

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7144419号
(P7144419)

(45)発行日 令和4年9月29日(2022.9.29)

(24)登録日 令和4年9月20日(2022.9.20)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 L 25/07 (2006.01) H 0 1 L 25/04 C
H 0 1 L 25/18 (2006.01)

請求項の数 6 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-534496(P2019-534496)	(73)特許権者	000003296 デンカ株式会社 東京都中央区日本橋室町二丁目1番1号
(86)(22)出願日	平成30年7月30日(2018.7.30)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(86)国際出願番号	PCT/JP2018/028425	(74)代理人	100128381 弁理士 清水 義憲
(87)国際公開番号	WO2019/026836	(74)代理人	100185591 弁理士 中塚 岳
(87)国際公開日	平成31年2月7日(2019.2.7)	(74)代理人	100190931 弁理士 熊谷 祥平
審査請求日	令和3年2月24日(2021.2.24)	(72)発明者	広津留 秀樹 東京都町田市旭町三丁目5番1号 デン カ株式会社 デンカイノベーションセン ター内
(31)優先権主張番号	特願2017-151884(P2017-151884)		
(32)優先日	平成29年8月4日(2017.8.4)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 パワーモジュール

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ベース板と、前記ベース板上に接合されたセラミックス絶縁基板と、前記セラミックス絶縁基板上に接合された半導体素子と、を備えるパワーモジュールであって、
前記セラミックス絶縁基板は、セラミックス基材と、前記セラミックス基材の両面に設けられた金属層とを備え、

前記ベース板の前記セラミックス絶縁基板と反対側の面が凸状の反りを有し、
前記ベース板の前記セラミックス絶縁基板と反対側の面に放熱部品が取り付けられたときの当該面の平面度が20 μm以下であり、

温度150 から25 における降温時の前記ベース板の線熱膨張係数 $1 (\times 10^{-6} / K)$ 及び前記セラミックス絶縁基板の線熱膨張係数 $2 (\times 10^{-6} / K)$ が下記式(1)を満たす、パワーモジュール。

【数1】

$$\frac{|\alpha 1 - \alpha 2|}{(\alpha 1 + \alpha 2) / 2} \times 100 \leq 10 \quad \dots(1)$$

【請求項2】

前記セラミックス基材は、AlN、Si₃N₄又はAl₂O₃で形成されており、

前記金属層は、Cu、Al、Mo、Cu及びMo含む合金、並びにCu及びWを含む合

金からなる群より選ばれる少なくとも1種で形成されており、

前記セラミックス絶縁基板の線熱膨張係数 α が $5 \sim 9 (\times 10^{-6} / K)$ である、請求項 1 に記載のパワーモジュール。

【請求項 3】

前記ベース板は、Al 又は Mg を含む金属と、SiC、Si₃N₄、Al₂O₃、SiO₂ 及び AlN からなる群より選ばれる少なくとも1種とからなる金属基複合体、Cu 及び Mo 若しくは Cu 及び W を含む合金、又は、Cu 及び Mo 若しくは Cu 及び W で形成された多層金属板からなり、

前記ベース板の前記線熱膨張係数 α が $5 \sim 9 (\times 10^{-6} / K)$ であり、熱伝導率が $150 W / m K$ 以上である、請求項 1 又は 2 に記載のパワーモジュール。

10

【請求項 4】

前記ベース板の前記セラミックス絶縁基板と反対側の面が、機械加工又は研削加工されている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のパワーモジュール。

【請求項 5】

前記半導体素子が、Si、SiC 及び GaN のいずれかで形成されている、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のパワーモジュール。

【請求項 6】

電車又は自動車の駆動インバータとして用いられる、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のパワーモジュール。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の半導体素子を備えるパワーモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

電鉄用、発電用、電気自動車 / ハイブリッド自動車用モーター等の高出力モーターを制御するインバータには、IGBTモジュール等のパワーモジュールが使用される。パワーモジュールとしては、Si 等の半導体素子と AlN、Al₂O₃、Si₃N₄ 等のセラミックス絶縁基板と、熱伝導性に優れる、Cu、Al、Al-SiC ベース板等とが半田付けされ、配線、電極、樹脂ケースを取り付けた後、シリコーンゲル等で充填される構造を有するものが主流である (特許文献 1)。

30

【0003】

通常、パワーモジュールは、ヒートシンク等の放熱部品に放熱グリース等を介してネジ止めされて使用される。高出力用途のパワーモジュールにおいては、半導体素子からの発熱量が多く、如何に効率的に放熱するかが重要な課題であり、放熱が十分でない場合には、半導体素子温度が許容温度を超え、誤作動等を発生することがある。特に、パワーモジュール全体の熱抵抗に占める放熱グリース部分の熱抵抗の割合が大きく、この部分の熱抵抗を如何に下げることが重要である。

【0004】

40

セラミックス絶縁基板は、セラミックス材料の影響で、セラミックス絶縁基板自体が線熱膨張係数の比較的小さい部品であり、線熱膨張係数の比較的大きい Cu 等の金属ベース板に半田付けした場合、ベース板の放熱面の形状が凹状の反りになったり、放熱面に凹みが発生したりすることがある。このため、このような用途のベース板として、熱伝導性が高く、接合されるセラミックス絶縁基板に近い線熱膨張係数を有する、アルミニウム又はアルミニウム合金と炭化珪素とからなる複合体が用いられている (特許文献 2)。

