

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7124633号  
(P7124633)

(45)発行日 令和4年8月24日(2022.8.24)

(24)登録日 令和4年8月16日(2022.8.16)

(51)国際特許分類	F I
C 0 4 B 37/02 (2006.01)	C 0 4 B 37/02 B
B 2 3 K 20/10 (2006.01)	B 2 3 K 20/10
H 0 1 L 23/36 (2006.01)	H 0 1 L 23/36 C

請求項の数 8 (全22頁)

(21)出願番号	特願2018-199139(P2018-199139)	(73)特許権者	000006264 三菱マテリアル株式会社 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(22)出願日	平成30年10月23日(2018.10.23)	(74)代理人	100149548 弁理士 松沼 泰史
(65)公開番号	特開2019-81690(P2019-81690A)	(74)代理人	100175802 弁理士 寺本 光生
(43)公開日	令和1年5月30日(2019.5.30)	(74)代理人	100142424 弁理士 細川 文広
審査請求日	令和3年9月30日(2021.9.30)	(74)代理人	100140774 弁理士 大浪 一徳
(31)優先権主張番号	特願2017-208374(P2017-208374)	(72)発明者	寺 崎 伸幸 埼玉県さいたま市大宮区北袋町一丁目6 00番地 三菱マテリアル株式会社 中央 研究所内
(32)優先日	平成29年10月27日(2017.10.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 接合体、及び、絶縁回路基板

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

A1系セラミックスからなるセラミックス部材と、銅又は銅合金からなる銅部材とが接合されてなる接合体であって、

前記セラミックス部材と前記銅部材との間に形成された接合層においては、前記セラミックス部材側に、活性金属を含む化合物からなる結晶質の活性金属化合物層が形成されており、

前記活性金属化合物層の前記銅部材側の界面から前記銅部材に向かって0.5μmから3μmの厚み範囲におけるA1濃度が0.15at%以下であることを特徴とする接合体。

【請求項2】

前記活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内と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】

前記セラミックス部材は、窒化アルミニウム、アルミナのいずれかで構成されることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の接合体。

【請求項4】

前記活性金属化合物層は、活性金属の窒化物、又は、活性金属の酸化物のいずれかを含有す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接合体。

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の接合体を備えた絶縁回路基板であって、

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形成された前記銅部材からなる回路層と、を備えていることを特徴とする絶縁回路基板。

【請求項 6】

前記セラミックス基板の前記回路層とは反対側の面に、金属層が形成されていることを特徴とする請求項 5 に記載の絶縁回路基板。

【請求項 7】

前記金属層は銅又は銅合金からなることを特徴とする請求項 6 に記載の絶縁回路基板。

【請求項 8】

前記金属層はアルミニウム又はアルミニウム合金からなることを特徴とする請求項 6 に記載の絶縁回路基板。

10

【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銅部材とが接合されてなる接合体、この接合体を備えた絶縁回路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、ハイブリッド自動車等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)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (アルミナ) など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導電性の優れた金属板を接合して形成した回路層と、を備えた絶縁回路基板が、従来から広く用いられている。なお、パワーモジュール用基板としては、セラミックス基板の他方の面に金属板を接合して金属層が形成したのもも提供されている。

20

【0003】

従来、セラミックス基板に対して銅板を接合する方法として、例えば、セラミックス基板に銅板を重ねた状態で、これらに荷重を加えつつ、N<sub>2</sub> 雰囲気中で 1000 以上に加熱する、いわゆる DBC 法 (Direct Bonding Copper 法) が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。

30

ここで、特許文献 1 に示した DBC 法によってセラミックス基板と銅板とを接合した場合、1000 以上で加熱して接合するため、セラミックス基板に熱負荷がかかることによりセラミックス基板と銅板との接合信頼性が低下する懸念があった。

【0004】

そこで、特許文献 2 には、セラミックス部材と銅部材との間に形成された接合部のセラミックス部材側に Ti 等の活性金属の酸化物あるいは窒化物等の化合物からなる活性金属化合物領域が形成され、この活性金属化合物領域の銅部材側をなす一面から銅部材側に向かって 0.5 μm ~ 3 μm の厚み範囲における接合部の Al 濃度が 0.5 at% 以上 15 at% 以下の範囲内とされた接合体 (絶縁回路基板) が提案されている。

40

この接合体 (絶縁回路基板) においては、接合部の Al 濃度を所定の範囲内にすることによって、セラミックス部材と接合部との接合力を高く維持することができ、接合部における剥離率を低減させて、セラミックス部材と銅部材とを強固に接合する構成とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開平 04 - 162756 号公報  
特許第 5871081 号公報

【発明の概要】

50

**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

ところで、上述の絶縁回路基板の回路層においては、端子材が超音波接合されることがある。

ここで、特許文献2に記載されたように、Al濃度が0.5at%以上15at%以下の範囲内とされた接合部においては、比較的脆弱であるため、超音波を負荷した際にクラックが生じてしまうおそれがあった。

また、セラミックス部材側に形成される活性金属化合物領域が非晶質であった場合には、超音波を負荷した際に、非晶質の活性金属化合物層を起点としてクラックが発生し、回路層が剥離してしまうおそれがあった。

10

**【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、超音波接合を行った場合であっても、セラミックス部材と銅部材との剥離を抑制することが可能な接合体、及び、絶縁回路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】**

上記課題を解決するために、本発明の接合体は、Al系セラミックスからなるセラミックス部材と、銅又は銅合金からなる銅部材とが接合されてなる接合体であって、前記セラミックス部材と前記銅部材との間に形成された接合層においては、前記セラミックス部材側に、活性金属を含む化合物からなる結晶質の活性金属化合物層が形成されており、前記活性金属化合物層の前記銅部材側の界面から前記銅部材に向かって0.5μmから3μmの厚み範囲におけるAl濃度が0.15at%以下であることを特徴としている。

20

**【0009】**

この構成の接合体においては、前記セラミックス部材と前記銅部材との間に形成された接合層の前記セラミックス部材側に、活性金属を含む化合物からなる結晶質の活性金属化合物層が形成されているので、超音波を負荷させた場合であっても、活性金属化合物層を起点としてクラックが発生することを抑制でき、セラミックス部材と銅部材との剥離を抑制することができる。

また、前記活性金属化合物層の前記銅部材の界面から前記銅部材に向かって0.5μmから3μmの厚み範囲における前記接合層のAl濃度が0.15at%以下に抑えられているので、超音波を負荷させた場合であっても、接合層にクラックが生じることを抑制することができる。

30

**【0010】**

ここで、本発明の接合体においては、前記活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内とされていることが好ましい。

この構成の接合体によれば、前記活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内とされているので、接合界面に適度な厚さの活性金属化合物層が存在し、冷熱サイクルを負荷した際に割れが生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性に優れている。

**【0011】**

また、本発明の接合体においては、前記セラミックス部材は、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のいずれかで構成されることが好ましい。

この構成の接合体によれば、セラミックス部材としてAlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のいずれかを選択することにより、絶縁性、および、耐熱性に優れた接合体を製造することができる。

40

**【0012】**

さらに、本発明の接合体においては、前記活性金属化合物層は、活性金属の窒化物、又は、活性金属の酸化物のいずれかを含有することが好ましい。

この構成の接合体によれば、前記活性金属化合物層が、活性金属の窒化物、又は、活性金属の酸化物のいずれかを含んでいるので、セラミックス部材と銅部材との接合性が向上し、超音波を負荷した際のセラミックス部材と銅部材との剥離をさらに抑制することがで

