

(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2014-112732  
(P2014-112732A)

(43) 公開日 平成26年6月19日(2014.6.19)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
H O I L 23/36 (2006.01) H O I L 23/36 D 5 F 1 3 6

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 22 頁)

|              |                                   |          |   |
|--------------|-----------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号    | 特願2014-52676 (P2014-52676)        | (71) 出願人 | 000006264<br>三菱マテリアル株式会社<br>東京都千代田区大手町一丁目3番2号 |
| (22) 出願日     | 平成26年3月14日(2014.3.14)             | (74) 代理人 | 100064908<br>弁理士 志賀 正武                        |
| (62) 分割の表示   | 特願2013-46960 (P2013-46960)<br>の分割 | (74) 代理人 | 100175802<br>弁理士 寺本 光生                        |
| 原出願日         | 平成25年3月8日(2013.3.8)               | (74) 代理人 | 100149548<br>弁理士 松沼 泰史                        |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2012-83246 (P2012-83246)        | (74) 代理人 | 100142424<br>弁理士 細川 文広                        |
| (32) 優先日     | 平成24年3月30日(2012.3.30)             | (74) 代理人 | 100140774<br>弁理士 大浪 一徳                        |
| (33) 優先権主張国  | 日本国(JP)                           |          |   |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ヒートシンク付パワーモジュール用基板及びパワーモジュール

(57) 【要約】

【課題】回路層の上に搭載された電子部品等の発熱体からの熱の放散を促進でき、優れたパワーサイクル特性を有するとともに、冷熱サイクル負荷時における絶縁基板の割れの発生、及び、金属層とヒートシンクとの間に形成されたはんだ層におけるクラックの発生を抑制できるヒートシンク付パワーモジュール用基板を提供する。

【解決手段】銅又は銅合金で構成され、電子部品3が第1はんだ層102を介して搭載される回路層112の厚さ $t_1$ が0.1mm  $t_1$  0.6mmの範囲内とされ、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て構成され、ヒートシンク140が第2はんだ層108を介して接合された金属層113の厚さ $t_2$ が0.5mm  $t_2$  6mmの範囲内とされ、回路層112の厚さ $t_1$ と金属層113の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_1 < t_2$ とされている。

【選択図】 図4

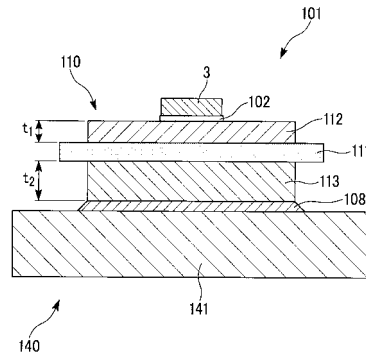


図4

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

絶縁基板と、該絶縁基板の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁基板の他方の面に形成された金属層と、前記金属層に接合されたヒートシンクと、を備えたヒートシンク付パワーモジュール用基板であって、

前記回路層は、銅又は銅合金で構成され、この回路層の一方の面が、第 1 はんだ層を介して電子部品が搭載される搭載面とされており、

前記金属層は、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て構成され、前記金属層と前記ヒートシンクとが第 2 はんだ層を介して接合されており、

前記回路層の厚さ  $t_1$  が、 $0.1\text{ mm} < t_1 < 0.6\text{ mm}$  の範囲内とされ、

前記金属層の厚さ  $t_2$  が、 $0.5\text{ mm} < t_2 < 6\text{ mm}$  の範囲内とされ、

前記回路層の厚さ  $t_1$  と前記金属層の厚さ  $t_2$  との関係が、 $t_1 < t_2$  とされ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。

## 【請求項 2】

前記回路層の厚さ  $t_1$  と前記金属層の厚さ  $t_2$  との関係が、 $t_2 / t_1 > 2.5$  とされてい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。

## 【請求項 3】

前記金属層が、純度 99.0 質量%以上 99.85 質量%以下のアルミニウムで構成されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 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 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のヒートシンク付パワーモジュール用基板と、前記回路層上に搭載された電子部品と、を備えたパワーモジュールであって、

前記電子部品は、前記回路層の一方の面に第 1 はんだ層を介して接合され、前記金属層と前記ヒートシンクとが第 2 はんだ層を介して接合されていることを特徴とするパワーモジュール。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、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、及びパワーモジュールに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体素子の中でも電力供給のためのパワーモジュールは、発熱量が比較的高いため、これを搭載する基板としては、例えば、 $\text{AlN}$  (窒化アルミ)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (アルミナ)、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  (窒化ケイ素) などからなる絶縁基板の一方の面側に第一の金属板が接合されてなる回路層と、絶縁基板の他方の面側に第二の金属板が接合されてなる金属層と、を備えたパワーモジュール用基板が用いられる。

このようなパワーモジュール基板では、回路層の上に、はんだ材を介してパワー素子の半導体素子が搭載される。

そして、金属層の他方の面側に、パワーモジュール用基板を冷却するためのヒートシンクが接合される。

## 【0003】

例えば、特許文献 1 には、回路層及び金属層を構成する第一の金属板及び第二の金属板を銅板とし、この銅板を DBC 法によって絶縁基板に直接接合してなるパワーモジュール用基板が提案されている。また、特許文献 1 の第 1 図に示すように、このパワーモジュール用基板に、有機系耐熱性接着剤を用いてアルミニウム製のヒートシンクを接合することで、ヒートシンク付パワーモジュール用基板が構成されている。

## 【0004】

また、特許文献 2 には、回路層及び金属層を構成する第一の金属板及び第二の金属板と

10

20

30

40

50

してアルミニウム板を用いてなるパワーモジュール用基板が提案されている。このパワーモジュール用基板は、金属層にろう付けによってヒートシンクが接合されることにより、ヒートシンク付パワーモジュール用基板が構成されている。

【0005】

さらに、特許文献3には、絶縁基板の一方の面に金属板を接合して回路層とし、絶縁基板の他方の面に、鑄造法によってアルミニウム製のヒートシンクを直接形成したものが提案されている。そして、回路層を構成する金属板としてアルミニウム板、銅板を使用することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0006】

【特許文献1】特開平04-162756号公報

【特許文献2】特許第3171234号公報

【特許文献3】特開2002-076551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1に記載された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おいては、アルミニウム製のヒートシンクと絶縁基板との間に銅板が配設されていることから、ヒートシンクと絶縁基板との熱膨張係数の差に起因する熱歪みを、この銅板において十分に緩和することができず、熱サイクル負荷時に絶縁基板に割れ等が生じやすいといった問題があった。

20

なお、特許文献1には、ヒートシンクと金属層との間に介在する有機系耐熱性接着剤によって熱歪みを緩和することが記載されているが、この有機系耐熱性接着剤が介在することで熱抵抗が高くなるため、回路層の上に搭載された電気部品等の発熱体からの熱をヒートシンク側に効率的に放散することができないといった問題があった。

【0008】

また、特許文献2に記載された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おいては、回路層を構成する第一の金属板としてアルミニウム板が用いられている。

30

ここで、銅とアルミニウムとを比較すると、アルミニウムの方が熱伝導率が低いため、回路層を構成する第一の金属板としてアルミニウム板を用いた場合には、回路層の上に搭載された電気部品等の発熱体からの熱を拡げて放散することが銅よりも劣ることになる。このため、電子部品の小型化や高出力化により、パワー密度が上昇した場合には、熱を十分に放散することができなくなるおそれがあった。よって、パワーサイクルを負荷した際の耐久性が低下するおそれがあった。

【0009】

さらに、特許文献3に記載されたヒートシンク付パワーモジュール用基板においては、絶縁基板に直接アルミニウム製のヒートシンクを接合していることから、ヒートシンクと絶縁基板との熱膨張係数の差に起因する熱歪みによって絶縁基板に割れが生じやすくなる傾向にある。これを防止するために、特許文献3においては、ヒートシンクの耐力を低く設定する必要があった。このため、ヒートシンク自体の強度が不足し、取扱いが非常に困難であった。

