

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4319591号
(P4319591)

(45) 発行日 平成21年8月26日(2009.8.26)

(24) 登録日 平成21年6月5日(2009.6.5)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 23/29	(2006.01)	HO 1 L 23/30		B
HO 1 L 23/31	(2006.01)	HO 1 L 25/04		C
HO 1 L 25/07	(2006.01)			
HO 1 L 25/18	(2006.01)			

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-208703 (P2004-208703)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成16年7月15日(2004.7.15)	(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
(65) 公開番号	特開2006-32617 (P2006-32617A)	(74) 代理人	100068504 弁理士 小川 勝男
(43) 公開日	平成18年2月2日(2006.2.2)	(74) 代理人	100086656 弁理士 田中 恭助
審査請求日	平成18年6月7日(2006.6.7)	(74) 代理人	100094352 弁理士 佐々木 孝
		(72) 発明者	曾我 太佐男 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体パワーモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁基板と、この絶縁基板にはんだを介して固着された半導体チップと、この半導体チップ表面に接続されたワイヤと、前記半導体チップと前記ワイヤを含む収納部品の表面を覆う比較的軟らかい被覆樹脂と、これらの部品を収納するケースと、前記被覆樹脂の上に、前記被覆樹脂よりも硬い封止樹脂を充填した半導体パワーモジュールにおいて、

前記絶縁基板を、セラミック絶縁基板に直接アルミを接合した複合基板で形成し、

前記被覆樹脂を、前記ケースに収納された前記収納部品全体の表面に、ポリイミド系又はポリアミドイミド系の樹脂を散布又は塗布し、その後、硬化させて、前記収納部品の表面の実質的全域を50 μm以下の厚さで覆う線膨張係数が $60 \times 10^{-6} /$ 以下で、室温(15~20)におけるヤング率が3 GPa以下のポリイミド系又はポリアミドイミド系の樹脂で形成し、

前記封止樹脂を、線膨張係数が $14 \sim 24 \times 10^{-6} /$ 、室温(15~20)におけるヤング率が3~20 GPaで、その中にシリコン系ゴムの可撓化剤を、 $10 \pm 5 \text{ mass} \%$ 分散され、ガラス転移温度(Tg)が150以上のエポキシ系樹脂で形成したことを特徴とする半導体パワーモジュール。

【請求項2】

請求項1において、前記半導体チップの表面に接続されたワイヤは、テープ又はリードフレームであることを特徴とする半導体パワーモジュール。

【請求項3】

10

20

請求項 1 において、前記絶縁基板の他面に固着されたベース基板と、前記絶縁基板の外側で前記ベース基板に形成した溝を備えたことを特徴とする半導体パワーモジュール。

【請求項 4】

請求項 1 において、前記絶縁基板の一面に形成した電子部品搭載のための導電部と、この導電部に前記半導体チップを固着するはんだと、前記半導体チップの外側で前記導電部に形成した溝を備えたことを特徴とする半導体パワーモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、家電用、産業用、自動車用等に広く用いられる半導体パワーモジュールの改良に関する。

10

【背景技術】

【0002】

半導体スイッチング素子を内蔵した半導体パワーモジュールは、スイッチング素子の発熱量の大きさを考慮し、高熱伝導性でかつ高電気絶縁性の材料からなる絶縁板を用いるのが一般的である。発熱量の大きな中～大容量の製品では、絶縁板として、熱伝導率の高いセラミックが主として用いられているが、より低コスト化と同時に、長寿命化による信頼性の向上の両立が要求されている。

【0003】

特許文献 1 には、半導体モジュールの低コスト化及び長寿命化封止技術として、モジュール内の部品をプリコート材あるいはバッファコート材で全面保護し、その上にエポキシ系樹脂を注入することにより封止する構造が開示されている。具体的には、その図 2 に示すように、シリコーンゲルなどのゲル状物をバッファコート材として用いている。

20

【0004】

また、特許文献 2 には、樹脂封止型半導体装置において、封止樹脂とリードフレームとの間に軟らかい樹脂を介在させることにより、温度変化に対してリードフレームと封止樹脂との界面に生ずるせん断応力を緩和し、耐湿性を向上させる技術が示されている。

【0005】

なお、特許文献 3、4 には、パワー素子実装用の絶縁基板として、セラミック絶縁基板に高純度溶融アルミを直接に接合させた複合部材が開示されている。

30

【0006】

【特許文献 1】特開平 6 - 5742 号公報（段落番号 0003 ~ 0006、図 2）

【特許文献 2】特開平 11 - 163023 号公報（要約、その他全体）

【特許文献 3】特開平 11 - 263676 号公報（全体）

【特許文献 4】特開 2001 - 144224 号公報（全体）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献 1 に開示されたシリコーンゲルなどのバッファコート材は、その図 2 に示されたように、部品類を厚く全面保護しており、部品類に対して、エポキシ樹脂による保持力が活かされず、素子表面のはんだ等の寿命向上には繋がらない。

40

【0008】

また、特許文献 2 では、温度変化に対してリードフレームと封止樹脂との界面に生ずるせん断応力が緩和され、この部分の耐湿性は向上するものの、半導体素子等のモジュール内収納部品に対する応力的拘束力の配慮が無く、寿命向上には結びつかない。

【0009】

本発明の目的は、低コストで、耐湿性及び耐温度サイクル性に富み、長寿命の半導体パワーモジュールを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

50

本発明の望ましい実施態様によれば、セラミック絶縁基板に直接アルミを接合した複合材を絶縁基板とし、これにはんだにより半導体素子を接着し、この半導体素子を含む部品を収納するケース内において、これら収納部品の表面を軟らかい被覆樹脂で薄く覆うとともに、その上から封止樹脂を充填して比較的硬く硬化させ、半導体パワーモジュールを構成する。

