

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7619723号
(P7619723)

(45)発行日 令和7年1月22日(2025.1.22)

(24)登録日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/60 (2006.01)

H 0 1 L 23/29 (2006.01)

H 0 1 L 23/31 (2006.01)

H 0 1 L 21/60

H 0 1 L 23/30

3 0 1 P

R

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-139500(P2021-139500)	(73)特許権者	000233273
(22)出願日	令和3年8月30日(2021.8.30)		ミネベアパワーデバイス株式会社
(65)公開番号	特開2023-33668(P2023-33668A)		茨城県日立市大みか町五丁目2番2号
(43)公開日	令和5年3月13日(2023.3.13)	(74)代理人	110000350
審査請求日	令和6年1月30日(2024.1.30)		ポレール弁理士法人
		(72)発明者	直江 和明
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	池田 靖
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	紺野 哲豊
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	串間 宇幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体素子と、
前記半導体素子に形成された表面電極と、
前記表面電極に接合されたワイヤと、
前記表面電極と前記ワイヤの接合部を被覆する第1樹脂とを有し、
前記表面電極の表面はNi層とし、
前記第1樹脂の弾性率よりも低い第2樹脂を有し、
前記第1樹脂は、前記第2樹脂により被覆され、
前記半導体素子を支持する配線基板と、
前記配線基板の上面に形成された配線パターンと、
前記配線基板と前記半導体素子を接合する接合材と、
前記表面電極と前記ワイヤの接合部、前記半導体素子、前記接合材、前記配線パターン、
前記配線基板の少なくとも一つを被覆する第3樹脂と、を備えた半導体装置であって、
前記第3樹脂の弾性率は、前記第1樹脂の弾性率よりも低く構成し、
前記半導体装置は、
前記配線基板が取り付けられたベース板と、
前記ベース板に取り付けられ、前記半導体素子、前記ワイヤ及び前記配線基板を覆うケースと、
前記ベース板の上面及び前記ケースに囲まれた領域を封止する封止用の樹脂とを備えた

ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体装置において、
前記ワイヤは、引張強度が 80 MPa 以上であり、
前記第 1 樹脂は、弾性率が 5 GPa 以上である、半導体装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の半導体装置において、
前記表面電極と前記ワイヤの接合部において、前記ワイヤの長さ方向を被覆する前記第 1 樹脂の厚みが 10 μm 以上である、半導体装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の半導体装置において、
前記表面電極と前記ワイヤの接合部において、前記ワイヤの直径方向を被覆する前記第 1 樹脂の厚みが 10 μm 以上である、半導体装置。

【請求項 5】

半導体素子の表面電極もしくは前記表面電極とワイヤの接合箇所の少なくとも一方にプラズマを照射する工程と、
前記半導体素子の表面電極とワイヤを接合する工程と、
前記ワイヤと前記表面電極の接合部に第 1 樹脂が溶解した溶液を塗布する工程を備え、
前記第 1 樹脂が溶解した溶液を塗布する工程の前に、
前記プラズマを照射する工程とを含み、
前記第 1 樹脂が溶解した溶液を塗布する工程において、前記溶液の固形分比率が 0.7
0 wt % 以下であることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の半導体装置の製造方法において、
前記半導体素子、前記半導体素子を支持する配線基板、前記配線基板の上面に形成された配線パターン、前記配線基板と前記半導体素子を接合する接合材の少なくとも一つに、
第 3 樹脂が溶解した溶液を塗布する工程を備え、
前記第 3 樹脂が溶解した溶液を塗布する工程を、前記プラズマを照射する工程の後に実施する、ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置とその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

本技術分野の背景技術として、特開 2007 - 12831 号公報（特許文献 1）がある。特許文献 1 には、絶縁基板で金属回路を接合していない沿面部分と半導体素子と金属ワイヤとの接合界面部分に、モジュール全体の絶縁を確保するために充填した樹脂とに比べ、熱膨張係数が小さく、ヤング率が大きく、絶縁耐量が高い電気絶縁性樹脂をコーティングし、コーティングした樹脂の厚さを、ワイヤの断面方向でコーティング樹脂の変曲点が、ワイヤの断面高さに対して 1/4 以下になる形状にしたパワー半導体装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2007 - 12831 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

パワー半導体素子を備えた半導体装置では、ワイヤと半導体素子の熱膨張差に起因し、

10

20

30

40

50

半導体装置の動作中に、半導体素子の電極とワイヤの接合部に応力が繰り返し印加される。この熱応力により、半導体素子の電極またはワイヤにクラックが発生することにより、半導体装置が破壊に至る課題がある。

【0005】

この課題に対して、前記特許文献1には、液体状の樹脂をワイヤの接合部に塗布することで接合部の補強を行い、信頼性が向上した半導体装置が記載されている。しかし、更なる信頼性向上のために、樹脂やワイヤの機械的強度を向上させたときの製造上の課題やその効果について記載はなく、機械的強度の高い樹脂とワイヤを適用ができない課題があった。

【0006】

本発明の目的は、半導体素子の電極とワイヤの接合信頼性が向上した半導体装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の半導体装置は、半導体素子と、前記半導体素子に形成された表面電極と、前記表面電極に接合されたワイヤと、前記表面電極と前記ワイヤの接合部を被覆する第1樹脂とを有し、前記表面電極の表面はNi層とし、前記第1樹脂の弾性率よりも低い第2樹脂を有し、前記第1樹脂は、前記第2樹脂により被覆され、前記半導体素子を支持する配線基板と、前記配線基板の上面に形成された配線パターンと、前記配線基板と前記半導体素子を接合する接合材と、前記表面電極と前記ワイヤの接合部、前記半導体素子、前記接合材、前記配線パターン、前記配線基板の少なくとも一つを被覆する第3樹脂と、を備えた半導体装置であって、前記第3樹脂の弾性率は、前記第1樹脂の弾性率よりも低く構成し、前記半導体装置は、前記配線基板が取り付けられたベース板と、前記ベース板に取り付けられ、前記半導体素子、前記ワイヤ及び前記配線基板を覆うケースと、前記ベース板の上面及び前記ケースに囲まれた領域を封止する封止用の樹脂とを備えたことを特徴とする。

【0008】

本発明の半導体装置の製造方法は、半導体素子の表面電極もしくは前記表面電極とワイヤの接合箇所の少なくとも一方にプラズマを照射する工程と、前記半導体素子の表面電極とワイヤを接合する工程と、前記ワイヤと前記表面電極の接合部に第1樹脂が溶解した溶液を塗布する工程を備え、前記第1樹脂が溶解した溶液を塗布する工程の前に、前記プラズマを照射する工程とを含み、前記第1樹脂が溶解した溶液を塗布する工程において、前記溶液の固形分比率が0.70wt%以下であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、半導体素子の電極とワイヤの接合信頼性が向上した半導体装置を提供することができる。上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施例1における半導体装置の構造を示す断面模式図である。

