

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2024-33469

(P2024-33469A)

(43)公開日

令和6年3月13日(2024. 3. 13)

(51)Int. Cl.

H 0 1 L 21/52 (2006. 01)

H 0 1 L 21/60 (2006. 01)

F I

H 0 1 L 21/52

H 0 1 L 21/60

B

3 1 1 Q

テーマコード(参考)

5 F 0 4 4

5 F 0 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2022-137056(P2022-137056)

(22)出願日 令和4年8月30日(2022. 8. 30)

(71)出願人 899000068

学校法人早稲田大学

東京都新宿区戸塚町1丁目104番地

(74)代理人 100099634

弁理士 平井 安雄

(72)発明者 巽 宏平

東京都新宿区戸塚町1丁目104番 学校

法人早稲田大学内

(72)発明者 小柴 佳子

東京都新宿区戸塚町1丁目104番 学校

法人早稲田大学内

Fターム(参考) 5F044 KK01 KK18 LL00 QQ03 QQ06

5F047 AA11 BA12 BA16

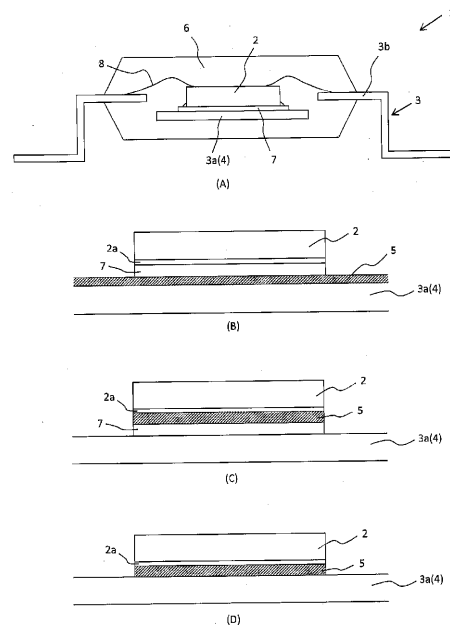
(54)【発明の名称】半導体装置及び接合方法

(57)【要約】

【課題】半導体素子の表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層を積層することで熱膨張差に起因する半導体素子の不良を防止すると共に、電気抵抗を低く抑えた半導体装置を提供することを目的とする。

【解決手段】半導体チップ2の表面電極及び/又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層5が被着され、当該Fe-Ni合金金属層5を介して半導体チップと導電体4とが接続されているものである。必要に応じてFe-Ni合金金属層5のNi重量%は36%以上45%以下の範囲で、Fe-Ni合金金属層5の厚さを2 μ m以上、20 μ m以下とする。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体素子の表面電極及び／又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層が被着され、当該Fe-Ni合金金属層を介して前記半導体素子と導電体とが接続されている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Fe-Ni合金金属層のNi重量％が30％以上45％以下の範囲にあることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の半導体装置において、

前記Fe-Ni合金金属層の厚さが1 μ m以上、5 mm以下であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の半導体装置において、

前記Fe-Ni合金金属層がめっきで形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の半導体装置において、

前記半導体素子の表面電極又は裏面電極である電極面と、前記導電体とが接合面で点状又は線状に接触又は近接し、当該接触又は近接している箇所から外側方向に向かって前記接合面における前記電極面と前記導電体との距離が次第に増大しており、前記電極面と前記導電体と間がFe-Ni合金金属で充填されてFe-Ni合金金属層が形成されることを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の半導体装置において、

前記Fe-Ni合金金属層が、Fe-Niめっき金属を熱処理して形成されており、前記導電体と前記Fe-Niめっき金属との界面に拡散層が形成されているか、又は前記Fe-Niめっき金属の一部が再結晶していることを特徴とする半導体装置。

【請求項 7】

請求項 1 又は 2 に記載の半導体装置において、

前記Fe-Ni合金金属層が、ナノサイズの金属粒子とFe-Ni合金粒子との粉体を焼結して形成されることを特徴とする半導体装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の半導体装置において、

前記粉体にマイクロサイズのAl粒子が含まれることを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】

半導体素子の表面電極又は裏面電極である電極面と、導電体とが接合面で点状又は線状に接触又は近接させ、当該接触又は近接している箇所から外側方向に向かって前記接合面における前記電極面と前記導電体との距離が次第に増大する隙間にFe-Niめっき金属を充填してめっき接合し、その後当該箇所を熱処理することを特徴とする接合方法。

【請求項 10】

ナノサイズの金属粒子とFe-Ni合金粒子とを含む粉体で形成され、半導体素子の表面電極及び／又は裏面電極に対して直接又は間接的に被着されるFe-Ni合金金属層として形成される接合材。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、Fe-Ni合金金属層により被接合対象の熱膨張差を抑制する半導体装置等に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

半導体素子の実装は基板への固定と電極端子の導電接続と、それらの絶縁保護が基本となる。半導体は、回路に流れる電流により発熱し熱膨張する。一方半導体に接続される金属や絶縁樹脂の熱膨張率は一般に一桁ほど大きい。例えばSi材料の熱膨張係数（CTE）は、2.6ppm/K程度に対して、配線材料や基板の導電材料として広く用いられる銅の熱膨張率は、16.5ppm/K程度である。Si半導体と導電配線材料である銅が接続された場合、その熱膨張差によるひずみ量は温度と接続の長さに比例して大きくなる。このひずみ量による半導体素子への応力や接続材料への応力は、温度サイクルによる熱疲労が原因で生じる半導体デバイスの損傷を与える原因となっており、現在種々の対策が講じられてきているが抜本的な解決に至らないのが現状である。特に大電流が流れるパワーデバイスにおいては、この熱応力に対しての課題が大きい。

