

明 細 書

発明の名称：ボンディングワイヤ

技術分野

[0001] 本発明は、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、半導体チップ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。ボンディングワイヤの接続プロセスは、半導体チップ上の電極に1st接合し、次にループを形成した後、リードフレームや基板上の外部電極にワイヤ部を2nd接合することで完了する。1st接合は、ワイヤ先端をアーク加熱で加熱溶融し、表面張力によりフリーエアボール（FAB: Free Air Ball; 以下、単に「ボール」、「FAB」ともいう。）を形成した後に、該ボール部を半導体チップ上の電極に圧着接合（以下、「ボール接合」）する。また、2nd接合は、ボールを形成せずに、ワイヤ部に超音波、荷重を加えることにより外部電極上に圧着接合（以下、「ウェッジ接合」）する。そして接続プロセスの後、半導体チップおよびボンディングワイヤを封止樹脂材料により封止して半導体装置が得られる。

[0003] これまでボンディングワイヤの材料は金（Au）が主流であったが、LSI用途を中心に銅（Cu）への代替が進んでいる（例えば、特許文献1～3）。CuはAuに比べて酸化され易い欠点があり、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Pd等の金属で被覆した構造も提案されている（特許文献4）。また、Cu芯材の表面をPdで被覆し、さらにCu芯材にPd、Ptを添加することにより、1st接合部の接合信頼性を改善したPd被覆Cuボンディングワイヤも提案されている（特許文献5）。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特開昭61－48543号公報
特許文献2：特表2018－503743号公報
特許文献3：国際公開第2017／221770号
特許文献4：特開2005－167020号公報
特許文献5：国際公開第2017／013796号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 近年、ボンディングワイヤに関しては、高温高湿環境下において良好な接合信頼性を呈することが求められる。
- [0006] ボンディングワイヤの材料をA uからC uに変更した場合、高温高湿環境下における1 s t接合部の接合信頼性（以下、「1 s t接合部の高温高湿信頼性」ともいう。）の劣化が問題となり易い。ボンディングワイヤの接続プロセスにおいて、1 s t接合は、ボンディングワイヤ先端に形成したボール部を半導体チップ上のA l電極に圧着接合することにより行われるが、C uを材料とするボンディングワイヤを用いる場合、接合部にC uとA lの金属間化合物が形成され、この金属間化合物が高温高湿条件下で腐食し易いためである。また、C uを材料とするボンディングワイヤに関しては、F A B形状が不良であり、ひいては1 s t接合部の圧着形状に劣る場合があり、高密度実装で要求される狭ピッチ接続への対応が十分でない。C uワイヤへの元素添加やC uワイヤへのP d被覆の適用などにより、これらの問題に対処する指針が示されている（例えば特許文献3、5）。
- [0007] ここで先に示すとおり、半導体装置の製造においては、ボンディングワイヤの接続プロセスの後、半導体チップ及びボンディングワイヤを含めた全体を封止樹脂材料により封止する。封止方法として、固体状の封止樹脂材料を加熱溶融し溶融樹脂を金型に流し込み加圧成型ののち硬化させ封止する方法や、液状の封止樹脂材料を用いてマイクロシリンジ等により封止する方法が挙げられる。封止の後、封止樹脂材料の硬化を促進させるべくポストキュア

を行うが、固体状の封止樹脂材料を用いる場合に比し液状の封止樹脂材料を用いる場合、斯かるポストキュアの条件は低温・短時間とされる傾向にある。また、固体状の封止樹脂材料を用いる場合であっても、生産性向上の観点から、ポストキュアの条件をより低温・短時間とする動きがある。

[0008] Cuを材料とするボンディングワイヤを用いる場合に、封止に伴う上記ポストキュアの条件が低温・短時間であると、Cuワイヤへの元素添加やCuワイヤへのPd被覆の適用などによっても、1st接合部の高温高湿信頼性の劣化は避け難いことを見出した。1st接合の際、ボール部の変形を促進すべく、超音波振動が加えられているが、それにより接合部に多量の歪みが導入される。固体状の封止樹脂材料を用いる場合のようにポストキュアを比較的高温・長時間行う際には、接合部の歪みが解放されるものの、液状の封止樹脂材料を用いる場合のようにポストキュアを低温・短時間行う際には、接合部に歪みが残ってしまう。残留歪みが多いと、CuとAlの金属間化合物の腐食反応が進展し易く、従来報告されているCuワイヤへの元素添加やCuワイヤへのPd被覆の適用などの方法によっては、1st接合部の高温高湿信頼性の劣化を抑制できないものと推察される。

[0009] 本発明は、良好なFAB形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらす新規なCuボンディングワイヤを提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者らは、上記課題につき鋭意検討した結果、下記構成を有することによって上記課題を解決できることを見出し、本発明を完成した。

[0011] すなわち、本発明は以下の内容を含む。

<1>

Cu又はCu合金からなる芯材と、該芯材の表面に形成されたPtとNiの合計濃度が90原子%以上である被覆層とを含むボンディングワイヤであって、

オージェ電子分光法(AES)により深さ方向の測定点が、被覆層におい

て50点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、

被覆層の厚さが10nm以上130nm以下であり、

被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子％）とNiの濃度 C_{Ni} （原子％）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値をXとしたとき、該平均値Xが0.3以上20.0以下であり、

被覆層のうち該平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50％以上である、ボンディングワイヤ。

<2>

被覆層の全測定点について、 C_{Pt} 又は C_{Ni} を最小二乗法により直線近似した際に、被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差が20原子％以下である、<1>に記載のボンディングワイヤ。

<3>

ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルが、ワイヤの表面からArスパッタリングにより深さ方向に掘り下げていきながら、下記<条件>にてAESにより測定して得られる、<1>又は<2>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5％以上15％以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である

<4>

ワイヤの表面にAuを含有する、<1>～<3>の何れかに記載のボンディングワイヤ。

<5>

ワイヤの表面におけるAuの濃度が10原子％以上90原子％以下である、<4>に記載のボンディングワイヤ。

<6>

ワイヤの表面におけるAuの濃度が、下記<条件>にてAESにより測定される、<5>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5%以上15%以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である

＜7＞

B、P及びMg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添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である、＜1＞～＜6＞の何れかに記載のボンディングワイヤ。

＜8＞

Se、Te、As及びSb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添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である、＜1＞～＜7＞の何れかに記載のボンディングワイヤ。

＜9＞

Ga及びGeからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第3添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第3添加元素の総計濃度が0.011質量%以上1.5質量%以下である、＜1＞～＜8＞の何れかに記載のボンディングワイヤ。

＜10＞

Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Sn、Ta、W、Os、Ir、Pd、Au、Biからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度が5質量ppm以上450質量ppm以下である、＜1＞～＜3＞、＜7＞～＜9＞の何れかに記載のボンディングワイヤ。

＜11＞

Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Sn、Ta、W、Os、Ir、Pd、Au、Biからなる

群から選択される１種以上の元素（以下、「第４添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第４添加元素の総計濃度（但しＡｕの濃度は芯材部分における濃度を用いる。）が５質量ｐｐｍ以上４５０質量ｐｐｍ以下である、＜４＞～＜６＞の何れかに記載のボンディングワイヤ。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、良好なＦＡＢ形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な１ｓｔ接合部の高温高湿信頼性をもたらす新規なＣｕボンディングワイヤを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図１]図１は、ＡＥＳによる組成分析を行う際の測定面の位置及び寸法を説明するための概略図である。

発明を実施するための形態

[0014] 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。説明にあたり図面を参照する場合もあるが、各図面は、発明が理解できる程度に、構成要素の形状、大きさおよび配置が概略的に示されているに過ぎない。本発明は、下記実施形態及び例示物に限定されるものではなく、本発明の特許請求の範囲及びその均等の範囲を逸脱しない範囲において任意に変更して実施され得る。

[0015] [ボンディングワイヤ]

