

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、半導体装置用ボンディングワイヤに関する。さらには、該ボンディングワイヤを用いた半導体装置の製造方法、及び、該ボンディングワイヤを含む半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置では、半導体素子上に形成された電極と、リードフレームや基板上の電極との間をボンディングワイヤによって接続している。直径が100 μ m未満のウェッジ接合用ボンディングワイヤとしては、常温(25 $\pm$ 10 $^{\circ}$ C)での接合が可能であるアルミニウム(AI)を主な材質とするボンディングワイヤ(以下、単に「AIワイヤ」ともいう。)が主として用いられている(例えば、特許文献1)。

[0003] 他方、半導体装置のパッケージ(封止)技術に関し、従来は金属、ガラス及び／又はセラミックスで気密封止されていたが、コストや量産性の観点から、熱硬化性エポキシ樹脂を用いた樹脂封止が用いられるようになってきている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2016-511529号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 半導体装置の封止技術の変遷に伴い、従来の気密封止とは異なり、ボンディングワイヤは、イオン性の不純物や水分を含む環境に曝されることとなる。そのような環境では、AIワイヤの腐食が顕著に進行し、接合信頼性を維持することが困難となっている。また、AIワイヤは、その物性上、再結晶し易く、熱膨張率も大きいため、高温用途への適用は困難である。

[0006] ボール接合用ボンディングワイヤとしては、パラジウム（Pd）により被覆された銅（Cu）ワイヤが知られているが（例えば、特開2005-167020号公報）、斯かるPd被覆Cuワイヤをウェッジ接合に用いた場合、常温での接合は困難であることを確認した。接合時に加熱することで十分な接合強度を得ることは可能であるものの、加熱による酸化や、加熱・冷却に起因した各部材への熱応力の発生、さらに加熱のための時間も必要となることから、用途が限定されてしまう。

[0007] また、被覆を有しないベアCuワイヤに関しては、常温でのウェッジ接合において接合初期は十分な接合強度を呈するものの、電極接合部における腐食の進行により良好な接合信頼性は得られない。

[0008] 本発明は、常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を呈し、また、接合信頼性にも優れるボンディングワイヤを提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題につき鋭意検討した結果、下記構成を有するボンディングワイヤによって上記課題を解決できることを見出し、斯かる知見に基づいて更に検討を重ねることによって本発明を完成した。

すなわち、本発明は以下の内容を含む。

[1] Cu又はCu合金からなる芯材（以下、「Cu芯材」という。）、及び

該Cu芯材の表面に設けられた貴金属を含有する被覆（以下、「貴金属被覆」という。）、

を有する半導体装置用ボンディングワイヤであって、

該ワイヤの表面におけるCu濃度が30～80at%である、半導体装置用ボンディングワイヤ。

[2] 表面におけるCu濃度が、下記<条件>にてオージェ電子分光法（AES: Auger Electron Spectroscopy）により測定される、[1]に記載のボンディングワイヤ。

<条件>ワイヤの幅の中心が測定面の幅の中心となるように位置決めし、か

つ、測定面の幅がワイヤ直径の10%以上15%以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である

〔3〕 貴金属被覆がPdを含む、〔1〕又は〔2〕に記載のボンディングワイヤ。

〔4〕 貴金属被覆がさらにAuを含む、〔3〕に記載のボンディングワイヤ。

〔5〕 貴金属被覆における貴金属の最大濃度が50at%以上である、〔1〕～〔4〕の何れかに記載のボンディングワイヤ。

〔6〕 貴金属被覆におけるAuの最大濃度を示す位置がPdの最大濃度を示す位置よりも表面側にある、〔4〕又は〔5〕に記載のボンディングワイヤ。

〔7〕 貴金属被覆における貴金属の最大濃度が、ワイヤの表面からARSPACKにより深さ方向に掘り下げていきながら、下記＜条件＞にてオージェ電子分光法(AES)により測定して得られる深さ方向の濃度プロファイルから求められる、〔5〕又は〔6〕に記載のボンディングワイヤ。

＜条件＞ワイヤの幅の中心が測定面の幅の中心となるように位置決めし、かつ、測定面の幅がワイヤ直径の10%以上15%以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である

〔8〕 Cu芯材が、Cuと不可避不純物からなる、〔1〕～〔7〕の何れかに記載のボンディングワイヤ。

〔9〕 貴金属被覆が、貴金属と不可避不純物からなる、〔1〕～〔8〕の何れかに記載のボンディングワイヤ。

〔10〕 Ni、Zn、Rh、In、Ir及びPtからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第1添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第1添加元素の濃度が総計で0.1～1.5質量%である、〔1〕～〔7〕の何れかに記載のボンディングワイヤ。

〔11〕 P、B、Be、Fe、Mg、Ti、Zn、Ag及びSiからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第2添加元素」という。）を含

み、ワイヤ全体に対する第2添加元素の濃度が総計で0.1～200質量ppmである、[1]～[7]、[10]の何れかに記載のボンディングワイヤ。

[12] Cu芯材が、Cuと、第1添加元素及び第2添加元素から選択される1種以上の元素と、不可避不純物からなる、[10]又は[11]に記載のボンディングワイヤ。

[13] 貴金属被覆が、貴金属と、第1添加元素及び第2添加元素から選択される1種以上の元素と、不可避不純物からなる、[10]～[12]の何れかに記載のボンディングワイヤ。