40

また、鑄造法によってヒートシンクを形成していることから、ヒートシンクの構造が比較的簡単になり、冷却能力の高いヒートシンクを形成することができず、熱の放散を促進することができないといった問題があった。

【0010】

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、回路層の上に搭載された電子部品等の発熱体からの熱の放散を促進でき、優れたパワーサイクル特性を有するとともに、冷熱サイクル負荷時における絶縁基板の割れの発生を抑制でき、さらに、金属層とヒ

50

ートシンクとの間に形成されたはんだ層におけるクラックの発生を抑制できる信頼性の高いヒートシンク付パワーモジュール用基板、パワーモジュール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】

【0011】

このような課題を解決して、前記目的を達成するために、本発明のヒートシンク付パワーモジュール用基板は、絶縁基板と、該絶縁基板の一方の面に形成された回路層と、前記絶縁基板の他方の面に形成された金属層と、前記金属層に接合されたヒートシンクと、を備えたヒートシンク付パワーモジュール用基板であって、前記回路層は、銅又は銅合金で構成され、この回路層の一方の面が、第1はんだ層を介して電子部品が搭載される搭載面とされており、前記金属層は、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て構成され、前記金属層と前記ヒートシンクとが第2はんだ層を介して接合されており、前記回路層の厚さ $t_1$ が、 $0.1\text{ mm} < t_1 < 0.6\text{ mm}$ の範囲内とされ、前記金属層の厚さ $t_2$ が、 $0.5\text{ mm} < t_2 < 6\text{ mm}$ の範囲内とされ、前記回路層の厚さ $t_1$ と前記金属層の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_1 < t_2$ とされていることを特徴としている。

10

【0012】

この構成のヒートシンク付パワーモジュール用基板においては、パワーモジュール用基板が、銅又は銅合金で構成された回路層と、アルミニウム又はアルミニウム合金で構成された金属層と、を有し、前記回路層の厚さ $t_1$ 及び前記金属層の厚さ $t_2$ が、上述のように規定されているので、パワーモジュール用基板の剛性が確保されることになり、熱サイクル負荷時にパワーモジュール用基板が変形しにくく、第2はんだ層におけるクラックの発生を抑制できる。

20

また、比較的変形抵抗の大きい銅及び銅合金で構成された回路層の厚さ $t_1$ が $0.1\text{ mm}$ 以上とされているので、大電流を流すことができ、パワー素子を搭載することができる。また、回路層の厚さ $t_1$ が $0.6\text{ mm}$ 以下とされているので、回路層によって絶縁基板が必要以上に拘束されず、絶縁基板の割れを抑制することが可能となる。

また、比較的変形抵抗の小さいアルミニウム及びアルミニウム合金で構成された金属層の厚さ $t_2$ が $0.5\text{ mm}$ 以上とされているので、金属層が変形することによってパワーモジュール用基板に負荷される応力が緩和されることになり、絶縁基板の割れを抑制することが可能となる。また、金属層の厚さ $t_2$ が $6\text{ mm}$ 以下とされているので、金属層における熱抵抗を低く抑えることができる。なお、上記観点から金属層の厚さ $t_2$ は $3\text{ mm}$ 以下とすることが望ましい。

30

さらに、前記回路層の厚さ $t_1$ と前記金属層の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_1 < t_2$ とされているので、パワーモジュール用基板における反りの発生を抑制することができる。

【0013】

また、上述のヒートシンク付パワーモジュール用基板においては、絶縁基板とヒートシンクとの熱膨張係数の差に起因する熱歪みを、十分に厚く形成された金属層が変形することによって緩和することができるとともに、絶縁基板自体を回路層が強く拘束しないことから、絶縁基板の割れを抑制することができる。

40

さらに、上述のヒートシンク付パワーモジュール用基板においては、電子部品が搭載される搭載面を有する回路層が銅又は銅合金で構成されているので、電子部品から発生する熱を十分に拡げることができ、熱の放散を促進することが可能となる。よって、パワーサイクルを負荷した際の耐久性を向上させることができる。

【0014】

ここで、前記回路層の厚さ $t_1$ と前記金属層の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_2 / t_1 > 2.5$ とされていることが好ましい。

この場合、銅又は銅合金で構成された回路層の厚さ $t_1$ と、アルミニウム及びアルミニウム合金で構成された金属層の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_2 / t_1 > 2.5$ とされているので、ヒートシンク付パワーモジュール用基板における反りの発生を確実に抑制すること

50

ができる。

【0015】

また、前記金属層のうち前記絶縁基板との接合界面近傍には、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Liのうちのいずれか1種又は2種以上の添加元素が固溶しており、前記金属層のうち接合界面近傍における前記添加元素の濃度の合計が0.01質量%以上5質量%以下の範囲内に設定されていることが好ましい。

この場合、前記金属層に、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga及びLiのうちのいずれか1種又は2種以上の添加元素が固溶しており、前記金属層のうち接合界面近傍における前記添加元素の濃度の合計が0.01質量%以上とされているので、前記金属層の接合界面側部分が固溶強化することになる。また、前記金属層のうち接合界面近傍における前記添加元素の濃度の合計が5質量%以下とされているので、前記金属層の接合界面近傍の強度が過剰に高くなることを防止でき、このヒートシンク付パワーモジュール用基板に熱サイクルが負荷された際に、熱歪みを前記金属層で緩和することができ、絶縁基板の割れの発生を抑制できる。

10

【0016】

さらに、前記金属層のうち前記絶縁基板との接合界面には、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Liのうちのいずれか1種又は2種以上の添加元素の濃度が、前記金属層中の前記添加元素の濃度の2倍以上とされた添加元素高濃度部が形成されていることが好ましい。

この場合、前記金属層の接合界面に、前記添加元素の濃度が前記金属層中の前記添加元素の濃度の2倍以上とされた添加元素高濃度部が形成されているので、界面近傍に存在する前記添加元素原子により、前記金属層の接合強度の向上を図ることが可能となる。なお、金属層中の前記添加元素の濃度とは、前記金属層のうち接合界面から一定距離（例えば、5nm以上）離れた部分における前記添加元素の濃度である。

20

【0017】

また、前記回路層のうち前記絶縁基板との接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B1}$ が、 $60\text{mgf}/\mu\text{m}^2$   $H_{B1}$   $120\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ の範囲内とされていることが好ましい。

この場合、前記回路層のうち前記絶縁基板との接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B1}$ が、 $60\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ 以上とされているので、回路層の接合界面近傍の強度が確保され、回路層自体にクラックが生じることが防止される。また、前記インデンテーション硬度 $H_{B1}$ が、 $120\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ 以下とされているので、絶縁基板が回路層に強固に拘束されることがなく、絶縁基板の割れを抑制できる。

30

【0018】

また、前記金属層のうち前記絶縁基板との接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B2}$ が、 $30\text{mgf}/\mu\text{m}^2$   $H_{B2}$   $80\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ の範囲内とされていることが好ましい。

この場合、前記金属層のうち前記絶縁基板との接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B2}$ が、 $30\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ 以上とされているので、金属層の接合界面近傍の強度が確保され、金属層自体にクラックが生じることが防止される。また、前記インデンテーション硬度 $H_{B2}$ が、 $80\text{mgf}/\mu\text{m}^2$ 以下とされているので、金属層の変形抵抗を低く抑えることができ、金属層の変形によって応力を緩和して絶縁基板の割れを抑制することが可能となる。

40

【0019】

なお、回路層の接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B1}$ 及び金属層の接合界面近傍のインデンテーション硬度 $H_{B2}$ は、接合界面から $50\mu\text{m}$ を測定位置とし、次の測定条件にて測定した。