本発明の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。）は、

Ｃｕ又はＣｕ合金からなる芯材と、

該芯材の表面に形成されたＰｔとＮｉの合計濃度が９０原子％以上である被覆層とを含み、

オージェ電子分光法（ＡＥＳ）により深さ方向の測定点が、被覆層において５０点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、

該被覆層の厚さが10nm以上130nm以下であり、

被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子％）とNiの濃度 C_{Ni} （原子％）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値をXとしたとき、該平均値Xが0.3以上20.0以下であり、

被覆層のうち該平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50％以上であることを特徴とする。

[0016] 先述のとおり、半導体装置の製造においては、ボンディングワイヤの接続プロセスの後、半導体チップ及びボンディングワイヤを含めた全体を封止樹脂材料により封止する。封止方法として、固体状の封止樹脂材料を加熱溶融し溶融樹脂を金型に流し込み加圧成型ののち硬化させ封止する方法や、液状の封止樹脂材料を用いてマイクロシリンジ等により封止する方法が挙げられる。封止の後、封止樹脂材料の硬化を促進させるべくポストキュアを行うが、固体状の封止樹脂材料を用いる場合に比し液状の封止樹脂材料を用いる場合、斯かるポストキュアの条件は低温・短時間とされる傾向にある（固体状の封止樹脂材料を用いる場合のポストキュアの条件は通常170℃以上で4時間以上であるのに対し、液状の封止樹脂材料を用いる場合のポストキュアの条件は通常100～150℃で3時間以下）。また、固体状の封止樹脂材料を用いる場合であっても、生産性向上の観点から、ポストキュアの条件をより低温・短時間とする動きがある。

[0017] この点、Cuを材料とするボンディングワイヤを用いる場合に、封止に伴うポストキュアの条件が低温・短時間であると、Cuワイヤへの元素添加やCuワイヤへのPd被覆の適用などによっても、1st接合部の高温高湿信頼性の劣化は避け難いことを見出した。1st接合の際、ボール部の変形を促進すべく、超音波振動が加えられているが、それにより接合部に多量の歪みが導入される。固体状の封止樹脂材料を用いる場合のようにポストキュアを比較的高温・長時間行う際には、接合部の歪みが解放されるものの、液状の封止樹脂材料を用いる場合のようにポストキュアを低温・短時間行う際には、接合部に歪みが残ってしまう。残留歪みが多いと、CuとAlの金属間

化合物の腐食反応が進展し易く、従来報告されているCuワイヤへの元素添加やCuワイヤへのPd被覆の適用などの方法によっては、1st接合部の高温高湿信頼性の劣化を抑制できないものと推察される。また、先述のとおり、Cuを材料とするボンディングワイヤに関しては、FAB形状が不良であり、ひいては1st接合部の圧着形状に劣る場合があり、高密度実装で要求される狭ピッチ接続への対応が十分でない。

[0018] これに対し、Cu又はCu合金からなる芯材と、該芯材の表面に形成されたPtとNiの合計濃度が90原子%以上である被覆層とを含み、AESにより深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、被覆層の厚さが10nm以上130nm以下であり、被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子%）とNiの濃度 C_{Ni} （原子%）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値をXとしたとき、該平均値Xが0.3以上20.0以下であり、被覆層のうち該平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上であるボンディングワイヤによれば、良好なFAB形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすことを本発明者らは見出した。

[0019] 上記の構成を有する本発明のボンディングワイヤが、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、すなわち接合部に残留歪みが存在する場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすことができる理由に関しては、以下のとおり推察される。本発明のボンディングワイヤを用いてボールを形成すると、ボール外周に内部よりもPtとNiの濃度が高い濃化層が形成され、1st接合の際にワイヤのボール部とAl電極との接合界面にPtとNiが濃化する。斯かる接合部を高温高湿環境に曝すと、CuとAlの金属間化合物の表面にNiが安定な酸化膜を形成し腐食の進展を抑制できるものと推察する。ここで、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすにあたっては、Niと共にPtが所定の濃度で存在す

ることが重要であることを確認しているが、これは、P t が触媒として働き N i が安定な酸化膜を形成するのを促進するためと考えられる。

[0020] ここで、N i と共に P t が所定の濃度で存在する場合であっても、不良な F A B 形状に帰着し、ひいては 1 s t 接合部の圧着形状に劣る場合があるが、N i と共に P t が所定の分布で存在する本発明のボンディングワイヤによれば、良好な F A B 形状をもたらすことができ、ひいては良好な 1 s t 接合部の圧着形状もたらし、高密度実装で要求される狭ピッチ接続に好適に対応し得ることも見出した。

[0021] <C u 又は C u 合金からなる芯材>

本発明のワイヤは、C u 又は C u 合金からなる芯材（以下、単に「C u 芯材」ともいう。）を含む。

[0022] C u 芯材は、C u 又は C u 合金からなる限りにおいて特に限定されず、ボンディングワイヤとして知られている従来の P d 被覆 C u ワイヤを構成する公知の C u 芯材を用いてよい。

[0023] 本発明において、C u 芯材中の C u の濃度は、例えば、C u 芯材の中心（軸芯部）において、97 原子%以上、97.5 原子%以上、98 原子%以上、98.5 原子%以上、99 原子%以上、99.5 原子%以上、99.8 原子%以上、99.9 原子%以上、99.95 原子%以上又は 99.99 原子%以上などとし得る。

[0024] C u 芯材は、例えば、後述の第 1 添加元素、第 2 添加元素、第 3 添加元素、第 4 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] 一実施形態において、C u 芯材は、C u と不可避不純物からなる。他の一実施形態において、C u 芯材は、C u と、後述の第 1 添加元素、第 2 添加元素、第 3 添加元素、第 4 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、C u 芯材は、後述の被覆層を構成する元素を含有してよい。

[0026] <被覆層>

本発明のワイヤは、Cu芯材の表面に形成されたPtとNiの合計濃度が90原子%以上である被覆層（以下、単に「被覆層」ともいう。）を含む。

[0027] 良好なFAB形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすために、本発明のワイヤにおける被覆層は、AESにより深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイル（以下、単に「ワイヤの深さ方向の濃度プロファイル」ともいう。）において、以下の（1）乃至（3）の条件を全て満たすことが重要である。

（1）該被覆層の厚さが10nm以上130nm以下

（2）被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子%）とNiの濃度 C_{Ni} （原子%）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値をXとしたとき、該平均値Xが0.3以上20.0以下

（3）被覆層のうち該平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上

[0028] 本発明において、AESによりワイヤの深さ方向の濃度プロファイルを取得するにあたって、その深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定する。一般にAESによる深さ方向の分析はサブナノオーダーの測定間隔で分析することが可能であるので、本発明が対象とする被覆層の厚さとの関係において測定点を50点以上とすることは比較的容易である。仮に、測定した結果、測定点数が50点に満たない場合には、スパッタ速度を下げたりスパッタ時間を短くしたりする等して測定点数が50点以上になるようにして、再度測定を行う。これにより、AESにより深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定し、ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルを得ることができる。被覆層の厚さにもよるが、被覆層に関する測定点の総数が70点（より好ましくは100点）となるように、AESの測定点間隔を決定することがより好適である。したがって、好適な一実施形態において、本発明のワイヤにおける被覆層は、AESにより深さ

方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、上記（1）乃至（3）の条件を全て満たす。

[0029] ー条件（1）ー

条件（1）は、被覆層の厚さに関する。条件（2）、（3）との組み合わせにおいて条件（1）を満たす被覆層を含むことにより、本発明のワイヤは、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすことができ、さらには、良好なFAB形状をもたらし、ひいては良好な1st接合部の圧着形状をもたらすことができる。