50

きる。

【0013】

本発明の絶縁回路基板は、前述の接合体を備えた絶縁回路基板であって、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形成された前記銅部材からなる回路層と、を備えていることを特徴としている。

【0014】

この構成の絶縁回路基板によれば、前述の接合体として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形成された前記銅部材からなる回路層と、を備えているので、回路層に対して超音波接合を適用した場合であっても、セラミックス基板と回路層との接合部においてクラックが生じることを抑制でき、回路層とセラミックス基板との剥離を抑制することができる。

10

【0015】

ここで、本発明の絶縁回路基板においては、前記セラミックス基板の前記回路層とは反対側の面に、金属層が形成されていることが好ましい。

この場合、前記セラミックス基板の前記回路層とは反対側の面に形成された金属層によって、回路層側の熱を効率良く放熱することが可能となる。また、セラミックス基板の反りの発生を抑制することができる。

【0016】

また、本発明の絶縁回路基板においては、前記金属層は銅又は銅合金からなる構成としてもよい。

20

この場合、セラミックス基板の回路層とは反対側の面に、銅又は銅合金からなる金属層が形成されているので、放熱性に優れた絶縁回路基板を実現できる。

【0017】

また、本発明の絶縁回路基板においては、前記金属層はアルミニウム又はアルミニウム合金からなる構成としてもよい。

この場合、セラミックス基板の回路層とは反対側の面に、変形抵抗が小さいアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層を接合することによって、セラミックス基板に熱応力が加わった際に、この熱応力をアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層によって吸収でき、セラミックス基板の熱応力による破損を抑制することが可能になる。

【発明の効果】

30

【0018】

本発明によれば、超音波接合を行った場合であっても、セラミックス部材と銅部材との剥離を抑制することが可能な接合体、及び、絶縁回路基板を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第一の実施形態である絶縁回路基板（接合体）を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図2】本発明の第一の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の回路層及び金属層（銅部材）とセラミックス基板（セラミックス部材）との接合界面の模式図である。

【図3】本発明の第一の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を示すフロー図である。

40

【図4】本発明の第一の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の製造方法を示す説明図である。

【図5】本発明の第二の実施形態である絶縁回路基板（接合体）を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図6】本発明の第二の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の回路層（銅部材）とセラミックス基板（セラミックス部材）との接合界面の模式図である。

【図7】本発明の第二の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の製造方法及びパワーモジュールの製造方法を示すフロー図である。

【図8】本発明の第二の実施形態である絶縁回路基板（接合体）の製造方法を示す説明図

50

である。

【図 9】実施例における本発明例 3 のセラミックス基板近傍の観察結果である。

【図 10】実施例におけるセラミックス基板近傍のライン分析結果である。(a) が本発明例 3、(b) が比較例 1 である。

【図 11】実施例における本発明例 4 のセラミックス基板近傍の元素マッピング図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態である接合体、絶縁回路基板について、添付した図面を参照して説明する。なお、以下に示す各実施形態は、発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。また、以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために、便宜上、要部となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らない。

10

【0021】

(第一の実施形態)

以下に、本発明の第一の実施形態について、図 1 から図 4 を参照して説明する。

本発明の第一の実施形態である接合体は、A1系セラミックスからなるセラミックス部材としてのセラミックス基板 11 と、銅または銅合金からなる銅部材としての銅板 22 (回路層 12) とが接合されることによって構成された絶縁回路基板 10 とされている。なお、A1系セラミックスとは、アルミニウム酸化物やアルミニウム窒化物等の A1 元素を含む化合物で構成されたセラミックスのことを指す。

20

図 1 に、本発明の実施形態である絶縁回路基板 10 及びこの絶縁回路基板を用いたパワーモジュール 1 を示す。

【0022】

このパワーモジュール 1 は、絶縁回路基板 10 と、この絶縁回路基板 10 の一方側 (図 1 において上側) に第 1 はんだ層 2 を介して接合された半導体素子 3 と、絶縁回路基板 10 の他方側 (図 1 において下側) に第 2 はんだ層 8 を介して配置されたヒートシンク 51 と、を備えている。

ここで、第 1 はんだ層 2 及び第 2 はんだ層 8 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。

30

【0023】

絶縁回路基板 10 は、図 1 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 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。

【0024】

セラミックス基板 11 は、A1系セラミックス、例えば、窒化アルミニウム (AlN)、アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 等から構成されている。なお、窒化アルミニウム (AlN)、アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 等は、ZrO<sub>2</sub> 等によって強化されたものであってもよい。

本実施形態では、セラミックス基板 11 は、放熱性の優れた窒化アルミニウム (AlN) で構成されている。セラミックス基板 11 の厚さは、例えば 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 のものを用いている。

40

【0025】

回路層 12 は、図 4 に示すように、セラミックス基板 11 の一方の面に銅又は銅合金からなる銅板 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 を構成する銅板 22 として、無酸素銅の圧延板が用いられている。この回路層 12 には、回路パターンが形成されており、その一方の面 (図 1 において上面) が、半導体素子 3 が搭載される搭載面とされている。ここで、回路層 12 (銅板 22) 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、本実施形態では 0.6 mm に設定されている。

【0026】

50

金属層 13 は、図 4 に示すように、セラミックス基板 11 の他方の面に銅又は銅合金からなる銅板 23 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 13 を構成する銅板 23 として、無酸素銅の圧延板が用いられている。ここで、金属層 13 (銅板 23) 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、本実施形態では、0.6 mm に設定されている。

#### 【0027】

ヒートシンク 51 は、前述の絶縁回路基板 10 を冷却するためのものであり、本実施形態では放熱板とされている。このヒートシンク 51 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。

10

このヒートシンク 51 は、本実施形態においては、絶縁回路基板 10 の金属層 13 に第 2 はんだ層 8 を介して接合されている。

#### 【0028】

ここで、回路層 12 (銅板 22) とセラミックス基板 11、及び、金属層 13 (銅板 23) とセラミックス基板 11 の接合界面の拡大図を、図 2 に示す。

図 2 に示すように、セラミックス基板 11 と回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) との接合界面には、接合層 30 が形成されている。

この接合層 30 は、図 2 に示すように、セラミックス基板 11 側に形成された活性金属を含む化合物からなる活性金属化合物層 31 と、活性金属化合物層 31 と回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) との間に形成された合金層 32 と、を備えている。

20

#### 【0029】

本実施形態においては、後述するように、Cu-P 系ろう材 24 と活性金属として Ti を用いて、回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) とセラミックス基板 11 を接合していることから、活性金属化合物層 31 は、チタン化合物によって構成される。

#### 【0030】

そして、活性金属化合物層 31 は、結晶質のチタン化合物 (チタン酸化物又はチタン窒化物) とされている。なお、活性金属化合物層 31 の結晶性については、透過型電子顕微鏡によって電子回折図形を観察することで確認することができる。本実施形態では、活性金属化合物層 31 がチタン酸化物で構成されており、ルチル型の電子回折図形が観察されることになる。

