

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6777752号
(P6777752)

(45) 発行日 令和2年10月28日 (2020. 10. 28)

(24) 登録日 令和2年10月12日 (2020. 10. 12)

(51) Int. Cl.

F I

CO4B 37/02 (2006. 01)

CO4B 35/111 (2006. 01)

HO5K 1/03 (2006. 01)

CO4B 37/02 C

CO4B 35/111

HO5K 1/03 610D

HO5K 1/03 630H

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2018-544120 (P2018-544120)	(73) 特許権者	516039491
(86) (22) 出願日	平成29年2月16日 (2017. 2. 16)		ヘレウス ドイチュラント ゲーエムペー
(65) 公表番号	特表2019-511992 (P2019-511992A)		ハー ウント カンパニー カーゲー
(43) 公表日	令和1年5月9日 (2019. 5. 9)		ドイツ連邦共和国 63450 ハーナウ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2017/053449		ヘレウスシュトラーセ 12-14
(87) 国際公開番号	W02017/144331	(74) 代理人	100102141
(87) 国際公開日	平成29年8月31日 (2017. 8. 31)		弁理士 的場 基憲
審査請求日	平成30年10月18日 (2018. 10. 18)	(74) 代理人	100137316
(31) 優先権主張番号	102016203058. 2		弁理士 鈴木 宏
(32) 優先日	平成28年2月26日 (2016. 2. 26)	(72) 発明者	ヘルプスト カイ
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ドイツ (DE)		ドイツ連邦共和国 91056 エアラン
			ゲン、ナトゥーアバートシュトラーセ 7
			a
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 銅-セラミックス複合材料

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

酸化アルミニウムを含むセラミック基板であって、
前記酸化アルミニウムは、

粒子サイズが0. 01 μmから25 μmの範囲内であり、

粒子サイズの数分布における中央値 d_{50} 及び算術平均 d_{arith} について、 d_{arith} に対する d_{50} の比が0. 75から1. 10の範囲内であり、 d_5 値及び d_{95} 値について、 d_{95} に対する d_5 の比が0. 1から0. 4の範囲内である、上記セラミック基板と、

前記セラミック基板上に存在する銅又は銅合金からなる被膜と、
を有する、銅-セラミックス複合材料。

【請求項 2】

d_{arith} に対する d_{50} の比が、0. 78から1. 05の範囲内である、請求項 1
に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 3】

前記 d_{95} に対する d_5 の比が0. 12から0. 30の範囲内である、請求項 1 又は請
求項 2 に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 4】

前記酸化アルミニウムの粒子サイズが、0. 3 μmから23 μmの範囲内である、請求
項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 5】

前記セラミック基板が、酸化アルミニウムを少なくとも 65 重量%含む、請求項 1 から請求項 4 に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 6】

銅又は銅合金からなる前記被膜が、DCB 法によって前記セラミック基板に貼り付けられる、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 7】

銅又は銅合金からなる前記被膜が、少なくとも部分的に電気接触部を形成する構造化部を有する、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 8】

前記銅又は銅合金からなる前記被膜は、前記被膜の面積の少なくとも 70%に渡って、厚さが 0.2 mm から 1.2 mm の範囲内であり；及び／又は、前記セラミック基板は、前記セラミック基板の面積の少なくとも 70%に渡って、厚さが 0.2 mm から 1.2 mm の範囲内である、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の銅-セラミックス複合材料。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の銅-セラミックス複合材料を少なくとも 1 種と、1 又は 2 以上のボンドワイヤーとを含むモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、銅-セラミックス複合材料、及び当該複合材料を備え、パワーエレクトロニクス部品に使用可能なモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

セラミックス回路支持体は、熱伝導性が高く、寸法安定性又は機械的強度に優れ、絶縁強度も高いことから、ハイパワーエレクトロニクスの分野において特に興味を集めている。

【0003】

セラミック基板を金属化するには、ダイレクト銅ボンディング (Direct-Copper-Bonding) (通常、DCB 法と呼ばれる。) や、活性金属ろう付け法 (Active-Metal-Brazing) (通常、AMB 法と呼ばれる。) 等の様々な方法が利用可能である。

【0004】

セラミック基板の金属化後に得られる複合材料は、金属-セラミック基板又は金属-セラミックス複合材料とも呼ばれる。例えば DCB 法により作製された場合には、「DCB 基板」という用語がしばしば用いられる。

【0005】

DCB 法では、銅の融点が、酸素によって 1083℃ から共晶融点の 1065℃ まで低下することが利用される。セラミック基板の金属化前に銅箔を酸化するか、高温プロセス (例えば 1065℃ から 1080℃ の範囲内の温度) 中に酸素を導入することによって、薄い共晶溶融層が形成される。この層をセラミック基板の表面と反応させることで、セラミックスと金属を強固に貼り付けることができる。

【0006】

DCB 法は、例えば US 3744120 又は DE 2319854 に記載されている。

【0007】

金属化は、例えばセラミック基板の片面のみに行ってもよいし (「単層ボンディング (Single-Layer-Bonding)」, SLB)、あるいはセラミック基板の両面に同時に行ってもよい (「2 層ボンディング (Double-Layer-Bonding)」, DLB)。また、基板の第 1 面を最初の SLB 工程により金属化し、続けて反

10

20

30

40

50

対側の面を更なるS L B工程により金属化することも可能である。

【0008】

貼り付けた金属被膜を、例えばエッチング法により構造化して、導体路を形成することも知られている。

【0009】

パワーエレクトロニクス用途の多くでは、金属—セラミックス複合材料は、大きな温度変化（例えば−40℃から+150℃の範囲）が起こりうるような、強い温度変化ストレスにさらされる。

【0010】

セラミック基板と金属被膜との熱膨張係数の違いから、温度変動の際に、これらの層の遷移部分には相当な機械的ストレスが発生し、最終的には、セラミックス表面からの金属の剥離が少なくとも部分的に起こりうる。金属層の周辺部分に巨視的レベルで特別な構造化を施すことで、引張及び圧縮ストレスを減少させて、耐熱衝撃性を高めることができることが知られている。DE4004844A1及びDE4318241A1には、周辺部の弱体化として縁部の凹みや孔を有する、セラミック基板の金属被膜が記載されている。

【0011】

使用中に発生する温度変化ストレスは、セラミックスの割れを引き起こしうる。さらに、輸送の際、又は電気部品へ組み込む際に、機械的ストレスがかかることがあり、これも同様にセラミックスの割れを引き起こす。

【0012】

温度変化ストレスや他の機械的ストレスによるセラミックスの割れをできる限り最小化するためには、金属—セラミックス複合材料のセラミック基板の機械的強度（例えば、非常に高い曲げ破壊強度）を非常に高くするべきである。

