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と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。

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１５～５０μｍ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に用いるキャピラリ冶具等が用いられる。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溶融し、表面張力によりボール（ＦＡＢ：Free Air Ball）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を主体とする合金を成膜した電極構造、外部リード側の電極にはＡｇめっきやＰｄめっきを施した電極構造等が用いられる。

[0003] これまでボンディングワイヤの材料はＡｕが主流であったが、ＬＳＩ用途を中心にＣｕへの代替が進んでいる。一方、近年の電気自動車やハイブリッド自動車の普及を背景に、車載用デバイス用途においてもＡｕからＣｕへの代替に対するニーズが高まっている。

[0004] Ｃｕボンディングワイヤについては、高純度Ｃｕ（純度：９９．９９質量％以上）を使用したものが提案されている（例えば、特許文献１）。ＣｕはＡｕに比べて酸化され易い欠点があり、接合信頼性、ボール形成性、ウェッ

ジ接合性等が劣る課題があった。Ｃｕボンディングワイヤの表面酸化を防ぐ方法として、Ｃｕ芯材の表面をＡｕ，Ａｇ，Ｐｔ，Ｐｄ，Ｎｉ，Ｃｏ，Ｃｒ，Ｔｉなどの金属で被覆した構造が提案されている（特許文献２）。また、Ｃｕ芯材の表面にＰｄを被覆し、その表面をＡｕ、Ａｇ、Ｃｕ又はこれらの合金で被覆した構造が提案されている（特許文献３）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開昭６１－４８５４３号公報

特許文献2：特開２００５－１６７０２０号公報

特許文献3：特開２０１２－３６４９０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 車載用デバイスは一般的な電子機器に比べて、過酷な高温高湿環境下での接合信頼性が求められる。特に、ワイヤのボール部を電極に接合したボール接合部の接合寿命が最大の問題となる。

[0007] 半導体装置のパッケージであるモールド樹脂（エポキシ樹脂）には、シランカップリング剤が含まれている。シランカップリング剤は有機物（樹脂）と無機物（シリコンや金属）の密着性を高める働きを有しているため、シリコン基板や金属との密着性を向上させることができる。さらに、より高温での信頼性が求められる車載向け半導体など、高い密着性が求められる場合には「イオウ含有シランカップリング剤」が添加される。モールド樹脂に含まれるイオウは、１７５℃以上（例えば、１７５℃～２００℃）の条件で使用すると遊離してくる。そして、１７５℃以上の高温で遊離したイオウがＣｕと接触すると、Ｃｕの腐食が激しくなり、硫化物（Cu_2S）や酸化物（ＣｕＯ）が生成する。Ｃｕボンディングワイヤを用いた半導体装置でＣｕの腐食が生成すると、特にボール接合部の接合信頼性が低下することとなる。

[0008] １７０℃以上の高温環境でのボール接合部の接合信頼性を評価する手段と

して、ＨＴＳ（High Temperature Storage Test）（高温放置試験）が用いられる。高温環境に暴露した評価用のサンプルについて、ボール接合部の抵抗値の経時変化を測定したり、ボール接合部のシェア強度の経時変化を測定したりすることで、ボール接合部の接合寿命を評価する。近年、車載用の半導体装置においては、１７５℃～２００℃のＨＴＳでのボール接合部の接合信頼性向上が求められている。

[0009] 本発明において、ボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が総計で０．０３～２質量％であると、ボール接合部の高温環境での接合信頼性のうち、１７５℃以上でのＨＴＳでの成績が改善することが判明した。

[0010] ここで、下記（１）式で耐力比を定義する。

耐力比＝最大耐力／０．２％耐力 （１）

ウェッジ接合において、ボンディングワイヤは激しく変形する。変形の際にワイヤが加工硬化すると、接合後のワイヤが硬くなり、その結果としてウェッジ接合の接合強度が低下することとなる。ウェッジ接合強度を維持するためには、上記（１）式で定義した耐力比が１．６以下であると好ましい。ところが、１７５℃～２００℃のＨＴＳでのボール接合部の接合信頼性向上のためにワイヤ中に上記元素を含有させたところ、耐力比が増大して１．６を超えることとなった。そのため、ウェッジ接合の接合強度低下を来すこととなった。

[0011] 本発明は、Ｃｕ合金芯材とその表面に形成されたＰｄ被覆層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤにおいて、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素をワイヤ中に総計で０．０３～２質量％含有しつつ、（１）式で定義する耐力比を１．１～１．６とすることのできる半導体装置用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

[0012] 即ち、本発明の要旨とするところは以下のとおりである。

（１）Ｃｕ合金芯材と、前記Ｃｕ合金芯材の表面に形成されたＰｄ被覆層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤにおいて、

前記ボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が総計で０．０３～２質量％であり、

前記ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率が５０％以上であり、

前記ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径が、０．９～１．３μｍであることを特徴とする半導体装置用ボンディングワイヤ。

（２）下記（１）式で定義する耐力比が１．１～１．６であることを特徴とする上記（１）記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

耐力比＝最大耐力／０．２％耐力　　（１）

（３）前記Ｐｄ被覆層の厚さが０．０１５～０．１５０μｍであることを特徴とする上記（１）又は（２）記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

（４）前記Ｐｄ被覆層上にさらにＡｕとＰｄを含む合金表皮層を有することを特徴とする上記（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。

（５）前記ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の厚さが０．０００５～０．０５０μｍであることを特徴とする上記（４）記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

（６）前記ボンディングワイヤがＧａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が合計で０．１～１００質量ｐｐｍであり、Ｓｎ≦１０質量ｐｐｍ、Ｓｂ≦１０質量ｐｐｍ、Ｂｉ≦１質量ｐｐｍであることを特徴とする上記（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。

（７）前記ボンディングワイヤがさらにＢ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度がそれぞれ１～１００質量ｐｐｍであることを特徴とする上記（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。

（８）前記ボンディングワイヤの最表面にＣｕが存在することを特徴とする上記（１）～（７）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。

発明の効果

[0013] 本発明は、Ｃｕ合金芯材とその表面に形成されたＰｄ被覆層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤにおいて、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素をワイヤ中に総計で０．０３～２質量％含有することによって１７５℃～２００℃のＨＴＳでのボール接合部の接合信頼性を向上し、さらにボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率を５０％以上とし、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径を０．９～１．３μｍとすることにより、（１）式で定義する耐力比を１．１～１．６とすることができる。

発明を実施するための形態

[0014] 前述のとおり、半導体装置のパッケージであるモールド樹脂（エポキシ樹脂）には、シランカップリング剤が含まれている。シランカップリング剤は有機物（樹脂）と無機物（シリコンや金属）の密着性を高める働きを有しているため、シリコン基板や金属との密着性を向上させることができる。さらに、より高温での信頼性が求められる車載向け半導体など、高い密着性が求められる場合には「イオウ含有シランカップリング剤」が添加される。モールド樹脂に含まれるイオウは、１７５℃以上（例えば、１７５℃～２００℃）の条件で使用すると遊離してくる。そして、１７５℃以上の高温で遊離し

