

(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2005-294874

(P2005-294874A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/60

F I

H01L 21/60

301F

H01L 21/60

301P

テーマコード (参考)

5FO44

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-197314 (P2005-197314)  
 (22) 出願日 平成17年7月6日(2005.7.6)  
 (62) 分割の表示 特願2000-120333 (P2000-120333)  
 の分割  
 原出願日 平成12年4月21日(2000.4.21)

(71) 出願人 000006655  
 新日本製鐵株式会社  
 東京都千代田区大手町2丁目6番3号  
 (74) 代理人 100107892  
 弁理士 内藤 俊太  
 (74) 代理人 100105441  
 弁理士 田中 久喬  
 (72) 発明者 宇野 智裕  
 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社  
 技術開発本部内  
 (72) 発明者 寺嶋 晋一  
 東京都千代田区大手町2-6-3 新日本  
 製鐵株式会社内

最終頁に続く

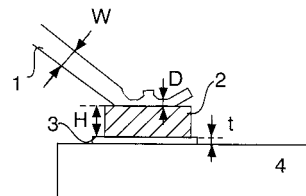
(54) 【発明の名称】 ワイヤをウェッジ接合した半導体装置及び金合金ボンディングワイヤ

(57) 【要約】

【課題】 狭ピッチ化に適した金ワイヤと電極膜とのウェッジ接合における優れた、接合性及び長期信頼性を確保する。

【解決手段】 電極膜3上に金属バンプ2を形成し、そのバンプ2上に金合金ボンディングワイヤ1をウェッジ接合する場合はそのバンプ2の高さHを  $2t + 2H - 6t + 50$  (μm) とする。さらにバンプのワイヤ結線方向に対して垂直方向の長さS、平行方向の長さL、ワイヤ径Wの関係が  $1.3W \leq S \leq 4W$ 、 $1.5W \leq L \leq 5W$  である。適切な高さ、形状を有する金属バンプを介して接合することにより、従来のボール接合よりも狭ピッチ接合に優れ、しかも高い長期信頼性を有する、半導体装置を提供するものである。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体素子上のアルミ及びアルミ合金、Cu及びCu合金、Al層又はAu層を上層とするCu又はCu合金の膜厚 $t$ の電極膜上に、金属バンプあるいは、Au層またはAu合金層を表面に形成された金属バンプが形成され、該バンプが高純度Au、Au合金、Pt、Pd、Cu、これらの合金であり、そのバンプ上に金合金ボンディングワイヤがウェッジ接合されており、そのバンプ高さ $H$ が $2t + 2H - 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )であることを特徴とする半導体装置。

## 【請求項 2】

さらにバンプのワイヤ結線方向に対して垂直方向の長さ $S$ 、平行方向の長さ $L$ 、ワイヤ径 $W$ の関係が $1.3W \leq S \leq 4W$ 、 $1.5W \leq L \leq 5W$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。 10

## 【請求項 3】

バンプのビッカース硬度 $H_b$ とワイヤのビッカース硬度 $H_w$ の関係が $H_w - 10 \leq H_b \leq 2H_w$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

## 【請求項 4】

さらにチップ面と平行な断面でみたバンプ内の結晶粒の平均径 $G$ とワイヤ径 $W$ の関係が、 $0.05W \leq G \leq 0.7W$ の範囲であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

## 【請求項 5】

半導体素子上のアルミ及びアルミ合金、Cu及びCu合金、Al層又はAu層を上層とするCu又はCu合金の膜厚 $t$ の電極膜上に、高純度Au、Au合金、Pt、Pd、Cu、これらの合金の金属バンプが形成され、そのバンプ上に金合金ボンディングワイヤがウェッジ接合されており、且つそのバンプ高さ $H$ が $2t + 2H - 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )であり、さらにバンプのワイヤ結線方向に対して垂直方向の長さ $S$ 、平行方向の長さ $L$ 、ワイヤ径 $W$ の関係が $1.3W \leq S \leq 4W$ 、 $1.5W \leq L \leq 5W$ であり、さらにバンプのビッカース硬度 $H_b$ とワイヤのビッカース硬度 $H_w$ の関係が $H_w - 10 \leq H_b \leq 2H_w$ の範囲であることを特徴とする半導体装置。 20

## 【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の半導体装置に用いる金合金ボンディングワイヤであって、引張破断強度 $F$  (MPa) が $80 \sim 400$  MPaで、破断伸び $C$  (%) が $1 \sim 9$  %であり、さらに強度 $F$ と伸び $C$ の関係が $150 \leq F \cdot C \leq 2500$ の範囲であり、純度が99質量%以上の金であることを特徴とする半導体用の金合金ボンディングワイヤ。 30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、金ボンディングワイヤを用いて、半導体素子上の電極と外部端子とを電氣的に接続する半導体装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

現在半導体素子上の電極と外部リードとの間を接合するボンディングワイヤとしては、線径 $20 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の金ボンディングワイヤが主として使用されている。金合金細線の接合技術としては超音波併用熱圧着方式が一般的である。金細線先端をアーク入熱で加熱溶融し、表面張力によりボールを形成させた後に、 $150 \sim 300$  の範囲内で加熱した半導体素子の電極上にこのボール部を圧着接合せしめた後に、さらに外部リード側との接続を超音波圧着する方法である。トランジスタやIC等の半導体素子として使用するためには、前記の金合金細線によるボンディングの後に、Siチップ、ボンディングワイヤ、及びSiチップが取り付けられた部分のリードフレームを、これらを保護する目的で樹脂封止する。 40

## 【0003】

半導体素子上の電極膜に用いられる材質は、現在、Al又はAl合金が主流である。最近、半導体素子の高集積化が進むに従い、Cu又はCu合金の電極膜が使用されて始めており、またCuの酸化防止等を目的として、表面にAl層又はAu層が形成されたCu又はCu合金の電極膜も実用化されている。

