(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2009-129983
(P2009-129983A)
(43)公開日　平成21年6月11日(2009.6.11)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
H01L 21/52	(2006.01)	H01L 21/52	E	5F047
H01L 23/34	(2006.01)	H01L 23/34	A	5F136

審査請求 未請求　請求項の数 16　ＯＬ　（全 25 頁）

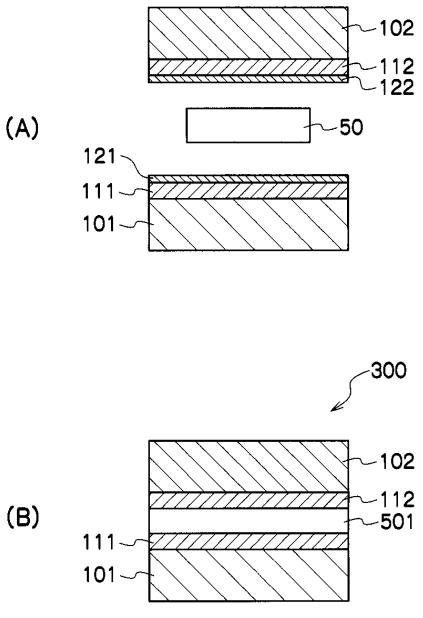
(21)出願番号　特願2007-300793 (P2007-300793)
(22)出願日　平成19年11月20日 (2007.11.20)

(71)出願人　000003609
株式会社豊田中央研究所
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１
(71)出願人　504157024
国立大学法人東北大学
宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号
(71)出願人　000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町１番地
(74)代理人　100079049
弁理士　中島　淳
(74)代理人　100084995
弁理士　加藤　和詳

最終頁に続く

(54)【発明の名称】接合体及びその製造方法、並びにパワー半導体モジュール及びその製造方法

(57)【要約】
【課題】亜鉛を主成分とするはんだ材料を用いたときの濡れ性の向上によって、被接合部材が均一に接合された接合体、パワー半導体モジュール及びこれらの製造方法を提供すること。
【解決手段】本発明の接合体３００は、第１部材１０１と第２部材１０２を有する。第１部材１０１と第２部材１０２の間は、亜鉛を主成分とするはんだ材料５０によって接合される。第１部材１０１と第２部材１０２の被接合面には、各々ニッケル層１１１，１１２を備え、更に、前記ニッケル層１１１，１１２の表面は、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層１２１，１２２を備える。接合後の接合面では、前記金属表面層１２１，１２２が消失している。接合部材がパワー半導体モジュールの場合には、第１部材１０１と第２部材１０２が、パワー半導体素子と絶縁基板、又は絶縁基板と放熱板に相当する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１部材と第２部材のそれぞれの被接合面にニッケル層を形成し、
前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を形成し、
前記金属表面層を対向させ、対向する前記金属表面層の間を、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、
前記接合によって、前記金属表面層を消失させることを特徴とする接合体の製造方法。
【請求項２】
前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項１に記載の接合体の製造方法。
【請求項３】
接合前の前記金属表面層の厚さが、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の接合体の製造方法。
【請求項４】
接合前の前記金属表面層の厚さが、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の接合体の製造方法。
【請求項５】
第１部材と第２部材とを有し、
前記第１部材及び第２部材の被接合面に、ニッケル層を備え、
前記第１部材と第２部材の間に、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合された接合部を有し、
前記接合部は、前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を備えた後に、前記第１部材と第２部材の間を前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合して形成されてなり、
且つ前記接合部では、前記金属表面層が消失していることを特徴とする接合体。
【請求項６】
前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項５に記載の接合体。
【請求項７】
パワー半導体素子と絶縁基板との間の第一接合部、及び絶縁基板と放熱板との間の第二接合部の少なくとも一方を、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合するパワー半導体モジュールの製造方法であり、
前記第一接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、パワー半導体素子と絶縁基板のそれぞれの前記第一接合部側の表面にニッケル層を形成し、前記第二接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、絶縁基板と放熱板のそれぞれの前記第二接合部側の表面にニッケル層を形成し、
前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を形成し、
前記金属表面層を対向させ、対向する前記金属表面層の間を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、
前記接合によって、前記金属表面層を消失させることを特徴とするパワー半導体モジュールの製造方法。
【請求項８】
前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項７に記載のパワー半導体モジュールの製造方法。
【請求項９】
接合前の前記金属表面層の厚さが、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７又は請求項８に記載のパワー半導体モジュールの製造方法。
【請求項１０】

接合前の前記金属表面層の厚さが、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７又は請求項８に記載のパワー半導体モジュールの製造方法。
【請求項１１】
パワー半導体素子と、絶縁基板と、放熱板と、を有し、
前記パワー半導体素子と前記絶縁基板との間の第一接合部、及び前記絶縁基板と前記放熱板との間の第二接合部の少なくとも一方を、亜鉛を主成分とするはんだ材料により接合してなり、
前記第一接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、パワー半導体素子と絶縁基板のそれぞれの前記第一接合部側の表面にニッケル層を備え、前記第二接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、絶縁基板と放熱板のそれぞれの前記第二接合部側の表面にニッケル層を備え、
前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を備えた後に、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、接合した後の接合面では、前記金属表面層が消失していることを特徴とするパワー半導体モジュール。
【請求項１２】
前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項１１に記載のパワー半導体モジュール。
【請求項１３】
前記パワー半導体素子が、ＧａＮ又はＳｉＣを用いて形成されてなることを特徴とする請求項１１又は請求項１２に記載のパワー半導体モジュール。
【請求項１４】
前記絶縁基板がSi_3N_4層であり、Si_3N_4層の両表面にＣｕで形成される導電層を備えることを特徴とする請求項１１～請求項１３のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュール。
【請求項１５】
前記放熱板が、Ｍｏ層の両面にＣｕ層を有するＣｕ層／Ｍｏ層／Ｃｕ層の積層体であることを特徴とする請求項１１～請求項１４のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュール。
【請求項１６】
前記放熱板におけるＣｕ層／Ｍｏ層／Ｃｕ層の厚さの比率が、１／５／１～１／１２／１であることを特徴とする請求項１５に記載のパワー半導体モジュール。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、接合体及びその製造方法、並びにパワー半導体モジュール及びその製造方法に関する。詳細には、鉛フリーのはんだ材料を用いた接合体、パワー半導体モジュール及びこれらの製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
これまで、はんだ材料としては鉛（Ｐｂ）系はんだ材料が広く用いられていた。特に、Ｐｂ－Ｓｎはんだ材料を用い、鉛（Ｐｂ）と錫（Ｓｎ）の比率を変えることによって、融点を１８３～３００℃前後の範囲で変化させて、そのはんだ付け温度に適したはんだ材料を得ていた（例えば、非特許文献１参照。）。
しかし、鉛は毒性を有するために使用廃止の方向にあり、鉛フリーのはんだ材料の開発が望まれている。
【０００３】
このようなはんだ材料に対する要求の中、例えば、Ｓｎ－Ａｇ合金、Ｓｎ－Ｃｕ合金などの種々の組成の錫（Ｓｎ）系はんだ材料が提案されている。
しかし、錫系はんだ材料の融点は２２０℃程度であるが故に、２２０℃程度で溶融してしまい、また、２００℃前後において引っ張り強度が著しく低下してしまう。

【０００４】
はんだ材料で接合される接合体の例としては、パワー半導体モジュールを挙げることができる。
パワー半導体モジュールは、通常、パワー半導体と電流通電部とが電気的に絶縁されるよう、パワー半導体に絶縁体を設けた構成となっている。このパワー半導体と絶縁体とは、はんだなどによって接合されている。
【０００５】
また、パワー半導体モジュールでは、半導体素子から発生する熱を効率よく放散するために、あるいは一時的に熱を分散するために、放熱板が設けられ、この放熱板と上記絶縁体とは、はんだなどによって接合されている。
したがって、パワー半導体モジュールでは、半導体素子と絶縁体との間、及び絶縁体と放熱板との間の２箇所を接合するのが一般的である。
【０００６】
これまではパワー半導体モジュールの２箇所の接合部に、鉛と錫の比率を変えた上述のＰｂ－Ｓｎはんだ材料が適用されていた。
次世代のパワー半導体素子であるＧａＮやＳｉＣは、２００℃以上の耐熱性を有し、且つ絶縁破壊電界及び飽和電子密度等が大きいことから、高い動作電圧を用いて大電流を扱うことが可能である。この電流の大きさに起因して半導体素子からの発熱が２００℃程度にまで上昇するため、はんだによる接合部分に対しても２００℃以上の耐熱性が要求されている。
【０００７】
融点が２５０℃を超える無害なはんだ材料は、未だ研究段階において散見するに留まり、実用化されているものは極めて少ない。特殊な用途向けにＡｕ－Ｓｎ合金（融点２８０℃）を用いる例があるが、この合金は全体の８０％がＡｕであるために非常に高価な材料であり、民生機器への適用は困難である。
【０００８】
また、融点が２５０℃を超える無害な接合材料の１種として、Ａｇ系のロウ材料が一般的に知られているが、それらの融点は６００℃以上と高く、このような温度で溶融し接合させると、半導体素子などの被接合部材を壊したり変質させてしまうために、本用途に用いることができない。半導体モジュールの製造工程では、接合時の加熱に適用し得る上限温度は、４５０℃程度である。
【０００９】
このような状況から、融点の高いはんだ材料として、亜鉛系の材料が検討されている。例えば、Ｚｎ－Ａｌ合金にＧｅやＭｇを添加したはんだ材料（例えば、特許文献１参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＭｇとＳｎを添加したはんだ材料（例えば、特許文献２参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＭｇとＩｎを添加したはんだ材料（例えば、特許文献３参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＧｅとＳｎとＩｎを添加したはんだ材料（例えば、特許文献４参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＧｅとＭｇを添加したはんだ材料（例えば、特許文献５～７参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＧｅとＰを添加したはんだ材料（例えば、特許文献８参照。）、Ｚｎ－Ａｌ合金にＧｅとＭｇとＰを添加したはんだ材料（例えば、特許文献９参照。）などが開示されている。
【００１０】
上述のように、亜鉛を主成分とする材料をはんだ材料は耐熱性には優れるものの、従来から用いられているＰｂ系やＳｎ系のはんだ材料と比較すると、被接合面への濡れ性が低く、部材間が均一に接合されにくいという問題があった。そのため、亜鉛を主成分とするはんだ材料によって接合する際には、加熱するとともに外圧を与え摺動しながら接合するという方法が採用されていた。
【特許文献１】特開平１１－２８８９５５号公報
【特許文献２】特開平１１－２０８４８７号公報
【特許文献３】特開平１１－１７２３５４号公報