【0013】

使用の際、構造化された金属被膜は、例えばチップ等の電子部品と接触する。これらの電子部品の箇所では、かなりの発熱が起こりうる。こうした熱は、セラミック基板を介してできる限り速く放散されるべきである。

【0014】

従って、セラミック基板は、優れた機械的強度だけでなく、非常に優れた熱伝導性を有することが基本的に望ましい。しかし、実際には、これら特性の両方を同時に最適化するのは困難であることが判明している。あるパラメータを改善すると、しばしば他のパラメータが犠牲となる。

【0015】

銅—セラミックス複合材料の電子分野の用途に関連するさらなる特性としては、優れた温度変化耐性や、長期にわたる温度変化ストレスを受けても十分に強固なままであるような、金属被膜のセラミックス表面への非常に強固な結合、ボンディングワイヤーに対する銅被膜の優れた結合挙動が挙げられる。

【0016】

DE102012110322では、金属—セラミックス複合材料のセラミック基板が、その粒子構造（すなわち、顕微鏡レベルの構造）についてさらに詳細に定義されている。セラミック基板は、酸化ジルコニウムで強化された酸化アルミニウムを含み、当該酸化アルミニウムの平均粒子サイズが2 µmから8 µmの範囲内であり、全粒子境界長に対する Al_2O_3 粒子の粒子境界長の比が >0.6 である。DE102012110322によれば、この粒子構造が熱伝導性の改善に貢献している。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明は、諸特性が改善された、特に機械的強度と熱伝導性に優れた金属—セラミックス複合材料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】

【0018】

本目的は、銅－セラミックス複合材料であって、
－ 酸化アルミニウムを含むセラミック基板と、
－ 前記セラミック基板上に存在する、銅又は銅合金からなる被膜と、を有し、
前記酸化アルミニウムは、粒子サイズが $0.01\text{ }\mu\text{m}$ から $25\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内である、
上記銅－セラミックス複合材料により達成される。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】セラミック基板1が銅又は銅合金からなる被膜2を下面及び上面の両方に有する例示的な銅－セラミックス複合材料を示す模式図である。

10

【図2】セラミック基板1の複数の領域に銅又は銅合金からなる被膜2を設けた例示的な銅－セラミックス複合材料を示す模式図である。

【図3】粒子サイズの決定法を示す模式図である。

【図4】楕円形粒子構造を有する粒子の形状系数 R_K に関する説明図である。

【図5】K－K－V1のセラミック基板表面のSEM像である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

銅－セラミックス複合材料のセラミック基板は、通常、小さな結晶子（粒子とも呼ぶ。）からなる多結晶材である。顕微鏡レベルでは、多結晶材は、粒子構造（例えば、粒子サイズ分布、粒子形状、質感等）という観点からさらに詳細に特徴づけることができる。

20

【0021】

本発明において、粒子サイズが $0.01\text{ }\mu\text{m}$ から $25\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内の酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）を有するセラミック基板は、高い機械的強度と高い熱伝導性の両方を示すことが明らかとなった。

【0022】

機械的強度の改善は、特に曲げ破壊強度の改善として表される。本発明によれば、セラミックスの曲げ破壊強度の改善とは、3点曲げ試験における破壊に至るまでの力が増すことを意味する。セラミックスの曲げ破壊強度の測定は、例えばDIN EN 843-1（2008）によって当業者に公知である。好ましくは、試料の形状は、試料が $20\times 40\times 0.38\text{ mm}^3$ 又は $20\times 40\times 0.63\text{ mm}^3$ の寸法を有するという点で、DIN EN 843-1（2008）の形状から逸脱する。

30

【0023】

本発明によれば、耐熱衝撃性とは、銅－セラミック基板のセラミックスからの剥離に対する銅層の耐性又は耐久能力であり、当該耐性は、セラミックスに対する銅層の少なくとも1回の温度変化の後に定まる。耐熱衝撃性の改善とは、耐えられる温度変化の回数が増えることを意味する。

【0024】

本発明によれば、ワイヤーボンディングの改善とは、ボンドワイヤーを銅－セラミックス複合材料の銅表面から分離するのに必要な力が増すことを意味する。

本発明によれば、銅接着力の改善とは、銅－セラミックス複合材料に対する銅の接着力であって、接着された銅箔を銅－セラミックス複合材料のセラミックス表面から剥がすのに必要な力が増すことである。例示的な測定方法は、DE 10 200 40 1 2 2 3 1 B 4（DE 10 200 40 1 2 2 3 1 B 4の図2及び図3）によって当業者に公知である。

40

【0025】

酸化アルミニウムの粒子サイズは、好ましくは $0.3\text{ }\mu\text{m}$ から $23\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内、より好ましくは $0.5\text{ }\mu\text{m}$ から $20\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内である。

【0026】

本発明において、これらの値は粒子サイズ分布の厳密な上限及び下限とはみなされるものではなく、 $\pm 10\%$ の範囲内で変動しうる。しかし、好ましい実施形態によれば、これらの値は、酸化アルミニウムの粒子サイズ分布の下限（粒子サイズがそれより小さくなら

50

ない)及び上限(それを超えない)である。したがって、好ましい実施形態によれば、酸化アルミニウムは、上記の範囲外となる粒子を持たない。よって、酸化アルミニウムの最小及び最大粒子サイズを $d_{min}(Al_2O_3)$ 及び $d_{max}(Al_2O_3)$ とすると、好ましくは $d_{min}(Al_2O_3)$ が $\geq 0.01\mu m$ かつ $d_{max}(Al_2O_3)$ が $\leq 25\mu m$ 、より好ましくは $d_{min}(Al_2O_3)$ が $\geq 0.3\mu m$ かつ $d_{max}(Al_2O_3)$ が $\leq 23\mu m$ 、さらに好ましくは $d_{min}(Al_2O_3)$ が $\geq 0.5\mu m$ かつ $d_{max}(Al_2O_3)$ が $\leq 20\mu m$ である。

【0027】

銅-セラミックス複合材料における Al_2O_3 粒子サイズは、好適な Al_2O_3 粒子サイズ分布を持つセラミックス出発原料を用いることにより望ましい値に設定することができる。そのようなセラミック材料は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。セラミックス出発原料を熱処理することにより、任意で粒子サイズの微調整を行うことができる。

10

【0028】

原則として当業者に公知であるが、粒子サイズ分布の測定は、粒子数(すなわち数分布)に基づくか、あるいは粒子の質量(すなわち質量分布)又は体積に基づいて行うことができる。本発明では、粒子サイズの分布を粒子数に基づいて求める。