【0004】

半導体素子の高集積化、高密度化の傾向により、金ボンディングワイヤの狭ピッチ接合が必要となっており、近年、金ボンディングワイヤの高強度細線化、狭ピッチ接合技術等が進歩してきている。しかし、狭ピッチ化が進むに従い、隣接するボール接合部の接触、あるいはキャピラリ冶具の先端形状の加工限界等の制約が問題となる。

【0005】

従来 of ボール接合よりも狭ピッチに好適な接合として、ボール部を介さないで直接ワイヤを電極に接合するウェッジ接合がある。この接合では、ボールを形成しないため熱影響部がなくループ曲がりが高く抑えられる等、狭ピッチ接合の点で有利となる。しかし、ウェッジ接合法では超音波印加の方向性の制約等により、生産性が低下すること等の問題があり、金ワイヤによるウェッジ接合はほとんど実用化されておらず、現在でも金ワイヤではボール接合が主流である。

【0006】

アルミ合金細線によるウェッジ接合は、セラミックスパッケージされる半導体素子に利用されている。アルミ合金細線では、半導体素子上のアルミ電極との接合部において同種金属の接合により、高信頼性が得られる利点がある。しかし、アルミ合金細線を樹脂封止する半導体素子に使用すると、外部から侵入した水分等によりアルミ合金細線が腐食することが問題となるので、アルミ合金細線は樹脂封止パッケージへの適用は困難である。従って、アルミ合金細線の用途は限定され、しかも線径は100～500μm程度の太径で使用される場合がほとんどである。

【0007】

従来 of ウェッジ接合は、ボール接合に比して生産性が低いことが問題とされてきたが、ボンディング装置の性能向上等により、ウェッジ接合でもボール接合に匹敵する生産性が期待される。

【0008】

今後、半導体実装の主流である樹脂封止パッケージにおいて、狭ピッチ化に適した、金合金細線をウェッジ接合する半導体装置が所望されている。

【0009】

【特許文献1】特開平9-275119号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

金ワイヤのウェッジ接合法は、接続材料が金とアルミである点に関しては金ワイヤのボール接合法と類似しており、また、ワイヤを電極上に直接接合する点では、アルミ合金細線のウェッジ接合法と類似する。しかしながら、従来 of ボール接合技術及びアルミ合金細線の接合技術を用いただけでは、金ワイヤのウェッジ接合において接合性及び信頼性を確保することは困難であり、具体的な問題について下述する。

【0011】

ウェッジ接合ではワイヤを直接接合するため、ワイヤ径の1.4～2.5倍のボール部を接合するボール接合法と比べて接合面積が減少すること等の理由から、ボール接合の場合のような良好な金属接合を得ることが難しい。金合金細線のウェッジ接合でも、荷重を高めれば接合強度を増加することはできるものの、ワイヤも過剰に変形させてしまうため、ワイヤ断面積の減少及び過大な加工に伴ないワイヤ強度を著しく低下させることが問題となる。特に、接合部近傍の最弱部では、ループ形成時あるいは使用時にワイヤ破断に至る不良が発生してしまう。一方、アルミ合金細線によるウェッジ接合では、こうした接合部近傍での破断はほとんど問題とならない。その理由として、アルミ/アルミの同種金属

10

20

30

40

50

接合のため接合強度が得易いこと、また現行のアルミ合金細線は金ワイヤの数十倍の太径であるため金ワイヤと比較して変形挙動が異なること等が挙げられる。つまり、太径のアルミ合金細線では、ワイヤ断面積の減少も非常に少ないため、接合部近傍でのワイヤ強度も十分確保することができる。

【0012】

しかしながら、金ワイヤのウェッジ接合では狭ピッチ接合への対応が求められており、荷重、超音波振動等の接合条件だけの改善では、高速ボンディング時の量産性を高め、接合強度を確保することが困難である。一方、金ワイヤの変形量を減らすと、接合強度の低下をもたらす。これは、従来のボール接合に比べてウェッジ接合では、接合面積を高めるのが困難であり、破断を起こさないための変形許容量に制限がある等の要因が関連している。先述したように、こうした問題はアルミ合金細線では問題とならず、金ワイヤのウェッジ接合に特有の問題と考えられる。金ワイヤのウェッジ接合では、ワイヤ破断を起こさないで、しかも接合強度を確保することが課題となる。

10

【0013】

また、半導体装置の高周波化により動作時の発熱量が増大し、また半導体の使用環境は自動車のエンジン周辺等のように高温に曝されること等から、接合部の長期信頼性に関する要求が高まっている。金ボール部と電極膜の接合部では、長期信頼性は良好であった。しかしながら、金ワイヤと電極膜とのウェッジ接合部では、長時間加熱されると接合強度が低下することが問題となる。この高温加熱における接合強度の低下は、接合不良の原因であり、金ワイヤのウェッジ接合の実用化を制約する一因となっていた。

20

【0014】

こうしたAuワイヤのウェッジ接合に関する問題は、アルミ電極膜に限られたことでなく、電極材質がCu又はCu合金、またAl層又はAu層を上層とするCu又はCu合金の電極膜の場合にも、Auワイヤをウェッジ接合した場合に接合性及び長期信頼性が低下する問題が懸念されている。

【0015】

本発明は、金ワイヤと電極膜とのウェッジ接合部において、接合性及び長期信頼性に優れた半導体装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明者等は前述した観点から、金ワイヤと電極膜とのウェッジ接合部における接合性及び長期信頼性の支配要因について調査した結果、金属バンプを介して金ワイヤと電極膜を接合させ、しかもその金属バンプの厚さ、寸法、硬さが接合性及び長期信頼性に密接に関係していることを見出した。