10

【 0 0 0 3 】

このような課題に関して、基板材料を熱膨張率がSi半導体に近いセラミックス基板とし、当該セラミックス基板に銅配線が形成されているものが使用されてきた。例えばロジックデバイスであるCPU素子において、初期にはセラミックスパッケージが多用されていたが、コスト高が大きな課題となっていた。現在は有機材料の基板を用いて、封止樹脂やアンダーフィル剤により、熱膨張差のひずみ量を抑制するなどの対策が取られているが、耐熱温度が限定されてしまう。したがって、高出力のパワーデバイスにおいては、現在でもSiやSiC半導体の熱膨張率に近い値を有するアルミナや窒化ケイ素基板が多用されている。

20

【 0 0 0 4 】

近年実用化の進展が著しいSiC半導体デバイスなどの化合物半導体においては、素子自体もSi半導体に比較して高温での動作を可能とし、また高出力密度が可能であることから、熱膨張差を抑制して高温で動作が可能な実装技術が望まれている。

【 0 0 0 5 】

熱膨張率が低く、且つ半導体の熱膨張率に近い材料としてFe-Ni合金金属（例えば、Niが42重量%の42アロイ等）が知られており、電子部品のリードやリードフレームなどに利用されることがある。リードフレームは一般的に、導電性が優れた銅で形成される場合が多く、またSi半導体チップやSiC半導体チップと接続する際には半田や樹脂成分を含むペーストなどで接続される場合が多い。そのため、温度サイクルによるSi半導体やSiC半導体と、配線である銅との熱膨張差に起因する熱応力により、半田接続の場合には半田が塑性変形し、その繰り返しにより疲労破壊することが問題となる。また、ペーストによる接続の場合にはペースト材料や界面での剥離が問題となるケースがある。そこで、上述したように、リードフレーム自体をSi半導体やSiC半導体の熱膨張率に近い42アロイで形成することで上記のような問題に対処してきたが、Fe-Ni合金金属は導電率や熱伝導率が銅と比較して低いことや、材料費の観点から限定的な使用に留まっている。

30

【 0 0 0 6 】

Fe-Ni合金金属を利用した技術として、例えば特許文献2ないし4に示す技術が開示されている。特許文献2に示す技術は、銅の第2接続リードに熱膨張率が $(1 \sim 6) \times 10^{-6} / K$ の鉄ニッケル合金の第1接続リードを溶接などで接続し、第1接続リードの先端を電極パッドにはんだで固着することで、電極パッドに加わる熱応力を小さくし、電極パッドと第1接続リードの熱膨張差で発生する熱応力を小さくすることで、はんだや電極パッド下のシリコンにクラックが生じることを防止でき、また、第1接続リードの長さを第1接続リードと第2接続リードを合わせた長さの40%未満とすることで、電気抵抗を低く維持し接続導体の低コスト化を図ることができるものである。

40

【 0 0 0 7 】

特許文献3に示す技術は、鉄 - ニッケル合金からなる基底素材と、基底素材上にメッキされ、結晶粒径が1ミクロン以下のメッキ層と、を備える半導体リードフレームであり、これにより、鉄 - ニッケル合金（a l l o y 4 2）からなる基底素材上に錫でメッキするときに、結晶粒径を最小化させてウイスカの成長を抑制できるものである。

50

【 0 0 0 8 】

特許文献 4 に示す技術は、低膨張部材は鉄系材からなる板部材を有しており、板部材の上部及び下部の表層部分には鉄ニッケル層がそれぞれ形成されており、ここで、板部材は大きい熱膨張係数を有するが、板部材の上部及び下部の表層部分に形成された鉄ニッケル層が小さい熱膨張係数を有するため、低膨張部材全体の熱膨張係数を小さく抑えることができ、また、板部材は高い熱伝導率を有しており、鉄ニッケル層はこの板部材に対して薄く形成されているので、低膨張部材はその厚み方向に高い熱伝導率を有しているものである。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 国際公開第 2 0 1 5 / 0 5 3 3 5 6 号

【 特許文献 2 】 特開 2 0 1 2 - 3 8 9 8 3 号公報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 6 - 1 0 8 6 6 6 号公報

【 特許文献 4 】 特開 2 0 0 4 - 1 0 3 7 0 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、特許文献 1 及び 2 に示す技術は、半導体と導電体との熱膨張差による不良対策としては十分ではなく、特に特許文献 2 に示す技術は、Fe-Ni合金金属を用いたリードで応力を緩和するものであるため、第 1 接続リードの長さを第 1 接続リードと第 2 接続リードを合わせた長さの 4 0 % 未満にしたとしても、導電率や熱伝導率が銅と比較して低いことやコストに関して十分に対応できる技術ではないという課題を有する。

