

(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10月26日(26.10.2023)

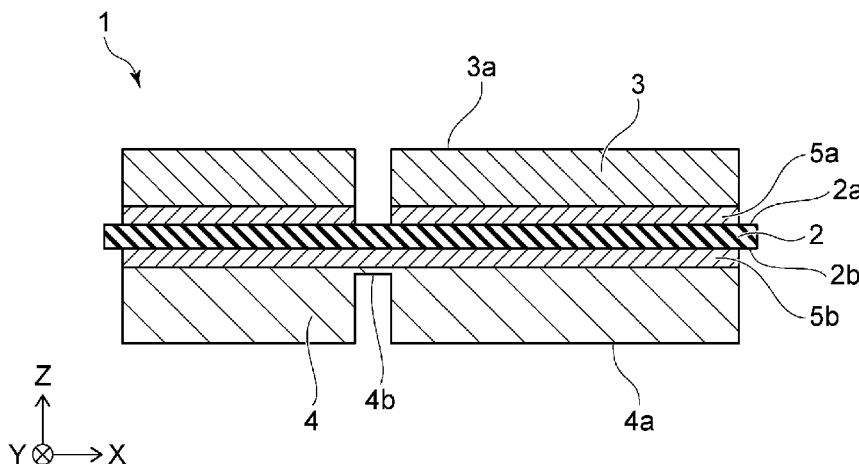


(10) 国際公開番号
WO 2023/204054 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 23/13 (2006.01) *H01L 23/36* (2006.01)
H01L 23/12 (2006.01) *H05K 1/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/014392
- (22) 国際出願日: 2023年4月7日(07.04.2023)
- (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 2022-067982 2022年4月18日(18.04.2022) JP
- (71) 出願人: 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP). 東芝マテリアル株式会社 (TOSHIBA MATERIALS CO., LTD.)
- [JP/JP]; 〒2350032 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 上野 俊英 (UENO, Toshihide); 〒2350032 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 東芝マテリアル株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 i X (IX PATENT LAW FIRM, P.C.); 〒2318966 神奈川県横浜市中区桜木町一丁目1番地8日石横浜ビル Kanagawa (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, JP, KE, KG,

(54) Title: CERAMIC CIRCUIT SUBSTRATE, SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD FOR MANUFACTURING CERAMIC CIRCUIT SUBSTRATE, AND METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: セラミックス回路基板、半導体装置、セラミックス回路基板の製造方法、及び半導体装置の製造方法



(57) Abstract: A ceramic circuit substrate according to an embodiment comprises: a ceramic substrate; a metal circuit; and a metal member. The metal circuit is provided on one surface of the ceramic substrate. The thickness of the metal circuit is 1 mm or more. The metal member is provided on the other surface of the ceramic substrate. The thickness of the metal member is 1 mm or more. The ratio V_f/V_b of a total volume V_f of the metal circuit to a total volume V_b of the metal member is 0.80-1.20.

(57) 要約: 実施形態にかかるセラミックス回路基板は、セラミックス基板と、金属回路と、金属部材と、を備える。前記金属回路は、前記セラミックス基板の一方の面に設けられている。前記金属回路の厚さは、1 mm 以上である。前記金属部材は、前記セラミックス基板の他方の面に設けられている。前記金属部材の厚さは、1 mm 以上である。前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b は、0.80 以上 1.20 以下である。

WO 2023/204054 A1

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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：

セラミックス回路基板、半導体装置、セラミックス回路基板の製造方法、及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 実施形態は、おおむね、セラミックス回路基板、半導体装置、セラミックス回路基板の製造方法、及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] セラミックス回路基板は、パワー素子などの半導体素子を搭載した半導体装置に用いられている。セラミックス基板と金属回路は、ろう材などを用いた接合層を介して互いに接合されている。これにより、接合強度及びヒートサイクル特性を向上させている。信頼性の向上に伴い、セラミックス回路基板は、自動車（電気自動車含む）や、電鉄車両、太陽光発電設備、産業機械のインバータ等に使用されている。パワーモジュールなどの半導体装置では、回路に半導体素子が実装されている。また、半導体素子の導通のために、ワイヤボンディングや金属端子が接合されることもある。半導体装置の製造において、半導体素子、ワイヤボンディング、金属端子などが回路に接合される。

[0003] パワーモジュールの小型化、軽量化、及び高密度実装化が進むにつれ、セラミックス基板は薄くなっている。それに伴い、セラミックス回路基板の反りが大きくなる傾向にある。セラミックス回路基板の反りを低減する方法の一つとして、金属回路板と、その反対面に接合されている金属板と、の面積比及び厚さ比を規定する方法が開示されている（特許文献1）。特許文献1によれば、これらの比を規定することにより、セラミックス回路基板の反り量を制御することができる。

[0004] さらに、半導体素子の高出力化が進むと、半導体素子に大きな電流または高い電圧を与える場合がある。このため、金属回路板を厚くして、大きな電

流を流すことと回路基板の冷却効果を高めることが望まれている。金属回路板を厚くしたセラミックス回路基板として、薄いセラミックス基板に厚い回路を接合する方法が開示されている（特許文献2）。特許文献2によると、セラミックス基板に厚さ0.7mm以上の銅回路を設け、表裏の銅回路板の体積を同等及びほぼ同等にすることにより、反りを防ぐことができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第4557398号公報

特許文献2：特許第6430382号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] その一方で、回路が厚くなることによって発生する課題が明らかになってきた。例えば、セラミックス基板の上面に接合される金属板は、複数の部分に分割され、回路形状に加工される。これに対して、セラミックス基板の下面には、分割されない一枚の金属部材が接合される。上面の金属回路の厚さと下面の金属部材の厚さとが同じである場合、金属回路の体積と金属板の体積との差が大きくなる。金属回路の体積と金属部材の体積との差が大きいほど、金属回路の熱膨張量と金属部材の熱膨張量との差が大きくなる。これにより、セラミックス回路基板の反りが大きくなる。

[0007] 実施形態は、このような課題を解決するためのものであり、厚い金属回路を設けた場合でも、反りを低減可能なセラミックス回路基板を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 実施形態にかかるセラミックス回路基板は、セラミックス基板と、金属回路と、金属部材と、を備える。前記金属回路は、前記セラミックス基板の一方の面に設けられている。前記金属回路の厚さは、1mm以上である。前記金属部材は、前記セラミックス基板の他方の面に設けられている。前記金属

部材の厚さは、1 mm以上である。前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b は、0.80以上1.20以下である。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す断面図。
- [図2]実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す上面図。
- [図3]実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す下面図。
- [図4]実施形態にかかるセラミックス回路基板の他の例を示す下面図。
- [図5]実施形態にかかる半導体装置の一例を示す断面図。
- [図6]実施形態に係る製造方法の一例を示すフローチャート。

発明を実施するための形態

- [0010] 実施形態にかかるセラミックス回路基板は、セラミックス基板と、金属回路と、金属部材と、を備える。前記金属回路は、前記セラミックス基板の一方の面に設けられている。前記金属回路の厚さは、1 mm以上である。前記金属部材は、前記セラミックス基板の他方の面に設けられている。前記金属部材の厚さは、1 mm以上である。前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b は、0.80以上1.20以下である。
- [0011] 図1は、実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す断面図である。図1において、1は、セラミックス回路基板である。2は、セラミックス基板である。3は、金属回路である。3aは、金属回路3の上面である。4は、金属部材である。4aは、金属部材の下面である。4bは、金属部材に形成された溝である。5aおよび5bは、それぞれ、ろう材を含む第1接合層および第2接合層である。
- [0012] ここでは、実施形態の説明のために、XYZ直交座標系を用いる。セラミックス基板2の一方の面（上面2a）と他方の面（下面2b）とを結ぶ方向を、「Z方向」とする。Z方向に対して垂直であり、相互に直交する二方向をX方向及びY方向とする。また、Z方向に平行な方向であって、金属部材

4から金属回路3に向かう方向を「上」と言い、その反対方向を「下」と言う。これらの方向は、金属回路3と金属部材4との相対的な位置関係に基づき、重力の方向とは無関係である。

[0013] セラミックス基板2は、平坦な2つの面を有する。ここでは、セラミックス基板2の一方の面を、上面2a（表面、片面）とする。セラミックス基板2の他方の面を、下面2b（裏面、他の片面）とする。金属回路3は、第1接合層5aを介して、上面2aに接合されている。金属部材4は、第2接合層5bを介して、下面2bに接合されている。図1の例では、複数の金属回路3が、複数の第1接合層5aを介して上面2aにそれぞれ接合されている。実施形態は、図示した例に限定されない。1つの金属回路3又は3つ以上の金属回路3が、上面2aに接合されても良い。また、図1の例では、金属部材4が、下面2bに接合されている。金属部材4は、回路ではなく放熱板として機能する。

[0014] セラミックス基板2は、酸化アルミニウム基板、窒化アルミニウム基板、又は窒化珪素基板のいずれか1種であることが好ましい。アルジル基板も、酸化アルミニウム基板の一種として挙げられる。アルジルは、20～80wt%の酸化アルミニウムと残部の酸化ジルコニウムとからなる焼結体である。