【図2】実施例1における半導体装置の構造を示す断面模式図である。

【図3】実施例1における半導体装置の構造を示す平面模式図である。

【図4】実施例1における半導体素子の表面電極とワイヤの接合部のワイヤ長さ方向における断面模式図である。

【図5】実施例1における半導体素子の表面電極とワイヤの接合部のワイヤ直径方向における断面模式図である。

【図6】実施例1における半導体素子の表面電極とワイヤの接合部の平面模式図である。

【図7】実施例1における第2樹脂を被覆したときのワイヤ長さ方向における断面模式図である。

【図8】実施例1における第2樹脂を被覆したときのワイヤ直径方向における断面模式図

10

20

30

40

50

である。

【図 9】検討例 1 における半導体素子の表面電極とワイヤの接合部の断面模式図である。

【図 10】検討例 1 において、ワイヤ接合部の第 1 樹脂に存在するボイドの模式図である。

【図 11】実施例 2 における半導体装置の構造を示す断面模式図である。

【図 12】実施例 2 における半導体装置において、第 3 樹脂の被覆箇所を変えたときの構造を示す断面模式図である。

【図 13】プラズマ処理工程の有無、及び第 1 樹脂塗布工程における第 1 樹脂溶液の固形分濃度とワイヤ接合部のボイド有無の関係を示す表 1 の図である。

【図 14】表面電極、ワイヤの引張強度、第 1 樹脂の弾性率を変えたときのパワーサイクル寿命を示す表 2 の図である。

10

【図 15】第 1 樹脂層の厚みを変えたときのパワーサイクル寿命を示す表 3 の図である。

【図 16】実施例 1 に係る半導体装置の代表的な製造方法を示すフロー図である。

【図 17】変形例に係る実施例 1 の半導体装置の製造方法を説明する図である。

【図 18】実施例 2 に係る半導体装置の代表的な製造方法を示すフロー図である。

【図 19】変形例に係る実施例 2 の半導体装置の製造方法を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

20

【0012】

また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

【0013】

さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

【0014】

同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうではないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

30

【0015】

また、実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。なお、図面をわかりやすくするために平面図であってもハッチングを付す場合がある。

【実施例 1】

【0016】

本発明の実施例 1 について図 1 から図 8 を用いて説明する。

40

【0017】

図 1 および図 2 は本実施例における半導体装置の構造を示す断面模式図、図 3 は本実施例における半導体装置の構造を示す平面図模式図である。なお、図 1 は図 3 中 A 方向から見た断面模式図であり、図 2 は、図 3 中 B 方向から見た断面模式図である。

【0018】

半導体装置 10 は、複数の半導体素子 1 と半導体素子 1 を支持する配線基板 3 と、配線基板 3 を支持するベース板 4 と、半導体素子 1 及び配線基板 3 を電氣的に接続するワイヤ 6 と、配線基板 3 及び外部装置（図示せず）を電氣的に接続する端子 7 とを有している。半導体素子 1 と配線基板 3 は、接合材 2 を介して接合されている。配線基板 3 とベース板 4 は接合材 5 を介して接合されている。

50

【0019】

半導体素子1は、例えばIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)、FWD(Free Wheeling Diode)、SBD(Schottky Barrier Diode)等を含むがこれに限定されるものではない。また、半導体素子1は、シリコン(Si)や炭化シリコン(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、酸化ガリウム、ダイヤモンドなどにより構成される。半導体素子1は表面電極1a(図1、図2には図示せず)を含む。

【0020】

配線基板3は、例えばアルミナ(Al_2O_3)や窒化アルミニウム(AlN)、窒化ケイ素(Si_3N_4)等のセラミック板により構成されている。配線基板3の上面3aには複数の配線パターン3aa、3ab、3acが、配線基板3の下面3bには配線パターン3baが、それぞれ形成されている。配線パターン3aa、3ab、3baは、例えば銅(Cu)、アルミニウム(Al)を主成分とする材料により構成されている。

10

【0021】

ワイヤ6は、例えば、アルミニウム、銅を含む金属線であり、図3に示すように、半導体素子1の表面電極1aと配線基板3の上面3aの配線パターン3ab、3acを電気的に接続している。半導体素子1の表面電極1aとワイヤ6の接合部(以下、ワイヤ接合部と記す。)には、第1樹脂31が被覆されている(図1、図3)。

【0022】

接合材2は、例えば、はんだや焼結金属を用いることができる。はんだとして、例えば、スズ(Sn)を主成分とするはんだ、鉛(Pb)を主成分とするはんだがある。焼結金属として、例えば、銅(Cu)、銀(Ag)がある。

20

【0023】

ベース板4は、例えば、アルミニウム(Al)、Al-C、アルミニウム合金、Cu-C、Cu-Mo、銅合金、アルミニウムとSiCの複合材、またはマグネシウムとSiCの複合材により構成されており、表面にニッケル、金、銀などのめっきが施されていてもよい。ベース板4は、接合材5を介して、配線基板3が取り付けられている。接合材5は、例えばはんだを用いることができる。半導体素子1から発生した熱は、ベース板4から半導体装置10の外部へ伝達される。

30

【0024】

ベース板4には、複数の半導体素子1、複数のワイヤ6及び配線基板3を覆うケース8が取り付けられている。ベース板4の上面及びケース8に囲まれた領域には、例えば封止用の樹脂9が充填されている。樹脂9は、例えばゲル状の樹脂材を用いることができる。

【0025】

以下、本実施例における半導体装置の特徴の詳細を記す。

【0026】

図4および図5は本実施例における半導体素子1の表面電極1aとワイヤ6の接合部の断面模式図、図6は本実施例における半導体素子1の表面電極1aとワイヤ6の接合部の平面模式図である。なお、図4は図6中C方向から見た断面模式図であり、図5は、図6中D方向から見た断面模式図である。

40

【0027】

本実施例における半導体装置では、ワイヤ6の引張強度は、好ましくは、80MPa以上である。ワイヤ6の強度が高いほど、熱応力が繰り返しかかっても、ワイヤ6にクラックが入りにくいため、ワイヤ接合部の信頼性は向上する。

【0028】

ワイヤ接合部には、第1樹脂31が被覆されている。本実施例における半導体装置では、第1樹脂31の弾性率は、好ましくは、5GPa以上である。第1樹脂31に用いる樹脂として、例えば、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂を用いることができる。半導体素子1の絶縁耐圧を担保するため、第1樹脂31に含まれる金属イオン等の不純物含有量

50

は、1 ppm以下が望ましい。また、第1樹脂の線膨張係数は、15～60 ppm/ の範囲が望ましい。

【0029】

ワイヤ接合部のワイヤ長さ方向における第1樹脂31の厚みは、10 μm以上、特に20 μm以上であることが望ましい。なお、ワイヤ接合部のワイヤ長さ方向における第1樹脂31の厚みとは、図4においてt1で表した、第1樹脂31の表面と接するワイヤ6の表面と半導体素子1の表面電極1aの距離である。

【0030】

ワイヤ接合部のワイヤ直径方向における第1樹脂31の厚みは、10 μm以上が望ましい。なお、ワイヤ接合部のワイヤ直径方向における第1樹脂31の厚みとは、図5においてt2で表した、第1樹脂31の表面と接するワイヤ6の表面と半導体素子1の表面電極1aの距離である。