測定装置：株式会社エリオニクス製ENT-1100a

圧子：パーコピッチ三角錐圧子

試験荷重：5000mgf

50

分割数：500step

ステップインターバル：20msc

温度：27

モード：負荷 - 除荷試験

測定値：HIT = 最大荷重 / 接触投影面積

#### 【0020】

本発明のパワーモジュールは、前述のヒートシンク付パワーモジュール用基板と、前記回路層上に搭載された電子部品と、を備えたパワーモジュールであって、前記電子部品は、前記回路層の一方の面に第1はんだ層を介して接合され、前記金属層と前記ヒートシンクとが第2はんだ層を介して接合されていることを特徴としている。

10

この構成のパワーモジュールによれば、回路層上に搭載された電子部品からの熱を効率的に放散することができ、電子部品のパワー密度（発熱量）が向上した場合であっても、十分に対応することができる。また、パワーサイクル負荷時の耐久性を向上させることができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0021】

本発明によれば、回路層の上に搭載された電子部品等の発熱体からの熱の放散を促進でき、優れたパワーサイクル特性を有するとともに、冷熱サイクル負荷時における絶縁基板の割れの発生を抑制でき、さらに、金属層とヒートシンクとの間に形成されたはんだ層におけるクラックの発生を抑制できる信頼性の高いヒートシンク付パワーモジュール用基板、パワーモジュールを提供することができる。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0022】

【図1】本発明の参考実施形態であるパワーモジュール用基板を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図2】本発明の参考実施形態である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の製造方法のフロー図である。

【図3】本発明の参考実施形態である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の製造方法を示す説明図である。

【図4】本発明の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を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

30

【図5】本発明の実施形態である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の製造方法のフロー図である。

【図6】本発明の他の参考実施形態であるパワーモジュール用基板を用いたパワーモジュールの概略説明図である。

【図7】本発明の他の参考実施形態であるパワーモジュール用基板の回路層と絶縁基板との拡大説明図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0023】

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。

40

図1に本発明の参考実施形態であるパワーモジュール用基板10、ヒートシンク付パワーモジュール用基板40及びこのパワーモジュール用基板10を用いたパワーモジュール1を示す。

このパワーモジュール1は、ヒートシンク付パワーモジュール用基板40と、このヒートシンク付パワーモジュール用基板40の一方側（図1において上側）の面にはんだ層2を介して接合された半導体素子（電子部品）3と、を備えている。

ここで、はんだ層2は、例えばSn-Ag系、Sn-In系、若しくはSn-Ag-Cu系のはんだ材とされている。

#### 【0024】

ヒートシンク付パワーモジュール用基板40は、パワーモジュール用基板10と、パワ

50

ーモジュール用基板 10 を冷却するヒートシンク 41 と、を備えている。

本実施形態におけるヒートシンク 41 は、パワーモジュール用基板 10 と接合される天板部 42 と、この天板部 42 に積層配置される冷却部材 43 と、を備えている。冷却部材 43 の内部には、冷却媒体が流通する流路 44 が形成されている。

【0025】

ここで、天板部 42 と冷却部材 43 とは、固定ネジ 45 によって連結される構造とされている。このため、天板部 42 には、固定ネジ 45 をねじ込んでも容易に変形しないように剛性を確保する必要がある。そこで、本実施形態では、ヒートシンク 41 の天板部 42 を、耐力が  $100 \text{ N/mm}^2$  以上の金属材料で構成し、その厚さを  $2 \text{ mm}$  以上としている。なお、本実施形態では、天板部 42 は、A6063 合金（アルミニウム合金）で構成されている。

10

【0026】

パワーモジュール用基板 10 は、絶縁基板 11 と、この絶縁基板 11 の一方の面（図 1 において上面）に配設された回路層 12 と、絶縁基板 11 の他方の面（図 1 において下面）に配設された金属層 13 とを備えている。

【0027】

絶縁基板 11 は、回路層 12 と金属層 13 との間の電氣的接続を防止するものであって、例えば  $\text{AlN}$ （窒化アルミ）、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ （窒化珪素）、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ （アルミナ）等の絶縁性の高いセラミックスで構成され、本実施形態では、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ （アルミナ）で構成されている。また、絶縁基板 11 の厚さは、 $0.2 \text{ mm}$  以上  $1.5 \text{ mm}$  以下の範囲内に設定されており、本実施形態では  $0.635 \text{ mm}$  に設定されている。

20

【0028】

回路層 12 は、絶縁基板 11 の一方の面に銅又は銅合金からなる銅板 22 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、図 3 に示すように、回路層 12 を構成する銅板 22 として、タフピッチ銅の圧延板が用いられている。この回路層 12 には、回路パターンが形成されており、その一方の面（図 1 において上面）が、半導体素子 3 が搭載される搭載面されている。

【0029】

金属層 13 は、絶縁基板 11 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アルミニウム板 23 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、図 3 に示すように、金属層 13 を構成するアルミニウム板 23 として、純度が  $99.99\%$  以上のアルミニウム（いわゆる 4N アルミニウム）の圧延板が用いられている。なお、このアルミニウム板 23 は、 $0.2\%$  耐力が  $30 \text{ N/mm}^2$  以下とされている。

30

【0030】

ここで、回路層 12（銅板 22）の厚さ  $t_1$  が、 $0.1 \text{ mm} < t_1 < 0.6 \text{ mm}$  の範囲内に設定されて、金属層 13（アルミニウム板 23）の厚さ  $t_2$  が、 $0.5 \text{ mm} < t_2 < 6 \text{ mm}$  の範囲内に設定されており、さらに、回路層 12 の厚さ  $t_1$  と金属層 13 の厚さ  $t_2$  との関係が  $t_1 < t_2$  とされている。なお、回路層 12 の厚さ  $t_1$  と金属層 13 の厚さ  $t_2$  との関係が、 $t_2 / t_1 > 2.5$  とされていることが好ましい。

本実施形態では、回路層 12（銅板 22）の厚さ  $t_1$  が  $t_1 = 0.3 \text{ mm}$ 、金属層 13（アルミニウム板 23）の厚さ  $t_2$  が  $t_2 = 2.0 \text{ mm}$  に設定され、 $t_2 / t_1 = 6.67$  とされている。

40

【0031】

また、本実施形態においては、回路層 12 のうち絶縁基板 11 との接合界面近傍のインデンテーション硬度  $H_{B1}$  が、 $60 \text{ mgf}/\mu\text{m}^2 < H_{B1} < 120 \text{ mgf}/\mu\text{m}^2$  の範囲内とされている。

さらに、金属層 13 のうち絶縁基板 11 との接合界面近傍のインデンテーション硬度  $H_{B2}$  が、 $30 \text{ mgf}/\mu\text{m}^2 < H_{B2} < 80 \text{ mgf}/\mu\text{m}^2$  の範囲内とされている。

【0032】

そして、金属層 13 のうち絶縁基板 11 との接合界面近傍においては、 $\text{Si}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{A}$

50

g, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Liのうちのいずれか1種又は2種以上の添加元素が固溶しており、本実施形態では、添加元素としてCuが固溶している。

金属層13の接合界面近傍の添加元素の濃度(本実施形態ではCu濃度)が、0.01質量%以上5質量%以下の範囲内に設定されている。なお、金属層13の接合界面近傍の添加元素の濃度は、EPMA分析(スポット径30 $\mu$ m)によって、金属層13から50 $\mu$ mの位置で5点測定した平均値である。

【0033】

また、金属層13とヒートシンク41の天板部42との接合界面近傍においては、金属層13及び天板部42に、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Liのうちのいずれか1種又は2種以上の添加元素が固溶しており、本実施形態では、添加元素としてCuが固溶している。

10

金属層13及び天板部42の接合界面近傍の添加元素の濃度(本実施形態ではCu濃度)が、0.01質量%以上5質量%以下の範囲内に設定されている。なお、この金属層13及び天板部42の接合界面近傍の添加元素の濃度は、EPMA分析(スポット径30 $\mu$ m)によって、接合界面から50 $\mu$ mの位置で5点測定した平均値である。