[14] ワイヤ軸に垂直方向のCu芯材断面における平均結晶粒径が1.4～3.2μmである、[1]～[13]の何れかに記載のボンディングワイヤ。

[15] ウェッジウェッジ接合用である、[1]～[14]の何れかに記載のボンディングワイヤ。

[16] 半導体素子上の第1電極と、リードフレーム又は回路基板上の第2電極とを、[1]～[15]の何れかに記載のボンディングワイヤにより接続する工程を含み、

第1電極とボンディングワイヤとの第1接続と、第2電極とボンディングワイヤとの第2接続の両方をウェッジ接合により実施する、半導体装置の製造方法。

[17] 第1接続と第2接続を常温下で実施する、[16]に記載の方法。

[18] [1]～[15]の何れかに記載のボンディングワイヤを含む半導体装置。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を呈し、また、接合信頼性にも優れるボンディングワイヤを提供することができる。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明をその好適な実施形態に即して詳細に説明する。

[0012] [半導体装置用ボンディングワイヤ]

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤは、

Cu又はCu合金からなる芯材（以下、「Cu芯材」ともいう。）、及び

該Cu芯材の表面に設けられた貴金属を含有する被覆（以下、「貴金属被覆」ともいう。）、

を有し、

該ワイヤの表面におけるCu濃度が30～80at%であることを特徴とする。

[0013] 先述のとおり、ボール接合用ボンディングワイヤとしてPd被覆Cuワイヤが知られているが、斯かるPd被覆Cuワイヤをウェッジ接合に用いた場合、常温での接合は困難であることを確認した。ボール接合用のPd被覆Cuワイヤでは、ボール形成時の酸化を抑制すべく、ワイヤ表面に高濃度のPd被覆を有している。他方、Cuワイヤを用いたボンディングでは、Cuと電極金属との拡散接合により十分な接合強度が達成される。ボール接合用のPd被覆Cuワイヤを常温（25±10℃）でのウェッジ接合に用いると、ワイヤ表面に存在する高濃度のPd被覆によりCuと電極金属との拡散接合が抑制されるため十分な接合が得られないものと推察される。接合時に加熱することで十分な接合強度を得ることは可能であるものの、加熱による酸化や、加熱・冷却に起因した各部材への熱応力の発生、さらに加熱のための時間も必要となることから、用途が限定されてしまう。Alワイヤや、被覆を有しないベアCuワイヤの適用も考えられるが、これらのワイヤに関しては、先述のとおり、良好な接合信頼性が得られ難いという課題がある。

[0014] 本発明者らは、常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を呈し、また、接合信頼性にも優れるボンディングワイヤを提供すべく鋭意検討する過程において、貴金属被覆を有するCuワイヤについて表面のCu濃度を高めることにより、常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を呈する

ことを見出した。そればかりか、貴金属被覆を有すると共に表面のCu濃度が所定範囲にあるCuワイヤでは、樹脂封止により半導体装置を製造した場合であっても、良好な接合信頼性を実現し得ることも見出した。貴金属被覆を有することにより、接合界面に貴金属が或る程度の濃度にて存在する領域が存在し、斯かる貴金属含有領域により電極接合部における腐食の進行が顕著に抑制されたものと推察される。さらには、パワー半導体装置など装置の作動サイクルに伴う温度変化の著しい用途への適用においても、Cuを主な材料とすることから、Alワイヤで課題となる熱応力に起因した接続部界面・近傍におけるクラック（ボンドクラックやヒールクラック）の発生も顕著に抑制し得る。このように、本発明は、常温接合をも対象とするウェッジ接合用途におけるCu系ワイヤの実用化に著しく寄与するものであり、安価かつ高性能な半導体装置の実現に寄与するものである。

[0015] 常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を実現する観点から、本発明の半導体装置用ボンディングワイヤ（以下、単に「本発明のワイヤ」、「ワイヤ」ともいう。）において、表面におけるCu濃度の下限は、30at%以上であり、好ましくは35at%以上、より好ましくは40at%以上、42at%以上、44at%以上又は45at%以上である。表面におけるCu濃度が斯かる範囲にあると、高温用途に適用した場合であってもガルバニック腐食の進行を抑制し得るといった優れた効果も奏することを本発明者らは確認している。

[0016] 特に表面におけるCu濃度が45at%以上であると、常温でのウェッジ接合に適用した場合に格別優れる接合性を実現できることを本発明者らは見出した。表面におけるCu濃度は、さらに好ましくは46at%以上、48at%以上、50at%以上又は50at%超である。

[0017] 表面におけるCu濃度の上限は、樹脂封止により半導体装置を製造した場合であっても良好な接合信頼性を実現する観点、とりわけ高温高湿環境下においても良好な接合信頼性を実現する観点から、80at%以下であり、好ましくは75at%以下、より好ましくは70at%以下、65at%以下

又は60at%以下である。

[0018] 本発明において、表面におけるCu濃度は、ワイヤ表面を測定面として、オージェ電子分光法(AES)により測定して求めることができる。詳細には、オージェ電子分光法(AES)により、ワイヤ表面の組成分析を行う。ここで、表面におけるCu濃度を求めるにあたり、炭素(C)、硫黄(S)、酸素(O)、窒素(N)等ガス成分、非金属元素等は考慮しない。

[0019] オージェ電子分光法(AES)によりワイヤ表面の組成分析を行うにあたり、測定面の位置及び寸法は、以下のとおり決定する。なお、以下において、測定面の幅とは、ワイヤ軸に垂直な方向(ワイヤの太さ方向)における測定面の寸法をいい、測定面の長さとは、ワイヤ軸の方向(ワイヤの長さ方向)における測定面の寸法をいう。

[0020] まず、測定に供するワイヤを試料ホルダーに直線状に固定する。次いで、ワイヤ軸に垂直な方向におけるワイヤの幅の中心が測定面の幅の中心となるように位置決めし、かつ、測定面の幅がワイヤ直径の10%以上15%以下となるように測定面を決定する。測定面の長さは、測定面の幅の5倍となるように設定する。測定面の位置及び寸法を上記のとおり決定することにより、常温でのウェッジ接合に適用しても良好な接合性を実現するのに必要となる、表面におけるCu濃度を精度良く測定することができる。また、ワイヤ軸方向に互いに1mm以上離間した複数箇所($n \geq 3$)の測定面について実施し、その平均値を採用することが好適である。

