

(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
2012年3月22日(22.03.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/035680 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 23/29 (2006.01) H01L 23/31 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/002346
- (22) 国際出願日: 2011年4月22日(22.04.2011)
- (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 2010-205054 2010年9月14日(14.09.2010) JP
特願 2011-034100 2011年2月21日(21.02.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 直江 和明 (NAOE, Kazuaki) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内 Kanagawa (JP). 佐藤 桂司 (SATO, Keishi) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内 Kanagawa (JP). 日吉 道明 (HIYOSHI, Michiaki) [JP/JP]; 〒3178511 茨城県日

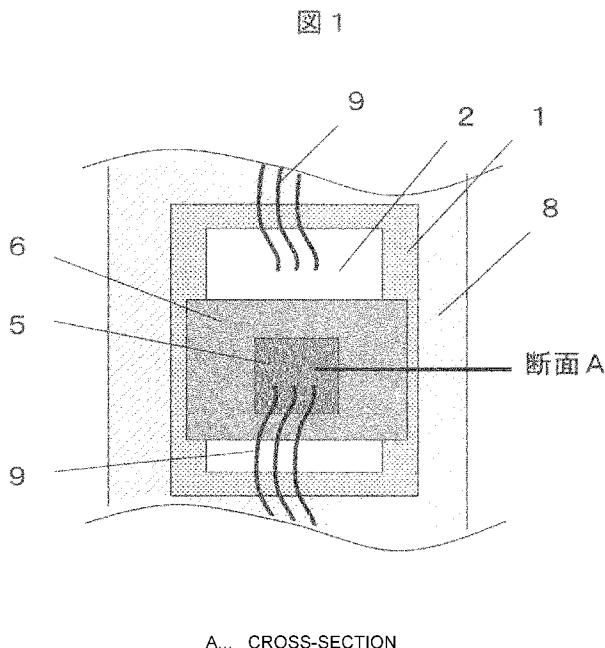
立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内 Ibaraki (JP). 中村 真人 (NAKUMURA, Masato) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内 Kanagawa (JP).

- (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, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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 MODULE AND MANUFACTURING METHOD FOR SAME

(54) 発明の名称: パワーモジュール及びその製造方法



A... CROSS-SECTION

(57) Abstract: Provided is a technique which, due to the coating of an insulating film which can effectively suppress partial discharge, both increases the operational reliability of a power module, and enables the power module to be made smaller by reducing the insulation creepage distance. In order to achieve this, the present invention provides a power module which is characterised by being provided with: an insulating substrate; a conductive pattern formed on the insulating substrate; a semiconductor chip connected to the conductive pattern by means of a joining member; an electrode which is formed on the upper surface of the semiconductor chip; and an insulating film which is made from an inorganic material and which coats the outer-peripheral end surface of the semiconductor chip, the joining member which is contiguous with the outer peripheral end surface of the semiconductor chip, the conductive pattern, and the surface of the insulating substrate.

(57) 要約: 効果的に部分放電を抑止できる絶縁膜を被覆することで、パワーモジュールの動作信頼性を向上させるとともに、絶縁沿面距離を小さくすることによるパワーモジュールの小型化が可能になる技術を提供する。上記課題を解決するため、本発明は、絶縁基板と、前記絶縁基板上に形成された導体パターンと、前記導体パターンと接合部材によ

り接続された半導体チップと、前記半導体チップ上面に形成された電極と、前記半導体チップ外周端面と、前記半導体チップ外周端面と連続する前記接合部材と、前記導体パターンと、前記絶縁基板の表面とを被覆し、無機材料からなる絶縁膜とを備えることを特徴とするパワーモジュールを提供する。

WO 2012/035680 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, ML, MR, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称： パワーモジュール及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、パワーモジュール及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1、特許文献 2 等には、絶縁基板に導体パターンを形成し、導体パターン上に半導体チップを接合部材で接続し、半導体チップ上面に形成された電極に電極と導体パターンとを接続する金属ワイヤを結んだパワーモジュールにおいて、例えば、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂等の熱硬化性樹脂や上記熱硬化性樹脂にアルミナ、シリカ等の無機粒子を含有させた絶縁体を導体パターン端部に被覆する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平 8－5 1 1 7 0 号公報

特許文献2：特開平 1 1－2 9 7 8 6 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] パワーモジュールの動作信頼性を阻害する要因の一つにパワーモジュール内部での部分放電の発生がある。特許文献 1、特許文献 2 では、部分放電を抑制するために、導体パターン端部を樹脂で被覆している。しかし、樹脂は被覆する際の膜厚制御が難しく、導体パターン端部に絶縁体を均一に被覆できないため、製品ごとで部分放電抑止効果が大きくばらつく。樹脂による被覆だけでは、部分放電抑止が不十分であるため、パワーモジュールの動作信頼性を確保するためには絶縁沿面距離を大きく設定せざるを得ない。そのため、モジュール設計の自由度が低く、モジュール小型化を阻害する要因になっている。

[0005] また、パワーモジュールの駆動時には、半導体チップが発熱と冷却を繰り返す。

返す。金属ワイヤと半導体チップとの熱膨張率の差に応じた熱応力が電極と金属ワイヤの接合部に発生し、電極と金属ワイヤの接合部において亀裂が進展し、剥離が生じる可能性があり、信頼性の向上が必要であった。

[0006] 上記問題点に鑑み本発明では、効果的に部分放電を抑止できる絶縁膜を被覆することで、パワーモジュールの動作信頼性を向上させるとともに、絶縁沿面距離を小さくすることによるパワーモジュールの小型化が可能になる技術を提供することを目的とする。

[0007] また、他の観点における本発明では、電極と金属ワイヤの接合部を補強することで、動作の信頼性を確保する技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するため、本発明は、絶縁基板と、前記絶縁基板上に形成された導体パターンと、前記導体パターンと接合部材により接続された半導体チップと、前記半導体チップ上面に形成された電極と、前記電極と、前記半導体チップと、前記接合部材と、前記導体パターンと、前記絶縁基板の表面とを被覆し、無機材料からなる絶縁膜とを備えることを特徴とするパワーモジュールを提供する。

[0009] また、他の観点における本発明は、絶縁基板と、前記絶縁基板上に形成された導体パターンと、前記導体パターンと接合部材により接続された半導体チップと、前記半導体チップ上面に形成された電極と、前記電極と前記導体パターンとを接続する金属ワイヤと、前記金属ワイヤと前記電極の接合部の少なくとも一部を被覆する無機材料からなる無機膜とを備えることを特徴とするパワーモジュールを提供する。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、効果的に部分放電を抑止できる絶縁膜を被覆することで、パワーモジュールの動作信頼性が向上するとともに、絶縁沿面距離を小さくすることによるパワーモジュールの小型化が可能となる。

[0011] また、他の観点における本発明によれば、電極と金属ワイヤの接合部を補強することで、動作の信頼性を確保することができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]実施例 1 によるパワーモジュールの模式平面図。
- [図2]図 1 の断面 A における模式断面図。
- [図3(a)]実施例 1 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図3(b)]実施例 1 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図3(c)]実施例 1 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図3(d)]実施例 1 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図4]実施例 1 によるパワーモジュールの模式断面図。
- [図5]エアロゾルデポジション装置の構成説明図。
- [図6]図 4 の断面 B における断面 S E M 画像。
- [図7]図 4 の断面 C における断面 S E M 画像。
- [図8]実施例 1 のパワーモジュールの絶縁特性を従来構造のそれと比較した結果を示す図。
- [図9]実施例 2 によるパワーモジュールの模式断面図。
- [図10]従来構造のパワーモジュールの模式断面図。
- [図11]実施例 4 によるパワーモジュールの模式平面図。
- [図12(a)]図 1 1 の断面 D における模式断面図。
- [図12(b)]図 1 1 の断面 E における模式断面図。
- [図13(a)]実施例 4 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図13(b)]実施例 4 の変形例を示すパワーモジュールの模式図。
- [図14]実施例 4 によるパワーモジュールの断面 S E M 像。
- [図15]図 1 4 の拡大 S E M 像。
- [図16]実施例 5 によるパワーモジュールの模式平面図。

発明を実施するための形態

- [0013] 図 1 0 は、従来におけるパワーモジュールの模式断面図である。図 1 0 に示すように、絶縁基板 1 に導体パターン 2 を形成し、導体パターン 2 上に半導体チップ 4 を接合部材 3 a で接続し、半導体チップ 4 上面に形成された電極 5 に金属ワイヤ 9 を結んでいる。絶縁基板 1 の導体パターン形成面の裏面

に形成された接地電極 7 は金属製の放熱板 8 と接合部材 3 b により接合される。放熱板 8 の外周に設置されたケース 10 の内部に絶縁性ゲル剤 11 を流し込み封止している。

[0014] パワーモジュールの動作信頼性を阻害する要因の一つにパワーモジュール内部での部分放電の発生がある。動作時のパワーモジュールでは、導体パターン 2 や電極 5 と接地された放熱板 8 の間に数 kV の電位差が存在するため、パワーモジュール内部の絶縁特性が不十分であると、導体パターンや電極と放熱板間に部分放電が発生する。パワーモジュール動作時に部分放電が発生するとパワーモジュールとしての性能が得られないだけでなく、部分放電を繰り返すことで絶縁破壊も招く。そのため、十分な絶縁特性を保証する設計を施すことで部分放電を抑止する必要がある。絶縁特性の向上を実現する手段としては、放熱板と導体パターン間、または導体パターン間の絶縁沿面距離を大きく設定することが一般的に知られている。

[0015] しかし、導体パターンや半導体チップに付着した金属異物、導体パターン形成時にできた絶縁基板上の金属残渣などの表面汚染が存在すると、動作電圧に対して絶縁沿面距離を十分に設定しても、表面汚染を経由して部分放電が発生する場合がある。

[0016] そこで、特許文献 1、2 に示すように部分放電を抑制するために、導体パターン端部を樹脂で被覆し絶縁特性を向上させる方法が考案されている。

[0017] しかし、樹脂は被覆する際の膜厚制御が難しく、導体パターン端部に絶縁体を均一に被覆できないため、製品ごとで部分放電抑止効果が大きくばらつく。樹脂による被覆だけでは、部分放電抑止が不十分であるため、パワーモジュールの動作信頼性を確保するためには絶縁沿面距離を大きく設定せざるを得ない。そのため、モジュール設計の自由度が低く、モジュール小型化を阻害する要因になっている。

