

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4124040号
(P4124040)

(45) 発行日 平成20年7月23日 (2008. 7. 23)

(24) 登録日 平成20年5月16日 (2008. 5. 16)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 23/48 (2006. 01)	HO 1 L 23/48 G
HO 1 L 23/13 (2006. 01)	HO 1 L 23/12 C
HO 1 L 25/07 (2006. 01)	HO 1 L 25/04 C
HO 1 L 25/18 (2006. 01)	

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-197643 (P2003-197643)	(73) 特許権者	503361248
(22) 出願日	平成15年7月16日 (2003. 7. 16)		富士電機デバイステクノロジー株式会社
(65) 公開番号	特開2004-134746 (P2004-134746A)		東京都品川区大崎一丁目11番2号
(43) 公開日	平成16年4月30日 (2004. 4. 30)	(74) 代理人	100133167
審査請求日	平成16年9月21日 (2004. 9. 21)		弁理士 山本 浩
(31) 優先権主張番号	特願2002-235888 (P2002-235888)	(72) 発明者	両角 朗
(32) 優先日	平成14年8月13日 (2002. 8. 13)		神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		富士電機株式会社内
		(72) 発明者	西村 芳孝
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内
		(72) 発明者	沖田 宗一
			神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
			富士電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

方形状のセラミック基板の両面に導体パターンを接合形成してなる絶縁基板を用いた半導体装置において、

前記セラミック基板のうら面側の導体パターンは、四隅コーナー部に前記セラミック基板の対角線に交差して該導体パターンを横切るスリットが形成されたものであって、前記セラミック基板のおもて面側の導体パターンとここにマウントした発熱部品との間、および前記セラミック基板のうら面側の導体パターンと金属ベースとの間をはんだ接合してなる半導体装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体装置において、前記スリットは、前記裏面の導体パターンの辺のコーナー部から 2 mm 以上 10 mm 未満の位置から設けられていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の半導体装置において、前記スリットの幅寸法が 0.5 mm 以上 2.1 mm 未満であることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、絶縁基板上にパワー半導体素子を搭載した半導体装置に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

まず、頭記した半導体装置として、パワー半導体モジュールの組立構造例を図 1 0 , 図 1 1 に示す。図において、1 は放熱用の金属ベース（例えば銅板）、2 は金属ベース 1 に搭載した絶縁基板、3 はパワー半導体素子などの発熱チップ部品（以下「シリコンチップ」と呼称する）であって、絶縁基板 2 の上面にマウントされている。パワー半導体素子は、I G B T , F W D（フリー・ホイーリング・ダイオード）などである。4 は前記パワー半導体素子などで構成される主回路の外部導出端子、5 はボンディングワイヤ、6 は外囲樹脂ケース、7 は上蓋、8 は封止樹脂、9 はゲル状充填材である。

【 0 0 0 3 】

ここで、絶縁基板 2 は、方形状のセラミック基板 1 0 のおもて、うら両面に直接接合法（Direct Bonding）、あるいは活性金属接合法（Active Metal Bonding）など手法によって、銅あるいはアルミニウム箔の導体パターン 1 1 , 1 2 を接合した構造である。絶縁基板 2 のおもて面側の導体パターン 1 1 を回路パターンとしてシリコンチップ 3 をはんだマウント、うら面側の導体パターン 1 2 と金属ベース 1 との間をはんだ付けして伝熱的に接合している。なお、1 3 ははんだ接合部のはんだ層を示す（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 4 】

また、後述するように、はんだ接合部に加わる熱ストレスによってのはんだ接合部に生じた亀裂を成長し難くするために、絶縁基板にマウントする発熱部品である I G B T の配置を工夫することが知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】

特開平 1 0 - 2 7 0 6 1 2 号公報（第 1 頁）

【特許文献 2】

特開 2 0 0 2 - 7 6 2 5 6 号公報（段落 0 0 2 9、図 3）

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】

上記したパワー半導体モジュールは、使用環境の苛酷さや動作温度の変化に対応して長期信頼性の確保が求められている。これに対して、先記したパワー半導体モジュールの主要部は熱膨張係数の異なる部材をはんだ接合した積層構造になる。このために、使用環境からくる温度サイクル、およびモジュールの実稼働に伴うシリコンチップ 3 の発熱により、はんだ接合部に過酷な熱ストレスが加わる。この場合に、はんだは絶縁基板 2 などの他の部材に比べると熔融温度が 3 0 0 以下と低いことから熱ストレスの影響を受け易く、はんだ接合部の疲労寿命がパワー半導体モジュール全体の信頼性、寿命を大きく左右する。

【 0 0 0 7 】

すなわち、図 1 2 で表すように被接合材 A（熱膨張係数 A）と B（熱膨張係数 B）との間をはんだ接合すると、被接合材 A , B の熱膨張係数差により発生する熱応力によりはんだ層にはせん断歪みが発生する。そして、このせん断歪みが塑性領域に達するとはんだが塑性変形を繰り返し、ある時点ではんだ亀裂 C が発生し、さらに発生したはんだ亀裂 C が次第に成長するようになる。

【 0 0 0 8 】

この場合に、図 1 1 に示したモジュール組立構造においては、金属ベース 1 にはんだ接合した絶縁基板 2 の外形が方形状であることから、温度サイクルなどによりはんだ接合部に加わる熱ストレスは、図 1 3 で表すように熱膨張、収縮量が最も大きくなる絶縁基板 2 の四隅コーナー部に集中する。

【 0 0 0 9 】

このために、絶縁基板 2 の四隅コーナーを起点にしてはんだ接合部には図 1 2 で述べたようにはんだ亀裂 C が発生し、このはんだ亀裂 C が温度サイクルの繰り返しのに伴い四隅コ