【特許文献４】特開平１１－１７２３５３号公報
【特許文献５】特開平１１－１７２３５２号公報
【特許文献６】特開２０００－２０８５３３号公報
【特許文献７】特開２０００－６１６８６号公報
【特許文献８】特開２００４－３５８５４０号公報
【特許文献９】特開２００４－３５８５３９号公報
【非特許文献１】馬場陽一郎「ＨＶインバータ品質確保の取り組み」溶接学会全国大会講演概要、第７７章（２００５－９）
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【００１１】
そこで、本発明の第一の課題は、亜鉛を主成分とするはんだ材料を用いたときの被接合面の濡れ性を向上させて、緻密に接合する接合体及びパワー半導体モジュールの製造方法を提供することにある。
本発明の第二の課題は、亜鉛を主成分とするはんだ材料で、緻密に接合された接合体及びパワー半導体モジュールを提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【００１２】
請求項１に記載の発明は、
第１部材と第２部材のそれぞれの被接合面にニッケル層を形成し、
前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を形成し、
前記金属表面層を対向させ、対向する前記金属表面層の間を、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、
前記接合によって、前記金属表面層を消失させることを特徴とする接合体の製造方法である。
【００１３】
請求項１に記載の発明では、亜鉛を主成分とするはんだ材料（以下、「Ｚｎ系はんだ材料」と称する場合がある。）で接合する第１部材と第２部材のそれぞれの被接合面に、ニッケル層（Ｎｉ層）を設け、更にこのＮｉ層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を設ける。つまり、請求項１に記載の発明では、Ｚｎ系はんだ材料が金属表面層と接した状態で接合される。
【００１４】
本発明に至る過程で、Ｚｎ系はんだ材料は、Ｎｉ上での濡れ性に劣るが、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属（以下「反応性金属」と称する場合がある。）を被接合面の表面に形成することで濡れ性が向上することが明らかとなった。溶融Ｚｎ系はんだ材料は、金属表面層と接触することで合金を形成し、さらに反応性金属を求めて濡れ拡がる。これにより濡れ性が向上しているのではないかと推測される。しかし、本発明はこのような推測によって限定されることはない。
【００１５】
なお、本発明のように、はんだ材料が接する「界面の材質」を変えることは、濡れ性に最も影響のある界面の状態を直接的に変えることになるので、「はんだ材料の材質」を変更するのに比べて、はんだ材料の濡れ性の向上には極めて有効な方法である。
【００１６】
また、請求項１に記載の発明では、Ｎｉ層の表面に設けた金属表面層を、接合で消失させる。接合時に加熱によって、反応性金属は、Ｚｎ系はんだ材料のはんだ浴中に取り込まれ、最終的に得られる接合界面には金属表面層は残存せず、接合界面はＺｎ系はんだ材料と後述のニッケル層（Ｎｉ層）とが強固に接合している。
【００１７】
金属表面層が最終製品に残存すると、製品の使用中に、反応性金属と亜鉛（Ｚｎ）との

接合面で不要な反応生成物が生成する場合がある。この反応生成物は、周りに存在する材料よりも硬くあるいは脆いので、反応生成物の存在によって、接合部材のクラックの発生や接合界面での剥離などの不具合を発生させる場合がある。

【００１８】

本発明では、接合後の接合体において、Ｚｎ系はんだ材料が接する界面で金属表面層は消失しているので、反応性金属と亜鉛（Ｚｎ）との接触による不要な反応生成物の発生が抑制される。その結果、請求項１に記載のパワー半導体モジュールでは、接合部材のクラックの発生や接合界面での剥離などの不具合がより発生し難い。

【００１９】

なお、金属表面層を消失させるのは、高温に晒されたときに反応性金属と亜鉛（Ｚｎ）とが反応することによる不具合を防止するためである。したがって、金属表面層は、Ｚｎ系はんだ材料が接する部分において消失していればよく、Ｚｎ系はんだ材料が接していない部分については、残存していても構わない。

【００２０】

更に、請求項１に記載の発明では、Ｚｎ系はんだ材料との接合界面において、不要な反応生成物を生成させないために、被接合面にニッケル層を設ける。

例えば、半導体モジュールのように、半導体素子から発せられた熱によって接合部分が高温になると、接合部の界面での反応が顕著になり、接合部が接触する部材表面の材質によっては反応生成物が生成する。この反応生成物は硬く或いは脆い物質であるため、反応生成物が存在する位置を起点にクラックが発生したり、反応生成物が割れてクラックの発生の原因となったりする。このクラックの進展によって、接合界面で剥離するなどの不具合を発生させやすくなる。

【００２１】

しかし、本発明では、被接合面にニッケル層を設けているので、上記金属表面層が消失した後にはニッケル（Ｎｉ）と亜鉛（Ｚｎ）とが接することになる。ＮｉとＺｎでは高温になっても不要な反応生成物を生成させ難い。その結果、接合界面で不要な反応生成物を生成させにくく、反応生成物を起点としたクラックの発生が防止でき、その結果、界面での剥離などの不具合の発生が抑えられる。

【００２２】

したがって、請求項１に記載の発明によれば、得られる接合体の接合部分における耐熱性が向上し、また接合部分の濡れ性が向上することで緻密に接合できる。部材どうしが傾斜して接合するなどの不具合も抑えられる。また、冷熱サイクルに晒されても、接合界面で不要な反応生成物を生成させにくく、クラックの発生や界面での剥離などを抑えることができる。

【００２３】

請求項２に記載の発明は、前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項１に記載の接合体の製造方法である。

【００２４】

銅は亜鉛に対して反応性が高く、合金を生成しやすい。したがって、接合時に、Ｚｎ系はんだ材料が、銅を主成分とする層（以下、「Ｃｕ系層」と称する場合がある。）に接していると、溶融Ｚｎ系はんだ材料は、Ｃｕ系層と合金を形成し、さらにＣｕを求めて濡れ拡がる。その結果、Ｚｎ系はんだ材料の濡れ性が改善される。

【００２５】

請求項３に記載の発明は、接合前の前記金属表面層の厚さが、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の接合体の製造方法である。

【００２６】

請求項４に記載の発明は、接合前の前記金属表面層の厚さが、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１又は請求項２のいずれか１項に記載の接合体の製造方法である。

【００２７】

請求項１に記載の発明において説明したように、接合後の接合界面では金属表面層が消失している。金属表面層が消失するような条件は、接合時の加熱温度や加熱時間などによって調節することができるが、金属表面層の厚さとしては、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることが好ましく、より好ましくは１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下である。

【００２８】

請求項５に記載の発明は、

第１部材と第２部材とを有し、

前記第１部材及び第２部材の被接合面に、ニッケル層を備え、

前記第１部材と第２部材の間に、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合された接合部を有し、

前記接合部は、前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を備えた後に、前記第１部材と第２部材の間を前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合して形成されてなり、

且つ前記接合部では、前記金属表面層が消失していることを特徴とする接合体である。

【００２９】

請求項５に記載の接合体は、接合部材に融点の高いＺｎ系はんだ材料を適用し、且つ接合面の濡れ性が改善されている。更に、最終的に得られる接合界面には金属表面層が残存しないため、緻密に接合されている。更に接合後には前記金属表面層が消失し、Ｚｎ系はんだ材料とニッケル層とが接合しているので、製品の使用において接合面での不要な反応生成物の生成が抑えられる。

したがって、請求項５に記載の発明によれば、接合部分における耐熱性が向上し、また部材どうしが緻密に接合された接合体を得ることができる。また、傾斜して接合するなどの不具合の少ない接合体を得ることができる。更に、製品の使用において接合面での不要な反応生成物の生成が抑えられた接合体を得ることができる。

【００３０】

請求項６に記載の発明は、前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項５に記載の接合体である。

【００３１】

請求項７に記載の発明は、

パワー半導体素子と絶縁基板との間の第一接合部、及び絶縁基板と放熱板との間の第二接合部の少なくとも一方を、亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合するパワー半導体モジュールの製造方法であり、

前記第一接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、パワー半導体素子と絶縁基板のそれぞれの前記第一接合部側の表面にニッケル層を形成し、前記第二接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、絶縁基板と放熱板のそれぞれの前記第二接合部側の表面にニッケル層を形成し、

前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を形成し、

前記金属表面層を対向させ、対向する前記金属表面層の間を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、

前記接合によって、前記金属表面層を消失させることを特徴とするパワー半導体モジュールの製造方法である。

【００３２】

請求項８に記載の発明は、前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項７に記載のパワー半導体モジュールの製造方法である。

【００３３】

請求項９に記載の発明は、接合前の前記金属表面層の厚さが、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７又は請求項８に記載のパワー半導体モジュールの製造方法である。

【００３４】

請求項１０に記載の発明は、接合前の前記金属表面層の厚さが、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７又は請求項８に記載のパワー半導体モジュールの製造方法である。

【００３５】

請求項７～請求項１０に記載の発明は、請求項１～請求項４に記載の接合体の製造方法において、接合体がパワー半導体モジュールの場合に相当する。

パワー半導体モジュールは過酷な冷熱サイクルに晒される。一方で、上述のように、本発明の製造方法によれば、得られる接合体の接合部分における耐熱性が向上し、且つ緻密に接合することができる。また部材どうしが傾斜して接合するなどの不具合が抑えられる。したがって、本発明の製造方法は、パワー半導体モジュールのような過酷な冷熱サイクルに晒される接合体の製造方法に好適である。

