

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7644763号  
(P7644763)

(45)発行日 令和7年3月12日(2025.3.12)

(24)登録日 令和7年3月4日(2025.3.4)

(51)国際特許分類	F I	
C 0 4 B 37/02 (2006.01)	C 0 4 B 37/02	B
H 0 5 K 1/03 (2006.01)	H 0 5 K 1/03	6 1 0 D
H 0 5 K 3/38 (2006.01)	H 0 5 K 1/03	6 3 0 H
H 0 1 L 23/13 (2006.01)	H 0 5 K 1/03	6 3 0 J
H 0 1 L 23/12 (2006.01)	H 0 5 K 3/38	D
請求項の数 12 (全18頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2022-540197(P2022-540197)	(73)特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(86)(22)出願日	令和3年7月19日(2021.7.19)	(73)特許権者	303058328 東芝マテリアル株式会社 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/026928	(74)代理人	110004026 弁理士法人 i X
(87)国際公開番号	WO2022/024832	(72)発明者	末永 誠一 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 東芝マテリアル株式会社内
(87)国際公開日	令和4年2月3日(2022.2.3)	(72)発明者	米津 麻紀 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会 社東芝内
審査請求日	令和5年10月25日(2023.10.25)	(72)発明者	藤澤 幸子
(31)優先権主張番号	特願2020-126589(P2020-126589)		
(32)優先日	令和2年7月27日(2020.7.27)		
(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、回路基板、半導体装置、及び接合体の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

セラミックス基板と、  
銅板と、

前記セラミックス基板の少なくとも一方の面に配置され、前記セラミックス基板と前記銅板とを接合する接合層と、を備え、

前記接合層は、Cuと、Tiと、Sn及びInから選ばれる1種又は2種である第1元素と、を含有し、

前記接合層は、前記第1元素の質量 $M_{E1}$ に対するTiの質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.5以上1.2以下のTiリッチ領域と、前記比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.1以下のTiプアー領域と、を含むことを特徴とする接合体。 10

【請求項2】

前記Tiリッチ領域において、質量 $M_{E1}$ に対するCuの質量 $M_{Cu}$ の比( $M_{Cu}/M_{E1}$ )は、0.05以上0.4以下であ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Tiプアー領域において、質量 $M_{E1}$ に対するCuの質量 $M_{Cu}$ の比( $M_{Cu}/M_{E1}$ )は、3以上10以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項2のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項4】

前記第1元素は、Snであり、

前記接合層を上下に2等分した際、前記セラミックス基板側の領域における前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) は、前記銅板側の領域における前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) よりも大きいことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項5】

セラミックス基板と、

銅板と、

前記セラミックス基板の少なくとも一方の面に配置され、前記セラミックス基板と前記銅板とを接合する接合層と、を備え、

前記接合層は、Cuと、Tiと、Snである第1元素と、を含有し、

前記接合層は、前記第1元素の質量  $M_{E1}$  に対するTiの質量  $M_{Ti}$  の比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) が0.5以上のTiリッチ領域と、前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) が0.1以下のTiプアー領域と、を含み、

前記接合層を上下に2等分した際、前記セラミックス基板側の領域における前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) は、前記銅板側の領域における前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) よりも大きいことを特徴とする接合体。

【請求項6】

前記第1元素は、Snであり、

前記接合層断面を面分析したとき、前記比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) は1未満であることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項7】

前記銅板は、前記接合層と前記銅板の界面からの前記第1元素の拡散量が1wt%以上である拡散領域を含み、

前記セラミックス基板と前記銅板とを結ぶ方向における前記拡散領域の長さは、100  $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項8】

前記銅板は、前記接合層と前記銅板の界面からの前記第1元素の拡散量が1wt%以上である拡散領域を含み、

前記セラミックス基板と前記銅板とを結ぶ方向における前記拡散領域の長さは、50  $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項9】

前記銅板の厚さが0.3mm以上であることを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の接合体。

【請求項10】

請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の接合体を備えたことを特徴とする回路基板。

【請求項11】

請求項10記載の回路基板と、

前記回路基板に実装された半導体素子と、を備えたことを特徴とする半導体装置。

【請求項12】

請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の接合体の製造方法であって、

昇温速度20 / 分のDSC曲線を測定したとき、昇温工程のDSC曲線にて520以上590以下に吸熱ピークを有する接合ろう材を用いて、前記セラミックス基板と前記銅板を接合したことを特徴とする接合体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

後述する実施形態は、接合体、回路基板、半導体装置、及び接合体の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

セラミックス基板と銅板の接合体は、半導体素子などを搭載する回路基板として用いら

10

20

30

40

50

れている。国際公開第2018/021472号公報(特許文献1)には、セラミックス基板と銅板を接合したセラミックス銅回路基板が開示されている。特許文献1では、接合層にAg、Cu、Tiなどを含有するろう材が用いられている。特許文献1では、接合時に $1 \times 10^{-3}$  Pa以下の圧力下で加熱接合が行われている。

このような $1 \times 10^{-3}$  Pa以下の圧力は、真空と呼ばれている。Tiを使った接合方法は、活性金属接合法と呼ばれている。Tiは活性な金属であるため、窒化又は酸化し易い。活性金属接合法では、接合前にTiが窒化や酸化するのを防ぐために、真空中で接合が行われていた。真空中で接合するには、接合装置の内部を真空にしなければならない。真空にしてから昇温していくため、加熱接合工程にはバッチ処理しか適用できなかった。加熱接合工程は、1バッチあたり真空引き、昇温、接合、冷却の4つの工程を含む。1バッチあたり24時間以上の時間がかかっていた。このため、量産性がよいとは言えなかった。

10

一方、国際公開第2018/199060号公報(特許文献2)には、連続炉で加熱接合工程を行うことが開示されている。特許文献2の実施例では、炉長3m、搬送速度10cm/分で接合が行われている。途中の保持時間を含めて2時間程度で加熱接合できている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開第2018/021472号公報

20

【文献】国際公開第2018/199060号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1および特許文献2では、接合ろう材としてAgを40wt%以上含有している。接合ろう材には、Sn及びInも使われている。Agは銅板に拡散し易い元素である。Agの拡散につられて、Sn及びInも銅板に拡散していく。銅板にSn又はInが拡散すると、銅板の融点が下がる。銅板の融点が下がると、接合時の変形やTemperature Cycling Test(TCT)特性の低下の原因となる。銅板へのSn又はInの拡散を防ぐためには、接合層中のTiの分布、Sn又はInの分布を制御することが有効であることが分かった。

30

本発明は、このような問題に対処するためのものであり、接合層中のTiとSnまたはInの分布を制御した接合体を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態に係る接合体は、セラミックス基板と、銅板と、前記セラミックス基板の少なくとも一方の面に配置され、前記セラミックス基板と前記銅板とを接合する接合層と、を備え、前記接合層は、Cuと、Tiと、Sn及びInから選ばれる1種又は2種である第1元素と、を含有し、前記接合層は、前記第1元素の質量 $M_{E1}$ に対するTiの質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.5以上のTiリッチ領域と、前記比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.1以下のTiプアー領域と、を含むことを特徴とする。