[0021] 上記の表面におけるCu濃度は、後述の「オージェ電子分光法(AES)によるワイヤ表面の組成分析」欄に記載の条件にて測定した結果に基づくものである。

[0022] -Cu芯材-

本発明のワイヤは、Cu又はCu合金からなる芯材、すなわちCu芯材を含む。

[0023] Cu芯材は、Cu又はCu合金からなる限りにおいて特に限定されず、ボール接合用ボンディングワイヤとして知られている従来のPd被覆Cuワイ

ヤを構成する公知のCu芯材を用いてよい。

[0024] Cu芯材は、例えば、後述の第1添加元素、第2添加元素から選択される1種以上のドーパントを含有してよい。これらドーパントの好適な含有量は後述のとおりである。

[0025] 好適な一実施形態において、Cu芯材は、Cuと不可避不純物からなる。他の好適な一実施形態において、Cu芯材は、Cuと、後述の第1添加元素、第2添加元素から選択される1種以上の元素と、不可避不純物とからなる。なお、Cu芯材についていう用語「不可避不純物」には、後述の貴金属被覆を構成する元素も包含される。

[0026] Cuは、他の金属中に含まれる場合、高温において拡散し易い性質を有する。Cu芯材と、該Cu芯材の表面に貴金属被覆とを有する本発明のワイヤにおいて、その製造時に熱処理を行うと、Cu芯材中のCuは貴金属被覆中を拡散し、ワイヤ表面に到達することができる。本発明のワイヤは、表面におけるCu濃度が所定範囲にあることを特徴とするが、ワイヤ表面のCuは、斯かる拡散により表面に到達したCuであってよい。本発明のワイヤにおいて、表面のCuの状態は特に限定されず、一部が酸化していたり、貴金属被覆中の貴金属に一部固溶していたりしてもよい。

[0027] 本発明のワイヤにおいて、ワイヤ軸に垂直方向のCu芯材断面（Cu芯材C断面）における平均結晶粒径は、常温でのウェッジ接合に適用した場合に（さらには接合時の荷重や超音波条件を低減させた場合であっても）一際良好な接合性を実現し得る観点から、好ましくは1.4 μm 以上、より好ましくは1.5 μm 以上、1.6 μm 以上、1.8 μm 以上又は2 μm 以上である。該平均結晶粒径の上限は、良好なループ形状安定性を実現する観点から、好ましくは3.2 μm 以下、より好ましくは3.1 μm 以下又は3 μm 以下である。したがって、好適な一実施形態において、Cu芯材C断面における平均結晶粒径は1.4～3.2 μm である。平均結晶粒径は、後方散乱電子線回折（EBSD: Electron Back Scatter Diffraction）法などの測定方法を用いて各結晶粒の面積を求め、各

結晶粒の面積を円に見なしたときの直径の平均とする。Cu芯材C断面の平均結晶粒径は、後述の「Cu芯材C断面の平均結晶粒径の測定」に記載の方法により測定することができる。

[0028] ー貴金属被覆ー

本発明のワイヤは、Cu芯材の表面に設けられた貴金属を含有する被覆、すなわち貴金属被覆を含む。

[0029] 貴金属被覆が含有する貴金属は、本発明の効果を阻害しない限りにおいて特に限定されないが、樹脂封止により半導体装置を製造した場合であっても一際良好な接合信頼性を実現し得る観点から、パラジウム（Pd）又は金（Au）を含むことが好ましい。より好ましくはパラジウム（Pd）である。

[0030] 貴金属被覆に含まれる貴金属の合計を100質量%としたとき、Pdの含有量は、好ましくは50質量%以上、より好ましくは60質量%以上、70質量%以上、80質量%以上又は90質量%以上である。該含有量の上限は特に限定されず、100質量%であってもよいが、例えば、99質量%以下、98質量%以下、97質量%以下などであってもよい。

[0031] 貴金属被覆は、例えば、後述の第1添加元素、第2添加元素から選択される1種以上のドーパントをさらに含有してよい。これらドーパントの好適な含有量は後述のとおりである。

[0032] 好適な一実施形態において、貴金属被覆は、貴金属と不可避不純物からなる。他の好適な一実施形態において、貴金属被覆は、貴金属と、後述の第1添加元素、第2添加元素から選択される1種以上の元素と、不可避不純物とからなる。なお、貴金属被覆についていう用語「不可避不純物」には、Cu芯材を構成する元素も包含される。

[0033] 樹脂封止により半導体装置を製造した場合であっても良好な接合信頼性を実現し得る観点、とりわけ高温高湿環境下においても良好な接合信頼性を実現する観点から、貴金属被覆における貴金属の最大濃度は、50at%以上であることが好ましい。高温高湿環境下においても一際良好な接合信頼性を実現し得る観点から、該最大濃度は、より好ましくは60at%以上、70

a t %以上、75 a t %以上又は80 a t %以上である。該最大濃度の上限は特に限定されず、100 a t %であってもよいが、例えば、99.5 a t %以下、99 a t %以下、98 a t %以下などであってもよい。中でも、貴金属被覆が、斯かる最大濃度の好適条件を満たしつつ、その厚さ（算出方法は後述する。）が20 n m以上であると、高温高湿環境下においても一際優れた接合信頼性を実現し得るため好適である。貴金属被覆の厚さは、より好ましくは25 n m以上、さらに好ましくは30 n m以上、35 n m以上、40 n m以上、45 n m以上又は50 n m以上である。貴金属被覆の厚さに特に上限はないが、好ましくは0.5 μ m以下、より好ましくは0.4 μ m以下、0.3 μ m以下、0.2 μ m以下、0.15 μ m以下又は0.1 μ m以下である。

