

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6020496号
(P6020496)

(45) 発行日 平成28年11月2日(2016.11.2)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/52 (2006.01)

H O 1 L 21/52 A

H O 1 L 23/36 (2006.01)

H O 1 L 23/36 C

H O 1 L 21/52 C

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2014-59139 (P2014-59139)
 (22) 出願日 平成26年3月20日(2014.3.20)
 (65) 公開番号 特開2015-185612 (P2015-185612A)
 (43) 公開日 平成27年10月22日(2015.10.22)
 審査請求日 平成27年7月10日(2015.7.10)

(73) 特許権者 000003609
 株式会社豊田中央研究所
 愛知県長久手市横道41番地の1
 (74) 代理人 100113664
 弁理士 森岡 正往
 (74) 代理人 110001324
 特許業務法人SANSUI国際特許事務所
 (72) 発明者 大島 正
 愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
 社豊田中央研究所内
 (72) 発明者 伊藤 宏文
 愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
 社豊田中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接合構造体およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1金属層と熱膨張率が該第1金属層と異なる第2金属層とが接合された接合構造体であって、

前記第1金属層と前記第2金属層は、厚さ50nm以下の接合界面組織を介して固相接合されており、

該第1金属層は、半導体素子の電極層を構成する銅層であり、

該第2金属層は、配線層を構成するアルミニウム層であり、

該アルミニウム層は、該銅層よりも厚く、

パワーモジュールの少なくとも一部を構成することを特徴とする接合構造体。

10

【請求項2】

前記第2金属層は、応力緩和層を兼ねる請求項1に記載の接合構造体。

【請求項3】

前記第1金属層と前記第2金属層の接合部は、Niを含む請求項1または2に記載の接合構造体。

【請求項4】

前記アルミニウム層は、絶縁層上に形成されている請求項1～3のいずれかに記載の接合構造体。

【請求項5】

前記絶縁層は、セラミックス層である請求項4に記載の接合構造体。

20

【請求項 6】

第 1 金属層と熱膨張率が該第 1 金属層と異なる第 2 金属層とが接合された接合構造体の製造方法であって、

前記第 1 金属層の接合前における被接合面である第 1 被接合面と前記第 2 金属層の接合前における被接合面である第 2 被接合面は、表面粗さが中心線平均粗さ (R_a) で $0.02 \mu m$ 以下であると共に実表面積 (S_o) が外形寸法から算出される基準表面積 (S_t) に対して 15% 以上大きい微細凹凸形状を有しており、

該第 1 被接合面と該第 2 被接合面を接触させて加圧、加温または加振することにより接合され、

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の接合構造体の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱膨張率の異なる金属層同士の接合部における耐熱性向上等を図れる接合構造体と、その製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

モータ駆動用インバータ等には、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等のパワーデバイス (半導体素子) を絶縁積層基板に実装したパワーモジュールが用いられる。具体的にいうと、パワーモジュールは、絶縁層を構成するセラミックス層の両面に金属層が設けられた絶縁積層基板の一面側にパワーデバイスが搭載 (実装) されていると共に、通常、その絶縁積層基板の他面側にはヒートシンク等の冷却器 (放熱器) が設けられている。

20

【0003】

次世代半導体素子では、Si に替えて SiC や GaN、 Ga_2O_3 の使用が予定されており、さらなる作動温度の上昇が予想されるため、パワーモジュールやその各接合部には、より高い耐熱性が求められている。

【0004】

パワーデバイスは、印加電圧や電流量が大きく作動中に生じる発熱量も大きいため、パワーデバイスを安定的に動作させるには、耐熱性の向上だけでなく、その発熱を滞留させることなく絶縁積層基板や冷却器等へ受熱させて効率的に放熱させる必要がある。

30

【0005】

さらに、パワーデバイスから冷却器等へ至る伝熱経路中には、材質の異なる複数層が存在し、それらの接合部には熱膨張係数差と温度差 (または温度勾配) に応じた熱応力が生じる。このような熱応力が過大になると、パワーモジュールに作用する冷熱サイクル数の増加に伴って、各層の接合界面で剥離等が生じ易くなり、パワーモジュールの信頼性が低下し得る。そこでパワーモジュールが各接合部に作用する熱応力を緩和する構造を有すると、さらなる信頼性の向上が図られる。このような観点から種々の提案がなされており、例えば、下記の特許文献に関連する記載がある。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開平 7 - 86444 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 253242 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献 1 は、応力緩和金属層を基板に拡散接合させた半導体用複合放熱基板に関する提案をしている。また特許文献 2 は、半導体素子とそれを接合する電極との間に、ヤング率を調整した中間層を設けた接合構造体を提案している。