[0015] 窒化アルミニウム基板又は酸化アルミニウム基板の三点曲げ強度は、300～450MPa程度である。アルジル基板の三点曲げ強度は、550MPa前後である。窒化珪素基板を用いることで、セラミックス基板2の三点曲げ強度を、600MPa以上、さらには700MPa以上に高めることができる。また、熱伝導率を、50W/(m·K)以上、さらには80W/(m·K)以上に高めることができる。特に、近年は、高強度と高熱伝導の両方を併せ持つ窒化珪素基板もある。窒化珪素基板は、高強度であるため薄くすることができる。これにより、放熱性を高めることが可能である。このため、窒化珪素基板の厚さは、0.635mm以下が好ましく、0.3mm以下がより好ましい。厚さの下限値は特に限定されないが、0.1mm以上であ

ることが好ましい。これは、窒化珪素基板の電気絶縁性を確保するためである。「厚さ」は、セラミックス基板2のZ方向における寸法に相当する。

[0016] これらのセラミックス基板は、単板であってもよいし、多層構造などの立体構造を有していても良い。セラミックス基板の厚さは、特に限定されない。セラミックス回路基板を薄くすること及び金属回路を厚くすることで、放熱性が向上する。

[0017] 図2は、実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す上面図である。図2の点線は、図1の断面箇所を示す。

図2に示すように、複数の金属回路3が上面2aに接合される。図2に示す例では、7つの金属回路3が接合されている。金属回路を形成する際、予め回路を形成した金属回路3をセラミックス基板2と接合する第1の方法と、金属板部分をエッチングすることにより回路を形成する第2の方法と、がある。

[0018] 第1の方法では、化学エッチング以外の切削加工または成型加工により、接合前に、金属板が金属回路3に加工される。例えば、成型加工は、金型により金属板を打ち抜くプレス成型である。切削加工は、旋盤などにより溝部を形成する加工である。ワイヤーカットは、電極に通電させながら金属板を溶融させて切断する加工である。第1の方法が行われる場合、各金属回路3の側面は、Z方向に実質的に平行となる。Z方向から金属回路3を見たときの面積に、金属回路3の厚さを掛け合わせることで、金属回路3の体積を算出できる。各金属回路3の体積を足し合わせることで、合計体積 V_f を算出できる。

[0019] 第2の方法が行われる場合、金属板のエッチング中に、金属板に含まれる結晶粒界に沿って溶解が進む。このため、金属板の厚さ方向のみならず、厚さ方向に垂直な面方向にも溶解が進む。すなわち、サイドエッチングが発生する。金属板が厚くなるにしたがって、金属板のエッチング時間が長くなる。エッチング時間が長くなるほど、金属板の面方向へのエッチングが進行し、サイドエッチング量も大きくなる。金属回路3の合計体積 V_f は、サイド

エッチング量を考慮して算出される。具体的には、エッチング後の金属回路3の形状は、錐台で近似できる。図2に示す例では、各金属回路3の形状は、四角錐台で近似できる。各金属回路3の上底の面積、下底の面積、及び厚さから、各金属回路3の体積を算出する。それらの体積の和が合計体積 V_f である。

[0020] これらの方法以外にも、個々の金属回路をブリッジにより一体化して接合し、接合後にブリッジ部分を除去する方法がある。この場合も同様にして、接合後の各金属回路3の体積から、合計体積 V_f を算出する。

[0021] セラミックス基板2の上面2aには、図2に示すように、複数の独立した金属回路3が形成される。金属回路3同士の間は、セラミックス基板2により絶縁される。

[0022] 金属回路3には、半導体素子などが接合される。熱抵抗の低減とインダクタンスの低減のために、金属回路3の厚さは、1.0mm以上が好ましい。金属回路3の厚さは2.0mm以上であることがより好ましく、最も好ましくは3.0mm以上である。

[0023] 図3は、実施形態にかかるセラミックス回路基板の一例を示す下面図である。

図3に示すように、金属部材4は、セラミックス基板2の下面2bに接合されている。図3において、4aは、金属部材の下面である。4bは、金属部材4に形成された溝である。金属部材4は、放熱板として用いられる場合と、他の部品に接合される場合と、がある。図3に示すように、金属部材4の表面（下面4a）に回路形状が形成された金属部材4が、下面2bに設けられても良い。図示した例では、金属部材4の形状が、図2に示す複数の金属回路3と同じ形状を有するように、溝4bが形成されている。すなわち、溝4bの少なくとも一部は、Z方向において、金属回路3同士の隙間と並ぶ。また、Z方向から見たときの金属部材4の外縁の形及びサイズは、Z方向から見たときに複数の金属回路3を囲む最小の四角形の形及びサイズと、略同じである。溝4bの深さ（Z方向における寸法）は、例えば、金属部材4

の厚さの0.5倍以上である。

- [0024] 熱抵抗の低減のために、金属部材の厚さは、1.0mm以上が好ましい。金属部材の厚さは、2.0mm以上がより好ましく、最も好ましくは3.0mm以上である。
- [0025] 金属回路3の厚さ及び金属部材4の厚さが前述の値より薄い場合にも、金属回路3の合計体積 V_f 及び金属部材4の合計体積 V_b を制御することで、本発明の効果は得られる。本発明は、金属回路3及び金属部材4が厚い場合に特に有効である。熱抵抗の低減のためには、金属回路3及び金属部材4のそれぞれの厚さは、1.0mm以上であることが好ましい。一方で、金属回路3及び金属部材4が厚い場合、合計体積 V_f と合計体積 V_b との差が大きくなり易い。この結果、セラミックス回路基板1の反りも大きくなり易い。本発明の実施形態によれば、金属回路3の合計体積 V_f 及び金属部材4の合計体積 V_b を制御することで、金属回路3及び金属部材4が厚い場合でも、セラミックス回路基板1の反りを低減できる。
- [0026] 金属回路3及び金属部材4のそれぞれの厚さの上限は、特に限定されないが、20mm以下が好ましい。厚さが20mmを超えると、接合界面に応力が集中し、セラミックス基板2にクラックが発生する可能性がある。クラックの発生を抑制するために、セラミックス基板2を薄くすることが難しくなる可能性がある。
- [0027] 実施形態にかかるセラミックス回路基板1は、セラミックス基板2、金属回路3、及び金属部材4を含む。金属回路3及び金属部材4は、それぞれ、セラミックス基板2の上面2aと下面2bに接合される。金属回路3及び金属部材4の厚さは、1.0mm以上である。金属回路3の合計体積 V_f と金属部材4の合計体積 V_b の比である V_f/V_b は、0.80以上1.20以下であることが好ましい。
- [0028] セラミックス回路基板1の金属回路3には、半導体素子が実装される。半導体素子に電流が流れると、半導体素子で熱が発生する。半導体素子で発生した熱がセラミックス回路基板1へ伝わることで、セラミックス回路基板1

の温度が上昇する。

[0029] 比 V_f/V_b が0.80以上1.20以下の範囲内にあると、金属回路3の熱膨張と金属部材4の熱膨張との差が小さくなる。セラミックス回路基板1の温度が上昇した際に、金属回路3の熱膨張と金属部材4の熱膨張との差によって生じる応力が緩和される。セラミックス回路基板1の応力が緩和されることで、セラミックス回路基板1の反りが低減される。また、セラミックス回路基板1の応力が緩和することにより、接合強度、基板曲げ強度、及び耐熱サイクル性が向上する。

[0030] 熱膨張の差による熱応力は、金属回路3及び金属部材4が厚くなるほど大きくなる傾向にある。このため、比 V_f/V_b は、0.80以上1.20以下の範囲内であり、1に近いほうが好ましい。比 V_f/V_b は、より好ましくは0.90以上1.10以下であり、さらに好ましくは0.95以上1.05以下である。

[0031] 実施形態にかかるセラミックス回路基板1では、金属回路3及び金属部材4のそれぞれの厚さと、比 V_f/V_b と、が制御される。セラミックス基板2の上に接合される金属回路3及び金属部材4に関して、厚さ及び比 V_f/V_b をそれぞれ上述した範囲内に制御することで、優れた信頼性を備えたセラミックス回路基板1を得ることができる。

[0032] 図4(a)～図4(c)は、実施形態にかかるセラミックス回路基板の他の例を示す下面図である。

図4(a)に示すように、下面2bに設けられた金属部材4は、回路形状を有していなくても良い。すなわち、図4(a)に示す例では、セラミックス基板2の下面2bに、単板形状の金属部材4が設けられている。図4(a)に示すセラミックス回路基板1を製造する場合、金属回路3の合計体積 V_f を予め算出しておき、金属部材4の厚さを調整することで、比 V_f/V_b が0.8以上1.2以下となるように制御する。

[0033] 金属部材4の厚さを調整する以外に、金属部材4に溝(凹部)を形成し、金属部材4の合計体積 V_b を調整しても良い。図4(b)及び図4(c)に

において、4 bは、金属部材4に形成された溝を示す。図4 (b) 及び図4 (c) に示す例では、格子状の溝4 bが形成されている。溝4 bは、切削加工、プレス加工、またはエッチングによって形成することができる。金属部材4に溝4 bを形成することにより、金属部材4の合計体積V bを小さくできる。例えば、金属回路3の厚さと金属部材4の厚さが同じ場合であっても、金属部材4に溝4 bを形成することで、比 $V f / V b$ を0.8以上1.2以下の範囲内に制御できる。また、金属部材4を複数の部材に分離せず、金属部材4の部分同士を溝4 bの底部でつなげておくことで、金属部材4の放熱性を向上させることができる。

[0034] 厚さの調整又は溝の形成以外に、金属部材4のX-Y面(第1面)における面積を調整することで、合計体積V bを調整することもできる。金属部材4の面積を調整することで、比 $V f / V b$ が0.8以上1.2以下の範囲内に制御されても良い。

