2012-188542 2012 年 8 月 29 日(29.08.2012) JP
- (71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.)
[JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5
2 0 番地 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: 西岡 映二(NISHIOKA Eiji); 〒1008280 東京
都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社
日立製作所内 Tokyo (JP). 井出 英一(IDE Eiichi);
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6
号 株式会社 日立製作所内 Tokyo (JP). 石井
利昭(ISHII Toshiaki); 〒1008280 東京都千代田区丸
の内一丁目 6 番 6 号 株式会社 日立製作所内
Tokyo (JP). 粕谷 忠(KASUYA Tadashi); 〒1008280
東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会

社 日立製作所内 Tokyo (JP). 吉成 英人(YOSH-
INARI Hideto); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高
場 2 5 2 0 番地 日立オートモティブシステム
ズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE Manabu et al.); 〒
1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号
株式会社 日立製作所内 Tokyo (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LY, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

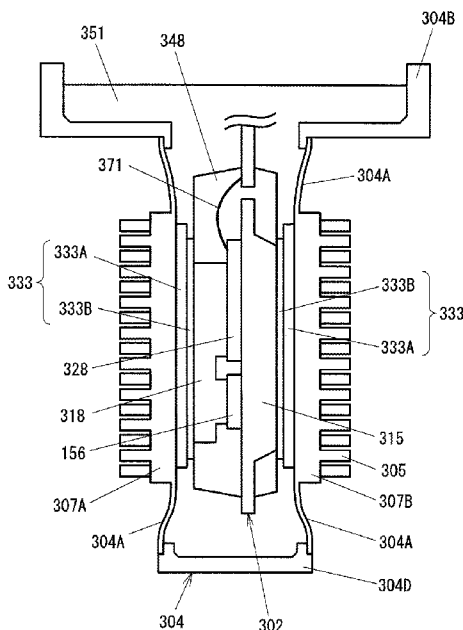
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) Title: POWER SEMICONDUCTOR MODULE AND POWER SEMICONDUCTOR MODULE PRODUCING METHOD

(54) 発明の名称: パワー半導体モジュールおよびパワー半導体モジュールの製造方法

【図 1 2】



(57) Abstract: Provided is a semiconductor power module that has an excel-
lent heat release property and that can be produced at a lower cost. A power
semiconductor module includes semiconductor chips (an IGBT (328) and a
diode (156)); conductor plates (315, 318) having surfaces on front and back
sides wherein the semiconductor chips are electrically connected to the sur-
faces on either side and heat release surfaces are formed on the surfaces on
the other side; sealing resin (348) that seals the conductor plates and the
semiconductor chips in such a manner that the heat release surfaces are ex-
posed; and heat release parts (307A, 307B) that are thermally in contact with
the heat release surfaces of the conductor plates via the insulating layer
(333), wherein the insulating layer (333) has thermally sprayed ceramic films
(333A) on either the heat release surfaces or surfaces of the heat release parts
(307A, 307B) facing the heat release surfaces, the thermally sprayed ceramic
films (333A) being formed by spraying a mixture of aluminum nitride
particles and α -aluminum oxide particles, and the thermally sprayed ceramic
film (333A) has such a configuration that a sum of a volume percentage of
aluminum nitride and a volume percentage of α -aluminum oxide is 30 % or
more, and a cross-sectional porosity of 10 % or less.

(57) 要約: 放熱性に優れ、低コストで製造することができる
半導体パワーモジュールの提供。 パワー半導体モジュール
は、半導体チップ (I G B T 3 2 8 およびダイオード 1 5
6) と、表裏面の一方の面に半導体チップが電氣的に接続さ
れ、他方の面に放熱面が形成された導体板 3 1 5、3 1 8
と、放熱面が露出するように導体板および半導体チップを封
止する封止樹脂 3 4 8 と、絶縁層 3 3 3 を介して導体板の放

熱面に熱的に接触している放熱部 3 0 7 A、3 0 7 B と、を備え、絶縁層 3 3 3 は、放熱面と対向する放
熱部 3 0 7 A、3 0 7 B の表面または放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の
混合物を溶射して形成されたセラミックス溶射膜 3 3 3 A を有し、セラミックス溶射膜 3 3 3 A は、窒化
アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が 3 0 % 以上であって、かつ、断面気孔
率が 1 0 % 以下とされる。

WO 2014/034332 A1

WO 2014/034332 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称：

パワー半導体モジュールおよびパワー半導体モジュールの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、電力変換装置等に用いられるパワー半導体モジュール、およびパワー半導体モジュールの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 省エネルギーの観点から、自動車には高燃費が求められ、モータで駆動する電気自動車や、モータ駆動とエンジン駆動を組み合わせたハイブリッドカーが注目されている。自動車に用いる大容量の車載用モータは、バッテリーの直流電圧では駆動や制御が困難であり、昇圧し交流制御するためパワー半導体チップのスイッチングを利用した電力変換装置が不可欠である。また、パワー半導体チップは通電により発熱するため、パワー半導体チップを搭載するパワーモジュールには、高い放熱能力が求められる。

[0003] そのため、放熱性能を高めるために、例えば、パワー半導体チップと、パワー半導体チップを搭載する導体板とを、電氣的絶縁層を介して金属製の放熱ベースに密着させる構成のパワーモジュールが、特許文献1に記載されている。特許文献1に記載のパワーモジュールでは、エアロゾルデポジション法により、窒化アルミニウム粒子と酸化アルミニウム粒子とを混合した微粉末を常温で基板に吹き付けることにより、窒化アルミニウム粒子と酸化アルミニウム粒子とから成るセラミックス被膜を形成し、それを絶縁層として用いている。

[0004] また、特許文献2には、窒化アルミニウムのコア材を酸化アルミニウムの被服材で覆った粒体をプラズマ溶射法により溶射することにより、窒化アルミニウムと酸化アルミニウムとを含む絶縁層を形成する技術が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2006-278558号公報

特許文献2：特開2006-66559号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1に記載のエアロゾルデポジション法は、窒化アルミニウム粒子と酸化アルミニウム粒子との混合粉を堆積させて絶縁層を形成する方法であるため、絶縁層の気孔率が問題となる。気孔率が大きいと絶縁層の熱抵抗が大きくなり、放熱性能が低下する。また、特許文献2に記載のプラズマ溶射法では、窒化アルミニウムのコア材を酸化アルミニウムの被服材で覆った粒体という特殊な溶射材料を用いるため、コストアップ要因となる。

課題を解決するための手段

[0007] 発明に係るパワー半導体モジュールは、半導体チップと、表裏面の一方の面に半導体チップが電氣的に接続され、他方の面に放熱面が形成された導体板と、放熱面が露出するように導体板および半導体チップを封止する封止樹脂と、絶縁層を介して導体板の放熱面に熱的に接触している金属ベースと、を備え、絶縁層は、放熱面と対向する金属ベースの表面または放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射して形成されたセラミックス溶射膜を有し、セラミックス溶射膜は、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であって、かつ、断面気孔率が10%以下であることを特徴とする。

本発明に係るパワー半導体モジュールの製造方法は、半導体チップと、表裏面の一方の面に半導体チップが電氣的に接続され、他方の面に放熱面が形成された導体板と、放熱面が露出するように導体板および半導体チップを封止する封止樹脂と、セラミックス溶射膜を有する絶縁層を介して放熱面に熱的に接触している金属ベースと、を備えるパワー半導体モジュールの製造方

法であって、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であって、かつ、断面気孔率が10%以下であるセラミックス溶射膜が形成されるように溶射条件を調整して、放熱面と対向する金属ベースの表面または放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射する第1の工程と、セラミックス溶射膜内に形成された気孔に樹脂を含浸する第2の工程と、を有することを特徴とする。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、放熱性に優れた半導体パワーモジュールを低コストで製造することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]パワーモジュールの外観斜視図である。

[図2]電力変換装置の電気回路構成を説明する図である。

[図3]図1のE-E断面図である。

[図4]パワーモジュール構造体3000を示す図である。

[図5]図4に示す状態からさらに第1封止樹脂348および配線絶縁部608を取り除いた状態を示す図である。

[図6]一次封止体302の分解斜視図である。

[図7]パワーモジュール構造体3000のモジュールケース304への封入を説明する図である。

[図8]一次封止体302の回路図である。

[図9]絶縁層333の構造を説明する図である。

[図10]セラミックス溶射膜333Aの平坦化加工を説明する図である。

[図11]樹脂層333Bの形成方法を説明する図である。

[図12]放熱部307A、307B側にセラミックス溶射膜333Aが形成されたパワーモジュール300の断面図である。

[図13]放熱部307Aへのセラミックス溶射膜333Aの形成手順を説明する図である。

[図14]セラミックス溶射膜333Aの伝熱性能を説明する図である。

[図15]セラミックス溶射膜333Aの絶縁性能と伝熱性能との関係を説明する図である。

[図16]セラミックス溶射膜333Aを樹脂含浸した場合の絶縁性能を示す図である。

[図17]セラミックス溶射膜333Aに樹脂を含浸させる方法の第1の例を説明する図である。

[図18]セラミックス溶射膜333Aに樹脂を含浸させる方法の第2の例を説明する図である。

[図19]片面冷却パワーモジュール300の平面図である。

[図20]放熱部307への接着を説明する図である。

[図21]一次封止体302を一对の放熱部307Dで挟持する構成のパワーモジュール300を示す図である。

[図22]プラズマ溶射の概念を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。

ー第1の実施の形態ー

図1はパワーモジュールの外観斜視図である。パワーモジュール300は、スイッチング素子を含む電子部品がトランスファーモールドされたパワー半導体ユニットを、モジュールケース304内に収納したものである。パワーモジュール300は、例えば、電気自動車やハイブリッド自動車等の電気車両に搭載される電力変換装置に用いられる。

[0011] 図2は、電力変換装置の電気回路構成を説明する図である。電力変換装置140は、バッテリー136の直流電流を交流電流に変換してモータジェネレータ192に供給するものである。電力変換装置140のインバータ回路144には、モータジェネレータ192の電機子巻線の各相巻線に対応して3相（U相、V相、W相）分の上下アーム直列回路150が設けられている。図1に示したパワーモジュール300には、1相分の上下アーム直列回路1

50の半導体素子が設けられている。

- [0012] 上下アーム直列回路150は、上アームとして動作するIGBT328およびダイオード156と、下アームとして動作するIGBT330およびダイオード166と、を有する。それぞれの上下アーム直列回路150の midpoint 部分（中間電極169）は、交流端子159および交流コネクタ188を介してモータジェネレータ192への交流電力線（交流バスバー）186に接続される。上アームのIGBT328のコレクタ電極153は、正極端子（P端子）167を介してコンデンサモジュール500の正極側のコンデンサの電極に電氣的に接続されている。下アームのIGBT330のエミッタ電極は、負極端子（N端子）168を介してコンデンサモジュール500の負極側にコンデンサ電極に電氣的に接続されている。
- [0013] 制御部170は、インバータ回路144を駆動制御するドライバ回路174と、ドライバ回路174へ信号線176を介して制御信号を供給する制御回路172と、を有している。IGBT328やIGBT330は、制御部170から出力された駆動信号を受けて動作し、バッテリー136から供給された直流電力を三相交流電力に変換する。この変換された電力は、モータジェネレータ192の電機子巻線に供給される。
- [0014] IGBT328は、コレクタ電極153と、信号用エミッタ電極151と、ゲート電極154とを備えている。IGBT330は、コレクタ電極163と、信号用エミッタ電極165と、ゲート電極164とを備えている。また、IGBT328にはダイオード156が電氣的に並列に接続されており、IGBT330にはダイオード158が電氣的に並列に接続されている。スイッチング用パワー半導体素子としてはMOSFET（金属酸化物半導体型電界効果トランジスタ）を用いてもよく、その場合はダイオード156やダイオード158が不要となる。
- [0015] コンデンサモジュール500の正極側コンデンサ端子506および負極側コンデンサ端子504は、直流コネクタ138を介してバッテリー136に電氣的に接続されている。なお、電力変換装置140は、直流正極端子314

を介して正極側コンデンサ端子506と接続され、かつ直流負極端子316を介して負極側コンデンサ端子504と接続される。

[0016] 制御回路172は、IGBT328, 330のスイッチングタイミングを演算処理するためのマイクロコンピュータ（以下、「マイコン」と記述する）を備えている。マイコンには、モータジェネレータ192に対して要求される目標トルク値、上下アーム直列回路150からモータジェネレータ192の電機子巻線に供給される電流値、およびモータジェネレータ192の回転子の磁極位置が、入力情報として入力される。

[0017] 目標トルク値は、不図示の上位の制御装置から出力された指令信号に基づくものである。電流値は、電流センサ180から信号線182を介して出力された検出信号に基づいて検出されたものである。磁極位置は、モータジェネレータ192に設けられた回転磁極センサ（不図示）から出力された検出信号に基づいて検出されたものである。本実施形態では3相の電流値を検出する場合を例に挙げて説明するが、2相分の電流値を検出するようにしても構わない。

[0018] 制御回路172内のマイコンは、目標トルク値に基づいてモータジェネレータ192のd, q軸の電流指令値を演算し、この演算されたd, q軸の電流指令値と、検出されたd, q軸の電流値との差分に基づいてd, q軸の電圧指令値を演算し、この演算されたd, q軸の電圧指令値を、検出された磁極位置に基づいてU相、V相、W相の電圧指令値に変換する。そして、マイコンは、U相、V相、W相の電圧指令値に基づく基本波（正弦波）と搬送波（三角波）との比較に基づいてパルス状の変調波を生成し、この生成された変調波をPWM（パルス幅変調）信号として、信号線176を介してドライバ回路174に出力する。

[0019] ドライバ回路174は、下アームを駆動する場合、PWM信号を増幅したドライブ信号を、対応する下アームのIGBT330のゲート電極に出力する。また、ドライバ回路174は、上アームを駆動する場合、PWM信号の基準電位のレベルを上アームの基準電位のレベルにシフトしてからPWM信

号を増幅し、これをドライブ信号として、対応する上アームの IGBT 328 のゲート電極にそれぞれ出力する。

[0020] また、制御部 170 は、異常検知（過電流、過電圧、過温度など）を行い、上下アーム直列回路 150 を保護している。このため、制御部 170 にはセンシング情報が入力されている。例えば、各アームの信号用エミッタ電極 151 および信号用エミッタ電極 165 からは各 IGBT 328, 330 のエミッタ電極に流れる電流の情報が、対応する駆動部（IC）に入力されている。これにより、各駆動部（IC）は過電流検知を行い、過電流が検知された場合には対応する IGBT 328, 330 のスイッチング動作を停止させ、対応する IGBT 328, 330 を過電流から保護する。

[0021] 上下アーム直列回路 150 の温度情報は、上下アーム直列回路 150 に設けられた温度センサ（不図示）からマイコンに入力されている。また、マイコンには上下アーム直列回路 150 の直流正極側の電圧情報が入力されている。マイコンは、それらの情報に基づいて過温度検知及び過電圧検知を行い、過温度或いは過電圧が検知された場合には全ての IGBT 328, 330 のスイッチング動作を停止させる。

[0022] 図 3～8 は、パワーモジュール 300 の構成を説明するための図である。図 3 は、図 1 の E-E 断面を示したものである。パワーモジュール 300 は、図 4 に示すパワーモジュール構造体 3000 を CAN 型冷却器として機能するモジュールケース 304 の内部に収納したものである。図 4 はパワーモジュール構造体 3000 を示す図であり、図 4（a）は斜視図、図 4（b）は図 4（a）の E-E 断面図である。なお、図 4 の E-E 断面は、図 1 の E-E 断面と同一箇所の断面を表している。

[0023] 図 3 に示すように、CAN 型冷却器とは、一面に挿入口 306 を有し、他面に底を有する筒形状をした冷却器である。モジュールケース 304 は、熱伝導性に優れた部材、例えば Cu、Cu 合金、Cu-C、Cu-CuO などの複合材、あるいは Al、Al 合金、AlSiC、Al-C などの複合材などから形成されている。また、溶接など防水性の高い接合法で、あるいは鍛

造、鋳造法などにより、つなぎ目の無い状態でケース状に一体成形されている。

[0024] モジュールケース 304 は、挿入口 306 以外に開口を設けない扁平状のケースであり、その挿入口 306 にはフランジ 304 B が設けられている。扁平状ケースの面積の広い対向する 2 つの面の一方には放熱部 307 A が設けられ、他方の面には放熱部 307 B が設けられている。放熱部 307 A および放熱部 307 B はモジュールケース 304 の放熱壁として機能するものであり、それらの外周面には複数のフィン 305 が均一に形成されている。放熱部 307 A および放熱部 307 B を囲む周囲の面は、厚さが極端に薄く容易に塑性変形可能な薄肉部 304 A となっている。薄肉部 304 A を極端に薄くすることで、放熱部 307 A および放熱部 307 B をケース内側方向に加圧した際に、容易に変形することができる。なお、モジュールケース 304 の形状は、正確な直方体である必要がなく、図 1 に示すように角が曲面を形成していても良い。

