

明 細 書

発明の名称：半導体装置用ボンディングワイヤ

技術分野

[0001] 本発明は、半導体素子上の電極と外部リード等の回路配線基板の配線を接続するために利用される半導体装置用ボンディングワイヤに関するものである。

背景技術

[0002] 現在、半導体素子上の電極と外部リードの間を接合する半導体装置用ボンディングワイヤ（以下、ボンディングワイヤという）として、線径15～50 μ m程度の細線が主として使用されている。ボンディングワイヤの接合方法は超音波併用熱圧着方式が一般的であり、汎用ボンディング装置、ボンディングワイヤをその内部に通して接続するキャピラリ治具等が用いられる。ボンディングワイヤの接合プロセスは、ワイヤ先端をアーク入熱で加熱熔融し、表面張力によりボールを形成した後に、150～300℃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（以下、ボール接合という）し、次にループを形成した後、外部リード側の電極にワイヤ部を圧着接合（以下、ウェッジ接合という）することで完了する。ボンディングワイヤの接合相手である半導体素子上の電極には、Si基板上にAlを主体とする合金膜を成膜した電極構造、外部リード側の電極にはAgめっき、Pdめっきなどを施した電極構造が用いられることが多い。

[0003] ボンディングワイヤには、優れたボール形成性、ボール接合性、ウェッジ接合性、ループ形成性などが要求される。これらの要求性能を総合的に満足するボンディングワイヤの材料としてAuが主に用いられてきた。近年では、Au価格の高騰を背景にAuの代替として比較的安価な材料を用いたボンディングワイヤの開発が盛んに行われている。開発例としてCuの表面にPdを被覆した構造を有するボンディングワイヤが挙げられる。このボンディングワイヤの特徴は、主にCuの酸化を抑制することでボンディングワイヤ

の性能を総合的に改善した点であり、最先端のLSI (Large Scale Integration) 分野において使用されている。

[0004] 今後のボンディングワイヤ開発では、半導体デバイスの更なる高性能化、小型化に伴う高密度実装化への対応が強く求められている。高密度実装では、LSI層間の信号遅延を抑制するために、層間の絶縁材料として脆弱な低誘電率材料が用いられることがあり、半導体素子へのダメージが問題となることが多い。隣接する電極の間隔が狭く、ボンディングワイヤの線径を細くする必要があるため、ボンディングワイヤは高いウェッジ接合性が要求される。細い線径において電気導電性を確保するためには、ボンディングワイヤに用いる材料の比抵抗は低い方が望ましい。このような高密度分野におけるボンディングワイヤの材料としては、軟質かつ高いウェッジ接合性が得られ、比較的比抵抗の低いAuが使用されることが多い。

[0005] 上記のような高密度実装化における課題を解決し、Auに比べて安価なボンディングワイヤを提供するため、ボンディングワイヤの材料にAgを用いる試みがなされている。Agのヤング率 (約 $83 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) は、Auのヤング率 (約 $80 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) とほぼ等しく、Cuのヤング率 (約 $130 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) に比べると低いため、脆弱な半導体素子に対するボール接合において損傷が少なく、良好なウェッジ接合性が得られると期待される。室温付近におけるAgの比抵抗 ($1.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) は、Cuの比抵抗 ($1.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) やAuの比抵抗 ($2.2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) に比べて低いことから、電気的特性の観点からも高密度実装におけるボンディングワイヤの材料として好適と考えられる。

[0006] しかしながら、Agを用いたボンディングワイヤ (以下、Agボンディングワイヤという) は、高密度実装において接合信頼性やループの安定性が低いという課題がある。接合信頼性評価は、実際の半導体デバイスの使用環境における接合部寿命を評価する目的で行われる。一般的に接合信頼性評価には高温放置試験、高温高湿試験が用いられる。Agボンディングワイヤは、Auを用いたボンディングワイヤ (以下、Auボンディングワイヤという)

に比べて、高温高湿試験におけるボール接合部の寿命が劣ることが課題である。高密度実装では、小ボール接合が行われることから接合に寄与する面積が小さくなるため寿命を確保することがより一層困難となる。

[0007] ループの安定性については、スプリング不良と呼ばれる不良が問題となる。スプリング不良は、ボンディングワイヤの接合工程でループが湾曲する現象でボンディングワイヤ同士が接触して短絡を引起こす原因となる。高密度実装では、隣接するボンディングワイヤの間隔が狭くなることから、スプリング不良の抑制が強く求められる。スプリング不良は、ワイヤの強度が低いほど発生し易くなることから、線径が細くなる高密度実装では問題となることが多い。

[0008] これらの課題を解決する方法としてA gに種々の元素を添加し、合金化する技術が開示されているが、合金元素の濃度が高くなるとボールが硬くなりボール接合の際にチップダメージが発生する。これらの課題がA gボンディングワイヤの普及を妨げている原因となっている。

[0009] 接合信頼性の改善を目的としたA gボンディングワイヤの開発については、例えば、特許文献1に、P t、P d、C u、R u、O s、R h、I rの1種または2種以上を合計で0.1～10重量%含み、P tが10重量%以下、P dが10重量%以下、C uが5重量%以下、R uが1重量%以下、O sが1重量%以下、R hが1重量%以下、I rが1重量%以下であり、残部がA g及び不可避不純物からなることを特徴とするボンディングワイヤが開示されている。

[0010] 例えば、特許文献2に、純度99.99質量%以上のA gと純度99.999質量%以上のA uと純度99.99質量%以上のP dとからなる三元合金系ボンディングワイヤであって、A uが4～10質量%、P dが2～5質量%、酸化性非貴金属添加元素が15～70質量ppmおよび残部がA gからなり、当該ボンディングワイヤは連続ダイス伸線前に焼きなまし熱処理がされ、連続ダイス伸線後に調質熱処理がされ、窒素雰囲気中でボールボンディングされることを特徴とする半導体素子用A g-A u-P d三元合金系ボ

ンディングワイヤが開示されている。

- [0011] ループの安定性向上を目的としたA gボンディングワイヤの開発については、加工熱処理によって引張強度と0.2%耐力を制御する技術が開示されている。例えば、特許文献3に、523 Kの温度雰囲気にて15～25秒間加熱した後に引き続き前記温度雰囲気で測定した引張強度が、298 Kの温度雰囲気にて測定した0.2%耐力よりも高いことを特徴とするボンディングワイヤが開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0012] 特許文献1：特開平11-288962号公報
特許文献2：特開2012-169374号公報
特許文献3：特開2002-319597号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0013] しかしながら上記特許文献に開示されているA gボンディングワイヤでは、高密度実装で要求される接合信頼性、スプリング不良、チップダメージに対する要求性能を満たすことができなかった。
- [0014] 高温高湿試験は温度が121℃、相対湿度が100%の条件で行うPCT (Pressure Cooker Test) と呼ばれる試験が一般的に用いられる。近年では、さらに厳しい評価方法として温度が130℃、相対湿度が85%の条件で行うHAST (Highly Accelerated temperature and humidity Stress Test) と呼ばれる試験が用いられることが多い。高密度実装用の半導体デバイスは、動作環境を想定した場合、HASTにおいて300時間以上経過後も正常に動作することが求められる。A gボンディングワイヤは、HASTにおいてボール接合部の寿命が問題となる。A gボンディングワイヤは、高温高湿環境に曝されることで、ボール接合部において剥離が発生し、電