10

【0031】

図7は、ワイヤ接合部に第1樹脂31に加え第2樹脂32を被覆したときのワイヤ長さ方向における断面模式図である。図8は、ワイヤ接合部に第1樹脂31に加え第2樹脂32を被覆したときのワイヤ長さ方向における断面模式図である。ワイヤ接合部には、第1樹脂31に加え、第1樹脂31よりも弾性率が低い、第2樹脂32を被覆しても良い。弾性率5 GPaを超える第1樹脂31の樹脂溶液は、粘度が高く、塗布するために希釈するコストがかかる。第1樹脂31よりも弾性率が低い、第2樹脂32の樹脂溶液は、第1樹脂の樹脂溶液より粘度が低く、希釈するコストを抑えることができる。例えば、膜厚10 μmの第1樹脂に加え、膜厚10～50 μmの第2樹脂を被覆することで、コストを抑えたまま、接合部の信頼性を更に向上できる。第2樹脂層32に用いる樹脂として、例えば、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂を用いることができる。

20

【0032】

半導体素子1には表面電極1aが形成されている。本実施例における半導体装置では、表面電極1aは、Al合金層とNi層の積層体であり、Ni層が表面電極1aの最表面に存在する。表面電極1aの最表面をNi層とすることにより、表面電極1aの強度を高めることができ、熱応力が繰り返しかかっても、表面電極1aにクラックが入りにくい、ワイヤ接合部の信頼性は向上する。Ni層の厚みは、Ni層の強度に応じて適宜設定することができるが、例えば、1～20 μmとすることで、ワイヤ接合部の信頼性が向上する。Ni層とはNiを主成分として含む金属層のことであり、添加元素が含有していても問題ない。

30

【0033】

本実施例における半導体装置は、以下の課題を解決するものである。ここで課題を説明するために、本発明者が検討した検討例1の半導体装置90について説明する。検討例1の半導体装置90は、本実施例における半導体装置10と同様に、複数の半導体素子1と半導体素子1の表面電極1a、ワイヤ6、第1樹脂31を有している。

【0034】

図9は、検討例1における半導体素子1の表面電極1aとワイヤ6の接合部の模式図である。一つ目の課題は、ワイヤ6の強度が高いことに起因する。ワイヤ6の強度が高い（例えば引張強度が80 MPaを超える）と、例えば超音波ボンディングでワイヤ6を接合する際、ワイヤ6は変形しにくくなる。このとき、表面電極1aに損傷を与えない接合強度でワイヤ6を接合するためには、例えば図9に示すように、ワイヤ接合部の長さL2は、ワイヤ6の直径比L1の85%より小さくする必要がある。このとき、図9に示すように、ワイヤ接合部には、接合部上面からは確認できない、ワイヤ6と表面電極1aに囲まれる空間（以下、ワイヤ接合部の空間91と記す）が存在する。このワイヤ接合部の空間91は、ワイヤ接合部に第1樹脂31を被覆する際、第1樹脂を含有する樹脂溶剤が十分に流れ込まないため、第1樹脂31にボイド92が発生する課題がある。図10は、検討例1において、ワイヤ接合部の第1樹脂31に存在するボイド92の模式図である。

40

【0035】

50

二つ目の課題は、第1樹脂31の弾性率が高いことに起因する。第1樹脂31の弾性率が高い場合、第1樹脂を含む樹脂溶液の粘度も高い場合が多く、前述のワイヤ接合部の空間91に、樹脂溶液が流れ込みにくくなるため、ワイヤ接合部を被覆する第1樹脂31にボイドが発生しやすくなる課題もある。

【0036】

本発明は、ワイヤ6の引張強度が80MPa以上、第1樹脂層31の弾性率が5GPa以上の場合であっても、半導体素子1の表面電極1aの最表面をNiにすること、さらに、後述する製造方法で、ワイヤ接合部の空間にボイドなく第1樹脂31を被覆することにより、従来よりもワイヤ接合部の信頼性を向上させることができることを見出したことに基づくものである。

10

【0037】

<実施例1の半導体装置の製造方法>

本実施例の半導体装置の製造方法について図を用いて説明する。図16は、実施例1に係る半導体装置の代表的な製造方法を示すフロー図である。図16に示すように、本実施例の半導体装置の製造方法は、半導体素子搭載工程S1、ワイヤ接合工程S2、プラズマ処理工程S3、第1樹脂塗布工程S4、第1樹脂硬化工程S5を含んでいる。本実施例の半導体装置の製造方法は、また、第2樹脂塗布工程S6、第2樹脂硬化工程S7を含んでもよい。

【0038】

<半導体素子搭載工程S1>

半導体素子搭載工程S1は、半導体素子1を配線基板3に、接合材2を用いて接合する工程である。半導体素子1の表面電極1aの最表面はNiであり、Niは、例えば電解めっき、無電解めっき、蒸着等の手法で形成することができる。接合材2は、例えば、はんだや焼結金属を用いることができる。

20

【0039】

<ワイヤ接合工程S2>

ワイヤ接合工程S2は、半導体素子搭載工程S1の後に実施される。ワイヤ接合工程S2は、半導体素子1の表面電極1aと配線基板3の上面3aの配線パターン3aa、3acをワイヤ6で接合する工程である。接合方法として、例えば、超音波ボンディングを利用できる。

30

【0040】

<プラズマ処理工程S3>

プラズマ処理工程S3は、ワイヤ接合工程S2の後に実施される。プラズマ処理工程S3は、対象物にプラズマ処理を施し、対象物表面の汚染や酸化を除去することで、対象物に対する樹脂溶剤の濡れ性を高める工程である。プラズマ処理には、例えば、真空プラズマ、大気圧プラズマ等、各種プラズマ処理を利用できる。処理に用いるガスとして、例えば、窒素、アルゴン、酸素、水素、またこれらの混合ガスを利用することができる。プラズマ出力、処理時間は、対象物表面の汚染や酸化等の存在に合わせ、適宜設定することができる。

【0041】

プラズマ処理工程S3は、後述する第1樹脂塗布工程S4とワイヤ接合工程S2の間に実施することができる。ワイヤ接合部にプラズマを照射することで、表面電極1a、ワイヤ6に対する樹脂溶剤の濡れ性を高めることができるため、ワイヤ接合部にボイドなく第1樹脂31を塗布することができる。

40

【0042】

ワイヤ6がプラズマを遮蔽し、ワイヤ接合部にプラズマを十分照射できない場合、対象物をプラズマ照射方向に対し、適宜傾斜して設置してもよい。プラズマ照射方向に対し対象物を傾斜させることで、プラズマ照射方向に対し、ワイヤ6が遮蔽されることを防ぎ、ワイヤ接合部にプラズマを照射することができる。

【0043】

50

プラズマ処理の効果を高めるため、プラズマ処理をワイヤ接合工程 S 2 の前に、半導体素子 1 の表面電極 1 a に追加して施してもよい。つまり、ワイヤ接合工程 S 2 の前、半導体素子搭載工程 S 1 の後にプラズマ処理を追加して施してもよい。ワイヤ接合工程 S 2 の前に、プラズマ処理を追加することで、プラズマがワイヤ 6 に遮蔽されることなく、半導体素子 1 の表面電極 1 a に照射されるため、樹脂溶液の濡れ性をより高めることができる。