50

【 0 0 0 8 】

しかし、このような基板や接合構造体等では、上述した要求に十分に應えることはできない。なお、特許文献 1 のような拡散接合は、接合する金属層同士を加圧しつつ高温で長時間保持する必要がある、パワーモジュールの量産には適さない。また固相拡散により形成される接合部は、接合される各層の成分が混在した混層が相応な幅で存在した状態となっており、パワーモジュールの特性に悪影響を及ぼし得る。

【 0 0 0 9 】

本発明はこのような事情に鑑みて為されたものであり、従来とは異なる接合部を有し、伝熱性、耐熱性または熱応力緩和性に優れた新たな接合構造体と、その製造方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明者はこの課題を解決すべく鋭意研究し、試行錯誤を重ねた結果、接合する金属層の被接合面を特定形状とすることにより、低温域で低加圧する程度で、それら金属層同士を容易に固相接合され得ることに成功した。この成果を発展させることにより、以降に述べる本発明を完成するに至った。

【 0 0 1 1 】

《接合構造体》

(1) 本発明の接合構造体は、第 1 金属層 (を有する第 1 部材) と熱膨張率が該第 1 金属層と異なる第 2 金属層 (を有する第 2 部材) とが接合された接合構造体であって、前記第 1 金属層と前記第 2 金属層は、厚さ 5 0 n m 以下の接合界面組織を介して固相接合されており、該第 1 金属層は、半導体素子の電極層を構成する銅層であり、該第 2 金属層は、配線層を構成するアルミニウム層であり、該アルミニウム層は、該銅層よりも厚く、パワーモジュールの少なくとも一部を構成することを特徴とする。

20

【 0 0 1 2 】

また本発明の接合構造体は、発熱源である発熱体と、該発熱体から受熱する第 1 金属層と、該第 1 金属層に接合され該第 1 金属層から受熱する第 2 金属層と、該第 2 金属層から受熱する基体と、を備える接合構造体であって、前記第 1 金属層と前記第 2 金属層は、厚さ 5 0 n m 以下の接合界面組織を介して固相接合されてなることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

(2) 本発明の接合構造体の場合、固相接合される第 1 金属層と第 2 金属層の接合界面には、接合相として数 ~ 数十 n m 程度の極僅かな幅の接合界面組織が生じ得るが、その僅かな接合界面組織を除けば、接合界面の周辺組織 (界面周辺組織という。) は勿論、接合界面の近傍組織 (界面近傍組織という。) も、接合前後で殆ど変化せず、接合前後でほぼ同じ状態が維持される。すなわち、本発明の接合構造体では、第 1 金属層と第 2 金属層が接合前後で殆ど変化せずに、まるでそのまま固相接合したような状態となっている。

30

【 0 0 1 4 】

このように本発明に係る第 1 金属層と第 2 金属層は、熱抵抗や剥離の原因となるロウ材 (はんだ等) 、接着剤または変質層等を介在させることなく強固に一体化しており、その接合状態は高温下や冷熱サイクル下でも安定的に維持される。こうして本発明の接合構造体は、優れた伝熱性 (熱伝達性) 、耐熱性または耐熱衝撃性等を発揮する。

40

【 0 0 1 5 】

(3) ところで、接合される第 1 金属層と第 2 金属層は、同じ材質や形態 (厚さ等) でもよいが、接合部に生じる熱応力が緩和されるような材質や形態であると、より好ましい。例えば、発熱体側 (高温側) の第 1 金属層よりも、基体側 (低温側) の第 2 金属層の方が弾性率 (ヤング率) が小さいと好ましい。これにより第 2 金属層は、接合界面に作用する熱応力に応じて変形し易くなり、いわゆる応力緩和層として機能する。その結果、その接合界面に生じる熱応力が低減され易くなり、ひいては接合構造体の信頼性の向上を図れる。なお、ここでいう弾性率は縦弾性率 (E) でも横弾性率 (G) でもよい。