【0029】

好ましい実施形態によれば、セラミック基板の酸化アルミニウムは、粒子サイズの数分布において、5%以下の粒子の粒子サイズが $0.1\mu m$ 未満、より好ましくは $0.3\mu m$ 未満、さらに好ましくは $0.5\mu m$ 未満であり、及び/又は、少なくとも95%の粒子の粒子サイズが、 $15\mu m$ 未満、より好ましくは $10\mu m$ 未満、さらに好ましくは $7\mu m$ 未満である。

20

【0030】

一般に知られているが、粒子サイズ分布の特徴的な値として、特に d_{50} 、 d_5 及び d_{95} がある。 d_{50} は、しばしば中央値とも呼ばれ、以下のように定義される: 50%の粒子の径が d_{50} よりも小さい。

同様に、 d_5 は、5%の粒子の径が d_5 よりも小さいことを指し、 d_{95} は、95%の粒子の径が d_{95} よりも小さいことを指す。

粒子サイズ分布の算術平均 d_{arith} は、個々の粒子の粒子サイズの合計を粒子数で除することにより得られる。

30

【0031】

粒子サイズ分布の対称性は、その分布の算術平均 d_{arith} に対する中央値 d_{50} の比(すなわち、比 d_{50}/d_{arith} 、以下、粒子サイズ数分布の対称性値とも呼ぶ。)により表すことができる。この比が1.0に近づくほど、粒子サイズ分布はより対称である。

【0032】

驚くべきことに、セラミック基板中の酸化アルミニウムの粒子サイズ分布をできる限り対称とすることにより、機械的強度と熱伝導性のさらなる最適化を実現することができるが、本発明において明らかにされた。従って、好ましい実施形態によれば、セラミック基板の Al_2O_3 は、粒子サイズの数分布における中央値 d_{50} 及び算術平均 d_{arith} が、 d_{arith} に対する d_{50} の比(すなわち d_{50}/d_{arith})で0.75から1.10の範囲内、より好ましくは0.78から1.05の範囲内、さらに好ましくは0.80から1.00の範囲内である。

40

【0033】

例えば事前に原料基板の製造において、酸化アルミニウムの粒子サイズ分布の対称性を調整することのできる好適な方法は、当業者に公知である。例えば、粒子サイズ分布の対称性は、原料基板の製造における焼成時間及び焼成温度の影響を受ける。最終的な銅-セラミックス複合材料において上記の対称性値を実現することのできる Al_2O_3 基板は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。

50

【0034】

驚くべきことに、酸化アルミニウムの粒子サイズ分布の広がりがある特定の条件を満たすようにすることにより、機械的強度と熱伝導性のさらなる最適化を実現できることが明らかとなった。粒子サイズ分布を狭すぎるものとした場合、熱伝導性に悪影響を及ぼすことがある。一方、広すぎる粒子サイズ分布は、機械的強度に悪影響を及ぼすことがある。粒子サイズ分布の広がり、 d_{95} に対する d_5 の比により表すことができる。好ましい実施形態によれば、酸化アルミニウムは、粒子サイズの数分布における d_5 及び d_{95} が、 d_{95} に対する d_5 の比で 0.1 から 0.4 の範囲内、より好ましくは 0.11 から 0.35 の範囲内、さらに好ましくは 0.12 から 0.30 の範囲内である。

【0035】

10

酸化アルミニウムの粒子サイズの数分布は、好ましくは d_{95} が $\leq 15.0 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $4.0 \mu\text{m}$ から $15.0 \mu\text{m}$ の範囲内、さらに好ましくは $4.5 \mu\text{m}$ から $10.0 \mu\text{m}$ の範囲内、さらに好ましくは $5.0 \mu\text{m}$ から $8.0 \mu\text{m}$ の範囲内である。酸化アルミニウムの粒子サイズ数分布の d_5 は、好ましくは $\geq 0.1 \mu\text{m}$ であり； d_5 は、より好ましくは $0.1 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ の範囲内、さらに好ましくは $0.3 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ の範囲内、さらに好ましくは $0.5 \mu\text{m}$ から $2.0 \mu\text{m}$ の範囲内である。

【0036】

酸化アルミニウムの粒子サイズ数分布の好ましい d_{50} は、例えば $1.0 \mu\text{m}$ から $3.0 \mu\text{m}$ の範囲内である。

【0037】

20

本発明では、酸化アルミニウムの粒子サイズ数分布の d_5 、 d_{95} 及び d_{50} 値が、以下の条件を満たすように選択されることが好ましい：

$$9.5 \geq (d_{95} - d_5) / d_{50} \geq 0.7$$

【0038】

酸化アルミニウムの粒子を、セラミック基板の表面と平行な面への 2 次元投影においてできる限り円形又は丸い形とすることにより、機械的強度のさらなる最適化を実現することができる。個々の Al_2O_3 粒子の形状は、形状係数 (Form factor) R_K により表すことができる。これは、 $d_{K, \text{max}}$ の長さを半分にする箇所において $d_{K, \text{max}}$ に直交する粒子径 $d_{K, \text{ortho}}$ に対する最大粒子径 $d_{K, \text{max}}$ の比である (すなわち、 $R_K = d_{K, \text{ortho}} / d_{K, \text{max}}$)。

30

【0039】

Al_2O_3 粒子の形状係数 R_K の算術平均から、酸化アルミニウムの平均粒子形状係数 R_a (Al_2O_3) が得られる。例えば、酸化アルミニウム材料が細長い粒子を高い割合で含んでいる場合、この酸化アルミニウムの平均粒子形状係数は、比較的低い値となるであろう。一方、平均粒子形状係数の値が 1.0 に近づくほど、丸く円形の粒子の割合が高くなる。

【0040】

酸化アルミニウムの平均粒子形状係数 R_a (Al_2O_3) は、好ましくは ≥ 0.40 、より好ましくは ≥ 0.60 又は ≥ 0.80 である。例えば事前に原料基板の製造において、酸化アルミニウム粒子の形状を設定することのできる好適な方法は、当業者に公知である。例えば、 Al_2O_3 粒子の形状は、原料基板の製造における焼成時間及び焼成温度の影響を受ける。最終的な銅-セラミックス複合材料において上記の形状係数 R_a (Al_2O_3) を実現することのできる Al_2O_3 基板は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。

40

【0041】

銅-セラミックス複合材料におけるセラミック基板の好適な厚さは、当業者に公知である。通常、セラミック基板は、その面積の少なくとも 70%、より好ましくは少なくとも 90% に渡って、厚さが 0.2 mm から 1.2 mm の範囲内である。セラミック基板の厚さは、例えば約 0.38 mm から約 0.63 mm である。

