

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6384112号
(P6384112)

(45) 発行日 平成30年9月5日(2018.9.5)

(24) 登録日 平成30年8月17日(2018.8.17)

(51) Int. Cl.	F I		
HO 1 L 23/13	(2006.01)	HO 1 L 23/12	C
HO 1 L 25/07	(2006.01)	HO 1 L 25/04	C
HO 1 L 25/18	(2006.01)	HO 1 L 23/36	C
HO 1 L 23/36	(2006.01)	HO 1 L 23/12	J
HO 1 L 23/12	(2006.01)		

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-91814 (P2014-91814)	(73) 特許権者	000006264
(22) 出願日	平成26年4月25日 (2014.4.25)		三菱マテリアル株式会社
(65) 公開番号	特開2015-211125 (P2015-211125A)		東京都千代田区大手町一丁目3番2号
(43) 公開日	平成27年11月24日 (2015.11.24)	(74) 代理人	100101465
審査請求日	平成29年3月28日 (2017.3.28)		弁理士 青山 正和
		(72) 発明者	寺▲崎▼ 伸幸
			埼玉県北本市下石戸上1975-2 三菱
			マテリアル株式会社 中央研究所内
		(72) 発明者	長友 義幸
			埼玉県北本市下石戸上1975-2 三菱
			マテリアル株式会社 中央研究所内
		審査官	黒田 久美子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワーモジュール用基板及びヒートシンク付パワーモジュール用基板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

セラミックス基板の一方の面に積層された回路層と、他方の面に積層された金属層とを備えたパワーモジュール用基板であって、前記回路層は、前記セラミックス基板の一方の面に接合された第一アルミニウム層と、該第一アルミニウム層に固相拡散接合された第一銅層とを有し、前記金属層は、前記第一アルミニウム層と同一材料により形成され前記セラミックス基板の他方の面に接合された第二アルミニウム層と、前記第一銅層と同一材料により形成されて前記第二アルミニウム層に固相拡散接合された第二銅層とを有し、前記第一アルミニウム層と前記第一銅層との間、及び前記第二アルミニウム層と前記第二銅層との間には、アルミニウムと銅との金属間化合物層が形成されており、前記第一銅層の厚み t_1 が 1.7 mm 以上 5 mm 以下とされ、前記第一銅層の厚み t_1 と前記第二銅層の厚み t_2 の合計が 7 mm 以下とされ、前記第一銅層の厚み t_1 と前記第二銅層の厚み t_2 との比率 t_2 / t_1 が 0.8 を超えて 1.2 以下の範囲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。

10

【請求項2】

前記金属間化合物層の厚みが $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $80\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載のパワーモジュール用基板。

【請求項3】

請求項1又は2に記載のパワーモジュール用基板と、ヒートシンクとを有し、前記第二銅層と前記ヒートシンクとが接合されていることを特徴とするヒートシンク付パワーモジ

20

ジュール用基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、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及びヒートシンク付パワーモジュール用基板に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のパワーモジュール用基板として、絶縁層となるセラミックス基板の一方側に回路層となる金属板が接合されるとともに、他方側に金属層となる金属板が接合された構成のものが知られている。また、このパワーモジュール用基板の片側に設けられた金属層に、熱伝導性に優れたヒートシンクが接合され、ヒートシンク付パワーモジュール用基板とされる。そして、回路層上にはんだ材を介してパワー素子等の半導体素子が搭載され、ヒートシンク付パワーモジュールが製造される。

10

【0003】

この種のヒートシンク付パワーモジュール用基板において、特許文献1に記載されるように、回路層となる金属板に電気的特性に優れた銅を用い、金属層となる金属板には、セラミックス基板とヒートシンクとの間の熱応力を緩和する目的で、アルミニウムを用いる場合がある。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013 229579号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

このように、回路層を銅で形成することにより、アルミニウムを用いる場合と比べて半導体素子で発生する熱を速やかに放熱することができる。半導体素子の発熱分を放熱し易くするためには回路層の厚みを厚くすることが有効であるが、回路層の厚みをあまり厚くしすぎると、セラミックス基板との熱膨張差により熱伸縮による反りが大きくなり、半導体素子との接合を阻害して実装上の問題が生じることや、セラミックス基板に割れが発生することが懸念される。

30

【0006】

一方、金属層に用いられるアルミニウムは、はんだ付け性が悪いため、アルミニウムで構成された金属層とヒートシンクとをはんだ接合する際には、表面にNiめっきを形成する必要があり、生産性が低下することが問題である。また、アルミニウムは変形抵抗が比較的低いいため、パワーモジュールに冷熱サイクルが負荷された際に、金属層が変形することによって、はんだにクラックが生じ、接合信頼性が低下したり、熱抵抗が上昇したりすることが問題となっている。

【0007】

40

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、冷熱サイクル負荷時において、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇が生じることを抑制し、かつセラミックス基板に割れが生じることを防止できるパワーモジュール用基板及びヒートシンク付パワーモジュール用基板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】

冷熱サイクル負荷時に生じる反りを低減するには、セラミックス基板を境に両側に接合される回路層及び金属層を、材質や厚み等を同一に設けて対称構造とすることが考えられる。ところが、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、その使用環境が厳しく、半導体素子からの発熱量が大きくなっているため、パワーサイクル

50

の条件が厳しくなっている。半導体素子の発熱分を放熱し易くするためには回路層の厚みを厚くすることが有効であるのに対し、パワーモジュール全体の小型化を考慮した場合には、金属層の厚みは薄くすることが望ましい。

