

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7008236号
(P7008236)

(45)発行日 令和4年1月25日(2022.1.25)

(24)登録日 令和4年1月13日(2022.1.13)

| (51)国際特許分類 | | F I | |
|------------|-----------------|---------|---------|
| H 0 1 L | 23/13 (2006.01) | H 0 1 L | 23/12 C |
| H 0 1 L | 23/12 (2006.01) | H 0 1 L | 23/12 D |
| H 0 1 L | 23/14 (2006.01) | H 0 1 L | 23/14 M |
| H 0 1 L | 23/36 (2006.01) | H 0 1 L | 23/36 C |

請求項の数 5 (全14頁)

| | | | |
|----------|----------------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2017-242577(P2017-242577) | (73)特許権者 | 000006264 三菱マテリアル株式会社 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 |
| (22)出願日 | 平成29年12月19日(2017.12.19) | (74)代理人 | 100101465 弁理士 青山 正和 |
| (65)公開番号 | 特開2019-110223(P2019-110223 A) | (72)発明者 | 青木 慎介 静岡県駿東郡小山町菅沼1400 三菱 マテリアル株式会社 三田工場 静岡DB Aセンター内 |
| (43)公開日 | 令和1年7月4日(2019.7.4) | 審査官 | 豊島 洋介 |
| 審査請求日 | 令和2年9月29日(2020.9.29) | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 パワーモジュール用基板及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

セラミックス基板と該セラミックス基板の一方の面に形成された銅又はアルミニウムからなる回路層とを備え、
前記回路層は、素子が搭載される第1回路層領域と該第1回路層領域の周囲を囲むように配置された第2回路層領域とを備え、
前記第1回路層領域の平均結晶粒径が、前記第2回路層領域の平均結晶粒径よりも小さく設けられていることを特徴とするパワーモジュール用基板。

【請求項2】

前記セラミックス基板の他方の面に前記回路層と同じ金属からなる金属層を備え、
前記金属層は少なくとも前記第1回路層領域に対向して配置される第1金属層領域を備え、
前記第1金属層領域が前記第1回路層領域と同じ平均結晶粒径に設けられていることを特徴とする請求項1に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項3】

前記回路層が銅のとき、前記第1回路層領域の平均結晶粒径が250µm未満であることを特徴とする請求項1又は2に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項4】

前記回路層がアルミニウムのとき、前記第1回路層領域の平均結晶粒径が375µm未満であることを特徴とする請求項1又は2に記載のパワーモジュール用基板。

【請求項5】

セラミックス基板の一方の面に回路層となる金属板を接合して前記セラミックス基板に前記回路層を形成する回路層形成工程を有しており、
前記回路層のうち、素子が搭載される第1回路層領域となる第1金属材として、前記第1回路層領域を除いた第2回路層領域となる第2金属材よりも加熱による結晶粒の粗大化が抑制された結晶粒抑制材を用意しておき、
前記回路層形成工程において、前記第1金属材と前記第2金属材とをろう接合材を介して隣接させて配置するとともに、これらの前記第1金属材と前記ろう接合材と前記第2金属材との回路層用積層体を前記ろう接合材と同じろう接合材を介して前記セラミックス基板の一方の面に重ねて配置した状態で、前記セラミックス基板と前記回路層用積層体との積層方向に加圧して加熱することにより、前記第1金属材と前記第2金属材とを接合するとともに、前記第1金属材と前記第2金属材とを前記セラミックス基板に接合して、前記セラミックス基板の一方の面に前記第1回路層領域と前記第2回路層領域とを有する前記回路層を形成することを特徴とするパワーモジュール用基板の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、大電流、高電圧を制御する半導体装置に用いられるパワーモジュール用基板及びその製造方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

パワーモジュールに用いられるパワーモジュール用基板として、例えばAlN（窒化アルミニウム）、Al₂O₃（アルミナ）、Si₃N₄（窒化ケイ素）等の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接合されたアルミニウム（Al）や銅（Cu）等の導電性に優れた金属からなる回路層と、を備えた構成のものが知られている。なお、この種のパワーモジュール用基板には、セラミックス基板の他方の面に熱伝導性に優れた金属からなる金属層を形成することや、金属層を介して放熱層（ヒートシンク）を接合することも行われる。

20

【0003】

例えば、特許文献1には、セラミック基板（セラミックス基板）の表面に銅回路が形成され、又はその銅回路と共にセラミック基板の裏面に放熱銅板が形成された回路基板が開示されている。

30

【0004】

このように構成されるパワーモジュール用基板の回路層の表面（上面）に、パワー素子等の半導体素子のはんだ付け（実装）されることにより、パワーモジュールが製造される。また、半導体素子を実装されたパワーモジュールは、絶縁性確保やの配線保護等の観点から、ポッティング樹脂やモールドディング樹脂で封止することも行われる。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】**

【文献】特許第3211856号公報

40

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

ところで、パワーモジュールにおける回路層と半導体素子との接合界面や、回路層とセラミックス基板との接合界面等の検査は、超音波探査映像装置（SAT：Scanning Acoustic Tomograph）を用いて、半導体素子やパワーモジュール用基板の各層等を介して行われることが知られている。

