

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7424043号
(P7424043)

(45)発行日 令和6年1月30日(2024.1.30)

(24)登録日 令和6年1月22日(2024.1.22)

(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	1/02	(2006.01)	H 0 5 K	1/02	F
H 0 1 L	23/13	(2006.01)	H 0 1 L	23/12	C

請求項の数 12 (全22頁)

(21)出願番号	特願2019-232741(P2019-232741)	(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	令和1年12月24日(2019.12.24)	(74)代理人	100149548 弁理士 松沼 泰史
(65)公開番号	特開2021-100896(P2021-100896 A)	(74)代理人	100175802 弁理士 寺本 光生
(43)公開日	令和3年7月8日(2021.7.8)	(74)代理人	100142424 弁理士 細川 文広
審査請求日	令和4年11月28日(2022.11.28)	(74)代理人	100140774 弁理士 大浪 一徳
		(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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 銅/セラミックス接合体、絶縁回路基板、及び、銅/セラミックス接合体の製造方法、絶縁回路基板の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

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

前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス部材に接した領域の最大厚さが1µm以上20µm以下とされていることを特徴とする銅/セラミックス接合体。

【請求項2】

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

前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、

前記セラミックス部材と前記銅部材との間において、前記セラミックス部材の表面には、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属の化合物を含む活性金属化合物層が形成され、この活性金属化合物層の前記銅部材側に、前記Cu-Mg金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15µm以下とされていることを特徴とする銅/セラミックス接合体。

【請求項3】

10

20

前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率が50%以下とされていることを特徴とする請求項2に記載の銅/セラミックス接合体。

【請求項4】

前記活性金属がTiであることを特徴とする請求項2又は請求項3に記載の銅/セラミックス接合体。

【請求項5】

セラミックス基板の表面に、銅又は銅合金からなる銅板が接合されてなる絶縁回路基板であって、

10

前記セラミックス基板と前記銅板との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス基板に接した領域の最大厚さが1μm以上20μm以下とされていることを特徴とする絶縁回路基板。

【請求項6】

セラミックス基板の表面に、銅又は銅合金からなる銅板が接合されてなる絶縁回路基板であって、

前記セラミックス基板と前記銅板との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、

20

前記セラミックス基板と前記銅板との間には、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属の化合物を含む活性金属化合物層が形成され、この活性金属化合物層の前記銅板側に、前記Cu-Mg金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15μm以下とされていることを特徴とする絶縁回路基板。

【請求項7】

前記セラミックス基板と前記銅板との間には、Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相が形成されており、

前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率が50%以下とされていることを特徴とする請求項6に記載の絶縁回路基板。

30

【請求項8】

前記活性金属がTiであることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の絶縁回路基板。

【請求項9】

請求項1に記載の銅/セラミックス接合体を製造する銅/セラミックス接合体の製造方法であって、

前記銅部材と前記セラミックス部材との間に、Mgを配置するMg配置工程と、

前記銅部材と前記セラミックス部材とをMgを介して積層する積層工程と、

Mgを介して積層された前記銅部材と前記セラミックス部材とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、

40

を備えており、

前記Mg配置工程では、Mg量を14μmol/cm²以上86μmol/cm²以下の範囲内とし、

前記接合工程では、480以上700未満の温度領域における昇温速度が5/min以上20/min以下とされるとともに、700以上の温度で30分以上保持することを特徴とする銅/セラミックス接合体の製造方法。

【請求項10】

請求項2から請求項4のいずれか一項に記載の銅/セラミックス接合体を製造する銅/セラミックス接合体の製造方法であって、

50

前記銅部材と前記セラミックス部材との間に、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属及びMgを配置する活性金属及びMg配置工程と、

前記銅部材と前記セラミックス部材とを、活性金属及びMgを介して積層する積層工程と、

活性金属及びMgを介して積層された前記銅部材と前記セラミックス部材とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、

を備えており、

前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、

前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min以上 20 /min以下とされるとともに、 700 以上の温度で30分以上保持することを特徴とする銅/セラミックス接合体の製造方法。

【請求項11】

請求項5に記載の絶縁回路基板の製造方法であって、

前記銅板と前記セラミックス基板との間に、Mgを配置するMg配置工程と、

前記銅板と前記セラミックス基板とをMgを介して積層する積層工程と、

Mgを介して積層された前記銅板と前記セラミックス基板とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、

を備えており、

前記Mg配置工程では、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、

前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min以上 20 /min以下とされるとともに、 700 以上の温度で30分以上保持することを特徴とする絶縁回路基板の製造方法。

【請求項12】

請求項6から請求項8のいずれか一項に記載の絶縁回路基板の製造方法であって、

前記銅板と前記セラミックス基板との間に、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属及びMgを配置する活性金属及びMg配置工程と、

前記銅板と前記セラミックス基板とを、活性金属及びMgを介して積層する積層工程と、

活性金属及びMgを介して積層された前記銅板と前記セラミックス基板とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、

を備えており、

前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $14.1 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、

前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min以上 20 /min以下とされるとともに、 700 以上の温度で30分以上保持することを特徴とする絶縁回路基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、銅又は銅合金からなる銅部材と、セラミックス部材とが接合されてなる銅/セラミックス接合体、セラミックス基板の表面に銅又は銅合金からなる銅板が接合されてなる絶縁回路基板、及び、銅/セラミックス接合体の製造方法、絶縁回路基板の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

パワーモジュール、LEDモジュール及び熱電モジュールにおいては、絶縁層の一方の面に導電材料からなる回路層を形成した絶縁回路基板に、パワー半導体素子、LED素子

10

20

30

40

50

及び熱電素子が接合された構造とされている。

例えば、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は、動作時の発熱量が多いことから、これを搭載する基板としては、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、絶縁回路基板としては、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を形成したのも提供されている。

【0003】

例えば、特許文献1には、セラミックス基板の一方の面及び他方の面に、銅板を接合することにより回路層及び金属層を形成した絶縁回路基板が提案されている。この特許文献1においては、セラミックス基板の一方の面及び他方の面に、Ag-Cu-Ti系ろう材を介在させて銅板を配置し、加熱処理を行うことにより銅板が接合されている（いわゆる活性金属ろう付け法）。この活性金属ろう付け法では、活性金属であるTiが含有されたろう材を用いているため、熔融したろう材とセラミックス基板との濡れ性が向上し、セラミックス基板と銅板とが良好に接合されることになる。