【0005】

上記の用途で、平坦なベース板を用いる場合、ベース板とセラミックス絶縁基板との熱膨張係数の違いから、両者の接合時に発生する応力やその後の樹脂封止等によるパッケージ化の際に発生する応力のため、放熱部品等と密着させる側のベース板面が凹状に反って

50

しまい、放熱フィンをベース板に固定する際、十分な密着性が得られない。この問題を解決する手段として、放熱フィン等と接合させるベース板の板面を予め凸型に反らせておく反り付け加工の技術が知られている（特許文献3）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開平10-84077号公報

特開平3-509860号公報

特開平11-330308号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

セラミックス絶縁基板の構成は、パワーモジュールの用途や出力、耐圧により選定され、その結果、セラミックス絶縁基板の線熱膨張係数は基板の構成により異なる。また、パッケージ化する過程で接合に用いる半田の種類などが異なることにより、パワーモジュールの放熱面の形状が異なり、目的とする放熱フィン等の放熱部品と密着させる側の面の反りや平面度が適切でなく、放熱フィン等の放熱部品を取り付けた際の空隙、いわゆるエアギャップが生じ、放熱性が低下することが問題となる。

【0008】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、放熱部品に好適に密着させることが可能な放熱面を有するパワー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】

【0009】

本発明は、一態様において、ベース板と、ベース板上に接合されたセラミックス絶縁基板と、セラミックス絶縁基板上に接合された半導体素子と、を備えるパワーモジュールであって、ベース板のセラミックス絶縁基板と反対側の面が凸状の反りを有し、温度150から25における降温時のベース板の線熱膨張係数 α_1 ($\times 10^{-6}/K$)及びセラミックス絶縁基板の線熱膨張係数 α_2 ($\times 10^{-6}/K$)が下記式(1)を満たす、パワーモジュールである。

【0010】

【数1】

$$\frac{|\alpha_1 - \alpha_2|}{(\alpha_1 + \alpha_2)/2} \times 100 \leq 10 \quad \dots(1)$$

【0011】

セラミックス絶縁基板に接合されたベース板の反りの大きさと、セラミックス絶縁基板に接合される前のベース板の反りの大きさとの差は、長さ10cmあたり20 μ m以下であってよい。

【0012】

セラミックス絶縁基板は、セラミックス基材と、セラミックス基材の両面に設けられた金属層とを備え、セラミックス基材は、AlN、Si₃N₄又はAl₂O₃で形成されており、金属層は、Cu、Al、Mo、Cu及びMo含む合金、並びにCu及びWを含む合金からなる群より選ばれる少なくとも1種で形成されており、セラミックス絶縁基板の線熱膨張係数 α_2 は5~9 ($\times 10^{-6}/K$)であってよい。

【0013】

ベース板は、Al又はMgを含む金属と、SiC、Si₃N₄、Al₂O₃、SiO₂及びAlNからなる群より選ばれる少なくとも1種とからなる金属基複合体、Cu及びMo若しくはCu及びWを含む合金、又は、Cu及びMo若しくはCu及びWで形成された多層金属板からなり、ベース板の線熱膨張係数 α_1 は5~9 ($\times 10^{-6}/K$)であり、熱

10

20

30

40

50

伝導率は150 W / m K以上であってよい。

【0014】

ベース板のセラミックス絶縁基板と反対側の面は、機械加工又は研削加工されていてよい。

【0015】

ベース板のセラミックス絶縁基板と反対側の面に放熱部品が取り付けられたときの当該面の平面度は、好ましくは30 μm以下である。

【0016】

半導体素子は、Si、SiC及びGaNのいずれかで形成されていてよい。

【0017】

上記のパワーモジュールは、電車又は自動車の駆動インバータとして用いられてよい。

【発明の効果】

【0018】

本発明は、放熱部品に好適に密着させることが可能な放熱面を有するパワーモジュールを提供することができる。これにより、放熱性に富むパワーモジュールの提供も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】パワーモジュールの一実施形態を示す断面図である。

【図2】放熱部品付きパワーモジュールの一実施形態を示す断面図である。

【図3】実施例で用いたセラミックス絶縁基板を示す断面図であり、(a)は3層構造(金属層1層タイプ)、(b)は5層構造(金属層2層タイプ)のセラミックス絶縁基板を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。しかし、本発明がこれらの実施形態に限定されないことは自明である。

【0021】

図1は、パワーモジュールの一実施形態を示す断面図である。図1に示すように、パワーモジュール1は、ベース板2と、ベース板2上に第1の半田3を介して接合されたセラミックス絶縁基板4と、セラミックス絶縁基板4上に第2の半田5を介して接合された半導体素子6とを備えている。