ところが、セラミックス基板に銅等の金属を接合して回路層を形成する場合、例えば、セラミックス基板に回路層となる銅（Cu）板を接合する場合、通常、Ag-Cu-Ti系等の活性金属ろう材を用いて800以上の温度で加熱することが必要となる。このような

50

温度域で加熱した場合、銅の結晶粒が加熱前よりも粗大化する。このため、パワーモジュール用基板（回路層）を介して回路層と半導体素子との接合界面（はんだ接合部）を超音波探査映像装置により検査する際に、回路層での超音波の反射が大きくなり、検査精度を低下させることが問題となっている。

【0007】

一方、この対策として、高熱を加えても結晶粒が粗大化しにくい材料を回路層に用いることが考えられるが、この場合には回路層表面の表面粗度（表面粗さ）が小さくなるため、半導体素子を実装したパワーモジュールを樹脂封止する際に、樹脂と回路層との密着性を低下させることが問題となる。

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、パワーモジュールを構成する各 부품の接合界面の検査精度を良好に確保するとともに、回路層と樹脂との密着性を良好に確保できるパワーモジュール用基板及びその製造方法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】

本発明のパワーモジュール用基板は、セラミックス基板と該セラミックス基板の一方の面に形成された銅又はアルミニウムからなる回路層とを備え、前記回路層は、素子が搭載される第1回路層領域と該第1回路層領域の周囲を囲むように配置された第2回路層領域とを備え、前記第1回路層領域の平均結晶粒径が、前記第2回路層領域の平均結晶粒径よりも小さく設けられている。

【0010】

このパワーモジュール用基板の回路層は、半導体素子等の素子が搭載（実装）される第1回路層領域の平均結晶粒径を周辺の第2回路層領域の平均結晶粒径よりも小さくしているので、超音波探査映像装置により回路層を介して素子と回路層との接合界面を検査する際に、回路層でも超音波の反射を低減でき、検査精度を良好に確保できる。

一方、第1回路層領域の周辺の第2回路層領域は、第1回路層領域よりも平均結晶粒径を大きくしているので、第1回路層領域よりも第2回路層領域の表面の表面粗度（表面粗さ）を大きく設けることができる。回路層上に素子を実装したパワーモジュールを樹脂封止する際には、回路層の周縁に配置される角部に応力が集中しやすいので、周縁に配置される第2回路層領域の表面粗度を大きく設けておくことで、モールド樹脂を回路層の周縁に強固に固定でき、モールド樹脂と回路層との密着性を良好に確保できる。

【0011】

本発明のパワーモジュール用基板の好適な実施態様として、前記セラミックス基板の他方の面に前記回路層と同じ金属からなる金属層を備え、前記金属層は少なくとも前記第1回路層領域に対向して配置される第1金属層領域を備え、前記第1金属層領域が前記第1回路層領域と同じ平均結晶粒径に設けられているとよい。

【0012】

セラミックス基板の他方の面に金属層を備えるパワーモジュール用基板でも、回路層の第1回路層領域に対向する第1金属層領域を、第1回路層領域と同じ平均結晶粒径に設けておくことで、超音波探査映像装置によりパワーモジュール用基板を介して素子と回路層との接合界面を検査する際に、回路層に加えて金属層でも超音波の反射を低減でき、検査精度を良好に確保できる。

【0013】

本発明のパワーモジュール用基板の好適な実施態様として、前記回路層が銅のとき、前記第1回路層領域の平均結晶粒径が250 μ m未満であるとよい。また、前記回路層がアルミニウムのとき、前記第1回路層領域の平均結晶粒径が375 μ m未満であるとよい。

【0014】

回路層が銅又はアルミニウムのときに、第1回路層領域の平均結晶粒径を上記範囲内に調整することにより、超音波探査映像装置による検査精度と、樹脂封止時の密着性との双方を、良好に確保できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

本発明のパワーモジュール用基板の製造方法は、セラミックス基板の一方の面に回路層となる金属板を接合して前記セラミックス基板に前記回路層を形成する回路層形成工程を有しており、前記回路層のうち、素子が搭載される第 1 回路層領域となる第 1 金属材として、前記第 1 回路層領域を除いた第 2 回路層領域となる第 2 金属材よりも加熱による結晶粒の粗大化が抑制された結晶粒抑制材を用意しておき、前記回路層形成工程において、前記第 1 金属材と前記第 2 金属材とをろう接合材を介して隣接させて配置するとともに、これらの前記第 1 金属材と前記ろう接合材と前記第 2 金属材との回路層用積層体を前記ろう接合材と同じろう接合材を介して前記セラミックス基板の一方の面に重ねて配置した状態で、前記セラミックス基板と前記回路層用積層体との積層方向に加圧して加熱することにより、前記第 1 金属材と前記第 2 金属材とを接合するとともに、前記第 1 金属材と前記第 2 金属材とを前記セラミックス基板に接合して、前記セラミックス基板の一方の面に前記第 1 回路層領域と前記第 2 回路層領域とを有する前記回路層を形成する。

