

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5720839号
(P5720839)

(45) 発行日 平成27年5月20日 (2015. 5. 20)

(24) 登録日 平成27年4月3日 (2015. 4. 3)

(51) Int. Cl.	F I		
B 2 3 K 1/19 (2006. 01)	B 2 3 K	1/19	H
H O 1 L 23/12 (2006. 01)	H O 1 L	23/12	J
H O 1 L 23/36 (2006. 01)	H O 1 L	23/12	D
C 2 2 C 9/02 (2006. 01)	H O 1 L	23/36	C
C 2 2 C 9/06 (2006. 01)	C 2 2 C	9/02	

請求項の数 6 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2014-145115 (P2014-145115)	(73) 特許権者	000006264
(22) 出願日	平成26年7月15日 (2014. 7. 15)		三菱マテリアル株式会社
(65) 公開番号	特開2015-62953 (P2015-62953A)		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4月9日 (2015. 4. 9)	(74) 代理人	100064908
審査請求日	平成27年1月20日 (2015. 1. 20)		弁理士 志賀 正武
(31) 優先権主張番号	特願2013-175001 (P2013-175001)	(74) 代理人	100175802
(32) 優先日	平成25年8月26日 (2013. 8. 26)		弁理士 寺本 光生
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100149548
早期審査対象出願			弁理士 松沼 泰史
		(74) 代理人	100142424
			弁理士 細川 文広
		(74) 代理人	100140774
			弁理士 大浪 一徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接合体及びパワーモジュール用基板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

セラミックスからなるセラミックス部材と、Cu又はCu合金からなるCu部材とがCu-P-Sn系ろう材及びTi材を介して接合された接合体であって、
前記セラミックス部材と前記Cu部材との接合界面には、
前記セラミックス部材側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、
前記Cu部材と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、
が形成されていることを特徴とする接合体。

【請求項 2】

前記金属間化合物層が、前記セラミックス部材と前記Cu-Sn層との界面から0.1μm以上100μm以下の範囲内に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の接合体。

【請求項 3】

請求項1又は請求項2に記載の接合体からなり、
前記セラミックス部材からなるセラミックス基板と、このセラミックス基板の一方の面にCu-P-Sn系ろう材及びTi材を介して前記Cu部材からなるCu板が接合されてなる回路層と、を備え、
前記セラミックス基板と前記回路層との接合界面には、
前記セラミックス基板側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、

前記回路層と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、

が形成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4】

前記セラミックス基板の他方の面に金属層が形成されていることを特徴とする請求項3に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項5】

前記金属層は、

前記セラミックス基板の他方の面に、Cu-P-Sn系ろう材及びTi材を介してCu又はCu合金からなるCu板が接合されてなり、

前記セラミックス基板と前記金属層との接合界面には、

前記セラミックス基板側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、

前記金属層と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、

が形成されていることを特徴とする請求項4に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項6】

前記金属層は、Al又はAl合金からなることを特徴とする請求項4に記載のパワーモジュール用基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、セラミックス部材とCu部材とが接合された接合体、及びセラミックス基板の一方の面に回路層が形成されたパワーモジュール用基板に関するものである。

【背景技術】

【0002】

LEDやパワーモジュール等の半導体装置においては、導電材料からなる回路層の上に半導体素子が接合された構造とされている。

風力発電、電気自動車等の電気車両などを制御するために用いられる大電力制御用のパワー半導体素子においては、発熱量が多いことから、これを搭載する基板としては、例えばAlN（窒化アルミ）などからなるセラミックス基板の一方の面に導電性の優れた金属板を回路層として接合したパワーモジュール用基板が、従来から広く用いられている。また、セラミックス基板の他方の面に、金属板を金属層として接合することもある。

【0003】

例えば、特許文献1に示すパワーモジュール用基板においては、セラミックス基板（セラミックス部材）の一方の面に、Cu板（Cu部材）を接合することで回路層が形成された構造とされている。このパワーモジュール用基板は、セラミックス基板の一方の面に、Cu-Mg-Tiろう材を介在させてCu板を配置し、加熱処理を行うことによりCu板が接合されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第4375730号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献1に開示されたようにCu-Mg-Tiろう材を介してセラミックス基板とCu板とを接合すると、セラミックス基板の近傍には、Cu、Mg、又はTiを含む金属間化合物が形成される。

【0006】

このセラミックス基板近傍に形成される金属間化合物は、硬いため、パワーモジュール

10

20

30

40

50

用基板に冷熱サイクルが負荷された際にセラミックス基板に発生する熱応力が大きくなり、セラミックス基板にクラックが生じ易くなる問題があった。

また、セラミックス基板と回路層を接合する際に、セラミックス基板の近傍に硬い金属間化合物が形成されると、セラミックス基板と回路層との接合率が低下し、良好に接合することができないおそれがあった。

【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、セラミックス部材とCu部材とが良好に接合され、かつ、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス部材にクラックが発生することを抑制できる接合体、及びパワーモジュール用基板を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

前述の課題を解決するために、本発明の接合体は、セラミックスからなるセラミックス部材と、Cu又はCu合金からなるCu部材とがCu-P-Sn系ろう材及びTi材を介して接合された接合体であって、前記セラミックス部材と前記Cu部材との接合界面には、前記セラミックス部材側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、前記Cu部材と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、が形成されていることを特徴としている。

【0009】

本発明の接合体によれば、セラミックス部材とCu部材との接合界面において、Cu-P-Sn系ろう材に含まれるPが、Cu部材側に形成された金属間化合物層に取り込まれることにより、Pを含有する金属間化合物を有しない若しくは非常に少ないCu-Sn層がセラミックス部材側に形成されている。すなわち、セラミックス部材の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、冷熱サイクルが負荷された際にセラミックス部材に生じる熱応力を低減し、セラミックス部材にクラックが発生することを抑制できる。

20

また、セラミックス部材とCu部材との接合界面において、セラミックス部材の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス部材とCu部材との接合率が向上し、セラミックス部材とCu部材とが良好に接合されている。

【0010】

また、前記金属間化合物層が、前記セラミックス部材と前記Cu-Sn層との界面から0.1μm以上100μm以下の範囲内に形成されていることが好ましい。

30

この場合、金属間化合物層が、セラミックス部材とCu-Sn層との界面から0.1μm以上100μm以下の範囲内に形成されているので、セラミックス部材の近傍に硬い金属間化合物が形成されておらず、冷熱サイクルが負荷されてもセラミックス部材にクラックが生じることを確実に抑制できる。また、上述したように、セラミックス部材の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス部材とCu部材との接合率を確実に向上できる。

【0011】

本発明のパワーモジュール用基板は、上述の接合体からなり、前記セラミックス部材からなるセラミックス基板と、このセラミックス基板の一方の面にCu-P-Sn系ろう材を介して前記Cu部材からなるCu板が接合されてなる回路層と、を備え、前記セラミックス基板と前記回路層との接合界面には、前記セラミックス基板側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、前記回路層と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、が形成されていることを特徴としている。

40

【0012】

本発明のパワーモジュール用基板によれば、セラミックス基板と回路層との接合界面において、Cu-P-Sn系ろう材に含まれるPが、回路層側に形成された金属間化合物層に取り込まれることにより、Pを含有する金属間化合物を有しない若しくは非常に少ないCu-Sn層がセラミックス基板側に形成されている。すなわち、セラミックス基板の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、冷熱サイクルが負荷された際にセラミッ

50

クス基板に生じる熱応力を低減し、セラミックス基板にクラックが発生することを抑制できる。

また、セラミックス基板と回路層との接合界面において、セラミックス基板の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス基板と回路層との接合率が向上し、セラミックス基板と回路層とが良好に接合されている。

【0013】

また、本発明のパワーモジュール用基板において、前記セラミックス基板の他方の面に金属層が形成されていることが好ましい。

この場合、セラミックス基板の他方の面に金属層が形成されているので、金属層を介してセラミックス基板側の熱を効率的に放散することができる。

10

【0014】

また、前記金属層は、前記セラミックス基板の他方の面に、Cu-P-Sn系ろう材及びTi材を介してCu又はCu合金からなるCu板が接合されてなり、前記セラミックス基板と前記金属層との接合界面には、前記セラミックス基板側に位置し、SnがCu中に固溶したCu-Sn層と、前記金属層と前記Cu-Sn層との間に位置し、P及びTiを含有する金属間化合物層と、が形成されていることが好ましい。

【0015】

この場合、セラミックス基板と金属層との接合界面において、Cu-P-Sn系ろう材に含まれるPが、金属層側に形成された金属間化合物層に取り込まれることにより、Pを含有する金属間化合物を有しない若しくは非常に少ないCu-Sn層がセラミックス基板側に形成されている。すなわち、セラミックス基板の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、冷熱サイクルが負荷された際にセラミックス基板に生じる熱応力を低減し、セラミックス基板にクラックが発生することを抑制できる。

20

また、セラミックス基板と金属層との接合界面において、セラミックス基板の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス基板と金属層との接合率が向上し、セラミックス基板と金属層とが良好に接合されている。

【0016】

また、前記金属層は、Al又はAl合金からなる構成とされても良い。

この場合、Al又はAl合金からなる金属層は、強度が低いので、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス基板に生じる熱応力を低減することができる。

30

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、セラミックス部材とCu部材とが良好に接合され、かつ、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス部材にクラックが発生することを抑制できる接合体、及びパワーモジュール用基板を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第一実施形態に係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】本発明の第一実施形態に係るパワーモジュール用基板の概略説明図である。