【 0 0 1 6 】

50

また第2金属層の厚さが相対的に過小であると、第2金属層の弾性率が低くても、それ自身の許容変形量が小さくなり、その両面間（発熱体側の接合面と基体側の接合面との間）における熱応力緩和性が低下し得る。そこで第2金属層は、少なくとも第1金属層よりも厚いと好ましい。なお、本明細書でいう厚さは、接合面の法線方向（熱流方向）に測定した長さである。

【0017】

本発明の接合構造体の一例は、パワーモジュール（またはその一部）である。この場合、例えば、発熱体は半導体素子であり、第1金属層は半導体素子の電極層であり、第2金属層は配線層であり、基体は絶縁層である。この場合、例えば、電極層は銅層であり、配線層はアルミニウム層であり、基体はセラミックス層であると好ましい。なお、純銅のヤング率は約130GPaであり、純アルミニウムのヤング率はそれよりも小さく約70GPaである。

【0018】

《接合構造体の製造方法》

（1）このような接合構造体は、例えば、次のような本発明の製造方法により得られる。すなわち本発明の製造方法は、第1金属層（を有する第1部材）と熱膨張率が該第1金属層と異なる第2金属層（を有する第2部材）とが接合された接合構造体の製造方法であって、前記第1金属層の接合前における被接合面である第1被接合面と前記第2金属層の接合前における被接合面である第2被接合面は、表面粗さが中心線平均粗さ（ R_a ）で0.02 μm 以下であると共に実表面積（ S_o ）が外形寸法から算出される基準表面積（ S_t ）に対して15%以上大きい微細凹凸形状を有しており、該第1被接合面と該第2被接合面を接触させて加圧、加温または加振することにより接合することを特徴とする。

【0019】

また本発明の製造方法は、発熱源である発熱体側にある第1金属層と基体側にある第2金属層とを接合する接合工程を備え、該発熱体の発熱が該第1金属層と該第2金属層の接合界面を介して該基体へ伝熱される接合構造体の製造方法であって、前記第1金属層の接合前における被接合面である第1被接合面と前記第2金属層の接合前における被接合面である第2被接合面は、表面粗さが中心線平均粗さ（ R_a ）で0.02 μm 以下であると共に実表面積（ S_o ）が外形寸法から算出される基準表面積（ S_t ）に対して15%以上大きい微細凹凸形状を有しており、前記接合工程は、該第1被接合面と該第2被接合面を接触させて加圧、加温または加振する工程であることを特徴とする。

【0020】

（2）本発明の製造方法によれば、上述した接合構造体を容易に得ることができる。この理由は必ずしも定かではないが、現状では次のように考えられる。本発明に係る被接合面は微細凹凸形状からなり、実表面積が非常に大きい。このため、その被接合面は表面エネルギーも非常に大きく、逆にいえば不安定な状態となっている。但し、このような被接合面でも、大気等に曝されると、最表面が酸化膜や有機物などの吸着膜等で覆われるため、暫定的に安定なエネルギー状態となる。この場合、本発明に係る被接合面であっても、軽く圧接した程度で接合されることはない。

【0021】

しかし、接触させた被接合面間に僅かなトリガー（加熱、加圧、加振等）を加えると、微細凹凸形状の被接合面が元々有していた高い表面エネルギーが一気に解放される。この高い表面エネルギーが駆動力となって、被接合同士の接合を阻害していた汚染層（酸化被膜等）が除去され、被接合面間の接合が自発的に誘発されるようになる。しかも本発明の接合構造体の場合、被接合面の表面粗さは良好であるから、活性化された被接合面接合同士は全体が均一的に接近して、全域で固相接合が生じ易い。こうして本発明に係る第1金属層と第2金属層は、例えば、常温域の大気雰囲気中でも、低加圧、低加温または微振動等を加える程度で、強固に固相接合され得るようになったと考えられる。勿論、被接合面上に酸化膜等が形成されない不活性ガス雰囲気中または真空雰囲気中で、第1金属層と第2金属層を接合してもよいことはいうまでもない。

【 0 0 2 2 】

《その他》

特に断らない限り本明細書でいう「 $x \sim y$ 」は下限値 x および上限値 y を含む。本明細書に記載した種々の数値または数値範囲に含まれる任意の数値を新たな下限値または上限値として「 $a \sim b$ 」のような範囲を新設し得る。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 3 】

