

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4023397号
(P4023397)

(45) 発行日 平成19年12月19日(2007.12.19)

(24) 登録日 平成19年10月12日(2007.10.12)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 L 23/36	(2006.01)	HO 1 L 23/36	C
HO 1 L 23/373	(2006.01)	HO 1 L 23/36	M
HO 1 L 25/07	(2006.01)	HO 1 L 25/04	C
HO 1 L 25/18	(2006.01)		

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2003-170395 (P2003-170395)	(73) 特許権者	503361927
(22) 出願日	平成15年6月16日(2003.6.16)		富士電機機器制御株式会社
(65) 公開番号	特開2005-5638 (P2005-5638A)		東京都品川区大崎一丁目11番2号
(43) 公開日	平成17年1月6日(2005.1.6)	(74) 代理人	100091281
審査請求日	平成18年4月14日(2006.4.14)		弁理士 森田 雄一
(31) 優先権主張番号	特願2003-109801 (P2003-109801)	(72) 発明者	岡本 健次
(32) 優先日	平成15年4月15日(2003.4.15)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		富士電機株式会社内
		(72) 発明者	岡村 誠
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		(72) 発明者	内田 真治
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体モジュールおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1 または複数の回路素子を搭載し、樹脂によって封止され、形成された半導体モジュールにおいて、

回路素子を搭載するための回路パターンが形成されたリードフレームと、

回路素子およびリードフレームの回路素子搭載面を覆い、かつ、リードフレームの回路素子非搭載面である下面と同じ高さの下面を有する成形樹脂と、

リードフレームの回路素子非搭載面である下面および成形樹脂の下面を覆うように溶射されるセラミックス絶縁層と、

を備え、

前記セラミックス絶縁層は、熱伝導率が $4 \sim 270 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり、かつ厚さが $50 \sim 500 \mu\text{m}$ であることを特徴とす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において、

前記セラミックス絶縁層は、酸化珪素、酸化アルミニウム、窒化珪素、窒化ホウ素、窒化アルミニウムの中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により溶射形成される層であることを特徴とする半導体モジュール。

【請求項3】

1 または複数の回路素子を搭載し、樹脂によって封止され、形成された請求項1または請求項2に記載した半導体モジュールの製造方法において、

予め成形加工されたリードフレームに回路素子を接合する第 1 工程と、
回路素子とリードフレームとをボンディングワイヤにより接続する第 2 工程と、
リードフレームの回路素子非搭載面である下面と同じ高さの下面を有するように、回路素子およびリードフレームの回路素子搭載面を覆う成形樹脂を形成する第 3 工程と、
溶射法により、粒子セラミックスをリードフレームの回路素子非搭載面である下面および成形樹脂の下面に溶射して、厚さが 50 ~ 500 μm のセラミックス絶縁層を形成する第 4 工程と、

を有することを特徴とする半導体モジュールの製造方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記溶射法は、プラズマ溶射法であることを特徴とする半導体モジュールの製造方法。

10

【請求項 5】

請求項 3 に記載の半導体モジュールの製造方法において、
前記溶射法は、コールドスプレーであることを特徴とする半導体モジュールの製造方法

。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体モジュールおよびその製造方法に関し、より詳細には、1 または複数の回路素子を搭載し、樹脂によって封止され、形成される半導体モジュールおよびその製造方法に関する。

20

【0002】

【従来の技術】

電源装置に使用される半導体モジュールは、家庭用エアコン、冷蔵庫などの民生機器から、インバータ、サーボコントローラなどの産業機器まで、広範囲にわたって適用されている。半導体モジュールは、消費電力の点から、金属ベース基板やセラミックス基板などの配線板に搭載される。この配線板にパワー半導体などの 1 または複数の回路素子を搭載し、プラスチックケース枠を接着し、シリコンゲルやエポキシ樹脂などで封止することによって半導体モジュールを製造する。

【0003】

一方、製造コストを低減するために、トランスファー成形方式により製造されるフルモールド半導体モジュールが用いられている（例えば、特許文献 1 参照）。フルモールド半導体モジュールは、リードフレーム、ヒートシンクとを固定的に連結するとともに、電気的絶縁を確保している。

30

【0004】

図 5 に、このような従来のフルモールド半導体モジュールの第 1 例を示す。リードフレーム 21 の上には、パワー半導体 22、駆動 IC 23 が実装され、ボンディングワイヤ 24、25 により相互に接続されている。これらの部品を金型にセットして、成形樹脂 26 を流し込むことにより、フルモールド半導体モジュールを構成する。

【0005】

図 6 に従来のフルモールド半導体モジュールの第 2 例を示す。図 5 に示したフルモールド半導体モジュールの構成に加え、さらにその下部にヒートシンク 27 を設けたものである。以下、図 5、図 6 で示すように、リードフレームおよび回路素子が全て成型樹脂で覆われるようなフルモールド半導体モジュールを説明の便宜上のため、特に通常フルモールド半導体モジュールという。

40

【0006】

さらに、図 7 に従来のフルモールド半導体モジュールの第 3 例を示す。リードフレーム 21 に接触する金属ベース基板 28 が外部に露出するようなフルモールド半導体モジュールであり、導電層である銅箔 28a、絶縁層 28b およびヒートシンク 28c を積層した金属ベース基板 28 を設け、金属ベース基板 28 に絶縁と熱放出の 2 つの機能を持たせるよ