そこで、本発明のパワーモジュール用基板は、以下の解決手段とした。

【0009】

本発明は、セラミックス基板の一方の面に積層された回路層と、他方の面に積層された金属層とを備えたパワーモジュール用基板であって、前記回路層は、前記セラミックス基板の一方の面に接合された第一アルミニウム層と、該第一アルミニウム層に固相拡散接合された第一銅層とを有し、前記金属層は、前記第一アルミニウム層と同一材料により形成され前記セラミックス基板の他方の面に接合された第二アルミニウム層と、前記第一銅層と同一材料により形成されて前記第二アルミニウム層に固相拡散接合された第二銅層とを有し、前記第一アルミニウム層と前記第一銅層との間、及び前記第二アルミニウム層と前記第二銅層との間には、アルミニウムと銅との金属間化合物層が形成されており、前記第一銅層の厚み t_1 が 1.7 mm 以上 5 mm 以下とされ、前記第一銅層の厚み t_1 と前記第二銅層の厚み t_2 の合計が 7 mm 以下とされ、前記第一銅層の厚み t_1 と前記第二銅層の厚み t_2 との比率 t_2 / t_1 が 0.8 を超えて 1.2 以下の範囲に設定されていることを特徴とする。

この場合、前記金属間化合物層の厚みが $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $80\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であるとよい。

【0010】

このように構成されるパワーモジュール用基板は、回路層が、セラミックス基板の一方の面に接合される第一アルミニウム層と、この第一アルミニウム層に接合される第一銅層とにより形成され、この第一銅層の上に半導体素子が搭載されているので、半導体素子から発生する熱を第一銅層で面方向に拡げて効率的に放散することができる。また、比較的変形抵抗の小さい第一アルミニウム層がセラミックス基板と接合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合にセラミックス基板と回路層との熱膨張係数の差に起因して発生する熱応力を第一アルミニウム層が吸収し、セラミックス基板に割れが発生することを抑制できる。さらに、この第一アルミニウム層に接合された比較的変形抵抗の大きい第一銅層によって、パワーサイクルが負荷された場合の回路層の変形を抑制することができるので、回路層と半導体素子とを接合するはんだにクラックが生じることを抑制できる。

【0011】

また、第一アルミニウム層と第一銅層とが、固相拡散接合によって接合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合に、第一アルミニウム層と第一銅層との間に剥離が生じることが抑制され、回路層の熱伝導性及び導電性を良好に維持することができる。

この場合、第一銅層の厚み t_1 は 1.7 mm 以上 5 mm 以下とされるが、厚み t_1 が 1.7 mm 未満では、半導体素子からの熱を面方向に拡げにくくなるので、パワーサイクル負荷時の熱抵抗を十分に低減することができず、パワーサイクルに対する信頼性を確保することが難しくなる。また、厚み t_1 が 5 mm を超える範囲では、放熱性能に大きな差が生じなくなることから、パワーモジュール全体の小型化の観点から、厚み t_1 は 5 mm 以下とされる。

さらに、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 の合計が 7 mm 以下とされているが、これらの合計が 7 mm を超える場合、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス基板に過剰な熱応力が掛かり、セラミックス基板に割れが生じるおそれがある。

【0012】

一方、金属層は、セラミックス基板の他方の面に接合される第二アルミニウム層と、この第二アルミニウム層に接合される第二銅層とにより形成されているので、金属層にNiめっきを形成することなく金属層とヒートシンクとを良好に接合できる。また、パワーモジュール用基板とヒートシンクとを、はんだによって接合した場合に、比較的変形抵抗が高い第二銅層とヒートシンクとを接合することになるので、冷熱サイクルが負荷された際に、金属層の変形によって生じるはんだ内のクラックを抑制し、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇を抑えることができる。さらに、比較的変形抵抗が小さい第二アルミニウム層が

第二銅層に接合されているので、冷熱サイクルが負荷されてもセラミックス基板と第二銅層との間に生じる熱応力を第二アルミニウム層で吸収してセラミックス基板に割れが生じることを抑制できる。

また、第二アルミニウム層と第二銅層とが固相拡散接合によって接合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合に、第二アルミニウム層と第二銅層との間に剥離が生じることが抑制され、金属層の熱伝導性を良好に維持することができる。

【0013】

また、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 の比率 t_2 / t_1 は0を超えて1.2以下の範囲のうち0.6以上0.8以下を除く範囲とされるが、これは、比率 t_2 / t_1 が0.6以上0.8以下の範囲では、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 とは比較 10
的厚みが近くなるのでパワーモジュール用基板全体の反りは小さくなるが、第二銅層の厚み t_2 が第一銅層の厚みに近づいて厚く設けられることとなるので、第二銅層の剛性が高くなり、これにより冷熱サイクル時に第一銅層による反りと第二銅層による反りとが相反する方向に負荷されることとなり、パワーモジュール用基板全体に生じる反り量が小さいにも関わらず、セラミックス基板に加わる負荷が大きくなってセラミックス基板に割れが生じるおそれがあるからである。

一方、比率 t_2 / t_1 が0.6未満では、第一銅層の厚み t_1 と比べて第二銅層の厚み t_2 が小さいので、第一銅層と第二銅層との熱伸縮差によって冷熱サイクル時に生じるパワーモジュール用基板の反りは大きくなるが、第二銅層の剛性が低いので、第二銅層が第一銅層に追従してセラミックス基板に割れが生じることを回避できる。 20

また、比率 t_2 / t_1 が0.8を超える範囲では、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 とがほぼ同じ厚みになるので、冷熱サイクル時における第一銅層に生じる反りと第二銅層に生じる反りとのバランスが保たれた状態となり、パワーモジュール用基板に生じる反りを低減でき、セラミックス基板の割れを抑制することができる。