30

ここで、本実施形態においては、活性金属化合物層 31 の厚さは、1.5 nm 以上 150 nm 以下の範囲内であることが好ましい。

#### 【0031】

また、接合層 30 においては、活性金属化合物層 31 の回路層 12 (銅板 22) 側及び金属層 13 (銅板 23) 側の界面から回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) に向かって、0.5 μm から 3 μm の厚み範囲 E における Al 濃度が 0.15 at% 以下とされている。すなわち、活性金属化合物層 31 の回路層 12 (銅板 22) 側及び金属層 13 (銅板 23) 側の界面から、回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) に向けて 0.5 μm (t1) の位置で広がる面と、回路層 12 (銅板 22) 及び金属層 13 (銅板 23) に向けて 3 μm (t2) の位置で広がる面との間の、2.5 μm の厚み範囲 E に広がる領域内においては、Al 濃度が 0.15 at% 以下とされている。なお、Al 濃度は厚み範囲 E における平均値とされている。

40

#### 【0032】

接合層 30 における Al 成分は、セラミックス基板 11 の構成材料、すなわち、Al 系セラミックスの一部が、セラミックス基板 11 と銅板 22、23 との接合時に分解され、Al 成分が接合層 30 に向かって拡散することにより生じたものである。例えば、本実施形態では、セラミックス基板 11 を構成する AlN が分解して、Al が拡散したものである。

接合層 30 の厚み範囲 E における Al 濃度は、セラミックス基板 11 と銅板 22、23 との接合時における接合工程 S02 での加熱温度、保持時間、ろう材量、活性金属量によ

50

ってセラミックス基板 11 の分解状態を調整することにより、制御することができる。

【0033】

また、合金層 32 は、接合時に用いたろう材の成分のいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を含有するものとされている。本実施形態では、後述するように、Cu - P 系ろう材 24、具体的には、Cu - P - Sn - Ni ろう材を用いているので、合金層 32 は、Cu, P, Sn, Ni のいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を有している。

【0034】

次に、上述した本実施形態である絶縁回路基板 10 の製造方法について、図 3 及び図 4 を参照して説明する。

【0035】

まず、図 4 に示すように、セラミックス基板 11 の一方の面（図 4 において上面）に、Cu - P 系ろう材 24、チタン材 25、及び回路層 12 となる銅板 22 を順に積層するとともに、セラミックス基板 11 の他方の面（図 4 において下面）に、Cu - P 系ろう材 24、チタン材 25、及び金属層 13 となる銅板 23 を順に積層する（積層工程 S01）。

【0036】

本実施形態では、Cu - P 系ろう材 24 として、P を 3 mass % 以上 10 mass % 以下の範囲で含み、かつ、低融点元素である Sn を 7 mass % 以上 50 mass % 以下の範囲で含み、さらに、Ni を 2 mass % 以上 15 mass % 以下の範囲で含む Cu - P - Sn - Ni ろう材を用いている。

ここで、Cu - P 系ろう材 24 の厚さは、10  $\mu\text{m}$  以上 50  $\mu\text{m}$  以下の範囲とされている。

【0037】

また、本実施形態では、活性金属元素である Ti を含むチタン材 25 の厚さは、0.05  $\mu\text{m}$  以上 2  $\mu\text{m}$  以下の範囲内とされている。なお、チタン材 25 は、厚さが 0.1  $\mu\text{m}$  以上 1.0  $\mu\text{m}$  以下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 1.0  $\mu\text{m}$  以上の場合には箔材を用いることが好ましい。

【0038】

次に、セラミックス基板 11、Cu - P 系ろう材 24、チタン材 25、銅板 22 及び銅板 23 を、積層方向に加圧（圧力 1 ~ 35 kgf /  $\text{cm}^2$  (0.1 MPa ~ 3.5 MPa) ) した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱して接合する（接合工程 S02）。

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 以下の範囲内としている。

また、加熱温度は 770 以上 950 以下の範囲内、加熱温度での保持時間を 5 分以上 120 分以下の範囲内に設定している。さらに、600 から 700 までの昇温速度を 5 /min 以上 20 /min 以下の範囲内に設定している。

【0039】

ここで、活性金属元素である Ti を含むチタン材 25 の厚さが 0.05  $\mu\text{m}$  未満の場合には、セラミックス基板 11 と銅板 22, 23 との接合が不十分となるおそれがある。一方、チタン材 25 の厚さが 2  $\mu\text{m}$  を超える場合には、セラミックス基板 11 の分解が促進され、接合層 30 の厚み範囲 E における Al 濃度が 0.15 at % を超えてしまい、超音波接合時にクラックが生じるおそれがある。

以上のことから、本実施形態では、チタン材 25 の厚さを 0.05  $\mu\text{m}$  以上 2  $\mu\text{m}$  以下の範囲内に設定している。

なお、セラミックス基板 11 と銅板 22, 23 とを確実に接合するためには、チタン材 25 の厚さの下限を 0.1  $\mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、0.15  $\mu\text{m}$  以上とすることがさらに好ましい。一方、セラミックス基板 11 の分解を抑制するためには、チタン材 25 の厚さの上限を 1.5  $\mu\text{m}$  以下とすることが好ましく、1.0  $\mu\text{m}$  以下とすることがさらに好ましい。

【0040】

Cu - P 系ろう材 24 の厚さが 10  $\mu\text{m}$  未満の場合には、セラミックス基板 11 と銅板

10

20

30

40

50

22, 23との接合が不十分となるおそれがある。一方、Cu-P系ろう材24の厚さが50 $\mu$ mを超える場合には、セラミックス基板11の分解が促進され、接合層30の厚み範囲EにおけるAl濃度が0.15at%を超えてしまい、超音波接合時にクラックが生じるおそれがある。

以上のことから、本実施形態では、Cu-P系ろう材24の厚さを10 $\mu$ m以上50 $\mu$ m以下の範囲内に設定している。

なお、セラミックス基板11と銅板22, 23とを確実に接合するためには、Cu-P系ろう材24の厚さの下限を15 $\mu$ m以上とすることが好ましく、20 $\mu$ m以上とすることがさらに好ましい。一方、セラミックス基板11の分解を抑制するためには、Cu-P系ろう材24の厚さの上限を40 $\mu$ m以下とすることが好ましく、35 $\mu$ m以下とすることがさらに好ましい。

10

#### 【0041】

接合工程S02における加熱温度が770未満の場合には、セラミックス基板11と銅板22, 23との接合が不十分となるおそれがある。一方、接合工程S02における加熱温度が950を超える場合には、セラミックス基板11の熱劣化によってマイクロクラックが発生し、超音波接合時にセラミックス基板11に割れが生じるおそれがある。

以上のことから、本実施形態では、接合工程S02における加熱温度を770以上950以下の範囲内に設定している。

なお、セラミックス基板11と銅板22, 23とを確実に接合するためには、接合工程S02における加熱温度の下限を800以上とすることが好ましく、830以上とすることがさらに好ましい。一方、セラミックス基板11の熱劣化を抑制するためには、接合工程S02における加熱温度の上限を940以下とすることが好ましく、930以下とすることがさらに好ましい。

20

#### 【0042】

接合工程S02における加熱温度での保持時間が5分未満の場合には、セラミックス基板11と銅板22, 23との接合が不十分となるおそれがある。一方、接合工程S02における加熱温度での保持時間が120分を超える場合には、セラミックス基板11の分解が促進され、接合層30の厚み範囲EにおけるAl濃度が0.15at%を超えてしまい、超音波接合時にクラックが生じるおそれがある。

以上のことから、本実施形態では、加熱温度での保持時間を5分以上120分以下の範囲内に設定している。

30

なお、セラミックス基板11と銅板22, 23とを確実に接合するためには、接合工程S02における加熱温度での保持時間の下限を15分以上とすることが好ましく、30分以上とすることがさらに好ましい。一方、セラミックス基板11の分解を抑制するためには、接合工程S02における加熱温度での保持時間の上限を100分以下とすることが好ましく、90分以下とすることがさらに好ましい。