【００３６】

請求項１１に記載の発明は、

パワー半導体素子と、絶縁基板と、放熱板と、を有し、

前記パワー半導体素子と前記絶縁基板との間の第一接合部、及び前記絶縁基板と前記放熱板との間の第二接合部の少なくとも一方を、亜鉛を主成分とするはんだ材料により接合してなり、

前記第一接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、パワー半導体素子と絶縁基板のそれぞれの前記第一接合部側の表面にニッケル層を備え、前記第二接合部を、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合する場合には、絶縁基板と放熱板のそれぞれの前記第二接合部側の表面にニッケル層を備え、

前記ニッケル層の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層を備えた後に、前記亜鉛を主成分とするはんだ材料で接合し、接合した後の接合面では、前記金属表面層が消失していることを特徴とするパワー半導体モジュールである。

【００３７】

請求項１２に記載の発明は、前記金属表面層が、銅を主成分とする層であることを特徴とする請求項１１に記載のパワー半導体モジュールである。

【００３８】

請求項１３に記載の発明は、前記パワー半導体素子が、ＧａＮ又はＳｉＣを用いて形成されてなることを特徴とする請求項１１又は請求項１２に記載のパワー半導体モジュールである。

【００３９】

パワー半導体素子が、次世代のＧａＮ又はＳｉＣを用いて形成されたものであるときには、パワー半導体素子から発せられる熱量は極めて大きくなり、約２００℃程度にまで達する場合がある。

請求項１１～請求項１３に記載のパワー半導体モジュールは、Ｚｎ系はんだ材料で接合されているため、接合部分は、４００℃程度の耐熱性を有している。また、はんだ材料が接する界面の濡れ性が向上しているため、緻密な接合に接合され、また部材が傾斜して接合する等という不具合が抑えられる。

さらに、本発明では、次世代のＧａＮ又はＳｉＣで形成されたパワー半導体による過酷な冷熱サイクル条件に曝されても、接合界面に不要な生成物を発生させ難く、接合部材のクラックの発生や接合界面での剥離などの不具合が発生し難いパワー半導体モジュールを得ることができる。

【００４０】

請求項１４に記載の発明は、

前記絶縁基板がSi_3N_4層であり、Si_3N_4層の両表面にＣｕで形成される導電層を備えることを特徴とする請求項１１～請求項１３のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールである。

【００４１】

絶縁基板のパワー半導体素子側に備える導電層は、当該導電層からパワー半導体素子に

電気を効率よく伝導させることが好ましい。また絶縁基板は、パワー半導体素子と放熱板との間に設置されるため、効率よく伝熱することが望ましい。

したがって、絶縁基板としては、絶縁性があることは勿論、熱伝導が良好であることが好ましく、さらに高い導電性と高い熱伝導率を有する導電層を備えることが好ましい。請求項１６に記載の発明によれば、これら物性的な要求を満たすことができる。

また、請求項１６におけるＣｕ／Si_3N_4／Ｃｕ積層体は、冷熱サイクルなどの試験に対しても、クラックなどの不具合を発生させ難い。

【００４２】

請求項１５に記載の発明は、

前記放熱板が、Ｍｏ層の両面にＣｕ層を有するＣｕ層／Ｍｏ層／Ｃｕ層の積層体であることを特徴とする請求項１１～請求項１４のいずれか１項に記載のパワー半導体モジュールである。

【００４３】

Ｃｕ／Ｍｏ／Ｃｕの積層体は熱伝導率が高く、放熱板としての機能を効果的に発揮する。また、Ｃｕ／Ｍｏ／Ｃｕの積層体は熱膨張係数が４ｐｐｍ／Ｋ程度となり、パワー半導体素子の熱膨張係数の値に近くなる。その結果、冷熱サイクル時に顕著な熱応力が生じず、亀裂や剥離などの不具合を発生させない。

【００４４】

請求項１６に記載の発明は、

前記放熱板におけるＣｕ層／Ｍｏ層／Ｃｕ層の厚さの比率が、１／５／１～１／１２／１であることを特徴とする請求項１５に記載のパワー半導体モジュールである。

【００４５】

Ｃｕ層／Ｍｏ層／Ｃｕ層の積層体の中でも、各層の厚さの比率が、１／５／１～１／１２／１の場合に、熱伝導率と熱膨張係数とのバランスが良好となり、放熱板としての機能を効果的に発揮する。

【発明の効果】

【００４６】

本発明によれば、亜鉛を主成分とするはんだ材料を用いたときの濡れ性が向上し、緻密に接合された接合体、パワー半導体モジュール、およびこれらの製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００４７】

＜接合体及びその製造方法＞

本実施形態の接合体の製造方法の一例を図１に示す。

本発明の接合体３００は、第１部材１０１と第２部材１０２とを有する。ここで、第１部材１０１と第２部材１０２のそれぞれの被接合面にニッケル層１１１，１１２を備え、更に前記ニッケル層１１１，１１２の表面に、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層（以下、単に「金属表面層」と称する場合がある）１２１，１２２を備える。

対向する前記金属表面層１２１，１２２の間は、Ｚｎ系はんだ材料５０で接合される。

【００４８】

（Ｚｎ系はんだ材料）

亜鉛を主成分とするはんだ材料（Ｚｎ系はんだ材料）とは、Ｚｎを５０質量％以上含むものをいう。

【００４９】

具体的に、Ｚｎ系はんだ材料５０としては、Ｚｎ単体、Ｚｎ－Ａｌ合金、$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金、更には、これらにＧｅ、Ｍｇ、Ｓｎ、Ｉｎ、Ｐ等の１種類を添加したもの、或いは２種類以上を組み合わせて添加したものを挙げることができる。

本発明では、Ｚｎに起因する問題が解決されるので、Ｚｎは単体であっても合金であっ

ても、或いは添加物が含まれていても、同様の効果を奏することができる。

【００５０】

ここで、Ｚｎ単体の融点は約４２０℃である。約４２０℃での接合も可能であるが、接合部材への熱によるダメージを考慮して、これよりも融点を低くすることも好適な態様である。

【００５１】

融点を降下させるには、ＺｎにＡｌを添加して、ＺｎとＡｌの合金とすることが好ましい。また、ＺｎとＡｌの他に、２質量％以下の金属Ｍを含有してもよい。すなわち、$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金を適用することが好ましい。

【００５２】

$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金において、Ａｌの含有率（ｘの範囲）は、好ましくは、２質量％以上１０質量％以下であり、３質量％以上８質量％以下であることがより好ましい。

ＡｌとＭを含まないＺｎ単体（ｘとｙが０の場合）では、上述のように融点が約４２０℃であって、Ａｌの含有率が増加するに従い、溶解終了温度（液相線温度）は徐々に降下し、Ａｌの含有率が約２質量％で溶解終了温度（液相線温度）が約４１０℃となり、Ａｌの含有率が約４～６質量％で液相線温度が約３８２℃となる。Ａｌの含有率が約６質量％よりも多くなると、溶解し始める温度（固相線温度）と溶解の完了する温度（液相線温度）との差が大きくなり、Ａｌの含有率が１０質量％の場合には、固相線温度が約３８２℃で、液相線温度が約４１０℃となる。Ａｌの含有率が１０質量％よりも多くなると固相線温度と液相線温度との温度差が３０℃よりも大きくなるので作業性が低下し、はんだによって接合する際に、位置ずれや接合部材の傾斜等の不具合を発生させやすくなる。

【００５３】

また、$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金における金属Ｍは、亜鉛及びアルミニウム以外の金属を表し、Ｃｕなどを挙げることができる。Ｃｕを２質量％以下含有させると、濡れ性が良好となり密着性が向上する。なおＣｕを２質量％含有しても液相線温度は殆ど変化しない。

$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金において、金属Ｍの含有量（ｙの範囲）としては、０～２質量％であり、好ましくは０～１．５質量％である。金属Ｍの含有量が２質量％よりも多くなると、溶解完了までの温度差が３０℃よりも大きくなるので作業性が低下し、はんだによって接合する際に、位置ずれや接合部材の傾斜等の不具合が発生し易くなる。

【００５４】

$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金の調製方法は特に制限されず、公知の合金調製方法を適宜適用することができる。

【００５５】

$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$で表される合金によって第１部材１０１と第２部材１０２とを接合する場合、合金の液相線温度よりも数十℃高い温度で接合することが、接合部を一様に溶融させ、充分な流動性を得る観点から好ましい。例えば、３８２℃の液相線温度を有する$Zn_{(1-x-y)}Al_xM_y$合金の場合には、４１０℃～４４０℃程度で接合することが好ましい。

【００５６】

その他のＺｎ系はんだ材料としては、特開平１１－２８８９５５号公報、特開平１１－２０８４８７号公報、特開平１１－１７２３５４号公報、特開平１１－１７２３５３号公報、特開平１１－１７２３５２号公報、特開２０００－２０８５３３号公報、特開２０００－６１６８６号公報、特開２００４－３５８５４０号公報、特開２００４－３５８５３９号公報などのＺｎ系はんだ材料を適用することができる。

【００５７】

（Ｚｎ系はんだ材料に対する被接合面）

Ｚｎ系はんだ材料５０の被接合面には、ニッケル層１１１，１１２を備える。ニッケル

層１１１，１１２を備えることで、Ｚｎ系はんだ材料５０との界面において不要な反応生成物の生成を抑えることができ、温度変化に対しても耐性が高くなる。

【００５８】

Ｚｎ系はんだ材料５０との被接合面に設けるニッケル層１１１，１１２の厚みは、０．１μｍ～１０μｍであることが好ましく、０．５μｍ～５μｍであることがより好ましい。上記の厚さの範囲では、濡れ性の向上に寄与でき、且つ得られた接合体全体に与える熱膨張係数の影響も少ない。