【0014】

本発明のヒートシンク付パワーモジュール用基板は、上述のパワーモジュール用基板と、ヒートシンクとを有し、前記第二銅層と前記ヒートシンクとが接合されていることを特徴とする。

パワーモジュール用基板の第二銅層がヒートシンクに接合されるので、金属層にNiめっきを形成することなく金属層とヒートシンクとをはんだによって接合することができる 30
。また、比較的変形抵抗が高い第二銅層とヒートシンクとを接合することになるので、冷熱サイクル負荷時において、はんだにクラックが発生することを抑制し、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇を抑えることができる。

【0015】

本発明のヒートシンク付パワーモジュール用基板を用いて、その回路層上に接合された半導体素子を備えるヒートシンク付パワーモジュールにおいては、冷熱サイクルが負荷されても、金属層とヒートシンクを接合するはんだにクラックが生じることを抑制し、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇を抑えることができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、冷熱サイクル負荷時において、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇が生じることを抑制し、かつセラミックス基板に割れが生じることを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態のパワーモジュール用基板を用いたヒートシンク付パワーモジュールの概略説明図である。

【図2】回路層における第一アルミニウム層と第一銅層との接合界面の要部説明図である。

【図3】本発明の実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法の概略説明図である。

10

20

30

40

50

【図4】本発明の実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

【図5】本発明の実施形態に係るパワーモジュールの製造方法を示すフロー図である。

【図6】冷熱サイクル試験後の回路層（第一アルミニウム層）とセラミックス基板との接合界面の超音波画像である。

【図7】CuとAlの2元状態図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

図1に示すヒートシンク付パワーモジュール100は、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20と、このヒートシンク付パワーモジュール用基板20に接合された半導体素子30とを備えている。また、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20は、パワーモジュール用基板10と、このパワーモジュール用基板10に接合されたヒートシンク40とを備えている。

10

【0019】

パワーモジュール用基板10は、セラミックス基板11と、そのセラミックス基板11の一方の面11fに積層された回路層12と、セラミックス基板11の他方の面11bに積層された金属層13とを有している。

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、 AlN 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 等で構成されている。また、セラミックス基板11の厚みは0.2mm~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。

20

【0020】

回路層12は、セラミックス基板11の一方の面11fに接合された第一アルミニウム層12Aと、この第一アルミニウム層12Aの一方側（図1において上側）に積層された第一銅層12Bとを有している。

第一アルミニウム層12Aは、純アルミニウム又はアルミニウム合金からなる板がセラミックス基板11の一方の面11fに接合されることにより形成されており、本実施形態においては、第一アルミニウム層12Aは、純度が99.99%以上のアルミニウム（いわゆる4Nアルミニウム）の圧延板からなるアルミニウム板をセラミックス基板11に接合されることにより形成されている。

30

また、第一銅層12Bは、第一アルミニウム層12Aの一方側（図1において上側）に純銅や銅合金からなる板が接合されることにより形成されており、本実施形態においては、第一銅層12Bは、無酸素銅の圧延板からなる銅板が第一アルミニウム層12Aに固相拡散接合されることにより形成されている。

【0021】

金属層13は、セラミックス基板11の他方の面11bに接合された第二アルミニウム層13Aと、この第二アルミニウム層13Aの他方側（図1において下側）に積層された第二銅層13Bとを有している。

第二アルミニウム層13Aは、アルミニウム板がセラミックス基板11の他方の面11bに接合されることにより形成されており、回路層12の第一アルミニウム層12Aと同一材料により形成される。本実施形態においては、上述したように第一アルミニウム層12Aは、純度が99.99%以上のアルミニウム（いわゆる4Nアルミニウム）の圧延板からなるアルミニウム板がセラミックス基板11に接合されることにより形成されており、第二アルミニウム層13Aも、第一アルミニウム層12Aと同一の純度が99.99%以上のアルミニウム（いわゆる4Nアルミニウム）の圧延板からなるアルミニウム板がセラミックス基板11に接合されることにより形成されている。

40

また、第二銅層13Bは、第二アルミニウム層13Aの他方側（図1において下側）に接合されることにより形成されており、回路層12の第一銅層12Bと同一材料により形成される。したがって、本実施形態においては、第二銅層13Bは、第一銅層12Bと同

50

じ無酸素銅の圧延板からなる銅板が第二アルミニウム層 1 3 A に固相拡散接合されることにより形成されている。

【 0 0 2 2 】

そして、このように構成されるパワーモジュール用基板 1 0 の回路層 1 2 の第一銅層 1 2 B の厚み t_1 は、1.7 mm 以上 5 mm 以下とされる。また、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 と第二銅層 1 3 B の厚み t_2 の合計が 7 mm 以下とされるとともに、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 と第二銅層 1 3 B の厚み t_2 との比率 t_2 / t_1 が 0 を超えて 1.2 以下の範囲のうち 0.6 以上 0.8 以下を除く範囲に設定されている。

また、本実施形態において、回路層 1 2 及び金属層 1 3 の平面サイズは、一辺が 30 mm 以上 150 mm 以下とされる矩形のセラミックス基板 1 1 の平面サイズよりも小さく設けられている。