たイオウがＣｕと接触すると、Ｃｕの腐食が激しくなり、硫化物（Cu_2S）や酸化物（ＣｕＯ）が生成する。Ｃｕボンディングワイヤを用いた半導体装置でＣｕの腐食が生成すると、特にボール接合部の接合信頼性が低下することとなる。

[0015] 前述のように、近年、車載用の半導体装置においては、１７５℃～２００℃のＨＴＳ（High Temperature Storage Test）（高温放置試験）でのボール接合部の接合信頼性向上が求められている。

[0016] 本発明は、Ｃｕ合金芯材と、前記Ｃｕ合金芯材の表面に形成されたＰｄ被覆層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤを対象とする。本発明において、当該ボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度を総計で０．０３～２質量％とすることにより、ボール接合部の高温環境での接合信頼性に関し、１７５℃以上でのＨＴＳでの成績が改善する。斯かる特定の構成を有する本発明のボンディングワイヤは、車載用デバイスで要求される高温高湿環境でのボール接合部の接合信頼性を改善することができる。

[0017] ボール接合部の高温環境での接合信頼性（特に１７５℃以上でのＨＴＳでの成績）を改善する観点から、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度は総計で、好ましくは０．０３０質量％以上、より好ましくは０．０５０質量％以上、さらに好ましくは０．０７０質量％以上、０．０９０質量％以上、０．１０質量％以上、０．１５質量％以上、又は０．２０質量％以上である。

[0018] 前記のように、下記（１）式で耐力比を定義する。

耐力比＝最大耐力／０．２％耐力 （１）

ウェッジ接合において、ボンディングワイヤは激しく変形する。変形の際にワイヤが加工硬化すると、接合後のワイヤが硬くなり、その結果としてウェッジ接合の接合強度が低下することとなる。良好なウェッジ接合強度を維持するためには、上記（１）式で定義した耐力比が１．６以下であると好ましい。ところが、１７５℃～２００℃のＨＴＳでのボール接合部の接合信頼

性向上のため、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔの１種以上をワイヤ中に総計で０．０３質量％以上含有させたところ、耐力比が増大して１．６を超えることとなった。芯材のＣｕ中に上記合金成分を含有した結果、耐力比の増大、即ち硬度の増加が発生したと考えられる。そのため、ウェッジ接合の接合強度低下を来すこととなった。他方において、従来の製造方法の範囲内で耐力比を低減しようとしたところ、耐力比が１．１未満となり、ウェッジ接合性が劣る結果となった。

[0019] そこで、ボンディングワイヤが上記合金成分を含有しても（１）式の耐力比を１．１～１．６の好適範囲に保持できる結晶組織について検討した。その結果、（１）式の耐力比を好適範囲に保持するに際しては、ボンディングワイヤにおける芯材の結晶構造、特に、（ｉ）ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果における、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率（以下、単に「＜１００＞方位比率」ともいう。）と、（ｉｉ）ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径（以下、単に「平均結晶粒径」ともいう。）とを制御することが重要であることを見出した。詳細には、ボンディングワイヤを通常の製造方法で製造すると、＜１００＞方位比率が５０％以上であることと、平均結晶粒径が０．９μｍ以上１．３μｍ以下であることを両立することができず、その結果として耐力比が１．１未満または１．６超となることがわかった。それに対して、後述のように製造方法を工夫することにより、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面におけるワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以内までを含む＜１００＞の方位比率を５０％以上とし、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径を０．９～１．３μｍとすることができ、その結果、（１）式の耐力比を１．１～１．６とすることができることが明らかになった。

[0020] ＜１００＞方位比率が５０％以上のときは、ウェッジ接合時の変形に伴う

ワイヤの加工硬化が小さいため、耐力比を１．６以下にできる。しかしながら、この場合であっても平均結晶粒径が０．９μｍ未満のときは０．２％耐力が高い（延性の乏しい）ため、耐力比が１．１未満となりウェッジ接合性が劣る。平均結晶粒径が１．３μｍを超える場合は＜１００＞方位比率が５０％未満となり、更に０．２％耐力が低いため、耐力比が１．６超となりウェッジ接合性が劣るものと推定される。

[0021] なお、ワイヤの結晶構造について上記条件を満たす場合においても、ワイヤ中の前記元素含有量が多すぎるとやはり耐力比が増大することとなる。耐力比１．６以下を実現し、ボンディングワイヤの硬質化を抑制してウェッジ接合性の低下を抑制する観点から、ワイヤ全体に対するＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素の濃度は総計で、好ましくは２．０質量％以下、１．８質量％以下、又は１．６質量％以下である。

[0022] ボンディングワイヤ中にＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを含有させるに際し、これら元素をＣｕ芯材中に含有させる方法、Ｃｕ芯材あるいはワイヤ表面に被着させて含有させる方法のいずれを採用しても、上記本発明の効果を発揮することができる。これら成分の添加量は極微量なので、添加方法のバリエーションは広く、どのような方法で添加しても指定の濃度範囲の成分が含まれていれば効果が現れる。

[0023] 本発明のボンディングワイヤにおいて、Ｐｄ被覆層の厚さは、良好なＦＡＢ形状を得る観点及び、車載用デバイスで要求される高温高湿環境でのボール接合部の接合信頼性をより一層改善する観点から、好ましくは０．０１５μｍ以上、より好ましくは０．０２μｍ以上、さらに好ましくは０．０２５μｍ以上、０．０３μｍ以上、０．０３５μｍ以上、０．０４μｍ以上、０．０４５μｍ以上、又は０．０５μｍ以上である。一方、Ｐｄ被覆層の厚さが厚すぎてもＦＡＢ形状が低下するので、Ｐｄ被覆層の厚さは、好ましくは０．１５０μｍ以下、より好ましくは０．１４０μｍ以下、０．１３０μｍ以下、０．１２０μｍ以下、０．１１０μｍ以下、又は０．１００μｍ以下

である。

[0024] 上記ボンディングワイヤのＣｕ合金芯材、Ｐｄ被覆層の定義を説明する。Ｃｕ合金芯材とＰｄ被覆層の境界は、Ｐｄ濃度を基準に判定した。Ｐｄ濃度が５０原子％の位置を境界とし、Ｐｄ濃度が５０原子％以上の領域をＰｄ被覆層、Ｐｄ濃度が５０原子％未満の領域をＣｕ合金芯材と判定した。この根拠は、Ｐｄ被覆層においてＰｄ濃度が５０原子％以上であればＰｄ被覆層の構造から特性の改善効果が得られるためである。Ｐｄ被覆層は、Ｐｄ単層の領域、ＰｄとＣｕがワイヤの深さ方向に濃度勾配を有する領域を含んでいても良い。Ｐｄ被覆層において、該濃度勾配を有する領域が形成される理由は、製造工程での熱処理等によってＰｄとＣｕの原子が拡散する場合があるためである。本発明において、濃度勾配とは、深さ方向への濃度変化の程度が０．１μｍ当たり１０ｍｏｌ％以上であることをいう。さらに、Ｐｄ被覆層は不可避不純物を含んでいても良い。

