

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-16349

(P2010-16349A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 23/34 (2006.01)	H O 1 L 23/34 A	5 F 1 3 6
H O 1 L 23/12 (2006.01)	H O 1 L 23/12 J	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-65033 (P2009-65033)	(71) 出願人	000006264
(22) 出願日	平成21年3月17日 (2009. 3. 17)		三菱マテリアル株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2008-149902 (P2008-149902)		東京都千代田区大手町一丁目3番2号
(32) 優先日	平成20年6月6日 (2008. 6. 6)	(74) 代理人	100064908
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100108453
			弁理士 村山 靖彦
		(74) 代理人	100106057
			弁理士 柳井 則子
		(72) 発明者	黒光 祥郎
			茨城県那珂市向山1002-14 三菱マテリアル株式会社中央研究所内

最終頁に続く

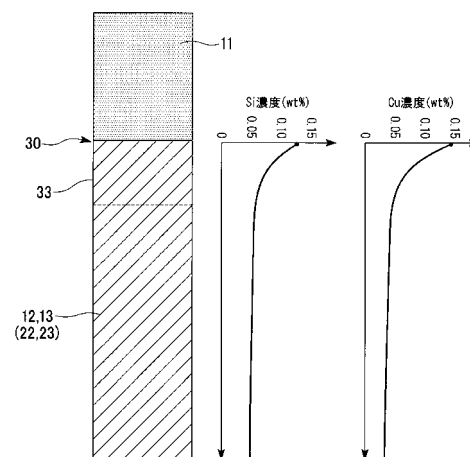
(54) 【発明の名称】 パワーモジュール用基板、パワーモジュール及びパワーモジュール用基板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】金属板とセラミックス基板とが確実に接合され、熱サイクル信頼性の高いパワーモジュール用基板、このパワーモジュール基板を備えたパワーモジュール及びこのパワーモジュール用基板の製造方法を提供する。

【解決手段】セラミックス基板11の表面に、アルミニウムからなる金属板12、13が積層されて接合されたパワーモジュール用基板であって、金属板12、13とセラミックス基板11とがSiを含有するろう材を用いて接合されるとともに、金属板12、13とセラミックス基板11の接合界面30にCuが添加されており、金属板12、13には、Si及びCuが固溶しており、接合界面30側部分におけるSi濃度が0.05～0.5wt%、Cu濃度が0.05～1.0wt%の範囲内に設定されていることを特徴とする。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

セラミックス基板の表面に、アルミニウムからなる金属板が積層されて接合されたパワーモジュール用基板であって、

前記金属板と前記セラミックス基板とが Si を含有するろう材を用いて接合されるとともに、前記金属板と前記セラミックス基板の接合界面に Cu が添加されており、

前記金属板には、Si 及び Cu が固溶しており、前記接合界面側部分における Si 濃度が 0.05 ~ 0.5 wt %、Cu 濃度が 0.05 ~ 1.0 wt % の範囲内に設定されていることを特徴とするパワーモジュール用基板。

【請求項 2】

10

前記セラミックス基板の幅が前記金属板の幅よりも広く設定されており、前記金属板の幅方向端部においては、アルミニウム中に Si、Cu が固溶されたアルミニウム相と、Si の含有率が 98 wt % 以上とされた Si 相と、Al と Cu と Si の 3 元共晶組織からなる共晶相と、が形成されてい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用基板。

【請求項 3】

前記共晶相においては、Cu を含む化合物からなる析出粒子が析出していることを特徴とする請求項 2 に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項 4】

20

前記セラミックス基板が AlN 又は Al_2O_3 で構成されており、前記金属板と前記セラミックス基板との接合界面に、Si 濃度が前記金属板中の Si 濃度の 5 倍以上とされた Si 高濃度部が形成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項 5】

前記セラミックス基板が Si_3N_4 で構成されており、前記金属板と前記セラミックス基板との接合界面に、酸素濃度が前記金属板中及び前記セラミックス基板中の酸素濃度よりも高くされた酸素高濃度部が形成されており、該酸素高濃度部の厚さが 4 nm 以下とされていることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項 6】

30

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載のパワーモジュール用基板と、該パワーモジュール用基板上に搭載される電子部品と、を備えたことを特徴とするパワーモジュール。

【請求項 7】

セラミックス基板の表面に、アルミニウムからなる金属板が積層されて接合されたパワーモジュール用基板の製造方法であって、

前記セラミックス基板と前記金属板との間に Si を含有するろう材を介装させて積層させる積層工程と、積層された前記セラミックス基板と前記金属板を加圧した状態で加熱し、前記ろう材を溶融させてセラミックス基板及び金属板の界面に溶融アルミニウム層を形成する溶融工程と、前記溶融アルミニウム層を凝固させる凝固工程と、を有し、

40

前記積層工程の前に、前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材のセラミックス基板側の表面のうち少なくとも一方に Cu を固着させる Cu 固着工程を有していることを特徴とするパワーモジュール用基板の製造方法。