20

【 0 0 1 1 】

また、特許文献 3 及び 4 について、これらの技術を用いた場合であっても上記のような問題を解決できるものではない。

【 0 0 1 2 】

本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、半導体素子の表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層を積層することで熱膨張差に起因する半導体素子の不良を防止すると共に、電気抵抗を低く抑えた半導体装置を提供することを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

本発明に係る半導体装置は、半導体素子の表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層が被着され、当該Fe-Ni合金金属層を介して前記半導体素子と導電体とが接続されているものである。

【 0 0 1 4 】

このように、本発明に係る半導体装置においては、半導体素子の表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的にFe-Ni合金金属層が被着され、当該Fe-Ni合金金属層を介して半導体素子と導電体とが接続されているため、半導体素子と導電体との熱膨張差により生じる応力が緩和され、半導体素子の損傷を防止することができるという効果を奏する。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 Fe-Ni合金の線熱膨張係数の組成依存性を示す図である。

【 図 2 】 半導体装置においてリードフレームを用いた場合の構造を示す図である。

【 図 3 】 ワイヤーボンディングにおける半導体チップの接合部分を示す図である。

【 図 4 】 第 1 の実施形態に係る半導体装置においてフリップチップ接続を行う場合の構造を示す図である。

【 図 5 】 第 1 の実施形態に係る半導体装置においてCuピラーを有する場合のフリップチップ接続の構造を示す図である。

50

【図 6】第 1 の実施形態に係る半導体装置のパワーデバイスとしての構造を示す図である。

【図 7】第 1 の実施形態に係る半導体装置においてリードフレームタイプのパワーデバイス構造の一例を示す図である。

【図 8】第 1 の実施形態に係る半導体装置において Cu クリップを用いた場合のパワーデバイス構造の一例を示す図である。

【図 9】第 1 の実施形態に係る半導体装置における NMPB 構造の一例を示す図である。

【図 10】第 1 の実施形態に係る半導体装置における Fe-Ni 合金金属層のめっき処理後の加熱温度に応じた線膨張係数の測定結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0016】

以下、本発明の実施の形態を説明する。また、本実施形態の全体を通して同じ要素には同じ符号を付けている。

【0017】

(本発明の第 1 の実施形態)

本実施形態に係る半導体装置について、図 1 ないし図 9 を用いて説明する。本実施形態に係る半導体装置は、半導体チップの表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的に Fe-Ni 合金金属層を積層し、当該 Fe-Ni 合金金属層を介して半導体チップと導電体とを接続する接続構造を有するものである。なお、以下の各実施形態において、Fe-Ni 合金金属層は Fe-Ni 合金を少なくとも含む金属層であり、Fe-Ni 以外の金属が含まれるものであってもよい。

20

【0018】

Fe-Ni 合金金属の熱膨張率は、Si 半導体や SiC 半導体に近い数 ppm に制御することが可能である。図 1 は、Fe-Ni 合金の線熱膨張係数の組成依存性を示す図である。横軸が Ni の組成を示し、縦軸が熱膨張係数を示している。グラフに示すように、Ni 組成が 36% で最も熱膨張係数が小さく、従来リードフレーム材料として用いられたものは Ni 組成が 42% である。本実施形態に係る半導体装置においては、図 1 のグラフから Ni 重量%濃度が 30% ~ 45% の範囲で導電体の熱膨張率の抑制に効果が期待できる。

【0019】

以下、本実施形態に係る半導体装置の構造について具体的に説明する。図 2 は、半導体装置においてリードフレームを用いた場合の構造を示す図である。図 2 (A) はリードフレームを用いた場合の一般的な半導体実装構造を示す図であり、図 2 (B) は本実施形態においてリードフレームを用いた場合の半導体素子と導電体との接合構造を示す第 1 の図、図 2 (C) は本実施形態においてリードフレームを用いた場合の半導体素子と導電体との接合構造を示す第 2 の図、図 2 (D) は本実施形態においてリードフレームを用いた場合の半導体素子と導電体との接合構造を示す第 3 の図である。

30

【0020】

図 2 においては、Si 半導体や SiC 半導体 (以下、半導体チップ 2 という) がリードフレーム 3 のダイパッド (アイランド) 3a にダイボンディングされている。半導体チップ 2 とリードフレーム 3 のリード 3b とはワイヤー 8 で接続され、樹脂 6 で封止される。一般的には、半導体チップ 2 は半田 7 や樹脂成分を含むペーストなどでダイパッド 3a にダイボンディングされることが多く、リードフレーム 3 は導電性に優れた銅の場合が多い。この場合、上述したように、温度サイクルによる半導体チップ 2 (Si や SiC) とリードフレーム 3 (Cu) との熱膨張差に起因する熱応力により半田 7 が塑性変形し、その繰り返しにより疲労破壊してしまったり、ペースト材料やその界面で剥離してしまうといった問題が生じる。そのため、仮にリードフレーム 3 自体を半導体の熱膨張率に近い Fe-42%Ni 材料とした場合、導電率や熱伝導率の問題に加えて材料費の問題もあり、限定的な使用に止まっている。