【0011】

また、本発明の望ましい実施態様においては、絶縁基板上に半導体チップをはんだ付けし、この半導体チップとその表面に接続されたワイヤを含む部品をケースに収納し、これら収納部品を比較的軟らかい被覆樹脂で覆い、この被覆樹脂の上から、この被覆樹脂よりも硬い封止樹脂を充填した半導体パワーモジュールにおいて、前記絶縁基板を、セラミック絶縁基板に直接アルミを接合した複合基板で形成し、前記被覆樹脂を、ポリイミド系又はポリアミドイミド系の樹脂で形成し、前記封止樹脂を、線膨張係数が $1.4 \sim 2.4 \times 10^{-6} /$ 、室温(15～20)におけるヤング率が3～20 GPaのエポキシ系樹脂で形成する。

10

【0012】

さらに、本発明の望ましい実施態様においては、被覆樹脂の上から、この被覆樹脂よりも硬い封止樹脂を充填した半導体パワーモジュールにおいて、前記絶縁基板を、セラミック絶縁基板に直接アルミを接合した複合基板で形成し、前記被覆樹脂を、前記収納部品の表面の実質的全域を、50 μm以下の厚さで覆うポリイミド系又はポリアミドイミド系の樹脂で形成し、前記封止樹脂を、線膨張係数が $1.4 \sim 2.4 \times 10^{-6} /$ のエポキシ系樹脂で形成する。

20

【発明の効果】

【0013】

本発明の望ましい実施態様によれば、複合材絶縁基板と、軟らかい被覆樹脂及び所定の物性の封止樹脂の組合せによって、耐温度サイクル性や対湿性に富み長寿命の半導体パワーモジュールを、1層だけのはんだ付け工程などにより経済的に提供することができる。

【0014】

より具体的には、従来、2階層ではんだ付けした工程が、(1)メタライズ、はんだ材等の材料、プロセス工程が簡素化され、はんだ付けは1階層で済む大幅なコストの低減、(2)界面及びろう付け部での熱損出がなくなることによる熱性能向上、(3)柔らかい純アルミ(99～99.999%)を直接接合した複合絶縁基板と、軟らかい被覆樹脂、並びに、エポキシ系封止樹脂の組合せによって、低コストで、小型・軽量、高信頼性で長寿命の半導体パワーモジュールを提供できる。

30

【0015】

本発明のその他の目的と特徴は、以下に述べる実施形態の中で明らかにする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下に、本発明による実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0017】

図1は、本発明の第1の実施形態による半導体パワーモジュールの断面図である。A1₂O₃、AlN、Si₃N₄等のセラミック絶縁基板102の両面に、高純度アルミ放熱基板4、溶融アルミによる導電部6、15を直接接合したAl・セラミックス複合絶縁部材を用いる。Al-セラミックス界面の接合原理は特許文献4に開示されている。基板102の反りを柔らかい高純度Alの変形で開放する構造であり、脆いセラミック基板102の場合にも界面破壊発生を未然に防いでいる。

40

【0018】

このAl₂O₃セラミック絶縁基板102上には、99～99.99%純度のAlが直接張り合わされており、このAl表面の接続に必要な箇所をNiもしくはNi/Auフラッシュめっきを施す。また、Sn-3Ag-0.5CuのPbフリーはんだペーストを塗布し、この上に、薄膜メタライズを施したMOSFET、IGBTなどのパワー半導体チ

50

チップ1及び外部リード2を位置決めする。その後、チップ1、リード2等の部品を一括して窒素で置換後、真空はんだ3付けでリフロー接続を行う。洗浄後、Al線8の超音波ワイヤボンディング(WBと略す)接続により、導電部6を介して外部リード2が接続される。

【0019】

次に、柔軟なポリイミド系あるいはポリアミドイミド系樹脂9を、実装した基板表面側の全域に溶媒で薄め、均一に薄く散布もしくは塗布し、硬化させる。この被覆樹脂9は、硬化後の厚さが10~50 μm であり、Siチップ、Al等に対して密着力がある。なお、ポリアミドイミド系樹脂9は、ケース110内に収納した部品の全体に亘って均一に散布もしくは塗布するが、部分的に厚くなっても良い。この被覆樹脂9の上から、エポキシ系封止樹脂10をポッティングして硬化させる。封止樹脂10は、低ヤング率で、かつはんだの線膨張係数(21 $\times 10^{-6}$ / $^{\circ}\text{C}$)にほぼ合わせた線膨張係数(14~24 $\times 10^{-6}$ / $^{\circ}\text{C}$)を持つエポキシ系樹脂である。

10

【0020】

この構造により、パワーサイクル、温度サイクル試験においても、エポキシ系樹脂構造の弱点とされる樹脂とSiチップ、セラミック絶縁基板、Al等の界面における応力による剥離破壊及びそれに伴う耐湿性の低下を防止する。ポリイミド系樹脂9は、チップ1、セラミック絶縁基板102、アルミ4,6,15及びエポキシ系封止樹脂10との密着力に優れ、柔らかく変形性に富み、かつ耐熱性でTgが高い(約260 $^{\circ}\text{C}$)。これを薄く塗布することで、応力、歪みが強く作用する界面において、ポリイミド系樹脂9自体が変形し、界面における剥離、破壊等を防止し、耐湿性を確保する。

20

【0021】

他方、はんだ3の寿命向上には、低ヤング率で、はんだ3に合わせた線膨張係数を有するエポキシ系封止樹脂10の拘束効果が必要である。封止樹脂10は、Siチップ1、セラミック絶縁基板102、Alベース基板4等を拘束し、かつ素子部、チップ外周部の応力集中を緩和させる。