50

うにしたものである。

【0007】

また、フルモールド半導体モジュールの他の従来技術として、ヒートシンクの露出面にアルミナ等を溶射した電気絶縁層が外部に露出するように構成され、電気絶縁部材、ヒートシンクおよび電気絶縁層を介してプリント回路基板へ効率的に熱放射するような樹脂封止型半導体装置について開示されている（例えば、特許文献2参照）。以下、図7および特許文献2で示すように、リードフレームおよび回路素子が直接接触するヒートシンクを外部に露出するようなフルモールド半導体モジュールを、説明の便宜上のため、特に一部露出型フルモールド半導体モジュールという。

【0008】

なお、特許文献2では電機絶縁層としてアルミナ等を溶射する点が記載されているが、一般的な層形成方法として、例えば特許文献3（発明の名称：複合構造物の作成方法および作成装置）、特許文献4（発明の名称：超微粒子材料吹き付け成膜方法）などに記載された先行技術が知られている。

【0009】

【特許文献1】

特開平9-139461号公報（段落番号0038、図1）

【特許文献2】

特開平11-87573号公報（段落番号0010～0011、図1）

【特許文献3】

特開2001-181859号公報（段落番号0053～0071、図1～図10）

【特許文献4】

特開2002-20878号公報（段落番号0013～0031、図1～図10）

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

従来技術の通常フルモールド半導体モジュール（図5、図6の半導体モジュール、特許文献1の図1の半導体パワーモジュール）では、その冷却性能が、金属ベース基板を用いた一部露出型フルモールド半導体モジュール（図7の半導体モジュール、特許文献2の図1の樹脂封止型半導体装置）の冷却性能よりも劣っていた。

【0011】

この原因としては、一部露出型半導体モジュールは、絶縁層（図7の絶縁層28aまたは特許文献2の図1の電気絶縁部材6等）の厚みを100～150μmと薄くでき、パワー半導体の下部の熱抵抗を小さくすることができる一方で、通常フルモールド半導体モジュール（図5、図6の半導体モジュール、特許文献1の図1の半導体パワーモジュール）では、成形樹脂の充填性を確保するため成形樹脂の厚さを300μm以上にすることが必要があり、パワー半導体の下部の熱抵抗が大きくなる、ということが理由として挙げられる。

【0012】

例えば、図5に示したフルモールド半導体モジュールにおいて、成形樹脂26の下側の厚さ（リードフレーム21から下側表面までの厚さ）を200μm以下とすると、金型内で成形樹脂26の未充填部が発生し、絶縁不良が生じる。また、このような未充填部の発生を防止するため、成形時の樹脂注入圧力を高くして充填性を向上させることが可能であるが、ボンディングワイヤ24、25の変形、断線の原因にもなるため採用できないものであり、成型樹脂26の下側の厚さを薄くできなかった。

【0013】

図6に示したフルモールド半導体モジュールにおいても同様であり、例えば、リードフレーム21とヒートシンク27との間隙の成形樹脂26の厚さを200μm以下とすると、成形樹脂26の未充填部が残留し、絶縁不良が生じる。成形時の樹脂注入圧力を高くして充填性を向上させるとボンディングワイヤ24、25の変形、断線の原因にもなり、成型樹脂26の間隙を薄くできなかった。このような問題は特許文献1に記載された従来技術でも起こりうる問題である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

このように従来の通常フルモールド半導体モジュールは熱抵抗が高く冷却特性が劣るものであり、現状では実用上の冷却特性を考慮して、フルモールド半導体モジュールの消費電力の適用範囲は200V50A程度までしか採用できなかった。電流容量が50Aを超えるパワー半導体を使用するとロスが大きくなって熱発生量が大きくなり、通常フルモールド半導体モジュールでは冷却性能が不十分であった。このように電流容量が50Aを超えるパワー半導体を搭載した通常フルモールド半導体モジュールの実用化が困難であるという問題があった。

【 0 0 1 5 】

また、一部露出型フルモールド半導体モジュール（図7，特許文献2）において、例えば、図7で示すように、予め絶縁層28bとヒートシンク28cとが張り合わされた金属ベース基板28を用いることにより下側に成形樹脂がない構成とし、成形樹脂の充填性を考慮して厚みを確保する必要をなくするとともにパワー半導体下部の熱抵抗を小さくしている。しかしながら、金属ベース基板28を別途製造しておく必要があるため、材料コスト・製造コストが増大するという問題点があった。このような問題は特許文献2に記載された従来技術でも起こりうる問題である。

【 0 0 1 6 】

また、図7で示す一部露出型フルモールド半導体モジュールの金属ベース基板28の絶縁層28bには、エポキシ樹脂に無機フィラー（酸化珪素（ SiO_2 ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、窒化珪素（ Si_3N_4 ）、窒化ホウ素（BN）、窒化アルミニウム（AlN）からなるフィラー群から1種類以上を選択したもの）を充填し熱伝導率を向上させているが、現状の熱伝導率は3～4W/m・Kが限度であり、冷却性能に限界があった。