氣的な接続が失われて半導体デバイスの故障の原因となる。また、高密度実装では、狭ピッチ化に対応するため通常よりも小さなボールを形成して接合（以下、小ボール接合という）することが多い。ボンディングワイヤは、小ボール接合を用いた場合、接合に寄与する面積が小さくなり接合寿命が短くなる傾向にあることから、より厳しい接合信頼性が求められる。

[0015] スプリング不良は高密度実装分野の中でもメモリ用途で行われる積層チップの接続で問題となることが多い不良である。積層チップをボンディングワイヤによって接続する方法では、通常の接合とは接合位置が逆転する、逆ボンディングと呼ばれる接続方法が多く用いられる。逆ボンディングの接合プロセスでは、チップ上の電極にスタッドバンプを形成した後、基板の電極上にボール部を接合し、最後に前記スタッドバンプの上にボンディングワイヤをウェッジ接合する。この逆ボンディングにより、ループ高さを低く抑えることができ、チップの積層数が増えて段差がかなり高い場合においても安定したループ制御が可能となる。一方、逆ボンディングを行うと、スプリング不良が発生しやすい。

[0016] チップダメージは、ボンディング工程の中でもボール接合工程において発生する不良である。高密度実装分野ではチップの薄化、多層化に伴い強度が低い構造が取られることが多く、チップダメージ抑制に対する要求が高まっている。さらに、高密度実装で行われる小ボール接合では、接合の際に応力が集中してチップダメージが発生し易くなるため、チップダメージの厳しい抑制が求められる。

[0017] これらの要求性能に対して、従来報告されている A g ボンディングワイヤを用いた場合、接合信頼性、スプリング性能、チップダメージ性能において以下の課題があることが判明した。接合信頼性については、A I 電極にボール接合を行い、樹脂封止後、H A S T を行った結果、150 時間経過した段階でボール接合部の接合強度が低下し、高密度実装で要求される 300 時間以上の寿命が得られなかった。接合界面の観察を行った結果、A g ボンディングワイヤと A I 電極の界面において、ボイドの発生が認められた。これは

接合界面に形成された A g と A l の金属間化合物の一部が腐食したためと推定された。スプリング性能については、逆ボンディングを行った場合に、ボンディングワイヤの強度が不足してループが湾曲し、スプリング不良の抑制が困難であることが判明した。チップダメージ性能については、小ボール接合を行った場合において、チップにき裂が発生し実用に適さないことがわかった。

[0018] 本発明では、従来技術の問題を解決して高密度実装で要求される接合信頼性、スプリング性能、チップダメージ性能を満足することができるボンディングワイヤ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

[0019] 本発明の半導体装置用ボンディングワイヤは、I n, G a, C d の 1 種以上を総計で 0. 0 5 ~ 5 a t. % 含み、残部が A g および不可避不純物からなることを特徴とする。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、高密度実装で要求される接合信頼性、スプリング性能、チップダメージ性能を満足することができる。

発明を実施するための形態

[0021] 本実施形態に係るボンディングワイヤは、I n, G a, C d の 1 種以上を総計で 0. 0 5 ~ 5 a t. % 含み、残部が A g および不可避不純物とすることで、高密度実装に要求される接合信頼性を改善し、スプリング不良を抑制することができる。

[0022] 本実施形態に係るボンディングワイヤの接合信頼性の改善に対する有効性を説明する。ワイヤ線径が $\phi 15 \sim 25 \mu m$ のワイヤを用いた場合、通常の接合では、ワイヤ線径に対してボール径が 1. 7 ~ 2. 0 倍のボールを形成して接合が行われる。高密度実装用途では、狭ピッチ化に対応するため、ワイヤ線径に対してボール径が 1. 5 ~ 1. 6 倍と通常よりも小さなボールを形成して接合することが多い。従来の A g ボンディングワイヤを用いて小ボール接合し、温度が 130℃、相対湿度が 85% の条件で高温高湿試験を行

った場合、ボール接合部寿命は150時間未満であった。本実施形態に係るボンディングワイヤを用いた場合、300時間以上の優れたボール接合部寿命が得られた。この結果から、本実施形態に係るボンディングワイヤは、高密度実装において要求される基準を満たしており、高密度実装において使用することができる。脆弱な低誘電率材料を用いた半導体素子にボール接合を行う際の接合条件は、半導体素子の損傷を緩和するために、通常の場合よりも超音波を弱くする必要がある。このような接合条件を用いた場合、従来のAgボンディングワイヤでは、十分な接合面積を得ることが困難であり、ボール接合部寿命は100時間未満であった。一方で、本実施形態に係るボンディングワイヤを用いた場合、300時間以上のボール接合部寿命が得られ、優れた接合信頼性が実現できることが確認された。これは、本実施形態に係るボンディングワイヤに含まれるIn, Ga, Cdがボール接合部の接合界面において、腐食の原因となるAgとAlの金属間化合物の成長を抑制したためと考えられる。

[0023] 次に、本実施形態に係るボンディングワイヤのスプリング不良抑制に対する有効性を説明する。複数の半導体素子が積層された構造を有するデバイスに対して、ワイヤ線径が $\phi 15 \sim 25 \mu m$ のワイヤを用いて逆ボンディングを実施したところ、従来のAgボンディングワイヤではスプリング不良が発生した。これに対して、本実施形態に係るボンディングワイヤではスプリング不良が抑制できた。本実施形態に係るボンディングワイヤは、最先端の高密度パッケージにおいてもスプリング不良の抑制効果が確認できた。スプリング性能の改善効果は、ボンディングワイヤの降伏強度が向上したことによるものと考えられる。

[0024] 以上より、本実施形態に係るボンディングワイヤは、高密度実装で要求される性能と低コスト化を同時に満足でき、Auボンディングワイヤの代替が可能であることが明らかになった。

[0025] In, Ga, Cdの1種以上を総計で5at.%超含むボンディングワイヤは、ボンディングワイヤの破断伸びが低下し、ウェッジ接合時にボンディ

ングワイヤが切れる不良が発生するため実用に適さない。すなわち、接合信頼性を改善及びスプリング不良を抑制しつつボンディングワイヤとしての総合性能を満足するため、ボンディングワイヤに含まれる In 、 Ga 、 Cd の 1 種以上の総計は、 $0.05 \text{ at. \%}$ ～ $5 \text{ at. \%}$ であることが有効である。ボンディングワイヤは、前記濃度が $0.1 \sim 2 \text{ at. \%}$ であれば、HAST において、500 時間の寿命が達成できるので、好ましい。これは、ボールの硬さを適正な範囲内に制御することで、ボール接合界面の金属間化合物が均一に形成されて、接合寿命低下の原因となる凹凸に起因する応力集中を緩和できるためである。さらにボンディングワイヤは、前記濃度が $0.5 \sim 1 \text{ at. \%}$ であれば、HAST において、1000 時間の寿命が達成できるので、より好ましい。これは、ワイヤ部分の硬さを適正な範囲内に制御することでウェッジ接合時のテールと呼ばれる形状が安定し、ボールを形成する際の形状や大きさのばらつきが低減でき、接合信頼性のばらつきを抑制できるためである。

