(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2019-165100
(P2019-165100A)
(43)公開日　令和1年9月26日(2019.9.26)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 23/40	***(2006.01)***	H01L	23/40	F	5F136
H01L 23/12	***(2006.01)***	H01L	23/12	J	
H01L 23/36	***(2006.01)***	H01L	23/36	C	
H01L 25/07	***(2006.01)***	H01L	25/04	C	
H01L 25/18	***(2006.01)***				

審査請求 未請求　請求項の数 3　ＯＬ　（全 8 頁）

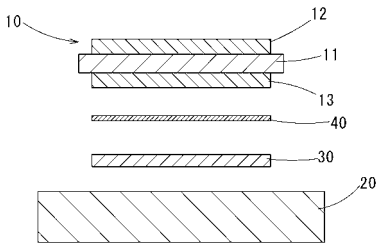
(21)出願番号　特願2018-51766(P2018-51766)
(22)出願日　平成30年3月19日(2018.3.19)

(71)出願人　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
(74)代理人　100101465
弁理士　青山　正和
(72)発明者　湯本　遼平
埼玉県さいたま市大宮区北袋町一丁目６００番地　三菱マテリアル株式会社　中央研究所内
(72)発明者　長友　義幸
埼玉県さいたま市大宮区北袋町一丁目６００番地　三菱マテリアル株式会社　中央研究所内

Ｆターム(参考)　5F136 BB04 DA27 EA70 FA02 FA03 FA16 FA17 FA18 FA32 FA53 FA83

(54)【発明の名称】ヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法

(57)【要約】
【課題】パワーモジュール用基板とアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンクとを５００℃以下の温度で確実に接合する。
【解決手段】セラミックス基板の一方の面に回路層が接合されるとともに、他方の面にアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層が接合されてなるパワーモジュール用基板における金属層と、炭化珪素の多孔体にアルミニウム合金を含浸して形成されたアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンクとを銅層を介して拡散接合する方法であり、パワーモジュール用基板の金属層と銅層との間に、マグネシウムが０．０２質量%以上３．０質量%以下の濃度で添加されたアルミニウム合金からなる金属箔を介在した状態でパワーモジュール用基板とヒートシンクとを接合する。
【選択図】図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
セラミックス基板の一方の面に回路層が接合されるとともに、前記セラミックス基板の他方の面にアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層が接合されてなるパワーモジュール用基板における前記金属層と、炭化珪素の多孔体にアルミニウム合金を含浸して形成されたアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンクとを銅層を介して拡散接合することにより、前記パワーモジュール用基板と前記ヒートシンクとを接合するヒートシンク接合工程を有し、前記ヒートシンク接合工程は、前記パワーモジュール用基板の前記金属層と前記銅層との間に、マグネシウムが０．０２質量％以上３．０質量％以下の濃度で添加されたアルミニウム合金からなる金属箔を介在した状態で前記パワーモジュール用基板と前記ヒートシンクとを接合す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の製造方法。
【請求項２】
前記金属箔の厚さが３．０μｍ以上３００．０μｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載のヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法。
【請求項３】
前記金属箔は、さらにシリコンを含み、該シリコンの濃度が１０．５質量％以下であることを特徴とする請求項１又は２に記載のヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法。
【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ヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
パワーモジュール用基板として、窒化アルミニウムを始めとするセラミックス基板からなる絶縁層の一方の面に回路層が接合されるとともに、他方の面にアルミニウム板を介してアルミニウム系のヒートシンクが接合されたヒートシンク付パワーモジュール用基板が知られている。
例えば特許文献１に開示されているヒートシンク付パワーモジュール用基板は、セラミックス基板からなる絶縁層の一方の面に純アルミニウム板、アルミニウム合金板、純銅板、銅合金板等からなる回路層が接合され、絶縁層の他方の面に純アルミニウム又はアルミニウム合金の金属板からなる金属層が接合され、この金属層に、アルミニウム又はアルミニウム合金で構成されたヒートシンクが銅層を介して接合されている。この場合、絶縁層と金属層とはろう材を用いて接合され、金属層とヒートシンクとは、その間に介在した銅層との間で固相拡散接合されている。
【０００３】
このようなヒートシンク付パワーモジュール用基板において、セラミックス基板とアルミニウム板のような熱膨張係数の異なる部材の接合による反りを防止するため、ヒートシンクの材料として、特許文献２に開示される多孔質炭化珪素成形体にアルミニウムを主成分とする金属を含浸させてなる低膨張係数の複合体（アルミニウム炭化珪素複合体とする）を用いることが提案されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開２０１４－６０２１５号公報
【特許文献２】特開２０００－２８１４６５号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】