ニッケル層１１１，１１２は、スパッタリングやめっき、蒸着等によって形成することができる。

【００５９】

更に本発明では、前記ニッケル層１１１，１１２の表面に亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属表面層（金属表面層）１２１，１２２を形成し、Ｚｎ系はんだ材料５０の濡れ性を改善している。

【００６０】

ここで、「亜鉛との反応性が高い金属」とは、亜鉛に対して数秒程度で合金を形成するような金属で、その反応量も大きい金属を意味する。具体的には、亜鉛との反応性が高く亜鉛と合金を生成する金属（反応性金属）としては、銅（Ｃｕ）、ＣｕＮｉ、ＣｕＳｎ、Ａｇ、Ａｕなどが挙げられる。

【００６１】

特に、金属表面層は銅を主成分とする層（Ｃｕ系層）であることが、（１）亜鉛に対する反応性の高さ、（２）Ｚｎ系はんだ浴へ溶け込み易く接合後に銅層を消失させることができる、という観点から好適である。

【００６２】

銅を主成分とする層（Ｃｕ系層）とは、Ｃｕを５０質量％以上含む金属層をいう。銅単体であっても銅合金であってもよく、更にこれらに添加物を添加したものであってもよい。銅合金としては、Ｃｕ－Ａｕ、Ｃｕ－Ａｇ、Ｃｕ－Ｎｉ、Ｃｕ－Ｓｎなどを挙げることができる。銅を主成分とする層に添加する添加物としては、亜鉛（Ｚｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、マンガン（Ｍｎ）などを挙げることができる。

【００６３】

Ｃｕ系層は、より好ましくはＣｕを６５質量％以上含む金属層であり、更に好ましくはＣｕを８０質量％以上含む金属層である。

【００６４】

Ｚｎは濡れ性の低い物質であり、Ｎｉに対しても濡れ拡がり難い。はんだ材料が接合の加熱時に濡れ拡がらないと、均一に接合することができず、被接合部材が傾いた状態で接合してしまうなど、不具合を発生させる場合がある。

【００６５】

このような不具合を解消するため、従来の方法では、接合の加熱時に被接合部材に外圧を加えながら擦動させて、均一に且つ被接合部材が傾かないように接合していた。このような方法を採用すれば、Ｚｎ系はんだ材料であっても、被接合部材を均一に接合することができる。しかし、加熱しながら外圧を加えることは、作業上煩雑な操作である上に、周辺部にはんだ材料がはみ出し、電気的な不具合を生じる恐れがある。

【００６６】

そこで、本発明では、溶融したＺｎと反応して合金を作り易い金属（反応性金属）をＺｎ系はんだ材料５０の接合面に設けることで、Ｚｎ系はんだ材料５０の濡れ性を向上させている。詳細には、接合時の加熱において、Ｚｎ系はんだ材料５０が融点を超えて溶融した際に、Ｚｎ系はんだ材料５０は、反応性金属と合金の生成反応を起こしながら反応性金属を求めて自ら拡がるという現象を利用している。

【００６７】

一方で、濡れ性を向上させるために形成した前記金属表面層１２１，１２２が、はんだ接合後も残存すると、パワー半導体モジュールを製品として使用する際に、冷熱サイクル

によってＺｎと反応性金属とで不要な反応生成物を生成させる場合がある。
そのような不要な反応生成物は、通常、脆い物質であったり、硬い物質であったりするので、その不要な反応生成物の存在する位置を起点にクラックが発生し、その結果、接合部材のクラックの発生や接合界面から生じる剥離などの不具合を発生させ易い。
そこで、金属表面層１２１，１２２は、はんだ材料が濡れ拡がった後は、Ｚｎのはんだ浴中に取り込み消失させる。

【００６８】

はんだ材料が濡れ拡がった後の接合界面で、金属表面層１２１，１２２が消失するような金属表面層１２１，１２２の厚さは、はんだ接合時の加熱温度や加熱時間、更にははんだ材料の種類などによって異なるため、一概に決めることはできず、適宜好適な膜厚を採用することが望ましい。
しかしながら、概ね、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることが好ましく、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることが好ましい。膜厚が薄すぎると、接合部分が島状となり均一に接合することができない場合がある。一方、１０００ｎｍよりも厚い場合には、Ｚｎ系はんだ浴中に全てが取り込まれず、金属表面層１２１，１２２が残存する場合がある。

【００６９】

金属表面層１２１，１２２は、スパッタリングやめっき、蒸着等によって形成することができる。

【００７０】

（接合体の製造方法）
図１（Ａ）に示すように、第１部材１０１と第２部材１０２のそれぞれの表面にニッケル層１１１，１１２を形成する。更に、ニッケル層１１１，１１２の上に、金属表面層１２１,１２２を形成する。
次に、図１（Ａ）に示すように、第１部材１０１と第２部材１０２におけるそれぞれの金属表面層１２１,１２２が対向するように配置し、その間にＺｎ系はんだ材料５０を挟み、第１部材１０１／ニッケル層１１１／金属表面層１２１／Ｚｎ系はんだ材料５０／金属表面層１２２／ニッケル層１１２／第２部材１０２をこの順に積層した状態で、リフロー法等を利用して接合して、接合体３００を形成する。

【００７１】

接合は、Ｚｎ系はんだ材料５０の融点よりも３０℃～６０℃程度高い温度で行うことが好ましい。また、接合は、不活性ガス又は還元ガス雰囲気下で行なう。

【００７２】

被接合面の表面に設けられた金属表面層１２１,１２２は非常に薄く、Ｚｎ系はんだ材料５０の体積に比べて桁違いに少ない。そのため、接合時の加熱により溶融したＺｎ系はんだ材料５０のはんだ浴の中に金属表面層１２１,１２２が取り込まれて、結果、図１（Ｂ）に示すように、金属表面層１２１,１２２は接合界面には残存しない。

【００７３】

その結果、Ｚｎ系はんだ材料５０は、ニッケル層１１１，１１２と接する。この状態で冷熱サイクルに曝されても、ＮｉとＺｎとは不要な反応生成物を生成させ難い。したがって、接合界面で不要な反応生成物を生成させにくく、反応生成物を起点としたクラックの発生が防止でき、界面での剥離などの不具合の発生が抑えられる。

【００７４】

形成された接合部５０１の層の厚さは、熱伝導及び熱応力の観点から５μｍ以上５００μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ以上２００μｍ以下であることがより好ましい。

【００７５】

図２では、接合によって濡れ拡がったＺｎ系はんだ材料５０の状態を説明する。第１部材１０１と第２部材１０２の形状や大きさに特に制限はないが、図２では、第１部材１０１の被接合面が、第２部材１０２の被接合面よりも大きい場合で説明する。

【００７６】

図２（Ａ）は接合前の状態を示し、図２（Ｂ）は接合後の状態を示す。
本発明においてはＺｎの濡れ性が向上しているため、図２（Ｂ）に示すように、接合の加熱によってはんだ材料が均一に濡れ拡がり、はんだ材料はフィレットと呼ばれる裾拡がりの形状となる場合がある。このような接合形状であっても均一に接合しているのであれば問題ないが、フィレットの拡がりを抑制する方法としては、以下の方法を例示することができる。

【００７７】
例えば、図３（Ａ）（Ｂ）に示すように、第１部材１０１に設ける金属表面層１２１の面積を第１部材１０１の被接合面よりも小さくする方法が挙げられる。
所望の面積の金属表面層１２１を形成するには、絶縁基板上にマスキングシートなどを貼ってメッキしたり、或いは、開口部を有するマスク部材を装着してスパッタリングしたりすればよい。したがって、この方法では簡易な方法で、はんだ材料の濡れ拡がる面積を制御することができる。

【００７８】
なお、本発明の技術は、濡れ性に最も影響のある界面の状態を直接的に変えるので、図３に示すように、はんだ材料の濡れ拡がる範囲を制御することが容易である。
これに対して、従来のように、はんだ材料に他の物質を添加して濡れ性を向上させる方法では、濡れ性に直接影響を及ぼす界面のみならず、はんだ材料全体も改質されているので、はんだ材料が濡れ拡がる範囲を制御することは、本発明に比べて困難である。

【００７９】
また、図４（Ａ）（Ｂ）に示すように、予めはんだ材料の拡がりを抑止する部分にレジスト７０等をパターニングしておくことで、はんだ材料の濡れ拡がりを制御することができる。
接合後に不要なレジストを除去することも可能であり、耐熱性の高いレジストの場合には、そのまま残存させてもよい。

【００８０】
なお、Ｚｎ系はんだ材料５０で接合した後の接合面では、金属表面層１２１，１２２が消失している。しかし、図２（Ｂ）に示すように、金属表面層１２１，１２２が残存している領域Ａが確認できれば、本発明の方法を適用したか否かは確認可能である。

【００８１】
＜パワー半導体モジュール及びその製造方法＞
本発明のパワー半導体モジュールは、パワー半導体素子と絶縁基板と放熱板とを有する。更に、前記パワー半導体素子と前記絶縁基板との間の第一接合部、及び前記絶縁基板と前記放熱板との間の第二接合部を有する。
本発明では、第一接合部及び第二接合部の少なくとも一方が、上述のＺｎ系はんだ材料で接合されていればよく、第一接合部及び第二接合部の両者がＺｎ系はんだ材料で接合されていてもよい。

【００８２】
更に、本発明では、Ｚｎ系はんだ材料によって接合する被接合面には、ニッケル層を備え、更に、前記ニッケル層の表面に金属表面層（望ましくはＣｕ系層）を備える。金属表面層は、Ｚｎ系はんだ材料で接合した後で消失していることが望ましい。

【００８３】
上記の構成のパワー半導体モジュールとすることで、パワー半導体モジュールの接合部分における耐熱性が向上し、緻密に接合される。また被接合部材どうしが傾斜して接合するなどの不具合の発生が抑えられたパワー半導体モジュールとなる。