[0026] ボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析には、ICP 発光分光分析装置等を利用することができる。ボンディングワイヤの表面に酸素や炭素などの元素が吸着している場合には、解析を行う前に表面から 2 nm の領域をスパッタ等で削ってから濃度測定を行っても良い。その他の方法として、酸洗を用いる方法も有効である。後述する Ni 、 Cu 、 Rh 、 Pd 、 Pt 、 Au または Be 、 B 、 P 、 Ca 、 Y 、 La 、 Ce の濃度分析についても同様の方法を用いることができる。

[0027] 上記の特徴を有するボンディングワイヤは、さらに Ni 、 Cu 、 Rh 、 Pd 、 Pt 、 Au の 1 種以上を総計で $0.01 \sim 5 \text{ at. \%}$ 含むことでボンディングワイヤの使用寿命を改善できる。

[0028] ボンディングワイヤは、 In 、 Ga 、 Cd を含み、更にこれらの元素と結合力が強い元素を複合添加することが、経時劣化に対して有効である。

[0029] 従来のボンディングワイヤは、時間の経過にともなって表面に硫黄原子が吸着し、ボール形成性などの性能が低下することがあった。ボンディングワ

イヤ表面の硫黄原子の吸着を抑制するためには、ボンディングワイヤ表面の活性を低下させる手法が有効である。例えば、ボンディングワイヤ表面のA g原子をA gに比べて硫黄との吸着能が低い元素で置換すれば良い。ボンディングワイヤの表面にはI n, G a, C dが存在することから、これらの元素と結合力の強い元素を添加することでより効率的に耐硫化性が向上できると考えられる。

[0030] 本発明者らは、鋭意検討した結果、本実施形態に係るボンディングワイヤが、N i, C u, R h, P d, P t, A uの1種以上を総計で0.01～5 a t. %以上含むことで耐硫化性が向上し、ボンディングワイヤの使用寿命を改善できることを見出した。前記濃度が0.01 a t. %未満の場合は上記の効果が期待できない。前記濃度が5 a t. %超の場合は、ワイヤ表面へのアーク放電による入熱が不安定になり、真球性の高いボールが得られなくなるため実用に適さない。好ましくは、前記濃度が0.5～3 a t. %であればより高い効果が得られる。これは、アーク放電による入熱のばらつきを、より抑制できるためである。

[0031] 本実施形態に係るボンディングワイヤは、さらにB e, B, P, C a, Y, L a, C eの1種以上を総計で10～300 a t. p p m含むことで、ボール接合時のつぶれ形状を改善できる。

[0032] 従来のA g ボンディングワイヤは、ボール接合時にボールが超音波の印加方向に優先的に変形するため、隣接する電極に接触し短絡を引起こすことがあった。したがって、ボール接合においてボール変形の異方性を低減し、真円に近いつぶれ形状に制御する必要がある。ボール変形の異方性は結晶粒径が大きいほど増加する傾向があるため、ボール部の結晶粒を微細化する技術が有効である。

[0033] 本発明者らは、鋭意検討した結果、本実施形態に係るボンディングワイヤが、B e, B, P, C a, Y, L a, C eの1種以上を総計で10～300 a t. p p m含むことでボール結晶粒が微細化でき、ボール接合時のつぶれ形状が改善できることを見出した。前記濃度が10 a t. p p m未満の場合

は上記の効果が期待できない。前記濃度が300at. ppm超の場合は、ボンディングワイヤの破断伸びが低下し、ウェッジ接合時にワイヤが切れてしまうため実用に適さない。好ましくは、前記濃度が20～200at. ppmであればより高い効果が得られる。これは、この濃度範囲であればボール中の元素の偏りを低減でき、元素がより均一に分布するためである。

[0034] 本実施形態に係るボンディングワイヤは、ボンディングワイヤ表面部のIn, Ga, Cdの総計at. %濃度が、ボンディングワイヤ内部の前記総計at. %濃度の2倍以上であることで、ウェッジ接合性を改善できる。

[0035] ボンディングワイヤ表面から深さ方向の濃度分析は、オージェ電子分光分析装置を用いることができる。まず、ボンディングワイヤの表面からスパッタ等で削りながら濃度測定を行い、深さ方向の濃度プロファイルを取得する。濃度プロファイルを取得する対象の元素はAg, In, Ga, Cd、Oとする。ワイヤ表面から深さ方向に対して0～10nmの領域、20～30nmの領域に分けて、各領域の平均濃度を求めることによって各領域におけるそれぞれの元素の濃度を決定する。

[0036] ウェッジ接合では、ボンディングワイヤを変形させて接合面積を確保するため、ボンディングワイヤの表面部が軟質であるほど接合面積の確保が容易になり、高い接合強度が得られる。したがって、ボンディングワイヤの内部に対して、ボンディングワイヤの表面部にAgよりも軟質な元素を濃化させる技術が有効である。ボンディングワイヤの内部をワイヤ表面から深さ方向に20～30nmの領域、ボンディングワイヤの表面部をワイヤ表面から深さ方向に0～10nmの領域と定義する。

[0037] 本発明者らは、鋭意検討した結果、ボンディングワイヤ表面部のIn, Ga, Cdの総計at. %が、ボンディングワイヤ内部の前記総計at. %の2倍以上であることで、ウェッジ接合部において高い接合強度が得られることを見出した。すなわち、ボンディングワイヤは、ワイヤ表面から深さ方向に0～10nmの領域における金属元素の総計に対するIn, Ga, Cdの中から選ばれた少なくとも1つ以上の元素の平均濃度を X_{0-10nm} 、20～3

0 nmの領域における該平均濃度を $X_{20-30nm}$ とすれば、 $X_{0-10nm}/X_{20-30nm} \geq 2$ が成立する場合において、ウェッジ接合部において高い接合強度が得られる。 $X_{0-10nm}/X_{20-30nm} < 2$ の場合は、上記効果が期待できない。

[0038] 本実施形態に係るボンディングワイヤは、ワイヤ軸に垂直方向の断面における平均結晶粒が0.2～3.5 μm であることで、ワイヤの繰出し性が改善できる。ここでワイヤ軸とは、ボンディングワイヤの中心を通り、長手方向に平行な軸である。

[0039] ワイヤ断面を露出させる方法は、例えば、機械研磨、イオンエッチング法等を利用することができる。平均結晶粒径を求める方法は、例えば後方散乱電子線回折法（EBSD: Electron Backscattered Diffraction）を用いることができる。EBSD法は隣り合う測定点間の結晶方位差を求めることで、結晶粒界を判定することができる。結晶粒界は方位差が15度以上のものを大傾角粒界と定義し、大傾角粒界に囲まれた領域を1つの結晶粒とした。結晶粒径は、専用の解析ソフトによって面積を算出し、その面積を円と仮定したときの直径とした。