【0034】

また、絶縁基板11と金属層13との接合界面を透過電子顕微鏡において観察した場合には、接合界面に添加元素(Cu)が濃縮した添加元素高濃度部が形成されている。この添加元素高濃度部においては、添加元素の濃度(Cu濃度)が、金属層13中の添加元素の濃度(Cu濃度)の2倍以上とされている。なお、この添加元素高濃度部の厚さHは4

20

nm以下とされている。  
なお、ここで観察する接合界面は、金属層13の格子像の界面側端部と絶縁基板11の格子像の接合界面側端部との間の中央を基準面Sとする。また、金属層13中の添加元素の濃度(Cu濃度)は、金属層13のうち接合界面から一定距離(本実施形態では5nm)離れた部分における添加元素の濃度(Cu濃度)である。

【0035】

以下に、前述の構成のパワーモジュール用基板10、及び、ヒートシンク付パワーモジュール用基板40の製造方法について、図2、図3を参照して説明する。

【0036】

まず、図3に示すように、回路層12となる銅板22と、絶縁基板11とを接合する(銅板接合工程S01)。ここで、絶縁基板11がAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で構成されていることから、銅板22と絶縁基板11とを、銅と酸素の共晶反応を利用したDBC法により接合する。具体的には、タフピッチ銅からなる銅板22と、絶縁基板11とを接触させ、窒素ガス雰囲気中で1075で10分加熱することで、銅板22と、絶縁基板11とが接合されることになる。

30

【0037】

次に、絶縁基板11の他方の面側に金属層13となるアルミニウム板23を接合する(アルミニウム板接合工程S02)とともに、アルミニウム板23とヒートシンク41の天板部42とを接合する(ヒートシンク接合工程S03)。本実施形態では、これらアルミニウム板接合工程S02と、ヒートシンク接合工程S03と、を同時に実施することになる。

40

【0038】

アルミニウム板23の絶縁基板11との接合面にスパッタリングによって添加元素(Cu)を固着して第1固着層51を形成するとともに、アルミニウム板23のヒートシンク41の天板部42との接合面にスパッタリングによって添加元素(Cu)を固着して第2固着層52を形成する(固着層形成工程S11)。ここで、第1固着層51及び第2固着層52における添加元素量は0.01mg/cm<sup>2</sup>以上10mg/cm<sup>2</sup>以下の範囲内とされており、本実施形態では、添加元素としてCuを用いており、第1固着層51及び第2固着層52におけるCu量が0.08mg/cm<sup>2</sup>以上2.7mg/cm<sup>2</sup>以下に設定されている。

50



## 【0039】

次に、図3に示すように、アルミニウム板23を絶縁基板11の他方の面側に積層する。さらに、アルミニウム板23の他方の面側にヒートシンク41の天板部42を積層する(積層工程S12)。

このとき、図3に示すように、アルミニウム板23の第1固着層51が形成された面が絶縁基板11を向くように、かつ、アルミニウム板23の第2固着層52が形成された面が天板部42を向くようにして、これらを積層する。

## 【0040】

次に、銅板22が接合された絶縁基板11、アルミニウム板23、天板部42を、その積層方向に加圧(圧力 $1 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$ )した状態で真空加熱炉内に装入して加熱する(加熱工程S13)。ここで、本実施形態では、真空加熱炉内の圧力は $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{ Pa}$ の範囲内に設定し、加熱温度は $550$ 以上 $650$ 以下の範囲内に設定している。

10

## 【0041】

すると、第1固着層51の添加元素(Cu)がアルミニウム板23側に拡散することにより、アルミニウム板23と絶縁基板11との界面に第1溶融金属領域が形成される。

また、第2固着層52の添加元素(Cu)がアルミニウム板23側及び天板部42側に拡散することにより、アルミニウム板23と天板部42との界面に第2溶融金属領域が形成される。

20

## 【0042】

次に、第1溶融金属領域、第2溶融金属領域が形成された状態で温度を一定に保持しておく(溶融金属凝固工程S14)。

すると、第1溶融金属領域中のCuが、さらにアルミニウム板23側へと拡散し、第1溶融金属領域であった部分のCu濃度が徐々に低下していき融点が上昇することになり、温度を一定に保持した状態で凝固が進行していく。これにより、絶縁基板11とアルミニウム板23とが接合される。

同様に、第2溶融金属領域中のCuが、さらにアルミニウム板23側及び天板部42側へと拡散し、第2溶融金属領域であった部分のCu濃度が徐々に低下していき融点が上昇することになり、温度を一定に保持した状態で凝固が進行していく。これにより、アルミニウム板23と天板部42とが接合される。

30

## 【0043】

つまり、絶縁基板11とアルミニウム板23(金属層13)、及び、天板部42とアルミニウム板23(金属層13)とは、いわゆる過渡液相接合法(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding)によって接合されているのである。そして、凝固が進行した後、常温にまで冷却を行う。

## 【0044】

このようにして、銅板22(回路層12)、絶縁基板11、アルミニウム板23(金属層13)、ヒートシンク41の天板部42が接合され、本実施形態であるパワーモジュール用基板10及びヒートシンク付パワーモジュール用基板40が製造されることになる。

## 【0045】

以上のような構成とされた本実施形態であるパワーモジュール用基板10、ヒートシンク付パワーモジュール用基板40によれば、銅板22が接合されてなる回路層12の厚さ $t_1$ が、 $0.1 \text{ mm} < t_1 < 0.6 \text{ mm}$ の範囲内とされ、アルミニウム板23が接合されてなる金属層13の厚さ $t_2$ が、 $0.5 \text{ mm} < t_2 < 6 \text{ mm}$ の範囲内とされ、回路層12の厚さ $t_1$ と金属層13の厚さ $t_2$ との関係が、 $t_1 < t_2$ とされているので、比較的変形抵抗の大きい銅板22で構成された回路層12によって絶縁基板11が必要以上に拘束されず、かつ、比較的変形抵抗の小さいアルミニウム板23で構成された金属層13が十分に厚く、パワーモジュール用基板10に負荷される応力を緩和することができ、絶縁基板11の割れを抑制することができる。

40

## 【0046】

50

また、回路層 12 の厚さ  $t_1$  と金属層 13 の厚さ  $t_2$  との関係が、 $t_2 / t_1 = 2.5$  とされ、具体的には、 $t_2 / t_1 = 6.67$  とされているので、パワーモジュール用基板 10 における反りの発生を抑制することができる。

【0047】

また、半導体素子 3 が搭載される搭載面を有する回路層 12 がタフピッチ銅で構成されているので、半導体素子 3 から発生する熱を十分に拡げることができ、熱の放散を促進することが可能となる。よって、パワーサイクルを負荷した際の耐久性を向上させることができる。

さらに、本実施形態においては、ヒートシンク 41 と絶縁基板 11 との間に、金属層 13 が介在しているので、絶縁基板 11 とヒートシンク 41 との熱膨張係数の差に起因する熱歪みを、十分に厚く形成された金属層 13 が変形することによって緩和することが可能となり、絶縁基板 11 の割れを抑制することができる。

10

【0048】

また、本実施形態では、回路層 12 のうち絶縁基板 11 との接合界面近傍のインデンテーション硬度  $H_{B1}$  が、 $60 \text{ mgf} / \mu\text{m}^2 < H_{B1} < 120 \text{ mgf} / \mu\text{m}^2$  の範囲内とされているので、回路層 12 の絶縁基板 11 との接合界面近傍の強度が確保され、回路層 12 自体にクラックが生じることが防止されるとともに、絶縁基板 11 が回路層 12 に強固に拘束されることがなく、絶縁基板 11 の割れを抑制できる。

また、本実施形態では、金属層 13 のうち絶縁基板 11 との接合界面近傍のインデンテーション硬度  $H_{B2}$  が、 $30 \text{ mgf} / \mu\text{m}^2 < H_{B2} < 80 \text{ mgf} / \mu\text{m}^2$  の範囲内とされているので、金属層 13 の接合界面近傍の強度が確保され、金属層 13 自体にクラックが生じることが防止されるとともに、金属層 13 が比較的容易に変形することから、金属層 13 の変形によって応力を緩和でき、絶縁基板 11 の割れを抑制できる。