#### 【0043】

接合工程S02における600から700までの昇温速度が5/min未満の場合には、セラミックス基板11の分解が促進され、接合層30の厚み範囲EにおけるAl濃度が0.15at%を超えてしまい、超音波接合時にクラックが生じるおそれがある。一方、接合工程S02における600から700までの昇温速度が20/minを超える場合には、熱衝撃によってセラミックス基板11にマイクロクラックが発生し、超音波接合時にセラミックス基板11に割れが生じるおそれがある。

40

以上のことから、本実施形態では、接合工程S02における600から700までの昇温速度を5/min以上20/min以下の範囲内に設定している。

なお、セラミックス基板11の分解を抑制するためには、接合工程S02における600から700までの昇温速度の下限を7/min以上とすることが好ましく、10/min以上とすることがさらに好ましい。一方、熱衝撃によるマイクロクラックの発生を抑制するためには、接合工程S02における600から700までの昇温速度の上限を15/min以下とすることが好ましく、13/min以下とすることがさら

50

に好ましい。

【0044】

以上の積層工程S01及び接合工程S02により、本実施形態である絶縁回路基板10が製造される。

【0045】

次に、絶縁回路基板10の金属層13の他方の面側に、ヒートシンク51をはんだ接合する(ヒートシンク接合工程S03)。

さらに、絶縁回路基板10の回路層12の一方の面に、半導体素子3をはんだ付けにより接合する(半導体素子接合工程S04)。

以上の工程により、図1に示すパワーモジュール1が製出される。

10

【0046】

以上のような構成とされた本実施形態の絶縁回路基板10(接合体)によれば、セラミックス基板11と回路層12及び金属層13との間に形成された接合層30のセラミックス基板11側に、結晶質のチタン酸化物からなる活性金属化合物層31が形成されているので、超音波を負荷させた場合であっても、活性金属化合物層31を起点としてクラックが発生することを抑制でき、セラミックス基板11と回路層12及び金属層13との剥離を抑制することができる。

【0047】

さらに、本実施形態では、活性金属化合物層31の回路層12及び金属層13側の界面から、回路層12及び金属層13に向かって0.5 $\mu\text{m}$ から3 $\mu\text{m}$ の厚み範囲Eにおける接合層30のAl濃度が0.15at%以下に抑えられているので、超音波を負荷させた場合であっても、接合層30にクラックが生じることを抑制することができる。

20

なお、厚み範囲Eにおける接合層30のAl濃度は、0.10at%以下であることが好ましく、0.07at%以下であることがさらに好ましい。

【0048】

また、本実施形態においては、活性金属化合物層31の厚さが1.5nm以上とされているので、活性金属化合物層31によってセラミックス基板11の接合界面近傍の強度が適度に向上し、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板11の割れの発生を抑制することができる。一方、活性金属化合物層31の厚さが150nm以下とされているので、硬い活性金属化合物層31が過剰に形成されておらず、冷熱サイクル負荷時においてセラミックス基板11に生じる熱歪を抑えることができ、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板11の割れの発生を抑制することができる。

30

なお、活性金属化合物層31の厚さの下限は3nm以上であることが好ましく、5nm以上であることがさらに好ましい。一方、活性金属化合物層31の厚さの上限は60nm以下であることが好ましく、15nm以下であることがさらに好ましい。

【0049】

また、本実施形態においては、セラミックス基板11が窒化アルミニウム(AlN)で構成されているので、絶縁性、および、耐熱性に優れた絶縁回路基板10を製造することができる。

さらに、活性金属化合物層31がチタン酸化物で構成されているので、セラミックス基板11と回路層12及び金属層13との接合性が向上し、セラミックス基板11と回路層12及び金属層13との剥離をさらに抑制することができる。

40

【0050】

さらに、本実施形態においては、セラミックス基板11の回路層12とは反対側の面に、金属層13が形成されているので、半導体素子3で発生した熱を効率良く放熱することが可能となる。また、セラミックス基板11の反りの発生を抑制することができる。

また、金属層13が銅又は銅合金で構成されているので、放熱性に優れた絶縁回路基板10を実現できる。

【0051】

(第二の実施形態)

50

次に、本発明の第二の実施形態について説明する。なお、第一の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5に、本発明の第二の実施形態に係る絶縁回路基板110を備えたパワーモジュール101を示す。

【0052】

このパワーモジュール101は、絶縁回路基板110と、この絶縁回路基板110の一方の面(図5において上面)にはんだ層2を介して接合された半導体素子3と、絶縁回路基板110の下側に接合されたヒートシンク51と、を備えている。

【0053】

セラミックス基板111は、Al系セラミックス、例えば、窒化アルミニウム(AlN)、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)等から構成されている。本実施形態では、セラミックス基板111は、放熱性の優れたアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)で構成されている。なお、本実施形態のセラミックス基板111を構成するアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は、焼結助剤としてSiO<sub>2</sub>を含んでいる。

また、セラミックス基板111の厚さは、例えば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のものを用いている。

【0054】

回路層112は、図8に示すように、セラミックス基板111の一方の面に銅又は銅合金からなる銅板122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112を構成する銅板122として、無酸素銅の圧延板が用いられている。この回路層112には、回路パターンが形成されており、その一方の面(図5において上面)が、半導体素子3が搭載される搭載面とされている。ここで、回路層112(銅板122)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。

【0055】

金属層113は、図8に示すように、セラミックス基板111の他方の面にアルミニウム又はアルミニウム合金からなるアルミニウム板123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113を構成するアルミニウム板123として、純度99.99mass%以上のアルミニウム(4Nアルミニウム)の圧延板が用いられている。ここで、金属層113(アルミニウム板123)の厚さは0.2mm以上6mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、2.0mmに設定されている。

【0056】

ヒートシンク51は、本実施形態においては、絶縁回路基板110の金属層113にAl-Si系ろう材等を用いて接合されている。

【0057】

ここで、回路層112(銅板122)とセラミックス基板111の接合界面の拡大図を、図6に示す。

図6に示すように、セラミックス基板111と回路層112(銅板122)との接合界面には、接合層130が形成されている。

この接合層130は、図6に示すように、セラミックス基板111側に形成された活性金属を含む化合物からなる活性金属化合物層131と、活性金属化合物層131と回路層112(銅板122)との間に形成された合金層132と、を備えている。

さらに、本実施形態においては、活性金属化合物層131とセラミックス基板111との間に、Si濃化層135が形成されている。

【0058】

本実施形態においては、後述するように、Cu-P系ろう材24と活性金属としてTiを含むチタン材25を用いて、回路層112(銅板122)とセラミックス基板111を接合していることから、活性金属化合物層131は、チタン化合物によって構成される。

なお、Si濃化層135は、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)からなるセラミックス基板111に焼結助剤として含まれるSiO<sub>2</sub>によって形成されたものであると推測される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 9 】

そして、活性金属化合物層 1 3 1 は、結晶質のチタン化合物（チタン酸化物又はチタン窒化物）とされている。なお、活性金属化合物層 1 3 1 の結晶性については、透過型電子顕微鏡によって電子回折図形を観察することで確認することができる。本実施形態では、活性金属化合物層 1 3 1 がチタン酸化物で構成されており、ルチル型の電子回折図形が観察されることになる。