[0035] なお、複数の金属回路3のX-Y面における面積の和と、金属部材4のX-Y面における面積の和と、の差が過度に大きいと、セラミックス回路基板1の反りが大きくなり易い。このため、複数の金属回路3のX-Y面における面積の和A fと、金属部材4のX-Y面における面積A bと、の比 $A f / A b$ は、0.80以上1.20以下であることが好ましい。より好ましくは、比 $A f / A b$ は、0.90以上1.10以下である。比 $V f / V b$ に加えて、比 $A f / A b$ を制御することで、セラミックス回路基板の反りをさらに低減できる。

[0036] 金属回路3及び金属部材4に使用する金属として、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金などが挙げられる。銅及び銅合金は、高い電気伝導性を有し、電気回路の材料として優れている。また、銅及び銅合金は、高い熱伝導性を有し、金属回路の上に搭載される半導体素子の放熱性についても優れている。

[0037] 金属回路3及び金属部材4は、それぞれ、第1接合層5 a及び第2接合層5 bを介してセラミックス基板2に接合されることが好ましい。第1接合層

5 a 及び第2接合層5 bは、銀、銅、チタン、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、錫、インジウム、亜鉛、アルミニウム、珪素、炭素、及びマグネシウムからなる群より選択された少なくとも2つを含むことが好ましい。

[0038] 金属回路3及び金属部材4が銅または銅合金からなる場合は、セラミックス基板とそれぞれの金属回路の間に、Cu（銅）及びTi（チタン）を含む接合層を設けることが好ましい。Cu及びTiを含む接合層は、活性金属ろう材を用いて形成される。Tiは、活性金属である。活性金属として、Ti以外にも、Zr（ジルコニウム）、Hf（ハフニウム）、Nb（ニオブ）が挙げられる。活性金属ろう材としては、Ti、Cu、及びAg（銀）の混合物が挙げられる。例えば、Tiの含有量は0.1～10wt%であり、Cuの含有量は10～60wt%であり、残部はAgである。必要に応じ、In（インジウム）、Sn（錫）、Al（アルミニウム）、Si（珪素）、C（炭素）、及びMg（マグネシウム）からなる群より選択される1種以上が、1～15wt%添加されてもよい。活性金属ろう材を用いた活性金属接合法では、セラミックス基板2の表面に活性金属ろう材ペーストを塗布し、その上に金属板を配置する。得られた積層体を600～900℃で加熱し、セラミックス基板と金属板を接合する。活性金属接合法によれば、セラミックス基板2と金属回路3との接合強度およびセラミックス基板2と金属部材4との接合強度を、50MPa以上にできる。

[0039] 金属回路3及び金属部材4がアルミニウムまたはアルミニウム合金からなる場合には、セラミックス基板とそれぞれの金属回路の間に、Al（アルミニウム）及びSi（珪素）を含む接合層を設けることが好ましい。Al及びSiを含む接合層は、アルミニウムろう材を用いて形成される。例えば、Siの含有量は8～15wt%であり、残部はAlである。必要に応じ、In（インジウム）、Sn（錫）、Ti（チタン）、Cu（銅）、Ag（銀）、C（炭素）、及びMg（マグネシウム）からなる群より選択される1種以上が、1～15wt%添加されてもよい。アルミニウムろう材を用いたろう付け接合法では、セラミックス基板表面にアルミニウムろう材ペーストを塗布

し、その上に金属板を配置する。得られた積層体を500~700℃で加熱し、セラミックス基板と金属板を接合する。アルミニウムろう付け接合法によれば、セラミックス基板2と金属回路3との接合強度およびセラミックス基板2と金属部材4との接合強度を、50MPa以上にできる。

[0040] 金属回路3又は金属部材4の表面に、Ni（ニッケル）、Ag（銀）、及びAu（金）からなる群より選択される1種を主成分とする金属薄膜が設けられても良い。これら金属薄膜としては、めっき膜、スパッタ膜などが挙げられる。金属薄膜を設けることにより、耐食性、ハンダ濡れ性などを向上させることができる。

[0041] 実施形態に係るセラミックス回路基板1は、半導体装置に好適である。半導体装置では、金属回路の上に、接合層を介して半導体素子が実装される。

[0042] 図5は、実施形態にかかる半導体装置の一例を示す断面図である。

図5において、1は、セラミックス回路基板である。6は、半導体装置である。7は、半導体素子である。8は、接合層である。9は、ワイヤボンディングである。図5に示す例では、セラミックス基板2の上面2aに、複数の金属回路3が接合されている。1つの金属回路3の上に、接合層8を介して半導体素子7が接合されている。半導体素子7が接合された金属回路3と、別の金属回路3とは、ワイヤボンディング9で導通されている。下面2bには、金属部材4が接合されている。金属部材4には、溝4bが形成され、 V_f/V_b が0.80以上1.20以下に制御されている。

[0043] 実施形態にかかる半導体装置は、このような構造に限定されない。例えば、複数の半導体素子7が、複数の金属回路3の上にそれぞれ設けられても良い。複数の半導体素子7及び複数のワイヤボンディング9が、1つの金属回路3の上に設けられても良い。金属部材4にも、半導体素子及びワイヤボンディングが、必要に応じ接合されても良い。金属回路3又は金属部材4に、リードフレームなどの金属端子が接合されていても良い。

[0044] 半導体素子7を接合する接合層8には、ハンダ、ろう材などが用いられる。ハンダは、鉛フリーハンダが好ましい。ハンダは、融点が450℃以下の

材料を指す。ろう材は、融点が450℃を越える材料を指す。また、融点が500℃以上のろう材を、高温ろう材と呼ぶ。高温ろう材として、Agを主成分とするろう材が挙げられる。

[0045] 実施形態にかかるセラミックス回路基板1は、金属回路3の合計体積 V_f と金属部材4の合計体積 V_b の比である V_f/V_b が0.80以上1.20以下である。このため、セラミックス回路基板1に生じる応力を緩和できる。セラミックス回路基板1には、セラミックス基板2とそれぞれの金属回路との接合による残留応力が発生する。さらに、通常、金属回路上に半導体素子が搭載される。半導体素子からの発熱により、セラミックス基板と金属回路の熱膨張差が生じ、応力が発生する。比 V_f/V_b が0.80以上1.20以下であることにより、金属回路に発生する応力が小さくなる。金属回路への応力が小さくなると、金属回路の厚さが1mm以上である場合でも、セラミックス基板2と各金属回路との応力差によるクラック等の発生を抑制することが可能である。この点から、本実施形態によれば、セラミックス回路基板の信頼性を高めることができる。

[0046] また、半導体素子の小型化が進む一方で、半導体素子からの発熱量は増加している。そのため、半導体素子を搭載するセラミックス回路基板においては、放熱性の向上が重要になっている。半導体装置（半導体モジュール）の高性能化のために、セラミックス回路基板上に、複数の半導体素子が実装されうる。いずれかの一つの半導体素子の温度が真性温度を超えると、温度に対する電気抵抗の変化を示す温度係数が、正から負に変化する。すなわち、温度が上昇するほど、電気抵抗も低減する。これに伴い、電力が集中的に流れる熱暴走が起こり、半導体装置が破壊される現象が起きる。よって、半導体素子と金属回路の接合の信頼性を向上させることは非常に有効である。また、実施形態にかかる半導体装置は、自動車（電気自動車含む）、電鉄車両、産業機械及びエアコン等のインバータに用いられるPCU、IGBT、IPMモジュールに用いることができる。自動車については、電気自動車の普及が進んでいる。半導体装置の信頼性が向上するほど、自動車の安全性を高

めることができる。電鉄車両、産業機器などについても同様である。

[0047] 次に、実施形態にかかるセラミックス回路基板 1 の製造方法について説明する。セラミックス回路基板 1 は、前述の構成を有していれば、その製造方法は特に限定されない。ここでは、歩留まり良くセラミックス回路基板 1 を得るための方法の一例を挙げる。

[0048] まず、セラミックス基板 2 と、金属回路 3 及び金属部材 4 として用いられる金属板と、を用意する。セラミックス基板 2 は、酸化アルミニウム基板、窒化アルミニウム基板、及び窒化珪素基板から選ばれる 1 種が好ましい。特に、セラミックス回路基板 1 の全体の放熱性を考慮すると、セラミックス基板 2 は、熱伝導率 $50 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ 以上かつ三点曲げ強度 600 MPa 以上の窒化珪素基板であることが好ましい。金属板は、銅または銅合金から選ばれる 1 種からなることが好ましい。

[0049] セラミックス基板 2 の上面 2 a に設けられる金属回路 3 と、下面 2 b に設けられる金属部材 4 と、が貫通孔により導通される場合には、貫通孔を有するセラミックス基板 2 を用意する。貫通孔は、成形体の段階で予め形成されても良い。又は、セラミックス基板 2 (セラミックス焼結体) に貫通孔を形成しても良い。貫通孔は、レーザ加工、切削加工などにより形成される。切削加工としては、ドリルなどによる穴あけ加工が挙げられる。

[0050] 接合体に対してエッチングを行わない場合には、回路形状に成型された金属回路 3 をそれぞれ上面 2 a に接合する。エッチングを使用して金属回路 3 を形成する場合は、回路寸法から計算される金属板が用いられる。下面 2 b に接合される金属板の厚さは、回路寸法から計算される合計体積 V_f に応じて、調整されることが好ましい。