10

【 0 0 1 6 】

このように、第 1 金属材として、第 2 金属材よりも加熱による結晶粒の粗大化が抑制された結晶粒抑制材を用いることで、第 1 回路層領域と第 2 回路層領域とを備える回路層を容易に形成できる。また、回路層形成工程では、回路層を構成する第 1 金属材と第 2 金属材との接合と、これら第 1 金属材及び第 2 金属材とセラミックス基板との接合とを同時に行うことができ、それぞれに必要なろう接合材に共通するものを用いることができるので、パワーモジュール用基板の製造工程を簡略化できる。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、パワーモジュールを構成する各 부품の接合界面の検査精度を良好に確保するとともに、回路層と樹脂との密着性を良好に確保できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 8 】

【 図 1 】本発明の第 1 実施形態のパワーモジュール用基板を用いたパワーモジュールを模式的に表した縦断面図である。

【 図 2 】図 1 に示すパワーモジュール用基板の模式図であり、(a) が縦断面図、(b) が回路層側から見た平面図である。

30

【 図 3 】図 2 に示すパワーモジュール用基板の製造方法を工程順に示す縦断面図である。

【 図 4 】本発明の第 2 実施形態のパワーモジュール用基板を模式的に表した縦断面図である。

【 図 5 】本発明の第 3 実施形態のパワーモジュール用基板を模式的に表した縦断面図である。

【 図 6 】両面冷却構造のパワーモジュールを模式的に表した縦断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 9 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

図 1 は、本発明の第 1 実施形態のパワーモジュール用基板の製造方法により製造されるパワーモジュール用基板 10 を用いたパワーモジュール 101 を示している。このパワーモジュール 101 は、パワーモジュール用基板 10 と、パワーモジュール用基板 10 の表面に搭載された半導体素子等の素子 91 とを備え、素子 91 とパワーモジュール用基板 10 とがエポキシ樹脂等からなるモールド樹脂 81 により樹脂封止されたものである。このパワーモジュール 101 は、パワーモジュール 101 の露出面（パワーモジュール用基板 10 の露出面）をヒートシンク（図示略）等の表面に押し付けて固定された状態で使用される。

40

【 0 0 2 0 】

パワーモジュール用基板 10 は、図 2 (a) に示すように、セラミックス基板 11 と、セラミックス基板 11 の一方の面に形成された回路層 12 と、セラミックス基板 11 の他方

50

の面に形成された金属層 1 3 と、を備えている。

セラミックス基板 1 1 は、 AlN (窒化アルミニウム)、 Al_2O_3 (アルミナ)、 Si_3N_4 (窒化ケイ素) 等のセラミックス材料により形成される。

【0021】

回路層 1 2 は、銅 (純銅又は銅合金) 又はアルミニウム (純アルミニウム又はアルミニウム合金) により形成され、これらの金属からなる金属板をセラミックス基板 1 1 の一方の面に $Ag-Cu-Ti$ 系もしくは $Al-Si$ 系等のろう接合材により接合することで形成される。また、回路層 1 2 は、図 1 及び図 2 に示すように、素子 9 1 が搭載される第 1 回路層領域 1 2 1 と、その第 1 回路層領域 1 2 1 を除いた第 2 回路層領域 1 2 2 と、を備えており、第 1 回路層領域 1 2 1 の平均結晶粒径が第 2 回路層領域 1 2 2 の平均結晶粒径よりも小さく設けられている。また、第 1 回路層領域 1 2 1 の周辺の第 2 回路層領域 1 2 2 は、第 1 回路層領域 1 2 1 よりも平均結晶粒径を大きくしているため、第 1 回路層領域 1 2 1 よりも第 2 回路層領域 1 2 2 の表面の表面粗度 (表面粗さ、算術平均粗さ R_a) が大きく設けられる。

10

なお、図 1 の符号 9 2 は、素子 9 1 を固着するはんだ材等の接合層を示しており、素子 9 1 が搭載される領域とは、この接合層 9 2 の形成領域までを含むものとする。

【0022】

第 1 実施形態では、図 2 (b) の回路層 1 2 側から見た平面図に示すように、第 1 回路層領域 1 2 1 が矩形状に設けられており、その第 1 回路層領域 1 2 1 の周囲を囲むようにして矩形枠状の第 2 回路層領域 1 2 2 が設けられている。なお、第 1 回路層領域 1 2 1 や第 2 回路層領域 1 2 2 の形状は上記の形状に限定されるものではなく、円形等の任意の形状で形成することもできる。

20

【0023】

第 1 回路層領域 1 2 1 の平均結晶粒径は、回路層 1 2 が銅 (Cu) のとき $250\mu m$ 未満であることが好ましい。一方、回路層 1 2 がアルミニウム (Al) のとき、第 1 回路層領域 1 2 1 の平均結晶粒径が $375\mu m$ 未満であることが好ましい。

第 1 回路層領域 1 2 1 の平均結晶粒径を上記範囲内に調整することにより、回路層 1 2 における超音波の反射を低減でき、回路層 1 2 を介して行う超音波探査映像装置 (SAT) による検査精度を良好に確保できる。一方、回路層 1 2 上に素子 9 1 を実装したパワーモジュール 1 0 1 を樹脂封止する際には、回路層 1 2 の周縁に配置される角部に応力が集中しやすいことから、周縁に配置される第 2 回路層領域 1 2 2 の表面粗度を大きくしておくことで、モールド樹脂 8 1 を回路層 1 2 の周縁に強固に固定できる。したがって、超音波探査映像装置による検査精度と、樹脂封止時の密着性との双方を、良好に確保できる。なお、樹脂封止時の密着性を確実に確保するためには、第 1 回路層領域 1 2 1 を回路層 1 2 の周縁から $0.5mm$ 以上内側の領域に形成し、第 2 回路層領域 1 2 2 の形成領域を確保することが望ましい。