【 0 0 1 7 】

なお、熱伝導率を増大させて熱抵抗を小さくするため、配線板に酸化アルミニウム、窒化珪素、窒化アルミニウムなどを焼結体であるセラミックス性の配線板を用いることもできる。この場合、冷却性能は向上するが製造コストが金属ベース基板より増大するという問題点があった。

【 0 0 1 8 】

まとめると、通常フルモールド半導体モジュールでは、充填性の維持のため等の理由により熱抵抗が小さくできないという問題があり、また、一部露出型フルモールド半導体モジュールでは、熱抵抗を小さくできるが材料コスト・製造コストの増加が防げないという問題があった。

【 0 0 1 9 】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、コスト上昇を抑えつつ放熱特性を向上させた半導体モジュールおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 2 0 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明の請求項1に係る半導体モジュールは、1または複数の回路素子を搭載し、樹脂によって封止され、形成された半導体モジュールにおいて、回路素子を搭載するための回路パターンが形成されたリードフレームと、回路素子およびリードフレームの回路素子搭載面を覆い、かつ、リードフレームの回路素子非搭載面である下面と同じ高さの下面を有する成形樹脂と、

リードフレームの回路素子非搭載面である下面および成形樹脂の下面を覆うように溶射されるセラミックス絶縁層と、を備え、

前記セラミックス絶縁層は、熱伝導率が4～270W/m・Kであり、かつ厚さが50～500μmであることを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

この構成によれば、半導体モジュールの下部に設けられるセラミックス絶縁層は、内側

10

20

30

40

50

ではリードフレームと接触し、また外側では外部に露出する。このセラミックス絶縁層は、熱伝導率が大い（つまり熱抵抗が小さい）セラミックス材料であるため、回路素子下部の熱抵抗を小さくして放熱性を向上することができる。

【0022】

また、本発明の請求項2に係る発明の半導体モジュールは、
請求項1に記載の半導体モジュールにおいて、

前記セラミックス絶縁層は、酸化珪素、酸化アルミニウム、窒化珪素、窒化ホウ素、窒化アルミニウムの中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により溶射形成される層であることを特徴とする。

【0023】

本発明の請求項3に係る半導体モジュールの製造方法は、1または複数の回路素子を搭載し、樹脂によって封止され、形成された請求項1または請求項2に記載した半導体モジュールの製造方法において、

予め成形加工されたリードフレームに回路素子を接合する第1工程と、

回路素子とリードフレームとをボンディングワイヤにより接続する第2工程と、

リードフレームの回路素子非搭載面である下面と同じ高さの下面を有するように、回路素子およびリードフレームの回路素子搭載面を覆う成形樹脂を形成する第3工程と、

溶射法により、粒子セラミックスをリードフレームの回路素子非搭載面である下面および成形樹脂の下面に溶射して、厚さが50～500μmのセラミックス絶縁層を形成する第4工程と、を有することを特徴とする。

【0024】

また、本発明の請求項4に係る半導体モジュールの製造方法は、請求項3に記載の半導体モジュールの製造方法において、前記溶射法は、プラズマ溶射法であることを特徴とする。

【0026】

また、本発明の請求項5に係る半導体モジュールの製造方法は、請求項3に記載の半導体モジュールの製造方法において、前記溶射法は、コールドスプレーであることを特徴とする。

【0033】

【発明の実施の形態】

続いて、本発明の第1実施形態に係る半導体モジュールおよびその製造方法について、図を参照しつつ以下に説明する。図1は本実施形態の半導体モジュールの断面構成図である。

【0034】

本実施形態の半導体モジュール100は、図1で示すように、リードフレーム1、パワー半導体2、駆動IC3、ボンディングワイヤ4、5、成形樹脂6、セラミックス絶縁層7を備える。

このリードフレーム1の上には、回路素子の一具体例であるパワー半導体2、回路素子の一具体例である駆動IC3が実装され、ボンディングワイヤ4、5により相互に接続されている。これらリードフレーム1、パワー半導体2、駆動IC3、ボンディングワイヤ4、5を覆うように一方の側（図1では上側）で成形樹脂6が形成され、さらに他方の側（図1では下側）に成形樹脂6およびリードフレーム1を覆うようにセラミックス絶縁層7が形成される。

【0035】

このセラミックス絶縁層7は、酸化珪素（ SiO_2 ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、窒化珪素（ Si_3N_4 ）、窒化ホウ素（ BN ）、窒化アルミニウム（ AlN ）の中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により形成されたものであり、熱伝導率が4～270W/m・Kであり、厚さaが50～500μmである。

【0036】

例えば、酸化珪素（ SiO_2 ）のみのセラミックス材料により形成されたセラミックス絶

10

20

30

40

50

縁層 7 は、熱伝導率が約 $10 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり、放熱特性を向上させている。なお、厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができる。厚さが大きくなるにつれて外界からの衝撃に対する耐衝撃性を向上させることができるが熱抵抗が増大するというトレードオフの関係にあり、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0037】

また、酸化アルミニウム (Al_2O_3) のみのセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 は、熱伝導率が $20 \sim 40 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり、放熱特性を向上させている。厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができ、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0038】

