

(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
2014年9月18日(18.09.2014)



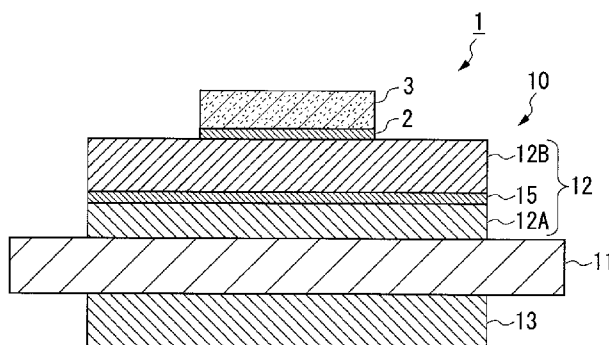
(10) 国際公開番号
WO 2014/142310 A1

- (51) 国際特許分類:
B32B 15/01 (2006.01) H01L 23/12 (2006.01)
B23K 20/00 (2006.01) H01L 23/36 (2006.01)
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/056920
- (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (22) 国際出願日: 2014年3月14日(14.03.2014)
- (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, 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).
- (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 2013-052408 2013年3月14日(14.03.2013) JP
特願 2013-052409 2013年3月14日(14.03.2013) JP
- (71) 出願人: 三菱マテリアル株式会社(MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008117 東京都千代田区大手町一丁目3番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 寺▲崎▼ 伸幸(TERASAKI Nobuyuki); 〒3640022 埼玉県北本市下石戸上1975-2 三菱マテリアル株式会社 中央研究所内 Saitama (JP). 長友 義幸(NAGATOMO Yoshiyuki); 〒3640022 埼玉県北本市下石戸上1975-2 三菱マテリアル株式会社 中央研究所内 Saitama (JP).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: BONDED BODY, SUBSTRATE FOR POWER MODULES, AND SUBSTRATE WITH HEAT SINK FOR POWER MODULES

(54) 発明の名称: 接合体、パワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジュール用基板



(57) Abstract: A bonded body which is obtained by bonding an aluminum member that is formed of aluminum and a metal member that is formed of copper, nickel or silver to each other. A Ti layer (15), which is positioned at the metal member side, and an Al-Ti-Si layer (16), which is positioned between the Ti layer (15) and the aluminum member and wherein Si is solid-solved in Al₃Ti, are formed in the bonded portion between the aluminum member and the metal member. The Al-Ti-Si layer (16) is provided with a first Al-Ti-Si layer (16A) that is formed on the Ti layer (15) side, and a second Al-Ti-Si layer (16B) that is formed on the aluminum member side and has a lower Si concentration than the first Al-Ti-Si layer (16A).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/142310 A1



アルミニウムからなるアルミニウム部材と、銅、ニッケル、又は銀からなる金属部材とが接合された接合体であって、前記アルミニウム部材と前記金属部材との接合部には、前記金属部材側に位置するTi層(15)と、前記Ti層(15)と前記アルミニウム部材との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層(16)と、が形成されており、前記Al-Ti-Si層(16)は、前記Ti層(15)側に形成された第一Al-Ti-Si層(16A)と、前記アルミニウム部材側に形成され前記第一Al-Ti-Si層(16A)よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層(16B)と、を備えている。

明 細 書

発明の名称：

接合体、パワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジュール用基板

技術分野

[0001] この発明は、アルミニウム部材と、銅、ニッケル、又は銀からなる金属部材とが接合されてなる接合体、パワーモジュール用基板、及び、ヒートシンク付パワーモジュール用基板に関するものである。

本願は、2013年3月14日に、日本に出願された特願2013-052408号及び特願2013-052409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] LEDやパワーモジュール等の半導体装置においては、導電材料からなる回路層の上に半導体素子が接合された構造とされている。

風力発電、電気自動車等の電気車両など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においては、発熱量が多いことから、これを搭載する基板としては、例えばAlN（窒化アルミニウム）などからなるセラミックス基板（絶縁層）の一方の面、又は両方の面に導電性の優れた金属板を接合した場合、一方の面の金属板を回路層とし、他方の面の金属板を金属層としたパワーモジュール用基板が、従来から広く用いられている。

[0003] 例えば、特許文献1に示すパワーモジュールにおいては、セラミックス基板の一方の面にAlからなる回路層（アルミニウム部材）及び他方の面にAlからなる金属層が形成されたパワーモジュール用基板と、この回路層上にはんだ材を介して接合された半導体素子と、を備えた構造とされている。そして、パワーモジュール用基板の下側には、ヒートシンクが接合されており、半導体素子で発生した熱を、パワーモジュール用基板側に伝達し、ヒートシンクを介して外部へ放散する構成とされている。

[0004] ところで、特許文献1に記載されたパワーモジュールのように、回路層をAlで構成した場合には、表面にAlの酸化皮膜が形成されるため、はんだ材によって半導体素子を接合することができない。また、金属層をAlで構成した場合には、表面にAlの酸化皮膜が形成されるため、はんだ材によってヒートシンクを接合することができない。

そこで、従来では、例えば特許文献2に開示されているように、回路層や金属層、ヒートシンクの表面に無電解めっき等によってNiめっき膜を形成した上で、はんだ材で接合している。

また、特許文献3には、はんだ材の代替として、酸化銀粒子と有機物からなる還元剤とを含む酸化銀ペーストを用いて半導体素子、金属層及びヒートシンクなどを接合する技術が提案されている。

[0005] さらに、特許文献4には、回路層及び金属層をAl層とCu層で構成したパワーモジュールが提案されている。この場合、回路層及び金属層の表面にはCu層が配置されるため、はんだ材を用いて半導体素子を良好に接合することができる。また、CuはAlに比べて変形抵抗が大きいことから、このパワーモジュールにヒートサイクルが負荷された際に、回路層表面及び金属層表面が大きく変形することを抑制でき、はんだ層におけるクラックの発生を防止して、半導体素子と回路層との接合信頼性及び金属層とヒートシンクとの接合信頼性を向上させることが可能となる。

なお、特許文献4に記載されたパワーモジュールにおいては、回路層及び金属層として、Al層とCu層とがTi層を介して接合された接合体が用いられている。ここで、Al層とTi層との間には、拡散層が形成されており、この拡散層は、Al層側から順に、Al-Ti層、Al-Ti-Si層、Al-Ti-Cu層と、を有している。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第3171234号公報

特許文献2：特開2004-172378号公報

特許文献3：特開2008-208442号公報

特許文献4：特許第3012835号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、特許文献2に記載されたように、回路層表面及び金属層表面にNiめっき膜を形成したパワーモジュール用基板においては、回路層に半導体素子を接合するまでの過程及び金属層にヒートシンクを接合するまでの過程においてNiめっき膜の表面が酸化等によって劣化し、はんだ材を介して接合した半導体素子との接合信頼性及びはんだ材を介して接合したヒートシンクとの接合信頼性が低下するおそれがあった。また、Niめっき工程では、不要な領域にNiめっきが形成されて電食等のトラブルが発生しないように、マスクング処理を行うことがある。このように、マスクング処理をした上でめっき処理をする場合、回路層部分及び金属層部分にNiめっき膜を形成する工程に多大な労力が必要となり、パワーモジュールの製造コストが大幅に増加してしまうといった問題がある。

[0008] さらに、特許文献3に記載されたように、酸化銀ペーストを用いて回路層と半導体素子を接合する場合及び酸化銀ペーストを用いて金属層とヒートシンクとを接合する場合には、Alと酸化銀ペーストの焼成体との接合性が悪いため、予め回路層の表面及び金属層の表面にAg下地層を形成する必要がある。

[0009] また、特許文献4に記載されたパワーモジュールにおいては、回路層のうちAl層とTi層との接合界面に、硬いAl-Ti層やAl-Ti-Cu層が形成され、また、金属層のうちAl層とTi層との接合界面に、硬いAl-Ti層やAl-Ti-Cu層が形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際にクラックの起点となるといった問題があった。

さらには、Al層上にTi箔を介してCu板等を積層し、Al層とTi箔との界面が溶融する温度にまで加熱する場合、接合界面に液相が生じてコブが生じたり、厚さが変動したりするため、接合信頼性が低下する問題があっ

た。

[0010] ここで、特許文献2のNiめっきの代替として、特許文献4に記載されたように、Alからなる回路層及びAlからなる金属層の上にTi箔を介してNi板を接合してNi層を形成することも考えられる。さらには、特許文献3の酸化銀ペーストを用いる際に、Alからなる回路層及びAlからなる金属層の上にTi箔を介してAg板を接合してAg下地層を形成することも考えられる。

しかしながら、特許文献4に記載された方法で、Ni層やAg層を形成すると、Cu層を形成した場合と同様に、Al層とTi層との接合界面に、Al-Ti層、Al-Ti-Ni層、Al-Ti-Ag層等の硬い層が形成されたり、接合界面にコブが生じたりすること等によって、接合信頼性が低下するおそれがあった。

以上のように、従来は、アルミニウム部材と、銅、ニッケル、銀のいずれかからなる金属部材とを良好に接合することができず、接合信頼性に優れた接合体を得ることはできなかった。また、従来は、Al層と、Cu、Ni、Agのいずれかからなる金属部材層とを良好に接合することができず、接合信頼性に優れた金属層を有するパワーモジュール用基板を得ることはできなかった。

[0011] 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、アルミニウム部材と、銅、ニッケル、銀のいずれかからなる金属部材とが良好に接合され、ヒートサイクルが負荷された際に接合部におけるクラックの発生を抑制でき、接合信頼性が良好な接合体、パワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジュール用基板を提供することを目的とする。

また、Al層と、銅、ニッケル、銀のいずれかからなる金属部材層とを有する金属層において、Al層と金属部材層とが良好に接合され、ヒートサイクルが負荷された際に接合部におけるクラックの発生を抑制でき、接合信頼性が良好なパワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジュール用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

[0012] 前述の課題を解決するために、(1) 本発明の一態様における接合体は、アルミニウムからなるアルミニウム部材と、銅、ニッケル、又は銀からなる金属部材とが接合された接合体であって、前記アルミニウム部材と前記金属部材との接合部には、前記金属部材側に位置するTi層と、前記Ti層と前記アルミニウム部材との間に位置し、Al₃TiにSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、前記Al-Ti-Si層は、前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、前記アルミニウム部材側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えている。

[0013] 上記の接合体によれば、アルミニウムからなるアルミニウム部材と、銅、ニッケル、又は銀からなる金属部材との接合部には、Ti層と、Al-Ti-Si層とが形成されており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層等が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、接合部にクラックが発生することを抑制し、アルミニウム部材と金属部材との接合信頼性を向上できる。

さらに、Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層が、アルミニウム部材側に形成された第二Al-Ti-Si層のSi濃度よりも高いので、Si濃度が高い第一Al-Ti-Si層によってTi原子がアルミニウム部材側に拡散することが抑制され、第一Al-Ti-Si層及び第二Al-Ti-Si層の厚さを薄くすることができ、ヒートサイクルが負荷された際に、接合部にクラックが発生することを抑制可能となる。

なお、本発明において、アルミニウムは純アルミニウム又はアルミニウム合金で構成されたものとし、金属部材は、銅又は銅合金、ニッケル又はニッケル合金、もしくは銀又は銀合金で構成されたものとしている。

[0014] (2) 本発明の他態様における接合体は、(1)に記載の接合体であって、上記接合体において、前記第二Al-Ti-Si層に含まれるSi濃度が1at%以上である。

この場合、アルミニウム部材側に形成された第二A l - T i - S i層が十分なS i濃度を有しているため、アルミニウム部材を構成するA l原子がT i層側に過剰に拡散することが抑制され、第一A l - T i - S i層、及び第二A l - T i - S i層の厚さを薄くすることができる。

[0015] (3) 本発明の他態様におけるパワーモジュール用基板は、絶縁層と、前記絶縁層の一方の面に形成された回路層と、を備え、前記回路層が(1)又は(2)に記載の接合体からなり、前記回路層は、前記絶縁層の一方の面に形成され前記アルミニウム部材からなるA l層と、このA l層の一方の面に形成され前記金属部材からなる金属部材層と、を有し、前記A l層と前記金属部材層との接合部には、前記金属部材層側に位置するT i層と、前記T i層と前記A l層との間に位置し、A l₃T iにS iが固溶したA l - T i - S i層と、が形成されており、前記A l - T i - S i層は、前記T i層側に形成された第一A l - T i - S i層と、前記A l層側に形成され前記第一A l - T i - S i層よりもS i濃度が低い第二A l - T i - S i層と、を備えている。

[0016] 上記のパワーモジュール用基板によれば、回路層において、A l層と金属部材層との接合部には、T i層と、A l - T i - S i層とが形成されており、硬いA l - T i - C u層やA l - T i層等が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、回路層にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、パワーモジュールにおいて、半導体素子とパワーモジュール用基板との接合信頼性を向上できる。

さらに、T i層側に形成された第一A l - T i - S i層のS i濃度が、A l層側に形成された第二A l - T i - S i層のS i濃度よりも高いので、T i原子がA l層側に拡散することが抑制され、第一A l - T i - S i層、及び第二A l - T i - S i層の厚さを薄くすることができる。

[0017] また、この場合、絶縁層の一方の面に比較的変形抵抗の小さいA l層が形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に生じる熱応力をA l層が吸収し、セラミックス基板に割れが発生することを抑制できる。

さらに、A I層の一方の面に銅又は銅合金からなるCu層が形成されている場合、Cu層はA I層に比べて変形抵抗が大きいことから、ヒートサイクルが負荷された際に回路層の変形が抑制され、半導体素子と回路層を接合するはんだ層の変形を抑制し、接合信頼性を向上できる。また、熱伝導率の良好なCu層が回路層の一方側に形成されているので、半導体素子からの熱を拡げて効率的にパワーモジュール用基板側に伝達することができる。

また、A I層の一方の面にニッケル又はニッケル合金からなるNi層が形成されている場合、はんだ付け性が良好となり、半導体素子との接合信頼性が向上する。

また、A I層の一方の面に銀又は銀合金からなるAg層が形成されている場合、例えば酸化銀粒子と有機物からなる還元剤とを含む酸化銀ペーストを用いて半導体素子を接合する際に、酸化銀が還元された銀とAg層とが同種の金属同士の接合となるため、接合信頼性を向上させることができる。また、熱伝導率の良好なAg層が回路層の一方側に形成されているので、半導体素子からの熱を拡げて効率的にパワーモジュール用基板側に伝達することができる。