[0030] 条件（1）について、被覆層の厚さ（ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルに基づく算出方法は後述する。）は、良好な1st接合部の高温高湿信頼性を実現する観点から、10nm以上であり、好ましくは12nm以上、14nm以上、15nm以上、16nm以上、18nm以上又は20nm以上、より好ましくは25nm以上、30nm以上、40nm以上又は50nm以上、さらに好ましくは60nm以上、70nm以上、80nm以上又は90nm以上である。被覆層の厚さが10nm未満であると、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合に1st接合部の高温高湿信頼性が劣化する傾向にあり、また、高温環境下での1st接合部の接合信頼性（以下、「1st接合部の高温信頼性」ともいう。）が悪化する傾向にある。被覆層の厚さの上限は、良好な1st接合部の高温高湿信頼性および良好なFAB形状を実現する観点から、130nm以下であり、好ましくは125nm以下、120nm以下、115nm以下又は110nm以下である。被覆層の厚さが130nm超であると、FAB形成時に異形や溶融不良が発生しFAB形状が悪化すると共に、1st接合部の圧着形状が悪化する傾向にある。

[0031] ー条件（2）ー

条件（2）は、上記の被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子％）とNiの濃度 C_{Ni} （原子％）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値Xに関する。条件（

1)、(3)に加えて条件(2)を満たす被覆層を含むことにより、本発明のワイヤは、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性をもたらすことができる。

[0032] 条件(2)について、平均値Xは、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性を実現する観点から、20.0以下であり、好ましくは18.0以下、より好ましくは16.0以下、15.0以下、14.0以下、12.0以下又は10.0以下、さらに好ましくは8.0以下、6.0以下、5.0以下、4.0以下、3.0以下又は3.0未満である。比 C_{Pt}/C_{Ni} が20.0超であると、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合に1 s t 接合部の高温高湿信頼性が劣化する傾向にある。また、平均値Xの下限は、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性を実現する観点から、0.3以上であり、好ましくは0.4以上、0.5以上、0.6以上、0.8以上、1.0以上又は1.0超である。平均値Xが0.3未満であると、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合に1 s t 接合部の高温高湿信頼性が劣化する傾向にある。

[0033] ー条件(3)ー

条件(3)は、被覆層のうち上記平均値Xからの絶対偏差が $0.3X$ 以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上であることに関する。条件(1)、(2)との組み合わせにおいて条件(3)を満たす被覆層を含むことにより、本発明のワイヤは、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性をもたらすと共に、良好なFAB形状をもたらす、ひいては良好な1 s t 接合部の圧着形状をもたらすことができる。

[0034] 条件(3)は、条件(2)と共に、被覆層の厚さ方向において、被覆層が、PtとNiを所定比率にて含有するPtNi合金をPt/Ni比率の変動を抑えつつ高濃度に含むことを表す。封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性を実現すると共に、よりいっそう良好なFAB形状を実現する観点から、被覆層のうち

平均値 X からの絶対偏差が所定範囲（好適範囲は先述のとおり）にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し好ましくは55%以上又は60%以上、より好ましくは65%以上、70%以上又は75%以上、さらに好ましくは80%以上である。

[0035] 良好な1st接合部の高温高湿信頼性を実現すると共に、とりわけ良好なFAB形状を実現する観点から、ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、被覆層の全測定点について、Ptの濃度 C_{Pt} （原子%）又はNiの濃度 C_{Ni} （原子%）を最小二乗法により直線近似した際に、被覆層の深さ（厚さ）範囲における該近似直線の最大値と最小値の差は、好ましくは20原子%以下、より好ましくは18原子%以下、16原子%以下又は15原子%以下、さらに好ましくは14原子%以下、12原子%以下、10原子%以下、8原子%以下、6原子%以下又は5原子%以下である。中でも、平均値 X が1未満である場合、被覆層の全測定点について C_{Ni} （原子%）を最小二乗法により直線近似した際に、被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差が上記範囲にあることが好適であり、また、平均値 X が1以上である場合、被覆層の全測定点について C_{Pt} （原子%）を最小二乗法により直線近似した際に、被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差が上記範囲にあることが好適である。

[0036] 条件（1）における被覆層の厚さ、条件（2）、（3）における平均値 X や該平均値 X からの絶対偏差、該絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数、被覆層の測定点の総数に占める絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数の割合は、ワイヤの表面からArスパッタリングにより深さ方向（ワイヤ中心へ方向）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確認・決定することができる。詳細には、1）ワイヤ表面の組成分析を行った後、2）Arによるスパッタリングと3）スパッタリング後の表面の組成分析とを繰り返すことで、ワイヤの表面から深さ（中心）方向の各元素の濃度変化（所謂、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に基づき確認・決定することができる。本発明において、深さ方向の濃度

プロファイルを取得するにあたって、深さの単位は SiO_2 換算とした。

[0037] 1) ワイヤ表面の組成分析や3) スパッタリング後の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。図1を参照してさらに説明する。図1は、ワイヤ1の平面視概略図であり、ワイヤ軸の方向（ワイヤの長さ方向）が図1の垂直方向（上下方向）に、また、ワイヤ軸に垂直な方向（ワイヤの太さ方向）が図1の水平方向（左右方向）にそれぞれ対応するように示している。図1には、ワイヤ1との関係において測定面2を示すが、測定面2の幅は、ワイヤ軸に垂直な方向における測定面の寸法 w_a であり、測定面2の長さは、ワイヤ軸の方向における測定面の寸法 l_a である。

[0038] 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5%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。図1において、ワイヤの幅は符号 W で示し、ワイヤの幅の中心を一点鎖線 X で示している。したがって、測定面2は、その幅の中心がワイヤの幅の中心である一点鎖線 X と一致するように位置決めし、かつ、測定面の幅 w_a がワイヤ直径（ワイヤの幅 W と同値）の5%以上15%以下、すなわち $0.05W$ 以上 $0.15W$ 以下となるように決定する。また、測定面の長さ l_a は、 $l_a = 5w_a$ の関係を満たす。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、良好なFAB形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性を実現するのに好適な、条件(1)～(3)の成否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、その算術平均値を採用することが好適である。

[0039] 上記の条件(1)における被覆層の厚さ、条件(2)、(3)における平

均値 X や該平均値 X からの絶対偏差、該絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数、被覆層の測定点の総数に占める絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数の割合は、後述の「オージェ電子分光法（AES）による被覆層の厚さ分析」欄に記載の条件にて測定した結果に基づくものである。

[0040] 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、 P_t と N_i が一定比率にて高濃度に共存する傾向、すなわち P_t と N_i の合計濃度が90原子%以上である領域（被覆層）が存在し、該被覆層の全測定点に関する P_t の濃度 C_{Pt} （原子%）と N_i の濃度 C_{Ni} （原子%）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値を X としたとき、該平均値 X からの絶対偏差が $0.3X$ 以内にある測定点が一定数存在する傾向にある。さらに深さ方向に進むと、 P_t と N_i の濃度が低下すると共に C_u の濃度が上昇する傾向にある。このような深さ方向の濃度プロファイルにおいて、 P_t の濃度 C_{Pt} （原子%）と N_i の濃度 C_{Ni} （原子%）に着目して、 P_t と N_i の合計濃度が90原子%以上である領域の厚さや測定点の総数から被覆層の厚さや被覆層の測定点の総数を求めることができる。また、該被覆層の全測定点に関する比 C_{Pt}/C_{Ni} を算術平均することで平均値 X を、被覆層の全測定点に関し該平均値 X からの絶対偏差を確認することで該平均値 X からの絶対偏差が $0.3X$ 以内にある測定点の総数を求めることができる。なお、後述のとおり、ワイヤの表面に A_u をさらに含有する場合、深さ方向の濃度プロファイルにおいて、ワイヤの表面からごく浅い位置にかけて、 A_u 濃度が低下すると共に P_t と N_i の濃度が上昇する傾向にある。斯かる場合も、 P_t の濃度 C_{Pt} （原子%）と N_i の濃度 C_{Ni} （原子%）に着目して、その合計が90原子%以上である領域の厚さや測定点の総数から被覆層の厚さや被覆層の測定点の総数を求めることができ、該被覆層の全測定点に関する比 C_{Pt}/C_{Ni} を算術平均することで平均値 X を、被覆層の全測定点に関し該平均値 X からの絶対偏差を確認することで該平均値 X からの絶対偏差が $0.3X$ 以内にある測定点の総数を求めることができる。