40

【図3】図2に示す回路層とセラミックス基板との接合界面における断面を撮影した電子顕微鏡写真とその概略図である。

【図4】本発明の第一実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。

【図5】本発明の第一実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

【図6】本発明の第二実施形態に係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7】本発明の第二実施形態に係るパワーモジュール用基板の概略説明図である。

【図8】図7に示す金属層とセラミックス基板との接合界面における断面の概略図である

50

。【図 9】本発明の第二実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。

【図 10】本発明の第二実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

【図 11】本発明の第三実施形態に係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 12】本発明の第三実施形態に係るパワーモジュール用基板の概略説明図である。

【図 13】本発明の第三実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。

10

【図 14】本発明の第三実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

【図 15】本発明の第四実施形態に係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 16】本発明の第四実施形態に係るパワーモジュール用基板の回路層とセラミックス基板との接合界面における断面を撮影した電子顕微鏡写真である。

【図 17】本発明の第四実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。

【図 18】本発明の第四実施形態に係るパワーモジュール用基板の製造方法及びパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0019】

(第一実施形態)

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。まず、本発明の第一実施形態について説明する。

本実施形態に係る接合体は、セラミックス部材であるセラミックス基板 11 と、Cu 部材である Cu 板 22 (回路層 12) とが接合されてなるパワーモジュール用基板 10 である。図 1 に、本実施形態であるパワーモジュール用基板 10 を備えたパワーモジュール 1 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 の一方の面 (図 1 において上面) に接合層 2 を介して接合された半導体素子 3 とを備えている。

30

【0020】

パワーモジュール用基板 10 は、図 2 に示すように、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 2 において上面) に配設された回路層 12 とを備えている。

セラミックス基板 11 は、絶縁性の高い AlN (窒化アルミ)、Si₃N₄ (窒化ケイ素)、Al₂O₃ (アルミナ) 等のセラミックスで構成されている。本実施形態では、放熱性の優れた 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 ~ 1.5 mm の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.635 mm に設定されている。

40

【0021】

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 Cu 又は Cu 合金の金属板が、Cu-P-Sn 系のろう材を介して接合されることにより形成されている。

Cu-P-Sn 系のろう材として、具体的には、Cu-P-Sn ろう材、Cu-P-Sn-Ni ろう材、Cu-P-Sn-Zn ろう材、Cu-P-Sn-Mn ろう材、Cu-P-Sn-Cr ろう材などが挙げられ、本実施形態では、Cu-P-Sn-Ni ろう材 24 を用いている。なお、Cu-P-Sn 系ろう材の融点は 710 以下であり、本実施形態で用いられる Cu-P-Sn-Ni ろう材 24 の融点は 580 である。なお、本実施形態において融点は、Cu-P-Sn 系ろう材の固相線温度としている。

50

【0022】

本実施形態において、回路層12は、セラミックス基板11の一方の面にCu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、無酸素銅からなるCu板22を積層し、加熱処理によってCu板22を接合することで形成されている(図5参照)。

ここで、回路層12においてセラミックス基板11側は、SnがCu中に拡散した構造となっている。

なお、回路層12の厚さは0.1mm以上1.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.6mmに設定されている。

【0023】

図3に、セラミックス基板11と回路層12との接合界面の電子顕微鏡写真及びその概略図を示す。セラミックス基板11と回路層12との接合界面には、図3に示すように、セラミックス基板11側に位置するCu-Sn層14と、回路層12とCu-Sn層14との間に位置しP、Ni、及びTiを含有する金属間化合物層17と、が形成されている。

10

【0024】

Cu-Sn層14は、SnがCu中に固溶した層である。このCu-Sn層14は、Cu-P-Sn-Niろう材24に含まれるP及びNiが、回路層12側に形成された金属間化合物層17に取り込まれることにより形成される層である。

【0025】

金属間化合物層17は、Cu-P-Sn-Niろう材24に含まれるP及びNiが、Ti材25に含まれるTiと結合することにより形成される。この金属間化合物層17は、P-Ni-Ti相17a、P-Ti相17b、Cu-Ni-Ti相17cのいずれか1種以上を有する。本実施形態において、金属間化合物層17は、図3に示すように、P-Ni-Ti相17aと、P-Ti相17bと、Cu-Ni-Ti相17cとを有している。すなわち、これらのP-Ni-Ti相17aと、P-Ti相17bと、Cu-Ni-Ti相17cとによって、層状に金属間化合物層17が形成されているのである。

20

ここで、金属間化合物層17は、セラミックス基板11とCu-Sn層14との界面から0.1μm以上100μm以下の範囲内に形成されている。また、金属間化合物層17は、セラミックス基板11とCu-Sn層14との界面から1.0μm以上50μm以下の範囲内に形成されていることが好ましい。

30

【0026】

半導体素子3は、Si等の半導体材料で構成されている。この半導体素子3と回路層12は、接合層2を介して接合されている。

接合層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。

【0027】

次に、本実施形態に係るパワーモジュール用基板10、及びパワーモジュール1の製造方法について、図4のフロー図及び図5を参照して説明する。

まず、図5に示すように、セラミックス基板11の一方の面(図5において上面)に、Cu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、及び回路層12となるCu板22を順に積層する(積層工程S01)。すなわち、セラミックス基板11とCu板22の間において、セラミックス基板11側にCu-P-Sn-Niろう材24を配置し、Cu板22側にTi材としてTi材25を配置している。

40

【0028】

本実施形態において、Cu-P-Sn-Niろう材24の組成は、Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Niとされている。また、Cu-P-Sn-Niろう材24は箔材を用い、その厚さは、5μm以上150μm以下の範囲内とされている。

また、Ti材25の厚さは、0.1μm以上5μm以下の範囲内とされている。ここで、Ti材25は、厚さが0.1μm以上0.5μm未満の場合には蒸着やスパッタによ

50

て成膜することが好ましく、厚さが $0.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下の場合には箔材を用いることが好ましい。なお、Ti材25の好ましい厚さは $0.5\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下の範囲内であり、さらには $1.0\mu\text{m}$ 以上 $4.0\mu\text{m}$ 以下の範囲内である。本実施形態においては、Ti材25として、厚さ $2.0\mu\text{m}$ 、純度 99.8% のTi箔を用いた。

【0029】

次に、セラミックス基板11、Cu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、及びCu板22を積層方向に加圧（圧力 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上 $35\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以下）した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱する（加熱処理工程S02）。ここで、本実施形態では、真空加熱炉内の圧力は 10^{-6}Pa 以上 10^{-3}Pa 以下の範囲内に、加熱温度は 600 以上 650 以下の範囲内に、加熱時間は30分以上360分以下の範囲内に設定

10

【0030】

この加熱処理工程S02においては、Cu-P-Sn-Niろう材24が熔融して液相を形成し、この液相にTi材25が溶け込み、液相が凝固することにより、セラミックス基板11とCu板22とが接合されることになる。このとき、Cu-P-Sn-Niろう材24中に含まれるP及びNiは、Ti材25のTiと結合し、P-Ni-Ti相17a、P-Ti相17b、Cu-Ni-Ti相17cのうち少なくとも一種以上からなる金属間化合物層17が形成されるとともに、セラミックス基板11側には、P及びNiを含有する金属間化合物を有しない若しくは非常に少ないCu-Sn層14が形成される。

また、接合時において、Snは金属間化合物層17よりも回路層12側に拡散するため、回路層12において金属間化合物層17の近傍では、Cu中にSnが拡散した構造となる。

20

【0031】

なお、本実施形態においては、Ti材25の厚さが、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、比較的薄く設定されているので、Ti材25がCu-P-Sn-Niろう材24の液相中に溶け込むため、セラミックス基板11と回路層12との接合界面において、Ti材25が残存しない。

これにより、セラミックス基板11の一方の面に回路層12が形成され、本実施形態であるパワーモジュール用基板10が製造される。

【0032】

次に、パワーモジュール用基板10の回路層12の上面に、はんだ材を介して半導体素子3を接合する（半導体素子接合工程S03）。

このようにして、本実施形態に係るパワーモジュール1が製造される。

30

【0033】

以上のような構成とされた本実施形態に係るパワーモジュール用基板10によれば、セラミックス基板11と回路層12との接合界面において、Cu-P-Sn-Niろう材24に含まれるP及びNiが、回路層12側に形成された金属間化合物層17に取り込まれることにより、P及びNiを含有する金属間化合物を有しないCu-Sn層14がセラミックス基板11側に形成されている。すなわち、セラミックス基板11の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、冷熱サイクルが負荷された際にセラミックス基板11に生じる熱応力を低減し、セラミックス基板11にクラックが発生することを抑制できる。

40

【0034】

また、セラミックス基板11と回路層12との接合界面において、上述したようにセラミックス基板11の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス基板11と回路層12を接合する際に、セラミックス基板11と回路層12との接合率が向上し、セラミックス基板と金属層とが良好に接合される。

【0035】

さらに、金属間化合物層17が、セラミックス基板11とCu-Sn層14との界面から $0.1\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下の範囲内に形成されているので、セラミックス基板11

50

の近傍に硬い金属間化合物が形成されておらず、冷熱サイクルが負荷されてもセラミックス基板 11 にクラックが生じることを確実に抑制できる。

【0036】

また、セラミックス基板 11 と回路層 12 とが接合される際に、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 の液相と Cu 板 22 とが直接接触するので、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 の液相が凝固して形成される Cu - Sn 層 14 及び金属間化合物層 17 と、回路層 12 とが強固に接合される。さらに、Sn は金属間化合物層 17 よりも回路層 12 側に拡散し、回路層 12 において金属間化合物層 17 の近傍では、Cu 中に Sn が拡散した構造となっているので、セラミックス基板 11 と回路層 12 との接合強度が向上する。