[0040] ボンディングワイヤを接合する際には、ボンディングワイヤをスプールと呼ばれる円柱状の治具に巻取った状態から少量ずつ繰り出して使用する。繰り出しを行うときにはボンディングワイヤにはワイヤ軸と平行方向に張力がかかるため、ボンディングワイヤが変形して線径が細くなってしまう恐れがある。このような現象を防ぐためには、ワイヤ軸と垂直方向に働くせん断応力に対する強度を制御する必要がある。せん断応力に対する強度を制御する方法としては、ワイヤ軸と垂直方向の断面における結晶粒径を小さくすることが有効である。

[0041] 本発明者らは、鋭意検討した結果、ボンディングワイヤのワイヤ軸と垂直方向の断面における平均結晶粒が0.2～3.5 μm であることで高い繰出し性能が得られることを見出した。さらに好ましくは、前記平均粒径が0.4～3.0 μm であればより高い効果が得られる。前記平均結晶粒径が3.5 μm 超では、引張応力によりワイヤが局部的に変形してしまうため、上

記の効果が得られない。前記平均結晶粒径が $0.2\mu\text{m}$ 未満では、ボンディングワイヤが必要以上に硬質化してしまうためキャピラリとの接触部における摩耗が激しくなるため実用に適さない。

[0042] 本実施形態に係るボンディングワイヤは、ボンディングワイヤの断面の結晶方位を測定したときの測定結果において、前記ボンディングワイヤの長手方向に対して角度差が 15° 以下である結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の存在比率が面積率で、 30% 以上 100% 以下であることで、ウェッジ接合性をさらに改善できる。

[0043] ウェッジ接合性に関しては、ボンディングワイヤの断面において、ボンディングワイヤの長手方向に対する角度差が 15° 以下である結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の存在比率を増加させることで接合部の変形が促進でき、高い接合強度が得られる。上記効果を得るためには、ワイヤの長手方向に対する角度差が 15° 以下の結晶方位 $\langle 100 \rangle$ を有する領域の面積が、結晶方位の測定領域の総面積に対して 30% 以上を占めることが有効である。前記存在比率が 30% 未満では、接合部の変形が不十分となり、ウェッジ接合部において高い接合強度が得られない。

[0044] ボンディングワイヤの断面を露出させる方法としては、機械研磨、イオンエッチング法等を利用することができる。ボンディングワイヤの断面の結晶方位はEBSD法を用いて決定することができる。ボンディングワイヤの長手方向に対する角度差が 15° 以下の結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の存在比率は、EBSD等を用いた結晶方位の測定領域の面積に対して、前記結晶方位 $\langle 100 \rangle$ を有する領域が占める面積の比率を算出することによって求めることができる。前記測定領域は、ワイヤ軸を含むワイヤ軸に平行な断面であって、ワイヤの長手方向を $100\mu\text{m}$ 以下、短手方向をワイヤ全体（ワイヤ直径と略同じ長さ）とする。

[0045] 本発明者らは、鋭意検討した結果、本実施形態に係るボンディングワイヤの最表面から深さ方向に対して $0\sim 1\text{nm}$ の領域における金属元素の総計に対するIn, Ga, Cdの中から選ばれた少なくとも1つ以上の元素の平均

総計 a t. %が、ボンディングワイヤの最表面から深さ方向に対して1～10 nmの領域における該平均総計 a t. %の1.2倍以上に制御することで、キャピラリの使用寿命が改善できることを見出した。

- [0046] キャピラリとボンディングワイヤが、ワイヤを繰り出す際の摩擦によって、キャピラリの内部が磨耗する課題があった。上記課題に対して、ボンディングワイヤの最表面の組成を制御し、ボンディングワイヤの最表面の強度を低減させることで、キャピラリとボンディングワイヤ間の摩擦力が低減でき、キャピラリの使用寿命を改善できる。すなわち、ボンディングワイヤは、ワイヤ表面から深さ方向に0～1 nmの領域における金属元素の総計に対するIn, Ga, Cdの中から選ばれた少なくとも1つ以上の元素の平均濃度を $X_{0-1\text{nm}}$ 、1～10 nmの領域における該平均濃度を $X_{1-10\text{nm}}$ とすれば、 $X_{0-1\text{nm}}/X_{1-10\text{nm}} \geq 1.2$ が成立する場合において、優れたキャピラリの使用寿命が得られる。 $X_{0-1\text{nm}}/X_{1-10\text{nm}} < 1.2$ の場合は、上記効果が期待できない。

実施例

- [0047] 以下、実施例について詳細に説明する。原材料となるAgは純度が99.9 a t. %以上で、残部が不可避不純物から構成されるものを用いた。In, Ga, Cd, Ni, Cu, Rh, Pd, Pt, Au, Be, B, P, Ca, Y, La, Ceは、純度が99.9 a t. %以上で残部が不可避不純物から構成されるものを用いた。
- [0048] ボンディングワイヤに用いるAg合金は、直径が $\phi 3 \sim 6$ mmの円柱型に加工したカーボンるつぽに原料を装填し、高周波炉を用いて、真空中もしくは N_2 、Arガス等の不活性雰囲気中で $1080 \sim 1600^\circ\text{C}$ まで加熱して溶解させた後、炉冷もしくは空冷を行うことで製造した。
- [0049] 得られたAg合金に対して、引抜加工を行って $\phi 0.9 \sim 1.2$ mmまで加工した後、ダイスを用いて連続的に伸線加工等を行うことによって、 $\phi 300 \sim 600 \mu\text{m}$ のワイヤを作製した。このとき、ワイヤ表面に酸素や硫黄が吸着している場合には、塩酸等を用いた酸洗処理を行ってもよい。その後

、 $200\sim500^{\circ}\text{C}$ の中間熱処理と伸線加工を繰返し行うことによって最終線径の $\phi 15\sim25\mu\text{m}$ まで加工した。伸線には市販の潤滑液を用い、伸線時のワイヤ送り速度は $20\sim300\text{m}/\text{分}$ とした。中間熱処理はワイヤを連続的に掃引しながら、Arガス雰囲気中で行った。中間熱処理時のワイヤの送り速度は $20\sim200\text{m}/\text{分}$ とした。ここで、 $200\sim500^{\circ}\text{C}$ の中間熱処理の回数を3回以上行うことで、ワイヤ表面から深さ方向に $20\sim30\text{nm}$ の領域に対して、 $0\sim10\text{nm}$ の領域におけるIn, Ga, Cdの1種以上の濃度を高く制御することが可能である。好ましくは中間熱処理温度が1回目は $200\sim330^{\circ}\text{C}$ 、2回目は $250\sim400^{\circ}\text{C}$ 、3回目以降は $350^{\circ}\text{C}\sim500^{\circ}\text{C}$ の範囲で行うことがより効果的である。これは上記の熱処理によって添加した元素がボンディングワイヤの表面に拡散する効果によるものである。また、中間熱処理を実施する線径を $\phi 50\sim\phi 100\mu\text{m}$ 以上とすることで、ワイヤ軸に垂直な方向の断面における平均結晶粒径を $0.2\sim3.5\mu\text{m}$ に制御できる。これは、再結晶時の結晶粒成長を制御できる効果によるものである。さらに、伸線時のワイヤ送り速度を $200\sim300\text{m}/\text{分}$ とし、中間熱処理の温度を $200\sim300^{\circ}\text{C}$ とすることでボンディングワイヤの長手方向に対する角度差が 15 度以下である結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の存在比率を 30% 以上に増加させることができる。なお、本技術は中間熱処理を複数回行う場合においても有効である。