【 0 0 4 4 】

< 第 1 樹脂塗布工程 S 4 >

第 1 樹脂塗布工程 S 4 は、プラズマ処理工程 S 3 の後に実施される。第 1 樹脂塗布工程 S 4 は、第 1 樹脂 3 1 が溶解した樹脂溶液をワイヤ接合部に塗布する工程である。樹脂溶液は、例えばディスペンサ等を用いて、ワイヤ接合部に塗布することができる。このとき、第 1 樹脂 3 1 の固形分濃度が高いと、樹脂溶液の粘度が高いため、ワイヤ接合部の空間に樹脂溶液が流れ込まず、第 1 樹脂 3 1 にボイドが発生する。ワイヤ接合部のボイド発生を防ぐためには、前述のプラズマ処理工程 S 3 を経たうえて、樹脂溶液の固形分濃度を 0 . 7 0 w t % 以下にする必要がある。

【 0 0 4 5 】

樹脂溶剤の固形分濃度が低い場合、ワイヤ接合部の第 1 樹脂 3 1 の膜厚を担保するためには、樹脂溶液の塗布量を増やす必要がある。一方、樹脂溶液の塗布量が多いと、半導体素子 1 からあふれる、もしくは、ワイヤ 6 のループ箇所（図示せず）に樹脂溶剤が吸い上げられるため、ワイヤ接合部に所望の量の第 1 樹脂 3 1 を塗布できないことが起こる。このように、1 回の塗布で必要な膜厚の第 1 樹脂 3 1 を形成できない場合は、塗布回数を適宜増やすことができる。また塗布回数を複数設けると、その塗布間に溶剤の乾燥を設けることで、より短時間で塗布工程を完了することができる。溶剤の乾燥条件は、特に限定されるものではなく、例えば乾燥温度については、室温から 1 0 0 程度の温度域で適宜設定することができる。溶剤を乾燥させることにより、塗布を繰り返しても、樹脂溶液が半導体素子 1 からあふれる、もしくは、ワイヤ 6 のループ箇所に吸い上げられ、ワイヤ接合部に所望の樹脂量を塗布できないことを防ぐことができる。

【 0 0 4 6 】

樹脂溶液を複数回塗布する場合、2 回目以降の樹脂溶液の固形分濃度は、1 回目の固形分濃度より高めることができる。1 回目の塗布では、ワイヤ接合部の空間に樹脂溶液を流れ込ませるため、固形分比率を、例えば、0 . 7 0 w t % まで下げる必要があるが、2 回目以降の塗布では、1 回目に塗布した樹脂溶液が、ワイヤ接合部を被覆しており、樹脂溶剤の濡れが良いため、1 回目に比べ固形分比率が高くても、第 1 樹脂 3 1 はボイドなくワイヤ接合部を被覆することができる。2 回目以降の塗布に使用する樹脂溶液の固形分濃度は、1 回目の塗布に使用する樹脂溶剤の固形分濃度より高ければ良く、例えば、1 回目で 0 . 7 0 w t %、2 回目で 7 . 0 w t % とすることができる。これにより、より短時間で所望の厚みをもつ第 1 樹脂 3 1 をワイヤ接合部に被覆することができる。

【 0 0 4 7 】

2 回目以降に塗布する樹脂溶液中の樹脂の弾性率は、1 回目の塗布に使用する樹脂溶液中の樹脂の弾性率より低くても良い。1 回目の塗布に使用する高弾性 5 G P a を超える樹脂の樹脂溶液は、粘度が高く、希釈するためのコストがかかる。1 回目の塗布で、高弾性 5 G P a を超える樹脂を、例えば、1 0 μ m 被覆した後、2 回目以降の塗布で、弾性率 2 G P a の樹脂を、例えば、追加で被覆することができる。これにより、コストを抑えたまま、接合部の信頼性を更に向上できる。

【 0 0 4 8 】

またこのとき、2 回目以降に塗布する樹脂の金属イオン不純物量は、1 回目に塗布する金属イオン不純物量より高くても良い。2 回目以降に塗布する樹脂は、半導体素子の電極に直接接しないため、金属イオンを含むことによる耐圧低下が生じにくくなる。金属イオン不純物の精製が不要、もしくは簡素化できるため、コストを抑えることができる。

【 0 0 4 9 】

< 第 1 樹脂硬化工程 S 5 >

第 1 樹脂硬化工程 S 5 は、第 1 樹脂塗布工程 S 4 の後に実施される。第 1 樹脂硬化工程 S 5 は、ワイヤ接合部に塗布した第 1 樹脂溶液の溶媒を気化させ、樹脂を硬化させる工程である。硬化温度、硬化時間は、樹脂溶液の溶媒に応じて適宜設定することができる。溶媒に NMP (N - メチル - 2 - ピロリドン) を使用した場合、例えば、硬化温度を 200 とすることができる。

【0050】

第 2 樹脂 32 を利用しない場合は、実施例の半導体装置の代表的な製造方法は、第 1 樹脂硬化工程 S 5 で終了する。一方、第 2 樹脂 32 を用いる場合は、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の後に、第 2 樹脂塗布工程 S 6 および第 2 樹脂硬化工程 S 7 が追加して実施される。

【0051】

10

< 第 2 樹脂塗布工程 S 6 >

第 2 樹脂塗布工程 S 6 は、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の後に実施される。第 2 樹脂塗布工程 S 6 は、第 2 樹脂 32 が溶解した樹脂溶液をワイヤ接合部に塗布する工程である。樹脂溶液は、例えばディスペンサ等を用いて、ワイヤ接合部に塗布することができる。第 2 樹脂塗布工程 S 6 は、第 1 樹脂塗布工程 S 4 の後であればよく、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施しても、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の後に実施してもよい。第 2 樹脂塗布工程 S 6 を、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施することで、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を第 2 樹脂硬化工程 S 7 と兼ねることができ、製造プロセスが短縮することから、コストを低減することができる。

【0052】

20

< 第 2 樹脂硬化工程 S 7 >

第 2 樹脂硬化工程 S 7 は、第 2 樹脂塗布工程 S 6 の後に実施される。第 2 樹脂硬化工程 S 7 は、ワイヤ接合部に塗布した第 2 樹脂溶液の溶媒を気化させ、樹脂を硬化させる工程である。硬化温度、硬化時間は、樹脂溶液の溶媒に応じて適宜設定することができる。溶媒に NMP を使用した場合、例えば、硬化温度を 200 とすることができる。第 2 樹脂塗布工程 S 6 が、第 1 樹脂硬化工程 S 5 よりも前にある場合、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を第 2 樹脂硬化工程 S 7 と兼ねることができる。これにより、製造プロセスが短縮することから、コストを低減することができる。

【0053】

< 実施例 1 の製造方法の変形例 >

30

図 17 は、変形例に係る実施例 1 の半導体装置の製造方法を説明する図である。図 17 の製造方法は、第 2 樹脂塗布工程 S 6 が第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施され、第 1 樹脂硬化工程 S 5 が第 2 樹脂硬化工程 S 7 を兼ねるように構成される製造方法を示している。第 2 樹脂塗布工程 S 6 を、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施することで、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を第 2 樹脂硬化工程 S 7 と兼ねることができ、半導体装置の製造プロセスが短縮できるので、半導体装置の製造コストを低減することができる。なお、プラズマ処理工程 S 3 は、半導体素子搭載工程 S 1 とワイヤ接合工程 S 2 との間に実施されても良い。