30

【0017】

すなわち、本発明は以下の構成を要旨とする。

(1) 半導体素子上のアルミ及びアルミ合金、Cu及びCu合金、Al層又はAu層を上層とするCu又はCu合金の膜厚 $t$ の電極膜上に、金属バンプあるいは、Au層またはAu合金層を表面に形成された金属バンプが形成され、該バンプが高純度Au、Au合金、Pt、Pd、Cu、これらの合金であり、そのバンプ上に金合金ボンディングワイヤがウェッジ接合されており、そのバンプ高さ $H$ が $2t + 2H - 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )であることを特徴とする半導体装置。

40

(2) さらにバンプのワイヤ結線方向に対して垂直方向の長さ $S$ 、平行方向の長さ $L$ 、ワイヤ径 $W$ の関係が $1.3W \leq S \leq 4W$ 、 $1.5W \leq L \leq 5W$ であることを特徴とする上記(1)に記載の半導体装置。

(3) バンプのピッカース硬度 $H_b$ とワイヤのピッカース硬度 $H_w$ の関係が $H_w - 10 \leq H_b \leq 2H_w$ であることを特徴とする上記(1)に記載の半導体装置。

(4) さらにチップ面と平行な断面でみたバンプ内の結晶粒の平均径 $G$ とワイヤ径 $W$ の関係が、 $0.05W \leq G \leq 0.7W$ の範囲であることを特徴とする上記(1)に記載の半導体装置。

50

(5) 半導体素子上のアルミ及びアルミ合金、Cu及びCu合金、Al層又はAu層を上層とするCu又はCu合金の膜厚 $t$ の電極膜上に、高純度Au、Au合金、Pt、Pd、Cu、これらの合金の金属バンプが形成され、そのバンプ上に金合金ボンディングワイヤがウェッジ接合されており、且つそのバンプ高さ $H$ が $2t + 2H - 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )であり、さらにバンプのワイヤ結線方向に対して垂直方向の長さ $S$ 、平行方向の長さ $L$ 、ワイヤ径 $W$ の関係が $1.3W \leq S \leq 4W$ 、 $1.5W \leq L \leq 5W$ であり、さらにバンプのビッカース硬度 $H_b$ とワイヤのビッカース硬度 $H_w$ の関係が $H_w - 10 \leq H_b \leq 2H_w$ の範囲であることを特徴とする半導体装置。

(6) 上記(1)~(5)のいずれかに記載の半導体装置に用いる金合金ボンディングワイヤであって、引張破断強度 $F$  (MPa)が $80 \sim 400$  MPaで、破断伸び $C$  (%)が $1 \sim 9$  %であり、さらに強度 $F$ と伸び $C$ の関係が $150 \leq F \cdot C \leq 2500$ の範囲であり、純度が99質量%以上の金であることを特徴とする半導体用の金合金ボンディングワイヤ。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明においては、金ワイヤと電極膜とのウェッジ接合部において、適切な高さ、形状を有する金属バンプを介して接合することにより、従来のボール接合よりも狭ピッチ接合に優れ、しかも高い長期信頼性を有する、半導体装置を提供するものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下に、本発明に係わる半導体装置及びワイヤ等の構成についてさらに説明する。

20

【0020】

本発明者らは、金ワイヤを電極上に接合するという点ではボール接合法とウェッジ接合法は類似しているものの、接合プロセス、キャピラリ治具、接合部形態、寸法等の相違により、両者は接合性、長期信頼性が異なることを明らかにした。先述したように、金ワイヤのウェッジ接合法では、ボール接合に比べて長期信頼性及び接合性が低下することが問題であり、本発明者らは鋭意研究した結果、長期信頼性及び接合性を向上させるためのワイヤ、電極膜、バンプ等、各部位の構造(形態、厚さ、寸法、硬さ)について初めて見出した。具体的な接合構造と長期信頼性及び接合性との関係について下述する。

【0021】

金ワイヤとアルミ電極膜との接合部が高温に曝されると、接合界面ではAu-Al化合物相が成長し、この化合物相の成長が接合性及び長期信頼性と関連しており、従来のAuワイヤのボール接合では、良好な接合性及び長期信頼性を比較的容易に確保できることが知られていた。本発明者らはウェッジ接合部の拡散挙動を詳細に調査した結果、ボール接合とウェッジ接合では、Auの厚み等の供給量の差異により、化合物相の成長挙動が異なることを見出した。

30

【0022】

金ボールを用いた接合部では、金ボール部の厚さはアルミ電極膜厚よりも十分厚いため、拡散が進行して接合部直下のアルミ電極膜中におけるAl層が消失する。その後も、金ボール部にはAuが十分に存在しているのでAu原子の供給が継続されるため、化合物相はよりAu-richな相(主に $Au_4Al$ 相)へと変化する。

40

【0023】

それに比して、ウェッジ接合では、ワイヤの圧着厚さがボール接合と比して小さいため、原子の拡散が十分進行すると、接合部でのアルミ電極のAlと金ワイヤ部のAuともに拡散に消費されてしまう。その後はAu原子が供給されなくなるため、ウェッジ接合部で成長する化合物相は、ボール接合の場合と比べてAl-richな相(例えば $Au_2Al$ 、 $AuAl_2$ 相)となる。こうしたボール接合とは異なる化合物相が成長することが、ウェッジ接合において長期信頼性を低下させている原因であることを明らかにした。

【0024】

Auバンプ又はAu合金バンプを介して金ワイヤと電極膜を接合することにより、電極

50

膜に対する相対的な金の厚さを十分確保することができ、さらに、良好な接合性も得られる。図1に、金属バンプ2を介してウェッジ接合した部位を水平側から見た図を示す。但し、バンプ形成しただけでは長期信頼性を低下させる場合があることから、バンプを介したウェッジ接合において長期信頼性を確保するためにはバンプ高さの制御が重要であり、バンプ高さや電極膜厚との関係にある範囲に制御することにより、高温での長期信頼性を高められることを見出した。すなわち、そのバンプ高さHと電極厚tの関係が、 $2t + 2H - 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )の範囲であれば、電極膜に対する相対的な金の厚さを十分確保し、良好な接合性も得られるが、バンプ高さH ( $\mu\text{m}$ )が $2t + 2$  ( $\mu\text{m}$ )よりも低ければ、バンプによる接合強度を高める効果は得られず、一方、バンプ高さH ( $\mu\text{m}$ )が $6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ )よりも厚ければ、バンプ変形に伴ないワイヤの直線性が低下するため、狭ピッチでは隣接するワイヤが接触する問題が発生してしまう。