【０００５】
ところで、パワーモジュール用基板の金属層は、熱伸縮に伴う応力緩和のために比較的純度の高いアルミニウム（特に純度９９．９９質量％以上の高純度アルミニウム）により構成するのが好ましい。一方、特許文献２記載のアルミニウム炭化珪素複合体では高温鋳造法等で緻密で高強度の複合体を得るためにシリコンやマグネシウム等を含有する比較的純度の低いアルミニウム合金が用いられることから、このアルミニウム炭化珪素複合体と銅との固相拡散に要する温度は例えば５００℃程度が適切である。
しかしながら、これらパワーモジュール用基板の金属層とアルミニウム炭化珪素複合体とを銅層を介して５００℃程度の温度で同時に接合しようとすると、金属層と銅層との接合には不十分であり、金属層と銅層との間に金属間化合物（$CuAl_2$、ＣｕＡｌ等）が十分に成長せずに接合不良を生じ易い。これを解決するため、接合温度を高めようとすると、アルミニウム炭化珪素複合体の一部が溶融するおそれがある。
【０００６】
本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、パワーモジュール用基板とアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンクとを５００℃以下の温度で確実に接合することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明のヒートシンク付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が接合されるとともに、前記セラミックス基板の他方の面にアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層が接合されてなるパワーモジュール用基板における前記金属層と、炭化珪素の多孔体にアルミニウム合金を含浸して形成されたアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンクとを銅層を介して拡散接合することにより、前記パワーモジュール用基板と前記ヒートシンクとを接合するヒートシンク接合工程を有し、前記ヒートシンク接合工程は、前記パワーモジュール用基板の前記金属層と前記銅層との間に、マグネシウムが添加されたアルミニウム合金からなる金属箔を介在した状態で前記パワーモジュール用基板と前記ヒートシンクとを接合する。
この場合、前記金属箔のマグネシウムの濃度が０．０２質量％以上３．０質量％以下である。
【０００８】
一般に、パワーモジュール用基板における金属層の表面やヒートシンクのアルミニウム炭化珪素複合体の表面にはアルミニウム酸化膜が形成されており、これがアルミニウムと銅との金属間化合物の生成を妨げることにより、接合不良の原因となっている。
この製造方法によれば、マグネシウムが添加されたアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属箔をパワーモジュール用基板の金属層と銅層との間に介在したことにより、金属箔内に固溶したマグネシウムが拡散して金属層やヒートシンク表面の酸化膜と反応してアルミニウム酸化膜を破壊し、マグネシウム酸化物（$MgAl_2O_4$やＭｇＯ）として分散する。この場合、金属箔は、マグネシウムが固溶したアルミニウム合金であるから、アルミニウム表面のアルミニウム酸化膜を破壊して生成されるマグネシウム酸化物は、アルミニウムと銅との界面に微細な粒子として分散した状態となる。したがって、このマグネシウム酸化物がアルミニウムと銅との金属間化合物の生成を阻害することが抑制され、その結果、アルミニウムと銅との金属間化合物の成長が促進され、５００℃以下の低い温度でもパワーモジュール用基板とヒートシンクとを強固に接合することができる。
【０００９】
この場合、金属箔におけるマグネシウムの濃度が０．０２質量％未満ではマグネシウム酸化物が十分に形成されず、接合不良を生じるおそれがある。一方、金属箔におけるマグネシウムの濃度が３．０質量％を超えると、圧延が困難となる。
【００１０】
本発明のヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法の好ましい態様としては、前記金属箔の厚さが３．０μｍ以上３００．０μｍ以下であることが好ましい。