【0054】

< 本発明の効果 >

本実施例における半導体装置の製造方法の効果を以下に記す。図 13 は、プラズマ処理工程の有無、及び第 1 樹脂塗布工程における第 1 樹脂溶液の固形分濃度とワイヤ接合部のボイド有無の関係を示す表 1 の図である。図 14 は、表面電極、ワイヤの引張強度、第 1 樹脂の弾性率を変えたときのパワーサイクル寿命を示す表 2 の図である。図 15 は、第 1 樹脂層の厚みを変えたときのパワーサイクル寿命を示す表 3 の図である。

40

【0055】

図 13 に示す表 1 は、プラズマ処理工程 S 3 の有無、及び第 1 樹脂塗布工程 S 4 における第 1 樹脂溶液の固形分濃度とワイヤ接合部のボイド有無の関係を示す表である。樹脂溶液に含まれる樹脂は、平均分子量 30000、弾性率 5 GPa のポリアミドイミド樹脂、溶媒は NMP である。表 1 に示す通り、ワイヤ接合部のボイド発生を防ぐためには、前述のプラズマ処理工程 S 3 を経たうえて、樹脂溶液の固形分濃度を 0.70 wt % 以下にす

50

る必要がある。このときの樹脂溶液の粘度は、 $0.013 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下である。

【0056】

本実施例における半導体装置の効果を以下に記す。

【0057】

図14に示す表2は、表面電極1a、ワイヤ6の引張強度、第1樹脂31の弾性率を変えたときのパワーサイクル寿命を示す表である。パワーサイクル寿命は、半導体素子1の温度が50 から175 に上昇し、再び50 に降下することを繰り返す温度負荷を与えたときの、半導体装置の寿命である。表2において、表面電極をNiと記す条件は、Al合金の電極層に、 $3 \mu\text{m}$ の無電解Niめっきを積層した条件である。第1樹脂層の厚み t_1 、 t_2 はともに $20 \mu\text{m}$ である。構成3と構成6を比較すると、ワイヤ6の引張強度が 80 MPa 、第1樹脂31の弾性率が 5 GPa のとき、表面電極1aをNi層とすることで、表面電極がAl合金のときと比べ、寿命が約4倍に増加していることが分かる。

10

【0058】

図15に示す表3は、第1樹脂層31の厚み t_1 、 t_2 を変えたときのパワーサイクル寿命を示す表である。パワーサイクル寿命は、半導体素子1の温度が50 から175 に上昇し、再び50 に降下することを繰り返す温度負荷を与えたときの、半導体装置の寿命である。また、半導体素子1の表面電極1aはNi、ワイヤ引張強度は 80 MPa である。第1樹脂層の厚み t_1 、 t_2 がともに $10 \mu\text{m}$ のとき、樹脂の弾性率が低い(3 GPa)従来構造よりも、寿命が1.12倍に増加していることが分かる。さらに、 t_1 が $20 \mu\text{m}$ 、 t_2 が $10 \mu\text{m}$ のとき、寿命は1.37倍、 t_1 、 t_2 ともに $20 \mu\text{m}$ のとき、寿命は1.43倍に増加した。なお、 t_1 が $20 \mu\text{m}$ を超えていても、 t_1 の膜厚がゼロ、すなわちボイドが存在する場合、その寿命は従来構造比0.56にとどまり、信頼性が低下する。

20

【実施例2】

【0059】

次に、図11、図12を用いて本発明による第2の実施例を説明する。

【0060】

図11は本実施例における半導体装置20の構造を示す断面模式図である。本実施例では、第1樹脂層31、半導体素子1、接合材2、配線基板3、及び配線基板3の上面3aの配線パターン3aa、3ab、3acを第3樹脂層33が被覆していることが、実施例1との変更点である。その他の構成は、既に説明した図1から図8に示された同一の符号を付された構成と、同一の機能を有するので、それらの説明は省力する。

30

【0061】

半導体装置には、数100～10kVの高電圧が印加されるため、半導体素子1の端部や配線パターン3aa、3ab、3acの端部など電界集中する箇所を起点に放電が起こることがある。放電を抑止するため、半導体素子1の端部や配線パターン3aa、3ab、3acの端部など電界集中する箇所に、誘電率の高い樹脂層を被覆し、電界を緩和することがある。一方、被覆箇所に対する樹脂溶液の濡れ性が悪いと、樹脂が被覆されない箇所や、樹脂のボイドが生じ、放電抑止効果が十分に得られない課題がある。

【0062】

40

本実施例では、第3樹脂33を塗布する前に、プラズマ処理工程を経ることで、半導体素子1、配線基板3、配線パターン3aa、3ab、3acの汚染や酸化を除去し、樹脂溶剤の濡れ性を高めることができる。第3樹脂33に用いる樹脂として、例えば、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂を用いることができる。第3樹脂33の厚みは、半導体装置の定格電圧に応じて適宜設定することができるが、例えば、 $5 \sim 100 \mu\text{m}$ とすることで、絶縁信頼性が向上する。これにより、第1樹脂31が被覆するワイヤ接合部の信頼性向上だけでなく、第3樹脂層33が半導体素子1の端部や配線パターン3aa、3ab、3acの端部などを被覆することで、絶縁信頼性も向上させることができる。また第3樹脂33の効果は、電界緩和であるため、樹脂の弾性率は特に制限されるものではなく、例えば、 $1 \sim 3 \text{ GPa}$ のような、第1樹脂層の弾性率よりも低い弾性率の樹脂を使用する

50

ことができる。

【 0 0 6 3 】

図 1 2 は、本実施例における半導体装置において、第 3 樹脂の被覆箇所を変えたときの構造を示す断面模式図である。第 3 樹脂溶液の塗布箇所は、ワイヤ接合部を被覆する第 1 樹脂 3 1 を除いた、または、第 2 樹脂 3 2 を除いた、半導体素子 1、接合材 2、配線基板 3、及び配線基板 3 の上面 3 a の配線パターン 3 a a、3 a b、3 a c とすることができる。ワイヤ接合部の信頼性を第 1 樹脂 3 1 で担保できる場合、ワイヤ接合部に第 3 樹脂 3 3 を被覆することを省略することで、第 3 樹脂層の使用量を抑え、コストを低減することができる。

【 0 0 6 4 】

第 3 樹脂層の被覆領域は、半導体素子 1、接合材 2、配線基板 3、及び配線基板 3 の上面 3 a の配線パターン 3 a a、3 a b、3 a c の少なくとも 1 箇所を含んでいればよい。電解集中する箇所に応じて、適宜塗布領域を選択することで、樹脂の使用量を抑えながら、絶縁信頼性も担保することができる。

【 0 0 6 5 】

< 実施例 2 の半導体装置の製造方法 >

本実施例の半導体装置の製造方法について図を用いて説明する。図 1 8 は、実施例 2 に係る半導体装置の代表的な製造方法を示すフロー図である。図 1 8 に示す本実施例における半導体装置の製造方法では、図 1 6 の実施例 1 に記載の製造工程 (S 1 ~ S 7) に加え、第 3 樹脂塗布工程 S 8、及び第 3 樹脂硬化工程 S 9 を有する。その他の工程 (S 1 ~ S 7)、及び工程の順番は、実施例 1 に記載しているものと同様なので、それらの説明は省略する。

【 0 0 6 6 】

< 第 3 樹脂塗布工程 S 8 >

第 2 樹脂 3 2 を利用しない場合は、本実施例の半導体装置の代表的な製造方法は、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の後に、第 3 樹脂塗布工程 S 8 が実施される。一方、第 2 樹脂 3 2 を用いる場合は、図 1 8 に示すように、第 2 樹脂硬化工程 S 7 の後に、第 3 樹脂塗布工程 S 8 が実施される。