【0022】

本発明の第1の実施態様において採用したセラミック基板は、セラミック絶縁基板102に、高純度溶融アルミ(Al)の放熱基板4と、同じく高純度溶融アルミ(Al)の導電部6及び15を直接に接合した構造である。これに、1階層のはんだ付けで、はんだ3により半導体チップ1等を固着する。これらをケース110内に収納し、まず、実装面全体を軟らかい被覆樹脂9及び比較的硬い封止樹脂10で封止することによって、チップ1、セラミック基板102、Al基板4等をポリイミドを介して応力的に拘束し、はんだ3の寿命を向上させる。これにより、チップ端部、素子部、セラミック端部等の応力集中を緩和させ、樹脂との界面剥離防止、チップ及びセラミック破壊防止、Alの疲労破壊防止を図る。この結果、低コスト、高性能、高信頼半導体パワーモジュールを実現することができる。

30

【0023】

ところで、樹脂封止半導体パワーモジュールでは、封止樹脂10のヤング率が高すぎると、チップ1、セラミック102等の割れ等の破壊が起き、耐圧破壊の恐れがある。そこで、室温(15~20 $^{\circ}\text{C}$)における前記エポキシ系封止樹脂10のヤング率を3~20GPaとする。より望ましくは、ヤング率を5~10GPaとする。エポキシ系封止樹脂10のヤング率が比較的高くても可能な理由は、軟らかいポリイミド被覆樹脂9との複合作用による。このはんだ3の寿命向上とともに、チップ端部、素子部の応力による樹脂との界面剥離防止、チップ破壊防止及びモジュール反り防止を図ることができる。また、パワーモジュールの熱放散性を考慮し、下面は柔らかく接触し易い高純度Al4が露出した構造としている。

40

【0024】

さらに、ワイヤ8が、テープ、リードフレーム構造とした場合は、チップ上のはんだの大幅な寿命向上、素子部の破壊防止を図ることができる。ポリイミド系被覆樹脂9を50 μm 以下に薄く塗布することで、弱点であるエポキシ樹脂10の界面近傍での見掛け上のヤ

50

ング率を大幅に下げ、かつ、エポキシ樹脂 10 による拘束力で端部での応力集中を緩和することができる。

【0025】

このように、高純度溶融アルミの導電部を直接に接合した複合材セラミック絶縁基板と組合せて、軟らかく比較的線膨張係数及びヤング率が低く密着力のあるポリイミド被覆樹脂 9 と、低膨張化したエポキシ系封止樹脂 10 の保持力とで機能を分担させた。これによって、工程を簡易化して経済的に、厳しい環境においても耐えられる高信頼、長寿命の半導体パワーモジュールを提供することができる。

【0026】

なお、被覆樹脂 9 は、ポリイミド樹脂に限らずポリイミドとシリコンの変性体、フィラーを含むポリイミド等、封止樹脂 10 より硬度が低いものであれば適用できる。

10

【0027】

また、封止樹脂 10 は、前記物性の選定に加え、ガラス転移温度 (T_g) が 150 以上の樹脂を使用することにより、ガラス転移温度に達することによる線膨張係数の急激な (2 ~ 3 倍) 上昇を避けることで、半導体パワーモジュールの信頼性を向上できる。

【0028】

以上に述べた本発明の第 1 の実施形態を要約すると次の通りである。まず、絶縁基板 102 と、この絶縁基板上にはんだ 3 を介して固着された半導体チップ 1 と、この半導体チップ表面に接続されたワイヤ 8 を備えている。これらの部品は、ケース 110 に収納され、このケース内で前記半導体チップ 1 と前記ワイヤ 8 を含む収納部品の表面を、比較的軟らかい被覆樹脂 9 で薄く覆っている。そして、この被覆樹脂 9 の上に、この被覆樹脂 9 よりも硬い封止樹脂 10 を充填した半導体パワーモジュールを対象とする。

20

【0029】

ここで、前記絶縁基板は、セラミック絶縁基板 102 に直接アルミ導電部 4 及び 6 を接合した複合基板で形成され、前記はんだ 3 は、線膨張係数が約 $21 \times 10^{-6} /$ のはんだ材で形成されている。また、前記被覆樹脂 9 は、前記収納部品の表面の実質的全域を、50 μm 以下の厚さで覆うポリイミド系又はポリアミドイミド系の樹脂で形成されている。最後に、前記封止樹脂 10 は、線膨張係数が $14 \sim 24 \times 10^{-6} /$ 、室温 (15 ~ 20) におけるヤング率が 3 ~ 20 GPa のエポキシ系樹脂で形成されている。

【0030】

封止用のエポキシ系樹脂の条件としてはチップ寸法、試験条件の厳しさ等にもよるが、低ヤング率で、かつはんだの線膨張係数に合わせることは言うまでもない。軟らかいポリイミド樹脂の塗布によりエポキシ系樹脂のヤング率としては、高めの最大 20 GPa でもチップ破壊を防止できる。