10

【 0 0 2 3 】

なお、これら回路層 1 2 と金属層 1 3 とを構成する、第一アルミニウム層 1 2 A と第一銅層 1 2 B、及び第二アルミニウム層 1 3 A と第二銅層 1 3 B は、前述したように固相拡散接合により接合されており、これらの界面には、図 2 に示すように、金属間化合物層 1 4 がそれぞれ形成されている。金属間化合物層 1 4 は、第一アルミニウム層 1 2 A 又は第二アルミニウム層 1 3 A の Al 原子と、第一銅層 1 2 B 又は第二銅層 1 3 B の Cu 原子とが相互拡散することにより形成されるものである。例えば第一アルミニウム層 1 2 A と第一銅層 1 2 B との界面に形成された金属間化合物層 1 4 について説明すると、第一アルミニウム層 1 2 A から第一銅層 1 2 B に向かうにしたがい、漸次 Al 原子の濃度が低くなり、かつ Cu 原子の濃度が高くなる濃度勾配を有している。

20

【 0 0 2 4 】

このように、金属間化合物層 1 4 は、Cu と Al とからなる金属間化合物により構成されており、本実施形態では、複数の金属間化合物が接合界面に沿って積層した構造とされ、金属間化合物層 1 4 の厚みは、1 μ m 以上 80 μ m 以下の範囲内、好ましくは 5 μ m 以上 80 μ m 以下の範囲内に設定されている。なお、本実施形態では、図 2 に示すように、3 種の金属間化合物が積層された構造とされており、第一アルミニウム層 1 2 A (第二アルミニウム層 1 3 A) 側から第一銅層 1 2 B (第二銅層 1 3 B) 側に向けて順に、第一アルミニウム層 1 2 A (第二アルミニウム層 1 3 A) と第一銅層 1 2 B (第二銅層 1 3 B) との接合界面に沿って、 Cu_2Al 相 1 6、 Cu_2Al_3 相 1 7 が積層し、さらに Cu_2Al_3 相 1 8 A、 Cu_2Al_3 相 1 8 B 及び Cu_2Al_3 相 1 8 C のうち少なくとも一相が積層した構造とされている (図 7)。

30

【 0 0 2 5 】

また、金属間化合物層 1 4 と第一銅層 1 2 B (第二銅層 1 3 B) との接合界面に沿って、酸化物 1 9 が、 Cu_2Al 相 1 8 A、 Cu_2Al_3 相 1 8 B、又は Cu_2Al_3 相 1 8 C の内部に層状に分散している。なお、本実施形態においては、この酸化物 1 9 は、アルミナ (Al_2O_3) 等のアルミニウム酸化物とされる。また、酸化物 1 9 は、分断された状態で分散している場合もある。

【 0 0 2 6 】

ヒートシンク 4 0 は、パワーモジュール用基板 1 0 側の熱を放散するためのものであり、本実施形態では、ヒートシンク 4 0 が、パワーモジュール用基板 1 0 が接合される放熱板 4 1 と冷却媒体 (例えば、冷却水) を流通するための流路 4 2 a が設けられた冷却部 4 2 とからなり、これら放熱板 4 1 と冷却部 4 2 とはグリース (図示略) を介してネジ 4 3 によって固定されている。ヒートシンク 4 0 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、放熱板 4 1 は無酸素銅により形成され、冷却部 4 2 はアルミニウム合金により形成されている。

40

【 0 0 2 7 】

そして、ヒートシンク 4 0 の放熱板 4 1 と金属層 1 3 の第二銅層 1 3 B とが、はんだ層 4 5 によって接合されており、はんだ層 4 5 は、例えば Sn-Sb 系、Sn-Ag 系、Sn-Cu 系、Sn-In 系、もしくは Sn-Ag-Cu 系のはんだ材 (いわゆる鉛フリーはんだ材) とされる。

50

なお、半導体素子30は、半導体を備えた電子部品であり、必要とされる機能に応じて種々の半導体素子が選択される。そして、半導体素子30は、はんだ層31を介して回路層12の第一銅層12Bに接合される。なお、はんだ層31は、例えばSn-Ag系、Sn-Cu系、Sn-In系、もしくはSn-Ag-Cu系等のはんだ材（いわゆる鉛フリーはんだ材）とされる。

【0028】

次に、このように構成されるパワーモジュール用基板10、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20、及びヒートシンク付パワーモジュール100の製造方法について図3から図5を用いて説明する。

まず、図3に示すように、セラミックス基板11の両面（本発明でいう、一方の面11fと他方の面11b）に、Al-Si系のろう材（図示略）を介してアルミニウム板12a, 13aを積層する。そして、加圧・加熱後に冷却することにより、セラミックス基板11とアルミニウム板12a, 13aとを接合し、セラミックス基板11に第一アルミニウム層12A及び第二アルミニウム層13Aを接合する（アルミニウム層形成工程S11）。なお、このろう付け温度は、610～650に設定される。

【0029】

次に、第一アルミニウム層12Aの一方側（上側）に銅板12bを配置し、第二アルミニウム層13Aの他方側（下側）に銅板13bを配置する。そして、これらの積層体をその積層方向に加圧した状態で真空加熱炉50に装入して、加熱処理を行う。本実施形態においては、第一アルミニウム層12A及び銅板12b、第二アルミニウム層13A及び銅板13b、の接触面に負荷される荷重は、0.29MPa以上3.43MPa以下とされ、加熱温度を400以上548未満とし、5分以上240分以下保持して固相拡散接合を行う。これにより、第一アルミニウム層12Aに銅板12bを接合して第一銅層12Bを形成すると同時に、第二アルミニウム層13Aに銅板13bを接合して第二銅層13Bを形成する（銅層形成工程S12）ことにより、回路層12と金属層13が形成され、本実施形態に係るパワーモジュール用基板10が得られる。

なお、本実施形態においては、第一アルミニウム層12Aと銅板12b、第二アルミニウム層13Aと銅板13bの、それぞれの接合面は、予め傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合される。また、固相拡散接合における真空加熱の好ましい加熱温度は、AlとCuの共晶温度-5以上、共晶温度未満の範囲とされている。