[0018] (4) 本発明の他態様におけるパワーモジュール用基板は、(3)に記載のパワーモジュール用基板であって、前記絶縁層の他方の面に形成された金属層を備え、前記金属層が(1)又は(2)に記載の接合体からなり、前記金属層は、前記絶縁層の他方の面に形成され前記アルミニウム部材からなるA I層と、このA I層のうち前記絶縁層が形成された面と反対側の面に形成され前記金属部材からなる金属部材層と、を有し、前記A I層と前記金属部材層との接合部には、前記金属部材層側に位置するTi層と、前記Ti層と前記A I層との間に位置し、 $A I_3Ti$ にSiが固溶したA I-Ti-Si層と、が形成されており、前記A I-Ti-Si層は、前記Ti層側に形成された第一A I-Ti-Si層と、前記A I層側に形成され前記第一A I-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二A I-Ti-Si層と、を備えた構成とされている。

[0019] この場合、金属層において、Al層と金属部材層との接合部には、Ti層と、第一Al-Ti-Si層とが形成されており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層等が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、金属層にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、金属層とヒートシンクとを接合した場合に、金属層とヒートシンクとの接合信頼性を向上させることができる。

[0020] (5) 本発明の他態様におけるパワーモジュール用基板は、絶縁層と、この絶縁層の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁層の他方の面に形成された金属層と、を備えたパワーモジュール用基板であって、前記金属層は(1)又は(2)に記載の接合体からなり、前記アルミニウム部材からなるAl層と前記金属部材からなる金属部材層との接合部には、前記金属部材層側に位置するTi層と、前記Ti層と前記Al層との間に位置し、Al₃TiにSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、前記Al-Ti-Si層は、前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、前記Al層側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えている。

なお、本発明において、アルミニウムは純アルミニウム又はアルミニウム合金で構成されたものとし、銅は純銅又は銅合金、ニッケルは純ニッケル又はニッケル合金、銀は純銀又は銀合金で構成されたものとしている。

[0021] 上記のパワーモジュール用基板によれば、金属層において、Al層と金属部材層との接合部には、Ti層と、Al-Ti-Si層とが形成されており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層等が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、金属層にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、パワーモジュール用基板の金属層がヒートシンクに接合された場合、パワーモジュール用基板とヒートシンクとの接合信頼性を向上できる。

さらに、Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層のSi濃度が、Al層側に形成された第二Al-Ti-Si層のSi濃度よりも高いので、T

i 原子が A l 層側に拡散することが抑制され、第一 A l - T i - S i 層、及び第二 A l - T i - S i 層の厚さを薄くすることができる。

[0022] また、この場合、絶縁層の他方の面に比較的変形抵抗の小さい A l 層が形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に生じる熱応力を A l 層が吸収し、セラミックス基板に割れが発生することを抑制できる。

さらに、A l 層のうち絶縁層が形成された面と反対側の面に、銅又は銅合金からなる C u 層が形成されている場合、C u 層は A l 層に比べて変形抵抗が大きいことから、ヒートサイクルが負荷された際に金属層の変形が抑制され、ヒートシンクと金属層を接合する接合層の変形を抑制し、接合信頼性を向上できる。

また、A l 層のうち絶縁層が形成された面と反対側の面に、ニッケル又はニッケル合金からなる N i 層が形成されている場合、はんだ付け性が良好となり、ヒートシンクとの接合信頼性が向上する。

また、A l 層のうち絶縁層が形成された面と反対側の面に、銀又は銀合金からなる A g 層が形成されている場合、例えば酸化銀粒子と有機物からなる還元剤とを含む酸化銀ペーストを用いてヒートシンクを接合する際に、酸化銀が還元された銀と A g 層とが同種の金属同士の接合となるため、接合信頼性を向上させることができる。

[0023] (6) 本発明の他態様におけるヒートシンク付パワーモジュール用基板は、(3) から (5) のいずれか一つに記載のパワーモジュール用基板と、前記金属層に接合されたヒートシンクと、を備えている。

上記のヒートシンク付パワーモジュール用基板によれば、パワーモジュール用基板とヒートシンクとが接合されているので、ヒートシンクを介してパワーモジュール用基板側からの熱を効率的に放散することができる。

[0024] (7) 本発明の他態様におけるヒートシンク付パワーモジュール用基板は、(6) に記載のヒートシンク付パワーモジュール用基板であって、前記金属層と前記ヒートシンクとがはんだ層を介して接合されている。

この場合、金属層のうちヒートシンク側に形成された銅、ニッケル、又は

銀からなる金属部材層と、ヒートシンクとがはんだ層を介して接合されているので、金属部材層とはんだ層を良好に接合することができ、金属層とヒートシンクとの接合信頼性を向上させることができる。

[0025] (8) 本発明の他態様におけるヒートシンク付パワーモジュール用基板は、絶縁層と、この絶縁層の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁層の他方の面に形成された金属層と、この金属層に接合されたヒートシンクと、を備え、前記金属層と前記ヒートシンクとが(1)又は(2)に記載の接合体からなり、前記金属層及び前記ヒートシンクの接合面の一方がアルミニウムで構成され、前記金属層及び前記ヒートシンクの接合面の他方が銅、ニッケル、又は銀で構成され、前記金属層と前記ヒートシンクとの接合部には、前記接合面が銅、ニッケル、又は銀からなる前記金属層又は前記ヒートシンク側に位置するTi層と、前記接合面がアルミニウムからなる前記金属層又は前記ヒートシンクと、前記Ti層との間に位置し、Al₃TiにSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、前記Al-Ti-Si層は、前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、前記接合面がアルミニウムからなる前記金属層又は前記ヒートシンク側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えている。

[0026] 上記のヒートシンク付パワーモジュール用基板によれば、金属層とヒートシンクとの接合部には、Ti層と、Al-Ti-Si層とが形成されており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層等が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、金属層とヒートシンクとの接合部にクラックが発生することを抑制でき、接合信頼性の向上を図ることができる。

発明の効果

[0027] 本発明によれば、アルミニウム部材(Al層)と、銅、ニッケル、銀のいずれかからなる金属部材(金属部材層)とが良好に接合され、ヒートサイクルが負荷された際に接合部におけるクラックの発生を抑制でき、接合信頼性が良好な接合体、パワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジ

ジュール用基板を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0028] [図1]本発明の第一実施形態に係るパワーモジュールの概略説明図である。
- [図2]図1のA1層とTi層との接合界面の拡大説明図である。
- [図3]第一実施形態に係るパワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。
- [図4]第一実施形態に係るパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。
- [図5]本発明の第二実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの概略説明図である。
- [図6]図5の金属層とTi層との接合界面の拡大説明図である。
- [図7]第二実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。
- [図8]第二実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの製造方法の概略説明図である。
- [図9]本発明の第三実施形態に係るパワーモジュールの概略説明図である。
- [図10]本発明の第四実施形態に係るパワーモジュールの製造方法の概略説明図である。
- [図11]本発明例1-1の接合体におけるアルミニウム部材と金属部材との接合部のSEM像である。
- [図12]比較例1-1の接合体におけるアルミニウム部材と金属部材との接合部のSEM像である。
- [図13]本発明の第五実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの概略説明図である。
- [図14]第五実施形態に係るパワーモジュール用基板の概略説明図である。
- [図15]図14の金属層におけるTi層とA1層との接合部の拡大説明図である。
- [図16]第五実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの製造方法を説明するフロー図である。

[図17]第五実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの製造方法の概略説明図である。

[図18]本発明の第六実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュールの概略説明図である。

[図19]本発明の第七実施形態に係るパワーモジュール用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

[0029] (第一実施形態)

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。まず、本発明の第一実施形態について説明する。

図1に、本発明の第一実施形態に係るパワーモジュール1を示す。

このパワーモジュール1は、パワーモジュール用基板10と、このパワーモジュール用基板10の一方の面(図1において上面)にはんだ層2を介して接合された半導体素子3と、を備えている。

[0030] パワーモジュール用基板10は、絶縁層を構成するセラミックス基板11と、このセラミックス基板11の一方の面(図1において上面であり、第一の面)に配設された回路層12(接合体)と、セラミックス基板11の他方の面(第二の面)に配設された金属層13と、を備えている。

[0031] セラミックス基板11は、絶縁性の高いAlN(窒化アルミニウム)、Si₃N₄(窒化ケイ素)、Al₂O₃(アルミナ)等で構成されている。本実施形態では、放熱性の優れたAlN(窒化アルミニウム)で構成されている。また、セラミックス基板11の厚さは、0.2~1.5mm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。

[0032] 回路層12は、図1に示すように、セラミックス基板11の第一の面に配設されたAl層12Aと、このAl層12Aの一方の面にTi層15を介して積層されたCu層12B(金属部材層)と、を有している。

Al層12Aは、セラミックス基板11の第一の面に、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(アルミニウム部材)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、A1層12Aは、純度99質量%以上のアルミニウム（いわゆる2Nアルミニウム）の圧延板を接合することで形成されている。前記純度99質量%以上のアルミニウムの圧延板には、0.08質量%以上0.95質量%以下のSiが含有されているとよい。なお、接合されるアルミニウム板の厚さは0.1mm以上1.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.4mmに設定されている。

[0033] Cu層12Bは、A1層12Aの一方の面（図1において上面）に、Ti層15を介して銅又は銅合金からなる銅板（金属部材）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、Cu層12Bは、無酸素銅の圧延板がA1層12Aに、Ti箔を介して固相拡散接合されることにより形成されている。なお、接合される銅板の厚さは0.1mm以上6.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、1.0mmに設定されている。

[0034] Ti層15は、A1層12Aと銅板とがチタン箔を介して積層され、固相拡散接合されることにより形成されるものである。ここで、チタン箔の純度は99%以上とされている。また、チタン箔の厚さは3 μ m以上40 μ m以下に設定されており、本実施形態では、10 μ mに設定されている。

そして、A1層12AとTi層15との接合界面には、図2に示すように、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層16が形成されている。

[0035] Al-Ti-Si層16は、A1層12AのAl原子と、Ti層15のTi原子とが相互拡散することによって形成されるものである。Al-Ti-Si層16の厚さは、0.5 μ m以上10 μ m以下に設定されており、本実施形態においては3 μ mとされている。

このAl-Ti-Si層16は、図2に示すように、Ti層15側に形成された第一Al-Ti-Si層16Aと、A1層12A側に形成された第二Al-Ti-Si層16Bとを備えている。すなわち、A1層12AとCu層12Bとの接合部には、Ti層15と、第一Al-Ti-Si層16Aと、

第二Al-Ti-Si層16Bとが形成されているのである。

[0036] これら、第一Al-Ti-Si層16Aと第二Al-Ti-Si層16Bは、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si相からなり、第二Al-Ti-Si層16BのSi濃度が、第一Al-Ti-Si層16AのSi濃度よりも低くなっている。なお、本実施形態において、第一Al-Ti-Si層16A及び第二Al-Ti-Si層16Bに含まれるSiは、2Nアルミニウムの圧延板中に不純物として含まれるSiがAl-Ti-Si層16中に拡散し、濃化したものである。

第一Al-Ti-Si層16AのSi濃度は、10at%以上30at%以下とされており、本実施形態では20at%とされている。第二Al-Ti-Si層16BのSi濃度は、1at%以上10at%以下とされており、本実施形態では3at%とされている。

[0037] 金属層13は、セラミックス基板11の第二の面（図1において下面）に、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、純度が99質量%以上のアルミニウム（2Nアルミニウム）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となるアルミニウム板の厚さは0.1mm以上3.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、1.6mmに設定されている。

[0038] 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、はんだ層2を介して接合されている。

はんだ層2は、例えばSn-Ag系、Sn-Cu系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材（いわゆる鉛フリーはんだ材）とされており、パワーモジュール用基板10と半導体素子3とを接合するものである。

[0039] 次に、本実施形態であるパワーモジュール1の製造方法について、図3及び図4を参照して説明する。

まず、図4に示すように、セラミックス基板11の第一の面に、Al層1

2 Aとなるアルミニウム板 2 2 Aを積層し、さらにその上にチタン箔 2 5を介してCu層 1 2 Bとなる銅板 2 2 Bを積層する。一方、セラミックス基板 1 1の第二の面には、金属層 1 3となるアルミニウム板 2 3を積層する（アルミニウム板及び銅板積層工程S 0 1）。ここで、本実施形態においては、アルミニウム板 2 2 A、2 3とセラミックス基板 1 1との間には、Al-Si系のろう材箔 2 6を介して積層した。

[0040] 次に、積層方向に加圧（圧力 $1 \sim 35 \text{ kg f / cm}^2$ ）した状態で真空加熱炉内に配置し加熱して、Al層 1 2 A及び金属層 1 3を形成するとともに、Al層 1 2 Aとチタン箔 2 5、及び銅板 2 2 Bとチタン箔 2 5を固相拡散接合し、回路層 1 2及び金属層 1 3を形成する（回路層及び金属層形成工程S 0 2）。

[0041] ここで、真空加熱炉内の圧力は 10^{-6} Pa 以上 10^{-3} Pa 以下の範囲内に、加熱温度は 600°C 以上 643°C 以下、保持時間は30分以上180分以下の範囲内に設定されることが好ましい。また、より好ましい加熱温度は、 630°C 以上 643°C 以下の範囲内とされている。本実施形態においては、積層方向に 12 kg f / cm^2 の圧力を負荷し、加熱温度 640°C 、保持時間60分の条件で実施した。

なお、アルミニウム板 2 2 A、チタン箔 2 5、及び銅板 2 2 Bの接合されるそれぞれの面は、予め当該面の傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合されている。

上記のようにして、本実施形態であるパワーモジュール用基板 1 0が製造される。

[0042] 次に、回路層 1 2の一方の面（表面）に、はんだ材を介して半導体素子 3を積層し、還元炉内においてはんだ接合する（半導体素子接合工程S 0 3）。

上記のようにして、本実施形態であるパワーモジュール 1が製造される。

[0043] 以上のような構成とされた本実施形態に係るパワーモジュール 1及びパワーモジュール用基板 1 0によれば、回路層 1 2においてAl層 1 2 AとCu

層12Bとの接合部には、Ti層15と、Al-Ti-Si層16とが形成された構成とされており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、回路層12にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、パワーモジュール1において、半導体素子3とパワーモジュール用基板10との接合信頼性を向上可能である。

[0044] さらに、Ti層15側に形成された第一Al-Ti-Si層16AのSi濃度が、Al層12A側に形成された第二Al-Ti-Si層16BのSi濃度よりも高いので、Si濃度が高い第一Al-Ti-Si層16AによってTi原子がAl層12A側に拡散することが抑制され、Al-Ti-Si層16の厚さを薄くすることができる。そして、このようにAl-Ti-Si層16の厚さを薄くすることで、ヒートサイクルが負荷された際にAl層12AとCu層12Bとの接合部に割れが発生することを抑制可能となる。