20

【0049】

また、本実施形態では、金属層 13 と絶縁基板 11 との接合界面近傍に、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Li のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上の添加元素が固溶しており、本実施形態では、添加元素として Cu が固溶されているので、金属層 13 の接合界面側部分が固溶強化することになり、金属層 13 部分での破断を防止することができる。

【0050】

30

また、金属層 13 と絶縁基板 11 との接合界面には、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Li のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上の添加元素の濃度（本実施形態では Cu 濃度）が、金属層 13 中の前記添加元素の濃度の 2 倍以上とされた添加元素高濃度部が形成されているので、界面近傍に存在する添加元素原子（Cu 原子）により、金属層 13 の接合強度の向上を図ることが可能となる。

【0051】

さらに、本実施形態では、金属層 13 とヒートシンク 41 の天板部 42 との接合界面においても、Si, Cu, Ag, Zn, Mg, Ge, Ca, Ga, Li のうちのいずれか 1 種又は 2 種以上の添加元素が固溶しており、本実施形態では、添加元素として Cu が固溶されているので、金属層 13 の天板部 42 との接合界面側部分が固溶強化することになり、金属層 13 部分での破断を防止することができる。

40

【0052】

また、本実施形態においては、ヒートシンク 41 の天板部 42 を、0.2% 耐力が  $100 \text{ N} / \text{mm}^2$  以上の金属材料で構成し、その厚さを 2 mm 以上のものとしており、本実施形態では、A6063 合金（アルミニウム合金）で構成されたものとしており、剛性が高く、取扱いが容易となる。よって、図 1 に示すように、この天板部 42 を冷却部材 43 に固定ネジ 45 で固定することができ、冷却能力に優れたヒートシンク 41 を構成することが可能となる。

【0053】

さらに、ヒートシンク 41 の天板部 42 と絶縁基板 11 との間に、0.2% 耐力が 30

50

$N/m^2$  以下のアルミニウム（本実施形態では、純度 99.99% 以上の純アルミニウム）からなる金属層 13 が配設されているので、ヒートシンク 41 の天板部 42 の剛性が高くても、ヒートシンク 41 の天板部 42 と絶縁基板 11 との熱膨張係数の差に起因する熱歪みをこの金属層 13 で十分に緩和することができ、絶縁基板 11 の割れの発生を抑制することができる。

【0054】

また、本実施形態では、絶縁基板 11 が  $Al_2O_3$  で構成されているので、上述のように、タフピッチ銅からなる回路層 12 と絶縁基板 11 とを、酸素と銅との共晶反応を利用した DBC 法によって接合することができる。よって、絶縁基板 11 と回路層 12 との接合強度を確保することができ、接合信頼性に優れたパワーモジュール用基板 10 を構成することができる。

10

【0055】

次に、本発明の実施形態について、図 4 を参照して説明する。

図 4 に示すパワーモジュール 101 は、ヒートシンク付パワーモジュール用基板 140 と、このヒートシンク付パワーモジュール用基板 140 の一方側（図 4 において上側）の面に第 1 はんだ層 102 を介して接合された半導体素子（電子部品）3 と、を備えている。ここで、第 1 はんだ層 102 は、例えば Sn - Ag 系、Sn - In 系、若しくは Sn - Ag - Cu 系のはんだ材とされている。

【0056】

ヒートシンク付パワーモジュール用基板 140 は、パワーモジュール用基板 110 と、

20

【0057】

パワーモジュール用基板 110 は、絶縁基板 111 と、この絶縁基板 111 の一方の面（図 4 において上面）に配設された回路層 112 と、絶縁基板 111 の他方の面（図 4 において下面）に配設された金属層 113 とを備えている。

【0058】

本実施形態では、絶縁基板 111 は、 $AlN$ （窒化アルミ）で構成されている。また、絶縁基板 111 の厚さは、0.2 mm 以上 1.5 mm 以下の範囲内に設定されており、本実施形態では 0.635 mm に設定されている。

【0059】

30

回路層 112 は、絶縁基板 111 の一方の面に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、回路層 112 を構成する銅板として、無酸素銅の圧延板が用いられている。この回路層 112 には、回路パターンが形成されており、その一方の面（図 4 において上面）が、半導体素子 3 が搭載される搭載面されている。

【0060】

金属層 113 は、絶縁基板 111 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 113 を構成するアルミニウム板として、純度 99.0 質量% 以上 99.85 質量% 以下のアルミニウム（いわゆる 2N アルミニウム）の圧延板が用いられている。

40

【0061】

そして、本実施形態であるパワーモジュール用基板 110 においては、回路層 112 の厚さ  $t_1$  が、0.1 mm  $t_1$  0.6 mm の範囲内に設定され、金属層 113 の厚さ  $t_2$  が、0.5 mm  $t_2$  6 mm の範囲内に設定されており、さらに、回路層 112 の厚さ  $t_1$  と金属層 113 の厚さ  $t_2$  との関係が  $t_1 < t_2$  とされている。なお、回路層 112 の厚さ  $t_1$  と金属層 113 の厚さ  $t_2$  との関係が、 $t_2 / t_1 \geq 2.5$  とされていることが好ましい。

本実施形態では、回路層 112 の厚さ  $t_1$  が  $t_1 = 0.3$  mm、金属層 113 の厚さ  $t_2$  が  $t_2 = 2.0$  mm に設定され、 $t_2 / t_1 = 6.67$  とされている。

【0062】

50

また、本実施形態におけるヒートシンク 141 は、銅、銅合金、アルミニウム又はアルミニウム合金からなる放熱板とされている。

このヒートシンク 141 は、パワーモジュール用基板 110 の金属層 113 と、第 2 はんだ層 108 を介して接合されている。なお、金属層 113 の表面には、図示しない Ni めっき膜が形成されている。なお、ヒートシンク 141 がアルミニウム又はアルミニウム合金から構成される場合、ヒートシンク 141 の表面に Ni めっき膜が形成されていることが望ましい。また、第 2 はんだ層 108 は、上述の第 1 はんだ層 102 と同様に、例えば Sn - Ag 系、Sn - In 系、若しくは Sn - Ag - Cu 系等の各種はんだ材を用いることができる。

#### 【0063】

以下に、前述の構成のパワーモジュール用基板 110、及び、ヒートシンク付パワーモジュール用基板 140 の製造方法について、図 5 を参照して説明する。

#### 【0064】

まず、回路層 112 となる銅板と、絶縁基板 111 とを接合する（銅板接合工程 S101）。本実施形態では、無酸素銅の圧延板からなる銅板と絶縁基板 111 とを、いわゆる活性金属ろう材法によって接合する。

絶縁基板 111 の一方の面に活性ろう材（Ag - Cu - Ti 等）を介して回路層 112 となる銅板を積層し、絶縁基板 111、銅板を積層方向に  $1 \text{ kgf} / \text{cm}^2$  以上  $35 \text{ kgf} / \text{cm}^2$  以下（ $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$  以上  $343 \times 10^4 \text{ Pa}$  以下）の範囲で加圧した状態で加熱炉内に装入して加熱し、回路層 112 となる銅板と絶縁基板 111 とを接合する。ここで、加熱温度は  $850$ 、加熱時間は 10 分とされている。

#### 【0065】

次に、絶縁基板 111 の他方の面側に金属層 113 となるアルミニウム板を接合する（アルミニウム板接合工程 S102）。

絶縁基板 111 とアルミニウム板とを、ろう材を介して積層し、ろう付けによって絶縁基板 111 とアルミニウム板を接合する。このとき、ろう材としては、例えば、厚さ  $20 \sim 110 \mu\text{m}$  の Al - Si 系ろう材箔を用いることができ、ろう付け温度は  $600 \sim 620$  とすることが好ましい。