【0042】

50

セラミック基板の厚さ (D_{cer}) 及びセラミック基板における酸化アルミニウムの粒子サイズ数分布の中央値 d_{50} は、好ましくは、 d_{50} に対する D_{cer} の比 (すなわち、 D_{cer}/d_{50}) が、0.001 から 0.01 の範囲内、より好ましくは 0.002 から 0.009 の範囲内、さらに好ましくは 0.004 から 0.008 の範囲内となるように選択される。このために、セラミック基板の厚さ D_{cer} を 1 箇所で求め、これを酸化アルミニウムの粒子サイズ数分布の中央値 d_{50} で除する。比 D_{cer}/d_{50} は、セラミック基板の面積の少なくとも 70%、より好ましくは少なくとも 90% に渡って、好ましくは 0.05 から 0.40 の範囲内である。

【0043】

酸化アルミニウムは、任意で酸化ジルコニウム (ZrO_2) により強化されていてもよい。通常、このような ZrO_2 強化 Al_2O_3 は、全質量に対して酸化ジルコニウムを 0.5 重量% から 30 重量% の割合で含む。また、酸化ジルコニウムは、任意で 1 又は 2 種以上のドーパ酸化物、特に酸化イットリウム、酸化カルシウム、酸化セリウム又は酸化マグネシウムにより、酸化ジルコニウム及び酸化アルミニウムの全質量に対して通常最大 0.01 重量% 又は最大 5% の割合でドーパされていてもよい。

【0044】

セラミック基板は、好ましくは Al_2O_3 を少なくとも 65 重量% 含む。 Al_2O_3 を強化する ZrO_2 が存在しない場合、セラミック基板は、 Al_2O_3 を少なくとも 95 重量%、好ましくは 96 重量% 含む。

【0045】

ZrO_2 強化酸化アルミニウムを用いる場合 (上記のように ZrO_2 は任意でドーパされている。)、セラミック基板は、当該 ZrO_2 強化 Al_2O_3 を少なくとも 96 重量%、好ましくは少なくとも 98 重量% 含む。

【0046】

セラミック基板は、例えば、熱伝導性が $\geq 20 W/mK$ 及び/又は曲げ破壊強度が $\geq 400 MPa$ であってよい。

【0047】

セラミック基板は、単基板 (Einzelsubstrat) として存在しうる。あるいは、セラミック基板は、当該セラミック基板を 2 つ以上の領域に分割する 1 又は 2 以上の (好ましくは直線の) 選択的破壊線を有し、金属被膜 (例えば、銅又は銅合金からなる被膜) がこれら領域の少なくとも 1 つに貼り付けられていてもよい。このような選択的破壊線を有する多数個取り基板 (Mehrfachsubstrat) の構造としては、例えば DE 43 199 44 A1 及び DE 199 270 46 A1 を参照することができる。

【0048】

金属-セラミックス複合材料におけるセラミック基板 (単基板又は多数個取り基板のいずれであっても) の好適な寸法 (長さ x 幅) は、当業者に公知である。例えば、セラミック基板は、長さ x 幅の寸法が (180 mm から 200 mm) x (130 mm から 150 mm) 又は (180 mm から 200 mm) x (270 mm から 290 mm) であってよい。より小さい寸法、例えば (8 mm から 12 mm) x (8 mm から 12 mm) も可能である。

【0049】

上記のように、セラミック基板上には銅又は銅合金の被膜が存在する。

【0050】

セラミック基板の金属化には、例えばダイレクト銅ボンディング (通常 DCB 法と呼ばれる。) や活性化金属ろう付け (通常 AMB 法と呼ばれる。) 等の様々な方法を用いることができる。

【0051】

銅又は銅合金の粒子サイズは、好ましくは 10 μm から 300 μm の範囲内、より好ましくは 15 μm から 250 μm の範囲内、さらに好ましくは 20 μm から 210 μm の範囲内である。この粒子サイズの範囲内において、銅又は銅合金は、銅-セラミックス複合

10

20

30

40

50

材料が度重なる温度変化ストレスにさらされるような場合でも、セラミック基板への強い接着を示す。同時に、この粒子サイズの銅又は銅合金は、十分なワイヤーボンディングを形成することができる。優れたワイヤーボンディングを示す金属被膜は、ボンドワイヤーと強固な結合を形成して、望ましくないボンドワイヤーの脱落のリスクを最小化する。本発明において、これらの値は粒子サイズ分布の厳密な上限及び下限とはみなされず、±10%の範囲内で変動しうる。しかし、好ましい実施形態によれば、これらの値は、銅又は銅合金の粒子サイズ分布の下限（粒子サイズがそれより小さくならない）及び上限（それを超えない）である。したがって、好ましい実施形態によれば、銅又は銅合金は、上記の範囲外となる粒子を持たない。よって、銅の最小及び最大粒子サイズを $d_{min}(Cu)$ 及び $d_{max}(Cu)$ とすると、好ましくは $d_{min}(Cu) \geq 10 \mu m$ かつ $d_{max}(Cu) \leq 300 \mu m$ 、より好ましくは $d_{min}(Cu) \geq 15 \mu m$ かつ $d_{max}(Cu) \leq 250 \mu m$ 、さらに好ましくは $d_{min}(Cu) \geq 20 \mu m$ かつ $d_{max}(Cu) \leq 210 \mu m$ である。

10

【0052】

好適な粒子サイズ分布を有する銅箔原料を用いることによって、銅—セラミックス複合材料における粒子サイズを望ましい値に設定することができる。そのような銅箔は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。任意で原料箔を熱処理することにより、粒子サイズの微調整を行うことができる。

【0053】

好ましい実施形態によれば、銅又は銅合金は、粒子サイズの数分布において、5%以下の粒子の粒子サイズが $15 \mu m$ 未満、好ましくは $20 \mu m$ 未満、より好ましくは $25 \mu m$ 未満であり、及び／又は、少なくとも95%の粒子の粒子サイズが、 $250 \mu m$ 未満、好ましくは $230 \mu m$ 未満、より好ましくは $200 \mu m$ 未満である。

20

【0054】

銅又は銅合金の粒子サイズの数分布は、好ましくは $d_{95} \leq 250 \mu m$ 、より好ましくは $140 \mu m$ から $250 \mu m$ の範囲内、さらに好ましくは $140 \mu m$ から $230 \mu m$ の範囲内、さらに好ましくは $150 \mu m$ から $200 \mu m$ の範囲内である。銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の d_5 は、好ましくは $\geq 15 \mu m$ であり； d_5 は、より好ましくは $15 \mu m$ から $80 \mu m$ の範囲内、さらに好ましくは $20 \mu m$ から $75 \mu m$ の範囲内、さらに好ましくは $25 \mu m$ から $70 \mu m$ の範囲内である。これにより、銅又は銅合金の耐熱衝撃性及びボンディング挙動のさらなる最適化を実現することができる。