[0050] 伸線加工後のワイヤは最終的に破断伸びが約 $9\sim15\%$ になるよう最終熱処理を実施した。最終熱処理は中間熱処理と同様の方法で行った。最終熱処理時のワイヤの送り速度は中間熱処理と同様に $20\sim200\text{m}/\text{分}$ とした。最終熱処理温度は $200\sim600^{\circ}\text{C}$ で熱処理時間は $0.2\sim1.0$ 秒とした。ここで、最終熱処理後に追加熱処理を $350\sim500^{\circ}\text{C}$ で $0.2\sim0.5$ 秒間実施することで、ワイヤ表面から深さ方向に $1\sim10\text{nm}$ の領域に対して、 $0\sim1\text{nm}$ の領域におけるIn, Ga, Cdの1種以上の濃度を 1.2 倍以上に制御することが可能である。

[0051] 接合信頼性評価用のサンプルは、一般的な金属フレーム上のSi基板に厚

さ $1.0\mu\text{m}$ のAl膜を成膜した電極に、市販のワイヤボンダーを用いてボール接合を行い、市販のエポキシ樹脂によって封止して作製した。ボールは $\text{N}_2 + 5\%\text{H}_2$ ガスを流量 $0.4 \sim 0.6\text{L}/\text{min}$ で流しながら形成し、ボール径はワイヤ線径に対して $1.5 \sim 1.6$ 倍の範囲とした。高温高湿環境における接合信頼性は、不飽和型プレッシャークッカー試験機を使用し、温度 130°C 、相対湿度 85% の高温高湿環境に暴露した時のボール接合部の接合寿命によって判定した。ボール接合部の接合寿命は 100 時間毎にボール接合部のシエア試験を実施し、シエア強度の値が初期に得られたシエア強度の $1/3$ となる時間とした。高温高湿試験後のシエア試験は、酸処理によって樹脂を除去して、ボール接合部を露出させてから行った。シエア試験機はDAGE社製の微小強度試験機を用いた。シエア強度の値は無作為に選択したボール接合部の 10 か所の測定値の平均値を用いた。上記の評価において、接合寿命が 300 時間未満であれば実用上問題があると判断し△印、 300 以上 500 時間未満であれば、実用上問題ないと判断し○印、 500 時間以上であれば特に優れていると判断し◎印、 1000 時間以上であれば☆印と表記した。

[0052] スプリング性能評価用のサンプルは、半導体素子上の電極に形成したスタッドバンプ上に、市販のワイヤボンダーを用いて、ウェッジ接合を行う接合方法である逆ボンディングを行うことで作製した。接合条件は、ループ長 3.0mm 、ループ高さ 0.13mm とした。接合した 200 本のボンディングワイヤのループ部分を光学顕微鏡で観察し、隣接するボンディングワイヤが接触した箇所があれば不良と判定した。不良が 5 箇所以上あれば実用上問題があると判断し△印、不良が $1 \sim 4$ 箇所であれば実用上問題がないと判断し○印、不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し◎印と表記した。

[0053] チップダメージ性能の評価は、Si基板に厚さ $1.0\mu\text{m}$ のAl膜を成膜した電極に、市販のワイヤボンダーを用いてボール接合を行い、ボール接合部直下のSi基板を光学顕微鏡で観察することによって行った。Si基板に

、き裂が見られた場合は不良と判定した。100箇所観察し、不良が1箇所以上あれば実用上問題があると判断し△印、不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し○印と表記した。

[0054] ボンディングワイヤの使用寿命の評価は、ボンディングワイヤを大気雰囲気中に一定期間放置した後、接合を行い、良好なボール形成ができているか、ボール接合部およびウェッジ接合部において良好な接合状態が得られているかどうかを評価した。ボール形成の判定は、100個のボールを光学顕微鏡で観察し、真球性の低いボールや表面に凹凸のあるボールが5個以上あれば不良と判定した。ボールの形成条件は、 $N_2 + 5\% H_2$ ガスを使用してガス流量 $0.4 \sim 0.6 \text{ L/min}$ 、ボールの直径はワイヤ線径の $1.5 \sim 1.6$ 倍の範囲とした。ボール接合部およびウェッジ接合部において良好な接合状態が得られているかの判定は、市販のワイヤボンダーを用いて1000回の接合を連続的に行って判定した。ボール接合部やウェッジ接合部を光学顕微鏡で観察し、剥離などの不良が3本以上発生した場合は不良と判定した。放置期間が12か月未満で上記のいずれかの不良が発生した場合は実用上問題があると判断し△印、放置期間が12か月経過後18か月未満の間に不良が発生した場合は実用上問題がないと判断し○印、放置期間が18か月経過後24か月未満の間に不良が発生した場合は優れていると判断し◎印、放置期間が24か月経過後も不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し☆印と表記した。

[0055] ボールのつぶれ形状の評価は、Si基板に厚さ $1.0 \mu m$ のAl膜を成膜した電極に、市販のワイヤボンダーを用いてボール接合を行い、直上から光学顕微鏡で観察した。ボールのつぶれ形状の判定は、つぶれ形状が円形に近いのであれば良好と判定し、楕円形や花卉状の形状であれば不良と判定した。100箇所のボール接合部を光学顕微鏡で観察し、不良が5個以上あれば実用上問題があると判断し△印、不良が1～4個であれば実用上問題がないと判断し○印、不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し◎印と表記した。

[0056] ウェッジ接合性の評価は、A g めっきを施した一般的な金属フレームを用い、市販のワイヤボンダーを用いてウェッジ接合を行い、ウェッジ接合部を観察することで行った。接合条件は一般的に用いられる接合条件を用いた。50本のウェッジ接合部を光学顕微鏡で観察し、接合部においてボンディングワイヤの剥離が5個以上あれば実用上問題があると判断し△印、剥離が3～4個であれば実用上問題がないと判断し○印、剥離が1～2個であれば優れていると判断し◎印、不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し☆印と表記した。

[0057] ボンディングワイヤの繰り出し性能の評価は、一般的な接合条件で接合を行った後、ループ部分のボンディングワイヤを走査型顕微鏡で観察し、直径を測定して、接合前のボンディングワイヤに対する直径の減少率を求めることで行った。減少率が80%以下であれば不良と判定した。30本のボンディングワイヤを観察し、不良が5本以上あれば実用上問題があると判断し△印、不良が3～4本であれば実用上問題がないと判断し○印、不良が1～2本であれば優れていると判断し◎印、不良が全く発生しなければ特に優れていると判断し☆印と表記した。

[0058] キャピラリの使用寿命は、使用前後でキャピラリの先端の孔を観察し、キャピラリの先端の孔の磨耗量によって評価した。接合条件は一般的な条件とし、ボンディングワイヤを3000回接合後のキャピラリを観察して、磨耗がなければ実用上問題ないと判断し○印、10000回接合後のキャピラリを観察して、磨耗がなければ優れていると判断し◎印と表記した。