[0018] 以下、そこで、上記問題点に鑑みなされた本発明に係る各実施例について、図面を用いて説明する。

実施例 1

[0019] 図1は本発明の実施例1におけるパワーモジュールの模式平面図であり、図2は図1の断面Aにおける模式断面図である。絶縁基板1は金属からなる放熱板8と半導体チップ4を電氣的に絶縁するための熱伝導性に優れたセラミックスからなる。絶縁基板1に形成された導体パターン2は半導体チップ4と接合部材3aにより接合される。半導体チップ4としては、IGBTなどのパワー半導体チップやこれらのパワー半導体チップを制御するための制御回路用半導体チップが挙げられる。接地電極7は、通常接地電位であり、放熱板8と接合部材3bで接合される。接合部材3a、3bとしては、はんだや銀などの金属、及び樹脂に銀を加えた銀ペーストなどが挙げられる。半導体チップ4上面には、電極5が形成されており、金属ワイヤ9が接合される。そして、半導体チップ4上面に形成された電極5、及び半導体チップ4外周端面を含み、半導体チップ4外周端面と連続する接合部材3a、導体パターン2、絶縁基板1の表面をセラミックスなどの無機材料からなる絶縁膜6で被覆する。絶縁膜に使用する無機材料としては、電氣的に絶縁性であれば、従来公知のいずれの材料も使用できる。例えば、酸化アルミニウム等の氧化物系セラミックス、または窒化アルミニウムや窒化珪素等の窒化物系セラミックス等が挙げられるが、絶縁特性、大気中での取り扱い、及びコストの点において、酸化アルミニウムが望ましい。絶縁膜6は、絶縁基板1の一部を含んでいれば良く、図3(a)に示すように絶縁膜6が絶縁基板1の端部まで被覆する場合、図3(b)に示すように絶縁膜6が放熱板8と対向する絶縁基板表面まで被覆する場合も本実施例に含まれる。また、図3(c)に示すように、絶縁膜6が接地電極7や放熱板8の一部を被覆していても良い。部分放電は電極5または導体パターン2から接地電位に向かって生じるため、接地電位である接地電極7や放熱板8を被覆することで、部分放電の抑制効果がさらに得られる。本発明は、絶縁膜6が半導体チップ4の外周端部を全て被覆する必要はなく、絶縁膜6が半導体チップ4の外周端部の一部のみを被覆していても、表面汚染に起因する部分放電の抑止効果がある。また、図3(d)のように、絶縁膜6を半導体チップ4に対して複数に分

割して成膜しても良い。

[0020] 半導体チップ上面の電極から、絶縁基板までを無機材料の絶縁膜により一括して被覆することで、部分放電発生箇所である電極端部、及び導体パターン端部を同時に被覆し、部分放電を効果的に抑止できる。さらに、従来の構造に比べ広い領域に膜厚が制御された絶縁膜を被覆することで、付着金属異物や金属残渣などの表面汚染に起因する部分放電に対しても十分な絶縁特性を保つことができる。絶縁膜の膜厚制御が容易であるため、絶縁膜の絶縁特性をもとに部分放電を確実に抑制する設計が可能になる。したがって、従来の構造よりも小さな絶縁沿面距離で絶縁仕様を満足できるようになり、パワーモジュールの小型化が可能となる。

[0021] ここで、実施例 1 におけるパワーモジュールを製造方法について説明する。図 4 に模式断面図を示す。このパワーモジュールの構成について説明する。絶縁基板 1 は窒化シリコン焼結基板であり、絶縁基板の両面にはそれぞれ銅板が導体パターン 2 及び接地電極 7 として接合されている。導体パターン上には IGBT、及び IGBT を制御するための制御回路用半導体チップが配置されている。これらの半導体チップ 4 は高温はんだ 3 a により導体パターン 2 に接続される。半導体チップ 4 上面にはアルミ電極 5 が形成されており、半導体チップ 4 間および、半導体チップ 4 と導体パターン 2 がアルミワイヤ 9 により結線される。接地電極 7 は銅の放熱板 8 と低温はんだ 3 b により接続される。そして、電極 5、及び半導体チップ 4 外周端面を含み、半導体チップ 4 外周端面と連続する接合部材 3 a、導体パターン 2、絶縁基板 1 の表面を無機材料の絶縁膜 6 で被覆する。無機材料として、絶縁性セラミックスである酸化アルミニウムを使用した。絶縁膜 6 はエアロゾルデポジション法により成膜した。その後、放熱板 8 の周囲にケース 10 を接着させ、シリコン系の絶縁性ゲル剤 11 を充填して硬化させた後、上部を封止してモジュールを完成させる。

[0022] 次に、エアロゾルデポジション法による成膜方法を説明する。エアロゾルデポジション装置の構成説明図を図 5 に示す。高圧ガスポンプ 21 を開栓し

、搬送ガスをガス搬送管 22 を通してエアロゾル発生器 23 に導入させる。エアロゾル発生器 23 にはあらかじめ酸化アルミニウムの微粒子を入れており、搬送ガスと混合されることで、酸化アルミニウム微粒子を含むエアロゾルが発生する。使用可能な搬送ガスとしては、アルゴン、窒素、ヘリウム等の不活性ガスが挙げられる。エアロゾルは、搬送管 24 を通してノズル 26 へと送られ、XY ステージ 27 に設置された基板 28 に向けてノズルの開口より高速で噴出される。このとき真空ポンプ 29 の作動により、真空チャンバー 25 内は数 100 Pa の減圧となる。原料粉末として平均粒径 $0.5 \mu\text{m}$ の酸化アルミニウム微粒子を使用し、搬送ガスとして窒素ガスを $3 \sim 15 \text{ L/min}$ の流量で装置内に流した。

[0023] 作製したパワーモジュールの電極端部（図 4 の断面 B）、及び導体パターン端部（図 4 の断面 C）での絶縁膜の断面 SEM 画像を図 6、図 7 にそれぞれ示す。下地との接合界面、及び膜中にボイドのない緻密な膜が成膜された。図 6、図 7 に示す絶縁膜の膜厚は約 $10 \mu\text{m}$ であるが、膜厚は成膜条件を変えることで容易に制御可能である。

[0024] 図 8 は実施例 1 におけるパワーモジュールの絶縁特性を絶縁破壊電圧で示し、導体パターン端部を樹脂で被覆した従来構造のパワーモジュールのそれと比較した結果を示している。従来構造の場合、絶縁破壊電圧のばらつきが大きい。これは導体パターン端部に樹脂が均一に被覆されておらず、製品ごとにその絶縁特性がばらつくためである。パワーモジュールの絶縁設計をするうえでは、ばらつきの最低値を考慮しなければならず、結果として十分な絶縁特性を保持させるためには、絶縁沿面距離を大きくするなどの手段が必要となる。一方、本実施例の構造では、絶縁破壊電圧が従来構造に比べ大きい。そのばらつきも小さい。これは、半導体チップ上面の電極から、絶縁基板までを絶縁膜で一括して被覆することで、部分放電発生箇所である電極端部、及び導体パターン端部を同時に被覆し得るうえ、従来の構造に比べ広い領域に絶縁膜を被覆することで、付着金属異物や金属残渣などの表面汚染に起因する放電に対しても十分な絶縁特性をもつためである。また、絶

縁膜の膜厚制御が容易であり、均一な絶縁膜を被覆できるため、絶縁破壊電圧のばらつきも小さい。本実施例におけるパワーモジュールでは、絶縁膜の絶縁特性をもとに部分放電を確実に抑制する設計が可能になる。したがって、従来の構造に比べパワーモジュールの動作信頼性が向上するとともに、小さな絶縁沿面距離で絶縁仕様を満足できるようになるため、パワーモジュールの小型化が可能となる。

実施例 2

[0025] 図 9 を用いて、本発明の実施例 2 を説明する。本実施例では実施例 1 と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。図 9 は実施例 2 におけるパワーモジュールの模式断面図である。実施例 2 においては、実施例 1 に記載の絶縁膜 6 が、半導体チップ 4 上面に形成された電氣的に独立した複数の電極 5 a、5 b の表面、及び電極 5 a と電極 5 b の間を被覆していること以外は実施例 1 と同様に構成される。

[0026] 半導体チップ 4 上面に電氣的に独立した複数の電極 5 a、5 b が形成されている場合、電極間に十分な絶縁を保障する距離をとらなければならない。半導体チップ上の電極間を無機材料からなる絶縁膜で被覆することで、電極間の絶縁強化が可能になる。膜厚が制御された絶縁膜を被覆することで、十分な絶縁特性を確保できる設計が可能になるため、従来構造よりも電極間の距離を小さく設定できる。これにより、電極パターンの微細化、さらにはモジュールの小型化が可能となる。

実施例 3

[0027] 実施例 3 においては、実施例 1 に記載の絶縁膜 6 を構成する無機材料が 1 種類の無機材料又は 2 種類以上の無機材料の複合物からなり、上記絶縁膜 6 が導体パターン 2 の熱膨張率より小さい値の熱膨張率を有すること以外は実施例 1 と同様に構成される。

[0028] 絶縁膜 6 は半導体チップ 4、導体パターン 2、絶縁基板 1 などの複数の基材に成膜されており、これらの基材はそれぞれ熱膨張率が異なる。例えば、半導体チップに使われる珪素の熱膨張率は $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度、導体パターン

に使われる銅の熱膨張率は $17 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度、絶縁基板に使われる窒化珪素の熱膨張率は $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。パワーモジュールの駆動時は、半導体チップ4が発熱、冷却を繰り返す。したがって、このような熱サイクルの下では、絶縁膜6と基材間の界面に熱膨張率の差に応じた熱応力が発生する。この熱応力は、絶縁膜の剥離や、絶縁膜中の欠陥導入による部分放電抑制効果の低下を引き起こす可能性がある。そこで、絶縁膜6の熱膨張率を基材に近づけ、絶縁膜6と基材との界面に働く熱応力を最小限に抑える必要がある。半導体チップ4、導体パターン2、絶縁基板1の熱膨張率を α_c 、 α_e 、 α_s とすると、一般に熱膨張率には α_c 、 $\alpha_s < \alpha_e$ の大小関係がある。したがって、絶縁膜6の熱膨張率を α_i としたとき、 α_c 、 $\alpha_s < \alpha_i < \alpha_e$ となるような無機材料を絶縁膜として選択すれば、絶縁膜6と各基材間の熱膨張率の差を均等に低減することができる。例えば、半導体チップに珪素（熱膨張率は $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度）、導体パターンに銅（熱膨張率 $17 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度）、絶縁基板に窒化珪素（熱膨張率 $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度）を使用した場合、酸化アルミニウム（熱膨張率 $7 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度）、窒化アルミニウム（熱膨張率 $5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 程度）等が絶縁膜として適している。

- [0029] 絶縁膜6の熱膨張率は、成膜に用いる原料粉末の熱膨張率と等しい。熱膨張率が異なる2種類以上の無機材料の混合粉末を原料粉末に用いることにより、その混合比に応じた熱膨張率を有する絶縁膜が得られる。そのため、パワーモジュールに使われる導体パターンや絶縁基板の熱膨張率に応じて、適切な熱膨張率をもつ絶縁膜を形成することができる。さらに、成膜箇所に応じて、絶縁膜の熱膨張率を変化させることも可能である。つまり、原料粉末の混合比を変化させながら絶縁膜を成膜することで、絶縁膜の熱膨張率が絶縁基板上では絶縁基板の熱膨張率に近く、導体パターン上では導体パターンの熱膨張率に近くなるように成膜でき、熱応力を効果的に抑制できる。

実施例 4

- [0030] 図11は本発明の実施例4におけるパワーモジュールの模式平面図であり、図12(a)、(b)はそれぞれ図11の断面D、断面Eにおける模式断

面図である。本実施例では実施例 1 と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。ただし、本実施例においては無機材料からなる絶縁膜 6 は必ずしも絶縁性をもつ膜である必要はないため、無機膜 60 と表記し、絶縁膜 6 と区別する。実施例 4 においては、無機膜 60 が、半導体チップ 4 上面に形成された電極 5 と金属ワイヤ 9 の接合部の少なくとも一部を被覆している。