[0034] 本発明において、貴金属被覆における貴金属の最大濃度は、ワイヤの表面からA rスパッタにより深さ方向に掘り下げていきながら、オージェ電子分光法（A E S）により組成分析を行うことにより求めることができる。詳細には、1）A rによるスパッタ処理、及び2）スパッタ処理後の表面組成分析を繰り返すことで深さ方向の濃度プロファイルを取得し、該濃度プロファイルから求めることができる。

[0035] 2）スパッタ処理後の表面組成分析は、表面におけるC u濃度を求める際の、オージェ電子分光法（A E S）による組成分析と同様の条件で実施することができる。すなわち、スパッタ処理後の表面についてオージェ電子分光法（A E S）により組成分析を行うにあたり、測定面の位置及び寸法は、以下のとおり決定する。

[0036] ワイヤ軸に垂直な方向におけるワイヤの幅の中心が測定面の幅の中心となるように位置決めし、かつ、測定面の幅がワイヤ直径の10%以上15%以下となるように測定面を決定する。測定面の長さは、測定面の幅の5倍となるように設定する。測定面の位置及び寸法を上記のとおり決定することにより、樹脂封止により半導体装置を製造した場合であっても良好な接合信頼性を実現するのに好適な、貴金属被覆における貴金属の最大濃度を精度良く測

定することができる。また、ワイヤ軸方向に互いに1mm以上離間した複数箇所（ $n \geq 3$ ）の測定面について実施し、その平均値を採用することが好適である。

[0037] 一実施形態に係る本発明のワイヤについて求められた、深さ方向の濃度プロファイルについて、その傾向を以下に説明する。ワイヤの表面から一定の深さ位置までは、Cu濃度が低下すると共に貴金属の濃度が上昇する傾向にある。さらに深さ方向に進むと、或る深さ位置（d）を境にして、貴金属の濃度が低下すると共にCu濃度が上昇する傾向にある。このような濃度プロファイルにおいて、貴金属の濃度の増減に着目して、貴金属の濃度が最大となる位置（上記の実施形態においては、深さ位置d）から、貴金属の最大濃度を求めることができる。貴金属被覆が複数の貴金属を含む場合、「貴金属の最大濃度」を求めるにあたっては、これら複数の貴金属の合計濃度の増減に着目すればよい。例えば、貴金属被覆がPdを単独で含む場合、Pdの濃度の増減に着目すればよく、貴金属被覆がPdとAuを組み合わせる場合、PdとAuの合計濃度の増減に着目すればよい。

[0038] 上記の、貴金属被覆における貴金属の最大濃度の好適範囲は、後述の「オージェ電子分光法（AES）による深さ方向の濃度プロファイルの取得」欄に記載の条件にて測定した結果に基づくものである。

[0039] 本発明のワイヤにおいて、貴金属被覆は、Pdに加えて金（Au）を含んでもよい。貴金属被覆が、Pdに加えてAuをさらに含むことにより、常温でのウェッジ接合に適用した場合に一際良好な接合性を呈すると共に、接合信頼性にも一際優れるボンディングワイヤを実現することができる。

[0040] 貴金属被覆がAuを含む場合、貴金属被覆に含まれる貴金属の合計を100質量%としたとき、Auの含有量は、好ましくは0.5質量%以上、より好ましくは1質量%以上、1.5質量%以上又は2質量%以上である。該含有量の上限は、過度のコストアップを避ける観点から、例えば10質量%以下、7質量%以下、5質量%以下、又は3質量%以下などとし得る。

[0041] 貴金属被覆が、Pdに加えてAuをさらに含む場合、本発明の効果をより

享受し得る観点から、貴金属被覆におけるAuの最大濃度を示す位置がPdの最大濃度を示す位置よりも表面側にあることが好適である。この場合、上記で得た深さ方向の濃度プロファイルにおいて、Auの濃度の増減とPdの濃度の増減に別個独立に着目すればよい。

[0042] 本発明のワイヤにおいて、Cu芯材と貴金属被覆との境界は、貴金属の合計濃度を基準に判定する。貴金属の合計濃度が20at%の位置を境界とし、貴金属の合計濃度が20at%以上の領域を貴金属被覆、20at%未満の領域をCu芯材と判定する。なお、貴金属の合計濃度が20at%未満でも、上記判定による貴金属被覆よりワイヤ表面側に存在する相（層）については貴金属被覆と判定する。

[0043] 貴金属被覆の厚さは、オージェ電子分光法（AES）により得られた深さ方向の濃度プロファイルにおいて、ワイヤ軸からワイヤ表面に向けて濃度プロファイルを確認し、貴金属の合計濃度がはじめて20at%に達した深さ位置からワイヤ表面位置までの距離として求めることができる。先述の貴金属被覆の厚さは、オージェ電子分光法（AES）により得られた深さ方向の濃度プロファイルに基づき、深さの単位をSiO₂換算した結果に基づくものである。

[0044] 本発明のワイヤは、Ni、Zn、Rh、In、Ir及びPtからなる群から選択される1種以上の元素（「第1添加元素」）をさらに含有してよい。ワイヤ全体に対する第1添加元素の濃度は総計で0.1質量%以上であることが好ましい。これにより、高温用途に適用した場合であってもガルバニック腐食の進行をさらに抑制することができ、接合信頼性に格別優れるボンディングワイヤを実現することができる。ワイヤ全体に対する第1添加元素の濃度は総計で0.3質量%以上であることがより好ましく、0.5質量%以上であることがさらに好ましい。第1添加元素の総計濃度の上限は、ワイヤの硬質化を抑え常温でのウェッジ接合に適用した場合に良好な接合性を実現し易い観点から、1.5質量%以下であることが好ましく、1.4質量%以下、1.3質量%以下又は1.2質量%以下であることがより好ましい。し