30

【0055】

銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の好ましい d_{50} は、例えば $55 \mu m$ から $115 \mu m$ の範囲内である。

【0056】

本発明において、銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の d_5 、 d_{50} 及び d_{95} 値は、以下の条件を満たすように選択されることが好ましい：

$$4. \quad 0 \leq (d_{95} - d_5) / d_{50} \leq 0.5$$

【0057】

好ましい実施形態によれば、銅又は銅合金は、粒子サイズの数分布における中央値 d_{50} 及び算術平均 d_{arith} が、 d_{arith} に対する d_{50} の比（すなわち d_{50} / d_{arith} 、以後、しばしば銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の対称性値 $S(Cu)$ とも称する。）で 0.75 から 1.10 の範囲内、より好ましくは 0.78 から 1.05 の範囲内、さらに好ましくは 0.80 から 1.00 の範囲内である。これにより、耐熱衝撃性及びワイヤーボンディング特性のさらなる最適化を実現することができる。銅、例えば事前に原料銅箔における粒子サイズ分布の対称性を設定することのできる好適な方法は、当業者に公知である。例えば、銅箔における粒子サイズ分布の対称性は、好適な処理温度又はローラー処理の影響を受けうる。最終的な銅—セラミックス複合材料において上記の対称性値を実現することのできる原料銅箔は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。

40

50

【0058】

好ましい実施形態によれば、銅又は銅合金は、粒子サイズの数分布における d_{50} 及び d_{95} が、 d_{95} に対する d_{50} の比で0.1から0.4の範囲内、より好ましくは0.11から0.35の範囲内、さらに好ましくは0.12から0.30の範囲内である。これにより、耐熱衝撃性及びワイヤーボンディング特性のさらなる最適化を実現することができる。

【0059】

銅又は銅合金の平均粒子形状係数 $R_a(Cu)$ は、好ましくは ≥ 0.40 、より好ましくは ≥ 0.60 又は ≥ 0.80 である。上記のように、個々の粒子の形状は、形状係数 R_K により表すことができる。これは、 $d_{K, max}$ の長さを半分にする箇所において $d_{K, max}$ に直交する粒子径 $d_{K, ortho}$ に対する最大粒子径 $d_{K, max}$ の比である（すなわち、 $R_K = d_{K, ortho} / d_{K, max}$ ）。銅の平均粒子形状係数 $R_a(Cu)$ は、粒子の形状係数 R_K の算術平均から求めることができる。銅中、例えば原料銅箔の時点における粒子形状を設定することのできる好適な方法は、当業者に公知である。例えば、銅箔における粒子形状は、好適な処理温度又はローラー処理の影響を受けうる。最終的な銅—セラミックス複合材料において上記の平均粒子形状係数 $R_a(Cu)$ を実現することのできる原料銅箔は、市販されているか、標準的な方法により得ることができる。

【0060】

銅—セラミックス複合材料における銅又は銅合金からなる被膜の好適な厚さは、当業者に公知である。下記のように、銅又は銅合金の一部は、例えば周辺弱体化部を形成するために、被膜のある部分、特に周辺領域で再び除去される。したがって、本発明では、金属被膜は様々な厚さを有しうるものである。通常、銅又は銅合金からなる被膜は、その面積の少なくとも70%に渡って、厚さが0.2mmから1.2mmの範囲内である。例えば、厚さは約300 μm であってよい。

【0061】

銅又は銅合金からなる被膜の厚さ(D_{Cu})及び銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の中央値 d_{50} は、好ましくは d_{50} に対する D_{Cu} の比が0.05から0.40の範囲内となるように選択される。このために、銅又は銅合金の厚さ D_{Cu} を皮膜の1箇所であって、これを銅又は銅合金の粒子サイズ数分布の中央値 d_{50} で除する。比 D_{Cu} / d_{50} は、銅又は銅合金からなる被膜の面積の少なくとも70%、より好ましくは少なくとも90%に渡って、好ましくは0.05から0.40の範囲内である。

【0062】

被膜の銅は、好ましくは純度が $\geq 99.50\%$ 、より好ましくは $\geq 99.90\%$ 、さらに好ましくは $\geq 99.95\%$ あるいは $\geq 99.99\%$ である。

【0063】

銅又は銅合金からなる被膜は、好ましくはDCB法によりセラミック基板に貼り付けられる。上記のように、通常のDCB法は、例えば以下の工程からなる：

- 銅箔を酸化して、表面に酸化銅層を形成する；
- 酸化銅層を形成した銅箔をセラミック基板に載せる；
- 複合材料を $< 1083^\circ C$ の温度（例えば $1065^\circ C$ から $1080^\circ C$ の温度範囲）で加熱する；
- 室温まで冷却する。

【0064】

DCB法の結果として、スピネル結晶子（例えば、銅—アルミニウムスピネル）が、銅又は銅合金からなる被膜とセラミック基板の間に存在しうる。

【0065】

銅又は銅合金からなる被膜は、例えばセラミック基板の片面のみに貼り付けられていてもよい。あるいは、セラミック基板の両面（すなわち上面及び下面）に銅又は銅合金からなる被膜が設けられていてもよい。図1に、セラミック基板1が銅又は銅合金からなる被膜2を下面及び上面の両方に有する、例示的な銅—セラミックス複合材料を示す。図2に

、セラミック基板 1 の複数の領域のそれぞれに銅又は銅合金からなる被膜 2 を設けた例示的な銅－セラミックス複合材料を示す。下記のように、個々の金属化領域は、選択的破壊線（図 2 では図示せず。）により互いに分離されることで、当該選択的破壊線に沿った破壊により個別化されてもよい。

【0066】

電気接触部を形成するために、銅又は銅合金からなる被膜を少なくとも部分的に構造化することができる。金属被膜の構造化は、公知の方法、特に（例えばエッチングマスクを用いた）エッチング法により行うことができる。

【0067】

エッチング法では、銅又は銅合金を、いくつかの小領域において完全に除去して、セラミック基板の表面を当該小領域において露出させる。さらに、銅又は銅合金からなる被膜は、1 又は 2 以上の凹部（好ましくは円形凹部）を有していてもよく、これは、エッチング法により凹部を導入する領域の銅又は銅合金を一部のみを除去することにより得てもよく、この領域においてセラミック基板の表面は、依然として銅又は銅合金に被覆されている。それに代えて、又はそれに加えて、銅又は銅合金をセラミックス表面まで完全にエッチングしてもよい。銅又は銅合金からなる被膜の好ましくは周辺領域におけるこのような凹部の可能な配置に関しては、例えば DE 4 0 0 4 8 4 4 C 1 及び DE 4 3 1 8 2 4 1 A 1 が参照される。