【0022】

セラミックス絶縁基板4は、セラミックス基材7と、セラミックス基材7の一方の面に設けられた第1の金属層8と、セラミックス基材7の他方の面に設けられた第2の金属層9とを備えている。すなわち、セラミックス基材7の両面には、それぞれ金属層8, 9が設けられている。少なくとも第2の金属層9は、電気回路(金属回路)を形成している。第1の金属層8は、電気回路(金属回路)を形成していてもよく形成していなくてもよい。ベース板2は、第1の半田3を介して第1の金属層8に接合されている。半導体素子6は、第2の半田5を介して第2の金属層9の所定の部分に接合されていると共に、アルミワイヤ(アルミ線)等の金属ワイヤ10で第2の金属層9の所定の部分に接続されている。

【0023】

ベース板2上に設けられた上記の各構成要素は、例えば一面が開口した中空箱状の樹脂製の筐体11で蓋され、筐体11内に收容されている。ベース板2と筐体11との間の中空部分には、シリコンゲル等の充填材12が充填されている。第2の金属層9の所定部分には、筐体11の外部と電氣的な接続が可能ないように、筐体11を貫通する電極13が第3の半田14を介して接合されている。

【0024】

ベース板2の縁部には、パワーモジュール1に例えば放熱部品を取り付ける際のネジ止め用の取付け穴2aが形成されている。取付け穴2aの数は、例えば4個以上である。ベ

10

20

30

40

50

ース板 2 の縁部には、取付け穴 2 a に代えて、ベース板 2 の側壁が断面 U 字状となるような取付け溝が形成されていてもよい。

【 0 0 2 5 】

ここで、パワーモジュール 1 に放熱部品を取り付ける場合について説明する。図 2 は、放熱部品が取り付けられたパワーモジュール（便宜的に「放熱部品付きパワーモジュール」ともいう）の一実施形態を示す断面図である。図 2 に示すように、放熱部品付きパワーモジュール 2 1 は、上述したパワーモジュール 1 と、パワーモジュール 1 のベース板 2 側に取り付けられた放熱フィン等の放熱部品 2 2 とを備えている。放熱部品 2 2 は、ベース板 2 に形成された取付け穴 2 a に挿入されたネジ（ボルト）2 3 によってパワーモジュール 1（ベース板 2）にネジ止めされている。放熱部品 2 2 のパワーモジュール 1 側の面は、略平面状になっている。

10

【 0 0 2 6 】

パワーモジュール 1 のベース板 2 と放熱部品 2 2 との間には、両者の密着性を確保するために、グリース（放熱グリース）2 4 が配置されている。グリース 2 4 は、通常 1 ~ 2 W / m K 程度の熱伝導率を有しており、放熱部品付きパワーモジュール 2 1 の構成部材の中で最も大きな熱抵抗となる。つまり、パワーモジュール 1 の放熱性を高めるには、このグリース 2 4 の熱抵抗をできる限り小さくすることが重要である。

【 0 0 2 7 】

このためには、グリース 2 4 として熱伝導率の高い放熱グリースを用いると共に、このグリース 2 4 の層の厚みを薄くすることが有効である。ところが、グリース 2 4 の層の厚みを極端に薄くすると、パワーモジュール 1 の稼働時の熱負荷による変形等にグリース 2 4 が追従できず、パワーモジュール 1 と放熱部品 2 2 との間に空気層が発生する場合があります。その結果、パワーモジュール 1 の放熱特性が極端に悪化し、半導体素子 6 の破損等に繋がることがある。理想的には、グリース 2 4 は均一な薄膜状であり、このためには、パワーモジュール 1 におけるベース板 2 のセラミックス絶縁基板 4 と反対側の面（放熱面）2 b の形状が重要である。

20

【 0 0 2 8 】

具体的には、パワーモジュール 1 と放熱フィン等の放熱部品 2 2 とをネジ止めした際に、パワーモジュール 1 の放熱面の平面度が小さいことが好ましい。この平面度が大きいと、部分的にグリース 2 4 の厚みが厚くなり、グリース 2 4 による熱抵抗が増大して、十分な放熱特性が得られない。このため、パワーモジュール 1 においては、放熱部品 2 2 が取り付けられた際にベース板 2 のセラミックス絶縁基板 4 と反対側の面（放熱面）2 b の平面度は、好ましくは 3 0 μ m 以下、より好ましくは 2 0 μ m 以下である。当該平面度が 3 0 μ m 以下であると、上述したとおり、グリース 2 4 が均一な薄膜状になりやすく、パワーモジュール 1 において十分な放熱特性が得られる。

30

【 0 0 2 9 】

なお、上記の平面度は、J I S B 0 6 2 1 に準拠して測定された平面度を意味する。より具体的には、当該平面度は、穴を開けた放熱部品 2 2 又はそれを模擬した樹脂部材をベース板 2 に取り付けられた状態で、当該穴より接触式の変位計を用いて形状を測定することにより算出するか、あるいは、透明な放熱部品 2 2 又はそれを模擬した樹脂部材をベース板 2 に取り付けられた状態で、非接触式の変位計を用いて形状を測定することにより算出することができる。これらの場合において、取り付けられる放熱部品 2 2 又はそれを模擬した樹脂部材としては、ベース板 2 側の面の平面度が 0 ~ 5 μ m であるものを用いることとし、平面度は、放熱部品 2 2 又はそれを模擬した樹脂部材が、少なくとも 4 個のネジ（ボルト）を用いてトルク 1 0 N でベース板 2 にネジ止めされた状態で測定するものとする。