[0041] ー被覆層に係る他の好適な条件ー

本発明のワイヤにおいて、被覆層は、上記の条件（１）乃至（３）の全てを満たすことに加えて、ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルに基づいて、以下の条件（４）及び（５）の一方又は両方を満たすことがより好適である。

（４）被覆層の全測定点に関する P_t の濃度 C_{P_t} （原子％）の平均値を X_{P_t} としたとき、被覆層のうち該平均値 X_{P_t} からの絶対偏差が $0.1 X_{P_t}$ 以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し 50％以上

（５）被覆層の全測定点に関する N_i の濃度 C_{N_i} （原子％）の平均値を X_{N_i} としたとき、被覆層のうち該平均値 X_{N_i} からの絶対偏差が $0.1 X_{N_i}$ 以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し 50％以上

なお、条件（４）、（５）において、被覆層、その厚さや測定点の総数に関しては、条件（１）乃至（３）に関連して上述したとおりである。条件（１）乃至（３）に加えて、条件（４）及び（５）の一方又は両方を満たす被覆層を含む場合、本発明のワイヤは、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、一際良好な $1s_t$ 接合部の高温高湿信頼性をもたせると共に一際良好な FAB 形状を実現することができる。

[0042] 被覆層は、例えば、後述の第１添加元素、第２添加元素、第３添加元素、第４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。

[0043] 本発明のワイヤは、その表面に Au をさらに含有していてもよい。 Au をさらに含有することにより、 $2nd$ 接合部における接合性をさらに改善することができる。

[0044] $2nd$ 接合部における接合性をさらに改善する観点から、本発明のワイヤの表面における Au の濃度は、好ましくは 10 原子％以上、より好ましくは 15 原子％以上、さらに好ましくは 20 原子％以上、22 原子％以上、24 原子％以上、25 原子％以上、26 原子％以上、28 原子％以上又は 30 原子％以上である。本発明のワイヤの表面における Au の濃度の上限は、良好

なF A B形状を実現する観点、良好な1 s t 接合部の圧着形状を実現する観点から、好ましくは90原子%以下、より好ましくは85原子%以下、さらに好ましくは80原子%以下、78原子%以下、76原子%以下、75原子%以下、74原子%以下、72原子%以下又は70原子%以下である。したがって好適な一実施形態において、本発明のワイヤの表面におけるAuの濃度は10原子%以上90原子%以下である。

[0045] 本発明において、表面におけるAuの濃度は、ワイヤ表面を測定面として、オージェ電子分光法(AES)によりワイヤ表面の組成分析を行って求めることができる。ここで、表面におけるAuの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。

[0046] ワイヤ表面の組成分析は、深さ方向の濃度プロファイルを取得する方法に関連して説明した、1)ワイヤ表面の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、ワイヤ表面についてオージェ電子分光法(AES)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。

[0047] 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5%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、2nd接合部における接合性をさらに改善するのに好適な、ワイヤ表面におけるAuの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、その算術平均値を採用することが好適である。

[0048] 上記の表面におけるAuの濃度は、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。

[0049] ワイヤの表面にAuを含有する場合、ワイヤの深さ方向の濃度プロファイ

ルにおいてAuの最大濃度を示す位置は、Ptの最大濃度を示す位置やNiの最大濃度を示す位置よりもワイヤの表面側にある。

[0050] 本発明のワイヤにおいて、Cu芯材と被覆層との境界は、上記のワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、PtとNiの合計濃度を基準に判定する。PtとNiの合計濃度が90原子%の位置を境界と判定し、PtとNiの合計濃度が90原子%未満の領域をCu芯材、90原子%以上の領域を被覆層とする。本発明においてCu芯材と被覆層との境界は必ずしも結晶粒界である必要はない。被覆層の厚さは、ワイヤ表面からワイヤ中心側に向けて濃度プロファイルを確認し、PtとNiの合計濃度が90原子%にはじめて達した深さ位置Z1から、PtとNiの合計濃度が90原子%未満にはじめて低下した深さ位置Z2（但し $Z2 > Z1$ ）までの距離として求めることができる。

[0051] 本発明のワイヤは、上記の条件（1）乃至（3）を満たす被覆層を含むことを特徴とするが、条件（2）及び（3）に係る平均値Xや該平均値Xからの絶対偏差、該絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数、被覆層の測定点の総数に占める絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数の割合は、上記の境界の判定法により決定した被覆層について、Ptの濃度 C_{Pt} （原子%）とNiの濃度 C_{Ni} （原子%）に着目して決定する。

[0052] 一実施形態において、被覆層は、Pt及びNiと；不可避不純物からなる。他の一実施形態において、被覆層は、Pt及びNiと；Au、後述の第1添加元素、第2添加元素、第3添加元素、第4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、被覆層は、先述のCu芯材を構成する元素を含有してよい。

[0053] 本発明のワイヤは、B、P及びMg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。本発明のワイヤが第1添加元素を含有する場合、ワイヤ全体に対する第1添加元素の総計濃度は1質量ppm以上であることが好ましい。これにより、より良好な1st接合部の圧着形状をもたらす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添加元素の総計濃度は2質量ppm以上であることがより好ましく、3質量ppm以上、5質量ppm以上、8質量ppm以上、10質量ppm以上、15質量ppm以上又は20質量ppm以上であることがさらに好ましい。ワイヤの硬質化を抑え1st接合時のチップ損傷を低減する観点から、第1添加元素の総計濃度は100質量ppm以下であることが好ましく、90質量ppm以下、80質量ppm以下、70質量ppm以下、60質量ppm以下又は50質量ppm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添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である。

[0054] 本発明のワイヤが第1添加元素を含有する場合、第1添加元素は、Cu芯材及び被覆層のいずれか一方に含有されていてもよく、その両方に含有されていてもよい。本発明のワイヤがその表面にAuを含有する場合は、第1添加元素は、該Auと共に含有されていてもよい。よりいっそう良好な1st接合部の圧着形状をもたらすボンディングワイヤを実現する観点から、第1添加元素は、Cu芯材中に含有されていることが好適である。

[0055] 本発明のワイヤは、Se、Te、As及びSbからなる群から選択される1種以上の元素（「第2添加元素」）をさらに含有してよい。本発明のワイヤが第2添加元素を含有する場合、ワイヤ全体に対する第2添加元素の総計濃度は1質量ppm以上であることが好ましい。これにより、高温高湿環境下での1st接合部の接合信頼性をよりいっそう改善することができる。ワイヤ全体に対する第2添加元素の総計濃度は2質量ppm以上であることがより好ましく、3質量ppm以上、5質量ppm以上、8質量ppm以上、10質量ppm以上、15質量ppm以上又は20質量ppm以上であることがさらに好ましい。良好なFAB形状を実現する観点、良好な1st接合部の圧着形状を実現する観点から、第2添加元素の総計濃度は100質量ppm以下であることが好ましく、90質量ppm以下、80質量ppm以下、70質量ppm以下、60質量ppm以下又は50質量ppm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2添加元素を含み、ワイヤ全体に対する第2添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である。

[0056] 本発明のワイヤが第2添加元素を含有する場合、第2添加元素は、Cu芯材及び被覆層のいずれか一方に含有されていてもよく、その両方に含有されていてもよい。よりいっそう良好な高温高湿環境下での1st接合部の接合信頼性をもたらすボンディングワイヤを実現する観点から、第2添加元素は、被覆層中に含有されていることが好適である。本発明のワイヤがその表面にAuを含有する場合は、第2添加元素は、該Auと共に含有されていてもよい。