【0068】

銅又は銅合金の粒子特性とセラミック基板の酸化アルミニウムの粒子特性を互いに調和させることによって、銅－セラミックス複合材料の特性のさらなる改善を実現することができる。

【0069】

好ましい実施形態によれば、 $d_{50}(\text{Cu})$ に対する $d_{50}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の比は、0.008 から 0.055 の範囲内、好ましくは 0.010 から 0.045 の範囲内である。これにより、銅－セラミックス複合材料における銅－セラミックス接着及び耐熱衝撃性のさらなる最適化を実現することができる。

【0070】

好ましい実施形態によれば、銅又は銅合金は、粒子サイズの数分布における中央値 d_{50} 、算術平均 d_{arith} 及び対称性値 $S(\text{Cu}) = d_{50} / d_{arith}$ を有し、酸化アルミニウムは、粒子サイズの数分布における中央値 d_{50} 、算術平均 d_{arith} 及び対称性値 $S(\text{Al}_2\text{O}_3) = d_{50} / d_{arith}$ を有し、 $S(\text{Cu})$ 及び $S(\text{Al}_2\text{O}_3)$ が以下の条件を満たす：

$$0.7 \leq S(\text{Al}_2\text{O}_3) / S(\text{Cu}) \leq 1.4.$$

【0071】

より好ましくは、 $S(\text{Cu})$ 及び $S(\text{Al}_2\text{O}_3)$ が以下の条件を満たし：

$$0.74 \leq S(\text{Al}_2\text{O}_3) / S(\text{Cu}) \leq 1.35 ;$$

さらに好ましくは以下の条件を満たす：

$$0.80 \leq S(\text{Al}_2\text{O}_3) / S(\text{Cu}) \leq 1.25.$$

【0072】

これにより、銅－セラミックス複合材料の耐熱衝撃性を改善することができる。

【0073】

より好ましい実施形態によれば、酸化アルミニウムの平均粒子形状係数 $R_a(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 及び銅又は銅合金の平均粒子形状係数 $R_a(\text{Cu})$ が、以下の条件を満たす：

$$0.5 \leq R_a(\text{Al}_2\text{O}_3) / R_a(\text{Cu}) \leq 2.0.$$

【0074】

さらに好ましくは、

$$0.75 \leq R_a(\text{Al}_2\text{O}_3) / R_a(\text{Cu}) \leq 1.5 ;$$

また、さらに好ましくは、

$$0.80 \leq R_a(\text{Al}_2\text{O}_3) / R_a(\text{Cu}) \leq 1.20$$

である。

これにより、銅－セラミックス複合材料の耐熱衝撃性のさらなる最適化を実現することができる。

【0075】

好ましい実施形態によれば、酸化アルミニウムは、粒子サイズが $d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ から $d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の範囲内であり、銅又は銅合金は、粒子サイズが $d_{\min}(\text{Cu})$ から $d_{\max}(\text{Cu})$ の範囲内であり、
 $d_{\max}(\text{Cu})$ に対する $d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の比及び $d_{\min}(\text{Cu})$ に対する $d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の比が、以下の (i) 及び (ii) を満たす：

$$(i) \quad d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\max}(\text{Cu}) \geq 1 \times 10^{-5};$$

$$(ii) \quad 2.5 \geq d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\min}(\text{Cu}).$$

10

【0076】

$d_{\max}(\text{Cu})$ に対する $d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の比及び $d_{\min}(\text{Cu})$ に対する $d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3)$ の比は、さらに好ましくは以下の (i) 及び (ii) を満たす：

$$(i) \quad d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\max}(\text{Cu}) \geq 0.001;$$

$$(ii) \quad 1.5 \geq d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\min}(\text{Cu});$$

最も好ましくは以下の (i) 及び (ii) を満たす：

$$(i) \quad d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\max}(\text{Cu}) \geq 0.002;$$

$$(ii) \quad 1.0 \geq d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\min}(\text{Cu}).$$

【0077】

特に好ましい実施形態によれば、

$$(i) \quad 0.005 \geq d_{\min}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\max}(\text{Cu}) \geq 0.002; \text{ かつ}$$

$$(ii) \quad 1.0 \geq d_{\max}(\text{Al}_2\text{O}_3) / d_{\min}(\text{Cu}) \geq 0.05 \text{ である。}$$

【0078】

これにより、度重なる温度変化ストレスにも耐える、金属被膜とセラミック基板との間の強い接着を実現することができる。上記のように、銅の最小及び最大粒子サイズを $d_{\min}(\text{Cu})$ 及び $d_{\max}(\text{Cu})$ とすると、好ましくは $d_{\min}(\text{Cu})$ が $\geq 10 \mu\text{m}$ かつ $d_{\max}(\text{Cu})$ が $\leq 300 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $d_{\min}(\text{Cu})$ が $\geq 15 \mu\text{m}$ かつ $d_{\max}(\text{Cu})$ が $\leq 250 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $d_{\min}(\text{Cu})$ が $\geq 20 \mu\text{m}$ かつ $d_{\max}(\text{Cu})$ が $\leq 210 \mu\text{m}$ である。

30

【0079】

本発明によれば、さらに、少なくとも1種の上記の金属－セラミックス複合材料及び1又は2以上のボンドワイヤーを含むモジュールが提供される。1又は2以上のボンドワイヤーが、通常、銅又は銅合金からなる被膜に接合される。ワイヤーを金属被膜に接合する好適な方法は、当業者に公知である。モジュールは、さらに1又は2以上の電子部品、例えば1又は2以上のチップを含みうる。

【0080】

本発明において、セラミック基板の酸化アルミニウムの粒子構造及び金属被膜の銅又は銅合金の粒子構造は、以下のようにして測定される：

【0081】

(セラミック基板の酸化アルミニウムの粒子サイズ分布)

セラミック基板の表面の走査顕微鏡写真 (SEM像) を撮影する。研磨切片の形態の特別な試料調製は不要である。SEM像は、セラミック基板の銅で覆われていた箇所をエッチングにより露出させて撮影する。

【0082】

粒子サイズは、直線交差法により求める。直線交差法は、当業者に公知であり、例えば ASTM 112-13 に記載されている。

【0083】

ラインパターンが少なくとも50個の Al_2O_3 粒子と交差するような倍率を選択する。セラミック基板が化学組成の異なる粒子、例えば ZrO_2 粒子を含む場合は、これらは