[0045] また、Al層12A側に形成された第二Al-Ti-Si層16Bに含まれるSi濃度が1at%以上10at%以下とされているので、Al原子がTi層15側に過剰に拡散することが抑制され、第二Al-Ti-Si層16Bの厚さを薄くすることができる。

さらには、Ti層15側に形成された第一Al-Ti-Si層16Aに含まれるSi濃度が10at%以上30at%以下とされているので、Ti原子がAl層12A側に過剰に拡散することが抑制され、第一Al-Ti-Si層16Aの厚さを薄くすることができる。

[0046] また、本実施形態においては、セラミックス基板11の第一の面及び第二の面に、アルミニウム板22A、チタン箔25、銅板22B、及びアルミニウム板23を一度に接合する構成とされているので、製造工程を簡略化することができ、製造コストを低減可能である。

[0047] また、セラミックス基板11の第一の面に比較的変形抵抗の小さいAl層12Aが形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に生じる熱応力をAl層12Aが吸収し、セラミックス基板11に割れが発生することを

抑制できる。

さらに、A 1 層 1 2 A の一方の面には、比較的変形抵抗の大きい C u 層 1 2 B が形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に回路層 1 2 の変形が抑制され、半導体素子 3 と回路層 1 2 を接合するはんだ層 2 の変形を抑制し、接合信頼性を向上できる。

また、熱伝導率の良好な C u 層 1 2 B が回路層 1 2 の一方側に形成されているので、半導体素子 3 からの熱を拡げて効率的にパワーモジュール用基板 1 0 側に伝達することができる。

[0048] また、本実施形態においては、A 1 層 1 2 A (アルミニウム板 2 2 A) とチタン箔 2 5、及び銅板 2 2 B とチタン箔 2 5 との固相拡散接合は、積層方向へ $1 \sim 35 \text{ kg f / cm}^2$ の圧力をかけられた状態で 600°C 以上 643°C 以下に保持することで行われる構成とされているので、A 1 層と T i 層の界面で液相を生成させることなく、A 1 層 1 2 A 及び銅板 2 2 B 中に T i 原子を拡散させ、チタン箔 2 5 中に A 1 原子及び C u 原子を固相拡散させて固相拡散接合し、A 1 層 1 2 A、チタン箔 2 5、及び銅板 2 2 B を確実に接合することができる。

[0049] 固相拡散接合する際に積層方向にかかる圧力が 1 kg f / cm^2 未満の場合には、A 1 層 1 2 A、チタン箔 2 5、及び銅板 2 2 B を十分に接合させることが困難となり、接合界面に隙間が生じる場合がある。また、 35 kg f / cm^2 を超える場合には、負荷される荷重が高すぎるために、セラミックス基板 1 1 に割れが発生することがある。このような理由により、固相拡散接合の際にかかる圧力は、上記の範囲に設定されている。

[0050] 固相拡散接合する際の温度が 600°C 以上の場合には、A 1 原子、T i 原子、及び C u 原子の拡散が促進され、短時間で十分に固相拡散させることができる。また、 643°C 以下の場合には、アルミニウムの溶融による液相が生じて接合界面にコブが生じたり、厚さが変動したりすることを抑制できる。そのため、固相拡散接合の好ましい温度範囲は、上記の範囲に設定されている。

[0051] また、固相拡散接合する際に、接合される面に傷がある場合、固相拡散接合時に隙間が生じる場合があるが、本実施形態では、アルミニウム板 2 2 A、銅板 2 2 B、及びチタン箔 2 5 の接合される面は、予め当該面の傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合されているので、それぞれの接合界面に隙間が生じることを抑制して接合することが可能である。

[0052] (第二実施形態)

次に、本発明の第二実施形態について説明する。なお、第一実施形態と同一の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

[0053] 図 5 に、本発明の第二実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール 2 0 1 を示す。このヒートシンク付パワーモジュール 2 0 1 は、ヒートシンク付パワーモジュール用基板 2 3 0 と、このヒートシンク付パワーモジュール用基板 2 3 0 の一方の面 (図 5 において上面) にはんだ層 2 を介して接合された半導体素子 3 と、を備えている。

ヒートシンク付パワーモジュール用基板 2 3 0 は、パワーモジュール用基板 2 1 0 と、このパワーモジュール用基板 2 1 0 の下側に T i 層 2 1 5 を介して積層されたヒートシンク 2 3 1 (金属部材) と、を備えている。

[0054] パワーモジュール用基板 2 1 0 は、図 5 に示すように、セラミックス基板 1 1 と、このセラミックス基板 1 1 の第一の面 (図 5 において上面) に配設された回路層 2 1 2 と、セラミックス基板 1 1 の第二の面 (図 5 において下面) に配設された金属層 2 1 3 (A 1 層) と、を備えている。

[0055] 回路層 2 1 2 は、セラミックス基板 1 1 の第一の面 (図 5 において上面) に、導電性を有するアルミニウム板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、回路層 2 1 2 は、純度 9 9 . 9 9 質量%以上のアルミニウム (4 N アルミニウム) の圧延板を接合することで形成されている。なお、接合されるアルミニウム板の厚さは 0 . 1 mm 以上 1 . 0 mm 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0 . 6 mm に設定されている。

[0056] 金属層 2 1 3 は、セラミックス基板 1 1 の第二の面 (図 5 において下面)

に、導電性を有する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、金属層 213 は、純度 99 質量%以上のアルミニウム（2Nアルミニウム）の圧延板を接合することで形成されている。前記純度 99 質量%以上のアルミニウムの圧延板には、0.08 質量%以上 0.95 質量%以下の Si が含有されているとよい。なお、接合されるアルミニウム板の厚さは 0.1 mm 以上 3.0 mm 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.6 mm に設定されている。

[0057] ヒートシンク 231 は、パワーモジュール用基板 210 側の熱を放散するためのものである。ヒートシンク 231 は、銅又は銅合金で構成されており、本実施形態では無酸素銅で構成されている。このヒートシンク 231 には、冷却用の流体が流れるための流路 232 が設けられている。

そして、これら金属層 213 とヒートシンク 231 とが、Ti 層 215 を介して接合されている。

[0058] Ti 層 215 は、アルミニウムからなる金属層 213 と、銅からなるヒートシンク 231 とがチタン箔を介して積層され、固相拡散接合されることにより形成されるものである。このチタン箔の純度は 99%以上とされている。チタン箔の厚さは 3 μm 以上 40 μm 以下に設定されており、本実施形態では、10 μm に設定されている。

そして、金属層 213 と Ti 層 215 との接合界面には、図 6 に示すように、 Al_3Ti に Si が固溶した Al-Ti-Si 層 216 が形成されている。

[0059] Al-Ti-Si 層 216 は、金属層 213 の Al 原子と、Ti 層 215 の Ti 原子とが相互拡散することによって形成されるものである。 Al-Ti-Si 層 216 の厚さは、0.5 μm 以上 10 μm 以下に設定されており、本実施形態においては 3 μm とされている。この Al-Ti-Si 層 216 は、図 6 に示すように、Ti 層 215 側に形成された第一 Al-Ti-Si 層 216A と、金属層 213 側に形成された第二 Al-Ti-Si 層 21

6 Bとを備えている。すなわち、金属層213とヒートシンク231との接合部には、Ti層215と、第一Al-Ti-Si層216Aと、第二Al-Ti-Si層216Bとが形成されているのである。

[0060] これら、第一Al-Ti-Si層216Aと第二Al-Ti-Si層216Bは、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si相からなり、第二Al-Ti-Si層216BのSi濃度が、第一Al-Ti-Si層216AのSi濃度よりも低くなっている。

第一Al-Ti-Si層216AのSi濃度は、10at%以上30at%以下とされており、本実施形態では20at%とされている。第二Al-Ti-Si層216BのSi濃度は、1at%以上10at%以下とされており、本実施形態では3at%とされている。

[0061] 次に、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール201、ヒートシンク付パワーモジュール用基板230の製造方法について、図7及び図8を参照して説明する。

[0062] まず、図8に示すように、セラミックス基板11の第一の面に、Al-Si系のろう材箔26を介して、回路層212となるアルミニウム板222を積層する。また、セラミックス基板11の第二の面に、ろう材箔26を介して金属層213となるアルミニウム板223を積層する。そして、セラミックス基板11の第二の面側（図8において下側）に、さらにチタン箔225を介してヒートシンク231を積層する（アルミニウム板及びヒートシンク積層工程S211）。

[0063] 次いで、アルミニウム板222、223、セラミックス基板11、及びヒートシンク231の積層方向に加圧（圧力1~35kgf/cm²）した状態で真空加熱炉内に配置し加熱して、セラミックス基板11の第一の面及び第二の面に、回路層212及び金属層213を形成するとともに、金属層213とチタン箔225、及びヒートシンク231とチタン箔225を固相拡散接合し、金属層213とヒートシンク231とを接合する（回路層、金属層、及びヒートシンク接合工程S212）。

[0064] ここで、真空加熱炉内の圧力は、 10^{-6} Pa以上 10^{-3} Pa以下の範囲内に、加熱温度は 600°C 以上 643°C 以下、保持時間は30分以上180分以下の範囲内に設定されることが好ましい。また、より好ましい加熱温度は、 630°C 以上 643°C 以下の範囲内とされている。本実施形態においては、積層方向に 20 kg f / cm^2 の圧力を負荷し、加熱温度 640°C 、保持時間60分の条件で実施した。

なお、アルミニウム板223、チタン箔225、及びヒートシンク231の接合されるそれぞれの面は、予め当該面の傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合されている。

上記のようにして、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール用基板230及びパワーモジュール用基板210が製造される。

[0065] 次に、ヒートシンク付パワーモジュール用基板230（回路層212）の一方の面に、はんだ材を介して半導体素子3を積層し、還元炉内においてははんだ接合する（半導体素子接合工程S213）。

上記のようにして、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール201が製造される。

[0066] 以上のような構成とされた本実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール201及びヒートシンク付パワーモジュール用基板230によれば、金属層213とヒートシンク231との接合部には、Ti層215と、Al-Ti-Si層216とが形成された構成とされており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、金属層213とヒートシンク231との接合部にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、ヒートシンク付パワーモジュール201において、金属層213とヒートシンク231との接合信頼性を向上可能となる。

[0067] さらに、Ti層215側に形成された第一Al-Ti-Si層216AのSi濃度が、金属層213側に形成された第二Al-Ti-Si層216BのSi濃度よりも高いので、Si濃度が高い第一Al-Ti-Si層216

AによってTi原子が金属層213に拡散することが抑制され、Al-Ti-Si層216の厚さを薄くすることができる。

[0068] また、本実施形態においては、セラミックス基板11の第一の面及び第二の面に、回路層212及び金属層213を形成し、さらに金属層213とヒートシンク231とを同時に接合することができるので、製造工程を簡略化することができ、製造コストを低減可能である。

[0069] また、図9（第三実施形態）に示すように、金属層313が、セラミックス基板11の第二の面に形成されたAl層313Aと、Al層313Aのうちセラミックス基板11が接合された面と反対側の面に、Ti層315を介して固相拡散接合されたCu層313Bと、を有する構成とされても良い。

[0070] この金属層313を備えたパワーモジュール301においては、ヒートサイクルが負荷された際に、セラミックス基板11に生じる熱応力をAl層313Aによって吸収し、セラミックス基板11に割れが発生することを抑制できる。また、Al層313Aの下側には、Cu層313Bが形成されているので、半導体素子3側からの熱を効率的に放散できる。

また、第一実施形態において、金属層がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成される場合について説明したが、これに限定されることはなく、銅や銅合金で構成されても良い。

また、第二実施形態において、金属層がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成され、ヒートシンクが銅又は銅合金で構成される場合について説明したが、これに限定されることはなく、金属層が銅又は銅合金で構成され、ヒートシンクがアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されても良い。

[0071] また、第一実施形態において、Al層となるアルミニウム板を積層しその上にチタン箔を介してCu層となる銅板を積層し加圧・加熱を行い回路層を形成したが、銅板に代えて銅からなるリードフレーム（金属部材）を用いることができる。

[0072] （第五実施形態）

図13に、本発明の第五実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール

501を示す。

ヒートシンク付パワーモジュール501は、ヒートシンク付パワーモジュール用基板530と、このヒートシンク付パワーモジュール用基板530の一方の面（図13において上面）にはんだ層2を介して接合された半導体素子3と、を備えている。

ヒートシンク付パワーモジュール用基板530は、パワーモジュール用基板510と、パワーモジュール用基板510の下側にはんだ層535を介して接合されたヒートシンク531と、を備えている。

[0073] パワーモジュール用基板510は、図14に示すように、絶縁層を構成するセラミックス基板511と、このセラミックス基板511の一方の面（図14において上面であり、第一の面）に配設された回路層512と、セラミックス基板511の他方の面（図15において下面であり、第二の面）に配設された金属層513と、を備えている。

[0074] セラミックス基板511は、絶縁性の高いAlN（窒化アルミニウム）、 Si_3N_4 （窒化ケイ素）、 Al_2O_3 （アルミナ）等で構成されている。本実施形態では、放熱性の優れたAlN（窒化アルミニウム）で構成されている。また、セラミックス基板511の厚さは、0.2～1.5mm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。

[0075] 回路層512は、セラミックス基板511の第一の面（図14において上面）に、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512は、純度が99%以上のアルミニウム（2Nアルミニウム）の圧延板がセラミックス基板511に接合されることで形成されている。なお、回路層512となるアルミニウム板の厚さは0.1mm以上1.0mm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。

[0076] 金属層513は、図13に示すように、セラミックス基板511の第二の面（図14において下面）に配設されたAl層513Aと、このAl層513Aのうちセラミックス基板511が接合された面と反対側の面にTi層5

15を介して積層されたCu層513B（金属部材層）と、を有している。

Al層513Aは、セラミックス基板511の第二の面に、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、Al層513Aは、純度99質量%以上のアルミニウム（いわゆる2Nアルミニウム）の圧延板を接合することで形成されている。前記純度99質量%以上のアルミニウムの圧延板には、0.08質量%以上0.95質量%以下のSiが含有されているとよい。なお、接合されるアルミニウム板の厚さは0.1mm以上3.0mm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。

[0077] Cu層513Bは、Al層513Aのうちセラミックス基板511が形成された面と反対側の面（図14において下面）に、Ti層515を介して、銅又は銅合金からなる銅板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、Cu層513Bは、無酸素銅の圧延板がAl層513Aに、チタン箔を介して固相拡散接合されることにより形成されている。