10

【0004】

また、特許文献2においては、Cu-Mg-Ti系ろう材を用いて、セラミックス基板と銅板とを接合した絶縁回路基板が提案されている。

この特許文献2においては、窒素ガス雰囲気下にて560～800で加熱することによって接合する構成とされており、Cu-Mg-Ti合金中のMgは昇華して接合界面には残存せず、かつ、窒化チタン(TiN)が実質的に形成しないものとされている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第3211856号公報

【文献】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】

【0006】

ところで、SiC等を用いた高温半導体デバイスにおいては、高密度に実装されることがあり、絶縁回路基板には、より高温での動作を保証する必要がある。

30

このため、従来よりも厳しい冷熱サイクルを負荷した場合であっても、接合界面におけるクラックの発生を抑制し、セラミックス基板と銅板との剥離の発生を抑制する必要がある。

【0007】

この発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、厳しい冷熱サイクルを負荷した場合であっても、セラミックス部材と銅部材との接合界面におけるクラックの発生を抑制でき、冷熱サイクル信頼性に優れた銅/セラミックス接合体、絶縁回路基板、及び、銅/セラミックス接合体の製造方法、絶縁回路基板の製造方法を提供することを目的とする。

40

【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、本発明の銅/セラミックス接合体は、銅又は銅合金からなる銅部材と、セラミックス部材とが接合されてなる銅/セラミックス接合体であって、前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス部材に接した領域の最大厚さが1µm以上20µm以下とされていることを特徴としている。

【0009】

本発明の銅/セラミックス接合体によれば、前記セラミックス部材と前記銅部材との間

50

に形成されたCu-Mg金属間化合物相のうち、セラミックス部材に接した領域の最大厚さが20 μ m以下に制限されているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス部材に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

【0010】

また、本発明の銅/セラミックス接合体においては、前記セラミックス部材と前記銅部材との間において、前記セラミックス部材の表面には、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属の化合物を含む活性金属化合物層が形成され、この活性金属化合物層の前記銅部材側に、前記Cu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15 μ m以下とされていてもよい。

10

【0011】

この場合、セラミックス部材の表面に硬い活性金属化合物層が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15 μ m以下に制限されているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス部材に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

【0012】

また、本発明の銅/セラミックス接合体は、銅又は銅合金からなる銅部材と、セラミックス部材とが接合されてなる銅/セラミックス接合体であって、前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記セラミックス部材と前記銅部材との間には、Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率が50%以下とされていることを特徴としている。

20

【0013】

本発明の銅/セラミックス接合体によれば、Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相は、前記Cu-Mg金属間化合物相に比べて硬いことから、前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率を50%以下に制限することにより、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス部材に亀裂が生じることを抑制することが可能となる。

30

【0014】

また、本発明の銅/セラミックス接合体においては、前記活性金属がTiであることが好ましい。

この場合、Tiがセラミックス部材の接合面と十分に反応し、窒化チタンからなる活性金属化合物層が形成されることになり、セラミックス部材と銅部材とを確実に接合することが可能となる。

【0015】

本発明の絶縁回路基板は、セラミックス基板の表面に、銅又は銅合金からなる銅板が接合されてなる絶縁回路基板であって、前記セラミックス基板と前記銅板との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス基板に接した領域の最大厚さが1 μ m以上20 μ m以下とされていることを特徴としている。

40

【0016】

本発明の絶縁回路基板によれば、前記セラミックス基板と前記銅板との間に形成されたCu-Mg金属間化合物相のうち、セラミックス基板に接した領域の最大厚さが20 μ m以下に制限されているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

50

【0017】

また、本発明の絶縁回路基板は、セラミックス基板の表面に、銅又は銅合金からなる銅板が接合されてなる絶縁回路基板であって、前記セラミックス基板と前記銅板との間には、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記セラミックス基板と前記銅板との間には、Ti、Zr、Nb、Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属の化合物を含む活性金属化合物層が形成され、この活性金属化合物層の前記銅板側に、前記Cu-Mg金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15 μ m以下とされていることを特徴としている。

【0018】

本発明の絶縁回路基板によれば、セラミックス基板の表面に硬い活性金属化合物層が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが15 μ m以下に制限されているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

【0019】

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と前記銅板との間には、Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相が形成されており、前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率が50%以下とされていることが好ましい。

Cuと前記活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相は、前記Cu-Mg金属間化合物相に比べて硬いことから、前記Cu-Mg金属間化合物相と前記第2金属間化合物相との合計面積に対する前記第2金属間化合物相の面積率を50%以下に制限することにより、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板に亀裂が生じることをさらに抑制することが可能となる。

【0020】

また、本発明の絶縁回路基板においては、前記活性金属がTiであることが好ましい。この場合、Tiがセラミックス基板の接合面と十分に反応し、窒化チタンからなる活性金属化合物層が形成されることになり、セラミックス基板と銅板とを確実に接合することが可能となる。

【0021】

本発明の銅/セラミックス接合体の製造方法は、前記銅部材と前記セラミックス部材との間に、Mgを配置するMg配置工程と、前記銅部材と前記セラミックス部材とをMgを介して積層する積層工程と、Mgを介して積層された前記銅部材と前記セラミックス部材とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、を備えており、前記Mg配置工程では、Mg量を14 μ mol/cm²以上86 μ mol/cm²以下の範囲内とし、前記接合工程では、480以上700未満の温度領域における昇温速度が5/min以上20/min以下とされるとともに、700以上の温度で30min以上保持することを特徴としている。

【0022】

この構成の銅/セラミックス接合体の製造方法によれば、Mg配置工程では、Mg量を14 μ mol/cm²以上86 μ mol/cm²以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、銅部材とセラミックス部材を確実に接合することができる。

そして、接合工程において、480以上700未満の温度領域における昇温速度が5/min以上20/min以下とされるとともに、700以上の温度で30min以上保持しているため、界面反応に必要な液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進し、接合界面にCu-Mg金属間化合物相が形成されるとともに、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス部材に接した領域の最大厚さを20 μ m以下とすることができる。

10

20

30

40

50

【0023】

また、本発明の銅/セラミックス接合体の製造方法は、前記銅部材と前記セラミックス部材との間に、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属及びMgを配置する活性金属及びMg配置工程と、前記銅部材と前記セラミックス部材とを、活性金属及びMgを介して積層する積層工程と、活性金属及びMgを介して積層された前記銅部材と前記セラミックス部材とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、を備えており、前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が $5 / \text{min}$ 以上 $20 / \text{min}$ 以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30min 以上保持することを特徴としている。