[0025] 本発明のボンディングワイヤは、Ｐｄ被覆層の表面にさらにＡｕとＰｄを含む合金表皮層を有していてもよい。これにより本発明のボンディングワイヤは、接合信頼性をより向上できると共にウェッジ接合性をさらに改善することができる。

[0026] 上記ボンディングワイヤのＡｕとＰｄを含む合金表皮層の定義を説明する。ＡｕとＰｄを含む合金表皮層とＰｄ被覆層の境界は、Ａｕ濃度を基準に判定した。Ａｕ濃度が１０原子％の位置を境界とし、Ａｕ濃度が１０原子％以上の領域をＡｕとＰｄを含む合金表皮層、１０原子％未満の領域をＰｄ被覆層と判定した。また、Ｐｄ濃度が５０原子％以上の領域であっても、Ａｕが１０原子％以上存在すればＡｕとＰｄを含む合金表皮層と判定した。これらの根拠は、Ａｕ濃度が上記の濃度範囲であれば、Ａｕ表皮層の構造から特性の改善効果が期待できるためである。ＡｕとＰｄを含む合金表皮層は、Ａｕ－Ｐｄ合金であって、ＡｕとＰｄがワイヤの深さ方向に濃度勾配を有する領域を含む領域とする。ＡｕとＰｄを含む合金表皮層において、該濃度勾配を有する領域が形成される理由は、製造工程での熱処理等によってＡｕとＰｄ

の原子が拡散するためである。さらに、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層は不可避不純物とＣｕを含んでいても良い。

[0027] 本発明のボンディングワイヤにおいて、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層は、Ｐｄ被覆層と反応して、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層、Ｐｄ被覆層、Ｃｕ合金芯材間の密着強度を高め、ウェッジ接合時のＰｄ被覆層やＡｕとＰｄを含む合金表皮層の剥離を抑制することができる。これにより本発明のボンディングワイヤは、ウェッジ接合性をさらに改善することができる。良好なウェッジ接合性を得る観点から、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の厚さは、好ましくは０．０００５μｍ以上、より好ましくは０．００１μｍ以上、０．００２μｍ以上、又は０．００３μｍ以上である。偏芯を抑制し良好なＦＡＢ形状を得る観点から、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の厚さは、好ましくは０．０５０μｍ以下、より好ましくは０．０４５μｍ以下、０．０４０μｍ以下、０．０３５μｍ以下、又は０．０３０μｍ以下である。なおＡｕとＰｄを含む合金表皮層は、Ｐｄ被覆層と同様の方法により形成することができる。

[0028] 本発明のボンディングワイヤは、さらにＧａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が合計で０．１～１００質量ｐｐｍであり、Ｓｎ≦１０質量ｐｐｍ、Ｓｂ≦１０質量ｐｐｍ、Ｂｉ≦１質量ｐｐｍであると好ましい。これにより、車載用デバイスで要求される高温高湿環境でのボール接合部の接合信頼性をさらに改善することができる。特に温度が１３０℃、相対湿度が８５％の高温高湿環境下でのボール接合部の接合寿命を向上させ、接合信頼性を改善するので好ましい。ワイヤ全体に対する前記元素の濃度は合計で好ましくは０．１質量ｐｐｍ以上、より好ましくは０．５質量ｐｐｍ以上、さらに好ましくは１質量ｐｐｍ以上、さらにより好ましくは１．５質量ｐｐｍ以上、２質量ｐｐｍ以上、２．５質量ｐｐｍ以上、又は３質量ｐｐｍ以上である。一方で、良好なＦＡＢ形状を得る観点から、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度は合計で好ましくは１００質量ｐｐｍ以下、より好ましくは９５質量ｐｐｍ以下、９０質量ｐｐｍ以下、８５質量ｐｐｍ以下、又

は８０質量ｐｐｍ以下である。また、Ｓｎ濃度、Ｓｂ濃度が１０質量ｐｐｍを超えた場合、または、Ｂｉ濃度が１質量ｐｐｍを超えた場合には、ＦＡＢ形状が不良となることから、Ｓｎ≦１０質量ｐｐｍ、Ｓｂ≦１０質量ｐｐｍ、Ｂｉ≦１質量ｐｐｍとすることにより、ＦＡＢ形状をより改善することができるので好ましい。

[0029] 本発明のボンディングワイヤはさらにＢ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度がそれぞれ１～１００質量ｐｐｍであると好ましい。これにより、高密度実装に要求されるボール接合部のつぶれ形状を改善、すなわちボール接合部形状の真円性を改善することができる。ワイヤ全体に対する前記元素の濃度はそれぞれ、好ましくは１質量ｐｐｍ以上、より好ましくは２質量ｐｐｍ以上、３質量ｐｐｍ以上、４質量ｐｐｍ以上、又は５質量ｐｐｍ以上である。ボールの硬質化を抑制してボール接合時のチップダメージを抑制する観点から、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度はそれぞれ、好ましくは１００質量ｐｐｍ以下、より好ましくは９５質量ｐｐｍ以下、９０質量ｐｐｍ以下、８５質量ｐｐｍ以下、又は８０質量ｐｐｍ以下である。

[0030] 本発明のようにＰｄ被覆ＣｕボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを所定量含有している場合、さらにボンディングワイヤの最表面にＣｕが存在すると、接合部におけるCu_9Al_4金属間化合物の生成がさらに抑制される傾向にある。Ｐｄ被覆ＣｕボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを所定量含有している場合、さらにボンディングワイヤの最表面にＣｕが存在すると、ボンディングワイヤに含まれるＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、ＰｔとＣｕとの相互作用により、ＦＡＢ形成時にＦＡＢ表面のＰｄ濃化が促進され、ボール接合界面のＰｄ濃化がより顕著に現れる。これにより、Ｐｄ濃化層によるＣｕとＡｌの相互拡散抑制効果がさらに強くなり、Ｃｌの作用で腐食しやすいCu_9Al_4の生成量が少なくなり、ボール接合部の高温高湿環境での接合信頼性がより一層向上するものと推定される。

[0031] Ｐｄ被覆層の最表面にＣｕが存在する場合、Ｃｕの濃度が３０原子％以上になると、ワイヤ表面の耐硫化性が低下し、ボンディングワイヤの使用寿命が低下するため実用に適さない場合がある。したがって、Ｐｄ被覆層の最表面にＣｕが存在する場合、Ｃｕの濃度は３０原子％未満であることが好ましい。