10

20

30

40

50

ーナーから絶縁基板 2 の中央に向けて次第に成長するようになる。また、絶縁基板 2 のコーナー部に発生したはんだ亀裂 C が基板上に搭載したシリコンチップ 3 (図 1 1 参照) との接合面域まで成長すると、絶縁基板 2 から放熱用金属ベース 1 へ伝熱する熱流束がはんだ亀裂 C により阻害される。このために、シリコンチップ 3 の発生熱に対する放熱性を妨げられ、その結果として半導体素子のジャンクション温度が異常上昇して熱破壊に至るおそれがある。

【 0 0 1 0 】

しかも、セラミックの絶縁基板 2 を採用して組立てた半導体装置では、絶縁基板 2 と金属ベース 1 との間の熱膨張係数差がシリコンチップ 3 と絶縁基板 2 との間の熱膨張係数差に比した大きく、かつ絶縁基板 2 と金属ベース 1 との間のはんだ接合部は絶縁基板 2 とシリコンチップ 3 との間のはんだ接合部と比べて接合面積も大である。これにより、温度サイクルの繰り返しによって絶縁基板 2 と金属ベース 1 との間のはんだ接合部に発生する歪み量が大きくなる。このために、はんだ接合部にはんだ亀裂 C が発生するまでの時間 (温度サイクル数) が短く、かつはんだ亀裂 C の進展速度も早まる。

【 0 0 1 1 】

なお、このような亀裂発生現象については、前記特許文献 2 には、絶縁基板にマウントする発熱部品である I G B T の配置を工夫することによって、はんだ接合部に生じた亀裂を成長し難くすることが開示されている。

【 0 0 1 2 】

一方、窒化アルミニウムなどのセラミック基板を用いた半導体モジュールにおいて、金属ベース 1 に銅 (熱膨張係数 16.5 ppm/K) よりも低熱膨張率の材料を用い、絶縁基板 2 と金属ベース 1 との熱膨張係数差を小さくしてはんだ接合部に加わる熱応力の緩和を図ることが従来から実施されている。具体的には、金属ベース 1 にアルミニウムと炭化珪素の複合材料 (熱膨張係数 7 ppm/K) , 銅とモリブデンとの複合材料 (熱膨張係数 $7 \sim 8 \text{ ppm/K}$) , モリブデン (熱膨張係数 5 ppm/K) などを使用している。

【 0 0 1 3 】

しかしながら、前記の低熱膨張材料は、銅 (熱伝導率 398 W/mK) に比べて熱伝導率が約半分の $180 \sim 210 \text{ W/mK}$ と著しく小さくて基板としての放熱性能が劣る。また、これら低熱膨張材料は、高融点で難加工性の SiC や Mo を焼結、含浸するなどの特殊な方法を用いて製造されるために価格も銅材に比べて高く、このことが半導体モジュールのコストアップを招く要因となっている。

【 0 0 1 4 】

さらに、前記と別なはんだ接合部に加わる応力の緩和策として、絶縁基板 2 と金属ベース 1 との間を接合するはんだ層を厚くし、はんだ接合部に発生する熱的応力を低減させるようにした方法も従来実施されている。しかしながら、この方法ははんだ接合部の長寿命化には効果がある反面、はんだ層を厚くすると接合部の熱抵抗が増大するために、シリコンチップの発生熱に対する放熱性が低下する。さらに、はんだ接合部のはんだ層を厚くすると、はんだの使用量が増大するために、モジュール組立工程 (はんだ付け工程) ではんだボールが発生したり、はんだ流出が起こって製品歩留まりが低下する。さらに、はんだ層の厚さを均一に保つことが技術的に困難になるといった問題もある。

【 0 0 1 5 】

本発明は上記の点に鑑みなされたものであり、パワー半導体素子などの発熱チップ部品を搭載して放熱用金属ベース上にはんだ接合した絶縁基板において、熱サイクルの繰り返しなどに起因してはんだ接合部にはんだ亀裂が発生するまでの時間を延ばし、さらにそのはんだ亀裂の成長を抑制してモジュールの長寿命化を図れるように改良した半導体装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 6 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明によれば、方形状のセラミック基板の両面に導体パ

10

20

30

40

50

ターンを接合形成してなる絶縁基板を用いた半導体装置において、第1の発明では、前記セラミック基板の四隅コーナー部を、面取り寸法が2 mm以上10 mm未満の範囲で面取りする。熱サイクルなどに起因してはんだ接合部に発生する応力集中を緩和させ、はんだに亀裂が発生するまでの時間を延ばすようにする。

【0017】

また、第2の発明では、前記セラミック基板のうら面側に形成した導体パターンの四隅コーナー部を、面取り寸法が2 mm以上10 mm未満の範囲で面取りする。この構成によっても、はんだ接合部に発生する応力集中の緩和が図られる。

【0018】

また、第3の発明では、前記第2の発明の特長を生かしつつ、絶縁基板としての導体回路パターンの有効面積を確保するための手段として、次記のように構成する。すなわち、前記セラミック基板のうら面側に形成した導体パターンの四隅コーナー部に、セラミック基板の対角線に交差して該導体パターンを横切るスリットを形成する（請求項1）。はんだ接合部の四隅コーナーに発生したはんだ亀裂を前記スリットで止めて、それ以上に亀裂が進展するのを防止するようにする。ここで、前記スリットは、その始端、終端が導体パターンのコーナー部から辺に沿って2 mm以上10 mm未満間隔をおいて位置するように形成し（請求項2）、スリットの幅寸法を0.5 mm以上2.1 mm未満の範囲に設定する（請求項3）。

【0019】

さらに、第4の発明では、前記半導体装置用絶縁基板の、前記導体パターンの層厚をセラミック基板の板厚より厚く設定する。これにより、絶縁基板の実効的な熱膨張係数を金属ベースの熱膨張係数に近づけてはんだ接合部に発生する応力を低減することができる。具体的には板厚0.2 mm以上0.4 mm未満のセラミック基板に対して、導体パターンの層厚を0.4 mm以上0.6 mm未満の範囲に設定するものとする。