10

【0024】

この構成の銅/セラミックス接合体の製造方法によれば、前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、銅部材とセラミックス部材とを確実に接合することができる。また、セラミックス部材の表面に活性金属化合物層が形成されることになる。

そして、接合工程において、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が $5 / \text{min}$ 以上 $20 / \text{min}$ 以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30min 以上保持しているため、界面反応に必要な液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進し、接合界面にCu-Mg金属間化合物相が形成されるとともに、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さを $15 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。

20

【0025】

本発明の絶縁回路基板の製造方法は、上述の絶縁回路基板を製造する絶縁回路基板の製造方法であって、前記銅板と前記セラミックス基板との間に、Mgを配置するMg配置工程と、前記銅板と前記セラミックス基板とをMgを介して積層する積層工程と、Mgを介して積層された前記銅板と前記セラミックス基板とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、を備えており、前記Mg配置工程では、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が $5 / \text{min}$ 以上 $20 / \text{min}$ 以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30min 以上保持することを特徴としている。

30

【0026】

この構成の絶縁回路基板の製造方法によれば、Mg配置工程では、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、銅板とセラミックス基板を確実に接合することができる。

40

そして、接合工程において、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が $5 / \text{min}$ 以上 $20 / \text{min}$ 以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30min 以上保持しているため、界面反応に必要な液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進し、接合界面にCu-Mg金属間化合物相が形成されるとともに、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記セラミックス基板に接した領域の最大厚さを $20 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。

【0027】

また、本発明の絶縁回路基板の製造方法の製造方法は、前記銅板と前記セラミックス基板との間に、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属及びMgを配置する活性金属及びMg配置工程と、前記銅板と前記セラミックス基板とを、活性

50

金属及びMgを介して積層する積層工程と、活性金属及びMgを介して積層された前記銅板と前記セラミックス基板とを積層方向に加圧した状態で、真空雰囲気下において加熱処理して接合する接合工程と、を備えており、前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とし、前記接合工程では、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min以上 20 /min以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30 min以上保持することを特徴としている。

【0028】

この構成の絶縁回路基板の製造方法によれば、前記活性金属及びMg配置工程では、活性金属量を $0.4\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86\ \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、銅板とセラミックス基板とを確実に接合することができる。また、セラミックス基板の表面に活性金属化合物層が形成されることになる。

10

そして、接合工程において、 480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min以上 20 /min以下とされるとともに、 700 以上の温度で 30 min以上保持しているため、界面反応に必要な液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進し、接合界面にCu-Mg金属間化合物相が形成されるとともに、前記Cu-Mg金属間化合物相のうち前記活性金属化合物層に接した領域の最大厚さを $15\ \mu\text{m}$ 以下とすることができる。

20

【発明の効果】

【0029】

本発明によれば、厳しい冷熱サイクルを負荷した場合であっても、セラミックス部材と銅部材との接合界面におけるクラックの発生を抑制でき、冷熱サイクル信頼性に優れた銅/セラミックス接合体、絶縁回路基板、及び、銅/セラミックス接合体の製造方法、絶縁回路基板の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本発明の実施形態に係る絶縁回路基板を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

30

【図2】本発明の第1の実施形態に係る絶縁回路基板の回路層（金属層）とセラミックス基板との接合界面の模式図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る絶縁回路基板の製造方法のフロー図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る絶縁回路基板の製造方法の概略説明図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る絶縁回路基板の回路層（金属層）とセラミックス基板との接合界面の観察写真である。

【図6】本発明の第2の実施形態に係る絶縁回路基板の製造方法のフロー図である。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る絶縁回路基板の製造方法の概略説明図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0031】

（第1の実施形態）

以下に、本発明の第1の実施形態について添付した図面を参照して説明する。

本実施形態に係る銅/セラミックス接合体は、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、銅又は銅合金からなる銅部材としての銅板22（回路層12）及び銅板23（金属層13）とが接合されてなる絶縁回路基板10である。図1に、本実施形態である絶縁回路基板10を備えたパワーモジュール1を示す。

【0032】

このパワーモジュール1は、回路層12及び金属層13が配設された絶縁回路基板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

50

子3と、金属層13の他方側(図1において下側)に配置されたヒートシンク30と、を備えている。

【0033】

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系のはんだ材で構成されている。

【0034】

ヒートシンク30は、前述の絶縁回路基板10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30は、銅又は銅合金で構成されており、本実施形態ではりん脱酸銅で構成されている。このヒートシンク30には、冷却用の流体が流れるための流路31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30と金属層13とが、はんだ材からなるはんだ層32によって接合されている。このはんだ層32は、例えばSn-Ag系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材で構成されている。

【0035】

そして、本実施形態である絶縁回路基板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。

【0036】

セラミックス基板11は、絶縁性および放熱性に優れた窒化ケイ素(Si_3N_4)、窒化アルミニウム(AlN)、アルミナ(Al_2O_3)等のセラミックスで構成されている。本実施形態では、セラミックス基板11は、特に放熱性の優れた窒化アルミニウム(AlN)で構成されている。また、セラミックス基板11の厚さは、例えば、0.2mm以上1.5mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.635mmに設定されている。

【0037】

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(図4において上面)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は、無酸素銅の圧延板からなる銅板22がセラミックス基板11に接合されることで形成されている。

なお、回路層12となる銅板22の厚さは0.1mm以上2.0mm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。

【0038】

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(図4において下面)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は、無酸素銅の圧延板からなる銅板23がセラミックス基板11に接合されることで形成されている。

なお、金属層13となる銅板23の厚さは0.1mm以上2.0mm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。

【0039】

そして、セラミックス基板11と回路層12(金属層13)との接合界面においては、図2に示すように、CuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相45が形成されている。なお、Cu-Mg金属間化合物相45は、セラミックス基板11に接したCu-Mg金属間化合物相45aとセラミックス基板11から離間したCu-Mg金属間化合物相45bとが存在する。

ここで、本実施形態においては、セラミックス基板11に接したCu-Mg金属間化合物相45aのうちセラミックス基板11に接した領域の最大厚さが20 μ m以下とされている。このように、セラミックス基板11に接した領域のCu-Mg金属間化合物相45

10

20

30

40

50

の最大厚さを規定することにより、冷熱サイクル負荷時における接合界面での亀裂の発生を抑制することができ、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