40

【 0 0 3 0 】

放熱部品 2 2 が取り付けられたパワーモジュール 1 におけるベース板 2 のセラミックス絶縁基板 4 と反対側の面（放熱面）2 b の平面度が上記の範囲内とするために、パワーモジュール 1 においては、図 1 に示すように、ベース板 2 のセラミックス絶縁基板 4 と反対側の面 2 b が、放熱部品 2 2 が取り付けられていない状態で、凸状（凸型）の反り 2 c を

50

有している。ベース板 2 の放熱面 2 b が凸状の反り 2 c を有していることにより、放熱部品 2 2 等にネジ止めした際に、ベース板 2 の中央部にも十分に応力が加わるようになる。ベース板 2 の放熱面 2 b の反り 2 c の大きさ（反り量）は、ベース板 2 の任意の位置における放熱面 2 b 方向の長さ $L = 10 \text{ cm}$ あたりの反りの大きさ W として、好ましくは $50 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $30 \mu\text{m}$ 以下である。反り量が $50 \mu\text{m}$ 以下であると、パワーモジュール 1 を放熱部品 2 2 にネジ止めした際の変形量が大きくなり過ぎることを抑制し、セラミックス絶縁基板 4 のセラミックス基材 7 が破損する等の問題を生じにくくさせることができる。

【0031】

パワーモジュール 1 におけるベース板 2 の放熱面 2 b の形状（反り量）は、主に、ベース板 2 自体の初期形状（反り量）、及び、ベース板 2 にセラミックス絶縁基板 4 を第 1 の半田 3 で接合した際の変形量（反り変化量）により決まる（なお、厳密には、筐体 1 1 をベース板 2 に接着した際の応力によっても若干の影響を受ける）。

10

【0032】

ベース板 2 自体の初期形状に関して、ベース板 2 のセラミックス絶縁基板 4 接合前の反り量は、ベース板 2 の放熱面 2 b 方向の長さ 10 cm あたりの反りの大きさとして、好ましくは $30 \sim 100 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $30 \sim 50 \mu\text{m}$ である。

【0033】

ベース板 2 にセラミックス絶縁基板 4 を第 1 の半田 3 で接合した際の反り変化量は、第 1 の半田 3 にかかる応力を低減させ、パワーモジュール 1 におけるベース板 2 の放熱面 2 b の形状の制御が更に容易になる観点から、ベース板 2 の放熱面 2 b 方向における長さ 10 cm に対する反り変化量として、好ましくは $20 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $10 \mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $5 \mu\text{m}$ 以下である。当該反り変化量は、セラミックス絶縁基板 4 に接合する前のベース板 2 の反り量と、セラミックス絶縁基板 4 に接合した後のベース板 2 の反り量との差の絶対値として定義される。

20

【0034】

以上のような反りに関する特性を得るために、ベース板 2 の放熱面 2 b は、平板状に形成した後、機械加工又は研削加工、あるいは所望する形状の型を用いた加工により成形されていてもよい。

【0035】

ここで、ベース板 2 にセラミックス絶縁基板 4 を接合した際の変形は、接合温度（第 1 の半田 3 が固化した温度）から室温に戻る際に、ベース板 2 及びセラミックス絶縁基板 4 の熱膨張差により発生する応力によって生じる。この際の変形量（反り変化量）を抑えるためには、一般に線熱膨張係数の小さいセラミックス絶縁基板 4 と、それに近い線熱膨張係数を有するベース板 2 とを使用することが有効である。

30

【0036】

具体的には、温度 150 から 25 における降温時のベース板 2 の線熱膨張係数 1 ($\times 10^{-6} / \text{K}$) と、温度 150 から 25 における降温時のセラミックス絶縁基板 4 の線熱膨張係数 2 ($\times 10^{-6} / \text{K}$) とが下記式 (1) を満たすことが好ましい。

【0037】

【数 2】

$$\frac{|\alpha 1 - \alpha 2|}{(\alpha 1 + \alpha 2)/2} \times 100 \leq 10 \quad \dots (1)$$

40

【0038】

このように、ベース板 2 とセラミックス絶縁基板 4 との間の、温度 150 から 25 の降温時の線熱膨張係数の違いを 10% 以下に抑えることにより、ベース板 2 にセラミックス絶縁基板 4 を接合した際の変形量を抑えることができ、パワーモジュール 1 におけるベース板 2 の放熱面 2 b の形状（反り量）を所望の範囲に制御することができる。こ

50

の場合の線熱膨張係数の違いは、式(1)のとおり、ベース板2及びセラミックス絶縁基板4の線熱膨張係数の相加平均(式(1)の左辺の分母)に対する、ベース板2及びセラミックス絶縁基板4の線熱膨張係数の差(式(1)の左辺の分子)の割合である。なお、式(1)では、第1の半田3による接合後の冷却過程におけるベース板2とセラミックス絶縁基板4との熱膨張の違いが重要であるため、線熱膨張係数 α_1 、 α_2 としては、温度150 から25 の降温時の値を用いる。線熱膨張係数 α_1 、 α_2 は、熱膨張計(例えば、セイコー電子工業社製; TMA300)により、JIS R1618に準拠して、降温速度が5 /分以下の条件で測定された線熱膨張係数を意味する。式(1)の左辺は、好ましくは9(%)以下、より好ましくは5(%)以下である。