【0037】

さらに、Ti 材 25 の厚さが $0.1 \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $1.0 \mu\text{m}$ 以上とされているので、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 に含まれる P 及び Ni を確実に Ti と結合させて金属間化合物層 17 を形成し、P 及び Ni を含有する金属間化合物を有しない若しくは非常に少ない Cu - Sn 層 14 を形成できる。また、Ti 材 25 の厚さが $5 \mu\text{m}$ 以下とされているので、セラミックス基板 11 と回路層 12 とが接合する際に、Ti 材 25 が Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 の液相中に溶け込み、接合界面に比較的強度が高い Ti 層が形成されないため、冷熱サイクルが負荷された際に、セラミックス基板 11 にクラックが発生することを抑制できる。また、Cu 板 22 からなる回路層 12 と比べて熱抵抗の大きい Ti 層が形成されないため、パワーモジュール用基板 10 の熱抵抗を低減できる。

このような理由により、Ti 材 25 の厚さは、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされている。

【0038】

また、本実施形態に係るパワーモジュール用基板 10、パワーモジュール 1 によれば、セラミックス基板 11 の一方の面に Cu 板 22 からなる回路層 12 が形成されているので、半導体素子 3 からの熱を拡げてセラミックス基板 11 側に放散することができる。また、Cu 板 22 は比較的変形抵抗が大きいので、冷熱サイクルが負荷された際に、回路層 12 の変形が抑制され、半導体素子 3 と回路層 12 とを接合する接合層 2 の変形を抑制し、接合信頼性を向上できる。

【0039】

また、本実施形態のパワーモジュール用基板 10 の製造方法によれば、セラミックス基板 11 と Cu 板 22 との間に、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 と Ti 材 25 とを介在させた状態で加熱処理を行う構成とされているので、加熱時に Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 が溶融した液相に Ti が溶け込み、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 の液相とセラミックス基板 11 との濡れ性が良好となる。

【0040】

また、加熱処理工程 S02 において、加熱温度が 600 以上の場合、セラミックス基板 11 と Cu 板 22 との接合界面において、Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 を確実に溶融させて Ti 材 25 を溶け込ませることでセラミックス基板 11 と Cu 板 22 とを確実に接合可能となる。また、加熱温度が 650 以下の場合、セラミックス基板 11 が熱劣化することを抑制できるとともに、セラミックス基板 11 に生じる熱応力を低減することができる。このような理由のため、本実施形態では、加熱温度は、 600 以上 650 以下の範囲内に設定されている。

【0041】

また、加熱処理工程 S02 において、加圧される圧力が 1 kgf/cm^2 以上の場合、セラミックス基板 11 と Cu - P - Sn - Ni ろう材 24 との液相を密着させることができ、セラミックス基板 11 と Cu - Sn 層 14 とを良好に接合できる。また、加圧される圧力が 35 kgf/cm^2 以下の場合、セラミックス基板 11 に割れが発生することを抑制できる。このような理由のため、本実施形態では、加圧される圧力は 1 kgf/cm^2 以上 35 kgf/cm^2 以下の範囲内に設定されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

加熱処理工程 S 0 2 において、加熱時間が 3 0 分以上の場合、セラミックス基板 1 1 と C u 板 2 2 との接合界面において、溶融した C u - P - S n - N i ろう材 2 4 に含まれる P と、 T i 材 2 5 に含まれる T i とが結合する時間が十分に確保され、セラミックス基板 1 1 側に C u - S n 層を確実に形成可能となる。また、加熱時間が 3 6 0 分を超えても加熱時間が 3 6 0 分の場合以上にセラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 との接合性が向上しない。さらに、加熱時間が 3 6 0 分を超えると生産性が低下してしまう。このような理由のため、本実施形態では、加熱時間は、 3 0 分以上 3 6 0 分以下の範囲内に設定されている。

また、本実施形態においては、ろう材の融点が 5 8 0 である C u - P - S n - N i ろう材 2 4 を用いているので、低温でろう材の液相を形成することができる。なお、本実施形態において融点は、 C u - P - S n - N i ろう材の固相線温度としている。

【 0 0 4 3 】

(第二実施形態)

次に、本発明の第二実施形態について説明する。なお、第一実施形態と同一の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

図 6 に、第二実施形態に係るパワーモジュール用基板 1 1 0 を備えたパワーモジュール 1 0 1 を示す。

このパワーモジュール 1 0 1 は、回路層 1 1 2 が配設されたパワーモジュール用基板 1 1 0 と、回路層 1 1 2 の一方の面 (図 6 において上面) に接合層 2 を介して接合された半導体素子 3 と、パワーモジュール用基板 1 1 0 の他方側 (図 6 において下側) に配置されたヒートシンク 1 3 0 と、を備えている。

【 0 0 4 4 】

パワーモジュール用基板 1 1 0 は、図 7 に示すように、セラミックス基板 1 1 と、このセラミックス基板 1 1 の一方の面 (図 7 において上面) に配設された回路層 1 1 2 と、セラミックス基板 1 1 の他方の面 (図 7 において下面) に配設された金属層 1 1 3 と、を備えている。

セラミックス基板 1 1 は、放熱性の優れた A l N (窒化アルミ) で構成されている。

【 0 0 4 5 】

回路層 1 1 2 は、第一実施形態と同様に、セラミックス基板 1 1 の一方の面に C u - P - S n - N i ろう材 2 4 、 T i 材として T i 材 2 5 、無酸素銅からなる C u 板 1 2 2 を順に積層し、加熱処理によって C u 板 1 2 2 を接合することで形成されている (図 1 0 参照) 。

なお、回路層 1 1 2 の厚さは 0 . 1 m m 以上 1 . 0 m m 以下の範囲内に設定されており、第二実施形態では、 0 . 6 m m に設定されている。

【 0 0 4 6 】

そして、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 1 2 との接合界面には、第一実施形態と同様に、セラミックス基板 1 1 側に位置する C u - S n 層 1 4 と、回路層 1 1 2 と C u - S n 層 1 4 との間に位置し P 、 N i 、及び T i を含有する金属間化合物層 1 7 と、が形成されている。

【 0 0 4 7 】

金属層 1 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面に、 C u 又は C u 合金の金属板が、 C u - P - S n 系のろう材を介して接合されることにより形成されている。第二実施形態において、金属層 1 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面に C u - P - S n - N i ろう材 2 4 、 T i 材 2 5 として T i 箔、無酸素銅からなる C u 板 1 2 2 を積層し、加熱処理によって C u 板 1 2 2 を接合することで形成されている (図 1 0 参照) 。

この金属層 1 1 3 の厚さは 0 . 1 m m 以上 1 . 0 m m 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、 0 . 6 m m に設定されている。

【 0 0 4 8 】

セラミックス基板 1 1 と金属層 1 1 3 との接合界面には、セラミックス基板 1 1 側に位

10

20

30

40

50

置するCu-Sn層114と、金属層113とCu-Sn層114との間に位置しP、Ni、及びTiを含有する金属間化合物層117と、が形成されている。金属間化合物層117は、Cu-P-Sn-Niろう材24に含まれるP及びNiが、Ti材25に含まれるTiと結合することにより形成される。金属間化合物層117は、P-Ni-Ti相117a、P-Ti相117b、Cu-Ni-Ti相117cのいずれか1種以上を有する。

本実施形態において、金属間化合物層117は、図8に示すように、P-Ni-Ti相117aと、P-Ti相117bと、Cu-Ni-Ti相117cとを有している。

すなわち、このセラミックス基板11と金属層113との接合界面は、上述したセラミックス基板11と回路層112との接合界面と同様の構造となっている。

【0049】

ヒートシンク130は、前述のパワーモジュール用基板110からの熱を放散するためのものである。このヒートシンク130は、Cu又はCu合金で構成されており、本実施形態では無酸素銅で構成されている。このヒートシンク130には、冷却用の流体が流れるための流路131が設けられている。なお、本実施形態においては、ヒートシンク130と金属層113とが、はんだ材からなるはんだ層132によって接合されている。

【0050】

次に、本実施形態に係るパワーモジュール101の製造方法について、図9のフロー図及び図10を参照して説明する。

まず、図10に示すように、セラミックス基板11の一方の面(図10において上面)に、Cu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、及び回路層112となるCu板122を順に積層する(第一積層工程S11)とともに、セラミックス基板11の他方の面(図10において下面)にも、Cu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、及び金属層113となるCu板123を順に積層する(第二積層工程S12)。すなわち、セラミックス基板11とCu板122、123の間において、セラミックス基板11側にCu-P-Sn-Niろう材24を配置し、Cu板122、123側にTi材25を配置している。

なお、Ti材25の厚さは、0.1 μ m以上5 μ m以下の範囲内とされている。ここで、Ti材25は、厚さが0.1 μ m以上0.5 μ m未満の場合には蒸着やスパッタによって成膜することが好ましく、厚さが0.5 μ m以上5 μ m以下の場合には箔材を用いることが好ましい。また、Ti材25の好ましい厚さは0.5 μ m以上5 μ m以下の範囲内であり、さらには1.0 μ m以上4.0 μ m以下の範囲内である。本実施形態では、厚さ1.0 μ mのTi材25を用いた。

【0051】

次に、セラミックス基板11、Cu-P-Sn-Niろう材24、Ti材25、及びCu板122、123を積層方向に加圧(圧力1~35kgf/cm²)した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱する(加熱処理工程S13)。ここで、第二実施形態では、真空加熱炉内の圧力は10⁻⁶Pa以上10⁻³Pa以下の範囲内に、加熱温度は600以上650以下の範囲内に、加熱時間は30分以上360分以下の範囲内に設定している。