なお、絶縁回路基板 10 の冷熱サイクル信頼性をさらに向上させるためには、セラミックス基板 11 に接した Cu - Mg 金属間化合物相 45 a のうちセラミックス基板 11 に接した領域の最大厚さの上限は 15 μm 以下であることが好ましく、12 μm 以下であることがさらに好ましい。一方、セラミックス基板 11 に接した Cu - Mg 金属間化合物相 45 a のうちセラミックス基板 11 に接した領域の最大厚さの下限に特に制限はないが、1 μm 以上とすることが好ましく、2 μm 以上とすることがさらに好ましい。

【0040】

以下に、本実施形態に係る絶縁回路基板 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。

【0041】

(Mg 配置工程 S01)

まず、窒化アルミニウム (AlN) からなるセラミックス基板 11 を準備し、図 4 に示すように、回路層 12 となる銅板 22 とセラミックス基板 11 との間、及び、金属層 13 となる銅板 23 とセラミックス基板 11 との間に、それぞれ Mg を配置する。

本実施形態では、回路層 12 となる銅板 22 とセラミックス基板 11 との間、及び、金属層 13 となる銅板 23 とセラミックス基板 11 との間に、Mg 箔 25 を配設している。

【0042】

ここで、Mg 配置工程 S01 では、配置する Mg 量を 14 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 86 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とする。

なお、配置する Mg 量の下限は 21 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることが好ましく、29 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることがさらに好ましい。一方、配置する Mg 量の上限は 72 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることが好ましく、57 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることがさらに好ましい。

【0043】

(積層工程 S02)

次に、銅板 22 とセラミックス基板 11 を、Mg 箔 25 を介して積層するとともに、セラミックス基板 11 と銅板 23 を、Mg 箔 25 を介して積層する。

【0044】

(接合工程 S03)

次に、積層された銅板 22、Mg 箔 25、セラミックス基板 11、Mg 箔 25、銅板 23 を、積層方向に加圧するとともに、真空炉内に装入して加熱し、銅板 22 とセラミックス基板 11 と銅板 23 を接合する。

ここで、接合工程 S03 における熱処理条件は、480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度が 5 /min 以上 20 /min 以下とされるとともに、700 以上の温度で 30 min 以上保持する。このように熱処理条件を規定することにより、界面反応に必要な Cu - Mg 液相が確保され、均一な界面反応を進行させることができる。これにより、セラミックス基板 11 の接合界面に Cu - Mg 金属間化合物相 45 が形成される。そして、Cu - Mg 金属間化合物相 45 のうちセラミックス基板 11 に接した領域の最大厚さが 20 μm 以下とされる。

【0045】

なお、480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度の下限は 8 /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、480 以上 700 未満の温度領域における昇温速度の上限は 18 /min 以下とすることが好ましく、16 /min 以下とすることがさらに好ましい。

また、保持温度の下限は 730 以上とすることが好ましく、750 以上とすることがさらに好ましい。一方、保持温度の上限に特に制限はないが、830 以下とすることが好ましく、800 以下とすることがさらに好ましい。

さらに、保持時間の下限は 60 min 以上とすることが好ましく、90 min 以上とす

10

20

30

40

50

ることがさらに好ましい。一方、保持時間の上限に特に制限はないが、180min以下とすることが好ましく、150min以下とすることがさらに好ましい。

【0046】

なお、接合工程S03における加圧荷重は、0.049MPa以上3.4MPa以下の範囲内とすることが好ましい。

さらに、接合工程S03における真空度は、 1×10^{-6} Pa以上 5×10^{-2} Pa以下の範囲内とすることが好ましい。

【0047】

以上のように、Mg配置工程S01と、積層工程S02と、接合工程S03とによって、本実施形態である絶縁回路基板10が製造されることになる。

10

【0048】

(ヒートシンク接合工程S04)

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30を接合する。

絶縁回路基板10とヒートシンク30とを、はんだ材を介して積層して加熱炉に装入し、はんだ層32を介して絶縁回路基板10とヒートシンク30とをはんだ接合する。

【0049】

(半導体素子接合工程S05)

次に、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。

上述の工程により、図1に示すパワーモジュール1が製出される。

20

【0050】

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(銅/セラミックス接合体)によれば、回路層12(及び金属層13)とセラミックス基板11との間に形成されたCu-Mg金属間化合物相45のうち、セラミックス基板11に接した領域の最大厚さが20 μ m以下に制限されているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板11に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

【0051】

本実施形態である絶縁回路基板の製造方法によれば、Mg配置工程S01では、Mg量を14 μ mol/cm²以上86 μ mol/cm²以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、回路層12(及び金属層13)とセラミックス基板11を確実に接合することができる。

30

そして、接合工程S03において、480 以上700 未満の温度領域における昇温速度が5 /min以上20 /min以下とされるとともに、700 以上の温度で30min以上保持しているため、界面反応に必要な液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進し、接合界面にCu-Mg金属間化合物相45が形成されるとともに、Cu-Mg金属間化合物相45のうちセラミックス基板11に接した領域の最大厚さを20 μ m以下とすることができる。

【0052】

(第2の実施形態)

40

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。なお、第1の実施形態と同一の部材には、同一の符号を付して詳細な説明を省略する。

本実施形態である絶縁回路基板110は、第1の実施形態と同様に、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の他方の面に配設された金属層13と、を備えている。

【0053】

本実施形態である絶縁回路基板110は、セラミックス基板11と回路層12(金属層13)との接合界面において、図5に示すように、セラミックス基板11の表面には、Ti, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属の化合物を含む活性金属化合物層141が形成され、この活性金属化合物層141の回路層12(金属層13)

50

側にCuとMgを含む金属間化合物からなるCu-Mg金属間化合物相145が形成されている。

【0054】

そして、Cu-Mg金属間化合物相145のうち活性金属化合物層141に接した領域の最大厚さが15 μm 以下とされている。このように、活性金属化合物層141に接した領域のCu-Mg金属間化合物相145の最大厚さを規定することにより、冷熱サイクル負荷時における接合界面での亀裂の発生を抑制することができ、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

なお、絶縁回路基板110の冷熱サイクル信頼性をさらに向上させるためには、Cu-Mg金属間化合物相145のうち活性金属化合物層141に接した領域の最大厚さの上限は12 μm 以下であることが好ましく、10 μm 以下であることがさらに好ましい。一方、Cu-Mg金属間化合物相145のうち活性金属化合物層141に接した領域の最大厚さの下限には特に制限はないが、1 μm 以上であることが好ましく、2 μm 以上であることがさらに好ましい。