【0039】

このようなセラミックス絶縁基板に近い線熱膨張係数(低線熱膨張係数)を有するベース板2は、好ましくは、Al又はMgを主成分として(例えば85質量%以上)含む金属と、SiC、Si₃N₄、Al₂O₃、SiO₂及びAlNからなる群より選ばれる少なくとも1種とからなる金属基複合体、Cu及びMo若しくはCu及びWを含む合金(Cu/Mo、Cu/W合金)、又は、Cu及びMo若しくはCu及びWで形成された多層金属板(Cu/Mo、Cu/W多層金属板)からなっている。

【0040】

このようなベース板2の温度150 から25 の降温時の線熱膨張係数 α_1 は、セラミックス絶縁基板4との接合時の変形抑制の点から、好ましくは $5 \sim 9 (\times 10^{-6} / K)$ 、より好ましくは $5 \sim 8 (\times 10^{-6} / K)$ である。

【0041】

ベース板2の熱伝導率は、好ましくは150W/mK以上、より好ましくは200W/mK以上である。熱伝導率は、レーザーフラッシュ法(例えば、理学電機社製; LF/TCM-8510Bを使用)により、JIS R1611に準拠して測定された熱伝導率を意味する。

【0042】

ベース板2のヤング率は、好ましくは100~400GPa、より好ましくは200~350GPaである。ヤング率は、3点曲げ法(例えば、島津製作所社製; オートグラフAG-Xを使用)により、JIS R1602に準拠して測定されたヤング率を意味する。

【0043】

ベース板2の平面度は、好ましくは30 μ m以下、より好ましくは20 μ m以下、更に好ましくは10 μ m以下である。ベース板2の平面度は、JIS B0621に準拠して測定された平面度を意味する。

【0044】

セラミックス絶縁基板4の線熱膨張係数 α_2 は、セラミックス基材7と金属層8、9の構成及び物性値に加え、セラミックス基材7に金属層8、9を接合する温度から室温に戻る際に、セラミックス基材7に金属層8、9の熱膨張の違いにより発生する残留応力によって決まる。このため、例えば、同一構成のセラミックス絶縁基板4であっても、接合方法により、その線熱膨張係数が異なる。一般に、金属層8、9は、温度800 程度の高温で活性金属法によりロウ付けしてセラミックス基材7に形成されることが多く、この場合、室温に冷却する過程で、線熱膨張係数の大きい金属層8、9に引張応力が残留する。その結果、得られるセラミックス絶縁基板4の線熱膨張係数 α_2 は、構成するセラミックス基材7と金属層8、9の物性値から計算した線熱膨張係数より小さい値となる。

【0045】

一方で、ベース板2の線熱膨張係数 α_1 を上記のとおり小さくするためには、金属基複合体を用いる場合、線熱膨張係数の小さいセラミックスの比率を上げる必要があり、製造が難しくなると同時に高価になってしまうという問題がある。また、Cu/Mo、Cu/W等の合金又は多層金属板を用いる場合、線熱膨張係数を下げようとする熱伝導率の低いMoやWの比率を上げる必要があり、熱伝導率が低下すると共に材料が高価になり、密度が増加して材料自体が重くなる問題がある。このような観点からは、セラミックス絶縁

10

20

30

40

50

基板 4 の線熱膨張係数 2 を大きくすることが有効である。

【0046】

セラミックス絶縁基板 4 の線熱膨張係数 2 を大きくする手法としては、線熱膨張係数の大きい金属層 8 , 9 の厚みを厚くすること、及び、セラミックス基材 7 と金属層 8 , 9 との接合温度を下げ、金属層 8 , 9 の残留応力を低減することが有効である。金属層 8 , 9 の厚みを厚くするとセラミックス絶縁基板 4 の線熱膨張係数 2 は大きくなるが、セラミックス基材 7 に対する引張応力が大きくなり、実使用を想定した熱サイクル試験でセラミックス基材 7 にクラックが入る等の信頼性の面で問題が発生するおそれがある。一方、セラミックス基材 7 と金属層 8 , 9 との接合温度を下げる手法として、接着剤を用いて低温で接着する手法を用いることにより、セラミックス絶縁基板 4 の線熱膨張係数 2 を大きくすることはできるが、極端に熱伝導率の低い接着層が存在し、パワーモジュール 1 としての放熱性に問題が生じるおそれがある。このため、セラミックス基材 7 の表面に活性金属法等により薄い金属層を形成した後に、所定の厚みの金属を低温で接合する手法や低温溶射法により金属層を形成する手法が有効である。

10

【0047】

このようなセラミックス絶縁基板 4 の線熱膨張係数 2 は、好ましくは $5 \sim 9$ ($\times 10^{-6} / K$)、より好ましくは $5 \sim 8$ ($\times 10^{-6} / K$) である。セラミックス基材 7 の熱伝導率は、セラミックス絶縁基板 4 に良好な熱伝導性を付与する観点から、好ましくは $30 W / m K$ 以上、より好ましくは $80 W / m K$ 以上、更に好ましくは $150 W / m K$ 以上である。このようなセラミックス絶縁基板 4 を得るためには、例えば、セラミックス基材 7 は、 AlN 、 Si_3N_4 又は Al_2O_3 で形成されており、金属層 8 , 9 は、 Cu 、 Al 、 Mo 、 Cu 及び Mo 含む合金、並びに Cu 及び W を含む合金からなる群より選ばれる少なくとも 1 種で形成されている。