【図 1】本発明の接合構造体の一例であるパワーモジュールを示す模式図である。

【図 2】冷熱サイクル試験に用いたヒートパターンを示す図である。

【図 3】試料 2 と試料 3 に係る冷熱サイクル試験後の接合部の様子を示す超音波顕微鏡像写真である。

10

【図 4】試料 2 に係る接合界面近傍の断面を示す TEM 像である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 4 】

本明細書で説明する内容は、本発明の接合構造体のみならず、その製造方法にも該当し得る。製造方法に関する構成要素は、プロダクトバイプロセスクレームとして理解すれば物に関する構成要素ともなり得る。上述した本発明の構成要素に、本明細書中から任意に選択した一つまたは二つ以上の構成要素を付加し得る。いずれの実施形態が最良であるかは、対象、要求性能等によって異なる。

【 0 0 2 5 】

20

《発熱体と基体》

発熱体と基体は、種々の組み合わせが考えられる。本発明の接合構造体が電子モジュールである場合なら、発熱体の一例は半導体素子等の電子デバイスであり、基体の一例はその電子デバイスを搭載する基板である。

【 0 0 2 6 】

この場合、電子デバイスはその種類をとわないが、特に発熱量が大きい IGBT 等のパワーデバイスである場合に本発明の接合構造体は好適である。なお、電子デバイスは、Si チップの他、SiC チップ、GaN チップ、Ga₂O₃ チップ等であってもよい。

【 0 0 2 7 】

その場合、基板には、アルミニウム等からなる金属基板も用いられるが、通常は、セラミックスからなる絶縁基板が用いられる。そのセラミックスは種々あるが、例えば、熱伝導性に優れる AlN、Si₃N₄、Al₂O₃ 等が用いられる。

30

【 0 0 2 8 】

《金属層》

第 1 金属層と第 2 金属層（両者を併せて、単に「金属層」ともいう。）は、その材質を問わず、同質でも異質でもよく、例えば、熱伝導性（さらには電気伝導率）に優れる銅（Cu）、アルミニウム（Al）、金（Au）、銀（Ag）、スズ（Sn）、ニッケル（Ni）さらにはそれらの合金などである。特に弾性率（ヤング率）が相対的に低い金属（例えば、Al のように弾性率が 100 GPa 以下の金属）は、被接合面間が密着し易く、また応力緩和層としても機能し易くて好ましい。

40

【 0 0 2 9 】

上述した電子モジュールの場合なら、例えば、第 1 金属層は電子デバイス（発熱体）の一面側に形成される電極層であり、第 2 金属層は基板（基体）に形成される配線層（または応力緩和層）等である。より具体的にいうと、第 1 金属層は半導体素子の銅電極層であり、第 2 金属層はセラミックス層（絶縁層）にメタライズまたは貼着される銅層やアルミニウム層である。

【 0 0 3 0 】

なお、セラミックス層上に金属層を設けた積層絶縁基板として、例えば、AlN 層の両面にアルミニウム層を積層した DBA（Direct Brazed Aluminum）基板、またはその基板の両面に銅層を積層した DBC（Direct Brazed Copper）基板がある。そして通常、第 2

50

金属層の反対側にも第2金属層と同様な金属層（第3金属層）が形成されており、その金属層には適宜、ヒートシンク、ヒートスプレッタ、冷媒が内部を流通する冷却器等の伝熱機器（放熱機器）が配設される。

【0031】

《接合界面組織》

本発明の接合構造体では、第1金属層と第2金属層が固相接合され、それらの接合部（接合界面の近傍域および周辺域）では接合前後で組織が殆ど変化しない。組織変化があるとしても、通常の電子顕微鏡では観察できないほど非常に薄い接合層（厚さ50nm以下さらには20nm以下の接合界面組織）が生じる程度である。

【0032】

第1金属層と第2金属層の被接合面の表面状態や接合環境等に依るが、酸化雰囲気中で接合した場合、接合界面組織として非晶質酸化物相等が僅かに形成されることが確認されている。この非晶質酸化物相は、接合前の接合面（被接合面）に生じた酸化被膜に由来すると考えられる。なお、このような非晶質酸化物相は、一旦生成されても、その後の加熱等により酸素（O）が接合界面の近傍へ拡散、固溶等して消失することがあり得る。従って本発明の接合構造体にとって、接合界面組織は必須の構成要素ではない。