【 0 0 6 7 】

第 3 樹脂塗布工程 S 8 は、第 3 樹脂 3 3 が溶解した樹脂溶液をワイヤ接合部に塗布する工程である。例えばディスペンサ等を用いて、第 1 樹脂層 3 1、半導体素子 1、接合材 2、配線基板 3、及び配線基板 3 の上面 3 a の配線パターン 3 a a、3 a b、3 a c に塗布することができる。

【 0 0 6 8 】

第 3 樹脂溶液の固形分濃度、粘度は特に制限されるものではないが、意図しない領域への樹脂溶液の濡れ広がりを抑制するため、例えば、固形分濃度は 3 . 0 ~ 1 4 . 0 w t %、粘度は 0 . 1 ~ 3 . 0 P a ・ s 程度に設定すると良い。

【 0 0 6 9 】

第 3 樹脂塗布工程 S 8 は、プラズマ処理工程 S 3 の後であればよく、第 1 樹脂塗布工程 S 4 の前に実施しても、第 1 樹脂塗布工程 S 4 の後に実施してもよい。第 3 樹脂塗布工程 S 8 を、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施することで、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を後述する第 3 樹脂硬化工程 S 9 と兼ねることができ、製造プロセスが短縮することから、コストを低減することができる。

【 0 0 7 0 】

< 第 3 樹脂硬化工程 S 9 >

第 3 樹脂硬化工程 S 9 は、ワイヤ接合部に塗布した第 3 樹脂溶液の溶媒を気化させ、樹脂を硬化させる工程である。硬化温度、硬化時間は、樹脂溶液の溶媒に応じて適宜設定することができる。溶媒に N M P を使用した場合、例えば、硬化温度を 2 0 0 とすることができる。第 3 樹脂塗布工程 S 8 が、第 1 樹脂硬化工程 S 5 よりも前にある場合、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を第 3 樹脂硬化工程 S 9 と兼ねることができる。これにより、製造プロセ

10

20

30

40

50

スが短縮することから、コストを低減することができる。

【 0 0 7 1 】

< 実施例 2 の製造方法の変形例 >

図 1 9 は、変形例に係る実施例 2 の半導体装置の製造方法を説明する図である。図 1 9 の製造方法は、第 3 樹脂塗布工程 S 8 が、第 1 樹脂塗布工程 S 4 と第 2 樹脂塗布工程 S 6 の後であり、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施され、第 1 樹脂硬化工程 S 5 が第 2 樹脂硬化工程 S 7 と第 3 樹脂硬化工程 S 9 を兼ねるように構成される製造方法を示している。第 3 樹脂塗布工程 S 8 を、第 1 樹脂硬化工程 S 5 の前に実施することで、第 1 樹脂硬化工程 S 5 を第 2 樹脂硬化工程 S 7 と第 3 樹脂硬化工程 S 9 とに兼ねることができ、半導体装置の製造プロセスが短縮できるので、半導体装置の製造コストを低減することができる。なお、プラズマ処理工程 S 3 は、半導体素子搭載工程 S 1 とワイヤ接合工程 S 2 との間に実施されても良い。

10

【 0 0 7 2 】

以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 3 】

- 1 : 半導体素子
- 1 a : 表面電極
- 2 : 接合材
- 3 : 配線基板
- 3 a : 配線基板の上表面
- 3 b : 配線基板の下表面
- 3 a a、3 a b、3 a c、3 b a : 配線パターン
- 4 : ベース板
- 5 : 接合材
- 6 : ワイヤ
- 7 : 端子
- 8 : ケース
- 9 : 封止用の樹脂
- 1 0 : 実施例 1 の半導体装置
- 2 0 : 実施例 2 の半導体装置
- 3 1 : 第 1 樹脂
- 3 2 : 第 2 樹脂
- 3 3 : 第 3 樹脂
- 9 0 : 検討例 1 の半導体装置
- 9 1 : ワイヤ接合部の空間
- 9 2 : ボイド

20

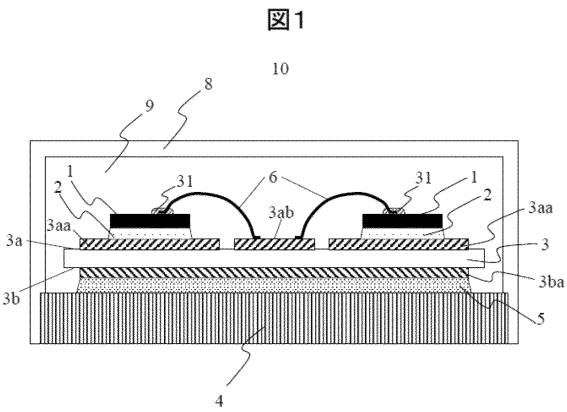
30

40

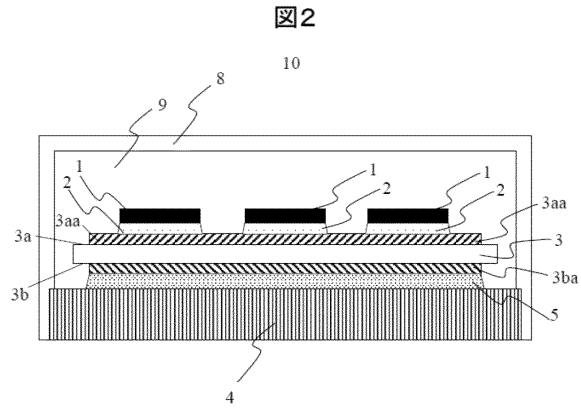
50

【図面】

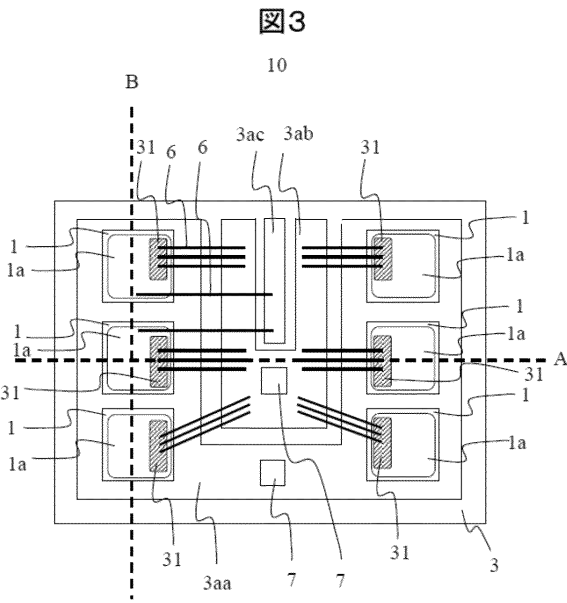
【図 1】



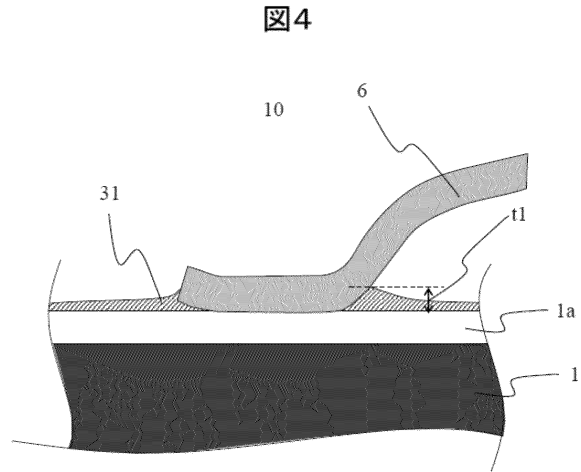
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