40

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】実施形態に係る接合体の一例を示す図。

【図2】実施形態に係る接合体の接合層の一例を示す図。

【図3】実施形態に係る回路基板の一例を示す図。

【図4】実施形態に係る半導体装置の一例を示す図。

【図5】実施例1の接合ろう材の昇温工程のDSC曲線(500~600)。

【図6】実施例1の接合ろう材の昇温工程のDSC曲線(700~900)。

【発明を実施するための形態】

50

## 【0007】

実施形態に係る接合体は、セラミックス基板と、銅板と、前記セラミックス基板の少なくとも一方の面に配置され、前記セラミックス基板と前記銅板とを接合する接合層と、を備え、前記接合層は、Cuと、Tiと、Sn及びInから選ばれる1種又は2種である第1元素と、を含有し、前記接合層は、前記第1元素の質量 $M_{E1}$ に対するTiの質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.5以上のTiリッチ領域と、前記比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.1以下のTiプアー領域と、を含むことを特徴とする。

図1は、接合体の一例を示す模式図である。図1において、1は接合体、2はセラミックス基板、3は銅板、4は接合層、である。図1は、セラミックス基板2の両面に接合層4を介して銅板3をそれぞれ配置した接合体1を示す。図1の例では、セラミックス基板2と銅板3のそれぞれの縦横サイズは、互いに同じである。実施形態にかかる接合体は、このような形態に限定されず、セラミックス基板2の片面のみに銅板3が設けられた構造を有してもよい。また、セラミックス基板2と銅板3のそれぞれの縦横サイズは、互いに異なってもよい。

10

## 【0008】

セラミックス基板2として、窒化珪素基板、窒化アルミニウム基板、酸化アルミニウム基板、アルジル基板などが挙げられる。セラミックス基板2の厚さは、0.1mm以上1mm以下が好ましい。基板厚さが0.1mm未満では、セラミックス基板2の強度が低下する可能性がある。また、基板厚さが1mmより厚いと、セラミックス基板が熱抵抗体となり、接合体の放熱性を低下させる可能性がある。

20

窒化珪素基板の3点曲げ強度は、600MPa以上であることが好ましい。また、熱伝導率は、80W/m・K以上であることが好ましい。窒化珪素基板の強度を上げることで、基板厚さを薄くすることができる。このため、窒化珪素基板の3点曲げ強度は、600MPa以上、さらには700MPa以上が好ましい。窒化珪素基板の基板厚さを、0.40mm以下、さらには0.30mm以下と薄くできる。

窒化アルミニウム基板の3点曲げ強度は、300~450MPa程度である。その一方、窒化アルミニウム基板の熱伝導率は、160W/m・K以上である。窒化アルミニウム基板の強度は低いため、基板厚さは0.60mm以上が好ましい。

酸化アルミニウム基板の3点曲げ強度は300~450MPa程度であるが、酸化アルミニウム基板は安価である。また、アルジル基板の3点曲げ強度は550MPa程度と高いが、熱伝導率は30~50W/m・K程度である。

30

セラミックス基板2は、窒化珪素基板、窒化アルミニウム基板のいずれか一方であることが好ましい。窒化珪素基板と窒化アルミニウム基板は、窒化物セラミックス基板である。窒化物セラミックスは、Tiを含有する活性金属ろう材と反応して窒化チタンを形成する。また、窒化物セラミックスはTiを含有する活性金属ろう材と反応して酸化チタンを形成する。

銅板3には、無酸素銅板又は銅合金板を用いることができる。銅板3は、無酸素銅であることが好ましい。無酸素銅については、JIS-H-3100(ISO1337など)に示されたように、銅純度99.96wt%以上である。

## 【0009】

接合層は、Cuと、Tiと、Sn及びInから選ばれる1種又は2種である第1元素と、を含有している。

40

Cu(銅)は、接合層の母材となる元素である。Cuは銅板に拡散したとしても、銅板を劣化させることは無い。Ti(チタン)は、セラミックス基板と反応して強固な接合を形成するために有効な元素である。Sn(スズ)またはIn(インジウム)は、接合層を形成する接合ろう材の融点を下げるのに有効な元素である。後述するように、目的とする接合層を得るためには、昇温速度を早くすることが有効である。そのためには、SnまたはInを含有していることが必要である。

接合層は、Tiリッチ領域とTiプアー領域を具備していることを特徴としている。Tiリッチ領域では、第1元素の質量 $M_{E1}$ に対するTiの質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{E1}$

50

)が、0.5以上である。Tiプアー領域では、第1元素の質量 $M_{E1}$ に対するTiの質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が、0.1以下である。Tiリッチ領域のTi含有量は、Tiプアー領域のTi含有量よりも多い。

図2は、接合層の一例を示す模式図である。図2において、2はセラミックス基板、3は銅板、4は接合層、4aはTi凝集層、5はTiリッチ領域、5aはTi中間量領域、6はTiプアー領域、7は拡散領域、である。図2中の接合層4において、ドットが付された領域は、Tiリッチ領域5及びTi中間量領域5aである。Tiリッチ領域5のドット密度は、Ti中間量領域5aのドット密度よりも高い。

#### 【0010】

Tiと第1元素の質量比の分析には、Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray spectroscopy (SEM - EDX)を用いる。以下、第1元素がSnである例について説明する。接合体1の断面を測定エリアとする。接合体1の断面はセラミックス基板2表面に垂直な方向に平行な断面とする。また、Tiと第1元素の質量比の分析時には、測定エリアは、接合層4のみとする。つまり、セラミックス基板2と銅板3は、測定エリアに含めない。

SEMとして、日本電子製JSM-IT100又はそれと同等の性能を有する装置を用いる。EDXとして、日本電子製EX-9440IT4L11又はそれと同等の性能を有する装置を用いる。まず、EDXにより、測定エリア $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の範囲のエリア分析を行う。測定エリアにおける $20\mu\text{m}$ は、セラミックス基板2表面に平行な方向の長さである。測定エリアにおける $10\mu\text{m}$ は、セラミックス基板2表面に垂直な方向の長さである。測定エリアを $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ としたのは、接合層成分の分布を調べるのに適した範囲であるためである。接合層4の厚さが $10\mu\text{m}$ 未満である場合は、「 $10\mu\text{m} \times$ 接合層4の厚さ」を測定エリアとして設定する。

#### 【0011】

Tiリッチ領域5は、質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.5以上の領域である。Tiプアー領域6は、質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.1以下の領域である。Tiを使った活性金属接合法では、セラミックス基板2とろう材中のTiが反応して、セラミックス基板2が接合される。このため、セラミックス基板2表面には、Ti凝集層が形成される。例えば、セラミックス基板2が窒化物セラミックスであると、Ti凝集層は窒化チタン(TiN)層となる。セラミックス基板2が酸化物セラミックス基板であると、Ti凝集層は酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)層となる。

Tiリッチ領域における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )の上限は特に限定されないが、1.2以下が好ましい。質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が1.2を超えるとTi量が多いか、Sn(またはIn)が少ないかのどちらかである。このような場合は、昇温速度を早くしたときに、接合性が低下する可能性がある。このため、Tiリッチ領域における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )は0.5以上1.2以下が好ましい。

Tiリッチ領域5が存在することにより、Sn(またはIn)が銅板に拡散し過ぎるのを抑制できる。つまり、Tiは、Snを接合層4中に留めるトラップ効果を有する。

Tiプアー領域6における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )は、0.1以下である。接合層4中に、Tiリッチ領域5とTiプアー領域6の両方を存在させることにより、銅板へのSnの拡散を抑制する効果と接合性を向上させる効果を両立させることができる。Tiプアー領域6における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )の下限値は、ゼロを含む。Ti量がゼロとは、検出限界以下であることを示す。