30

【0031】

図 2 は、本発明の実施例に用いる封止樹脂のゴム配合率と石英フィラーの配合量を示す図であり、フィラーとゴムの配合率に対する基板の端子部破壊による断線を調べた評価結果である。薄膜で配線を施した破壊し易いソーダガラス基板 (熱膨張係数; $9.3 \times 10^{-6} /$) 上に Si チップをはんだバンプで接続した。その隙間及び周囲に樹脂を充填し、硬化後、温度サイクル試験 (-40 ~ 100) を実施し、樹脂物性による素子、基板の端子部破壊による断線を調べる評価法を採用した。パワーモジュール構造そのものではないが、樹脂の基板及びチップへの熱応力的影響を調べるのに適した評価法である。フィラーの適正範囲は広く見積もると 20 ~ 60 vol % である。ゴムはエポキシ樹脂 100 g f に対する重量部で表示した。ゴムを分散する配合率が 20 重量部 (16.7 % に相当) 以上では分散が不均一になると共に、それ自体の線膨張係数が大きく、混入後の線膨張係数が大となり、耐熱疲労性を低下させる原因となる。判定法として、樹脂のない裸チップ構造 (シリコンゲル構造と同等) の寿命よりも短い場合を \times とし、長い場合を程度に応じ、優れる: 印、大幅に優れる: 印とした。その結果から、ゴム配合量としては、均一分散性を考慮し、 $10 \pm 5 \text{ mas s } \% (5 \sim 15 \text{ mas s } \%)$ が望ましいことが分かる。なお、ゴムの効果はヤング率をそれ程大きく変えないが、入っていないとガラス割れ

40

50

を起こしていることから、熱衝撃時の急激な温度変化に対し、衝撃緩和効果がある。

【0032】

図3は、本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数とヤング率のグラフであり、エポキシ系樹脂に対するフィラー、可撓化剤添加と充填樹脂物性との関係を示す。Siチップ等への密着性に優れるエポキシ系樹脂の機械的性質を決めるフィラー配合量と可撓化剤添加量が、線膨張係数及びヤング率に及ぼす影響、及び可撓化剤添加量による線膨張係数対ヤング率の関係への影響について示す。エポキシ化合物としてAER-8501（アデカ社製）、CEL-2021P（ダイセル社製）を用い、硬化剤は酸無水物でMHAC-P（日立化成社製）、可撓化剤はX-22-166C（信越化学社製）を用いた。他に、分散剤S-2（日立化成社製）、界面活性剤A-187（日本ユニカ社製）、充填剤FB-30X（電気化学社製）を用いた。一液性の無溶剤系で、25℃での粘度は520 Poiseで、ポッティング用として使用した。不純物濃度測定は硬化物を100メッシュ以下に粉碎し、この微粉末5gと脱イオン水50mlをテフロン（登録商標）~SUS二重容器に入れ、120℃で240h保持し、抽出イオン成分をイオンクロマトグラフを用いて行った。Na⁺, K⁺; 1ppm、Cl⁻; 5ppmである。硬化条件は110℃（10h）/200℃（10h）で、Tgは170℃ある。なお、パワーモジュールのポッティング用、モールド用としては一液性樹脂である必要はなく、使い易い二液性樹脂が良い。また、溶剤が抜け易い構造であれば、無溶剤系でなく樹脂組成等の制約の少ない溶剤系で良いので、流動性から開放され、広い範囲の樹脂系が選べる利点がある。上記組成で配合量を変えた各種の検討を行った。

10

20

【0033】

図3(a)は、上記エポキシ系樹脂に石英フィラーの配合量(vol%)を変えた場合の線膨張係数とヤング率の関係を示す。エポキシ化合物と充填剤を合計した体積%(vol%)である。エポキシの線膨張係数とヤング率の関係は逆相関の関係にあり、図2で得た結果の適正フィラー配合量; 20~60vol%に相当する線膨張係数の範囲は概略(50~14)×10⁻⁶/℃である。線膨張係数が大きくなっても、ヤング率が下がることにより寿命は向上するが、モジュールの反りが大きくなるので、線膨張係数を上げられない制約がある。

【0034】

Pbフリーの代表的なSn-3Ag-0.5Cuはんだの線膨張係数; 21×10⁻⁶/℃に相当するフィラー配合量は、この樹脂系では約55vol%である。その時のヤング率はこのエポキシ素材では室温で約8GPaになる。従って、はんだに近く、モジュール基板が反らないエポキシ系樹脂の線膨張係数の適正な範囲として、(14~24)×10⁻⁶/℃と定めると、この樹脂系における適正フィラー配合量としては、概略45~60vol%になる。エポキシの素材が柔らかい場合は、フィラーを配合しても配合比率の割りにヤング率が低い樹脂となる。また、粒度分布等でも配合量が変わるので、配合量と線膨張係数の関係は一つの目安である。但し、エポキシ系樹脂材料のアプローチとして、線膨張係数をはんだに合わせて、ヤング率を下げることは困難な状況にあるので、予め界面により柔らかいポリイミド系樹脂薄く塗布する2層化した複合樹脂構造で、物性としての評価はできないが、各々の機能を引き出すことを考えた。

30

40

【0035】

図3(b)は、同一エポキシ樹脂系でフィラーが50vol%の入っている樹脂にゴムの可撓化剤を添加した場合の物性を示す。可撓化剤として高温で変質しないシリコン系としてエポキシシリコン、アミノシリコン、ヒドロキシシリコン等が可能である。ここでは溶解度の観点で優れるエポキシシリコン; 信越化学(株)社製X-22-166Cを用いた。ベースの樹脂が決まると線膨張係数とヤング率はフィラー量で決まり、可撓化剤の添加量の及ぼす影響は少ない。可撓化剤は微細粒として分散することが前提であり、15mass%以上では均一分散できなくなり、逆に、線膨張係数が増すデメリットから10±5%レベルが望ましい。