[0051] 銅板または銅合金板は、活性金属接合法によってセラミックス基板 2 と接合されることが好ましい。活性金属接合法では、Ti などの活性金属と Cu を混合した活性金属ろう材が用いられる。活性金属ろう材としては、Ti 及び Cu の混合物、Ti、Ag、及び Cu の混合物などが挙げられる。例えば、活性金属ろう材において、Ti の含有量は $0.1 \sim 10 \text{ wt} \%$ 、Cu の含

有量は10～60wt%、残部はAgである。必要に応じ、In、Sn、Al、Si、C、及びMgからなる群より選択される1種以上が、1～15wt%の範囲内で添加されてもよい。

[0052] アルミニウム板またはアルミニウム合金板は、アルミニウムろう付け法によってセラミックス基板2と接合されることが好ましい。アルミニウムろう付け法では、アルミニウムろう材が用いられる。アルミニウムろう材としては、Al及びSiの混合物が挙げられる。例えば、Siの含有量は8～15wt%であり、残部はAlである。必要に応じ、In、Sn、Ti、Cu、Ag、C、及びMgからなる群より選択される1種以上を1～15wt%添加してもよい。

[0053] ろう材金属は、ペースト化して用いられる。ペーストは、ろう材成分と有機物を混合して作製される。ペーストにおいて、ろう材成分は、均一に混合されることが好ましい。ろう材成分が不均一に分布すると、ろう付けが安定せず、接合不良の原因となりうる。

[0054] 次に、ろう材ペーストを、セラミックス基板2の上面2a及び下面2bに塗布する。それぞれのペーストの上に、金属板を配置する。金属板が金属回路3に予め成型される場合は、成型された金属回路3をペーストの上に配置する。同様に、回路形状の金属部材4が用いられ、且つ金属部材4が予め成型される場合は、成型された金属部材4をペーストの上に配置する。

[0055] 次に、セラミックス基板2と金属板の積層体を加熱し、セラミックス基板2と金属板を接合する。銅板または銅合金板が用いられる場合、積層体は700～900℃で加熱される。アルミニウム板またはアルミニウム合金板が用いられる場合、積層体は500～700℃で加熱される。加熱工程は、必要に応じ、真空中又は非酸化性雰囲気で行われる。真空中で加熱工程が行われる場合、圧力は 1×10^{-2} Pa以下であることが好ましい。非酸化性雰囲気としては、窒素雰囲気、アルゴン雰囲気などが挙げられる。真空中または非酸化性雰囲気で行うことにより、接合層が酸化されることを抑制できる。これにより、接合強度の向上が図られる。

[0056] エッチング加工により金属回路3を形成する場合は、接合後に、金属板をエッチングし、回路形状に加工する。接合後、下面2bの金属板（金属部材4）に対して、図3、図4（b）、又は図4（c）に示すように、エッチングによって溝4bが形成されても良い。

[0057] 以上の工程により、実施形態に係るセラミックス回路基板1が製造できる。次に、半導体素子7などをセラミックス回路基板1に接合する工程を行う。半導体素子7を接合する箇所に、接合層8を設ける。接合層8は、ハンダまたはろう材を含むことが好ましい。接合層8を設けて、その上に半導体素子7を設ける。必要に応じ、ワイヤボンディング9が設けられる。必要に応じて、複数の半導体素子7および複数のワイヤボンディング9が設けられても良い。

[0058] 図6は、実施形態に係る製造方法の一例を示すフローチャートである。

図6では、金属板が予め回路形状に成型される場合を例示する。まず、セラミックス基板2を用意する（ステップS1）。セラミックス基板2とは別に、金属板に対してプレス成型、切削加工、又はワイヤーカットを行い、金属回路3を作製する（ステップS2）。セラミックス基板2の両面にろう材ペーストを塗布する（ステップS3）。セラミックス基板2の上面2aに金属回路3を配置し、下面2bに金属部材4を配置する（ステップS4）。金属回路3および金属部材4をセラミックス基板2に接合する加熱接合を行う（ステップS5）。以上により、実施形態に係るセラミックス回路基板1が製造される。

[0059] 次に、セラミックス回路基板1の金属回路3の上に、接合層8を形成する（ステップS6）。接合層8の上に半導体素子7を設け、金属回路3に半導体素子7を接合する（ステップS7）。以上により、実施形態に係る半導体装置6が製造される。

[0060] 上述した通り、金属回路3は、エッチング、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットなどにより形成される。一般的には、エッチングは、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットよりも好ましい。プレス成型を行う場

合、金属回路3の形状に対応した金型を用意する必要がある。金型は高価であるため、セラミックス回路基板1の製造コストが増大する。切削加工の加工速度及びワイヤーカットの加工速度は遅く、切削加工及びワイヤーカットは大量生産に不向きである。一方で、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットでは、金属回路3を形成する際に、サイドエッチングが発生しない。このため、金属回路3の合計体積 V_f の制御が容易となる。

[0061] 実施形態に係るセラミックス回路基板1では、特に、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットにより形成された金属回路3が好適に用いられる。金属回路3が厚いほど、金属回路3の熱抵抗および金属回路3のインダクタンスを低減できる。一方で、金属回路3が厚いほど、エッチングによって金属板から金属回路3へ加工する場合に、より長い時間を要する。エッチングに要する時間が長いほど、サイドエッチングが進行する。このため、金属回路3の合計体積 V_f の制御が困難となる。プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットにより金属回路3を形成することで、比 V_f/V_b を0.80以上1.20以下に制御することが容易となる。

[0062] セラミックス回路基板1において比 V_f/V_b が0.80以上1.20以下であることに加えて、セラミックス基板2に接合される金属板の体積が制御されることが、さらに好ましい。具体的には、セラミックス基板2の上面2aに接合される金属回路3（又は金属板）の合計体積 V_{f0} と、セラミックス基板2の下面2bに接合される金属部材4の合計体積 V_{b0} と、の比 V_{f0}/V_{b0} が、0.80以上1.20以下であることが好ましい。

[0063] 比 V_{f0}/V_{b0} が1未満であると、下面2bに設けられる金属部材4の熱膨張が、上面2aに設けられる金属回路3の熱膨張よりも大きい。この場合、金属部材4が、金属回路3に比べてより大きく膨張した状態で、セラミックス基板2、金属回路3、及び金属部材4が接合される。その後の冷却時に、金属部材4が、金属回路3に比べてより大きく収縮する。この結果、セラミックス回路基板1は上面方向に向けて凸形状に反る。比 V_{f0}/V_{b0} が0.80未満であると、金属部材4の熱膨張と金属回路3の熱膨張との差

による接合体への応力が大きくなり、接合強度、基板曲げ強度、及び耐熱サイクル性が低下しうる。

[0064] 比 V_f0/V_b0 が1よりも大きいと、金属回路3の熱膨張が金属部材4の熱膨張よりも大きい。この場合、セラミックス回路基板1は下面方向に向けて凸形状に反る。比 V_f0/V_b0 が1.20よりも大きいと、金属部材4の熱膨張と金属回路3の熱膨張との差による接合体への応力が大きくなる。接合体の応力が大きくなることで、接合強度、基板曲げ強度、及び耐熱サイクル性が低下しうる。

[0065] 比 V_f0/V_b0 が0.80以上1.20以下であると、接合によって生じる応力を緩和することができる。これにより、セラミックス回路基板1の接合強度、基板曲げ強度、及び耐熱サイクル性をさらに向上させることができる。

[0066] 比 V_f0/V_b0 を制御するためには、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットにより形成された金属回路3を上面2aに接合することが有効である。金属板を上面2aに接合した後に、金属板をエッチングして金属回路3を形成する場合、接合時の金属板の合計体積 V_f0 は、エッチング加工後の金属回路3の合計体積 V_f よりも大きい。このため、合計体積 V_f0 が合計体積 V_b0 に比べて大きくなり易い。プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットにより形成された金属回路3を用いることで、比 V_f0/V_b0 を0.80以上1.20以下に制御することが容易となる。

[0067] (実施例)

(実施例1～12、比較例1～7)

表1に示すセラミックス基板を用意した。用意したセラミックス基板は、窒化珪素基板、窒化アルミニウム基板、及び酸化アルミニウム(アルミナ)基板である。窒化珪素基板の熱伝導率は、 $90W/(m \cdot K)$ であり、三点曲げ強度は、 $650MPa$ である。窒化アルミニウム基板の熱伝導率は、 $170W/(m \cdot K)$ であり、三点曲げ強度は、 $300MPa$ である。酸化アルミニウム基板の熱伝導率は、 $20W/(m \cdot K)$ であり、三点曲げ強度は、3

50MPaである。セラミックス基板のサイズは、縦30mm×横55mmである。窒化珪素基板の厚さは、0.32mm及び0.63mmである。窒化アルミニウム基板及びアルミナ基板の厚さは、0.63mmである。なお、表1において、窒化珪素基板は「Si₃N₄」、窒化アルミニウム基板は「AlN」、酸化アルミニウム基板は「Al₂O₃」と表記している。各セラミックス基板の厚さT1 (mm) は、表1に記載の通りである。

[0068] 次に、表1に示す金属板を用意した。金属板は、プレス成型によって、所定のサイズに予め加工される。上面2aに接合される各金属回路3の形状は、図2に示す通りである。下面2bには、図3、図4(a)、図(b)、又は図4(c)に示す形状の金属部材4を接合した。金属板は、銅板又はアルミニウム板である。金属板を予め回路形状に成型する場合は、接合の前に、合計体積を求めるために各回路形状の寸法を測定した。セラミックス基板との接合後に金属板をエッチング加工する場合は、単板の金属板を使用した。