20

【0048】

以上説明したパワーモジュール 1 は、ベース板 2 の放熱面 2 b の形状が適正に制御されており、放熱特性に優れるため、 Si に加え、高出力化が可能な SiC 、 GaN 半導体素子を使用したパワーモジュールに対しても好適である。すなわち、半導体素子 6 は、 Si 、 SiC 及び GaN のいずれかで形成されていてよい。これにより、パワーモジュールの小型化、省エネ化を効率的に実現することが可能となる。また、パワーモジュール 1 は、高耐圧、高出力等が要望される電車又は自動車の駆動インバータとして好適に用いられる。

30

【実施例】

【0049】

以下、実施例を挙げて本発明についてさらに具体的に説明する。ただし、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

【0050】

< ベース板 >

実施例及び比較例では、表 1 に示すベース板 1 ~ 12 を用いた。各ベース板は、市販の材料を研削加工により所定形状に加工した後、無電解 Ni めっきを施したものをを用いた。表中の各物性値を測定するために、研削加工により熱伝導率測定用試験体 (直径 $11 mm$ \times 厚さ $3 mm$)、線熱膨張係数測定用試験体 (直径 $3 mm$ \times 長さ $10 mm$)、弾性率測定用試験体 ($3 mm$ \times $4 mm$ \times 長さ $40 mm$) を作製した。それぞれの試験片を用いて、25 での熱伝導率をレーザーフラッシュ法 (理学電機社製; $LF / TCM - 8510B$) により、温度 150 から 25 における降温時の線熱膨張係数を熱膨張計 (セイコー電子工業社製; $TMA300$) により、ヤング率を 3 点曲げ法 (島津製作所社製; オートグラフ $AG - X$) で測定した。また、放熱面の反り量については、3 次元輪郭形状測定機 (東京精密社製; コンターレコード $1600D - 22$) を用いて測定した。さらに平面度については、透明な樹脂ブロックに締め付けトルク $10 N$ でネジ止めした後、レーザー変位計 (キーエンス社製; $LT9010M$) で放熱面の形状を測定して求めた。

40

【0051】

50

【表 1】

ベース板 No.	サイズ (mm)	材料	熱伝導率 (W/mK)	線熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/K$)	ヤング率 (GPa)	反り量 (μm)	平面度 (μm)
1	140×190 ×5	Al-SiC(80%)	250	5.0	300	25	10
2	140×190 ×5	Al-SiC(65%)	220	7.0	220	5	10
3						25	10
4						50	10
5						25	0
6						25	50
7	140×190 ×5	Al-SiC(50%)	200	9.0	200	25	10
8	140×190 ×5	Mg-SiC(65%)	230	7.5	140	25	10
9	140×190 ×5	Cu-Mo (PCM30)	200	7.3	230	25	10
10	140×190 ×5	Cu-W(W15)	190	7.2	310	25	10
11	140×190 ×5	コパール	17	5.3	140	25	10
12	130×140 ×5	Al-SiC(65%)	220	7.0	220	25	10

10

20

【0052】

< セラミックス絶縁基板 >

実施例及び比較例では、図3(a)に示す3層構造のセラミックス絶縁基板4A、又は図3(b)に示す5層構造のセラミックス絶縁基板4Bである絶縁基板1~13を用いた。各絶縁基板の詳細を下記及び表2に示す。

・絶縁基板1~5(3層構造)では、Ag(90%) - Cu(10%) - TiH₂(3.5%)ろう材を用いて、温度800で金属をセラミックス基材7に接合した後、エッチング法で金属回路を形成し、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板6(5層構造)は、絶縁基板1~5と同様の手法で金属回路8a, 9aを形成した後、溶射法(コールドスプレー法)で銅回路8b, 9bを積層し、温度300でアニール処理を行った後、無電解Niめっきを施した。

30

・絶縁基板7(5層構造)では、絶縁基板1~5と同様の手法で金属回路を形成した後、融点300の高温半田で回路金属を接合した後、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板8(3層構造)は、Al-Cuクラッド箔をろう材とし用い温度630で回路金属をセラミックス基材7に接合した後、エッチング法で金属回路を形成し、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板9(5層構造)は、絶縁基板8と同様の手法で金属回路を形成した後、溶射法(コールドスプレー法)で銅回路を積層し、温度300でアニール処理を行った後、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板10(3層構造)は、溶射法(コールドスプレー法)でアルミニウム回路を積層し、温度500でアニール処理を行った後、無電解Niめっきを施した。

40

・絶縁基板11(5層構造)は、溶射法(コールドスプレー法)でアルミニウム回路を積層し、温度500でアニール処理を行った後、溶射法(コールドスプレー法)で銅回路を積層し、温度300でアニール処理を行った後、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板12(3層構造)は、セラミックスの両面にアクリル系接着剤で回路金属を接着した後、エッチング法で金属回路を形成し、無電解Niめっきを施した。