Tiリッチ領域5の一部には、TiSn合金が存在している。Tiプアー領域6の一部に、TiSn合金が存在していても良い。Ti凝集層4aにおける主成分は、後述するように、窒化チタン又は酸化チタンである。Tiリッチ領域及びTiプアー領域は、セラミックス基板2表面に形成されるTi凝集層とは区別される。また、測定エリア中に、質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.2以上0.4以下の領域が存在していてもよい。質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.2以上0.4以下の領域をTi中間量領域と呼ぶ。また、Tiリッチ領域5およびTiプアー領域6にあるTiSn合金は、金属間化合物も含みうる。金属間化

10

20

30

40

50

合物としては、 $\text{Sn}_3\text{Ti}_5$ 、 $\text{Sn}_5\text{Ti}_6$ が挙げられる。また、 $\text{TiSn}$ 合金の50%以上が、 $\text{Sn}_3\text{Ti}_5$ または $\text{Sn}_5\text{Ti}_6$ であることが好ましい。 $\text{Sn}_3\text{Ti}_5$ または $\text{Sn}_5\text{Ti}_6$ が存在するということは、接合反応がきちんとできていることを示す。

#### 【0012】

$\text{Ti}$ リッチ領域5において、第1元素の質量 $M_{E1}$ に対する $\text{Cu}$ の質量 $M_{Cu}$ の比( $M_{Cu}/M_{E1}$ )は、0.05以上0.4以下であることが好ましい。 $\text{Ti}$ プアー領域6において、質量比( $M_{Cu}/M_{E1}$ )は、3以上10以下であることが好ましい。 $\text{Ti}$ リッチ領域5および $\text{Ti}$ プアー領域6に $\text{Cu}$ を存在させることにより、接合層4の融点を下げることができる。接合層4の融点を下げると、後述するように昇温時間を早くしても接合性を向上させることができる。 $\text{Ti}$ リッチ領域5および $\text{Ti}$ プアー領域6には、 $\text{CuSn}$ 、 $\text{CuIn}$ 、 $\text{CuSnTi}$ 、 $\text{CuInTi}$ などの金属間化合物が存在していてもよい。

10

前述の $\text{Ti}$ リッチ領域は、原子番号の大きい $\text{Sn}$ の量が多い $\text{TiSn}$ 合金を主成分としている。接合層断面をSEMの反射電子像で観察したとき、原子番号の大きい元素は、原子番号の小さい元素に比べて、白く見える。このため、SEMの電子反射像を高コントラストで観察したとき、 $\text{TiSn}$ 合金は、白く見える。 $\text{Ti}$ リッチ領域における $\text{TiSn}$ 合金の量は、 $\text{Ti}$ プアー領域における $\text{TiSn}$ 合金の量よりも十分に多い。つまり、電子反射像で観察された接合層中で、白く見える領域を、 $\text{Ti}$ リッチ領域と見なすことができる。高コントラスト時に白く観察される領域は、測定エリア $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ あたり面積比で10%以上存在することが好ましい。また、反射電子像を観察することにより、 $\text{Ti}$ リッチ領域の面積比を求めることができる。また、白く見える領域の上限は、面積比90%であることが好ましい。測定エリア $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 中に $\text{Ti}$ リッチ領域5と $\text{Ti}$ プアー領域6が両方存在することが必要である。また、前述のSEM-EDXと組合わせて、 $\text{Ti}$ リッチ領域の面積比を求めてもよい。なお、SEMの反射電子像のコントラストは、原子番号の大きい元素ほど白く見える。 $\text{Ti}$ リッチ領域における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )が0.5以上1.2以下であると、コントラストで、 $\text{Ti}$ リッチ領域と $\text{Ti}$ プアー領域を判別し易くなる。また、SEMの電子反射像のコントラストは、装置によって変えられる。このため、白色の濃淡で調べる方法が有効である。従って、電子反射像を使った方法は、EDXを使った方法の簡易版として使うことができる。

20

$\text{Ti}$ リッチ領域の面積比は、10%以上90%以下、さらには20%以上60%以下の範囲内であることが好ましい。また、 $\text{Ti}$ リッチ領域以外に、接合層には、 $\text{Ti}$ プアー領域または $\text{Ti}$ 中間量領域が存在している。また、 $\text{Ti}$ プアー領域の面積比は、10%以上50%以下の範囲内であることが好ましい。また、測定エリア $20\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ では、 $\text{Ti}$ リッチ領域、 $\text{Ti}$ 中間量領域および $\text{Ti}$ プアー領域以外の領域が存在しても良い。例えば、 $\text{Cu-Sn-Ti-C}$ 系ろう材を用いたとき、 $\text{Sn}$ が存在しない領域が形成されることもある。 $\text{Sn}$ が存在しない領域は、 $\text{Ti}$ リッチ領域、 $\text{Ti}$ 中間量領域および $\text{Ti}$ プアー領域のいずれにも該当しない。このため、 $\text{Ti}$ リッチ領域、 $\text{Ti}$ 中間量領域および $\text{Ti}$ プアー領域が前述の範囲内を満たすのであれば、 $\text{Sn}$ または $\text{In}$ が存在しない領域が存在していても良い。

30

接合層断面を上下に2等分した際、セラミックス基板側の領域における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )は、銅板側の領域における質量比( $M_{Ti}/M_{E1}$ )よりも大きいことが好ましい。例えば、接合層断面を面分析したとき、 $\text{Sn}$ の質量 $M_{Sn}$ に対する $\text{Ti}$ の質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{Sn}$ )は、1未満であることが好ましい。また、接合層断面を面分析したとき、 $\text{In}$ の質量 $M_{In}$ に対する $\text{Ti}$ の質量 $M_{Ti}$ の比( $M_{Ti}/M_{In}$ )は、1未満であることが好ましい。

40

接合層断面を上下に2等分とは、セラミックス基板と接合層の接合界面から、接合層と銅板の接合界面まで、セラミックス基板表面に対して垂直な直線を引き、その直線の中心からセラミックス基板表面に平行な直線を引くことを指す。セラミックス基板2と接合層4の接合界面は、セラミックス基板2と $\text{Ti}$ 凝集層4aとの接合界面である。セラミックス基板2が窒化物系セラミックス基板であれば、 $\text{Ti}$ 凝集層は窒化チタン( $\text{TiN}$ )層である。接合層4と銅板3の接合界面は、接合層の成分がつながって銅板3に接した個所の

50

一番遠い箇所（セラミックス基板 2 から一番離れた箇所）となる。接合層 4 の成分に Ti 及び第 1 元素が含有されているため、これら元素の拡散状態で接合層 4 と銅板 3 の接合界面を判断する。なお、Ti 凝集層である窒化チタンは、チタンと窒素が原子比 1 : 1 以外のものを含有していてもよい。

セラミックス基板が酸化物系セラミックスの場合、Ti 凝集層は酸化チタンになる。Ti 凝集層としての酸化チタンは、TiO<sub>2</sub>、TiO、Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> など様々なものが存在していて良い。酸化物系セラミックス基板を用いる場合は、前述の窒化チタンを酸化チタンに読み替えて接合界面を判断する。