【0055】

また、本実施形態においては、図5に示すように、セラミックス基板11と回路層12（及び金属層13）との間には、Cuと活性金属とを含む金属間化合物からなる第2金属間化合物相147が形成され、Cu-Mg金属間化合物相145と第2金属間化合物相147との合計面積に対する第2金属間化合物相147の面積率が50%以下とされていることが好ましく、30%以下とされていることがより好ましい。

【0056】

さらに、本実施形態においては、前記活性金属がTiであることが好ましい。なお、本実施形態では、セラミックス基板11が窒化アルミニウムで構成されていることから、セラミックス基板11の表面に形成される活性金属化合物層141は、窒素チタン等の活性金属の窒化物を含むものとなる。あるいは、セラミックス基板11の表面の酸化膜と活性金属が反応することで酸化チタン等の活性金属の酸化物を含むものとなる。

【0057】

以下に、本実施形態に係る絶縁回路基板110の製造方法について、図6及び図7を参照して説明する。

【0058】

（活性金属及びMg配置工程S101）

まず、窒化アルミニウム（AlN）からなるセラミックス基板11を準備し、図7に示すように、回路層12となる銅板22とセラミックス基板11との間、及び、金属層13となる銅板23とセラミックス基板11との間に、それぞれTi, Zr, Nb, Hfから選択される1種又は2種以上の活性金属及びMgを配置する。

本実施形態では、回路層12となる銅板22とセラミックス基板11との間、及び、金属層13となる銅板23とセラミックス基板11との間に、Mg箔125と活性金属箔126を配設している。

【0059】

ここで、活性金属及びMg配置工程S101では、配置する活性金属量を0.4 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上14.1 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を14 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上86 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内とする。

なお、配置する活性金属量の下限は0.9 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることが好ましく、2.8 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることがさらに好ましい。一方、配置する活性金属量の上限は9.4 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることが好ましく、6.6 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることがさらに好ましい。

また、配置するMg量の下限は21 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることが好ましく、29 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上とすることがさらに好ましい。一方、配置するMg量の上限は72 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることが好ましく、57 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下とすることがさらに好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

(積層工程 S 1 0 2)

次に、銅板 2 2 とセラミックス基板 1 1 を、活性金属箔 1 2 6 及び M g 箔 1 2 5 を介して積層するとともに、セラミックス基板 1 1 と銅板 2 3 を、活性金属箔 1 2 6 及び M g 箔 1 2 5 を介して積層する。

【 0 0 6 1 】

(接合工程 S 1 0 3)

次に、積層された銅板 2 2、活性金属箔 1 2 6、M g 箔 1 2 5、セラミックス基板 1 1、M g 箔 1 2 5、活性金属箔 1 2 6、銅板 2 3 を、積層方向に加圧するとともに、真空炉内に装入して加熱し、銅板 2 2 とセラミックス基板 1 1 と銅板 2 3 を接合する。

10

ここで、接合工程 S 1 0 3 における熱処理条件は、4 8 0 以上 7 0 0 未満の温度領域における昇温速度が 5 / m i n 以上 2 0 / m i n 以下とされるとともに、7 0 0 以上の温度で 3 0 m i n 以上保持する。このように熱処理条件を規定することにより、界面反応に必要な C u - M g 液相が確保され、均一な界面反応を進行させることができる。これにより、セラミックス基板 1 1 の表面に活性金属化合物層 1 4 1 が形成され、この活性金属化合物層 1 4 1 の回路層 1 2 (金属層 1 3) 側に C u - M g 金属間化合物相 1 4 5 が形成される。そして、C u - M g 金属間化合物相 1 4 5 のうち活性金属化合物層 1 4 1 に接した領域の最大厚さが 1 5 μ m 以下に制限される。

【 0 0 6 2 】

なお、4 8 0 以上 7 0 0 未満の温度領域における昇温速度の下限は 8 / m i n 以上とすることが好ましく、1 0 / m i n 以上とすることがさらに好ましい。一方、4 8 0 以上 7 0 0 未満の温度領域における昇温速度の上限は 1 8 / m i n 以下とすることが好ましく、1 6 / m i n 以下とすることがさらに好ましい。

20

また、保持温度の下限は 7 3 0 以上とすることが好ましく、7 5 0 以上とすることがさらに好ましい。一方、保持温度の上限に特に制限はないが、8 3 0 以下とすることが好ましく、8 0 0 以下とすることがさらに好ましい。

さらに、保持時間の下限は 6 0 m i n 以上とすることが好ましく、9 0 m i n 以上とすることがさらに好ましい。一方、保持時間の上限に特に制限はないが、1 8 0 m i n 以下とすることが好ましく、1 5 0 m i n 以下とすることがさらに好ましい。

【 0 0 6 3 】

なお、接合工程 S 1 0 3 における加圧荷重は、0 . 0 4 9 M P a 以上 3 . 4 M P a 以下の範囲内とすることが好ましい。

30

さらに、接合工程 S 1 0 3 における真空度は、 1×10^{-6} P a 以上 5×10^{-2} P a 以下の範囲内とすることが好ましい。

【 0 0 6 4 】

以上のように、活性金属及び M g 配置工程 S 1 0 1 と、積層工程 S 1 0 2 と、接合工程 S 1 0 3 とによって、本実施形態である絶縁回路基板 1 1 0 が製造されることになる。

【 0 0 6 5 】

以上のような構成とされた本実施形態の絶縁回路基板 1 1 0 (銅 / セラミックス接合体) によれば、回路層 1 2 (及び金属層 1 3) とセラミックス基板 1 1 との接合界面において、セラミックス基板 1 1 の表面に活性金属化合物層 1 4 1 が形成され、この活性金属化合物層 1 4 1 の回路層 1 2 (及び金属層 1 3) 側に C u - M g 金属間化合物相 1 4 5 が形成されており、C u - M g 金属間化合物相 1 4 5 のうち活性金属化合物層 1 4 1 に接した領域の最大厚さが 1 5 μ m 以下とされているので、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板 1 1 に亀裂が生じることを抑制でき、冷熱サイクル信頼性を向上させることが可能となる。

40

【 0 0 6 6 】

また、本実施形態において、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 (及び金属層 1 3) との間は、C u と活性金属とを含む金属間化合物からなる第 2 金属間化合物相 1 4 7 が形成されており、C u - M g 金属間化合物相 1 4 5 と第 2 金属間化合物相 1 4 7 との合計面積