【0036】

50

図4は、本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数、チップ応力、はんだ歪のグラフであり、樹脂構造パワーモジュールの設計指針を得るための封止用エポキシ系樹脂の線膨張係数に対するチップ応力、はんだ歪を示している。図4(a)のグラフ中に示す断面モデル構造で、パワーサイクル試験における半導体チップ端部Bの相当応力、はんだのクラック起点Aの相当歪の有限要素法による3次元弾塑性解析を行った。温度プロファイルは、実績のある120 20 120 20の変化で、1.5サイクルの温度変化で発生した半導体チップ端部Bの相当応力振幅及びはんだのクラック起点Aでの相当歪振幅を求めた。なお、半導体チップ表面に作用する応力として、相当応力の他に主応力、 x 、 y 、 z 等での評価も行ったが、ほぼ相当応力に比例していることから、ここでは相当応力で評価した。図4(a)、(b)中に示した枠は樹脂の線膨張係数の適正領域 $(14 \sim 24) \times 10^{-6} /$ を示す。

10

【0037】

図4(a)から、樹脂のヤング率はチップ端部の応力に直接に影響を与えることが分かる。同一ヤング率の場合、ヤング率が低い15GPaレベルでは、樹脂の線膨張係数が $(14 \sim 24) \times 10^{-6} /$ の広い範囲で、相当応力は変わらない。適正領域では更にその傾向が強い。ヤング率が約20GPaを超える(ここでは曲線は省略)とチップ表面部にかかる相当応力は、線膨張係数が $30 \times 10^{-6} /$ 以上になると急激に上昇する傾向がある。樹脂のヤング率が高いと、相当応力は樹脂の線膨張係数が低い程小さくなる。即ち、ヤング率が約20GPaレベルまでは、チップに作用する相当応力は樹脂のヤング率に依存し、線膨張係数に余り依存しない。

20

【0038】

図4(b)から、同一ヤング率の場合、樹脂10のヤング率が高い程、はんだのクラック起点Aの相当歪は小さくなり、かつ樹脂10の線膨張係数が下がる程、相当歪は小さくなる事が分かる。しかも、破線で示したシリコングル充填構造の値と比べると、樹脂の線膨張係数が $(10 \sim 40) \times 10^{-6} /$ の広い範囲で、はんだの相当歪は低い値を示し、はんだの寿命はシリコングル充填構造より長いことを意味している。実際のパワーサイクル加速試験でも、この樹脂構造では、Al線のワイヤボンド部でショートしても、はんだに起因する寿命低下は生じていないことを確認した。これは、樹脂10によりはんだ3の応力集中を緩和する作用と考えられ、有限要素法解析でも確認できた。

【0039】

図5は、本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数に対するチップ応力とはんだ歪みのグラフである。図5中に示した枠は、樹脂の線膨張係数の適正領域 $(14 \sim 24) \times 10^{-6} /$ を示す。横軸に樹脂の線膨張係数を取り、縦軸にはんだのクラック起点Aの相当歪(左)と半導体チップ表面素子端部Bに作用する相当応力(右)をプロットしたものである。破線は、シリコングルで全体を充填した場合はんだのクラック起点の相当歪である。樹脂10の線膨張係数が $(14 \sim 24) \times 10^{-6} /$ の範囲で、本実施形態の樹脂被覆構造(窓枠部の上段)は、シリコングルで全体を被覆した構造よりも、はんだ3のクラック起点Aでの相当歪は小さい。従って、本実施形態の物性を有する樹脂10を用いると、シリコングル封止構造に比べ、はんだの歪は小さいことから、はんだによる断線はより少なくなる。また、半導体チップ端部Bの相当応力(窓枠部)も小さく、Siの破壊応力(100MPa)以下にあり、素子部の破壊、界面での剥離等が起こり難いことから、良好な結果が得られた。

30

40

【0040】

図6は、本発明の実施例に用いる封止樹脂のヤング率と樹脂による拘束の関係を示す解析結果のグラフである。樹脂のヤング率を変えた場合に、半導体チップ1(10×0.5mm厚さ)とAl₂O₃基板103(10×1mm厚さ)間に樹脂10を入れ、150から-55に変化させた。このとき、最外周部の両者の相対変位(L)を2次元熱弾塑性解析で求め縦軸に示した。樹脂10の線膨張係数は $25 \times 10^{-6} /$ として計算した。図6より、変位を拘束する樹脂10のヤング率は少なくとも1GPa以上であることが分かる。更に、チップを拘束する効果が確実に現われる樹脂10のヤング率は3GPa

50

以上である。15 GPa以上では変位は余り変わらないが、Siチップ1の界面に作用する応力が大きくなり、チップ素子部への影響、チップ界面剥離、素子部の破壊、チップ割れ等を起こしやすくなる。このため、弱い半導体チップ表面を保護する意味からも、ヤング率の高い樹脂は問題である。また、製品により、弱い素子もあり、高歩留まりで高信頼性を確保するにはヤング率を下げるのが重要である。有限要素法による3次元弾塑性解析でも物性による違いを確認できた。なお、ヤング率(曲げ弾性率)の測定に当っては、硬化物を5×10×100 mmに切削し、JIS-6911規定の曲げ試験片を作製した。これを、島津製作所製オートグラフDSS-5000を用い、曲げ速度1 mm/min、支点間距離80 mmの両端指示中央集中荷重法によって測定した。

【0041】

10

図7は、本発明の第2の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図である。同図(a)はトランスファモールド方式で作製する工程を示し、この場合はフェライト板116を上面の金型117の離型剤が施された裏面に固定して作製した場合の断面を示す一例である。上下の金型117は、ヒータを埋め込んだ上下のプラテンで固定される。図1と同一符号は同一物を示す。118は樹脂注入口、119は樹脂排出口である。