これにより、本実施形態であるパワーモジュール用基板 110 が製造される。

#### 【0066】

次に、パワーモジュール用基板 110 とヒートシンク 141 とを接合する（ヒートシンク接合工程 S103）。このヒートシンク接合工程 S103 においては、まず、パワーモジュール用基板 110 の金属層 113 のヒートシンク 141 との接合面に Ni めっき膜を形成し、その後、ヒートシンク 141 と金属層 113 とを、はんだ材を用いて接合する。

これにより、金属層 113 とヒートシンク 141 との間にはんだ層 108 が形成され、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 140 が製造される。

#### 【0067】

以上のような構成とされた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 140 においては、参考実施形態と同様に、絶縁基板 111 の割れやパワーモジュール用基板 110 の反り等を抑制することができる。

さらに、本実施形態においては、回路層 112 が銅板で構成され、この回路層 112 の厚さ  $t_1$  が  $0.1 \text{ mm} < t_1 < 0.6 \text{ mm}$  の範囲内に設定され、さらに具体的には  $0.3 \text{ mm}$  とされているので、パワーモジュール用基板 110 全体の剛性が確保されることになり、熱サイクル負荷時にパワーモジュール用基板 110 が変形しにくく、第 2 はんだ層 108 におけるクラックの発生を抑制することができる。

特に、本実施形態では、金属層 113 が、アルミニウムの含有量が  $99.0 \text{ 質量}\%$  以上  $99.85 \text{ 質量}\%$  以下のアルミニウム（いわゆる 2N アルミニウム）の圧延板で構成されているので、熱サイクル負荷時に金属層 113 が容易に変形せず、第 2 はんだ層 108 におけるクラックの発生を確実に抑制することができる。

#### 【0068】

10

20

30

40

50

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。

例えば、金属層となるアルミニウム板を、純度99.99質量%以上の純アルミニウムの圧延板、または、純度99.0質量%以上99.85質量%以下のアルミニウムの圧延板としたものとして説明したが、これに限定されることはなく、他のアルミニウム又はアルミニウム合金で構成されたものであってもよい。

同様に、回路層となる銅板を、タフピッチ銅の圧延板、または、無酸素銅の圧延板としたものとして説明したが、これに限定されることはなく、他の銅又は銅合金で構成されたものであってもよい。

また、ヒートシンクとして、放熱板のものを例示して説明したが、これに限定されることはなく、放熱フィンを備えた放熱板であってもよいし、内部に冷却媒体が流通される流路を備えた冷却器としてもよい。

#### 【0069】

また、セラミックス基板を $Al_2O_3$ で構成し、銅板をDBC法によって接合するもの、または、セラミックス基板をAlNで構成し、銅板を活性金属ろう付け法によって接合するものとして説明したが、これに限定されることはなく、セラミックス基板を $Si_3N_4$ としてもよい。また、セラミックス基板と銅板との接合方法に制限はない。

例えば、図6及び図7に示すパワーモジュール201のように、セラミックス基板211をAlN(窒化アルミ)で構成し、このセラミックス基板211の一方の面に $Al_2O_3$ 層225を形成し、この $Al_2O_3$ 層225と銅板とをDBC法によって接合することによって、回路層212を形成してもよい。なお、 $Al_2O_3$ 層225の厚さは、 $1\mu m$ 以上とされていることが好ましい。この $Al_2O_3$ 層225は、AlNの酸化処理を1200以上で $Ar-O_2$ 混合ガス雰囲気にて行うことで形成することができる。酸素分圧 $P_{O_2}$ を10kPaとし、水蒸気分圧 $P_{H_2O}$ を0.05kPaに調整し、高酸素分圧/低水蒸気分圧雰囲気にてAlNの酸化処理を行うことにより、AlNとの密着性に優れた緻密な $Al_2O_3$ 層225が形成される。

#### 【0070】

また、参考実施形態において、セラミックス基板とアルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層、及び、アルミニウム又はアルミニウム合金からなる金属層とアルミニウム又はアルミニウム合金からなるヒートシンクを過渡液相接合法によって接合したもので説明したが、これに限定されることはなく、Al-Si系合金等のろう材を用いてもよい。

さらに、参考実施形態において、ヒートシンクとして、天板部と冷却部材とを備えた構造のものを例示して説明したが、これに限定されることはなく、放熱フィンを備えた放熱板であってもよいし、内部に冷却媒体が流通される流路を備えた冷却器としてもよい。

#### 【実施例】

##### 【0071】

(参考実施例)

表1に示すように、絶縁基板、回路層となる銅板、金属層となるアルミニウム板、を、接合し、パワーモジュール用基板を作製した。

回路層のサイズは $37\text{mm} \times 37\text{mm}$ 、絶縁基板のサイズは $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 、金属層のサイズは $37\text{mm} \times 37\text{mm}$ とした。

##### 【0072】

表2に示す「活性金属ろう」は、 $Ag-27.4\text{質量}\%Cu-2.0\text{質量}\%Ti$ からなる活性ろう材を用いて、 $10^{-3}\text{Pa}$ の真空中にて、850で10分加熱することによって、銅板と絶縁基板とを接合した。

表2に示す「DBC」は、窒素ガス雰囲気中で1075で10分加熱することにより、銅板と絶縁基板とを接合した。

##### 【0073】

表2に示す「TLP」は、絶縁基板の表面にCuを $1.0\text{mg}/\text{cm}^2$ となるように固

10

20

30

40

50

着し、積層方向に  $5 \text{ kg f / cm}^2$  で加圧した状態で、 $10^{-3} \text{ Pa}$  の真空中にて、 $600$  で  $30$  分加熱することによって、アルミニウム板と絶縁基板とを接合した。

表 2 に示す「Al - Si ろう」は、Al 7.5 質量% Si からなるろう材箔（厚さ  $100$ 、 $\mu\text{m}$ ）を用いて、積層方向に  $12 \text{ kg f / cm}^2$  で加圧した状態で、 $10^{-3} \text{ Pa}$  の真空中にて、 $650$  で  $30$  分加熱することによって、アルミニウム板と絶縁基板とを接合した。

【0074】

また、上述のパワーモジュール用基板の金属層の他方の面側にヒートシンクを接合した。ヒートシンクは、 $50 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm t}$  の A3003 合金のアルミニウム板とした。接合条件は、Al - Si ろう箔を用いて、 $3.0 \text{ kg f / cm}^2$  で加圧した状態で、真空中にて、 $610$  で加熱することによる接合とした。

このようにして得られたヒートシンク付パワーモジュール用基板を用いて、冷熱サイクル試験を実施した。評価結果を表 2 に示す。なお、 $500$  サイクル毎に観察を実施し、絶縁基板の割れが確認された時点でのサイクル数で評価した。測定条件を以下に示す。

評価装置：エスペック株式会社製 TSB - 51

液相：フロリナート

温度条件： $-40$  ×  $5$  分                       $125$  ×  $5$  分

【0075】

さらに、これらのパワーモジュール用基板の回路層の一方の面側に IGBT 素子をはんだ接合した。なお、はんだ接合は、Sn - Ag - Cu 系はんだを使用し、水素還元雰囲気中、 $300$  で接合した。

このようにして得られたパワーモジュールを用いて、パワーサイクル試験を実施した。評価結果を表 2 に示す。なお、パワーサイクルを  $10$  万回負荷した後の熱抵抗率の上昇率で評価した。

【0076】

熱抵抗は、次のようにして測定した。ヒータチップを  $100 \text{ W}$  の電力で加熱し、熱電対を用いてヒータチップの温度を実測した。また、ヒートシンクを流通する冷却媒体（エチレングリコール：水 =  $9 : 1$ ）の温度を実測した。そして、ヒータチップの温度と冷却媒体の温度差を電力で割った値を熱抵抗とした。なお、測定条件を以下に示す。