【請求項 8】

前記 Cu 固着工程は、蒸着又はスパッタリングによって前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材のセラミックス基板側の表面のうち少なくとも一方に Cu を固着させることを特徴とする請求項 6 に記載のパワーモジュール用基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

この発明は、大電流、高電圧を制御する半導体装置に用いられるパワーモジュール用基板、このパワーモジュール基板を備えたパワーモジュール及びこのパワーモジュール用基板の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体素子の中でも電力供給のためのパワーモジュールは発熱量が比較的高いため、これを搭載する基板としては、例えば、 AlN （窒化アルミ）からなるセラミックス基板上に Al （アルミニウム）の金属板が $Al-Si$ 系のろう材を介して接合されたパワーモジュール用基板が用いられる。

また、この金属板は回路層として形成され、その金属板の上には、はんだ材を介してパワー素子の半導体チップが搭載される。

なお、セラミックス基板の下面にも放熱のために Al 等の金属板が接合されて金属層とされ、この金属層を介して放熱板上にパワーモジュール用基板全体が接合されたものが提案されている。

【0003】

従来、前記回路層及び前記金属層としての金属板とセラミックス基板との良好な接合強度を得るため、例えば下記特許文献1に、セラミックス基板の表面粗さを $0.5\mu m$ 未満にしている技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平3-234045号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、金属板をセラミックス基板に接合する場合、単にセラミックス基板の表面粗さを低減しても十分に高い接合強度が得られず、信頼性の向上が図れないという不都合があった。例えば、セラミックス基板の表面に対して、乾式で Al_2O_3 粒子によるホーニング処理を行い、表面粗さを $Ra = 0.2\mu m$ にしても、剥離試験で界面剥離が生じてしまう場合があることが分かった。また、研磨法により表面粗さを $Ra = 0.1\mu m$ 以下にしても、やはり同様に界面剥離が生じてしまう場合があった。

【0006】

特に、最近では、パワーモジュールの小型化・薄肉化が進められるとともに、その使用環境も厳しくなっており、電子部品からの発熱量が大きくなる傾向にあり、前述のように放熱板上にパワーモジュール用基板を配設する必要がある。この場合、パワーモジュール用基板が放熱板によって拘束されるために、熱サイクル負荷時に、金属板とセラミックス基板との接合界面に大きなせん断力が作用することになるため、さらなる接合強度の向上及び信頼性の向上が求められている。

【0007】

この発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、金属板とセラミックス基板とが確実に接合され、熱サイクル信頼性の高いパワーモジュール用基板、このパワーモジュール基板を備えたパワーモジュール及びこのパワーモジュール用基板の製造方法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】

このような課題を解決して、前記目的を達成するために、本発明のパワーモジュール用基板は、セラミックス基板の表面に、アルミニウムからなる金属板が積層されて接合されたパワーモジュール用基板であって、前記金属板と前記セラミックス基板とが Si を含有するろう材を用いて接合されるとともに、前記金属板と前記セラミックス基板の接合界面に Cu が添加されており、前記金属板には、 Si 及び Cu が固溶しており、前記接合界面

10

20

30

40

50

側部分における Si 濃度が $0.05 \sim 0.5 \text{ wt} \%$, Cu 濃度が $0.05 \sim 1.0 \text{ wt} \%$ の範囲内に設定されていることを特徴としている。

【0009】

この構成のパワーモジュール用基板においては、セラミックス基板とアルミニウムからなる金属板とが Si を含有するろう材を用いて接合されるとともに、前記金属板と前記セラミックス基板の接合界面に Cu が添加されている。ここで、 Cu は、 Al に対して反応性の高い元素であるため、接合界面に Cu が存在することによってアルミニウムからなる金属板の表面が活性化することになる。よって、一般的な $\text{Al}-\text{Si}$ 系のろう材を用いて、比較的低温、短時間の接合条件で接合しても、セラミックス基板と金属板とを強固に接合することが可能となる。

10

なお、 Cu を接合界面に添加する方法としては、セラミックス基板及びろう材の表面に Cu を蒸着、スパッタリング及びメッキ等によって固着してもよいし、 $\text{Al}-\text{Si}$ 系のろう材中に Cu を含有させてもよい。

【0010】

また、前記金属板に Cu が固溶しており、接合界面側部分の Cu 濃度が、 $0.05 \sim 1.0 \text{ wt} \%$ の範囲内に設定されているので、金属板の接合界面側部分が固溶強化することになる。これにより、金属板部分での破断を防止することができ、接合信頼性を向上させることができる。

さらに、セラミックス基板とアルミニウムからなる金属板とが Si を含有するろう材を用いて接合されており、前記金属板に Si が固溶し、接合界面側部分の Si 濃度が、 $0.05 \sim 0.5 \text{ wt} \%$ の範囲内に設定されているので、ろう材が確実に溶融して Si が十分に金属板に拡散しており、セラミックス基板と金属板とが強固に接合される。