【0020】

また、導体パターンの層厚をセラミック基板の板厚よりも厚くした前記の絶縁基板についても、セラミック基板あるいは導体パターンの四隅コーナー部に第1ないし第3の発明で述べた面取り、スリットを形成するとよい。

【0021】

このように、第1ないし第3の発明と第4の発明を組み合わせれば、はんだ接合部が疲労破壊に至るまでの時間をより一層延ばして長寿命化が図れる。

【0022】

なお、前記絶縁基板のうら面側に形成された導体パターンにはんだ接合される放熱用部材としての金属ベースは、板状の金属でもよいし、放熱フィンを備えた金属でもよい。前記板状の金属を用いる場合には、さらに放熱フィンを接合すればよい。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図示実施例に基づいて説明する。なお、各実施例の図中で、図11に対応する部材には同一符号を付してその説明は省略する。

【0024】

〔参考例1〕

図1(a)～(c)は本発明の第1の発明に対応する参考例を示すものである。

【0025】

まず、絶縁基板2は、方形状のセラミック基板10のおもて、うら両面に導体パターン11、12を直接接合法あるいは活性金属接合法などにより接合したものである。ここで、セラミック基板10は酸化アルミニウムに酸化ジルコニウムを添加した複合セラミック（特許第2883787号、特許第3176815号公報参照）で作られている。そのサイズは、例えば板厚が0.25 mm、外形寸法が40 mm×40 mmである。また、セラミック基板10のおもて、うら両面に接合形成した導体パターン11、12は、例えば厚さ0.25 mmの銅箔であり、セラミック基板10の両面域に銅箔を接合した後、エッチ

ングにより所定のパターンに形成する。あるいは、あらかじめ所定のパターンに形成した銅箔をセラミック基板 10 に接合してもよい。

【0026】

このセラミック基板の組成や導体パターンの形成方法については後述する他の実施例等についても同様である。

【0027】

そして、前記構成の絶縁基板 2 に対して、この参考例では図 1 (a) , (b) で示すようにセラミック基板 10 の四隅コーナーに面取り加工を施して面取り部 10 a を形成している。

【0028】

なお、セラミック基板 10 の製法としては、所望サイズの基板が複数面とれる大きさのセラミック板を焼成した後、このセラミック板から所望サイズのセラミック基板 10 を裁断して多面取りする方法がある。あるいはグリーンシートと呼ばれる焼成前の状態で所望サイズの基板を 1 枚ずつ型抜きし、その後に焼成してセラミック基板とする方法がある。そこで、前記の各製法で作成したセラミック基板 10 に対しては、次記のような方法で面取り部 10 a を形成するものとする。

【0029】

すなわち、焼成後のセラミック板から所望サイズのセラミック基板 10 を裁断する場合には、基板の裁断工程で面取り部 10 a の面取り加工を同時に行うものとする。なお、この裁断による面取り加工法では高い仕上がり寸法精度が得られる。また、面取り部 10 a の形状は直線状に限定されるものではなく、例えば円弧状に切断加工することも可能である。高い精度を確保するには図示例のように直線状に加工するのが好適である。一方、グリーンシートの状態で基板を 1 枚ずつ型抜きして焼成する場合には、基板抜き型の形状を選定することで、任意な形状の面取りが可能である。例えば、面取り部 10 a の形状を直線状、円弧状、あるいは直線状に面取りをして面取り線とセラミック板の辺との交点角部のみを R 形状にすることもできる。面取り部分の形状については後者の方法の方が自由度が高い。

【0030】

セラミック基板 10 のおもて、うら両面に接合した導体パターン 11 , 12 は次のように形成する。まず、セラミック基板 10 のうら面側に形成した導体パターン 12 (金属ベースに接合される) については、セラミック基板 10 の外周縁から若干内側に引っ込んだ領域に形成されている。そして、この導体パターン 12 をセラミック基板 10 の面取り部 10 a の内周に沿わせて形成するために、図示参考例では基板の四隅コーナー部において、導体パターン 12 が面取りされている。これに対して、セラミック基板 10 のおもて面側に形成した導体パターン 11 には、基板上に搭載するシリコンチップや他の電子部品、および外部導出端子の接続に対応した回路パターンが形成される。

【0031】

次に、セラミック基板 10 の四隅コーナーに形成した面取り部 10 a について、その形状の決め方を図 1 (b) で説明する。すなわち、図示例ではセラミック基板 10 に補助線で表した対角線 L と直交する向きに直線状の面取り加工を施して面取り部 10 a を形成している。この場合に、図中に表した面取り寸法 d (面取り加工を施す前のセラミック基板 10 の角部から辺に沿った距離) は、発明者等が行った実験、考察を基に、はんだ接合部に加わる熱応力の緩和効果が十分に発揮できるように 2 ~ 10 mm の範囲に設定している。なお、面取り部 10 a の形状は図示例の直線状のほか、円弧状 (R 10 ~ R 20 mm 程度) としてもよい。さらに図 1 (b) に記号 P で表した円内の部分 (直線状の面取り部 10 a とセラミック基板 10 の辺との交わる部分) を R 形状にしてもよい。

【0032】

また、図示参考例では、セラミック基板 10 の基本形状が正方形であることを想定してその対角線 L と直交する向きに直線状の面取り部 10 a を形成している。これに対して、長方形のセラミック基板に面取り部 10 a を形成する場合には、その四隅コーナー部に前

10

20

30

40

50

記条件の面取り寸法 d を設定した上で、辺と 45° の角度に面取り加工を施せばよい。さらに、直線状と異なる例えば円弧状の面取り部を形成する場合には、セラミック基板 10 の四隅コーナー部から斜め 45° の補助線を想定した上で、この補助線と面取り部 10a との交点で前記補助線と直交する向きに立てた垂線を基板の辺まで下ろし、この位置と基板コーナー部までの距離を面取り寸法 d として定義すればよい。