50

S E M像では二次電子コントラストにより Al_2O_3 粒子と簡単に見分けることができるので、その後の算出には含めない。

【0084】

本発明においては、光学顕微鏡写真上で x 方向に 2 本の平行線を引き、y 方向に 2 本の平行線を引く。これらのラインにより、画像はそれぞれ幅の等しい 3 つの帯に分割される。図 3 にこれを模式的に示す。粒子がラインの 1 本と長さ L にわたって交差した場合、この長さ L を粒子サイズとする。このようにして、ラインの 1 本と交差する各粒子の粒子サイズが得られる。2 本のラインの交点では、1 つの粒子に対して 2 つの値が得られ、これらはどちらも粒子サイズ分布の測定に用いられる。

【0085】

交差した粒子の粒子サイズから結果として粒子サイズ分布が得られ、そこから d_{50} 、 d_{50} 及び d_{95} 値や算術平均 d_{arith} を求めることができる。

【0086】

上記のように、また当業者に公知であるように、しばしば中央値とも呼ばれる d_{50} は、以下に相当する：50%の粒子の直径が d_{50} よりも小さい。同様に、 d_5 とは、5%の粒子の直径が d_5 よりも小さくなる値であり、 d_{95} とは、95%の粒子の直径が d_{95} よりも小さくなる値である。

粒子サイズ分布の算術平均は、個々の粒子の粒子サイズの合計を交差した粒子の数で除することにより得られる。

【0087】

(銅又は銅合金の粒子サイズ分布)

銅又は銅合金からなる被膜の表面の光学顕微鏡写真を撮る(被覆された基板表面と平行)。研磨切片の形態の特別な試料調製は不要である。

【0088】

粒子サイズは、直線交差法により求める。直線交差法は、当業者に公知であり、例えば ASTM 112-13 に記載されている。

【0089】

ラインパターンが少なくとも 50 個の粒子と交差するような倍率を選択する。

【0090】

直線交差法によるさらなる評価に関しては、上記の酸化アルミニウムについての記載を参照しうる。

【0091】

このように、銅又は銅合金の粒子サイズ及び Al_2O_3 の粒子サイズは、どちらも被覆された基板表面と平行な面又は前者と同一面において求められる。

【0092】

(個々の粒子の形状係数、平均粒子形状係数)

(酸化アルミニウム)

粒子サイズ分布の測定に用いた S E M 像を用いる。

【0093】

個々の粒子の形状係数を求めるため、以下の手順を用いる：

最も長い寸法 $d_{K, max}$ を求める。続いて、 $d_{K, max}$ の長さを半分にする箇所において $d_{K, max}$ に直交する粒子径 $d_{K, ortho}$ を求める。個々の粒子 R_K の形状係数は、 $d_{K, max}$ に対する $d_{K, ortho}$ の比、すなわち $R_K = d_{K, ortho} / d_{K, max}$ として得られる。

【0094】

図 4 に、楕円形の粒子構造を持つ粒子についてこれを模式的に示す。粒子の形状の 2 次元投影が円形に近づくにつれ、粒子の形状係数の値は 1.0 に近づく。したがって、形状係数は、粒子の真円度 (Kreisformigkeit) / 円形度 (Rundheit) の尺度でもある。

【0095】

SEM像の少なくとも50個の粒子について、形状係数を求める。通常、直線交差法の際にラインと交差した粒子を評価する。

【0096】

そして、酸化アルミニウムの平均粒子形状係数は、個々の Al_2O_3 粒子の形状係数の算術平均（すなわち、個々の形状係数の合計を試験した粒子数で除したもの）として得られる。

【0097】

（銅、銅合金）

粒子サイズ分布の測定に用いた光学顕微鏡写真を用いる。

【0098】

銅又は銅合金の個々の粒子の形状係数及び平均粒子形状係数の測定に関しては、上記の Al_2O_3 についての記載を参照することができる。

【0099】

銅又は銅合金の粒子形状係数及び Al_2O_3 の粒子形状係数は、どちらも被覆された基板表面と平行な面又は前者と同一面において求める。

【0100】

本発明の銅—セラミック基板の製造に好ましく用いられるボンディング法を以下に記載する：

【0101】

本発明において、銅被膜をセラミック基板に貼り付けるために好ましく用いられる典型的な方法は、例えば文書US3744120、US3994430、EP0085914A又はDE2319854Aにより公知であり、これらの対応する開示は、本発明に参照により援用される。

【0102】

これらに開示される製造方法のすべて、例えばダイレクト銅ボンディング法（DCB法）では、本質的に均一な酸化銅層が得られるように、最初に銅箔を酸化するのが一般的である。次いで、得られた銅箔をセラミック基板上に配置し、セラミック基板と銅箔の複合材料を約1025℃から1083℃の範囲内の処理温度、すなわちボンディング温度に加熱すると、その結果として金属化セラミック基板が得られる。ボンディング後、銅箔は被膜となる。最後に、得られる金属化セラミック基板を冷却する。

【0103】

セラミック基板と銅箔の接合は、加熱炉、通常はボンディング炉で行う。しばしばトンネル窯とも呼ばれるこのボンディング炉は、特に、長いトンネル状の炉内空間（マッフルとも呼ばれる。）と、加熱装置により加熱された炉内空間で処理される材料を輸送するための輸送装置とを有し、当該輸送装置は、例えば柔軟で耐熱性のあるコンベアベルトである輸送部を備える。セラミック基板は、銅箔と共にコンベアベルトの支持体上に配置され、次いでコンベアベルトによってボンディング炉の加熱領域に通されて、所望のボンディング温度に達する。ボンディング法の最後に、得られた本発明に係るセラミック基板と銅箔の複合材料を再び冷却する。

【0104】

この方法は、原則として、片面が金属化されたセラミック基板の製造に用いられ、両面が金属化された基板の製造にも用いられる。両面が金属化された基板の製造は、通常、2段階ボンディング法、すなわち2段階の単層法（SLB法）により行われる。本発明においては、2段階ボンディング法を用いるのが好ましい。

【0105】

本発明に係る両面が金属化されたセラミック基板を製造するための2段階ボンディング法では、炉に2回通すことで、セラミック基板の両面の銅箔にセラミックスが接合される。

【0106】

このために、最初にセラミック基板を支持体に載置し、次いで上面、すなわち支持体と

10

20

30

40

50

は反対側を銅箔で覆う。熱の作用によりセラミック基板のこの面に金属層が接合され、次いで得られたものを冷却する。

【0107】

続いて、基板を裏返し、第2のボンディング工程により同様にして他の面に金属層、すなわち銅箔を設ける。

【0108】

単基板 (E i n z e l - T e i l - K a r t e n) 又は複数の単基板に割ることができる大型基板 (G r o s s k a r t e n) を製造することが可能である。