30

【0024】

金属層 1 3 は、回路層 1 2 と同じ金属からなり、回路層 1 2 と同様に、金属板をセラミックス基板 1 1 の他方の面にろう接合材により接合することで形成される。また、図 1 及び図 2 (a) に示すように、金属層 1 3 は、少なくとも第 1 回路層領域 1 2 1 に対向して配置される第 1 金属層領域 1 3 1 を備え、この第 1 金属層領域 1 3 1 が第 1 回路層領域 1 2 1 と同じ平均結晶粒径に設けられている。この場合、金属層 1 3 は、第 1 金属層領域 1 3 1 を除いた部分、すなわち第 2 回路層領域 1 2 2 に対向する部分に矩形枠状の第 2 金属層領域 1 3 2 が設けられており、第 1 金属層領域 1 3 1 の平均結晶粒径が第 2 金属層領域 1 3 2 の平均結晶粒径よりも小さく設けられている。

40

なお、図 1 等では、金属層 1 3 が回路層 1 2 と同じ平面積で形成されているが、金属層 1 3 は回路層 1 2 と異なる平面積としてもよい。

【0025】

第 1 回路層領域 1 2 1 及び第 2 回路層領域 1 2 2、第 1 金属層領域 1 3 1 及び第 2 金属層領域 1 3 2 の各平均結晶粒径は、例えば、光学顕微鏡を用いて測定される。本実施形態で

50

は、光学顕微鏡により観察される既知の面積（例えば 5000mm^2 ）の測定範囲内に完全に含まれる結晶粒の数と、測定範囲の周辺で切断されている結晶粒の半分の数と、を足した数を全結晶粒数とし、測定範囲の面積を全結晶粒数で割った面積から、円相当径（金属粒子の単位面積と同じ面積を持つ円の直径）を算出し、この円相当径を各平均結晶粒径とした。

【0026】

このように構成されるパワーモジュール用基板10の諸寸法について、一例を挙げると、 Si_3N_4 （窒化ケイ素）からなるセラミックス基板11の板厚が $0.1\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ 、 Cu （銅）からなる回路層12及び金属層13の板厚が $0.05\text{mm} \sim 3.0\text{mm}$ とされる。ただし、これらの寸法は、上記数値範囲に限られるものではない。

10

【0027】

素子91は、半導体を備えた電子部品であり、必要とされる機能に応じて、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、FWD（Free Wheeling Diode）等の種々の半導体素子が選択される。この場合、素子91は、図示を省略するが、上部に上部電極部が設けられ、下部に下部電極部が設けられており、下部電極部が回路層12の上にはんだ付け等により接合されることで、素子91が回路層12の上面に搭載されている。また、素子91の上部電極部は、リードフレーム（図示略）等を介して回路層12の回路電極部に接続される。

20

【0028】

また、パワーモジュール101は、素子91とパワーモジュール用基板10とが、金属層13の裏面側を除いてモールド樹脂81により樹脂封止されることにより一体化されている。モールド樹脂81としては、例えば SiO_2 フィラー入りのエポキシ系樹脂等を用いることができ、例えばトランスファーマールドにより成形される。

【0029】

次に、パワーモジュール用基板10を製造する方法について、図3を用いて工程順に説明する。

【0030】

図1及び図2に示すように、セラミックス基板11の両面にそれぞれ回路層12と金属層13とを備えるパワーモジュール用基板10については、回路層12を形成する回路層形成工程と、金属層13を形成する金属層形成工程とを、同時に行うことができる。回路層形成工程では、セラミックス基板11の一方の面に回路層12となる金属板を接合してセラミックス基板11に回路層12を形成する。また、金属層形成工程では、セラミックス基板11の他方の面に金属層13となる金属板を接合してセラミックス基板11金属層13を形成する。

30

【0031】

回路層12となる金属板として、図3(a)に示すように、第1回路層領域121となる第1金属材221aと、第2回路層領域122となる第2金属材222aとを用意する。第1金属材221aには、第2回路層領域122となる第2金属材222aよりも加熱による結晶粒の粗大化が抑制された結晶粒抑制材を用いる。結晶粒抑制材は、銅材であれば、 800°C で加熱した際に、結晶粒の粗大化が抑制され、平均結晶粒径が $250\mu\text{m}$ 未満とされるものを好適に用いることができる。具体的には、第1金属材221aには、結晶粒抑制材として、古河電工株式会社製のGOF Cを用いることができる。これに対し、第2金属材222aには、一般的な圧延板の無酸素銅（OFC）を用いることができる。第2金属材222aは、 800°C で加熱した際に結晶粒が粗大化し、平均結晶粒径が $250\mu\text{m}$ 以上となる。

40

【0032】

なお、これらの金属材221a、222aは、それぞれプレス加工により板材を打ち抜くことで所望の外形に形成される。例えば、第1金属材221aは、素子91を搭載可能な

50

平面積を有する矩形板状に形成される。一方、第2金属材料222aは、第1金属材料221aを嵌め込むことが可能な矩形孔223を有し、第1金属材料221aよりも大判の矩形板状に形成される。