[0069] 表1における金属板の材料に関して、銅板は「Cu」、アルミニウム板は「Al」と表記している。上面2aの金属回路の厚さT2 (mm) および下面2bの金属部材の厚さT3 (mm) は、表1に記載の通りである。また、金属板から金属回路への加工方法を、表1に記載した。「プレス成型」と記載された例では、金属板がプレス成型によって打ち抜かれて金属回路3が形成される。「エッチング」と記載された例では、エッチングによって、金属板が金属回路3に加工される。実施例1～7、実施例9～12、比較例1～3、及び比較例6～7では、切削加工により溝4bを形成した金属板を用意した。

[0070]

[表1]

	基板	T1 (mm)	金属板	T2 (mm)	T3 (mm)	形状	形成方法
実施例 1	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	2.0	2.0	図 3	プレス成型
実施例 2	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	4.0	4.0	図 3	プレス成型
実施例 3	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 3	プレス成型
実施例 4	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	5.0	図 3	プレス成型
実施例 5	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 3	プレス成型
実施例 6	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 3	エッチング
実施例 7	Si ₃ N ₄	0.63	Cu	8.0	8.0	図 3	プレス成型
実施例 8	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	5.0	図 4(a)	プレス成型
実施例 9	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 4(b)	プレス成型
実施例 10	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 4(c)	プレス成型
実施例 11	AlN	0.63	Al	4.0	4.0	図 3	プレス成型
実施例 12	Al ₂ O ₃	0.63	Al	4.0	4.0	図 3	プレス成型
比較例 1	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 3	プレス成型
比較例 2	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	5.0	図 3	プレス成型
比較例 3	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.0	図 3	エッチング
比較例 4	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	6.5	図 4(a)	プレス成型
比較例 5	Si ₃ N ₄	0.25	Cu	6.0	4.0	図 4(a)	プレス成型
比較例 6	AlN	0.63	Al	4.0	4.0	図 3	プレス成型
比較例 7	Al ₂ O ₃	0.63	Al	4.0	3.0	図 3	プレス成型

[0071] 次に、ろう材の原料を混合し、さらに有機成分を混合することによりろう材ペーストを作製した。セラミックス基板の両面にろう材ペーストを塗布し、それぞれに金属板または金属回路を配置した。このとき、上面の金属板と下面の金属板とがZ方向において正対するように、それらの金属板を配置した。金属回路が配置される場合は、Z方向から見たときに複数の金属回路3を囲む最小の四角形の位置、形、及びサイズが、Z方向から見たときの金属部材4の外縁の位置、形、及びサイズと略一致するように、複数の金属回路を上面に配置し、金属板を下面に配置した。

[0072] 金属回路の材料が銅である場合は、活性金属ろう材を使用した。活性金属ろう材におけるTiの含有量は2wt%、Snの含有量は10wt%、Cuの含有量は30wt%であり、残部はAgである。金属回路の材料がアルミ

ニウムである場合は、アルミニウムろう材を使用した。アルミニウムろう材におけるSiの含有量は12wt%であり、残部はAlである。

[0073] 得られた積層体に対して、真空中 (1×10^{-2} Pa以下) で、加熱接合工程を行った。加熱接合工程において、活性金属ろう材が用いられる場合は、接合温度を820°Cに設定した。アルミニウムろう材が用いられる場合は、接合温度を650°Cに設定した。接合時間は、10分に設定した。実施例6および比較例3では、接合後に、上面の金属板をエッチングし、図2に示す回路形状を形成した。また、実施例1~7、実施例11~12、比較例1~3、および比較例6~7では、接合後に、下面の金属板をエッチングし、図3に示す回路形状を形成した。

[0074] 上面2aに設けられる金属回路3について、実施例1~5、実施例7~12、比較例1~2、および比較例4~7では、プレス成型後の金属回路3の寸法から、合計体積Vfを算出した。実施例6および比較例3では、エッチング後に、各金属回路3の上底(上面3a)の面積および金属回路3同士の間の距離を測定した。距離は、セラミックス基板2の上面2aに沿って測定した。この距離から、金属回路3の下底の面積を計算した。各金属回路3の形状を四角錐台に近似し、上底の面積、下底の面積、および金属回路3の厚さから、合計体積Vfを算出した。

[0075] 下面2bに設けられる金属部材4について、実施例1~5、実施例7、実施例11~12、比較例1~3、および比較例6~7では、切削加工後の金属部材4の寸法から、合計体積Vbを算出した。実施例6および比較例3では、エッチング後の各金属部材4の上底の面積および金属部材4同士の間の距離を測定した。各金属部材4の形状を四角錐台に近似し、上底(下面4a)の面積、下底の面積、および金属部材4の厚さから、合計体積Vbを算出した。実施例9~10では、金属部材4の寸法、溝4bの長さ及び深さを計測し、それらの値から合計体積Vbを算出した。合計体積Vfおよび合計体積Vbから、比Vf/Vbを算出した。

[0076] 実施例及び比較例にかかる各セラミックス回路基板に対し、三次元測定機

にて反り量を測定した。セラミックス回路基板が金属回路3の方向に向けて凸形状に沿っている場合の反り量を、プラスとして記載した。セラミックス回路基板が金属部材4の方向に向けて凸形状に沿っている場合の反り量を、マイナスとして記載した。また、回路とセラミックス基板の間の接合強度として、プル強度を測定した。プル強度は、セラミックス回路基板を治具に固定して、金属回路の一部を垂直方向に50mm/分で引きはがすことにより測定した。

[0077] 次に、実施例及び比較例にかかる各セラミックス回路基板に対し、信頼性を評価した。信頼性として、半導体素子の接合性を評価した。接合性を評価するために、各セラミックス回路基板の金属回路に、鉛フリーハンダを使って半導体素子を接合した。さらに、ワイヤボンディングを設け、半導体素子と、半導体素子を接合していない金属回路と、を導通させた。これにより、半導体装置を作製した。半導体装置に対し、温度サイクル試験(TCT)を行い、剥がれ不良の未発生率を調べた。TCTでは、-40℃で30分の保持、室温で10分の保持、150℃で30分の保持、室温で10分の保持を1サイクルとして、50サイクルを実施した。50サイクル後のクラックによる剥がれ面積を、超音波探傷法(SAT: Scanning Acoustic Tomograph)により算出した。超音波探傷法では、クラックによる剥がれが生じた部分と、剥がれが生じていない部分と、が識別される。接合部分の全体の面積から、剥がれが生じた部分の面積を差し引くことで、未剥がれ面積が算出される。未剥がれ面積を全体の面積で除することで、未剥がれ面積率 η を算出した。TCTによりクラックの発生が全くない場合を $\eta = 100\%$ 、TCTによりセラミックス銅回路基板の接合部全面にクラックが発生した場合を $\eta = 0\%$ とした。表2に、合計体積 V_f 、合計体積 V_b 、比 V_f/V_b 、反り量、接合強度、未剥がれ率の測定結果を示す。

[0078]

[表2]

	Vf (cm ³)	Vf (cm ³)	Vf/Vb	反り量 (mm)	接合強度 (Mpa)	未剥がれ率 (%)
実施例 1	2.33	2.40	0.97	0.5	37	81
実施例 2	4.67	4.70	0.99	0.5	43	85
実施例 3	7.00	7.10	0.99	0.5	49	87
実施例 4	7.00	5.90	1.19	-0.7	35	80
実施例 5	7.00	8.60	0.81	0.7	38	79
実施例 6	6.72	8.26	0.81	0.7	40	82
実施例 7	9.34	9.30	1.00	0.4	54	92
実施例 8	7.00	7.02	1.00	0.6	40	82
実施例 9	7.00	7.50	0.93	0.5	41	85
実施例 10	7.00	8.00	0.88	0.5	45	85
実施例 11	4.67	4.70	0.99	0.4	33	87
実施例 12	4.67	4.70	0.99	0.4	31	86
比較例 1	7.00	8.90	0.79	1.2	25	58
比較例 2	7.00	5.80	1.21	-1.1	21	49
比較例 3	6.72	5.57	1.21	-1.0	23	53
比較例 4	7.00	9.13	0.77	1.3	20	52
比較例 5	7.00	5.62	1.25	-1.2	26	47
比較例 6	4.67	6.02	0.78	0.8	20	54
比較例 7	4.67	3.70	1.26	-0.9	23	55

[0079] 実施例 1～12 にかかるセラミックス回路基板については、金属回路 3 の合計体積 Vf と金属部材 4 の合計体積 Vb の比が、好ましい範囲内であった。一方、比較例 1～7 では、それらの比が好ましい範囲外であった。実施例 1～12 の結果と比較例 1～7 の結果とを比較すると、実施例 1～12 にかかるセラミックス回路基板の反り量が、比較例 1～7 にかかるセラミックス回路基板の反り量よりも小さい。実施例では、比 Vf/Vb の制御によってセラミックス回路基板の反りが抑制され、比較例では、金属回路 3 と金属部材 4 との熱膨張の差による応力が大きいためと考えられる。