10

## 【0025】

さらに、金ワイヤとバンプとの接合部における接合性及び長期信頼性を確保することも重要であり、金ワイヤの線径とバンプ高さの間にも満足すべき関係があることを見出した。つまり、使用するワイヤ径Wとバンプ高さHの関係が、 $1.7t + 0.2W - 2H - 4.5t + 1.5W + 10$  ( $\mu\text{m}$ )の範囲であれば、ワイヤ径が $10 \sim 30 \mu\text{m}$ の範囲において、長期信頼性を確保するためのバンプ高さを維持することができ、接合強度も高くすることができる。この理由として、接合性を高めるためにワイヤの変形量を十分高めた場合にも、 $1.7t + 0.2W - 2H$  ( $\mu\text{m}$ )であれば、ワイヤ接合部の直下に必要なバンプ高さを十分確保することができるためである。また、バンプ高さHが高過ぎると接合時の荷重によりバンプ形状が崩れて、狭ピッチの場合に隣接バンプが接触することが懸念されるが、 $H - 4.5t + 1.5W + 10$  ( $\mu\text{m}$ )であれば、線径に関係なく、接合後にも良好なバンプ形状を維持できるためである。

20

## 【0026】

金ワイヤを金バンプ上に接合する際に良好な接合性を確保するためには、バンプの長さも重要な因子である。図2及び図3に、チップに垂直側から見たウェッジ接合部位を示す。ウェッジ接合されたワイヤの結線方向に対して垂直及び平行方向におけるバンプ長さをそれぞれS、Lとすると、 $1.3W - S - 4W$ 、 $1.5W - L - 5W$ の範囲にすれば、接合面積を十分高めて良好な接合性が得られる。これは、接合強度を高めるためには接合されたワイヤの圧着幅WDを高めることが重要で、このワイヤ圧着幅WDが線径Wの $1.2 \sim 3.0$ 倍であれば接合性が良好であり、また汎用ワイヤボンディング装置の位置精度等を考慮すれば、上記範囲を満足することにより、接合強度を高めて、良好な接合性が得られるという理由に基づく。すなわち、ワイヤ結線と垂直方向のバンプ幅S、平行方向のバンプ長Lについて、 $1.3W - S$ 、 $1.5W - L$ であれば、ワイヤがバンプよりはみ出すことを抑え、接合強度を高め、そのばらつきを低減することができ、また $S - 4W$ 、 $L - 5W$ の大きさのバンプであれば、隣接する接合部間隔も小さくでき、狭ピッチ化に十分対応できるためである。今後の狭ピッチ化、低温接合、に適應するために接合強度をさらに向上し、あるいは高速接合等により生産性を向上するためには、上記のバンプ形状において、 $1.6W - S - 3W$ 、 $1.7W - L - 4W$ の範囲であることがより好ましい。

30

## 【0027】

さらに、ウェッジ接合において、接合強度の増加、狭ピッチ対応のキャピラリの加工限界等まで含めて考慮すると、ワイヤ結線方向の長さLの方が垂直方向の長さSよりも長くして、その関係が $1.2S + 5L - 2S + 20$  ( $\mu\text{m}$ )の範囲であることが、より好ましい。

40

## 【0028】

バンプの形状は角形、球形、円柱形等いずれでも可能である。そのバンプの形成法は、ワイヤを用いたスタッドバンプ法、微細球によるボールバンプ、メッキ形成等のいずれでも接合性及び長期信頼性を高めることができる。但し、これらの手法では生産性、操作法、必要設備等には差があり、スタッドバンプ法ではウェッジ接合用のワイヤでバンプ形成できるため、工程が簡便であるものの、バンプ形状のバラツキが大きいことが懸念される

50

。また、メッキで形成したバンプでは、メッキ設備が必要であり、厚いバンプを形成するには時間を要するものの、角形、円柱形等の目的とするバンプ形状の作製が容易であり、高さのバラツキをスタッドバンプ法より低減することが可能である。一方、ボールバンプを利用すれば、予め作製したボールを電極上に配列し、さらに電極上に接合する工程は要するものの、ボールの寸法、成分等を変更することにより、目的に合わせたバンプの材質を容易に得られる。

**【0029】**

バンプ素材は、高純度Au又はAu合金であることが望ましいが、Pt、Pd、Cu又はそれらの合金であっても、本願の目的とする機能が得られることを確認した。

**【0030】**

さらに、Pt、Pd、Cu又はそれらの合金のバンプの上部に、Au層又はAu合金層が形成されたバンプを用い、ワイヤ、電極膜、バンプ等の厚さ、寸法等を上述した関係を満足するウェッジ接合により、接合性、作業性等をより高めることができる。すなわち、これらのバンプと金ワイヤとのウェッジ接合部では、バンプ表面の酸化を抑えられ、しかもAu/Au接合を得ることにより、接合強度をより高めることができる。バンプ上部のAu層又はAu合金層の厚さは、 $0.01 \sim 2 \mu\text{m}$ の厚みであれば十分な効果が得られ、その表面層の形成ではスパッタ法又はメッキ法等が可能である。

