

明 細 書

発明の名称：

半導体装置用 A g 合金ボンディングワイヤ及び半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置用 A g 合金ボンディングワイヤに関する。さらには、該 A g 合金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。ボンディングワイヤの材料は金（A u）が主流であったが、近年では、A u 価格の高騰を背景に A u 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。A u に代わる低コストのワイヤ素材として、例えば、銅（C u）が検討されており、C u ワイヤや、その表面に酸化抑制などのためにパラジウム（P d）被覆を設けた C u ワイヤについて報告がある。

[0003] C u ワイヤあるいは P d 被覆 C u ワイヤは、A u ワイヤに比して硬質であり電極等への接続時に問題が生じ易い傾向にあることから、より硬度の低い材料が所望されている。A u と同等以上の電気伝導性を有し、C u よりも低い硬度をもたらすことから、ワイヤ素材として銀（A g）が期待されている。

[0004] A g ワイヤに関しては、A u ワイヤに比し接合信頼性に劣る場合のあることが知見されており、接合信頼性を向上させるための技術として、A g ワイヤに P d、P t、A u 等の特定元素を添加し合金化する技術が報告されている。例えば、特許文献 1 には、P d、P t、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 ～ 1 0 重量% 含み、P d が 1 0 重量% 以下、P t が 1 0 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% 以下である A g

合金ボンディングワイヤが開示されている。また、特許文献2には、純度99.99質量%以上のAgと純度99.999質量%以上のAuと純度99.99質量%以上のPdとからなる三元合金系ボンディングワイヤであって、Auが4～10質量%、Pd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Ag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Ag-Au-Pd三元合金系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

[0005] 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

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 車載用の半導体装置においては、接合信頼性の更なる向上が求められており、例えば175℃以上の高温環境下においても良好な接合信頼性をもたらすことが求められている。ここで、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おり、より高温での信頼性が求められる車載用の半導体装置などでは、高い密着性をもたらすべく、硫黄（S）含有量の高いシランカップリング剤が添加される。

[0007] モールド樹脂中のS含有量は、近年において増加する傾向にある。従来は、S含有シランカップリング剤を含む市販のエポキシ樹脂が用いられていた。それに対して、モールド樹脂の、リードフレーム、半導体チップに対する密着性をさらに向上させる目的で、直近のエポキシ樹脂においては、S含有量が従来よりも増大している。斯かるS含有量の高いモールド樹脂を用いた系へのAgワイヤの適用を試みたところ、特許文献1、2に記載されるよう

な特定元素を含有するA g合金ワイヤにあってもなお、高温環境下では、電極との接続部、特にボール接合部の接合信頼性が低下する場合があることを見出した。特定元素の添加量をさらに高めることにより高温環境下における接合信頼性は幾分改善されるものの、その場合には、ボール接合時に半導体チップの損傷（以下、「チップダメージ」ともいう。）が生じることを見出した。

[0008] 本発明は、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において良好な接合信頼性を呈すると共に、ボール接合時のチップダメージを抑制し得るA g合金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、本発明を完成するに至った。

すなわち、本発明は以下の内容を含む。

[1] Pd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元素」という。）と、P、Cr、Zr及びMoからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第2元素」という。）とを含有し、第1元素の総計濃度を x_1 [at. %]、第2元素の総計濃度を x_2 [at. ppm]としたとき、

$$0.05 \leq x_1 \leq 3.0$$

$$15 \leq x_2 \leq 700$$

を満たし、残部はAgを含む、半導体装置用Ag合金ボンディングワイヤ。

[2] In、Ga、Cd及びSnの総計濃度が0.05 at. %未満である、[1]に記載のAg合金ボンディングワイヤ。

[3] 第1元素の総計濃度を x_1 [at. %]、第2元素の総計濃度を x_2 [at. %]、Agの濃度を x_{Ag} [at. %]としたとき、下記式(1)で求められる、その他の元素の総計濃度が0.05 at. %未満である、[1]又は[2]に記載のAg合金ボンディングワイヤ。

式(1) : $100 - (x_1 + x_2 + x_{Ag})$ [at. %]

[4] 残部がAg及び不可避不純物からなる、[1]～[3]の何れかに記載のAg合金ボンディングワイヤ。

[5] 各元素の濃度が、ICP発光分光分析又はICP質量分析により測定した濃度である、[1]～[4]の何れかに記載のAg合金ボンディングワイヤ。

[6] Ag以外の金属を主成分とする被覆を有していない、[1]～[5]の何れかに記載のAg合金ボンディングワイヤ。

[7] [1]～[6]の何れかに記載のAg合金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、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において良好な接合信頼性を呈すると共に、ボール接合時のチップダメージを抑制し得るAg合金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Ag合金ボンディングワイヤ]