[0025] 図 4 に示すように、パワーモジュール構造体 3000 は、一次封止体 302 と補助モールド体 600 とから成る。一次封止体 302 と補助モールド体 600 とは接続部 370 において接続されている。接続部 370 における金属接合には、たとえば TIG 溶接などを用いることができる。補助モールド体 600 に設けられた配線絶縁部 608 を、図 1 に示すようにネジ 309 によってモジュールケース 304 のフランジ 304 B に固定することにより、モジュールケース 304 内においてパワーモジュール構造体 3000 が位置決めされる。

[0026] まず、図 6 および図 8 を用いて、一次封止体 302 の構成を説明する。図 6 は一次封止体 302 の構成を示す分解斜視図である。図 8 は一次封止体 302 の回路図である。なお、図 6 は、図 5 に示す状態とする前の工程、すなわち、ボンディングワイヤ 371 による接続が行われる前の状態を示したもので、タイバー 372 が未削除状態と成っている。

[0027] 図 8 に示すように、上アーム用 IGBT 328 のコレクタ電極と上アーム

用ダイオード１５６のカソード電極は導体板３１５に接続され、ＩＧＢＴ３２８のエミッタ電極とダイオード１５６のアノード電極は導体板３１８に接続されている。下アーム用ＩＧＢＴ３３０のコレクタ電極と下アーム用ダイオード１６６カソード電極は導体板３２０に接続され、ＩＧＢＴ３３０のエミッタ電極とダイオード１６６のアノード電極は導体板３１９に接続されている。導体板３１８と導体板３２０とは、中間電極１５９を介して接続されている。中間電極１５９により上アーム回路と下アーム回路とが電氣的に接続され、図４に示すような上下アーム直列回路が形成される。なお、導体板３１５、３１８、３１９、３２０としては、Ｃｕ、Ａｌ、Ｎｉ、Ａｕ、Ａｇ、Ｍｏ、Ｆｅ、Ｃｏなどの金属、それらの合金、複合体が用いられる。

[0028] 図６に示す状態では、直流正極側の導体板３１５および交流出力側の導体板３２０と、上アーム用信号接続端子３２７Ｕおよび下アーム用信号接続端子３２７Ｌとは、共通のタイバー３７２に繋がれた状態となっている。これらは、略同一平面状の配置となるように一体的に加工される。上アーム用信号接続端子３２７Ｕには、ＩＧＢＴ３２８の制御電極３２８Ａがボンディングワイヤにより接続される。下アーム用信号接続端子３２７Ｌには、ＩＧＢＴ３３０の制御電極３３０Ａがボンディングワイヤにより接続される。導体板３１５、３２０の半導体チップ（ＩＧＢＴ３２８、３３０、ダイオード１５６、１６６）が接合される部分には、凸状のチップ固着部３２２がそれぞれ形成されている。各半導体チップは、それらのチップ固着部３２２の上に金属接合材１６０によって接合される。金属接合材１６０には、例えば、はんだ材や銀シート及び微細金属粒子を含んだ低温焼結接合材等が用いられる。また、金属接合材１６０には錫を主成分としたハンダを用いる事が望ましいが、金、銀、銅のいずれかを主成分としたものやロウ材やペースト等を用いることもできる。

[0029] ＩＧＢＴ３２８、３３０およびダイオード１５５、１６６の上には、金属接合材１６０を介して導体板３１８と導体板３１９が略同一平面状に配置され、金属接合される。図４に示したように、導体板３１８には、上アーム側

の IGBT 328 のエミッタ電極と上アーム側のダイオード 156 のアノード電極が接合される。導体板 319 には、下アーム側の IGBT 330 のエミッタ電極と下アーム側のダイオード 166 のアノード電極が接合される。導体板 315 には直流正極接続端子 315D が形成されている。導体板 320 には交流接続端子 320D が形成されている。導体板 319 には直流負極接続端子 319D が形成されている。

[0030] 上述したように、導体板 315 と導体板 318 の間に IGBT 328 及びダイオード 156 を挟み込むと共に、導体板 320 と導体板 319 の間に IGBT 330 及びダイオード 166 を挟み込み、導体板 320 と導体板 318 とを中間電極 329 により接続する。さらに、IGBT 328 の制御電極 328A と信号接続端子 327U とをボンディングワイヤ 371 により接続すると共に、IGBT 330 の制御電極 330A と信号接続端子 327L とをボンディングワイヤ 371 により接続する。

[0031] その後、半導体チップ（IGBT 328、330、ダイオード 156、166）およびボンディングワイヤ 371 を含む部分を封止樹脂 348 により封止する。この封止はトランスファーマールドにより行われる。封止樹脂 348 としては、例えばノボラック系、多官能系、ビフェニル系のエポキシ樹脂系を基とした樹脂を用いることができ、SiO₂、Al₂O₃、AlN、BN などのセラミックスやゲル、ゴムなどを含有させ、熱膨張係数を導体板 315、320、318、319 に近づける。これにより、部材間の熱膨張係数差を低減でき、使用環境時の温度上昇にともない発生する熱応力が大幅に低下するため、パワーモジュールの寿命を延ばすことが可能となる。

[0032] 図 6 に示すタイバー 372 は、封止樹脂 348 により封止した後に切除される。そして、一次封止体 302 の一辺側に一列に並べられている直流正極接続端子 315D、直流負極接続端子 319D、交流接続端子 320D、信号接続端子 327U、327L の各端部は、図 5 のようにそれぞれ同一方向に折り曲げられる。

[0033] 図 4 および図 1 に示すように、補助モールド体 600 には、直流正極配線

3 1 5 A、直流負極配線 3 1 9 A、交流配線 3 2 0 A、信号配線 3 2 4 U および信号配線 3 2 4 L が設けられており、これらは、樹脂材料で成形された配線絶縁部 6 0 8 によって、相互に絶縁された状態で一体に成型されている。配線絶縁部 6 0 8 は各配線を支持するための支持部材としても作用し、配線絶縁部 6 0 8 に用いる樹脂材料には、絶縁性を有する熱硬化性樹脂かあるいは熱可塑性樹脂が適している。これにより、直流正極配線 3 1 5 A、直流負極配線 3 1 9 A、交流配線 3 2 0 A、信号配線 3 2 4 U および信号配線 3 2 4 L の間の絶縁性を確保でき、高密度配線が可能となる。

[0034] 直流正極配線 3 1 5 A の上端には直流正極端子 3 1 5 B が形成され、下端には、直流正極接続端子 3 1 5 C が直角に折れ曲がるように形成されている。直流負極配線 3 1 9 A の上端には直流負極端子 3 1 9 B が形成され、下端には、直流負極接続端子 3 1 9 C が直流正極接続端子 3 1 5 C と同方向に折れ曲がるように形成されている。交流配線 3 2 0 A の上端には交流端子 3 2 0 B が形成され、下端には、交流接続端子 3 2 0 C が直流正極接続端子 3 1 5 C と同方向に折れ曲がるように形成されている。信号配線 3 2 4 U、3 2 4 L の上端には、それぞれ信号端子 3 2 5 U、3 2 5 L が形成されている。一方、信号配線 3 2 4 U、3 2 4 L の下端には、信号接続端子 3 2 6 U および信号接続端子 3 2 6 L が直流正極接続端子 3 1 5 C と同方向に折れ曲がるように形成されている。

[0035] 直流正極接続端子 3 1 5 C は、一次封止体 3 0 2 側の直流正極接続端子 3 1 5 D に接続される。直流負極接続端子 3 1 9 C は、一次封止体 3 0 2 側の直流負極接続端子 3 1 9 D に接続される。交流接続端子 3 2 0 C は、一次封止体 3 0 2 側の交流接続端子 3 2 0 D に接続される。信号接続端子 3 2 6 U は、一次封止体 3 0 2 側の信号接続端子 3 2 7 U に接続される。信号接続端子 3 2 6 L は、一次封止体 3 0 2 側の信号接続端子 3 2 7 L に接続される。

[0036] なお、図 8 の信号接続端子 3 2 7 U は図 2 のゲート電極 1 5 4 および信号用エミッタ電極 1 5 5 に対応し、図 8 の信号接続端子 3 2 7 L は図 2 のゲート電極 1 6 4 およびエミッタ電極 1 6 5 に対応する。また、図 8 の直流正極

分岐端子 3 1 5 D は図 2 の正極端子 1 5 7 が対応し、図 8 の直流負極分岐端子 3 1 9 D は図 2 の負極端子 1 5 8 が対応する。

[0037] 図 4 に示すようなパワーモジュール構造体 3 0 0 0 が完成したならば、図 7 (a) に示すようにパワーモジュール構造体 3 0 0 0 をモジュールケース 3 0 4 に挿入し、補助モールド体 6 0 0 の配線絶縁部 6 0 8 をモジュールケース 3 0 4 のフランジ 3 0 4 B に固定する。その挿入の際に、一次封止体 3 0 2 と放熱部 3 0 7 A, 3 0 7 B との間に、電氣的な絶縁を図るための絶縁層 3 3 3 が設けられる。絶縁層 3 3 3 の詳細については後述する。

[0038] そして、図 7 (b) の矢印で示すように放熱部 3 0 7 A, 3 0 7 B をケース内側に加圧して薄肉部 3 0 4 A を変形させ、放熱部 3 0 7 A, 3 0 7 B と一次封止体 3 0 2 とを絶縁層 3 3 3 により熱圧着する。その後、モジュールケース 3 0 4 内に封止樹脂 3 5 1 を充填して封止することで、接続部 3 7 0 とモジュールケース 3 0 4 との間で必要な絶縁距離を安定的に確保することができる。封止樹脂 3 5 1 としては、例えばノボラック系、多官能系、ビフェニル系のエポキシ樹脂系を基とした樹脂を用いることができる。

[0039] (絶縁層 3 3 3 の説明)

図 9 は、絶縁層 3 3 3 の構造を説明する図である。図 9 (a) は一次封止体 3 0 2 の断面図であり、図 9 (b) は図 9 (a) の符号 B で示した部分の断面構造を模式的に示したものである。絶縁層 3 3 3 は 2 つの層から成り、セラミックスの粉体をプラズマ溶射して形成されたセラミックス溶射膜 3 3 3 A の層と、絶縁性の樹脂から成る樹脂層 3 3 3 B とを備えている。

[0040] プラズマ溶射法によりセラミックス溶射膜 3 3 3 A を形成する場合は、一次封止体 3 0 2 の温度上昇は 1 0 0 ~ 1 8 0 °C 程度であるため、封止樹脂 3 4 8 や I G B T 3 2 8, 3 3 0 およびダイオード 1 5 6, 1 6 6 は熱劣化しない。よって、2 2 0 ~ 3 0 0 °C の温度範囲でなされるチップ接合を先にできる。これにより、リードフレーム（導体板）に溶射した後にチップ接合する場合に比較して、熱膨張係数の小さい溶射膜と熱膨張係数の大きい導体板の積層部に発生する熱応力を低減することができる。

[0041] また、セラミックス溶射膜 333A が形成される導体板 315, 318, 319, 320 の処理面、すなわち導体板 315, 318, 319, 320 の放熱面に対し、溶射前にサンドブラストやエッチングにより粗化すると、セラミックス溶射膜 333A の接合強度を向上できる。これらの処理時に、封止樹脂 348 により封止していれば、IGBT 328, 330 やボンディングワイヤ 371 などに及ぼす物理的、化学的な損傷を防止できるので、複雑なマスキングが不要となり、生産性が向上する。トランスファーモールド後、導体板 315, 318, 319, 320 に封止樹脂 348 が被覆する場合があるが、溶射の前処理であるサンドブラスト処理により除去することも可能である。封止樹脂 348 は導体板よりも熱伝導率が低いため、放熱面から除去できることで放熱性が向上する。

[0042] 図 9 (b) に示すように、本実施の形態のセラミックス溶射膜 333A は、酸化アルミニウムの溶射膜の中に窒化アルミニウムの粒子が分散したような構成を有している。一般的に、熱伝導性の良い溶射膜としては酸化アルミニウムの溶射膜が用いられるが、酸化アルミニウムよりも伝熱特性に優れたセラミックス材料として窒化アルミニウムがある。窒化アルミニウムは昇華する物質であるため、温度上昇に伴って液体状態を経ずに気化してしまい、窒化アルミニウムを溶射することができない。

[0043] 詳細は後述するが、窒化アルミニウム (AlN) の粉末に酸化アルミニウム (Al₂O₃) の粉末を混合し、かつ、所定の溶射条件でプラズマ溶射することにより、酸化アルミニウム粒子は溶融または半溶融状態で被成膜面に入射し、扁平状の酸化アルミニウム扁平体 3331 を積層したような溶射膜が得られることを本発明者は見出した。一方、窒化アルミニウム粒子は溶けることなく被成膜面に入射するが、溶けた酸化アルミニウムがバインダーの役目をするため、窒化アルミニウム粒子 3332 が被成膜面に堆積して行く。なお、図 9 に示すように、セラミックス溶射膜 333A は、導体板 315, 318 の露出している面と、その周囲の封止樹脂 348 の表面に形成される。3330 は溶射膜中に形成された気孔である。

[0044] 図10(a)は、導体板315上に形成されたセラミックス溶射膜333Aを示す図であり、プラズマ溶射により形成されたセラミックス溶射膜333Aの表面は凹凸面となっている。そのため、図10(b)に示すように、セラミックス溶射膜333Aの厚さが均一化されるように、機械加工等により平坦化加工を施す。導体板315の熱はセラミックス溶射膜333Aの厚さ方向に伝達されるが、セラミックス溶射膜333Aの厚さを均一化することによって熱伝達性能の均一化を図ることができる。

[0045] 図10(b)に示すように一次封止体302の両面にセラミックス溶射膜333Aを形成したならば、そのセラミックス溶射膜333Aの上に樹脂層333Bを形成する。図11は、樹脂層333Bの形成方法を説明する図である。ここでは、予めシート状に形成された樹脂層333Bを、図11(b)のようにセラミックス溶射膜333Aの上に貼り付け、仮圧着する。この仮圧着により、樹脂層333Bの一部が、セラミックス溶射膜333Aの表面付近の気孔内に入り込む。

[0046] なお、仮圧着された樹脂層333Bは、前述した図7に示す工程において、一次封止体302をモジュールケース304に収納した後、樹脂層333Bと放熱部307A、307Bとの接着のために最終的な圧着作業が行われる。そのため、図11(b)に示す仮圧着においては、樹脂成分が半硬化状態（例えば、樹脂成分の硬化度が約80%以下である状態）となるように圧着時の温度条件および加圧条件を設定する。

[0047] 樹脂層333Bの反対側の表面には、作業しやすいように保護フィルム352が設けられている。この保護フィルム352は、図7に示す工程で一次封止体302をモジュールケース304に収納する際には取り外される。保護フィルム352には、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブチレンテレフタレートなどが用いられる。

[0048] 樹脂層333Bは、樹脂層333Bには十分な接着性と高い熱伝導性が要求される。そのため、樹脂層333Bを構成する樹脂には、接着性のあるフェノール系、アクリル系、ポリイミド系、ポリアミドイミド系、エポキシ系

、シリコン系、ビスマレイミドトリアジン系、シアネートエッセル系を基にした樹脂等が用いられる。特に、接着性が高いビスマレイミドトリアジン系、ポリアミドイミド系、ポリイミド系、シアネートエッセル系、エポキシ系、フェノール系を基にした樹脂を用いるのが好ましく、接着後に剥離し難くパワーモジュールの寿命が高まる。

[0049] 一般的に、樹脂層 333B の熱伝導性向上のために、樹脂層 333B に良熱伝導性のフィラーが混入される。樹脂層 333B に混入させるフィラーは絶縁性を有したものが良く、アルミナ、シリカ、マグネシア、ベリリアなどの酸化物、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素などの窒化物、シリコンカーバイドなど炭化物などの高熱伝導なセラミックスのフィラーがより好ましい。

[0050] なお、上述した例では、一次封止体 302 の導体板 315、318 側にセラミックス溶射膜 333A を形成する場合について説明したが、図 12、13 のように、モジュールケース 304 の放熱部 307A、307B の内周面にセラミックス溶射膜 333A を形成しても良い。

[0051] 図 12 に示すモジュールケース 304 は、ケース枠体と一对のケース側面部とで構成されている。ケース枠体は、肉厚のフランジ 304B と枠部 304D とから成る。一对のケース側面部 304C の一方（図示左側）は、フィン 305 が形成された放熱部 307A と、その周囲を囲む薄肉部 304A とから成る。他方のケース側面部 304C は、フィン 305 が形成された放熱部 307A と、その周囲を囲む薄肉部 304A とから成る。薄肉部 304A をケース枠体に金属接合することにより、モジュールケース 304 が形成されている。

[0052] 絶縁層 333 において、セラミックス溶射膜 333A は放熱部 307A、307B の内周面側に形成され、樹脂層 333B は導体板 315、318 側に形成されている。図 13 (a) に示すように、フィン 305 が形成された放熱部 307A と薄肉部 304A とを有するケース側面部 304C を用意し、放熱部 307A の内周面側、すなわち、フィン 305 が形成されている面とは逆の面側にセラミックス溶射膜 333A を形成する。なお、薄肉部 30