【実施例】

【0109】

以下の実施例では、セラミック基板における酸化アルミニウムの粒子構造が、どのように銅-セラミックス複合材料の機械的強度及び熱伝導性に影響するのかを示す。

【0110】

セラミック基板における酸化アルミニウムの粒子サイズ分布が異なる5種の銅-セラミックス試料をDCB法により作製した。

銅-セラミックス複合材料1、以下「K-K-V1」と称する (本発明)

銅-セラミックス複合材料2、以下「K-K-V2」と称する (比較試料)

銅-セラミックス複合材料3、以下「K-K-V3」と称する (比較試料)

銅-セラミックス複合材料4、以下「K-K-V4」と称する (比較試料)

銅-セラミックス複合材料5、以下「K-K-V5」と称する (比較試料)

【0111】

これら5種の銅-セラミックス複合材料のそれぞれについて、セラミック基板の上面及び下面の両方に銅被膜を設けた。まず、SLB法により銅被膜をセラミック基板の片面に貼り付けた。次いで、SLB法によりさらなる銅被膜をセラミック基板の反対側の面に設けて、セラミックスの2面のそれぞれに銅箔を貼り付けた銅-セラミック基板を形成した。次いで、各試料について、2面の銅被膜の1面をエッチング法により構造化 (全試料で同一の構造化) した。5つの例のすべてにおいて、基板は Al_2O_3 を96重量%有していたが、その粒子構造は異なっていた。

【0112】

5種の銅-セラミックス複合材料は、セラミック基板が以下の寸法：

セラミック基板の厚さ：0.38mm；

セラミック基板の長さx幅：190x140mm²であった。

【0113】

各例の銅被膜は、厚さが0.3mmであった。

【0114】

図5に、K-K-V1のセラミック基板表面のSEM像を示す。これを用いて、実施例K-K-V1の Al_2O_3 粒子サイズを測定した。

【0115】

試料K-K-V1からK-K-V5における Al_2O_3 の粒子サイズ分布の粒子サイズ範囲及び対称性値を表1に示す。

【0116】

5種の試料のそれぞれについて、銅-セラミックス複合材料におけるセラミック基板の曲げ破壊強度及び熱伝導性の両方を測定した。

【0117】

曲げ破壊強度の測定では、破壊に至る力を3点曲げにより測定した。測定はDIN EN 843-1 (2008)に基づくが、試料の幾何学的形状は、好ましくは、試料が20x40x0.38mm³又は20x40x0.63mm³の寸法を有するという点で、DIN EN 843-1 (2008)とは異なる。

【0118】

結果を以下の表1に要約する。

【0119】

【表1】

銅－セラミックス複合材料のセラミック基板の機械的強度及び熱伝導性

		機械的 強度	熱伝導性
試料K-K-V1 (本発明)	粒子サイズ範囲:0.63~13.3 μm	++	++
	対称性値 d_{50}/d_{arith} :0.86		
試料K-K-V2 (比較)	粒子サイズ範囲:0.74~15.1 μm	++	-
	対称性値 d_{50}/d_{arith} :0.66		
試料K-K-V3 (比較)	粒子サイズ範囲:0.58~9.7 μm	-	++
	対称性値 d_{50}/d_{arith} :1.31		
試料K-K-V4 (比較)	粒子サイズ範囲:3.1~28.4 μm	+	+
	対称性値 d_{50}/d_{arith} :0.84		
試料K-K-V5 (比較)	粒子サイズ範囲:0.003~1.49 μm	+++	-
	対称性値 d_{50}/d_{arith} :0.85		

10

20

【0120】

また、酸化アルミニウムの粒子サイズ分布の広がりが機械的強度及び熱伝導性に及ぼす効果を調査した。結果を表2に示す。

【0121】

【表2】

 Al_2O_3 粒子サイズ分布の広がりの効果

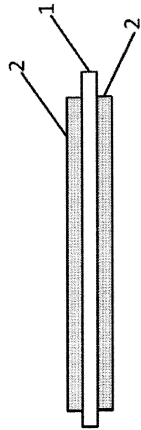
Al_2O_3 分布の広がり d_5/d_{95}	機械的強度	熱伝導性
0.24	+	+
0.03	+	-
0.61	-	+

30

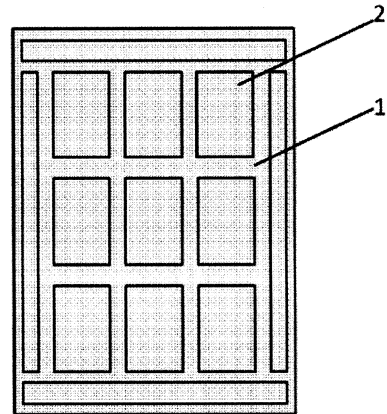
【0122】

表2が示すように、粒子サイズ分布の広がりを本発明に従った範囲内とすることで、セラミック基板部分における機械的強度及び熱伝導性のさらなる最適化を実現することができる。

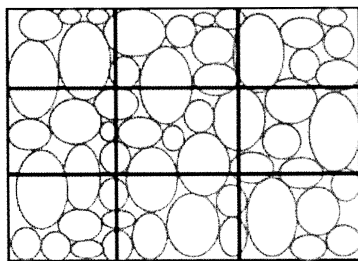
【図 1】



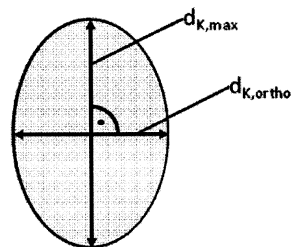
【図 2】



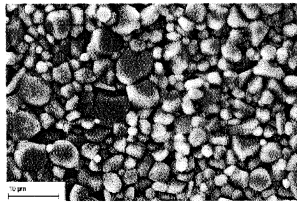
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 ムシエルクナウツ クリスチャン
ドイツ連邦共和国 6 4 2 9 1 ダルムシュタット、アム プロムベールベルク 3

審査官 神▲崎▼ 賢一

(56)参考文献 国際公開第2 0 1 1 / 1 5 2 3 6 3 (WO, A 1)
特開2 0 0 5 - 1 1 9 9 2 6 (JP, A)
国際公開第2 0 1 0 / 1 1 4 1 2 6 (WO, A 1)
国際公開第2 0 1 3 / 0 0 8 9 1 9 (WO, A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C 0 4 B 3 7 / 0 2
C 0 4 B 3 5 / 1 1 1
H 0 5 K 1 / 0 3