また、窒化珪素 (Si_3N_4) のみのセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 は、熱伝導率が約 $30 \sim 80 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり放熱特性を向上させている。厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができ、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0039】

また、窒化ホウ素 (BN) のみのセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 は、熱伝導率が約 $60 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり放熱特性を向上させている。厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができ、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0040】

また、窒化アルミニウム (AlN) のみのセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 は、熱伝導率が約 $70 \sim 270 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり放熱特性を向上させている。厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができ、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0041】

また、これら酸化珪素 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、窒化珪素 (Si_3N_4)、窒化ホウ素 (BN)、窒化アルミニウム (AlN) の中の 2 以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 は、熱伝導率が約 $4 \sim 270 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ の範囲内に入るように組成比が調整され、放熱特性を向上させている。厚さは $50 \sim 500 \mu\text{m}$ から任意の厚さを選択することができ、例えば $150 \mu\text{m}$ というような値が選択される。

【0042】

これら酸化珪素 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、窒化珪素 (Si_3N_4)、窒化ホウ素 (BN)、窒化アルミニウム (AlN) の中の 1 または 2 以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層 7 を厚み $150 \mu\text{m}$ で形成した半導体モジュールは、交流破壊電圧で 10 kV 以上有しており、耐電圧定格が 1200 V のパワー半導体 3 に使用できることが実験により確認されている。

【0043】

このような半導体モジュール 100 を回路基板に実装すると、例えば図示しない回路基板にこのセラミックス絶縁層 7 が接触して、回路基板を通じて放熱されることとなるが、従来よりも格段に熱抵抗が小さい (熱伝導率が高い) セラミックス絶縁層 7 を通じて効率的に放熱されることとなり、放熱特性を向上させることができる。

【0044】

続いて、半導体モジュール 100 の製造方法について図を参照しつつ説明する。図 2 は、本実施形態の半導体モジュール 100 の製造方法の説明図である。

(1) $0.3 \sim 1.0 \text{ mm}$ 程度の銅板を、プレス加工により打ち抜いて、所定の回路パターンが形成されたリードフレーム 1 を製作する (図 2 (a))。

【0045】

(2) リードフレーム 1 にパワー半導体 2 および駆動 IC 3 をはんだ付けにより接合する (図 2 (b))。

10

20

30

40

50

はんだ付けはペレット状のはんだを利用し、水素還元が可能な炉において行う。水素還元が可能な炉を使用する理由は、リードフレーム1の表面の酸化膜を水素還元により除去して活性化させることにより、はんだとの濡れ性を向上させるためである。はんだ材料には、例えば、 Sn-Pb-Ag からなる高温はんだ、 Sn-Ag-Cu 系からなる鉛フリーはんだを用いる。これらはんだは高温の成形樹脂に接触しても溶けないはんだであり、はんだ付けの温度は、はんだの融点に応じて設定される。

【0046】

なお、パワー半導体2とリードフレーム1のはんだ層にボイド（空孔）が残留すると、熱抵抗が高くなり、パワー半導体2から生じる熱を効率よく放熱することができない。そこで、ボイドが発生しないように、はんだが溶融している状態で、 10 Torr 以下の真空引きを行う。真空環境下、泡が大きくなってはじけ、ボイドは消滅する。

10

【0047】

(3) ボンディングワイヤ4, 5による接続を行う(図2(c))。リードフレーム1の回路とパワー半導体2とを接続するボンディングワイヤ4は、線径が $125 \sim 500\text{ }\mu\text{m}$ のAlワイヤを使用して超音波接合する。リードフレーム1の回路と駆動IC3とを接続するボンディングワイヤ5は、線径が $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度のAuワイヤを使用して超音波接合する。

【0048】

(4) 図2(c)に示した部品を、トランスファー成形機に取り付けられた金型にセットする(図示せず)。金型は $170 \sim 180$ 程度に保温されており、予熱後にタブレット状の樹脂をランジャータにて金型内に流し込む。

20

この樹脂は、マトリクス（主剤）としてエポキシ樹脂を用い、フィラー（添加物）として酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化ホウ素(BN)の中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミック粉末を添加したものであり、熱伝導率は $2 \sim 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ となる。

【0049】

(5) 樹脂の注入を行うと数十秒で硬化するので、直ぐに金型から取り出し、恒温槽で後硬化を行って封止を完了し、成形樹脂6を形成する(図2(d))。

なお、このようにして形成したセラミックス絶縁層形成前の半導体モジュールの底面は、リードフレーム1および成形樹脂6が下側に露出するが、同一平面となるように形成されている(理由は後述する)。従来技術ではリードフレーム1の下側にも成型樹脂を充填する必要があり、未充填部が発生するおそれがあったが、本実施形態ではリードフレーム1の下側に成形樹脂を充填させないため従来技術のような未充填部が発生する事態をなくし、また、充填性を考慮する必要もなくしている。