【0033】

次に、前記参考例のようにセラミック基板 10 の四隅コーナーを面取した絶縁基板と、面取り無しの従来の絶縁基板を供試試料として、発明者等が行った温度サイクル試験について述べる。すなわち、前記した 2 種類の絶縁基板（供試試料）を厚さ 4 mm の銅板の金属ベースに搭載し、基板のうら面側に形成した導体パターンと金属ベースとの間を SnPb はんだを用いてはんだ接合した。そして、この供試試料に対して $-40 \sim 125$ の温度条件で温度サイクル試験を行った。

10

【0034】

この温度サイクル試験の結果によれば、セラミック基板 10 のコーナー部に面取りを形成しない従来の基板では、約 2000 サイクルではんだ接合部に図 12 で述べたはんだ亀裂 C が発生した。また、そのはんだ亀裂 C は、熱応力が集中する基板のコーナー部分で最初に発生していることが認められた。

【0035】

これに対して、セラミック基板 10 の四隅コーナー部に面取り寸法 d を 3.5 mm として面取りを施した絶縁基板では、温度サイクル試験によりはんだ亀裂が発生するまでの温度サイクル時間は 5000 サイクル程度であった。また、面取り寸法 d を 7.0 mm にすると 6000 サイクルに延びることが確認された。

20

【0036】

また、前記の各供試試料について、発明者等は温度サイクル試験ではんだ接合部に加わる応力を調べた。これによると、面取り無しの絶縁基板（従来）のコーナー部のはんだ接合部に加わる応力集中度を 100 として、基板のコーナー部に面取り寸法 d を 3.5 mm して面取りを施したものでは、はんだ接合部の応力集中度が 73 に減少した。さらに、面取り寸法 d を 7.0 mm, 10 mm に増すと、面取り寸法の増加に対応して応力集中度は 72, 71 に低減した。この実測結果から、セラミック基板の四隅コーナー部を面取りするとことにより、はんだ接合部のコーナーに加わる応力集中が緩和されてはんだ接合部の疲労寿命が延びること確認された。

30

【0037】

なお、セラミック基板の面取り寸法 d を 10 mm より大きくした絶縁基板についても、前記と同様な温度サイクル試験を行ったところ、はんだ亀裂が発生するまでの時間は前記した値以上の顕著な改善は見られなかった。

【0038】

このことから、上記のようにセラミック基板 10 の四隅コーナー部に面取り寸法 2 ~ 10 mm の範囲に設定した面取り部 10a を形成することにより、はんだ接合部の疲労寿命が延びて、パワー半導体モジュールの信頼性が向上する。なお、セラミック基板 10 の面取り寸法 d を大きくすると、その分だけ絶縁基板 2 の有効伝熱面積が減少することを勘案して、実用的には面取り寸法 d を 7.0 mm 以下に設定するのが好ましい。

40

【0039】

〔参考例 2〕

次に、本発明の第 2 の発明に対応する参考例を図 2 に示す。この参考例では、方形状のセラミック基板 10 のおもて、うら両面に導体パターン 11, 12 を形成した絶縁基板 2 を次のように構成する。すなわち、セラミック基板 10 は方形状の原形のままです。本参考例において、セラミック基板の製法は、前述の所望サイズの基板が複数面とれる大きさに焼成したセラミック板を裁断して多面取りする方法でもよいし、所望サイズに型抜きして焼成する方法でもよい。

【0040】

50

そして、セラミック基板 10 のおもて，うら両面に形成した導体パターン 11，12 のうち、少なくとも基板のうら面側に形成して金属ベースとはんだ接合する導体パターン 12 について、その四隅コーナーに面取り寸法 d を 2 ~ 10 mm の範囲に設定して面取り部 12a を形成する。面取りを行うことによって、金属ベースとの間のはんだ接合部に生じる熱応力を緩和する。

【0041】

これに対して、セラミック基板 10 のおもて面側に形成した導体パターン 11 については、シリコンチップなどの部品のマウント，および外部導出端子とのワイヤボンディングに対して柔軟に対応させるようなパターン形状にすることができる。

【0042】

この構成によれば、導体パターン 12 に形成した面取り部 12a が先記参考例 1 の面取り部と同様に機能し、金属ベースとの間のはんだ接合部に加わる熱応力を緩和する。この点については、図 2 の絶縁基板 2 に対して先記参考例 1 で述べたと同様に温度サイクル試験を行った結果からも、はんだ接合部の疲労寿命が延びる効果の得られることが評価，確認されている。

【0043】

〔実施例 1〕

次に、本発明の請求項 1 ~ 3 に対応する実施例を図 3 (a)，(b) および図 4 に示す。この実施例においては、方形状のセラミック基板 10 のおもて，うら両面に導体パターン 11，12 を形成した絶縁基板 2 を次のように構成する。すなわち、セラミック基板 10 は方形状の原形のままする。本実施例において、セラミック基板の製法は、前述の所望サイズの基板が複数面とれる大きさを焼成したセラミック板を裁断して多面取りする方法でもよいし、所望サイズに型抜きして焼成する方法でもよい。

【0044】

セラミック基板 10 のおもて，うら両面に接合形成した導体パターン 11，12 のうち、放熱用金属ベース 1 (図 11 参照) にはんだ接合するうら面側の導体パターン 12 について、その四隅コーナー部にはその対角線と直交して導体パターン 12 を斜めに横切るように直線状のスリット 12b が形成されている。また、このスリット 12b はその幅 S を 0.5 ~ 2.1 mm の範囲に設定している。なお、スリット 12b は、図示例のように直線状に形成する以外に、円弧などの曲線状に形成してもよい。