40

【0021】

半導体チップ 2 と導電体 4 (図 2 においてはダイパッド 3a に相当) である銅との接合

50

における問題は、半導体チップ2と導電体4との界面の問題である。そのため、本実施形態に係る半導体装置1においては、図2(B)に示すように、銅であるダイパッド3aの表面に熱膨張率を抑制したFe-Ni合金金属層5を被着しておくことが有用となる。すなわち、ダイパッド3aにFe-Ni合金金属層5が被着して積層され、半田7を介して半導体チップ2のTi/Ni/Au膜2aが接続する。このように、半導体チップ2の熱膨張率に近いFe-Ni合金組成の層(Fe-Ni合金金属層5)をダイパッド3aに形成しておくことで、銅の熱膨張による半田7への応力負荷を低減することが可能となる。

【0022】

図2(C)は、半導体チップ2の裏面(下面側)に比較的強度が高く且つ熱膨張率がSi半導体やSiC半導体に近いFe-Ni合金金属層5を被着した場合の構造を示している。ここで

10

【0023】

図2(D)は、半導体チップ2の裏面(下面側)にFe-Ni合金金属層5を被着しており、当該Fe-Ni合金金属層5を接合材として形成した場合の構造を示している。ここでは、半導体チップ2のTi/Ni/Au膜2a表面にナノサイズのNi粒子をバインダーとしてFe-Ni合金金属層5で半導体チップ2と導電体4とを接合している。

【0024】

なお、図2(B)～図2(D)において、Fe-Ni合金金属層5のNi重量%濃度は、30%～45%程度の範囲で効果を期待することができ、厚さについては2μm以上で効果があり、5μm以上であることが好ましい。

20

【0025】

また、図2(B)、(C)のような半田7による接合に対して、近年これに代わる高温動作に対応した接合技術の開発が進んできた。ダイボンディング材料の接着性、強度が高いものとして、例えばAg焼結材やNi焼結材、又はニッケルマイクロメッキ接合などの場合には、接続材料内の破断や界面の剥離が生じることがない一方で、半導体チップ2への応力が高まり、半導体チップ2内のクラックなどによる電流リークなどの不良が見られる場合がある。このような場合の対策として、本実施形態においては、図2(D)に示すように、Fe-Ni合金金属層5をナノサイズのNi粒子を焼結材として混合することで、半導体チップ2への応力を緩和した強固な接合が可能となる。このとき、さらにマイクロサイズのAl粒子が含まれるFe-Ni合金金属層5を形成するようにしてもよい。Al粒子が含まれることでAlによる熱膨張差による熱応力を緩和することが可能となる(例えば、特開2020-35983号公報を参照)。

30

【0026】

Fe-Ni合金金属層5を形成するときにナノサイズのNi粒子やマイクロサイズのAl粒子が含まれる場合は、Fe-Ni合金金属層5の主成分をFe-Ni合金粒子とするが、混合する組成比に応じて図1に示す線膨張係数との複合則により混合体の線膨張係数が変わる。すなわち、Ni粒子の混合分はNi:100%の熱膨張率となり、Al粒子の混合分はAl:100%の熱膨張率となるため、Fe-Ni熱膨張率とそれらの体積比で線膨張係数が決まる。そのため、Fe-Ni合金金属層5の線膨張係数がSiやSiC半導体の熱膨張率に近い値となるように組成比を調整することが望ましい。なお、ナノサイズのNi粒子は、10nm～200nmのサイズであることが望ましい。また、ナノサイズの粒子はNi以外にも同様のサイズ、体積比率となるナノサイズのAg粒子やCu粒子を用いてもよい。さらに、ナノサイズのNi粒子の焼結材としての効果は体積比率で15%以上であることが望ましいが、熱膨張率の影響を考慮すると60%以下の範囲であることが望ましい。

40

【0027】

さらにまた、Fe-Ni合金金属層5の被着については、クラッド、物理蒸着、めっき、溶射、焼結等の手法を用いることが可能である。図2(B)に示すように、Fe-Ni合金金属層5を導電体4に被着する場合には、上記いずれの手法を用いてもよい。図2(C)に示すように半導体チップ2の裏面側に被着する場合は、物理蒸着又はめっきが用いられる。

50

図 2 (D) の場合はナノサイズのNiを焼結することで被着及び接合がなされる。

【 0 0 2 8 】

特に、めっきによりFe-Ni合金金属層 5 の被着を行う場合には、図 1 に示したようなFe-Niの熱膨張係数を実現するために、組成の最適化及び原子の再配列が必要となることがある。具体的には、所望の組成のFe-Ni合金金属層 5 をめっきで形成するためには、めっき処理後に 2 0 0 ~ 3 5 0 程度の熱処理が行われることが望ましい。めっき処理後に上記のような熱処理を行うことでFe-Ni合金金属層 5 と導電体 4 との界面において拡散層（例えば、界面において $0.01\mu\text{m}=10\text{nm}$ 程度以上、相互の金属が拡散している層）が形成され、強固な接合を実現することが可能となる。また、めっき処理後に熱処理を行うことでFe-Ni合金金属層の一部が再結晶し、強固な接合が実現可能である。すなわち、めっき処理後の結晶は結晶成長方向により異方性が見られるが、熱処理により新たに結晶方位が異なる結晶粒が発生することで、Fe-Ni合金金属層 5 と導電体 4 とが極めて強固に接合される。

10

【 0 0 2 9 】

なお、図 2 (C) に示すように半導体チップ 2 の裏面側にFe-Ni合金金属層 5 を被着する場合は、ウエハをダイシングする前にめっきにより被着することが望ましい。すなわち、ウエハの単位でめっき処理を行いその後にダイシングをすることで、非常に効率的に裏面側にFe-Ni合金金属層 5 が形成された半導体チップ 2 を生成することが可能となる。