【0052】

この加熱処理工程S13においては、Cu-P-Sn-Niろう材24が熔融して液相を形成し、この液相にTi材25が溶け込み、液相が凝固することにより、セラミックス基板11とCu板122、123とが接合されることになる。

これにより、セラミックス基板11の一方の面に回路層112が形成され、他方の面に金属層113が形成され、本実施形態であるパワーモジュール用基板110が製造される。

【0053】

次いで、パワーモジュール用基板110の金属層113の下面に、はんだ材を介してヒートシンク130を接合する(ヒートシンク接合工程S14)。

次に、パワーモジュール用基板 1 1 0 の回路層 1 1 2 の上面に、はんだ材を介して半導体素子 3 を接合する（半導体素子接合工程 S 1 5）。

このようにして、本実施形態に係るパワーモジュール 1 0 1 が製造される。

【 0 0 5 4 】

以上のような構成とされた第二実施形態に係るパワーモジュール用基板 1 1 0 においては、第一実施形態で説明したパワーモジュール用基板 1 0 と同様の効果を奏する。

また、パワーモジュール用基板 1 1 0 においては、セラミックス基板 1 1 の他方の面に Cu 板 1 2 3 からなる金属層 1 1 3 が形成されているので、半導体素子 3 からの熱を、金属層 1 1 3 を介して効率的に放散することができる。

【 0 0 5 5 】

そして、セラミックス基板 1 1 と金属層 1 1 3 との接合界面においては、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 1 2 との接合界面と同様に、セラミックス基板 1 1 側に、Sn が Cu 中に固溶した Cu - Sn 層 1 1 4 が形成されており、セラミックス基板 1 1 の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、冷熱サイクルが負荷された際にセラミックス基板 1 1 に生じる熱応力を低減し、セラミックス基板 1 1 にクラックが発生することを抑制することができる。

【 0 0 5 6 】

さらに、セラミックス基板 1 1 と金属層 1 1 3 との接合界面において、セラミックス基板 1 1 の近傍に硬い金属間化合物が形成されていないので、セラミックス基板と金属層との接合率が向上し、セラミックス基板と金属層とが良好に接合されている。

また、第二実施形態に係るパワーモジュール用基板 1 1 0 において、金属層 1 1 3 には、ヒートシンク 1 3 0 が接合されているので、ヒートシンク 1 3 0 から熱を効率的に放散することができる。

【 0 0 5 7 】

また、第二実施形態に係るパワーモジュール用基板 1 1 0 の製造方法によれば、セラミックス基板 1 1 の一方の面に回路層 1 1 2 を、他方の面に金属層 1 1 3 を同時に接合する構成とされているので、製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。

【 0 0 5 8 】

（第三実施形態）

次に、本発明の第三実施形態について説明する。なお、第一実施形態と同一の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

図 1 1 に、第三実施形態に係るパワーモジュール用基板 2 1 0 を備えたパワーモジュール 2 0 1 を示す。

このパワーモジュール 2 0 1 は、回路層 2 1 2 が配設されたパワーモジュール用基板 2 1 0 と、回路層 2 1 2 の一方の面（図 1 1 において上面）に接合層 2 を介して接合された半導体素子 3 と、パワーモジュール用基板 2 1 0 の他方側（図 1 1 において下側）に接合層 2 3 2 を介して接合されたヒートシンク 2 3 0 と、を備えている。

【 0 0 5 9 】

パワーモジュール用基板 2 1 0 は、図 1 2 に示すように、セラミックス基板 1 1 と、このセラミックス基板 1 1 の一方の面（図 1 2 において上面）に配設された回路層 2 1 2 と、セラミックス基板 1 1 の他方の面（図 1 2 において下面）に配設された金属層 2 1 3 と、を備えている。

セラミックス基板 1 1 は、放熱性の優れた AlN（窒化アルミ）で構成されている。

【 0 0 6 0 】

回路層 2 1 2 は、第一実施形態と同様に、セラミックス基板 1 1 の一方の面に Cu - P - Sn - Ni ろう材 2 4、Ti 材 2 5 として Ti 箔、無酸素銅からなる Cu 板 2 2 2 を積層し、加熱処理によって Cu 板 2 2 2 を接合することで形成されている（図 1 4 参照）。

なお、回路層 2 1 2 の厚さは 0 . 1 mm 以上 1 . 0 mm 以下の範囲内に設定されており、第三実施形態では、0 . 6 mm に設定されている。

【 0 0 6 1 】

そして、セラミックス基板 1 1 と回路層 2 1 2 との接合界面には、第一実施形態と同様に、セラミックス基板 1 1 側に位置する Cu - Sn 層 1 4 と、回路層 2 1 2 と Cu - Sn 層 1 4 との間に位置し P、Ni、及び Ti を含有する金属間化合物層 1 7 と、が形成されている。

【 0 0 6 2 】

金属層 2 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面に、Al 又は Al 合金の金属板が接合されることにより形成されている。第三実施形態において、金属層 2 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の他方の面に、純度 99.99 質量% 以上の Al 板 2 2 3 を接合することで形成されている（図 1 4 参照）。

この金属層 2 1 3 の厚さは 0.1 mm 以上 3.0 mm 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、1.6 mm に設定されている。

10

【 0 0 6 3 】

ヒートシンク 2 3 0 は、Al 又は Al 合金で構成されており、本実施形態では A 6 0 6 3 (Al 合金) で構成されている。このヒートシンク 2 3 0 には、冷却用の流体が流れるための流路 2 3 1 が設けられている。なお、このヒートシンク 2 3 0 と金属層 2 1 3 とが、Al - Si 系ろう材によって接合されている。

【 0 0 6 4 】

次に、本実施形態に係るパワーモジュール 2 0 1 の製造方法について、図 1 3 のフロー図及び図 1 4 を参照して説明する。

まず、図 1 4 に示すように、セラミックス基板 1 1 の一方の面（図 1 4 において上面）に、Cu - P - Sn - Ni ろう材 2 4、Ti 材 2 5、及び回路層 2 1 2 となる Cu 板 2 2 2 を順に積層する（第一積層工程 S 2 1）とともに、セラミックス基板 1 1 の他方の面（図 1 4 において下面）に、接合材 2 2 7 を介して金属層 2 1 3 となる Al 板 2 2 3 を順に積層する（第二積層工程 S 2 2）。そして、さらに Al 板 2 2 3 の下側に、接合材 2 4 2 を介してヒートシンク 2 3 0 を積層する（第三積層工程 S 2 3）。

20

【 0 0 6 5 】

なお、Ti 材 2 5 の厚さは、0.1 μm 以上 5 μm 以下の範囲内とされている。ここで、Ti 材 2 5 は、厚さが 0.1 μm 以上 0.5 μm 未満の場合には蒸着やスパッタによって成膜することが好ましく、厚さが 0.5 μm 以上 5 μm 以下の場合には箔材を用いることが好ましい。また、Ti 材 2 5 の好ましい厚さは 0.5 μm 以上 5 μm 以下の範囲内であり、さらには 1.0 μm 以上 4.0 μm 以下の範囲内である。

30

また、接合材 2 2 7、2 4 2 は、本実施形態では、融点降下元素である Si を含有した Al - Si 系ろう材とされており、第三実施形態においては、Al - 7.5 mass% Si ろう材を用いている。

【 0 0 6 6 】

次に、セラミックス基板 1 1、Cu - P - Sn - Ni ろう材 2 4、Ti 材 2 5、Cu 板 2 2 2、接合材 2 2 7、Al 板 2 2 3、接合材 2 4 2、及びヒートシンク 2 3 0 を積層方向に加圧（圧力 1 ~ 35 kgf/cm²）した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱する（加熱処理工程 S 2 4）。ここで、第三実施形態では、真空加熱炉内の圧力は 10⁻⁶ Pa 以上 10⁻³ Pa 以下の範囲内に、加熱温度は 600 以上 650 以下の範囲内に、加熱時間は 30 分以上 360 分以下の範囲内に設定している。

40

【 0 0 6 7 】

この加熱処理工程 S 2 4 においては、Cu - P - Sn - Ni ろう材 2 4 が溶融して液相を形成し、この液相に Ti 材 2 5 が溶け込み、凝固することにより、セラミックス基板 1 1 と Cu 板 2 2 2 とが接合されることになる。また、加熱処理工程 S 2 4 においては、接合材 2 2 7 が溶融して液相を形成し、この液相が凝固することにより、接合材 2 2 7 を介してセラミックス基板 1 1 と Al 板 2 2 3 とが接合される。さらに、加熱処理工程 S 2 4 においては、接合材 2 4 2 が溶融して液相を形成し、この液相が凝固することにより、接合材 2 4 2 を介して Al 板 2 2 3 とヒートシンク 2 3 0 とが接合される。

これにより、第三実施形態であるパワーモジュール用基板 2 1 0 が製造される。

50

【0068】

次に、パワーモジュール用基板210の回路層212の上面に、はんだ材を介して半導体素子3を接合する(半導体素子接合工程S25)。

このようにして、第三実施形態に係るパワーモジュール201が製造される。

【0069】

以上のような構成とされた第三実施形態に係るパワーモジュール用基板210においては、第一実施形態で説明したパワーモジュール用基板10と同様の効果を奏する。

また、第三実施形態に係るパワーモジュール用基板210においては、セラミックス基板11の他方の面にAl板223が接合されてなる金属層213が形成されているので、半導体素子3からの熱を、金属層213を介して効率的に放散することができる。また、Alは比較的変形抵抗が低いので、冷熱サイクルが負荷された際に、パワーモジュール用基板210とヒートシンク230との間に生じる熱応力を金属層213によって吸収し、セラミックス基板11に割れが発生することを抑制できる。