なお、接合される銅板の厚さは0.1mm以上6.0mm以下の範囲内に設定されており、本実施形態では、0.3mmに設定されている。

[0078] Ti層515は、Al層513Aと銅板とがチタン箔を介して積層され、固相拡散接合されることにより形成されるものである。ここで、チタン箔の純度は99%以上とされている。また、Ti箔の厚さは3 μ m以上40 μ m以下に設定されており、本実施形態では、15 μ mに設定されている。

そして、Al層513AとTi層515との接合界面には、図15に示すように、Al₃TiにSiが固溶したAl-Ti-Si層516が形成されている。

[0079] Al-Ti-Si層516は、Al層512AのAl原子と、Ti層515のTi原子とが相互拡散することによって形成されるものである。Al-Ti-Si層516の厚さは、0.5 μ m以上10 μ m以下に設定されており、本実施形態においては5 μ mとされている。

このAl-Ti-Si層516は、図15に示すように、Ti層515側

に形成された第一Al-Ti-Si層516Aと、Al層513A側に形成された第二Al-Ti-Si層516Bとを備えている。すなわち、Al層513AとCu層513Bとの接合部には、Ti層515と、第一Al-Ti-Si層516Aと、第二Al-Ti-Si層516Bとが形成されているのである。

[0080] これら、第一Al-Ti-Si層516Aと第二Al-Ti-Si層516Bは、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si相からなり、第二Al-Ti-Si層516BのSi濃度が、第一Al-Ti-Si層516AのSi濃度よりも低くなっている。なお、本実施形態において、第一Al-Ti-Si層516A及び第二Al-Ti-Si層516Bに含まれるSiは、2N-Alの圧延板中に不純物として含まれるSiがAl-Ti-Si層516中に拡散し、濃化したものである。

第一Al-Ti-Si層516AのSi濃度は、10at%以上30at%以下とされており、本実施形態では20at%とされている。第二Al-Ti-Si層516BのSi濃度は、1at%以上10at%以下とされており、本実施形態では3at%とされている。

[0081] 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512は、はんだ層2を介して接合されている。

はんだ層2は、例えばSn-Ag系、Sn-Cu系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材（いわゆる鉛フリーはんだ材）とされており、パワーモジュール用基板510と半導体素子3とを接合するものである。

[0082] ヒートシンク531は、パワーモジュール用基板510側の熱を放散するためのものである。ヒートシンク531は、銅又は銅合金で構成されており、本実施形態では無酸素銅で構成されている。このヒートシンク531には、冷却用の流体が流れるための流路532が設けられている。

はんだ層535は、はんだ層2と同様に、例えばSn-Ag系、Sn-Cu系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材（いわゆる鉛

フリーはんだ材)とされており、パワーモジュール用基板510とヒートシンク531とを接合するものである。

[0083] 次に、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール501の製造方法について、図16及び図17を参照して説明する。

まず、図17に示すように、セラミックス基板511の第一の面に、回路層512となるアルミニウム板522を積層する。一方、セラミックス基板511の第二の面には、Al層513Aとなるアルミニウム板523Aを積層し、さらにその上にチタン箔525を介してCu層513Bとなる銅板523Bを積層する(アルミニウム板及び銅板積層工程S501)。ここで、本実施形態においては、アルミニウム板522、523Aとセラミックス基板511との間には、Al-Si系のろう材箔526を介して積層した。

[0084] 次に、積層方向に加圧(圧力 $1\sim 35\text{ kg f/cm}^2$)した状態で真空加熱炉内に配置し加熱して、回路層512及びAl層513Aを形成するとともに、Al層513Aとチタン箔525、及び銅板523Bとチタン箔525を固相拡散接合し、回路層512及び金属層513を形成する(回路層及び金属層形成工程S502)。

[0085] ここで、真空加熱炉内の圧力は 10^{-6} Pa 以上 10^{-3} Pa 以下の範囲内に、加熱温度は 600°C 以上 643°C 以下、保持時間は30分以上180分以下の範囲内に設定されることが好ましい。また、より好ましい加熱温度は、 630°C 以上 643°C 以下の範囲内とされている。本実施形態においては、積層方向に 12 kg f/cm^2 の圧力を負荷し、加熱温度 640°C 、保持時間60分の条件で実施した。

なお、アルミニウム板523A、チタン箔525、及び銅板523Bの接合されるそれぞれの面は、予め当該面の傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合されている。

上記のようにして、本実施形態であるパワーモジュール用基板510が製造される。

[0086] 次に、パワーモジュール用基板510の金属層513に、はんだ材を介し

てヒートシンク531を積層し、還元炉内においてはんだ接合する（ヒートシンク接合工程S503）。

このようにして、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール用基板530が製造される。

次いで、回路層512の一方の面（表面）に、はんだ材を介して半導体素子3を積層し、還元炉内においてはんだ接合する（半導体素子接合工程S504）。

上記のようにして、本実施形態であるヒートシンク付パワーモジュール501が製造される。

[0087] 以上のような構成とされた本実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール501、ヒートシンク付パワーモジュール用基板530、及びパワーモジュール用基板510によれば、金属層513においてAl層513AとCu層513Bとの接合部には、Ti層515と、Al-Ti-Si層516とが形成された構成とされており、硬いAl-Ti-Cu層やAl-Ti層が形成されていないので、ヒートサイクルが負荷された際に、金属層513にクラックが発生することを抑制することができる。したがって、パワーモジュール用基板510とヒートシンク531との接合信頼性を向上できる。

[0088] さらに、Ti層515側に形成された第一Al-Ti-Si層516AのSi濃度が、Al層513A側に形成された第二Al-Ti-Si層516BのSi濃度よりも高いので、Si濃度が高い第一Al-Ti-Si層516AによってTi原子がAl層513A側に拡散することが抑制され、Al-Ti-Si層516の厚さを薄くすることができる。そして、このようにAl-Ti-Si層516の厚さを薄くすることで、ヒートサイクルが負荷された際にAl層513AとCu層513Bとの接合部にクラックが発生することを抑制可能となる。

[0089] また、Al層513A側に形成された第二Al-Ti-Si層516Bに含まれるSi濃度が1at%以上10at%以下とされているので、Al原子がTi層515側に過剰に拡散することが抑制され、第二Al-Ti-S

i層516Bの厚さを薄くすることができる。

さらには、Ti層515側に形成された第一Al-Ti-Si層516Aに含まれるSi濃度が10at%以上30at%以下とされているので、Ti原子がAl層513A側に過剰に拡散することが抑制され、第一Al-Ti-Si層516Aの厚さを薄くすることができる。

[0090] また、本実施形態においては、セラミックス基板511の第一の面及び第二の面に、アルミニウム板523A、チタン箔525、銅板523B、及びアルミニウム板522を一度に接合する構成とされているので、製造工程を簡略化することができ、製造コストを低減可能である。

[0091] また、セラミックス基板511の第二の面に比較的変形抵抗の小さいAl層513Aが形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に生じる熱応力をAl層513Aが吸収し、セラミックス基板511に割れが発生することを抑制できる。

さらに、Al層513Aのうちセラミックス基板511が形成された面と反対側の面には、比較的変形抵抗の大きいCu層513Bが形成されているので、ヒートサイクルが負荷された際に金属層513の変形が抑制され、金属層513とヒートシンク531とを接合するはんだ層535の変形を抑制し、接合信頼性を向上できる。

[0092] また、本実施形態においては、Al層513A（アルミニウム板523A）とチタン箔525、及び銅板523Bとチタン箔525との固相拡散接合は、積層方向へ1~35kgf/cm²の圧力をかけられた状態で600℃以上643℃以下に保持することで行われる構成とされているので、Al層513A及び銅板523B中にTi原子を拡散させ、チタン箔525中にAl原子及びCu原子を固相拡散させて固相拡散接合し、Al層513A、チタン箔525、及び銅板523Bを確実に接合することができる。

[0093] 固相拡散接合する際に積層方向にかかる圧力が1kgf/cm²未満の場合は、Al層513A、チタン箔525、及び銅板523Bを十分に接合させることが困難となり、接合界面に隙間が生じる場合がある。また、35kg

$f / c m^2$ を超える場合には、負荷される荷重が高すぎるために、セラミック基板511に割れが発生することがある。このような理由により、固相拡散接合の際にかかる圧力は、上記の範囲に設定されている。

[0094] 固相拡散接合する際の温度が600℃以上の場合には、Al原子、Ti原子、及びCu原子の拡散が促進され、短時間で十分に固相拡散させることができる。また、643℃以下の場合には、アルミニウムの溶融による液相が生じて接合界面にコブが生じたり、厚さが変動したりすることを抑制できる。そのため、固相拡散接合の好ましい温度範囲は、上記の範囲に設定されている。

[0095] また、固相拡散接合する際に、接合される面に傷がある場合、固相拡散接合時に隙間が生じる場合があるが、本実施形態では、アルミニウム板523A、銅板523B、及びチタン箔525の接合される面は、予め当該面の傷が除去されて平滑にされた後に、固相拡散接合されているので、それぞれの接合界面に隙間が生じることを抑制して接合することが可能である。

[0096] 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。

[0097] 上記実施の形態では、Al層と、Cu層とが接合される場合について説明したが、Cu層に代えて、ニッケル又はニッケル合金からなるNi層、もしくは銀又は銀合金からなるAg層が接合されても良い。

[0098] 例えば、Cu層に代えてNi層を形成した場合には、はんだ付け性が良好となり、はんだ材を介して金属層とヒートシンクとを接合した際に、接合信頼性を向上できる。さらに、固相拡散接合によってNi層を形成する場合には、無電解めっき等でNiめっき膜を形成する際に行われるマスキング処理が不要なので、製造コストを低減できる。この場合、Ni層の厚さは1μm以上30μm以下とすることが望ましい。Ni層の厚さが1μm未満の場合には半導体素子との接合信頼性の向上の効果が無くなるおそれがあり、30μmを超える場合にはNi層が熱抵抗体となり効率的にヒートシンク側に熱

を伝達できなくなるおそれがある。

また、固相拡散接合によってNi層を形成する場合、固相拡散接合は、前記第一実施形態においてCu層を形成した場合と同様の条件で形成することができる。

[0099] また、Cu層に代えてAg層を形成した場合には、例えば酸化銀粒子と有機物からなる還元剤とを含む酸化銀ペーストを用いてヒートシンクを接合する際に、酸化銀が還元された銀とAg層とが同種の金属同士の接合となるため、接合信頼性を向上させることができる。この場合、Ag層の厚さは1 μ m以上20 μ m以下とすることが望ましい。Ag層の厚さが1 μ m未満の場合には半導体素子との接合信頼性の向上の効果が無くなるおそれがあり、20 μ mを超える場合には接合信頼性向上の効果が観られなくなり、コストの増加を招く。

また、固相拡散接合によってAg層を形成する場合、固相拡散接合は、前記第一実施形態においてCu層を形成した場合と同様の条件で形成することができる。

[0100] また、図18（第六実施形態）に示すように、回路層612が、セラミックス基板511の第一の面（図18において上面）に形成されたAl層612Aと、Al層612Aの一方の面（図18において上面）に、Ti層615を介して固相拡散接合されたCu層612Bと、を有する構成とされても良い。

[0101] この回路層612を備えたヒートシンク付パワーモジュール601においては、ヒートサイクルが負荷された際に、セラミックス基板511に生じる熱応力をAl層612Aによって吸収し、セラミックス基板511に割れが発生することを抑制できる。また、Al層612Aの上側には、Cu層612Bが形成されているので、半導体素子3側からの熱を拡げて効率的にヒートシンク531側に放散できる。

[0102] なお、上記実施形態では、チタン箔を介して、2Nアルミニウムからなるアルミニウム板と無酸素銅からなる銅板とを積層し、固相拡散接合する場合

について説明したが、Siの含有量が2Nアルミニウムよりも少ない4Nアルミニウムからなるアルミニウム板と銅板とをチタン箔を介して固相拡散接合した場合には、接合界面に Al_3Ti にSiが固溶した $Al-Ti-Si$ 層は形成されず、 Al_3Ti 層（ $Al-Ti$ 層）が厚く成長することになる。4Nアルミニウムからなるアルミニウム板と銅板とを接合する場合、例えば図10（第四実施形態）及び図19（第七実施形態）に示すように、4Nアルミニウムからなるアルミニウム板422A（723A）、 $Al-Si$ 系のろう材箔426（726）、チタン箔425（725）、銅板422B（723B）を順に積層し、固相拡散接合することによって、パワーモジュール用基板10（510）と同様に第一 $Al-Ti-Si$ 層及び第二 $Al-Ti-Si$ 層を形成することができ、ヒートサイクルが負荷された際に回路層又は金属層にクラックが生じることを抑制可能となる。

[0103] また、上記実施形態では、はんだ材を介して金属層とヒートシンクとを接合する場合について説明したが、これに限定されることはなく、他の手法によって接合されても良い。例えば、上述の酸化銀ペーストによって接合されても良いし、ろう材箔によって接合されても良い。

[0104] また、上記実施形態において、回路層がアルミニウム又はアルミニウム合金で構成される場合について説明したが、これに限定されることはなく、銅や銅合金で構成されても良い。また、回路層が銅又は銅合金からなるリードフレームの一部とされていてもよい。

また、ヒートシンクが銅又は銅合金で構成される場合について説明したが、これに限定されることはなく、ヒートシンクがアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されても良い。

[0105] また、上記実施の形態では、セラミックス基板の第一の面及び第二の面に、 $Al-Si$ 系のろう材箔を介してアルミニウム板を接合する場合について説明したが、これに限定されることはなく、過渡液相接合法（Transient Liquid Phase Bonding）を適用しても良い。

[0106] さらに、上記実施の形態では、セラミックス基板の第一の面又は第二の面

に、Al-Si系のろう材箔を介して、Al層となるアルミニウム板を積層し、さらにその上にチタン箔を介してCu層となる銅板を積層し、加圧加熱することで接合体（又は金属層）を形成したが、チタン箔及び銅板の代わりにTi/Cuからなるクラッド材を用いることができる。また、アルミニウム板、チタン箔及び銅板の代わりに、Al/Ti/Cuの3層からなるクラッド材を用いることもできる。

また、Cu層に代えてNi層を形成する場合、Ti/Niからなるクラッド材やAl/Ti/Niからなるクラッド材を用いることができる。

さらに、Cu層に代えてAg層を形成する場合、Ti/Agからなるクラッド材やAl/Ti/Agからなるクラッド材を用いることができる。

実施例

[0107] (実施例1)