4 Aに溶射膜3 3 3 Aが形成されないようにマスキング処理が施される。

[0053] その後、図1 3 (b) に示すように樹脂層3 3 3 Bを形成する。なお、樹脂層3 3 3 Bの形成方法としては、上述した樹脂シート3 3 3 2を用いる方法の他に、液状のフィラーが混入された樹脂を塗布、噴霧、ディップする手法を用いても良い。そして、絶縁層3 3 3 が形成されたケース側面部3 0 4 Cを枠部3 0 4 Dに接合することにより、モジュールケース3 0 4 が形成される。

[0054] (溶射条件の説明)

ところで、前述したように、窒化アルミニウムは昇華する物質であるため、温度上昇に伴って液体状態を経ずに気化してしまい、窒化アルミニウムを溶射することができない。しかしながら、窒化アルミニウム(A l N)の粉末に酸化アルミニウム(A l 2 O 3)の粉末を混合し、かつ、所定の溶射条件でプラズマ溶射することにより、酸化アルミニウムの膜中に窒化アルミニウム粒子が埋設されたような状態の、すなわち、図9 (b) のように酸化アルミニウムの溶射膜中に窒化アルミニウム粒子3 3 3 2が分散した状態のセラミックス溶射膜3 3 3 Aが形成される。

[0055] 図2 2 は、プラズマ溶射の概念を説明する図である。プラズマジェットPを発生するためのプラズマ溶射ガン4 0 0 には、電源装置4 0 1 から電源が供給される。溶射材料粉末4 0 2 (酸化アルミニウム粒子と窒化アルミニウム粒子との混合粉末) は、プラズマジェットP中に投入される。プラズマジェットP中に投入された溶射材料粉末4 0 2 は、高温および高速のプラズマジェットPによって加速および加熱されて飛行粒子となる。飛行粒子は熔融粒子であったり固体粒子であったりする。この飛行粒子は基材4 0 3 の表面に高速で入射し、基材表面に溶射膜4 0 4 が形成される。溶射の際には、プラズマ溶射ガン4 0 0 を、基材4 0 3 に対して平行なT方向にトラバース駆動させる。

[0056] プラズマ溶射を行う際の主な条件としては、図2 2 に示すような条件がある。施工条件は、主にプラズマ溶射ガン4 0 0 に関する条件であり、電圧、

電流、トラバース速度、溶射距離、溶射材料粉末 402 の供給速度等である。粉末条件は溶射材料粉末 402 に関する条件であり、混合比率、混合方法、粒径、純度等である。飛行粒子条件はプラズマジェットにより加速および加熱された材料粒子（飛行粒子）に関する条件であり、ここでは、飛行粒子の温度が条件としてあげられる。また、基材条件は、溶射中の基材 403 の温度や、溶射を行う前の前処理の条件等がある。

[0057] これらの条件の内、窒化アルミニウム粒子の昇華を防止して、図 9（b）に示すような窒化アルミニウムと酸化アルミニウムとを含むセラミックス溶射膜 333A を形成するためには、少なくとも飛行粒子の温度を 2000～2200℃とする必要がある。実際的には、そのような温度条件が満足されるように施工条件（加熱源であるプラズマ溶射ガン 400、電源装置 401）を調整することになる。特に、セラミックス溶射膜 333A を形成するには、溶射距離を一般的な溶射距離と比べて短く設定すること（例えば、50m 程度）が重要である。

[0058] （セラミックス溶射膜 333A の構成に関する説明）

図 14、15 は、セラミックス溶射膜 333A の特性を説明する図である。図 14 は、窒化アルミニウム（AlN）に添加する酸化アルミニウム（Al₂O₃）の添加量と断面気孔率との関係、および、前記添加量とセラミックス溶射膜中の（AlN + α -Al₂O₃）の割合を示したものである。

[0059] 図 14 に示す特性は、以下のようなサンプルに関して得られたものである。なお、ここでは、図 13 に示すように、Al の放熱部 307A 上にセラミックス溶射膜 333A を形成する場合について考える。まず、厚さ 2mm、縦横が各 150mm の正方形の Al 板を用意し、Al 板の表面に対して酸化アルミニウムによるサンドブラスト処理を施す（前処理）。その後、粒径 10～30 μ m 程度の窒化アルミニウム粒子と酸化アルミニウム粒子（ α -酸化アルミニウム粒子）との混合粉末を用いて、出力 40kW にて大気プラズマ溶射（APS）をした。この時、Al 板に形成する溶射膜の気孔率を抑制し、冷却時の溶射膜の割れを防止するために、Al 板を 180℃に予熱した

。

[0060] なお、本実施の形態では、APS溶射法を用いたが、減圧プラズマ溶射法（LPSP、VPS）、高速フレイム溶射（HVOF）、ウォームスプレー等の溶射法であっても構わない。

[0061] このような工程を経て製作したセラミックス溶射膜に対して、断面気孔率の測定と、X線回折による相の同定を行った。図14において、横軸は、原粉末中における酸化アルミニウムの割合である、酸化アルミニウム粉末の添加量（質量%）を示している。例えば、左端の0%の場合には原粉末は全て窒化アルミニウムであり、右端の100%の場合には原粉末は全て酸化アルミニウムである。なお、窒化アルミニウム粉末だけで溶射を行った場合には、溶射膜を形成することができなかった。

[0062] 図14において、白色の菱形は断面気孔率に関するデータであり、黒色の矩形は体積割合に関するデータである。また、図14の左側の縦軸は断面気孔率（%）を示し、右側の縦軸は溶射膜中における窒化アルミニウムの体積割合（Vol%）と α -酸化アルミニウムの体積割合（Vol%）との合計を示している。なお、断面気孔率の縦軸は、理解しやすさを重要視して図示上側を0点とした。また、断面気孔率は、画像解析ソフトを用いて、組織の濃淡を2値化処理して算出した。

[0063] ところで、酸化アルミニウムには高熱伝導率の α -酸化アルミニウムと低熱伝導率の γ -酸化アルミニウムとがあり、温度が上昇すると α 相から γ 相へと変態する。なお、溶射材料として使用される酸化アルミニウム粒子は α -酸化アルミニウムである。また、窒化アルミニウムは、熱伝導率の点で α -酸化アルミニウムよりも優れている。すなわち、右側の縦軸の値が大きいほどセラミックス溶射膜333Aの熱伝導率は大きくなる。なお、各相の体積割合は、断面組織観察から体積に換算する方法、X線回折のピーク強度比から推測する方法などがある。X線回折で相の同定を行う場合、窒化アルミニウムの結晶面は（100）面、 α -酸化アルミニウムの結晶面は（113）面、 γ -酸化アルミニウムの結晶面は（400）面である。

[0064] (断面気孔率)

図 1 4 の断面気孔率のデータ (白色の菱形) を見ると、酸化アルミニウム (α -酸化アルミニウム) の添加量を 0% から増加したとき、添加量がある範囲を越えると断面気孔率は急激に低下する。さらに、酸化アルミニウムの添加量をライン L 1 で示す添加量よりも大きくすると、断面気孔率は 10% を下回った。

[0065] ライン L 1 よりも左側の領域 (図 1 4 で固相リッチと示す領域) では、酸化アルミニウムが粒子状態 (固体状態) で存在する割合が大きく、溶射過程において十分に偏平することなく基材上に堆積したものと考えられる。その結果、気孔は十分に埋まることなく残存し、断面気孔率は 10% よりも大きくなった。すなわち、熱伝導率が良くない。

[0066] 一方、酸化アルミニウム粉末の添加量をライン L 1 の右側の領域 (液相リッチと示す領域) まで増加させると、酸化アルミニウムは固体 (粒子状態) から液体への変態を起こし、酸化アルミニウム粒子は溶射過程において十分に偏平し、その状態で基材上に堆積した。その結果、気孔は埋まり、気孔率は 10% 以下になった。図 1 4 の断面気孔率のデータを見ると、添加量がライン L 1 の位置よりも大きければ断面気孔率は 5 ~ 10% の範囲で推移し、熱伝導率への影響が小さい領域となっている。すなわち、5 ~ 10% という数値は、セラミックス溶射膜 3 3 3 A の断面気孔率として最適な範囲を示している。逆に、添加量がライン L 1 の位置よりも小さくなると、断面気孔率は階段状に大きく変化して 16 ~ 17% 程度の値となる。断面気孔率が 16 ~ 17% と大きいと、熱伝導率低下への影響が顕著になる。

[0067] (体積割合)

上述したように、温度が上昇すると、 α -酸化アルミニウムは γ -酸化アルミニウムへと変態する。さらに、図 1 4 の体積割合に関するデータ (黒色の矩形) から分かるように、酸化アルミニウム粉末の添加量を増やすと、酸化アルミニウムは α 相から γ 相へと変態しやすくなる。このことは、溶射膜に対する X 線回折による相の同定で把握できる。そのため、図 1 4 に示すよ

うに、酸化アルミニウム（ α -酸化アルミニウム）粉末の添加量が小さい領域では、体積割合は30%を大きく上回っているが、酸化アルミニウム粉末の添加量を増加すると体積割合は徐々に減少し、ラインL2で示す添加量付近から急激に減少する。ラインL2は、体積割合が30%となるところの添加量を示している。

[0068] このように、ラインL2の右側と左側とでは、体積割合の推移のしかたが大きく異なっており、ラインL2の左側においては、30%以上の体積割合で推移している。逆に、ラインL2の右側では、体積割合は急激に低下して30%を大きく下回ってしまう。 α 相から γ 相への変態があるため、セラミックス溶射膜333Aは α -酸化アルミニウム、 γ -酸化アルミニウムおよび窒化アルミニウムから構成される。そのため、セラミックス溶射膜333Aの熱伝導率は、これらの割合に依存しており、高熱伝導相である α -酸化アルミニウムと窒化アルミニウムとの合計の体積割合が大きいほど熱伝導率が大きくなる。すなわち、窒化アルミニウムと α -酸化アルミニウムを溶射して得られるセラミックス溶射膜333Aにおいて、体積割合が30%以上となる領域は、熱伝導率の観点から最適な範囲を示している。

[0069] 上述のように、断面気孔率および体積割合の両者ともセラミックス溶射膜333Aの熱伝導率に影響を及ぼす。そして、図14のラインL1よりも左側の領域では、断面気孔率の影響で熱伝導率が悪化し、ラインL2の右側では体積割合の影響で熱伝導率が悪化する。よって、セラミックス溶射膜333Aが好適な熱伝導率となるためには、セラミックス溶射膜333Aにおける断面気孔率を10%以下とし、かつ、窒化アルミニウムと α -酸化アルミニウムの合計の体積割合を30%以上とすることが好ましい。

[0070] なお、断面気孔率は酸化アルミニウム粒子の溶融状態に影響され、体積割合は酸化アルミニウム粒子の温度による変態に影響される。そのため、上述した飛行粒子条件（飛行粒子の温度）は断面気孔率および体積割合に影響することになるが、基本的にはセラミックス溶射膜333Aが形成されることが最も優先されるため、上述した温度2000～2200℃はそのような観

点から設定されている。

[0071] このように、断面気孔率および体積割合は温度等の溶射条件にも影響されるが、図4に示すように主に酸化アルミニウムの添加量（混合比率）によって決まる。そのため、断面気孔率が10%を下回る添加量、および、体積割合が30%を越える添加量については、予め試験的に溶射を行って決定することになる。一例として、上述したサンプル作成条件における好適な混合比は、40～62mass%であった。

[0072] このように、酸化アルミニウム粉末と窒化アルミニウム粉末との混合物を用いて溶射を行う場合、酸化アルミニウム粉末の添加量を図14のラインL1とラインL2との間の値とすることで、断面気孔率が10%以下で、かつ、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であるセラミックス溶射膜333Aを形成することができる。すなわち、酸化アルミニウムと窒化アルミニウムとから成るセラミックス溶射膜333Aとして、伝熱特性に関して最適な溶射膜を得ることができる。

[0073] 窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であることは、X線回折ピーク強度から測定することができ、窒化アルミニウムの(100)面のピーク強度、 α -酸化アルミニウムの(113)面のピーク強度および γ -酸化アルミニウムの(400)面のピーク強度の合計値に対する、窒化アルミニウムの(100)面のピーク強度および α -酸化アルミニウムの(113)面のピーク強度の合計値の比率が30%以上となる。X線回折により、各相の存在割合を再現性良く把握できるので、大量生産時のばらつき低減や特性保証をすることができる。

[0074] 上述した例では、窒化アルミニウムと酸化アルミニウムの混合粉末を用いることで、窒化アルミニウム、 α -酸化アルミニウムおよび γ -酸化アルミニウムから成るセラミックス溶射膜333Aを形成したが、酸化アルミニウム以外の添加物をさらに添加しても良い。ただし、添加物としては、 γ -酸化アルミニウムよりも高熱伝導率相を形成するものが望ましい。例えば、酸化イットリウム(Y_2O_3)、酸化ジルコニア(Zr_2O_3)、炭化ケイ素

(S i C)、および窒化珪素等(S i 3 N 4)等の少なくとも1種類を追加した場合、 α -酸化アルミニウムを添加した場合と同様の効果を発揮して、高熱伝導率相の増加、気孔率の低減に寄与する。

[0075] 図15はセラミックス溶射膜333Aの絶縁性能と伝熱性能との関係を説明する図である。この場合も、図14の場合と同様に、基材として厚さ2mmの150mm角のA1板に対して酸化アルミニウムを用いてサンドブラスト処理し、その後、窒化アルミニウム粒子と酸化アルミニウム粒子との混合粉末を出力40kWにてプラズマ溶射した。このときの溶射膜の断面気孔率は4%であった。なお、断面気孔率は、画像解析ソフトを用いて組織の濃淡を2値化処理して算出した。

[0076] 図15の横軸は溶射膜の膜厚であり、左側の縦軸は厚さ80 μ mの溶射膜単体の絶縁破壊電圧(本実施形態で最低限必要とされる絶縁破壊電圧)を1とした場合の規格化絶縁破壊電圧、右側の縦軸は厚さ200 μ mの溶射膜単体の熱伝導率(本実施形態で最低限必要とされる熱伝導率)を1とした場合の規格化熱伝導率である。なお、セラミックス溶射膜333Aは、図9に示すように酸化アルミニウム扁平体3331および窒化アルミニウム粒子3332が積層された膜であるため、溶射膜の表面は凹凸形状を成している。そのため、本実施の形態におけるセラミックス溶射膜333Aの厚さは、研削等による平坦化後の厚さを意味している。

[0077] 図15において、白色の三角形が絶縁破壊電圧のデータであり、黒色の丸印が熱伝導率に関するデータである。セラミックス溶射膜333Aの厚さが増加すると、絶縁破壊電圧も大きくなり、絶縁性能が向上する。一方、熱伝導率は厚さが増加するにつれて小さくなり、伝熱性能が低下する。そのため、絶縁性能と伝熱性能とを両立させるためには、例えば、セラミックス溶射膜333Aの厚さを80 μ m以上、200 μ m以下に設定するのが好ましい。

[0078] 図14、15に関する上述の例では、放熱部307A、307Bと同様の材質であるA1板にセラミックス溶射膜を形成して、その特性を計測したが

、導体板 315, 318 および封止樹脂 348 側にセラミックス溶射膜を形成した場合についても、それに対応したサンプルを制作して特性を調べた。この場合、基材として厚さ 2 mm の 150 mm 角の Cu 板、および樹脂板に対して酸化アルミニウムを用いてサンドブラスト処理した後、窒化アルミニウムと酸化アルミニウム粒子の混合粉末を出力 40 kW にてプラズマ溶射した。なお、実際に導体板 315, 318 および封止樹脂 348 側にセラミックス溶射膜を形成する場合には、熱変形能や融点等が導体板と樹脂とで異なるが、入熱量の調整などを行うことにより、マスキング無しで一連の走査の中で溶射することができる。もちろん、マスキングを用いて個別に溶射するようにしても構わない。

[0079] ところで、溶射粒子の積層過程において、基材と粒子が最初に接する第一層は、熱伝達特性に影響を及ぼすので、溶射膜全体の特性を大きく支配する。この接触状態を向上させる方法として、濡れ性を高めるために、基材の温度を上昇させることがある。これにより、基材表面の吸着物質が脱離し、また濡れ性の向上効果により、接触状態が向上する。

[0080] しかし、その一方で、基材温度を高めることで基材の熱変形が加速され、基材の変形により、モジュールを組み立てる際の寸法公差に影響を与える。さらに、基材が樹脂の場合には、固体で衝突する窒化アルミニウム粒子が樹脂基材表面を研削し、ブラスト処理を起こすおそれがある。

[0081] 窒化アルミニウム粒子が樹脂基材表面を研削してしまうことに関しては、酸化アルミニウムを添加することにより、溶射中に液相の酸化アルミニウム粒子が樹脂基材上で積層し、固体粒子に対する緩衝材としての効果を発揮する。この効果により、樹脂基材へのセラミックス溶射膜 333A の形成が可能になる。