20

【0011】

また、前記セラミックス基板の幅が前記金属板の幅よりも広く設定されており、前記金属板の幅方向端部においては、アルミニウム中に Si , Cu が固溶されたアルミニウム相と、 Si の含有率が $98 \text{ wt} \%$ 以上とされた Si 相と、 Al と Cu と Si の三元共晶組織からなる共晶相と、が形成されていることが好ましい。

この場合、金属板の幅方向端部に、アルミニウム中に Si , Cu が固溶されたアルミニウム相以外に、 Si の含有率が $98 \text{ wt} \%$ 以上とされた Si 相と、 Al と Cu と Si の三元共晶組織からなる共晶相が形成されているので、金属板の幅方向端部を強化することが可能となる。

30

【0012】

さらに、前記共晶相においては、 Cu を含む化合物からなる析出粒子が析出していることが好ましい。

この場合、金属板の幅方向端部に形成された共晶相において、 Cu を含む化合物からなる析出粒子が析出しているので、金属板の幅方向端部を析出強化することが可能となる。これにより、金属板の幅方向端部からの破断の発生を防止することができ、接合信頼性を向上させることができる。

【0013】

ここで、前記セラミックス基板が AlN 又は Al_2O_3 で構成されており、前記金属板と前記セラミックス基板との接合界面に、 Si 濃度が前記金属板中の Si 濃度の5倍以上とされた Si 高濃度部が形成されていてもよい。

40

この場合、前記金属板と前記セラミックス基板との接合界面に、 Si 濃度が前記金属板中の Si 濃度の5倍以上とされた Si 高濃度部が形成されているので、接合界面に存在する Si 原子によって AlN 又は Al_2O_3 からなるセラミックス基板とアルミニウムからなる金属板との接合強度が向上することになる。なお、ここで、金属板中の Si 濃度とは、金属板のうち接合界面から一定距離（例えば、 50 nm 以上）離れた部分における Si 濃度である。

【0014】

接合界面に高濃度で存在する Si は、主にろう材中に含有された Si であると考えられ

50

る。接合時に、 Si はアルミニウム（金属板）中に拡散し、接合界面から減少することになるが、セラミックスとアルミニウム（金属板）との界面部分が不均一核生成のサイトとなって Si 原子が界面部分に残存し、 Si 濃度が前記金属板中の Si 濃度の 5 倍以上とされた Si 高濃度部が形成されることになる。

【0015】

また、前記セラミックス基板が Si_3N_4 で構成されており、前記金属板と前記セラミックス基板との接合界面に、酸素濃度が前記金属板中及び前記セラミックス基板中の酸素濃度よりも高くされた酸素高濃度部が形成されており、該酸素高濃度部の厚さが 4 nm 以下とされている。

この場合、 Si_3N_4 からなるセラミックス基板とアルミニウムからなる金属板との接合界面に、酸素濃度が前記金属板中及び前記セラミックス基板中の酸素濃度よりも高くされた酸素高濃度部が形成されているので、接合界面に存在する酸素によって Si_3N_4 からなるセラミックス基板とアルミニウムからなる金属板との接合強度が向上する。さらに、この酸素高濃度部の厚さが 4 nm 以下とされているので、熱サイクルを負荷した際の応力によって酸素高濃度部にクラックが発生することが抑制される。

なお、ここで、金属板中及びセラミックス基板中の酸素濃度とは、金属板及びセラミックス基板のうち接合界面から一定距離（例えば、50 nm 以上）離れた部分における酸素濃度である。

【0016】

また、接合界面に高濃度で存在する酸素は、セラミックス基板の表面に存在する酸素及びろう材の表面に形成された酸化膜から取り込まれたものであると考えられる。ここで、酸素濃度が接合界面において高濃度に存在するということは、これらの酸化膜等が確実に除去されるように十分に加熱されていることになり、セラミックス基板と金属板とを強固に接合することが可能となる。

【0017】

本発明のパワーモジュールは、前述のパワーモジュール用基板と、該パワーモジュール用基板上に搭載された電子部品と、を備えることを特徴としている。

この構成のパワーモジュールによれば、セラミックス基板と金属板との接合強度が高く、使用環境が厳しい場合であっても、その信頼性を飛躍的に向上させることができる。

【0018】

また、本発明のパワーモジュール用基板の製造方法は、セラミックス基板の表面に、アルミニウムからなる金属板が積層されて接合されたパワーモジュール用基板の製造方法であって、前記セラミックス基板と前記金属板との間に Si を含有するろう材を介装させて積層させる積層工程と、積層された前記セラミックス基板と前記金属板を加圧した状態で加熱し、前記ろう材を溶融させてセラミックス基板及び金属板の界面に溶融アルミニウム層を形成する溶融工程と、前記溶融アルミニウム層を凝固させる凝固工程と、を有し、前記積層工程の前に、前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材のセラミックス基板側の表面のうち少なくとも一方に Cu を固着させる Cu 固着工程を有していることを特徴としている。