【 0 0 3 0 】

図 2 において半導体チップ 2 の表面（上面側）については、表面電極とリード 3 b との接続のために電極金属にワイヤーボンディングされるが、ワイヤー 8 とリード 3 b との間はワイヤー 8 がフレキシブルであるため応力が掛からない。一方で、小領域ではあるが、ワイヤー 8 の材料の熱膨張率と半導体チップ 2 の熱膨張率の違いから、ワイヤーボンディング部分において半導体チップ 2 に熱応力によるダメージが生じる場合がある。

20

【 0 0 3 1 】

ワイヤー 8 の材料は、一般的にはアルミニウム、金、銅などである。ボールボンディングの場合は一旦ワイヤー 8 材料が溶融していることや、比較的小面積であることから熱応力が問題になるケースは少ない。しかしながら、パワーデバイスの場合はウエッジボンディングされるため、ワイヤー 8 の径が $50\mu\text{m}\phi$ から $500\mu\text{m}\phi$ 程度と太く、加工硬化されることから、熱サイクル中にはワイヤー 8 の材料の塑性変形が進まず、半導体チップ 2 側に応力が掛かることとなる。図 3 は、ワイヤーボンディングにおける半導体チップの接合部分を示す図である。図 3 (A) は、Al電極 2 b 上に従来のウエッジボンディング接合を行った場合を示し、図 3 (B) は、本実施形態においてAl/Fe-Ni/Au電極上にウエッジボンディング接合を行った場合を示す図である。上述したように、従来の図 3 (A) の場合は、熱サイクル中にワイヤー 8 材料の塑性変形が進まず、半導体チップ 2 側に応力が掛かることとなる。これに対して、本実施形態においては、図 3 (B) に示すように、半導体チップ 2 のAl電極 2 b 表面に熱膨張率がワイヤー 8 の材料よりも低いFe-Ni合金金属層 5 を被着しておくことで、上記のような問題を解決することが可能となっている。

30

【 0 0 3 2 】

なお、このときFe-Ni合金金属層 5 における組成は、上記と同様に、Ni重量%濃度が 3 0 % ~ 4 5 % 程度の範囲、厚さは $2\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $5\mu\text{m}$ 以上で $20\mu\text{m}$ 以下とする。また、Fe-Ni合金金属層 5 は、物理蒸着又はめっきにより被着することが可能である。通常、電極材料は $1\sim4\mu\text{m}$ 程度のアルミニウムが一般的であるが、Fe-Ni合金金属を直接被着できない場合には、Zn置換処理（ジンケート）やNiめっきなどの下処理を行うようにしてもよい。さらに、図 3 (B) に示すようにFe-Ni合金金属層 5 の層上にはめっき層 2 c（例えば、Au、Ag、Al等）を被着することでFe-Ni合金金属層 5 の酸化防止を行うことが望ましい。

40

【 0 0 3 3 】

次に、フリップチップ構造の場合について説明する。図 4 は、本実施形態に係る半導体装置においてフリップチップ接続を行う場合の構造を示す図である。図 4 は、半導体実装

50

におけるフリップチップ構造を示しており、基板 9 の基板電極 4 a (例えばCu電極)に対して半導体チップ 2 の回路面が対向して接続されるものである。基板電極 4 a と半導体チップ 2 とは、半田ボール(半田 7)を介して接続され、半田 7 を溶融することで接合される。従来、基板 9 は、半導体チップ 2 との熱膨張差を軽減するためにセラミックス基板が用いられてきたが、現在は熱膨張率の大きい有機基板が主流になっているという現状である。半導体チップ 2 と基板 9 との間に絶縁樹脂であるアンダーフィルで固定し、熱膨張差による変形を抑制することで実用化されているが、半導体チップ 2 のサイズが大きいものや高出力の場合には、熱膨張差による変形を無視できなくなってしまう。

【0034】

そのため、図 4 に示すような構造とすることで、熱膨張差による変形を抑えることが可能となる。図 4 (A) の場合は、半導体チップ 2 の接続面にFe-Ni合金金属層 5 が被着され、半田 7 を介して導電体 4 (基板 9 の基板電極 4 a)に接続されている。一方、図 4 (B) の場合は、導電体 4 (基板 9 の基板電極 4 a)の表面にFe-Ni合金金属層 5 が被着され、半田 7 を介して半導体チップ 2 の接続面に接続されている。いずれにおいても、半導体チップ 2 の上方には放熱のためのヒートシンク 2 1 が配設されている。図 4 において、半導体チップ 2 と基板電極 4 a との間にFe-Ni合金金属層 5 が形成されているため、熱膨張差に起因する応力を緩和することが可能となっている。特に、図 4 に示すような構造は、パワーデバイスのような電極面積が大きい場合にその効果が絶大となる。なお、図 4 (A) に示す構造の場合は、物理蒸着又はめっきによりFe-Ni合金金属層 5 が形成され、図 4 (B) に示す構造の場合は、クラッド、物理蒸着、めっき、溶射、焼結等の手法を用いることが可能である。