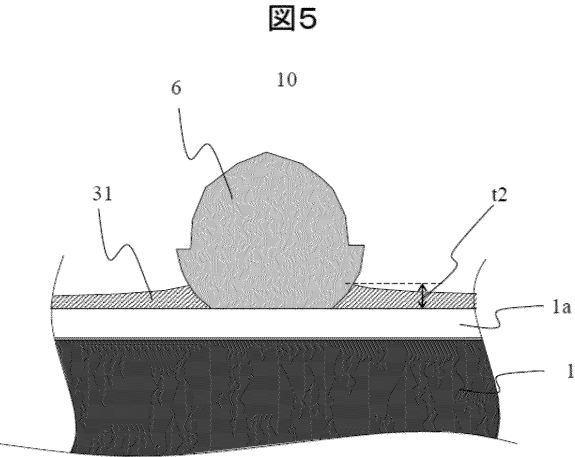
20

30

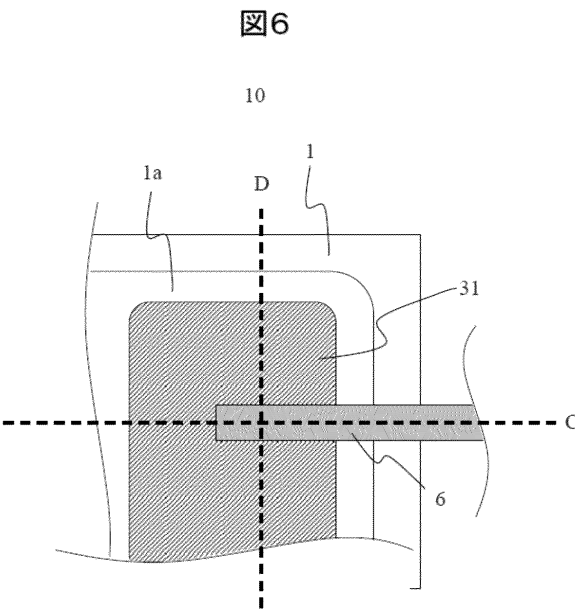
40

50

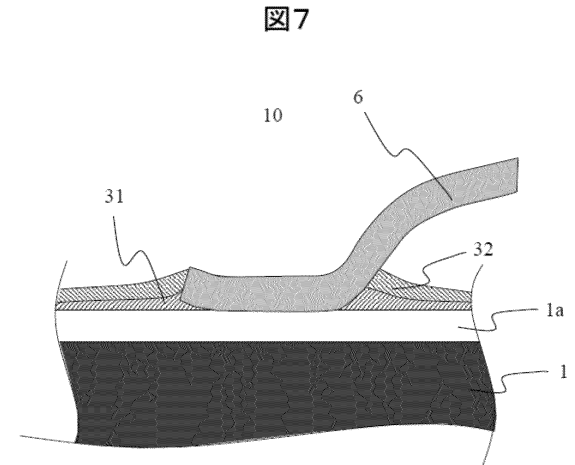
【図5】



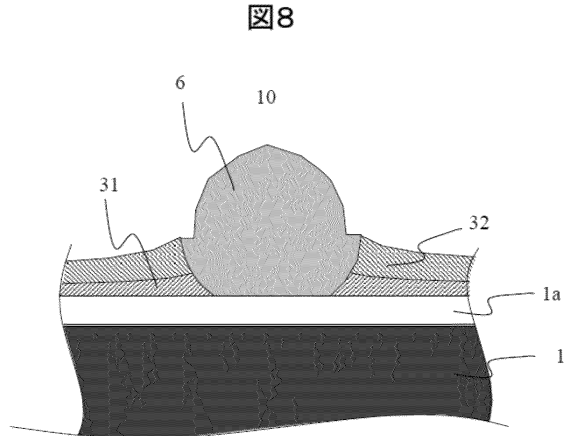
【図6】



【図7】



【図8】



10

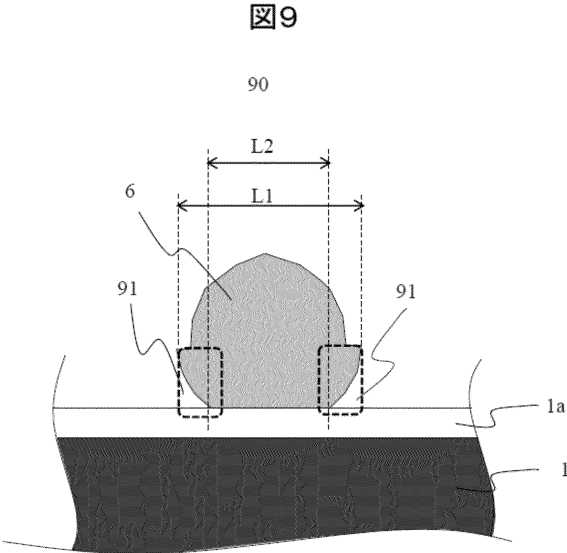
20

30

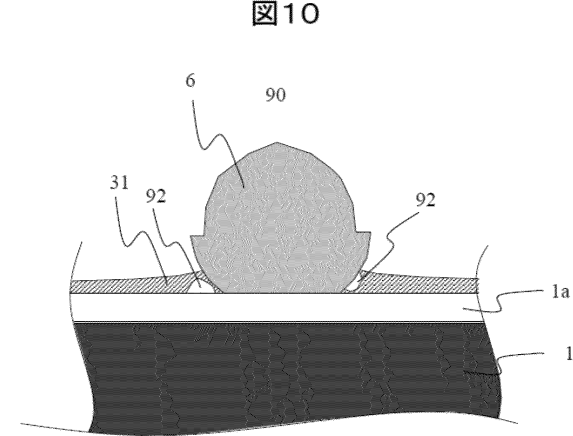
40

50

【図 9】

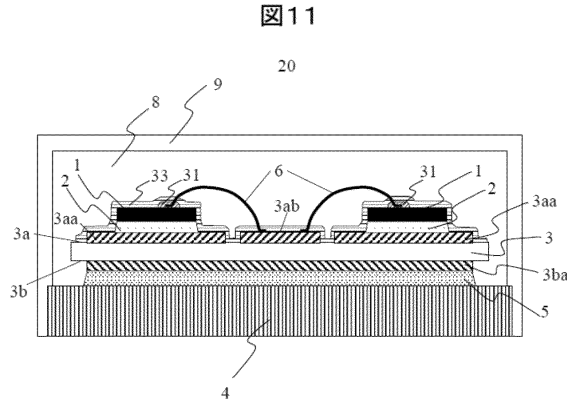


【図 10】

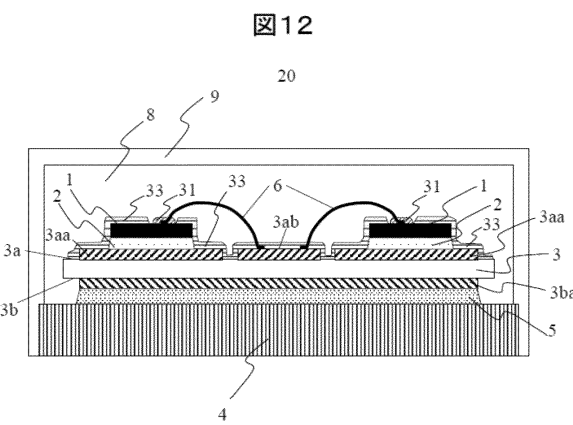


10

【図 11】



【図 12】



20

30

40

50

【図 1 3】

図13

表1

構成	第1樹脂 弾性率 (GPa)	プラズマ 処理工程	樹脂溶液 の固形分 比率 (wt%)	ワイヤ接 合部の ボイド
1	2	無し	7.5	無し
2	5	無し	7.5	有り
3	5	無し	4.2	有り
4	5	無し	1.4	有り
5	5	無し	0.70	有り
6	5	有り	0.70	無し
7	5	無し	0.35	有り
8	5	有り	0.35	無し

【図 1 4】

図14

表2

構成	ワイヤ 引張強度 (MPa)	第1樹脂 弾性率 (GPa)	表面電極	寿命 (相対値)
1	50	2	Al合金	1.00
2	80	2	Al合金	1.67
3	80	5	Al合金	4.22
4	80	2	Ni	12.2
5	50	5	Ni	10.2
6	80	5	Ni	17.4

10

【図 1 5】

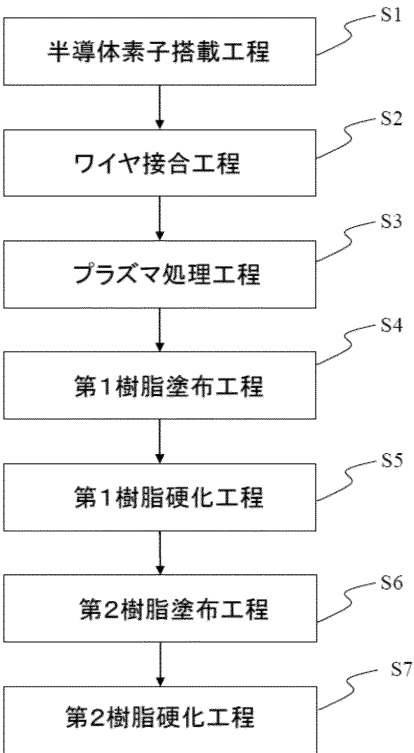
図15

表3

構成	第1樹脂			寿命 (相対値)
	弾性率 (GPa)	厚みt1 (μm)	厚みt2 (μm)	