[0059] 表1-1～表1-10は本発明に係わるボンディングワイヤの組成などの特徴とそれぞれのボンディングワイヤの各評価結果を記載した実施例を示している。表2-1及び表2-2は比較例を示している。

[0060] 請求項1に係るボンディングワイヤはNo.1～188であり、高密度実装で要求される接合信頼性とスプリング性能、チップダメージ性能を満足できることを確認した。これに対し比較例のNo.1～7に示すように、In, Ga, Cdの濃度が上記の範囲外の場合には十分な効果が得られないことを確認した。請

求項2に係るボンディングワイヤはNo. 31～94、123～127、131～135、140～144、148～152、156～160、164～168、173～177、180、182であり、ボンディングワイヤの使用寿命の向上が図れることを確認した。請求項3に係るボンディングワイヤはNo. 95～127、134、135、143、144、151、152、159、160、167、168、176、177であり、優れたボールつぶれ形状が得られることを確認した。請求項4に係るボンディングワイヤはNo. 1～127、136～180であり、良好なウェッジ接合性が得られることを確認した。請求項5に係るボンディングワイヤはNo. 1～135、137～168、170～188であり、優れたワイヤ繰り出し性能が得られることを確認した。請求項6に係るボンディングワイヤはNo. 170～188であり、より優れたウェッジ接合性が得られることを確認した。請求項7に係るボンディングワイヤはNo. 182～188であり、優れたキャピラリの使用寿命が得られることを確認した。

[表1-3]

試料 No.	特徴																長手方向断面の <100>方位の割 合 (%)		
	In濃度 (at. %)	Ga濃度 (at. %)	Cd濃度 (at. %)	Ni濃度 (at. %)	Cu濃度 (at. %)	Rh濃度 (at. %)	Pd濃度 (at. %)	Pt濃度 (at. %)	Au濃度 (at. %)	Be濃度 (at. ppm)	B濃度 (at. ppm)	P濃度 (at. ppm)	Ca濃度 (at. ppm)	Y濃度 (at. ppm)	La濃度 (at. ppm)	Ce濃度 (at. ppm)		X _{C-10nm} /X _{20-30nm}	平均結晶粒径 (μm)
73	0.1								3								2	0.2	20
74	0.1								5								2	0.2	20
75	2								0.01								2	0.2	20
76	2								0.5								2	0.2	20
77	2								3								2	0.2	20
78	2								5								2	0.2	20
79	1.5			0.1			0.4										2	0.2	20
80	1.5			1			2										2	0.2	20
81	1.5						0.4		0.1								2	0.2	20
82	1.5						2		1								2	0.2	20
83	1.5				0.1		0.4		0.1								2	0.2	20
84	1.5				0.5		2		0.4								2	0.2	20
85	1.5						0.4	0.05	0.1								2	0.2	20
86	1.5						2	0.05	0.5								2	0.2	20
87	1.5	0.5					0.4		0.1								2	0.2	20
88	1.5		0.5				0.4		0.1								2	0.2	20
89	3	2					2		1								2	0.2	20
90	4		1				2		1								2	0.2	20
91	0.02	0.01	0.02				0.4		0.1								2	0.2	20
92	0.5	0.3	0.2				2		1								2	0.2	20
93	1	1	0.5				2		1								2	0.2	20
94	3	1	1				2		1								2	0.2	20
95	1.5									10							2	0.2	20
96	1.5									20							2	0.2	20
97	1.5									200							2	0.2	20
98	1.5									300							2	0.2	20
99	1.5										10						2	0.2	20
100	1.5																2	0.2	20
101	1.5										200						2	0.2	20
102	1.5										300						2	0.2	20
103	1.5											10					2	0.2	20
104	1.5											20					2	0.2	20
105	1.5											200					2	0.2	20
106	1.5											300					2	0.2	20
107	1.5												10				2	0.2	20
108	1.5													20			2	0.2	20

[表1-4]

試料 No.	特徴																	長手方向断面の ＜100＞方位の割 合 (%)		
	In濃度 (at. %)	Ga濃度 (at. %)	Cd濃度 (at. %)	Ni濃度 (at. %)	Cu濃度 (at. %)	Rh濃度 (at. %)	Pd濃度 (at. %)	Pt濃度 (at. %)	Au濃度 (at. %)	Be濃度 (at. ppm)	B濃度 (at. ppm)	P濃度 (at. ppm)	Ca濃度 (at. ppm)	Y濃度 (at. ppm)	La濃度 (at. ppm)	Ce濃度 (at. ppm)	X _{Fe-10m} /X _{Fe-30nm}		平均結晶粒径 (μm)	
109	1.5												200					2	0.2	20
110	1.5												300					2	0.2	20
111	1.5													10				2	0.2	20
112	1.5													20				2	0.2	20
113	1.5													200				2	0.2	20
114	1.5													300				2	0.2	20
115	1.5														10			2	0.2	20
116	1.5														20			2	0.2	20
117	1.5														200			2	0.2	20
118	1.5														300			2	0.2	20
119	1.5															10		2	0.2	20
120	1.5															2		2	0.2	20
121	1.5															200		2	0.2	20
122	1.5															300		2	0.2	20
123	1.5										10		10					2	0.2	20
124	1.5								0.5	10				10				2	0.2	20
125	1.5							0.4	0.05	0.1		10						2	0.2	20
126	1.5							2	0.05	0.5		10					10	2	0.2	20
127	1.5							2	0.05	0.5	5	10	5				10	2	0.2	20
128	1.5																	1.5	0.2	20
129		1.5																1.5	0.2	20
130			1.5															1.5	0.2	20
131	1.5							1										1.5	0.2	20
132	1.5							2										1.5	0.2	20
133	1.5							0.4	0.05	0.1								1.5	0.2	20
134	1.5							1			30							1.5	0.2	20
135	1.5							2		0.5								1.5	0.2	20
136	1.5																	2	0.1	20
137	1.5																	2	0.2	20
138		1.5																2	0.2	20
139			1.5															2	0.2	20
140	1.5							1										2	0.2	20
141	1.5																	2	0.2	20
142	1.5																	2	0.2	20
143	1.5																	2	0.2	20
144	1.5												30					2	0.2	20

[表1-5]