接合層断面を上下に 2 等分した際、セラミックス基板側の領域における質量比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) が銅板側の領域における質量比 ( $M_{Ti} / M_{E1}$ ) よりも大きいということは、接合層の銅板側の領域における Ti 量が少ない又は第 1 元素の量が多いことを示している。また、接合層断面を面分析したとき、質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が 1 未満であるということは、接合層では Ti 量よりも Sn 量の方が多いことを示している。同様に、接合層断面を面分析したとき、質量比 ( $M_{Ti} / M_{In}$ ) が 1 未満であるということは、接合層では Ti 量よりも In 量の方が多いことを示している。

Ti と第 1 元素の分布を制御することにより、銅板への第 1 元素の拡散を抑制できる。これにより、銅板の融点の低下が抑制され、接合時の銅板の変形を抑えることができる。この結果、接合時の接合体の反りを低減できる。

#### 【0013】

接合層と銅板の界面から Sn または In の銅板への拡散量が 1 wt % 以上である拡散領域の高さは、100 μm 以下であることが好ましい。拡散領域の高さは、接合層と銅板の界面から、銅板において Sn または In の拡散量が 1 wt % 以上の領域と、Sn または In の拡散量が 1 wt % を下回る領域と、の境界までの距離に相当する。より好ましくは、拡散領域の高さは、50 μm 以下である。

CuSn 合金は、Sn 量が増えるに従って融点が下がる。Sn が銅板に拡散すると、銅板で CuSn 合金が形成される。Sn の拡散量が多いと、CuSn 合金における Sn 量が増える。この結果として銅板の融点が下がると、接合工程や TCT 試験時に銅板のゆがみが発生し易くなる。一般的に銅の融点は 1085 である。CuSn 合金における Sn 量が 50 wt % 以上になると、CuSn 合金の融点が 100 ~ 300 になる。銅板への Sn の拡散量が少量であれば影響はないが、Sn 拡散量が増えると影響が出る。このため、Sn または In の銅板 3 への拡散量が 1 wt % 以上である拡散領域 7 の高さは 100 μm 以下、さらには 50 μm 以下が好ましい。

銅板として無酸素銅板が用いられる場合は、銅板における Sn 又は In の含有量を、Sn 又は In の拡散量と見なすことができる。銅板として、Sn 又は In を含む銅合金板が用いられても良い。銅合金板において、Sn 又は In は、均一に分散している。このため、銅板の表面側（いわゆる銅板の表面）における Sn 又は In の含有量と、銅板の裏面側（拡散領域 7）における含有量と、を測定し、裏面側における含有量から、表面側における含有量を減じることで、拡散量を算出できる。銅板の裏面は、セラミックス基板と接合される面である。表面は、裏面と反対側の面であり、接合層と接していない。銅合金板が用いられる場合でも、Sn 又は In の拡散により銅合金板の融点が下がるため、Sn 又は In の拡散は抑制されることが好ましい。なお、Sn 又は In を含む銅合金板の融点は、Sn 又は In を含まない無酸素銅板の融点よりも低い。このため、銅板は、無酸素銅板であることが好ましい。

#### 【0014】

銅板の厚さが 0.3 mm 以上であることが好ましい。銅板 3 が厚いと、通電容量および放熱性を向上させることができる。このため、銅板 3 の厚さは 0.3 mm 以上、さらには 0.6 mm 以上が好ましい。実施形態に係る接合体は、銅板へ Sn または In が拡散した拡散領域 7 を狭くできるので、銅板が厚くなったとしてもゆがみを抑制することができる。

銅板 3 の厚さの上限は、特に限定されないが、3 mm 以下、さらには 2 mm 以下が好ましい。銅板の厚さが 3 mm を超えても接合可能である。一方で、銅板が厚すぎると、エッ

10

20

30

40

50

チング加工の難易度が高くなる。エッチング加工は、銅板にパターン形状を付与するために実行される。このため、銅板の厚さは、0.3 mm以上3 mm以下が好ましい。

接合層4はCu、Ti、SnおよびIn以外の元素を含有していてもよい。これら以外の元素としては、Agを20 wt%以下、炭素を2 wt%以下が挙げられる。

以上のような接合体は、回路基板に好適である。また、実施形態に係る回路基板に半導体素子を実装して半導体装置に用いることもできる。

図3は、回路基板の一例を示す模式図である。図4は、半導体装置の一例を示す模式図である。図3及び図4において、8は銅回路部、9は放熱板、10は半導体素子、11はリードフレーム、20は回路基板、30は半導体装置である。

図3に示す回路基板20では、接合体1の表側の銅板3が銅回路部8に加工され、裏側の銅板3が放熱板9に加工されている。接合体1の銅板3に回路形状が付与されて回路基板20が作製される。図4に示す半導体装置30では、回路基板20の銅回路部8に、半導体素子10が実装されている。半導体装置30では、半導体素子10以外に、必要に応じて、リードフレーム11などが実装されてもよい。図3に示す例では、回路基板20は2つの銅回路部8が設けられた構造を有するが、回路基板20の構造はこの例に限定されない。必要に応じて、銅回路部8の個数やサイズは変更可能である。半導体素子10やリードフレーム11のそれぞれの数も任意に変更可能である。また、図3では、裏側の銅板3を放熱板9としたが、両面の銅板3にそれぞれ回路構造が付与されてもよい。

必要に応じて、銅回路部8の側面と放熱板9の側面に傾斜形状を付与してもよい。必要に応じて、接合層4に、銅回路部8の側面端部と放熱板9の側面端部からはみ出したはみ出し部を設けても良い。回路構造の付与、銅板側面の傾斜形状の付与には、エッチング工程を用いることが好ましい。

#### 【0015】

次に、実施形態に係る接合体の製造方法について説明する。実施形態に係る接合体は上記構成を有していれば、その製造方法は限定されない。ここでは、歩留まり良く実施形態に係る接合体を得るための方法の一例を挙げる。

まず、セラミックス基板2を用意する。セラミックス基板2は、窒化珪素基板、窒化アルミニウム基板、酸化アルミニウム基板、アルジル基板などが挙げられる。アルジル基板とは、酸化アルミニウムと酸化ジルコニウムが混合された基板である。

銅板3は、無酸素銅板又は銅合金板を用いることができる。銅板は無酸素銅であることが好ましい。無酸素銅はJIS-H-3100 (ISO1337など)に示されたように、銅純度99.96 wt%以上の銅板である。

#### 【0016】

次に、接合ろう材を用意する。接合ろう材としては、Cuを50質量%以上、Tiを4質量%以上30質量%以下、Sn及びInから選ばれる1種または2種を5質量%以上40質量%以下、Agを0質量%以上20質量%以下、炭素を0質量%以上2質量%以下、含有することが好ましい。

また、接合ろう材は、昇温速度20 /分以上の急熱工程を行ったとしても接合可能なものを用意する。

接合ろう材は、昇温速度20 /分による昇温工程のDSC曲線において、520 以上590 以下の範囲内に吸熱ピークを有することが好ましい。

#### 【0017】

DSC曲線は、示差走査熱量計(DSC)を使って、試料に熱を与え吸熱反応及び発熱反応の有無を測定して得られる。吸熱反応又は発熱反応がおきると、DSC曲線にピークが生じる。マイナス方向のピークは吸熱反応、プラス方向のピークは発熱反応となる。吸熱反応は、試料の融解、分解などが起きていることを示す。発熱反応は、試料の構成元素同士が反応して化合物(合金化含む)が形成又は凝固されていることを示す。ピークが大きいほど反応熱が大きいことが分かる。ここでは、マイナス方向のピークを吸熱ピーク、プラス方向のピークを発熱ピークと呼ぶ。また、ピークの頂点をピークトップと呼ぶ。また、ピークの極大点と極小点の差をピーク高さと呼ぶ。

