

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2023年2月2日(02.02.2023)



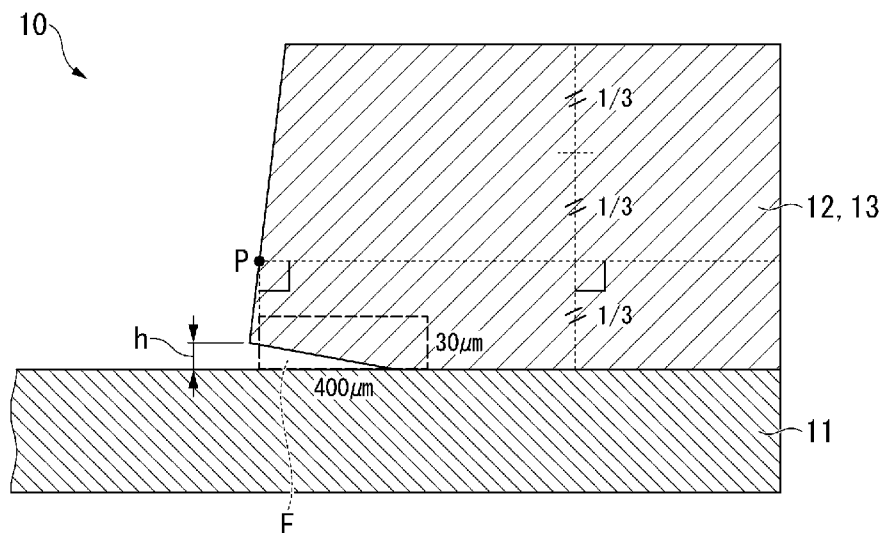
(10) 国際公開番号

WO 2023/008562 A1

- (51) 国際特許分類:  
C04B 37/02 (2006.01) H01L 23/13 (2006.01)  
H01L 23/12 (2006.01) H05K 1/09 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/029314
- (22) 国際出願日: 2022年7月29日(29.07.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2021-125531 2021年7月30日(30.07.2021) JP
- (71) 出願人: 三菱マテリアル株式会社 (MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008117 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 寺▲崎▼ 伸幸 (TERASAKI Nobuyuki); 〒3308508 埼玉県さいたま市大宮区北袋町一丁目600番地 三菱マテリアル株式会社 イノベーションセンター内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

(54) Title: COPPER/CERAMIC BONDED BODY AND INSULATED CIRCUIT BOARD

(54) 発明の名称: 銅/セラミックス接合体、および、絶縁回路基板



(57) Abstract: A copper/ceramic bonded body (10) according to the present invention is obtained as a result of the bonding of copper members (12), (13) comprising copper or a copper alloy, and a ceramic member (11). In the bonding interface between the ceramic member (11) and the copper members (12), (13), the distance between the ceramic member (11) and the copper members (12), (13) in an edge portion of the copper members (12), (13) is in the range of 3 µm to 30 µm, and the void fraction in an end region (E) of the copper members (12), (13) is 10% or less.

(57) 要約: 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(12)、(13)と、セラミックス部材(11)とが接合されてなる銅/セラミックス接合体(10)であって、セラミックス部材(11)と銅部材(12)、(13)との接合界面において、銅部材(12)、(13)の端部におけるセラミックス部材(11)と銅部材(12)、(13)との間の距離が3µm以上30µm以下の範囲内とされるとともに、銅部材(12)、(13)の端部領域(E)におけるポイド率が10%以下である。

WO 2023/008562 A1

PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,  
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,  
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,  
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,  
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

### 発明の名称：銅／セラミックス接合体、および、絶縁回路基板 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、および、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に関するものである。

本願は、2021年7月30日に、日本に出願された特願2021-125531号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

### 背景技術

[0002] パワーモジュール、LEDモジュールおよ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素子およ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、セラミックス基板の他方の面に金属板を接合して形成した放熱用の金属層と、を備えた絶縁回路基板が、従来から広く用いられている。

[0003] 例えば、特許文献1には、セラミックス基板の一方の面および他方の面に、銅板を接合することにより回路層およ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および他方の面に、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）。

また、特許文献2においては、銅又は銅合金からなる銅板と、AlN又は

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるセラミックス基板とが、AgおよびTiを含む接合材を用いて接合されたパワーモジュール用基板が提案されている。

- [0004] さらに、特許文献3には、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と、セラミックス基板とが、Al-Si系、Al-Ge系、Al-Cu系、Al-Mg系またはAl-Mn系等の合金からなるろう材を用いて接合されたパワーモジュール用基板が提案されている。そして、この特許文献3においては、セラミックス基板の一方の面に形成された回路層およびセラミックス基板の他方の面に形成された放熱層の周囲に張出部が形成されている。これにより、回路層と放熱層との絶縁性を確保するとともに、回路層および放熱層における熱容量を増やしている。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0005] 特許文献1：日本国特許第3211856号公報（B）  
特許文献2：日本国特許第5757359号公報（B）  
特許文献3：日本国特許第5957862号公報（B）

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] ところで、最近では、絶縁回路基板に搭載される半導体素子の発熱温度が高くなる傾向にあり、絶縁回路基板には、従来にも増して、厳しい冷熱サイクルに耐えることができる冷熱サイクル信頼性が求められている。

ここで、銅板とセラミックス基板とを接合した絶縁回路基板において、特許文献3に記載されたように、回路層に張出部を形成した場合には、冷熱サイクルを負荷した際に、熱応力が回路層の端部に集中し、接合信頼性が低下するおそれがあった。

- [0007] 一方、銅部材の端部における強度を確保するために、端部の接合層の厚さを厚くした場合には、銅部材とセラミックス部材の間に配設された接合材がはみ出し、いわゆる「ろう染み」と呼ばれる欠陥が生じるおそれがあった。

[0008] 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、冷熱サイクル信頼性に優れ、かつ、ろう染みの発生が十分に抑制された銅／セラミックス接合体、および、この銅／セラミックス接合体からなる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

[0009] 前述の課題を解決するために、本発明の一態様に係る銅／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接合界面において、前記銅部材の端部における前記セラミックス部材と前記銅部材との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされるとともに、前記銅部材の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下であることを特徴としている。

[0010] 本発明の一態様に係る銅／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接合界面において、前記銅部材の端部における前記セラミックス部材と前記銅部材との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上とされるとともに、前記銅部材の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下とされているので、端面の接合層の厚さが確保され、端部の強度を十分に確保することが可能となる。よって、冷熱サイクルを負荷した際のセラミックス部材の割れや剥がれを抑制することができる。

また、前記銅部材の端部における前記セラミックス部材と前記銅部材との間の距離が $30\ \mu\text{m}$ 以下とされているので、接合材のはみ出しを抑制でき、「ろう染み」の発生を抑制することができる。

[0011] ここで、本発明の一態様に係る銅／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接合界面において、前記セラミックス部材側には活性金属化合物層が形成されており、前記銅部材の前記端部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1A}$ および前記銅部材の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1B}$ が $0.05\ \mu\text{m}$ 以上 $1.2\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、厚さ比 $t_{1A}/t_{1B}$ が $0.7$ 以上 $1.4$ 以下の範囲内とされているこ

とが好ましい。

[0012] この場合、前記銅部材の前記端部における前記活性金属化合物層の厚さ  $t_{1A}$  および前記銅部材の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ  $t_{1B}$  が  $0.05 \mu\text{m}$  以上  $1.2 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされているので、活性金属によってセラミックス部材と銅部材とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることがさらに抑制される。

そして、厚さ比  $t_{1A}/t_{1B}$  が  $0.7$  以上  $1.4$  以下の範囲内とされているので、前記銅部材の端部と中央部とで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス部材の割れの発生をさらに抑制することができる。

[0013] また、本発明の一態様に係る銅／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接合界面において、前記銅部材側には  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層が形成されており、前記銅部材の前記端部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2A}$  および前記銅部材の中央部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2B}$  が  $3 \mu\text{m}$  以上  $30 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされ、厚さ比  $t_{2A}/t_{2B}$  が  $0.7$  以上  $1.4$  以下の範囲内とされていることが好ましい。