試料 No.	特徴																	X _{0-10nm} /X _{1-10nm}		
	In濃度 (at. %)	Ga濃度 (at. %)	Co濃度 (at. %)	Ni濃度 (at. %)	Cu濃度 (at. %)	Rh濃度 (at. %)	Pd濃度 (at. %)	Pt濃度 (at. %)	Au濃度 (at. %)	Be濃度 (at. ppm)	B濃度 (at. ppm)	P濃度 (at. ppm)	Ca濃度 (at. ppm)	Y濃度 (at. ppm)	La濃度 (at. ppm)	Ce濃度 (at. ppm)	X _{0-10nm} /X _{20-30nm}		平均 結晶粒径 (μm)	長手方向 断面の<100> 方位の割合 (%)
145	1.5																	2	0.4	20
146		1.5																2	0.4	20
147			1.5															2	0.4	20
148	1.5						1											2	0.4	20
149	1.5						2		0.5									2	0.4	20
150	1.5						0.4	0.05	0.1									2	0.4	20
151	1.5						1				30							2	0.4	20
152	1.5						2		0.5				30					2	0.4	20
153	1.5																	2	0.4	20
154		1.5																2	0.4	20
155			1.5															2	0.4	20
156	1.5						1		0.5									2	0.4	20
157	1.5						2		0.1									2	0.4	20
158	1.5						0.4	0.05										2	0.4	20
159	1.5						1				30							2	0.4	20
160	1.5						2		0.5				30					2	0.4	20
161	1.5																	2	0.4	20
162		1.5																2	0.4	20
163			1.5															2	0.4	20
164	1.5						1											2	0.4	20
165	1.5						2		0.5									2	0.4	20
166	1.5						0.4	0.05	0.1									2	0.4	20
167	1.5						1				30							2	0.4	20
168	1.5						2		0.5				30					2	0.4	20
169	1.5																	2	0.4	20
170	1.5																	2	0.4	20
171		1.5																2	0.4	20
172			1.5															2	0.2	50
173	1.5						1											2	0.2	50
174	1.5						2		0.5									2	0.2	50
175	1.5						0.4	0.05	0.1									2	0.2	50
176	1.5						1				30							2	0.2	50
177	1.5						2		0.5				30					2	0.2	50
178	0.1																	2	0.2	30
179	0.1																	2	0.2	40
180	0.1						0.01											2	0.2	33
181	0.1																	1.0	0.2	35
182	0.1								0.01									1.1	0.2	35
183	0.5																	1.3	0.2	35
184	0.9																	1.1	0.2	41
185	0.6																	1.0	0.2	32
186	1.0																	1.2	0.2	34
187		0.7																1.1	0.2	32
188			0.8															1.2	0.2	32

[表1-6]

試料 No.	作用効果					
	接合信頼性 (温度:130℃、相対湿 度:85%)	スプリング 性能	チップダメージ	使用寿命	ボールつずれ形状	ウェッジ適合性
1	○	○	○	○	○	◎
2	◎	◎	○	○	○	◎
3	☆	◎	○	○	○	◎
4	☆	◎	○	○	○	◎
5	◎	◎	○	○	○	◎
6	○	○	○	○	○	◎
7	○	○	○	○	○	◎
8	◎	◎	○	○	○	◎
9	☆	◎	○	○	○	◎
10	☆	◎	○	○	○	◎
11	◎	◎	○	○	○	◎
12	○	○	○	○	○	◎
13	○	○	○	○	○	◎
14	◎	◎	○	○	○	◎
15	☆	◎	○	○	○	◎
16	☆	◎	○	○	○	◎
17	◎	◎	○	○	○	◎
18	○	○	○	○	○	◎
19	○	○	○	○	○	◎
20	○	○	○	○	○	◎
21	◎	◎	○	○	○	◎
22	◎	◎	○	○	○	◎
23	◎	◎	○	○	○	◎
24	◎	◎	○	○	○	◎
25	○	○	○	○	○	◎
26	○	○	○	○	○	◎
27	○	○	○	○	○	◎
28	☆	◎	○	○	○	◎
29	◎	◎	○	○	○	◎
30	○	○	○	○	○	◎
31	◎	◎	○	◎	○	◎
32	◎	◎	○	☆	○	◎
33	◎	◎	○	☆	○	◎
34	◎	◎	○	◎	○	◎
35	◎	◎	○	◎	○	◎
36	◎	◎	○	☆	○	◎

[表1-7]

試料 No.	作用効果					
	接合信頼性 (温度: 130℃、相対湿 度: 85%)	スプリング 性能	チャップダメージ	使用寿命	ボールつずれ形状	ウェッジ接合性
37	◎	◎	○	☆	○	◎
38	◎	◎	○	◎	○	◎
39	◎	◎	○	◎	○	◎
40	◎	◎	○	☆	○	◎
41	◎	◎	○	☆	○	◎
42	◎	◎	○	◎	○	◎
43	◎	◎	○	◎	○	◎
44	◎	◎	○	☆	○	◎
45	◎	◎	○	☆	○	◎
46	◎	◎	○	◎	○	◎
47	◎	◎	○	◎	○	◎
48	◎	◎	○	☆	○	◎
49	◎	◎	○	☆	○	◎
50	◎	◎	○	◎	○	◎
51	◎	◎	○	◎	○	◎
52	◎	◎	○	☆	○	◎
53	◎	◎	○	☆	○	◎
54	◎	◎	○	◎	○	◎
55	◎	◎	○	◎	○	◎
56	◎	◎	○	☆	○	◎
57	◎	◎	○	☆	○	◎
58	◎	◎	○	◎	○	◎
59	◎	◎	○	◎	○	◎
60	◎	◎	○	☆	○	◎
61	◎	◎	○	☆	○	◎
62	◎	◎	○	◎	○	◎
63	◎	◎	○	◎	○	◎
64	◎	◎	○	☆	○	◎
65	◎	◎	○	☆	○	◎
66	◎	◎	○	◎	○	◎
67	◎	◎	○	◎	○	◎
68	◎	◎	○	☆	○	◎
69	◎	◎	○	☆	○	◎
70	◎	◎	○	◎	○	◎
71	◎	◎	○	◎	○	◎
72	◎	◎	○	☆	○	◎

[表1-8]

試料 No.	作用効果					
	接合信頼性 (温度: 130℃、相対湿度: 85%)	スプリング 性能	チップダメージ	使用寿命	ボールつぶれ形状	ウェッジ適合性
73	◎	◎	○	☆	○	◎
74	◎	◎	○	◎	○	◎
75	◎	◎	○	◎	○	◎
76	◎	◎	○	☆	○	◎
77	◎	◎	○	☆	○	◎
78	◎	◎	○	◎	○	◎
79	◎	◎	○	☆	○	◎
80	◎	◎	○	☆	○	◎
81	◎	◎	○	☆	○	◎
82	◎	◎	○	☆	○	◎
83	◎	◎	○	☆	○	◎
84	◎	◎	○	☆	○	◎
85	◎	◎	○	☆	○	◎
86	◎	◎	○	☆	○	◎
87	◎	◎	○	☆	○	◎
88	◎	◎	○	☆	○	◎
89	◎	◎	○	☆	○	◎
90	◎	◎	○	☆	○	◎
91	○	◎	○	☆	○	◎
92	◎	◎	○	☆	○	◎
93	◎	◎	○	☆	○	◎
94	◎	◎	○	☆	○	◎
95	◎	◎	○	○	◎	◎
96	◎	◎	○	○	☆	◎
97	◎	◎	○	○	☆	◎
98	◎	◎	○	○	◎	◎
99	◎	◎	○	○	◎	◎
100	◎	◎	○	○	☆	◎
101	◎	◎	○	○	☆	◎
102	◎	◎	○	○	◎	◎
103	◎	◎	○	○	◎	◎
104	◎	◎	○	○	☆	◎
105	◎	◎	○	○	☆	◎
106	◎	◎	○	○	◎	◎
107	◎	◎	○	○	◎	◎
108	◎	◎	○	○	☆	◎