【0042】

図7(b)は金型を取り外したパワーモジュールの断面である。モールドした樹脂10は、ベース基板4から離れ難い形状になっている。

【0043】

一般にはフェライト層(板)がない構造であるが、この場合はチップ上部及びその周辺をフェライト層(板)を取り付け、応力的負担のない位置に高周波ノイズ対策、電磁的遮断効果を持たせた構造とした。フェライト板116を上面の金型117の離型剤が施された裏面に固定して作製した場合の断面を示す一例である。該フェライトの板、フェライト層は応力的には影響のない場所にあるので、フェライト粉末を耐熱性のある接着剤で固着した板でも良く、あるいは封止用樹脂のフィラー材として混合しても可能である。この場合、低熱膨張の石英フィラーとは異なるので、強度面、低膨張化で劣るフェライトフィラーは密着力、強度には影響しない場所での使用が可能である。フェライト粉末として一例として、 $NiFe_2O_4 \cdot ZnFe_2O_4$ があるが、これに限定されるものではない。

20

【0044】

上下の金型117はヒータを埋め込んだ上下のプラテンで固定される。図7(b)は金型を取り外したパワーモジュールの断面である。モールドした樹脂10はベース基板4から剥がれ難いようにAl板の端部は加工されている。

30

【0045】

以上の構造でパワーサイクル試験を行った結果、ジャンクション温度 T_j : 50~150 °Cでは、10000サイクルでも破壊せず、はんだのクラック進展は殆ど認められないことが分かった。

【0046】

以上の実施形態によれば、セラミック絶縁基板に高純度Alを直接に接合した構造を使用することで、材料、工程が不要になる。また、Pbフリー化も容易になり、トータルでの大幅なコスト削減を可能にし、かつ信頼性を向上し、小型・軽量の半導体パワーモジュールを提供することができる。

40

【0047】

図8は、本発明の第3の実施形態による半導体パワーモジュールの平面構造図である。この実施形態では、エポキシ系樹脂によるチップへの応力緩和、界面における水の侵入経路を長く、複雑にすることによる耐湿性向上策を施したものであり、Al溶湯で直接に接合せしめたAl-セラミック複合基板のAl電極部を加工した例である。

【0048】

図8(a)は、切削加工、ダイシング加工等で溝71, 72を形成した例である。一方、図8(b)は、エポキシ系樹脂による応力集中の激しい場所であるチップ四隅の位置に、エッチングによる窪み721を加工した例である。

50

【 0 0 4 9 】

図9は、図8のA-A'断面図である。図1と同一符号は同一物を示す。これらより、チップ1、セラミック基板102、樹脂間で作用する応力集中部の応力を分散させて、端部界面での樹脂との剥離防止、チップ破壊防止を図る。なお、四隅の溝721は、チップ等の位置決め用としても活用できる。また、樹脂はチップ表面側の全体を覆うので、セラミック基板102端部近傍での応力集中を緩和する。このため、A1ベース基板4の周囲に溝71を加工を施すことで、セラミック基板の強度が低い場合、セラミック破壊を防止することができる。溝は71は、四角にする必要はなく、図8(a)に示すように、直線的にして交叉させても良い。

【 0 0 5 0 】

図10は、図9の実施形態における丸く破線で囲ったC部の拡大図である。図1と同一符号は同一物を示す。セラミック絶縁基板102の表面には、溶融アルミによる導電部6、15が直接接合されている。これら導電部6と15の間で溝72を形成している。この溝72を含めた収納部品の表面全体に、ポリイミド被覆樹脂9が塗布され、更に、エポキシ系封止樹脂10を充填した状態を示している。

【 0 0 5 1 】

図11は、本発明の第4の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図である。図1と同一符号は同一物を示す。この実施形態は、A1ベース基板4の実装面側で、セラミック絶縁基板102の周囲を取り囲むように、溝71を形成したものである。この溝71は、予め機械加工、エッチング等により形成することで、セラミック絶縁基板102とA1ベース基板4間の外周部界面において、エポキシ系樹脂10からの応力がストレートに伝わらないように開放させている。また、図9及び図10と同様に、チップ1のA1導電部15と、リード線2のA1導電部6との間にも溝72を形成している。この溝72は、界面における水の浸透する距離を長くする役割を果たすので耐湿性を向上させる効果もある。

【 0 0 5 2 】

図12は、本発明の第5の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図である。図1と同一符号は同一物を示す。この実施形態では、リードフレームの伸び剛性による影響が、直接に素子部に及ぼさないようにペローズ型リードフレーム17を採用した例である。パワー素子のため大電流を流す必要から、チップ当たり10本レベルの直径300 μ mのA1線を超音波ワイヤボンディング(WB)で接続する方式に比べ、WBより放熱効果に優れたリードフレームが注目されている。A1線の代わりに、Cuリードフレーム等をはんだ付けする方式である。チップのジャンクション部の真上にCuリードがあるため、熱はリード上で均熱化され、熱衝撃は緩和される。しかし、ジャンクション部で直接はんだ付けされる構造のため、接合部の温度は高く、融点が低いはんだでは熱疲労による劣化に課題がある。そこで、耐熱性のあるポリイミド樹脂及び既述の物性を有し、かつ、170 μ mレベルの高Tgエポキシ系樹脂で封止することで、樹脂によるはんだの熱疲労劣化を防止し、大幅な寿命向上が期待できる。リードフレームとしては、無酸素Cu以外は、軟らかい高純度A1リード(NiもしくはNi/Auフラッシュめっき)、熱伝導率がCu並みに優れ、線膨張係数が約 $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であるCu-C複合板等が望ましい。Cu-C複合板は、Cuと高純度カーボングラファイトのナノレベルの粒径で作られた粉末もしくは繊維を焼結した複合材である。Cu-Cの場合は、アルミナ並みの線膨張係数であることから、Cuに比べSiチップへの応力的負担が少なく、樹脂で補強することで高信頼性を確保できる。