[0032] また、Ａｕ表皮層の最表面にＣｕが存在する場合、Ｃｕの濃度が３５原子％以上になると、ワイヤ表面の耐硫化性が低下し、ボンディングワイヤの使用寿命が低下するため実用に適さない場合がある。したがって、Ａｕ表皮層の最表面にＣｕが存在する場合、Ｃｕの濃度は３５原子％未満であることが好ましい。

[0033] ここで、最表面とは、スパッタ等を実施しない状態で、ボンディングワイヤの表面をオージェ電子分光装置によって測定した領域をいう。

[0034] Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の濃度分析には、ボンディングワイヤの表面から深さ方向に向かってスパッタ等で削りながら分析を行う方法、あるいはワイヤ断面を露出させて線分析、点分析等を行う方法が有効である。これらの濃度分析に用いる解析装置は、走査型電子顕微鏡または透過型電子顕微鏡に備え付けたオージェ電子分光分析装置、エネルギー分散型Ｘ線分析装置、電子線マイクロアナライザ等を利用することができる。ワイヤ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中のＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔなどの微量分析については、ボンディングワイヤを強酸で溶解した液をＩＣＰ発光分光分析装置やＩＣＰ質量分析装置を利用して分析し、ボンディングワイヤ全体に含まれる元素の濃度として検出することができる。

[0035] （製造方法）

次に本発明の実施形態に係るボンディングワイヤの製造方法を説明する。ボンディングワイヤは、芯材に用いるＣｕ合金を製造した後、ワイヤ状に細く加工し、Ｐｄ被覆層、Ａｕ層を形成して、熱処理することで得られる。Ｐｄ被覆層、Ａｕ層を形成後、再度伸線と熱処理を行う場合もある。Ｃｕ合金

芯材の製造方法、Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の形成方法、熱処理方法について詳しく説明する。

[0036] 芯材に用いるＣｕ合金は、原料となるＣｕと添加する元素を共に溶解し、凝固させることによって得られる。溶解には、アーク加熱炉、高周波加熱炉、抵抗加熱炉等を利用することができる。大気中からのO_2、H_2等のガスの混入を防ぐために、真空雰囲気あるいはＡｒやN_2等の不活性雰囲気中で溶解を行うことが好ましい。

[0037] Ｐｄ被覆層、Ａｕ層をＣｕ合金芯材の表面に形成する方法は、めっき法、蒸着法、溶融法等がある。めっき法は、電解めっき法、無電解めっき法のどちらも適用可能である。ストライクめっき、フラッシュめっきと呼ばれる電解めっきでは、めっき速度が速く、下地との密着性も良好である。無電解めっきに使用する溶液は、置換型と還元型に分類され、厚さが薄い場合には置換型めっきのみでも十分であるが、厚さが厚い場合には置換型めっきの後に還元型めっきを段階的に施すことが有効である。

[0038] 蒸着法では、スパッタ法、イオンプレーティング法、真空蒸着等の物理吸着と、プラズマＣＶＤ等の化学吸着を利用することができる。いずれも乾式であり、Ｐｄ被覆層、Ａｕ層形成後の洗浄が不要であり、洗浄時の表面汚染等の心配がない。

[0039] Ｐｄ被覆層、Ａｕ層形成後に熱処理を行うことにより、Ｐｄ被覆層のＰｄがＡｕ層中に拡散し、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層が形成される。Ａｕ層を形成した後に熱処理によってＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成するのではなく、最初からＡｕとＰｄを含む合金表皮層を被着することとしても良い。

[0040] Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の形成に対しては、最終線径まで伸線後に形成する手法と、太径のＣｕ合金芯材に形成してから狙いの線径まで複数回伸線する手法とのどちらも有効である。前者の最終径でＰｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成する場合には、製造、品質管理等が簡便である。後者のＰｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層と伸線を組み合わせる場合には、Ｃｕ合金芯材との密着性が向上する点で有利である。そ

れぞれの形成法の具体例として、最終線径のＣｕ合金芯材に、電解めっき溶液の中にワイヤを連続的に掃引しながらＰｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成する手法、あるいは、電解又は無電解のめっき浴中に太いＣｕ合金芯材を浸漬してＰｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成した後に、ワイヤを伸線して最終線径に到達する手法等が挙げられる。

[0041] Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成した後は、熱処理を行う場合がある。熱処理を行うことでＡｕとＰｄを含む合金表皮層、Ｐｄ被覆層、Ｃｕ合金芯材の間で原子が拡散して密着強度が向上するため、加工中のＡｕとＰｄを含む合金表皮層やＰｄ被覆層の剥離を抑制でき、生産性が向上する点で有効である。大気中からのO_2の混入を防ぐために、真空雰囲気あるいはＡｒやN_2等の不活性雰囲気中で熱処理を行うことが好ましい。

[0042] 前述のように、ボンディングワイヤに施す拡散熱処理や焼鈍熱処理の条件を調整することにより、芯材のＣｕがＰｄ被覆層やＡｕとＰｄを含む表皮合金層中を粒界拡散、粒内拡散等により拡散し、ボンディングワイヤの最表面にＣｕを到達させ、最表面にＣｕを存在させることができる。最表面にＣｕを存在させるための熱処理として、上記のように、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層を形成するための熱処理を用いることができる。合金表皮層を形成するための熱処理を行うに際し、熱処理温度と時間を選択することにより、最表面にＣｕを存在させ、あるいはＣｕを存在させないことができる。さらに、最表面のＣｕ濃度を所定の範囲（例えば、１～５０原子％の範囲）に調整することもできる。合金表皮層形成時以外に行う熱処理によってＣｕを最表面に拡散させることとしても良い。

[0043] 前述のとおり、ボンディングワイヤ中にＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを含有させるに際し、これら元素をＣｕ芯材中に含有させる方法、Ｃｕ芯材あるいはワイヤ表面に被着させて含有させる方法のいずれを採用しても、上記本発明の効果を発揮することができる。Ｇａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅ、Ｂ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａについても同様である。