**【0031】**

金バンプ上への金ワイヤの接合強度を高めるためには、ワイヤ及びバンプの硬さも重要であり、ある関係を満足するとより好ましいことを確認した。つまり、バンプのビッカース硬度 $H_b$ とワイヤのビッカース硬度 $H_w$ は $H_w - 10 < H_b < 2 H_w$ の関係を満足すれば、ウェッジ接合時にワイヤとバンプ共に適度に変形するため十分な接合性が得られ、ワイヤの直線性も確保することができる。一方、 $H_b < H_w + 10$ であれば、軟らかいバンプが優先的に変形するため、隣接するバンプが接触したり、ワイヤの直線性が低下したりして、 $60 \mu\text{m}$ 以下の狭ピッチ化への対応が困難であり、一方、 $H_b > 2 H_w$ であれば、ワイヤの変形がほとんどであり、最も変形した部位でのワイヤの引張強度が低下するため、この部位で破断に到る不良が発生してしまう。さらに、硬度の関係が $H_w - 5 < H_b < 1.6 H_w$ であることがより望ましく、これは、 $H_w - 5 < H_b$ であれば、キャピラリ先端への金バンプの付着を抑制して、キャピラリの交換寿命を上昇させることができ、また $H_b < 1.6 H_w$ であればワイヤとバンプが均等に変形して接合強度のばらつきが低減すると言う理由に基づく。

**【0032】**

バンプ組織もバンプの変形挙動に影響を及ぼしており、チップ面と平行なバンプ断面での結晶粒の平均径 $G$ とワイヤ径 $W$ の関係が、 $0.05 W < G < 0.7 W$ の範囲であることが好ましい。これは、 $0.05 W < G$ であればバンプ変形の異方性を低減して狭ピッチに対応でき、また $G > 0.7 W$ であれば、ある方向へのバンプ変形が著しくなり、隣接するワイヤが接触するためである。

**【0033】**

ウェッジ接合における接合性、接合信頼性を向上するために、ワイヤ、電極材、金属バンプの厚さ、硬度、寸法等について、本発明に係わる関係を実現する手段として、特に、ワイヤの機械的特性、表面性状を調整することが有効であることを見出した。電極材、金属バンプ等の材質を変更すると、配線工程、電気的性能等も影響を受けるため、それらを評価し、適正化することまで検討しなくてはならない場合が多いのに対して、ワイヤの材質の変更は比較的容易であり、しかも接合性、接合信頼性を向上する効果も大きい。

**【0034】**

すなわち、引張破断強度 $F$  (MPa) が $80 \sim 400$  MPaで、破断伸び $C$  (%) が $1 \sim 9$  %であり、さらに強度 $F$ と伸び $C$ の関係が $150 < F \cdot C < 2500$ の範囲であり、純度が99質量%の金である金合金ワイヤを用いると、良好なウェッジ接合が得られる。

**【0035】**

ワイヤの引張破断強度 $F$  (MPa) と破断伸び $C$  (%) との積が一定の関係を満足する

10

20

30

40

50

ことにより、ウェッジ接合における接合性、接合信頼性を高めることができ、その強度  $F$  と伸び  $C$  の関係としては、 $150 < F \cdot C < 2500$  の範囲であることが望ましいことを見出した。これは、 $F \cdot C < 150$  であれば、ウェッジ接合時にワイヤが過剰に変形して、接合信頼性が低下することが問題であり、 $F \cdot C > 2500$  であれば、ワイヤが接合強度を高めることが困難なためである。

#### 【0036】

さらに、ウェッジ接合性だけでなく、ワイヤのループ形成、樹脂封止時のワイヤ変形等の要求特性を十分満足するためには、 $F \cdot C$  の積を上記の範囲とすることに加えて、引張破断強度  $F$  が  $80 \sim 400 \text{ MPa}$  であり、破断伸び  $C$  が  $1 \sim 9\%$  の範囲であることが必要である。これは、強度  $F$  が  $80 \text{ MPa}$  未満であれば、ループが下方に垂れる問題が発生し、 $F$  が  $400 \text{ MPa}$  を超えるとウェッジ接合時にチップに損傷を与えたり、ループ形状を制御することが困難となり、ループ高さのバラツキが大きくなることが問題となるためである。また、破断伸び  $C$  が  $1\%$  未満であれば、ウェッジ接合部での強度を確保すること困難であり、 $C$  が  $9\%$  を超えると、ループ形成されたワイヤの直線性が低下することが問題である。

10

#### 【0037】

ワイヤの素材は純度  $99\%$  以上を有する金合金ワイヤである。つまり、本発明での金合金ワイヤとは、純度  $1\%$  以下の添加元素を含有するワイヤ及び、純度が  $99.99\%$  以上であり、残りを不可避不純物とする高純度金ワイヤも含まれる。例えば、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Be}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Pd}$  等から  $1$  種類以上の元素を総計で  $0.0001 \sim 1\%$  の範囲で含有し、残部が  $\text{Au}$  であり、それをダイス伸線により  $20 \sim 30 \mu\text{m}$  に伸線した金合金ワイヤを用いれば、良好なウェッジ接合特性が得られる。

20

#### 【0038】

また、ワイヤを金属パンブに直接接続するウェッジ接合では、上述した、ワイヤの機械的特性に加えて、ワイヤの表面性状も重要であり、ワイヤ表面から  $10 \text{ nm}$  の深さまでの平均酸素濃度が  $10 \text{ at}\%$  以下であることが、ウェッジ接合性の向上には有効であることを見出した。これは、 $10 \text{ nm}$  の深さまでの平均酸素濃度が  $10 \text{ at}\%$  を超えると、接合時に接合強度を低下させる原因となり、また、その酸素濃度が高い表層部を破壊させて良好な接合を得るには、超音波振動を高める必要があり、これに伴い、チップへの損傷、ワイヤの直線性の低下等の問題が発生するためである。ワイヤ表面の平均酸素濃度は、例えばオージェ分光法にて測定できる。