[0031] パワーモジュールの動作信頼性を阻害する要因の一つに熱サイクルに伴う金属ワイヤの剥離がある。金属ワイヤ 9 は、導体パターン 2 と電極 5 とを接続するもので、半導体チップ 4 と半導体チップ 4 上の電極 5 を介して接続されている。パワーモジュールの駆動時は、半導体チップ 4 が発熱、冷却を繰り返す。したがって、このような熱サイクルの下では、半導体チップ 4 と金属ワイヤ 9 の熱膨張率の差に応じた熱応力が電極 5 と金属ワイヤ 9 の接合界面に発生する。熱応力により、電極 5 と金属ワイヤ 9 の界面部分で亀裂が発生する。駆動時間が長くなると亀裂が進展し最終的には金属ワイヤ 9 の剥離が生じる。パワーモジュールの動作安定性を確保するためには、部分放電の抑制とともに、金属ワイヤ 9 の剥離を防ぐ必要がある。金属ワイヤ接合部の補強として、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂等の熱硬化性樹脂やシリカ等の無機粒子を含有させた上記熱硬化性樹脂で金属ワイヤ接合部を補強する方法が考案されている。しかし、上記樹脂では被覆する際の膜厚制御が難しく、金属ワイヤ接合部に樹脂を均一に被覆できない。熱膨張率が大きい樹脂による接合部の不均一な被覆は、金属ワイヤの剥離を促すこともある。そのため、製品ごとで金属ワイヤ接合部の補強効果がばらつき、パワーモジュールの動作信頼性を確保できない。

[0032] そこで、実施例 4 においては、セラミックスなどの無機材料からなる無機膜 60 が、半導体チップ 4 上面に形成された電極 5 及び電極 5 との接続部における金属ワイヤ 9 の表面の少なくとも一部を被覆している構造をとる。金属ワイヤ 9 より熱膨張率の小さいセラミックスなどの無機材料で接続部の金属ワイヤ表面を被覆することで、高温時の金属ワイヤ 9 の熱膨張を抑え、電

極 5 と金属ワイヤ 9 の接合界面にはたらく熱応力を低減することができる。
これにより、接合界面の亀裂の発生、及び亀裂の進展を抑制することができる、
金属ワイヤの剥離に起因するパワーモジュールの破壊を抑制することができる。

[0033] さらに、成膜時に室温において無機膜 60 に圧縮応力を残留させることが可能である。このとき、無機膜 60 の基板側となる電極 5 と半導体チップ 4 には引張応力が残留する。室温において半導体チップ 4 に加わる引張応力は、高温時に接合部材 3 a に加わる熱応力を低減する効果がある。これにより、熱サイクルによる接合部材 3 a の疲労低減に効果があり、接合部材 3 a 内のクラック進展に起因するパワーモジュールの破壊も抑制することができる。

[0034] 無機膜 60 に使用する無機材料としては、金属ワイヤ 9 より熱膨張率が小さければ、いずれの材料も使用できる。例えば、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム等の酸化物系セラミックス、または窒化アルミニウムや窒化珪素等の窒化物系セラミックス、または炭化珪素等の炭化物系セラミックス等が挙げられる。また、無機膜を構成する無機材料は 1 種類である必要は無く、2 種類以上の無機材料が混在していても良い。無機膜の熱膨張率は、成膜に用いる原料粉末の熱膨張率と等しい。熱膨張率が異なる 2 種類以上の無機材料の混合粉末を原料粉末に用いることにより、その混合比に応じた熱膨張率を有する膜が得られる。そのため、パワーモジュールに使われる金属ワイヤや半導体チップの熱膨張率に応じて、適切な熱膨張率をもつ無機膜を形成することができる。

[0035] 本実施例によるパワーモジュールでは、無機膜 60 が半導体チップ 4 上の電極 5、及び電極 5 との接合部における金属ワイヤ 9 表面の一部を被覆していれば良く、図 13 (a)、(b) に示すように、金属ワイヤ 9 表面、及び電極 5 表面に膜が成膜されていない箇所があっても良い。

[0036] 実施例 4 におけるパワーモジュールの作製方法を説明する。無機膜 60 以外のパワーモジュールの構成要素は実施例 1 と同じであるため、説明を省略

する。無機膜60の構成材料として、酸化アルミニウムを選択し、エアロゾルデポジション法により、無機膜60が、半導体チップ4上面に形成された電極5及び電極5との接続部における金属ワイヤ9の表面の少なくとも一部を被覆するように成膜した。エアロゾルデポジション法による成膜では、原料粉末として平均粒径 $0.5\mu\text{m}$ の酸化アルミニウム微粒子を使用し、搬送ガスとして窒素ガスを $3\sim15\text{L}/\text{min}$ の流量で装置内に流した。

[0037] 作製したパワーモジュールの金属ワイヤ接合部におけるSEM画像を図14に示す。また無機膜と下地の電極、及び金属ワイヤの接合界面を拡大したSEM画像を図15に示す。下地との接合界面、及び膜中にボイドのない緻密な膜が成膜された。図14、図15に示す酸化アルミニウム膜の膜厚は約 $20\mu\text{m}$ であるが、膜厚は成膜条件を変えることで容易に制御可能である。

[0038] 酸化アルミニウム膜および半導体チップにはたらく残留応力をX線の $\sin 2\psi$ 法により調べた。成膜により、酸化アルミニウム膜には $50\sim200\text{MPa}$ 程度の圧縮応力、半導体チップには $0\sim200\text{MPa}$ 程度の引張応力が付与されていることを確認した。室温において半導体チップ4に加わる引張応力は、高温時にはんだに加わる熱応力を低減するため、パワーサイクル時のはんだ疲労の低減に効果があり、はんだのクラック進展に起因するパワーモジュールの破壊も抑制することができる。

[0039] 以上の構成でパワーサイクル試験を行った結果、ジャンクション温度 $50\sim150^\circ\text{C}$ では、 40000 サイクルでもパワーモジュールが破壊されないことを確認した。一方、金属ワイヤ接合部の補強として、樹脂を用いた従来構造では、パワーサイクルの寿命が 40000 サイクルに到達しない。これは、樹脂では被覆する際の、膜厚制御が難しく、熱膨張率が大きい樹脂による接合部の不均一な被覆が金属ワイヤの剥離を促すためである。本実施例におけるパワーモジュールでは、半導体チップ上面に形成された電極及び電極との接続部における金属ワイヤの表面を無機膜により被覆し、さらに無機膜に圧縮応力を付与することで、パワーモジュールの動作信頼性を向上させることができる。

実施例 5

[0040] 図 16 は本発明の実施例 5 におけるパワーモジュールの模式平面図である。本実施例では実施例 4 と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。本実施例においては、無機材料として電氣的に絶縁性の材料を選択し、無機膜 60 を半導体チップ 4 上の電極 5 から、絶縁基板 1 までを一括して被覆することを特徴とする。

[0041] 無機材料に絶縁性の材料を選択することで、実施例 5 に記載したパワーサイクル特性の向上だけでなく、実施例 4 に記載したパワーモジュールの絶縁特性の向上、及びパワーモジュールの小型化も可能となる。その際、絶縁膜に使用する無機材料としては、電氣的に絶縁性であれば、従来公知のいずれの材料も使用できる。例えば、酸化アルミニウム等の酸化物系セラミックス、または窒化アルミニウムや窒化珪素等の窒化物系セラミックス等が挙げられるが、絶縁特性、大気中での取り扱い、及びコストの点において、酸化アルミニウムが望ましい。

[0042] これまで説明してきた実施例は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の一例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されない。すなわち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

符号の説明

- [0043] 1 絶縁基板
2 導体パターン
3 a、3 b 接合部材
4 半導体チップ
5、5 a、5 b 電極
6 絶縁膜
7 接地電極
8 放熱板
9 金属ワイヤ

- 1 0 ケース
- 1 1 絶縁性ゲル剤
- 2 1 高圧ガスポンベ
- 2 2、2 4 搬送管
- 2 3 エアロゾル発生器
- 2 5 真空チャンバー
- 2 6 ノズル
- 2 7 X Y ステージ
- 2 8 基板
- 2 9 真空ポンプ
- 6 0 無機膜

請求の範囲

- [請求項1] 絶縁基板と、
前記絶縁基板上に形成された導体パターンと、
前記導体パターンと接合部材により接続された半導体チップと、
前記半導体チップ上面に形成された電極と、
前記電極と、前記半導体チップと、前記接合部材と、前記導体パターンと、前記絶縁基板の表面とを被覆し、無機材料からなる絶縁膜とを備えることを特徴とするパワーモジュール。
- [請求項2] 前記絶縁基板の前記導体パターンが形成された面と反対側の面に形成された接地電極と
、前記接地電極上に形成された放熱板を備え、前記接地電極と前記放熱板を無機材料からなる絶縁膜で被覆することを特徴とする請求項1に記載のパワーモジュール。
- [請求項3] 前記電極は電氣的に独立した複数の電極より形成され、前記絶縁膜が半導体チップ上に形成された電氣的に独立した複数の電極の表面及び前記電極間を被覆することを特徴とする請求項1または2のいずれかに記載のパワーモジュール。
- [請求項4] 前記絶縁膜が、酸化アルミニウムから構成されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のパワーモジュール。
- [請求項5] 前記絶縁膜を構成する無機材料が1種類の無機材料又は2種類以上の無機材料の複合物からなり、前記絶縁膜が前記導体パターンの熱膨張率より小さい値の熱膨張率を有するこ

とを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のパワーモジュール。
。

[請求項6] 前記絶縁膜がエアロゾルデポジション法に代表される粒子衝突成膜法により形成される
ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のパワーモジュールの製造方法。

[請求項7] 絶縁基板と、
前記絶縁基板上に形成された導体パターンと、
前記導体パターンと接合部材により接続された半導体チップと、
前記半導体チップ上面に形成された電極と、
前記電極と前記導体パターンとを接続する金属ワイヤと、
前記金属ワイヤと前記電極の接合部の少なくとも一部を被覆する無機材料からなる無機膜とを備えることを特徴とするパワーモジュール。

[請求項8] 前記無機膜を構成する無機材料が絶縁性の材料からなり、前記半導体チップ外周端面と
、前記半導体チップ外周端面と連続する前記接合部材と、前記導体パターンと、前記絶縁
基板の表面とを被覆することを特徴とする請求項 7 に記載のパワーモジュール。

[請求項9] 前記無機膜を構成する無機材料が 1 種類の無機材料又は 2 種類以上の無機材料の複合物
からなり、前記無機膜が前記金属ワイヤの熱膨張率より小さい値の熱膨張率を有すること
を特徴とする請求項 7 または 8 に記載のパワーモジュール。

[請求項10] 前記無機膜に圧縮応力が残留することを特徴とする請求項 7 乃至 9 のいずれかに記載の
パワーモジュール。

[請求項11] 前記無機膜がエアロゾルデポジション法に代表される粒子衝突成膜法により形成されることを特徴とする請求項7乃至10のいずれかに記載のパワーモジュールの製造方法。