10

20

30

40

50

例えば、吸熱ピークはマイナス方向なので、上がって、下がって、上がっていく。吸熱ピークは、極大点 極小点 極大点の変化を含む。この極小点（最も下がった個所）がピークトップとなる。極小点の低温側および高温側にある極大点のうち、大きな値（プラス方向に大きなピーク）の方を最極大点とする。ピーク高さは最極大点から極小点を引いた値となる。

例えば、発熱ピークは、プラス方向なので、下がって、上がって、下がっていく。発熱ピークは、極小点 極大点 極小点の変化を含む。この極大点（最も上がった個所）がピークトップとなる。極大点の低温側および高温側にある極小点のうち、小さな値（マイナス方向に大きなピーク）の方を最極小点とする。ピーク高さは極大点から最極小点を引いた値となる。

10

なお、吸熱ピーク（マイナス方向のピーク）の終点が発熱ピーク（プラス方向のピーク）に見えることもあるが、ここでは発熱ピークとしてカウントする。また、ベースラインを引いて、それぞれのピークを求めても良い。

DSCとして、NETZSCH社製TGA-DSC同時熱分析装置STA449-F3-Jupiterまたはこれと同等の性能を有する装置を用いる。また、測定は、アルミナ容器にろう材を適量滴下してAr（アルゴン）フロー中で行う。測定は、アルミナ容器の蓋を閉めて行われる。Ar雰囲気中で測定することにより、ろう材と雰囲気が反応するのを防ぐことが必要である。なお、滴下した量（mg）は天秤で測定しておく。また、試料は固形分で15mg以上とする。

#### 【0018】

20

DSC曲線を求める温度プロファイルは、上記昇温工程、保持工程、降温工程からなる。昇温工程は、昇温速度20 /minにて、常温から950 まで昇温させる工程である。保持工程は、950 で20分保持する工程である。降温工程は、降温速度20 /minにて、950 から常温まで降温させる工程である。昇温工程の後に保持工程が行われ、保持工程の後に降温工程が行われる。以下、昇温速度20 /分による昇温工程のDSC曲線のことを、昇温工程のDSC曲線と呼ぶこともある。降温速度20 /分による降温工程のDSC曲線のことを、降温工程のDSC曲線と呼ぶこともある。DSC曲線において、ベースラインと突出部の頂点との間で熱流が0.02mW/mg以上の差がつくものをピークとしてカウントした。

#### 【0019】

30

図5は実施例1に用いた接合ろう材の昇温工程のDSC曲線（500～600）を示し、図6は実施例1に用いた接合ろう材の昇温工程のDSC曲線（700～900）を示す。図5および図6は、横軸に温度（）、縦軸に熱流（mW/mg）である。図5及び図6では、熱流のことをDSCと表記した。

昇温速度20 /分による昇温工程のDSC曲線は520 以上590 以下の範囲内に吸熱ピークを有することが好ましい。また、昇温工程の730 以上800 の範囲内に吸熱ピークを有することが好ましい。昇温工程のDSC曲線の520 以上590 以下の範囲内にある吸熱ピークを第一吸熱ピークと呼ぶ。また、昇温工程のDSC曲線の520 以上590 以下の範囲内に2つ以上の吸熱ピークがある場合は、最も大きなピークを第一吸熱ピークとする。最も大きなピークとは、マイナス側に大きなピークを示す。また、昇温工程のDSC曲線の730 以上900 の範囲内にある吸熱ピークを第二吸熱ピークと呼ぶ。昇温工程のDSC曲線の730 以上900 の範囲内に2つ以上の吸熱ピークがある場合は、最も大きなピークを第二吸熱ピークとする。最も大きなピークとは、マイナス側に大きなピークを示す。図5は第一吸熱ピークの一例を示した図である。図6は第二吸熱ピークの一例を示した図である。Agを含有しない接合ろう材は、図6に示したように第二吸熱ピークが730 以上800 以下の範囲内にあることが好ましい。

40

#### 【0020】

第一吸熱ピークは、TiH<sub>2</sub>の分解反応を示している。分解された水素は、ろう材中の不純物酸素の除去及び金属成分の活性化の効果を有する。従来の活性金属ろう材は、Agを40質量%以上含有したAgCuSnTiろう材が用いられている。従来の活性金属ろ

50

う材では、 $TiH_2$ の分解反応が $480 \sim 500$  で起きていた。つまり、従来の活性金属ろう材のDSC曲線には、第一吸熱ピークが存在しない。 $TiH_2$ の分解反応が高温側にシフトすることにより、接合ろう材が窒化するのを抑制することができる。窒化物系セラミックス基板と銅板を活性金属ろう材を用いて接合すると、セラミックス基板表面にはTi凝集層が形成される。 $TiH_2$ の分解反応が高温側にシフトすることにより、ろう材中のTiがセラミックス基板と反応する前に窒化するのを抑制することができる。このため、窒素雰囲気中での接合が可能となる。

#### 【0021】

第二吸熱ピークは、Cuと第1元素の融解反応を示している。Cu及び第1元素は接合ろう材の母材となる元素である。このため、第二吸熱ピークは、接合ろう材が融解して液相を生成する反応が起きていることを示す。従来の活性金属ろう材については、 $TiH_2$ の分解反応が $480 \sim 500$  で起きていた。すなわち、従来の活性金属ろう材では、第一吸熱ピークが発生していなかった。第一吸熱ピークが発生する接合ろう材を用いることで、 $TiH_2$ の分解反応を示すピークと、Cuと第1元素の融解反応を示す第二吸熱ピークと、の温度差を小さくできる。これにより、接合工程の昇温速度が速くなっても接合性を維持することができる。

10

#### 【0022】

降温速度 $20$  /分による降温工程のDSC曲線は、発熱ピークを有することが好ましい。降温工程の発熱ピークは、接合層の化合物(合金)形成又は凝固が起きていることを示す。溶けたろう材が凝固するときの熱応力が一番大きい。接合界面が形成された後に、熱膨張率が異なる部材同士が拘束されていることで、冷却時に熱膨張差に起因する応力が発生するためである。このため、降温工程のDSC曲線は、 $850$  以下に発熱ピークを有することが好ましい。DSC曲線は、2つ以上の発熱ピークを有していてもよい。発熱ピークを2つ以上有しているということは、接合層の化合物(合金)形成又は凝固が多段工程で行われていることを示している。これにより、接合体の応力緩和効果が向上する。

20

また、降温速度 $20$  /分による降温工程のDSC曲線は $450$  以上 $550$  以下に発熱ピークがあることが好ましい。降温速度 $20$  /分による降温工程のDSC曲線における $450$  以上 $550$  以下の発熱ピークを第一発熱ピークと呼ぶ。この温度範囲に2つ以上の発熱ピークがあった場合、最大ピークの方を第一発熱ピークとする。降温工程の発熱ピークが $450$  未満では凝固温度が低すぎて接合の信頼性が低下する可能性がある。

