

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4376798号
(P4376798)

(45) 発行日 平成21年12月2日(2009.12.2)

(24) 登録日 平成21年9月18日(2009.9.18)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 23/36 (2006.01) H O 1 L 23/36

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-8264 (P2005-8264)	(73) 特許権者	00004260
(22) 出願日	平成17年1月14日(2005.1.14)		株式会社デンソー
(62) 分割の表示	特願2002-196140 (P2002-196140) の分割		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
原出願日	平成14年7月4日(2002.7.4)	(74) 代理人	100123191
(65) 公開番号	特開2005-109526 (P2005-109526A)		弁理士 伊藤 高順
(43) 公開日	平成17年4月21日(2005.4.21)	(74) 代理人	100145595
審査請求日	平成17年1月14日(2005.1.14)		弁理士 久保 貴則
審判番号	不服2007-27379 (P2007-27379/J1)	(74) 代理人	100147234
審判請求日	平成19年10月4日(2007.10.4)		弁理士 永井 聡
(31) 優先権主張番号	特願2001-225963 (P2001-225963)	(74) 代理人	100096998
(32) 優先日	平成13年7月26日(2001.7.26)		弁理士 碓水 裕彦
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	平野 尚彦
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内

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】

半導体素子と、この半導体素子の裏面に接合され電極と放熱を兼ねる第1の金属体と、前記半導体素子の表面側に接合され電極と放熱を兼ねる第2の金属体と、前記半導体素子の表面と前記第2の金属体との間に接合された第3の金属体とを備え、前記一对の放熱板の一面が露出するように装置のほぼ全体を樹脂でモールドした半導体装置において、

前記半導体素子と前記金属体とを接合する接合層における塑性歪み率が1%以下となるように、前記半導体素子の厚さを250μm以下とすると共に、

前記半導体素子の厚さ寸法をt1とし、前記第1の金属体及び前記第2の金属体の厚さ寸法をt2としたときに、

$$\frac{t2}{t1} \leq 5$$

が成立するように構成したものであって、

前記モールド樹脂により装置全体を拘束保持するように構成したことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】

半導体素子と、この半導体素子の裏面に接合され電極と放熱を兼ねる第1の金属体と、前記半導体素子の表面側に接合され電極と放熱を兼ねる第2の金属体と、前記半導体素子の表面と前記第2の金属体との間に接合された第3の金属体とを備え、前記一对の放熱板の一面が露出するように装置のほぼ全体を樹脂でモールドした半導体装置において、

前記半導体素子表面のせん断応力が35MPa以下となるように、前記半導体素子の厚

さを $250 \mu\text{m}$ 以下とすると共に、

前記半導体素子の厚さ寸法を t_1 とし、前記第 1 の金属体及び前記第 2 の金属体の厚さ寸法を t_2 としたときに、

$$\frac{t_2}{t_1} \leq 5$$

が成立するように構成したものであって、

前記モールド樹脂により装置全体を拘束保持するように構成したことを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】

前記 3 個の金属体のうちの少なくとも 1 つの金属体の厚みを 1.0 mm 以上としたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体装置。

10

【請求項 4】

前記接合層を Sn 系はんだで構成したことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記半導体素子のデバイス構造を、トレンチゲートタイプとしたことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 6】

前記金属体の熱膨張係数を α_1 とし、前記樹脂の熱膨張係数を α_2 としたときに、

$$0.5 \leq \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \leq 1.5$$

が成立するように構成したことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

20

【請求項 7】

前記半導体素子の裏面の面粗度を R_a としたときに、

$$R_a \leq 500 \text{ nm}$$

が成立するように構成したことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 8】

前記一对の放熱板は、その一面が前記樹脂から露出するようにモールドされていることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記半導体素子と前記第 1 の金属体とは、接合層により直接接合されていることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の半導体装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発熱素子と、この発熱素子の両面に接合された一对の放熱板とを備えて成る半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば高耐圧・大電流用の半導体チップ（発熱素子）は、使用時の発熱が大きいため、チップからの放熱性を向上させるための構成が必要になる。この構成の一例として、チップの両面に一对の放熱板を例えば半田層を介して接合する構成が、従来より、考えられており、この構成によれば、チップの両面から放熱できるので、放熱性が向上する。そして、上記した両面放熱型の半導体装置は、全体が樹脂でモールドされている。尚、一对の放熱板の各外面は、放熱性を良くするために、露出されるように構成されている。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記構成の半導体装置においては、半導体チップ、ヒートシンク、樹脂の熱膨張係数の差が大きいため、これら 3 つの部材の接触部にかなり大きな熱応力が作用し、この熱応力によって、半導体チップが破壊されてしまうことがある。この傾向は、半導体装置に加わ

50

る熱サイクルの温度差が大きいほど顕著である。

【0004】

そこで、本発明の目的は、大きな熱応力が作用したとしても、素子破壊を防止することができ、半導体装置の長期的信頼性を向上させることができる半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

請求項1の発明では、半導体素子と金属体とを接合する接合層における歪み成分が1%以下となるように、前記半導体素子の厚さを250 μ m以下とすると共に、モールド樹脂により装置全体を拘束保持するように構成したので、耐冷熱サイクル性や耐クリープ性等の耐久性を向上させることができる。

10

【0006】

また、請求項2の発明のように、半導体素子表面のせん断応力が35MPa以下となるように、前記半導体素子の厚さを250 μ m以下とすると共に、前記モールド樹脂により装置全体を拘束保持するように構成することが好ましい。

【0007】

また、請求項3の発明のように、3個の金属体のうちの少なくとも1つの金属体の厚みを1.0mm以上とすることも好ましい構成である。

【0008】

請求項4の発明によれば、接合層をSn系はんだで構成したので、接合の強度が高くなると共に、接合層における歪み成分を低減できる。また、請求項5の発明のように、半導体素子のデバイス構造をトレンチゲートタイプとすることが好ましい。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の第1の実施例について、図1ないし図4を参照しながら説明する。まず、図1は、本実施例の半導体装置の概略構成を示す断面図である。この図1に示すように、本実施例の半導体装置1は、半導体チップ(発熱素子、半導体素子)2と、下側ヒートシンク(放熱板、第1の金属体)3と、上側ヒートシンク(放熱板、第2の金属体)4と、ヒートシンクブロック5(第3の金属体)とを備えて構成されている。