【0045】

すなわち、セラミック基板 10，あるいは該基板のおもて面側に形成した導体パターン 11 について、先記参考例のようにその四隅コーナー部を面取りすると、面取りした部分が利用できるために、チップ部品などを搭載する回路パターンの面積が減少してワイヤボンディングや端子のはんだ付けエリアが制約を受けることになる。かかる点、この実施例の構成では、セラミック基板 10 は方形状の原形のままとした上で、図 3 (a) で示すようにチップ部品などを実装するおもて面側の導体パターン 11 には面取り部を設けずにその回路パターンの有効面積を最大に確保し、うら面側の導体パターン 12 についてのみ図 3 (b) で示すように四隅コーナー部にスリット 12b を形成しているので、基板の有効面積が減少することはない。なお、このスリット 12b を設ける箇所は、先記参考例 1，2 における導体パターン 12 の面取り位置に準じて設定すればよい。

【0046】

上記の構成により、図 4 のように絶縁基板 2 を放熱用金属ベース 1 に搭載してはんだ接合したモジュールの組立状態で、温度サイクルに伴う熱応力によって、金属ベースとの間のはんだ接合部のコーナーにはんだ亀裂 C が発生したとしても、そのはんだ亀裂 C は前記スリット 12b で止まり、それ以上に基板中央域に向けて亀裂 C が進展するのを阻止できる。また、このスリット 12b の幅 S を 0.5 ~ 2.1 mm の狭い範囲に設定することで、絶縁基板 2 と金属ベース 1 との間で高い伝熱性を確保しつつ、先記した各参考例の面取り部と同様に基板コーナー部のはんだ接合部分に発生した亀裂が基板中央域に向けて進展するのを効果的に阻止できる。この効果については、発明者の温度サイクル試験の結果からも

10

20

30

40

50

確認されている。

【0047】

また、この実施例の応用例として、スリット12bの外側に残された三角形状の導体パターン12c(図3(b)参照)について、その角部をR形状にするなどして面取りすることもできる。これにより、スリット12bと前記角部の面取りによる相乗効果ではんだ接合部に加わる熱応力をより一層低減できる。

【0048】

なお、以上述べた実施例等において、セラミック基板10の材料は、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、窒化珪素および酸化アルミニウムに酸化ジルコニウムを添加した複合セラミックなどが好適に使用できる。また、導体パターンの材料は、銅材に限定されるものではなく、銅とモリブデンの複合材料、銅と酸化銅の複合材料、アルミニウム、モリブデン、アルミニウムと炭化珪素の複合材料も適用できる。

【0049】

〔参考例3〕

次に、本発明の第4の発明に対応する参考例を図5～図9で説明する。まず、図5はこの参考例による絶縁基板2の構成を示し、セラミック基板10の材料は酸化アルミニウムに酸化ジルコニウムを添加した複合セラミックまたは窒化珪素、該セラミック基板10の表裏両面に形成した導体パターン11、12は銅箔である。ここで、導体パターン(銅箔)11、12の厚さをそれぞれ t_1 、 t_2 、セラミック基板10の板厚を t_3 として、 $t_1 > t_3$ 、 $t_2 > t_3$ 、 $t_1 = t_2$ となるように設定し、導体パターン11、12の層厚をセラミック基板10の板厚よりも厚くして絶縁基板2を構成している。また、製品としての実用的な値として、導体パターン11、12の層厚 t_1 、 t_2 を0.4～0.6mmとし、セラミック基板の板厚 t_3 を0.2～0.4mmの範囲に定めている。

【0050】

次に、前記構成の絶縁基板、および従来の絶縁基板を供試試料として、発明者等が行った温度サイクル試験について述べる。すなわち、供試試料として、セラミック基板の板厚を0.25mm、その両面に接合形成した導体パターン(銅箔)の厚さを0.5mmとして製作した絶縁基板を厚さ4mmの銅製ベース板にSnPbはんだを使ってはんだ接合した組立体、およびその比較例として板厚0.25mmのセラミック基板の両面に基板と同じ厚さ0.25mmの導体パターン(銅)を形成して製作した絶縁基板を前記と同じ厚さ4mmの銅製ベース板にSnPbはんだを使ってはんだ接合した組立体を用意した。そして、先記参考例1で述べたと同様な温度サイクル試験(温度サイクル条件:-40～125)を行った。

【0051】

この温度サイクル試験の結果によれば、導体パターンの厚さをセラミック基板の板厚と同じ0.25mmとした従来の絶縁基板では、約2000サイクルを経過したところで基板のコーナー部分にはんだ亀裂が発生することが認められた。これに対して、導体パターンの厚さを0.4mmとした絶縁基板では、温度サイクル試験によりはんだ亀裂が発生するまでの温度サイクル時間は3000サイクル程度となり、さらに導体パターンの厚さを0.5mmにすると、4000サイクルに延びることが確認された。このことから、導体パターン11、12の層厚をセラミック基板10の板厚よりも厚く設定することにより、はんだ亀裂の発生する温度サイクル時間が延びることが確認された。

【0052】

また、前記の温度サイクル試験と並行して、はんだ接合部に作用する熱応力の集中度について調べた。この結果からも、導体パターンの厚さがセラミック基板の板厚と同じ0.25mmである絶縁基板のはんだ接合部への応力集中度を100とすると、導体パターンの厚さが0.4mmでは応力集中度が93となり、さらに導体パターンの厚さが0.5mmでは応力集中度は88にまで低下した。このことから、導体パターンの厚みをセラミック基板の板厚よりも厚く設定し、かつその厚さを増大するにしたがいはんだ接合部の応力集中度が低減して、はんだ接合部の疲労寿命が延びるようになる。

【 0 0 5 3 】

ここで、はんだ接合部に発生する応力（歪み）をより効果的に低減するには、絶縁基板 2 と放熱用金属ベース 1 との熱膨張係数差ができるだけ小さい方がよい。そこで、前記構成による応力低減効果が実際の製品に反映できることを検証するために、発明者は次記のような考察を行った。まず、絶縁基板 2 はセラミック板 1 0 のおもて、うら両面に導体パターン（銅） 1 1 , 1 2 を接合した 3 層構造体であることから、セラミック基板 1 0 の熱膨張係数を α_1 、縦弾性係数を E_1 、厚さを h_1 、導体パターン 1 1 , 1 2 の熱膨張係数を α_2 、縦弾性係数を E_2 、厚さを h_2 とすると、絶縁基板 2 の実効的な熱膨張率 α_G は次式で表すことができる。