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。

本発明例1-1~1-7の接合体として、表1に示すように、Siを0.25質量%含有する2Nアルミニウム板からなるアルミニウム部材(10mm×10mm、厚さ0.6mm)の一方の面に、チタン箔を介して表1記載の金属部材からなる板(2mm×2mm、厚さ0.3mm)を積層し、上述の実施形態に記載した方法によって表1に示す条件で固相拡散接合した。

[0108] また、比較例1-1の接合体として、純度99.99%以上のアルミニウム板からなるアルミニウム部材(10mm×10mm、厚さ0.6mm)の一方の面に、チタン箔を介して無酸素銅の板からなる金属部材(2mm×2mm、厚さ0.3mm)を積層し、本発明例1-1の接合体と同様にして表1に示す条件で固相拡散接合した。

このようにして得られた接合体に対して、接合体の断面観察、及びシエアテストを実施した。

[0109] (断面観察)

接合体の断面をクロスセクションポリッシャ(日本電子株式会社製SM-

09010) を用いて、イオン加速電圧：5 kV、加工時間：14時間、遮蔽板からの突出量：100 μmでイオンエッチングした後に、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いてAl層 (アルミニウム部材) と金属部材層 (金属部材) との接合部の観察を行った。また、EPMA分析装置を用いて、接合部の組成分析を行い、Ti層とAl層との間の接合界面 (図11、12において、Ti層とアルミニウム部材との間の界面) に、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層が形成されているかどうかを確認した。

[0110] (シェアテスト)

接合体にシェアテストを実施し、シェア強度 (せん断強度) を測定した。なお、シェアテストは、国際電気標準会議の規格IEC 60749-19に準拠して実施した。

[0111] 断面観察の結果の一例として、本発明例1-1の断面観察の結果 (SEM像) を図11に、比較例1-1の断面観察の結果 (SEM像) を図12に示す。また、表1に、Al-Ti-Si層の有無、接合体のシェアテストの測定結果を示す。

上述の方法によりAl-Ti-Si層が確認できたものを表では「有」とし、確認できなかったものを「無」と記載した。

[0112]

[表1]

	アルミニウム部材	金属部材	固相拡散接合の条件		Al-Ti-Si層の有無	シエア強度 MPa
			温度[°C]	時間[分]		
本発明例1-1	2Nアルミニウム	無酸素銅	600	60	有	83
本発明例1-2	2Nアルミニウム	無酸素銅	610	60	有	84
本発明例1-3	2Nアルミニウム	無酸素銅	630	120	有	86
本発明例1-4	2Nアルミニウム	無酸素銅	640	30	有	85
本発明例1-5	2Nアルミニウム	無酸素銅	640	180	有	84
本発明例1-6	2Nアルミニウム	ニッケル	640	90	有	81
本発明例1-7	2Nアルミニウム	銀	640	90	有	79
比較例1-1	4Nアルミニウム	無酸素銅	640	30	無	28

[0113] 本発明例 1-1 では、図 11 に示すように、Ti 層と Al 層（アルミニウム部材）の間に、Al-Ti-Si 層が確認された。この Al-Ti-Si 層の厚さは薄く形成されていることを確認した。このような Al-Ti-Si 層が本発明例 1-2 ~ 1-7 においても形成されていることも確認した。

一方、比較例 1-1 では、Ti 層と Al 層との間に、Al-Ti 層が形成されており、Al-Ti-Si 層は確認されなかった。図 12 に示すように、比較例 1-1 の Al-Ti 層の厚さは、本発明例 1-1 ~ 1-7 の Al-Ti-Si 層と比べて厚く形成されており、その接合界面にクラックが観察された。

また、Al-Ti-Si 層が確認されなかった比較例 1-1 では、シア強度は 28 MPa であったのに対し、Al-Ti-Si 層が確認された本発明例 1-1 ~ 1-7 ではシア強度が 79 MPa 以上と大幅に高いことが確認された。

[0114] （実施例 2）

本発明例 2-1 ~ 2-7 のパワーモジュールを次のようにして製造した。セラミックス基板の一方の面に、Al 層となる Si を 0.25 質量% 含有する 2N アルミニウム板（厚さ 0.6 mm）を積層し、さらにその上にチタン箔を介して表 2 記載の金属部材からなる板を積層する。また、セラミックス基板の第二の面には、金属層となる純度 99.99% 以上の 4N アルミニウム板（厚さ 0.6 mm）を積層する。ここで、アルミニウム板とセラミックス基板との間には、Al-Si 系のろう材箔を介して積層した。次いで、表 2 に示す条件で加熱処理を行い、セラミックス基板の第一の面及び第二の面に Al 層及び金属層を形成するとともに、Al 層、チタン箔、金属部材からなる板を固相拡散接合して回路層を形成した。そして、回路層の一方の面にはんだ材を介して半導体素子を接合した。

[0115] 比較例 2-1 のパワーモジュールは、Al 層として純度 99.99% 以上の 4N アルミニウムを用いたこと以外は、本発明例 2-1 のパワーモジュー

ルと同様にして製造した。

なお、加熱処理は、表2に示す条件で実施した。

このようにして製造されたパワーモジュールの回路層におけるA1層と金属部材層との接合部において、実施例1と同様にして、A1-Si-Ti層の有無を確認した。実施例1と同様の方法によりA1-Ti-Si層が確認できたものを表では「有」とし、確認できなかったものを「無」と記載した。さらに、パワーモジュールに対して、ヒートサイクル試験を行い、試験後のA1層と金属部材層との接合部の接合率を測定した。また、A1層と金属部材層との接合部の初期の接合率（ヒートサイクル試験前の接合率）も測定した。ヒートサイクル試験と接合率の測定は、以下のようにして行った。

[0116]（ヒートサイクル試験）

ヒートサイクル試験は、パワーモジュールに対して、 -40°C と 125°C とを繰り返すヒートサイクルを負荷することにより行う。本実施例では、このヒートサイクルを4000回実施した。

このヒートサイクル試験前後における、A1層と金属部材層との界面における接合率を測定した。

[0117]（A1層と金属部材層との接合部の接合率評価）

ヒートサイクル試験前後のパワーモジュールに対して、A1層と金属部材層との接合部の接合率について超音波探傷装置を用いて評価し、以下の式から算出した。ここで、初期接合面積とは、接合前における接合すべき面積、すなわちA1層の面積とした。超音波探傷像において剥離は白色部で示されることから、この白色部の面積を剥離面積とした。

$$(\text{接合率}(\%)) = \{ (\text{初期接合面積}) - (\text{剥離面積}) \} / (\text{初期接合面積}) \times 100$$

以上の評価の結果を表2に示す。

[0118]

[表2]

	アルミニウム部材	金属部材	固相拡散接合の条件		Al-Ti-Si層の有無	初期の接合率		ヒートサイクル試験後の接合率	
			温度[°C]	時間[分]		%	%	%	%
本発明例2-1	2Nアルミニウム	無酸素銅	600	30	有	98.2	93.8		
本発明例2-2	2Nアルミニウム	無酸素銅	620	30	有	100	96.3		
本発明例2-3	2Nアルミニウム	無酸素銅	630	60	有	99.1	98.4		
本発明例2-4	2Nアルミニウム	無酸素銅	640	30	有	100	99.5		
本発明例2-5	2Nアルミニウム	無酸素銅	640	180	有	100	99.8		
本発明例2-6	2Nアルミニウム	ニッケル	640	120	有	97.8	97.3		
本発明例2-7	2Nアルミニウム	銀	640	120	有	98.5	96.4		
比較例2-1	4Nアルミニウム	無酸素銅	640	30	無	72.5	8.4		

[0119] Al-Ti-Si層が確認されなかった比較例2-1では、初期の接合率は72.5%と低く、ヒートサイクル試験後には接合率は大幅に低下した。

一方、Al-Ti-Si層が確認された本発明例2-1~2-7では初期接合率は97.8%以上と高く、ヒートサイクル試験後の接合率も高いままであり、接合信頼性の高いパワーモジュールであることが確認された。

[0120] (実施例3)

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。

本発明例3-1~3-5のヒートシンク付パワーモジュールを次のようにして製造した。まず、表3に示すセラミックス基板の一方の面に、回路層となる純度99%以上のAl(2N-Al)板を積層する。また、セラミックス基板の第二の面には、Al層となる純度99%以上のアルミニウム板(Siを0.25質量%含有)を積層し、さらにチタン箔を介して無酸素銅の銅板を積層する。ここで、アルミニウム板とセラミックス基板との間には、Al-Si系のろう材箔を介して積層した。次いで、表3に示す条件で加熱処理を行い、セラミックス基板の第一の面及び第二の面に回路層及びAl層を形成するとともに、Al層、チタン箔、銅板を固相拡散接合して金属層を形成した。そして、パワーモジュール用基板の金属層と表3に示すヒートシンクとをSn-Sb系のはんだ材を用いて接合した。また、回路層の一方の面に、Sn-Sb系のはんだ材を介して半導体素子を接合した。

[0121] 次に、本発明例3-6~3-8のヒートシンク付パワーモジュールの製造方法を説明する。セラミックス基板の一方の面に、Al層となるSiを0.25質量%含有する2Nアルミニウム板を積層し、さらにその上にチタン箔を介して表3記載の金属部材層を構成する金属板を積層する。また、セラミックス基板の第二の面には、Al層となる純度99%以上のアルミニウム板(Siを0.25質量%含有)を積層し、さらにチタン箔を介して表3記載

の金属部材層を構成する金属板を積層する。ここで、アルミニウム板とセラミック基板との間には、Al-Si系のろう材箔を介して積層した。次いで、表3に示す条件で加熱処理を行い、セラミック基板の第一の面及び第二の面にAl層を形成するとともに、Al層、チタン箔、金属部材からなる板を固相拡散接合して回路層及び金属層を形成した。

そして、パワーモジュール用基板の金属層と表3に示すヒートシンクとをSn-Sb系のはんだ材を用いて接合した。また、回路層の一方の面に、Sn-Sb系のはんだ材を介して半導体素子を接合した。

[0122] 比較例1のヒートシンク付パワーモジュールは、Al層として純度99.99%以上のアルミニウム(4Nアルミニウム)を用いたこと以外は、本発明例3-1のヒートシンク付パワーモジュールと同様にして製造した。なお、加熱処理は、表3に示す条件で実施した。

[0123] このようにして製造されたヒートシンク付パワーモジュールの金属層におけるAl層と金属部材層との接合部において、断面観察を行い、Al-Ti-Si層の有無を確認した。

また、ヒートシンク付パワーモジュールに対して、冷熱サイクル試験(ヒートサイクル試験)を行い、試験後のセラミック基板と金属層との接合率を評価した。

断面観察、冷熱サイクル試験(ヒートサイクル試験)及び接合率の評価は、実施例1及び実施例2に記載の通りとした。ただし、ヒートサイクルの回数は3000回とし、接合率の評価は冷熱サイクル試験(ヒートサイクル試験)後のヒートシンク付パワーモジュールに対して行い、Al層と金属部材層との接合部の接合率を評価した。

以上の評価の結果を表3に示す。

[0124]

[表3]

	回路層		セラミックス 基板	金属層		ヒートシンク	固相拡散接合 の条件		Al-Ti-Si 層の有無	冷熱サイクル 試験後の Al層とCu層の 接合率
	Al層	金属 部材層		Al層	金属 部材層		温度 [°C]	時間 [分]		
本発明例 3-1	2N アルミニウム	-	AlN	2N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	600	180	有	93.6
本発明例 3-2	2N アルミニウム	-	AlN	2N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	630	60	有	95.2
本発明例 3-3	2N アルミニウム	-	アルミナ	2N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	630	60	有	96.7
本発明例 3-4	2N アルミニウム	-	Si ₃ N ₄	2N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	640	30	有	94.4
本発明例 3-5	2N アルミニウム	-	AlN	2N アルミニウム	無酸素銅	A6063 (Niメッキ)	640	30	有	96.2
本発明例 3-6	2N アルミニウム	無酸素銅	AlN	2N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	640	30	有	98.3
本発明例 3-7	2N アルミニウム	ニッケル	AlN	2N アルミニウム	ニッケル	脱酸銅	640	120	有	95.8
本発明例 3-8	2N アルミニウム	銀	AlN	2N アルミニウム	銀	脱酸銅	640	120	有	93.8
比較例 3-1	2N アルミニウム	-	AlN	4N アルミニウム	無酸素銅	脱酸銅	630	60	無	7.2

[0125] Al-Ti-Si層が確認された本発明例3-1~3-8では冷熱サイクル試験後の接合率は94.4%以上と高く、接合信頼性の高いパワーモジュールであることが確認された。

一方、Al-Ti-Si層が確認されなかった比較例3-1では、ヒートサイクル試験後の接合率は、本発明例と比べると大幅に低下した。

産業上の利用可能性

[0126] 本発明によれば、アルミニウム部材（Al層）と、銅、ニッケル、銀のいずれかからなる金属部材（金属部材層）とが良好に接合され、ヒートサイクルが負荷された際に接合部におけるクラックの発生を抑制でき、接合信頼性が良好な接合体、パワーモジュール用基板、及びヒートシンク付パワーモジュール用基板を提供することができる。

符号の説明

- [0127] 10、210、510、610 パワーモジュール用基板
11、511 セラミックス基板（絶縁層）
12、612 回路層（接合体）
12A、313A 513A、612A Al層
12B、313B 513B、612B Cu層（金属部材層）
13 金属層
15、215、315 515、615、715 Ti層
16、216 516 Al-Ti-Si層
16A、216A 516A 第一Al-Ti-Si層
16B、216B 516B 第二Al-Ti-Si層
212、512 回路層
213 金属層（Al層）
230、530、630 ヒートシンク付パワーモジュール用基板
231、531 ヒートシンク（金属部材）