【００８４】
なお、本発明のパワー半導体モジュールでは、Ｚｎ系はんだ材料を、第一接合部及び第二接合部のいずれに適用してもよく、また、第一接合部を先に接合し次に第二接合部を接合してもよいし、第二接合部を先に接合した後、第一接合部を接合してもよい。

【００８５】

しかし、いずれにしても２回目のはんだ付けの温度が、１回目に用いたはんだ材料の融点よりも高いと、２回目のはんだ付けの際に１回目にはんだ付けした部分が溶融して、位置ずれを起こしたり傾斜したりといった不具合を発生させてしまう。

【００８６】

この問題を回避するため、一般的に、１回目に用いるはんだ材料の融点は、２回目に用いるはんだ材料の融点よりも高くなるように、はんだの材料を選択する。好適には、２回目の接合に用いるはんだ材料の融点は、１回目の接合に用いるはんだ材料の融点よりも３０℃以上低いことが望ましい。

【００８７】

つまり１回目の接合に、融点が約３８０～４２０℃のＺｎ系はんだ材料を適用した場合、２回目の接合に用いるはんだ材料は、Ｚｎ系はんだ材料の融点よりも３０℃以上低い融点を有するものとすることが好ましい。一方で、パワー半導体からの発熱を考慮すると、２回目の接合に用いるはんだ材料の融点は２００℃以上であることが望ましい。よって、１回目の接合に、Ｚｎ系はんだ材料を適用した場合には、２回目の接合に用いるはんだ材料は、融点が２１０℃～３５０℃程度のものを適用することが好ましい。

【００８８】

他方、２回目の接合に、Ｚｎ系はんだ材料を適用した場合には、１回目の接合に用いるはんだ材料は、Ｚｎ系はんだ材料の融点よりも３０℃以上高い固相線温度を有するものであることが好ましい。一方で、はんだ付けの際の加熱によって半導体素子が破壊されるのを防ぐには、融点が６５０℃以下、好ましくは４５０℃以下であることが好ましい。よって、２回目の接合にＺｎ系はんだ材料を適用した場合には、１回目の接合に用いるはんだ材料は、融点が４５０～６５０℃のものを適用することが好ましい。

【００８９】

上記から、Ｚｎ系はんだ材料は、その融点が約３８０～４２０℃であるという観点から１回目の接合に用いることが好ましく、２回目の接合に用いるはんだ材料は、２１０℃～３５０℃程度の融点を有する材料を適用することが好ましい。

【００９０】

このような条件下で、２回目の接合に用いるはんだ材料としては、Ｂｉ系はんだ材料（融点：約２７０℃）やＡｕ系はんだ材料（融点：約２８０℃）、Ｓｎ－Ｓｂ系はんだ材料（融点：約２５０℃）などを挙げることができる。これらの中でも、２回目の接合に用いるはんだ材料としては、Ｂｉ系はんだ材料を適用することが、貴金属を用いないというコスト面、安全性の観点から好適である。

【００９１】

なお、大量の熱を発する半導体素子に近い側の第一接合部には、融点の高いＺｎ系はんだ材料を適用し、半導体素子から遠い側の第二接合部には、Ｂｉ系はんだ材料等、Ｚｎ系はんだ材料よりも融点の低いはんだ材料を適用することが好適である。

【００９２】

したがって、以下、図５に示す第一の実施形態では、第一接合部にはＺｎ系はんだ材料を適用し、第二接合部にはその他のはんだ材料を適用する場合について説明する。

【００９３】

［第一の実施形態のパワー半導体モジュール］

図５に、第一の実施形態のパワー半導体モジュール１０の要部断面図を模式的に示す。

パワー半導体モジュール１０は、パワー半導体素子２０と絶縁部３０と放熱板４０とを有する。パワー半導体素子２０と絶縁部３０との間は第一接合部５００によって接合される。絶縁部３０と放熱板４０との間は第二接合部６００によって接合される。

【００９４】

パワー半導体モジュール１０は、車載用インバータなどに用いられるものである。パワー半導体モジュール１０の周辺には図示しない内燃機関が設けられているために、パワー半導体モジュール１０が置かれている環境はかなりの高温となっている。さらに、パワー半導体素子として次世代のＧａＮやＳｉＣを用いた場合には、パワー半導体素子２０から

の発熱が大きく、パワー半導体モジュール１０の温度が上昇する。

【００９５】

パワー半導体素子２０が自身の発する熱や高温の周囲環境によって破壊するのを防ぐよう、冷却水が流動する冷却管（図示せず）が設けられ、冷却管とパワー半導体素子２０との間に放熱板４０が設けられる。

【００９６】

したがって、一般的にパワー半導体モジュールに求められる性能としては、第一に、冷却と発熱を繰り返す冷熱サイクルに対して、半導体や絶縁基板など被接合部材の亀裂、接合部分のクラックの発生や、接合界面から生じる剥離などの不具合を生じさせないことであり、第二に、絶縁基板によって確実に絶縁させることであり、第三にパワー半導体素子から発せられた熱を放熱板までなるべく蓄積することなく伝えることである。

【００９７】

冷熱サイクルに対して上記亀裂、クラック、剥離などを発生させないためには、半導体素子２０、絶縁基板３０、放熱板４０及び接合部５００，６００などの部材そのものが温度変化に対して耐久性がなければならず、加えて、冷熱サイクルにおいて、接合界面に不要な反応生成物が発生したり、この反応生成物が大きく成長しないことが重要である。かかる反応生成物は脆い物質であったり、逆に硬すぎる物質であったりして、反応生成物が発生した部位を起点として接合部材のクラックの発生や接合界面から生じる剥離等を起こしやすい。

【００９８】

また、各部材の熱膨張係数が近い値であることも、冷熱サイクルによる上記亀裂やクラック、剥離などの発生を抑制するのに重要である。熱膨張係数が全く異なる部材を接合すると、冷熱サイクルによって繰り返し起こる部材の体積変化によって、上記亀裂やクラック、剥離等を発生させやすくなる。

【００９９】

パワー半導体モジュールの接合部分に対して求められる性能としては、第一に、冷熱サイクルに対して半導体や絶縁基板の亀裂、接合部材のクラックの発生や、接合界面から生じる剥離などの不具合を生じさせないことであり、第二に、接合が均一に行われ、部材が傾斜して接合されないことである。

【０１００】

第一の実施形態のパワー半導体モジュールでは、第一接合部５００にＺｎ系はんだ材料５０を適用して接合しているため、接合部分の耐熱性は高くなっている。

また、Ｚｎ系はんだ材料５０が接する界面には金属表面層２４，３９が設けられているので、被接合面に対するＺｎ系はんだ材料５０の濡れ性が向上している。その結果、接合が均一に行われるので、部材が傾斜して接合される等の不具合を発生させず、また、熱伝導が阻害されるのを防ぐことができる。

【０１０１】

一方で、接合後のパワー半導体モジュールでは、Ｚｎ系はんだ材料５０が接する部分においては、はんだ浴中に金属表面層２４，３９が取り込まれて、金属表面層２４，３９は消失している。

反応性金属が亜鉛（Ｚｎ）と接した状態で残存していると、パワー半導体モジュールを製品として使用している間に半導体素子から発せられる熱によって、反応性金属と亜鉛（Ｚｎ）とが反応し、不要な反応生成物を生成することがある。

これに対して、Ｚｎ系はんだ材料５０が接する部分において、Ｚｎはんだ浴中に反応性金属が取り込まれて金属表面層２４，３９が消失していれば、Ｚｎと反応性金属とによる不要な反応生成物を生じることなく強固に接合する。その結果、反応生成物の生成に起因した上記クラックや剥離などの不具合の発生が抑制される。

【０１０２】

この場合、金属表面層２４，３９は、Ｚｎと接している部分において消失していればよく、Ｚｎ系はんだ材料５０が接していない部分については、残存していても構わない。

【０１０３】
更に、本発明では、被接合面にニッケル層２２,３８を設けているため、金属表面層２４，３９が消失した後には、ニッケル層２２,３８とＺｎ系はんだ材料５０とが接合している。ＺｎとＮｉとの界面では、パワー半導体モジュールを製品として使用したときに半導体素子から発せられる熱によっても、不要な反応生成物を生成させない。その結果、不要な反応生成物に因るクラックの発生や接合界面での剥離の発生を抑制することができる。

【０１０４】
なお、図５のパワー半導体モジュールでは、金属表面層２４、３９を点線で図示しているが、第一接合部５００では、これらの金属表面層２４、３９は消失している。
更に、パワー半導体モジュールの各部材について、詳細に説明する。

【０１０５】
（第一接合部）
本発明における第一接合部５００は、パワー半導体素子２０と絶縁部３０との間を接合するために設けられる。第一接合部５００では、上述のＺｎ系はんだ材料５０を適用する。

【０１０６】
Ｚｎ系はんだ材料５０の被接合面には、ニッケル層を備える。第一の実施形態では、第一接合部５００にＺｎ系はんだ材料５０を適用するので、パワー半導体素子２０と絶縁部３０のそれぞれの被接合面にニッケル層２２,３８を備える。ニッケル層２２,３８を備えることで、Ｚｎ系はんだ材料５０との界面において不要な反応生成物の生成を抑えることができ、温度変化に対しても耐性が高くなる。

【０１０７】
Ｚｎ系はんだ材料５０との被接合面に設けるニッケル層２２,３８の厚みは、０．１μｍ～１０μｍであることが好ましく、０．５μｍ～５μｍであることがより好ましい。０．１μｍよりも薄いと、接合時にはんだ材料に溶け込み消失する恐れがあり、１０μｍよりも厚いと、パワー半導体モジュール全体の熱膨張係数に影響を与え、熱応力を生じさせるようになるため好ましくない。
ニッケル層２２,３８は、スパッタリングやめっき、蒸着等によって形成することができる。

【０１０８】
更に本発明では、前記ニッケル層２２,３８の表面に金属表面層２４,３９を形成し、Ｚｎ系はんだ材料５０の濡れ性を改善している。前記接合体で説明した通り、金属表面層２４,３９としては、銅を主成分とする層（Ｃｕ系層）であることが好ましい。