図 1

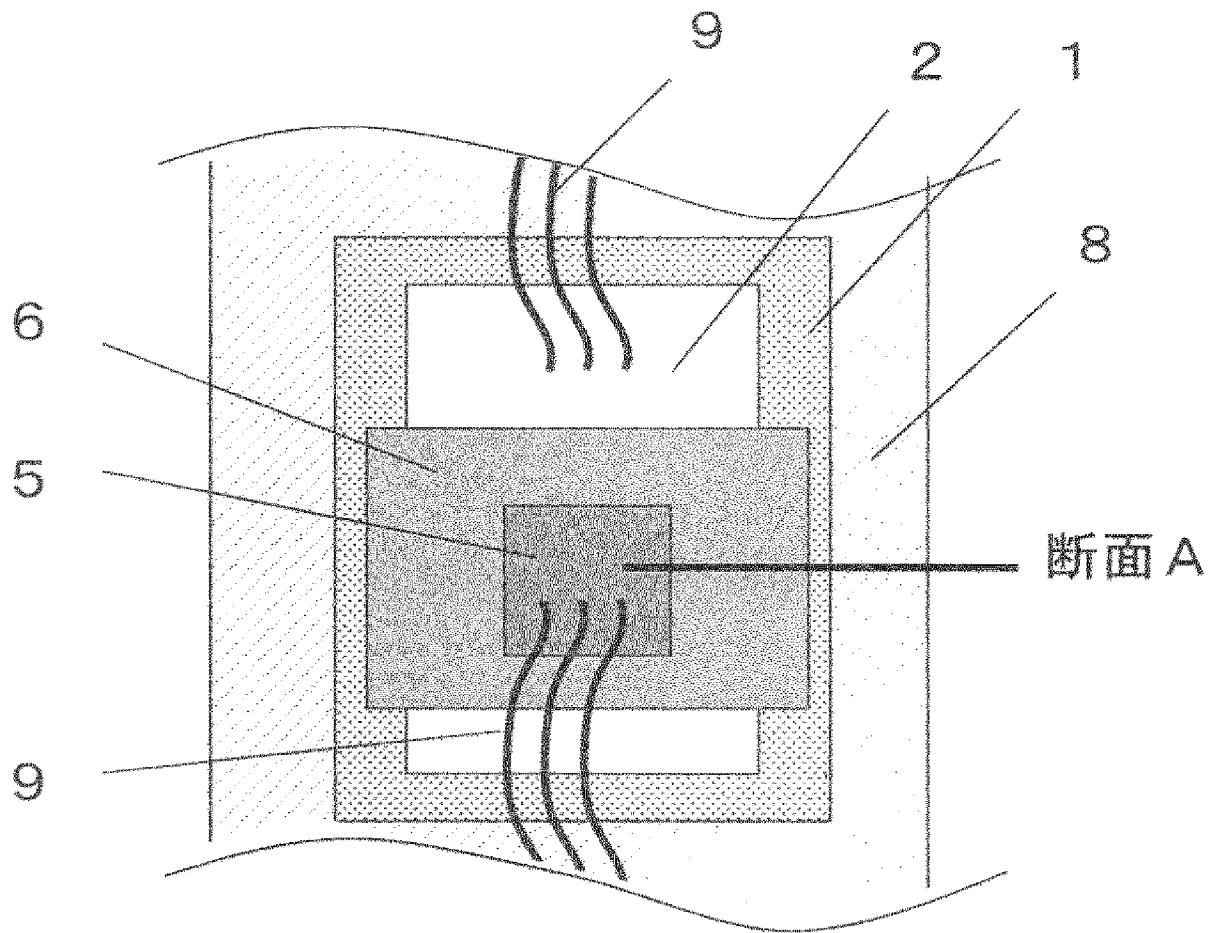


図 2

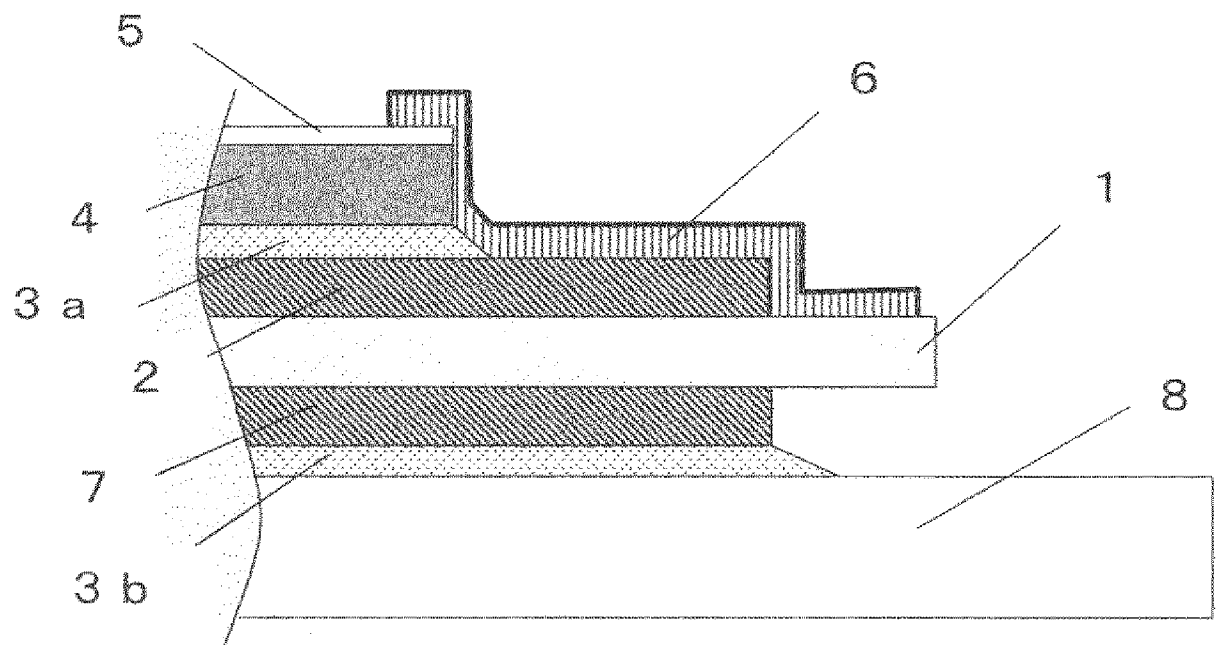


図 3 (a)

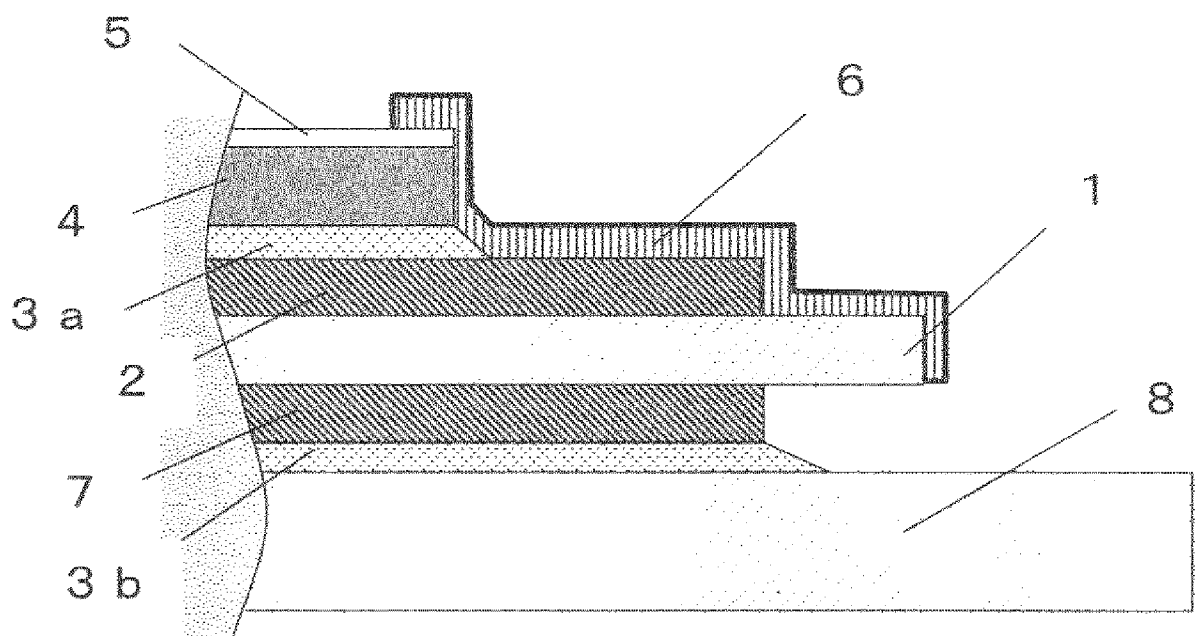


図 3 (b)

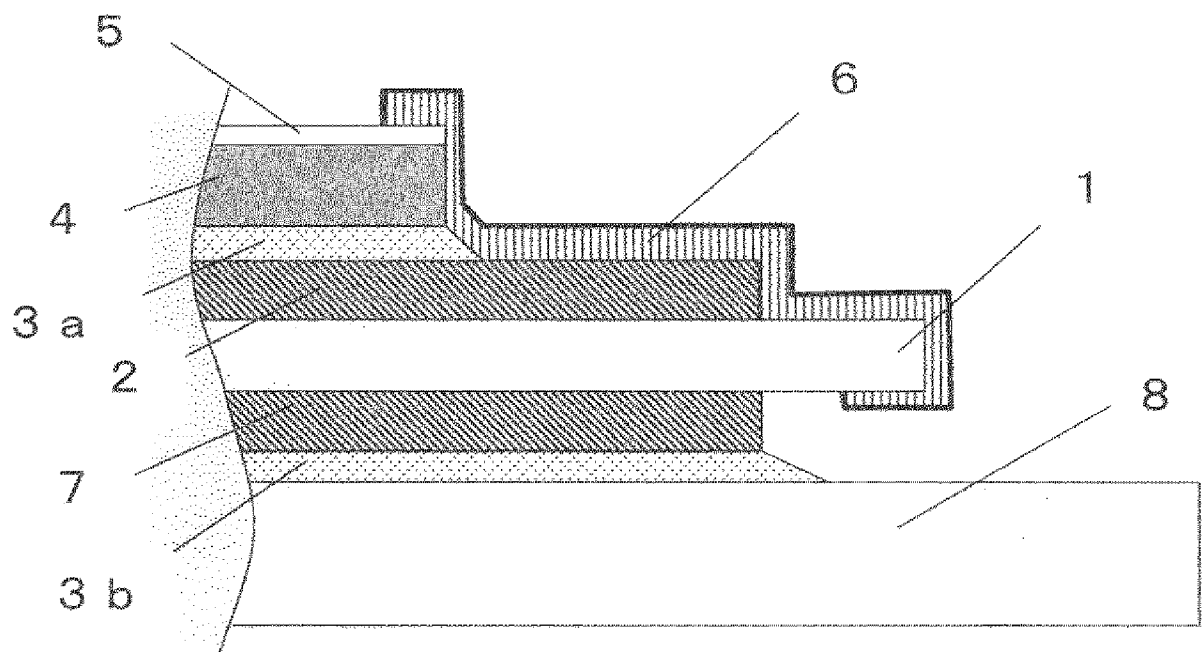


図 3 (c)