【0019】

この構成のパワーモジュール用基板の製造方法によれば、前記セラミックス基板と前記金属板との間に Si を含有するろう材を介装させて積層させる積層工程の前に、前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材のセラミックス基板側の表面のうち少なくとも一方に Cu を固着させる Cu 固着工程を有しているので、前記セラミックス基板と前記金属板との接合界面に Cu が確実に添加され、この Cu によって金属板の表面が活性化され、一般的な $\text{Al}-\text{Si}$ 系のろう材を用いて比較的低温、短時間の接合条件で接合しても、セラミックス基板と金属板とを強固に接合することが可能となる。

【0020】

ここで、前記 Cu 固着工程を、蒸着又はスパッタリングによって前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材の表面の少なくとも一方に Cu を固着させるものとするのが好

10

20

30

40

50

ましい。

この場合、蒸着又はスパッタリングによって、Cuが前記セラミックス基板の接合面及び前記ろう材の表面の少なくとも一方に確実に固着され、セラミックス基板と金属板との接合界面にCuを確実に存在させることが可能となる。これにより、Cuによって金属板の表面が活性化され、セラミックス基板と金属板とを強固に接合することが可能となる。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、金属板とセラミックス基板とが確実に接合され、熱サイクル信頼性の高いパワーモジュール用基板、このパワーモジュール基板を備えたパワーモジュール及びこのパワーモジュール用基板の製造方法を提供することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図2】本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板の回路層及び金属層のSi濃度分布及びCu濃度分布を示す説明図である。

【図3】本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板の回路層及び金属層（金属板）とセラミックス基板との接合界面の幅方向端部を示す説明図である。

【図4】本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板の回路層及び金属層（金属板）とセラミックス基板との接合界面の模式図である。

20

【図5】本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板の製造方法を示す説明図である。

【図6】図4における金属板とセラミックス基板との接合界面近傍を示す説明図である。

【図7】本発明の第2の実施形態であるパワーモジュール用基板を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図8】本発明の第2の実施形態であるパワーモジュール用基板の回路層及び金属層（金属板）とセラミックス基板との接合界面の模式図である。

【図9】比較実験に用いたパワーモジュール用基板を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

30

以下に、本発明の実施形態について添付した図面を参照して説明する。図1に本発明の第1の実施形態であるパワーモジュール用基板及びパワーモジュールを示す。

このパワーモジュール1は、回路層12が配設されたパワーモジュール用基板10と、回路層12の表面にはんだ層2を介して接合された半導体チップ3と、ヒートシンク4とを備えている。ここで、はんだ層2は、例えばSn-Ag系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材とされている。なお、本実施形態では、回路層12とはんだ層2との間にNiメッキ層（図示なし）が設けられている。

【0024】

パワーモジュール用基板10は、セラミックス基板11と、このセラミックス基板11の一方の面（図1において上面）に配設された回路層12と、セラミックス基板11の他方の面（図1において下面）に配設された金属層13とを備えている。

40

セラミックス基板11は、回路層12と金属層13との間の電氣的接続を防止するものであって、絶縁性の高いAlN（窒化アルミ）で構成されている。また、セラミックス基板11の厚さは、0.2～1.5mmの範囲内に設定されており、本実施形態では、0.635mmに設定されている。なお、本実施形態では、図1に示すように、セラミックス基板11の幅は、回路層12及び金属層13の幅より広く設定されている。

【0025】

回路層12は、セラミックス基板11の一方の面に導電性を有する金属板22が接合されることにより形成されている。本実施形態においては、回路層12は、純度が99.9%以上のアルミニウム（いわゆる4Nアルミニウム）の圧延板からなる金属板22がセ

50

ラミックス基板 1 1 に接合されることにより形成されている。ここで、セラミックス基板 1 1 と金属板 2 2 の接合には、融点降下元素である Si を含有した Al - Si 系のろう材を用いている。

【0026】

金属層 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面に金属板 2 3 が接合されることにより形成されている。本実施形態においては、金属層 1 3 は、回路層 1 2 と同様に、純度が 99.99% 以上のアルミニウム（いわゆる 4 N アルミニウム）の圧延板からなる金属板 2 3 がセラミックス基板 1 1 に接合されることで形成されている。ここで、セラミックス基板 1 1 と金属板 2 3 の接合には、融点降下元素である Si を含有した Al - Si 系のろう材を用いている。

10

【0027】

ヒートシンク 4 は、前述のパワーモジュール用基板 1 0 を冷却するためのものであり、パワーモジュール用基板 1 0 と接合される天板部 5 と冷却媒体（例えば冷却水）を流通するための流路 6 とを備えている。ヒートシンク 4（天板部 5）は、熱伝導性が良好な材質で構成されることが望ましく、本実施形態においては、A6063（アルミニウム合金）で構成されている。

また、本実施形態においては、ヒートシンク 4 の天板部 5 と金属層 1 3 との間には、アルミニウム又はアルミニウム合金若しくはアルミニウムを含む複合材（例えば AlSiC 等）からなる緩衝層 1 5 が設けられている。