[0014] この場合、前記銅部材の前記端部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2A}$  および前記銅部材の中央部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2B}$  が  $3 \mu\text{m}$  以上  $30 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされているので、接合材の  $\text{Ag}$  が銅部材と十分に反応してセラミックス部材と銅部材とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることがさらに抑制される。

そして、厚さ比  $t_{2A}/t_{2B}$  が、 $0.7$  以上  $1.4$  以下の範囲内とされているので、前記銅部材の端部と中央部とで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス部材の割れの発生をさらに抑制することができる。

[0015] 本発明の一態様に係る絶縁回路基板は、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接合界面において、前記銅板の端部における前記

セラミックス基板と前記銅板との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされるとともに、前記銅板の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下であることを特徴としている。

[0016] 本発明の一態様に係る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接合界面において、前記銅板の端部における前記セラミックス基板と前記銅板との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上とされるとともに、前記銅板の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下とされているので、端面の接合層の厚さが確保され、端部の強度を十分に確保することが可能となる。よって、冷熱サイクルを負荷した際のセラミックス基板の割れや剥がれを抑制することができる。

また、前記銅板の端部における前記セラミックス基板と前記銅板との間の距離が $30\ \mu\text{m}$ 以下とされているので、接合材のはみ出しを抑制でき、「ろう染み」の発生を抑制することができる。

[0017] ここで、本発明の一態様に係る絶縁回路基板においては、前記銅板の端部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1A}$ および前記銅板の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1B}$ が $0.05\ \mu\text{m}$ 以上 $1.2\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、厚さ比 $t_{1A}/t_{1B}$ が $0.7$ 以上 $1.4$ 以下の範囲内とされていることが好ましい。

[0018] この場合、前記銅板の端部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1A}$ および前記銅板の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1B}$ が $0.05\ \mu\text{m}$ 以上 $1.2\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされているので、活性金属によってセラミックス基板と銅板とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることがさらに抑制される。

そして、厚さ比 $t_{1A}/t_{1B}$ が $0.7$ 以上 $1.4$ 以下の範囲内とされているので、前記銅板の端部と中央部とで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板の割れの発生をさらに抑制することが可能となる。

[0019] また、本発明の一態様に係る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接合界面において、前記銅板側にはAg-Cu合金層が形成されており、前記銅板の前記端部における前記Ag-Cu合金層の厚さ $t_{2A}$ および前記銅板の中央部における前記Ag-Cu合金層の厚さ $t_{2B}$ が $3\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、厚さ比 $t_{2A}/t_{2B}$ が0.7以上1.4以下の範囲内とされていることが好ましい。

[0020] この場合、前記銅板の端部における前記Ag-Cu合金層の厚さ $t_{2A}$ および前記銅板の中央部における前記Ag-Cu合金層の厚さ $t_{2B}$ が $3\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下の範囲内とされているので、接合材のAgが銅板と十分に反応してセラミックス基板と銅板とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることがさらに抑制される。

そして、厚さ比 $t_{2A}/t_{2B}$ が、0.7以上1.4以下の範囲内とされているので前記銅板の端部と中央部とで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板の割れの発生をさらに抑制することができる。

### 発明の効果

[0021] 本発明によれば、冷熱サイクル信頼性に優れ、かつ、ろう染みの発生が十分に抑制された銅/セラミックス接合体、および、この銅/セラミックス接合体からなる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

[0022] [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。

[図2]本発明の実施形態に係る絶縁回路基板の回路層および金属層の端部の拡大説明図である。

[図3A]本発明の実施形態に係る絶縁回路基板の回路層および金属層とセラミックス基板との接合界面の拡大説明図である。

[図3B]図3Aの絶縁回路基板のうち、接合界面の端部を拡大した図である。

[図3C]図3Aの絶縁回路基板のうち、接合界面の中央部を拡大した図である。

。

[図4]本発明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5]本発明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

[0023] 以下に、本発明の実施形態について添付した図面を参照して説明する。

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42（回路層12）および銅板43（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。

[0024] このパワーモジュール1は、回路層12および金属層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5と、を備えている。

[0025] 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。

[0026] ヒートシンク5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5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5には、冷却用の流体が流れるための流路が設けられている。

なお、本実施形態においては、ヒートシンク5と金属層13とが、はんだ材からなるはんだ層7によって接合されている。このはんだ層7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。

[0027] 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。

[0028] 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( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )、アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )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( $\text{AlN}$ )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。

[0029] 回路層12は、図5に示すように、セラミックス基板11の一方の面(図5において上面)に、銅又は銅合金からなる銅板42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42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。

[0030] 金属層13は、図5に示すように、セラミックス基板11の他方の面(図5において下面)に、銅又は銅合金からなる銅板43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43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。

[0031] そして、本実施形態である絶縁回路基板10においては、図2に示すように、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面において、回路層12および金属層13の端部におけるセラミックス基板11と回路層12および金属層13との間の距離hが3 $\mu\text{m}$ 以上30 $\mu\text{m}$ 以下の範囲内とされている。

さらに、本実施形態である絶縁回路基板 10 においては、図 2 に示すように、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面の回路層 12 および金属層 13 の端部領域 E におけるボイド率が 10% 以下とされている。

[0032] ここで、本実施形態における端部領域とは、図 2 に示すように、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面の断面観察において、セラミックス基板 11 から回路層 12 および金属層 13 の厚さの  $1/3$  の位置における回路層 12 および金属層 13 の端面位置からの垂線とセラミックス基板 11 との交点 P を起点として、セラミックス基板 11 の表面から回路層 12 および金属層 13 側へ  $30\ \mu\text{m}$  の高さ、かつ、セラミックス基板 11 の表面に沿って回路層 12 および金属層 13 の中央部側へ  $400\ \mu\text{m}$  の幅、の領域である。

[0033] なお、回路層 12 および金属層 13 の厚さが  $90\ \mu\text{m}$  未満の場合、端部領域とは、セラミックス基板 11 から回路層 12 および金属層 13 の厚さの  $1/3$  の位置における回路層 12 および金属層 13 の端面位置からの垂線とセラミックス基板 11 との交点 P を起点として、セラミックス基板 11 の表面から回路層 12 および金属層 13 側への回路層 12 および金属層 13 の厚さの  $1/3$  の高さ、かつ、セラミックス基板 11 の表面に沿って回路層 12 および金属層 13 の中央部側へ  $400\ \mu\text{m}$  の幅、の領域である。

さらに、ボイド率は、以下のように算出される。上述の端部領域において、回路層 12 および金属層 13 を構成する金属が存在しない領域をボイド部とし、上述の端部領域におけるボイド部が占める割合をボイド率とした。

[0034] また、本実施形態においては、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面においては、図 3 A、図 3 B、図 3 C に示すように、セラミックス基板 11 側から順に、活性金属化合物層 21、Ag-Cu 合金層 22 が形成されていることが好ましい。

活性金属化合物層 21 は、セラミックス基板（セラミックス部材）11 の一部であるということもできる。Ag-Cu 合金層 22 は、回路層（銅部材

) 12および金属層(銅部材)13の一部であるということもできる。このため、セラミックス基板11と回路層12および金属層13(銅板42, 43)との接合界面は、活性金属化合物層21とAg-Cu合金層22との界面である。Ag-Cu合金層22を有しない場合、セラミックス基板11と回路層12および金属層13(銅板42, 43)との接合界面は、活性金属化合物層21と回路層12および金属層13(銅板42, 43)との界面である。

[0035] ここで、本実施形態である絶縁回路基板10においては、図3Aに示すように、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面の端部Aと中央部Bにおける界面構造について、以下のように規定されている。

なお、本実施形態において、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面の端部Aは、図3Aに示すように、回路層12および金属層13とセラミックス基板11との積層方向に沿った断面において、回路層12および金属層13の幅方向端部から幅方向内方に200 $\mu$ mまでの領域である。

また、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面の中央部Bは、図3Aに示すように、回路層12および金属層13とセラミックス基板11との積層方向に沿った断面において、回路層12および金属層13の幅方向中心を含む幅方向200 $\mu$ mの領域である。