[0080] また、実施例 1～12 にかかるセラミックス回路基板の接合強度は、比較例 1～7 にかかるセラミックス回路基板の接合強度よりも高いことが分かる

。セラミックス基板 2 及び金属回路 3 の応力が緩和されることで、金属回路 3 と半導体素子 7 との接合界面にクラックなどが発生し難くなるためと考えられる。さらに、実施例 1 ~ 12 では、未剥がれ率が 79% 以上であったのに対して、比較例 1 ~ 7 では、未剥がれ率が最大で 58% であった。このため、比 V_f / V_b の制御は、特に、熱サイクルに対する信頼性の向上に有効であることが分かる。

[0081] 実施例 8 ~ 10 にかかるセラミックス回路基板では、それぞれ、金属部材 4 が図 4 (a) ~ 図 4 (c) の形状を有する。実施例 8 ~ 10 の結果を比べると、溝 4 b が形成される場合は、溝 4 b が形成されない場合に比べて、比 V_f / V_b と「1」との差が大きくなっている。一方で、接合強度及び未剥がれ率は、向上している。この結果から、比 V_f / V_b が同程度である場合は、溝 4 b を設けることで、接合強度及び未剥がれ率を向上できることが分かる。これは、溝 4 b を形成することにより、下面 2 b 及び金属部材 4 における応力の集中を緩和できるためである。

[0082] 表 2 の結果からわかるように、実施例によれば、信頼性の高いセラミックス回路基板が得られた。また、実施例と比較例では、未剥がれ面積率 η に大きな差が生じた。これは、実施例では、応力緩和によって反り量を低減した結果、接合強度が向上したためと考えられる。これに対し、比較例では未剥がれ面積率 η が悪化する傾向にある。これは、接合強度が低下し、セラミックス回路基板の内部の熱応力が大きくなることで、接合部分にかかる負荷が大きくなったためと考えられる。

[0083] 本発明の実施形態は、以下の特徴を含む。

(付記 1)

セラミックス基板と、

前記セラミックス基板の一方の面に設けられた、厚さ 1 mm 以上の金属回路と、

前記セラミックス基板の他方の面に設けられた、厚さ 1 mm 以上の金属部材と、を備え、

前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f / V_b が 0.80 以上 1.20 以下である、セラミックス回路基板

。

(付記 2)

前記金属部材には溝が形成された、付記 1 に記載のセラミックス回路基板

。

(付記 3)

前記金属回路は、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットで形成される、付記 1 ないし付記 2 のいずれか 1 つに記載のセラミックス回路基板。

(付記 4)

複数の前記金属回路が、前記セラミックス基板の前記一方の面に設けられ

、

前記セラミックス基板の前記一方の面と前記他方の面とを結ぶ第 1 方向に垂直な第 1 面における、前記複数の金属回路の面積の和 A_f と、前記第 1 面における前記金属部材の面積 A_b と、の比 A_f / A_b が、0.80 以上 1.20 以下である、付記 1 ないし付記 3 のいずれか 1 つに記載のセラミックス回路基板。

(付記 5)

前記金属回路および前記金属部材のそれぞれの厚さが 2 mm 以上である、付記 1 ないし付記 4 のいずれか 1 つに記載のセラミックス回路基板。

(付記 6)

前記セラミックス基板は、酸化アルミニウム基板、窒化アルミニウム基板、及び窒化珪素基板から選択されるいずれか 1 種である、付記 1 ないし付記 5 のいずれか 1 つに記載のセラミックス回路基板。

(付記 7)

前記セラミックス基板の厚さは 0.7 mm 以下である、付記 6 に記載のセラミックス回路基板。

(付記 8)

前記金属回路および前記金属部材のそれぞれは、銅、銅合金、アルミニウム、及びアルミニウム合金から選択されるいずれか1種からなることを特徴とする付記7に記載のセラミックス回路基板。

(付記9)

前記セラミックス基板と前記金属回路とを接合する第1接合層と、
前記セラミックス基板と前記金属部材とを接合する第2接合層と、をさらに備え、

前記第1接合層および前記第2接合層のそれぞれは、銀、銅、チタン、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、錫、インジウム、亜鉛、アルミニウム、珪素、炭素、及びマグネシウムからなる群より選択された少なくとも2つを含む、付記8に記載のセラミックス回路基板。

(付記10)

付記1ないし付記9のいずれか1つに記載のセラミックス回路基板と、
前記金属回路に接合層を介して実装された半導体素子と、
を備えた半導体装置。

(付記11)

金属板にプレス成型、切削加工、又はワイヤーカットを施して金属回路を形成し、

セラミックス基板の一方の面に前記金属回路を接合し、
前記セラミックス基板の他方の面に金属部材を接合するセラミックス回路基板の製造方法であって、

前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b を0.80以上1.20以下とする、セラミックス回路基板の製造方法。

(付記12)

前記金属回路および前記金属部材のそれぞれの厚さが2mm以上である、
付記11に記載のセラミックス回路基板の製造方法。

(付記13)

付記 1 1 または付記 1 2 に記載の製造方法によって製造されたセラミックス回路基板の前記金属回路の上に、接合層を介して半導体素子を実装する、半導体装置の製造方法。

[0084] 以上、本発明のいくつかの実施形態を例示したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更などを行うことができる。これら実施形態やその変形例は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。また、前述の各実施形態は、相互に組み合わせて実施することができる。

符号の説明

[0085] 1…セラミックス回路基板
2…セラミックス基板、2 a…上面、2 b…下面
3…金属回路、3 a…金属回路上面
4…金属部材、4 a…金属部材下面、4 b…溝
5 a…第 1 接合層、5 b…第 2 接合層、
6…半導体装置
7…半導体素子
8…接合層
9…ワイヤボンディング

請求の範囲

- [請求項1] セラミックス基板と、
前記セラミックス基板の一方の面に設けられた、厚さ1mm以上の金属回路と、
前記セラミックス基板の他方の面に設けられた、厚さ1mm以上の金属部材と、を備え、
前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b が0.80以上1.20以下である、セラミックス回路基板。
- [請求項2] 前記金属部材には溝が形成された、請求項1に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項3] 前記金属回路は、プレス成型、切削加工、又はワイヤーカットで形成される、請求項1または請求項2に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項4] 複数の前記金属回路が、前記セラミックス基板の前記一方の面に設けられ、
前記セラミックス基板の前記一方の面と前記他方の面とを結ぶ第1方向に垂直な第1面における、前記複数の金属回路の面積の和 A_f と、前記第1面における前記金属部材の面積 A_b と、の比 A_f/A_b が、0.80以上1.20以下である、請求項1または請求項2に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項5] 前記金属回路および前記金属部材のそれぞれの厚さが2mm以上である、請求項1または請求項2に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項6] 前記セラミックス基板は、酸化アルミニウム基板、窒化アルミニウム基板、及び窒化珪素基板から選択されるいずれか1種である、請求項1または請求項2に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項7] 前記セラミックス基板の厚さは0.7mm以下である、請求項6に記載のセラミックス回路基板。
- [請求項8] 前記金属回路および前記金属部材のそれぞれは、銅、銅合金、アル

ミニウム、及びアルミニウム合金から選択されるいずれか1種からなることを特徴とする請求項7に記載のセラミックス回路基板。

[請求項9] 前記セラミックス基板と前記金属回路とを接合する第1接合層と、前記セラミックス基板と前記金属部材とを接合する第2接合層と、をさらに備え、

前記第1接合層および前記第2接合層のそれぞれは、銀、銅、チタン、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、錫、インジウム、亜鉛、アルミニウム、珪素、炭素、及びマグネシウムからなる群より選択された少なくとも2つを含む、請求項8に記載のセラミックス回路基板。

[請求項10] 請求項1または請求項2に記載のセラミックス回路基板と、前記金属回路に接合層を介して実装された半導体素子と、を備えた半導体装置。

[請求項11] 金属板にプレス成型、切削加工、又はワイヤーカットを施して金属回路を形成し、

セラミックス基板の一方の面に前記金属回路を接合し、

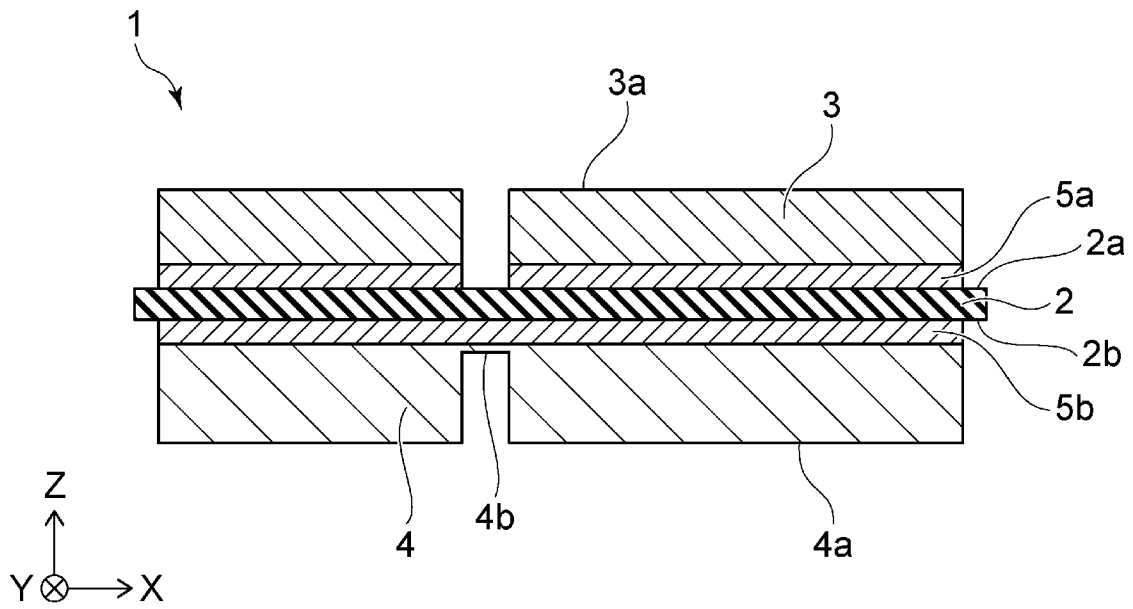
前記セラミックス基板の他方の面に金属部材を接合するセラミックス回路基板の製造方法であって、