10

【0070】

また、第三実施形態に係るパワーモジュール用基板210の製造方法によれば、セラミックス基板11の一方の面に回路層212を、他方の面に金属層213を同時に接合する構成とされているので、製造工程を簡略化し、製造コストを低減できる。

【0071】

(第四の実施形態)

次に、本発明の第四実施形態について説明する。なお、第一実施形態と同一の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

20

図15に、第四実施形態に係るパワーモジュール用基板310を備えたパワーモジュール301を示す。

このパワーモジュール301は、回路層312が配設されたパワーモジュール用基板310と、回路層312の一方の面(図15において上面)に接合層2を介して接合された半導体素子3と、を備えている。

【0072】

パワーモジュール用基板310は、図15に示すように、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15において上面)に配設された回路層312と、セラミックス基板11の他方の面(図15において下面)に配設された金属層313と、を備えている。

30

セラミックス基板11は、放熱性の優れたAlN(窒化アルミ)で構成されている。

【0073】

回路層312は、第一実施形態と同様に、セラミックス基板11の一方の面にCu-P-Sn-Niろう材24、Ti材325、無酸素銅からなるCu板322を順に積層し、加熱処理によってCu板322を接合することで形成されている(図18参照)。

なお、回路層312の厚さは0.1mm以上1.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.6mmに設定されている。

そして、本実施形態では、回路層312には、エッチングによって回路パターンが形成されている。

40

【0074】

セラミックス基板11と回路層312との接合界面には、図16に示すように、セラミックス基板11側に位置するCu-Sn層14と、回路層312及びCu-Sn層14との間に位置し、P、Ni、及びTiを含有する金属間化合物層317と、が形成されている。

ここで、本実施形態では、図16に示すように、金属間化合物層317として、P-Ni-Ti相317aが形成されている。このP-Ni-Ti相317aは、島状に分布している。

【0075】

金属層313は、セラミックス基板11の他方の面に、Al又はAl合金の金属板が接

50

合されることにより形成されている。第四実施形態において、金属層 313 は、セラミックス基板 11 の他方の面に、純度 99.99 質量% 以上の Al 板 323 を接合することで形成されている（図 18 参照）。

この金属層 313 の厚さは 0.1 mm 以上 3.0 mm 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、1.6 mm に設定されている。

【0076】

次に、本実施形態に係るパワーモジュール 301 の製造方法について、図 17 のフロー図及び図 18 を参照して説明する。

まず、図 18 に示すように、セラミックス基板 11 の一方の面（図 18 において上面）に、Cu-P-Sn-Ni ろう材 24、Ti 材 325、及び回路層 312 となる Cu 板 322 を順に積層する（第一積層工程 S31）とともに、セラミックス基板 11 の他方の面（図 18 において下面）に、接合材 327 を介して金属層 313 となる Al 板 323 を順に積層する（第二積層工程 S32）。

【0077】

ここで、本実施形態では、Ti 材 325 の厚さは、0.1 μm 以上 0.5 μm 未満の範囲内とされており、好ましくは、0.1 μm 以上 0.3 μm 以下の範囲内とされている。このような厚さの薄い Ti 材 325 は、Cu 板 322 の接合面に蒸着やスパッタによって成膜することが好ましい。

【0078】

次に、セラミックス基板 11、Cu-P-Sn-Ni ろう材 24、Ti 材 325、Cu 板 322、接合材 327、Al 板 323 を積層方向に加圧（圧力 1 ~ 35 kgf/cm²）した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱する（加熱処理工程 S33）。ここで、第四実施形態では、真空加熱炉内の圧力は 10⁻⁶ Pa 以上 10⁻³ Pa 以下の範囲内に、加熱温度は 600 以上 650 以下の範囲内に、加熱時間は 30 分以上 360 分以下の範囲内に設定している。

【0079】

この加熱処理工程 S33 においては、Cu-P-Sn-Ni ろう材 24 が溶融して液相を形成し、この液相に Ti 材 325 が溶け込み、凝固することにより、セラミックス基板 11 と Cu 板 322 とが接合される。また、接合材 327 が溶融して液相を形成し、この液相が凝固することにより、接合材 327 を介してセラミックス基板 11 と Al 板 323 とが接合される。

【0080】

次に、パワーモジュール用基板 310 の回路層 312 をエッチング処理して回路パターンを形成する（エッチング処理工程 S34）。

このエッチング処理工程 S34 においては、塩化鉄(III)水溶液で 10 分程度処理することでエッチングを行う。

これにより、第四実施形態に係るパワーモジュール用基板 310 が製造される。

【0081】

次に、パワーモジュール用基板 310 の回路層 312 の上面に、はんだ材を介して半導体素子 3 を接合する（半導体素子接合工程 S35）。

このようにして、第四実施形態に係るパワーモジュール 301 が製造される。

【0082】

以上のような構成とされた第四実施形態に係るパワーモジュール用基板 310 においては、第一実施形態で説明したパワーモジュール用基板 10 と同様の効果を奏する。

また、第四実施形態に係るパワーモジュール用基板 310 においては、図 16 に示すように、P、Ni、及び Ti を含有する金属間化合物層 317 として、島状に分布した P-Ni-Ti 相 317a が形成されているので、エッチング処理工程 S34 において残渣物が発生しにくい。よって、回路層 312 にエッチングによって回路パターンを精度良く形成することができる。

このように、エッチング性を考慮した場合には、Ti 材 325 を 0.1 μm 以上 0.5

10

20

30

40

50

μm 未満、好ましくは、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.3\mu\text{m}$ 以下の範囲内とすることが好ましい。

【0083】

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。

【0084】

なお、第二実施形態及び第三実施形態においては、セラミックス基板の一方の面に回路層を、他方の面に金属層を同時に接合する場合について説明したが、回路層と金属層とを別々に接合しても良い。

また、第三実施形態において、回路層、金属層、及びヒートシンクを同時に接合する場合について説明したが、回路層と金属層をセラミックス基板に接合した後に、金属層とヒートシンクとを接合する構成としても良い。

また、第三、第四実施形態において、セラミックス基板の他方の面にAl-Si系ろう材を介して金属層を接合する場合について説明したが、過渡液相接合法(TLP)やAgペーストなどによって接合しても良い。

【0085】

また、第二実施形態及び第三実施形態では、流路が設けられたヒートシンクを用いる場合について説明したが、放熱板と呼ばれる板状のものや、ピン状フィンを有するものとしてもよい。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材又はろう材で接合する場合について説明したが、パワーモジュール用基板とヒートシンクとの間にグリースを介してネジ止めなどによって固定する構成とされても良い。また、第二実施形態及び第三実施形態のパワーモジュール用基板において、パワーモジュール用基板の他方の面側にヒートシンクが接合されていなくても良い。

【0086】

なお、第一実施形態、第二実施形態及び第三実施形態では、Ti材としてTi箔を用いる場合又は蒸着やスパッタでTi材を形成する場合について説明したが、Cu部材の一方の面にTiを配設したCu部材/Tiクラッド材を用いることもできる。

さらに、Ti材の一方の面にCu-P-Sn系ろう材を配設したTi材/ろう材クラッド材や、Cu部材、Ti材、Cu-P-Sn系ろう材の順に積層されたCu部材/Ti材/ろう材クラッドを用いることができる。

【0087】

また、第一実施形態、第二実施形態及び第三実施形態ではTi材としてTi箔をCu-P-Sn系ろう材とCu板の間に介在させたが、これに限らず、セラミックス基板とCu-P-Sn系ろう材の間に介在させることもできる。

さらに、第四実施形態ではCu板の接合面にTi材を形成したが、これに限らず、セラミックス基板の接合面に形成することもできる。

【0088】

また、上記実施形態ではCu-P-Sn系のろう材として箔材を用いたが、これに限らずCu-P-Sn系のろう材粉末を用いたり、Cu-P-Sn系のろう材粉末のペーストを用いることもできる。

【実施例】

【0089】

(実施例1)

以下に、本発明の効果を確認すべく行った確認実験(実施例1)の結果について説明する。

AlNからなるセラミックス基板($40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 0.635\text{mm}$)の一方の面に表1に示すCu-P-Sn系ろう材箔、Ti材、無酸素銅からなるCu板($37\text{mm} \times 37\text{mm} \times 0.3\text{mm}$)を順に積層する。

そして、積層方向に圧力 $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ で加圧した状態で真空加熱炉内に装入し、加熱することによってセラミックス基板の一方の面にCu板を接合し、回路層を形成した。ここで、真空加熱炉内の圧力を 10^{-6}Pa 以上、 10^{-3}Pa 以下の範囲内に設定し

10

20

30

40

50

、加熱温度及び加熱時間は、表1の条件に設定した。このようにして本発明例1-1~1-11のパワーモジュール用基板を得た。なお、本発明例1-1~1-10はTi材としてTi箔を用いた。本発明例1-11では、Ti材として、Cu板の接合面にTi膜をスパッタによって成膜した。

【0090】

また、比較例1のパワーモジュール用基板は、AlNからなるセラミックス基板(40mm×40mm×0.635mm t)の一方の面に表1に示すCu-P-Sn系ろう材、無酸素銅からなるCu板(37mm×37mm×0.3mm t)を順に積層し、積層方向に圧力15kgf/cm²で加圧した状態で真空加熱炉内に装入し、加熱することによってセラミックス基板の一方の面にCu板を接合し、回路層を形成することにより得た。すなわち、比較例1のパワーモジュール用基板は、セラミックス基板とCu板とを接合する際に、Ti材を介在させずに接合が行われている。