【0033】

《製造方法／接合方法》

本発明の接合構造体はその製造方法を問わないが、上述したように第1金属層と第2金属層の被接合面を所定の微細凹凸形状とし、それらを低温域で軽く圧接する程度で、両層が確実に固相接合させた接合構造体を得られる。以下では、その被接合面の形態と、その被接合同士を接合する接合工程に分けて説明する。

【0034】

[被接合面]

（1）表面粗さ

本発明の製造方法を行う際、接合前に第1金属層と第2金属層の被接合面の表面エネルギーを高めておく必要がある。その方法として、被接合面を所定の微細凹凸形状とすることが有効である。具体的には、被接合面の表面粗さを、中心線平均粗さ（Ra / JIS）で0.02μm以下さらには0.01μm以下とすると好ましい。さらにその表面粗さを最大高さ（Rmax / JIS）で0.2μm以下さらには0.1μm以下とすると好ましい。

【0035】

被接合面の表面粗さが過大では接合面間の接合が不十分となる。特にRaが過大になると均一的な接合が困難となる。またRmaxが過大になると、被接合同士を密接させるために大きな加圧力が必要となり好ましくない。

【0036】

なお、各表面粗さの下限値は、表面積増加率が十分に確保される限り問わない。敢えていうとRaは0.001μm以上さらには0.005μm以上であると好ましい。またRmaxは0.005μm以上さらには0.01μm以上であると好ましい。また

【0037】

（2）表面積増加率

本発明に係る金属層の被接合面は、実表面積が十分に大きい微細凹凸形状をしているほど、表面エネルギーが高まり固相接合が誘起され易くなって好ましい。具体的にいうと、外形寸法から算出される基準表面積（ S_t ）に対する実表面積（ S_0 ）の増加分の割合である表面積増加率 $\Delta S_0 = \{ 100 * (S_0 - S_t) / S_0 (\%) \}$ が15%以上さらには18%以上とすると好ましい。表面積増加率が過小では金属層間の接合が促進されない。

【0038】

基準表面積（ S_t ）は、被接合面を理想的な平面と仮定して、その外形寸法から求まる。実表面積（ S_0 ）は、非接触表面形状測定機（例えばキャノン株式会社製ZYGO New View 5022）または走査型プローブ顕微鏡（例えば株式会社島津製作所製SP

10

20

30

40

50

M 9 5 0 0 J 3) を用いて被接合面を測定することにより求まる。本明細書では特に断らない限り、非接触表面形状測定機により得られた数値を採用する。

【 0 0 3 9 】

(3) 被接合面の形成

このような表面粗さや表面積増加率を有する被接合面は、種々の方法により形成され得る。例えば、プラズマ処理、ナノ切削加工、化学エッチング、レーザーテクスチャ加工、スパッタリング等により可能である。

【 0 0 4 0 】

[接合工程]

第 1 金属層の被接合面と第 2 金属層の被接合面は、接触（さらには密接）した状態で、トリガーとなる加圧、加温または加振等が印加されることにより、自己の有する高い表面エネルギーが一気に解放されて固相接合する。

【 0 0 4 1 】

この接合工程は、常温域で行うこともできるが、300 以下さらには250 以下で加温して行くと固相接合が促進されて好ましい。被接合面同士の圧接は、例えば、30 MPa 以下、20 MPa 以下、10 MPa 以下さらには5 MPa 以下に加圧する程度でも足る。被接合面を加振する場合であれば、例えば、振動数50 kHz 以下、出力100 W 以下、振動時間2 s 以下の超音波振動を印加する程度で足る。接合工程は、大気雰囲気や不活性ガス雰囲気や真空雰囲気等でなされると、酸素等を含有した接合界面組織の形成が抑制されて好ましい。

【 0 0 4 2 】

《用途》

本発明の接合構造体はその用途を問わず、種々の部品、装置、機器等に用いることができる。特に車載用等の高密度実装部品、次世代パワーモジュール等に本発明の接合構造体を用いると、金属層間に接合材（はんだ等）を介在させる必要がなく、伝熱性、耐熱性または信頼性等の向上が図られる。