・絶縁基板13(3層構造)は、DBC(Direct Bonded Copper)法により作製された市販のセラミックス絶縁基板(MARUWA社製)を用いた。

【0053】

各絶縁基板の熱伝導率は、セラミック基材から熱伝導率測定用試験体(直径11mm×

50

板厚) を作製して測定した。温度 150 から 250 の降温時の線熱膨張係数は、セラミックス絶縁基板から線熱膨張係数測定用試験体 (3 mm × 板厚 × 長さ 10 mm) を作製して測定した。

【0054】

【表2】

絶縁基板 No.	サイズ (mm)	セラミックス基板 7		金属層 8.9 (8a, 8a)		金属層 8b, 9b		接合手法 (回路形成)	接合温度 (°C)	熱伝導率 (W/mK)	線熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/K$)	
		材質	厚み (mm)	材質	厚み (mm)	材質	厚み (mm)					
1	50 × 60	AlN	0.635	Cu	0.3	-	-	活性金属法	800°C	180	5.1	
2		AlN	1.0	Cu	0.3	-	-	活性金属法	800°C	180	5.0	
3		Si ₃ N ₄	0.635	Cu	0.3	-	-	活性金属法	800°C	90	3.4	
4		Si ₃ N ₄	0.32	Cu	0.3	-	-	活性金属法	800°C	90	4.5	
5		Si ₃ N ₄	0.32	Cu	1.0	-	-	活性金属法	800°C	90	6.9	
6		Si ₃ N ₄	0.32	Cu	0.1	0.1	Cu	0.9	活性金属法 / 溶射法	800°C / 300°C	90	8.2
7		Si ₃ N ₄	0.635	Cu	0.1	0.1	Cu	0.9	活性金属法 / 半田付け	800°C / 300°C	90	9.0
8		AlN	0.635	Al	0.4	0.4	-	-	活性金属法	630°C	180	5.2
9		AlN	0.635	Al	0.2	0.2	Cu	0.4	活性金属法 / 溶射法	630°C / 300°C	180	6.7
10		AlN	0.635	Al	0.4	0.4	-	-	溶射法	300°C	180	6.0
11		AlN	0.635	Al	0.2	0.2	Cu	0.4	溶射法 / 溶射法	300°C / 300°C	180	6.9
12		AlN	0.635	Cu	0.3	0.3	-	-	接着法	25°C	180	6.8
13		Al ₂ O ₃	0.635	Cu	0.3	0.3	-	-	DBC 法	1050°C	30	8.5

【0055】

[実施例 1]

セラミックス絶縁基板として表 2 の絶縁基板 11 を用い、Si 半導体素子及び電極を高温半田で絶縁基板 11 に接合した後、表 1 のベース板 3 を、共晶半田を用いて絶縁基板 11 に更に接合した。次に、Al 線を Si 半導体素子とセラミックス絶縁基板に超音波接合

10

20

30

40

50

して配線した後、樹脂筐体をベース板に接着剤で接着した後、樹脂筐体内にシリコーンゲルを充填してパワーモジュールを作製した。得られたパワーモジュールの放熱面の形状を3次元輪郭測定装置で測定した結果、長さ10cmに対する反り量が26 μ mであった。

【0056】

次に、このパワーモジュールを、8本のM6の取り付けボルトで140mm \times 190mm \times 50mmの透明樹脂ブロックに締め付け、トルク10Nで取り付けした。その後、レーザー変位計を用いて、樹脂ブロックの裏面よりパワーモジュールの放熱面のベース板の平面度を測定した結果、11 μ mであった。また、得られたパワーモジュールは、温度-40 \times 30分と温度125 \times 30分を1サイクルとする1000回のヒートサイクル試験を行った後、電気特性を評価した結果、初期特性を維持していることを確認した。

10

【0057】

[実施例2～16及び比較例1～8]

表3に示す絶縁基板とベース板を用いた以外は、実施例1と同様の手法でパワーモジュールを作製した。得られたパワーモジュールの評価結果を表3に示す。なお、反り量又は反り変化量の符号がマイナスである場合は、放熱面が凹状の反りを有していた又は凹状となる方向に反りの形状が変化したことを意味する。

【0058】

【表3】

	ベース板 No.	絶縁基板 No.	式(1)の値 (%)	反り量 (μ m)	反り変化量 (μ m)	平面度 (μ m)
実施例1	3	11	1.4	+26	+1	11
実施例2	1	1	2.0	+26	+1	11
実施例3	1	2	0.0	+25	0	11
実施例4	1	8	3.9	+24	-1	11
実施例5	2	11	1.4	+5	0	10
実施例6	4	11	1.4	+49	-1	11
実施例7	5	11	1.4	+26	+1	1
実施例8	3	5	1.4	+26	+1	11
実施例9	7	7	0	+25	0	10
実施例10	8	11	8.3	+20	-5	13
実施例11	9	11	5.6	+22	-3	12
実施例12	10	11	4.3	+23	-2	11
実施例13	8	6	8.9	+29	+4	14
実施例14	3	9	4.4	+23	-2	12
実施例15	7	13	5.7	+20	-5	14
実施例16	12	11	1.4	+26	+1	11
比較例1	3	1	31.4	-10	-35	29
比較例2	3	2	33.3	-12	-37	32
比較例3	1	3	38.1	-15	-40	36
比較例4	3	4	43.5	-25	-50	45
比較例5	3	6	15.8	+46	21	25
比較例6	3	8	29.5	-8	-33	28
比較例7	3	10	15.4	+3	-22	21
比較例8	6	11	1.4	25	0	51