【０１０９】
本発明では、金属表面層２４,３９を設けることで、Ｚｎの濡れ性を改善し、緻密な接合を実現している。また均一な接合によって、部材が傾斜して接合される等の不具合が抑えられている。
金属表面層２４,３９は、はんだ材料が濡れ拡がった後は、Ｚｎのはんだ浴中に取り込まれ消失している。金属表面層２４,３９が、はんだ接合後には消失していると、パワー半導体モジュールを製品として使用したときの冷熱サイクルによっても、不要な反応生成物を生成させない。

【０１１０】
はんだ材料が濡れ拡がった後の接合界面で、金属表面層２４,３９が消失するような金属表面層２４,３９の厚さは、はんだ接合時の加熱温度や加熱時間、更にははんだ材料の種類などによって異なるため、一概に決めることはできず、適宜好適な膜厚を採用することが望ましい。
しかしながら、概ね、３ｎｍ以上１０００ｎｍ以下であることが好ましく、１０ｎｍ以上２００ｎｍ以下であることが好ましい。膜厚が薄すぎると、接合部分が島状となり均一に接合することができない場合がある。一方、１０００ｎｍよりも厚い場合には、Ｚｎ系

はんだ浴中に全てが取り込まれず、金属表面層２４,３９が残存する場合がある。

【０１１１】

金属表面層２４,３９は、スパッタリングやめっき、蒸着等によって形成することができる。

【０１１２】

接合後に形成された第一接合部５００の層の厚さは、熱伝導及び熱応力の観点から５μｍ以上５００μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ以上２００μｍ以下であることがより好ましい。

【０１１３】

（第二接合部）

本発明における第二接合部６００は、絶縁部３０と放熱板４０との間を接合するために設けられる。第二接合部６００の材質としては特に制限されないが、第一の実施形態では上記第一接合部５００に約３８０～４２０℃の融点を有するＺｎ系はんだ材料５０を適用するため、製造工程上、２１０℃～３５０℃程度の融点を有する材料を適用することが好ましい。

【０１１４】

上記融点を有するはんだ材料としては、Ｂｉ系はんだ材料（融点：約２７０℃）やＡｕ系はんだ材料（融点：約２８０℃）、Ｓｎ－Ｓｂ系はんだ材料（融点：約２５０℃）などを適用することができる。

【０１１５】

Ｂｉ系はんだ材料としては、Ｂｉ単体のほかに、ＢｉにＣｕ、Ｎｉ、Ａｇなどを添加したものを挙げることができるが、下記（１）～（４）に記載のＢｉ系はんだ材料であることが固相線温度を低下させない観点から好ましい。

更に、下記（１）～（４）に記載のＢｉ系はんだ材料の中でも、Ｂｉの脆性を解消して機械的強度を高める観点からは、下記（２）～（４）のＢｉ系はんだ材料であることが好ましい。

【０１１６】

（１）Ｂｉ単体

（２）Ｂｉ中にＣｕＡｌＭｎ合金粒子を分散させたＢｉ－ＣｕＡｌＭｎ

（３）ＢｉにＣｕを添加した材料

（４）ＢｉにＮｉを添加した材料

【０１１７】

また、Ａｕ系はんだ材料としては、Ａｕ－２０Ｓｎ（融点２８０℃）、Ａｕ－３Ｓｉ（融点３６３℃）、Ａｕ－１２．５Ｇｅ（融点３６１℃）などを挙げることができる。

【０１１８】

Ｓｎ－Ｓｂ系はんだ材料としては、Ｓｎ－５Ｓｂ（融点２３６℃）、Ｓｎ－９Ｓｂ（融点２４６℃）などを挙げることができる。

【０１１９】

（パワー半導体素子）

パワー半導体素子２０としては、特に制限することなく用途に応じて適宜適用することができ、一般的なＳｉ基板なども適用できる。

本発明では、次世代素子としてＧａＮ基板やＳｉＣ基板などを用いた場合であっても、第一接合部５００に用いるＺｎ系はんだ材料５０の融点（固相線温度）が約３８０～４２０℃のため、半導体素子の繰り返し使用によって放熱される２００℃を超える高温に対しても、亀裂や剥離などの不具合を生じさせない信頼性の高いパワー半導体モジュールとなる。

【０１２０】

第一の実施形態では、第一接合部５００にＺｎ系はんだ材料５０を適用するので、パワー半導体素子２０は、第一接合部５００側の表面にニッケル層２２を設ける。第一接合部５００としてＺｎ系はんだ材料５０を用いた場合、Ｚｎ系はんだ材料５０とニッケル層２

２との界面においては、冷熱サイクルによる不要な生成物を発生させることがないので、温度変化に対しても耐性が高くなる。

【０１２１】

更にニッケル層２２の表面には、上述の通り、金属表面層２４が設けられる。この金属表面層２４は接合時にはんだ浴に溶け込み、はんだ材料が濡れ拡がった後のＺｎ系はんだ材料５０との界面では、金属表面層２４は残存しないことが望ましい。

【０１２２】

（絶縁部）

絶縁部３０における絶縁基板３２としては、絶縁性を確保できるものであれば特に制限されず適用することができるが、好ましくは冷却サイクル時に顕著な熱応力を生じさせないよう、半導体素子の熱膨張係数と同程度の熱膨張係数を有するものである。

【０１２３】

具体的に好適な絶縁基板３２としては、ＡｌＮ、Si_3N_4、Al_2O_3などで形成されるものを挙げることができ、この中でも熱伝導率及び熱膨張係数の観点から、Si_3N_4又はＡｌＮが好適である。更に、Si_3N_4の破壊強度はＡｌＮの破壊強度よりも高く、絶縁部材自体の寿命が長くなることから、絶縁基板３２としてはSi_3N_4であることがより好適である。

【０１２４】

また、絶縁基板３２におけるパワー半導体素子側の表面から半導体素子に電気を通すために絶縁基板３２の表面に導電層３４を設ける。また、温度変化に対するそりを抑制するために、放熱板４０側にも導電層３６を設けることが好ましい。

【０１２５】

絶縁基板３２としてＡｌＮのセラミックスを用いる場合には、導電層３４、３６としては、Ａｌ、Ｃｕ、Ｍｏ、Ｎｉなどが好適であり、この中でもＡｌ及びＣｕが好ましい。ＡｌＮの表面にＡｌ層を設けると、温度変化に対して塑性変形を生じ、熱応力を緩和でき、Ｃｕ層を設けると導電率が高いことから薄くすることができ、熱応力を緩和できるため好適である。

つまり、ＡｌＮのセラミックスを絶縁基板３２として適用する場合には、絶縁部３０としては、Ｃｕ／ＡｌＮ／Ｃｕ積層体又はＡｌ／ＡｌＮ／Ａｌ積層体であることが好ましい。

【０１２６】

一方、絶縁基板３２としてSi_3N_4のセラミックスを用いる場合には、導電層３４、３６としては、Ａｌ、Ｃｕ、Ｍｏ、Ｎｉなどが好適であり、この中でもＡｌ及びＣｕが好ましく、Ｃｕであることがより好ましい。Ｃｕは導電率が高いことからＣｕ層を設けると導電率が高いことから薄くすることができ、熱応力を緩和できるため好適である。また、Ｃｕ／Si_3N_4／Ｃｕ積層体は、冷熱サイクル試験においても破壊され難く、絶縁部３０としての信頼性が高い。

【０１２７】

絶縁基板３２に備える導電層３４、３６の厚さは、０．０１ｍｍ～１ｍｍであることが好ましく、０．０５ｍｍ～０．６ｍｍであることがより好ましい。導電層３４、３６の厚さが０．０１ｍｍ未満の場合には、導電層の延在方向での電流による損失及び発熱が無視できなくなり、１ｍｍを超える場合には、パワー半導体モジュール全体の熱膨張係数に影響を与え、熱応力を生じさせるようになるため好ましくない。

【０１２８】

絶縁基板３２の両表面に導電層３４、３６を貼付する方法は特に制限されず、ロウ付けなどの公知の方法を適宜採用することができる。

【０１２９】

Ｚｎ系はんだ材料５０を適用する第一接合部５００側の絶縁部３０の表面には、ニッケル層３８を設ける。上述の通り、Ｚｎ系はんだ材料５０は、ニッケル層との界面においては、冷熱サイクルによる不要な生成物を発生させることがないので、ニッケル層３８を設

けることで温度変化に対しても亀裂や剥離などの不具合を生じさせない。

【０１３０】

ニッケル層３８の厚みは、０．１μｍ～１０μｍであることが好ましく、３μｍ～８μｍであることがより好ましい。０．１μｍよりも薄いと、接合時にはんだ材料に溶け込み消失する恐れがあり、１０μｍよりも厚いと、パワー半導体モジュール全体の熱膨張係数に影響を与え、熱応力を生じさせるようになるため好ましくない。

【０１３１】

更にニッケル層３８の表面には、上述の通り、金属表面層３９が設けられる。この金属表面層３９は接合時にはんだ浴に溶け込み、はんだ材料が濡れ拡がった後のＺｎ系はんだ材料５０との界面では、金属表面層３９は残存しない。

【０１３２】

第二接合部６００側の絶縁部３０の表面には、第二接合部６００のはんだ材料に応じて、金属膜を適宜設けることもできる。

【０１３３】

（放熱板）

放熱板４０としては、放熱性を有するものであれば特に制限されず適用することができるが、熱伝導率が充分高く放熱板としての機能に優れ、また半導体素子の熱膨張係数に近いものを用いることが好ましい。

【０１３４】

具体的に好適な放熱板４０としては、Ｍｏ、Ｃｕ－Ｍｏ合金、Ａｌ－ＳｉＣ、Ｃｕ、Ａｌなどで形成されるものを挙げることができ、この中でも高い熱伝導率とパワー半導体素子に近い熱膨張係数を有することから、Ｍｏが好適である。