[0036] 本実施形態においては、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面の端部Aに形成された活性金属化合物層21Aの厚さ $t_{1A}$ 、および、セラミックス基板11と回路層12および金属層13との接合界面の中央部Bに形成された活性金属化合物層21Bの厚さ $t_{1B}$ が、0.05 $\mu$ m以上1.2 $\mu$ m以下の範囲内とされ、これらの厚さ比 $t_{1A}/t_{1B}$ が0.7以上1.4以下の範囲内とされていることが好ましい。

[0037] ここで、活性金属化合物層21A, 21Bは接合材45で用いる活性金属(Ti, Zr, Nb, Hfから選択される一種以上)の化合物からなる層で

ある。より具体的には、セラミックス基板が窒化ケイ素 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、窒化アルミニウム ( $\text{AlN}$ ) からなる場合には、これらの活性金属の窒化物からなる層となり、セラミックス基板がアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) である場合には、これらの活性金属の酸化物からなる層となる。活性金属化合物層 21A, 21B は活性金属化合物の粒子が集合して形成されている。この粒子の平均粒径は 10 nm 以上 100 nm 以下である。

なお、本実施形態では、接合材 45 が活性金属として Ti を含有し、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ため、活性金属化合物層 21 (21A, 21B) は、窒化チタン (TiN) で構成される。すなわち、平均粒径が 10 nm 以上 100 nm 以下の窒化チタン (TiN) の粒子が集合して形成されている。

[0038] さらに、本実施形態においては、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面の端部 A に形成された Ag-Cu 合金層 22A の厚さ  $t_{2A}$ 、および、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面の中央部 B に形成された Ag-Cu 合金層 22B の厚さ  $t_{2B}$  が、 $3\ \mu\text{m}$  以上  $30\ \mu\text{m}$  以下の範囲内とされ、これらの厚さ比  $t_{2A}/t_{2B}$  が 0.7 以上 1.4 以下の範囲内とされていることが好ましい。

[0039] 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 4 および図 5 を参照して説明する。

[0040] (接合材配設工程 S01)

回路層 12 となる銅板 42 と、金属層 13 となる銅板 43 とを準備する。ここで、回路層 12 となる銅板 42 および金属層 13 となる銅板 43 においては、セラミックス基板 11 側の向く面の周縁部に面取り部が形成されている。

そして、回路層 12 となる銅板 42 および金属層 13 となる銅板 43 の接合面に、接合材 45 を塗布し、乾燥させる。ペースト状の接合材 45 の塗布厚さは、乾燥後で  $10\ \mu\text{m}$  以上  $50\ \mu\text{m}$  以下の範囲内とすることが好ましい。

本実施形態では、スクリーン印刷によってペースト状の接合材45を塗布する。

[0041] 接合材45は、Agと活性金属（Ti, Zr, Nb, Hfから選択される一種以上）を含有するものとされている。本実施形態では、接合材45として、Ag-Ti系ろう材（Ag-Cu-Ti系ろう材）を用いている。なお、Ag-Ti系ろう材（Ag-Cu-Ti系ろう材）としては、例えば、Cuを0mass%以上45mass%以下の範囲内、活性金属であるTiを0.5mass%以上20mass%以下の範囲で含み、残部がAgおよび不可避不純物とされた組成のものを用いることが好ましい。

[0042] ここで、塗布する接合材45については、Agの換算膜厚と、Agと活性金属の質量比Ag/活性金属を、調整する。これにより、後述する加圧および加熱工程S03において、発生するAg-Cu液相の絶対量および流動性を制御することが可能となる。

具体的には、Agの換算膜厚を2.5 $\mu$ m以上とすることが好ましく、3.5 $\mu$ m以上とすることがさらに好ましい。一方、Agの換算膜厚を20 $\mu$ m以下とすることが好ましく、15 $\mu$ m以下とすることがさらに好ましい。

また、Agと活性金属の質量比Ag/活性金属を8以上とすることが好ましく、12以上とすることがさらに好ましい。一方、Agと活性金属の質量比Ag/活性金属を60以下とすることが好ましく、45以下とすることがさらに好ましい。

[0043] また、接合材45に含まれるAg粉の比表面積は、0.15m<sup>2</sup>/g以上とすることが好ましく、0.25m<sup>2</sup>/g以上とすることがさらに好ましく、0.40m<sup>2</sup>/g以上とすることがより好ましい。一方、接合材45に含まれるAg粉の比表面積は、1.40m<sup>2</sup>/g以下とすることが好ましく、1.00m<sup>2</sup>/g以下とすることがさらに好ましく、0.75m<sup>2</sup>/g以下とすることがより好ましい。

なお、ペースト状の接合材45に含まれるAg粉の粒径は、D10が0.7 $\mu$ m以上3.5 $\mu$ m以下、かつ、D100が4.5 $\mu$ m以上23 $\mu$ m以下

の範囲内であることが好ましい。レーザー回折散乱式粒度分布測定法によって測定された粒度分布において、D10は、体積基準で累積頻度が10%になる粒径であり、D100は、体積基準で累積頻度が100%になる粒径である。

[0044] (積層工程S02)

次に、セラミックス基板11の一方の面(図5において上面)に、接合材45を介して回路層12となる銅板42を積層するとともに、セラミックス基板11の他方の面(図5において下面)に、接合材45を介して金属層13となる銅板43を積層する。なお、回路層12となる銅板42および金属層13となる銅板43の周縁部に面取り部が形成されているので、セラミックス基板11の端部に空隙が形成されることになる。

[0045] (加圧および加熱工程S03)

次に、銅板42とセラミックス基板11と銅板43とを加圧した状態で、真空雰囲気中の加熱炉内で加熱し、接合材45を溶融する。

ここで、加圧および加熱工程S03における加熱温度は、800℃以上850℃以下の範囲内とすることが好ましい。780℃から加熱温度までの昇温工程および加熱温度での保持工程における温度積分値の合計が7℃・h以上80℃・h以下の範囲内とすることが好ましい。

また、加圧および加熱工程S03における加圧荷重は、0.029MPa以上2.94MPa以下の範囲内とすることが好ましい。

さらに、加圧および加熱工程S03における真空度は、 $1 \times 10^{-6}$  Pa以上 $5 \times 10^{-2}$  Pa以下の範囲内とすることが好ましい。

[0046] (冷却工程S04)

そして、加圧および加熱工程S03の後、冷却を行うことにより、溶融した接合材45を凝固させて、回路層12となる銅板42とセラミックス基板11、セラミックス基板11と金属層13となる銅板43とを接合する。

なお、この冷却工程S04における冷却速度は、2℃/min以上20℃/min以下の範囲内とすることが好ましい。なお、ここでの冷却速度は加

熱温度から Ag-Cu 共晶温度である 780℃ までの冷却速度である。

[0047] 以上のように、接合材配設工程 S01、積層工程 S02、加圧および加熱工程 S03、冷却工程 S04 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。

[0048] (ヒートシンク接合工程 S05)

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 5 を接合する。

絶縁回路基板 10 とヒートシンク 5 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 7 を介して絶縁回路基板 10 とヒートシンク 5 とをはんだ接合する。

[0049] (半導体素子接合工程 S06)

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。

前述の工程により、図 1 に示すパワーモジュール 1 が製出される。

[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、セラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との接合界面において、回路層 12 および金属層 13 の端部におけるセラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との間の距離  $h$  が  $3\ \mu\text{m}$  以上とされるとともに、回路層 12 および金属層 13 の端部領域におけるボイド率が 10% 以下とされているので、端面の接合層の厚さが確保され、回路層 12 および金属層 13 の端部の強度を十分に確保することが可能となる。よって、冷熱サイクルを負荷した際のセラミックス基板 11 の割れや剥がれを抑制することができる。

また、回路層 12 および金属層 13 の端部におけるセラミックス基板 11 と回路層 12 および金属層 13 との間の距離  $h$  が  $30\ \mu\text{m}$  以下とされているので、接合材 45 のはみ出しを抑制でき、「ろう染み」の発生を抑制することができる。