10

【0091】

上述のようにして得られたパワーモジュール用基板に対して、回路層とセラミックス基板との初期の接合率を評価した。接合率の評価方法を以下に説明する。

また、得られたパワーモジュール用基板に対して、セラミックス基板と回路層との接合界面において、P及びTiを含有する金属間化合物層の有無を確認した。P及びTiを含有する金属間化合物層の有無の確認方法も以下に説明する。

【0092】

(接合率評価)

20

パワーモジュール用基板に対し、セラミックス基板と回路層との界面の接合率について超音波探傷装置を用いて評価し、以下の式から算出した。

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回路層の面積とした。超音波探傷像において剥離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。

(接合率(%)) = { (初期接合面積) - (剥離面積) } / (初期接合面積) × 100

【0093】

(P及びTiを含有する金属間化合物層の有無の確認方法)

P及びTiを含有する金属間化合物層は、EPMA(電子線マイクロアナライザー)によるP及びTi元素のマッピングから、Ti/Cu-P-Sn系ろう材界面においてP及びTi元素が共存している箇所を金属間化合物層とし、その有無を確認した。

30

以上の評価の結果を表1に示す。

【0094】

【表 1】

	Cu-P-Sn系ろう材		Ti材 厚さ μm	加熱条件		P及びTiを 含有する 金属化合物層	初期の 接合率 %
	成分	厚み μm		融点 °C	温度 °C		
本発明例 1-1	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	20	600°C	650°C	120分	有	98.3
本発明例 1-2	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	有	94.5
本発明例 1-3	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	有	97.2
本発明例 1-4	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	有	98.9
本発明例 1-5	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	有	99.7
本発明例 1-6	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	有	99.6
本発明例 1-7	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	630°C	210分	有	97.6
本発明例 1-8	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	600°C	300分	有	97.7
本発明例 1-9	Cu-7mass%P-15mass%Sn-5mass%Mn	20	580°C	650°C	150分	有	98.9
本発明例 1-10	Cu-7mass%P-15mass%Sn-7mass%Cr	20	580°C	650°C	150分	有	99.5
本発明例 1-11	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	60分	有	98.2
比較例 1	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	650°C	150分	無	0.0

10

20

30

【0095】

表1に示されるように、本発明例1-1~1-11については、Cu-P-Sn系ろう材及びTi材を介在させてセラミックス基板とCu板とを接合しているため、セラミックス基板と回路層との初期の接合率が高く、良好に接合されていることが確認された。

40

一方、比較例1は、セラミックス基板とCu板との接合の際に、Ti材を介在させずに接合が行われているため、セラミックス基板とCu板(回路層)とを接合することができなかった。

【0096】

(実施例2)

次に、本発明の効果を確認すべく行った確認実験(実施例2)の結果について説明する。

A1Nからなるセラミックス基板(40mm×40mm×0.635mm t)の一方の面及び他方の面に、表2に示すCu-P-Sn系ろう材箔、Ti材、無酸素銅からなるC

50

u板(37mm×37mm×0.3mm)を順に積層する。

積層方向に圧力15kgf/cm²で加圧した状態で真空加熱炉内に装入し、加熱することによってセラミックス基板の一方の面及び他方の面にCu板を接合し、回路層及び金属層を形成した。ここで、真空加熱炉内の圧力を10⁻⁶Pa以上、10⁻³Pa以下の範囲内に設定し、加熱温度及び加熱時間は表2に示す条件とした。このようにして本発明例2-1~2-11のパワーモジュール用基板を得た。なお、本発明例2-1~2-10はTi材としてTi箔を用いた。本発明例2-11では、Ti材として、Cu板の接合面にTi膜をスパッタによって成膜した。

比較例2のパワーモジュール用基板は、Ti材を介在させずに、セラミックス基板と回路層とを接合したことを除いて、本発明例2-1~2-11のパワーモジュール用基板と同様にして得た。

10

【0097】

上述のようにして得られたパワーモジュール用基板に対して、回路層とセラミックス基板との初期の接合率、及び冷熱サイクル試験後の接合率を測定した。さらに、冷熱サイクル試験において、パワーモジュール用基板のセラミックス基板に割れが発生するまでの回数を測定した。

また、得られたパワーモジュール用基板に対して、セラミックス基板と回路層との接合界面において、P及びTiを含有する金属間化合物層の有無を確認した。

なお、接合率の評価、P及びTiを含有する金属間化合物層の有無の確認は、実施例1と同様にして行った。冷熱サイクル試験は下記に示す通り行った。

20

【0098】

(冷熱サイクル試験)

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、パワーモジュール用基板に対して、液相(フロリナート)で、-40×3分 150×7分の2000サイクルを実施した。

以上の評価の結果を表2に示す。

【0099】

【表 2】

	Cu-P-Sn系ろう材			Ti材 厚さ μm	加熱条件		P及びTiを 含有する 金属化合物層	接合率		セラミックス 基板割れ 回数
	成分	厚み μm	融点 °C		温度 °C	時間		初期 %	冷熱サイクル後 %	
本発明例 2-1	Cu-6.3mass%P- 9.3mass%Sn-7mass%Ni	20	600°C	1	650°C	120分	有	99.8	99.2	>2000
本発明例 2-2	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	0.3	650°C	90分	有	97.1	90.1	>2000
本発明例 2-3	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	0.5	650°C	90分	有	99.2	97.2	>2000
本発明例 2-4	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	1	650°C	90分	有	99.7	98.5	>2000
本発明例 2-5	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	3	650°C	90分	有	99.6	98.9	>2000
本発明例 2-6	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	5	650°C	90分	有	98.9	97.4	1500-2000
本発明例 2-7	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	1	630°C	150分	有	97.2	95.3	>2000
本発明例 2-8	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	1	600°C	360分	有	98.3	93.2	>2000
本発明例 2-9	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 5mass%Mn	20	580°C	2	650°C	90分	有	98.4	98.0	>2000
本発明例 2-10	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 7mass%Cr	20	580°C	2	650°C	90分	有	99.6	98.7	>2000
本発明例 2-11	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	0.1	650°C	180分	有	98.4	90.2	>2000
比較例 2	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	-	650°C	90分	無	0.0	-	-

【0100】

表2に示されるように、本発明例2-1~2-11については、Cu-P-Sn系ろう材及びTi材を介在させてセラミックス基板とCu板とを接合しているため、セラミックス基板と回路層との初期の接合率が高く、良好に接合されていることが確認された。また、本発明例2-1~2-11は、冷熱サイクル試験後の接合率も高く、接合信頼性が高いことが確認された。さらに、本発明例2-1~2-11は、冷熱サイクル試験において、セラミックス基板に割れが発生するまでのサイクル回数が多く、セラミックス基板に割れが発生しにくいことも確認された。

一方、比較例2は、セラミックス基板とCu板との接合の際に、Ti材を介在させずに接合が行われているため、セラミックス基板とCu板(回路層)とを接合することができ

なかった。

【0101】

(実施例3)

次に、本発明の効果を確認すべく行った確認実験(実施例3)の結果について説明する。

AlNからなるセラミックス基板(40mm×40mm×0.635mm t)の一方の面に、表3に示すCu-P-Sn系ろう材箔、Ti材、無酸素銅からなるCu板(37mm×37mm×0.3mm t)を順に積層する。また、セラミックス基板の他方の面に、Al-Si系ろう材を介して純度99.99%のAlからなるAl板(37mm×37mm×1.6mm t)を積層する。

そして、積層方向に圧力15kgf/cm²で加圧した状態で真空加熱炉内に装入し、加熱することによって、セラミックス基板の一方の面にCu板を接合して回路層を形成し、他方の面にAl板を接合して金属層を形成した。ここで、真空加熱炉内の圧力を10⁻⁶Pa以上、10⁻³Pa以下の範囲内に設定し、加熱温度及び加熱時間は表3に示す条件とした。このようにして本発明例3-1~3-11のパワーモジュール用基板を得た。なお、本発明例3-1~3-10はTi材としてTi箔を用いた。本発明例3-11では、Ti材として、Cu板の接合面にTi膜をスパッタによって成膜した。

比較例3のパワーモジュール用基板は、Ti材を介在させずに、セラミックス基板と回路層とを接合したことを除いて、本発明例3-1~3-11のパワーモジュール用基板と同様にして得た。

【0102】

上述のようにして得られたパワーモジュール用基板に対して、回路層とセラミックス基板との初期の接合率、冷熱サイクル試験後の接合率、さらに、冷熱サイクル試験において、パワーモジュール用基板のセラミックス基板に割れが発生するまでの回数を測定した。

また、得られたパワーモジュール用基板に対して、セラミックス基板と回路層との接合界面において、P及びTiを含有する金属間化合物層の有無を確認した。

なお、接合率の評価、冷熱サイクル試験、P及びTiを含有する金属間化合物層の有無の確認は、実施例2と同様にして行った。

以上の評価の結果を表3に示す。

【0103】

【 表 3 】

	Cu-P-Sn系ろう材		Ti材 厚さ μm	加熱条件		P及びTiを 含有する 金属化合物層	接合率		セラミックス 基板割れ 回数
	成分	厚み μm		融点 °C	温度 °C		時間	初期 %	
本発明例 3-1	Cu-6.3mass%P- 9.3mass%Sn-7mass%Ni	20	600°C	650°C	180分	有	98.7	97.8	>2000
本発明例 3-2	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	240分	有	99.7	96.1	>2000
本発明例 3-3	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	240分	有	99.6	98.2	>2000
本発明例 3-4	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	240分	有	99.4	98.3	>2000
本発明例 3-5	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	240分	有	99.6	98.4	>2000
本発明例 3-6	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	240分	有	98.9	97.2	1500-2000
本発明例 3-7	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	630°C	60分	有	96.7	94.0	>2000
本発明例 3-8	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	600°C	360分	有	98.5	95.1	>2000
本発明例 3-9	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 5mass%Mn	20	580°C	650°C	240分	有	99.3	97.2	>2000
本発明例 3-10	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 7mass%Cr	20	580°C	650°C	240分	有	99.5	98.8	>2000
本発明例 3-11	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	90分	有	97.9	94.4	>2000
比較例 3	Cu-7mass%P-15mass%Sn- 10mass%Ni	20	580°C	650°C	90分	無	0.0	-	-