この場合、金属箔の厚さが、３．０μｍ未満とするのは圧延困難であり、３００．０μｍを超える厚さでは、金属箔（圧延箔）とセラミックスとの線膨張差から生じる応力が大きくなり、剥離の原因となるおそれがある。

【００１１】

本発明の別の態様に係るヒートシンク付パワーモジュール用基板の製造方法において、前記金属箔は、さらにシリコンを含み、該シリコンの濃度が１０．５質量％以下であってもよい。

シリコンも金属層やアルミニウム炭化珪素複合体のアルミニウムに拡散して接合強度を高めることができる。ただし、金属箔のシリコンの濃度が１０．５質量％を超えていると、圧延が困難となる。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、金属箔のマグネシウム成分が、金属層やアルミニウム炭化珪素複合体の表面のアルミニウム酸化膜を破壊して微細なマグネシウム酸化物として分散するので、アルミニウムと銅との金属間化合物の成長が促進され、５００℃以下の温度でパワーモジュール用基板とヒートシンクとを強固に接合することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明の一実施形態に係るヒートシンク付パワーモジュール用基板の全体構造を示す断面図である。

【図２】図１のパワーモジュール用基板について接合前の状態を示す断面図である。

【図３】上記実施形態の製造方法におけるパワーモジュール用基板にヒートシンクを接合する前の状態を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本発明の実施形態について説明する。

図１に、本実施形態の製造方法により製造されたヒートシンク付パワーモジュール用基板１を示す。このヒートシンク付パワーモジュール用基板１は、パワーモジュール用基板１０とヒートシンク２０とが銅層３０を介して積層状態で接合されている。

【００１５】

パワーモジュール用基板１０は、セラミックス基板１１と、セラミックス基板１１の一方の面（表面）１１ａに接合された回路層１２と、セラミックス基板１１の他方の面（裏面）１１ｂに接合された金属層１３とを有する。

セラミックス基板１１は、回路層１２と金属層１３の間の電気的接続を防止する絶縁材であって、例えばＡｌＮ（窒化アルミ）、窒化珪素Si_3N_4等により形成され、その板厚は０．２ｍｍ～１．５ｍｍである。

【００１６】

回路層１２及び金属層１３は、アルミニウム又はアルミニウム合金のいずれも適用可能であるが、金属層１３については純度９９．００質量％以上又は純度９９．９９質量％以上の純アルミニウムが応力緩和のために特に好ましい。これら回路層１２及び金属層１３の板厚は０．１ｍｍ～１．０ｍｍが好適である。これら回路層１２及び金属層１３は、セラミックス基板１１の両面にアルミニウム板を、例えばＡｌ－Ｓｉ系のろう材を介して積層し、これらを積層方向に加圧して加熱することにより接合される。

【００１７】

ヒートシンク２０は、炭化珪素多孔体にアルミニウム合金を含浸して形成されたアルミニウム炭化珪素複合体により形成される。炭化珪素多孔体は、炭化珪素粉末と結合剤とを混合して板状に成形して焼結したものである。この炭化珪素多孔体にマグネシウムやシリコンを含有するアルミニウム合金の溶融物を高圧で含浸させることにより、アルミニウム炭化珪素複合体が製造される。アルミニウムと炭化珪素との両方の特性を兼ね備えており、ヒートシンクとして良好な熱伝導性を有するとともに、熱膨張係数が低く、パワーモジ