前記金属回路の合計体積 V_f と、前記金属部材の合計体積 V_b と、の比である V_f/V_b を0.80以上1.20以下とする、セラミックス回路基板の製造方法。

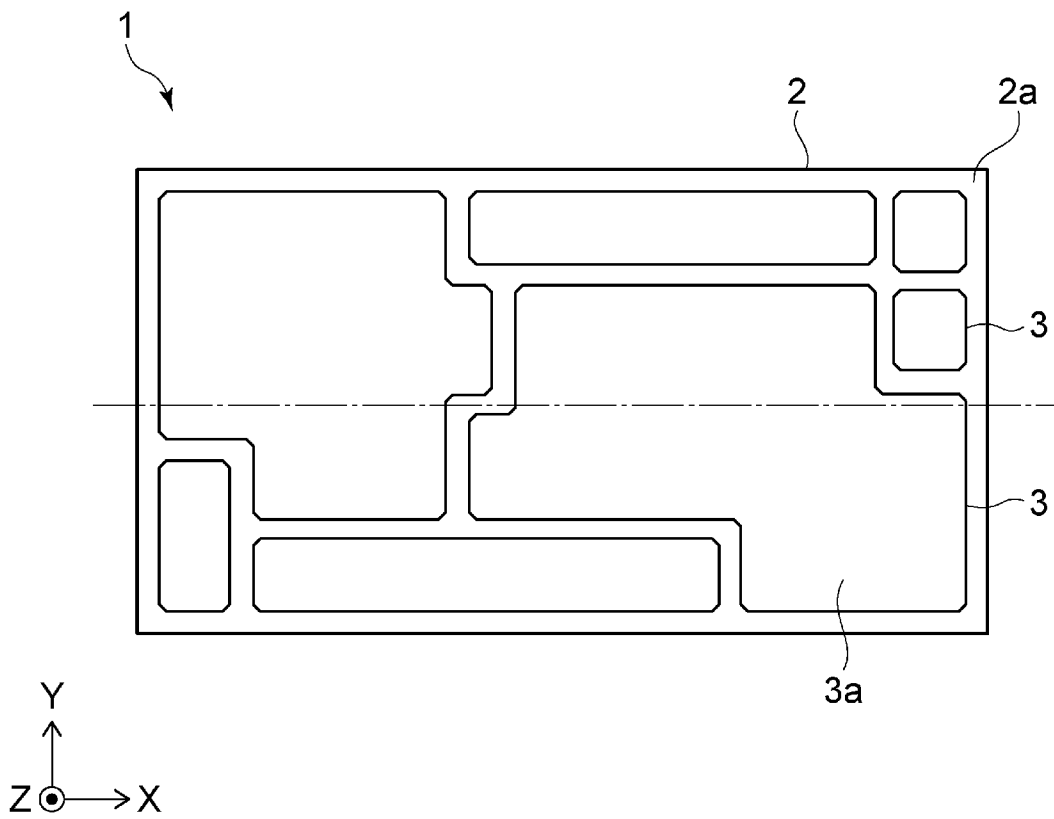
[請求項12] 前記金属回路および前記金属部材のそれぞれの厚さが2mm以上である、請求項11に記載のセラミックス回路基板の製造方法。

[請求項13] 請求項11または請求項12に記載の製造方法によって製造されたセラミックス回路基板の前記金属回路の上に、接合層を介して半導体素子を実装する、半導体装置の製造方法。

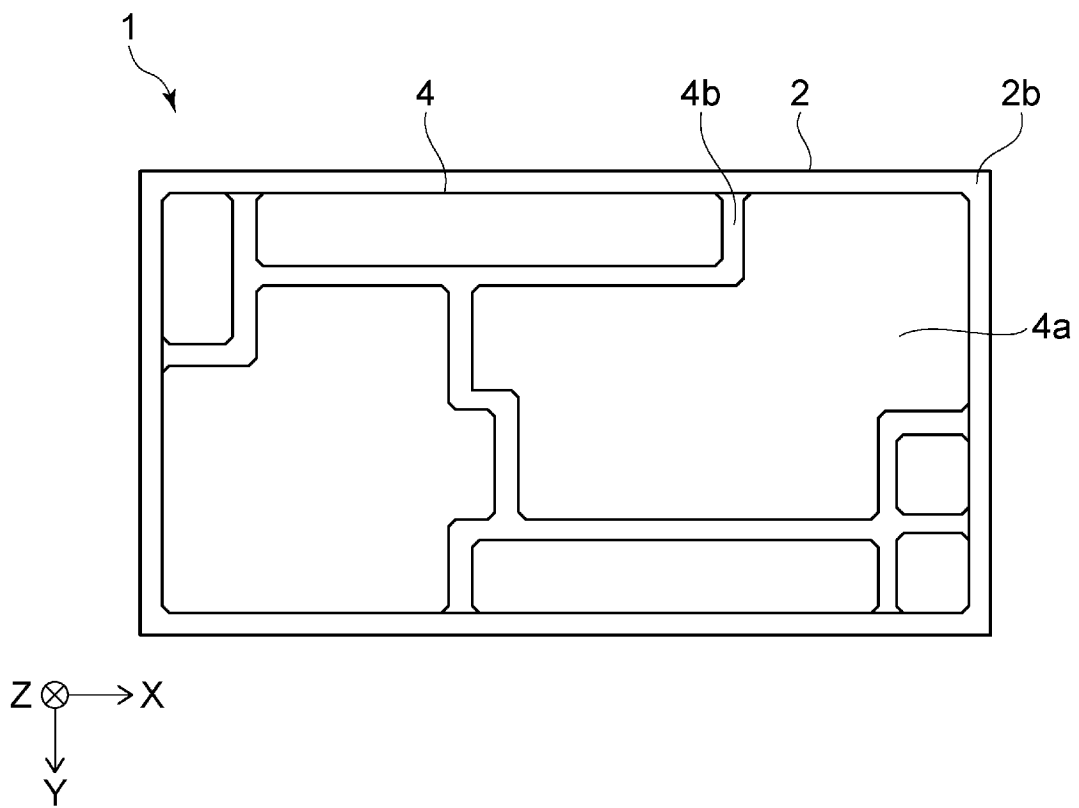
[図1]



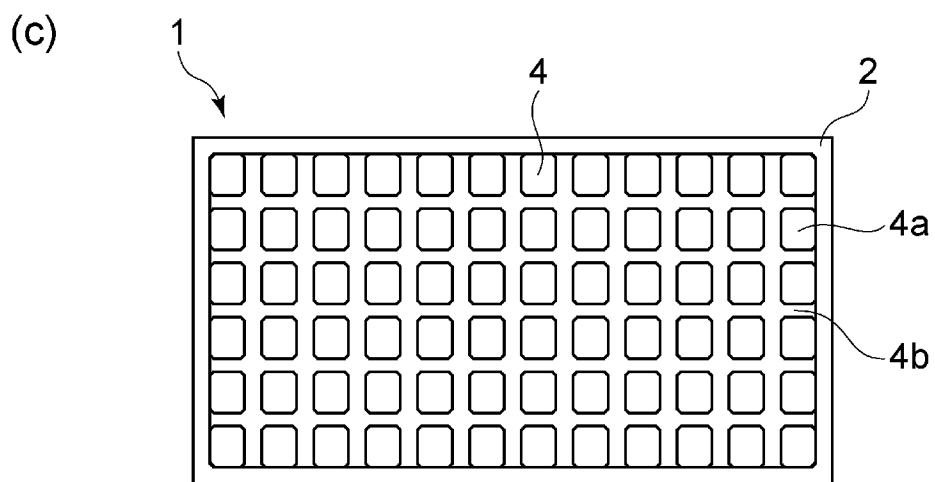
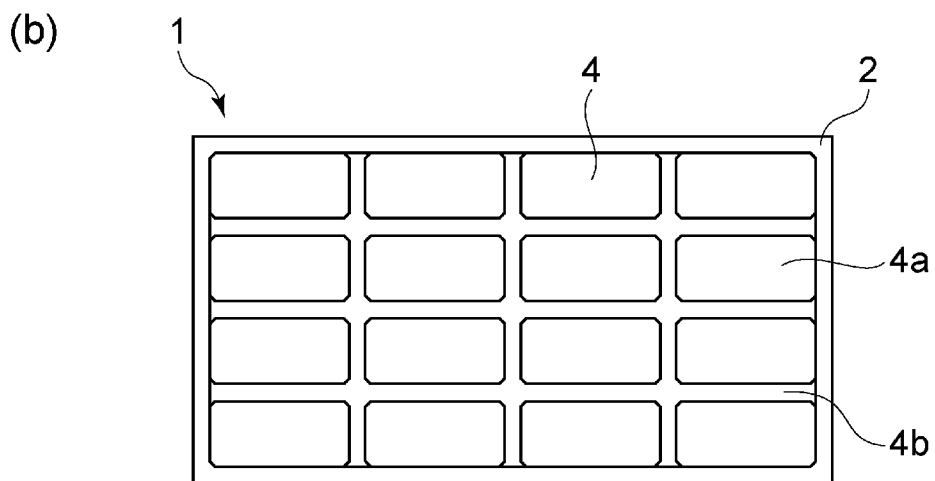
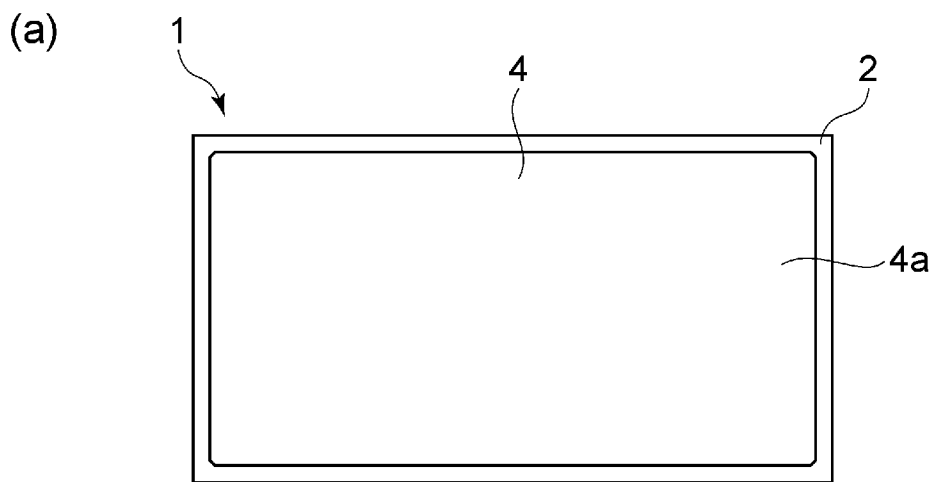
[図2]