【 0 0 5 4 】

【数式 1】

$$\alpha_G = \alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \frac{E_2 h_2}{h_1 E_1 + h_2 E_2}$$

【 0 0 5 5 】

また、上式を用いて図 6 に示した基板モデルの熱膨張係数 α_G を算出すると、次表のようになる。

【 0 0 5 6 】

【表 1】

絶縁基板の熱膨張係数

セラミック 材 料	No.	セラミック			銅回路パターン			絶縁基板
		α_1 (ppm/K)	E_1 (GPa)	h_1 (mm)	α_2 (ppm/K)	E_2 (GPa)	h_2 (mm)	α_G (ppm/K)
ジルコニウム 添加 アルミナ	1	7.5	360	0.25	16.5	110	0.25	9.6
	2						0.4	10.5
	3						0.5	10.9
酸化珪素	1	4.0	300	0.25	16.5	110	0.25	7.4
	2						0.4	8.6
	3						0.5	9.3

【 0 0 5 7 】

上記の表から、セラミック基板 1 0 の材料がアルミナに酸化ジルコニウムを添加した複合材料、導体パターン（銅回路パターン） 1 1 , 1 2 が銅箔で、セラミック基板および導体パターンの厚さが同じ 0 . 2 5 mm である絶縁基板 2 の場合には、絶縁基板の熱膨張係数 α_G は 9 . 6 であり、銅製の金属ベース（熱膨張係数： 1 6 . 5 ppm / K）との熱膨張係数差は 6 . 9 となる。これに対して、セラミック基板の板厚を 0 . 2 5 mm として、絶縁基板の導体パターンの層厚を 0 . 4 mm に増すと、絶縁基板の熱膨張係数差は 6 . 0 に縮まり、導体パターンの厚さをさらに 0 . 5 mm に増すと熱膨張係数差は 5 . 6 まで縮小する。

【 0 0 5 8 】

なお、絶縁基板 2 においては、セラミック基板 1 0 と導体パターン 1 1 , 1 2 との熱膨張係数が異なるため、先述のように温度サイクルが加わるとセラミック基板と導体パターン端部との接合界面付近に応力が生じる。この応力は、基板の表面側において、温度サイクルの昇温過程では圧縮応力、降温過程では引張応力として作用し、この引張応力がセラミックの引張破壊強度を超えるとセラミック基板が破壊するおそれがある。また、この場

合に熱応力の解析から、導体パターンの厚みを増すと、セラミック基板の引張応力が増加するが知られている。

【 0 0 5 9 】

そのために、従来では窒化アルミニウムなどのように引張破壊強度が比較的小さいセラミックを用いた絶縁基板については、引張応力をセラミックの破壊強度以内に収まるようにするために、通常は導体パターンの厚さを 0 . 3 m m 以下に設定している。これに対して、セラミック基板の材料として引張破壊強度が窒化アルミニウムに比べて 3 倍以上高い酸化アルミニウムに酸化ジルコニウムを添加した複合セラミック（この複合セラミックについては、本発明と同一出願人より特許第 2 8 8 3 7 8 7 号，特許第 3 1 7 6 8 1 5 号で先に提案されている）、あるいは窒化ケイ素セラミックを用いれば、導体パターンの厚さを増すことによりセラミックに加わる引張応力は増加するが、その応力はセラミックの引張破壊強度を下回るのでセラミックが破壊することはない。

10

【 0 0 6 0 】

なお、図 9 に一般的なアルミナセラミック（厚さ 0 . 2 5 m m ）と高強度のジルコニア添加のアルミナセラミック（厚さ 0 . 2 5 m m ）について、その両面に接合形成した銅回路パターン（導体パターン）の厚さとセラミックに負荷される引張応力との関係を示す。これよりアルミナセラミックに銅を貼った場合は、引張応力がセラミックの引張破壊強度を上回っており、実際の温度サイクルにおいて数百サイクルでセラミックの破壊が発生する。

【 0 0 6 1 】

20

これに対して、ジルコニア添加のアルミナセラミックに銅を貼った場合は、引張応力がセラミックの引張破壊強度を下回っており、数千サイクルの温度サイクルにおいても、セラミックの破壊は発生しない。

【 0 0 6 2 】

さらに、この参考例によれば、導体パターン 1 1 , 1 2 の層厚をセラミック基板 1 0 の板厚よりも厚くすることで、次記のような効果も得られる。

【 0 0 6 3 】

（ 1 ） 絶縁基板上に実装したシリコンチップ（パワー半導体素子）3（図 1 0 参照）のジャンクション温度上昇を低く抑えられる。すなわち、図 7 は I G B T（シリコンチップ 3）のコレクタに 2 4 0 W の損失を負荷した実稼働の条件で実測した銅回路パターン（導体パターン 1 1）の厚さと、シリコンチップのジャンクション温度との関係を表した特性図である。この特性図から判るように、銅回路パターンの厚さを 0 . 2 5 m m から 0 . 5 m m に増すことにより、チップの温度上昇が 1 0 程度低下して信頼性が向上する。

30

【 0 0 6 4 】

（ 2 ） 絶縁基板の銅回路パターン（導体パターン 1 1）にボンディングしたアルミワイヤ（複数本）の温度上昇、およびその温度上昇のばらつきが低く抑えられる。すなわち、図 8（ a ）は通電に伴うボンディングワイヤの温度上昇を測定するために用意した測定サンプルであり、絶縁基板に接合形成した導体パターン 1 1（銅回路パターン）に対して、コレクタ電極 1 1 E との間に並置して合計 1 0 本のアルミワイヤ 5（ワイヤ番号（ 1 ）～（ 1 0 ））がボンディングされている。また、図 8（ b ）は前記測定サンプルのコレクタ電極に直流電流 6 0 0 A を 0 . 5 s e c 通電した時に、ワイヤ番号（ 1 ）～（ 1 0 ）ごとに測定してプロットしたアルミワイヤの上昇温度と、銅回路パターンの厚さとの関係を表した特性図である。