【0030】

次に、図4に示すように、パワーモジュール用基板10の他方側（下側）に、ヒートシンク40を接合する（ヒートシンク接合工程S13）。このヒートシンク接合工程S13においては、パワーモジュール用基板10の他方側に放熱板41をはんだ付けした後に、グリースを介して冷却部42を配設することにより、ヒートシンク40をパワーモジュール用基板10に接合する。こうして、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20が得られる。

【0031】

最後に、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20の回路層12の一方の面（図4において上面）に、はんだによって半導体素子30を接合する（半導体素子接合工程S14）ことにより、本実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール100が得られる。

【0032】

以上のような構成とされる本実施形態のパワーモジュール用基板10、ヒートシンク付パワーモジュール用基板20、及びヒートシンク付パワーモジュール100によれば、回路層12が、セラミックス基板11の一方の面11fに接合される第一アルミニウム層12Aと、この第一アルミニウム層12Aに接合される第一銅層12Bとにより形成され、この第一銅層12Bの上に半導体素子30が搭載されているので、半導体素子30から発生する熱を第一銅層12Bで面方向に拡げて効率的に放散することができる。

【0033】

また、比較的変形抵抗の小さい第一アルミニウム層12Aがセラミックス基板11と接

10

20

30

40

50

合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合にセラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 との熱膨張係数の差に起因して発生する熱応力を第一アルミニウム層 1 2 A が吸収し、セラミックス基板 1 1 に割れが発生することを抑制できる。さらに、この第一アルミニウム層 1 2 A に接合された比較的変形抵抗の大きい第一銅層 1 2 B によって、パワーサイクルが負荷された場合の回路層 1 2 の変形を抑制することができるので、回路層 1 2 と半導体素子 3 0 とを接合するはんだにクラックが生じることを抑制できる。

【 0 0 3 4 】

また、第一アルミニウム層 1 2 A と第一銅層 1 2 B とが、固相拡散接合によって接合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合に、第一アルミニウム層 1 2 A と第一銅層 1 2 B との間に剥離が生じることが抑制され、回路層 1 2 の熱伝導性及び導電性を良好に維持することができる。

10

【 0 0 3 5 】

さらに、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 は 1 . 7 mm 以上 5 mm 以下とされるが、厚み t_1 が 1 . 7 mm 未満では、半導体素子 3 0 からの熱を面方向に拡げにくくなるので、パワーサイクル負荷時の熱抵抗を十分に低減することができず、パワーサイクルに対する信頼性を確保することが難しくなるためである。また、厚み t_1 が 5 mm を超える範囲では、放熱性能に大きな差が生じなくなることから、パワーモジュール全体の小型化の観点から、厚み t_1 は 5 mm 以下とされる。

さらに、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 と第二銅層 1 3 B の厚み t_2 の合計が 7 mm 以下とされるが、これらの合計が 7 mm を超える場合、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス基板に過剰な熱応力が掛かり、セラミックス基板に割れが生じるおそれがある。

20

【 0 0 3 6 】

一方、金属層 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面 1 1 b に接合される第二アルミニウム層 1 3 A と、この第二アルミニウム層 1 3 A に接合される第二銅層 1 3 B とにより形成されているので、金属層 1 3 に Ni めっきを形成することなく金属層 1 3 とヒートシンク 4 0 とを良好に接合できる。また、パワーモジュール用基板 1 0 とヒートシンク 4 0 とを、はんだによって接合した場合に、比較的変形抵抗が高い第二銅層 1 3 B とヒートシンク 4 0 とを接合することになるので、冷熱サイクルが負荷された際に、金属層の変形によって生じるはんだ内のクラックを抑制し、接合信頼性の低下や熱抵抗の上昇を抑えることができる。さらに、比較的変形抵抗が小さい第二アルミニウム層 1 3 A が第二銅層 1 3 B に接合されているので、冷熱サイクルが負荷されてもセラミックス基板 1 1 と第二銅層 1 3 B との間に生じる熱応力を第二アルミニウム層 1 3 A で吸収してセラミックス基板 1 1 に割れが生じることを抑制できる。

30

【 0 0 3 7 】

また、第二アルミニウム層 1 3 A と第二銅層 1 3 B とが固相拡散接合によって接合されているので、冷熱サイクルが負荷された場合に、第二アルミニウム層 1 3 A と第二銅層 1 3 B との間に剥離が生じることが抑制され、金属層 1 3 の熱伝導性を良好に維持することができる。

【 0 0 3 8 】

また、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 と第二銅層 1 3 B の厚み t_2 の比率 t_2 / t_1 は 0 を超えて 1 . 2 以下の範囲のうち 0 . 6 以上 0 . 8 以下を除く範囲とされるが、これは、比率 t_2 / t_1 が 0 . 6 以上 0 . 8 以下の範囲では、第一銅層 1 2 B の厚み t_1 と第二銅層 1 3 B の厚み t_2 とは比較的厚みが近くなるのでパワーモジュール用基板 1 0 全体の反りは小さくなるが、第二銅層 1 3 B の厚み t_2 が第一銅層 1 2 B の厚みに近づいて厚く設けられることに関係する。すなわち、第二銅層 1 3 B が厚く設けられることにより剛性が高くなり、これにより冷熱サイクル時に第一銅層 1 2 B による反りと第二銅層 1 3 B による反りとが相反する方向に負荷されることとなる。その結果、パワーモジュール用基板 1 0 全体に生じる反り量が小さいにも関わらず、セラミックス基板 1 1 に加わる負荷が大きくなってセラミックス基板 1 1 に割れが生じるおそれがあるためである。