[0051] なお、回路層 12 および金属層 13 の端部におけるセラミックス基板 11

と回路層 1 2 および金属層 1 3 との間の距離  $h$  は  $5 \mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、 $8 \mu\text{m}$  以上とすることがさらに好ましい。一方、回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部におけるセラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 および金属層 1 3 との間の距離  $h$  は  $25 \mu\text{m}$  以下とすることが好ましく、 $20 \mu\text{m}$  以下とすることがさらに好ましい。

また、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 および金属層 1 3 との接合界面の回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部領域 E におけるボイド率は、 $8\%$  以下であることが好ましく、 $5\%$  以下であることがさらに好ましい。

[0052] また、本実施形態において、回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部 A に形成された活性金属化合物層 2 1 A の厚さ  $t_{1A}$ 、および、回路層 1 2 および金属層 1 3 の中央部 B に形成された活性金属化合物層 2 1 B の厚さ  $t_{1B}$  が、 $0.05 \mu\text{m}$  以上  $1.2 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされている場合には、活性金属によってセラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 および金属層 1 3 とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることがさらに抑制される。

[0053] なお、セラミックス基板 1 1 と回路層 1 2 および金属層 1 3 とをさらに強固に接合するためには、回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部 A に形成された活性金属化合物層 2 1 A の厚さ  $t_{1A}$ 、および、回路層 1 2 および金属層 1 3 の中央部 B に形成された活性金属化合物層 2 1 B の厚さ  $t_{1B}$  を、 $0.08 \mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、 $0.15 \mu\text{m}$  以上とすることがより好ましい。

また、接合界面が硬くなることがさらに確実に抑制するためには、回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部 A に形成された活性金属化合物層 2 1 A の厚さ  $t_{1A}$ 、および、回路層 1 2 および金属層 1 3 の中央部 B に形成された活性金属化合物層 2 1 B の厚さ  $t_{1B}$  を、 $1.0 \mu\text{m}$  以下とすることが好ましく、 $0.6 \mu\text{m}$  以下とすることがより好ましい。

[0054] さらに、本実施形態において、回路層 1 2 および金属層 1 3 の端部 A に形成された活性金属化合物層 2 1 A の厚さ  $t_{1A}$  と回路層 1 2 および金属層 1 3 の中央部 B に形成された活性金属化合物層 2 1 B の厚さ  $t_{1B}$  との厚さ比  $t_{1A}$

$t_A/t_B$ が0.7以上1.4以下の範囲内とされている場合には、回路層12および金属層13の端部Aと中央部Bとで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板11の割れの発生をさらに抑制することができる。

[0055] なお、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板11の割れの発生をさらに抑制するためには、回路層12および金属層13の端部Aに形成された活性金属化合物層21Aの厚さ $t_{1A}$ 、および、回路層12および金属層13の中央部Bに形成された活性金属化合物層21Bの厚さ $t_{1B}$ の比 $t_{1A}/t_{1B}$ を、0.8以上1.2以下の範囲内とすることがさらに好ましく、0.9以上1.1以下の範囲内とすることがより好ましい。

[0056] また、本実施形態において、回路層12および金属層13の端部Aに形成されたAg-Cu合金層22Aの厚さ $t_{2A}$ 、および、回路層12および金属層13の中央部Bに形成されたAg-Cu合金層22Bの厚さ $t_{2B}$ が、 $3\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下の範囲内とされている場合には、後述する接合材45のAgと回路層12および金属層13とが十分に反応し、セラミックス基板11と回路層12および金属層13とが確実に強固に接合されているとともに、接合界面が硬くなることをさらに抑制される。

[0057] なお、セラミックス基板11と回路層12および金属層13とをさらに強固に接合するためには、回路層12および金属層13の端部Aに形成されたAg-Cu合金層22Aの厚さ $t_{2A}$ 、および、回路層12および金属層13の中央部Bに形成されたAg-Cu合金層22Bの厚さ $t_{2B}$ を、 $5\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましく、 $7\mu\text{m}$ 以上とすることがより好ましい。

また、接合界面が必要以上に硬くなることをさらに抑制するためには、回路層12および金属層13の端部Aに形成されたAg-Cu合金層22Aの厚さ $t_{2A}$ 、および、回路層12および金属層13の中央部Bに形成されたAg-Cu合金層22Bの厚さ $t_{2B}$ を、 $25\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、 $20\mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。

[0058] さらに、本実施形態において、回路層12および金属層13の端部Aに形

成されたAg-Cu合金層22Aの厚さ $t_{2A}$ と、回路層12および金属層13の中央部Bに形成されたAg-Cu合金層22Bの厚さ $t_{2B}$ との比 $t_{2A}/t_{2B}$ が、0.7以上1.4以下の範囲内とされている場合には、回路層12および金属層13の端部Aと中央部Bとで接合界面の硬さに大きな差が生じず、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板の割れの発生をさらに抑制することができる。

[0059] なお、冷熱サイクル負荷時におけるセラミックス基板11の割れの発生をさらに抑制するためには、回路層12および金属層13の端部Aに形成されたAg-Cu合金層22Aの厚さ $t_{2A}$ と、回路層12および金属層13の中央部Bに形成されたAg-Cu合金層22Bの厚さ $t_{2B}$ との比 $t_{2A}/t_{2B}$ を、0.8以上1.2以下の範囲内とすることがさらに好ましく、0.9以上1.1以下の範囲内とすることがより好ましい。

[0060] 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。

[0061] また、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(AIN)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( $Al_2O_3$ )、窒化ケイ素( $Si_3N_4$ )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。

[0062] さらに、本実施形態では、接合材に含まれる活性金属としてTiを例に挙げて説明したが、これに限定されることはなく、Ti, Zr, Hf, Nbから選択される1種又は2種以上の活性金属を含んでいればよい。なお、これらの活性金属は、水素化物として含まれていてもよい。

[0063] さらに、本実施形態においては、回路層を、無酸素銅の圧延板をセラミックス基板に接合することにより形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く、銅板を打ち抜いた銅片を回路パターン状に配置された状態でセラミックス基板に接合されることによって回路層を形成してもよい。この場合、それぞれの銅片において、上述のようなセラミックス基板との界面構造を有していればよい。

### 実施例

[0064] 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。

[0065] 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およびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は0.635mm、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>は0.32mmとした。

また、回路層および金属層となる銅板として、無酸素銅からなり、表1に示す厚さの37mm×37mmの銅板を準備した。なお、回路層および金属層となる銅板においては、セラミックス基板側の周縁部に面取り部を形成した。

[0066] そして、回路層および金属層となる銅板に、接合材を塗布した。なお、接合材はペースト材を用い、Ag, Cu, 活性金属の量は表1の通りとした。ここで、表1に示すように、Ag換算厚さ、および、Agと活性金属の質量比Ag/活性金属を調整した。

[0067] セラミックス基板の一方の面に、回路層となる銅板を積層した。また、セラミックス基板の他方の面に、金属層となる銅板を積層した。

[0068] この積層体を、積層方向に加圧した状態で加熱し、Ag-Cu液相を発生させた。このとき、加圧荷重を0.294MPaとし、温度積分値は表1の通りとした。

そして、加熱した積層体を冷却することにより、回路層となる銅板とセラミックス基板と金属層となる金属板を接合し、絶縁回路基板（銅/セラミックス接合体）を得た。

[0069] 得られた絶縁回路基板（銅／セラミックス接合体）について、端部のボイド率、端部におけるセラミックス基板と銅板との間の距離、活性金属化合物層、Ag-Cu合金層、冷熱サイクル信頼性、ろう染みの有無を、以下のようにして評価した。

[0070] （端部のボイド率）

回路層とセラミックス基板との接合界面、および、セラミックス基板と金属層との接合界面の端部断面について、EPMA装置（電子プローブマイクロアナライザ）を用いて、Ag、Cu、活性金属の各元素マッピングを取得した。それぞれ5視野で各元素マッピングを取得した。そして、端部領域においてAg、Cu、活性金属が検出されなかった領域の面積（ボイド面積）を求めて、ボイド率＝100×ボイド面積／端部領域面積の最大値を「端部のボイド率」とし、表2に記載した。