[0082] このように、本実施の形態では、パワーモジュール 300 は、半導体チップ（IGBT 328, 330、ダイオード 156, 166）と、表裏面の一方の面に半導体チップが電氣的に接続され、他方の面に放熱面が形成された導体板 315, 318, 319, 320 と、放熱面が露出するように導体板

および半導体素子を封止する封止樹脂 348 と、絶縁層 333 を介して導体板の放熱面に熱的に接触している金属ベース 307A, 307B と、を備えている。そして、絶縁層 333 は、放熱面と対向する金属ベース 307A, 307B の表面、または導体板の放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射して形成されたセラミックス溶射膜 333A を有し、セラミックス溶射膜 333A は、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が 30% 以上であって、かつ、断面気孔率が 10% 以下とされている。

[0083] 上述のように、窒化アルミニウムは固体から液体を経ずに気体となる昇華する物質であるため、窒化アルミニウムの溶射膜を形成することはできなかった。しかし、窒化アルミニウム粒子と溶射可能な α -酸化アルミニウム粒子とを混合した混合粉を用いることにより、窒化アルミニウムと α -酸化アルミニウムとから成る高熱伝導率を有するセラミックス溶射膜を形成することができた。本発明の絶縁層 333 では、窒化アルミニウムを含むセラミックス溶射膜の形成を可能にした。そのセラミックス溶射膜は、酸化アルミニウム粉末単体を用いた溶射膜よりも熱伝導特性に優れており、パワーモジュールに適用する際、絶縁層の熱抵抗が低下し、パワーモジュールの放熱性を向上できる。

[0084] セラミックス溶射膜中においては窒化アルミニウムは粒子状であるが、 α -酸化アルミニウム粒子は溶融した状態で被成膜面に入射するため、単に窒化アルミニウム粒子を堆積させた場合に比べて気孔率を小さくすることができた。さらに、気孔率を 10% 以下とすることで、好適な熱伝導率が得られた。また、 α -酸化アルミニウムは温度上昇により γ -酸化アルミニウムに変化するため、 α -酸化アルミニウム粒子の混合比を大きくすると α -酸化アルミニウムが γ -酸化アルミニウムに変化して、窒化アルミニウムと α -酸化アルミニウムとを合わせた体積割合が減少することが分かった。そして、その体積割合が 30% 以上のときに好適な熱伝導率が得られた。

[0085] すなわち、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合

物を溶射して形成されるセラミックス溶射膜の気孔率を10%以上とし、かつ、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計を30%以上とすることで、高熱伝導率を有するセラミックス溶射膜を得ることができる。さらに、それをパワーモジュールの絶縁層に用いることで、パワーモジュールの放熱性能の向上を図ることができる。また、パワーモジュールに適用した際に、隣接する導体板と連続的に施工することができ、製造工数の削減および製造コスト低減を図ることができる。

[0086] すなわち、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であって、かつ、断面気孔率が10%以下であるセラミックス溶射膜が形成されるように溶射条件を調整して、放熱面と対向する金属ベースの表面または放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射する。そして、その溶射条件としては、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物における α -酸化アルミニウム粒子の混合比率と、溶射時における混合物の加熱温度とがあげられる。上述した例では、混合比率は40～62mass%に設定される。また、加熱温度は2000～2200℃であって、図22に示した飛行粒子の温度が2000～2200℃となるように加熱源（溶射ガン400，電源装置401）の溶射施工条件を調整する。

[0087] さらにまた、図15に示すように、セラミックス溶射膜333Aの厚さを80 μ m以上200 μ m以下とすることで、絶縁性能と伝熱性能とを両立させることができる。

[0088] ー第2の実施の形態ー

上述した第1の実施の形態では、絶縁層333の構成は、セラミックス溶射膜333Aの上に樹脂層333Bを積層する構造とした。この場合、セラミックス溶射膜333Aの表面付近の気孔3330内には樹脂が入り込むが、全体的には、セラミックス溶射膜333A単体の伝熱性能と樹脂層333Bの伝熱性能とによって絶縁層333の伝熱性能が決まる。

[0089] ところで、溶射膜内の気孔3330は、セラミックス溶射膜333Aの伝

熱性能の低下を招く。セラミックス溶射膜 333A 内の気孔 3330 は、図 14 に示したように、できる限り小さくしても 4% 程度残っており、気孔 3330 の伝熱性能への影響は無視できない。また、気孔 3330 によって溶射膜 333A 内に三次元的な貫通孔が形成されるため、そのままでは温度昇降に伴う熱応力での割れ感受性が高いという問題がある。

[0090] そこで、第 2 の実施の形態では、セラミックス溶射膜 333A の気孔 3330 内に樹脂を含浸させるようにした。図 16 は、セラミックス溶射膜 333A を樹脂含浸した場合の絶縁性能を示す図である。黒色三角形は含浸した場合のデータを示し、白色三角形は含浸していない場合のデータを示している。縦軸は、膜厚が $100\mu\text{m}$ で、かつ、含浸をしていないセラミックス溶射膜 333A の絶縁破壊電圧を 1 としたときの規格化絶縁破壊電圧である。

[0091] なお、この場合も、図 14 の場合と同様に、基材として厚さ 2mm の 150mm 角の A1 板に対して酸化アルミニウムを用いてサンドブラスト処理し、その後、窒化アルミニウムと酸化アルミニウム粒子の混合粉末を出力 40kW にてプラズマ溶射した。このときの溶射膜の断面気孔率は 4% であった。そして、作製したセラミックス溶射膜 333A に対して、エポキシ系樹脂を含浸すると、断面気孔率は 1.0% 以下にまで低下した。その結果、セラミックス溶射膜 333A の絶縁破壊電圧は、含浸をしない場合に比べて大きくなった。例えば、膜厚 $100\mu\text{m}$ の場合には、含浸すると絶縁破壊電圧が 3 倍程度まで大きくなる。

[0092] このように、樹脂を含浸することによって断面気孔率が低下するため、セラミックス溶射膜 333A の絶縁破壊電圧が向上する。そのため、パワーモジュールに適用する際に、絶縁層 333 の厚さをより薄くでき、その結果、熱抵抗が低下し、パワーモジュールの放熱性を向上させることができる。

[0093] 図 17, 18 は、セラミックス溶射膜 333A に樹脂を含浸させる方法を例示したものである。図 17 は第 1 の例を説明する図である。図 17 (a) および図 17 (b) は、図 11 (a) および図 11 (b) で示した樹脂層 333B の形成手順に関して、図 9 (a) の符号 F で示す部分について示した

ものである。また、図 17 (c) は樹脂含浸後を示したものである。

[0094] セラミックス溶射膜 333A の形成領域は樹脂層 333B の形成領域よりも大きく設定されており、符号 F で示した絶縁層 333 の縁部分においては、セラミックス溶射膜 333A が露出している。そして、この露出領域 Y から樹脂 333C を含浸する。含浸に用いる樹脂 333C には、例えば、樹脂層 333B を構成する樹脂成分と同じ樹脂が用いられる。なお、減圧状態にして含浸作業を行うことにより、気孔 3330 内の残留ガスが含浸用樹脂 333C 内に巻き込まれてボイドが発生したり、未充填領域が発生したりするのを防止することができる。また、ディスペンサーなどを用いて、樹脂 333C を露出領域 Y から注入するようにしても良い。

[0095] 図 18 は、第 2 の例を説明する図である。先ず、図 18 (a) に示すように、放熱部 307A 上にセラミックス溶射膜 333A を形成し、セラミックス溶射膜 333A の上に樹脂層 333B を形成するための樹脂シート 3334 を配置する。樹脂シート 3334 は樹脂 333C にフィラーを混入させたものであり、樹脂シート 3334 の量は、形成される樹脂層 333B の量よりも多く設定される。

[0096] 次に、図 18 (b) に示すように、放熱部 307A を一次封止体 302 方向に加圧し、樹脂シート 3334 を一次封止体 302 に圧着して樹脂層 333B を形成する。この圧着の際に、樹脂シート 3334 は樹脂層 333B の厚さまで加圧されるため、樹脂シート 3334 の樹脂成分（樹脂 333C）はセラミックス溶射膜 333A の気孔 3330 に含浸されるとともに、セラミックス溶射膜 333A の周囲に溢れ出る。

[0097] この場合、樹脂シート 3334 の樹脂成分がセラミックス溶射膜 333A 内の気孔 3330 に含浸されるとともに、図 18 (b) に示すように樹脂成分が周囲に流れ出るので、樹脂層 333B のフィラー混入率は樹脂シート 3334 のフィラー混入率よりも大きくなる。

[0098] なお、上述した第 1 および第 2 の実施の形態では、CAN 型のモジュールケース 304 内に一次封止体 302 を挿入して樹脂封止したパワーモジュール

ルについて説明したが、本発明は、図 19、20 に示すように片面冷却パワーモジュールにも同様に適用することができる。図 19 は片面冷却パワーモジュール 300 の平面図であり、パワーモジュール 300 の封止樹脂 348 内に封止されている半導体チップと導体板の配置を示したものである。

[0099] 図 19 に示す配置では、導体板 318、320 が同電位となり一枚の導体板で形成できる（以下、導体板 318 と称す）。IGBT 328、330 およびダイオード 156、166 の表面主電極は、複数の金属ワイヤあるいは金属リボンにより接続され、さらに導体板 318、319 に接続される。ワイヤやリボンの材質は、Al、Al 合金、Cu、Cu 合金の単体および複合材である。IGBT 328 およびダイオード 156 の裏面電極は、金属接合材 160 により導体板 315 に金属接合される。導体板 315、318 と放熱部 307 は、絶縁層 333 を介して接合される。IGBT 330 およびダイオード 166 の裏面電極は、金属接合材 160 により導体板 318 に金属接合される。導体板 315、318、319 と放熱部 307 は、絶縁層 333 を介して接合される。

[0100] 図 20 (a) は、図 19 の破線で示した部分の断面図である。半導体チップから発熱した熱が導体板 315、絶縁層 333、放熱部 307 を通り効率良く外部に放熱される。ここでは、放熱部 307 側にセラミックス溶射膜 333A を設け、導体板 315、318、319 側を樹脂層 333B で接合した例を示したが、導体板 315、318、319 側に溶射膜 333A を設け、放熱部 307 に樹脂層 333B を設けても良い。

[0101] 図 20 (b) に示すように、高熱伝導なフィラーを分散した樹脂層 333B は、絶縁層 333 と当接する導体板 315、318、319 の底面積よりも大きく、セラミックス溶射膜 333A の面積よりも小さい面積とし、放熱部 307 に仮付けする。その後、樹脂層 333B が仮付けされていないセラミックス溶射膜 333A の余白部を利用して樹脂を含浸する。なお、積層体の周方向端部に樹脂 333C の部分が形成されるように樹脂の含浸を行う。含浸後、図 20 (b) の矢印で示すように圧着して一体化する。

[0102] 図 2 1 は、一次封止体 3 0 2 を一対の放熱部 3 0 7 D で挟持する構成のパワーモジュール 3 0 0 を示す図である。このような構成のパワーモジュールにも上述した構造の絶縁層 3 3 3 を適用することができる。放熱部 3 0 7 D 内には冷媒流路 3 0 7 0 が形成されていて、ここを冷媒が流れる。放熱部 3 0 7 D の片面に樹脂が含浸されたセラミックス溶射膜 3 3 3 A が形成され、そのセラミックス溶射膜 3 3 3 A に積層するように樹脂層 3 3 3 B が形成されている。積層体の周方向端部には樹脂部 3 3 3 C が設けられている。なお、セラミックス溶射膜 3 3 3 A を一次封止体 3 0 2 側に形成するようにしても良い。

[0103] このように、第 2 の実施の形態では、上述した第 1 の実施の形態における作用効果に加えて、セラミックス溶射膜 3 3 3 A の気孔 3 3 3 0 に樹脂を含浸することで、絶縁層 3 3 3 の熱伝導率をさらに向上させることができる。

[0104] 上述した各実施形態はそれぞれ単独に、あるいは組み合わせて用いても良い。それぞれの実施形態での効果を単独あるいは相乗して奏することができるからである。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。

符号の説明

[0105] 1 5 6, 1 6 6 : ダイオード、3 0 0 : パワーモジュール、3 0 2 : 一次封止体、3 0 4 : モジュールケース、3 0 7 A, 3 0 7 B : 放熱部、3 1 5, 3 1 8, 3 1 9, 3 2 0 : 導体板、3 2 8, 3 3 0 : I G B T、3 3 3 : 絶縁層、3 3 3 A : セラミックス溶射膜、3 3 3 B : 樹脂層、3 4 8 : 封止樹脂、3 3 3 0 : 気孔、3 3 3 1 : 酸化アルミニウム扁平体、3 3 3 2 : 窒化アルミニウム粒子、4 0 0 : プラズマ溶射ガン、4 0 1 : 電源装置

請求の範囲

[請求項1]

半導体チップと、

表裏面の一方の面に前記半導体チップが電氣的に接続され、他方の面に放熱面が形成された導体板と、

前記放熱面が露出するように前記導体板および前記半導体チップを封止する封止樹脂と、

絶縁層を介して前記導体板の放熱面に熱的に接触している金属ベースと、を備え、

前記絶縁層は、前記放熱面と対向する前記金属ベースの表面または前記放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射して形成されたセラミックス溶射膜を有し、

前記セラミックス溶射膜は、窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が30%以上であって、かつ、断面気孔率が10%以下であるパワー半導体モジュール。

[請求項2]

請求項1に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記セラミックス溶射膜の気孔に樹脂が含浸されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項3]

請求項2に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記セラミックス溶射膜の厚さが80 μ m以上200 μ m以下であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項4]

請求項1乃至3のいずれか一項に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記セラミックス溶射膜は、窒化アルミニウム粒子と、 α -酸化アルミニウム粒子と、 γ -酸化アルミニウムよりも熱伝導率の高いセラミックス粒子との混合物を溶射して形成されることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項5]

請求項4に記載のパワー半導体モジュールにおいて、

前記セラミックス粒子は、酸化イットリウム(Y_2O_3)粒子、酸

化ジルコニア (Zr_2O_3) 粒子、炭化ケイ素 (SiC) 粒子、窒化珪素 (Si_3N_4) 粒子の少なくとも 1 種類を含むことを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項6] 請求項 1 または 2 に記載のパワー半導体モジュールにおいて、
前記セラミックス溶射膜の X 線回折ピーク強度は、
窒化アルミニウムの (100) 面のピーク強度、 α -酸化アルミニウムの (113) 面のピーク強度および γ -酸化アルミニウムの (400) 面のピーク強度の合計値に対する、窒化アルミニウムの (100) 面のピーク強度および α -酸化アルミニウムの (113) 面のピーク強度の合計値の比率が 30% 以上であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

[請求項7] 半導体チップと、表裏面の一方の面に前記半導体チップが電氣的に接続され、他方の面に放熱面が形成された導体板と、前記放熱面が露出するように前記導体板および前記半導体チップを封止する封止樹脂と、セラミックス溶射膜を有する絶縁層を介して前記放熱面に熱的に接触している金属ベースと、を備えるパワー半導体モジュールの製造方法であって、

窒化アルミニウムの体積割合と α -酸化アルミニウムの体積割合の合計が 30% 以上であって、かつ、断面気孔率が 10% 以下であるセラミックス溶射膜が形成されるように溶射条件を調整して、前記放熱面と対向する前記金属ベースの表面または前記放熱面に、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物を溶射する第 1 の工程と、