【0033】

また、本実施形態では、金属層13となる金属板は、回路層12となる金属材料221a、222aと同様の構成により形成される。つまり、金属層13となる金属板として、第1金属材料221aと同じ構成の第1金属材料221bと、第2金属材料222aと同じ構成の第2金属材料222bとを用いる。

【0034】

また、これらの第1金属材料221a、221b、第2金属材料222a、222b及びセラミックス基板11を接合するろう接合材224としては、例えばAgCuTi系ろう材を用いることができる。この場合、ろう接合材224は、予め第1金属材料221a、221b及び第2金属材料222a、222bの各接合面又はいずれかの接合面に塗布しておくことで、容易に取り扱うことができる。図3(b)では、第1金属材料221aの下面及び第1金属材料221bの上面に予めろう接合材224を塗布するとともに、第2金属材料222aの下面及び矩形孔223の内面と、第2金属材料の222bの上面と矩形孔223の内面とに予めろう接合材224を塗布している。

【0035】

図2(c)に示すように、回路層12を形成する第1金属材料221aと第2金属材料222aとをろう接合材224を介して隣接して配置するとともに、これらの第1金属材料221aとろう接合材224と第2金属材料222aとで構成される回路層用積層体251を、同じろう接合材224を介してセラミックス基板11の一方の面に重ねて配置する。また、同様に、セラミックス基板11の他方の面に、金属層13を形成する第1金属材料221bとろう接合材224と第2金属材料222bとで構成される金属層用積層体252を、同じろう接合材224を介して重ねて配置する。この状態で、図2(c)に白抜き矢印で示すように、金属層用積層体252、セラミックス基板11、回路層用積層体251の積層方向に加圧して加熱する。

【0036】

これにより、回路層12となる第1金属材料221aと第2金属材料222aとを接合するとともに、これらの第1金属材料221aと第2金属材料222aとをセラミックス基板11の一方の面に接合して、セラミックス基板11の一方の面に第1回路層領域121と第2回路層領域122とを有する回路層12を形成する。また、同時に、金属層13となる第1金属材料221bと第2金属材料222bとを接合するとともに、これらの第1金属材料221bと第2金属材料222bとをセラミックス基板11の他方の面に接合して、セラミックス基板11の他方の面に第1金属層領域131と第2金属層領域132とを有する金属層13を形成する。これにより、図2(d)に示すように、金属層13とセラミックス基板11と回路層12とが順に積層されたパワーモジュール用基板10が製造される。

【0037】

そして、このようにして製造されたパワーモジュール用基板10に、図1に示すように、素子91を搭載する。素子91は、回路層12の第1回路層領域121の上面に、例えば銀焼結やはんだ接合材からなる接合層92を介して接合する。また、図示は省略するが、素子91に必要な配線等を接続し、回路層12と素子91とを電氣的に接続してパワーモジュール101を製造する。その後、金属層13の下面を除いたパワーモジュール101の全体をモールド樹脂81により封止する。回路層12の周縁に設けられる第2回路層領域122の表面は、第1回路層領域121の表面よりも表面粗さが大きく設けられているため、モールド樹脂81が回路層12の表面に大きく露出する第2回路層領域122の表面に密着して、強固に接合することができる。

【0038】

このように構成されるパワーモジュール101のパワーモジュール用基板10では、回路層12を、素子91が搭載(実装)される第1回路層領域121の平均結晶粒径を周辺の

10

20

30

40

50

第2回路層領域122の平均結晶粒径よりも小さくしているため、超音波探査映像装置により回路層12を介して素子91と回路層12との接合界面を検査する際に、回路層12でも超音波の反射を低減でき、検査精度を良好に確保できる。また、セラミックス基板11の他方の面に形成された金属層13でも、回路層12の第1回路層領域121に対向する第1金属層領域131を、第1回路層領域121と同じ平均結晶粒径に設けているため、超音波探査映像装置によりパワーモジュール用基板10を介して素子91と回路層12との接合界面を検査する際に、回路層12に加えて金属層13でも超音波の反射を低減でき、検査精度を良好に確保できる。

【0039】

一方、回路層12の第1回路層領域121の周辺の第2回路層領域122は、第1回路層領域121よりも平均結晶粒径を大きくしているため、第1回路層領域121よりも第2回路層領域122の表面の表面粗度(表面粗さ)を大きく設けることができる。回路層12上に素子91を実装したパワーモジュール101を樹脂封止する際には、回路層12の周縁に配置される角部に応力が集中しやすいので、周縁に配置さえる第2回路層領域122の表面粗度を大きく設けておくことで、樹脂を回路層12の周縁に強固に固定でき、樹脂と回路層12との密着性を良好に確保できる。このように構成されるパワーモジュール101は、使用環境において熱サイクル等が作用するが、モールド樹脂81が回路層12表面に強固に密着しているため剥がれにくく、長期的信頼性を向上させることができる。