本発明の半導体装置用Ag合金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、Pd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元素」という。）と、P、Cr、Zr及びMoからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第2元素」と）とを含有し、第1元素の総計濃度を x_1 [at. %]、第2元素の総計濃度を x_2 [at. ppm]としたとき、 $0.05 \leq x_1 \leq 3.0$ 、及び $15 \leq x_2 \leq 700$ を満たし、残部はAgを含むことを特徴とする。

[0013] AgワイヤにPd及びPtといった第1元素を添加することにより、Agワイヤの接合信頼性を向上させる技術が報告されている。しかしながら、先述のとおり、S含有量の高いモールド樹脂を用いた半導体装置においては、

斯かる第1元素を含有するA gワイヤを使用した場合にもなお、175℃以上の高温環境下では、電極との接続部、特にボール接合部の接合信頼性が低下する場合があることを本発明者らは見出した。モールド樹脂に含まれるSは、175℃以上の高温環境下で遊離する傾向にあり、遊離したSがA gワイヤと接触するとA gワイヤの腐食が進み接合信頼性の低下に帰着するものと推察される。電極との接続部、特にボール接合部の接合信頼性が低下することから、A gワイヤと電極材料（例えばA l）との拡散接合により接合界面に生じた金属間化合物（例えばA g₃A l）が遊離したSにより腐食され易いものと推察される。

[0014] Pd及びPtといった第1元素の添加量を高めることで、高温環境下における接合信頼性を幾分改善することはできるものの、その場合には、ワイヤが硬質化してチップダメージを生じたり、比抵抗が上昇したりするといった課題が生じ、A gが本来的に有する優れた特性を享受できない。その上、モールド樹脂中のS濃度が高い場合には、第1元素の添加量を調整しても、高温環境下における接合信頼性の低下を回避することは困難であることを確認した。

[0015] これに対し、上記の第1元素に加えて、P、Cr、Zr及びMoといった第2元素を含有する本発明のワイヤは、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において良好な接合信頼性を実現することができる。第1元素に加えて第2元素を含有する本発明のワイヤを用いてF A B (Free Air Ball) を形成したところ、F A BをSEMで観察すると、該F A B表面に直径数十nm程度の析出物が生じることを確認した。また、生じた析出物をエネルギー分散型X線分析(EDS; Energy Dispersive X-ray spectroscopy)により分析すると第2元素が濃化していることを確認した。詳細なメカニズムは不明であるが、F A Bに観察される斯かる析出物がボール接合部におけるワイヤと電極との接合界面に存在することで、例えば、遊離したSが接合界面の金属間化合物に作用する前に当該析出物にトラップ(化合物化)されるなどして、高温環境下におけるボール接合部の接合信

信頼性が向上したものと推察される。したがって、好適な一実施形態において、本発明のワイヤは、F A Bを形成したとき、該F A B表面に第2元素が濃化した析出物が生じることを特徴とする。

[0016] さらに、第1元素と第2元素を組み合わせる含有する本発明のワイヤにおいては、第1元素の添加量を過度に高めることなく、高温環境下における接合信頼性を向上させることができることから、チップダメージの発生も抑制し得る。このように、本発明は、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合にも、チップダメージの発生を抑制しつつ、高温環境下において良好な接合信頼性を呈するA g合金ボンディングワイヤを提供するものであり、車載用の半導体装置におけるA gワイヤの実用化に著しく寄与するものである。第1元素の添加量を過度に高めることなく、高温環境下における接合信頼性を向上させることができる本発明のワイヤは、比抵抗上昇の問題も抑制し得ることから有益である。

[0017] ー第1元素ー

本発明のワイヤは、第1元素として、P d及びP tからなる群から選択される1種以上の元素を0.05～3.0at. %の範囲にて含有する。すなわち、ワイヤ中の第1元素の総計濃度を $\times 1$ [at. %]としたとき、 $0.05 \leq \times 1 \leq 3.0$ を満たす。

[0018] 後述する第2元素との組み合わせにおいて、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても高温環境下における良好な接合信頼性を実現する観点から、ワイヤ中の第1元素の総計濃度、すなわち $\times 1$ は、0.05at. %以上であり、好ましくは0.1at. %以上、0.2at. %以上、0.3at. %以上、0.4at. %以上、0.5at. %以上、0.6at. %以上、0.8at. %以上又は1.0at. %以上である。特に $\times 1$ が1.0at. %超であると、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても高温環境下において一際良好な接合信頼性を実現できるため好適である。さらに $\times 1$ が1.0at. %超であると、ボール接合部の圧着形状（ボールのつぶれ形状）を真円に近い形状に制御し易いといった優れた効果も奏す