【0028】

20

そして、図 2 に示すように、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）との接合界面 3 0 の幅方向中央部（図 1 の A 部）においては、回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）に Si, Cu が固溶しており、接合界面 3 0 から積層方向に離間するにしたがい漸次 Si, Cu の濃度が低下する濃度傾斜層 3 3 が形成されている。ここで、この濃度傾斜層 3 3 の接合界面 3 0 側の Si 濃度が 0.05 ~ 0.5 wt%, Cu 濃度が 0.05 ~ 1.0 wt% の範囲内に設定されている。

なお、濃度傾斜層 3 3 の接合界面 3 0 側の Si 濃度及び Cu 濃度は、EPMA 分析（スポット径 30 μm）で、接合界面 3 0 から 50 μm までの範囲内を 5 点測定した平均値である。

【0029】

30

また、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）との接合界面 3 0 の幅方向端部 3 5（図 1 の B 部）においては、図 3 に示すように、アルミニウム中に Si, Cu が固溶したアルミニウム相 4 1 と、Si の含有率が 98 wt% 以上とされた Si 相 4 2 と、Al と Cu と Si の 3 元共晶組織からなる共晶相 4 3 と、が形成されている。また、共晶相 4 3 内においては、Cu を含む化合物（例えば CuAl₂）からなる析出物粒子が析出している。

【0030】

また、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）との接合界面 3 0 を透過電子顕微鏡において観察した場合には、図 4 に示すように、接合界面 3 0 に Si が濃縮した Si 高濃度部 3 2 が形成されている。この Si 高濃度部 3 2 においては、Si 濃度が、回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）中の Si 濃度よりも 5 倍以上高くなっている。なお、この Si 高濃度部 3 2 の厚さ H は 4 nm 以下とされている。

40

ここで、観察する接合界面 3 0 は、図 4 に示すように、回路層 1 2（金属板 2 2）及び金属層 1 3（金属板 2 3）の格子像の界面側端部とセラミックス基板 1 1 の格子像の界面側端部との間の中央を基準面 S とする。

【0031】

このようなパワーモジュール用基板 1 0 は、以下のようにして製造される。

AlN からなるセラミックス基板 1 1 の両面に、スパッタリングによって Cu が固着される（Cu 固着工程）。

50

そして、図 5 に示すように、セラミックス基板 1 1 の一方の面に、回路層 1 2 となる金属板 2 2 (4 N アルミニウムの圧延板) が、厚さ 1 0 ~ 3 0 μm (本実施形態では 2 0 μm) のろう材箔 2 4 を介して積層され、セラミックス基板 1 1 の他方の面に金属層 1 3 となる金属板 2 3 (4 N アルミニウムの圧延板) が厚さ 1 0 ~ 3 0 μm (本実施形態では 2 0 μm) のろう材箔 2 5 を介して積層される (積層工程) 。

【 0 0 3 2 】

このようにして形成された積層体 2 0 をその積層方向に加圧 (圧力 1 ~ 5 kgf/cm^2) した状態で真空炉内に装入して加熱し、ろう材箔 2 4 、 2 5 を溶融する (溶融工程) 。ここで真空炉内の真空度は、 $10^{-3} \text{Pa} \sim 10^{-5} \text{Pa}$ とされている。この溶融工程によって、図 6 に示すように、回路層 1 2 及び金属層 1 3 となる金属板 2 2 、 2 3 の一部とろう材箔 2 4 、 2 5 とが溶融し、セラミックス基板 1 1 の表面に溶融アルミニウム層 2 6 、 2 7 が形成される。

次に、積層体 2 0 を冷却することによって溶融アルミニウム層 2 6 、 2 7 を凝固させる (凝固工程) 。

このようにして、回路層 1 2 及び金属層 1 3 となる金属板 2 2 、 2 3 とセラミックス基板 1 1 とが接合され、本実施形態であるパワーモジュール用基板 1 0 が製造される。

【 0 0 3 3 】

以上のような構成とされた本実施形態であるパワーモジュール用基板 1 0 及びパワーモジュール 1 においては、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) とが、Al - Si 系のろう材を用いて接合されるとともに、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) とセラミックス基板 1 1 の接合界面 3 0 に Cu が添加されているので、接合界面 3 0 に存在する Cu と Al とが溶融反応し、比較的低温、短時間の接合条件で接合しても、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) とを強固に接合でき、接合信頼性を大幅に向上させることができる。

【 0 0 3 4 】

また、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) との接合界面 3 0 の幅方向中央部 (図 1 の A 部) においては、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) に Si , Cu が固溶しており、接合界面 3 0 から積層方向に離間するにしたがい漸次 Si , Cu の濃度が低下する濃度傾斜層 3 3 が形成されており、この濃度傾斜層 3 3 の接合界面 3 0 側の Cu 濃度が 0 . 0 5 ~ 1 . 0 $\text{wt}\%$ の範囲内に設定されているので、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) の接合界面 3 0 側の部分が固溶強化し、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) における破断の発生を防止することができる。