ここで、本実施形態においては、活性金属化合物層 1 3 1 の厚さは、1 . 5 n m 以上 1 5 0 n m 以下の範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 6 0 】

また、接合層 1 3 0 においては、活性金属化合物層 1 3 1 の回路層 1 1 2（銅板 1 2 2）側の界面から回路層 1 1 2（銅板 1 2 2）に向かって、0 . 5  $\mu$  m から 3  $\mu$  m の厚み範囲 E における Al 濃度が 0 . 1 5 a t % 以下とされている。

10

## 【 0 0 6 1 】

また、合金層 1 3 2 は、接合時に用いたろう材の成分のいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を含有するものとされている。本実施形態では、Cu - P 系ろう材 2 4、具体的には、Cu - P - Sn - Ni 系ろう材を用いているので、合金層 3 2 は、Cu, P, Sn, Ni のいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を有している。

## 【 0 0 6 2 】

次に、上述した本実施形態である絶縁回路基板 1 1 0 の製造方法について、図 7 及び図 8 を参照して説明する。

20

## 【 0 0 6 3 】

まず、図 8 に示すように、セラミックス基板 1 1 1 の一方の面（図 8 において上面）に、Cu - P 系ろう材 2 4、チタン材 2 5、及び回路層 1 1 2 となる銅板 1 2 2 を順に積層する（銅板積層工程 S 1 0 1）。

なお、Cu - P 系ろう材 2 4 及びチタン材 2 5 の厚さ等は、第一の実施形態と同等の条件とした。

## 【 0 0 6 4 】

次に、セラミックス基板 1 1 1、Cu - P 系ろう材 2 4、チタン材 2 5、銅板 1 2 2 を、積層方向に加圧（圧力 1 ~ 3 5 k g f / c m <sup>2</sup>（0 . 1 M P a ~ 3 . 5 M P a））した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱して接合する（銅板接合工程 S 1 0 2）。

30

本実施形態では、真空加熱炉内の圧力は 1 0 <sup>- 6</sup> P a 以上 1 0 <sup>- 3</sup> P a 以下の範囲内としている。

また、加熱温度は 7 7 0 以上 9 5 0 以下の範囲内、加熱温度での保持時間を 5 分以上 1 2 0 分以下の範囲内に設定している。さらに、6 0 0 から 7 0 0 までの昇温速度を 5 / m i n 以上 2 0 / m i n 以下の範囲内に設定している。

## 【 0 0 6 5 】

次に、図 8 に示すように、セラミックス基板 1 1 1 の他方の面（図 8 において下面）に、Al - Si 系ろう材 2 7、及び金属層 1 1 3 となるアルミニウム板 1 2 3 を順に積層する（アルミニウム板積層工程 S 1 0 3）。

ここで、本実施形態では、Al - Si 系ろう材 2 7 として、Si を 7 m a s s % 以上 1 2 m a s s % 以下の範囲内で含有するアルミニウム合金からなるろう材箔を用いており、Al - Si 系ろう材 2 7 の厚さが 5  $\mu$  m 以上 3 0  $\mu$  m 以下の範囲内とされている。

40

## 【 0 0 6 6 】

次に、セラミックス基板 1 1 1、Al - Si 系ろう材 2 7、アルミニウム板 1 2 3 を、積層方向に加圧（圧力 1 ~ 3 5 k g f / c m <sup>2</sup>（0 . 1 M P a ~ 3 . 5 M P a））した状態で、真空加熱炉内に装入して加熱して接合する（アルミニウム板接合工程 S 1 0 4）。

本実施形態では、真空加熱炉内の圧力は 1 0 <sup>- 6</sup> P a 以上 1 0 <sup>- 3</sup> P a 以下の範囲内としている。

また、加熱温度は 5 8 0 以上 6 5 0 以下の範囲内、加熱温度での保持時間は 1 分以上 1 8 0 分以下の範囲内とされている。

50

## 【0067】

以上の銅板積層工程S101、銅板接合工程S102、アルミニウム板積層工程S103、アルミニウム板接合工程S104により、本実施形態である絶縁回路基板110が製造される。

## 【0068】

次に、絶縁回路基板110の金属層113の他方の面側に、ヒートシンク51をAl-Si系ろう材を用いて接合する（ヒートシンク接合工程S105）。

さらに、絶縁回路基板110の回路層112の一方の面に、半導体素子3をはんだ付けにより接合する（半導体素子接合工程S106）。

以上の工程により、図5に示すパワーモジュール101が製出される。

10

## 【0069】

以上のような構成とされた本実施形態の絶縁回路基板110（接合体）によれば、セラミックス基板111と回路層112との間に形成された接合層130のセラミックス基板111側に、結晶質のチタン酸化物からなる活性金属化合物層131が形成されているので、超音波を負荷させた場合であっても、活性金属化合物層131を起点としてクラックが発生することを抑制でき、セラミックス基板111と回路層112との剥離を抑制することができる。

## 【0070】

さらに、本実施形態では、活性金属化合物層131の回路層112側の界面から、回路層112に向かって0.5 $\mu\text{m}$ から3 $\mu\text{m}$ の厚み範囲Eにおける接合層130のAl濃度が0.15at%以下に抑えられているので、超音波を負荷させた場合であっても、接合層130にクラックが生じることを抑制することができる。

20

なお、厚み範囲Eにおける接合層130のAl濃度は、0.10at%以下であることが好ましく、0.07at%以下であることがさらに好ましい。

## 【0071】

また、本実施形態においては、活性金属化合物層131の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内とされているので、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板111の割れの発生を抑制することができる。

なお、活性金属化合物層131の厚さの下限は3nm以上であることが好ましく、5nm以上であることがさらに好ましい。一方、活性金属化合物層131の厚さの上限は60nm以下であることが好ましく、15nm以下であることがさらに好ましい。

30

## 【0072】

また、本実施形態においては、セラミックス基板111がアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )で構成されているので、絶縁性、および、耐熱性に優れた絶縁回路基板110を製造することができる。

さらに、活性金属化合物層131がチタン酸化物で構成されているので、セラミックス基板111と回路層112との接合性が向上し、セラミックス基板111と回路層112との剥離をさらに抑制することができる。

## 【0073】

さらに、本実施形態においては、セラミックス基板111の回路層112とは反対側の面に、金属層113が形成されているので、半導体素子3で発生した熱を効率良く放熱することが可能となる。また、セラミックス基板111の反りの発生を抑制することができる。

40

また、金属層113がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されているので、熱応力を金属層113で吸収することができ、冷熱サイクル時におけるセラミックス基板111への負荷を抑制することができる。

## 【0074】

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、本実施形態では、セラミックス基板の回路層とは反対側の面に金属層を形成し

50

たものとして説明したが、これに限定されることはなく、金属層を設けなくてもよい。

【0075】

また、ヒートシンクは、本実施形態で例示してものに限定されることはなく、ヒートシンクの構造に特に限定はない。

さらに、ヒートシンクと金属層との間に、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てもよい。

【0076】

また、本実施形態では、絶縁回路基板に半導体素子を搭載してパワーモジュールを構成するものとして説明したが、これに限定されることはない。例えば、絶縁回路基板の回路層にLED素子を搭載してLEDモジュールを構成してもよいし、絶縁回路基板の回路層に熱電素子を搭載して熱電モジュールを構成してもよい。

10

【0077】

さらに、本実施形態においては、活性金属としてTiを用いるものとして説明したが、これに限定されることはなく、Ti, Nb, Hf, Zrから選択される一種又は二種以上の活性金属を用いてもよい。