【0035】

また、図 5 は、本実施形態に係る半導体装置においてCuピラーを有する場合のフリップチップ接続の構造を示す図である。図 5 において、半導体チップ 2 電極側に導電体 4 であるCuピラー 1 0 が形成されており、基板電極 4 a に半田 7 で接続されている。半導体チップ 2 とCuピラー 1 0 との間にはFe-Ni合金金属層 5 が形成されており、こうすることでCuピラー 1 0 と半導体チップ 2 との熱膨張差が緩和され、上記と同様に熱膨張差に起因する応力を緩和することが可能となっている。なお、図 5 におけるFe-Ni合金金属層 5 は、物理蒸着又はめっきにより形成される。

【0036】

次に、パワーデバイス実装の構造について説明する。図 6 は、本実施形態に係る半導体装置のパワーデバイスとしての構造を示す図である。パワーデバイスの実装においては、高出力であることに加えて放熱構造が重要である。図 6 に示す絶縁基板 6 1 としては熱膨張率が比較的小さいセラミックスが使用されることが多いが、大電流を流す銅配線(配線 6 2 や放熱基板 6 3)と半導体チップ 2 との熱膨張差が問題になる場合がある。そのため、図 6 に示すように半導体チップ 2 の裏面側にFe-Ni合金金属層 5 を被着する。こうすることで、これまで同様に、熱膨張差に起因する応力を緩和することが可能となる。

【0037】

なお、図 6 に示すように、図 3 において説明したようなワイヤーボンディングにおける半導体チップ 2 の接合部分にもFe-Ni合金金属層 5 を被着することが望ましい。また、図 6 におけるFe-Ni合金金属層 5 は、物理蒸着又はめっきにより形成される。

【0038】

図 7 は、リード接続タイプのパワーデバイス構造の一例を示す図である。図 7 に示す構造はリード 3 b を用いたものであり、半導体チップ 2 の表面側に放熱性が期待できるリード 3 b を直接接合する構造となっている。半導体チップ 2 の表面及び裏面には銅配線(リード 3 b や放熱基板 6 3)との間にFe-Ni合金金属層 5 が形成され、それぞれが半田 7 を介して接合される。また、図 8 は、両面放熱型のパワーデバイス構造の一例を示す図である。これらの構造の場合、半導体チップ 2 の表面の電極と銅配線(配線 6 2 等)とが直接接合されるため熱膨張率の差が問題となる。

【0039】

10

20

30

40

50

図 7 及び図 8 に示すように、半導体チップ 2 と銅配線との間に Fe-Ni 合金金属層 5 を挿入することで半導体チップ 2 への応力を緩和することができる。特に図 8 に示すような両面放熱型の実装構造の場合は、半導体チップ 2 の表面電極及び裏面電極に Fe-Ni 合金金属層 5 を形成することが望ましい。なお、図 7 及び図 8 における Fe-Ni 合金金属層 5 は、物理蒸着又はめっきにより形成される。

【0040】

次に、発明者らが開発したニッケルマイクロメッキ接合 (Nickel Micro Plating Bonding: NMPB) の構造について説明する。パワーデバイスの場合、図 6 ないし図 8 で示したように、半田 7 による接合であったり、高耐熱デバイスに対しては Ag 焼結材料などが用いられる場合が多いが、半田 7 の場合は融点が高いという問題があり、Ag 焼結材料の場合は Ag マイグレーションやコスト高といった問題がある。そこで、発明者らは半導体チップ 2 とリード 3 b や基板 9 (銅基板) との接合をエッジを介して Ni でめっき接合するニッケルマイクロメッキ接合技術を開発した (例えば、特許文献 1、国際公開第 2017/154893 等を参照)。この技術は、テーパ状に加工されたリード 3 a のエッジ部分で点状又は線状に半導体チップ 2 とリード 3 a とが接触又は近接し、接触又は近接している当該箇所から外側方向に向かって半導体チップ 2 とリード 3 a との距離が次第に増大しており、その間隙に Ni のめっき液を充填した状態でめっき処理を行うことで、半導体チップ 2 とリード 3 a とを接合するものである。Ni めっきによる接合は非常に強固であり、熱応力で破断することはないものの、半導体チップ 2 への熱応力により半導体チップ 2 側でリークが発生する場合がある。

【0041】

図 9 は、本実施形態に係る半導体装置における NMPB 構造の一例を示す図であり、図 9 (A) はめっき接合を Ni で行う場合の構造を示し、図 9 (B) はめっき接合を Fe-Ni 合金金属で行う場合の構造を示している。図 9 (A) の場合は、半導体チップ 2 がリード 3 b に接合する接合面に Fe-Ni 合金金属層 5 を形成し、当該 Fe-Ni 合金金属層 5 とリード 3 b のエッジが接触した状態で Ni めっき 91 で接合することで形成される。なお、この場合、Ni めっき 91 を Ni ではなく Fe-Ni 合金でめっき形成するようにしてもよい。ここでの Fe-Ni 合金金属層 5 は、物理蒸着又はめっきにより形成される。図 9 (B) の場合は、半導体チップ 2 の電極とリード 3 b のエッジとが接触した状態で Fe-Ni 合金でめっきを行うことで Fe-Ni 合金金属層 5 が形成され、半導体チップ 2 とリード 3 b とがエッジを介して接合される。いずれの構造においても Fe-Ni 合金金属層 5 が半導体チップ 2 と銅電極との間に形成されることで、熱膨張差に起因する半導体チップ 2 への応力を緩和することができる。