【実施例】

【 0 0 4 3 】

《パワーモジュールの概要》

本発明の接合構造体に係る一実施例であるパワーモジュールMの概要を図1に模式的に示した。パワーモジュールMは、IGBTからなるパワーデバイス1と、接合部bを介してパワーデバイス1を実装する絶縁積層基板2とからなる。

【 0 0 4 4 】

パワーデバイス1は、シリコンチップ10と、シリコンチップ10にオーミック接合された純Cuからなる電極層11（第1金属層）とからなる。絶縁積層基板2は、AlNからなる絶縁層20（基体、セラミックス層、絶縁基板）と、その一面側に接合された純Alまたは純Cuからなる配線層21（第2金属層）と、絶縁層20の他面側に接合され配線層21と同質な伝熱層22（第3金属層）とからなる。これら配線層21および伝熱層22は、絶縁層20上にメタライズ処理されて形成されている。このような絶縁積層基板2は、DBA基板またはDBC基板として市販されている。ちなみに、絶縁積層基板2の伝熱層22には、適宜、パワーデバイス1の発熱を放熱する水冷式の冷却器（図略）がロウ付け接合される。

【 0 0 4 5 】

《実施例1》

(1) 試料の製造

シリコンチップ10の電極層11を、絶縁積層基板2（DBA基板）の純Alからなる配線層21上に固相接合したパワーモジュールMである試料1と、電極層11を配線層21上にハンダ接合（ロウ付け接合）したパワーモジュールMである試料C1を製造した。

【 0 0 4 6 】

なお、各部の厚さは、シリコンチップ10：0.5 mm、電極層11：500 nm、絶

10

20

30

40

50

縁層 20 : 0 . 6 3 5 mm、配線層 21 : 0 . 4 mm、伝熱層 22 : 0 . 4 mmとした。
これは後述する実施例 2 でも同様である。

【 0 0 4 7 】

試料 1 は次のようにして製造した。先ず、電極層 11 と配線層 21 の各被接合面に対して、ナノ切削により前処理を施した。この前処理は、潤滑油レスのもとで、単結晶ダイヤモンドバイトを用いて、バイト送り間隔 : 5 0 μ m 以下、切り込み深さ : 1 0 0 nm 以下として行った。

【 0 0 4 8 】

次に、前処理された電極層 11 と配線層 21 を、大気雰囲気中で 2 MPa を印加して圧接すると共に 200 に加熱した。この状態を 600 秒間継続した。こうして電極層 11 と配線層 21 が固相接合された試料 1 が得られた (接合工程) 。

【 0 0 4 9 】

一方、試料 C1 は、ハンダ (Sn - 0 . 7 質量 % Cu / 融点 227) を用いて、還元リフロー炉で 250 に加熱して、電極層 11 と配線層 21 をハンダ接合して製造した。

【 0 0 5 0 】

(2) 冷熱サイクル試験

試料 1 と試料 C1 に図 2 に示すヒートパターンを 1 サイクルとする冷熱サイクル試験を施して、各試料の耐熱性または耐熱衝撃性を試験した。なお、本試験では、ヒートパターン中の加熱温度 T_h : 240 、冷却温度 T_c : - 40 とした。

【 0 0 5 1 】

(3) 評価

試料 1 は、上述の冷熱サイクルを 100 サイクル行っても、接合状態が維持されており、耐熱性に優れることが確認された。一方、試料 C1 は、冷熱サイクルの加熱時にハンダの融点以上に曝されたため、電極層 11 と配線層 21 の間に剥離を生じた。なお、その冷熱サイクル試験 (100 サイクル) 後の試料 1 の接合界面を超音波顕微鏡 (SONOSCAN 製 D9500S) で観察したところ、剥離は殆ど生じていないことが確認された。

【 0 0 5 2 】

《 実施例 2 》

(1) 試料の製造

シリコンチップ 10 の電極層 11 を、絶縁積層基板 2 (DBC 基板) の純 Cu からなる配線層 21 上に固相接合したパワーモジュール M である試料 2 と、シリコンチップ 10 の電極層 11 を、絶縁積層基板 2 (DBA 基板) の純 Al からなる配線層 21 上に Ni 薄膜を介して固相接合したパワーモジュール M である試料 3 とを製造した。

【 0 0 5 3 】

試料 2 と試料 3 の固相接合は、試料 1 の場合と同様に行った。なお、試料 3 の Ni 薄膜は、市販の DBA 基板の表面に形成されている Ni めっきである。この Ni 薄膜は、はんだ付け性を確保するために施されている。この Ni 薄膜を本発明に係る金属層の一方と考えてもよい。