【 0 0 5 3 】

鉛フリーはんだとしては高温のSn-5Sb(融点:232~240 $^\circ\text{C}$)を使用することで、パワーサイクルに対してもジャンクション部での温度上昇に対しての温度マージンを確保できる。更に、高温対応としては、280 $^\circ\text{C}$ でも強度を確保できるCu粒子混入Sn系はんだ複合材等がある。

【 0 0 5 4 】

10

20

30

40

50

以上の実施形態によれば、汎用の Al_2O_3 基板、 AlN 基板、 Si_3N_4 基板、 SiC 基板等の絶縁基板に対して、実用的には99～99.99%の純度の柔らかい Al を直接接合した基板の使用により、基板の反りを抑制し、基板破壊を防止することができる。また、2つの異なった機能を有する樹脂の組合せにより、大型チップ、厳しいパワーサイクル、温度サイクル試験に対してもより耐えられる構造となり、はんだの熱疲労寿命と耐湿性を同時に向上させる。これに伴ない、モジュールの反りを抑え、かつ素子部の保護を兼ねた長寿命の半導体パワーモジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明の第1の実施形態による半導体パワーモジュールの断面図。

10

【図2】本発明の実施例に用いる封止樹脂のゴム配合率と石英フィラー配合率図。

【図3】本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数とヤング率のグラフ。

【図4】本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数、チップ応力、はんだ歪のグラフ

。

【図5】本発明の実施例に用いる封止樹脂の線膨張係数に対するチップ応力とはんだ歪みのグラフ。

【図6】本発明の実施例に用いる封止樹脂のヤング率と樹脂による拘束の関係を示す解析結果のグラフ。

【図7】本発明の第2の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図。

【図8】本発明の第3の実施形態による半導体パワーモジュールの平面構造図。

20

【図9】図8のA-A'断面図。

【図10】図9の実施形態における丸く破線で囲ったC部の拡大図。

【図11】本発明の第4の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図。

【図12】本発明の第5の実施形態による半導体パワーモジュールの断面構造図。

【符号の説明】

【0056】

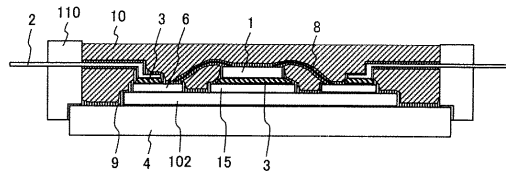
1...半導体チップ、2...外部リード、3...はんだ、4...ベース基板(溶融 Al)、5...メタライズ膜(溶融 $Al/Ni/Au$ フラッシュめっき)、6...導電部(溶融 Al)、7, 71, 72...溝、721...窪み、8... Al 線、9...ポリイミド系の被覆樹脂、10...エポキシ系の封止樹脂、14...薄膜導電部、15...導電部(溶融 Al)、17...ペローズ型
リードフレーム、102...セラミックス絶縁基板、110...ケース、116...フェライト

30

。

【図1】

図1



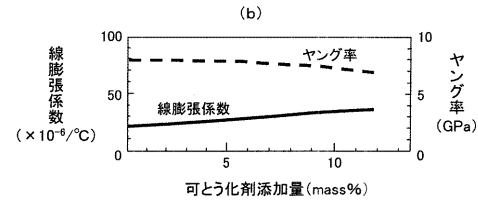
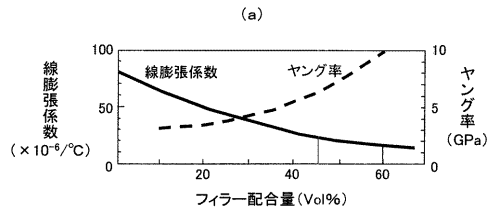
【図2】

図2

石英フィラー 配合量 (vol%)	ゴム配合率(重量部)							
	0	0	1	5	10	15	20	25
0	x	x	x	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	△	△	x	x
30	x	x	△	△	△	△	x	x
35	x	△	△	○	○	△	x	x
40	x	△	○	○	△	△	x	x
50	x	△	○	○	△	△	x	x
55	x	△	○	○	△	△	x	x
60	x	x	△	△	x	x	x	x

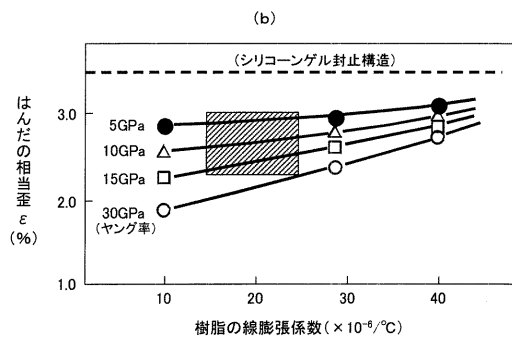
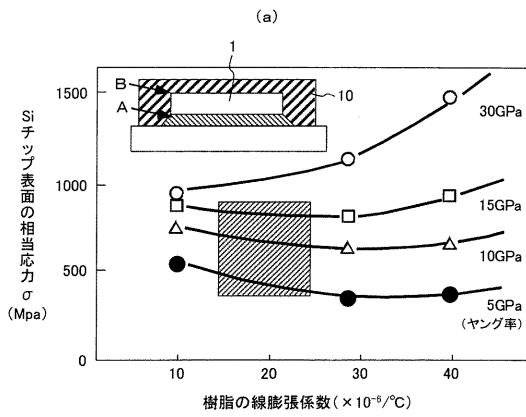
【図3】