【0040】

また、本実施形態のパワーモジュール用基板の製造方法によれば、第1金属材221aとして、第2金属材222aよりも加熱による結晶粒の粗大化が抑制された結晶粒抑制材を用いることで、第1回路層領域121と第2回路層領域122とを備える回路層12を容易に形成できる。また、回路層形成工程では、回路層12を構成する第1金属材221aと第2金属材222aとの接合と、これら第1金属材221a及び第2金属材222aとセラミックス基板11との接合とを同時に行うことができ、それぞれに必要なろう接合材224に共通するものを用いることができる。したがって、パワーモジュール用基板10の製造工程を簡略化できる。

【0041】

なお、前述した第1実施形態においては、パワーモジュール用基板10がセラミックス基板11の他方の面に形成された金属層13を備える構成とされていたが、図4に示す第2実施形態のパワーモジュール用基板20のように、セラミックス基板11の他方の面に金属層を設けることなく、一方の面に形成された回路層12のみを備える構成も、本発明に含まれる。

また、前述した第1実施形態では、金属層13が第1金属層領域131と第2金属層領域132とを備える構成とされていたが、図5に示す第3実施形態のパワーモジュール用基板30のように、金属層33を第1金属層領域131のみで構成してもよい。

なお、第2実施形態及び第3実施形態において、第1実施形態と共通要素には同一符号を付して説明を省略する。

【0042】

なお、本発明は上記実施形態の構成のものに限定されるものではなく、細部構成においては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば、上記実施形態では、素子91の片面(下部電極部)をパワーモジュール用基板10の回路層12に搭載していたが、図6に示すパワーモジュール102のように、素子91の両面にパワーモジュール用基板10をそれぞれ配置する構成とすることにより、両面冷却構造とすることも可能である。

【0043】

また、上記実施形態では、平均結晶粒径を領域毎に異ならせた回路層12と金属層13とを銅(純銅又は銅合金)により形成したが、アルミニウム(純アルミニウム又はアルミニウム合金)を用いても平均結晶粒径を領域毎に異ならせて回路層12と金属層13とを形成できる。

10

20

30

40

50

例えば、アルミニウムの鋳塊を所望の板厚まで圧延する圧延工程における1パス当たりの圧下率を調整することで、平均結晶粒径を制御できる。具体的には、1パス当たりの圧下率を大きくすると、平均結晶粒径を大きくできる。そして、このように平均結晶粒径が調整された圧延材を用いることで、第1回路層領域と第2回路層領域とで平均結晶粒径が異なる回路層を有するパワーモジュール用基板を容易に製造できる。

【実施例】

【0044】

以下、本発明の効果を実施例を用いて詳細に説明するが、本発明は下記の実施例に限定されるものではない。

【0045】

表1～表2に示すように、素子とパワーモジュール用基板とを接合したパワーモジュールの実施例1-1～1-3及び2-1～2-3と比較例1-1～1-3及び2-1～2-3とを作製した。パワーモジュール用基板には、セラミックス基板の一方の面に、表1及び表2に示す構成の回路層を形成したものをを用いた。

実施例1-1～1-3及び2-1～2-3では、回路層は、素子が搭載される第1回路層領域を、それ以外の第2回路層領域よりも平均結晶粒径を小さくして形成した。一方、比較例1-1～1-2及び2-1～2-2では、回路層を第1回路層領域と第2回路層領域とに区別することなく、一律の平均結晶粒径を有する金属板により形成した。また、比較例1-3及び比較例2-3では、素子が搭載される第1回路層領域を、それ以外の第2回路層領域よりも平均結晶粒径を大きくして形成した。

【0046】

セラミックス基板には、 Si_3N_4 （窒化ケイ素）からなる板厚が0.32mm、平面サイズが30mm×30mmの矩形板を用いた。回路層には、板厚が1.6mm、平面サイズが28mm×28mmの矩形板を用い、回路層の中央部分の23mm×23mm範囲内を第1回路層領域とし、第1回路層領域の周囲を第2回路層領域とした。また、回路層となる各金属板が銅の場合にはAg-Cu-Ti系ろう接合材を用い、アルミニウムの場合にはAl-Si系ろう接合材を用いて、セラミックス基板と金属板とを接合して、パワーモジュール用基板を作製した。

【0047】

得られた各パワーモジュール用基板の回路層の上面の表面粗さ測定を行い、回路層表面の第1回路層領域と第2回路層領域の表面粗さを測定した。なお、比較例1-1～1-2及び2-1～2-2については、第1回路層領域と第2回路層領域に相当する箇所の表面粗さを測定した。

次いで、各パワーモジュール用基板の回路層（第1回路層領域）の表面に素子をはんだ材（Sn-Cu系はんだ材）により接合し、パワーモジュールを製造した。そして、得られたパワーモジュールについて、回路層を介さない素子側と、回路層を介したパワーモジュール用基板側と、の双方からはんだ接合層を検査し、はんだ接合層中のボイド面積率を測定した。また、得られたパワーモジュールの素子とパワーモジュール用基板とを樹脂封止し、樹脂と回路層との密着性を評価した。なお、樹脂はエポキシ樹脂を用い、トランスファーマールドによって樹脂封止を行った。

【0048】

（回路層表面の表面粗さ測定）

回路層（第1回路層領域及び第2回路層領域）表面の表面粗さ（Ra）測定は、サーフテスター（Mitutoyo社製SJ-410）を用いて実施した。結果を表1及び表2に示す。