前記セラミックス溶射膜内に形成された気孔に樹脂を含浸する第 2 の工程と、を有するパワー半導体モジュールの製造方法。

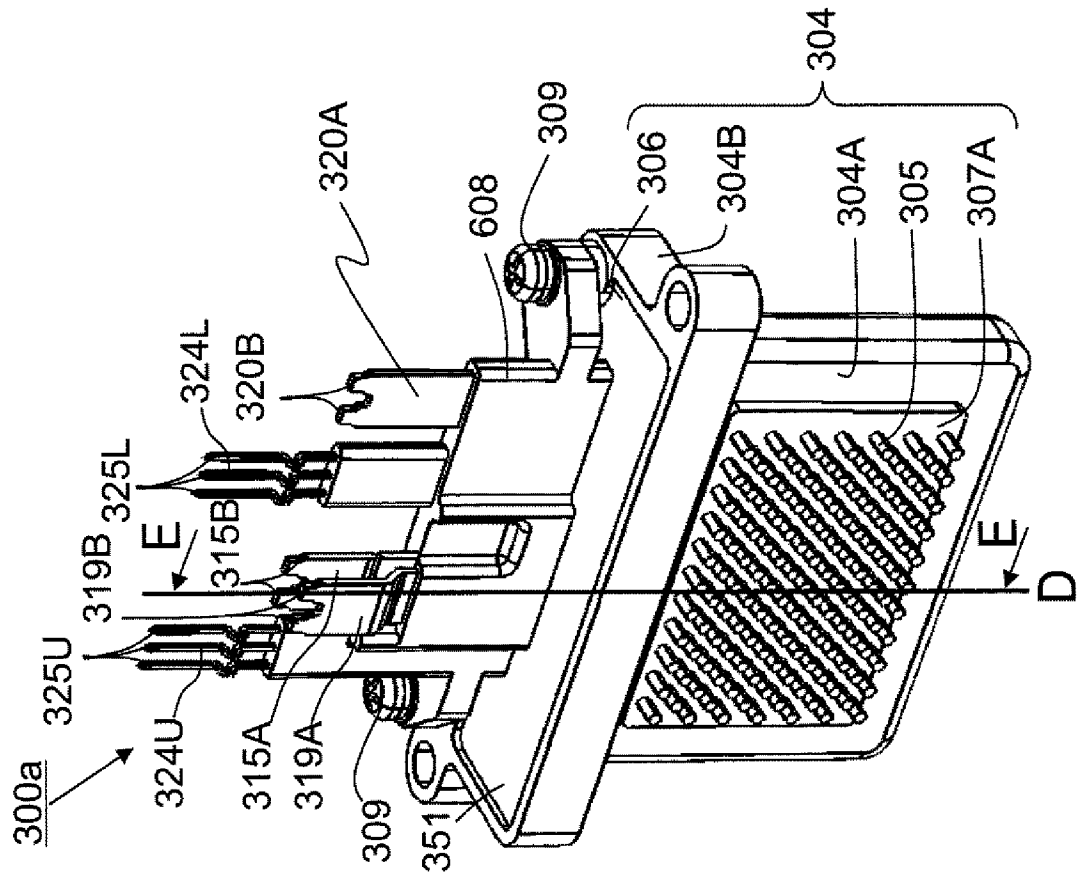
[請求項8] 請求項 7 に記載のパワー半導体モジュールの製造方法において、
前記溶射条件には、窒化アルミニウム粒子および α -酸化アルミニウム粒子の混合物における α -酸化アルミニウム粒子の混合比率と、

溶射時における前記混合物の加熱温度とが含まれることを特徴とする
パワー半導体モジュールの製造方法。

[請求項9] 請求項8に記載のパワー半導体モジュールの製造方法において、
前記混合比率を40～62mass%に設定するとともに、前記加熱温度を2000～2200℃に設定し、溶射される前記混合物の温度が前記加熱温度となるように加熱源の溶射施工条件を調整することを特徴とするパワー半導体モジュールの製造方法。

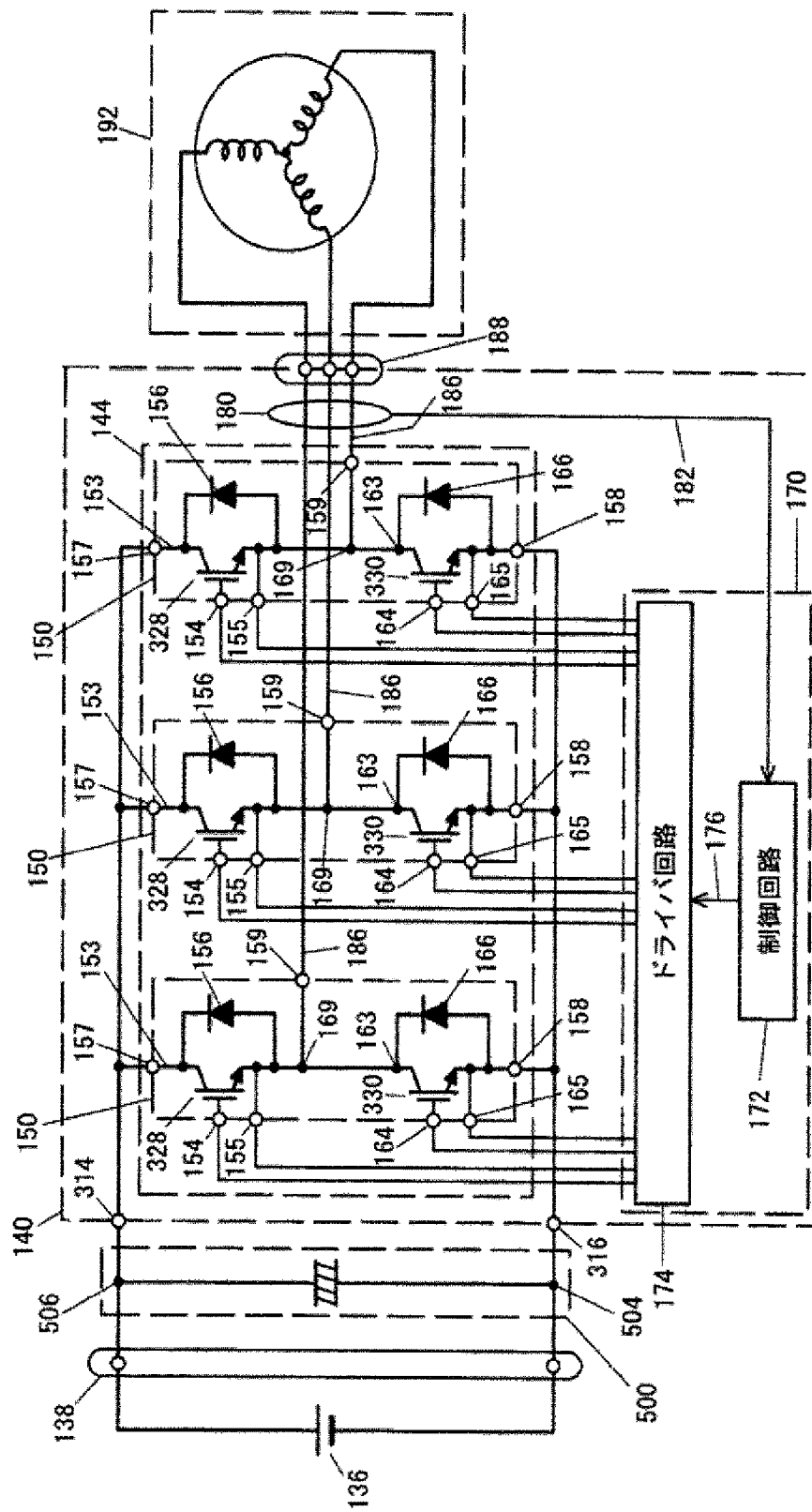
[請求項10] 請求項7乃至9のいずれか一項に記載のパワー半導体モジュールの製造方法において、
前記第1の工程と前記第2の工程との間に、前記セラミックス溶射膜の表面を研磨または研削により平坦化する工程をさらに設け、
前記第2の工程では、前記平坦化された表面から前記樹脂を含浸することを特徴とするパワー半導体モジュールの製造方法。

[図1]



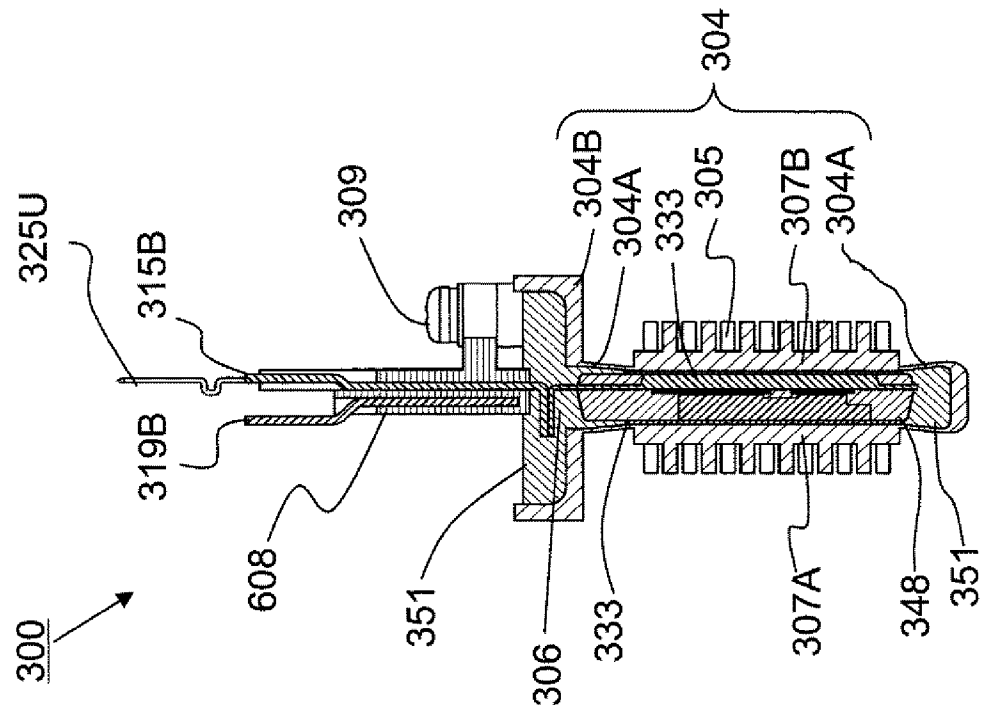
【図2】

【図2】

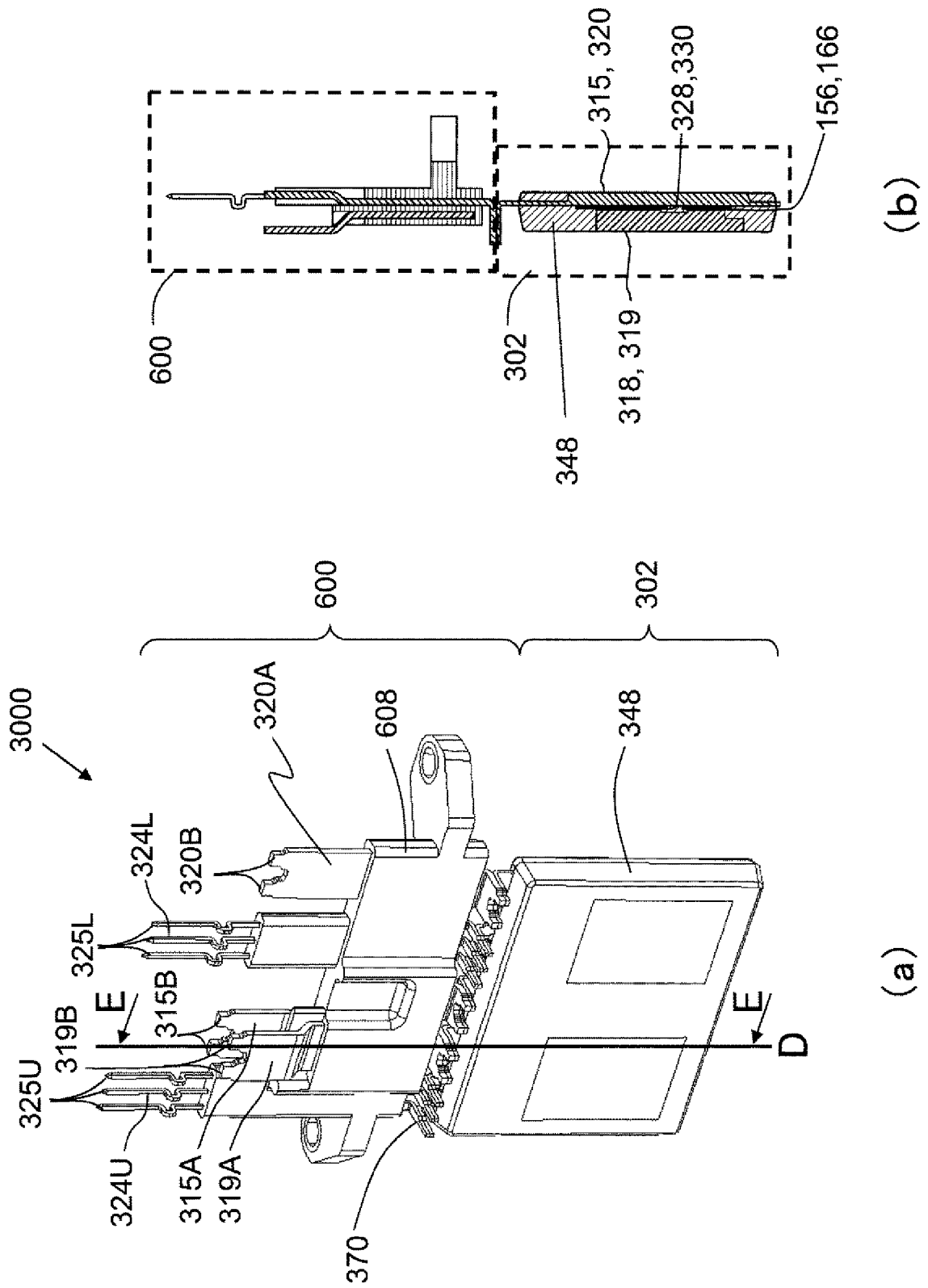


[図3]