3 1 3、5 1 3 金属層（接合体）

請求の範囲

- [請求項1] アルミニウムからなるアルミニウム部材と、銅、ニッケル、又は銀からなる金属部材とが接合された接合体であって、
前記アルミニウム部材と前記金属部材との接合部には、
前記金属部材側に位置するTi層と、
前記Ti層と前記アルミニウム部材との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、
前記Al-Ti-Si層は、
前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、
前記アルミニウム部材側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えていることを特徴とする接合体。
- [請求項2] 前記第二Al-Ti-Si層に含まれるSi濃度が1at%以上であることを特徴とする請求項1に記載の接合体。
- [請求項3] 絶縁層と、前記絶縁層の一方の面に形成された回路層と、を備え、
前記回路層が請求項1又は請求項2に記載の接合体からなり、
前記回路層は、前記絶縁層の一方の面に形成され前記アルミニウム部材からなるAl層と、このAl層の一方の面に形成され前記金属部材からなる金属部材層と、を有し、
前記Al層と前記金属部材層との接合部には、
前記金属部材層側に位置するTi層と、
前記Ti層と前記Al層との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、
前記Al-Ti-Si層は、
前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、
前記Al層側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備え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4] 前記絶縁層の他方の面に形成された金属層を備え、
前記金属層が請求項1又は請求項2に記載の接合体からなり、
前記金属層は、前記絶縁層の他方の面に形成され前記アルミニウム部材からなるAl層と、このAl層のうち前記絶縁層が形成された面と反対側の面に形成され前記金属部材からなる金属部材層と、を有し、
前記Al層と前記金属部材層との接合部には、
前記金属部材層側に位置するTi層と、
前記Ti層と前記Al層との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、
前記Al-Ti-Si層は、
前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、
前記Al層側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えていることを特徴とする請求項3に記載のパワーモジュール用基板。

[請求項5] 絶縁層と、この絶縁層の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁層の他方の面に形成された金属層と、を備えたパワーモジュール用基板であって、
前記金属層は請求項1又は請求項2に記載の接合体からなり、
前記アルミニウム部材からなるAl層と前記金属部材からなる金属部材層との接合部には、
前記金属部材層側に位置するTi層と、
前記Ti層と前記Al層との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、
前記Al-Ti-Si層は、
前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、
前記Al層側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備え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6] 請求項3から請求項5のいずれか一項に記載のパワーモジュール用基板と、前記金属層に接合されたヒートシンクと、を備えることを特徴とするヒートシンク付パワーモジュール用基板。

[請求項7] 前記金属層と前記ヒートシンクとがはんだ層を介して接合されていることを特徴とする請求項6に記載のヒートシンク付パワーモジュール用基板。

[請求項8] 絶縁層と、この絶縁層の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁層の他方の面に形成された金属層と、この金属層に接合されたヒートシンクと、を備え、

前記金属層と前記ヒートシンクとが請求項1又は請求項2に記載の接合体からなり、

前記金属層及び前記ヒートシンクの接合面の一方がアルミニウムで構成され、

前記金属層及び前記ヒートシンクの接合面の他方が銅、ニッケル、又は銀で構成され、

前記金属層と前記ヒートシンクとの接合部には、

前記接合面が銅、ニッケル、又は銀からなる前記金属層又は前記ヒートシンク側に位置するTi層と、

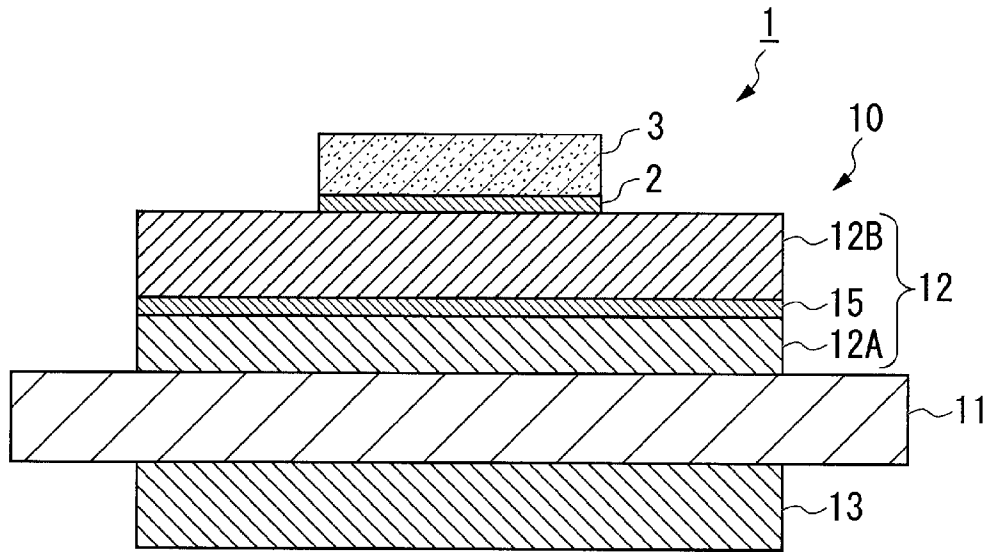
前記接合面がアルミニウムからなる前記金属層又は前記ヒートシンクと、前記Ti層との間に位置し、 Al_3Ti にSiが固溶したAl-Ti-Si層と、が形成されており、

前記Al-Ti-Si層は、

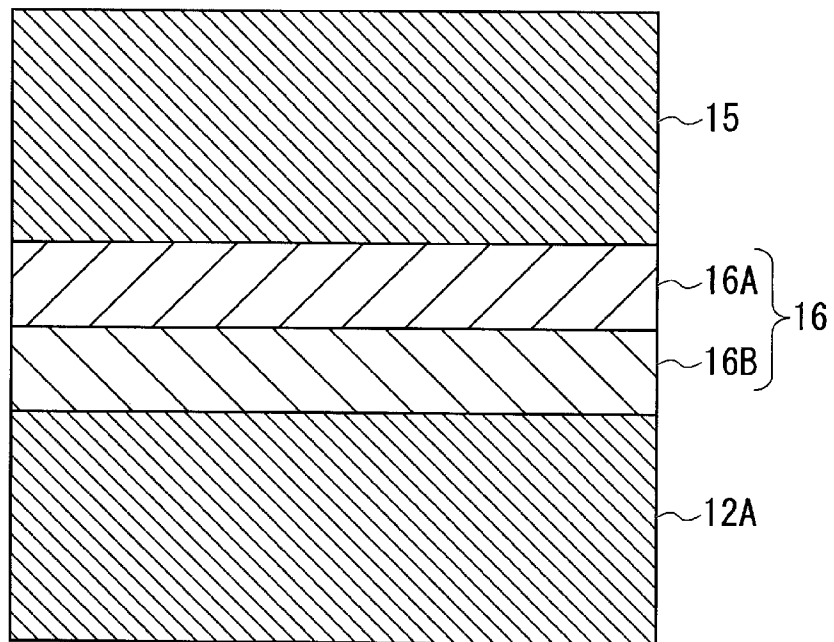
前記Ti層側に形成された第一Al-Ti-Si層と、

前記接合面がアルミニウムからなる前記金属層又は前記ヒートシンク側に形成され前記第一Al-Ti-Si層よりもSi濃度が低い第二Al-Ti-Si層と、を備えていることを特徴とするヒートシンク付パワーモジュール用基板。

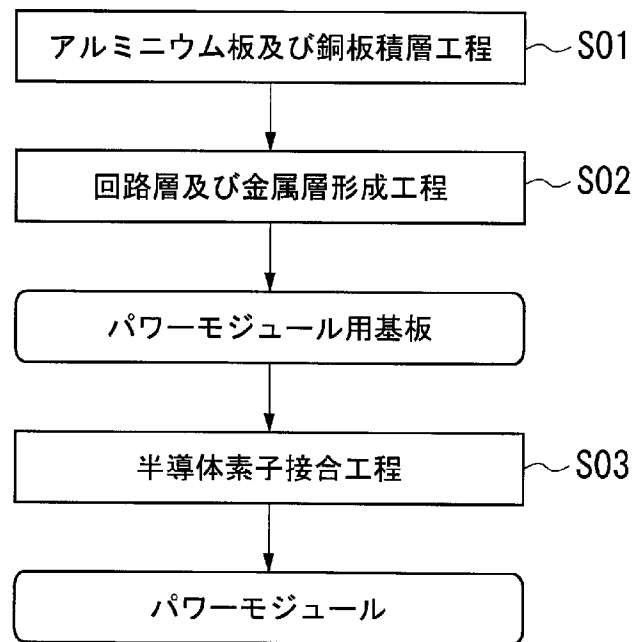
[図1]



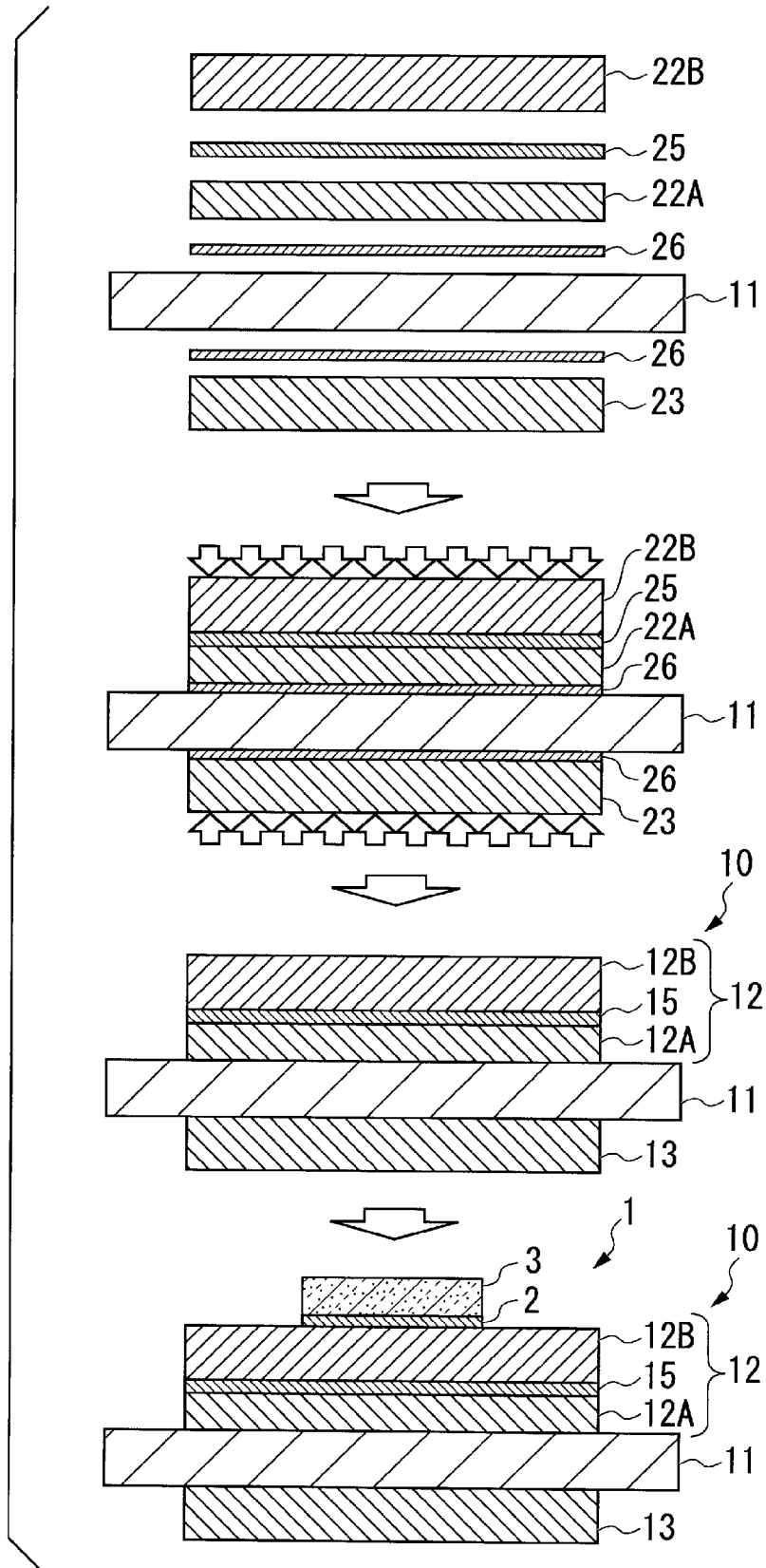
[図2]



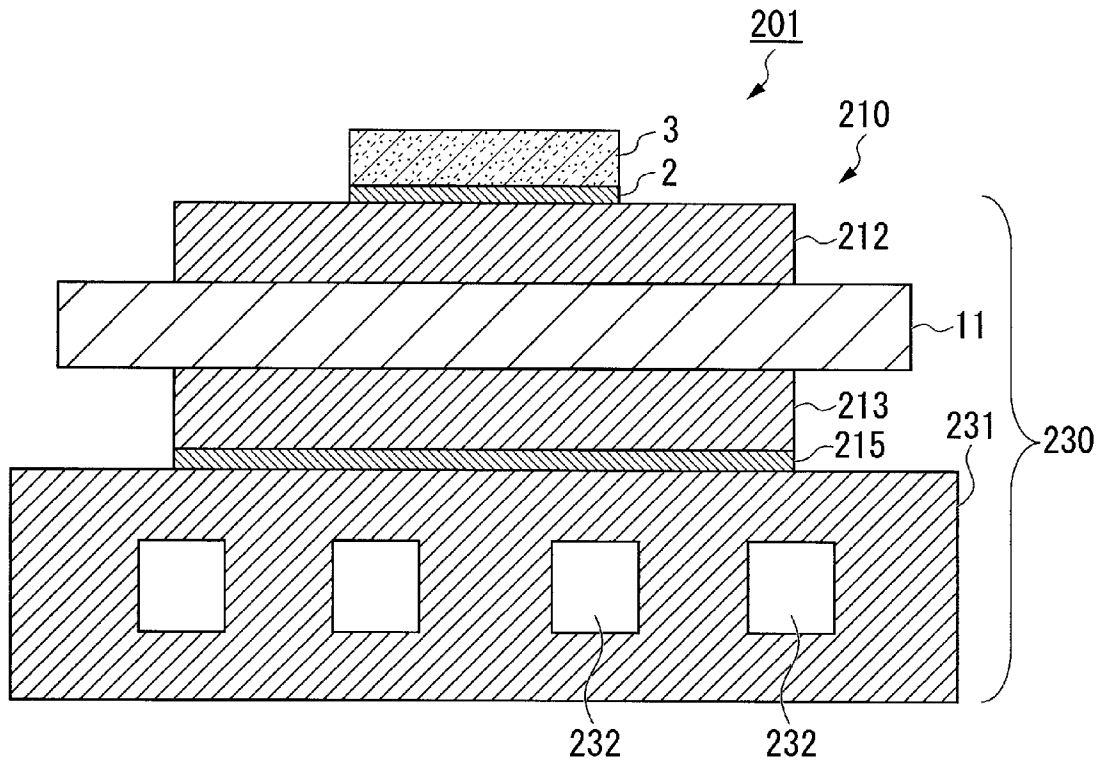
[図3]