20

30

40

【0059】

[実施例17]

半導体素子としてSiC半導体素子を用いた以外は、実施例1と同様の手法でパワーモジュールを作製した。得られたパワーモジュールの放熱面の形状を3次元輪郭測定装置で測定した結果、長さ10cmに対する反り量が24 μ mであった。次に、このパワーモジュールを、8本のM6の取り付けボルトで140mm \times 190mm \times 50mmの透明樹脂ブロックに締め付け、トルク10Nで取り付けした。その後、レーザー変位計を用いて、樹

50

脂ブロックの裏面よりパワーモジュールの放熱面のベース板の平面度を測定した結果、 $10\ \mu\text{m}$ であった。また、得られたパワーモジュールは、温度 $-40\ \times 30$ 分と温度 $175\ \times 30$ 分を1サイクルとする1000回のヒートサイクル試験を行った後、電気特性を評価した結果、初期特性を維持していることを確認した。この結果から、得られたパワーモジュールは、高耐圧、高出力等が要望される電車又は自動車の駆動インバータとして好適に用いることができる。

【符号の説明】

【0060】

1...パワーモジュール、2...ベース板、2a...ベース板のセラミックス絶縁基板と反対側の面(放熱面)、2c...ベース板の放熱面の反り、4...セラミックス絶縁基板、6...半導体素子、7...セラミックス基材、8...第1の金属層、9...第2の金属層。

10

20

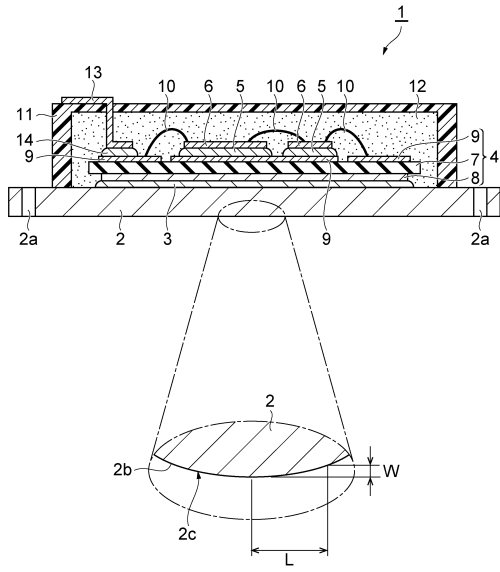
30

40

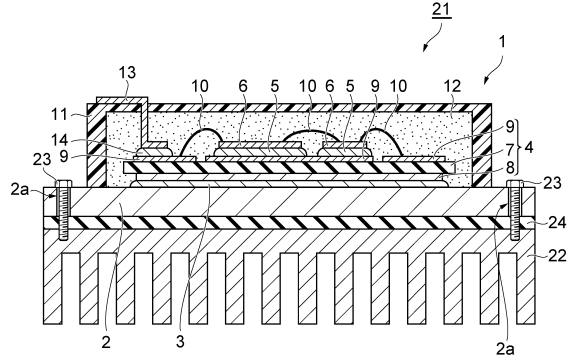
50

【図面】

【図 1】



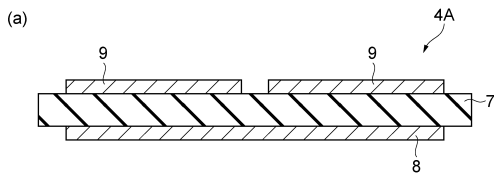
【図 2】



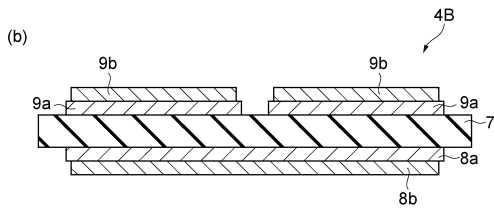
10

20

【図 3】



30



40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 谷口 佳孝
福岡県大牟田市新開町1 デンカ株式会社 大牟田工場内
- (72)発明者 市川 恒希
東京都町田市旭町三丁目5番1号 デンカ株式会社 デンカイノベーションセンター内
- (72)発明者 酒井 篤士
東京都町田市旭町三丁目5番1号 デンカ株式会社 デンカイノベーションセンター内
- 審査官 平林 雅行
- (56)参考文献 国際公開第2013/002249(WO, A1)
特開2016-111171(JP, A)
特開2008-091959(JP, A)
特開2015-170785(JP, A)
特開2005-145746(JP, A)
特開2012-138541(JP, A)
特開2015-170825(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 23/12 - 23/15
H01L 23/28
H01L 23/34 - 23/36
H01L 23/373 - 23/427
H01L 23/44
H01L 23/467 - 23/473
H01L 25/00 - 25/07
H01L 25/10 - 25/11
H01L 25/16 - 25/18
H02M 7/42 - 7/98