たがって好適な一実施形態において、本発明のワイヤは、第1添加元素を含み、ワイヤ全体に対する第1添加元素の濃度が総計で0.1～1.5質量%である。あるいはまた、第1添加元素について、ワイヤ全体に対するNiの濃度は、0.1質量%未満であってもよく、例えば、0.09質量%以下、0.08質量%以下などであってもよい。

[0045] 本発明のワイヤは、P、B、Be、Fe、Mg、Ti、Zn、Ag、Siからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第2添加元素」ともいう。）をさらに含有してよい。ワイヤ全体に対する第2添加元素の濃度は総計で0.1質量ppm以上であることが好ましい。これにより、ループ形状安定性にさらに優れるワイヤを実現することができる。ワイヤ全体に対する第2添加元素の濃度は総計で1質量ppm以上であることがより好ましく、2質量ppm以上、3質量ppm以上、5質量ppm以上、8質量ppm以上、10質量ppm以上、20質量ppm以上、30質量ppm以上又は40質量%以上であることがさらに好ましく、50質量ppm以上又は55質量ppm以上であることがさらにより好ましい。第2添加元素の総計濃度の上限は、ワイヤの硬質化を抑え常温でのウェッジ接合に適用した場合に良好な接合性を実現し易い観点から、200質量ppm以下であることが好ましく、190質量ppm以下、180質量ppm以下、170質量ppm以下、160質量ppm以下又は150質量ppm以下であることがさらに好ましい。

[0046] ワイヤ中の第1添加元素や第2添加元素の含有量は、後述の「元素含有量の測定」に記載の方法により測定することができる。

[0047] 本発明のワイヤの直径は、特に限定されず具体的な目的に応じて適宜決定してよいが、好ましくは15 μ m以上、18 μ m以上又は20 μ m以上などとし得る。該直径の上限は、特に限定されず、例えば200 μ m以下、150 μ m以下又は100 μ m以下などとし得る。

[0048] <ワイヤの製造方法>

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤの製造方法の一例について説明

する。

[0049] まず、高純度（4 N～6 N；99.99～99.9999質量%以上）の原料銅を連続鑄造により大径（直径約3～6 mm）に加工し、インゴットを得る。

[0050] 上述の第1添加元素や第2添加元素等のドーパントを添加する場合、その添加方法としては、例えば、Cu芯材中に含有させる方法、貴金属被覆中に含有させる方法、Cu芯材の表面に被着させる方法、及び、貴金属被覆の表面に被着させる方法が挙げられ、これらの方法を複数組み合わせてもよい。何れの添加方法を採用しても、本発明の効果を発揮することができる。ドーパントをCu芯材中に含有させる方法では、ドーパントを必要な濃度含有した銅合金を原料として用い、Cu芯材を製造すればよい。原材料であるCuにドーパントを添加して斯かる銅合金を得る場合、Cuに、高純度のドーパント成分を直接添加してもよく、ドーパント成分を1%程度含有する母合金を利用してもよい。ドーパントを貴金属被覆中に含有させる方法では、貴金属被覆を形成する際の貴金属めっき浴（湿式めっきの場合）やターゲット材（乾式めっきの場合）中にドーパントを含有させればよい。Cu芯材の表面に被着させる方法や貴金属被覆の表面に被着させる方法では、Cu芯材の表面あるいは貴金属被覆の表面を被着面として、（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）、から選択される1以上の被着処理を実施すればよい。

[0051] 大径のインゴットを鍛造、圧延、伸線を行って直径約0.9～1.2 mmのCu又はCu合金からなるワイヤ（以下、「中間ワイヤ」ともいう。）を作製する。

[0052] Cu芯材の表面に貴金属被覆を形成する手法としては、電解めっき、無電解めっき、蒸着法等が利用できるが、膜厚を安定的に制御できる電解めっきを利用するのが工業的には好ましい。例えば、PdとAuを組み合わせる含む貴金属被覆を形成する場合、中間ワイヤ表面にPd被覆を形成した後、該Pd被覆の表面にAu被覆を形成してよい。Pd被覆、Au被覆はまた、大

径のインゴットの段階で被着することとしてもよく、あるいは、中間ワイヤを伸線してさらに細線化した後（例えば最終的なCu芯材の直径まで伸線した後）に、該Cu芯材表面にPd被覆、Au被覆を形成してよい。

[0053] 伸線加工は、ダイヤモンドコーティングされたダイスを複数個セットできる連続伸線装置を用いて実施することができる。必要に応じて、伸線加工の途中段階で熱処理を施してもよい。熱処理によりPdとAuを互いに拡散させて、AuとPdの合金を含む貴金属被覆を形成してもよい。その方法としては一定の炉内温度で電気炉中、ワイヤを一定の速度の下で連続的に掃引することで合金化を促す方法が、確実に合金の組成と厚みを制御できるので好ましい。

[0054] 伸線加工の後、表面改質熱処理を行う。表面改質熱処理は、表面におけるCu濃度が所定範囲にあるボンディングワイヤを実現し易い観点から、高温で長時間実施することが好適である。貴金属被覆の厚さや所望する表面Cu濃度等にもよるが、表面改質熱処理の温度は、銅の融点を T_m (K)としたとき、 $0.6 T_m \sim 0.8 T_m$ の範囲にて決定することが好適である。銅の融点 T_m は $1358 K (= 1085 ^\circ C)$ であることから、表面改質熱処理の温度は、好ましくは $540 ^\circ C \sim 820 ^\circ C$ の範囲である。また、表面改質熱処理の時間は、好ましくは5秒間以上、より好ましくは7秒間以上又は10秒間以上である。該熱処理時間の上限は、例えば、20秒間以下とし得る。