[0044] 上記成分の添加方法として、最も簡便なのはＣｕ合金芯材の出発材料に添

加しておく方法である。たとえば、高純度の銅と上記成分元素原料を出発原料として秤量したのち、これを高真空下もしくは窒素やアルゴン等の不活性雰囲気下で加熱して溶解することで目的の濃度範囲の上記成分が添加されたインゴットを作成し、目的濃度の上記成分元素を含む出発材料とする。したがって好適な一実施形態において、本発明のボンディングワイヤのＣｕ合金芯材は、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が総計で０．０３～２質量％となるように含む。該濃度の合計の好適な数値範囲は、先述のとおりである。他の好適な一実施形態において、本発明のボンディングワイヤのＣｕ合金芯材は、Ｇａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅから選ばれる少なくとも１種以上の元素を、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が合計で０．１～１００質量ｐｐｍ、Ｓｎ≦１０質量ｐｐｍ、Ｓｂ≦１０質量ｐｐｍ、Ｂｉ≦１質量ｐｐｍとなるように含む。該濃度の好適な数値範囲は、先述のとおりである。好適な一実施形態において、Ｃｕ合金芯材のＣｕの純度は３Ｎ以下（好ましくは２Ｎ以下）である。従来のＰｄ被覆Ｃｕボンディングワイヤでは、ボンダビリティの観点から、高純度（４Ｎ以上）のＣｕ芯材が使用され、低純度のＣｕ芯材の使用は避けられる傾向にあった。特定元素を含有する本発明のボンディングワイヤでは、上記のようにＣｕの純度の低いＣｕ合金芯材を使用した場合に特に好適に、車載用デバイスで要求される高温高湿環境でのボール接合部の接合信頼性を実現するに至ったものである。他の好適な一実施形態において、本発明のボンディングワイヤのＣｕ合金芯材は、Ｂ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａから選ばれる少なくとも１種以上の元素を、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度がそれぞれ１～１００質量ｐｐｍとなるように含む。該濃度の好適な数値範囲は、先述のとおりである。

[0045] ワイヤ製造工程の途中で、ワイヤ表面に上記成分を被着させることによって含有させることもできる。この場合、ワイヤ製造工程のどこに組み込んでも良いし、複数回繰り返しても良い。複数の工程に組み込んでも良い。Ｐｄ被覆前のＣｕ表面に添加しても良いし、Ｐｄ被覆後のＰｄ表面に添加しても

良いし、Ａｕ被覆後のＡｕ表面に添加しても良いし、各被覆工程に組み込んでも良い。被着方法としては、（１）水溶液の塗布⇒乾燥⇒熱処理、（２）めっき法（湿式）、（３）蒸着法（乾式）、から選択することができる。

[0046] 水溶液の塗布⇒乾燥⇒熱処理の方法を採用する場合、まず上記成分元素を含む水溶性の化合物で適当な濃度の水溶液を調製する。これにより、上記成分をワイヤ材料に取り込むことができる。ワイヤ製造工程のどこに組み込んでも良いし、複数回繰り返しても良い。複数の工程に組み込んでも良い。Ｐｄ被覆前のＣｕ表面に添加しても良いし、Ｐｄ被覆後のＰｄ表面に添加しても良いし、Ａｕ被覆後のＡｕ表面に添加しても良いし、各被覆工程に組み込んでも良い。

[0047] めっき法（湿式）を用いる場合、めっき法は、電解めっき法、無電解めっき法のどちらでも適用可能である。電解めっき法では、通常の電解めっきのほかにフラッシュめっきと呼ばれるめっき速度が速く下地との密着性も良好なめっき法も適用可能である。無電解めっきに使用する溶液は、置換型と還元型がある。一般的にめっき厚が薄い場合は置換型めっき、厚い場合は還元型めっきが適用されるが、どちらでも適用可能であり、添加したい濃度にしたがって選択し、めっき液濃度、時間を調整すればよい。電解めっき法、無電解めっき法ともに、ワイヤ製造工程のどこに組み込んでも良いし、複数回繰り返しても良い。複数の工程に組み込んでも良い。Ｐｄ被覆前のＣｕ表面に添加しても良いし、Ｐｄ被覆後のＰｄ表面に添加しても良いし、Ａｕ被覆後のＡｕ表面に添加しても良いし、各被覆工程に組み込んでも良い。

[0048] 蒸着法（乾式）には、スパッタリング法、イオンプレーティング法、真空蒸着法、プラズマＣＶＤなどがある。乾式のため前処理後処理が不要で、汚染の心配もないのが特長である。一般に蒸着法は、目的とする元素の添加速度が遅いことが問題であるが、上記成分元素は添加濃度が比較的低いので、本発明の目的としては適した方法のひとつである。

[0049] 各蒸着法は、ワイヤ製造工程のどこに組み込んでも良いし、複数回繰り返しても良い。複数の工程に組み込んでも良い。Ｐｄ被覆前のＣｕ表面に添加

しても良いし、Ｐｄ被覆後のＰｄ表面に添加しても良いし、Ａｕ被覆後のＡｕ表面に添加しても良いし、各被覆工程に組み込んでも良い。

[0050] ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率を５０％以上とし、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径を０．９～１．３μｍとするための製造方法について説明する。

[0051] 本発明のボンディングワイヤは、Ｃｕ合金芯材中にＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔの１種以上を総計で０．０３質量％以上含有するため、ワイヤの材料強度（硬度）が高くなる。そのため、Ｃｕ芯線のボンディングワイヤを伸線加工するに際しては、伸線時の減面率を５～８％と低い減面率としていた。また、伸線後の熱処理において、やはり硬度が高いため、ボンディングワイヤとして使用できるレベルまで軟質化するために６００℃以上の温度で熱処理を行っていた。高い熱処理温度のため、ワイヤ長手方向の＜１００＞方位比率が５０％未満となり、同時に芯材断面における平均結晶粒径が１．３μｍ超となり、耐力比が１．６を超えることとなった。一方、耐力比を低減しようとして熱処理温度を低下すると、芯材断面における平均結晶粒径が０．９μｍ未満となり、耐力比が１．１未満となりウェッジ接合性が劣ることとなった。

[0052] これに対して本発明においては、ダイスを用いた伸線時において、全ダイス数のうちの半分以上のダイスにおいて減面率を１０％以上とし、さらに伸線後の熱処理における熱処理温度を５００℃以下と低い温度とした。その結果、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率を５０％以上とし、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径を０．９～１．３μｍとすることができた。最新の伸線加工技術を適用し、潤滑液として、潤滑液に含まれる非イオン系界面活性剤の濃度

を従来より高めに設計し、ダイス形状として、ダイスのアプローチ角度を従来のものよりも緩やかに設計し、ダイスの冷却水温度を従来よりも低めに設定することなどの相乗効果により、Ｃｕ合金芯材中にＮｉ等の成分を総計で０．０３質量％以上含有して硬質化しているにもかかわらず、減面率１０％以上の伸線加工が可能となった。

[0053] ワイヤ断面の結晶方位を測定するに際しては、後方散乱電子線回折法（ＥＢＳＤ、Electron Backscattered Diffraction）を用いると好ましい。ＥＢＳＤ法は観察面の結晶方位を観察し、隣り合う測定点間での結晶方位の角度差を図示できるという特徴を有し、ボンディングワイヤのような細線であっても、比較的簡便ながら精度よく結晶方位を観察できる。粒径測定については、ＥＢＳＤ法による測定結果に対して、装置に装備されている解析ソフトを利用することで求めることができる。本発明で規定する結晶粒径は、測定領域内に含まれる結晶粒の相当直径（結晶粒の面積に相当する円の直径；円相当直径）を算術平均したものである。

[0054] 本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨の範囲内で適宜変更することが可能である。