[表1-9]

試験 No.	作用効果					
	接合信頼性 (温度: 130°C、相対湿 度: 85%)	スプリング 性能	チップダメージ	使用寿命	ボールつずれ形状	ウェッジ適合性
109	◎	◎	○	○	☆	◎
110	◎	◎	○	○	◎	◎
111	◎	◎	○	○	◎	◎
112	◎	◎	○	○	☆	◎
113	◎	◎	○	○	◎	◎
114	◎	◎	○	○	◎	◎
115	◎	◎	○	○	◎	◎
116	◎	◎	○	○	☆	◎
117	◎	◎	○	○	☆	◎
118	◎	◎	○	○	◎	◎
119	◎	◎	○	○	◎	◎
120	◎	◎	○	○	◎	◎
121	◎	◎	○	○	◎	◎
122	◎	◎	○	○	◎	◎
123	◎	◎	○	☆	◎	◎
124	◎	◎	○	☆	◎	◎
125	◎	◎	○	◎	◎	◎
126	◎	◎	○	◎	◎	◎
127	◎	◎	○	◎	◎	◎
128	◎	◎	○	◎	◎	◎
129	◎	◎	○	◎	◎	◎
130	◎	◎	○	◎	◎	◎
131	◎	◎	○	◎	◎	◎
132	◎	◎	○	◎	◎	◎
133	◎	◎	○	◎	◎	◎
134	◎	◎	○	◎	◎	◎
135	◎	◎	○	◎	◎	◎
136	◎	◎	○	◎	◎	◎
137	◎	◎	○	◎	◎	◎
138	◎	◎	○	◎	◎	◎
139	◎	◎	○	◎	◎	◎
140	◎	◎	○	◎	◎	◎
141	◎	◎	○	◎	◎	◎
142	◎	◎	○	◎	◎	◎
143	◎	◎	○	◎	◎	◎
144	◎	◎	○	◎	◎	◎

[表1-10]

試料 No	作用効果								ワイヤ繰り出し 性能	キャビタリ 使用壽命
	接合信頼性 (温度 130℃、相対湿 度 85%)	スプリング 性能	チップダメージ	使用壽命	ボールつぶれ形状	ウエッジ接合性	ワイヤ繰り出し 性能			
145	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
146	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
147	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
148	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
149	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
150	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
151	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
152	◎	◎	○	☆	☆	◎	☆			
153	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
154	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
155	◎	◎	○	○	○	◎	☆			
156	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
157	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
158	◎	◎	○	☆	○	◎	☆			
159	◎	◎	○	☆	☆	◎	☆			
160	◎	◎	○	☆	☆	◎	☆			
161	◎	◎	○	○	○	◎	◎			
162	◎	◎	○	○	○	◎	◎			
163	◎	◎	○	○	○	◎	◎			
164	◎	◎	○	☆	○	◎	◎			
165	◎	◎	○	☆	○	◎	◎			
166	◎	◎	○	☆	○	◎	◎			
167	◎	◎	○	☆	☆	◎	◎			
168	◎	◎	○	☆	☆	◎	◎			
169	◎	◎	○	○	○	◎	○			
170	◎	◎	○	○	○	☆	◎			
171	◎	◎	○	○	○	☆	◎			
172	◎	◎	○	○	○	☆	◎			
173	◎	◎	○	☆	○	☆	◎			
174	◎	◎	○	☆	○	☆	◎			
175	◎	◎	○	☆	○	☆	◎			
176	◎	◎	○	☆	☆	☆	◎			
177	◎	◎	○	☆	☆	☆	◎			
178	◎	◎	○	○	○	☆	◎		○	
179	○	○	○	○	○	☆	◎		○	
180	◎	◎	○	◎	○	☆	◎		○	
181	◎	◎	○	○	○	◎	◎		○	
182	◎	◎	○	◎	○	◎	◎		◎	
183	◎	◎	○	○	○	◎	◎		◎	
184	○	○	○	○	○	◎	◎		◎	
185	◎	◎	○	○	○	◎	◎		◎	
186	◎	◎	○	○	○	◎	◎		◎	
187	◎	◎	○	○	○	◎	◎		◎	
188	◎	◎	○	○	○	◎	◎		◎	

[表2-1]

試料 No.	特 徴																	長平方向断面の ＜100＞方位の割 合 (%)	
	In濃度 (at. %)	Ga濃度 (at. %)	Cd濃度 (at. %)	Ni濃度 (at. %)	Cu濃度 (at. %)	Pt濃度 (at. %)	Pd濃度 (at. %)	Pt濃度 (at. %)	Au濃度 (at. %)	Be濃度 (at. ppm)	B濃度 (at. ppm)	P濃度 (at. ppm)	Ca濃度 (at. ppm)	Y濃度 (at. ppm)	La濃度 (at. ppm)	Ce濃度 (at. ppm)	X _{Y-10nm} /X _{Ge-3.0nm}	平均結晶粒径 (μm)	
1	0.01																2	0.2	20
2	6																2	0.2	20
3		0.01															2	0.2	20
4		6															2	0.2	20
5			0.01														2	0.2	20
6			6														2	0.2	20
7	0.01					4											2	0.2	20

[表2-2]

試料 No.	作用効果						
	接合信頼性 (温度:130℃、相対湿 度:85%)	スプリング 性能	チップダメージ	使用壽命	ボールつぶれ形状	ウェッジ適合性	ワイヤ繰り出し 性能
1	△	△	○	○	○	◎	◎
2	◎	○	△	○	○	◎	◎
3	△	△	○	○	○	◎	◎
4	◎	○	△	○	○	◎	◎
5	△	△	○	○	○	◎	◎
6	◎	○	△	○	○	◎	◎
7	○	△	○	○	○	◎	◎

請求の範囲

- [請求項1] In , Ga , Cd の1種以上を総計で0.05～5 at. %含み、残部が Ag および不可避不純物からなることを特徴とする半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項2] さらに Ni , Cu , Rh , Pd , Pt , Au の1種以上を総計で0.01～5 at. %含むことを特徴とする請求項1記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項3] さらに Be , B , P , Ca , Y , La , Ce の1種以上を総計で10～300 at. ppm含むことを特徴とする請求項1又は2記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項4] ボンディングワイヤ表面部の In , Ga , Cd の総計 at. %が、前記ボンディングワイヤ内部の前記総計 at. %の2倍以上であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項5] ワイヤ軸に垂直方向の断面における平均結晶粒径が0.2～3.5 μm であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項6] 前記ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸に平行な断面の結晶方位を測定したときの測定結果において、前記ボンディングワイヤの長手方向に対して角度差が15度以下である結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の存在比率が面積率で、30%以上100%以下であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。
- [請求項7] 前記ボンディングワイヤの最表面から深さ方向に対して0～1 nmの領域における金属元素の総計に対する In , Ga , Cd の中から選ばれた少なくとも1つ以上の元素の平均総計 at. %が、前記ボンディングワイヤの最表面から深さ方向に対して1～10 nmの領域における該平均総計 at. %の1.2倍以上であることを特徴とする請求項

1 ～ 6 のいずれか 1 項記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。