[0071] （端部におけるセラミックス基板と銅板との間の距離）

回路層とセラミックス基板との接合界面、および、セラミックス基板と金属層との接合界面において、上述した端部断面を、EPMA装置を用いて、Ag、Cu、活性金属の各元素のライン分析を実施した。交点Pを通り、かつセラミックス基板に対して垂直な方向に回路層、または金属層に向かって、それぞれ5視野で各元素のライン分析を実施した。そして、Ag+Cu+活性金属＝100mass%としたとき、セラミックス基板表面からCu濃度が90mass%以上である領域までの距離を測定し、それぞれ5視野、計10視野の内最も短い距離を「端部におけるセラミックス基板と銅板との間の距離」とし、表2に記載した。

[0072] （活性金属化合物層）

回路層とセラミックス基板との接合界面、および、セラミックス基板と金属層との接合界面の断面を、走査型電子顕微鏡（カールツァイスNTS社製ULTRA55、加速電圧1.8kV）を用いて倍率30000倍で測定し、エネルギー分散型X線分析法により、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。

それぞれ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」とし表2に記載した。

[0073] (Ag-Cu合金層)

回路層とセラミックス基板との接合界面、および、セラミックス基板と金属層との接合界面の断面を、EPMA装置を用いて、Ag, Cu, 活性金属の各元素マッピングを取得した。それぞれ5視野で各元素マッピングを取得した。

そして、 $Ag + Cu + \text{活性金属} = 100 \text{ mass\%}$ としたとき、Ag濃度が15質量%以上である領域をAg-Cu合金層とし、その面積を求めて、測定領域の幅で割った値(面積/測定領域の幅)を求めた。その値の平均をAg-Cu合金層の厚さとして表2に記載した。

[0074] (冷熱サイクル信頼性)

上述の絶縁回路基板を、セラミックス基板の材質に応じて、下記の冷熱サイクルを負荷し、SAT検査(超音波探傷検査)によりセラミックス割れの有無を判定した。評価結果を表2に示す。表2のセラミックス割れの発生回数は、セラミックス割れが発生するまでに要した冷熱サイクル数を意味している。

AlN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の場合:  $-40^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ min}$ 、 $150^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ min}$ の負荷を1サイクルとし、500サイクルまで50サイクル毎にSAT検査する。

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の場合:  $-40^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ min}$ 、 $150^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ min}$ の負荷を1サイクルとし、2000サイクルまで200サイクル毎にSAT検査する。

[0075] (ろう染みの有無)

回路層表面および金属層表面を、EPMA装置を用いてAg、Cu、活性金属の各元素マッピングを取得した。そして、 $Ag + Cu + \text{活性金属} = 10$

0 mass%としたとき、Ag濃度が15質量%以上である領域を「ろう染み」とし、その面積を求めて、回路層及び金属層の外周から100 $\mu$ mの領域の面積で割った値が20%以上の場合に「ろう染み」が有ると判断した。

[0076] [表1]

		セラミックス 基板	回路層	金属層	接合材			
		材質	厚さ mm	厚さ mm	Cu mass%	活性 金属 種類	Ag換算の 塗布厚さ $\mu$ m	質量比 Ag/ 活性金属
本発明例	1	AlN	0.3	0.25	-	Ti	18	30.5
	2	AlN	0.3	0.25	-	Ti	15	44.5
	3	AlN	0.3	0.25	34.5	Zr	8	20.7
	4	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.8	0.8	25.8	Hf	2.5	12.4
	5	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.8	0.8	43.5	Ti	3.5	32.7
	6	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.8	0.8	-	Zr	5	12.6
	7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.25	-	Ti	20	8.0
	8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.25	-	Nb	13	44.7
比較例	1	AlN	0.3	0.25	32.5	Hf	10	10.8
	2	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.8	0.8	-	Zr	25	51.3
	3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.25	25.8	Ti	2.5	11.5

[0077]

[表2]

	加圧および加熱工程	銅板の端部		活性金属化合物層		Ag-Cu合金層			冷却サイクル信頼性 割れ発生回数(回)	ろう染みの有無		
		ポイド率(%)	セラミックス基板と銅板との距離(μm)	厚さ(μm) 端部 t1A	厚さ(μm) 中央部 t1B	t1A / t1B	厚さ(μm) 端部 t2A	厚さ(μm) 中央部 t2B			t2A / t2B	
本発明例	1	62.4	9.8	24.7	0.93	1.18	0.79	21	25	0.84	400	無
	2	46.7	5.3	20.9	0.63	0.54	1.17	19	16	1.19	450	無
	3	29.2	0.8	12.1	0.46	0.42	1.10	12	11	1.09	500	無
	4	7.3	0.3	3.2	0.05	0.07	0.71	3	4	0.75	1600	無
	5	11.5	7.1	6.4	0.11	0.09	1.22	5	4	1.25	1800	無
	6	54.8	0.1	8.1	0.16	0.15	1.07	7	7	1.00	>2000	無
	7	78.2	8.2	29.6	0.99	0.81	1.22	30	22	1.36	350	無
	8	21.3	4.8	19.6	0.27	0.29	0.93	17	18	0.94	450	無
比較例	1	19.8	16.3	23.2	0.54	0.49	1.10	17	14	1.21	100	有
	2	10.8	13.2	45.1	0.46	0.63	0.73	39	26	1.50	1200	有
	3	109.1	0.0	1.3	0.02	0.01	2.00	1	0	-	50	無

[0078] はじめに、セラミックス基板としてAlNを用いた本発明例1-3と比較

例 1 とを比較する。

比較例 1 においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が 23.2  $\mu\text{m}$  とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が 16.3% とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が 100 回となった。また、ろう染みが確認された。

[0079] これに対して、本発明例 1 においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が 24.7  $\mu\text{m}$  とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が 9.8% とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が 400 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

本発明例 2 においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が 20.9  $\mu\text{m}$  とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が 5.3% とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が 450 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

本発明例 3 においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が 12.1  $\mu\text{m}$  とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が 0.8% とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が 500 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

[0080] 次に、セラミックス基板として  $\text{Si}_3\text{N}_4$  を用いた本発明例 4-6 と比較例 2 とを比較する。

比較例 2 においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が 45.1  $\mu\text{m}$  とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が 13.2% とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が 1200 回となった。また、ろう染みが確認された。

[0081] これに対して、本発明例 4 においては、回路層（金属層）の端部における

セラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $3.2\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $0.3\%$ とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が $1600$ 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

本発明例5においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $6.4\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $7.1\%$ とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が $1800$ 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

本発明例6においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $8.1\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $0.1\%$ とされており、冷熱サイクル試験において $2000$ 回でも割れが発生しなかった。また、ろう染みは確認されなかった。

[0082] 次に、セラミックス基板として $\text{Al}_2\text{O}_3$ を用いた本発明例7、8と比較例3とを比較する。

比較例3においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $1.3\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $0.0\%$ とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が $50$ 回となった。なお、ろう染みは確認されなかった。

[0083] これに対して、本発明例7においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $29.6\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $8.2\%$ とされており、冷熱サイクル試験において割れ発生回数が $350$ 回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

本発明例8においては、回路層（金属層）の端部におけるセラミックス基板と回路層（金属層）との間の距離が $19.6\ \mu\text{m}$ とされ、回路層（金属層）の端部領域におけるボイド率が $4.8\%$ とされており、冷熱サイクル試験

において割れ発生回数が450回となった。また、ろう染みは確認されなかった。

[0084] 以上の確認実験の結果から、本発明例によれば、冷熱サイクル信頼性に優れ、かつ、ろう染みの発生が十分に抑制された絶縁回路基板（銅／セラミックス接合体）を提供可能であることが確認された。

### 産業上の利用可能性

[0085] 本発明によれば、冷熱サイクル信頼性に優れ、かつ、ろう染みの発生が十分に抑制された銅／セラミックス接合体、および、この銅／セラミックス接合体からなる絶縁回路基板を提供することができる。

### 符号の説明

- [0086] 10 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）  
21（21A, 21B） 活性金属化合物層  
22（22A, 22B） Ag-Cu合金層