[0057] 本発明のワイヤは、Ga及びGeからなる群から選択される1種以上の元素（「第3添加元素」）をさらに含有してよい。本発明のワイヤが第3添加元素を含有する場合、ワイヤ全体に対する第3添加元素の総計濃度は0.011質量%以上であることが好ましい。これにより、1st接合部の高温信頼性を改善することができる。ワイヤ全体に対する第3添加元素の総計濃度は0.015質量%以上であることがより好ましく、0.02質量%以上、0.025質量%以上、0.03質量%以上、0.031質量%以上、0.035質量%以上、0.04質量%以上、0.05質量%以上、0.07質量%以上、0.09質量%以上、0.1質量%以上、0.12質量%以上、0.14質量%以上、0.15質量%以上又は0.2質量%以上であることがさらに好ましい。良好なFAB形状を実現する観点、良好な1st接合部の圧着形状を実現する観点、良好な2nd接合部における接合性を実現する観点から、第3添加元素の総計濃度は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3添加元素を含み、ワイヤ全体に対する第3添加元素の総計濃度が0.011質量%以上1.5質量%以下である。

[0058] 本発明のワイヤが第3添加元素を含有する場合、第3添加元素は、Cu芯

材及び被覆層のいずれか一方に含有されていてもよく、その両方に含有されていてもよい。本発明のワイヤがその表面にAuを含有する場合は、第3添加元素は、該Auと共に含有されていてもよい。

[0059] 本発明のワイヤは、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Sn、Ta、W、Os、Ir、Pd、Au、Biからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4添加元素」という。）をさらに含有してよい。本発明のワイヤが第4添加元素を含有する場合、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度は5質量ppm以上であることが好ましい。これにより、被覆層が剥離することを抑制し伸線加工時の断線を抑制することができる。これは、第4添加元素を所定濃度含むことにより、被覆層（PtNi合金層）の形成後、伸線・熱処理の段階で被覆層とCu芯材との界面に第4添加元素が拡散・偏析するなどして、被覆層とCu芯材との密着性を向上させるためと推察される。

[0060] 伸線加工時の断線を抑える観点から、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度は、好ましくは5質量ppm以上、より好ましくは10質量ppm以上、15質量ppm以上、20質量ppm以上又は25質量ppm以上、さらに好ましくは30質量ppm以上、40質量ppm以上、50質量ppm以上、60質量ppm以上、80質量ppm以上又は100質量ppm以上である。

[0061] 伸線加工時の断線を抑える観点から、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度は好ましくは450質量ppm以下であり、440質量ppm以下、420質量ppm以下、400質量ppm以下などとしてもよい。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4添加元素を含み、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度が5質量ppm以上450質量ppm以下である。なお、第4添加元素として、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Znからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4a添加元素」ともいう。）を含む場合、該第4a添加元素の総計濃度の上限は、200質量ppm以下、180質量ppm以下、160質量ppm以下、

又は150質量ppm以下などとしてよい。第4添加元素として、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Snからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4b添加元素」ともいう。）を含む場合、該第4b添加元素の総計濃度の上限は、350質量ppm以下、340質量ppm以下、320質量ppm以下、又は300質量ppm以下などとしてよい。

[0062] 先述のとおり、本発明のワイヤは、その表面にAuを含有してもよい。本発明のワイヤが、その表面にAuを含有する場合、第4添加元素としてのAuの濃度は、ワイヤの断面を露出させ、そのCu芯材部分を電子線マイクロアナライザ（EPMA）又は二次イオン質量分析（SIMS）により測定して求めた、芯材部分における濃度を用いる。すなわち、本発明のワイヤが、その表面にAuをさらに含有する場合、「ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度」は「ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度（但しAuの濃度は芯材部分における濃度を用いる。）」と読み替えて適用する。

[0063] 本発明のワイヤが第4添加元素を含有する場合、第4添加元素は、Cu芯材及び被覆層のいずれか一方に含有されていてもよく、その両方に含有されていてもよい。伸線加工時の断線をよりいっそう抑える観点から、第4添加元素は、Cu芯材中に含有されていることが好適である。

[0064] ワイヤ中の第1添加元素、第2添加元素、第3添加元素、第4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。

[0065] 本発明のワイヤにおいて、Cu、Ni、Ptの総計濃度は、例えば、98.5質量%以上、98.6質量%以上、98.7質量%以上又は98.8質量%以上などとし得る。

[0066] 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80 μ m以下、70 μ m以下又は50 μ m以下などとし得る。

[0067] 本発明のワイヤは、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合で

あっても、良好な1 s t 接合部の高温高湿信頼性をもたらすことができ、さらには、良好なF A B形状をもたらし、ひいては良好な1 s t 接合部の圧着形状をもたらすことができる。したがって本発明のボンディングワイヤは、半導体チップ上の電極と、リードフレームや基板上の電極といった外部端子との間を接続して半導体装置を製造するために好適に使用することができる。

[0068] <ワイヤの製造方法>

本発明の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。

[0069] 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。

[0070] 上述の第1添加元素、第2添加元素、第3添加元素、第4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、被覆層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、被覆層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。ドーパントを被覆層中に含有させる方法では、被覆層を形成する際のPt、Niめっき浴等（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被覆層の表面に被着させる方法では、Cu芯材の表面あるいは被覆層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。

[0071] 大径のインゴットを鍛造、圧延、伸線を行って直径約0.7～2.0 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。

[0072] Cu芯材の表面に被覆層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、中間ワイヤ表面に被覆層を形成してよい。被覆層はまた、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芯材表面に被覆層を形成してよい。被覆層は、例えば、Cu芯材の表面にPtとNiを所定比率で含有するPtNi合金層を設けることにより形成してよく、Cu芯材との密着性に優れる被覆層を形成する観点から、Cu芯材の表面に導電性金属のストライクめっきを施した後で、PtとNiを所定比率で含有するPtNi合金層を設けることにより形成してもよい。また、PtとNiを所定比率で含有するPtNi合金層を形成した後、Pt及びNiの1種以上を含む層（例えば、Pt層、Ni層、PtNi合金層）をさらに設けてもよい。

[0073] 表面にAuを含有するワイヤを形成する場合、上述したものと同様の手法により、被覆層の表面にAu層を設けることにより形成することができる。

[0074] 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。表面にAuを含有するワイヤを形成する場合、熱処理によりワイヤ表面のAu層と下層のPtNi合金層（設ける場合にはPt層、Ni層、PtNi合金層）との間で構成元素を互いに拡散させて、ワイヤ表面におけるAuの濃度が上記好適範囲となるように、ワイヤの表面にAuを含む領域（例えば、AuとPtとNiを含む合金領域）を形成することができる。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。なお、被覆層の表面にAu層を設けた後に熱処理によってAuを含む領域を形成する方法に代えて、最初か

らAuとPt、Niの1種以上とを含有する合金領域を被着する方法を採用してもよい。

[0075] [半導体装置の製造方法]

本発明のボンディングワイヤを用いて、半導体チップ上の電極と、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。

[0076] 一実施形態において、本発明の半導体装置は、回路基板、半導体チップ、及び回路基板と半導体チップ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。

[0077] 本発明の半導体装置において、回路基板及び半導体チップは特に限定されず、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チップを用いてよい。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2020-150116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チップとを含む半導体装置の構成としてよい。

[0078] 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

[0079] 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。

[0080] (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、第2添加元素、第3添加元素、第4添加元素を添加する場合、これらは純度が99質量%以上で残部が不可避不純物から構成されるもの、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。