ュール用基板１０に接合されることにより、熱伸縮がパワーモジュール用基板１０のセラミックス基板１１と均衡して反り等の発生を抑制することができる。
ヒートシンク２０としては、平板が好適に用いられ、その厚さは０．４ｍｍ～６．０ｍｍとするとよい。
なお、ヒートシンク２０の表面には、含侵されたアルミニウム合金からなるスキン層（図示なし）が形成されており、このスキン層と銅層３０が接合されている。
また、含浸されるアルミニウム合金としては、例えば、Ａ３５６（ＡＳＴＭ規格）、ＡＤＣ１２、６０６３、３００３等（ＪＩＳ規格）を用いることができる。
銅層３０は、特に限定されないが、熱伝導性の面で純銅からなるものが好ましい。例えば、無酸素銅の圧延板によって形成されており、０．０５ｍｍ以上３．０ｍｍ以下の厚さに形成される。

【００１８】
次に、本実施形態のヒートシンク付パワーモジュール用基板１の製造方法について説明する。
その製造方法は、セラミックス基板１１に回路層１２及び金属層１３を接合してパワーモジュール用基板１０を形成するパワーモジュール用基板形成工程と、パワーモジュール用基板１０にヒートシンク２０を接合するヒートシンク接合工程とからなる。以下、この工程順に説明する。

【００１９】
（パワーモジュール用基板形成工程）
図２に示すように、セラミックス基板１１の一方の面１１ａに回路層１２となるアルミニウム板１２Ａ、他方の面１１ｂに金属層１３となるアルミニウム板１３Ａを、それぞれＡｌ－Ｓｉ系ろう材箔１５を介して積層し、その積層体を積層方向に加圧した状態で加熱した後、冷却することにより、セラミックス基板１１の一方の面１１ａに回路層１２、他方の面１１ｂに金属層１３が接合されたパワーモジュール用基板１０を形成する。ろう材箔１５は加熱により溶融し、回路層１２や金属層１３中に拡散して、これらをセラミックス基板１１と強固に接合する。
このときの接合条件は、必ずしも限定されるものではないが、真空雰囲気中で、積層方向の加圧力が０．３ＭＰａ～１．０ＭＰａで、６４０℃以上６５０℃以下の加熱温度に１分以上６０分以下保持するのが好適である。

【００２０】
（ヒートシンク接合工程）
図３に示すように、パワーモジュール用基板１０の金属層１３に銅層３０を介してヒートシンク２０を接合する。この接合は、金属層１３及びヒートシンク２０のアルミニウムと銅層３０の銅との固相拡散接合である。
また、この接合に際しては、金属箔４０を金属層１３と銅層３０との間に挿入しておく。この金属箔４０は、マグネシウムが添加されたアルミニウム合金により形成される金属箔である。
この金属箔４０を金属層１３と銅層３０との間に介在させ、積層方向に加圧した状態で加熱することにより、金属層１３とヒートシンク２０とをアルミニウムと銅との拡散接合によって接合する。このときの接合条件としては、必ずしも限定されないが、真空雰囲気で、積層方向の加圧力が０．３ＭＰａ以上３．５ＭＰａ以下で、４００℃以上５００℃未満の加熱温度に５分以上２４０分以下保持するのが好適である。

【００２１】
前述したように、金属層１３及びヒートシンク２０表面にはアルミニウム酸化膜が存在しており、これが銅層３０との固相拡散接合の妨げとなっている。この接合工程においては、金属箔４０ではマグネシウム原子がアルミニウム合金内に含有されているため、そのマグネシウム原子が、金属層１３及びヒートシンク２０表面のアルミニウム酸化膜を破壊し、スピネル（$MgAl_2O_4$）等のマグネシウム酸化物を生成する。このため、アルミニウム酸化膜が除去された金属層１３及びアルミニウム炭化珪素アルミニウムの表面と銅