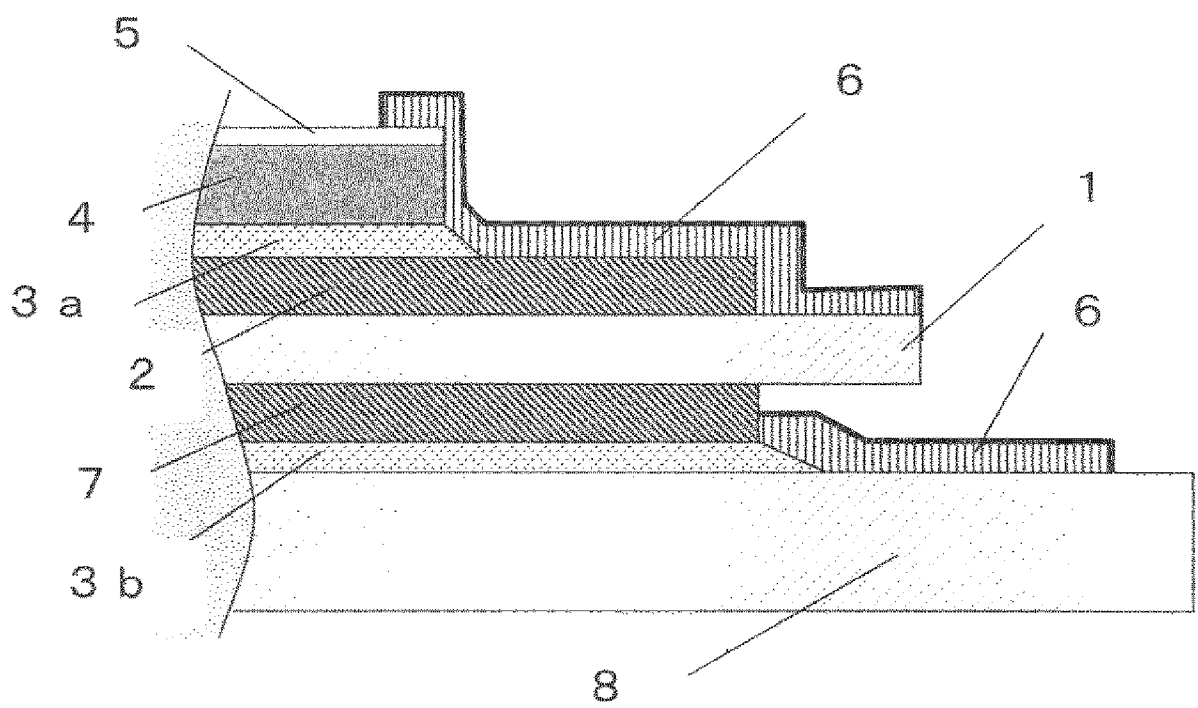


図 3 (d)