30

#### 【0039】

以上のことから、ワイヤの引張破断強度  $F$  ( $\text{MPa}$ ) が  $80 \sim 400 \text{ MPa}$  で、破断伸び  $C$  ( $\%$ ) が  $1 \sim 9\%$  であり、さらに強度  $F$  と伸び  $C$  の関係が  $150 < F \cdot C < 2500$  の範囲であり、ワイヤ表面から  $10 \text{ nm}$  の深さまでの平均酸素濃度が  $10 \text{ at}\%$  以下とすることにより、ウェッジ接合部の接合性、接合信頼性を向上することができ、さらに良好なループ形状が得られ、樹脂封止時のワイヤ変形も抑制することができ、狭ピッチ接合に適用できることを確認した。こうした性能を有する金ワイヤを得るためには、金中の元素添加、あるいはワイヤ伸線加工技術及び熱処理条件の適正化等が有効であることを確認した。

40

#### 【0040】

金ワイヤを電極上にウェッジ接合する手法としては、これまで中心的に述べた、ボール部を形成しないで接続するウェッジ-ウェッジ接合法の他に、電極側にボール部を接合する通常のボール接合とは異なり、ワイヤを電極側にウェッジ接合する方法や、チップ同士の電極間をボール-ウェッジ接合する方法もある。こうした電極側にワイヤをウェッジ接合することは、接合面積を縮小できるため狭ピッチ接続には有利であり、また、複数のチップを接続する場合にも活用できる。前述した、ウェッジ接合における接合性及び信頼性の低下は、電極側にワイヤをウェッジ接合する手法に共通する問題である。従って、本発明に係わる半導体装置及び、それに用いられる金合金ワイヤは、電極側にワイヤをウェッジ接合する方法であれば、ウェッジ-ウェッジ接合、ボール-ウェッジ接合の両手法に適

50

用されるものである。

【実施例】

【0041】

以下、実施例について説明する。ワイヤには、高純度金ワイヤ（純度 > 99.99%）又は、Ca、Be、Cu、Ag、Pt、Pd等から1種類以上の元素を総計で0.0001~1%の範囲で含有する金合金ワイヤを用い、その線径Wは15~30 $\mu$ mとした。ワイヤの強度又は硬度を調整するために、ワイヤ製造工程において、伸線ダイス減面率（2~15%）、伸線速度（10~600m/min）及び、最終段階での熱処理温度（200~700）等を選定した。シリコン基板上の電極材質には、純Al、Al合金（Al-1%Si、Al-0.5%Cu）、純Cu、またAl層又はAu層を上層（0.1 $\mu$ m）とする純Cu膜等を使用し、電極膜の厚さtは0.5~4 $\mu$ mとした。市販の自動ウェッジボンダーを使用して、電極上にワイヤを接合した。

10

【0042】

電極上への金バンプの形成は、スタッドバンプ法、ボールバンプ法、メッキ法等を使用し、さらに金バンプ上に、上述した方法で金ワイヤをウェッジ接合した。スタッドバンプ法では、25 $\mu$ m径の金ワイヤの先端を溶融生成したボール部（ボール径：35~60 $\mu$ m）を電極に接合し、その平板治具で荷重を付加してバンプ高さを調整した。また、ボールバンプ法では、純度2N（>99%）の金で球径30~60 $\mu$ mの球を作製し、手動の配列装置を用いて、約100個の金ボールを電極上に一括接合した。メッキ法では、メッキ浴中にシリコン基板を浸漬して電解メッキにより、Au、Pt、Pd、Cu等の素材からなるバンプを電極膜上に形成した。

20

【0043】

ワイヤの引張破断強度及び伸び率は、長さ10cmのワイヤ5本の引張試験を実施し、その平均値により求めた。ワイヤ及びバンプの硬度測定は、ビッカース硬度測定法に基づいて、29mNの荷重で測定し、5点の平均値を求めた。ワイヤ表面の酸素濃度の測定は、オージェ分光装置を用い、ワイヤ表面をスパッタしながら、10nmの深さの平均値を求めた。

【0044】

ワイヤ接合部の強度評価としては、プル試験法を用いた。このプル試験法は、ボンディングワイヤ後にリードフレームと測定する半導体素子を固定した状態で、ボンディング後の金合金細線をフックで上方に引張り、そのときの破断強度を40本測定し、プル強度の平均値及び標準偏差を評価した。その際、電極との接合性を評価するために、フックを掛けて上方引張する箇所を、中央部よりも電極に近いところで試験した。

30

【0045】

長期信頼性の評価として、金ワイヤを電極にウェッジ接合した半導体装置を樹脂封止しない状態で、窒素ガス中において185 $^{\circ}$ Cで300時間加熱した後に、40本のプル強度を測定した。金ワイヤのウェッジ接合した半導体装置が用いられる使用温度での寿命評価として、185 $^{\circ}$ C 300時間の加熱試験は十分と考えられ、この加熱により強度が低下しない場合には、接合部の長期信頼性は良好であると判断できる。

【0046】

金合金細線のループ形成時のワイヤ曲がり、ワイヤ長さが約5mmとなるようボンディングを行った後に、半導体素子とほぼ垂直上方向からワイヤを投影機を用いて観察し、ワイヤ中心部からワイヤの両端接合部を結ぶ直線と、ワイヤの曲がり最大の部分との垂線の距離を50本測定した平均値で示した。

40

【0047】

接合時のチップ損傷を調べるため、ボンディングした素子を王水中に数分間つけて、金ワイヤ及び電極等を溶解した後に、200個の接合箇所を光学顕微鏡及びSEMで観察した。顕微鏡観察でもクラックが観察された場合は損傷が大きいとして×印、顕微鏡では観察されないが、2000倍程度の倍率で微小な傷又は穴が認められるものは○印、顕微鏡及びSEM観察において損傷が認められない場合は□印で示した。

50

## 【 0 0 4 8 】

バンプ内の断面組織を観察するため、チップ面と平行に断面研磨を行い、エッチングした後で、バンプ内の結晶粒の数を測定し、1個のバンプ断面での粒径を計算した。さらに、それを20個のバンプで測定して、バンプ内の結晶粒の平均粒径を求めた。