【0042】

なお、図 9 において、上述したように、Ni めっき又は Fe-Ni 合金めっきを行う場合に組成の最適化及び原子の再配列を行うために、めっき処理後に 200 ~ 350 程度の熱処理が行われることが望ましい。これにより、めっき金属と導電体 4 との界面において拡散層が形成され、強固な接合を実現することが可能となる。また、めっき処理後に熱処理を行うことで Fe-Ni 合金金属層の一部が再結晶し、強固な接合が実現可能である。

【0043】

めっき金属と導電体 4 との界面において拡散層や再結晶により強固な接合が可能になるが、これに加えて、対向するめっきの成長面がぶつかり合う界面 (図 9 に示す界面 92) においても同様の現象が生じることで、めっきによる接合をより強固なものにできる。

【0044】

ここで、Fe-Ni 合金金属層 5 のめっき形成後における熱処理の影響について、発明者らが行った結果を図 10 に示す。ここでは、めっき時の電流密度を 2A/dm^2 又は 4A/dm^2 とし、Fe-Ni 合金金属層 5 の組成が Fe-(33~44)Ni(wt%) となるめっき処理を行い、その後 0 (未熱処理)、220、250、300、350、400、450 で熱処理を行った。各温度で熱処理した Fe-Ni 合金金属層 5 に対して 50 ~ 250 の温度変化における線膨張整数を測定した。

【0045】

図 10 の測定結果に示す通り、熱処理する温度に応じて線膨張係数が変化していることがわかる。すなわち、半導体装置 1 の使用環境や用途に応じてめっき処理後の熱処理により線膨張整数を調整することが可能となる。具体的には、半導体装置 1 が使用される温度以上の温度に加熱処理しておくことで、少なくとも線膨張係数が温度に応じて大きく変化することが防止され、一定の線膨張整数で使用することができる。

【 0 0 4 6 】

このように、本実施形態に係る半導体装置においては、半導体チップ 2 の表面電極又は裏面電極に対して直接又は間接的に Fe-Ni 合金金属層 5 が被着され、当該 Fe-Ni 合金金属層 5 を介して半導体チップと導電体とが接続されているため、半導体チップ 2 と導電体との熱膨張差により生じる応力が緩和され、半導体チップ 2 の損傷を防止することができる。

10

【 0 0 4 7 】

また、Fe-Ni 合金金属層の Ni 重量 % を 3 0 % 以上 4 5 % 以下の範囲にすること、及び / 又は、Fe-Ni 合金金属層の厚さが 2 μ m 以上、2 0 μ m 以下とすることで、熱膨張係数を出来るだけ小さくしつつ、応力を最小限に抑えて半導体チップ 2 の損傷を防止することができる。

【 0 0 4 8 】

さらに、Fe-Ni 合金金属層 5 をめっきで形成することで、半導体チップ 2 に直接形成することが可能になると共に、スパッタなどに比べて厚みを持たせることができるため、熱膨張に十分耐え得る程度に厚く形成することができる。

【 符号の説明 】

20

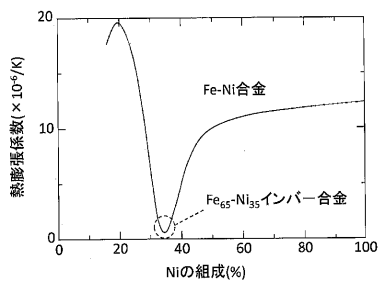
【 0 0 4 9 】

- 1 半導体装置
- 2 半導体チップ
- 2 a Ti/Ni/Au 膜
- 2 b Al 電極
- 2 c めっき層
- 3 リードフレーム
- 3 a ダイパッド
- 3 b リード
- 4 導電体
- 4 a 基板電極
- 5 Fe-Ni 合金金属層
- 6 樹脂
- 7 半田
- 8 ワイヤ
- 9 基板
- 10 Cu ピラー
- 21 ヒートシンク
- 61 絶縁基板
- 62 銅配線
- 63 放熱基板
- 91 Ni めっき
- 92 界面