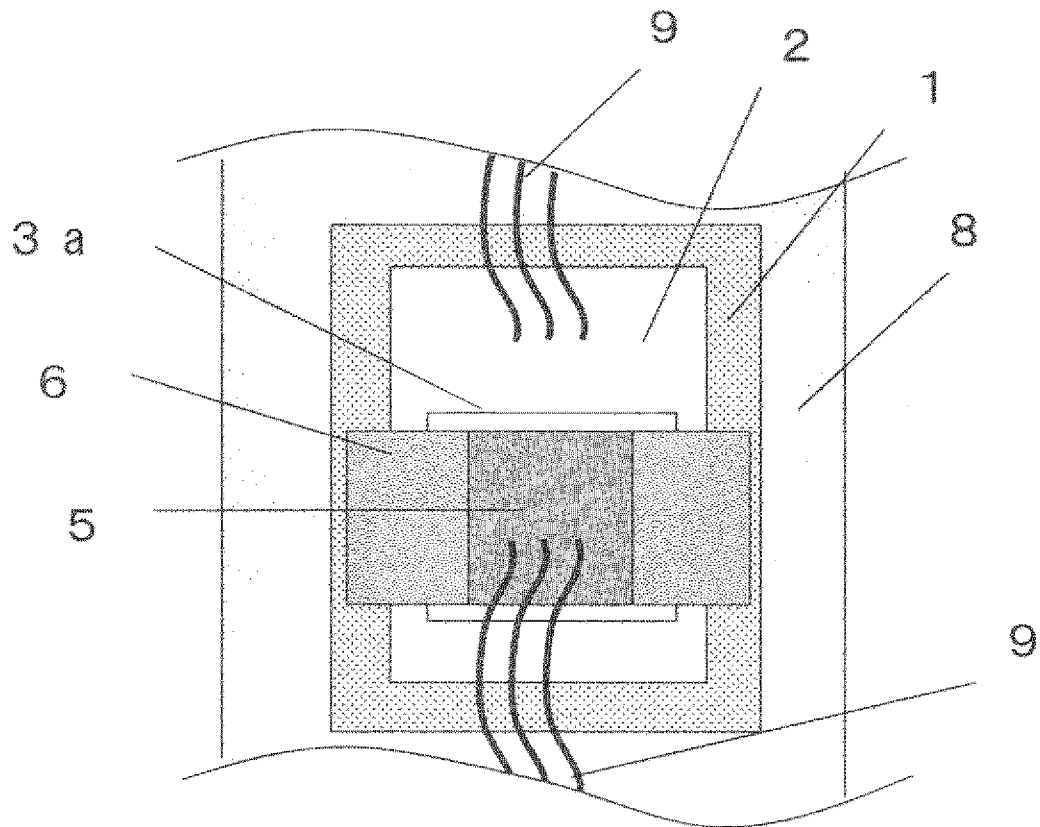


図 4

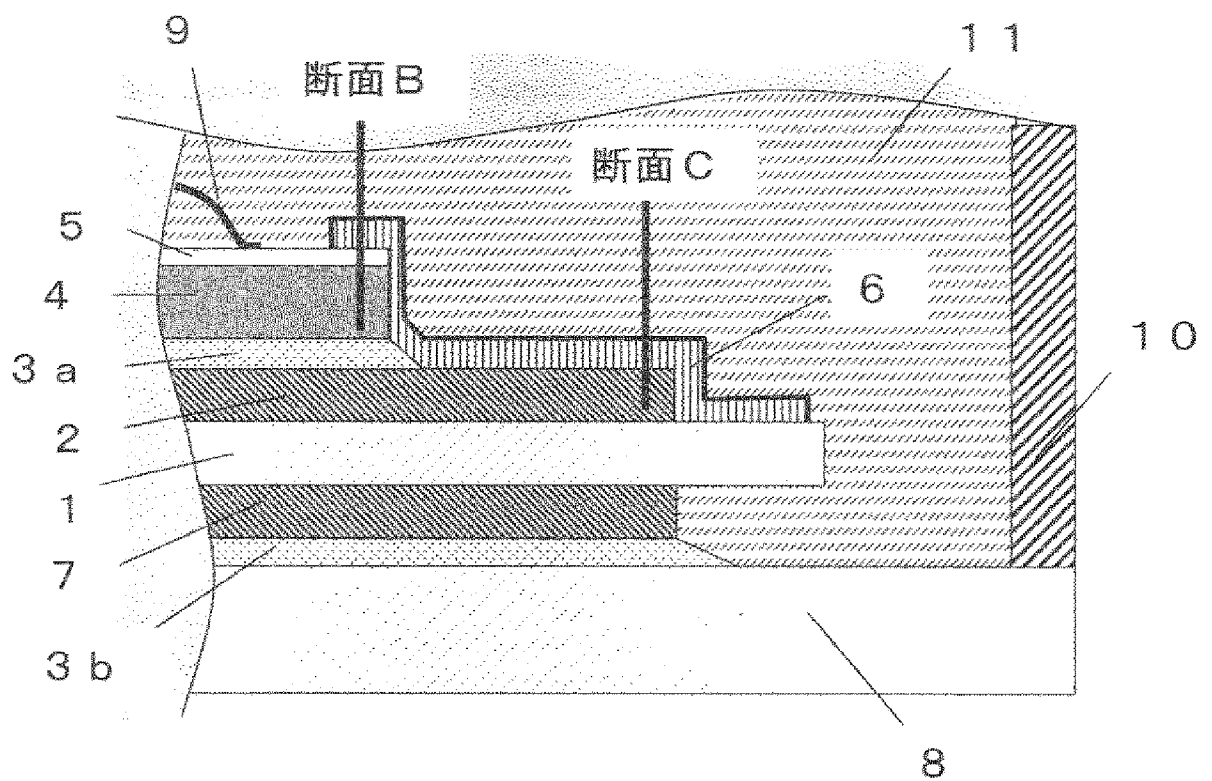


図 5

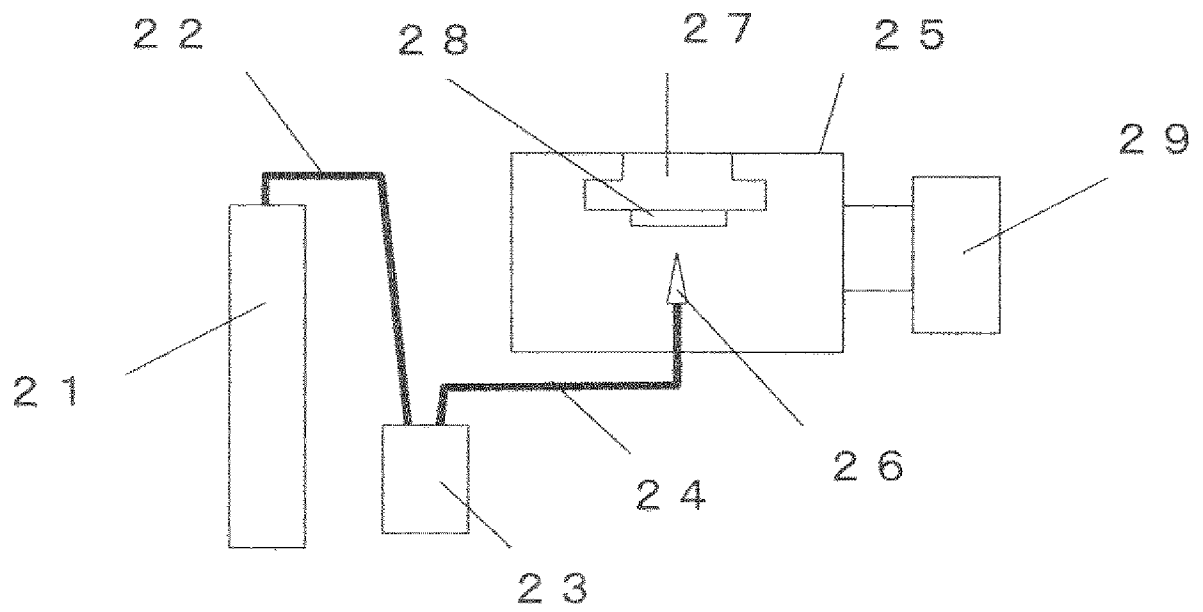


図 6

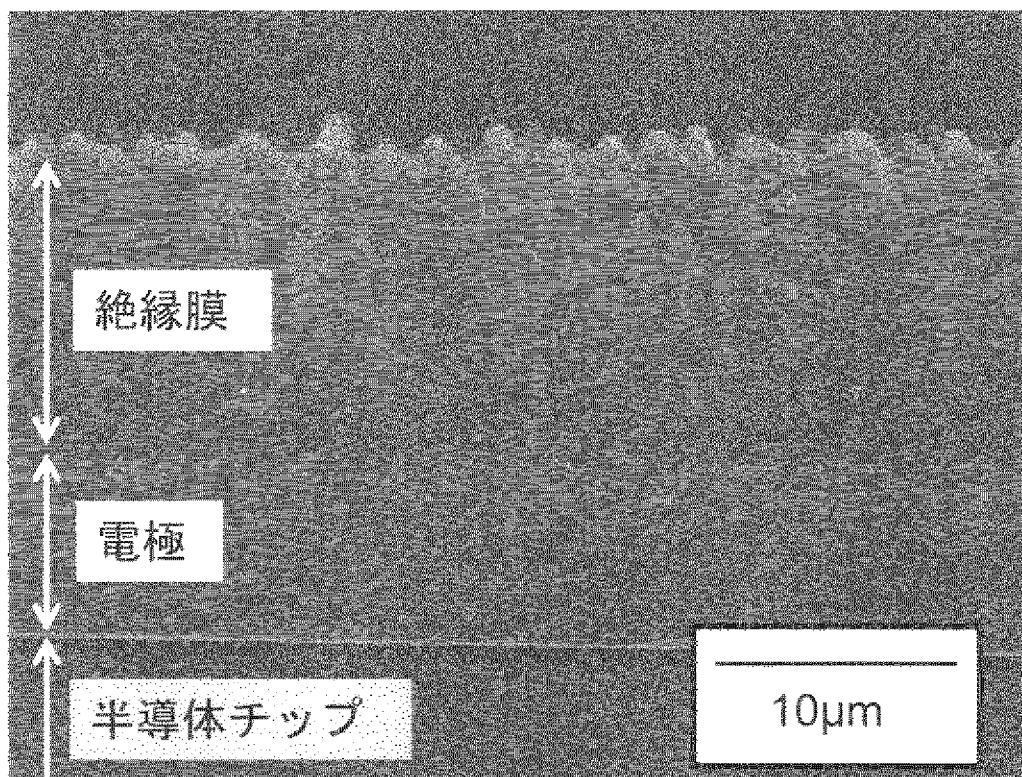


図 7

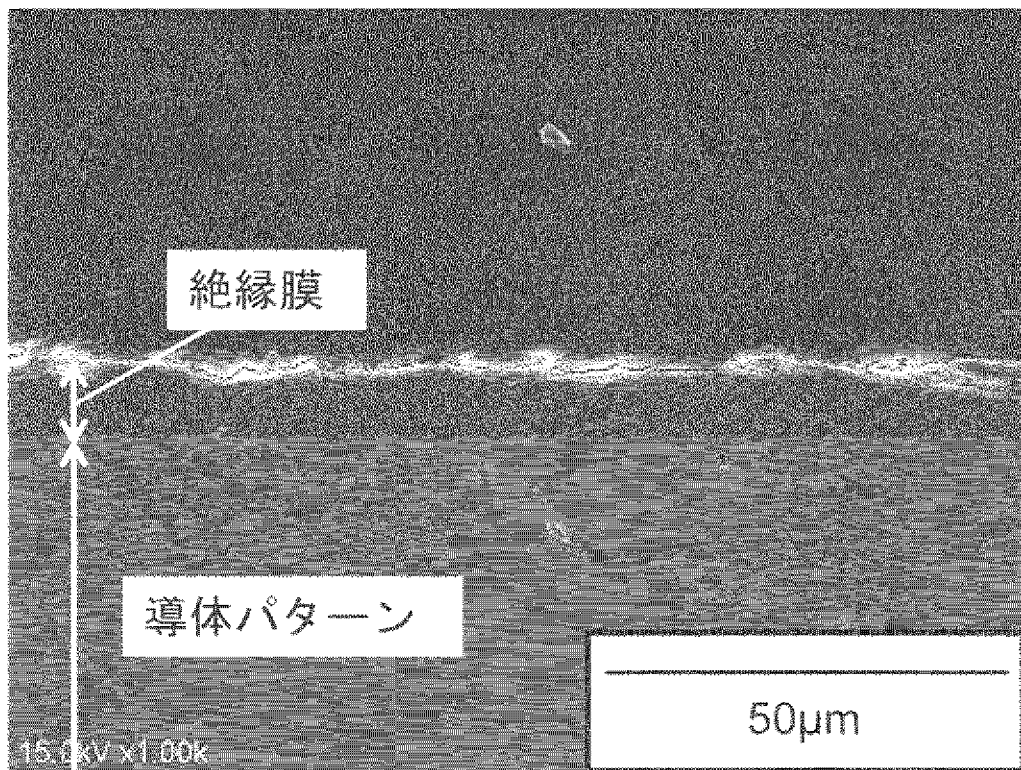
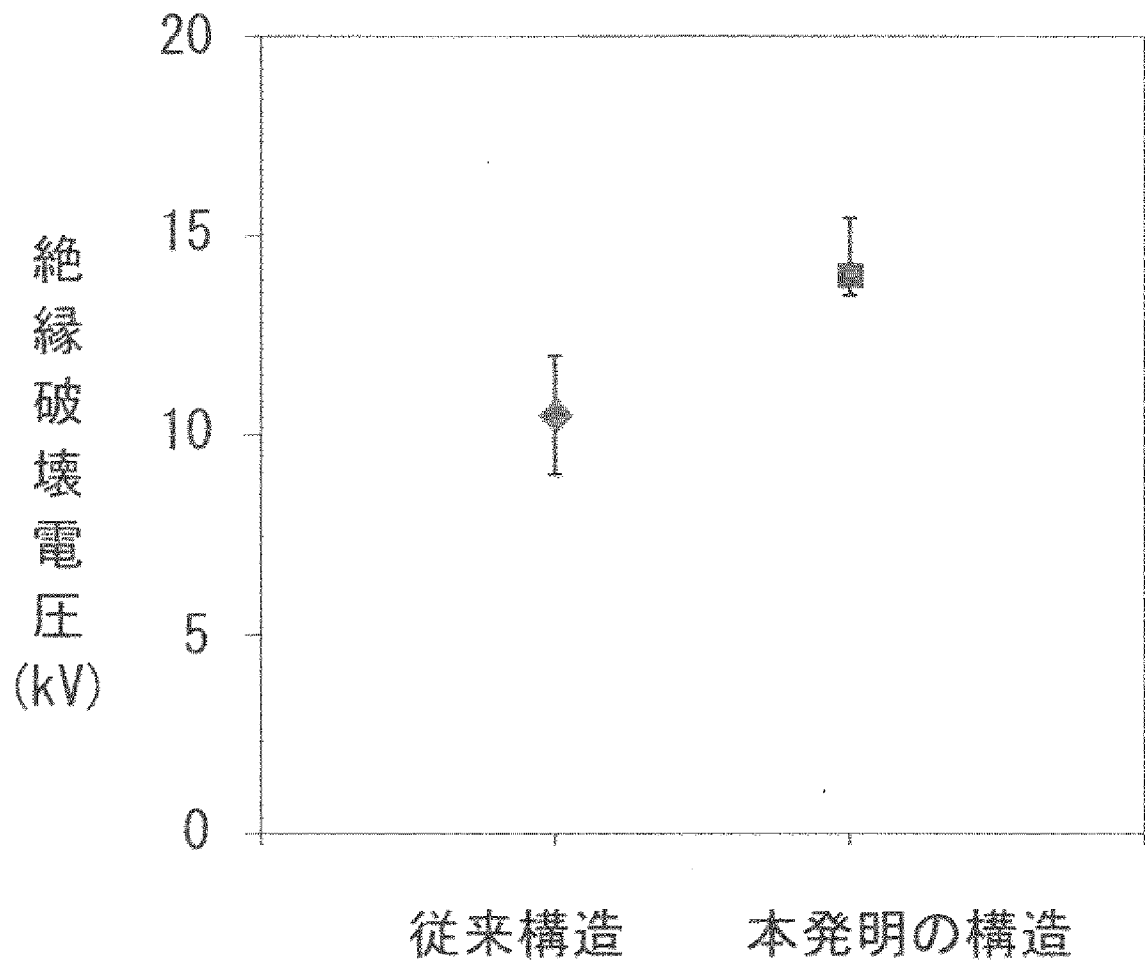


図 8



A cross-sectional view of a multi-layered structure. The structure consists of several layers: a top layer (1) with a textured pattern, a layer (2) with a diagonal hatching pattern, a layer (3a) with a dotted pattern, and a layer (3b) with a diagonal hatching pattern. Below these is a layer (4) with a dotted pattern, and a bottom layer (5a) with a diagonal hatching pattern. A central vertical feature (5b) is shown, which is a rectangular block with a textured pattern. To the right of this feature is a layer (6) with a diagonal hatching pattern. The entire structure is supported by a base (8) with a dotted pattern. A curved line (7) is shown on the left side of the structure.

図 1 1

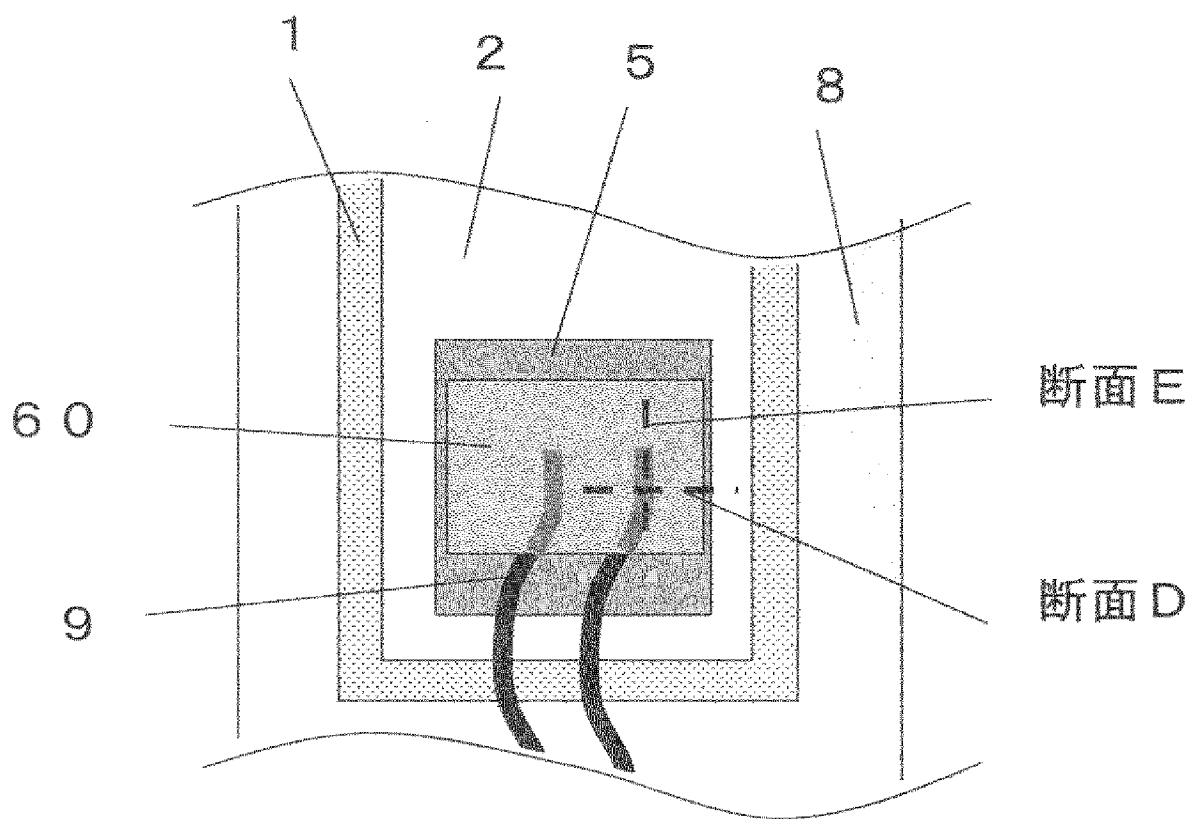


図 1 2 (a)