40

【 0 0 3 9 】

50

一方、比率 t_2 / t_1 が 0.6 未満では、第一銅層 12B の厚み t_1 と比べて第二銅層 13B の厚み t_2 が小さいので、第一銅層 12B と第二銅層 13B との熱伸縮差によって冷熱サイクル時に生じるパワーモジュール用基板 10 の反りは大きくなるが、第二銅層 13B の剛性が低いので、第二銅層 13B が第一銅層 12B に追従してセラミックス基板 11 に割れが生じることを回避できる。

また、比率 t_2 / t_1 が 0.8 を超える範囲では、第一銅層 12B の厚み t_1 と第二銅層 13B の厚み t_2 とがほぼ同じ厚みになるので、冷熱サイクル時における第一銅層 12B に生じる反りと第二銅層 13B に生じる反りととのバランスが保たれた状態となり、パワーモジュール用基板 10 に生じる反りを低減でき、セラミックス基板 11 の割れを抑制することができる。

10

【0040】

なお、本発明は、上記実施形態の構成のものに限定されるものではなく、細部構成においては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば、上記実施形態では、ヒートシンク 40 が無酸素銅で構成されている場合について説明したが、タフピッチ銅等の純銅や銅合金で構成することもできる。また、アルミニウムやアルミニウム合金で構成することもでき、この場合には、ヒートシンクに Ni めっきを施した後に、パワーモジュール用基板とヒートシンクとをはんだによって接合することで良好に接合することができる。さらに、ヒートシンク 40 の放熱板 41 と冷却部 42 との接合方法はネジで固定する場合に限定されるものではなく、例えば固相拡散接合により接合することもできる。また、ヒートシンク 40 は、放熱板 41 を用いることなく構成することもでき、パワーモジュール用基板 10 と冷却部 42 とを直接接合する構成とすることもできるし、ヒートシンク 40 にはヒートパイプ熱等を放散させる種々の構成をとることができる。

20

【0041】

また、上記実施形態においては、第一アルミニウム層 12A と第一銅層 12B、第二アルミニウム層 13A と第二銅層 13B を、同時に固相拡散接合する場合について説明したが、これらを別々に固相拡散接合する構成としても良い。

また第一アルミニウム層 12A と第二アルミニウム層 13A は、純度 99.99% の純アルミニウムに限定されることはなく、純度 99% のアルミニウム（いわゆる 2N アルミニウム）やアルミニウム合金等であっても良い。

30

【実施例】

【0042】

次に、本発明の効果を確認するために行った確認実験について説明する。

(本発明例 1 ~ 12、比較例 1 ~ 4)

前述したパワーモジュールの製造工程において、本発明例 1 ~ 12、比較例 1 ~ 4 となるパワーモジュールの試料を複数製造した。

各パワーモジュール用基板としては、40 mm × 40 mm、厚み 0.635 mm で表 1 に記載の材料からなるセラミックス基板に、回路層及び金属層を積層したものをを用いた。回路層の第一アルミニウム層と金属層の第二アルミニウム層は、それぞれ 37 mm × 37 mm、厚み 0.6 mm で表 1 に記載のアルミニウム板をセラミックス基板に Al-Si 系ろう材により接合して形成した。また、回路層の第一銅層と金属層の第二銅層は、それぞれ 37 mm × 37 mm、表 1 に記載の銅板を第一アルミニウム層及び第二アルミニウム層と固相拡散接合することにより形成して、各試料のパワーモジュール用基板を製造した。なお、固相拡散接合は、真空加熱炉内の圧力を 1.0×10^{-6} Pa 以上 1.0×10^{-3} Pa 以下として行った。

40

そして、得られたパワーモジュール用基板に対して、冷熱サイクル試験を実施し、冷熱サイクル試験後のパワーモジュール用基板に対し、セラミックス基板の割れの評価を行った。

【0043】

冷熱サイクル試験は、冷熱衝撃試験機エスベック社製 TSB 51 を使用し、ヒートシ

50

ンク付パワーモジュールに対して、液相（フロリナート）で、 - 4 0 × 5 分 1 2 5 × 5 分の 3 0 0 0 サイクル実施した。

【 0 0 4 4 】

（セラミックス基板の割れの評価）

超音波探傷装置を用いて評価し、セラミックス基板に割れが確認されなかったものを良「○」とし、割れが生じているものを否「×」と評価した。

評価結果を表 1 に示す。

【 0 0 4 5 】

【表 1】

	アルミニウム層 材質	銅層 材質	セラミックス基板 材質	第一銅層 厚みt1 (mm)	第二銅層 厚みt2 (mm)	比率 t2/t1	t1+t2 (mm)	セラミックス基板 割れ
本発明例	1	無酸素銅	AlN	1.7	2.0	1.18	3.7	○
	2	無酸素銅	AlN	3.0	0.4	0.13	3.4	○
	3	無酸素銅	AlN	3.0	1.6	0.53	4.6	○
	4	無酸素銅	AlN	3.0	2.5	0.83	5.5	○
	5	Zr 20ppm添加銅	AlN	3.0	3.5	1.17	6.5	○
	6	Zr 20ppm添加銅	AlN	5.0	2.0	0.40	7.0	○
	7	無酸素銅	AlN	2.0	1.8	0.90	3.8	○
	8	無酸素銅	AlN	4.0	2.0	0.50	6.0	○
	9	タビッ子銅	AlN	2.0	1.8	0.90	3.8	○
	10	タビッ子銅	AlN	4.0	2.0	0.50	6.0	○
	11	無酸素銅	Si ₃ N ₄	2.0	1.8	0.90	3.8	○
	12	無酸素銅	Si ₃ N ₄	4.0	2.0	0.50	6.0	○
比較例	1	無酸素銅	AlN	3.0	1.9	0.63	4.9	×
	2	無酸素銅	AlN	3.0	2.2	0.73	5.2	×
	3	無酸素銅	AlN	5.0	3.0	0.60	8.0	×
	4	無酸素銅	AlN	2.0	2.7	1.35	4.7	×