## 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接合界面において、前記銅部材の端部における前記セラミックス部材と前記銅部材との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされるときともに、
- 前記銅部材の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下であることを特徴とする銅／セラミックス接合体。
- [請求項2] 前記セラミックス部材と前記銅部材との接合界面において、前記セラミックス部材側には活性金属化合物層が形成されており、
- 前記銅部材の前記端部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1A}$ および前記銅部材の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ $t_{1B}$ が $0.05\ \mu\text{m}$ 以上 $1.2\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、厚さ比 $t_{1A}/t_{1B}$ が $0.7$ 以上 $1.4$ 以下の範囲内とされていることを特徴とする請求項1に記載の銅／セラミックス接合体。
- [請求項3] 前記セラミックス部材と前記銅部材との接合界面において、前記銅部材側には $\text{Ag}-\text{Cu}$ 合金層が形成されており、
- 前記銅部材の前記端部における前記 $\text{Ag}-\text{Cu}$ 合金層の厚さ $t_{2A}$ および前記銅部材の中央部における前記 $\text{Ag}-\text{Cu}$ 合金層の厚さ $t_{2B}$ が $3\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされ、厚さ比 $t_{2A}/t_{2B}$ が $0.7$ 以上 $1.4$ 以下の範囲内とされていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の銅／セラミックス接合体。
- [請求項4] 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接合界面において、前記銅板の端部における前記セラミックス基板と前記銅板との間の距離が $3\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内とされるときともに、
- 前記銅板の端部領域におけるボイド率が $10\%$ 以下であることを特

徴とする絶縁回路基板。

[請求項5]

前記セラミックス基板と前記銅板との接合界面において、前記セラミックス基板側には活性金属化合物層が形成されており、

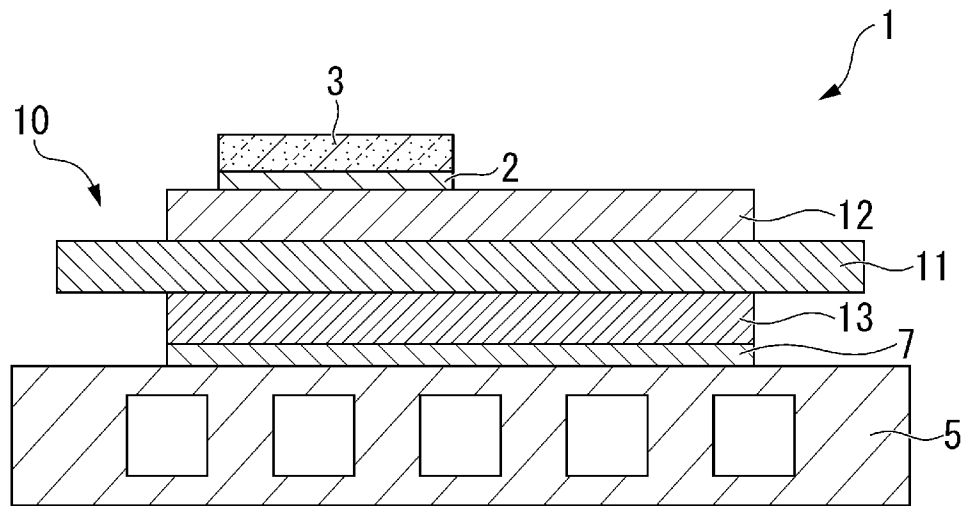
前記銅板の前記端部における前記活性金属化合物層の厚さ  $t_{1A}$  および前記銅板の中央部における前記活性金属化合物層の厚さ  $t_{1B}$  が  $0.05 \mu\text{m}$  以上  $1.2 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされ、厚さ比  $t_{1A}/t_{1B}$  が  $0.7$  以上  $1.4$  以下の範囲内とされていることを特徴とする請求項4に記載の絶縁回路基板。

[請求項6]

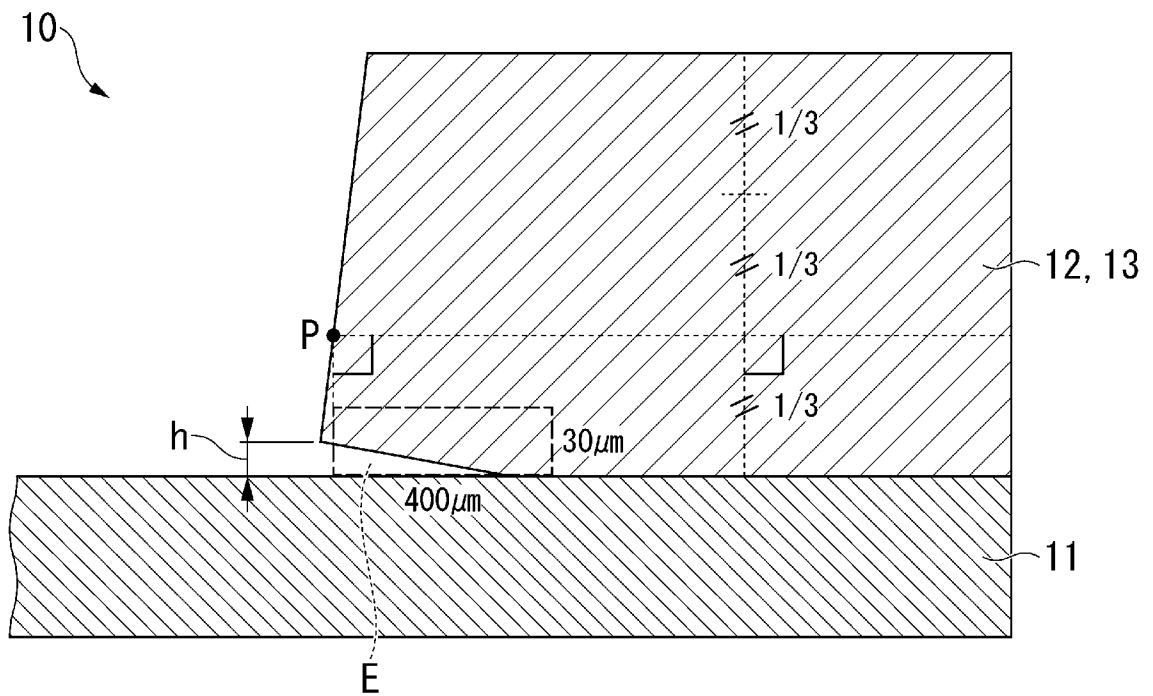
前記セラミックス基板と前記銅板との接合界面において、前記銅板側には  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層が形成されており、

前記銅板の前記端部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2A}$  および前記銅板の中央部における前記  $\text{Ag}-\text{Cu}$  合金層の厚さ  $t_{2B}$  が  $3 \mu\text{m}$  以上  $30 \mu\text{m}$  以下の範囲内とされ、厚さ比  $t_{2A}/t_{2B}$  が  $0.7$  以上  $1.4$  以下の範囲内とされていることを特徴とする請求項4または請求項5に記載の絶縁回路基板。

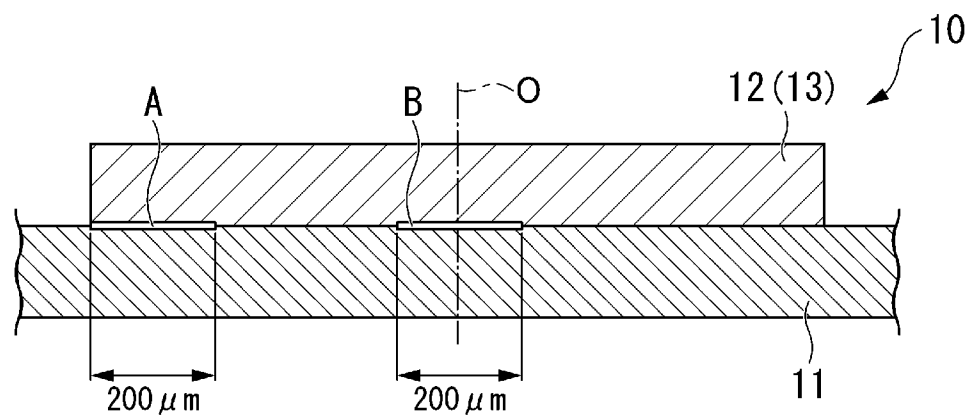
[図1]