実施例

[0055] 以下では、実施例を示しながら、本発明の実施形態に係るボンディングワイヤについて、具体的に説明する。

[0056] （サンプル）

まずサンプルの作製方法について説明する。芯材の原材料となるＣｕは純度が９９．９９質量％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。Ａｕ、Ｐｄ、Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔは純度が９９質量％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。ワイヤ又は芯材の組成が目的のものとなるように、芯材への添加元素であるＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを調合する。Ｎｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔの添加に関しては、単体での調合も可能であるが、単体で高融点の元素や添加量が極微量である場合には、添加元素を含むＣｕ母合金をあらかじめ作製して

おいて目的の添加量となるように調合しても良い。また、下記表３に示す本発明例では、さらにＧａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅ、Ｂ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａの１種以上を含有させている。

[0057] 芯材のＣｕ合金は、連続鋳造により数ｍｍの線径になるように製造した。得られた数ｍｍの合金に対して、引抜加工を行ってφ０．３～１．４ｍｍのワイヤを作製した。伸線には市販の潤滑液を用い、伸線速度は２０～１５０ｍ／分とした。ワイヤ表面の酸化膜を除去するために、塩酸等による酸洗処理を行った後、芯材のＣｕ合金の表面全体を覆うようにＰｄ被覆層を１～１５μｍ形成した。さらに、一部のワイヤはＰｄ被覆層の上にＡｕとＰｄを含む合金表皮層を０．０５～１．５μｍ形成した。Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の形成には電解めっき法を用いた。めっき液は市販の半導体用めっき液を用いた。その後、減面率１０～２１％のダイスを主に使用して伸線加工を行い、更には途中に１乃至３回の熱処理を２００～５００℃で行うことによって直径２０μｍまで加工した。加工後は最終的に破断伸びが約５～１５％になるように熱処理をした。熱処理方法はワイヤを連続的に掃引しながら行い、N_2もしくはＡｒガスを流しながら行った。ワイヤの送り速度は１０～９０ｍ／分、熱処理温度は３５０～５００℃で熱処理時間は１～１０秒とした。

[0058] （評価方法）

ワイヤ中のＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔ、Ｇａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅ、Ｂ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａ含有量については、ＩＣＰ発光分光分析装置を利用して、ボンディングワイヤ全体に含まれる元素の濃度として分析した。

[0059] Ｐｄ被覆層、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の濃度分析には、ボンディングワイヤの表面から深さ方向に向かってスパッタ等で削りながらオージェ電子分光分析を実施した。得られた深さ方向の濃度プロファイルから、Ｐｄ被覆層厚、ＡｕとＰｄを含む合金表皮層厚を求めた。

[0060] ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面におけるワイヤ長手

方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率については、ＥＢＳＤ法で観察面（すなわち、ワイヤ軸に垂直方向の芯材断面）の結晶方位を観察した上で算出した。ＥＢＳＤ測定データの解析には専用ソフト（ＴＳＬソリューションズ製　ＯＩＭ　ａｎａｌｉｓｉｓ等）を利用した。ワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径については、ＥＢＳＤ法で観察面の結晶方位を観察した上で算出した。ＥＢＳＤ測定データの解析には専用ソフト（ＴＳＬソリューションズ製　ＯＩＭ　ａｎａｌｉｓｉｓ等）を利用した。結晶粒径は、測定領域内に含まれる結晶粒の相当直径（結晶粒の面積に相当する円の直径；円相当直径）を算術平均したものである。

[0061] ０．２％耐力と最大耐力については、標点間距離を１００ｍｍとして引張試験を行うことにより評価した。引張試験装置としては、インストロン社製万能材料試験機５５４２型を使用した。０．２％耐力は装置に装備された専用のソフトを用いて算出した。また、破断した時の荷重を最大耐力とした。下記（１）式から耐力比を算出した。

耐力比＝最大耐力／０．２％耐力　　（１）

[0062] ワイヤ接合部におけるウェッジ接合性の評価は、ＢＧＡ基板のウェッジ接合部に１０００本のボンディングを行い、接合部の剥離の発生頻度によって判定した。使用したＢＧＡ基板はＮｉおよびＡｕのめっきを施したものである。本評価では、通常よりも厳しい接合条件を想定して、ステージ温度を一般的な設定温度域よりも低い１５０℃に設定した。上記の評価において、不良が１１個以上発生した場合には問題があると判断し×印、不良が６～１０個であれば実用可能であるがやや問題有りとして△印、不良が１～５個の場合は問題ないと判断し○印、不良が発生しなかった場合には優れていると判断し◎印とし、表１の「ウェッジ接合性」の欄に表記した。

[0063] 高温高湿環境又は高温環境でのボール接合部の接合信頼性は、接合信頼性評価用のサンプルを作製し、ＨＴＳ評価を行い、ボール接合部の接合寿命によって判定した。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０．８μｍのＡｌ－１．０％Ｓｉ－０．５％Ｃｕの合金を成膜して形成した電極に、市販のワイヤー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N_2＋５％H_2ガスを流量０．４～０．６Ｌ／ｍｉｎで流しながら形成させ、その大きさはφ３３～３４μｍの範囲とした。

[0064] ＨＴＳ評価については、作製した接合信頼性評価用のサンプルを、高温恒温器を使用し、温度２００℃の高温環境に暴露した。ボール接合部の接合寿命は５００時間毎にボール接合部のシェア試験を実施し、シェア強度の値が初期に得られたシェア強度の１／２となる時間とした。高温高湿試験後のシェア試験は、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。

[0065] ＨＴＳ評価のシェア試験機はＤＡＧＥ社製の試験機を用いた。シェ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５００時間以上１０００時間未満であれば実用可能であるが改善の要望ありと判断し△印、１０００時間以上３０００時間未満であれば実用上問題ないと判断し○印、３０００時間以上であれば特に優れていると判断し◎印とした。

[0066] ボール形成性（ＦＡＢ形状）の評価は、接合を行う前のボールを採取して観察し、ボール表面の気泡の有無、本来真球であるボールの変形の有無を判定した。上記のいずれかが発生した場合は不良と判断した。ボールの形成は溶融工程での酸化を抑制するために、N_2ガスを流量０．５Ｌ／ｍｉｎで吹き付けながら行った。ボールの大きさは３４μｍとした。１条件に対して５０個のボールを観察した。観察にはＳＥＭを用いた。ボール形成性の評価において、不良が５個以上発生した場合には問題があると判断し×印、不良が３～４個であれば実用可能であるがやや問題有りとして△印、不良が１～２個の場合は問題ないと判断し○印、不良が発生しなかった場合には優れていると判断し◎印とし、表１の「ＦＡＢ形状」の欄に表記した。