[0055] 表面改質熱処理の雰囲気ガスとしては、水素含有不活性ガスが好適であり、例えば、水素含有ヘリウムガス、水素含有窒素ガス、水素含有アルゴンガスが挙げられる。水素含有不活性ガス中の水素濃度は、例えば1～20%の範囲としてよい。好適な一実施形態において、表面改質熱処理の雰囲気ガスは、フォーミングガス（ $5\% H_2 - N_2$ ）である。あるいはまた、熱処理時の温度・時間の厳密な管理の下、雰囲気ガスとして、窒素ガス、アルゴンガス等の不活性ガスを用いてよい。

[0056] 本発明のワイヤは、半導体装置の製造において、半導体素子上の第1電極と、リードフレーム又は回路基板上の第2電極とを接続するために用いるこ

とができる。半導体素子上の第1電極との第1接続（1st接合）と、リードフレーム又は回路基板上の第2電極との第2接続（2nd接合）とは、何れもウェッジ接合であってよい。貴金属被覆を有すると共に表面のCu濃度が所定範囲にある本発明のワイヤは、常温でウェッジ接合する場合でも良好な接合性を実現し得る。したがって、本発明のワイヤは、ウェッジ接合用（詳細にはウェッジーウェッジ接合用）として好適に使用することができ、常温ウェッジ接合用（詳細には常温ウェッジーウェッジ接合用）としても好適に使用することができる。

[0057] 〔半導体装置の製造方法〕

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤを用いて、半導体素子上の電極と、リードフレームや回路基板上の電極とを接続することによって、半導体装置を製造することができる。

[0058] 一実施形態において、本発明の半導体装置の製造方法（以下、単に「本発明の方法」ともいう。）は、半導体素子上の第1電極と、リードフレーム又は回路基板上の第2電極とを、本発明のワイヤにより接続する工程を含み、第1電極と本発明のワイヤとの第1接続と、第2電極と本発明のワイヤとの第2接続の両方をウェッジ接合により実施することを特徴とする。

[0059] ウェッジ接合では、ボールを形成せずに、ワイヤ部を超音波、圧力を加えることにより電極上に圧着接合する。貴金属被覆を有すると共に表面のCu濃度が所定範囲にある本発明のワイヤは、常温でウェッジ接合する場合でも良好な接合性を実現することができる。したがって好適な一実施形態において、本発明の方法では、第1接続と第2接続を常温下で実施する。

[0060] 貴金属被覆を有すると共に表面のCu濃度が所定範囲にある本発明のワイヤは、樹脂封止により半導体装置を製造する場合であっても、良好な接合信頼性を実現することができる。したがって好適な一実施形態において、本発明の方法は、ウェッジ接合の後に樹脂封止する工程をさらに含む。樹脂封止に用いる樹脂としては、半導体装置の製造にあたって樹脂封止に使用し得る公知の熱硬化性樹脂組成物（例えばエポキシ樹脂組成物）を用いてよい。本

発明のワイヤを用いることにより、熱硬化性樹脂組成物の仕様によらず、良好な接合信頼性を有利に実現することができる。

[0061] 〔半導体装置〕

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤを用いて、半導体素子上の電極と、リードフレームや回路基板上の電極とを接続することによって、半導体装置を製造することができる。

[0062] 一実施形態において、本発明の半導体装置は、回路基板、半導体素子、及び回路基板と半導体素子とを導通させるためのボンディングワイヤを含み、該ボンディングワイヤが本発明のワイヤであることを特徴とする。

[0063] 本発明の半導体装置において、回路基板及び半導体素子は特に限定されず、半導体装置を構成するために使用し得る公知の回路基板及び半導体素子を用いてよい。あるいはまた、回路基板に代えてリードフレームを用いてもよい。例えば、特開2002-246542号公報に記載される半導体装置のように、リードフレームと、該リードフレームに実装された半導体素子とを含む半導体装置の構成としてよい。

[0064] 半導体装置としては、電気製品（例えば、コンピューター、携帯電話、デジタルカメラ、テレビ、エアコン、太陽光発電システム等）及び乗物（例えば、自動二輪車、自動車、電車、船舶及び航空機等）等に応用される各種半導体装置が挙げられる。

実施例

[0065] 以下、本発明について、実施例を示して具体的に説明する。ただし、本発明は、以下に示す実施例に限定されるものではない。

[0066] （サンプル）

まずサンプルの作製方法について説明する。Cu芯材の原材料となるCuは、純度が99.99質量%以上（4N）で残部が不可避不純物から構成されるものを用いた。また、第1添加元素や第2添加元素を添加する場合、これらは純度が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、あるいはCuにこれら添加元素が高濃度で配合された母合金を用いた。

[0067] 芯材のCu合金は、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N₂やArガス等の不活性雰囲気中で1090～1500℃まで加熱して溶解した後、連続鋳造により大径に加工し、次いで伸線加工により最終線径まで細線化することで製造した。得られたφ3～6mmの銅または銅合金の芯材に対して、引抜加工を行ってφ0.9～1.2mm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、さらにワイヤを細径化した。伸線加工を行う場合には、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被覆を形成した。さらに、一部のワイヤ（実施例No. 1～6、9～14、17～28、比較例No. 1～4）はPd被覆の上にAu被覆を形成した。Pd被覆、Au被覆の形成には電解めっき法を用いた。Pdめっき液、Auめっき液は市販のめっき液を用いた。

[0068] その後、さらに伸線加工等を行い、最終線径であるφ35μmまで加工した。必要に応じて、伸線加工の途中において、300～700℃、2～15秒間の熱処理を0～2回行った。最終線径まで加工後、表面改質熱処理を行った。表面改質熱処理の熱処理温度は500～750℃とし、ワイヤの送り速度は30～100m/分、熱処理時間は2～15秒とした。中間熱処理および表面改質熱処理の熱処理方法はワイヤを連続的に掃引しながら行い、Arガスを流しながら行った。