1	2	20	20	1.00
2	5	20	20	1.43
3	5	20	10	1.37
4	5	10	10	1.12
5	5	20	0	0.56

【図 1 6】

図16



20

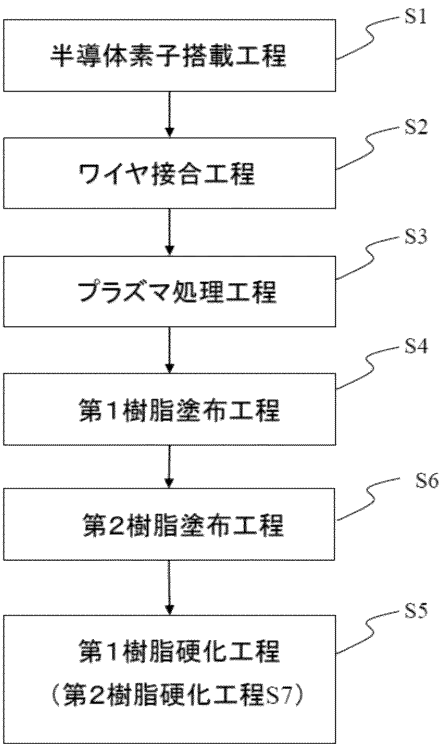
30

40

50

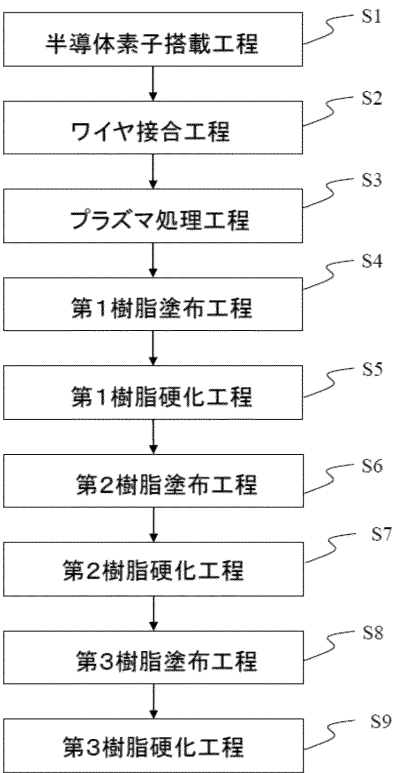
【図 17】

図17



【図 18】

図18

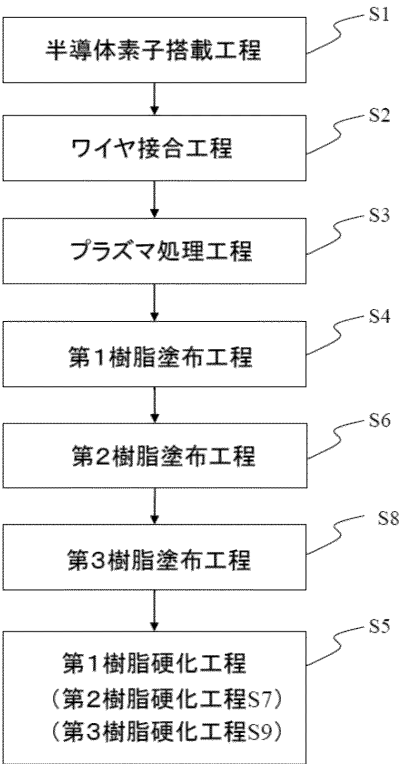


10

20

【図 19】

図19



30

40

50

フロントページの続き

茨城県日立市大みか町五丁目2番2号 株式会社日立パワーデバイス内

審査官 庄司 一隆

- (56)参考文献 国際公開第2017/145667(WO,A1)
国際公開第2020/240790(WO,A1)
米国特許出願公開第2019/0043827(US,A1)
国際公開第2014/175343(WO,A1)
国際公開第2021/065551(WO,A1)
特開2013-026475(JP,A)
特開2017-147327(JP,A)
特開2021-057447(JP,A)
国際公開第2016/016970(WO,A1)
特開平06-120284(JP,A)
国際公開第2019/124414(WO,A1)
特開昭61-084025(JP,A)
米国特許出願公開第2021/0242133(US,A1)
特開2007-142297(JP,A)
特開2013-153107(JP,A)
特表2022-509603(JP,A)
特開2018-182330(JP,A)
特開2008-258435(JP,A)
特開2012-164697(JP,A)
特開2005-093635(JP,A)
特開2006-032617(JP,A)
特開2000-150724(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl.,DB名)
H01L 21/60
H01L 23/29