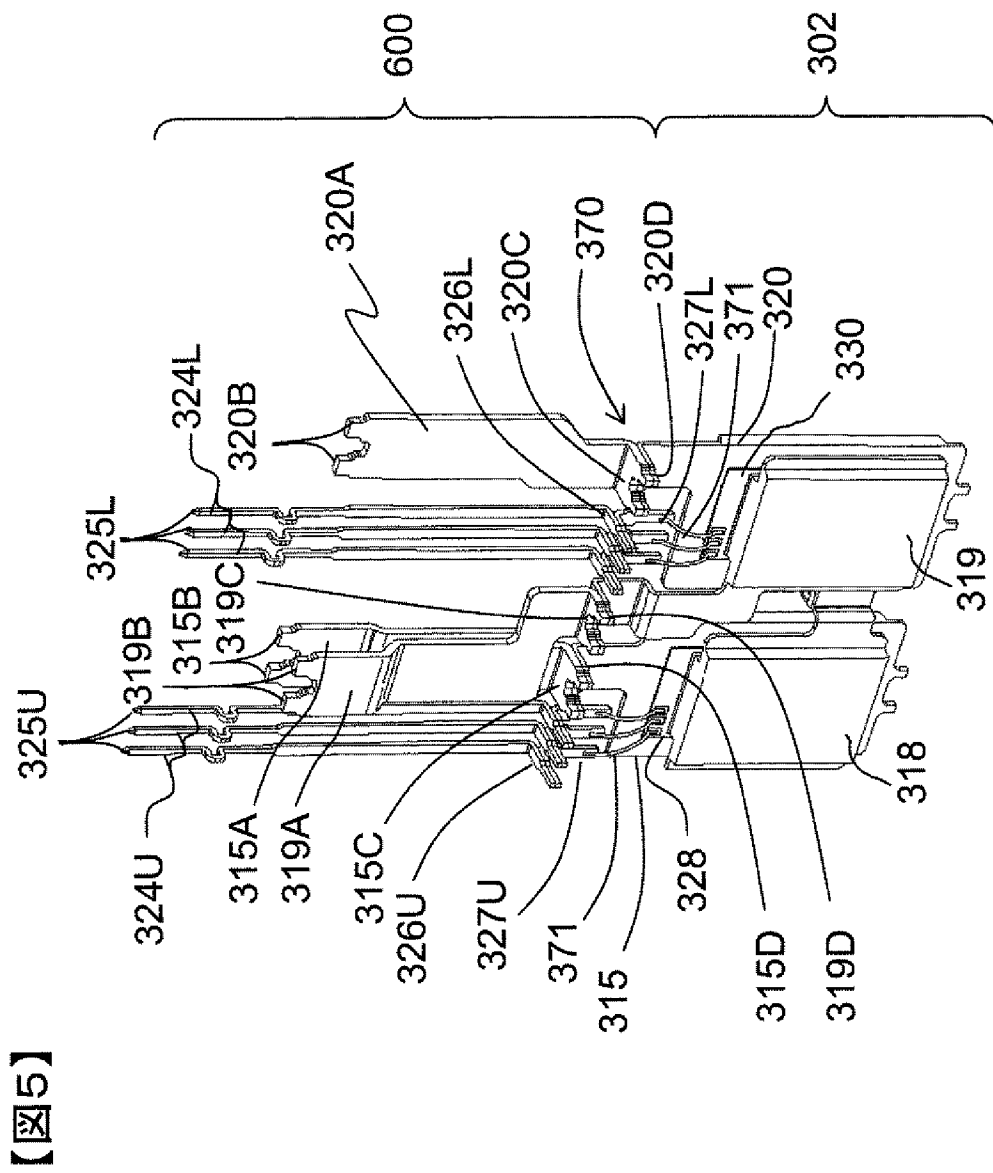
【図3】



【図4】

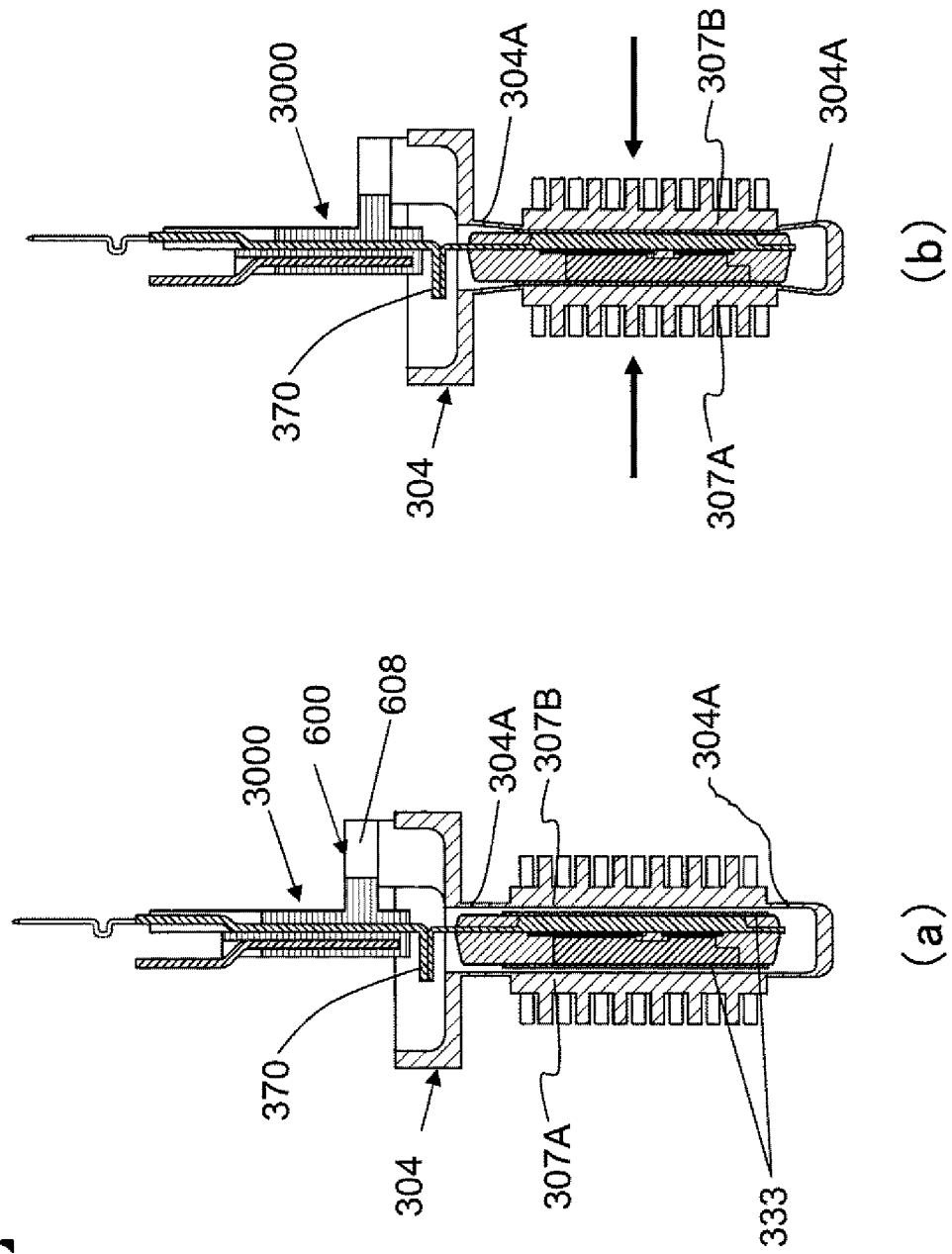


[図5]



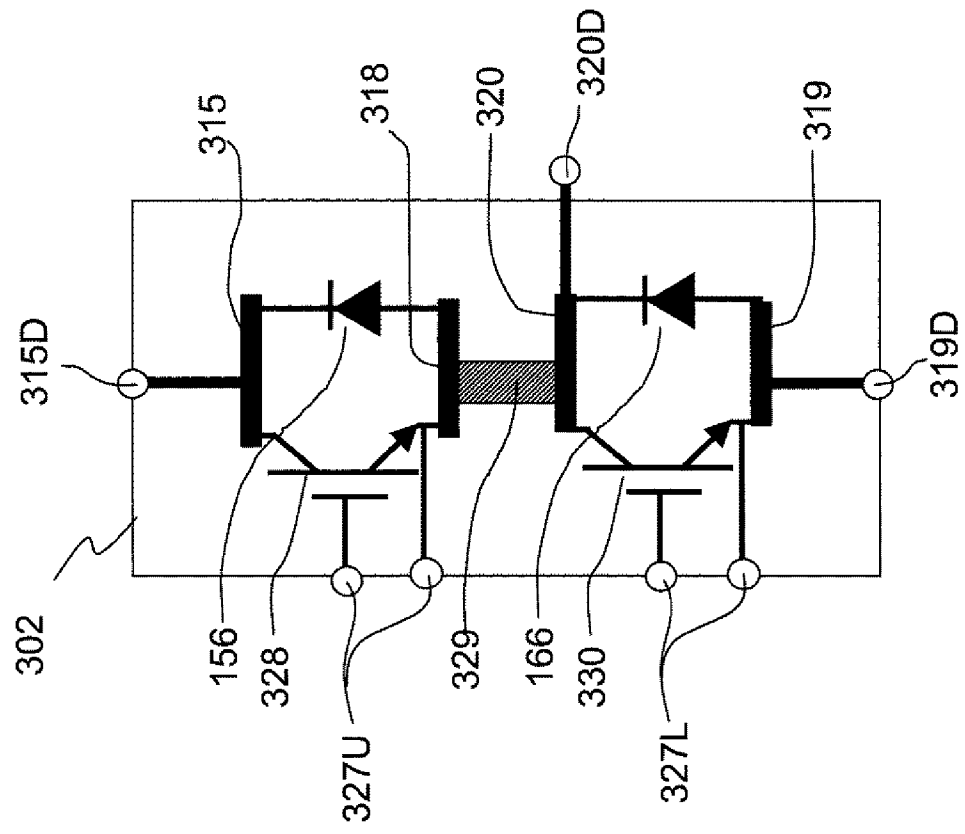
[図7]

【図7】



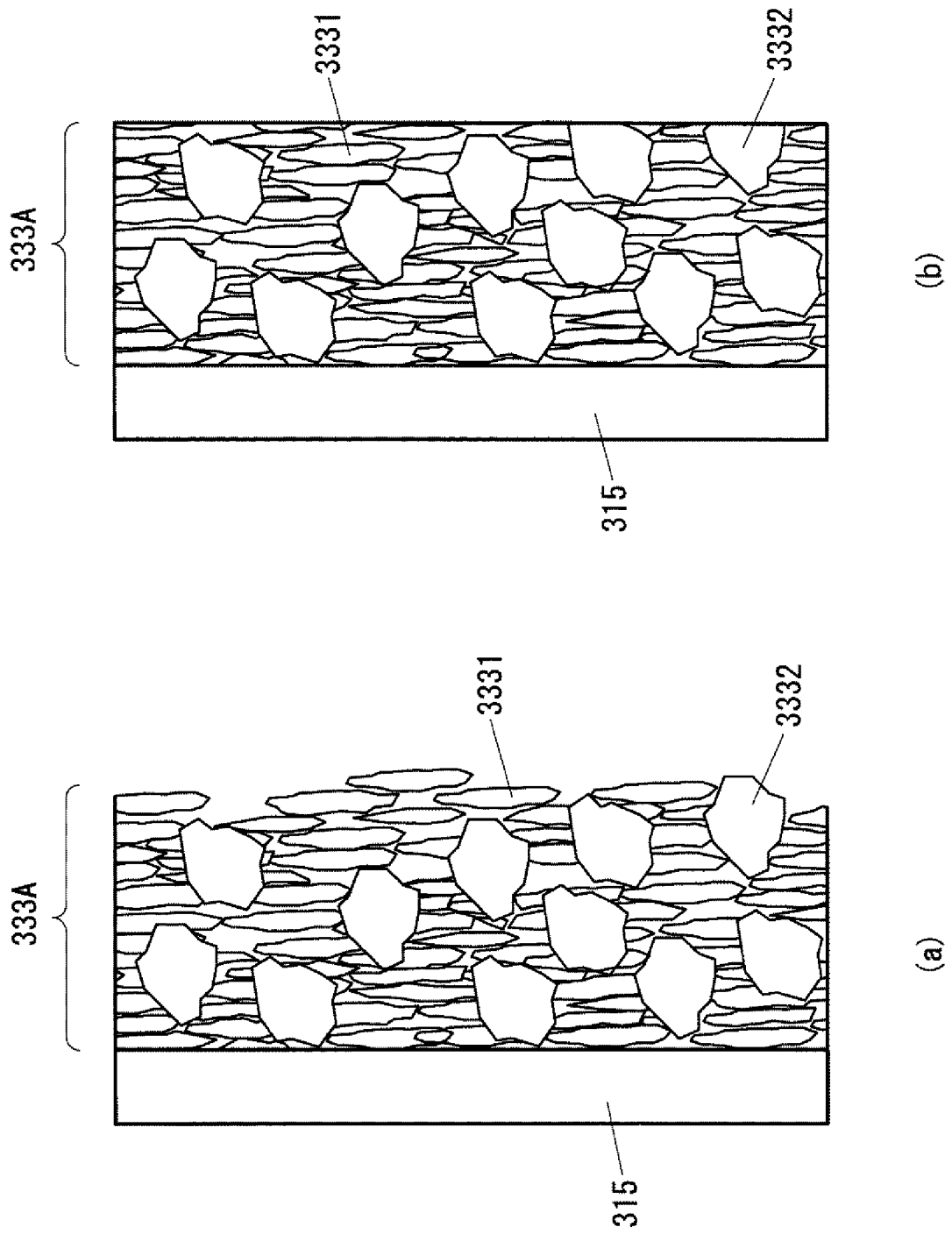
[図8]

【図8】

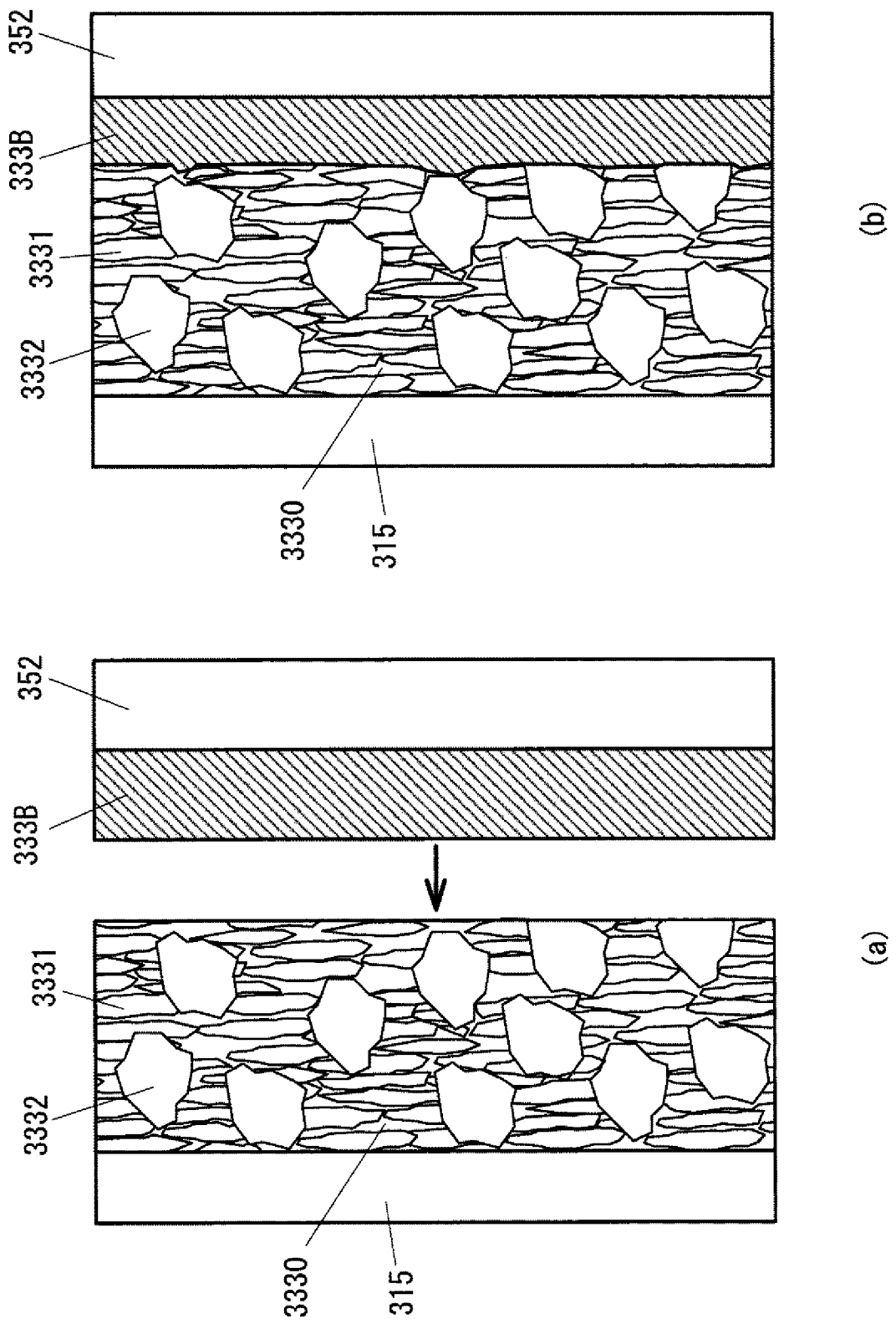


[図10]

【図10】

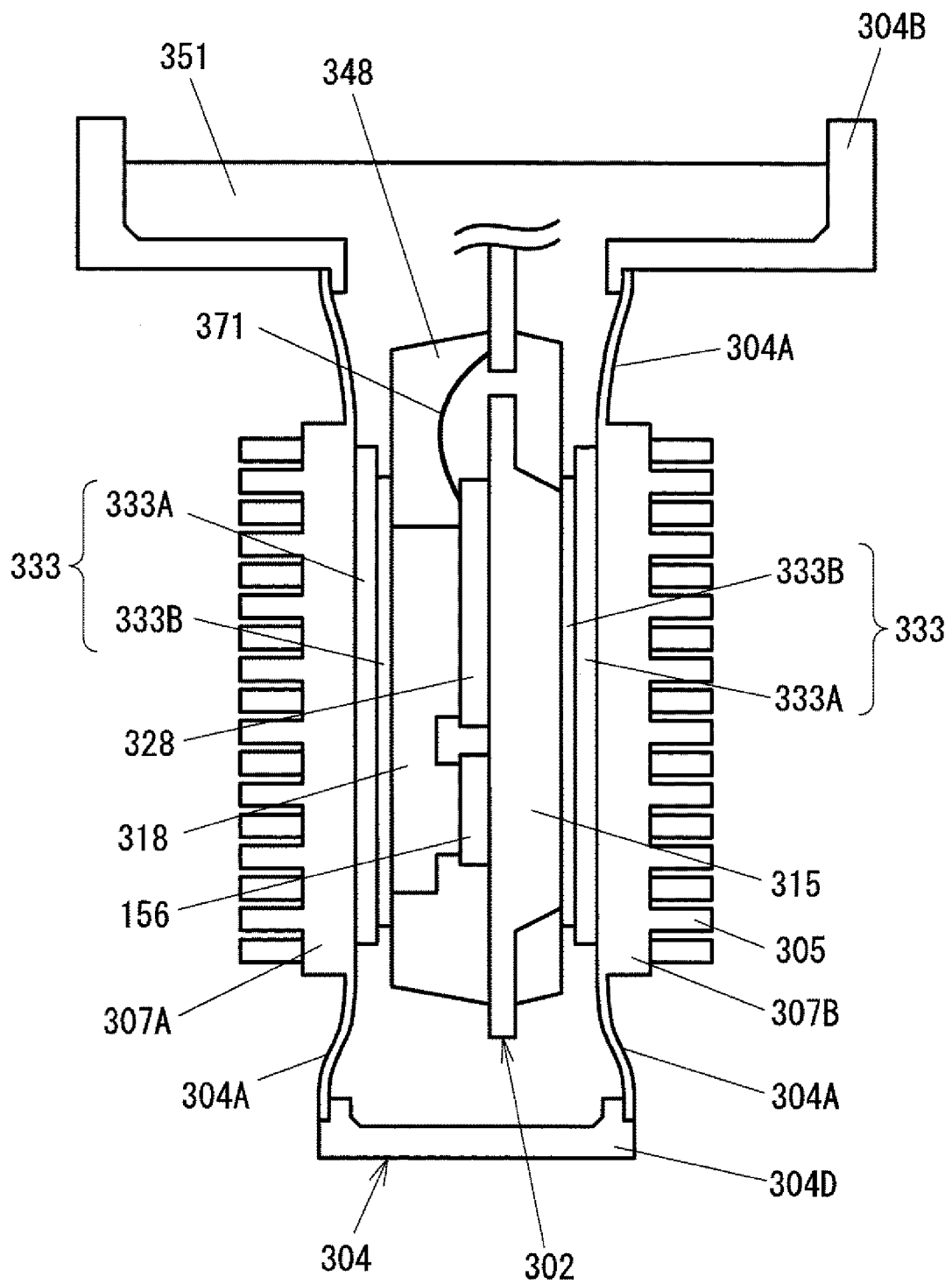


[図11]