【0049】

（はんだ接合層中のボイドの直径の測定方法）

得られたパワーモジュールに対し、超音波探査映像装置（SAT、日立エンジニアリング・アンド・サービス社製ES5000）を用いて、回路層と素子との接合界面（はんだ接合層）を観察した。回路層と素子との接合界面の観察は、回路層を介したパワーモジュール

10

20

30

40

50

ル用基板側と、回路層を介さない素子側との双方から行き、超音波探査映像装置により観察されるボイドの直径を各方向から測定した。ボイドの直径は、観察されたボイドの面積から、同じ面積を持つ円の直径を算出し、この円相当径をボイドの直径とした。なお、1つの接合界面内に複数のボイドが有る場合には、各ボイドの直径の平均値（平均直径）を算出した。また、素子側から観察した際のボイドの平均直径 D 1 と、パワーモジュール用基板側から観察した際のボイドの平均直径 D 2 と、の比率（ D 1 / D 2 ） × 1 0 0 [%] を算出した。

【 0 0 5 0 】

得られた比率の値が小さいほど、素子側から観察した際のボイドの平均直径と、パワーモジュール用基板側から観察した際のボイドの平均直径と、の差が小さく、良好な検査精度が得られる。この場合、検査精度の評価は、比率の値が ± 1 0 % 未満（比率が 9 0 % を超え 1 1 0 % 未満）であれば良好「 ○ 」とし、 ± 1 0 % 以上（比率が 9 0 % 以下又は 1 1 0 % 以上）の場合を否「 × 」と評価した。結果を表 3 及び表 4 に示す。

10

【 0 0 5 1 】

（プリンカップ試験による密着性評価）

プリンカップ試験により、モールド樹脂とパワーモジュール用基板との密着性を評価した。プリンカップ試験は、樹脂 金属接合特性評価試験方法の国際規格 I S O 1 9 0 9 5 1 ~ 4 に準拠して行った。具体的には、パワーモジュール用基板の回路層の表面にプリンカップ形状の樹脂を形成し、その樹脂のせん断剥離強度試験を実施した。そして、得られたせん断剥離強度が 1 5 M P a 以上の場合を、モールド樹脂とパワーモジュール用基板との密着性が良好「 ○ 」とし、せん断剥離強度が 1 5 M P a 未満の場合を否「 × 」と評価した。結果を表 3 及び表 4 に示す。

20

【 0 0 5 2 】

【表 1】

| | 回路層の材質 | 第 1 回路層領域 | | 第 2 回路層領域 | |
|-----------|--------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | | 平均結晶粒径 [μ m] | 表面粗さ R a | 平均結晶粒径 [μ m] | 表面粗さ R a |
| 実施例 1 - 1 | Cu | 240 | 1.0 | 300 | 1.2 |
| 実施例 1 - 2 | Cu | 240 | 1.0 | 450 | 1.6 |
| 実施例 1 - 3 | Cu | 240 | 1.0 | 600 | 2.0 |
| 比較例 1 - 1 | Cu | 240 | 1.0 | 240 | 1.0 |
| 比較例 1 - 2 | Cu | 300 | 1.2 | 300 | 1.2 |
| 比較例 1 - 3 | Cu | 300 | 1.2 | 240 | 1.0 |

30

【 0 0 5 3 】

【表 2】

| | 回路層の材質 | 第 1 回路層領域 | | 第 2 回路層領域 | |
|-----------|--------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | | 平均結晶粒径 [μ m] | 表面粗さ R a | 平均結晶粒径 [μ m] | 表面粗さ R a |
| 実施例 2 - 1 | Al | 360 | 1.3 | 450 | 1.6 |
| 実施例 2 - 2 | Al | 360 | 1.3 | 675 | 1.6 |
| 実施例 2 - 3 | Al | 360 | 1.3 | 900 | 2.0 |
| 比較例 2 - 1 | Al | 360 | 1.3 | 360 | 1.3 |
| 比較例 2 - 2 | Al | 450 | 1.6 | 450 | 1.6 |
| 比較例 2 - 3 | Al | 450 | 1.6 | 360 | 1.3 |

40

【 0 0 5 4 】

50

【表 3】

| | SATによる検査精度の評価 | 密着性評価 |
|--------|---------------|-------|
| 実施例1-1 | ○ | ○ |
| 実施例1-2 | ○ | ○ |
| 実施例1-3 | ○ | ○ |
| 比較例1-1 | ○ | × |
| 比較例1-2 | × | ○ |
| 比較例1-3 | × | × |

10

【0055】

【表 4】

| | SATによる検査精度の評価 | 密着性評価 |
|--------|---------------|-------|
| 実施例2-1 | ○ | ○ |
| 実施例2-2 | ○ | ○ |
| 実施例2-3 | ○ | ○ |
| 比較例2-1 | ○ | × |
| 比較例2-2 | × | ○ |
| 比較例2-3 | × | × |

20

【0056】

表3及び表4の結果からわかるように、回路層が銅のときは、第1回路層領域の平均結晶粒径を250 μ m未満とすることで、超音波探査映像装置による検査精度と、樹脂封止時の密着性との双方を、良好に確保できる。また、回路層がアルミニウムの場合は、第1回路層領域の平均結晶粒径を375 μ m未満とすることで、超音波探査映像装置による検査精度と、樹脂封止時の密着性との双方を、良好に確保できる。