【0010】

この構成の場合、半導体チップ2の下面と下側ヒートシンク3の上面との間は、接合部材である例えば半田(接合層)6によって接合されている。そして、半導体チップ2の上面とヒートシンクブロック5の下面との間も、半田(接合層)6によって接合されている。更に、ヒートシンクブロック5の上面と上側ヒートシンク4の下面との間も、半田(接合層)6によって接合されている。これにより、上記構成においては、半導体チップ2の両面からヒートシンク3、4(即ち、一对の放熱板)を介して放熱される構成となっている。

30

【0011】

尚、上記半導体チップ2は、例えばIGBTやサイリスタ等のパワー半導体素子から構成されている。この場合、半導体チップ2のデバイス構造を、トレンチゲートタイプとすることが好ましい。もちろん、他のタイプのデバイス構造を用いるように構成しても良い。

40

【0012】

上記半導体チップ2の形状は、本実施例の場合、図2(a)に示すように、例えば矩形状の薄板状である。また、下側ヒートシンク3、上側ヒートシンク4及びヒートシンクブロック5は、例えばCuやAl等の熱伝導性及び電気伝導性の良い金属で構成されている。この構成の場合、下側ヒートシンク3及び上側ヒートシンク4は、半導体チップ2の各主電極(例えばコレクタ電極やエミッタ電極等)に半田6を介して電氣的にも接続されている。

【0013】

50

また、下側ヒートシンク 3 は、図 2 (a) に示すように、全体として例えばほぼ長形状の板材であり、端子部 3 a が後方へ向けて延びるように突設されている。また、ヒートシンクブロック 5 は、図 2 (a) に示すように、半導体チップ 2 よりも 1 回り小さい程度の大きさの矩形の板材である。更に、上側ヒートシンク 4 は、図 2 (d) に示すように、全体として例えばほぼ長形状の板材で構成されており、端子部 4 a が後方へ向けて延びるように突設されている。尚、下側ヒートシンク 3 の端子部 3 a と、上側ヒートシンク 4 の端子部 4 a は、互いの位置がずれるように、即ち、対向しないように構成されている。

【 0 0 1 4 】

また、上記構成の場合、下側ヒートシンク 3 の上面と上側ヒートシンク 4 の下面との間の距離は、例えば 1 ~ 2 mm 程度になるように構成されている。図 1 及び図 2 においては、上記距離をかなり拡大して示している。

10

【 0 0 1 5 】

更に、図 1 に示すように、一对のヒートシンク 3、4 の隙間、並びに、チップ 2 及びヒートシンクブロック 5 の周囲部分には、樹脂 (例えばエポキシ樹脂) 7 が充填封止されている。この場合、ヒートシンク 3、4 等を樹脂 7 でモールドするに当たっては、上下型からなる成形型 (図示しない) を使用している。尚、樹脂 7 とヒートシンク 3、4 との密着力、樹脂 7 と半導体チップ 2 との密着力、並びに、樹脂 7 とヒートシンクブロック 5 との密着力を強くするために、上記樹脂 7 をモールドする前に、コーティング樹脂である例えばポリアミド樹脂 (図示しない) をヒートシンク 3、4、ヒートシンクブロック 5 及びチップ 2 の表面に塗布しておくことが好ましい。

20

【 0 0 1 6 】

次に、上記した構成の半導体装置 1 の製造方法 (即ち、製造工程) について、図 2 を参照して簡単に説明する。まず、図 2 (a) 及び (b) に示すように、下側ヒートシンク 3 の上面に、半導体チップ 2 とヒートシンクブロック 5 を半田付けする工程を実行する。この場合、下側ヒートシンク 3 の上面に半田箔 8 を介してチップ 2 を積層すると共に、このチップ 2 の上に半田箔 8 を介してヒートシンクブロック 5 を積層する。この後、加熱装置 (リフロー装置) によって上記半田箔 8、8 を溶融させてから、硬化させる。

【 0 0 1 7 】

続いて、図 2 (c) に示すように、チップ 2 の制御電極 (例えばゲートパッド等) とリードフレーム 9 a、9 b とをワイヤーボンディングする工程を実行する。これにより、例えば A 1 や A u 等製のワイヤー 1 0 によってチップ 2 の制御電極とリードフレーム 9 a、9 b とが接続される。

30

【 0 0 1 8 】

次いで、図 2 (d) 及び (e) に示すように、ヒートシンクブロック 5 の上に上側ヒートシンク 4 を半田付けする工程を実行する。この場合、図 2 (d) に示すように、ヒートシンクブロック 5 の上に半田箔 8 を介して上側ヒートシンク 4 を載せる。そして、加熱装置によって上記半田箔 8 を溶融させてから、硬化させる。

【 0 0 1 9 】

このとき、図 2 (e) に示すように、上側ヒートシンク 4 の上に例えば重り 1 1 を載置することにより、上側ヒートシンク 4 を下方へ向けて加圧するように構成されている。これと共に、上側ヒートシンク 4 と下側ヒートシンク 3 との間に、スペーサ治具 (図示しない) を取り付けることにより、上側ヒートシンク 4 と下側ヒートシンク 3 との間の距離を設定距離に保持するように構成している。

40

【 0 0 2 0 】

この構成の場合、半田箔 8 が溶融する前の状態では、上側ヒートシンク 4 と下側ヒートシンク 3 との距離は、スペーサ治具の設定距離よりも大きくなるように構成されている。そして、半田箔 8 が溶融すると、重り 1 1 の加圧力により、溶融した半田層の部分が薄くなり、上側ヒートシンク 4 と下側ヒートシンク 3 との距離がスペーサ治具の設定距離と等しくなる。このとき、半田層は、適度な薄さまで薄くなるように構成されている。そして

50

、溶融した半田層が硬化すれば、チップ2とヒートシンク3、4とヒートシンクブロック5の接合及び電氣的接続が完了する。

【0021】

この後、ポリアミド樹脂を、ヒートシンク3、4とヒートシンクブロック5とチップ2の表面等に塗布する工程を実行する。この場合、例えばディッピングにより塗布しても良いし、ポリアミド樹脂塗布用のディスペンサのノズルから滴下（または噴霧）することにより塗布しても良い。尚、ポリアミド樹脂は必要に応じて塗布すれば良く、ポリアミド樹脂の塗布を省略しても良い。