[0081] 芯材のCu合金は、まず、黒鉛るつぽに原料を装填し、高周波炉を用いて、N₂ガスやArガス等の不活性雰囲気で1090～1500℃まで加熱して溶解した後、連続鑄造により直径3～6mmのインゴットを製造した。次に、得られたインゴットに対して、引抜加工を行って直径0.7～2.0mmの中間ワイヤを作製し、更に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、被覆する線径までワイヤを細径化した。伸線加工では、市販の潤滑液を用い、伸線速度は20～150m/分とした。被覆層の形成は、ワイヤ表面の酸化膜を除去するために、塩酸または硫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PtとNiを所定比率にて含有するPtNi合金層を形成した。さらに、一部のワイヤ（実施例No. 3、7、8、15、16、47、48）はPtNi合金層の上にAu層を設けた。PtNi合金層、Au層の形成には電解めっき法を用いた。Pt-Niめっき液、Auめっき液は市販のめっき液を準備し、適宜調製して用いた。

[0082] その後、さらに伸線加工等を行い、最終線径であるφ18μm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秒間の中間熱処理を1～2回行った。中間熱処理を行う場合、ワイヤを連続的に掃引し、N₂ガスもしくはArガスを流しながら行った。最終線径まで加工後、ワイヤを連続的に掃引し、N₂もしくはArガスを流しながら調質熱処理を行った。調質熱処理の熱処理温度は200～600℃とし、ワイヤの送り速度は20～200m/分、熱処理時間は0.2～1.0秒とした。被覆層が薄い場合には熱処理温度を低め、ワイヤの送り速度を速めに設定し、被覆層が厚い場合には熱処理温度を高め、ワイヤの送り速度を遅めに設定した。

[0083] (試験・評価方法)

以下、試験・評価方法について説明する。

[0084] [オージェ電子分光法(AES)によるワイヤ表面の組成分析]

ワイヤの表面にAuを含有するワイヤについて、ワイヤ表面におけるAu

の濃度は、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5%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Au濃度（原子%）を求めた。

なお、AESによる組成分析は、ワイヤ軸方向に互いに1mm以上離間した3箇所の測定面について実施し、その算術平均値を採用した。表面におけるAuの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。

[0085] [オージェ電子分光法（AES）による被覆層の厚さ分析]

被覆層の厚さ分析にはAESによる深さ分析を用いた。AESによる深さ分析とは組成分析とスパッタリングを交互に行うことで深さ方向の組成の変化を分析するものであり、ワイヤ表面から深さ（中心）方向の各元素の濃度変化（所謂、深さ方向の濃度プロファイル）を得ることができる。

具体的には、AESにより、1）ワイヤ表面の組成分析を行った後、さらに2）Arによるスパッタリングと3）スパッタリング後の表面の組成分析と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。2）のスパッタリングは、Ar⁺イオン、加速電圧2kVにて行った。また、1）、3）の表面の組成分析において、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。AESにより、深さ方向の濃度プロファイルを取得するにあたり、深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定した。

なお、深さ方向の濃度プロファイルの取得は、ワイヤ軸方向に互いに1mm

m以上離間した3箇所の測定面について実施した。

[0086] ー被覆層の厚さと該被覆層の測定点の総数ー

取得した深さ方向の濃度プロファイルにおいて、ワイヤ表面からワイヤ中心側に向けて濃度プロファイルを確認し、Ptの濃度 C_{Pt} （原子％）とNiの濃度 C_{Ni} （原子％）の合計が90原子％にはじめて達した深さ位置Z1から、 C_{Pt} と C_{Ni} の合計が90原子％未満にはじめて低下した深さ位置Z2（但し $Z2 > Z1$ ）までの距離を、測定された被覆層の厚さとして求めた。また、深さ位置Z1から深さ位置Z2までの測定点の総数を、被覆層の測定点の総数として求めた。被覆層の厚さは、3箇所の測定面について取得した数値の算術平均値を採用した。また、実施例のワイヤに関して、被覆層の測定点の総数は50点～100点あることを確認した。

なお、AES分析にて測定される深さは、スパッタリング速度と時間の積として求められる。一般にスパッタリング速度は標準試料である SiO_2 を使用して測定されるため、AESで分析された深さは SiO_2 換算値となる。つまり被覆層の厚さの単位には SiO_2 換算値を用いた。

[0087] ー平均値Xと該平均値Xからの絶対偏差が所定範囲にある測定点の総数ー

取得した深さ方向の濃度プロファイルにおいて、被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子％）とNiの濃度 C_{Ni} （原子％）の比 C_{Pt}/C_{Ni} を算術平均して、平均値Xを求めた。次いで、被覆層の全測定点の比 C_{Pt}/C_{Ni} について平均値Xからの絶対偏差を算出し、平均値Xからの絶対偏差が $0.3X$ 以内にある測定点の総数を求めた。平均値Xは、3箇所の測定面について取得した数値の算術平均値を採用した。

[0088] ー C_{Pt} 又は C_{Ni} の近似直線の傾き（被覆層の深さ範囲における最大値と最小値の差）ー

被覆層の全測定点について C_{Pt} （原子％）又は C_{Ni} （原子％）を最小二乗法により直線近似し、被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差（原子％）を求めた。ここで、平均値Xが1未満であった場合、被覆層の全測定点について C_{Ni} （原子％）を最小二乗法により直線近似し、平均

値 X が1以上であった場合、被覆層の全測定点について C_{Pt} （原子%）を最小二乗法により直線近似した。被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差（原子%）は、3箇所での測定面について取得した数値の算術平均値を採用した。

[0089] 〔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、第3添加元素、第4添加元素の含有量は、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、ICP質量分析装置を用いて分析し、ワイヤ全体に含まれる元素の濃度として検出した。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・テクノロジーズ（株）製「Agilent 7700x ICP-MS」）を用いた。なお、その表面にAuをさらに含有するワイヤに関しては、第4添加元素としてのAuの濃度は、ワイヤの断面を露出させ、そのCu芯材部分をEPMA又はSIMSにより測定して求めた。

[0090] 〔FAB形状〕

FAB形状の評価は、リードフレームに、市販のワイヤボンダーを用いてFABを作製し、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した（評価数 $N=100$ ）。なお、FABは電流値 $30\sim75\text{mA}$ 、EFOのギャップを $762\mu\text{m}$ 、テイルの長さを $254\mu\text{m}$ に設定し、 $\text{N}_2+5\%\text{H}_2$ ガスを流量 $0.4\sim0.6\text{L/分}$ で流しながら形成し、その径はワイヤ線径に対して $1.5\sim1.9$ 倍の範囲とした。FAB形状の判定は、真球状のものを良好と判定し、偏芯、異形、溶融不良があれば不良と判定した。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0091] 評価基準：

- ◎：不良5箇所以下
- ：不良6～10箇所（実用上問題なし）
- ×：不良11箇所以上

[0092] 〔1st接合部の高温高湿信頼性〕

1 s t 接合部の高温高湿信頼性は、高温高湿試験（H A S T ; Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test）により評価した。

[0093] 詳細には、一般的な金属フレーム上のシリコン基板に厚さ 1.5 μ m の Al - 1.0 質量% Si - 0.5 質量% Cu の合金を成膜して設けた電極に、市販のワイヤボンダーを用いてボール接合したサンプルを、市販の液状封止樹脂材料により封止し、100℃で1時間、次いで150℃で3時間の条件でポストキュアを行い、1 s t 接合部の信頼性試験用のサンプルを作製した。ボールは上記「F A B 形状」欄に記載の条件で形成した。作製した 1 s t 接合部の信頼性試験用のサンプルを、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、3 V のバイアスをかけた。1 s t 接合部の接合寿命は、48 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 / 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ボール接合部の 50 箇所の測定値の算術平均値を用いた。シエア試験は、酸処理によって樹脂を除去して、ボール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。

[0094] 評価基準：

◎：接合寿命 192 時間以上

○：接合寿命 96 時間以上 192 時間未満

×：接合寿命 96 時間未満

[0095] 「圧着形状」

1 s t 接合部の圧着形状（ボールのつぶれ形状）の評価は、市販のワイヤボンダーを用いて、上記「F A B 形状」欄に記載の条件でボールを形成し、それを Si 基板に厚さ 1.5 μ m の Al - 1.0 質量% Si - 0.5 質量% Cu の合金を成膜して設けた電極に圧着接合し、直上から光学顕微鏡で観察した（評価数 N = 100）。ボールのつぶれ形状の判定は、つぶれ形状が真円に近い場合に良好と判定し、楕円形や花卉状の形状であれば不良と判定した。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0096] 評価基準：