30

一方、発熱ピークが $550$  を超えて高いと熱応力が大きくなる可能性がある。また、昇温工程の第一吸熱ピークと降温工程の第一発熱ピークのピークトップの温度を比較したとき、第一発熱ピークのピークトップの温度の方が低いことが好ましい。第一吸熱ピークは、主に $TiH_2$ の分解反応によって生じる。一方、降温工程の第一発熱ピークは、接合層の凝固又はTi化合物の形成によって生じる発熱反応である。降温工程の第一発熱ピークのピークトップの位置を昇温工程の第一吸熱ピークのピークトップの位置よりも低い温度にすることにより、降温工程での熱応力の発生を抑制することができる。なお、降温工程は発熱ピークを有していれば、第一発熱ピークは無くてもよい。また、降温工程のDSC曲線に2つ以上の発熱ピークを有することにより、同様の効果を得ることができる。

40

#### 【0023】

以上のような、接合ろう材は、昇温速度 $20$  /分以上または降温速度 $20$  /分以上であっても接合可能である。また、接合雰囲気は、真空中又は窒素雰囲気中であってもよい。なお、真空中とは $1 \times 10^{-3}$  Pa以下の雰囲気のことである。また、窒素雰囲気中とは窒素が $70$  vol%以上の雰囲気のことである。また、窒素以外の成分としては、アルゴンガスや大気が挙げられる。

#### 【0024】

DSC曲線を制御するにはろう材組成を制御することが有効である。接合ろう材としては、Cuを $50$ 質量%以上、Tiを $4$ 質量%以上 $30$ 質量%以下、Sn及びInから選ばれる1種または2種を $5$ 質量%以上 $40$ 質量%以下、Agを $0$ 質量%以上 $20$ 質量%以下

50

、炭素を0質量%以上2質量%以下、含有することが好ましい。

Cu、Ti、及び第1元素の合計が80質量%以上、さらには90質量%以上100質量%以下であることが好ましい。また、Cu及び第1元素の合計が70質量%以上であることが好ましい。実質的にAgの存在割合を下げることにより、ろう材の融点を上げることができる。これにより、昇温速度および降温速度を早くしたとしても、目的とするDSC曲線を有するろう材を得ることができる。

#### 【0025】

ろう材の原料となるCu粉末について、平均粒径 $D_{50}$ は $12.0\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $10.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。また、TiH<sub>2</sub>粉末の平均粒径 $D_{50}$ は、 $6.0\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $4.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。Sn粉末またはIn粉末の平均粒径 $D_{50}$ は、 $16.0\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $14.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。C粉末の平均粒径 $D_{50}$ は、 $6.0\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $4.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。Ag粉末の平均粒径 $D_{50}$ は、 $3.0\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $2.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。粉末の粒径を制御することにより、各粉末の反応を均一にすることができる。

Cu粉末の平均粒径 $D_{50}$ は、Sn粉末またはIn粉末の平均粒径 $D_{50}$ よりも小さいことが好ましい。前述のように、ろう材組成についてCu及び第1元素が母材となる。Cuと比べて、SnとInは融点が低い元素である。SnまたはInの粒径を大きくすることにより、Sn粉末とCu粉末の反応又はIn粉末とCu粉末の反応を均質にすることができる。これにより、昇温速度または降温速度を早くしたとしても接合することができる。

また、昇温速度と降温速度の差が $20\ \text{/分}$ 以下であることが好ましい。つまり、 $|\text{昇温速度} - \text{降温速度}| < 20\ \text{/分}$ を満たすことが好ましい。ろう材層は加熱することにより、溶解反応と凝固反応が生じる。これらの反応は昇温工程と降温工程でおきる。昇温速度と降温速度の差を小さくすることにより、反応で起きる応力を均質化することができる。これにより、反りなどの不具合を抑制することができる。また、Tiリッチ領域、Tiプアー領域、Ti中間量領域の面積比の制御にも有効である。

#### 【0026】

以上のような接合ろう材を用いてセラミックス基板と銅板を接合する工程を行う。接合ろう材を有機物と混合して、ろう材ペーストを調製する。ろう材ペーストをセラミックス基板2（または銅板3）の表面に塗布して、ろう材ペースト層を形成する。ろう材ペースト層上に銅板3（またはセラミックス基板2）を配置する。

加熱接合工程は、真空中または窒素雰囲気中で行われる。真空中とは $1 \times 10^{-3}\ \text{Pa}$ 以下の圧力下のことである。また、窒素雰囲気とは、窒素が70vol%以上の雰囲気のことである。窒素雰囲気は、窒素量が70vol%以上、さらには85vol%以上100vol%以下であることが好ましい。窒素雰囲気は、窒素以外に、アルゴンガスや大気が含まれても良い。窒素雰囲気中で加熱接合する場合は、常圧、減圧、加圧など様々な条件で行うことができる。

#### 【0027】

加熱接合工程の昇温工程では、昇温速度 $20\ \text{/分以上}$ に設定される。従来の活性金属接合法では、昇温速度が $5\ \text{/分以下}$ であった。前述のようなDSC曲線を有する接合ろう材を用いることにより、昇温速度を速めたとしても接合が可能となる。昇温速度の上限は特に限定されるものではないが $100\ \text{/分以下}$ が好ましい。 $100\ \text{/分}$ を超えて早いと、接合性が低下する可能性がある。このため、昇温速度は $20\ \text{/分以上}$  $100\ \text{/分以下}$ 、さらには $30\ \text{/分以上}$  $70\ \text{/分以下}$ が好ましい。

昇温工程により、接合温度まで昇温させる。接合温度は $750\ \text{以上}$ に設定する。また、接合温度は、第二吸熱ピークのピークトップの温度よりも高い温度に設定する。第二吸熱ピークは、 $730 \sim 800$ にある。接合温度を第二吸熱ピークのピークトップの温度よりも高い温度に設定することにより、ろう材の融解反応をきちんと起こさせることができる。このため、接合温度は $750\ \text{以上}$ 、さらには $800\ \text{以上}$ が好ましい。なお、接合温度の上限は $1000\ \text{以下}$ が好ましい。 $1000$ を超えて高いと、銅の融点( $1085$ )に近くなり、銅板が変形する可能性がある。

接合温度は、10分以上保持されることが好ましい。接合温度にて保持する時間を加熱保持時間と呼ぶ。加熱保持時間は10分以上100分以下が好ましい。加熱保持時間が10分未満であると、ろう材が融解、凝固する時間が不足する可能性がある。また、100分を超えて長いと銅板中にSnまたはInが拡散し過ぎる可能性がある。

【0028】

加熱保持時間が終了した後は、降温工程を行う。降温工程は接合温度から常温まで冷却する工程のことである。降温速度は20 /分以上に設定される。従来の活性金属接合法では、降温速度が5 /分程度であった。前述のようなDSC曲線を有する接合ろう材を用いることにより、降温速度を速めたとしても接合が可能となる。降温速度の上限は特に限定されるものではないが100 /分以下が好ましい。100 /分を超えて早いと、接合性が低下する可能性がある。このため、降温速度は20 /分以上100 /分以下、さらには30 /分以上70 /分以下が好ましい。

10

また、必要に応じ、接合体1に重りを載せながら加熱接合工程を行っても良い。

【0029】

以上のような接合工程により、接合体1を作製することができる。昇温工程の昇温速度および降温工程の降温速度を早くすることにより、接合体1に掛かる熱量を下げるができる。この結果、接合層中のTiおよび第1元素の分布を制御することができる。また、銅板中へのSn(またはIn)の拡散量も少なくすることができる。