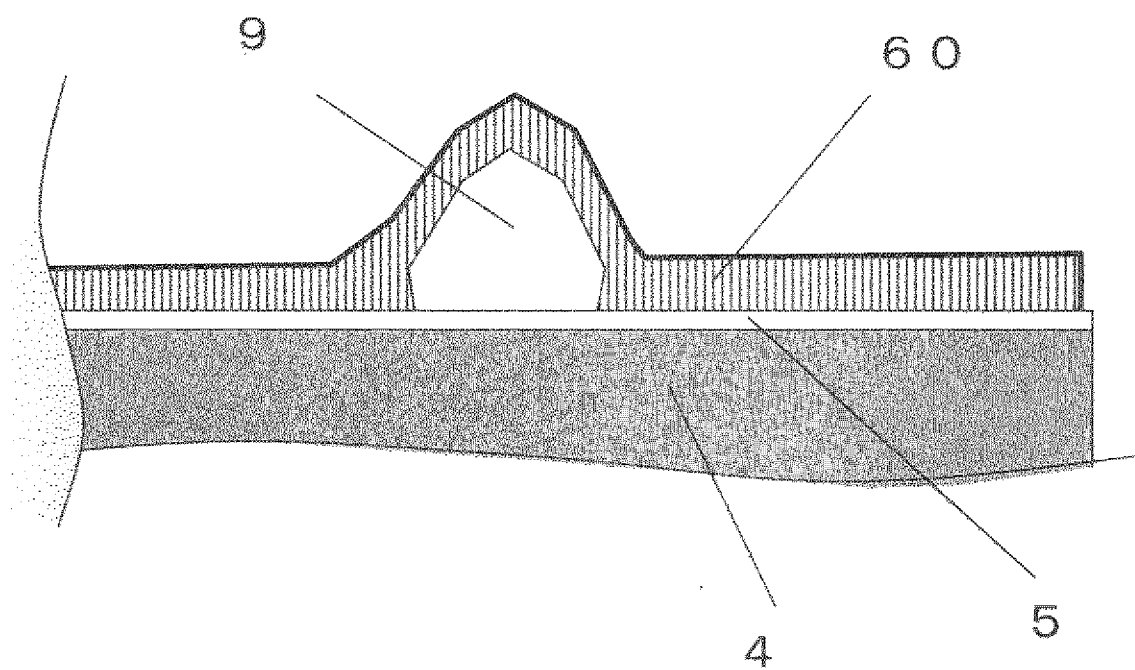


図 12 (b)

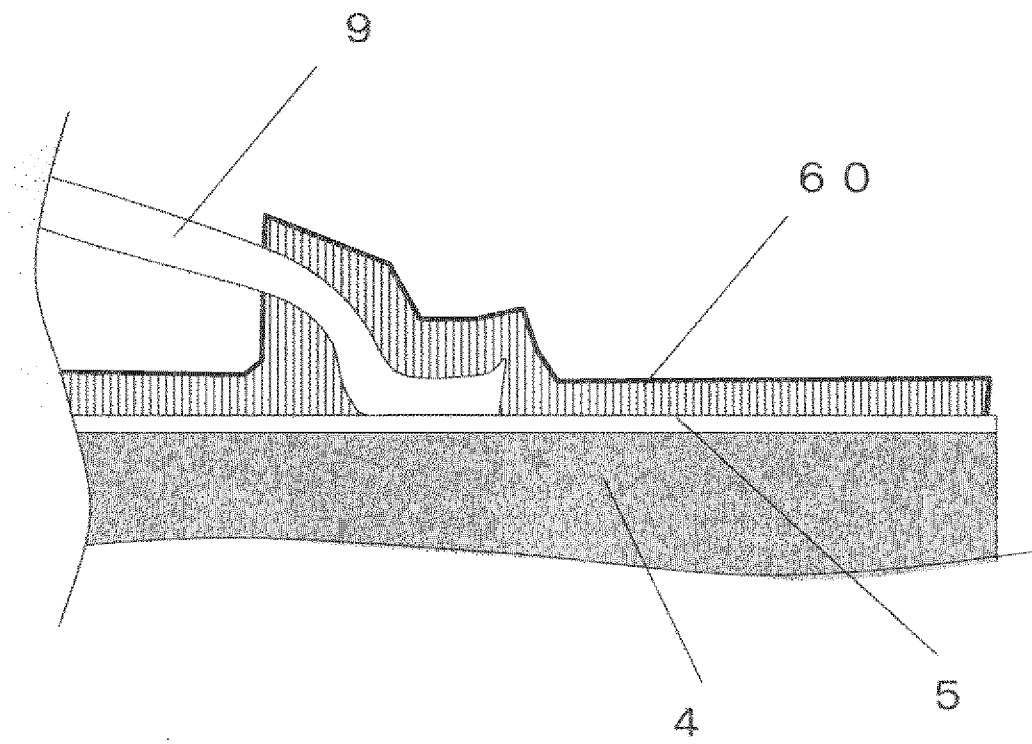


図 13 (a)

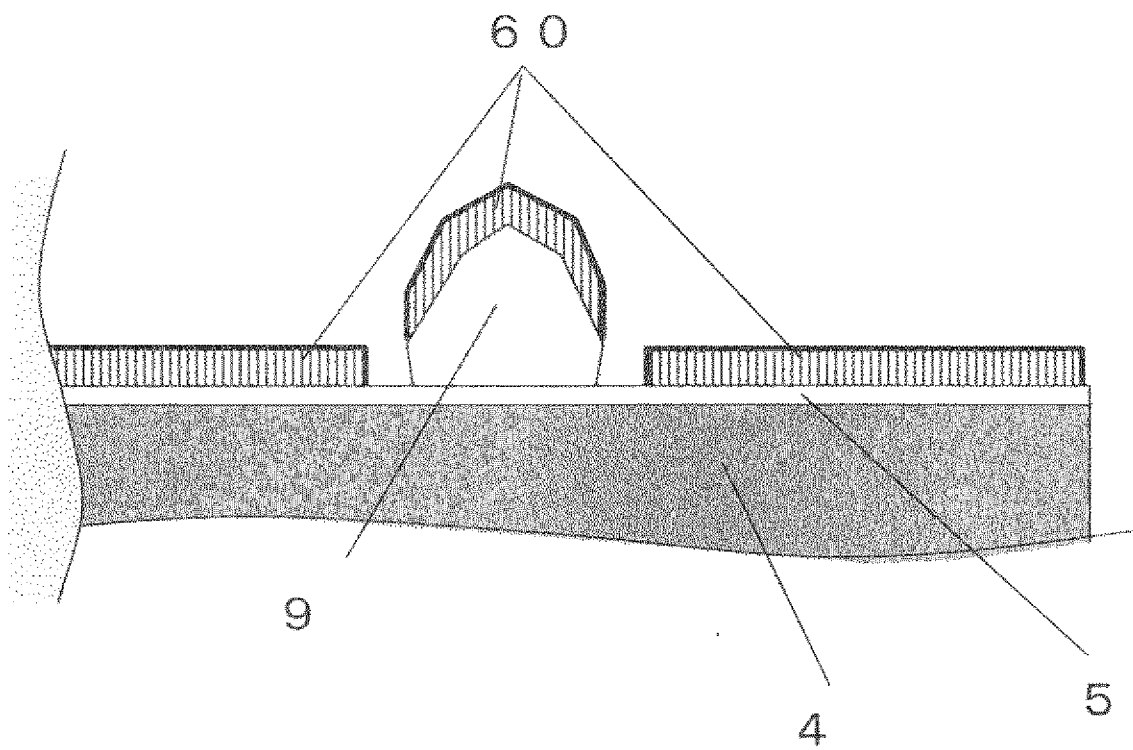


図 1 3 (b)