[0067] 温度が１３０℃、相対湿度が８５％の高温高湿環境下でのボール接合部の

接合寿命については、以下のＨＡＳＴ評価で評価することができる。ＨＡＳＴ評価については、作製した接合信頼性評価用のサンプルを、不飽和型プレッシャークッカー試験機を使用し、温度１３０℃、相対湿度８５％の高温高湿環境に暴露し、５Ｖのバイアスをかけた。ボール接合部の接合寿命は４８時間毎にボール接合部のシェア試験を実施し、シェア強度の値が初期に得られたシェア強度の１／２となる時間とした。高温高湿試験後のシェア試験は、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。

[0068] ＨＡＳＴ評価のシェア試験機はＤＡＧＥ社製の試験機を用いた。シェ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１４４時間以上２８８時間未満であれば実用上問題ないと判断し○印、２８８時間以上３８４時間未満であれば優れていると判断し◎印、３８４時間以上であれば特に優れていると判断し◎◎印とし、表１の「ＨＡＳＴ」の欄に表記した。

[0069] ボール接合部のつぶれ形状の評価は、ボンディングを行ったボール接合部を直上から観察して、その真円性によって判定した。接合相手はＳｉ基板上に厚さ１．０μｍのＡｌ－０．５％Ｃｕの合金を成膜した電極を用いた。観察は光学顕微鏡を用い、１条件に対して２００箇所を観察した。真円からのずれが大きい楕円状であるもの、変形に異方性を有するものはボール接合部のつぶれ形状が不良であると判断した。上記の評価において、不良が１～３個の場合は問題ないと判断し○印、全て良好な真円性が得られた場合は、特に優れていると判断し◎印とし、表１の「つぶれ形状」の欄に表記した。

[0070]

[表1]

	No.	ワイヤ成分(質量%)							Pd被覆層の膜厚(μm)	AuとPdを含む合金表皮層の膜厚(μm)	結晶組織		機械的特性			ワイヤ品質				
		Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt	総計			ワイヤC断面の<100>比率(%)	平均結晶粒径(μm)	最大耐力①	0.2%耐力②	耐力比①/②	ウェッジ接合性	HTS	FAB形状	HAST	つぶれ形状
													(mN/μm^2)		—					
本発明例	1	0.7						0.7	0.015	–	92	1.1	0.19	0.16	1.19	◎	◎	○	○	○
	2		1.2					1.2	0.050	–	72	0.9	0.22	0.17	1.29	◎	◎	◎	○	○
	3			1.0				1.0	0.100	–	71	1.0	0.24	0.16	1.50	○	◎	◎	○	○
	4				0.5			0.5	0.150	–	72	1.1	0.29	0.24	1.21	◎	◎	○	○	○
	5					0.1		0.1	0.015	–	75	1.2	0.30	0.22	1.36	◎	◎	○	○	○
	6						0.03	0.03	0.050	–	63	1.3	0.31	0.20	1.55	○	◎	◎	○	○
	7	1.1			0.3			1.4	0.100	–	75	1.0	0.33	0.28	1.18	◎	◎	◎	○	○
	8		1.2			0.8		2.0	0.150	–	65	0.9	0.34	0.27	1.26	◎	◎	○	○	○
	9			0.7			0.1	0.8	0.015	–	51	1.2	0.35	0.22	1.59	○	◎	○	○	○
	10	0.6		0.1	0.05			0.75	0.100	–	97	1.2	0.33	0.30	1.10	◎	◎	◎	○	○
	11		0.8		0.8	0.3		1.9	0.150	–	80	1.1	0.34	0.28	1.21	◎	◎	○	○	○
	12	0.05		0.05			0.05	0.15	0.015	–	70	1.2	0.35	0.22	1.59	○	◎	○	○	○
	13		1.0			0.1	0.3	1.4	0.015	–	54	1.0	0.35	0.23	1.52	◎	◎	○	○	○
	14	0.5						0.5	0.015	0.0005	91	1.1	0.20	0.18	1.11	◎	◎	○	○	○
	15		1.2					1.2	0.050	0.0010	70	0.9	0.21	0.17	1.24	◎	◎	◎	○	○
	16			0.7				0.7	0.100	0.0100	69	1.1	0.22	0.15	1.47	◎	◎	◎	○	○
	17				0.3			0.3	0.150	0.0500	70	1.2	0.28	0.24	1.17	◎	◎	○	○	○
	18					0.1		0.1	0.015	0.0005	76	1.2	0.29	0.22	1.32	◎	◎	○	○	○
	19						0.05	0.05	0.050	0.0010	64	1.3	0.30	0.19	1.58	◎	◎	◎	○	○
	20	0.5			0.3			0.8	0.100	0.0100	74	1.1	0.33	0.28	1.18	◎	◎	◎	○	○
	21		1.2			0.1		1.3	0.150	0.0500	64	1.2	0.34	0.26	1.31	◎	◎	○	○	○
	22			0.7			0.01	0.71	0.015	0.0005	50	1.1	0.35	0.23	1.52	○	◎	○	○	○
	23	0.6		0.1	0.05			0.75	0.050	0.0010	98	1.0	0.30	0.20	1.50	◎	◎	◎	○	○
	24		0.8		0.8	0.3		1.9	0.100	0.0100	85	0.9	0.33	0.29	1.14	◎	◎	◎	○	○
	25	0.05		0.05			0.05	0.15	0.150	0.0500	74	1.3	0.34	0.25	1.36	◎	◎	○	○	○
	26		1.0			0.1	0.3	1.4	0.015	0.0100	51	0.9	0.35	0.25	1.40	◎	◎	○	○	○

[0071]

[表2]

	No.	ワイヤ成分(質量%)								Pd被覆層の膜厚(μm)	AuとPdを含む合金表皮層の膜厚(μm)	結晶組織		機械的特性			ワイヤ品質				
		Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt	総計				ワイヤC断面の<100>比率(%)	平均結晶粒径(μm)	最大耐力①(mN/μm²)	0.2%耐力②(mN/μm²)	耐力比①/② —	ウェッジ接合性	HTS	FAB形状	HAST	つぶれ形状
比較例	1	0.7						0.7		0.015	-	50	0.8	0.20	0.12	1.09	×	◎	○	○	○
	2		1.2			0.8		2.0		0.150	-	49	1.5	0.29	0.16	1.81	×	◎	○	○	○
	3	0.6		0.1	0.05			0.75		0.100	-	51	0.7	0.34	0.19	1.08	×	◎	◎	○	○
	4						0.03	0.03		0.050	-	45	0.9	0.21	0.12	1.75	×	◎	◎	○	○
	5			0.7			0.1	0.8		0.015	-	40	1.1	0.30	0.17	1.76	×	◎	○	○	○
	6		0.8		0.8	0.3		1.9		0.150	-	30	1.3	0.35	0.19	1.84	×	◎	○	○	○
	7		1.2					1.2		0.050	-	41	1.0	0.21	0.12	1.75	×	◎	◎	○	○
	8	1.1			0.3			1.4		0.100		45	1.4	0.30	0.18	1.67	△	◎	◎	○	○
	9	0.05		0.05			0.05	0.15		0.015	-	48	1.6	0.34	0.20	1.70	△	◎	○	○	○