【0022】

そして、ポリアミド樹脂を塗布した後は、図示しない成形型を使用して、ヒートシンク3、4の隙間及び外周部に樹脂7を充填する工程（モールド工程）を実行する。これにより、図1に示すように、ヒートシンク3、4の隙間及び外周部等に、樹脂7が充填封止される。そして、樹脂7が硬化した後、成形型内から半導体装置1を取り出せば、半導体装置1が完成する。尚、上記構成の場合、下側ヒートシンク3の下面及び上側ヒートシンク4の上面が、それぞれ露出するように樹脂モールドされている。これにより、ヒートシンク3、4の放熱性を高めている。

10

【0023】

さて、上記構成の半導体装置1においては、半導体チップ2の厚さ寸法を t_1 とし、下側ヒートシンク3の厚さ寸法を t_2 としたときに、 $t_2 / t_1 \geq 5$ が成立するように構成した。尚、本実施例の場合、上側ヒートシンク4の厚さ寸法も t_2 としている。

20

【0024】

ここで、厚さ寸法 t_1 、 t_2 の条件式、即ち、厚さ比率（ t_2 / t_1 ）を上記したように設定した理由について説明する。本発明者らは、試作や実験等を実行することにより、上記厚さ比率の条件式が成立する構成であれば、半導体チップ2を保持するための圧縮応力を大きくすることができると共に、半導体チップ2の表面のせん断応力を低減することができることを確認した。

【0025】

具体的には、厚さ比率を変えた半導体装置1を試作し、各試作品の素子圧縮応力を測定し、図3に示すグラフを得た。この図3のグラフにおいて、横軸は厚さ比率を示し、縦軸は素子圧縮応力比を示し、プロットが実際に試作した半導体装置1を示している。ここで、素子圧縮応力比は、厚さ比率が3.75の半導体装置1の素子圧縮応力を1.00と定義した場合の数値である。

30

【0026】

この厚さ比率が3.75（即ち、素子圧縮応力比が1.00）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させると、半導体チップ2が割れてしまうことを確認している。そして、厚さ比率が2.5（即ち、素子圧縮応力比が0.98）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させたときも、半導体チップ2が割れてしまうことを確認している。

【0027】

これに対して、厚さ比率が7.00（即ち、素子圧縮応力比が1.09）と厚さ比率が15.00（即ち、素子圧縮応力比が1.13）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させた場合、両者の半導体チップ2が割れないことを確認している。即ち、厚さ比率ひいては素子圧縮応力比が大きいほど、半導体チップ2が割れ難くなることを確認している。

40

【0028】

従って、図3のグラフから、厚さ比率（ t_2 / t_1 ）を5.00以上に設定すれば、素子圧縮応力を十分大きく保持することができ、その半導体装置1に対して大きな熱応力が作用しても、素子破壊の発生を防止できることがわかる。これによって、半導体装置1の長期的信頼性を向上させることができる。

【0029】

50

また、厚さ比率を変えた半導体装置1の各試作品の素子表面のせん断応力を、シミュレーションによって計算し、図4に示すグラフを得た。この図4のグラフにおいて、横軸は厚さ比率を示し、縦軸は素子表面のせん断応力比を示し、プロットが実際に試作した半導体装置1を示している。ここで、せん断応力比は、厚さ比率が3.75の半導体装置1のせん断応力を1.00と定義した場合の数値である。

【0030】

この厚さ比率が3.75（即ち、せん断応力比が1.00）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させると、半導体チップ2の表面付近の樹脂が剥離してしまうことを確認している。そして、厚さ比率が2.5（即ち、せん断応力比が1.02）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させたときも、半導体チップ2の表面付近の樹脂が剥離してしまうことを確認している。

10

【0031】

これに対して、厚さ比率が7.00（即ち、せん断応力比が0.6）と厚さ比率が15.00（即ち、せん断応力比が0.15）の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させた場合、両者の半導体チップ2の表面付近の樹脂が剥離しないことを確認している。即ち、厚さ比率が大きいほど（即ち、せん断応力比が小さいほど）、半導体チップ2表面の樹脂が剥離し難くなることを確認している。

【0032】

従って、図4のグラフから、厚さ比率（ t_2 / t_1 ）を5.00以上に設定すれば、せん断応力を十分低減することができ、その半導体装置1に対して大きな熱応力が作用しても、素子表面の樹脂の剥離を防止できることがわかる。これによって、半導体装置1の長期的信頼性を向上させることができる。

20

【0033】

尚、上記実施例の場合、厚さ比率を大きくすれば、良い効果が得られることはわかっているが、厚さ比率をあまり大きくすることは困難である。というのは、厚さ比率を大きくする方法は、2つあり、1つの方法は半導体チップ2の厚み寸法 t_1 を薄くすることであり、他の1つの方法はヒートシンク3、4の厚み寸法 t_2 を厚くすることである。

【0034】

しかし、半導体チップ2の厚み寸法 t_1 を薄くする場合、0.1mm程度が加工限界であり、ヒートシンク3、4の厚み寸法 t_2 を1.0mm程度に固定すると、厚さ比率は15が限界となる。一方、ヒートシンク3、4の厚み寸法 t_2 を厚くする場合には、半導体装置1の全体の厚み寸法が厚くなってしまいうので、実用上（製品上）の制約がある。従って、厚さ比率は15程度が限界であり、チップの加工のし易さ及び実用上の制約から見ると、ベストの厚さ比率は7~8程度となる。

30

【0035】

また、上記実施例においては、ヒートシンク3、4の材料として、ヤング率が常温で100GPa以上の金属や合金等の材料を使用することが好ましい。上記100GPa以上のヤング率の材料は、硬く、十分な剛性があることから、十分な大きさの圧縮応力を得ることが可能になるためである。尚、圧縮応力を大きくするためには、材料の剛性が大きいほど良い。

40

【0036】

そして、上記ヤング率の条件を満たすヒートシンク3、4の材料としては、例えばCu、Cu系合金、Al、Al系合金等があり、これらの金属や合金を使用すれば良い。

【0037】

また、上記実施例において、半導体チップ2とヒートシンク3、4及びヒートシンクブロック5とを接合する半田6の具体的材料としては、例えばSn-Pb系、Sn-Ag系、Sn-Sb系、Sn-Cu系などの2元系、或いは、多元系組成から適宜選択すれば良い。更に、モールド用の樹脂7としては、エポキシ系などの適正な素材の中から適宜選択すれば良い。