30

【0050】

(6) 恒温槽から取り出したセラミックス絶縁層形成前の半導体モジュールの底面へマスク8をあてて、プラズマ溶射法にセラミックス絶縁層7を形成する(図2(e))。プラズマ溶射法は、加熱によりセラミックス粉末を溶融もしくは軟化させて微粒子状の粒子セラミックスとして加速し、セラミックス絶縁層形成前の半導体モジュールの底面に衝突させて、微粒子を凝固・堆積させて積層し、セラミックス絶縁層7を形成するというものである。

40

リードフレーム1および成形樹脂6が下側に露出する半導体モジュールの底面は、先に説明したように同一平面に形成されており、セラミックス絶縁層7の積層後に凹凸等が形成されることなく、セラミックス絶縁層7の下側面は平面状に形成される。

【0051】

このセラミックス粉末には酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化ホウ素(BN)、窒化アルミニウム(AlN)のセラミックス群の中から1種類を選択した粉末、または、セラミックス群の中から2種類以上を選択して混合した粉末を用いる。溶射方法は、例えば、プラズマ溶射法を用い、雰囲気は大気もしくは減圧下で行う。セラミックス絶縁層7の厚みは溶射時間を増減させて調整できる

50

。セラミックス絶縁層 7 の厚みは 50 ~ 500 μm が可能で、特に、150 μm が好ましい。

交流破壊電圧で 10 kV 以上有する半導体モジュールであってセラミックス絶縁層 7 の厚みが最も小さい厚み 150 μm であり、このような半導体モジュールでは耐電圧定格が 1200 V のパワー素子にも用いることができる。

【0052】

(7) セラミックス絶縁層 7 が形成された後にマスク 8 を外して半導体モジュール 100 を完成させる (図 2 (f))

このように (1) ~ (7) の工程を経て、半導体モジュール 100 が製造されることとなる。

10

【0053】

なお、先の (6) の工程のプラズマ溶射法に代えて、コールドスプレーを採用しても良い。

コールドスプレーとは、溶射法的一种であり、スプレーするセラミックス粉末の融点または軟化温度より低い温度に加熱 (300 ~ 500 程度) したガスを先細末広 (ラバル) ノズルにより超音速流にして、その流れの中にセラミックス粉末を投入にて加速させ、固相状態の粒子セラミックスを半導体モジュールの底面に高速で衝突させてセラミックス絶縁層 7 を形成する技術である。

【0054】

ガスの供給温度は 300 ~ 500 であるが半導体モジュールの底面に到着するときには膨張するため室温 ~ 100 程度に低下する。ガスはヘリウム、窒素、空気などが使用され、ヘリウムは高い流速が得られる。粒子セラミックスの衝突速度が、500 m/s 以上になると粒子の運動エネルギーにより粒子が塑性変形して被膜を形成し始める。この被膜を形成し始める速度を臨界速度と呼び、この臨界速度は、粒子と基材の材料、粒径などにより異なる。セラミックス絶縁層の厚みはスプレー時間をコントロールすることにより調整できる。

20

【0055】

なお、コールドスプレーは、厳密にはセラミックスが溶融せずに固相のままの被膜となるため、溶射法といえるか否かが議論されているが、現状では溶射法に分類されており、本明細書においても現状の分類に従って溶射であるものとして説明した。

30

【0056】

続いて、本発明の第 2 実施形態に係る半導体モジュールおよびその製造方法について、図を参照しつつ以下に説明する。図 3 は本実施形態の半導体モジュールの断面構成図である。

本実施形態の半導体モジュール 100' は、図 3 で示すように、リードフレーム 1、パワー半導体 2、駆動 IC 3、ボンディングワイヤ 4, 5、成形樹脂 6、セラミックス絶縁層 7 を備える。

【0057】

このリードフレーム 1 の上には、回路素子の一具体例であるパワー半導体 2、回路素子の一具体例である駆動 IC 3 が実装され、ボンディングワイヤ 4, 5 により相互に接続されている。セラミックス絶縁層 7 は、これらリードフレーム 1 の回路パターンが形成された面の反対面と、この反対面と接する側面と、を覆うように形成されている。セラミックス絶縁層 7 は、リードフレーム 1 の下面に直接溶射されるため、リードフレーム 1 の孔部にはセラミックス絶縁層 7 は形成されない。

40

【0058】

成形樹脂 6 は、一方の側 (図 3 では上側) で、リードフレーム 1、パワー半導体 2、駆動 IC 3、ボンディングワイヤ 4, 5、およびセラミックス絶縁層 7 を覆い、かつ他方の側 (図 3 では下側) でセラミックス絶縁層 7 の一部が外界に露出するように設けられる。また、図 3 で示すように、成形樹脂 6 は、セラミックス絶縁層 7 をくるむように形成されるため、落下・剥離が起きないように配慮された構成となっている。

50

【0059】

半導体モジュールの底面は、凹凸等が形成されることなく平面状に形成される。なお、同一平面に形成する代わりに、拡大図で示すようにセラミックス絶縁層7が若干外側に突出する形式とすることも可能である。図示しない冷却体や放熱部品を取り付ける場合には、成形樹脂面から露出するセラミックス絶縁層7の裏面が確実に密着するため、放熱効率を高めることができる。さらに成形樹脂6への応力集中を避けることができる。このようにセラミックス絶縁層7は、成形樹脂6と同一面または若干の凸であることが望ましい。