図3



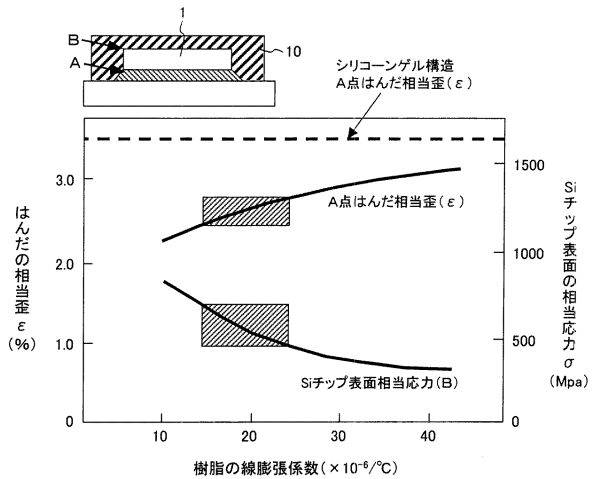
【図4】

図4



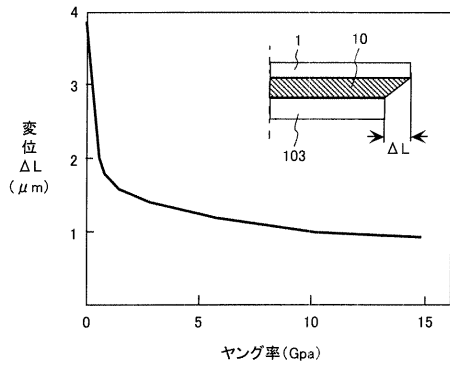
【図5】

図5



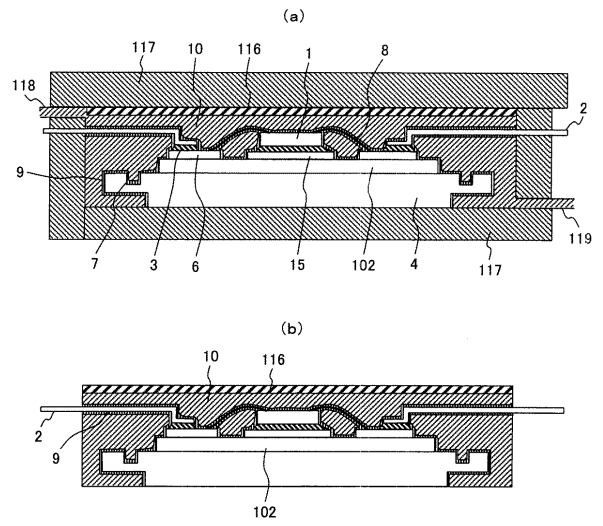
【図6】

図6



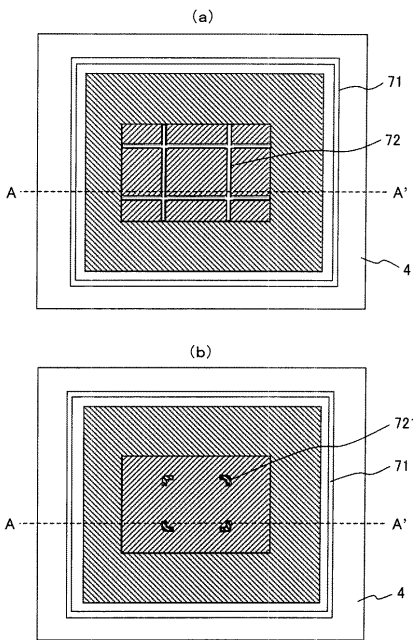
【図7】

図7



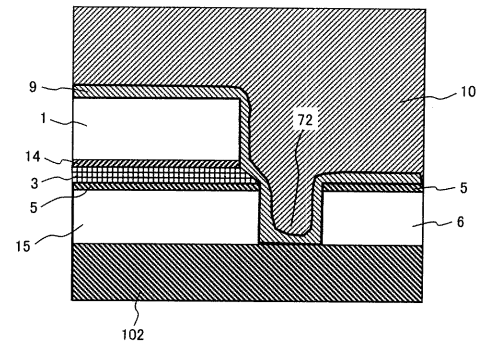
【図8】

図8



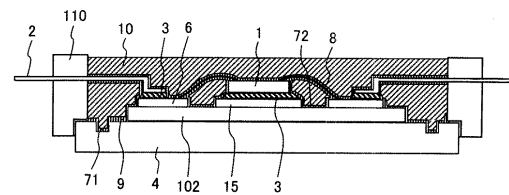
【図10】

図10



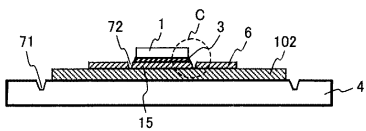
【図11】


図11



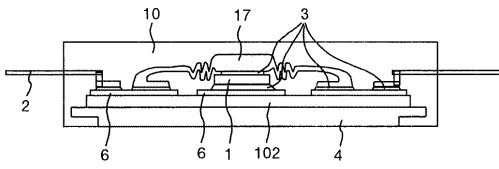
【図9】

図9



【 1 2】

 1 2



フロントページの続き

- (72)発明者 川瀬 大助
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 田中 主税
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立事業所内
- (72)発明者 森崎 英一
茨城県日立市弁天町三丁目10番2号 日立原町電子工業株式会社内
- (72)発明者 鈴木 和弘
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

審査官 宮崎 園子

- (56)参考文献 特開平01-225142(JP,A)
特開2002-203942(JP,A)
特開2002-076551(JP,A)
特開2003-238652(JP,A)
特開2003-037222(JP,A)
特開2001-011286(JP,A)
特開2001-144119(JP,A)
特開平08-113645(JP,A)
特開平11-233712(JP,A)
特開平07-221265(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 23/29
H01L 23/31