【符号の説明】

【0057】

- 10, 20, 30 パワーモジュール用基板
- 11 セラミックス基板
- 12 回路層
- 13, 33 金属層
- 81 モールド樹脂
- 91 素子
- 92 接合層
- 101, 102 パワーモジュール
- 121 第1回路層領域
- 122 第2回路層領域
- 131 第1金属層領域
- 132 第2金属層領域
- 221a, 221b 第1金属材
- 222a, 222b 第2金属材
- 223 矩形孔
- 224 ろう接合材
- 251 回路層用積層体
- 252 金属層用積層体

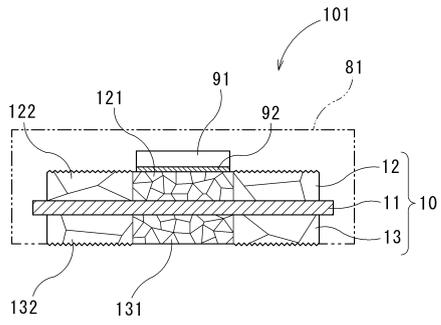
30

40

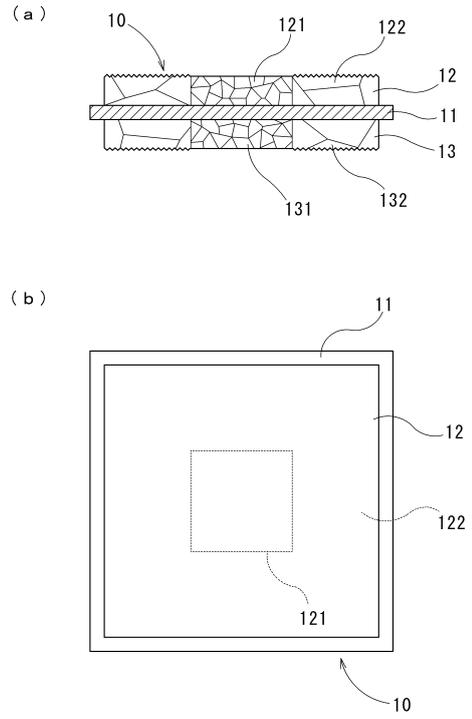
50

【図面】

【図 1】



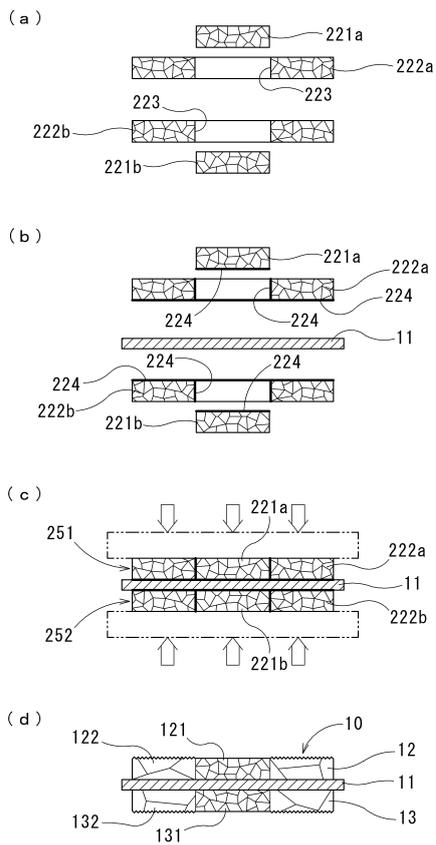
【図 2】



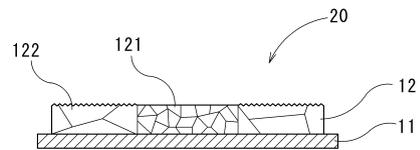
10

20

【図 3】



【図 4】

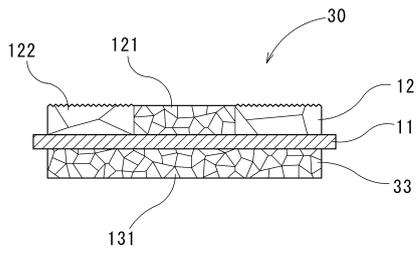


30

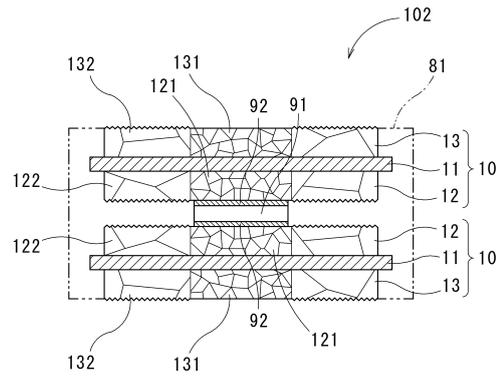
40

50

【 図 5 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2011/149065(WO,A1)
特開2000-340912(JP,A)
特開2005-158821(JP,A)
国際公開第2012/169408(WO,A1)
特開2017-123373(JP,A)
- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
- H01L23/29
23/34 - 23/36
23/373 - 23/427
23/44
23/467 - 23/473
H05K1/00 - 1/02