10

20

30

40

【 0 0 4 6 】

（本発明例 1 3 ~ 1 6 ）

上述のパワーモジュール用基板とヒートシンクを S n S b はんだによって接合し、表 2 に示す本発明例 1 3 ~ 1 6 のヒートシンク付パワーモジュール用基板を作製した。

本発明例 1 3 は、本発明例 5 で得られたパワーモジュール用基板を用いて作製し、本発

50

明例 14 は本発明例 7 で、本発明例 15 は本発明例 10 で、本発明例 16 は本発明例 12 で得られたパワーモジュール用基板をそれぞれ用いて作製した。また、本発明例 13 及び本発明例 16 は、Niめっきを施した Al 合金 (A6063) からなるヒートシンクを用い、本発明例 14 及び本発明例 15 は無酸素銅からなるヒートシンクを用いて作製した。

そして、得られたヒートシンク付パワーモジュール用基板に対し、冷熱サイクル試験前後の第二銅層とはんだ層界面の接合率及び冷熱サイクル試験後のセラミックス割れについて評価した。

【0047】

冷熱サイクル試験前後の第二銅層とはんだ層界面の接合率について超音波探傷装置を用いて評価した。また、接合率は以下の式から算出した。

$$\text{接合率 (\%)} = \{ (\text{初期接合面積}) - (\text{剥離面積}) \} / (\text{初期接合面積})$$

ここで、初期接合面積とは、接合前における接合すべき面積、すなわち本実施例では第二銅層の面積とした。超音波探傷像において、はんだ層のクラックは接合部内の白色部で示されることから、この白色部の面積を剥離面積とした。

冷熱サイクル試験及びセラミックス基板の割れの評価は、本発明例 1 ~ 12 と同様に行った。

【0048】

【 表 2 】

	アルミニウム層 材質	銅層 材質	セラミックス基板 材質	ヒートシンク 材質	第一銅層 厚み t_1 (mm)	第二銅層 厚み t_2 (mm)	比率 t_2/t_1	t_1+t_2 (mm)	初期 接合率 (%)	サイクル後 接合率 (%)	セラミックス基板 割れ
本発明例	13	Zr 20ppm添加銅	AlN	Al合金	3.0	3.5	1.17	6.5	98.6	93.2	○
	14	無酸素銅	AlN	無酸素銅	2.0	1.8	0.90	3.8	97.3	95.4	○
	15	タビッチ銅	AlN	無酸素銅	4.0	2.0	0.50	6.0	98.0	91.8	○
	16	無酸素銅	Si_3N_4	Al合金	4.0	2.0	0.50	6.0	98.7	94.6	○

10

20

30

40

【 0 0 4 9 】

表1からわかるように、第一銅層の厚み t_1 が1.7mm以上5mm以下とされ、比率 t_2/t_1 が0を超えて1.2以下の範囲のうち0.6以上0.8以下を除く範囲に設定され、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 の合計が7mm以下とされた本発明例1

50

～ 12 においては、冷熱サイクル試験後のセラミックス基板に割れが生じることがない、パワーモジュール用基板を得ることができた。

さらに、表 2 からわかるように、ヒートシンクがはんだ付けされたヒートシンク付パワーモジュール用基板においては、冷熱サイクル試験後のセラミックス基板に割れが生じることがなく、接合率が良好なヒートシンク付パワーモジュール用基板が得られることがわかった。

【 0 0 5 0 】

一方、比率 t_2 / t_1 が 0.6 以上 0.8 以下とされる比較例 1～2 や、第一銅層の厚み t_1 と第二銅層の厚み t_2 の合計が 7 mm を超えた比較例 3 や、比率 t_2 / t_1 が 1.2 を超えた比較例 4 においては、図 6 の超音波画像にみられるように、冷熱サイクル試験後のセラミックス基板に割れが発生する結果となった。図 6 の超音波画像からわかるように、比較例 1～4 では、放射状の筋が確認されており、セラミックス基板の厚み方向にクラックが生じていた。また、放射状の筋に加えて局所的に白く点在する領域が見られ、セラミックス基板の水平方向にもクラックが生じていることがわかった。