る。×1は、より好ましくは1.1at.%以上、1.2at.%以上、1.3at.%以上、1.4at.%以上又は1.5at.%以上である。

[0019] ワイヤ中の第1元素の総計濃度×1の上限は、ワイヤの硬質化を抑えてチップダメージを抑制する観点から、3.0at.%以下であり、好ましくは2.9at.%以下、2.8at.%以下、2.7at.%以下、2.6at.%以下又は2.5at.%以下である。先述のとおり、第2元素と組み合わせて第1元素を含有する本発明のワイヤでは、第1元素の添加量を過度に高めることなく、高温環境下における接合信頼性を向上させることができる。

[0020] ー第2元素ー

本発明のワイヤは、第2元素として、P、Cr、Zr及びMoからなる群から選択される1種以上の元素を15～700at.ppmの範囲にて含有する。すなわち、ワイヤ中の第2元素の総計濃度を×2[at.ppm]としたとき、 $15 \leq \times 2 \leq 700$ を満たす。

[0021] S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても高温環境下における良好な接合信頼性を実現する観点から、ワイヤ中の第2元素の総計濃度、すなわち×2は、15at.ppm以上であり、好ましくは30at.ppm以上、40at.ppm以上、50at.ppm以上、60at.ppm以上、80at.ppm以上、100at.ppm以上、150at.ppm以上、200at.ppm以上、250at.ppm以上又は300at.ppm以上である。加えて、×2が上記範囲にあると、ボール接合部の圧着形状（ボールのつぶれ形状）を真円に近い形状に制御し易いといった優れた効果も奏する。なお、第1元素の濃度×1が2at.%超（例えば、2.03at.%以上、2.05at.%以上、2.1at.%以上）であると、第2元素の総計濃度×2が35at.ppm未満（例えば、34.5at.ppm以下、34.3at.ppm以下、34at.ppm以下）、すなわち、15at.ppm以上35at.ppm未満のような極低量域においても、S含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても高温環境下におい

て顕著に優れた接合信頼性を呈すると共に、ボール接合部の圧着形状も一際良好であることが確認されている。例えば、第1元素の濃度 $\times 1$ が2 at. %超(2.03 at. %以上、2.05 at. %以上、2.1 at. %以上など)であると、第2元素としてPを1種単独で、Crを1種単独で、Zrを1種単独で、Moを1種単独で、あるいはP、Cr、Zr及びMoを2種以上組み合わせて使用する際に、その濃度 $\times 2$ が35 at. ppm未満(例えば、34.5 at. ppm以下、34.3 at. ppm以下、34 at. ppm以下)、すなわち、15 at. ppm以上35 at. ppm未満のような極低量域においても、上記の顕著な効果が得られることを確認している。

[0022] ワイヤ中の第2元素の総計濃度 $\times 2$ の上限は、ボール接合部の良好な初期接合強度を実現し、ひいては高温環境下において良好な接合信頼性を実現する観点から、700 at. ppm以下であり、好ましくは650 at. ppm以下、600 at. ppm以下、550 at. ppm以下又は500 at. ppm以下である。特に $\times 2$ が500 at. ppm以下であると、ボール接合部の初期接合強度が顕著に高く、ひいては高温環境下において一際良好な接合信頼性を実現できるため好適である。加えて、 $\times 2$ が上記範囲にあると、ワイヤの硬質化を抑えてチップダメージを抑制し易いといった優れた効果も奏する。

[0023] 本発明のワイヤは、上記の第1元素及び第2元素を組み合わせて含み、残部はAgを含む。本発明のワイヤにおいて、ワイヤ全体に対するAgの濃度は、上記の第1元素と第2元素との組み合わせにおいて本発明の効果をより享受し得る観点から、好ましくは95 at. %以上、より好ましくは96 at. %以上、96.5 at. %以上、96.6 at. %以上、96.7 at. %又は96.8 at. %以上である。

[0024] 本発明の効果を阻害しない範囲において、本発明のワイヤは、第1元素及び第2元素以外のドーパント元素をさらに含有してもよい。ワイヤ中の斯かるドーパント元素の総計濃度は、本発明の効果を阻害しない範囲において特