【0060】

このセラミックス絶縁層7は、第1実施形態で説明したように、酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化ホウ素(BN)、窒化アルミニウム(AlN)の中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により形成されたものであり、熱伝導率が $4 \sim 270 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり、厚さaが $50 \sim 500 \mu\text{m}$ 、例えば $150 \mu\text{m}$ である。

10

【0061】

これら酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化ホウ素(BN)、窒化アルミニウム(AlN)の中の1または2以上を選択的に組み合わせたセラミックス材料により形成されたセラミックス絶縁層7を厚み $150 \mu\text{m}$ で形成した半導体モジュールは、交流破壊電圧で 10 kV 以上有しており、耐電圧定格が 1200 V のパワー半導体3に使用できることが実験により確認されている。

20

【0062】

このような半導体モジュール100'を回路基板に実装すると、例えば図示しない回路基板にこのセラミックス絶縁層7が接触して、回路基板を通じて放熱されることとなるが、従来よりも格段に熱抵抗が小さい(熱伝導率が高い)セラミックス絶縁層7を通じて効率的に放熱されることとなり、放熱特性を向上させることができる。

【0063】

続いて、半導体モジュール100'の製造方法について図を参照しつつ説明する。図4は、本実施形態の半導体モジュール100'の製造方法の説明図である。

(1) $0.3 \sim 1.0 \text{ mm}$ 程度の銅板を、プレス加工により打ち抜いて、所定の回路パターンが形成されたリードフレーム1を製作する(図4(a))。

【0064】

30

(2) このように予め成形加工されたリードフレーム1の回路パターンが形成された面の反対面と、この反対面に接する側面と、に溶射法により粒子セラミックスを溶射してセラミックス絶縁層7を設ける(図4(b))。

リードフレーム1の回路パターンが形成された面(外部リードおよび回路素子を搭載する面、並びに、ボンディングする面)にマスク9をあて、リードフレーム1の反対面およびこの反対面に接する側面(つまりマスク9が当たっていない面)に、セラミックス粉末を溶融もしくは軟化させて加速した微粒子状の粒子セラミックスを溶射して積層することによりセラミックス絶縁層7を形成する。

【0065】

この場合、リードフレーム1の孔部を覆わないようなマスク9(リードフレーム1の孔部と位置・大きさが一致するような孔部を有するマスク9)を採用している。仮に孔部も覆うようなマスク9とすると、セラミックス絶縁層7の形成後にリードフレームとマスクとにわたって一体に連なるセラミックス絶縁層が形成され、マスクを取り外すとき、セラミックス絶縁層が破損するおそれがあるが、本製造方法ではそのようなおそれをなくしている。

40

【0066】

前記したセラミックス粉末には酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化ホウ素(BN)、窒化アルミニウム(AlN)のセラミックス群の中から1種類を選択した粉末、または、セラミックス群の中から2種類以上を選択して混合した粉末を用いる。溶射方法は、例えば、プラズマ溶射法を用い、雰囲気は

50

大気もしくは減圧下で行う。セラミックス絶縁層 7 の厚みは溶射時間を増減させて調整できる。セラミックス絶縁層 7 の厚みは 50 ~ 500 μm が可能で、特に、150 μm が好ましい。

交流破壊電圧で 10 kV 以上有する半導体モジュールであってセラミックス絶縁層 7 の厚みが最も小さい厚み 150 μm であり、このような半導体モジュールでは耐電圧定格が 1200 V のパワー素子にも用いることができる。

【0067】

(3) リードフレーム 1 の回路パターンが形成された面にパワー半導体 2 および駆動 IC 3 をはんだ付けにより接合する(図 4(c))。

はんだ付けは、第 1 実施形態と同様にペレット状のはんだを利用し、水素還元が可能な炉において行う。はんだ材料には、例えば、Sn - Pb - Ag からなる高温はんだ、Sn - Ag - Cu 系からなる鉛フリーはんだを用いる。これらはんだは高温の成形樹脂に接触しても溶けないはんだであり、はんだ付けの温度は、はんだの融点に応じて設定される。

【0068】

なお、パワー半導体 2 とリードフレーム 1 のはんだ層にボイド(空孔)が残留すると、熱抵抗が高くなり、パワー半導体 2 から生じる熱を効率よく放熱することができない。そこで、ボイドが発生しないように、はんだが溶融している状態で、10 Torr 以下の真空引きを行う。真空環境下、泡が大きくなってはじけ、ボイドは消滅する。

【0069】

(4) ボンディングワイヤ 4, 5 による接続を行う(図 4(d))。リードフレーム 1 の回路とパワー半導体 2 とを接続するボンディングワイヤ 4 は、線径が 125 ~ 500 μm の Al ワイヤを使用して超音波接合する。リードフレーム 1 の回路と駆動 IC 3 とを接続するボンディングワイヤ 5 は、線径が 10 μm 程度の Au ワイヤを使用して超音波接合する。

【0070】

(5) 図 4(d) に示した部品を、トランスファー成形機に取り付けられた金型にセットする(図示せず)。金型は 170 ~ 180 程度に保温されており、予熱後にタブレット状の樹脂をプランジャーにて金型内に流し込む。