【 0 1 0 4 】

表3に示されるように、本発明例3-1~3-11については、Cu-P-Sn系ろう材及びTi材を介在させてセラミックス基板とCu板とを接合しているため、セラミックス基板と回路層との初期の接合率が高く、良好に接合されていることが確認された。また、本発明例3-1~3-11は、冷熱サイクル試験後の接合率も高く、接合信頼性が高いことが確認された。さらに、本発明例3-1~3-11は、冷熱サイクル試験において、セラミックス基板に割れが発生するまでのサイクル回数が多く、セラミックス基板に割れが発生しにくいことも確認された。

一方、比較例3は、セラミックス基板とCu板との接合の際に、Ti材を介在させずに接合が行われているため、セラミックス基板とCu板(回路層)とを接合することができ

10

20

30

40

50

なかった。

【0105】

(実施例4)

次に、本発明の効果を確認すべく行った確認実験(実施例4)の結果について説明する。

AlNからなるセラミックス基板(40mm×40mm×0.635mm t)の一方の面に表4に示すCu-P-Sn系ろう材、Ti材、無酸素銅からなるCu板(37mm×37mm×0.3mm t)を順に積層する。なお、Ti材として、Cu板の接合面にTi膜をスパッタによって成膜した。

そして、積層方向に圧力15kgf/cm²で加圧した状態で真空加熱炉内に装入し、加熱することによってセラミックス基板の一方の面にCu板を接合し、回路層を形成した。ここで、真空加熱炉内の圧力を10⁻⁶Pa以上、10⁻³Pa以下の範囲内に設定し、加熱温度及び加熱時間は、表4の条件に設定した。このようにして本発明例4-1~4-7のパワーモジュール用基板を得た。

10

【0106】

(エッチング試験)

エッチング試験は、まず、得られたパワーモジュール用基板に対し、エッチング液として塩化鉄(III)水溶液を用い、エッチング時間10分とし、所定の回路パターンが形成されるように回路層にエッチングを行った。

そして、所定の回路パターンが形成された回路層において、回路パターン間表面をEPMAで定量分析し、ろう材成分(例えば、本発明例4-1ではCu, P, Sn, Ni)とTiの量の合計量を測定した。測定は10ヶ所行い、その平均値を合計量とした。合計量が0.2at%未満であれば「○」と、0.2at%以上0.4at%未満であれば「△」と、0.4at%以上であれば「×」と評価した。

20

以上の評価の結果を表4に示す。

【0107】

【表 4】

	Cu-P-Sn系ろう材			Ti材 厚さ μm	加熱条件		P及びTiを 含有する 金属化合物層	エッチング 試験結果
	成分	厚み μm	融点 °C		温度 °C	時間 分		
本発明例 4-1	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	20	600°C	0.3	650°C	60分	有	◎
本発明例 4-2	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	0.1	650°C	60分	有	◎
本発明例 4-3	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	0.2	650°C	60分	有	◎
本発明例 4-4	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	0.3	650°C	60分	有	◎
本発明例 4-5	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	580°C	0.5	650°C	60分	有	○
本発明例 4-6	Cu-7mass%P-15mass%Sn-5mass%Mn	20	580°C	0.3	650°C	60分	有	◎
本発明例 4-7	Cu-7mass%P-15mass%Sn-7mass%Cr	20	580°C	0.3	650°C	60分	有	◎

【0108】

表4に示されるように、本発明例4-1～4-7については、Ti材の厚さが0.5μm未滿とされていることから、エッチング性が良好であることが確認された。

【符号の説明】

【0109】

- 10、110、210、310 パワーモジュール用基板（接合体）
- 11 セラミックス基板（セラミックス部材）
- 12、112、212、312 回路層（Cu部材）
- 14、114 Cu-Sn層
- 17、117、317 金属間化合物層
- 22、122、123、222、322 Cu板（Cu部材）