[0069] （試験・評価方法）

以下、試験・評価方法について説明する。

[0070] [オージェ電子分光法（AES）によるワイヤ表面の組成分析]

ワイヤ表面におけるCu濃度は、ワイヤ表面を測定面として、以下のとおりオージェ電子分光法（AES）により測定して求めた。

まず測定に供するボンディングワイヤを試料ホルダーに直線状に固定した。次いで、ワイヤ長手軸に垂直な方向におけるワイヤの幅の中心が測定面の幅の中心となるように位置決めし、かつ、測定面の幅がワイヤ直径の10%

以上15%以下となるように測定面を決定した。測定面の長さは測定面の幅の5倍とした。そして、AES装置（アルバック・ファイ製PHI-700）を用いて、加速電圧10kVの条件にてワイヤ表面の組成分析を行い、表面Cu濃度（at%）を求めた。

なお、AESによる組成分析は、ワイヤ長手方向に互いに1mm以上離間した3箇所の測定面について実施し、その平均値を採用した。表面におけるCu濃度を求めるにあたり、炭素（C）、硫黄（S）、酸素（O）、窒素（N）等ガス成分、非金属元素等は考慮しなかった。

[0071] [オージェ電子分光法（AES）による深さ方向の濃度プロファイルの取得]

ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルは、AESによるワイヤ表面の組成分析の後、ワイヤの表面からArスパッタにより深さ方向に掘り下げていきながら、AESにより組成分析を行うことにより求めた。

詳細には、AESによるワイヤ表面の組成分析の後、1）Arによるスパッタ処理、及び2）スパッタ処理後の表面組成分析を繰り返すことで深さ方向の濃度プロファイルを取得した。1）のスパッタ処理は、Ar⁺イオン、加速電圧1kV、にて行った。また、2）の表面組成分析において、測定面の寸法やAESによる組成分析の条件は、上記「オージェ電子分光法（AES）によるワイヤ表面の組成分析」欄で説明したものと同一とした。

なお、深さ方向の濃度プロファイルの取得は、ワイヤ長手方向に互いに1mm以上離間した3箇所の測定面について実施した。

[0072] ー貴金属被覆における貴金属の最大濃度ー

取得した深さ方向の濃度プロファイルにおいて、貴金属の濃度の増減に着目して、貴金属の濃度が最大となる位置から、貴金属の最大濃度を求めた。3箇所の測定面について取得した数値の平均値を貴金属の最大濃度として採用した。

なお、貴金属被覆がPdとAuを含む実施例及び比較例のワイヤに関して、Auの最大濃度を示す位置がPdの最大濃度を示す位置よりも表面側にあ

ることを確認した。

[0073] ー貴金属被覆の厚さー

取得した深さ方向の濃度プロファイルにおいて、ワイヤ軸からワイヤ表面に向けて濃度プロファイルを確認し、貴金属の合計濃度がはじめて20at%に達した深さ位置からワイヤ表面位置までの距離として貴金属被覆の厚さを求めた。3箇所の測定面について取得した数値の平均値を貴金属被覆の厚さとして採用した。

なお、貴金属被覆の厚さは、深さ方向の濃度プロファイルに基づき、深さの単位をSiO₂換算して求めた。

[0074] [元素含有量の測定]

ワイヤ中の第1添加元素、第2添加元素の含有量は、ICP発光分光分析装置、ICP質量分析装置を用いて、ワイヤ全体に含まれる元素の濃度として分析した。分析装置として、ICP-OES（（株）日立ハイテクサイエンス製「PS3520UVDDII」）又はICP-MS（アジレント・テクノロジー（株）製「Agilent 7700x ICP-MS」）を用いた。

[0075] [Cu芯材C断面の平均結晶粒径の測定]

Cu芯材C断面の平均結晶粒径の測定は、後方散乱電子線回折（EBSD: Electron Back scatter Diffraction）法（測定装置 オックスフォード・インストルメンツ（株）製EBSD分析システム「AZtec HKL」）を用いて測定した。詳細には、Cu芯材C断面の全体について各結晶粒の面積を求め、各結晶粒の面積を円の面積に換算してその直径の平均を算出し、これを平均結晶粒径として採用した。なお、各結晶粒の面積は、隣り合う測定点間の方位差が15度以上の位置を粒界と定義して求めた。

[0076] [常温ウェッジ接合性]

シリコン基板上に厚さ3.0μmのAl-0.5質量%Cu合金を成膜して設けた電極に、常温（25℃）でウェッジ接合を行った。無作為に選択し

た20箇所の接合部について、接合強度をシエア試験により測定し、その平均値をウェッジ接合部の接合強度として採用した。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0077] 評価基準：

- ◎：100gf以上
- ：75gf以上100gf未満
- △：50gf以上75gf未満
- ×：50gf未満

[0078] [接合信頼性]

接合信頼性は、高温高湿試験（HAST；Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test）及び高温放置試験（HTSL：High Temperature Storage Life Test）の双方により評価した。

[0079] -HAST-

シリコン基板上に厚さ3.0 μ mのAl-O.5質量%Cu合金を成膜して設けた電極に常温でウェッジ接合したサンプルを、市販の熱硬化性エポキシ樹脂により封止し、接合信頼性試験用のサンプルを作製した。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、7Vのバイアスをかけた。ウェッジ接合部の接合寿命は、48時間毎にウェッジ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1/2となる時間とした。シエア強度の値は無作為に選択したウェッジ接合部の50箇所の測定値の平均値を用いた。シエア試験は、酸処理によって樹脂を除去して、ウェッジ接合部を露出させてから行った。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0080] 評価基準：