この樹脂は、マトリクス(主剤)としてエポキシ樹脂を用い、フィラー(添加物)として酸化珪素(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化珪素(Si_3N_4)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化ホウ素(BN)の中の 1 または 2 以上を選択的に組み合わせたセラミック粉末を添加したものであり、熱伝導率は 2 ~ 5 W/m·K となる。

【0071】

(6) 樹脂の注入を行うと数十秒で硬化するので、直ぐに金型から取り出し、恒温槽で後硬化を行って封止を完了し、成形樹脂 6 を形成する(図 4(e))。

このように(1) ~ (6) の工程を経て、半導体モジュールが製造されることとなる。

【0072】

なお、先の(2)の工程のプラズマ溶射法に代えて、第 1 実施形態で説明したコールドスプレーを採用しても良い。またスパッタリングの技術を用いて形成することも可能である。

また、本実施形態では、特にリードフレーム 1 のセラミックス絶縁層 7 を形成する面の粗化を行ってセラミックス絶縁層 7 との密着性を向上させることができる。例えば、プレス加工により打ち抜く前に所定位置を祖面とし、この祖面位置に合わせてプレス加工を行ってリードフレーム 1 を形成することで実現できる。

また、リードフレーム 1 の端部に R 加工 C 面取り加工等を施して絶縁性能を向上させるようにしてもよい。この工程はリードフレーム 1 の形成途中で行われることとなる。

【0073】

このような第 2 実施形態の半導体モジュール 100' と従来技術とを比較すると、従来技術ではリードフレーム 1 の下側にも成型樹脂を充填する必要があり、未充填部が発生するおそれがあったが、本実施形態でもリードフレーム 1 の下側に成形樹脂を充填させないた

10

20

30

40

50

め従来技術のような未充填部が発生する事態をなくし、また、充填性を考慮する必要もなくしている。

【 0 0 7 4 】

以上、本発明の第 1 , 第 2 の実施形態の半導体モジュールおよびその製造方法について説明した。本実施形態では回路素子の具体例としてパワー半導体 2 , 駆動 IC 3 を例に挙げて説明した。しかしながら、本発明は回路素子がパワー半導体 2 , 駆動 IC 3 に限定される趣旨ではなく、他の半導体・IC・抵抗・コンデンサ・コイル等各種の素子を回路素子に含めるものである。このような各種の半導体モジュールにも本発明の適用は可能である。

【 0 0 7 5 】

10

【発明の効果】

以上、本発明によれば、リードフレーム 1 の下側に熱抵抗が小さい（熱伝導率が高い）セラミックス絶縁層 7 をプラズマ溶射法・コールドスプレーにより形成することとした。これにより成形樹脂の充填性を考慮してパワー半導体の下側の成形樹脂の厚さを大きくする必要や、ボンディングワイヤの変形、断線の原因ともなる成形時の樹脂注入圧力を高くする必要をなくした。また、熱伝導率が高いセラミックス材料を用い、さらにセラミックス絶縁層を薄く（例えば 150 μm）形成して、従来よりも大幅に熱抵抗を小さくした。これにより、フルモールドの半導体モジュールの冷却性能を著しく向上させることができる。

【 0 0 7 6 】

20

また、従来技術のように熱抵抗を小さくできるが、製造コスト・材料コストが増大する金属ベース基板、または、焼結体であるセラミックス製配線板を製造する代わりに、セラミックス絶縁層 7 を溶射形成するというものであり、製造コスト・材料コストが従来よりも増大する事態を回避することができる。

【 0 0 7 7 】

また、消費電力からみた適用範囲が 200V50A を超えて熱発生量が多いパワー半導体に対応するような冷却性能を有するフルモールド半導体モジュールを実用化することができる。

【 0 0 7 8 】

総じて、このような本発明によれば、コスト上昇を抑えつつ放熱特性を向上させた半導体モジュールおよびその製造方法を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施形態の半導体モジュールの断面構成図である。

【図 2】本発明の第 1 実施形態の半導体モジュールの製造方法の説明図である。

【図 3】本発明の第 2 実施形態の半導体モジュールの断面構成図である。

【図 4】本発明の第 2 実施形態の半導体モジュールの製造方法の説明図である。

【図 5】従来のフルモールド半導体モジュールの第 1 例を示す断面図である。

【図 6】従来のフルモールド半導体モジュールの第 2 例を示す断面図である。

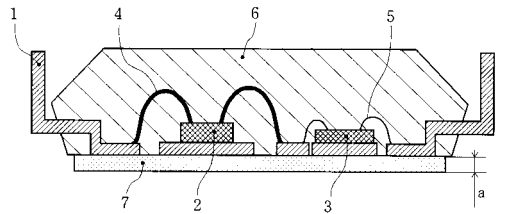
【図 7】従来のフルモールド半導体モジュールの第 3 例を示す断面図である。

【符号の説明】

40

- 1 : リードフレーム
- 2 : パワー半導体
- 3 : 駆動 IC
- 4 : ボンディングワイヤ
- 5 : ボンディングワイヤ
- 6 : 成形樹脂
- 7 : セラミックス絶縁層
- 8 , 9 : マスク
- 100 , 100' : 半導体モジュール