温度差： $80$

温度範囲： $55 \sim 135$  （IGBT 素子内の温度センスダイオードで測定）

通電時間： $6$  秒

冷却時間： $4$  秒

【0077】

10

20

30

【表 1】

|      | 回路層    |          | 金属層   |          | 厚さ比<br>$t_2/t_1$ | セラミックス                         |         |
|------|--------|----------|-------|----------|------------------|--------------------------------|---------|
|      | 材質     | 厚さ $t_1$ | 材質    | 厚さ $t_2$ |                  | 材質                             | 厚さ      |
| 参考例1 | OFC    | 0.3mm    | A1050 | 1.5mm    | 5.00             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.32mm  |
| 参考例2 | OFC    | 0.3mm    | A1080 | 2.2mm    | 7.33             | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 0.32mm  |
| 参考例3 | 6N-Cu  | 0.4mm    | 4N-AI | 1.6mm    | 4.00             | AIN                            | 0.635mm |
| 参考例4 | 6N-Cu  | 0.5mm    | A1080 | 2.5mm    | 5.00             | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 0.32mm  |
| 参考例5 | タビッチCu | 0.3mm    | 4N-AI | 1.6mm    | 5.33             | AIN                            | 0.635mm |
| 参考例6 | タビッチCu | 0.5mm    | A1080 | 1.6mm    | 3.20             | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 0.32mm  |
| 参考例7 | OFC    | 0.4mm    | 4N-AI | 0.8mm    | 2.00             | AIN                            | 0.635mm |
| 参考例8 | OFC    | 0.3mm    | 4N-AI | 0.5mm    | 1.67             | AIN                            | 0.635mm |
| 比較例1 | OFC    | 0.7mm    | 4N-AI | 2.0mm    | 2.86             | AIN                            | 0.635mm |
| 比較例2 | 6N-Cu  | 0.3mm    | A1080 | 0.2mm    | 0.67             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.32mm  |
| 比較例3 | タビッチCu | 0.4mm    | A1050 | 0.4mm    | 1.00             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.32mm  |
| 比較例4 | 4N-AI  | 0.6mm    | 4N-AI | 2.1mm    | 3.50             | AIN                            | 0.635mm |
| 比較例5 | 4N-AI  | 0.4mm    | A1050 | 2.1mm    | 5.25             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.32mm  |
| 比較例6 | 4N-AI  | 0.9mm    | A1080 | 1.1mm    | 1.22             | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 0.32mm  |

【 0 0 7 8 】

10

20

30

40

【表 2】

|      | 回路層/絶縁基板<br>接合方法 | 金属層/絶縁基板<br>接合方法 | 冷熱サイクル | パワーサイクル |
|------|------------------|------------------|--------|---------|
| 参考例1 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | >4000  | 0.59%   |
| 参考例2 | 活性金属ロウ           | TLP              | >4000  | 2.60%   |
| 参考例3 | 活性金属ロウ           | TLP              | >4000  | 1.86%   |
| 参考例4 | 活性金属ロウ           | TLP              | >4000  | 1.22%   |
| 参考例5 | DBC              | Al-Siロウ          | >4000  | 3.54%   |
| 参考例6 | 活性金属ロウ           | TLP              | >4000  | 0.84%   |
| 参考例7 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | <3000  | 1.34%   |
| 参考例8 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | <3000  | 0.53%   |
| 比較例1 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | <500   | 0.50%   |
| 比較例2 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | <1000  | 3.65%   |
| 比較例3 | DBC              | Al-Siロウ          | <2000  | 2.21%   |
| 比較例4 | Al-Siロウ          | Al-Siロウ          | >4000  | 18.30%  |
| 比較例5 | Al-Siロウ          | Al-Siロウ          | >4000  | 17.60%  |
| 比較例6 | TLP              | TLP              | >4000  | 20.40%  |

## 【0079】

回路層となる銅板の厚さが0.7mmとされた比較例1においては、冷熱サイクル試験において500サイクル以下で絶縁基板に割れが認められた。

回路層となる銅板の厚さが金属層となるアルミニウム板の厚さよりも厚く形成された比較例2においては、冷熱サイクル試験において1000サイクル以下で絶縁基板に割れが認められた。さらに、パワーサイクル試験でも熱抵抗の上昇が認められた。

## 【0080】

回路層となる銅板の厚さと金属層となるアルミニウム板の厚さが同一とされた比較例3においては、冷熱サイクル試験において2000サイクル以下で絶縁基板に割れが認められた。さらに、パワーサイクル試験でも、数%程度の熱抵抗の上昇が認められた。

回路層をアルミニウム板で構成した比較例4-6においては、冷熱サイクル試験の結果は良好であるものの、パワーサイクル試験において大きく熱抵抗が上昇することが確認された。

10

20

30

40

50



## 【0081】

これに対して、参考例1-8においては、冷熱サイクル試験において2500サイクル以上でも絶縁基板に割れが認められなかった。また、パワーサイクル試験においても、熱抵抗の上昇が抑えられていることが確認される。特に、回路層の厚さ $t_1$ と金属層の厚さ $t_2$ との比 $t_2/t_1$ が2.5以上とされた参考例1-6においては、冷熱サイクル試験において4000サイクル以上でも絶縁基板に割れが認められなかった。

以上の結果から、本参考例によれば、回路層の上に搭載された電子部品等の発熱体からの熱の放散を促進でき、優れたパワーサイクル特性を有するとともに、冷熱サイクル負荷時における絶縁基板の割れの発生を抑制できる信頼性の高いパワーモジュール用基板、ヒートシンク付パワーモジュール用基板、パワーモジュールを提供することが可能であることが確認された。

10

## 【0082】

(実施例)

次に、上述の実施形態に示すように、パワーモジュール用基板の金属層とヒートシンクとを第2はんだ層を介して接合し、この第2はんだ層における接合率について評価した。

表3に示すように、絶縁基板、回路層となる銅板、金属層となるアルミニウム板、を、接合し、パワーモジュール用基板を作製した。

回路層のサイズは37mm×37mm、絶縁基板のサイズは40mm×40mm、金属層のサイズは37mm×37mmとした。

なお、表4に示す「活性金属ロウ」、「DBC」、「TLP」、「Al-Siロウ」は、上述の参考実施例及び表2と同様の接合方法とした。

20

## 【0083】

そして、上述のパワーモジュール用基板の金属層の他方の面側にヒートシンクを接合した。ヒートシンクは、50mm×60mm×5mm tのA6063合金のアルミニウム板とした。Sn-Sb系はんだを用い、 $H_2$ 雰囲気下で200で5分間保持した後、300で10分間保持することではんだ付けを行い、その後 $N_2$ 雰囲気に置換し、冷却することにより、ヒートシンクを接合した。

## 【0084】

このようにして得られたヒートシンク付パワーモジュール用基板を用いて、冷熱サイクル試験を実施した。冷熱サイクル条件は、上述の参考実施例と同様とし、2000回の冷熱サイクルを負荷した。

30

そして、接合初期及び2000回の冷熱サイクル負荷後において、第2はんだ層における接合率を測定した。評価結果を表4に示す。

## 【0085】

【表 3】

|        | 回路層    |          | 金属層   |          | 厚さ比<br>$t_2/t_1$ | セラミックス                         |         |
|--------|--------|----------|-------|----------|------------------|--------------------------------|---------|
|        | 材質     | 厚さ $t_1$ | 材質    | 厚さ $t_2$ |                  | 材質                             | 厚さ      |
| 本発明例11 | OFC    | 0.3mm    | A1050 | 0.9mm    | 3.00             | AlN                            | 0.635mm |
| 本発明例12 | OFC    | 0.6mm    | A1100 | 1.5mm    | 2.50             | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 0.32mm  |
| 本発明例13 | タビッチCu | 0.3mm    | A1050 | 1.6mm    | 5.33             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.38mm  |
| 本発明例14 | 6N-Cu  | 0.4mm    | A1080 | 2.1mm    | 5.25             | AlN                            | 0.5mm   |
| 比較例11  | 4N-Al  | 0.6mm    | 4N-Al | 2.1mm    | 3.50             | AlN                            | 0.635mm |