また、セラミックス基板と銅板とを接合する際に用いるろう材として、Cu-P-Sn-Niろう材を例に挙げて説明したが、これに限定されることはなく、他のろう材を用いてもよい。

【0078】

さらに、本実施形態では、合金層がCu, P, Sn, Niのいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を有するものとして説明したが、これに限定されることはなく、接合時に用いたろう材の成分のいずれかを含む合金あるいは金属間化合物を含有するものであればよい。例えばろう材がZnを含有する場合には、Znを含む合金あるいは金属間化合物を含有していてもよい。

20

【実施例】

【0079】

<実施例1>

表1記載の材質からなるセラミックス基板（26mm×26mm×0.635mm厚）の一方の面に、表1記載のろう材及び活性金属材を用いて、無酸素銅からなる銅板（6mm×6mm×0.3mm厚）を順に積層し、積層体を形成する。

30

そして、積層体を表2に示す荷重で加圧した状態で真空加熱炉に投入し、加熱することによってセラミックス基板の一方の面に銅板を接合した。加熱温度及び時間は表2記載の通りとした。

【0080】

以上のようにして、本発明例、比較例の接合体を得た。得られた接合体について、「活性金属化合物層の材質及び結晶性」、「接合層の領域EのAl濃度」、「超音波接合性」について評価した。

【0081】

（活性金属化合物層の材質及び結晶性）

透過型電子顕微鏡（FEI社製Titan ChemiSTEM、加速電圧200kV）を用いて倍率80000倍で測定し、エネルギー分散型X線分析法（サーモサイエンティフィック社製NSS7）により、N、O及び活性金属元素の元素マッピングを取得した。活性金属元素とNまたはOが同一領域に存在する場合に活性金属化合物層が有ると判断した。

40

さらに活性金属化合物層の高分解能像に格子縞が観察されており、かつ高分解能像を高速フーリエ変換することで得られる回折像に回折斑点が確認された場合に結晶質であると判断した。

評価結果を表2に示す。

【0082】

（接合層の領域EのAl濃度）

50

接合部における Al 濃度の測定方法としては、接合部の断面を E P M A (電子線マイクロアナライザー、日本電子株式会社製 J X A - 8 5 3 0 F ) により分析し、活性金属化合物領域の一面から 0 . 5 μ m 以上 3 μ m 以下の範囲を定量分析し Al 濃度を測定した。具体的には上記範囲内の任意の個所 1 0 点を分析し、その平均値を Al 濃度とした。

評価結果を表 2 に示す。

【 0 0 8 3 】

また、本発明例 3 のセラミックス基板と銅板との接合界面の透過電子顕微鏡観察を図 9 に示す。

さらに、本発明例 3 及び比較例 1 の接合界面のライン分析結果を図 1 0 に示す。

また、本発明例 4 のセラミックス基板と銅板との接合界面の元素マッピングを図 1 1 に示す。

【 0 0 8 4 】

(超音波接合後の剥離の有無)

得られた接合体に対して、超音波金属接合機(超音波工業株式会社製:60C-904)を用いて、銅端子(10mm×5mm×1mm厚)をコプラ量0.3mmの条件で超音波接合した。

接合後に、銅板とセラミックス基板の接合界面の剥離が生じたものを「××」と評価した。また、剥離が確認されなかったものについては、さらに超音波探傷装置(株式会社日立ソリューションズ製FineSAT200)を用いて、銅板とセラミックス基板の接合界面を検査し、剥離又はセラミックス割れが観察されたものを「×」、どちらも確認されなかったものを「 」と評価した。評価結果を表 2 に示す。

【 0 0 8 5 】

【表 1】

	セラミックス基板	ろう材		活性金属材料	
	材質	材質	厚さ(μm)	材質	厚さ(μm)
本発明例1	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	35	Ti	0.5
本発明例2	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-10mass%Ni	20	Ti	0.1
本発明例3	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	20	Ti	0.1
本発明例4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-5mass%Cr	35	Hf	0.5
本発明例5	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-3mass%Mn	40	Zr	0.05
本発明例6	AlN	Cu-7mass%P	35	Ti	1.5
本発明例7	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
本発明例8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-3mass%Mn	10	Zr	0.1
本発明例9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-5mass%Cr	35	Nb	2
比較例1	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
比較例2	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
比較例3	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
比較例4	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5

【 0 0 8 6 】

【表 2】

	接合条件				評価			
	加圧荷重 (MPa)	加熱温度 (°C)	昇温速度 (°C/min)	保持時間 (min)	活性金属化合物層		領域Eの Al濃度(at%)	超音波 接合性
					材質	結晶性		
本発明例1	1.47	800	20	100	Ti-O	結晶質	0.01	○
本発明例2	0.29	950	10	5	Ti-O	結晶質	0.01	○
本発明例3	0.10	930	15	120	Ti-O	結晶質	0.03	○
本発明例4	0.10	800	13	90	Hf-O	結晶質	0.14	○
本発明例5	3.43	950	13	30	Zr-O	結晶質	0.01	○
本発明例6	0.29	930	10	100	Ti-N	結晶質	0.13	○
本発明例7	0.10	940	5	90	Ti-N	結晶質	0.15	○
本発明例8	0.29	830	10	90	Zr-O	結晶質	0.02	○
本発明例9	0.49	770	7	15	Nb-O	結晶質	0.02	○
比較例1	0.10	690	13	180	Ti-O	非晶質	0.01	××
比較例2	0.10	800	10	0	Ti-O	非晶質	0.03	××
比較例3	0.10	930	10	150	Ti-N	結晶質	0.41	×
比較例4	0.10	980	10	15	Ti-N	結晶質	0.28	×

## 【0087】

活性金属化合物層が非晶質である比較例1, 2においては、超音波接合後に銅板とセラミックス基板の接合界面において剥離が生じた。

接合部の領域EのAl濃度が0.15at%を超える比較例3, 4においては、超音波接合後に銅板とセラミックス基板の接合界面での剥離は認められなかったが、超音波探傷装置で検査した結果、剥離又はセラミックス割れが確認された。

## 【0088】

これに対して、活性金属化合物層が結晶質とされるとともに、接合部の領域EのAl濃度が0.15at%以下とされた本発明例1-9においては、超音波接合後に銅板とセラミックス基板の接合界面での剥離は認められず、超音波探傷装置で検査した結果、剥離又はセラミックス割れも確認されなかった。

## 【0089】

また、図9を参照すると、本発明例3においては、セラミックス基板の界面部分に結晶質の活性金属化合物層（ルチル型のTi-O層）が形成されていることが確認される。

さらに、図10を参照すると、本発明例3においては、比較例1に比べて、セラミックス基板の界面部分における活性金属濃度（Ti濃度）が高くなっていることが確認される。

また、図11を参照すると、本発明例4においては、アルミナからなるセラミックス基板と結晶質の活性金属化合物層との間に、Si濃化層が形成されているのが確認される。

## 【0090】

以上のことから、本発明例によれば、超音波接合を行った場合であっても、セラミックス部材と銅部材との剥離を抑制することが可能な接合体、及び、絶縁回路基板を提供できることが確認された。

## 【0091】

<実施例2>

表3記載の材質からなるセラミックス基板(40mm×40mm×0.635mm厚)の両面に、表3記載のろう材及び活性金属材料を用いて、無酸素銅からなる銅板(37mm×37mm×0.3mm厚)を順に積層し、積層体を形成する。