[0072]

[表3]

	No.	ワイヤ成分(質量%)									結晶組織		機械的特性			ワイヤ品質				
		Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt	総計	その他	Pd被覆層の膜厚(μm)	Auと Pdを含む合金表皮層の膜厚(μm)	ワイヤC断面の<100>比率(%)	平均結晶粒径(μm)	最大耐力①(mN/μm²)	0.2%耐力②(mN/μm²)	耐力比①/②	ウェッジ接合性	IITS	FAB形状	HAST	つぶれ形状
本発明例	27	0.7						0.7	Ga:0.007	0.100		88	0.9	0.22	0.18	1.22	◎	◎	◎	◎	○
	28		1.1					1.1	Ge:0.008	0.050		75	1.0	0.25	0.17	1.47	◎	◎	◎	◎	○
	29			0.7				0.7	As:0.003	0.050		72	1.0	0.30	0.21	1.43	◎	◎	◎	◎	○
	30				1.2			1.2	Te:0.001	0.150		67	1.2	0.31	0.24	1.29	◎	◎	○	◎	○
	31					0.5		0.5	Sn:0.0007	0.015		66	1.0	0.29	0.22	1.32	◎	◎	○	◎	○
	32						0.05	0.05	Sb:0.0008	0.050		74	1.1	0.35	0.29	1.21	◎	◎	◎	◎	○
	33	1.0						1.0	Bi:0.00008	0.100		80	1.1	0.31	0.22	1.41	◎	◎	◎	◎	○
	34		0.8					0.8	Se:0.0001	0.100		92	0.9	0.27	0.19	1.42	◎	◎	◎	◎	○
	35			0.05				0.05	Ga:0.003 Te:0.0008	0.100		72	1.2	0.30	0.19	1.58	○	◎	◎	◎	○
	36				0.08			0.08	Ge:0.003 Sb:0.0007	0.150	0.0050	55	1.3	0.33	0.25	1.32	◎	◎	○	◎	○
	37					0.1		0.1	As:0.001 Se:0.001	0.150	0.0100	82	1.1	0.32	0.25	1.28	◎	◎	○	◎	○
	38	0.08						0.08	B:0.0008	0.050		74	1.1	0.34	0.23	1.48	◎	◎	◎	○	◎
	39		1.2					1.2	P:0.004	0.050		77	1.2	0.29	0.20	1.45	◎	◎	◎	○	◎
	40			0.05				0.05	Mg:0.005	0.100		91	1.0	0.33	0.28	1.18	◎	◎	◎	○	◎
	41				0.5			0.5	Ca:0.003	0.015		68	1.0	0.23	0.19	1.21	◎	◎	○	○	◎
	42					0.1		0.1	La:0.003	0.100	0.0100	91	0.9	0.26	0.21	1.24	◎	◎	◎	○	◎
	43						0.05	0.05	P:0.006 B:0.0008	0.050	0.0050	68	1.1	0.29	0.19	1.53	○	◎	◎	○	◎
	45	0.6						0.6	P:0.003 Ca:0.001	0.015	0.0100	57	1.3	0.33	0.24	1.38	◎	◎	○	○	◎

[0073] (評価結果)

表１の本発明例１～２６に係るボンディングワイヤは、Ｃｕ合金芯材と、Ｃｕ合金芯材の表面に形成されたＰｄ被覆層とを有し、Ｐｄ被覆層の厚さが好適範囲である０．０１５～０．１５０μｍの範囲にあり、ＦＡＢ形状がい

ずれも良好であった。また、ボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が合計で０．０３～２質量％であることから、ＨＴＳ評価によるボール接合部高温信頼性が良好であることを確認した。

[0074] また、本発明例１～２６については、伸線時の減面率を１０％以上とし、伸線後の熱処理における熱処理温度を５００℃以下と低い温度としているので、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率を５０％以上とし、ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径を０．９～１．３μｍとすることができた。その結果、ワイヤ中にＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔを含有しているにもかかわらず、耐力比（＝最大耐力／０．２％耐力）はいずれも１．１～１．６の範囲内に入っている。そのため、ウェッジ接合性はいずれも良好な結果となった。

[0075] 一方、表２の比較例４～６は、熱処理温度を６００℃以上と高い温度としたことから、ワイヤ長手方向の＜１００＞方位比率が５０％未満となった。また比較例２、７～９は、熱処理温度を６２０℃以上と高い温度としたことから、ワイヤ長手方向の＜１００＞方位比率が５０％未満となるとともに、芯材断面における平均結晶粒径が１．３μｍ超となった。そのため、比較例２、４～９のいずれも、耐力比が１．６を超え、ウェッジ接合性がいずれも不良であった。

[0076] また比較例１、３は、ダイスの減面率を１０％未満としたことから、芯材断面における平均結晶粒径が０．９μｍ未満となり、耐力比が１．１未満となり、ウェッジ接合性がいずれも不良であった。

請求の範囲

[請求項1] Ｃｕ合金芯材と、前記Ｃｕ合金芯材の表面に形成されたＰｄ被覆層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤにおいて、

前記ボンディングワイヤがＮｉ、Ｚｎ、Ｒｈ、Ｉｎ、Ｉｒ、Ｐｔから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が総計で０．０３～２質量％であり、

前記ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面に対して結晶方位を測定した結果において、ワイヤ長手方向の結晶方位のうち、ワイヤ長手方向に対して角度差が１５度以下である結晶方位＜１００＞の方位比率が５０％以上であり、

前記ボンディングワイヤのワイヤ軸に垂直方向の芯材断面における平均結晶粒径が、０．９～１．３μｍであ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] 下記（１）式で定義する耐力比が１．１～１．６である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。

耐力比＝最大耐力／０．２％耐力 （１）

[請求項3] 前記Ｐｄ被覆層の厚さが０．０１５～０．１５０μｍである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] 前記Ｐｄ被覆層上にさらにＡｕとＰｄを含む合金表皮層を有す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] 前記ＡｕとＰｄを含む合金表皮層の厚さが０．０００５～０．０５０μｍであることを特徴とする請求項４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がＧａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｔｅ、Ｓｎ、Ｓｂ、Ｂｉ、Ｓｅから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度が合計で０．１～１００質量ｐｐｍであり、Ｓｎ≦１０質量ｐｐｍ、Ｓｂ≦１０質量ｐｐｍ、Ｂｉ≦１質量ｐｐ

ｍ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がさらにＢ、Ｐ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｌａから選ばれる少なくとも１種以上の元素を含み、ワイヤ全体に対する前記元素の濃度がそれぞれ１～１００質量ｐｐｍ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。

[請求項8] 前記ボンディングワイヤの最表面にＣｕが存在することを特徴とする請求項１～７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。