【図1】

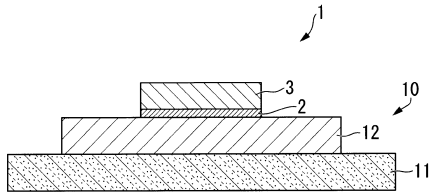


図1

【図2】

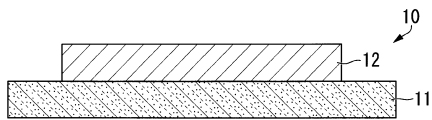


図2

【図4】

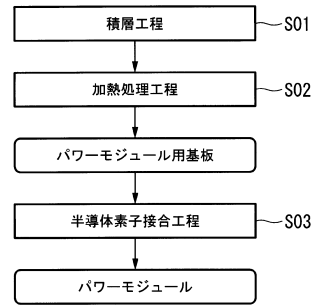


図4

【図5】

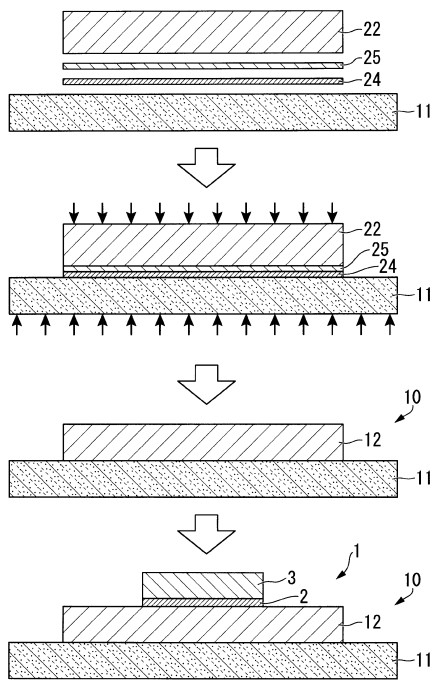


図5

【図6】

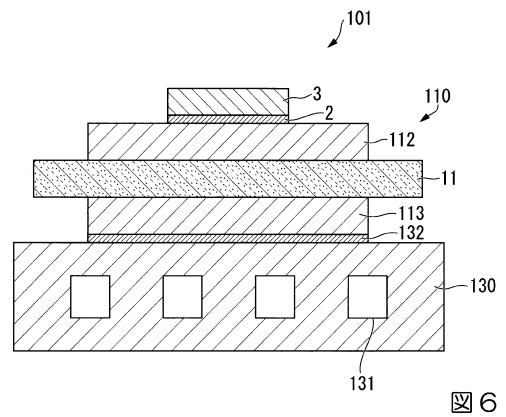


図6

【図7】

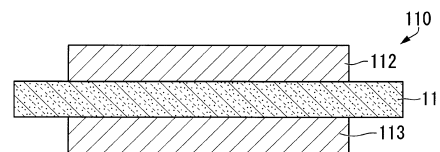


図7

【図8】

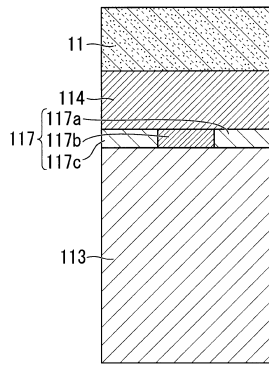


図8

【図9】

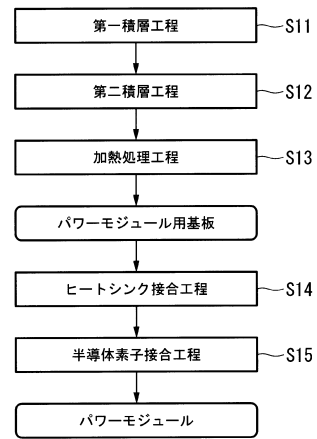


図9

【図10】

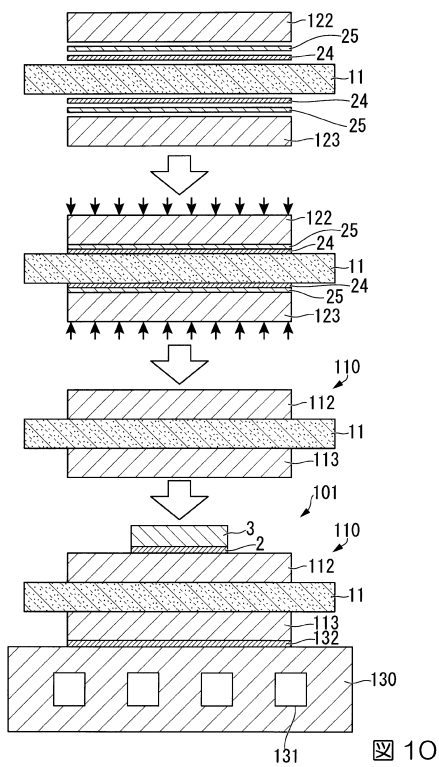


図10

【図11】

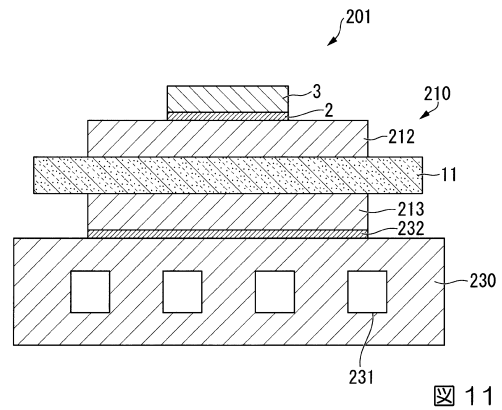


図11

【図12】

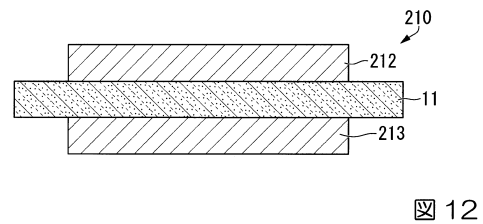


図12

【図13】

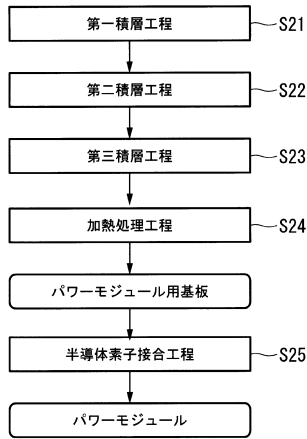


図13

【図14】

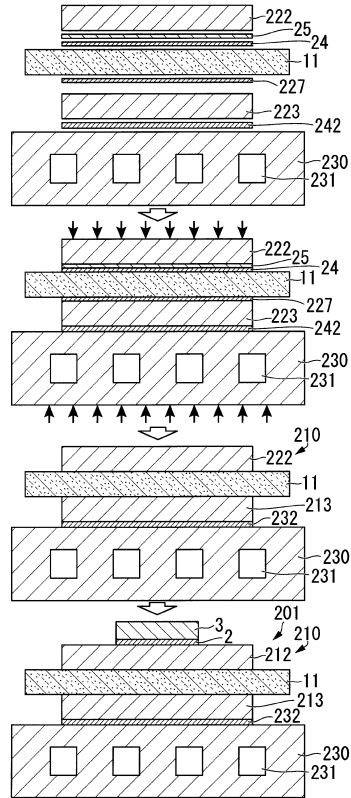


図14

【図15】

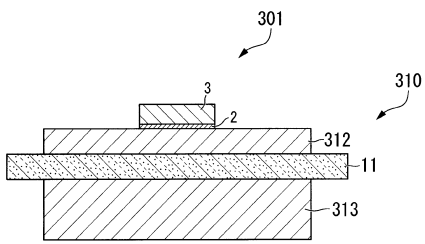


図15

【図17】

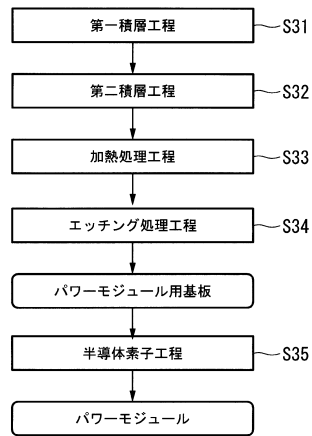
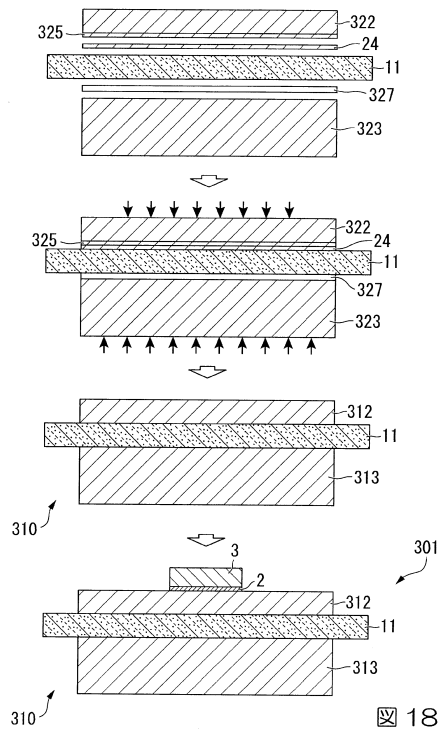


図17

【図18】



【図3】

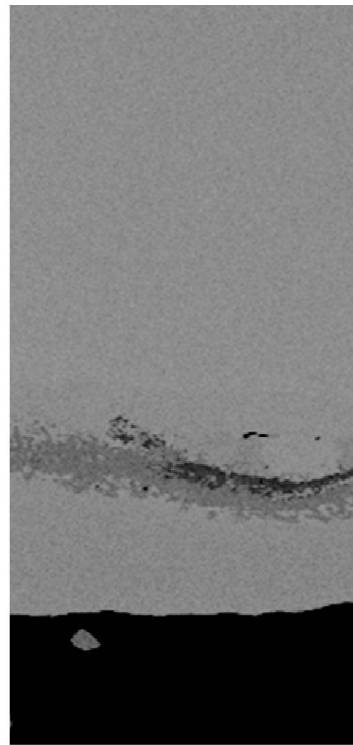
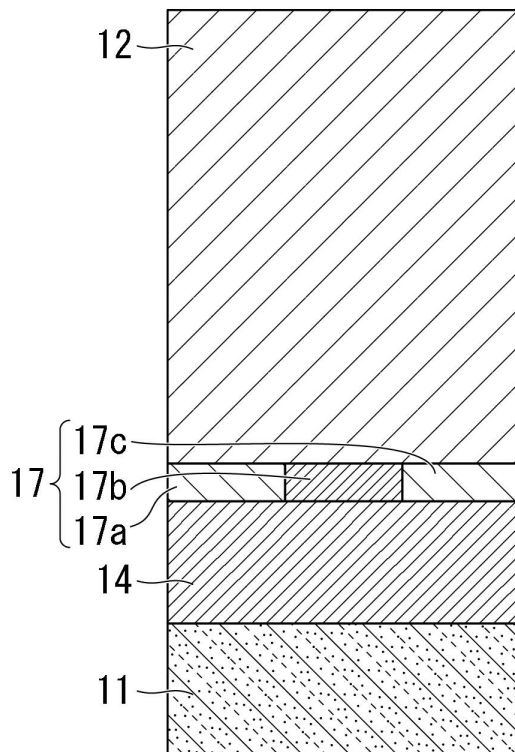


図 3

【図 16】

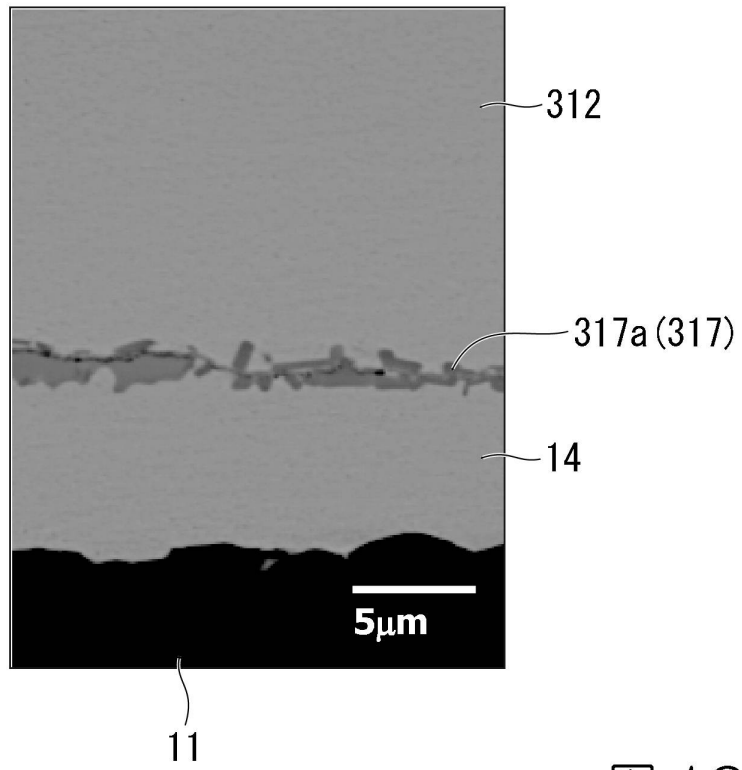


図 16

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			
C 2 2 C	9/05	(2006.01)	C 2 2 C	9/06	
C 2 2 C	9/00	(2006.01)	C 2 2 C	9/05	
C 2 2 C	21/00	(2006.01)	C 2 2 C	9/00	
C 2 2 C	21/02	(2006.01)	C 2 2 C	21/00	D
B 2 3 K	35/30	(2006.01)	C 2 2 C	21/02	
B 2 3 K	35/28	(2006.01)	B 2 3 K	35/30	3 1 0 C
C 0 4 B	37/02	(2006.01)	B 2 3 K	35/28	3 1 0 A
			C 0 4 B	37/02	B

- (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 小川 将之

- (56)参考文献 特開2013-98387(JP,A)
 特開2001-85571(JP,A)
 特開平4-295065(JP,A)
 特開平10-286666(JP,A)
 特開2008-221290(JP,A)
 特開平10-102167(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 2 3 / 1 2
 H 0 1 L 2 3 / 3 6
 B 2 3 K 1 / 1 9
 B 2 3 K 3 5 / 2 8
 B 2 3 K 3 5 / 3 0
 C 0 4 B 3 7 / 0 2
 C 2 2 C 9 / 0 0
 C 2 2 C 9 / 0 2
 C 2 2 C 9 / 0 5
 C 2 2 C 9 / 0 6
 C 2 2 C 2 1 / 0 0
 C 2 2 C 2 1 / 0 2