そして、積層体を表4に示す荷重で加圧した状態で真空加熱炉に投入し、加熱することによってセラミックス基板の両面にそれぞれ銅板を接合した。加熱温度及び時間は表4記載の通りとした。

【0092】

以上のようにして、本発明例の接合体を得た。得られた接合体について、「活性金属化合物層の材質及び結晶性」、「接合層の領域EのAl濃度」、「活性金属化合物層の厚さ」、「冷熱サイクル信頼性」について評価した。なお、「活性金属化合物層の材質及び結晶性」、「接合層の領域EのAl濃度」については、実施例1と同様に評価した。

10

【0093】

(活性金属化合物層の厚さ)

透過型電子顕微鏡(FEI社製Titan ChemiSTEM、加速電圧200kV)を用いて倍率80000倍で測定し、エネルギー分散型X線分析法(サーモサイエンティフィック社製NSS7)により、N、O及び活性金属元素の元素マッピングを取得した。活性金属元素とNまたはOが同一領域に存在する場合に活性金属化合物層があると判断した。

5視野で観察を行い、活性金属元素とNまたはOが同一領域に存在する範囲の面積を測定した幅で割ったものの平均値を「活性金属化合物層の厚さ」とした。

20

【0094】

(冷熱サイクル信頼性)

冷熱衝撃試験機(エスベック株式会社製TSA-72ES)を用いて、気相で-50×10min 175×10minの冷熱サイクルを250サイクルまで実施した。10サイクル毎にセラミックス基板の割れの有無を、超音波探傷装置(日立パワーソリューションズ製FineSAT200)による界面検査によって判定した。

【0095】

【表3】

	セラミックス基板	ろう材		活性金属材料	
	材質	材質	厚さ(μm)	材質	厚さ(μm)
本発明例11	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
本発明例12	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
本発明例13	AlN	Cu-6.3mass%P-9.3mass%Sn-7mass%Ni	25	Ti	0.5
本発明例14	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-2.5mass%Cr	25	Zr	0.5
本発明例15	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-2.5mass%Cr	25	Zr	0.5
本発明例16	AlN	Cu-7mass%P-15mass%Sn-2.5mass%Cr	25	Zr	0.5
本発明例17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-3mass%Mn	10	Zr	0.1
本発明例18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-3mass%Mn	10	Zr	0.1
本発明例19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu-7mass%P-15mass%Sn-3mass%Mn	10	Zr	0.1

30

40

【0096】

50

【表 4】

	接合条件				評価			
	加圧荷重 (MPa)	加熱温度 (°C)	昇温速度 (°C/min)	保持時間 (min)	活性金属化合物層		領域Eの Al濃度(at%)	セラミックス割れ サイクル数(回)
					材質	結晶性 厚さ(nm)		
本発明例11	0.1	900	5	90	Ti-0	結晶質 13.4	0.01	> 250
本発明例12	0.1	920	5	90	Ti-0	結晶質 38.5	0.07	230
本発明例13	0.1	940	5	90	Ti-N	結晶質 97.8	0.15	170
本発明例14	0.1	900	5	90	Zr-0	結晶質 19.9	0.01	230
本発明例15	0.1	920	5	90	Zr-0	結晶質 56.4	0.1	200
本発明例16	0.1	940	5	90	Zr-N	結晶質 148.3	0.13	160
本発明例17	0.3	800	10	90	Zr-0	結晶質 1.5	0.02	> 250
本発明例18	0.3	830	10	90	Zr-0	結晶質 3.7	0.01	> 250
本発明例19	0.3	860	10	90	Zr-0	結晶質 8.1	0.03	> 250

## 【0097】

活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内とされた本発明例11-19においては、セラミックス割れが発生した冷熱サイクルが160回以上であり、冷熱サイクル信頼性に優れていることが確認された。特に、活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上15nm以下の範囲内とされた本発明例11, 17, 18, 19においては、冷熱サイクルを250サイクル負荷後においてもセラミックス基板の割れが確認されておらず、冷熱サイクル信頼性に特に優れていることが確認された。

以上のことから、さらに冷熱サイクル信頼性が必要な場合には、活性金属化合物層の厚さが1.5nm以上150nm以下の範囲内、さらには1.5nm以上15nm以下の範

10

20

30

40

50

圈内、とすることが好ましい。

【符号の説明】

【0098】

1、101 パワーモジュール

3 半導体素子（電子部品）

10、110 絶縁回路基板（接合体）

11、111 セラミックス基板（セラミックス部材）

12、112 回路層

13、113 金属層

22、23、122 銅板（銅部材）

30、130 接合層

31、131 活性金属化合物層

10

20

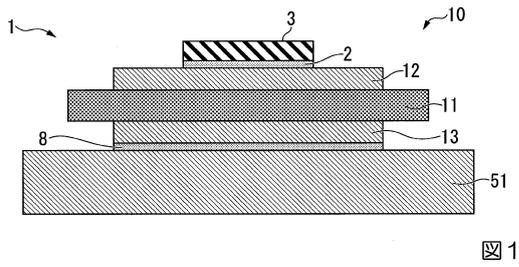
30

40

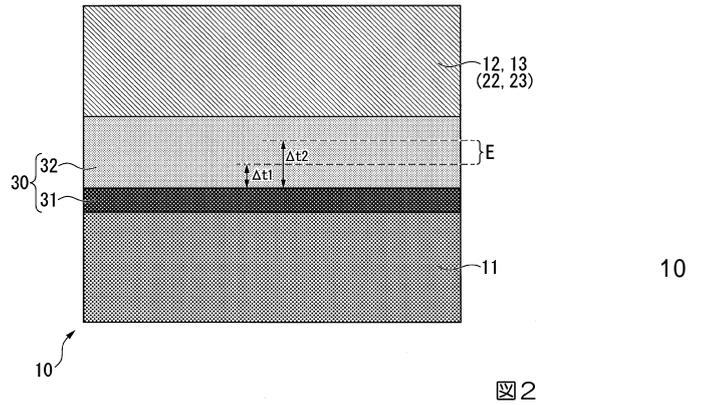
50

【図面】

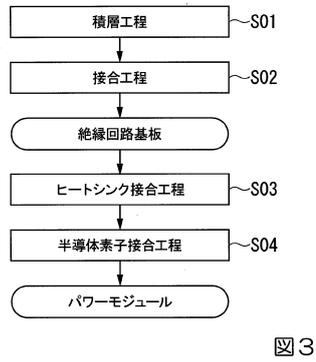
【図 1】



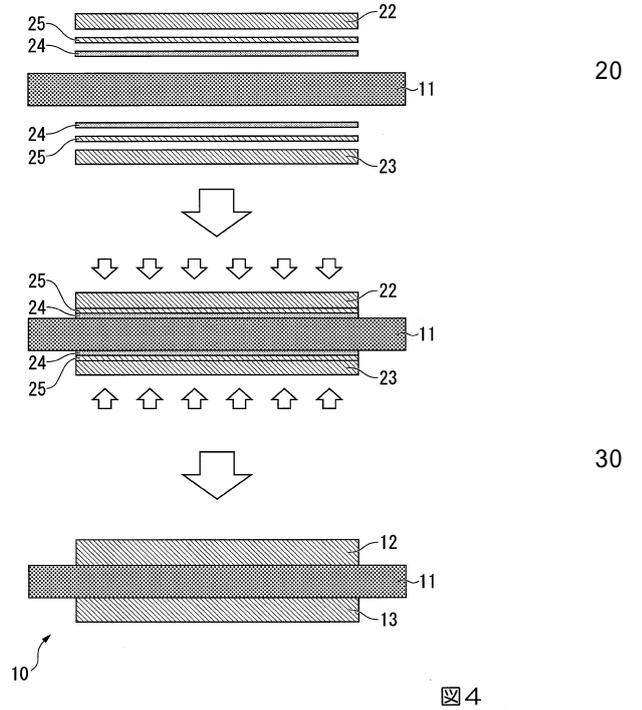
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