- ◎：接合寿命384時間以上
- ：接合寿命240時間以上384時間未満
- ×：接合寿命240時間未満

[0081] － H T S L －

上記と同様の手順で作製した接合信頼性評価用のサンプルを、高温恒温機を使用し、温度 175℃の環境に暴露した。ウェッジ接合部の接合寿命は、500時間毎にウェッジ接合部のプル試験を実施し、プル強度の値が初期に得られたプル強度の 1/2 となる時間とした。プル強度の値は無作為に選択したウェッジ接合部の 50 箇所の測定値の平均値を用いた。高温放置試験後のプル試験は、酸処理によって樹脂を除去して、ウェッジ接合部を露出させてから行った。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0082] 評価基準：

◎：接合寿命 2000 時間以上

○：接合寿命 1000 時間以上 2000 時間未満

×：接合寿命 1000 時間未満

[0083] 〔ループ形状安定性〕

ループ形状安定性（ループプロファイルの再現性）は、ループ長が 2 mm、ループ高さが 300 μm となるように台形ループを 100 本接続し、最大ループ高さの標準偏差より評価した。高さ測定には光学顕微鏡を使用し、以下の基準に従って評価した。

[0084] 評価基準：

◎：3σが 20 μm 未満

○：3σが 20 μm 以上 25 μm 未満

×：3σが 25 μm 以上

[0085] 実施例及び比較例の評価結果を表 1 に示す。

[0086]

[表1]

(表1)

No.	表面Cu濃度		第1添加元素 (質量%)										第2添加元素 (質量ppm)										貴金属濃度		Cu芯材	接合信頼性		常温ウェッジ 接合性	ループ形状 安定性		
																							貴金属			厚さ	結晶粒徑			HAST 130℃ 7V	HTSL 175℃
	at%		Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt	P	B	Be	Fe	Mg	Ti	Zn	Ag	Si	at%	nm	μm											
1	53								1										78	65	2		○	○		○					
2	51		0.5							30									73	67	2.2		○	○		○					
3	57			0.3							50								67	73	2.5		○	○		○					
4	55				0.5							100							79	66	2		○	○		○					
5	53					1							3						66	78	2.6		○	○		○					
6	60						1.4							75					65	79	2.6		○	○		○					
7	52							0.2							62				73	69	2.1		○	○		○					
8	55		0.3													150			68	74	2.5		○	○		○					
9	55															25			90	51	1.5		○	○		○					
10	47							0.8	35										80	69	2.8		○	○		○					
11	38			1.1						0.5									81	65	2.2		○	○		○					
12	37				0.6						12								83	64	2.3		○	○		○					
13	41					0.2						21							82	60	2.4		○	○		○					
14	45												75						81	58	2.5		○	○		○					
15	34						0.8		0.9					28					91	52	1.5		○	○		○					
16	35																15		90	53	1.6		○	○		○					
17	78		0.6							150									51	92	3.1		○	○		○					
18	72			0.8							21								65	85	2.8		○	○		○					
19	79				1.4							50							61	81	2.7		○	○		○					
20	69					1.1							33						54	79	2.6		○	○		○					
21	68						0.6		0.3					46		24			57	80	2.8		○	○		○					
22	66																		59	81	2.9		○	○		○					
23	72		1.2													3			60	82	3		○	○		○					
24	75																5		53	90	3.1		○	○		○					

実施例

[0087]

[表2]

(表2)	No.	表面Cu濃度	第1添加元素 (質量%)										第2添加元素 (質量ppm)										貴金属被覆		Cu芯材	接合信頼性	常温ウェッジ 接合性	HAST 130℃ /85%RH/ 7V	H2SL 175℃	ループ形状 安定性				
			Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt	P	B	Be	Fe	Mg	Ti	Zn	Ag	Si	貴金属 最大濃度	厚さ	結晶粒径														
																					μm													
実施例	25	52																79	66	2.1														
	26	51																73	68	2.1														
	27	39																80	69	2.6														
	28	45																81	69	2.5														
	29	71																66	80	2.9														
	30	78																52	82	3														
	31	60		0.7	0.2													67	70	2.6														
	32	79				0.5												88	53	2.2														
	33	75						150				20						53	90	2.4														
	34	49																84	52	2.1														
	35	77		1.2														52	90	2.7														
	36	60																66	70	2.4														
	37	63			1.6														65	77	2.3													
比較例	1	12																96	43	1.4														
	2	26																95	44	1.3														
	3	62																40	101	3.3														
	4	85																38	99	3.2														

[0088] 実施例No. 1～37はいずれも、Cu芯材の表面に設けられた貴金属被覆を有し、表面におけるCu濃度が本発明範囲内にあり、常温でのウェッジ接合において良好な接合性を呈し、また、接合信頼性にも優れることを確認した。

加えて、第1添加元素を総計で0.1質量%以上含有する実施例No. 2

～8、10～15、17～23、31、32、35及び37（特に第1添加元素の含有量が0.5質量%以上である実施例No. 2、4～6、8、10～12、14、15、17～21、23、31、32、35及び37）は、高温環境におけるガルバニック腐食の進行をさらに抑制することができ、接合信頼性（HTSL）に格別優れることを確認した。

第2添加元素を総計で0.1質量ppm以上含有する実施例No. 1～24、33～35及び37（特に第2添加元素の含有量が50質量ppm以上である実施例No. 3、4、6～8、10、14、17、19、33～35及び37）は、格別優れたループ形状安定性を実現することを確認した。

他方、比較例No. 1～4は、Cu芯材の表面に設けられた貴金属被覆を有するものの、表面におけるCu濃度が本発明範囲外であり、常温でのウェッジ接合に適用した場合に接合不良に帰着したり、接合信頼性も不良となったりすることを確認した。