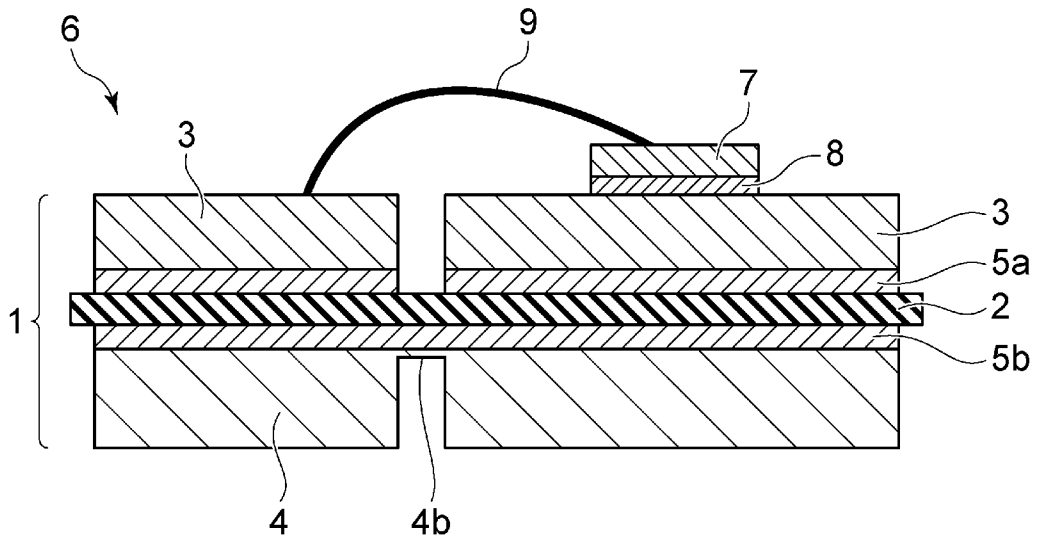
[図3]



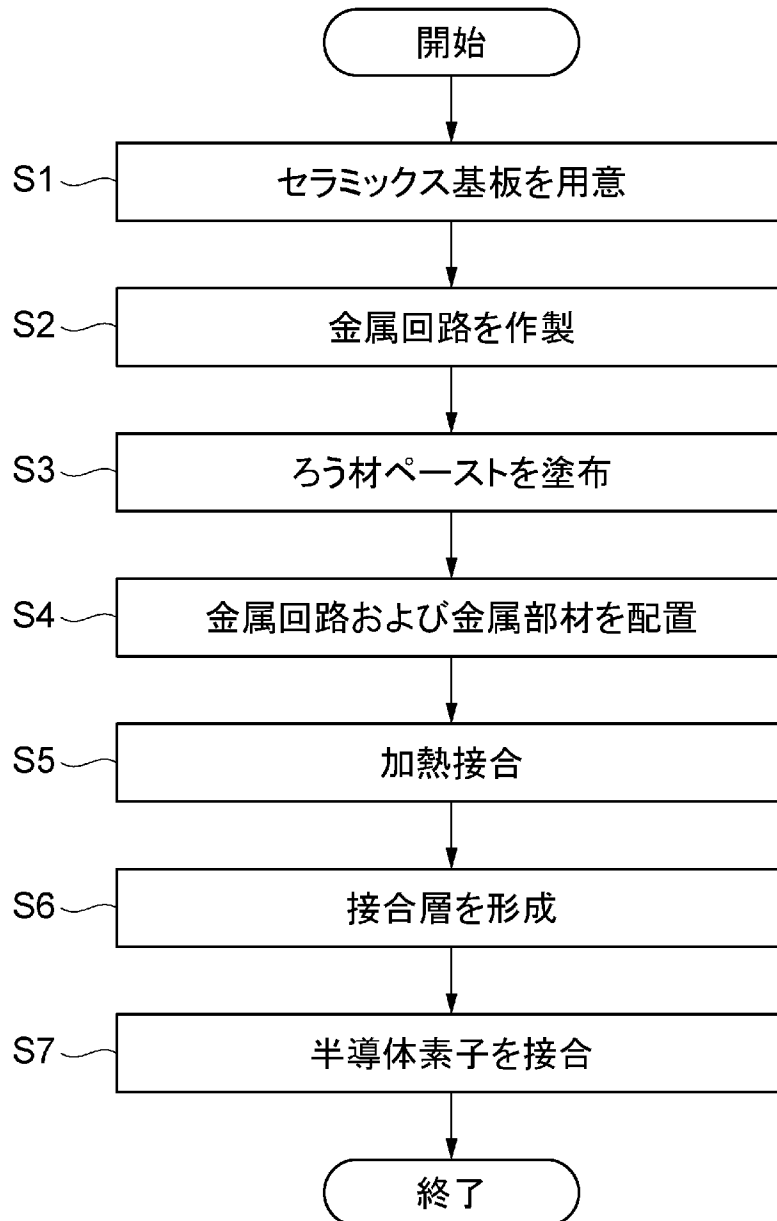
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/014392

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 23/13</i> (2006.01)i; <i>H01L 23/12</i> (2006.01)i; <i>H01L 23/36</i> (2006.01)i; <i>H05K 1/02</i> (2006.01)i FI: H01L23/12 C; H01L23/12 J; H01L23/36 C; H05K1/02 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L23/13; H01L23/12; H01L23/36; H05K1/02		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-42165 A (HITACHI METALS LTD) 28 February 2013 (2013-02-28) paragraphs [0002]-[0059], fig. 1, 3	1
Y		2-13
Y	JP 7-86703 A (TOSHIBA CORP) 31 March 1995 (1995-03-31) paragraphs [0023]-[0025], fig. 3	2-13
Y	JP 6430382 B2 (TOSHIBA CORP) 28 November 2018 (2018-11-28) paragraph [0058]	3, 11-13
<input 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 02 June 2023		Date of mailing of the international search report 13 June 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/014392

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2013-42165 A	28 February 2013	US 2009/0101392 A1 paragraphs [0004]-[0087], fig. 1, 3 EP 1921675 A1	
JP 7-86703 A	31 March 1995	(Family: none)	
JP 6430382 B2	28 November 2018	EP 3031789 A1 paragraph [0058] CN 105452194 A KR 10-2016-0030562 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 23/13(2006.01)i; H01L 23/12(2006.01)i; H01L 23/36(2006.01)i; H05K 1/02(2006.01)i FI: H01L23/12 C; H01L23/12 J; H01L23/36 C; H05K1/02 A		
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）） H01L23/13; H01L23/12; H01L23/36; H05K1/02 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 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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 2013-42165 A（日立金属株式会社）28.02.2013（2013 - 02 - 28） 段落[0002]-[0059], 図1, 3	1
Y		2-13
Y	JP 7-86703 A（株式会社東芝）31.03.1995（1995 - 03 - 31） 段落[0023]-[0025], 図3	2-13
Y	JP 6430382 B2（株式会社東芝）28.11.2018（2018 - 11 - 28） 段落[0058]	3, 11-13
<input 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	02.06.2023	国際調査報告の発送日 13.06.2023
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） 佐藤 靖史 5F 5895 電話番号 03-3581-1101 内線 3516	

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/JP2023/014392

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2013-42165	A	28.02.2013	US	2009/0101392	A1	
				段落[0004]-[0087], 図1, 3			
				EP	1921675	A1	
JP	7-86703	A	31.03.1995	(ファミリーなし)			
JP	6430382	B2	28.11.2018	EP	3031789	A1	
				段落[0058]			
				CN	105452194	A	
				KR	10-2016-0030562	A	