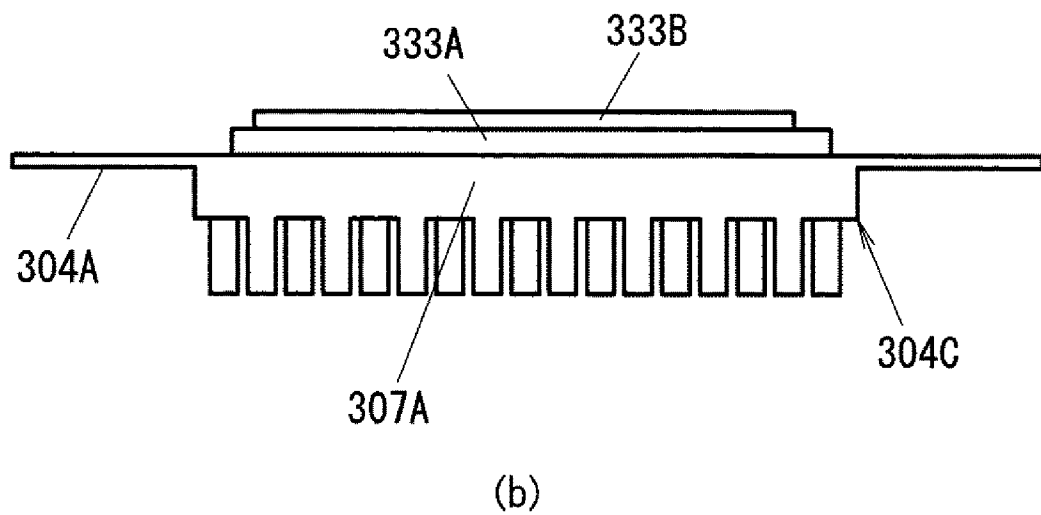
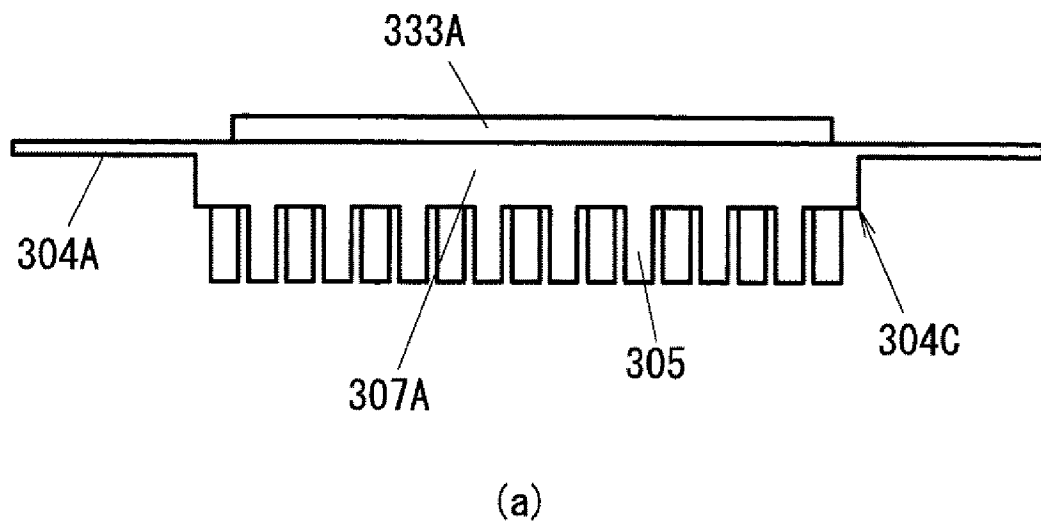
[図12]

【図 1 2】



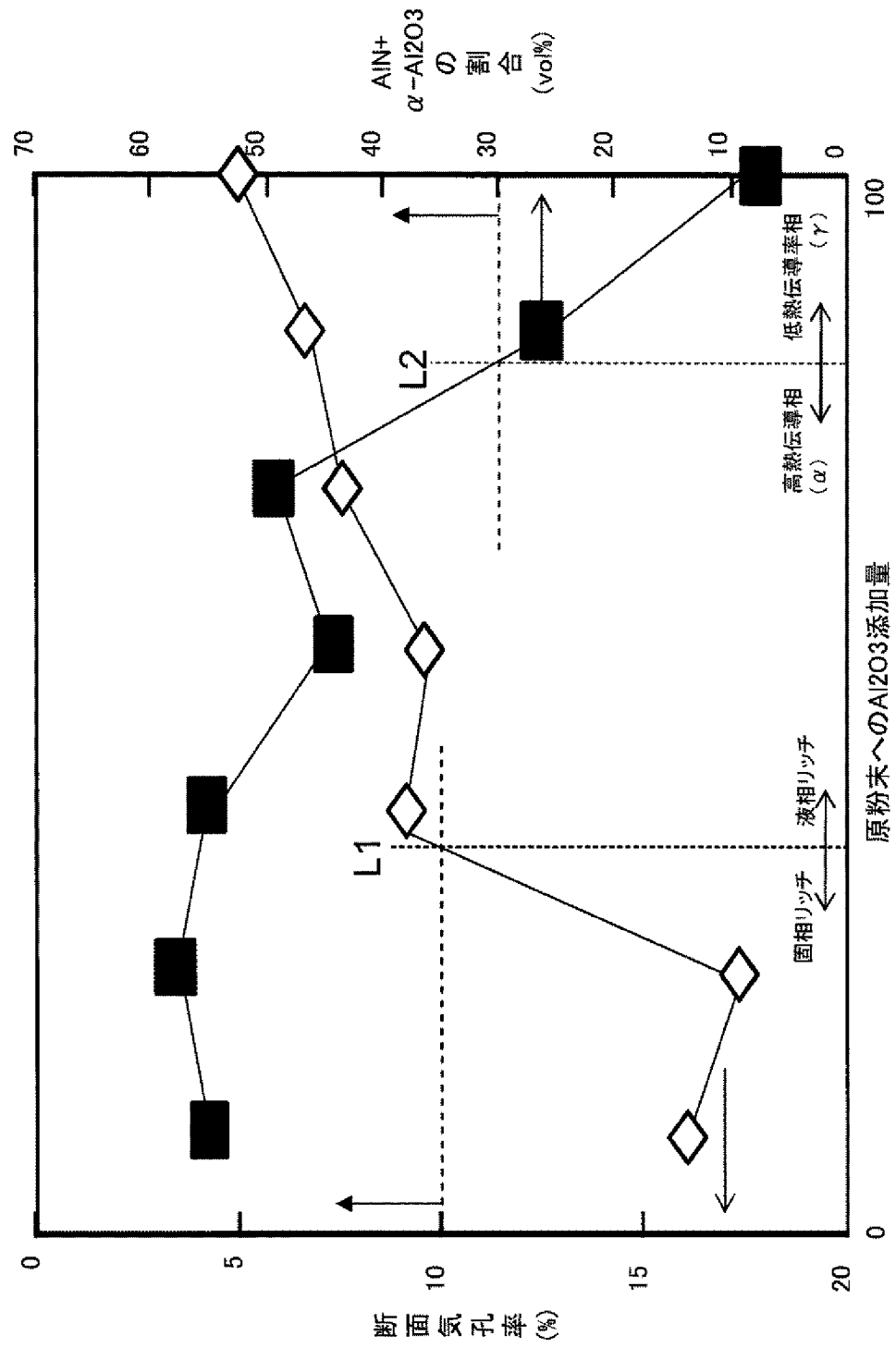
[図13]

【図 1 3】

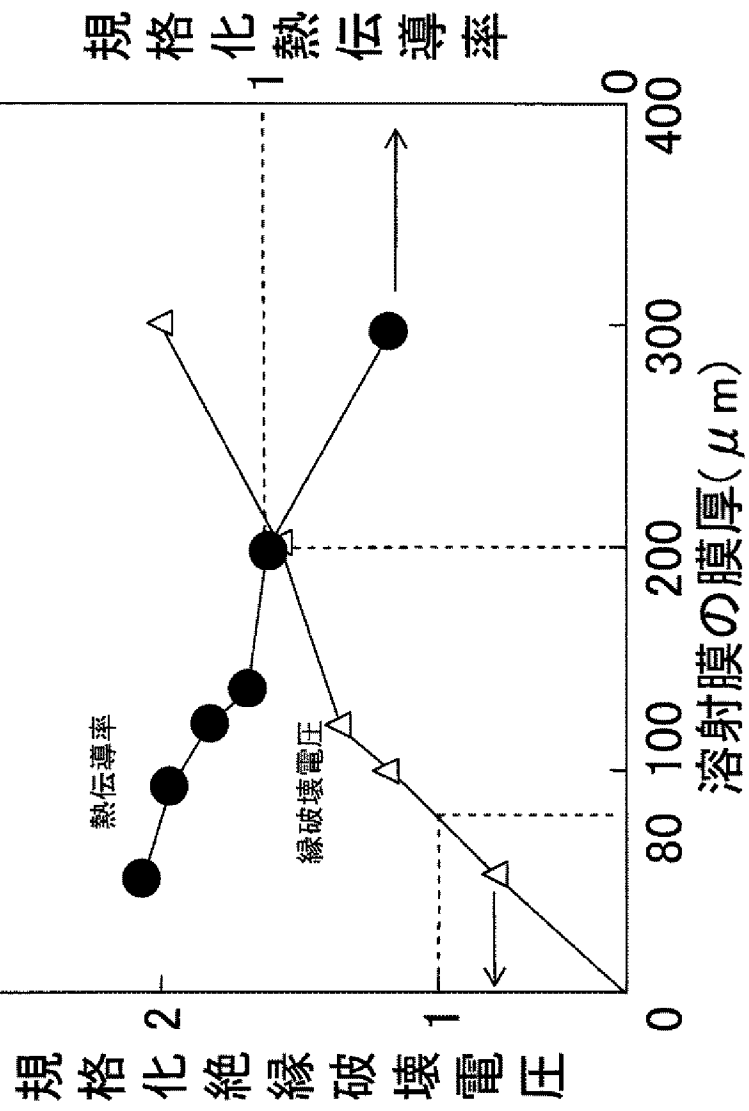


【図14】

【図14】



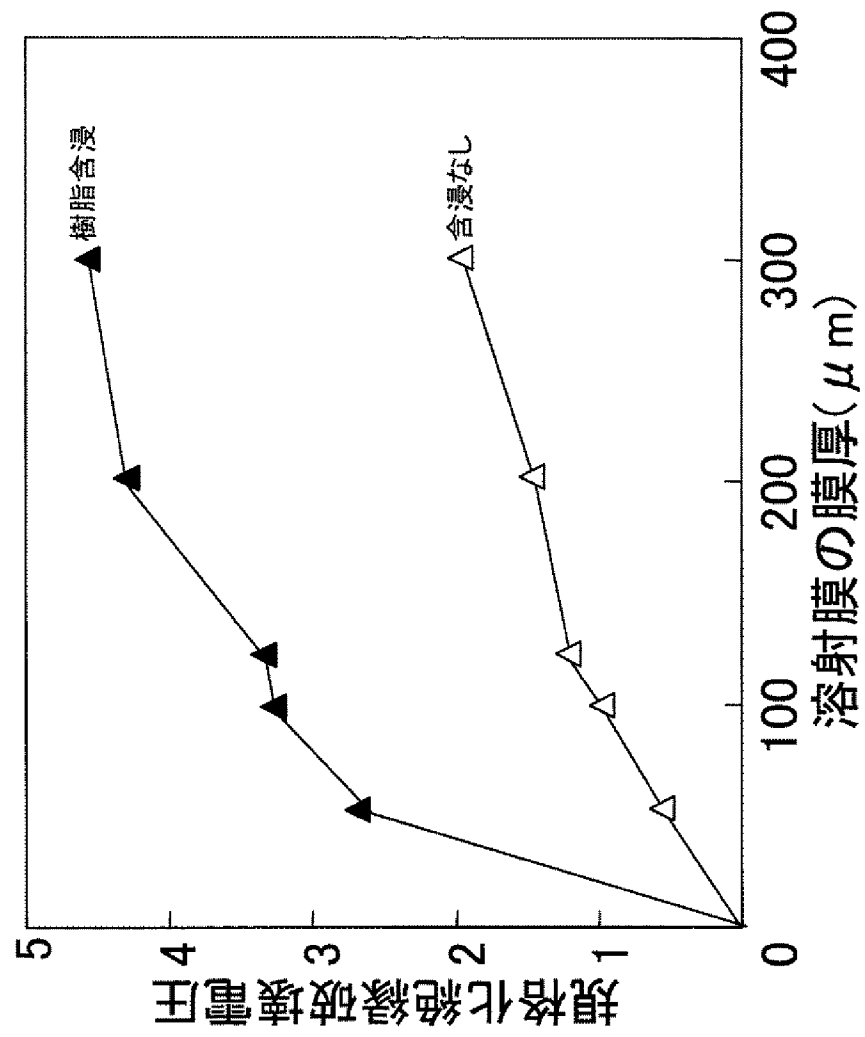
[図15]



【図15】

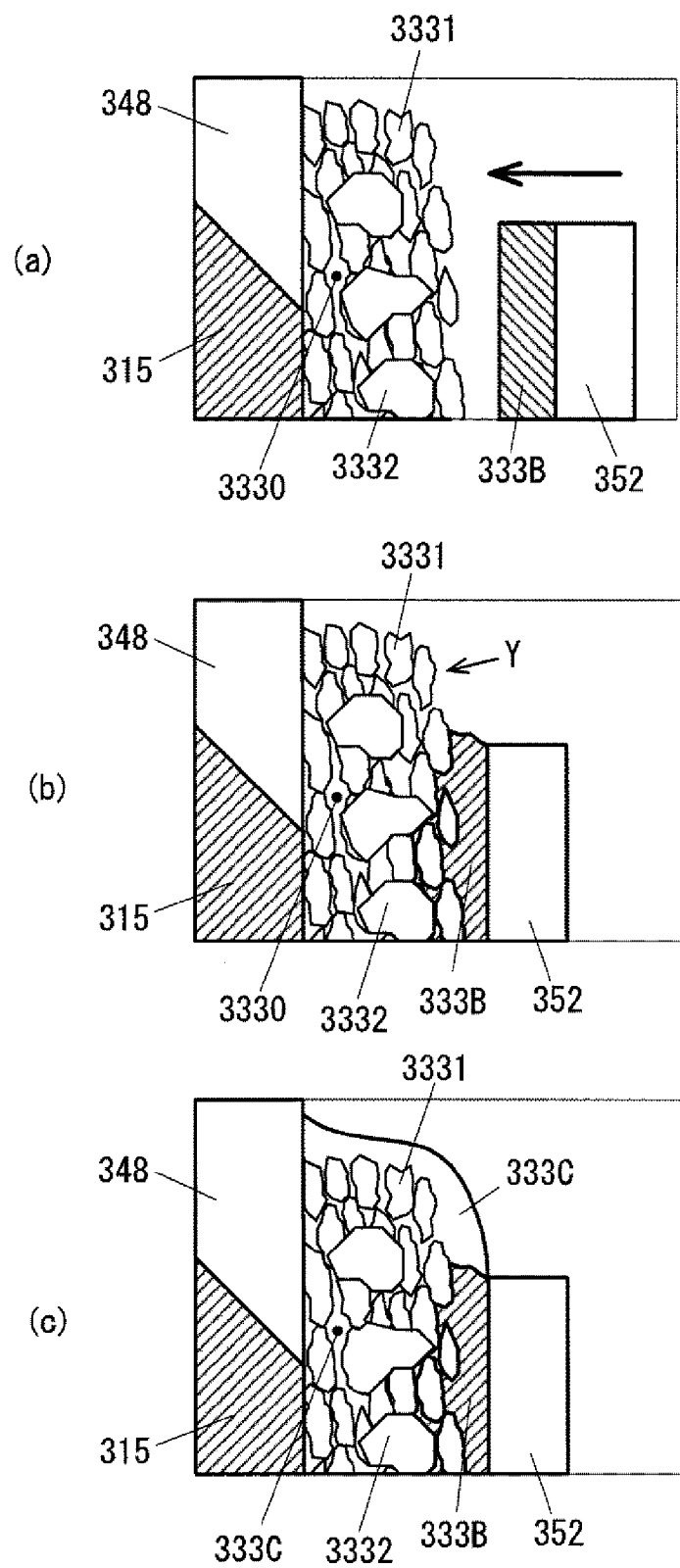
[図16]