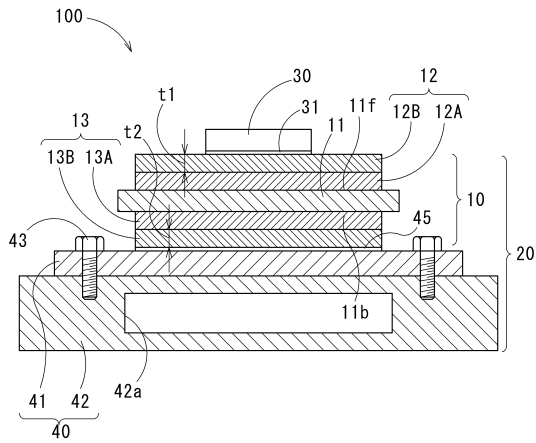
10

【 符号の説明 】

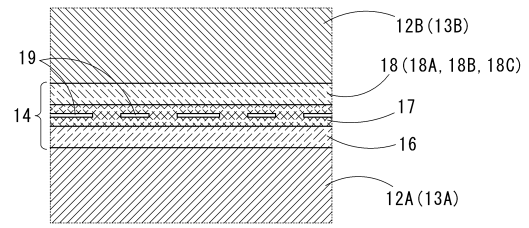
【 0 0 5 1 】

1 0	パワーモジュール用基板	
1 1	セラミックス基板	
1 1 f	一方の面	
1 1 b	他方の面	20
1 2	回路層	
1 2 a	アルミニウム板	
1 2 A	第一アルミニウム層	
1 2 b	銅板	
1 2 B	第一銅層	
1 3	金属層	
1 3 a	アルミニウム板	
1 3 A	第二アルミニウム層	
1 3 b	銅板	
1 3 B	第二銅層	30
1 4	金属間化合物層	
1 6	相	
1 7	₂ 相	
1 8 A	₂ 相	
1 8 B	相	
1 8 C	₂ 相	
1 9	酸化物	
2 0	ヒートシンク付パワーモジュール用基板	
3 0	半導体素子	
3 1	はんだ層	40
4 0	ヒートシンク	
4 1	放熱板	
4 2	冷却部	
4 2 a	流路	
4 3	ネジ	
4 5	はんだ層	
5 0	真空加熱炉	
1 0 0	ヒートシンク付パワーモジュール	

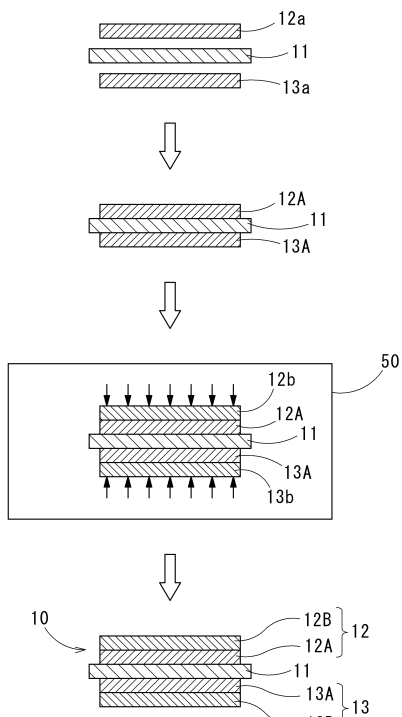
【図1】



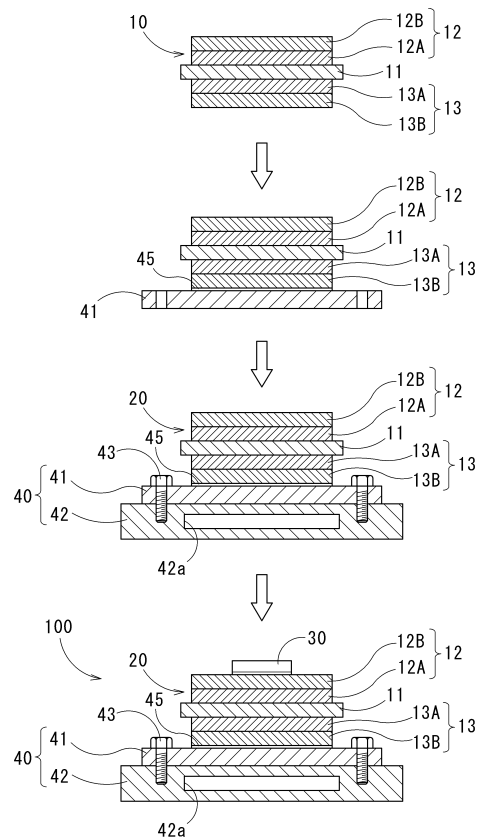
【図2】



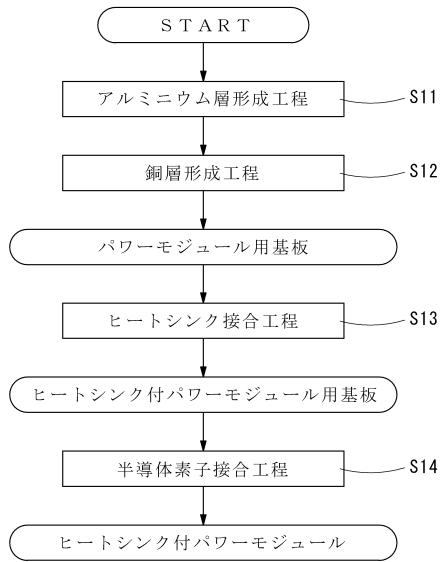
【図3】



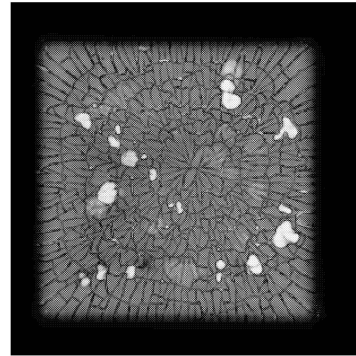
【図4】



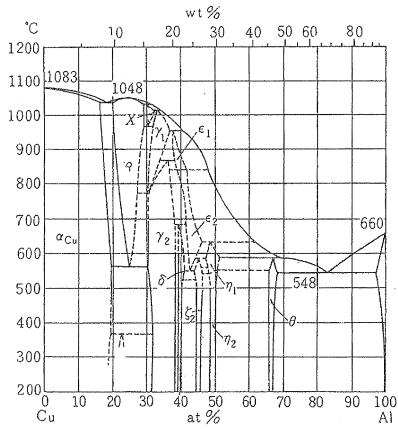
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-039062(JP,A)
特開平11-195854(JP,A)
特開2003-078086(JP,A)
特開2006-202884(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 23/13
H01L 23/12
H01L 23/36
H01L 25/07
H01L 25/18