接合体1への熱量を下げるので、接合体1の反りの低減や銅板3のゆがみも低減することができる。

20

得られた接合体1にエッチング加工を施し、回路基板20に加工する。また、必要に応じ、多数個取りを行ってもよい。多数個取りとは、大型の接合体を切断して小さな接合体を得る方法である。接合体を分割する方法またはセラミックス銅回路基板を分割する方法もある。分割し易くするために、スクライブ加工が施されてもよい。

【0030】

(実施例)

(実施例1~5、比較例1、参考例1~2)

表1、表2に示した接合ろう材を用意した。表1は原料粉末の粒径、表2は組成比を示す。

【0031】

30

【表1】

	平均粒径D <sub>50</sub> (μm)				
	Cu粉末	Sn粉末	TiH <sub>2</sub> 粉末	C粉末	Ag粉末
実施例1	8.5	12.2	2.0	—	—
実施例2	7.5	11.3	1.8	0.8	—
実施例3	6.8	10.3	1.7	1.6	—
実施例4	9.2	13.1	2.1	—	—
実施例5	8.2	14.2	1.8	1.1	—
比較例1	8.9	12.7	3.2	—	2.8

40

【0032】

50

【表 2】

	組成比(質量%)				
	Cu粉末	Sn粉末	TiH <sub>2</sub> 粉末	C粉末	Ag粉末
実施例1	59.3	30	10	0.7	—
実施例2	71.8	21	7	0.2	—
実施例3	73	15	12	—	—
実施例4	60	32	8	—	—
実施例5	62.9	28	9	0.1	—
比較例1	42	5	3	—	50

10

## 【0033】

実施例および比較例にかかる接合ろう材成分を有機バインダと混合して、ろう材ペーストを作製した。各ろう材ペーストについて、DSCを用いてDSC曲線を測定した。

DSCとしては、NETZSCH社製TGA-DSC同時熱分析装置STA449-F3-Jupiterを用いた。また、測定は、アルミナ容器にろう材を適量滴下してArフロー中で行った。アルミナ容器の蓋を閉めて測定した。温度プログラムは、昇温速度20 /分、950 × 20分保持、降温速度20 /分、とした。固形分で15mgの試料を用いた。

20

昇温工程における第一吸熱ピーク、第二吸熱ピークの有無を調べた。併せて、ピークトップの温度を調べた。その結果を表3に示した。

## 【0034】

【表 3】

	DSC曲線(ピークトップ温度 °C)	
	昇温工程	
	第一吸熱ピーク	第二吸熱ピーク
実施例1	585	758
実施例2	567	767
実施例3	559	772
実施例4	572	760
実施例5	570	764
比較例1	—	780

30

## 【0035】

表から分かるように、実施例に係る接合ろう材は、第一吸熱ピークおよび第二吸熱ピークが観察された。それに対し、比較例1では、TiH<sub>2</sub>の分解反応を示す吸熱ピークが520 未満であった。すなわち、第一吸熱ピークが観察されなかった。

次に、セラミックス基板として、窒化珪素基板を用意した。熱伝導率90W/m・K、3点曲げ強度600MPa、縦50mm×横40mm×板厚0.32mmの窒化珪素基板を用いた。銅板として、縦50mm×横40mm×板厚0.5mmの無酸素銅板を用意した。セラミックス基板の両面に、ろう材ペーストを30μmそれぞれ塗布し、その上に銅

40

板をそれぞれ配置した。

次に、加熱接合工程を実施した。接合雰囲気は窒素雰囲気に統一した。また、接合条件は 850 × 20 分に統一した。昇温速度、降温速度を表 4 に示した条件に設定した。

【 0 0 3 6 】

【表 4】

	昇温速度 (°C/分)	降温速度 (°C/分)	昇温速度－降温速度  (°C/分)
実施例1	20	20	0
実施例2	30	30	0
実施例3	50	50	0
実施例4	30	45	15
実施例5	40	80	40
比較例1	20	20	0

10

【 0 0 3 7 】

以上の工程により、接合体を製造した。それぞれ実施例および比較例に係る接合体を 10 個ずつ製造した。

次に、得られた接合体の断面組織を観察した。接合体の断面を SEM-EDX により観察した。接合層中の測定エリア 20 μm × 10 μm を観察し、Ti リッチ領域および Ti プア領域について観察した。断面組織については、互いに重ならない任意の 3 カ所を観察した。Ti リッチ領域および Ti プア領域の有無は、3 カ所ともに観察されたものを「あり」、1 カ所でも観察されなかったものを「なし」とした。また、面積比として、測定結果の下限値および上限値を記録した。また、Cu と Sn の質量比については、Sn の質量に対する Cu の質量の比の平均値を算出した。

20

銅板への Sn の拡散領域についても観察した。Sn の質量  $M_{Sn}$  に対する Ti の質量  $M_{Ti}$  の比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が 0.5 以上の領域を、Ti リッチ領域とした。質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が 0.1 以下の領域を、Ti プア領域とした。

30

接合層を中心から 2 分割したとき、セラミックス基板側の領域における質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が、銅板側の領域における質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) よりも大きいかを確認した。また、接合層断面を面分析したとき、質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が 1 未満を満たしているかを確認した。

また、銅板への Sn の拡散領域として、銅板中に Sn が 1 質量% 以上観察された位置を求めた。その結果を表 5、表 6 に示した。

【 0 0 3 8 】

40

50

【表 5】

	接合層						銅板
	Ti リッチ領域			Ti プアー領域			Sn拡散領域 ( $\mu\text{m}$ )
	有無	Ti リッチ領域の面積比 (%)	Cu/Sn 質量比	有無	Ti プアー領域の面積比 (%)	Cu/Sn 質量比	
実施例1	あり	42~52	0.15	あり	8~24	4.8	46
実施例2	あり	43~57	0.22	あり	7~27	5.4	25
実施例3	あり	48~59	0.28	あり	3~18	5.8	23
実施例4	あり	31~58	0.18	あり	5~37	5.0	32
実施例5	あり	17~51	0.19	あり	10~55	5.1	37
比較例1	なし	—	—	あり	100	1.4	287

10

【 0 0 3 9 】

【表 6】

20

	セラミックス基板側の Ti/Sn 質量比 > 銅板側の Ti/Sn 質量比?	Ti/Sn 質量比は 1 未満?
実施例1	Yes	Yes
実施例2	Yes	Yes
実施例3	Yes	Yes
実施例4	Yes	Yes
実施例5	Yes	Yes
比較例1	Yes	Yes

30

【 0 0 4 0 】

表から分かる通り、実施例に係る接合体では、接合層中に Ti リッチ領域と Ti プアー領域が観察された。また、Ti リッチ領域における質量比 ( $M_{Ti} / M_{Sn}$ ) が 0.5 以上 1.2 以下の範囲内であった。また、Ti リッチ領域と Ti プアー領域には、 $\text{Sn}_3\text{Ti}_5$  及び  $\text{Sn}_5\text{Ti}_6$  の 1 種または 2 種の金属間化合物が検出された。

40

接合層を SEM の反射電子像を用いて観察すると、反射電子像で高コントラスト時に白く見える領域は、SEM-EDX の分析結果から特定された Ti リッチ領域とほぼ一致していた。Ti リッチ領域の面積比については、SEM 反射電子像を使って調べる方法が有効であることが分かる。