## 【 0 0 4 9 】

【表 1】

No.	ワイヤ				強度×伸び F・C	ワイヤ 材質	ワイヤ 表面酸 素濃度 /at. %	電極材 質	電極 膜厚t /μm	アルミ 電極の 硬度Hb	バンド					バンド 内結晶 粒径 G/μm	プル強度				接続後 のワイヤ の曲り /μm	シリコ ン基板 への損 傷		
	径 /μm	W D/μm	厚 D/μm	硬度 Hw							強度F /MPa	伸び C /%	形成法	素材	上層 部		高さH /μm	幅S /μm	長さL /μm	硬度 Hb			平均 値 mN	偏差 mN
1	25	7	45	200	9	1800	純Au	8	Al	1	25	メッキ	Au	—	15	55	60	50	110	2.0	973.9	109.7	8.6	◎
2	25	6	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	30	55	60	50	110	2.0	973.9	109.6	8.6	◎
3	25	7	45	200	5	1000	純Au	4	Al	1	25	スタッド	Au	—	43	55	60	53	111	2.0	982.6	110.6	8.6	◎
4	25	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al	0.5	25	メッキ	Au	—	5	55	60	50	110	2.0	973.9	109.6	8.5	◎
5	25	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al	3	25	メッキ	Au	—	40	55	60	50	111	2.0	982.6	110.6	8.6	◎
6	25	7	45	200	5	1000	純Au	4	Al	1	25	ボール	Au	—	8	55	55	55	110	2.0	973.9	109.6	8.6	◎
7	25	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Pt	—	53	55	60	50	110	2.0	973.9	109.6	8.5	◎
8	15	7	45	200	5	1000	Au合金	5	Cu	1	25	メッキ	Au	—	43	55	60	50	39	2.0	966.2	39.0	8.6	◎
9	25	7	45	100	2	200	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Pd	Au	40	35	60	50	111	2.0	982.6	110.6	8.6	◎
10	25	7	45	200	5	1000	純Au	4	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	70	80	50	112	2.0	991.3	111.5	8.5	◎
11	18	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	38	30	50	50	57	2.0	972.9	56.6	8.8	◎
12	23	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al-1%Si	1	25	メッキ	Cu	—	40	45	50	70	84	2.0	883.5	84.2	8.7	◎
13	25	7	45	200	5	1000	純Au	5	Al	1	25	メッキ	Cu	Au	40	40	50	62	113	2.0	1000.0	112.5	8.9	◎
14	25	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	60	70	50	112	2.0	991.3	111.5	8.5	◎
15	18	7	45	200	5	1000	純Au	6	Al-0.5%Cu	1	25	メッキ	Au	—	40	35	40	50	57	2.0	972.9	56.6	8.8	◎
16	18	7	45	200	5	1000	純Au	9	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	35	72	50	55	2.0	939.3	54.7	8.6	◎
17	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	30	50	50	108	5.9	956.5	107.6	8.6	◎
18	25	10	45	200	5	1000	Au合金	6	上層Au/Cu	1	25	メッキ	Au	—	40	35	35	50	108	6.9	956.5	107.6	8.6	◎
19	30	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	35	50	50	135	7.8	833.3	135.0	8.6	◎
20	30	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	40	43	50	135	5.9	833.3	135.0	8.6	◎
21	18	7	30	200	5	1000	純Au	1	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	55	60	30	57	2.0	972.9	56.6	31.2	◎
22	18	7	60	350	7	2450	純Au	6	Al	1	25	ボール	Au合金	—	40	55	60	70	57	2.0	972.9	56.6	18.8	◎
23	18	7	45	200	5	1000	Au合金	6	Cu	1	25	メッキ	Pd	Au	40	55	60	70	57	2.0	972.9	56.6	8.7	◎
24	18	7	60	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Cu	Au	40	55	60	100	57	2.0	972.9	56.6	8.8	◎
25	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	55	60	30	105	2.0	930.4	104.7	33.2	◎
26	25	10	60	350	2	700	純Au	3	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	55	60	45	106	2.0	939.1	105.6	34.1	◎
27	25	10	30	200	5	1000	純Au	5	Al	1	25	メッキ	Au	—	40	55	60	70	92	2.0	817.4	91.9	8.6	◎
28	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	スタッド	Au合金	—	40	55	60	100	90	2.0	800.0	90.0	8.6	◎

本発明例

10

20

30

40

【表 2】

No.	ワイヤ				強度× 伸び F・C	ワイヤ 材質	ワイヤ 表面酸 素濃度 /at. %	電極材 質	電極 膜厚t /μm	アルミ 電極の 硬度Hb	バンブ				バンブ 内結晶 粒径 G/μm	ブル強度				接続後 のワイ ヤ曲り /μm	シリコ ン基板 への損 傷			
	径 W /μm	圧着厚 D/μm	硬度 Hw	強度F /MPa							伸び C /%	形成法	素材	上層 部		高さH /μm	幅S /μm	長さL /μm	硬度 Hb			平均 値 mN	偏差 mN	ワイヤ 面積当 り MPa
1	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	3	55	60	50	110	2.9	973.9	2.5	8.6	◎
2	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	1	25	メッキ	Au	—	65	55	60	50	110	2.9	973.9	109.6	30.5	◎
3	25	10	45	200	5	1000	Au合金	6	Al	0.5	25	メッキ	Au	—	2	55	60	50	111	2.9	982.6	2.4	8.8	◎
4	25	10	45	200	5	1000	純Au	6	Al	3	25	メッキ	Au	—	75	55	60	50	111	2.9	982.6	110.5	31	◎