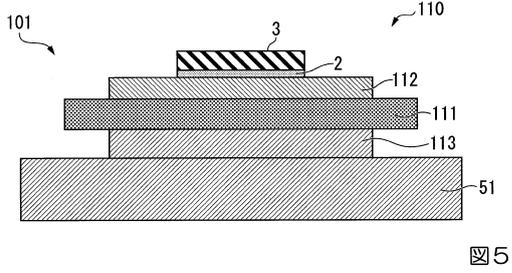
20

30

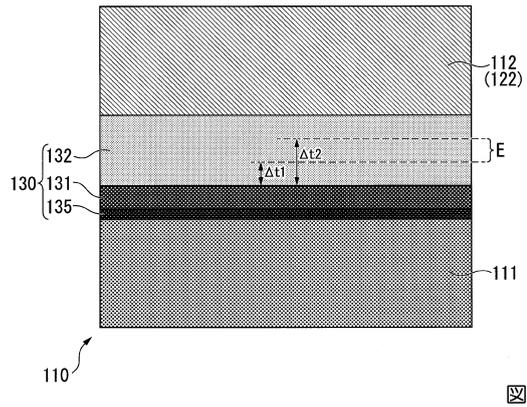
40

50

【図5】

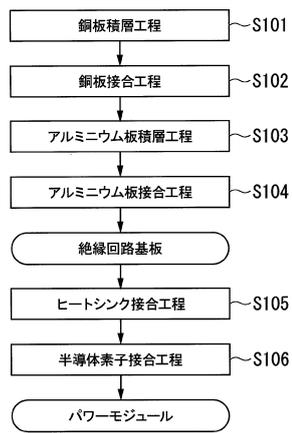


【図6】

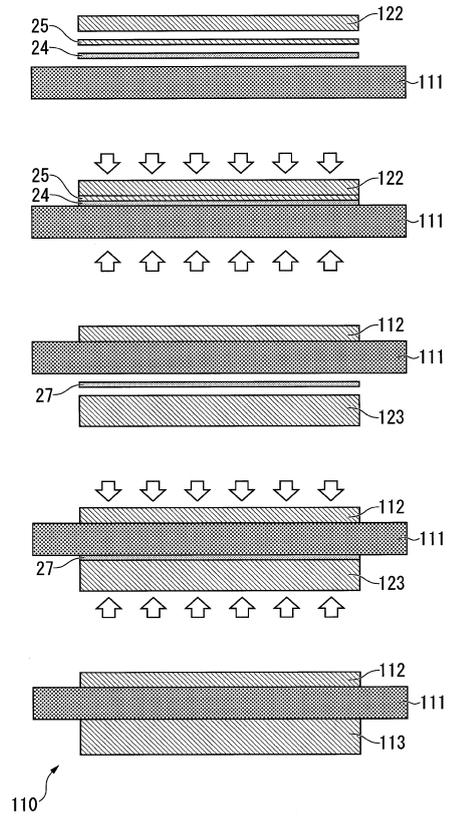


10

【図7】



【図8】



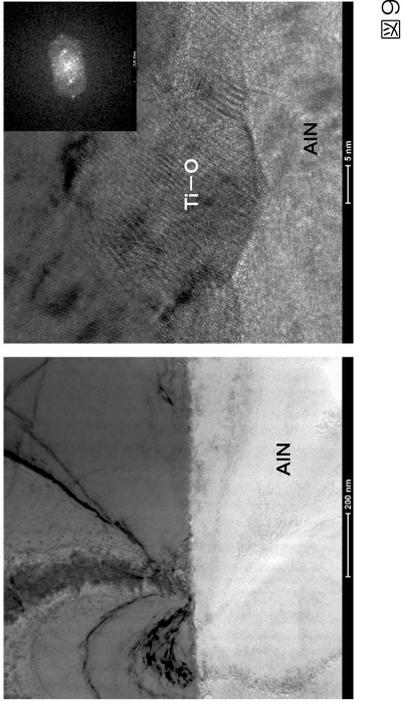
20

30

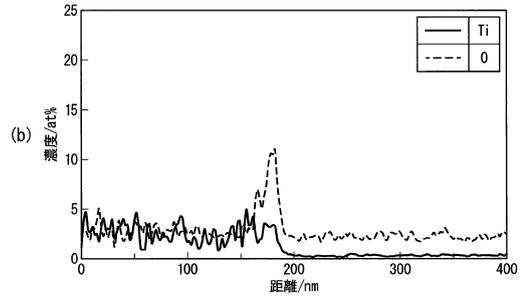
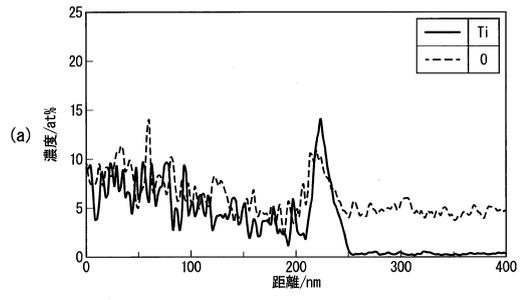
40

50

【 9 】



【 1 0 】

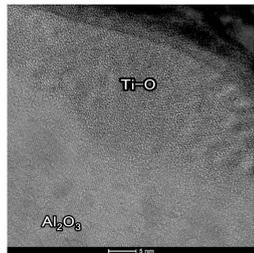
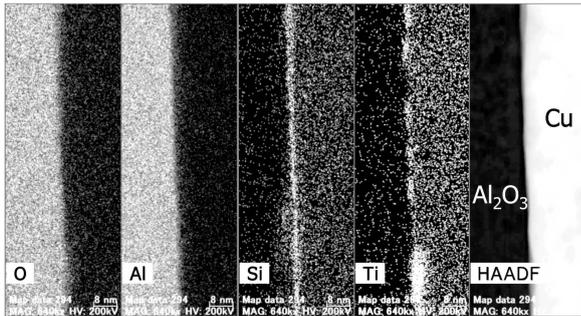


10

20

10

【 1 1 】



11

30

40

50

## フロントページの続き

審査官 田中 永一

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 5 8 7 0 6 ( J P , A )  
特開 2 0 1 5 - 2 2 4 1 5 1 ( J P , A )  
特許第 5 8 7 1 0 8 1 ( J P , B 2 )  
特開平 6 - 3 2 6 6 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 1 6 8 7 8 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 2 1 5 4 6 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 3 1 1 6 5 0 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 1 5 / 1 2 2 4 4 6 ( W O , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
- |         |           |   |           |
|---------|-----------|---|-----------|
| C 0 4 B | 3 7 / 0 0 | - | 3 7 / 0 4 |
| B 2 3 K | 2 0 / 1 0 |   |           |
| H 0 1 L | 2 3 / 3 6 |   |           |
| H 0 1 L | 2 3 / 1 3 |   |           |
| H 0 5 K | 1 / 0 3   |   |           |