また、この濃度傾斜層 3 3 の接合界面 3 0 側の Si 濃度が 0 . 0 5 ~ 0 . 5 $\text{wt}\%$ の範囲内に設定されているので、Si が十分に回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) 中に拡散しており、ろう材が確実に溶融して凝固されることでセラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) とを強固に接合することができる。

【 0 0 3 5 】

さらに、セラミックス基板 1 1 の幅が回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) の幅よりも広く設定され、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) の幅方向端部 3 5 に、アルミニウム中に Si , Cu が固溶したアルミニウム相 4 1 と、Si の含有率が 9 8 $\text{wt}\%$ 以上とされた Si 相 4 2 と、Al と Cu と Si の 3 元共晶組織からなる共晶相 4 3 と、が形成されているので、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) の幅方向端部 3 5 の強度が向上することになる。さらに、共晶相 4 3 内においては、Cu を含む化合物 (例えば CuAl_2) からなる析出物粒子が析出しているので、幅方向端部 3 5 を析出強化することができる。

これにより、回路層 1 2 (金属板 2 2) 及び金属層 1 3 (金属板 2 3) の幅方向端部 3 5 からの破断の発生を防止することができる。

10

20

30

40

50

【0036】

また、本実施形態では、セラミックス基板 11 が AlN で構成されており、金属板 22、23 とセラミックス基板 11 との接合界面 30 に、Si 濃度が、回路層 12 (金属板 22) 及び金属層 13 (金属板 23) 中の Si 濃度の 5 倍以上とされた Si 高濃度部 32 が形成されているので、接合界面 30 に存在する Si によってセラミックス基板 11 と金属板 22、23 との接合強度の向上を図ることができる。

【0037】

次に、本発明の第 2 の実施形態について図 7 及び図 8 を参照して説明する。なお、第 1 の実施形態と同一の部材には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

この第 2 の実施形態であるパワーモジュール用基板 110 においては、セラミックス基板 111 が Si_3N_4 で構成されている点が第 1 の実施形態と異なっている。

10

【0038】

ここで、セラミックス基板 111 と回路層 12 (金属板 22) 及び金属層 13 (金属板 23) との接合界面 30 を透過電子顕微鏡において観察した場合には、図 8 に示すように、接合界面 30 に酸素が濃縮した酸素高濃度部 132 が形成されている。この酸素高濃度部 132 においては、酸素濃度が、回路層 12 (金属板 22) 及び金属層 13 (金属板 23) 中の酸素濃度よりも高くなっている。なお、この酸素高濃度部 132 の厚さ H は 4 nm 以下とされている。

なお、ここで観察する接合界面 30 は、図 8 に示すように、回路層 12 (金属板 22) 及び金属層 13 (金属板 23) の格子像の界面側端部とセラミックス基板 111 の格子像の接合界面側端部との間の中央を基準面 S とする。

20

【0039】

以上のような構成とされた第 2 の本実施形態であるパワーモジュール用基板 110 においては、回路層 12 及び金属層 13 となる金属板 22、23 とセラミックス基板 111 との接合界面 30 に、酸素濃度が回路層 12 及び金属層 13 を構成する金属板 22、23 中の酸素濃度よりも高くされた酸素高濃度部 132 が生成されているので、この酸素によってセラミックス基板 111 と金属板 22、23 との接合強度の向上を図ることができる。また、この酸素高濃度部 132 の厚さが 4 nm 以下とされているので、熱サイクルを負荷した際の応力によって酸素高濃度部 132 にクラックが発生することが抑制される。

30

【0040】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されることはなく、その発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

例えば、回路層及び金属層を構成する金属板を純度 99.99% の純アルミニウムの圧延板としたものとして説明したが、これに限定されることはなく、純度 99% のアルミニウム (2N アルミニウム) であってもよい。

【0041】

また、ヒートシンクの天板部と金属層との間に、アルミニウム又はアルミニウム合金若しくはアルミニウムを含む複合材 (例えば AlSiC 等) からなる緩衝層を設けたものとして説明したが、この緩衝層がなくてもよい。

さらに、ヒートシンクをアルミニウムで構成したものとして説明したが、アルミニウム合金、又はアルミニウムを含む複合材等で構成されていてもよい。さらに、ヒートシンクとして冷却媒体の流路を有するもので説明したが、ヒートシンクの構造に特に限定はない。

40

【0042】

また、第 1 の実施形態において、セラミックス基板を AlN で構成されたものとして説明したが、これに限定されることはなく、 Al_2O_3 等の他のセラミックスで構成されていてもよい。

【0043】

また、セラミックス基板の表面に Cu を固着させる Cu 固着工程を有したものとして説明したが、これに限定されることはなく、ろう材箔の表面に Cu を固着させてもよい。ま