【０１３５】

Ｍｏを放熱板に用いる場合には、はんだによる接合を可能とする観点から、Ｍｏの両面に他の金属層を設けることが好ましく、このような金属層としては、Ｃｕ、Ｎｉなどを挙げることができ、この中でもＣｕが好ましい。特に、放熱板４０が、Ｍｏの表面にＣｕ層を設けたＣｕ層４４／Ｍｏ層４２／Ｃｕ層４６の積層体であることが、熱伝導率と熱膨張係数との調整を図る観点から好適である。

【０１３６】

このように、放熱板４０が、Ｃｕ層４４／Ｍｏ層４２／Ｃｕ層４６で構成される積層体である場合、各層の厚さの比率が、１／５／１～１／１２／１であることが好ましく、１／７／１～１／９／１であることがより好ましい。１／５／１よりもＭｏ層が薄くなると、パワー半導体素子の熱膨張係数から離れた熱膨張係数を有することになるため好ましくない。１／１２／１よりもＭｏ層が厚くなると、放熱板としての放熱機能が充分に発揮され難くなり、好ましくない。

【０１３７】

具体的な層の厚さとしては、Ｃｕ層４４、４６は、０．０５ｍｍ～１ｍｍであることが好ましく、０．２ｍｍ～０．５ｍｍであることがより好ましい。Ｍｏ層４２の厚さは、１ｍｍ～７ｍｍであることが好ましく、２ｍｍ～４ｍｍであることがより好ましい。

【０１３８】

Ｃｕ層４４／Ｍｏ層４２／Ｃｕ層４６で構成される積層体は、放熱機能を充分に発揮させるため、全体の厚さは１ｍｍ～８ｍｍであることが好ましく、２ｍｍ～５ｍｍであることがより好ましい。

【０１３９】

第二接合部６００側の放熱板４０の表面には、第二接合部６００のはんだ材料に応じて、金属膜を適宜設けることもできる。

【０１４０】

次に、第一の実施形態のパワー半導体モジュールの製造手順の一例を図６に示す。

【０１４１】

（被接合面の処理）

図６（Ａ）に示すように、パワー半導体素子２０及び絶縁部３０のそれぞれの表面にニッケル層２２,３８を形成する。更に、ニッケル層２２,３８の上に、金属表面層２４,３９を形成する。

【０１４２】

（第一接合部の接合）

次に、図６（Ａ）に示すように、パワー半導体素子２０と絶縁部３０におけるそれぞれの金属表面層２４,３９が対向するように配置し、その間にＺｎ系はんだ材料５０を挟み、パワー半導体素子２０／ニッケル層２２／金属表面層２４／Ｚｎ系はんだ材料５０（第一接合部）５０／金属表面層３９／ニッケル層３８／絶縁部３０をこの順に積層した状態で、リフロー法等を利用して接合して、第一接合部を形成する。

【０１４３】

接合は、Ｚｎ系はんだ材料５０の融点よりも３０℃～６０℃程度高い温度で行うことが好ましい。また、接合は、不活性ガス又は還元ガス雰囲気下で行なう。

【０１４４】

被接合面の表面に設けられた金属表面層２４,３９は非常に薄く、Ｚｎ系はんだ材料５０の体積に比べて桁違いに少ない。そのため、接合時の加熱により溶融したＺｎ系はんだ材料５０のはんだ浴の中に金属表面層２４,３９が取り込まれて、結果、図６（Ｂ）に示すように、金属表面層２４,３９は接合界面には残存しない。

【０１４５】

形成された第一接合部５００の層の厚さは、熱伝導及び熱応力の観点から５μｍ以上５００μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ以上２００μｍ以下であることがより好ましい。

【０１４６】

パワー半導体モジュールにおいて、絶縁部３０の面積が半導体素子２０より大きいため、濡れ拡がったＺｎ系はんだ材料５０の形状（フィレット）は、大きな拡がりを示し易い。しかし、フィレットの拡がりは、上述の接合体の製造方法で説明した方法を適用することで抑制できる。

【０１４７】

（第二接合部の接合）

第二接合部６００による接合では、図６（Ｃ）に示すように、第一接合部５００によってパワー半導体素子２０と接合した絶縁部３０と、放熱板４０とを用い、絶縁部３０と放熱板４０とが対向するように配置し、その間に第二接合部６００に用いるはんだ材料を挟み、絶縁部３０／はんだ材料６０／放熱板４０の順に積層した状態で、リフロー法等を利用して接合し、図５に示すパワー半導体モジュール１０を得る。

このとき、第二接合部６００のはんだ材料に応じて、第二接合部６００に対する接合面となる絶縁部３０および放熱板４０の表面に、金属膜を適宜設けてもよい。

【０１４８】

第一接合部５００による接合と同様に、第二接合部６００による接合でも、不活性ガス又は還元ガス雰囲気下で接合する。第二接合部６００の接合温度は、第二接合部６００のはんだ材料の融点よりも３０℃～６０℃程度高い温度で、かつ第一接合部５００に用いたＺｎ系はんだ材料５０の融点よりも３０℃以上低い温度で接合することが好ましい。

【０１４９】

１回目の接合に用いるＺｎ系はんだ材料５０の融点は、２回目に用いるはんだ材料の融点よりも高いので、２回目のはんだ付けの際に１回目にはんだ付けした部分が溶融して、位置ずれを起こしたり傾斜したりといった不具合が生じない。

【０１５０】

また、第一の実施形態では、大量の熱を発する半導体素子に近い側の第一接合部５００には、より融点の高いＺｎ系はんだ材料５０を適用し、半導体素子から遠い側の第二接合部６００には、第一接合部５００に用いたＺｎ系はんだ材料５０よりも融点の低いはんだ材料を適用するので、更に耐熱性に優れたパワー半導体モジュールとなる。

【０１５１】
第二接合部６００の厚さは、熱伝導及び熱応力の観点から５μｍ以上５００μｍ以下であることが好ましく、１０μｍ以上３００μｍ以下であることがより好ましい。
【０１５２】
［第二の実施形態のパワー半導体モジュール］
第一の実施形態のパワー半導体モジュールでは、第一接合部５００にＺｎ系はんだ材料５０を適用し、第二接合部６００にはＺｎ系はんだ材料５０よりも融点の低いはんだ材料を適用したが、第二の実施形態のパワー半導体モジュールでは、第一接合部５００にＺｎ系はんだ材料５０よりも融点の低いはんだ材料を適用し、第二接合部６００にＺｎ系はんだ材料５０を適用する。
第二の実施形態では、第二接合部６００を先に接合し、第一接合部５００を２回目に接合する。Ｚｎ系はんだ材料５０を用いる第二接合部６００の被接合面には、ニッケル層を設け、さらにニッケル層の表面には金属表面層を設ける。その他については、第一の実施形態と同様であるので、説明を省略する。
【０１５３】
［第三の実施形態のパワー半導体モジュール］
Ｚｎ系はんだ材料５０に含まれる合金組成の種類や添加剤の種類、添加剤の添加量を変えることで、融点が大きく変わる場合には、第一接合部５００と第二接合部６００の両者に、Ｚｎ系はんだ材料５０を適用することができる。
この場合においても、２回目の接合に用いるはんだ材料の融点は、１回目の接合に用いるはんだ材料の融点よりも３０℃以上低いことが望ましく、且つパワー半導体からの発熱を考慮して２００℃以上であることが望ましい。
さらに、融点のより高い方のはんだ材料を第一接合部５００に適用し、それよりも融点の低いはんだ材料を第二接合部６００に適用することが、パワー半導体素子２０からの発熱を考慮した場合に好ましい。
【０１５４】
第三の実施形態のパワー半導体モジュールでは、Ｚｎ系はんだ材料５０を第一接合部５００と第二接合部６００に適用するので、それぞれの被接合面である、パワー半導体素子２０と絶縁部３０と放熱板４０の表面に、ニッケル層を設け、さらにニッケル層の表面には金属表面層を設ける。その他については、第一の実施形態のパワー半導体モジュールと同様であるので、説明を省略する。
【実施例】
【０１５５】
以下では実施例により本発明を説明するが、本発明のパワー半導体モジュールの製造方法の一例について述べるものであり、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。
【０１５６】
［実施例１］
図６（Ａ）（Ｂ）に従い、パワー半導体素子と絶縁基板とをＺｎ系はんだ材料５０で接合して、図６（Ｂ）に示す構成の評価試験体－１を作製した。
【０１５７】
＜パワー半導体素子の準備＞
接合面が１ｃｍ^{2}のＧａＮパワー半導体素子２０を準備し、その最表面にニッケル層２２をスパッタリングで形成した。ニッケル層２２の表面にはＣｕ層２４をスパッタリングで形成した。ニッケル層２２とＣｕ層２４の厚さを電子顕微鏡で観測したところ、ニッケル層２２の厚さは、０．７μｍであり、Ｃｕ層２４の厚さは、５０ｎｍであった。
【０１５８】
＜絶縁部の準備＞
一方、絶縁基板３２としてのＳｉ$_3$Ｎ$_4$のセラミックス板の両面にロウ付けによってＣｕ層３４、３６を貼り付け、Ｃｕ層３４／Ｓｉ$_3$Ｎ$_4$層３２／Ｃｕ層３６の積層体を作製

した。Si_3N_4層３２の厚さは３２０μｍであり、Ｃｕ層３４，３６の厚さは１５０μｍであった。

更にこの積層体のＣｕ層の表面にニッケル層３８をメッキにより形成し、更にニッケル層３８の上にＣｕ層３９をスパッタリングにより成膜し、絶縁部３０を作製した。なお、メッキの際には、メッキしない面はマスキングシートなどを貼って保護した。Ｃｕ層３９の厚さは、５０ｎｍであった。

【０１５９】

＜第一接合部の準備＞

Ｚｎに４質量％のＡｌを添加したはんだ材料（$Zn_{0.96}Al_{0.04}$合金：融点３８０℃）を準備し、圧延により、厚さ０．１ｍｍの箔状に加工した。

【０１６０】

＜第一接合部の接合＞

上記準備したパワー半導体素子２０のＣｕ層２４と、絶縁部３０のＣｕ層３９とが対向するように配置し、その間に$Zn_{0.96}Al_{0.04}$層５０を挟み込んだ状態で、位置決めをするためのカーボン治具にセットし、電気炉に入れた。