【0038】

50

尚、上記実施例においては、下側ヒートシンク 3 及び上側ヒートシンク 4 の両方の厚み寸法を t_2 としたが、これに限られるものではなく、下側ヒートシンク 3 の厚み寸法だけを t_2 とし、上側ヒートシンク 4 の厚み寸法を t_2 と異なる寸法にしても良いし、反対に、上側ヒートシンク 4 の厚み寸法だけを t_2 とし、下側ヒートシンク 3 の厚み寸法を t_2 と異なる寸法にしても良い。

【0039】

図 5 ないし図 7 は、本発明の第 2 の実施例を示す図である。この第 2 の実施例は、第 1 の実施例の半導体装置 1 において、ヒートシンク 3、4 の熱膨張係数を α_1 とし、樹脂 7 の熱膨張係数を α_2 としたときに、 $0.5 < \alpha_1 < 2$ 、 $1 < \alpha_2 < 1.5$ が成立するように構成したものである。

10

【0040】

本発明者らは、試作や実験等を実行することにより、上記熱膨張係数の条件式が成立するように構成した半導体装置 1 であれば、半導体チップ（発熱素子）2 の表面の端部に対する引張り応力及び半導体チップ 2 の表面のせん断応力を低減できることを確認した。以下、実験結果等に基づいて、上記熱膨張係数の条件式が有効であることを具体的に説明する。

【0041】

まず、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を変えた半導体装置 1 の各試作品の半導体チップ 2 の表面の端部における引張り力、即ち、Z 方向の応力を、シミュレーションによって計算し、図 5 に示すグラフを得た。この図 5 のグラフにおいて、横軸は樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を示し、縦軸は Z 方向の応力を示し、プロットが実際に試作した半導体装置 1 を示している。尚、Z 方向は、半導体チップ 2 に直交する方向、即ち、図 1 における上下方向である。また、半導体装置 1 の各試作品のヒートシンク 3、4 は例えば Cu で形成されており、Cu の熱膨張係数 α_1 は 17 ppm である。

20

【0042】

上記図 5 から、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 が大きくなるほど、Z 方向の応力、即ち、半導体チップ 2 の表面の端部の引張り力が小さくなり、半導体チップ 2 を強固に保持できることがわかる。

【0043】

次に、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を変えた半導体装置 1 の各試作品の半導体チップ 2 の表面におけるせん断応力を、シミュレーションによって計算し、図 6 に示すグラフを得た。この図 6 のグラフにおいて、横軸は樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を示し、縦軸はせん断応力を示し、プロットが実際に試作した半導体装置 1 を示している。

30

【0044】

この場合、せん断応力は、0 に近いほど好ましく、その絶対値が大きくなると、良くないことがわかっている。そして、上記図 6 に示す 5 個の試作品については、大きな熱応力を作用させても、樹脂 7 の剥離等の発生は確認しておらず、熱膨張係数 α_2 が 25 ppm であっても、そのときのせん断応力が問題ないことを確認している。

【0045】

ここで、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 をヒートシンク 3、4 の熱膨張係数 α_1 で表現し、これを横軸とし、更に、縦軸を、Z 方向の応力（即ち、半田の降伏応力）と、せん断応力の絶対値として、図 7 に示す 2 つのグラフ（曲線）A 及び B を得た。この場合、曲線 A が Z 方向の応力と樹脂 7 の熱膨張係数との関係を示し、曲線 B がせん断応力と樹脂 7 の熱膨張係数との関係を示している。

40

【0046】

この図 7 において、Z 方向の応力の上限值は、 $35 \sim 40 \text{ MPa}$ 程度であり、Z 方向の応力は上記上限値よりも小さくしなければならない。従って、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を、 $0.5 < \alpha_1$ 以上としなければならない。また、せん断応力の上限值は、 50 MPa 程度であり、せん断応力は上記上限値よりも小さくしなければならない。従って、樹脂 7 の熱膨張係数 α_2 を、 $1 < \alpha_1$ 以下としなければならない。

50

【0047】

この結果、前記した熱膨張係数の条件式、即ち、 $0.5 < \alpha_1 < 1.5$ が得られる。そして、この熱膨張係数の条件式が成立する構成の半導体装置1であれば、大きな熱応力が作用したとしても、半導体チップ2が割れるようなことはなく、長期的信頼性を向上させることができる。

【0048】

尚、Z方向の応力の上限值が35～40MPa程度である理由は、半導体チップ2とヒートシンク3、4を接合する半田（例えばSn-Pb系の半田）の引張り強度が35～40MPa程度であり、これを越えると半田接合の耐久信頼性を確保することができないためである。このことは、文献（例えば高信頼度マイクロソルダリング技術、工業調査会）に記載されている。

10

【0049】

また、せん断応力の上限值が50MPa程度である理由は、Cuのフレームと一般的なモールド樹脂との密着強度は、50MPa程度であり、これを越えるようなせん断応力が加わった場合、樹脂の剥離が発生するためである。このことは、本出願人の実験によって確認した。

【0050】

尚、上記実施例において、ヒートシンク3、4を例えばCuやCu系合金で形成した場合（この場合、ヒートシンク3、4の熱膨張係数 α_1 は17ppm程度となる）には、樹脂7の熱膨張係数 α_2 を10ppm以上に設定することが好ましいことを、本発明者らは実験等で確認している。

20

【0051】

また、ヒートシンク3、4を例えばCu系焼結合金やCu系複合材で形成した場合（この場合、ヒートシンク3、4の熱膨張係数 α_1 は8ppm程度となる）には、樹脂7の熱膨張係数 α_2 を6ppm以上に設定することが好ましいことを、本発明者らは実験等で確認している。

【0052】

更に、上記実施例においては、樹脂7として、ヤング率が10GPa以上のものを使用した。これは、全体の応力のバランスを考慮すると、半導体装置1のほぼ全体をモールドして保護する樹脂7のヤング率が10GPa以上あることが好ましいためである。

30

【0053】

尚、上記第2の実施例では、第1の実施例の半導体装置1において、ヒートシンク3、4の熱膨張係数を α_1 と、樹脂7の熱膨張係数を α_2 との間に前記条件式が成立するように構成したが、これに限られるものではなく、厚さ比率（ t_2/t_1 ）が5未満の構成の半導体装置において、前記熱膨張係数の条件式が成立するように構成しても良く、この構成の場合も、ほぼ同じ作用効果を得ることができる。