50

に対する第2金属間化合物相147の面積率が50%以下とされている場合には、Cu-Mg金属間化合物相145よりも硬い第2金属間化合物相147が接合界面に多く存在せず、厳しい冷熱サイクルが負荷された場合であっても、接合界面及びセラミックス基板11に亀裂が生じることをさらに抑制することが可能となる。

【0067】

さらに、本実施形態において、活性金属がTiである場合には、Tiがセラミックス基板11の接合面と十分に反応し、窒化チタンからなる活性金属化合物層141が形成されることになり、セラミックス基板11と回路層12（及び金属層13とを確実に接合することが可能となる。

【0068】

本実施形態である絶縁回路基板の製造方法によれば、活性金属量を $0.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $9.4 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内、Mg量を $14 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以上 $86 \mu\text{mol}/\text{cm}^2$ 以下の範囲内としているので、界面反応に必要な液相を十分に得ることができる。よって、回路層12及び金属層13とセラミックス基板11とを確実に接合することができる。

そして、接合工程S103において、480 以上700 未満の温度領域における昇温速度が $5 /\text{min}$ 以上 $20 /\text{min}$ 以下とされるとともに、700 以上の温度で30min以上保持する構成としているので、界面反応に必要なCu-Mg液相を一定時間以上保持することができ、均一な界面反応を促進することができる。これにより、セラミックス基板11の表面に活性金属化合物層141が形成され、この活性金属化合物層141の回路層12（金属層13）側にCu-Mg金属間化合物相145が形成される。そして、Cu-Mg金属間化合物相145のうち活性金属化合物層141に接した領域の最大厚さが $15 \mu\text{m}$ 以下に制限される。

【0069】

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、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。

【0070】

また、本実施形態の絶縁回路基板では、回路層と金属層がともに銅又は銅合金からなる銅板によって構成されたものとして説明したが、これに限定されることはない。

例えば、回路層とセラミックス基板とが本発明の銅/セラミックス接合体で構成されていれば、金属層の材質や接合方法に限定はなく、金属層がなくてもよいし、金属層がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されていてもよく、銅とアルミニウムの積層体で構成されていてもよい。

一方、金属層とセラミックス基板とが本発明の銅/セラミックス接合体で構成されていれば、回路層の材質や接合方法に限定はなく、回路層がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されていてもよく、銅とアルミニウムの積層体で構成されていてもよい。

【0071】

また、第1の実施形態では、銅板とセラミックス基板との間に、Mg箔を積層する構成として説明したが、これに限定されることはなく、セラミックス基板及び銅板の接合面に、Mgからなる薄膜を、スパッタ法や蒸着法等によって成膜してもよい。また、MgやMgH₂を含むペーストを塗布してもよい。

さらに、第2の実施形態では、銅板とセラミックス基板との間に、活性金属箔やMg箔を積層する構成として説明したが、これに限定されることはなく、Mgと活性金属の合金箔を配設してもよい。また、セラミックス基板及び銅板の接合面に、Mg、活性金属、Mgと活性金属の合金等からなる薄膜を、スパッタ法や蒸着法等によって成膜してもよい。また、Mg、MgH₂、活性金属を含むペーストを塗布してもよい。

10

20

30

40

50

【0072】

さらに、本実施形態の絶縁回路基板では、セラミックス基板として、窒化アルミニウム (AlN) で構成されたものを例に挙げて説明したが、これに限定されることはなく、アルミナ (Al₂O₃)、窒化ケイ素 (Si₃N₄) 等の他のセラミックス基板を用いたものであってもよい。

【実施例】

【0073】

以下に、本発明の効果を確認すべく行った確認実験の結果について説明する。

【0074】

(実施例1)

まず、表1記載のセラミックス基板 (40mm×40mm) を準備した。なお、厚さは、AlN及びAl₂O₃は0.635mm、Si₃N₄は0.32mmとした。

このセラミックス基板の両面に、無酸素銅からなる銅板 (37mm×37mm×厚さ0.3mm) を表1に示す条件で接合し、絶縁回路基板 (銅/セラミックス接合体) を得た。なお、接合時の真空炉の真空度は 2×10^{-2} Paとした。

【0075】

得られた絶縁回路基板 (銅/セラミックス接合体) について、Cu-Mg金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さ、初期接合率、冷熱サイクル信頼性について、以下のようにして評価した。

【0076】

(Cu-Mg金属間化合物相)

得られた絶縁回路基板 (銅/セラミックス接合体) の中央部から観察試料を採取し、銅板とセラミックス基板との接合界面を、電子線マイクロアナライザー (日本電子株式会社製JXA-8539F) を用いて、倍率2000倍、加速電圧15kVの条件で接合界面を含む領域 (400μm×600μm) のMgの元素MAPを取得し、Mgの存在が確認された領域内での定量分析の5点平均で、Cu濃度が5原子%以上、かつ、Mg濃度が30原子%以上70原子%以下を満たした領域をCu-Mg金属間化合物相とし、Cu-Mg金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さを算出した。なお、観察視野数は5つとし、その平均値を表2に示した。

【0077】

(初期接合率)

銅板とセラミックス基板との接合率を評価した。具体的には、絶縁回路基板において、銅板とセラミックス基板との界面の接合率について超音波探傷装置 (株式会社日立パワーソリューションズ製FineSAT200) 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、すなわち回路層の面積とした。超音波探傷像を二値化処理した画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。

$$(\text{接合率}) = \{ (\text{初期接合面積}) - (\text{非接合部面積}) \} / (\text{初期接合面積}) \times 100$$

【0078】

(冷熱サイクル信頼性)

セラミックス基板の材質に応じて下記の雰囲気を通炉させた後、SAT検査により、銅板とセラミックス基板の接合界面を検査し、接合界面及びセラミックス基板の割れの有無を判定した。規定回数の冷熱サイクルを負荷した後に接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されなかったものを「S」、規定回数の8割の冷熱サイクルを負荷した時点では接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されなかったものを「B」、規定回数の8割の冷熱サイクルを負荷した時点で接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されたものを「NG」と評価した。評価結果を表2に示す。