◎：不良 1 箇所以下

○：不良 2～5 箇所（実用上問題なし）

×：不良 6 箇所以上

[0097] [2 n d 接合部の接合性]

2 n d 接合部の接合性は、2 n d 接合ウィンドウ試験により評価した。2 n d 接合ウィンドウ試験は、横軸に 2 n d 接合時の超音波電流を 4 0 m A から 9 0 m A まで 1 0 m A ごとに 6 段階設け、縦軸に 2 n d 接合時の荷重を 3 0 g f から 8 0 g f まで 1 0 g f ごとに 6 段階設け、全 3 6 の 2 n d 接合条件につき接合可能な条件の数を求める試験である。

[0098] [表1]

(表1)

		超音波電流(mA)					
		40	50	60	70	80	90
荷 重 (g f)	30						
	40						
	50						
	60						
	70						
	80						

[0099] 本試験は、実施例及び比較例の各ワイヤについて、市販のワイヤボンダーを用いて、リードフレームのリード部分に、各条件につき 2 0 0 本ずつボンディングを行った。リードフレームには、A g めっきを施したリードフレームを用い、ステージ温度 2 0 0 ℃、N₂ + 5 % H₂ ガス 0 . 5 L / 分流通下にボンディングを行った。そして、不着やボンダの停止の問題なしに連続ボンディングできた条件の数を求め、以下の基準に従って、評価した。

[0100] 評価基準：

◎：3 3 条件以上

○：2 5 ～ 3 2 条件

×：2 4 条件以下

[0101] [伸線加工性]

最終線径 $18\ \mu\text{m}$ まで伸線加工を実施して、断線した回数を確認した。伸線の加工条件である送り速度、減面率などは前述したとおりであり、伸線したワイヤの長さは $500,000\text{m}$ であった。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0102] 評価基準：

◎：1 回以下

○：2 回

×：3 回以上

[0103] [1 s t 接合部の高温信頼性]

1 s t 接合部の高温信頼性は、高温放置試験 (H T S L : High Temperature Storage Life Test) により評価した。

[0104] 詳細には、[1 s t 接合部の高温高湿信頼性] 欄と同様の手順で作製した 1 s t 接合部の信頼性試験用のサンプルを、高温恒温機を使用し、温度 150°C の環境に暴露した。1 s t 接合部の接合寿命は、250 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 $1/2$ となる時間とした。シエア強度の値は無作為に選択したボール接合部の 50 箇所の測定値の算術平均値を用いた。高温放置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。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0105] 評価基準：

◎：接合寿命 1000 時間以上

○：接合寿命 500 時間以上 1000 時間未満

×：接合寿命 500 時間未満

[0106] 実施例及び比較例の評価結果を表 2～4 に示す。

[0107]

[表2]

No.	線径	被覆層の厚さ		平均値 ^{*)}	絶対偏差 0.3X以内 の測定点 ^{*)}	C ₉₀ 又はC ₉₀ の近似 直線の最大値と 最小値の差	表面の Au濃度	第1添加元素 (B, P, Mo)	第2添加元素 (Se, Te, As, Sb)	第3添加元素 (Ga, Ge)	第4添加元素 (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Ag, In, Sn, Ta, W, Os, Ir, Pt, Au, Bi)	FAB 形状	1st接合部の 高温導電特性	圧着 形状	2nd接合部の 導電性	1st接合部の 高温導電性	伸縮 加工性
		μm	nm			原子%	原子%										
実施例	1	18	94	11.5	63	19						③	○	○	○	○	○
	2	18	59	20.0	83	17						③	○	○	○	○	○
	3	18	109	3.0	58	14	20					③	○	○	③	○	○
	4	18	125	6.1	83	27						○	○	○	○	○	○
	5	18	59	10.1	50	6						③	○	○	○	○	○
	6	18	108	0.3	89	14						③	③	○	○	○	○
	7	18	44	3.0	84	24	35					○	○	○	○	○	○
	8	18	171	1.8	82	24	10					○	○	○	③	○	○
	9	18	21	15.7	81	17						③	○	○	○	○	○
	10	18	90	2.0	82	27						○	③	○	○	○	○
	11	18	81	19.0	76	23						○	○	○	○	○	○
	12	18	130	5.3	76	27						○	○	○	○	○	○
	13	18	87	3.0	63	26						○	○	○	○	○	○
	14	18	10	7.3	53	16						③	○	○	○	○	○
	15	18	72	15.7	74	20	90 B-1					③	○	③	○	○	○
	16	18	110	2.0	73	17	65 P-32					③	③	○	③	○	○
	17	18	29	13.3	65	24	B-35, Mg-45					○	○	○	○	○	○
	18	18	47	11.5	73	10		Se-82				③	③	○	○	○	○
	19	18	122	13.3	72	5		Te-12				③	③	○	○	○	○
	20	18	120	7.3	78	11		As-1				③	③	○	○	○	○
	21	18	84	10.1	84	6		Se-33, Sb-34				③	③	○	○	○	○
	22	18	31	5.3	86	28				Ga-0.011		○	○	○	○	○	○
	23	18	49	2.1	89	26				Ga-0.012		○	○	○	○	○	○
	24	18	12	5.3	89	9				Ga-0.73 Ga-0.75		③	○	○	○	③	○

^{*)} 被覆層の全測定点に関するPの濃度C_P (原子%)とNの濃度C_N (原子%)の比C_P/C_Nの平均値X
^{*)} 被覆層の測定点の総数に対する、被覆層のうち平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数の割合(%)

[0108]

[表3]

No.	線径	被覆層の厚さ		平均値 ^{*)}	絶対偏差 0.3X以内 の測定点 ^{*)}	C ₉₀ 又はC ₉₅ の近似 直線の最大値と 最小値の差	表面の Au濃度	第1添加元素 (B, P, Mo)	第2添加元素 (Se, Te, As, Sb)	第3添加元素 (Ga, Ge)	第4添加元素 (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Ag, In, Sn, Ta, W, Os, Ir, Pt, Au, Bi)	FAB 形状	1st接合部の 高温導電特性	圧着 形状	2nd接合部の 接合性	1st接合部の 高温導電性	伸縮加工 性
		μm	nm			原子%	原子%										
	25	18	80	1.0	75	18					Ti-5	③	③	○	○	○	③
	26	18	44	2.6	54	10					V-20, Bi-123	③	③	○	○	○	③
	27	18	119	2.7	62	8					Cr-344	③	③	○	○	○	③
	28	18	19	6.1	76	7					Mn-9, Pt-24, Ir-33	③	③	○	○	○	③
	29	18	88	1.0	70	11					Fe-450	③	③	○	○	○	③
	30	18	21	0.4	73	9					Co-333, Zn-88	③	③	○	○	○	③
	31	18	93	0.3	66	11					Zr-13, Os-213	③	③	○	○	○	③
	32	18	29	0.2	74	18					Rh-4, Pt-22, Mo-84	③	③	○	○	○	③
	33	18	27	2.8	70	11					Rh-4, Pt-22, Mo-84	③	③	○	○	○	③
	34	18	91	2.8	79	19					Rh-27, As-38, In-57	③	③	○	○	○	③
	35	18	105	3.2	84	13					Sn-345	③	③	○	○	○	③
	36	18	30	4.0	84	23					Au-11	③	③	○	○	○	③
	37	18	45	1.0	72	20					Au-6	③	③	③	③	○	③
	38	18	15	4.6	76	21		Me-24	As-50			③	③	③	③	○	③
	39	18	32	2.7	77	4		B-95		Ga-0.005, Ge-0.007		③	③	○	③	○	③
	40	18	38	2.1	79	17		P-23, Mg-38			Fe-34	③	③	○	○	③	③
	41	18	38	1.3	85	16			Sb-100	Ge-0.03		③	③	○	○	③	③
	42	18	21	1.5	58	14			Se-21		Rh-61	③	③	○	○	③	③
	43	18	107	1.9	69	4				Ge-1.2	Me-8	③	③	○	○	③	③
	44	18	98	3.2	71	11		B-42	As-22			③	③	③	③	○	③
	45	18	19	3.5	96	14		P-3, Mn-31	Te-38		Zn-300, Zr-33	③	③	③	③	○	③
	46	18	21	3.8	99	22			As-3, Sb-5	Ge-0.03	Ge-123	③	③	③	③	○	③
	47	18	37	3.2	87	18		85, P-55		Ge-0.12	As-17	③	③	③	③	○	③
	48	18	84	5.7	86	11		78, B-5, P-45	Se-12, Te-8	Ge-0.58	Au-37	③	③	③	③	○	③