40

【 0 0 6 5 】

この特性図から判るように、通電に伴うアルミワイヤ 5 の上昇温度はワイヤ番号（ 1 ）～（ 1 0 ）の位置によってばらつき、銅回路パターンの厚さが 0 . 2 5 m m である場合は、温度上昇が最大となるワイヤ番号（ 1 ）の温度 9 5 と、温度上昇が最小なワイヤ番号（ 1 0 ）の温度 5 9 との間の温度差は 3 6 にもなる。

【 0 0 6 6 】

これに対して、銅回路パターンの厚さを 0 . 4 m m に増すと、アルミワイヤの上昇温度

50

は最大でも70（ワイヤ番号（1））で、最も温度の低いアルミワイヤ（ワイヤ番号（10））との温度差は僅か6に縮小してワイヤ温度のばらつきが小さくなる。

【0067】

つまり、セラミック基板に接合形成した導体パターン11の層厚を厚くすることにより、この導体パターン上に分散してボンディングしたワイヤの温度上昇が均一になる。これは、導体パターン11の層厚を厚くすることで電気抵抗が小さくなり、ここにボンディングしたワイヤの位置による抵抗の不均一性が解消されることによるものであり、これによりボンディングワイヤに通電する電流の不均衡化が防げる。

【0068】

また、導体パターン11の層厚を厚くすることにより電気抵抗が小さくなるので、回路パターン部（図示せず）の配線幅を狭くすることができる。回路パターン部の配線幅を狭くすれば、セラミック基板の面積を小さくすることができ、半導体装置を小型化することができる。

【0069】

そこで、本発明の別な参考例として、参考例3の構成による作用、効果を生かして、この参考例を先記の実施例1等で述べた基板コーナー部の面取り、スリットと組合せて絶縁基板を構成すれば、信頼性、寿命がより一層向上する。

【0070】

上述の各実施例等において、前記絶縁基板のうら面側に形成された導体パターンにはんだ接合される金属ベースは、放熱用部材として機能するものであって、板状の金属、例えば、銅、モリブデン、アルミニウム、アルミニウムと炭化珪素の複合材料を板状に加工したものである。導体パターンとのはんだによる接合性や熱伝導性から銅が好適である。さらに、はんだによる接合性を向上させるために、金属ベースの表面をメッキ処理したものをを用いてもよい。

【0071】

あるいは、前記金属ベースとして、放熱用部材としての金属製の放熱フィンでもよい。また、前記金属ベースとして、前記板状の金属を用いる場合に、さらに放熱フィンを接合すれば一層の放熱効果が得られる。

【0072】

【発明の効果】

以上述べたように、絶縁基板を用いた半導体装置について、本発明により次記の効果を奏する。

【0073】

（1）セラミック基板の四隅コーナー部に面取り部、あるいは導体パターンにスリットを形成した請求項1～3の構成を採用することにより、熱サイクルに起因する前記はんだ接合部の熱応力を緩和してはんだ亀裂が発生するまでの時間を延ばし、さらに亀裂の成長を抑制することができる。

【0074】

（2）導体パターンの厚さをセラミック基板の板厚より厚くした第4の発明の構成を採用することにより、はんだ接合部の疲労寿命の改善と併せて、基板上にマウントしたチップ部品などの温度上昇および回路部の電気抵抗を低減できる。

【0075】

（3）そして、半導体装置の信頼性向上、長寿命化が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の参考例1に係わる絶縁基板の構造図で、（a）は平面図、（b）は（a）におけるコーナー部の拡大図、（c）は側面図

【図2】 本発明の参考例2に係わる絶縁基板のうら面側の平面図

【図3】 本発明の実施例1に係わる絶縁基板の構成図で、（a）、（b）はそれぞれおもて面側、およびうら面側の平面図

【図4】 図3の絶縁基板を放熱用金属ベースにはんだ接合した組立状態の側面図

10

20

30

40

50

【図 5】 本発明の参考例 3 に係わる絶縁基板の側面図

【図 6】 図 5 の絶縁基板を模式的に表したモデル図

【図 7】 本発明の参考例 3 の補足説明図で、銅回路パターンの厚さと絶縁基板にマウントした半導体素子の通電時におけるジャンクション温度との関係を表す特性図

【図 8】 本発明の参考例 3 の補足説明図で、(a) は銅回路パターンにボンディングしたワイヤのサンプル配列図、(b) は絶縁基板の銅回路パターンの厚さと(a) に表したワイヤ番号のワイヤ上昇温度との関係を表す特性図

【図 9】 本発明の参考例 3 の補足説明図で、銅回路パターンの厚さとセラミック基板に発生する熱応力との関係を表す特性図

【図 10】 本発明の絶縁基板を適用するパワー半導体モジュールの組立構造図

10

【図 11】 図 10 における主要部の構造を模式的に表した図

【図 12】 熱膨張係数の異なる接合部材の間を接合したはんだ層に生じるはんだ亀裂の説明図

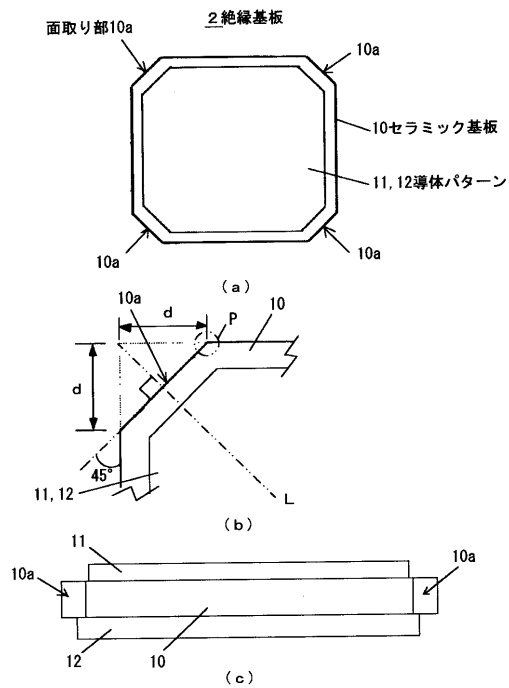
【図 13】 図 11 における絶縁基板のはんだ接合部に発生するはんだ亀裂の生成分布図