AlN, Al₂O₃の場合: -78 × 2min 350 × 2minを10回

Si₃N₄の場合: -78 × 2min 350 × 2minを20回

【0079】

10

20

30

40

50

【表 1】

	セラミックス 基板	Mg配置工程	接合工程			
		Mg量 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$	荷重 MPa	昇温速度 ^{※1} $^{\circ}\text{C}/\text{min}$	保持温度 $^{\circ}\text{C}$	保持時間 min
本発明例1	AlN	86	1.96	12	720	90
本発明例2	AlN	50	0.049	15	720	90
本発明例3	AlN	72	3.43	15	720	150
本発明例4	Al ₂ O ₃	21	1.176	15	750	120
本発明例5	Si ₃ N ₄	14	0.588	5	800	60
本発明例6	Si ₃ N ₄	21	0.784	8	750	120
本発明例7	Al ₂ O ₃	36	1.176	12	750	120
本発明例8	AlN	29	1.96	8	850	30
比較例1	Si ₃ N ₄	21	0.784	35	750	120

※1 昇温速度:480 $^{\circ}\text{C}$ 以上700 $^{\circ}\text{C}$ 未満の温度領域における平均昇温速度

【0080】

【表 2】

	Cu-Mg金属間 化合物相の最大厚さ μm	初期 接合率 %	冷熱サイクル 信頼性
本発明例1	19.8	97.1	B
本発明例2	16.3	96.4	B
本発明例3	13.5	97.2	B
本発明例4	10.7	97.5	B
本発明例5	6.9	99.1	S
本発明例6	5.1	96.2	S
本発明例7	6.0	98.7	S
本発明例8	7.6	96.7	S
比較例1	43.6	98.6	NG

※1 昇温速度:480 $^{\circ}\text{C}$ 以上700 $^{\circ}\text{C}$ 未満の温度領域における平均昇温速度

【0081】

480 以上700 未満の温度領域における平均昇温速度が35 /minとされた比較例1においては、Cu-Mg金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さが43.6 μm と本発明の範囲よりも厚く、冷熱サイクル信頼性が「NG」となった。

これに対して、Cu-Mg金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さが本発明の範囲内とされた本発明例1-8においては、初期接合率が高く、かつ、冷熱サイクル信頼性が「B」又は「S」となった。

【0082】

(実施例2)

まず、表3記載のセラミックス基板(40mm \times 40mm)を準備した。なお、厚さは、AlN及びAl₂O₃は0.635mm、Si₃N₄は0.32mmとした。

このセラミックス基板の両面に、無酸素銅からなる銅板(37mm \times 37mm \times 厚さ0

、3 mm) を表 3 に示す条件で接合し、絶縁回路基板 (銅 / セラミックス接合体) を得た。なお、接合時の真空炉の真空度は 4×10^{-3} Pa とした。

【0083】

得られた絶縁回路基板 (銅 / セラミックス接合体) について、Cu - Mg 金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さ、初期接合率について、実施例 1 と同様に評価した。評価結果を表 4 に示す。

また、Cu と活性金属を含む金属間化合物からなる第 2 金属間化合物相の面積率、及び、冷熱サイクル信頼性について、以下のようにして評価した。

【0084】

(第 2 金属間化合物相の面積率)

得られた絶縁回路基板 (銅 / セラミックス接合体) の中央部から観察試料を採取し、銅板とセラミックス基板との接合界面を、電子線マイクロアナライザー (日本電子株式会社製 JXA - 8539F) を用いて、倍率 2000 倍、加速電圧 15 kV の条件で接合界面を含む領域 ($400 \mu\text{m} \times 600 \mu\text{m}$) の Mg 及び Ti の元素 MAP を取得し、Mg または Ti の存在が確認された領域内での定量分析の 5 点平均で、Cu 濃度が 5 原子% 以上、かつ、Mg 濃度が 30 原子% 以上 70 原子% 以下を満たした領域を Cu - Mg 金属間化合物相、Cu 濃度が 5 原子% 以上、かつ、Ti 濃度が 16 原子% 以上 70 原子% 以下を満たした領域を第 2 金属間化合物相とした。そして、Cu - Mg 金属間化合物相と第 2 金属間化合物相との合計面積に対する第 2 金属間化合物相の面積率を算出した。なお、観察視野数は 5 つとし、その平均値を表 4 に示した。

【0085】

(冷熱サイクル信頼性)

セラミックス基板の材質に応じて下記の雰囲気を通炉させた後、SAT 検査により、銅板とセラミックス基板の接合界面を検査し、接合界面及びセラミックス基板の割れの有無を判定した。規定回数の冷熱サイクルを負荷した後に接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されなかったものを「S」、規定回数の 9 割の冷熱サイクルを負荷した時点では接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されなかったものを「A」、規定回数の 9 割の冷熱サイクルを負荷した時点では接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されなかったものを「B」、規定回数の 8 割の冷熱サイクルを負荷した時点で接合界面及びセラミックス基板の割れが確認されたものを「NG」と評価した。評価結果を表 2 に示す。

AlN, Al₂O₃ の場合: -78 x 2 min 350 x 2 min を 10 回

Si₃N₄ の場合: -78 x 2 min 350 x 2 min を 20 回

【0086】

10

20

30

40

50

【表 3】

	セラミックス 基板	活性金属及びMg配置工程			接合工程			
		Mg量 μmol/cm ²	活性金属		荷重 MPa	昇温速度※1 °C/min	保持温度 °C	保持時間 min
			元素	μmol/cm ²				
本発明例11	Al ₂ O ₃	21	Ti	6.6	0.098	10	700	30
本発明例12	Si ₃ N ₄	43	Hf	9.4	1.47	7	750	150
本発明例13	AlN	57	Zr	3.8	0.294	12	800	120
本発明例14	Al ₂ O ₃	43	Zr	6.6	0.098	10	750	30
本発明例15	Al ₂ O ₃	14	Ti	3.8	0.98	7	850	60
本発明例16	Si ₃ N ₄	21	Zr	0.9	1.47	5	750	90
本発明例17	AlN	21	Nb	0.4	1.47	12	700	150
本発明例18	AlN	36	Ti	7.5	1.47	12	800	60
比較例11	AlN	36	Ti	7.5	1.47	30	800	60

※1 昇温速度: 480°C以上700°C未満の温度領域における平均昇温速度

【 0 0 8 7 】

10

20

30

40

50

【表 4】

	Cu-Mg金属間 化合物相の最大厚さ μm	第2金属間 化合物相の面積率 %	初期 接合率 %	冷熱サイクル 信頼性
本発明例11	14.8	27.6	98.6	B
本発明例12	10.2	58.2	96.8	B
本発明例13	11.9	26.6	97.6	A
本発明例14	9.5	34.4	98.4	A
本発明例15	3.7	8.6	98.5	S
本発明例16	4.8	9.7	96.1	S
本発明例17	6.1	8.4	98.7	S
本発明例18	5.3	13.7	98.4	S
比較例11	22.3	32.9	96.6	NG