^{*)} 被覆層の全測定点に関するPの濃度C_P(原子%)とNiの濃度C_{Ni}(原子%)の比C_P/C_{Ni}の平均値X
^{**)} 被覆層の測定点の総数に対する、被覆層のうち平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数の割合(%)

[表4]

No.	線径	被覆層の厚さ	平均値 ¹⁾	絶対偏差 0.3X以内 の測定点 ²⁾	C ₉ 又はC ₉ の近似 直線の最大値と 最小値の差	表面の Au濃度	第1添加元素 (B, P, Mo)	第2添加元素 (Se, Te, As, Sb)	第3添加元素 (Ga, Ge)	第4添加元素 (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Ag, In, Sn, Ta, W, Os, Ir, Pt, Au, Bi)	FAB 形状	1st接合部の 高温高湿信頼性	圧縮 形状	2nd接合部の 接合性	1st接合部の 高温高湿信頼性	伸縮加工 性
比較例	1	18	7	2.2	55	原子%	質量ppm	質量%	質量ppm	質量ppm	○	×	○	○	×	○
	2	18	135	11.5	78	18					×	○	×	○	○	○
	3	18	59	0.2	82	15					○	○	○	○	○	○
	4	18	42	24.0	72	23					○	×	○	○	○	○
	5	18	133	3.8	48	13					×	○	×	○	○	○

¹⁾ 被覆層の全測定点に関するPdの濃度C₉(原子%)、Znの濃度C₉(原子%)の比C₉/C₉の平均値X

²⁾ 被覆層の全測定点の総数に対する、被覆層のうち平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数の割合(%)

[0110] 実施例No. 1～48のワイヤはいずれも、本件特定の条件（1）～（3）を全て満たす被覆層を備えており、良好なFAB形状をもたらすと共に、封止に伴うポストキュアを低温・短時間で行う場合であっても、良好な1st接合部の高温高湿信頼性をもたらすことを確認した。なお、実施例No.

6、16、18～21、25、27、29、31、34、41～45、47、48のワイヤは格別優れたFAB形状と1st接合部の高温高湿信頼性を併せて実現したが、少なくともこれらの実施例のワイヤに関しては、被覆層の全測定点に関する C_{Pt} （原子％）の平均値を X_{Pt} としたとき、被覆層のうち該平均値 X_{Pt} からの絶対偏差が $0.1X_{Pt}$ 以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上であること、また、被覆層の全測定点に関する C_{Ni} （原子％）の平均値を X_{Ni} としたとき、被覆層のうち該平均値 X_{Ni} からの絶対偏差が $0.1X_{Ni}$ 以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上であることを確認した。

また、表面にAuを含有する実施例No. 3、7、8、15、16、47、48のワイヤは、2nd接合部の接合性に一際優れることを確認した。

さらに、第1添加元素を総計で1質量ppm以上含有する実施例No. 15～17、38～40、44、45、47、48のワイヤは、一際良好な1st接合部の圧着形状をもたらすことを確認した。第2添加元素を総計で1質量ppm以上含有する実施例No. 18～21、38、41、42、44～48のワイヤは、一際良好な高温高湿環境下での1st接合部の接合信頼性をもたらすことを確認した。第3添加元素を総計で0.011質量%以上含有する実施例No. 22～24、39、41、43、44、46～48のワイヤは、一際良好な高温環境下での1st接合部の接合信頼性をもたらすことを確認した。第4添加元素を総計で5質量ppm以上含有する実施例No. 25～37、40、42、43、45～48のワイヤは、伸線加工性に一際優れることを確認した。

他方、比較例No. 1～5のワイヤは、本件特定の条件（1）～（3）の少なくとも1つを満たさない被覆層を備えており、FAB形状、1st接合部の高温高湿信頼性のいずれかが不良であることを確認した。

符号の説明

- [0111] 1 ボンディングワイヤ（ワイヤ）
 2 測定面

X ワイヤの幅の中心

W ワイヤの幅（ワイヤ直径）

w_a 測定面の幅

l_a 測定面の長さ

請求の範囲

- [請求項1] Cu又はCu合金からなる芯材と、該芯材の表面に形成されたPtとNiの合計濃度が90原子%以上である被覆層とを含むボンディングワイヤであって、
- オージェ電子分光法（AES）により深さ方向の測定点が、被覆層において50点以上になるように測定して得られた該ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルにおいて、
- 被覆層の厚さが10nm以上130nm以下であり、
- 被覆層の全測定点に関するPtの濃度 C_{Pt} （原子%）とNiの濃度 C_{Ni} （原子%）の比 C_{Pt}/C_{Ni} の平均値をXとしたとき、該平均値Xが0.3以上20.0以下であり、
- 被覆層のうち該平均値Xからの絶対偏差が0.3X以内にある測定点の総数が被覆層の測定点の総数に対し50%以上である、ボンディングワイヤ。
- [請求項2] 被覆層の全測定点について、 C_{Pt} 又は C_{Ni} を最小二乗法により直線近似した際に、被覆層の深さ範囲における該近似直線の最大値と最小値の差が20原子%以下である、請求項1に記載のボンディングワイヤ。
- [請求項3] ワイヤの深さ方向の濃度プロファイルが、ワイヤの表面からArスパッタリングにより深さ方向に掘り下げていきながら、下記＜条件＞にてAESにより測定して得られる、請求項1又は2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5%以上15%以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である
- [請求項4] ワイヤの表面にAuを含有する、請求項1～3の何れか1項に記載のボンディングワイヤ。
- [請求項5] ワイヤの表面におけるAuの濃度が10原子%以上90原子%以下

である、請求項4に記載のボンディングワイヤ。

[請求項6] ワイヤの表面におけるAuの濃度が、下記<条件>にてAESにより測定される、請求項5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5%以上15%以下、測定面の長さが測定面の幅の5倍である

[請求項7] B、P及びMg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添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である、請求項1～6の何れか1項に記載のボンディングワイヤ。

[請求項8] Se、Te、As及びSb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添加元素の総計濃度が1質量ppm以上100質量ppm以下である、請求項1～7の何れか1項に記載のボンディングワイヤ。

[請求項9] Ga及びGeからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第3添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第3添加元素の総計濃度が0.011質量%以上1.5質量%以下である、請求項1～8の何れか1項に記載のボンディングワイヤ。

[請求項10] Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Sn、Ta、W、Os、Ir、Pd、Au、Biからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度が5質量ppm以上450質量ppm以下である、請求項1～3、7～9の何れか1項に記載のボンディングワイヤ。

[請求項11] Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Ag、In、Sn、Ta、W、Os、Ir、Pd、Au、Biからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第4添加元素」という。）を含み、ワイヤ全体に対する第4添加元素の総計濃度

（但し A u の濃度は芯材部分における濃度を用いる。）が 5 質量 p p m 以上 4 5 0 質量 p p m 以下である、請求項 4 ～ 6 の何れか 1 項に記載のボンディングワイヤ。