【0054】

図8は、本発明の第3の実施例を示す図である。この第3の実施例は、第1の実施例または第2の実施例の半導体装置1において、半導体チップ2の裏面の面粗度をRaとしたときに、 $Ra < 500nm$ が成立するように構成したものである。

40

【0055】

このように、半導体チップ2の裏面の面粗度Raを設定すると、素子破壊に対する強度を向上させることができ、大きな熱応力が作用したときに、半導体チップ2が割れることを確実に防止できる。

【0056】

ここで、本発明者らは、上記面粗度Raを変えた半導体装置1の各試作品に、熱応力を作用させたときに、半導体チップ2に割れがどの程度の割合で発生したかを調べ、その結果を図8に示した。この図8において、横軸は、半導体チップ2の裏面の面粗度Raを示し、縦軸は、半導体チップ2の割れ発生率を示している。

【0057】

50

この図8から、面粗度 R_a を500nm以下に設定すると、半導体チップ2の強度が高くなり、半導体チップ2がほとんど割れないことがわかる。尚、面粗度 R_a を2000nmに設定する場合は、一般的な小さいチップの場合である。

【0058】

尚、上記第3の実施例においては、第1の実施例または第2の実施例の半導体装置1において、半導体チップ2の裏面の面粗度 R_a を500nm以下としたが、これに限られるものではなく、第1の実施例の厚さ比率(t_2/t_1)が5未満の構成の半導体装置や、第2の実施例の熱膨張係数の条件式が成立しないような構成の半導体装置等において、半導体チップ2の裏面の面粗度 R_a を500nm以下とするように構成しても良い。このような構成の場合も、ほぼ同じ作用効果を得ることができる。

10

【0059】

図9及び図10は、本発明の第4の実施例を示す図である。この第4の実施例は、第1の実施例の半導体装置1において、ヒートシンク3、4の厚み寸法(t_2)を例えば1.5mm程度に固定し、半導体チップ2の厚み寸法(t_1)を変化させるように構成したものである。そして、第2の実施例では、半導体チップ2の厚み寸法を薄く設定することにより、半導体チップ2の端部部分2a(図9参照)で樹脂7が剥離する事態を防止するようにしている。

【0060】

具体的には、第4の実施例の場合、半導体チップ2の厚み寸法を変えた半導体装置1の各試作品の素子表面のせん断応力を、シミュレーションによって計算し、図10に示すグラフを得た。この図10のグラフにおいて、横軸は半導体チップ2の厚み寸法を示し、縦軸は素子表面のせん断応力比を示し、プロットが実際に試作した半導体装置1を示している。ここで、せん断応力比は、半導体チップ2の厚み寸法が400 μ m(第1の実施例の厚さ比率(t_2/t_2)に換算すると、3.75)の半導体装置1のせん断応力を1.00と定義した場合の数値である。

20

【0061】

この半導体チップ2の厚み寸法が400 μ m(即ち、せん断応力比が1.00)の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させると、半導体チップ2の表面端部部分2a付近の樹脂が剥離してしまうことを、本発明者らは確認している。

【0062】

これに対して、半導体チップ2の厚み寸法が200 μ m(厚さ比率が7.00で、せん断応力比が0.6)の半導体装置1になると、この半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させた場合、樹脂剥離の寿命が10倍以上延びることを、本発明者らは確認している。そして、半導体チップ2の厚み寸法が100 μ m(厚さ比率が15.00で、せん断応力比が0.15)の半導体装置1に対して温度差の大きい熱サイクルを作用させた場合も、樹脂が剥離しないことを確認している。

30

【0063】

従って、半導体チップ2の厚み寸法が薄くなるほど(厚さ比率が大きいほど、即ち、せん断応力比が小さいほど)、半導体チップ2表面の樹脂が剥離し難くなることがわかる。

【0064】

尚、上記各実施例では、ヒートシンク3、4と半導体チップ2とヒートシンクブロック5とを接合する接合部材として半田箔8を用いたが、これに代えて、半田ペースト等を用いるように構成しても良い。

40

【0065】

更に、上記各実施例においては、ヒートシンク3、4間に半導体チップ(放熱素子)2を1個挟むように構成したが、これに限られるものではなく、2個以上のチップ(または2種類以上のチップ)を挟むように構成しても良い。

【0066】

次に、本発明者らが、先の出願(特願2001-225963)を行った後の研究結果について、図11ないし図16を参照して説明する。まず、上述した各実施例の半導体装

50

置 1 の冷熱サイクル等に対する耐久性を向上させるためには、半導体チップ（半導体素子）2 とヒートシンク（金属体）3、4、5 との接合部における歪みを低減する、または、半導体チップ 2 の表面のせん断応力を低減すれば、よいことがわかった。

【 0 0 6 7 】

そして、接合部の歪みを低減して素子破壊を防止する対策としては、（ 1 ）半導体チップ 2 に圧縮応力を加え、圧縮による変位を保持し、引張り応力を発生させないことと、（ 2 ）半導体チップ 2 の圧縮変位を容易にさせるために、半導体チップ 2 の剛性を低減させること等があることがわかった。以下、これらの条件を数値的に規定しながら、半導体装置 1 の耐久性が高くなることを具体的に説明する。

【 0 0 6 8 】

本発明者らによれば、半導体装置 1 の耐久性を高くするのに必要な要件が、次の 4 つにまとめられることがわかった。

【 0 0 6 9 】

（ a ）半導体素子（半導体チップ 2 ）を構成するシリコンは、圧縮応力が 6 0 0 M P a 以上かかっても破壊しないが、引張り応力が 1 0 0 M P a 程度かかるだけで破壊してしまうことが知られているので、製造工程内においても、または、使用環境下においても、常に圧縮応力が半導体素子に加わるように構成することである。

【 0 0 7 0 】

（ b ）半導体素子への圧縮応力の発生源は、金属体と半導体素子（シリコン）との熱膨張係数の差に起因する熱応力である。そして、半導体素子に圧縮応力を加えるためには、熱応力を半導体素子へ確実に伝達し、且つ、圧縮状態を保持するように構成することである。このため、金属体と半導体素子との接合材としては、圧縮応力の伝達の観点から、従来周知の P b - S n 系はんだと比較して高強度であると共に、圧縮応力の保持の観点から、従来周知の P b - S n 系はんだと比較して耐クリープ性に優れたはんだを用いる必要がある。