50

た、スパッタでなく蒸着やメッキ等でCuを固着させてもよい。さらには、Al-Si系のろう材中にCuを添加してもよい。

【実施例1】

【0044】

本発明の有効性を確認するために行った比較実験について説明する。

図9に示すように、比較例及び実施例1においては、厚さ0.635mmのAlNからなるセラミックス基板11と、厚さ0.6mmの4Nアルミニウムからなる回路層12と、厚さ0.6mmの4Nアルミニウムからなる金属層13と、厚さ5mmのアルミニウム合金(A6063)からなる天板部5と、厚さ1.0mmの4Nアルミニウムからなる緩衝層15とを共通に有している。

【0045】

実施例1は、セラミックス基板11の表面にCuをスパッタリングによって固着させた後に、回路層12及び金属層13となる金属板をAl-Si系ろう材を用いて接合した。

比較例は、Cuを接合界面に添加することなく、セラミックス基板11と回路層12及び金属層13となる金属板をAl-Si系ろう材を用いて接合した。

これらの試験片を用いて接合信頼性の評価を行った。接合信頼性の評価としては、熱サイクル(-45 - 125)を繰り返した後の接合率を比較した。評価結果を表1に示す。

【0046】

【表1】

	接合界面への Cu添加	熱サイクル負荷後の接合率		
		1000回	2000回	3000回
実施例1	あり	100%	100%	99.2%
比較例	なし	99.8%	94.2%	91.5%

【0047】

接合界面にCuが添加されておらず、Al-Si系のろう材を用いて接合された比較例においては、熱サイクルを1000回負荷した時点では接合率が100%近くであったが2000回負荷した時点では接合率の低下が認められ、3000回負荷した時点では91.5%まで低下している。

一方、接合界面に、Cuが添加された実施例1においては、2000回負荷しても接合率は低下せず、3000回負荷後も接合率は99.2%であった。

この確認実験により、本発明によれば、接合界面にCuを添加することによって、熱サイクル信頼性が向上することが確認された。

【実施例2】

【0048】

次に、パワーモジュール用基板における金属層の成分分析結果を示す。

厚さ0.635mmのAlNからなるセラミックス基板11に、厚さ0.6mmの4Nアルミニウムからなる回路層12と、厚さ0.6mmの4Nアルミニウムからなる金属層13とを接合し、パワーモジュール用基板を作製した。

ここで、実施例2-4は、Al-7.5wt%Siろう材の表面に1.5μm厚さのCu層を形成し、このAl-7.5wt%Siろう材を用いて、セラミックス基板11に回路層12と金属層13とを接合した。なお、接合温度を610、630、650の

3 水準とした。

実施例 5 - 7 は、セラミックス基板 1 1 の表面に 1 . 5 μ m 厚さの Cu 層を形成し、Al - 7 . 5 wt % Si ろう材を用いて、セラミックス基板 1 1 に回路層 1 2 と金属層 1 3 とを接合した。なお、接合温度を 6 1 0 、 6 3 0 、 6 5 0 の 3 水準とした。

【 0 0 4 9 】

これら実施例 2 - 7 について、金属層とセラミックス基板との界面の幅方向中央部、前記界面の幅方向端部における Cu 濃度及び Si 濃度を E P M A を用いて定量分析した。結果を表 2 に示す。

【 0 0 5 0 】

【 表 2 】

10

	接合温度 (°C)	Si (wt%)		Cu (wt%)	
		幅中央部	幅端部	幅中央部	幅端部
実施例 2	610	0.084	1.091	0.481	0.943
実施例 3	630	0.113	1.455	0.457	0.854
実施例 4	650	0.106	1.243	0.418	0.933
実施例 5	610	0.102	1.314	0.634	1.066
実施例 6	630	0.108	1.257	0.370	1.043
実施例 7	650	0.087	1.066	0.355	1.320

20

【 0 0 5 1 】

この定量分析の結果、セラミックス基板と金属板とを、Cu 層を形成するとともに Al - Si 系ろう材を用いて接合することにより、幅方向中央部においては、接合界面側部分における Si 濃度が 0 . 0 5 ~ 0 . 5 wt % , Cu 濃度が 0 . 0 5 ~ 1 . 0 wt % の範囲内に設定されることが確認された。また、幅方向端部においては、Si 及び Cu が高濃度に存在していることが確認された。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 5 2 】

1 , 1 0 1 パワーモジュール

2 半導体チップ (電子部品)

1 0 , 1 1 0 パワーモジュール用基板

1 1 、 1 1 1 セラミックス基板

1 2 回路層

1 3 金属層

2 2 、 2 3 金属板

2 4 、 2 5 ろう材箔 (ろう材)