層３０の表面とが接触して拡散接合する。

【００２２】

また、このとき生成されるマグネシウム酸化物は、マグネシウム原子の拡散によって形成されたものであるため、微細な粒子であり、金属層１３と銅層３０との界面に沿って面方向に分散して形成される。このため、金属層１３やヒートシンク２０のアルミニウムと銅層３０の銅との拡散接合を阻害することが少なく、アルミニウムと銅との拡散接合が促進され、金属層１３とヒートシンク２０とが強固に接合される。

【００２３】

この金属箔４０は、マグネシウムが添加されたＡｌ－Ｓｉ合金（アルミニウム合金）の圧延箔であり、その厚さは３．０μｍ以上３００．０μｍ以下が好ましい。この金属箔４０の厚さは３．０μｍ未満とするのは圧延困難であり、３００．０μｍを超える厚さでは、金属箔４０（圧延箔）とセラミックスとの線膨張差から生じる応力が大きくなり、剥離の原因となるおそれがある。

なお、金属箔４０はマグネシウムが添加されたＡｌ－Ｓｉ合金により構成されていることとしたが、そのＡｌ－Ｓｉ合金におけるシリコンの含有比率が１０．５質量％以下であることが好ましい。Ａｌ－Ｓｉ合金におけるシリコンの含有比率が１０．５質量％を超えると圧延困難となる。

また、上記実施形態では、金属箔４０の材料をマグネシウムが添加されたＡｌ－Ｓｉ合金としたが、マグネシウムが添加された他のアルミニウム合金を用いてもよいし、マグネシウムが添加された純アルミニウムであってもよい。

【００２４】

金属箔４０におけるマグネシウムの濃度は、マグネシウムが０．０２質量％以上３．０質量％以下となる比率に設定される。

マグネシウムの濃度が０．０２質量％未満ではアルミニウムと銅との界面にマグネシウム酸化物が十分に形成されない結果、アルミニウム酸化膜が残存してアルミニウムと銅との拡散接合が阻害され、接合不良を生じるおそれがある。

一方、マグネシウムの濃度が増えると、相対的にアルミニウムの濃度が減少し、金属層４０がより固くなることから、圧延が困難となる。

【００２５】

このようにしてパワーモジュール用基板１０の金属層１３とヒートシンク２０とが銅層３０を介して固相拡散接合されることにより、これらが一体になったヒートシンク付パワーモジュール用基板１が製造される。

【００２６】

この製造方法によれば、マグネシウムが添加されたアルミニウム合金からなる金属箔４０を介在させたことにより、パワーモジュール用基板１０の金属層１３とアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンク２０とを銅層３０を介して５００℃以下の低温で固相拡散接合することが可能になり、金属層１３及びアルミニウム炭化珪素複合体からなるヒートシンク２０のいずれもを強固に接合することができる。

【００２７】

その他、細部構成は実施形態の構成のものに限定されるものではなく、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。

また、本実施形態では、ヒートシンク２０は平板としたが、形状は特に限定されず、例えば、内部に水路を有する液冷式の冷却器であっても良い。

【実施例】

【００２８】

パワーモジュール用基板として、窒化アルミニウム板からなるセラミックス基板の両面に、純アルミニウム板（４Ｎ－Ａｌ）からなる回路層及び金属層を接合したものを用い、その金属層に厚さ１．０ｍｍの銅層を接合した。パワーモジュール用基板の接合には、厚さ１２μｍのＡｌ－７．５質量％Ｓｉろう材箔を用い、加圧力０．６ＭＰａで、６４０℃～６６０℃の温度に３０分保持した。

実施例１～８及び比較例１におけるパワーモジュール用基板の金属層と銅層との接合の際に形成した金属箔におけるＭｇの添加の有無、シリコンの濃度及びマグネシウムの濃度、並びに箔厚は表１の通りである。なお、従来例においては、パワーモジュール用基板の金属層と銅層との接続に上記金属箔を用いなかった。