10

20

30

40

【表 4】

|        | 回路層/絶縁基板<br>接合方法 | 金属層/絶縁基板<br>接合方法 | 第2はんだ層 接合率(%) |         |
|--------|------------------|------------------|---------------|---------|
|        |                  |                  | 接合初期          | 冷熱サイクル後 |
| 本発明例11 | 活性金属ロウ           | Al-Siロウ          | 99.0          | 98.5    |
| 本発明例12 | 活性金属ロウ           | TLP              | 98.5          | 98.0    |
| 本発明例13 | DBC              | Al-Siロウ          | 99.5          | 95.6    |
| 本発明例14 | 活性金属ロウ           | TLP              | 98.6          | 97.3    |
| 比較例11  | Al-Siロウ          | Al-Siロウ          | 99.8          | 77.3    |

10

20

30

## 【0087】

回路層及び金属層をアルミニウム板で構成した比較例11においては、冷熱サイクル後の接合率が大きく低下していた。第2はんだ層にクラックが生じたためと推測される。

40

これに対して、本発明例11-14においては、冷熱サイクル後においても接合率が大きく低下しなかった。本発明例11-14によれば、第2はんだ層におけるクラックの発生を抑制できることが確認された。

## 【符号の説明】

## 【0088】

- 1、101、201 パワーモジュール
- 3 半導体素子(電子部品)
- 10、110、210 パワーモジュール用基板
- 11、111、211 絶縁基板
- 12、112、212 回路層

50

- 1 3、1 1 3、2 1 3 金属層
- 2 2 銅板
- 2 3 アルミニウム板
- 4 0、1 4 0、2 4 0 ヒートシンク付パワーモジュール用基板
- 4 1、1 4 1、2 4 1 ヒートシンク
- 2 2 5  $Al_2O_3$  層

【 図 1 】

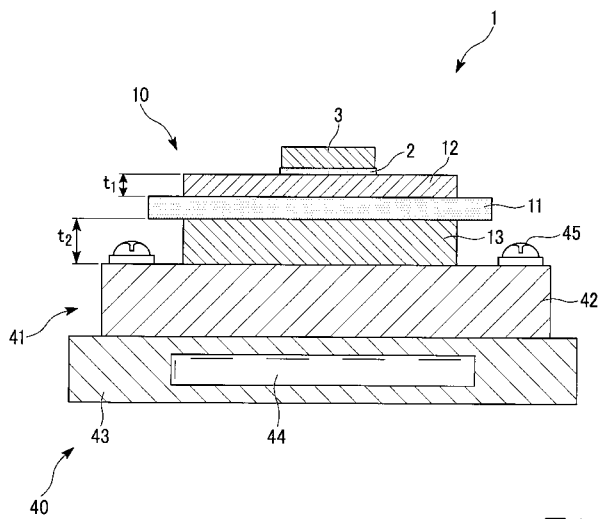


図 1

【 図 2 】

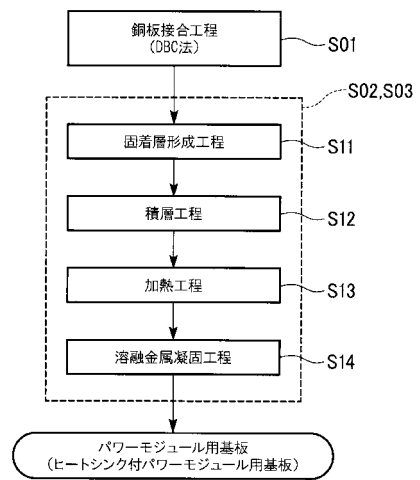


図 2

【 図 3 】

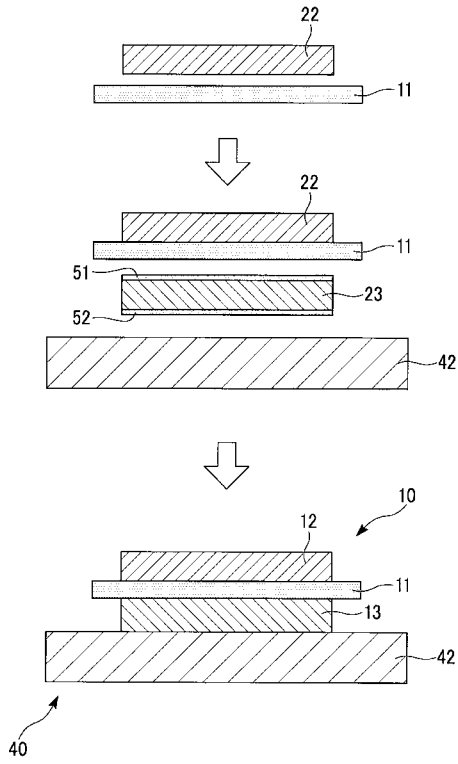


図 3

【 図 4 】

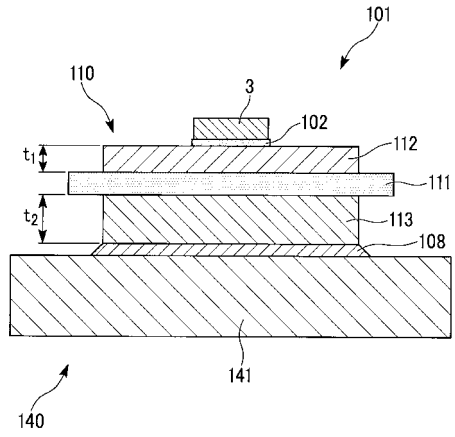


図 4

【 図 5 】

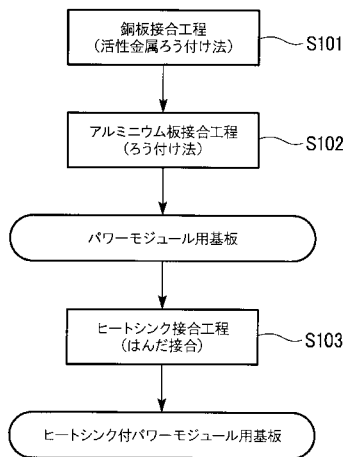


図 5

【 図 6 】

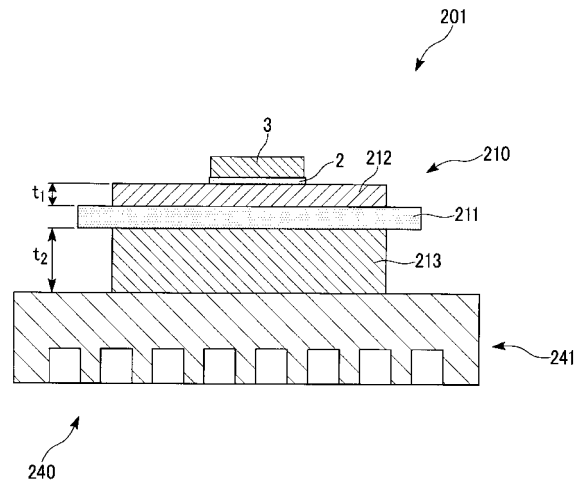


図 6

【 図 7 】

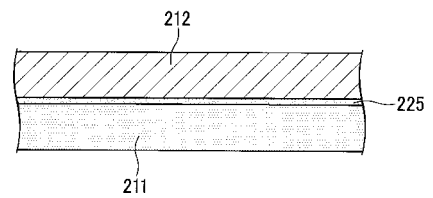


図 7

---

フロントページの続き

(72)発明者 長友 義幸

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

(72)発明者 寺 崎 伸幸

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

(72)発明者 黒光 祥郎

茨城県那珂市向山1002-14 三菱マテリアル株式会社中央研究所内

Fターム(参考) 5F136 BA04 BC05 CB06 DA27 EA02 EA13 FA02 FA03 FA14 FA16  
FA85