※1 昇温速度:480°C以上700°C未満の温度領域における平均昇温速度

【0088】

480 以上700 未満の温度領域における平均昇温速度が30 /minとされた比較例11においては、Cu-Mg金属間化合物相のうちセラミックス基板に接した領域の最大厚さが22.3 μmと本発明の範囲よりも厚く、冷熱サイクル信頼性が「NG」となった。

これに対して、Cu-Mg金属間化合物相のうち活性金属化合物層に接した領域の最大厚さが本発明の範囲内とされた本発明例11-18においては、初期接合率が高く、かつ、冷熱サイクル信頼性が「B」、「A」又は「S」となった。

【0089】

以上の結果、本発明例によれば、厳しい冷熱サイクルを負荷した場合であっても、セラミックス部材と銅部材との接合界面におけるクラックの発生を抑制でき、冷熱サイクル信頼性に優れた銅/セラミックス接合体、絶縁回路基板、及び、銅/セラミックス接合体の製造方法、絶縁回路基板の製造方法を提供可能であることが確認された。

【符号の説明】

【0090】

- 10, 110 絶縁回路基板(銅/セラミックス接合体)
- 11 セラミックス基板(セラミックス部材)
- 12 回路層(銅部材)
- 13 金属層(銅部材)
- 45、145 Cu-Mg金属間化合物相
- 141 活性金属化合物層
- 147 第2金属間化合物相

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

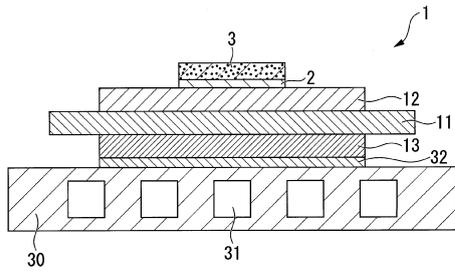


図 1

【図 2】

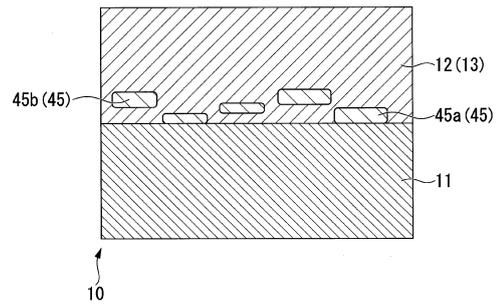


図 2

【図 3】

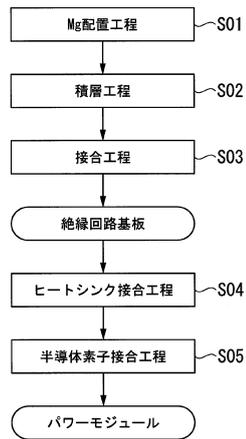


図 3

【図 4】

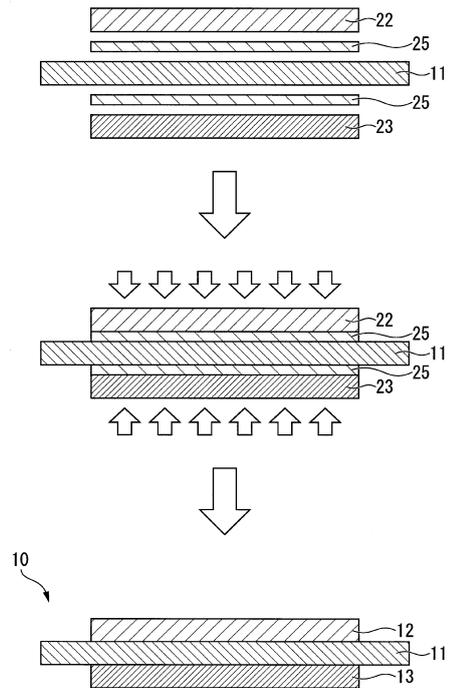


図 4

10

20

30

40

50

【 図 5 】

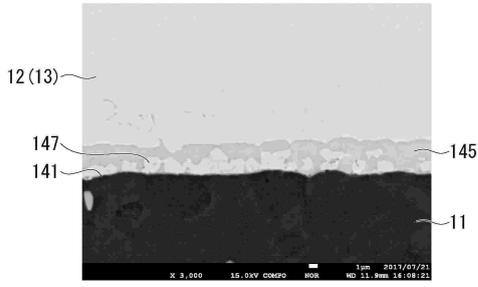


図5

【 図 6 】

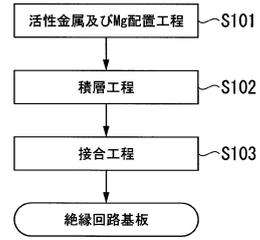


図6

10

【 図 7 】

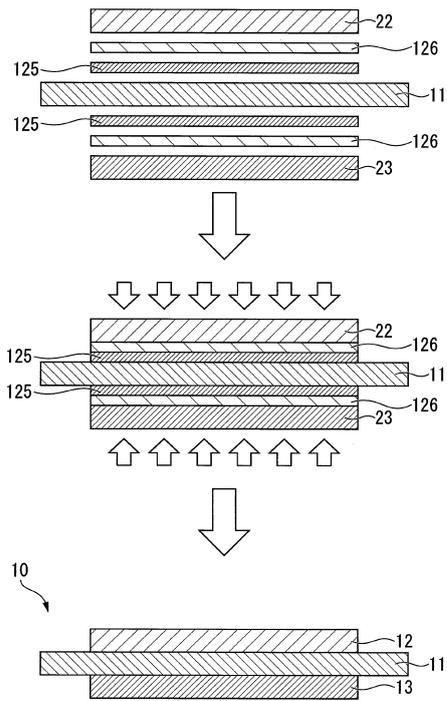


図7

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 末松 佳記

- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 1 2 7 4 3 2 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 4 0 9 2 9 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 7 4 9 6 4 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 3 0 5 5 2 6 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 6 7 4 6 8 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
C 0 4 B 3 7 / 0 0 - 3 7 / 0 4
H 0 5 K 1 / 0 0 - 1 / 1 8
H 0 1 L 2 3 / 1 2 - 2 3 / 1 5