【 0 0 7 1 】

（ c ）半導体素子の圧縮応力を高め、変位を容易にし、且つ、圧縮応力に対する半導体素子からの反発力を低減するためには、半導体素子の厚さを薄くする必要がある。

【 0 0 7 2 】

（ d ）半導体素子へ効果的に圧縮応力を加え、圧縮応力を保持するための別の構成として、半導体素子と金属体を樹脂によりモールドする構成がある。この構成の場合、モールド用の樹脂の熱膨張係数を、金属体の熱膨張係数に対して、同等またはそれ以上とすることにより、圧縮応力状態を保持することができる。

【 0 0 7 3 】

以下、上記各要件の作用効果（及び実験データ等）について順に説明する。

【 0 0 7 4 】

まず、図 1 1 は、半導体素子に圧縮応力が加わる過程を説明する図である。半導体素子の表面及び裏面と金属体を接合する場合、半導体素子、金属体及び接合材（はんだ）を所定の温度まで上昇させて、接合材を熔融、硬化させるリフロー行程が一般的に採用される。この場合、接合材が熔融後、冷却されると、接合が完了するが、この過程において、圧縮応力が発生する。

【 0 0 7 5 】

例えば、半導体素子がシリコン、金属体が C u である場合、両者の熱膨張係数の差はかなり大きい。そして、一般的に熱膨張係数差が大きいほど、圧縮応力が高くなるが、接合材や金属体の降伏、塑性変形があるため、圧縮応力は線形には増加しない。尚、主な材料の熱膨張係数を下記の表 1 に示す。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

【表 1】

材料	熱膨張係数
シリコン	3.0ppm
Cu	17ppm
Al	23ppm
Mo-35Cu	8.0ppm

そして、冷却後、放置を行うと、接合材のクリープにより圧縮応力が緩和していく。緩和が進展すると、最終的には半導体素子の内部応力はゼロになってしまう。この状態で、半導体素子の発熱や雰囲気温度の上昇が起こると、半導体素子に引張り応力が加わることになり、半導体素子の破壊を起こすおそれがある。

【0077】

上記圧縮応力の緩和の挙動は、主に接合材のクリープ特性に起因する。そこで、以下、接合材の強度と緩和について説明する。主な接合材の強度を、下記の表 2 に示す。

【0078】

【表 2】

(引張強度: 150°C、歪み速度: 6%/min、降伏応力: 25°C、0.2%耐力)

材料	破断強度 [MPa]	降伏応力 [MPa]
Pb-10Sn	6~10	15
Sn-7Sb	11~23	32
Sn-3.5Ag	9~14	24
Sn-3.5Ag-0.7Cu	11~18	21

一般的に、SnをベースとするSn系はんだは、Pbベースのはんだに比べて、機械的強度が高いことが知られている。このため、接合材としてSn系はんだを使用することが好ましく、これにより、冷却過程で生ずる熱応力を半導体素子へ確実に加えることができ、素子に対して圧縮応力を生じさせることができる。尚、Sn系はんだは、種類が多く、さまざまな組成のものが提案されているが、2元系、3元系を問わず、Pb系はんだと比較して、破断強度や降伏応力等が高いはんだを選定すれば良い。

【0079】

このようにして、半導体素子に圧縮応力を加えることができたとしても、緩和してしまうと、半導体素子の破壊につながってしまう。そこで、次に、半導体素子の圧縮状態を保持するための要件について考察する。材料に応力が加わると、材料は応力を緩和する方向に変位していく。この挙動がクリープと呼ばれ、Pbでは顕著である。ここで、主な接合材の緩和速度を、下記の表 3 に示す。

【0080】

【表 3】

(歪み速度: 50°C、10MPa時)

材料	歪み速度 [$\times 10^{-2}$ %/min]
Pb-10Sn	4.0
Sn-7Sb	0.0015
Sn-3.5Ag	0.3
Sn-3.5Ag-0.7Cu	0.18

上記表から、Pbはんだに比べて、Snはんだは、クリープによる歪み速度が遅く、素子の圧縮応力の保持に有効であることがわかる。

【0081】

また、図12は、Pb系はんだとSn系はんだを使用した場合の半導体素子中央部の圧縮応力値の経時変化（接合後、常温にて放置した場合）を比較したグラフである。この図12から、接合材をSn系はんだとすることにより、圧縮応力を増加させると共に、その状態を維持することができることがわかる。

【0082】

次に、上述した方法とは別の方法で、素子の圧縮応力を増加させると共に、緩和挙動を抑制することも可能であり、以下、この方法について述べる。素子への圧縮応力は、半導体素子と金属体との熱膨張係数差のような材料物性値以外では、各部の剛性によって左右されることがわかった。

【0083】

例えば、接合部が塑性や降伏をしないと仮定した場合、金属体に対して相対的に半導体素子の厚さを薄くしていくと、半導体素子はより変位しやすくなり、圧縮応力は増加していく。図13は、半導体素子に加わる圧縮応力をシミュレーションにより計算した結果、即ち、応力分布を示す図であり、図13(a)は半導体素子の厚さが0.4mmの場合であり、図13(b)は半導体素子の厚さが0.2mmの場合である。この図13から、半導体素子の厚さを薄くすることにより、圧縮応力を増加させ得ることがわかる。

【0084】

この結果は、半導体素子の厚さを薄くし、半導体素子の剛性を低減すれば、素子は金属体とともに変位する傾向がより強くなることを意味する。従って、半導体素子の厚さを薄くすると、半導体素子は金属体に「なじむ」ように振舞うため、半導体素子の表面及び裏面のせん断応力が低下し、且つ、半導体装置の耐久性に関わる接合部の歪み成分が縮小することを期待できる。

【0085】

図14は、半導体素子の厚さとせん断塑性歪みとの関係を実測して得たグラフである。この図14から、半導体素子の厚さを薄くすると、接合部のせん断歪みが低下することがわかり、特に、素子厚さを250 μ m以下とすると、せん断方向の塑性歪み値が1%以下となることがわかる。そして、この場合、冷熱衝撃試験に代表される耐久性が向上することがわかる。

【0086】

次に、モールド樹脂と圧縮応力（耐久性）との関係について説明する。基本的に、モールド樹脂は、金属体の熱膨張係数と同等の熱膨張係数を有することが好ましい。例えば、金属体としてCuを使用した場合、モールド樹脂の熱膨張係数が11~20ppm程度であれば、十分な耐久性が得られることを実験等で確認している。