銅板への Sn の拡散領域の高さも 100  $\mu\text{m}$  以下、さらには 50  $\mu\text{m}$  以下と小さかった。昇温速度および降温速度が 20 / 分で所定のピークを有する DSC 曲線をもつろう材であれば、Sn が銅板に拡散するのを抑制する効果があることが分かる。

それに対し、比較例では、Ti リッチ領域が観察されなかった。そのため、銅板への Sn の拡散領域の高さが 100  $\mu\text{m}$  を超えていた。

次に、得られた接合体の反り量、銅板の接合強度を測定した。反り量は長辺側の反り量

50

を測定した。10個すべての反り量が0.3mm以下のものを最良品(◎)とした。また、反り量が0.3mmを超えたものが1~3個のものを良品(○)とした。反り量が0.3mmを超えたものが4個以上あったものを不良品(×)とした。また、銅板の接合強度はピール強度とした。具体的には、各実施例および比較例において、ピール試験用試料を用意した。試料は、セラミックス基板に短冊状の銅板を接合した。その際、銅板の一端がセラミックス基板からはみ出るように接合した。はみ出た銅板を垂直に引っ張ることで、ピール強度を測定した。その結果を表7に示した。

また、実施例1の昇温速度および降温速度を5 /分とした例を参考例1とした。比較例1の昇温速度および降温速度を5 /分とした例を参考例2とした。

【0041】

【表7】

	反り量	接合強度(kN/mm)
実施例1	◎	15
実施例2	◎	17
実施例3	◎	19
実施例4	◎	15
実施例5	○	15
比較例1	×	13
参考例1	◎	6
参考例2	×	3

【0042】

表から分かる通り、実施例に係る接合体は、反り量、接合強度も優れていた。それに対し、比較例1はAg量が多いため、昇温速度および降温速度が速いと、きちんと接合できていなかった。また、実施例5のように昇温速度と降温速度の差が20 /分を超えたものは、反り量の悪化が見られた。このため、昇温速度と降温速度の差は20 /分以下が好ましいことが分かる。

また、参考例1の反り量は小さかったが、接合強度は低下した。実施例の接合ろう材は、昇温速度20 /分以上の早い接合工程に適していることが分かる。また、参考例2についても同様である。窒素雰囲気下ではAgを多く含有した接合ろう材では窒化が進み、接合強度が低下した。

以上のことから、昇温速度および降温速度が20 /分で所定のピークを有するDSC曲線をもつろう材であれば、接合工程の昇温速度および降温速度を20 /分以上と早くしたとしても優れた接合性が得られることが分かった。このため、実施形態に係る接合体は、反り量が小さく、量産性に優れていることが分かる。

【0043】

以上、本発明のいくつかの実施形態を例示したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更などを行うことができる。これら実施形態はその変形例は、発明の範囲や要旨に含まれると共に、請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。また、前述の各実施形態は、相互に組み合わせて実施することができる。

【符号の説明】

【0044】

1...接合体、 2...セラミックス基板、 3...銅板、 4...接合層、 5...Tiリッチ領域、 6...Tiプア領域、 7...拡散領域、 8...銅回路部、 9...銅放熱板、 10...

10

20

30

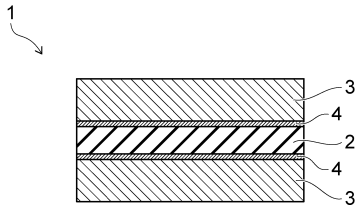
40

50

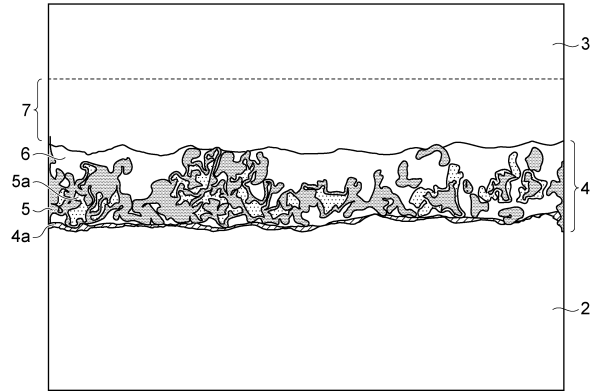
半導体素子、 1 1 ... リードフレーム、 2 0 ... 回路基板、 3 0 ... 半導体装置

【図面】

【図 1】

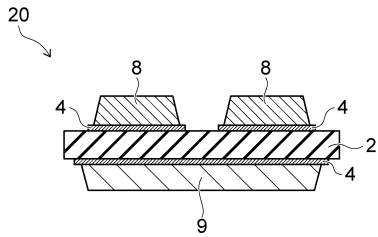


【図 2】

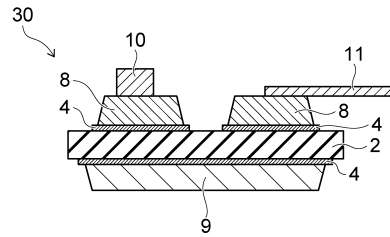


10

【図 3】

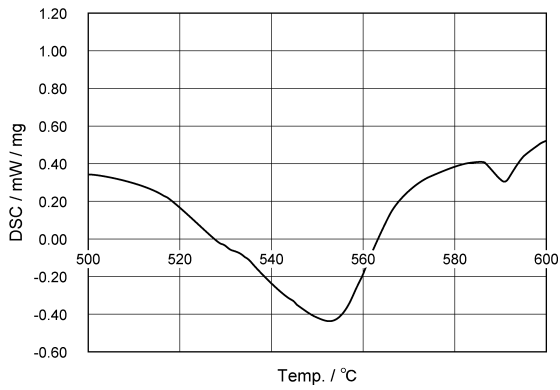


【図 4】

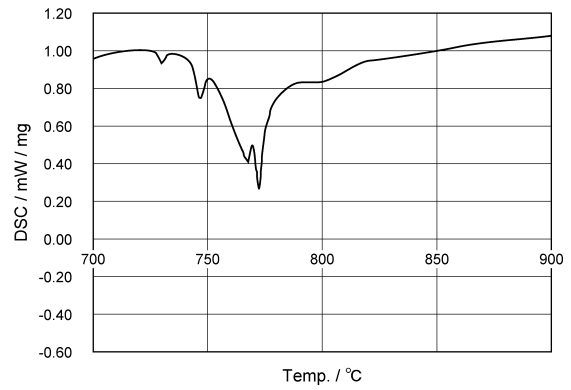


20

【図 5】



【図 6】



30

40

50

---

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 23/12 C  
H 0 1 L 23/12 D

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 東芝マテリアル株式会社内

審査官 神 崎 賢一

(56)参考文献

国際公開第 2 0 1 7 / 2 0 0 0 0 4 ( W O , A 1 )

国際公開第 2 0 1 5 / 0 1 9 6 0 2 ( W O , A 1 )

特開 2 0 1 3 - 2 1 1 5 4 6 ( J P , A )

国際公開第 2 0 1 5 / 1 6 6 7 8 9 ( W O , A 1 )

特開 2 0 1 5 - 0 3 0 6 5 8 ( J P , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

C 0 4 B 3 7 / 0 2

H 0 5 K 1 / 0 3

H 0 5 K 3 / 3 8

H 0 1 L 2 3 / 1 3

H 0 1 L 2 3 / 1 2