【 0 0 5 4 】

(2) 冷熱サイクル試験

試料 2 と試料 3 に図 2 に示すヒートパターンを 1 サイクルとする冷熱サイクル試験を施して、各試料の耐熱性または耐熱衝撃性を試験した。本試験では、ヒートパターン中の加熱温度 T_h : 150 、冷却温度 T_c : - 40 とした。各試料について、所定回数の冷熱サイクル試験後の接合界面を前述した超音波顕微鏡で観察した写真を図 3 にまとめて示した。

【 0 0 5 5 】

図 3 からわかるように、いずれの試料も優れた耐熱性および耐熱衝撃性を示した。特に、純 Cu からなる電極層 11 と、その純 Cu よりもヤング率が小さい純 Al からなる配線層 21 (応力緩和層) とを接合した試料 3 は、非常に高い耐熱衝撃性、信頼性を発揮した。

【 0 0 5 6 】

(3) 界面近傍組織

試料 2 の接合界面（冷熱サイクル試験前）を透過型電子顕微鏡（TEM）で観察して得た TEM 像を図 4 に示した。図 4 からわかるように、接合界面に所々数十 nm 程度の非晶出酸化物相が観られた。しかし、その接合界面組織の両側にある金属組織は、接合前後で殆ど変化していないことも確認された。

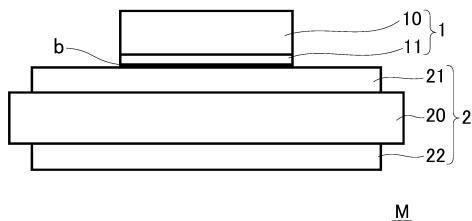
【符号の説明】

【 0 0 5 7 】

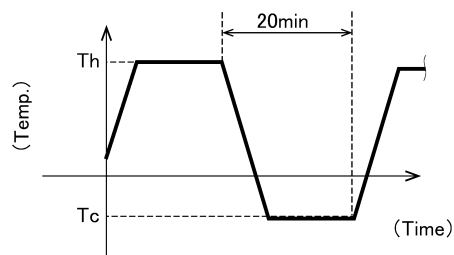
- M パワーモジュール（接合構造体）
 1 パワーデバイス
 1 0 シリコンチップ（発熱体）
 1 1 電極層（第 1 金属層）
 2 絶縁積層基板
 2 0 絶縁層（基体、セラミックス層）
 2 1 応力緩和層（第 2 金属層）
 2 2 伝熱層

10

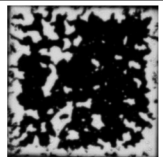
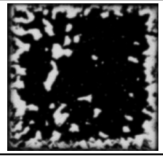
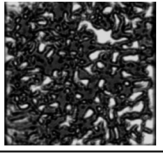
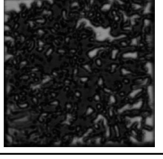
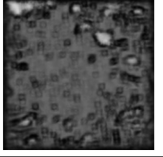
【 図 1 】



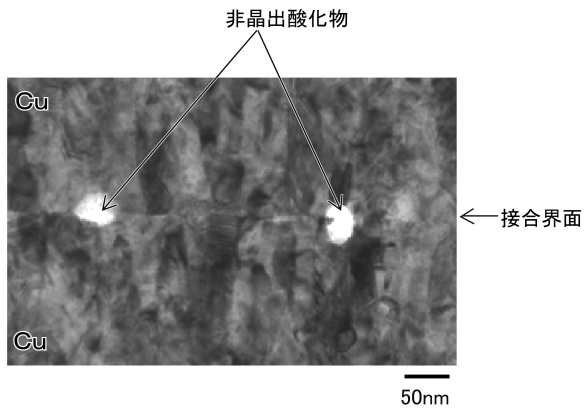
【 図 2 】



【 図 3 】

3000cyc	—		2mm
2000cyc	シリコンチップと絶縁層に割れ発生		
1000cyc			
500cyc			
初期			
試料 No.	2	3	

【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 高尾 尚史

愛知県長久手市横道4-1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

審査官 井上 弘亘

(56)参考文献 特開2013-198924(JP,A)

特開昭56-078130(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/52

H01L 23/36