【0087】

図15は、モールド樹脂の熱膨張係数と、半導体素子に対するZ方向の応力との関係をシミュレーションにより評価した結果を示す特性図である。この図15から、樹脂の熱膨張係数を大きくすれば、Z方向も含め、圧縮応力を増加させ得ることがわかる。尚、樹脂の熱膨張係数を25ppm以上とすると、シミュレーション上では、Cuとの界面におけるせん断応力が高くなり、樹脂と金属体との剥離を生じさせるおそれがあることがわかっている。ただし、樹脂の影響は、それほど大きくないため、副次的なパラメータであると推定される。

【0088】

さて、以上説明した各要件に基づいて、半導体装置を試作し、耐久性評価を実施した結果を、図16に示す。この図16においては、縦方向に半導体素子の厚さをとり、横方向に金属体の厚さをとっている。また、「ばつ印」はすべての試作品の半導体素子が割れたものであり、「三角印」は一部の試作品の半導体素子が割れたものであり、「丸印」はすべての試作品の半導体素子が割れなかったものである。図16上の直線は、前記した比（ t_2/t_1 ）が5の場合を示している。従って、上記比（ t_2/t_1 ）が5以下であれば、十分な耐久性が得られることがわかる。

【0089】

10

20

30

40

50

尚、金属体の厚さに関しては、放熱性の観点からは、厚いほど優れていることが容易にわかるが、一般的なフレーム材として入手可能なものの厚さは、2.5 mm程度までであり、実際には、1.0 ~ 2.0 mm程度のものが量産に適している。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図1】本発明の第1の実施例を示す半導体装置の縦断面図

【図2】半導体装置の製造工程を示す図

【図3】厚さ比率と圧縮応力比との関係を示す特性図

【図4】厚さ比率とせん断応力比との関係を示す特性図

【図5】本発明の第2の実施例を示すものであり、樹脂の熱膨張係数とZ方向の応力との関係を示す特性図

10

【図6】樹脂の熱膨張係数とせん断応力との関係を示す特性図

【図7】熱膨張係数とZ方向の応力及びせん断応力の絶対値との関係を示す特性図

【図8】本発明の第3の実施例を示すものであり、半導体チップの裏面の面粗度と割れ発生率との関係を示す特性図

【図9】本発明の第4の実施例を示す半導体装置の部分縦断面図

【図10】半導体チップの厚み寸法とせん断応力比との関係を示す特性図

【図11】半導体素子への圧縮応力発生過程と圧縮応力緩和過程を説明する図

【図12】半導体素子にかかる圧縮応力の経時変化を示す特性図

【図13】(a)は厚さ0.4 mmの半導体素子に加わる圧縮応力の分布を示す図、(b)は厚さ0.2 mmの半導体素子に加わる圧縮応力の分布を示す図

20

【図14】半導体素子の厚さと接合部のせん断塑性歪みとの関係を示す特性図

【図15】樹脂の熱膨張係数と半導体素子に加わるZ方向の応力との関係を示す特性図

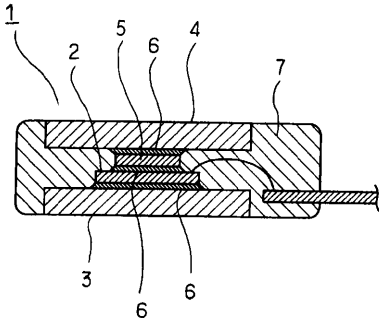
【図16】半導体素子の厚さと金属体の厚さと耐久評価結果との関係を示す図

【符号の説明】

【0091】

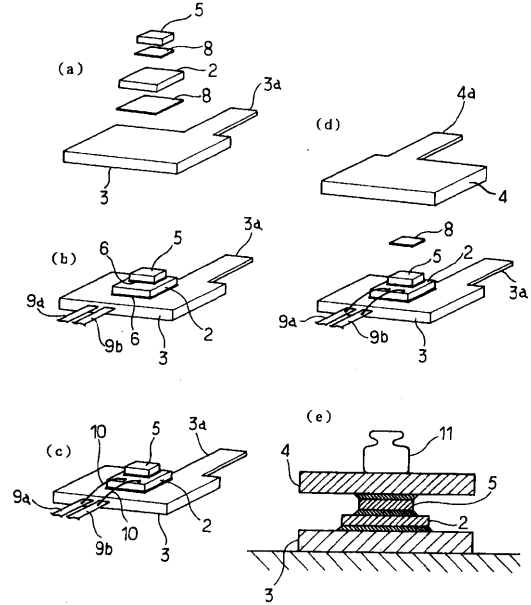
1は半導体装置、2は半導体チップ(発熱素子、半導体素子)、3は下側ヒートシンク(放熱板、第1の金属体)、4は上側ヒートシンク(放熱板、第2の金属体)、5はヒートシンクブロック(第3の金属体)、6は半田(接合層)、7は樹脂を示す。