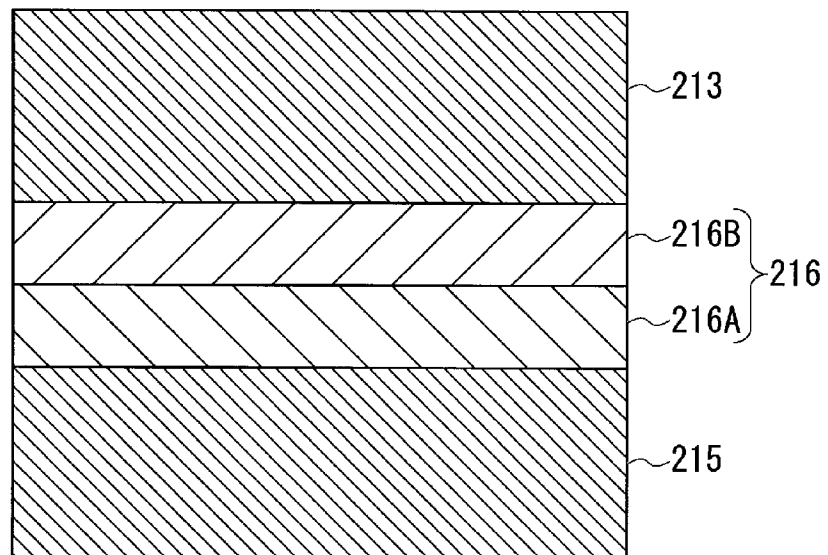
[図4]



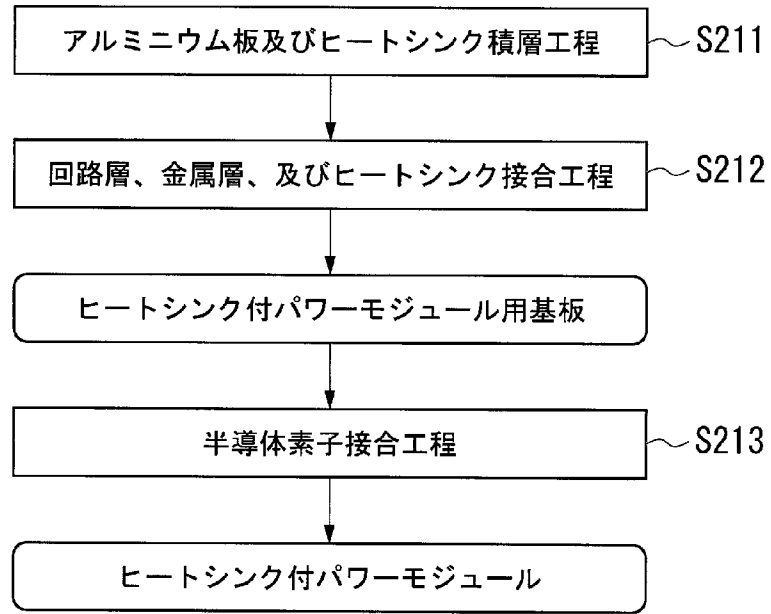
[図5]



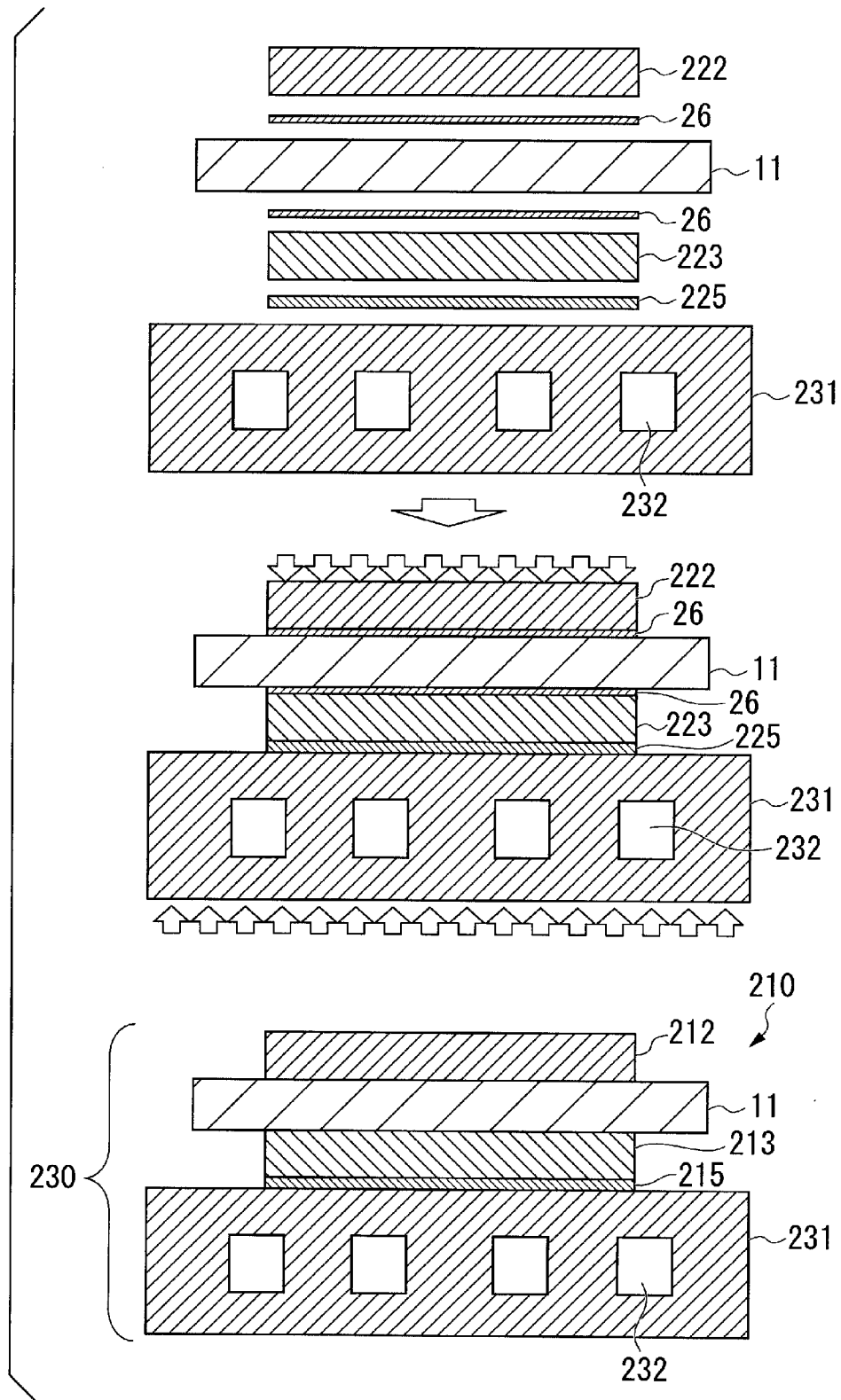
[図6]



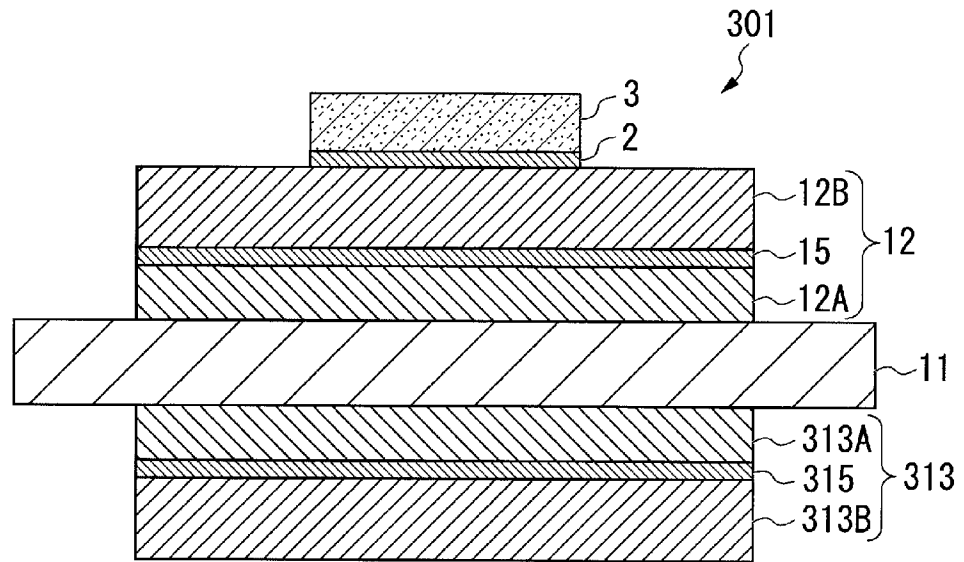
[図7]



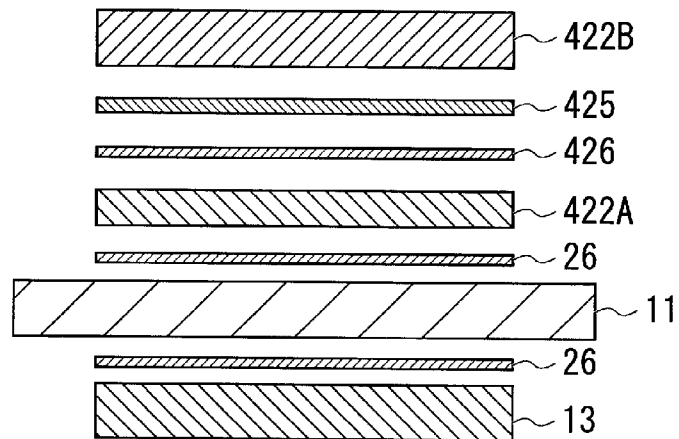
[図8]



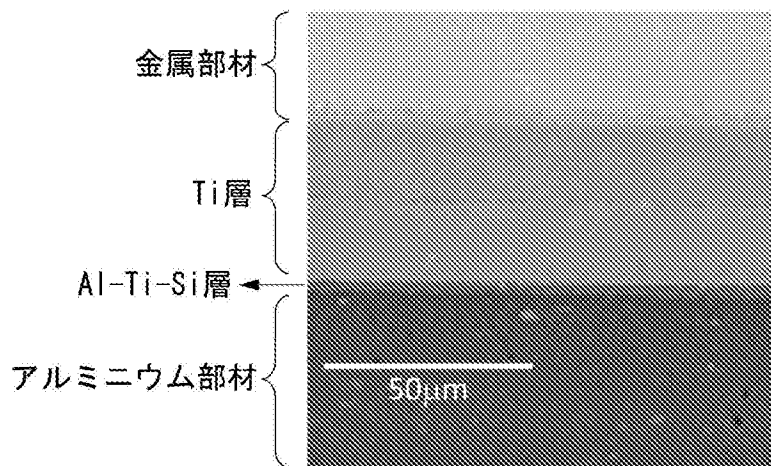
[図9]



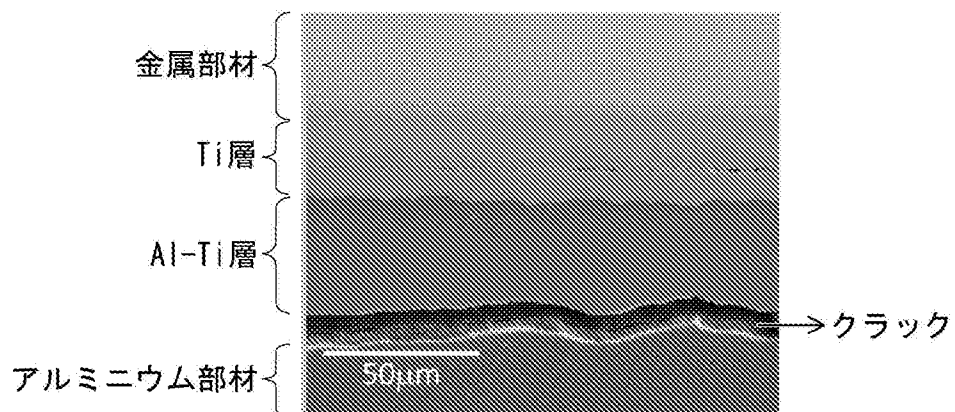
[図10]



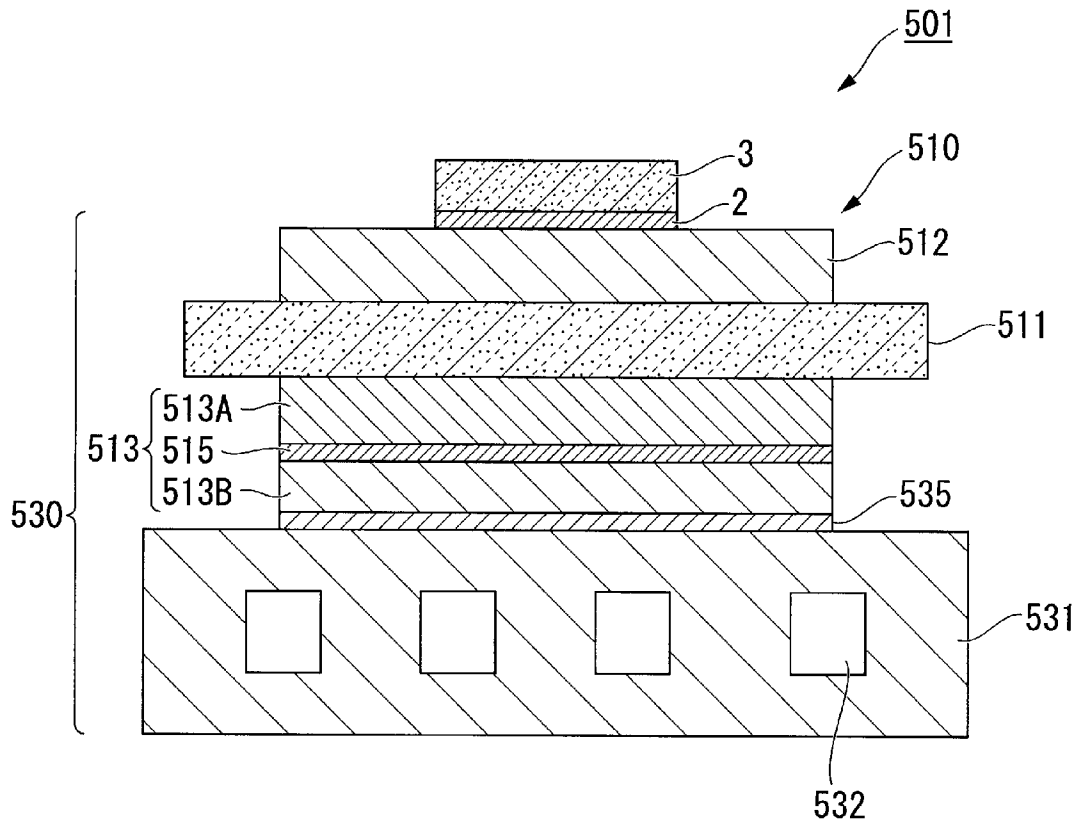
[図11]