このパワーモジュール用基板の金属層と銅層との接合においては、加圧力２．１ＭＰａで４９０℃の温度に１５０分保持した。

【００２９】

得られた試料について、金属層と銅層との接合率（ＤＢＡ／Ｃｕ接合率）を評価した。

接合率は、接合面の超音波探傷像を二値化処理して、剥離部分を除く接合された面積を求め、これを接合すべき界面の面積で割った比率とした。

また、得られた資料について、冷熱サイクル信頼性としてセラミックス基板と金属層との接合率（ＡＩＮ／裏Ａｌ接合率）を評価した。このセラミックス基板及び金属層の接合率は、－４０℃～１５０℃の間で３０００回変化させる温度サイクル試験を実行した後の数値である。

これらの結果を表１に示す。

【００３０】

【表１】

	金属箔				DBA/Cu接合率(%)	冷熱ｻｲｸﾙ信頼性 AlN/裏Al接合率(%)
	Mg添加有無	Si濃度(質量%)	Mg濃度(質量%)	箔厚(μm)		
従来例	無	-	-	無	12.7%	判定不能
実施例１	有	7.50%	0.10%	10	98.1%	86.0%
実施例２	有	7.50%	0.02%	10	90.5%	83.8%
実施例３	有	7.50%	3.00%	10	97.2%	84.6%
実施例４	有	0.00%	0.10%	10	92.6%	84.9%
実施例５	有	7.50%	0.10%	300	92.1%	80.5%
実施例６	有	7.50%	0.10%	5	95.9%	87.1%
実施例７	有	12.50%	0.10%	10	95.9%	84.3%
実施例８	有	7.50%	0.10%	400	92.1%	76.5%
比較例１	有	7.50%	0.01%	10	75.4%	66.7%

【００３１】

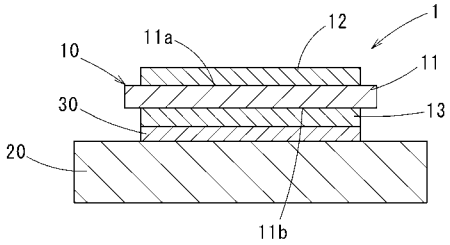
表１から明らかなように、マグネシウムを添加したアルミニウム箔、若しくは、マグネシウムを添加したＡｌ－Ｓｉ箔のマグネシウムの濃度が０．０２質量％以上３．０質量％以下のもの（実施例１～８）は、金属層と銅層との接合率（ＤＢＡ／Ｃｕ接合率）が９０％を超えており、５００℃以下の温度でも実用上問題ない接合を得ることができた。

また、実施例１～８の窒化アルミニウムにより構成されるセラミックス基板と純アルミニウムからなる金属層との接合率（ＡＩＮ／裏Ａｌの接合率）は、７５％を超えており、冷熱サイクル信頼性も高かった。特に、実施例１～７は、ＡＩＮ／裏Ａｌの接合率が８０％を超えており、マグネシウムを添加したアルミニウム箔、若しくは、マグネシウムを添加したＡｌ－Ｓｉ箔の箔圧を３．０μｍ以上３００．０μｍ以下とすることで、冷却サイクル信頼性をより高めることができた。

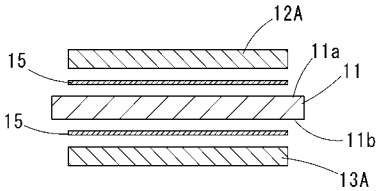
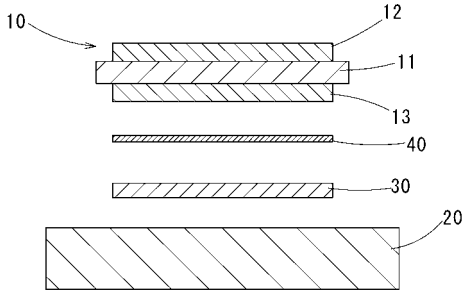
【符号の説明】

【００３２】
１　ヒートシンク付パワーモジュール用基板
１０　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　金属層
２０　ヒートシンク
３０　銅層
４０　金属箔
５０　接合層

【図１】



【図２】



【図３】