比較例

10

20

30

40

表 1 において、金パンプを用いた接合に関して、実施例 1 ~ 28 ではパンプ高さ $H$ と電極膜厚 $t$ の関係を第 1 の発明である  $2t + 2H < 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ ) の条件範囲とし、実施例 1 ~ 16 及び 21 ~ 28 では、上記厚さの関係に加えて、ワイヤ径とパンプ寸法の関係を第 2 の発明である  $1.3W < S < 4W$ 、 $1.5W < L < 5W$  の条件範囲とし、実施例 1 ~ 24 は、上記厚さの関係に加えて、ワイヤとパンプの硬さの関係を第 3 の発明である  $Hw - 10 < Hb < 2Hw$  の条件範囲に調整したもので、中でも、本発明例 9、13、23、24 では、パンプ表面に Au 層を形成するものに関する。また、実施例 1 ~ 20 及び 23 ~ 28 は、第 4 の発明であるパンプ内の結晶粒径 $G$ の関係を  $0.05W < G < 0.7W$  の条件範囲に調整したものである。

【0052】

また表 2 の比較例 1 ~ 4 は、金パンプを介して接合しているが、そのパンプ高さの関係が第 1 の発明に該当しない例について、それぞれ比較として示した。

【0053】

本発明例 1 ~ 28 は、金ワイヤと電極膜の間に金属パンプを介してウェッジ接合しており、しかもそのパンプ高さ $H$ と電極厚 $t$ の関係は  $2t + 2H < 6t + 50$  ( $\mu\text{m}$ ) の範囲であることから、接合性及び長期信頼性は非常に良好であった。Au パンプの形成法で比較すると、スタッドパンプ法、ボールパンプ法、メッキ法のいずれの方法で形成した場合も、同様の結果が得られた。一方、比較例 1、3 は、パンプを介して接合されているが、 $2t + 2 > H$  ( $\mu\text{m}$ ) であるため、加熱後のプル強度は低下しており、パンプは一定高さ以上が必要であることが確認された。

【0054】

パンプ素材が Pt、Pd、Cu 等の場合も、十分な接合性、接合信頼性が得られていた。第 2 の発明に関する本発明例 9、13、23、24 では、パンプ表面に Au 層を  $0.1 \mu\text{m}$  程度形成することにより、高い接合強度が得られており、例えば本発明例 13 では、ワイヤ単位面積当りのプル強度が、Cu パンプでは上層部が形成されていない本発明例 12 よりも  $15 \text{MPa}$  も増加することが確認された。

【0055】

パンプの寸法とワイヤ径 $W$ の関係を比較すると、本発明例 17、19 は  $1.3W > S$  であり、本発明例 18、20 は  $1.5W > L$  となるため、接合直後のプル強度のばらつきが若干大きいのに比べて、本発明例 9 ~ 16 では、ワイヤ径及びパンプ寸法の絶対値は異なっているが、第 2 の発明に係わる、 $1.3W < S < 4W$ 、 $1.5W < L < 5W$  の条件を満足するため、プル強度は高く、しかもその値のばらつきも小さく抑えられていることが確認された。

【0056】

パンプのビッカース硬度 $Hb$ とワイヤのビッカース硬度 $Hw$ を比較すると、 $Hb < Hw - 10$  である本発明例 25、26 では、パンプ上にウェッジ接合したワイヤの曲がり量が比較的大きく、また  $Hb > 2Hw$  である本発明例 27、28 では、ワイヤ単位面積当りのプル強度の上昇効果は若干低い結果が得られた。それに比して、第 3 の発明の範囲を満足している本発明例 1 ~ 24 では、パンプとワイヤの硬さの関係が  $Hw - 10 < Hb < 2Hw$  の範囲におさまっており、接合性及び長期信頼性は優れていることが確認された。

【0057】

パンプ断面での結晶粒径 $G$ とワイヤ径 $W$ の関係を比較すると、実施例 1 ~ 20 及び 23 ~ 28 では、第 4 の発明に係わる  $0.05W < G < 0.7W$  の関係を満足するため、プル強度は高く、ワイヤの曲がり量も小さく抑えられていた。それに対し、本発明例 21、22 では、それぞれ  $G > 0.7W$ 、 $G < 0.05W$  となり、ワイヤの曲がり量が比較的大きく、これは通常の接続では問題のないレベルであるが、狭ピッチ接続では懸念される。

【0058】

本発明例 1 ~ 28 では、ワイヤの特性をみれば第 6 の発明に係わる特性を有しており、具体的には、引張破断強度 $F$ が  $80 \sim 400 \text{MPa}$  で、破断伸び $C$ が  $1 \sim 9\%$  であり、さらに強度 $F$ と伸び $C$ の関係が  $150 < F \cdot C < 2500$  の範囲であった。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】電極上に形成した金属バンプの上への、金ワイヤのウェッジ接合部を水平方向から見た図である。

【図2】金ワイヤのウェッジ接合部を上方からみた図を示す。

【図3】金ワイヤのウェッジ接合部を上方からみた図を示す。

## 【符号の説明】

【0060】

1：金合金ワイヤ

2：金属バンプ

3：電極膜

4：シリコン基板

W：ワイヤ径

D：ワイヤ圧着厚さの最小値

t：電極の膜厚

H：バンプ高さ

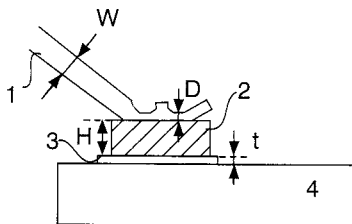
S：バンプの横長さ

L：バンプの縦長さ

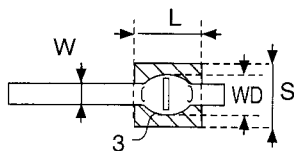
WD：ウェッジ接合されたワイヤの圧着幅

10

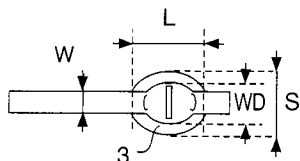
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 巽 宏平

富津市新富20 - 1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内

Fターム(参考) 5F044 EE04 EE13 EE21 FF04