【図1】

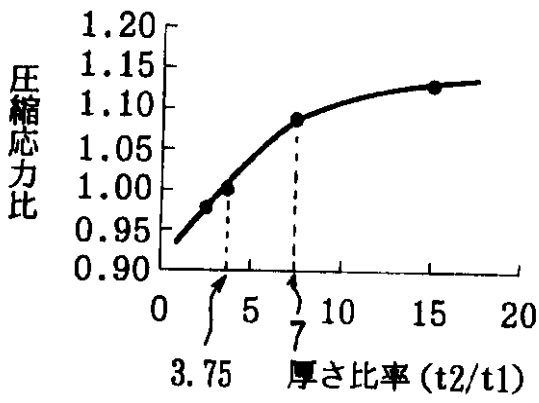


1:半導体装置
 2:発熱素子
 3,4:放熱板

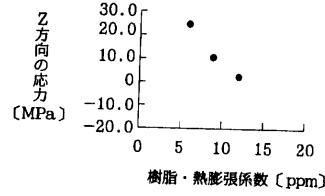
【図2】



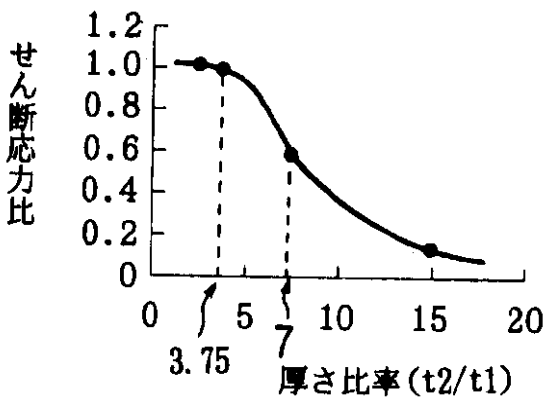
【図3】



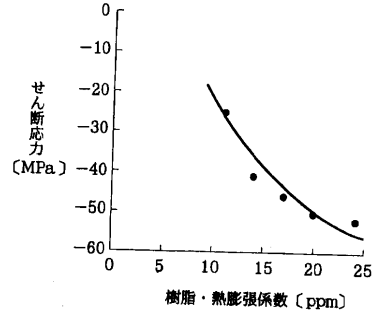
【図5】



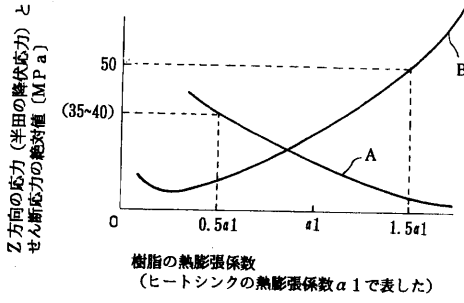
【図4】



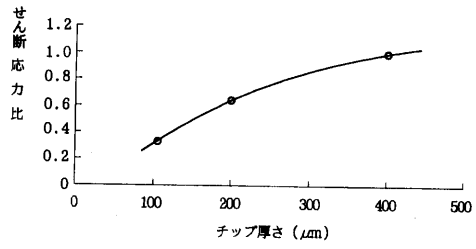
【図6】



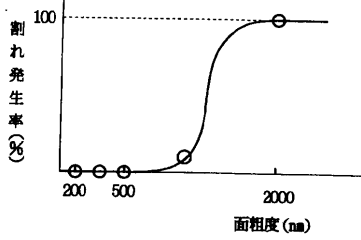
【図7】



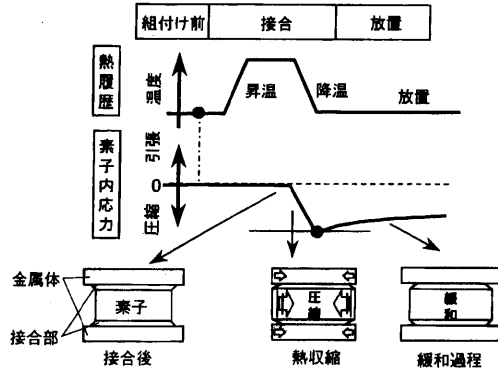
【図10】



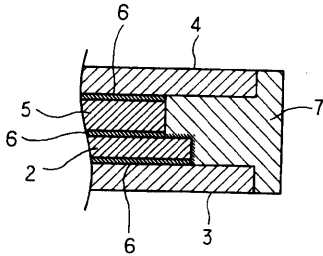
【図8】



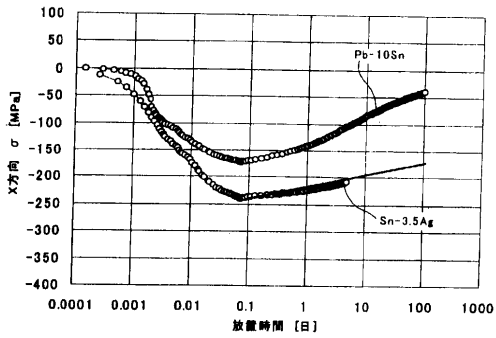
【図11】



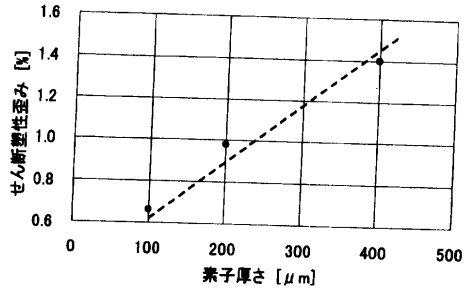
【図9】



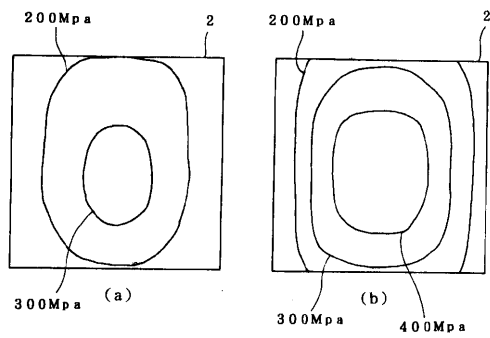
【図12】



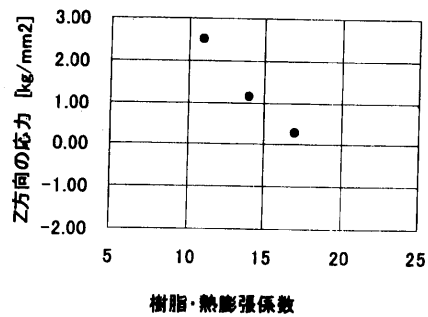
【図14】



【図13】



【図15】



【図 16】

素子厚さ
[μm]

400		x	x	x	△
350			△	△	
300			△		
250		△	○	○	
200		○	○		
150					
100	△	○	○	○	○
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5

フレーム厚さ[mm]

フロントページの続き

- (72)発明者 手嶋 孝紀
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 真光 邦明
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 八木 賢次
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 中瀬 好美
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 大倉 康嗣
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 野村 和仁
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 福田 豊
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

合議体

- 審判長 徳永 英男
審判官 栗野 正明
審判官 川真田 秀男

- (56)参考文献 特開2001-156219(JP,A)
特開昭58-165348(JP,A)
特開平5-3205(JP,A)
特開2001-217362(JP,A)
特開2001-284509(JP,A)
特開2000-49281(JP,A)
特開2000-58717(JP,A)
特開平10-116934(JP,A)
特開平8-222668(JP,A)
特開2001-156225(JP,A)
特開昭63-156372(JP,A)
特開平8-83864(JP,A)
特開昭63-142640(JP,A)
特開平7-235672(JP,A)
特開平8-83859(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 23/34