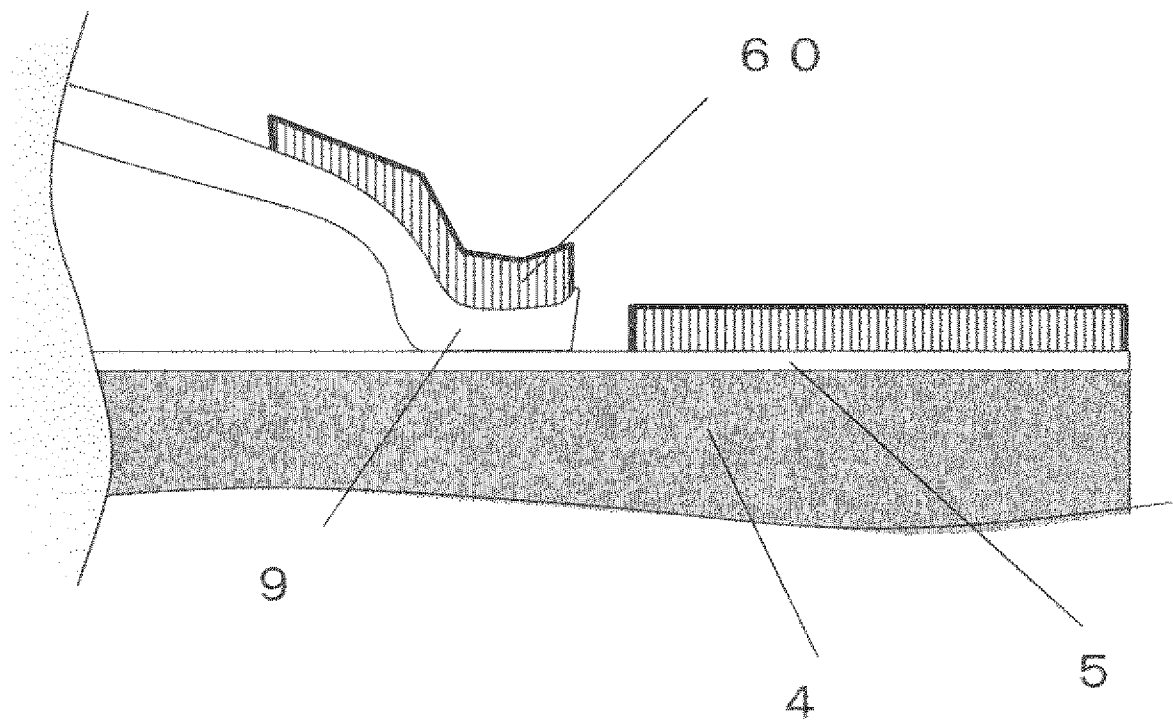


図 1 4

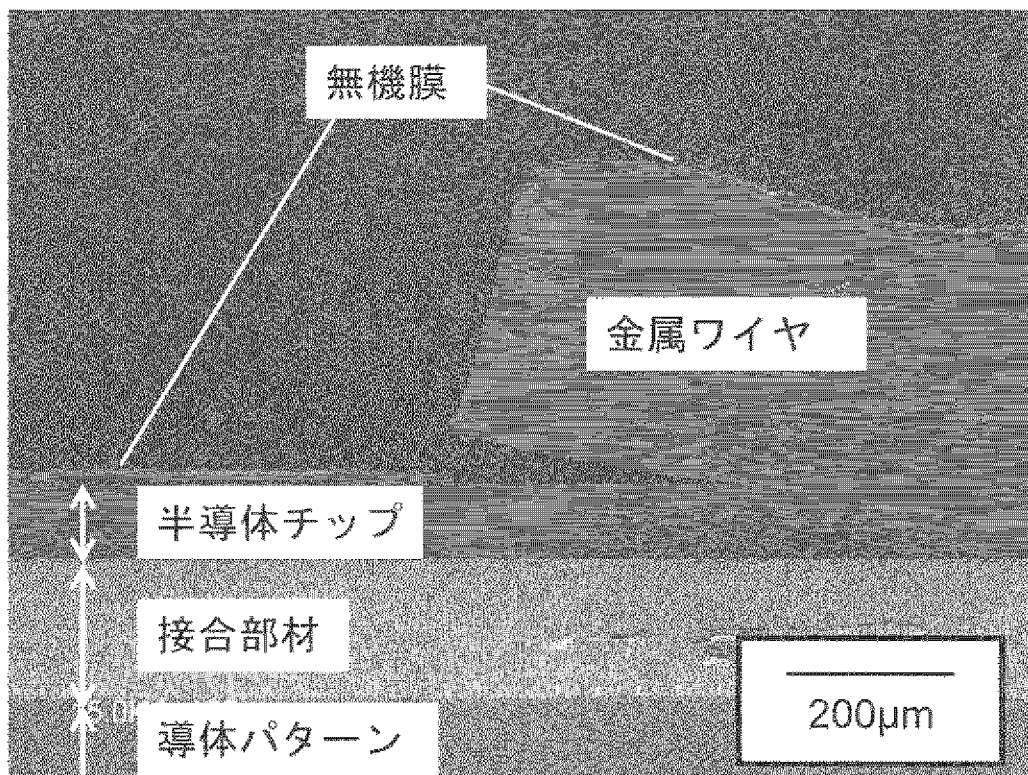


図 15

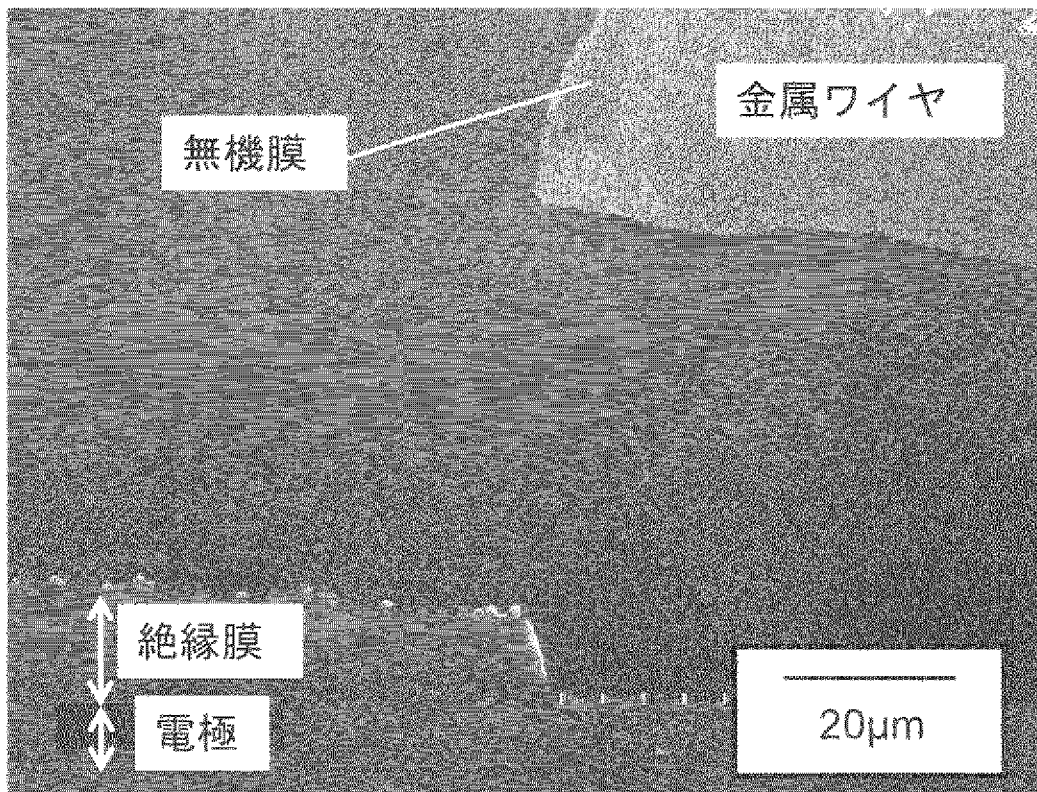
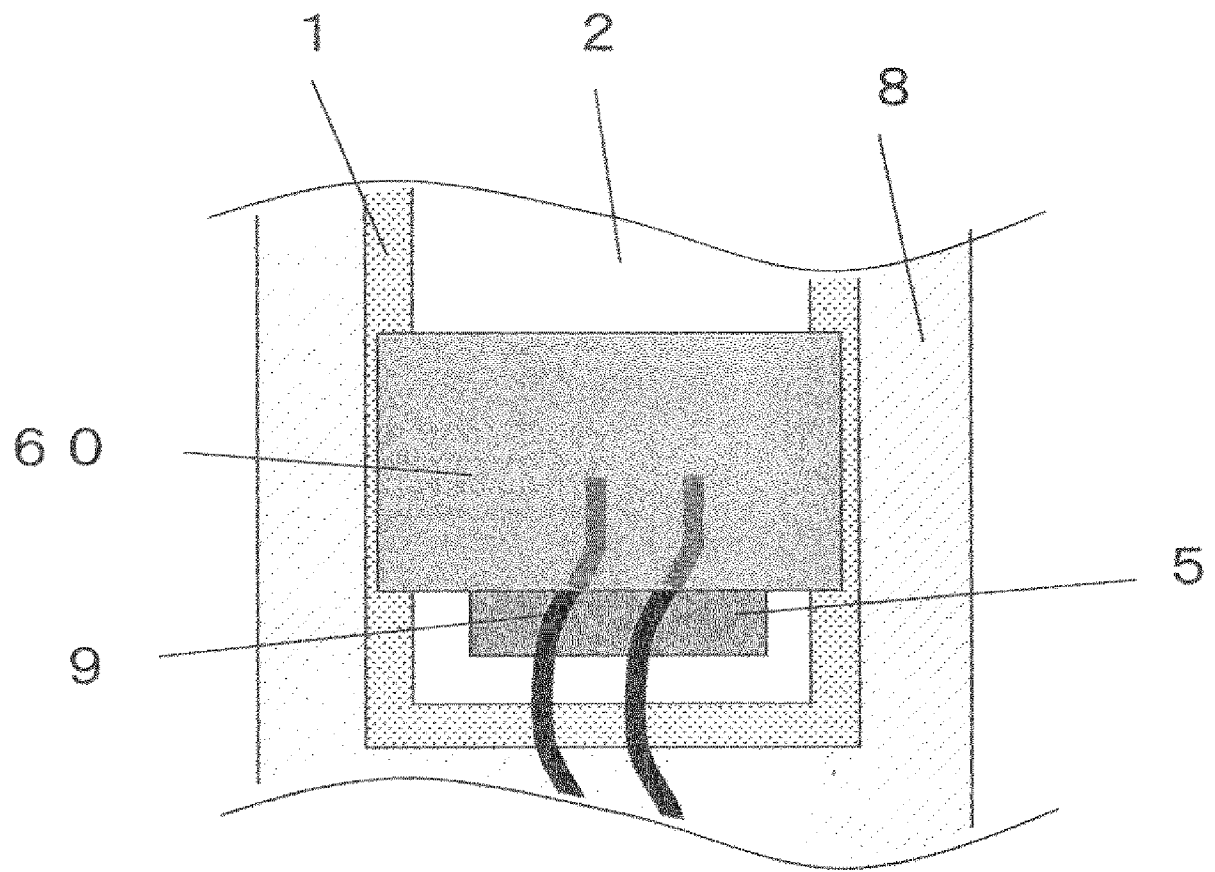


図 16



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/002346

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L23/29(2006.01) i, H01L23/31(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)

H01L23/29, H01L23/31, H01L21/56, H01L23/00, H01L23/12, H01L25/04

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
Y	JP 2002-76197 A (Toshiba Corp.), 15 March 2002 (15.03.2002), paragraphs [0032] to [0045]; fig. 1 (Family: none)	1-11
Y	JP 2010-157695 A (Myung Jin Yim), 15 July 2010 (15.07.2010), paragraphs [0006] to [0022]; fig. 1 to 4 & US 2010/0164083 A & DE 102009051342 A & CN 101770958 A & KR 10-2010-0080353 A	1-11
Y	JP 2009-302526 A (Denso Corp.), 24 December 2009 (24.12.2009), paragraph [0068] (Family: none)	6, 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
13 May, 2011 (13.05.11)

Date of mailing of the international search report
24 May, 2011 (24.05.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L23/29(2006.01)i, H01L23/31(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. H01L23/29, H01L23/31, H01L21/56, H01L23/00, H01L23/12, H01L25/04

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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
Y	JP 2002-76197 A (株式会社東芝) 2002.03.15, [0032]-[0045], 図 1 (ファミリーなし)	1-11
Y	JP 2010-157695 A (ミュン ジン イム) 2010.07.15, [0006]-[0022], 図 1-4 & US 2010/0164083 A & DE 102009051342 A & CN 101770958 A & KR 10-2010-0080353 A	1-11

☒ 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 3 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 5 . 2 0 1 1

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)

坂本 薫昭

4 R

9 2 6 5

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 2009-302526 A (株式会社デンソー) 2009. 12. 24, [0068] (ファミリーなし)	6, 11