電気炉の炉心管には、５ｖｏｌ％の水素ガスを含む窒素ガスが常時流入され、内部は還元性雰囲気とした。その状態で、室温から４３０℃まで３０分かけて昇温させた後、５分間４３０℃の状態を保ち、その後、常温付近まで冷却してから取り出して、評価試験体－１を得た。

【０１６１】

＜接合面の観察＞

試験体－１は、始めに超音波探傷によって、接合面全体を非破壊で観察した後に、試験体－１を切断して断面を研磨した後に、その断面を電子顕微鏡により観察した。

その結果、試験体－１の接合面には若干のボイドが確認されたものの、全体的に緻密な接合であることが分かった。

また、試験体－１の接合界面近傍にＣｕが残存している様子は見られなかった。はんだが溶融した際に、はんだ浴に取り込まれたものと思われる。

【０１６２】

［比較例１］

実施例１の評価試験体－１において、Ｃｕ層２４，３９を設けない以外は同様にして、比較の評価試験体－２を作製した。

【０１６３】

得られた比較の評価試験体－２についても、実施例１と同様にして接合面を観察した。

その結果、比較の評価試験体－２では、接合されていない部分が多く観察された。これは、濡れ性が悪く、溶融したはんだが流れ広がり難く、その部分が未接合になったものと思われる。

【図面の簡単な説明】

【０１６４】

【図１】本実施形態の接合体の製造方法の一例を説明する図である。図１（Ａ）は接合前の状態を示し、図１（Ｂ）接合後の接合体の状態を示す。

【図２】亜鉛を主成分とするはんだ材料について、濡れ拡がりの様子を説明する図である。

【図３】亜鉛を主成分とするはんだ材料について、濡れ拡がりの制御方法の一例を示す図であり、（Ａ）は接合前の状態を説明する図であり、（Ｂ）は接合後の状態を説明する図である。

【図４】亜鉛を主成分とするはんだ材料について、濡れ拡がりの制御方法の他の一例を示す図であり、（Ａ）は接合前の状態を説明する図であり、（Ｂ）は接合後の状態を説明する図である。

【図５】第一の実施形態のパワー半導体モジュールの構成を説明する図である。

【図６】第一の実施形態のパワー半導体モジュールの製造方法の一例を説明する図である

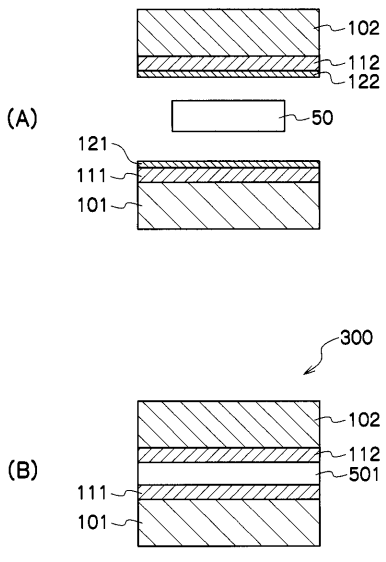
。

【符号の説明】

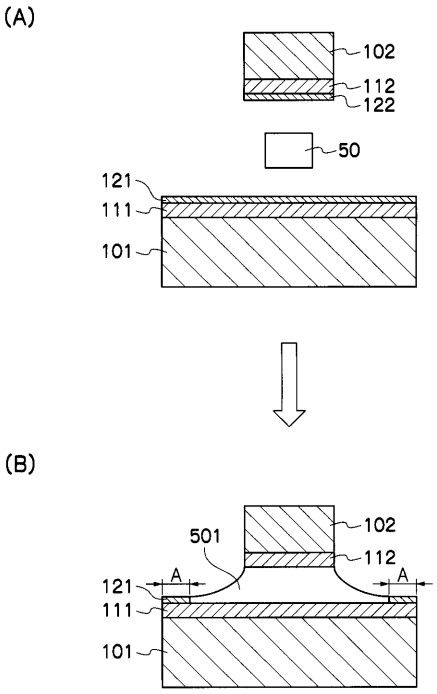
【０１６５】

１０　パワー半導体モジュール
２０　パワー半導体素子
２２，３８　ニッケル層
２４，３９，１２１，１２２　金属表面層
３０　絶縁部
３２　絶縁基板
３４、３６　導電層
４０　放熱板
４２　Ｍｏ層
４４、４６　Ｃｕ層
５０　亜鉛を主成分とするはんだ材料（Ｚｎ系はんだ材料）
５０１　接合部
５００　第一接合部
６００　第二接合部
７０　レジスト
１０１　第１部材
１０２　第２部材

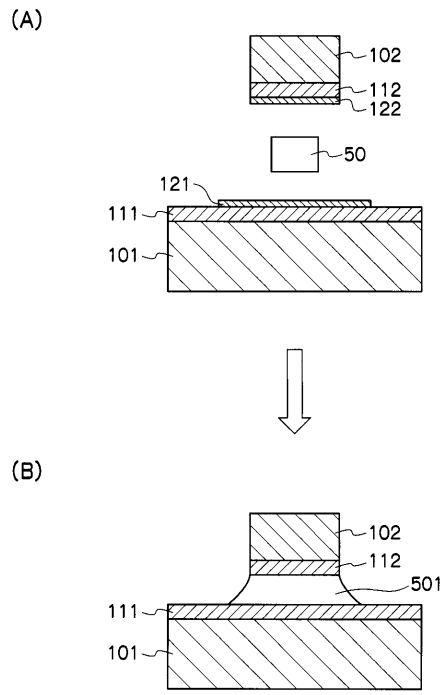
【図１】



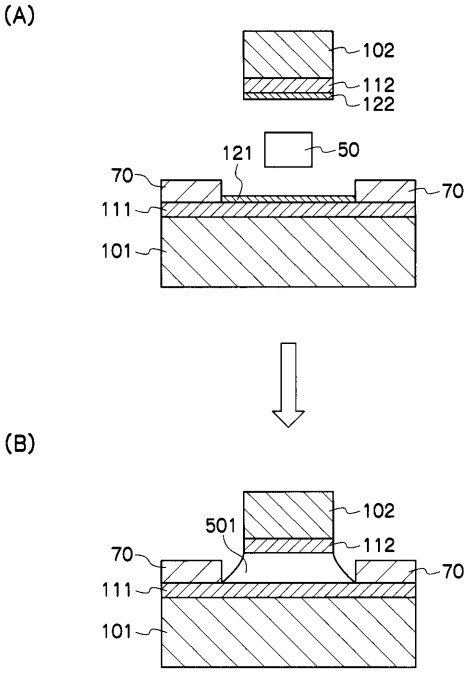
【図２】



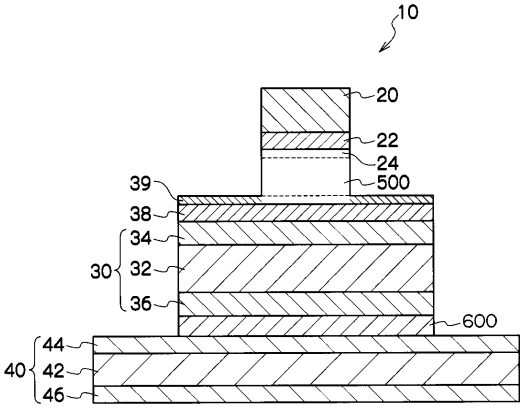
【図３】


(A)
102
112
122
50
121
111
101
(B)
102
112
501
111
101

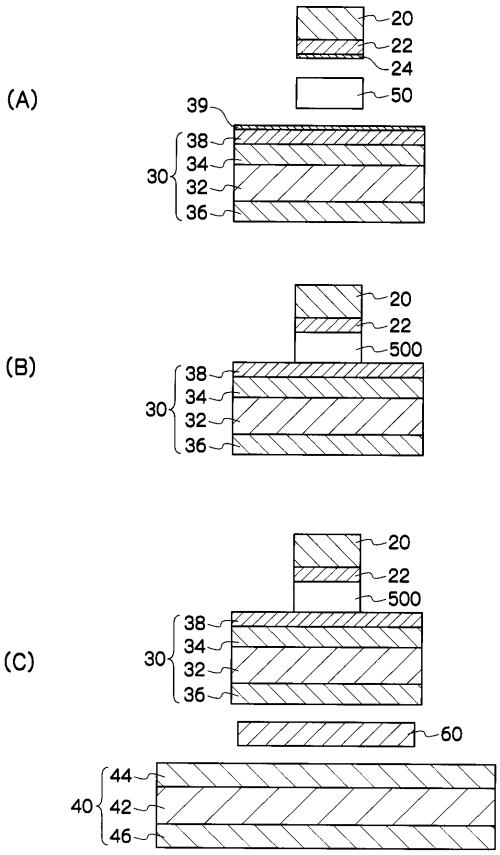
【図４】


(A)
102
112
122
121
50
70
70
111
101
(B)
501
102
112
70
70
111
101

【図５】


10
20
22
24
500
39
38
34
30
32
36
600
44
40
42
46

【図６】


(A)
20
22
24
50
39
38
34
30
32
36
(B)
20
22
500
38
34
30
32
36
(C)
20
22
500
38
34
30
32
36
60
44
40
42
46

フロントページの続き

(72)発明者　山田　靖
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者　八木　雄二
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道４１番地の１　株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者　高久　佳和
宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内
(72)発明者　大沼　郁雄
宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内
(72)発明者　石田　清仁
宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内
(72)発明者　渥美　貴司
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者　中川　郁朗
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者　白井　幹夫
愛知県豊田市トヨタ町１番地　トヨタ自動車株式会社内

Ｆターム(参考) 5F047 AA02 AB08 BA12 BB03 CA01
5F136 BA30 BC02 BC05 DA21 EA15 FA03 FA05 FA33