【図16】



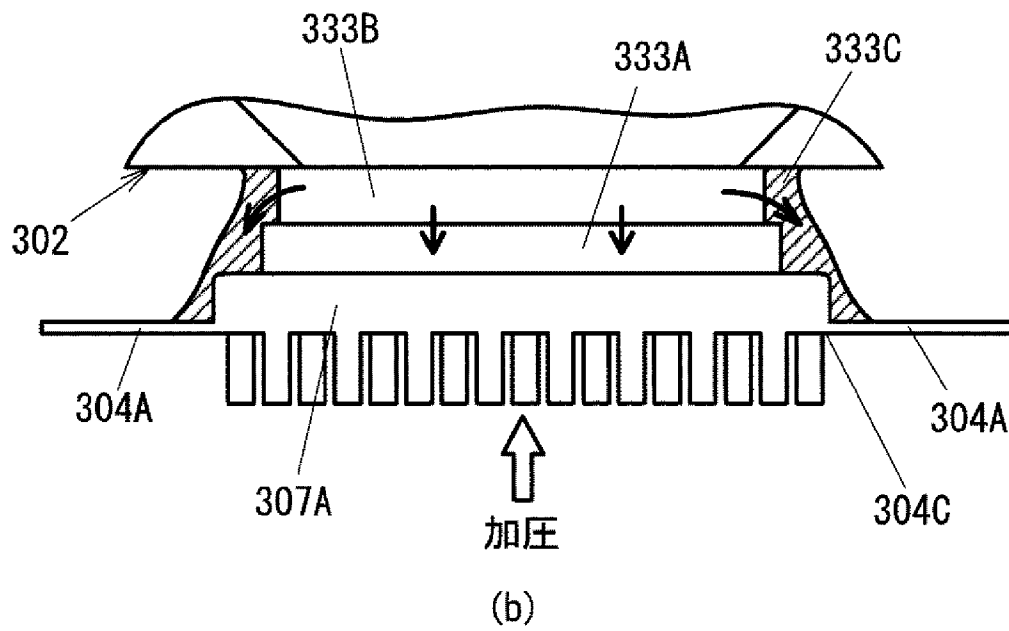
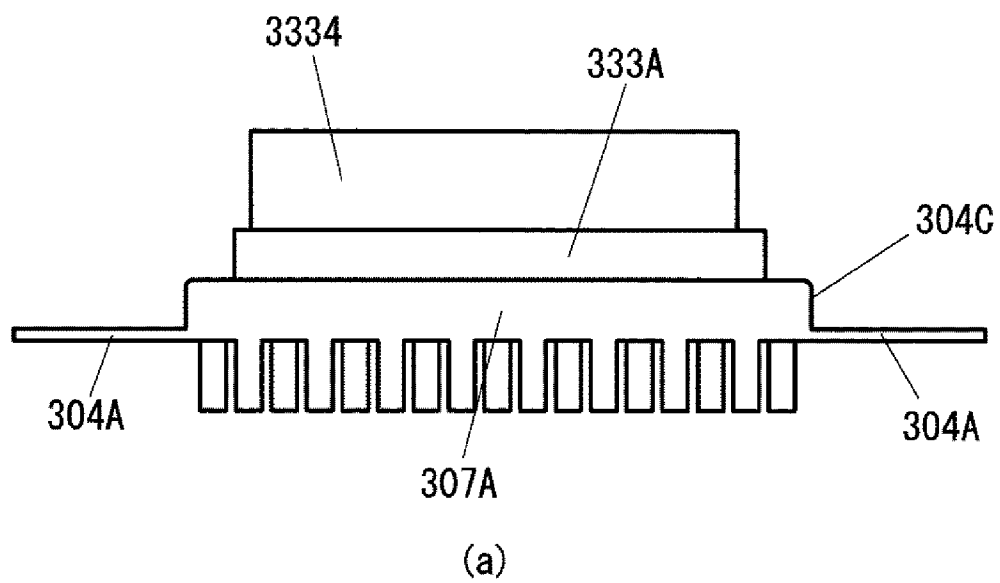
[図17]

【図 17】

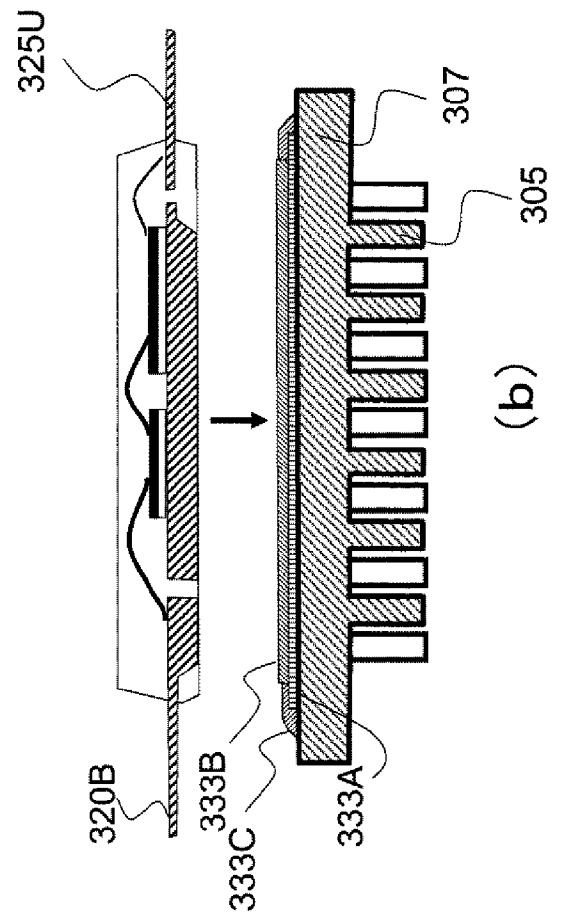
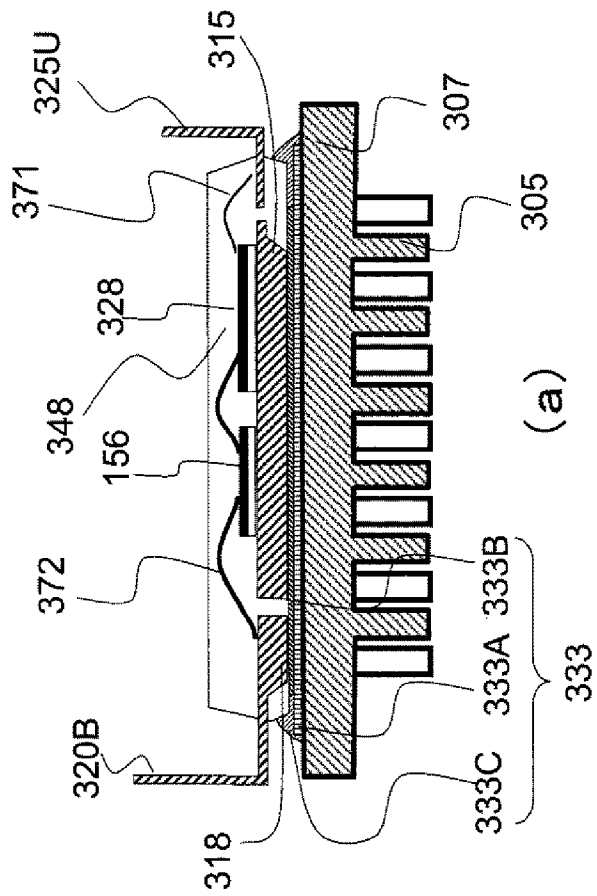


[図18]

【図 18】

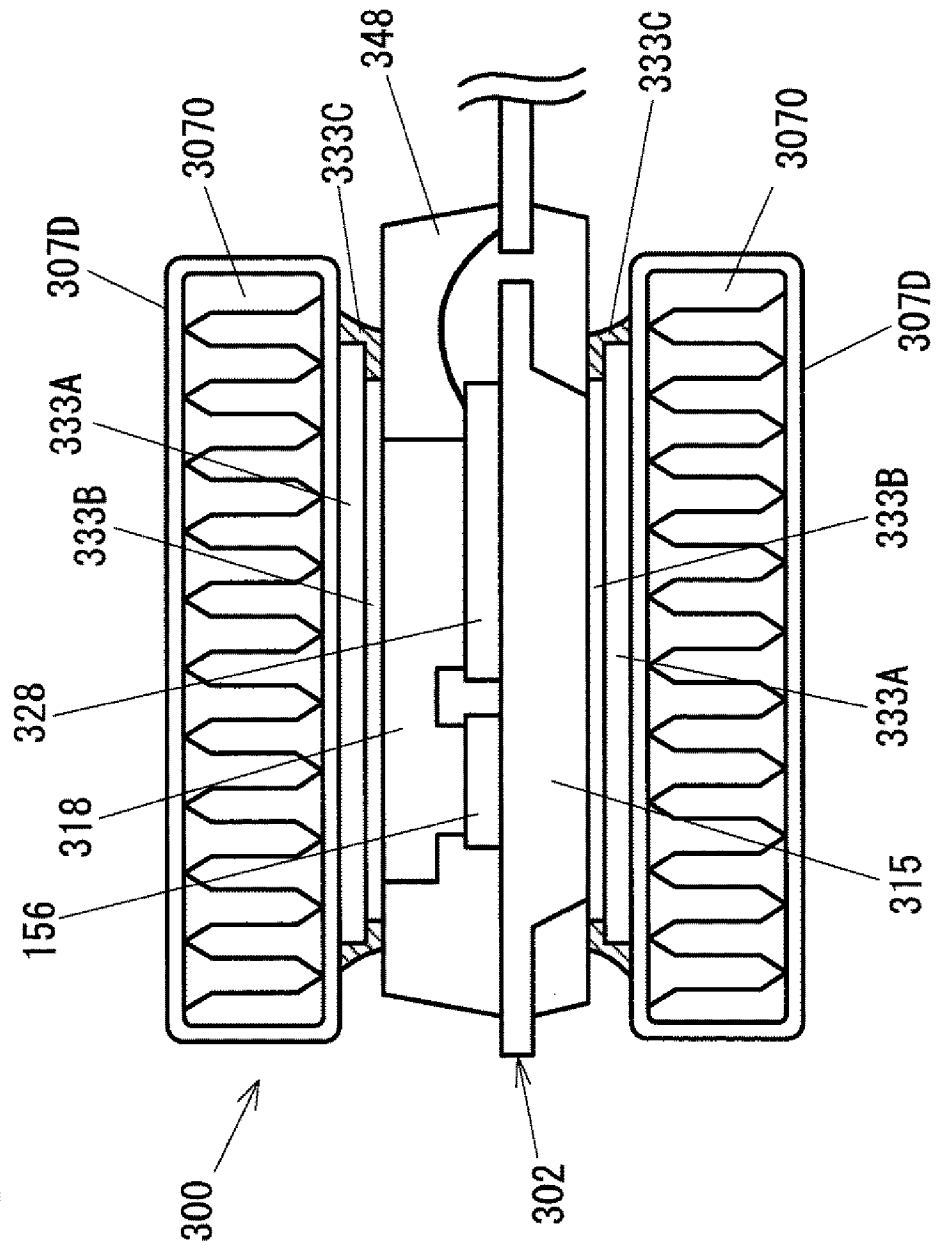


【図20】

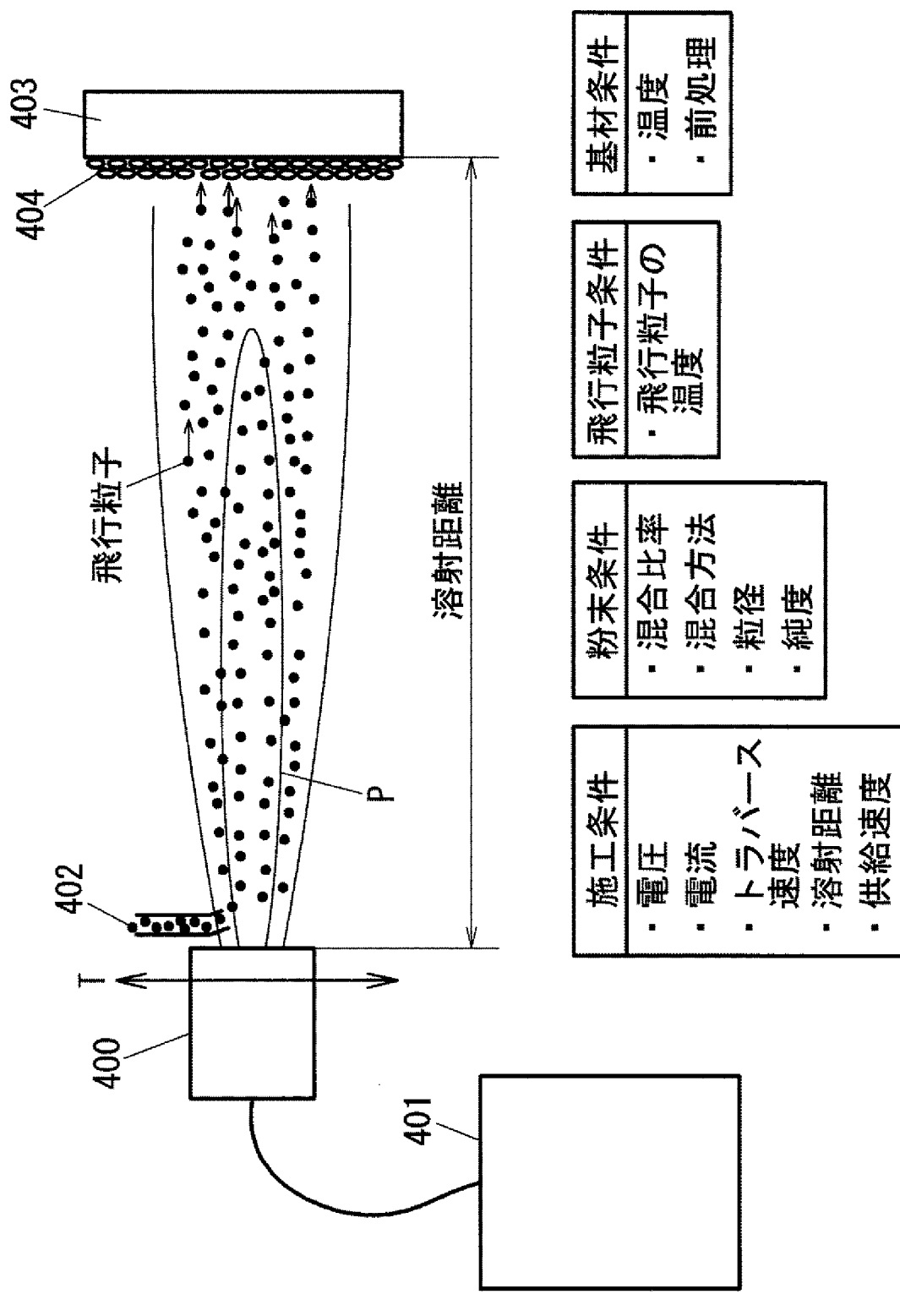


[図21]

【図21】



【図22】



【図22】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/069969

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L23/36(2006.01)i, C23C4/10(2006.01)i, C23C4/18(2006.01)i, H01L23/373(2006.01)i

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)

C23C4/00-4/18, H01L23/34-23/473

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
<u>Y</u> A	JP 2005-93593 A (Denso Corp.), 07 April 2005 (07.04.2005), paragraphs [0020] to [0023], [0028] to [0030]; fig. 1, 4 to 5 (Family: none)	<u>1-3, 6-10</u> 4-5
Y	Hongwei Yang, Corrosion Behavior and Thermal Conductivity of Plasma Sprayed AlN/Al ₂ O ₃ Coating, Materials Transactions, 2006.07.15, vol.47, no.7, pp. 1649-1653	1-3, 6-10
Y	JP 2007-284724 A (NTN Corp.), 01 November 2007 (01.11.2007), paragraphs [0034] to [0045]; fig. 4 & US 2009/0245709 A1 & EP 2009145 A1 & WO 2007/119763 A1 & CN 101421436 A	2-3, 7-10

☒ 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
18 September, 2013 (18.09.13)

Date of mailing of the international search report
08 October, 2013 (08.10.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/069969

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 2011-54607 A (Denso Corp.), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0034] to [0042], [0078], [0081]; fig. 1 (Family: none)	3, 10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L23/36(2006.01)i, C23C4/10(2006.01)i, C23C4/18(2006.01)i, H01L23/373(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. C23C4/00-4/18, H01L23/34-23/473

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
<u>Y</u> A	JP 2005-93593 A（株式会社デンソー）2005.04.07, 【0020】 - 【0023】 , 【0028】 - 【0030】 , 図 1, 図 4-5 (ファミリーなし)	<u>1-3, 6-10</u> 4-5
Y	Hongwei Yang, Corrosion Behavior and Thermal Conductivity of Plasma Sprayed AlN/Al ₂ O ₃ Coating, Materials Transactions, 2006.07.15, 47 巻, 7 号, pp. 1649-1653	1-3, 6-10

☒ 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矛盾するものではなく、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

1 8 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 8 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

和瀬田 芳正

4 R

2 9 2 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

C (続き) . 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
Y	JP 2007-284724 A (N T N株式会社) 2007. 11. 01, 【0034】 - 【0045】 , 図 4 & US 2009/0245709 A1 & EP 2009145 A1 & WO 2007/119763 A1 & CN 101421436 A	2-3, 7-10
Y	JP 2011-54607 A (株式会社デンソー) 2011. 03. 17, 【0034】 - 【0042】 , 【0078】 , 【0081】 , 図 1 (ファミリーなし)	3, 10