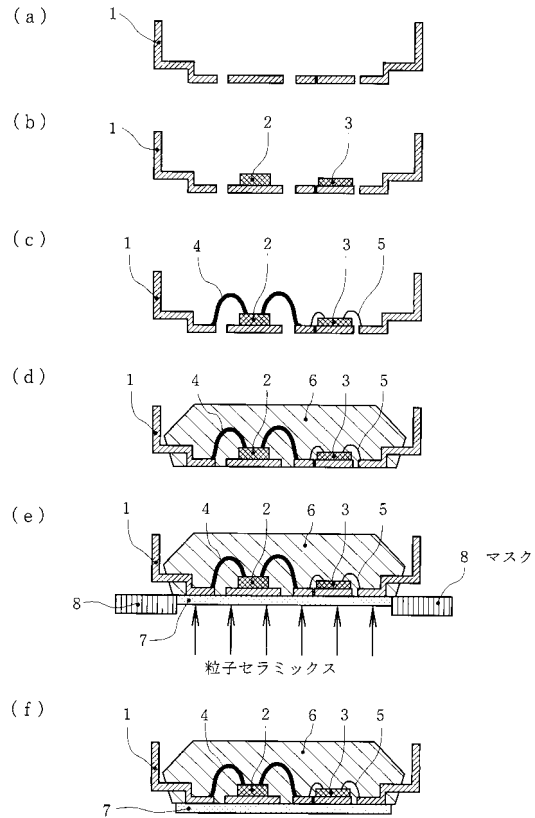
【図 1】



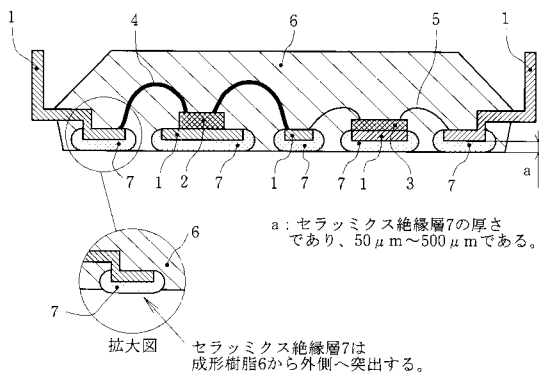
- 1 : リードフレーム
 2 : パワー半導体
 3 : 駆動 I C
 4 : ボンディングワイヤ
 5 : ボンディングワイヤ
 6 : 成形樹脂
 7 : セラミックス絶縁層
- a : セラミックス絶縁層7の厚さであり、 $50\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ である。

半導体モジュール100

【図 2】



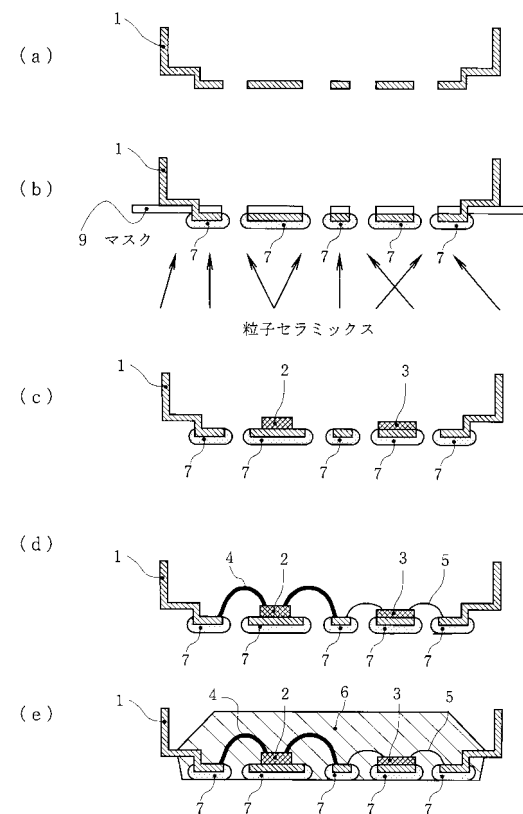
【図 3】



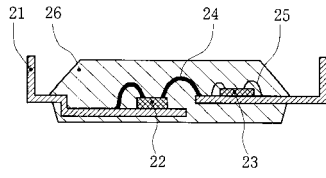
- 1 : リードフレーム
 2 : パワー半導体
 3 : 駆動 I C
 4 : ボンディングワイヤ
 5 : ボンディングワイヤ
 6 : 成形樹脂
 7 : セラミックス絶縁層

半導体モジュール100'

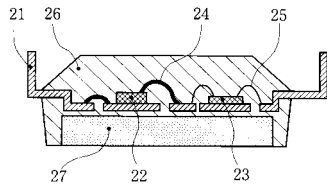
【図 4】



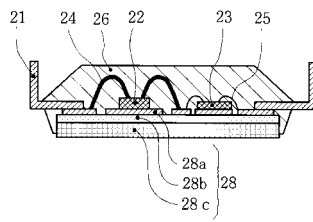
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

審査官 日比野 隆治

(56)参考文献 特開2001-237366(JP,A)
特開平04-332155(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 23/36

H01L 23/373

H01L 25/07

H01L 25/18