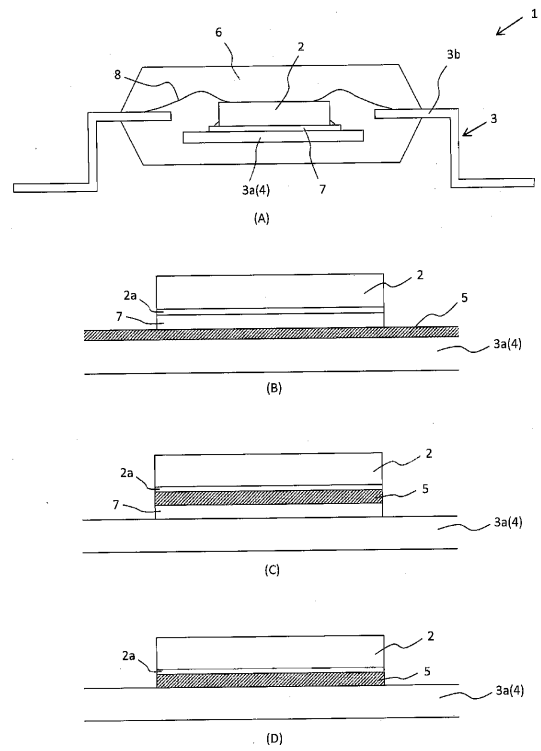
30

40

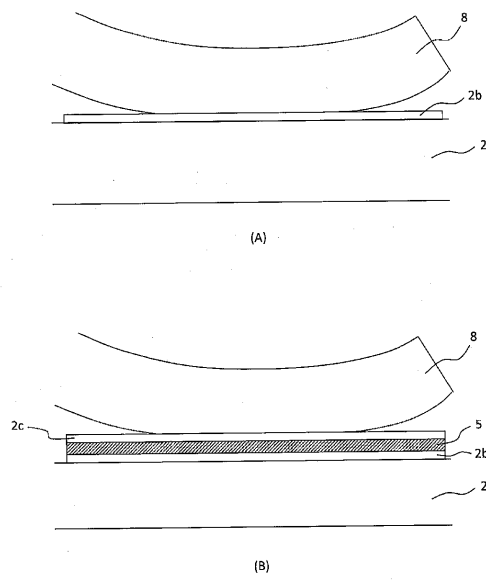
【図 1】



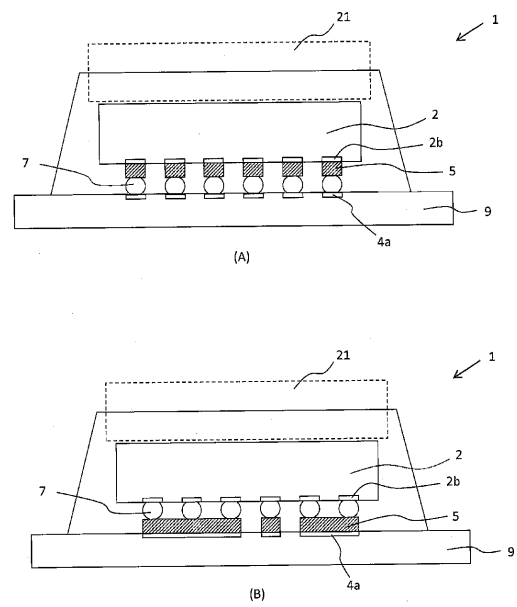
【図 2】



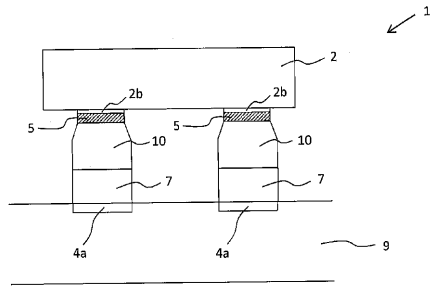
【図 3】



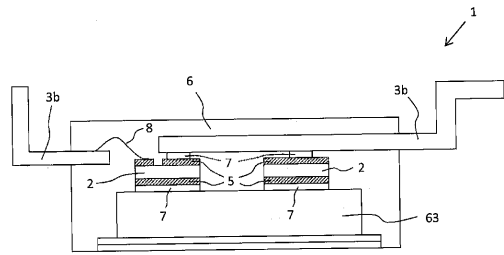
【図 4】



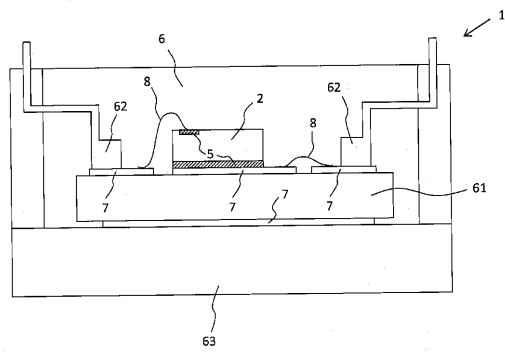
【図 5】



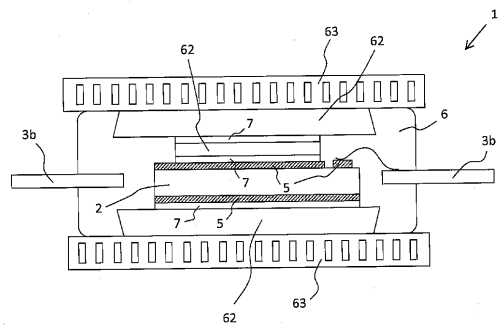
【図 7】



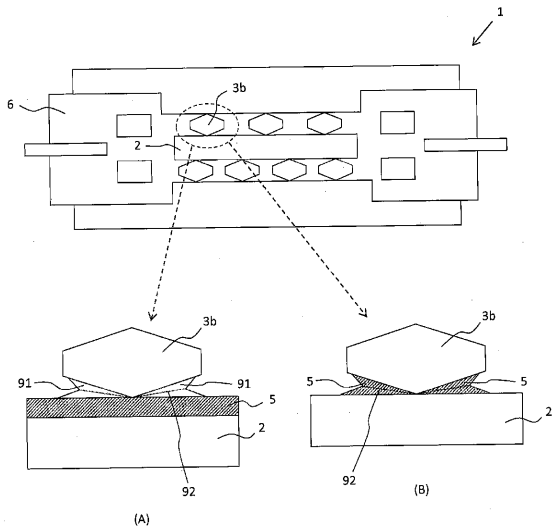
【図 6】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