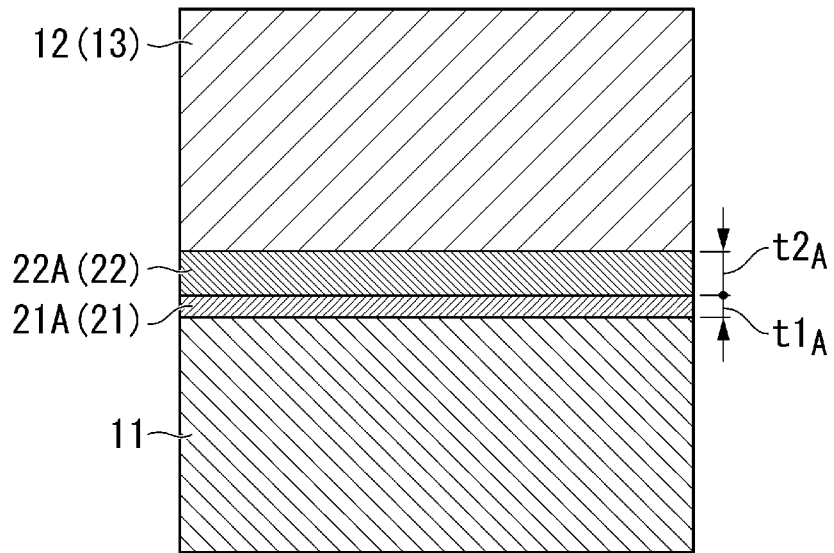
[図2]



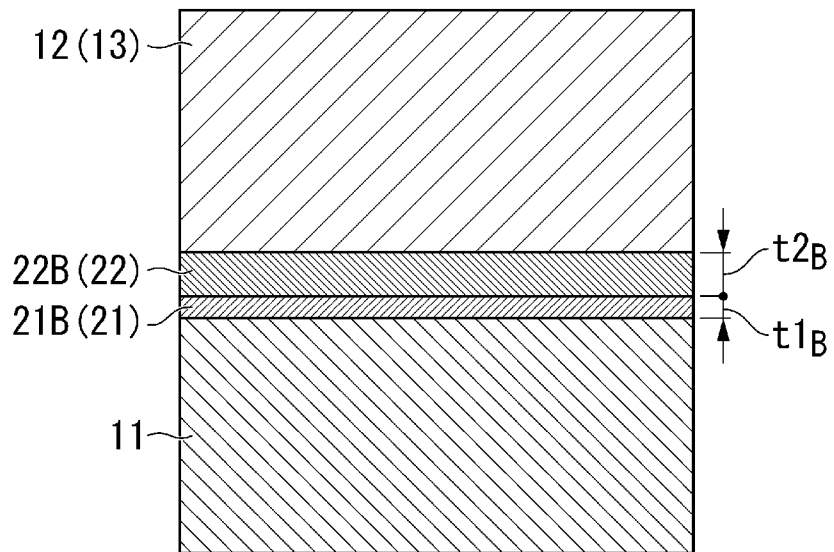
[図3A]



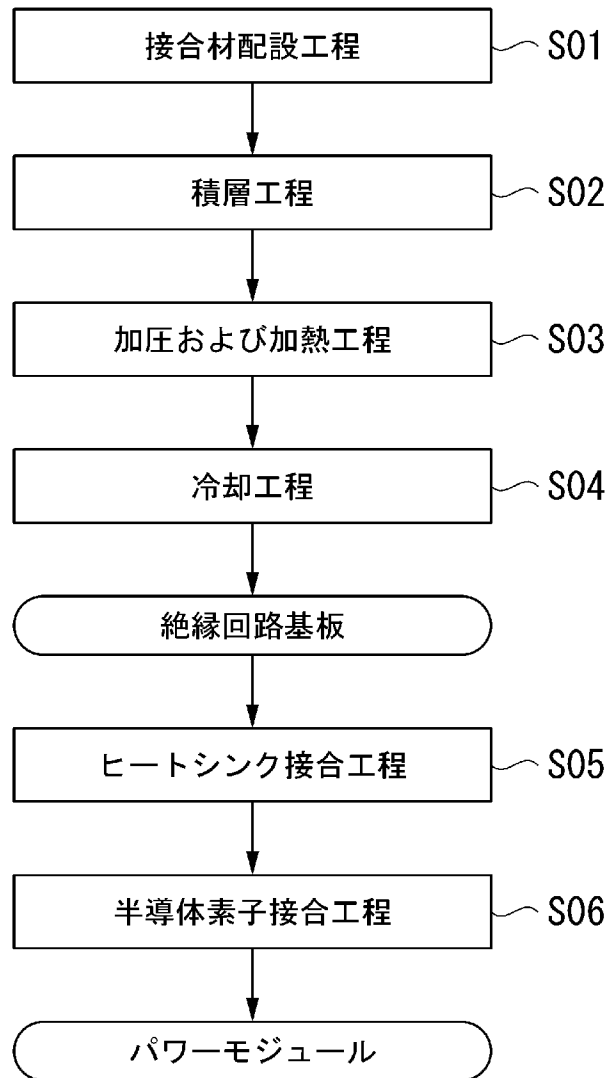
[図3B]



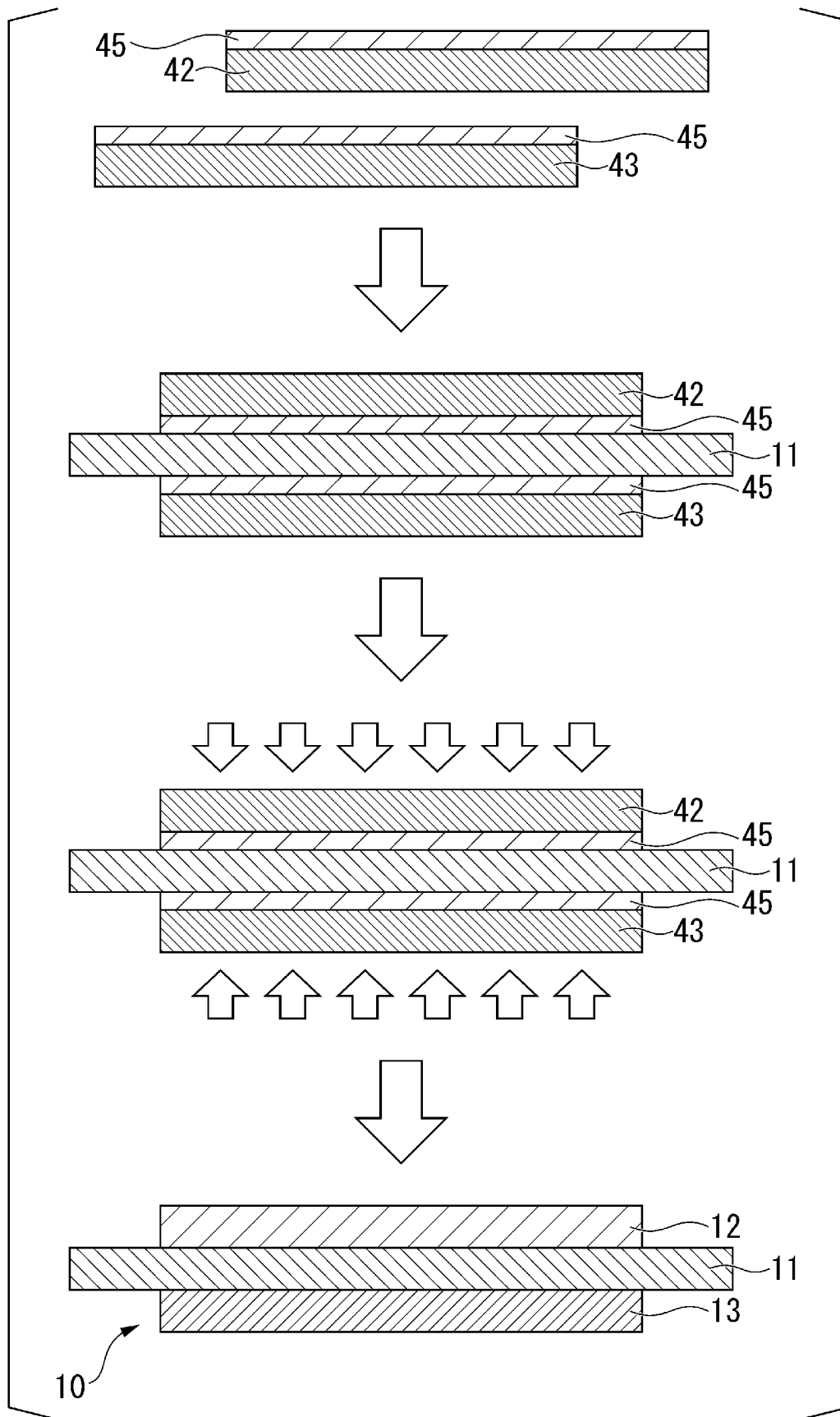
[図3C]