2 6 、 2 7 溶融アルミニウム層

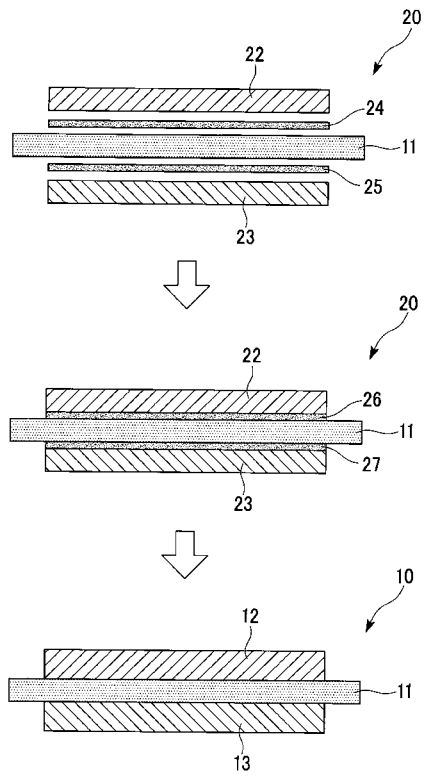
3 0 接合界面

3 2 Si 高濃度部

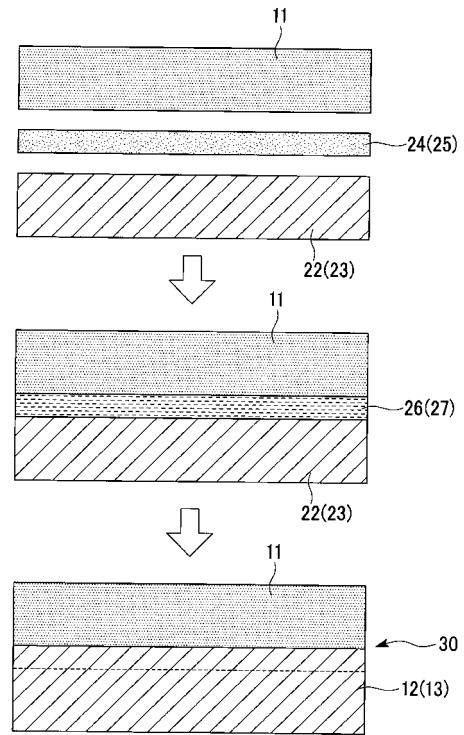
1 3 2 酸素高濃度部

40

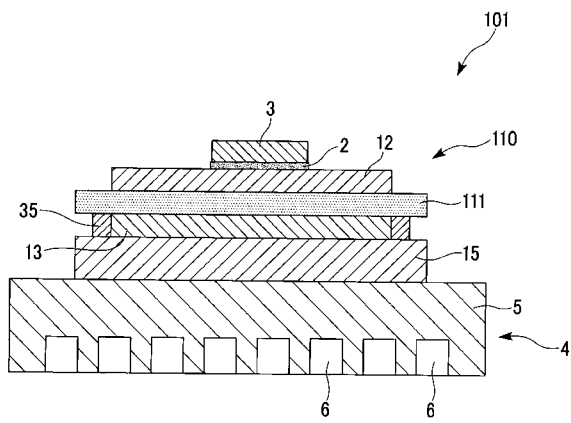
【図 5】



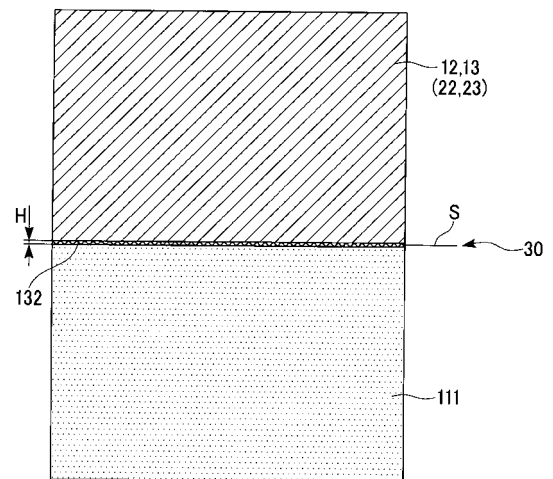
【図 6】



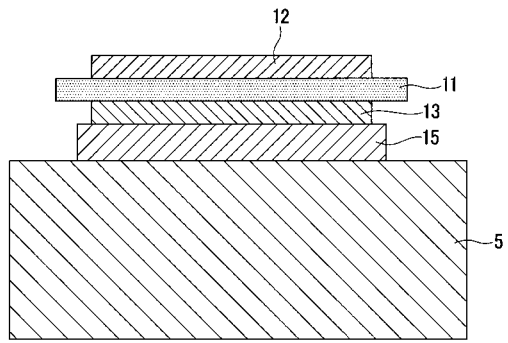
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 長友 義幸

茨城県那珂市向山 1 0 0 2 - 1 4 三菱マテリアル株式会社中央研究所内

(72)発明者 北原 丈嗣

茨城県那珂市向山 1 0 0 2 - 1 4 三菱マテリアル株式会社中央研究所内

(72)発明者 殿村 宏史

茨城県那珂市向山 1 0 0 2 - 1 4 三菱マテリアル株式会社中央研究所内

F ターム(参考) 5F136 BB05 DA27 FA02 FA14 FA16 GA02