【符号の説明】

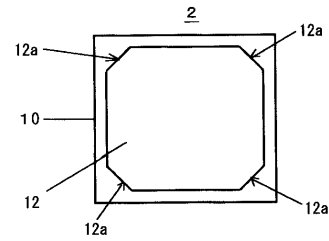
- 1 放熱用金属ベース
- 2 絶縁基板
- 3 パワー半導体素子(発熱チップ部品)
- 4 外部導出端子
- 5 ボンディングワイヤ
- 10 セラミック基板基板
- 10 a 面取り部
- 11 表面側の導体パターン
- 12 裏面側の導体パターン
- 12 b スリット
- 13 はんだ層
- d 面取り寸法
- S スリット幅

20

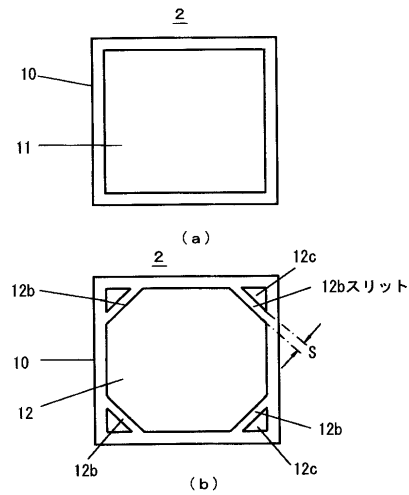
【図 1】



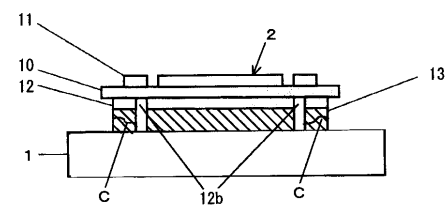
【図 2】



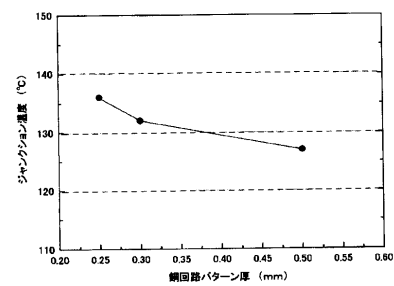
【図 3】



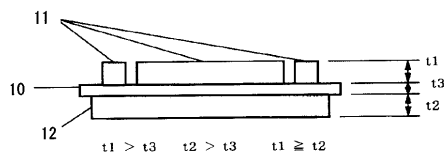
【図 4】



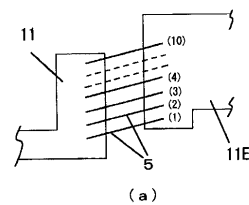
【図 7】



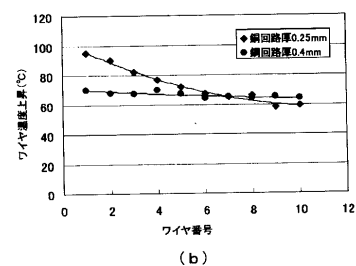
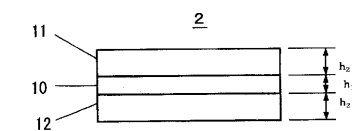
【図 5】



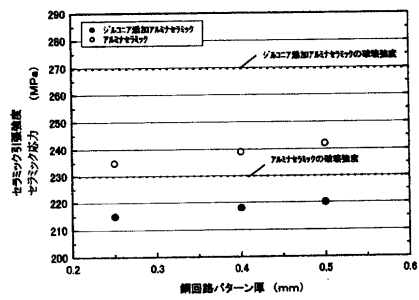
【図 8】



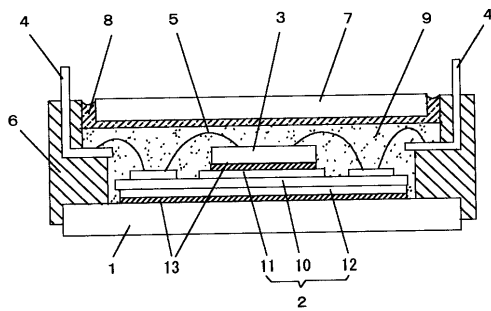
【図 6】



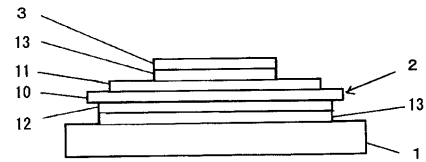
【図 9】



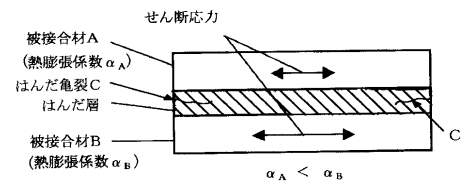
【図 10】



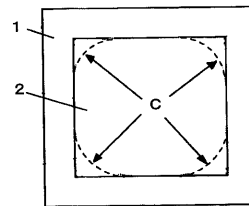
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

審査官 今井 淳一

- (56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 3 5 8 2 6 7 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 7 6 1 9 7 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 6 5 9 6 2 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 6 0 6 5 9 (J P , A)
特開平 0 9 - 3 0 7 0 2 0 (J P , A)
特開平 0 2 - 0 7 3 6 5 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 23/48
H01L 23/12
H01L 23/13
H01L 25/07
H01L 25/18
H05K 1/02