[図4]



[図5]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/029314

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C04B 37/02</i> (2006.01)i; <i>H01L 23/12</i> (2006.01)i; <i>H01L 23/13</i> (2006.01)i; <i>H05K 1/09</i> (2006.01)i FI: C04B37/02 B; H05K1/09 A; H01L23/12 C; H01L23/12 D; H01L23/12 J		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C04B37/02; H01L23/12; H01L23/13; H05K1/09		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-274964 A (DENKI KAGAKU KOGYO CO., LTD.) 25 September 2002 (2002-09-25) paragraphs [0001], [0021]-[0026]	1-6
X	JP 2015-92552 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP.) 14 May 2015 (2015-05-14) paragraphs [0039]-[0040], [0096]-[0113]	1-6
A	JP 2003-55058 A (DENKI KAGAKU KOGYO CO., LTD.) 26 February 2003 (2003-02-26) entire text	1-6
A	JP 2014-90144 A (DENKI KAGAKU KOGYO CO., LTD.) 15 May 2014 (2014-05-15) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2016-169111 A (DENKA CO., LTD.) 23 September 2016 (2016-09-23) entire text	1-6
A	WO 2018/221493 A1 (DENKA CO., LTD.) 06 December 2018 (2018-12-06) entire text, all drawings	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>02 September 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>20 September 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/029314

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017/213207 A1 (TANAKA KIKINZOKU KOGYO K.K.) 14 December 2017 (2017-12-14) entire text, all drawings	1-6
A	JP 10-4156 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 06 January 1998 (1998-01-06) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2020-53580 A (KYOCERA CORP.) 02 April 2020 (2020-04-02) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2021-98641 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP.) 01 July 2021 (2021-07-01) entire text, all drawings	1-6
A	JP 2018-8869 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP.) 18 January 2018 (2018-01-18) entire text, all drawings	1-6
A	WO 2018/199060 A1 (DENKA CO., LTD.) 01 November 2018 (2018-11-01) entire text, all drawings	1-6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2022/029314**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2002-274964 A	25 September 2002	(Family: none)	
JP 2015-92552 A	14 May 2015	US 2016/0221305 A1 paragraphs [0081]-[0082], [0175]-[0196] WO 2015/046280 A1 EP 3053899 A1 TW 201524937 A CN 105452195 A KR 10-2016-0064071 A	
JP 2003-55058 A	26 February 2003	(Family: none)	
JP 2014-90144 A	15 May 2014	(Family: none)	
JP 2016-169111 A	23 September 2016	(Family: none)	
WO 2018/221493 A1	06 December 2018	US 2021/0176860 A1 whole document, all drawings EP 3632879 A1 CN 110709369 A KR 10-2020-0013678 A	
WO 2017/213207 A1	14 December 2017	US 2019/0150298 A1 whole document, all drawings EP 3471517 A1 KR 10-2018-0133474 A CN 109315061 A TW 201813462 A	
JP 10-4156 A	06 January 1998	(Family: none)	
JP 2020-53580 A	02 April 2020	(Family: none)	
JP 2021-98641 A	01 July 2021	WO 2021/124923 A1	
JP 2018-8869 A	18 January 2018	US 2019/0135706 A1 whole document, all drawings WO 2018/003845 A1 EP 3480844 A1 TW 201821390 A CN 109417056 A	
WO 2018/199060 A1	01 November 2018	US 2020/0128664 A1 whole document, all drawings EP 3618107 A1 CN 110537256 A KR 10-2020-0004799 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C04B 37/02(2006.01)i; H01L 23/12(2006.01)i; H01L 23/13(2006.01)i; H05K 1/09(2006.01)i FI: C04B37/02 B; H05K1/09 A; H01L23/12 C; H01L23/12 D; H01L23/12 J		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C04B37/02; H01L23/12; H01L23/13; H05K1/09 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2022年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2022年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2002-274964 A（電気化学工業株式会社）25.09.2002（2002 - 09 - 25） 段落[0001], [0021]-[0026]	1-6
X	JP 2015-92552 A（三菱マテリアル株式会社）14.05.2015（2015 - 05 - 14） 段落[0039]-[0040], [0096]-[0113]	1-6
A	JP 2003-55058 A（電気化学工業株式会社）26.02.2003（2003 - 02 - 26） 全文	1-6
A	JP 2014-90144 A（電気化学工業株式会社）15.05.2014（2014 - 05 - 15） 全文, 全図	1-6
A	JP 2016-169111 A（デンカ株式会社）23.09.2016（2016 - 09 - 23） 全文	1-6
A	WO 2018/221493 A1（デンカ株式会社）06.12.2018（2018 - 12 - 06） 全文, 全図	1-6
A	WO 2017/213207 A1（田中貴金属工業株式会社）14.12.2017（2017 - 12 - 14） 全文, 全図	1-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	02.09.2022	国際調査報告の発送日 20.09.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  田中 永一 4T 9539  電話番号 03-3581-1101 内線 3465	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 10-4156 A (三菱電機株式会社) 06.01.1998 (1998 - 01 - 06) 全文, 全図	1-6
A	JP 2020-53580 A (京セラ株式会社) 02.04.2020 (2020 - 04 - 02) 全文, 全図	1-6
A	JP 2021-98641 A (三菱マテリアル株式会社) 01.07.2021 (2021 - 07 - 01) 全文, 全図	1-6
A	JP 2018-8869 A (三菱マテリアル株式会社) 18.01.2018 (2018 - 01 - 18) 全文, 全図	1-6
A	WO 2018/199060 A1 (デンカ株式会社) 01.11.2018 (2018 - 11 - 01) 全文, 全図	1-6

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/029314

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2002-274964 A	25.09.2002	(ファミリーなし)	
JP 2015-92552 A	14.05.2015	US 2016/0221305 A1 [0081]-[0082], [0175]- [0196] WO 2015/046280 A1 EP 3053899 A1 TW 201524937 A CN 105452195 A KR 10-2016-0064071 A	
JP 2003-55058 A	26.02.2003	(ファミリーなし)	
JP 2014-90144 A	15.05.2014	(ファミリーなし)	
JP 2016-169111 A	23.09.2016	(ファミリーなし)	
WO 2018/221493 A1	06.12.2018	US 2021/0176860 A1 whole document, whole drawing EP 3632879 A1 CN 110709369 A KR 10-2020-0013678 A	
WO 2017/213207 A1	14.12.2017	US 2019/0150298 A1 whole document, whole drawing EP 3471517 A1 KR 10-2018-0133474 A CN 109315061 A TW 201813462 A	
JP 10-4156 A	06.01.1998	(ファミリーなし)	
JP 2020-53580 A	02.04.2020	(ファミリーなし)	
JP 2021-98641 A	01.07.2021	WO 2021/124923 A1	
JP 2018-8869 A	18.01.2018	US 2019/0135706 A1 whole document, whole drawing WO 2018/003845 A1 EP 3480844 A1 TW 201821390 A CN 109417056 A	
WO 2018/199060 A1	01.11.2018	US 2020/0128664 A1 whole document, whole drawing EP 3618107 A1 CN 110537256 A KR 10-2020-0004799 A	