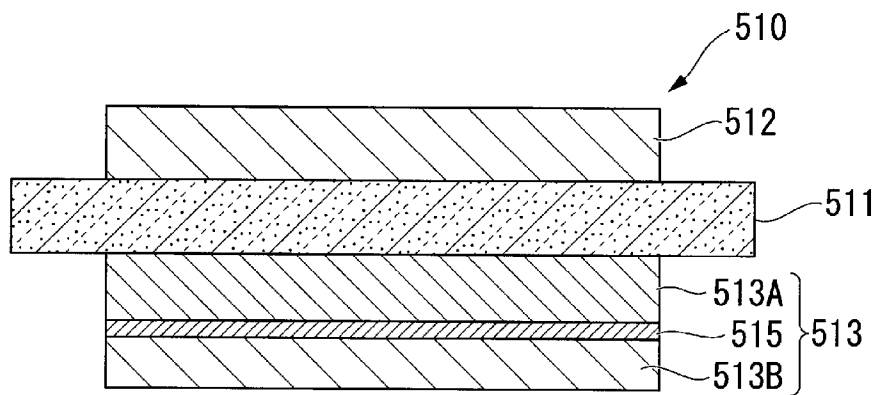
[図12]



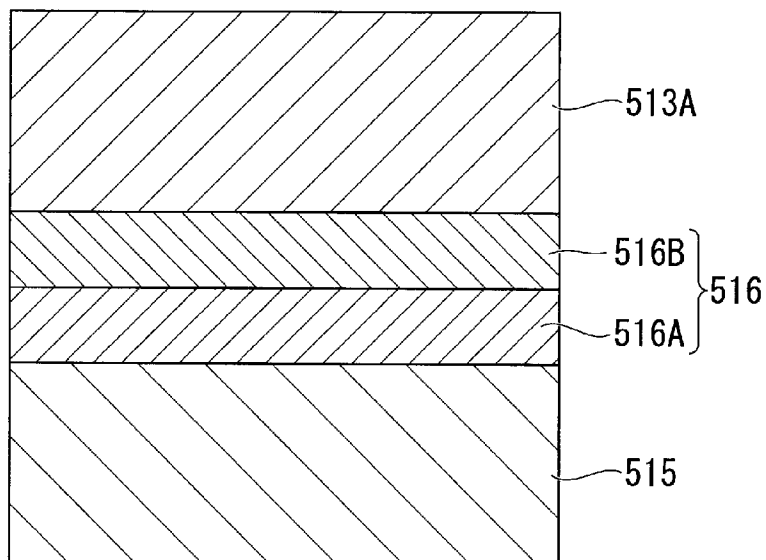
[図13]



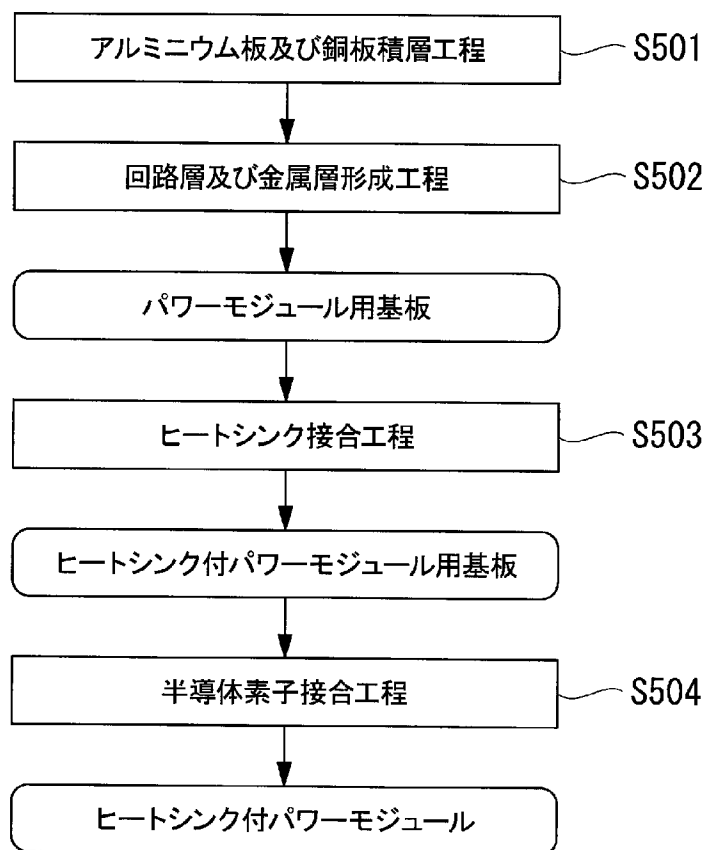
[図14]



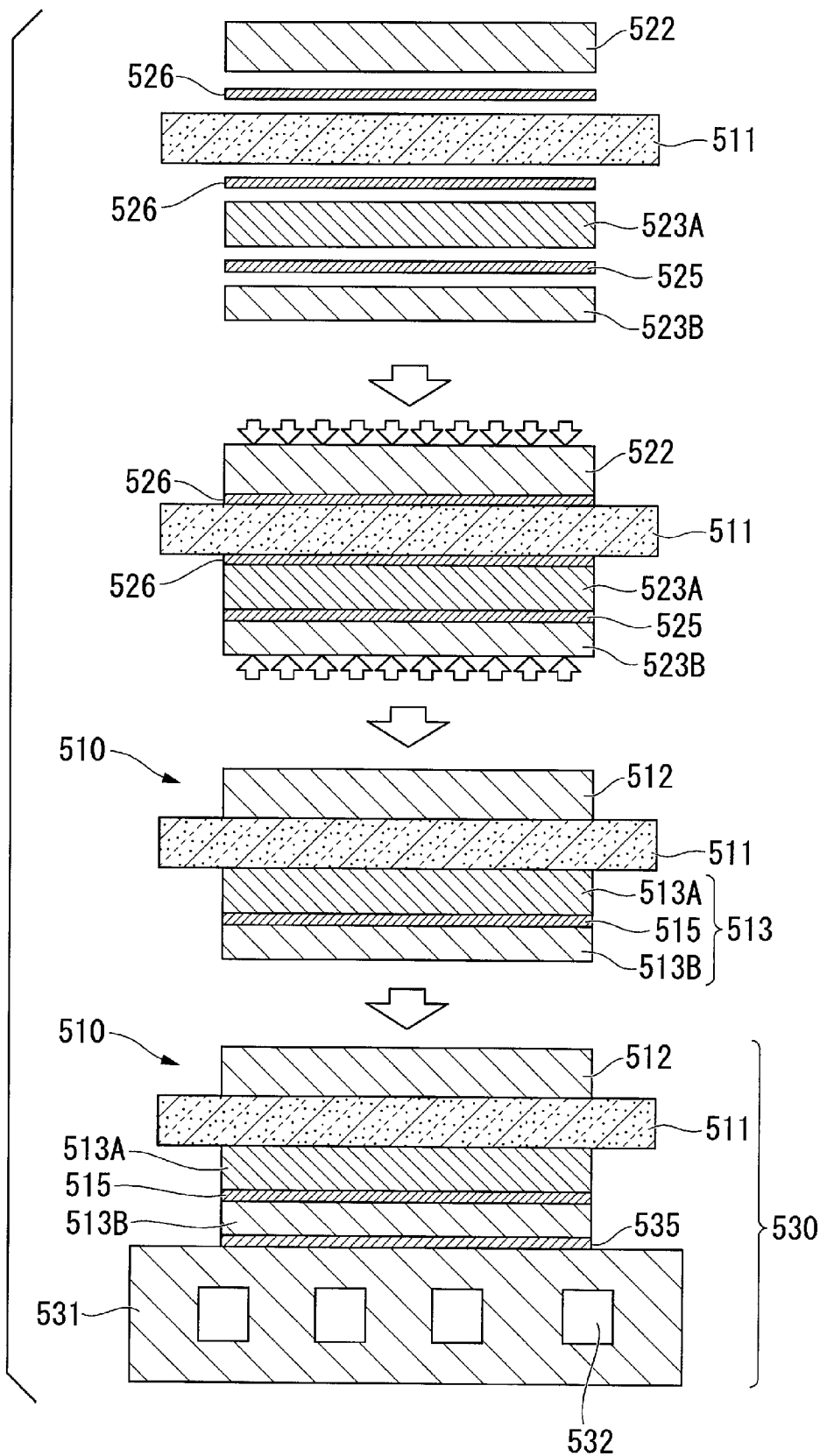
[図15]



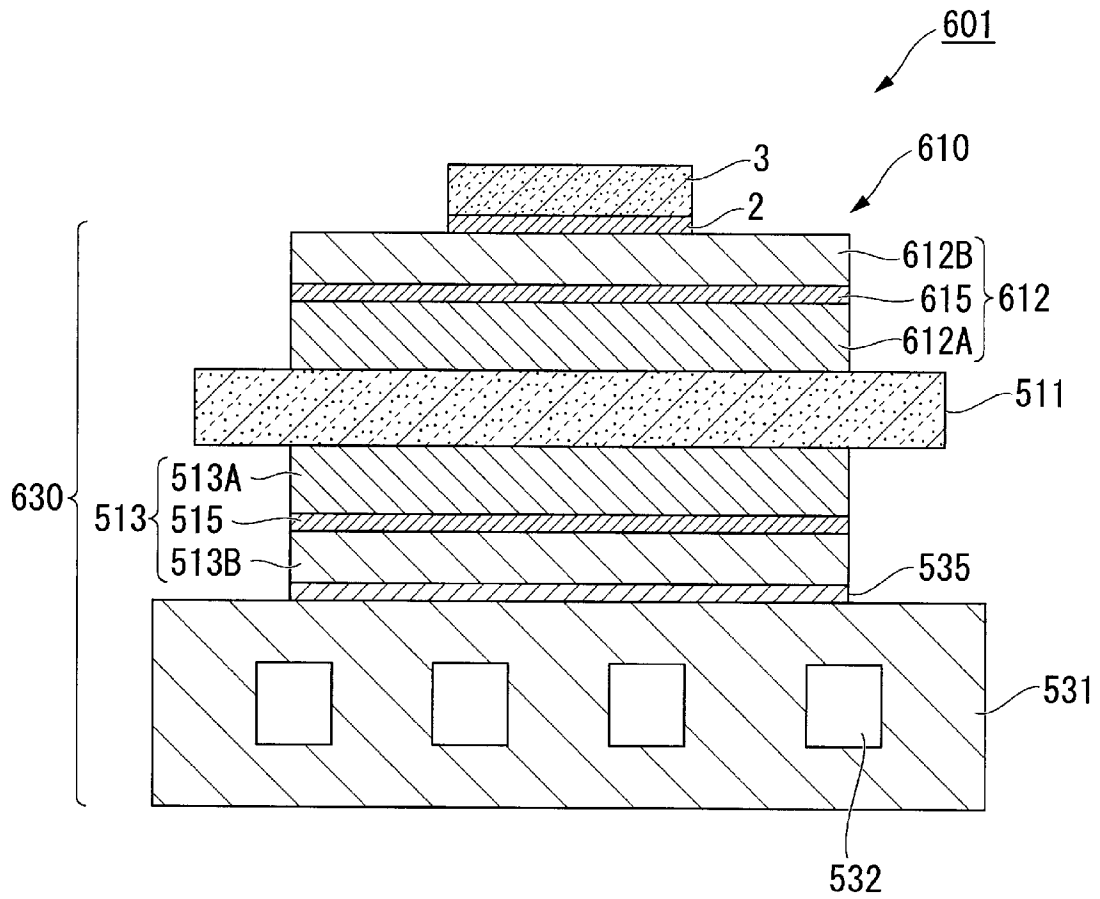
[図16]



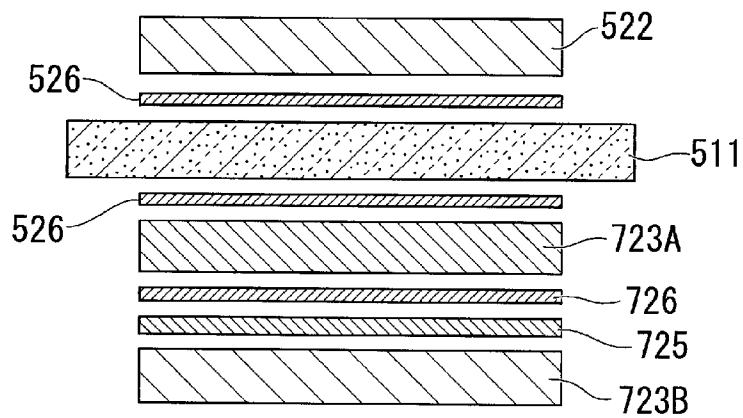
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/056920

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B32B15/01(2006.01)i, B23K20/00(2006.01)i, H01L23/12(2006.01)i, H01L23/36(2006.01)i

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)
B32B1/00-43/00, B23K20/00-20/26, H01L23/00-23/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 2012-104539 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 31 May 2012 (31.05.2012), claims; paragraphs [0055] to [0145]; examples; drawings & CN 103210488 A & WO 2012/063638 A1	1-8
A	JP 6-328271 A (Kobe Steel, Ltd.), 29 November 1994 (29.11.1994), claims; examples; drawings (Family: none)	1-8
E, A	JP 2014-87805 A (MMC Superalloy Corp.), 15 May 2014 (15.05.2014), claims; examples (Family: none)	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05 June, 2014 (05.06.14)	Date of mailing of the international search report 17 June, 2014 (17.06.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B32B15/01(2006.01)i, B23K20/00(2006.01)i, H01L23/12(2006.01)i, H01L23/36(2006.01)i

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))

Int.Cl. B32B1/00-43/00, B23K20/00-20/26, H01L23/00-23/66

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	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014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 2012-104539 A (昭和電工株式会社) 2012.05.31, 特許請求の範囲, [0055]-[0145], 実施例, 図面 & CN 103210488 A & WO 2012/063638 A1	1-8
A	JP 6-328271 A (株式会社神戸製鋼所) 1994.11.29, 特許請求の範囲, 実施例, 図面 (ファミリーなし)	1-8

C欄の続きにも文献が列挙されている。

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矛盾するものではなく、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

05.06.2014

国際調査報告の発送日

17.06.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山本 昌広

4S

9280

電話番号 03-3581-1101 内線 3474

C (続き) . 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
E, A	JP 2014-87805 A (MMC スーパーアロイ株式会社) 2014.05.15, 特許請求の範囲, 実施例 (ファミリーなし)	1 - 8