に限定されない。該ドーパント元素の総計濃度は、例えば、 $0.05 \text{ at. \%}$ 未満（ 500 at. ppm 未満）であってよい。したがって、第1元素の総計濃度を $x_1 [\text{at. \%}]$ 、第2元素の総計濃度を $x_2 [\text{at. \%}]$ 、Agの濃度を $x_{Ag} [\text{at. \%}]$ としたとき、下記式（1）で求められる、その他の元素の総計濃度は $0.05 \text{ at. \%}$ 未満であってよい。

$$\text{式（1）： } 100 - (x_1 + x_2 + x_{Ag}) [\text{at. \%}]$$

[0025] 第1元素及び第2元素以外のドーパント元素、すなわち上記「その他の元素」の総計濃度は、より低くてもよく、例えば、 $0.045 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.04 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.035 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.03 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.025 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.02 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.015 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.011 \text{ at. \%}$ 未満、 $0.01 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.005 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.003 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.001 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.0008 \text{ at. \%}$ 以下、 $0.0006 \text{ at. \%}$ 以下又は $0.0005 \text{ at. \%}$ 以下であってもよい。斯かるドーパント元素の種類は、本発明の効果を阻害しない範囲において特に限定されないが、例えば、In、Ga、Cd、Sn、Cu、Zn、Fe、Ti、Mn、Mo、Ni、Au等が挙げられる。したがって、例えば斯かるドーパント元素としてIn、Ga、Cd及びSnを用いる場合、In、Ga、Cd及びSnの総計濃度は $0.05 \text{ at. \%}$ 未満であってよい。斯かるドーパント元素の総計濃度の下限は特に限定されず、 $0 \text{ at. \%}$ であってもよい。

[0026] 好適な一実施形態において、本発明のワイヤは、第1元素及び第2元素を組み合わせ含み、残部はAg及び不可避不純物からなる。

[0027] 本発明のワイヤに含まれる第1元素、第2元素や他のドーパント元素といった元素の濃度は、該ワイヤを強酸で溶解した液をICP発光分光分析装置、ICP質量分析装置を利用して分析し、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。本発明において示す各元素の濃度は、ICP発光分光分析又はICP質量分析により測定した濃度に基づく。

[0028] 本発明のワイヤは、好ましくは、Ag以外の金属を主成分とする被覆を有

していない。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、A g 以外の金属を主成分とする被覆を有していない。ここで、「A g 以外の金属を主成分とする被覆」とは、A g 以外の金属の含有量が50 at. %以上である被覆をいう。

[0029] 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100 μ m以下、90 μ m以下又は80 μ m以下などとし得る。

[0030] <ワイヤの製造方法>

本発明の半導体装置用A g合金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。

[0031] 純度が3N~5N(99.9~99.999質量%)である原料A gを用意する。そして第1元素、第2元素及び他のドーパント元素(含有する場合)の濃度が上記特定範囲となるように、原料A gと、第1元素、第2元素及び他のドーパント元素の原料とを出発原料として秤量した後、これを溶融混合することでA g合金を得る。あるいは、第1元素、第2元素、他のドーパント元素の原料としては、それら元素を含む母合金を用いてもよい。このA g合金を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。

[0032] 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。

[0033] 伸線加工の後、最終熱処理を行う。最終熱処理の温度条件としては、例えば、送線速度一定で炉内温度のみを変更して熱処理したワイヤの破断伸びを確認し、該破断伸びが所定範囲となるように熱処理温度を決定すればよい。熱処理温度は、例えば、200~600℃の範囲としてよい。熱処理時間は、例えば、10秒間以下(好ましくは5秒間以下、4秒間以下又は3秒間以下)に設定することが好適である。熱処理の雰囲気としては、窒素ガス、ア

ルゴンガス等の不活性ガスや、フォーミングガス（5% H_2-N_2 ）等の水素含有不活性ガスを用いてよい。

[0034] 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）はボール接合とし得、リードフレームや回路基板上の電極との第2接続（2nd接合）はウェッジ接合とし得る。ボール接合では、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（FAB:Free Air Ball）を形成した後に、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する。ウェッジ接合では、ボールを形成せずに、ワイヤ部を熱、超音波、圧力を加えることにより電極上に圧着接合する。Pd及びPtといった第1元素に加えて、P、Cr、Zr及びMoといった第2元素を含有する本発明のワイヤは、1st接合及び2nd接合の後の封止工程においてS含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において良好な接合信頼性を実現することができる。したがって、本発明のワイヤは、半導体装置用として好適に使用することができ、S含有量の高いモールド樹脂を用いて封止（パッケージ化）される半導体装置用として好適に使用することができる。

[0035] [半導体装置の製造方法]

本発明の半導体装置用Ag合金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。

[0036] 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む。第1電極と本発明のワイヤとの第1接続をボール接合により、また、第2電極と本発明のワイヤとの第2接続をウェッジ接合により実施することができる。

[0037] 第1元素と第2元素を組み合わせる含む本発明のワイヤを用いることによ

り、封止工程においてS含有量の高いモールド樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において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、接合の後に、S含有量の高い（例えば、S濃度が5質量ppm以上、10質量ppm以上又は15質量ppm以上）モールド樹脂を用いて封止する工程をさらに含む。本発明のワイヤを用いることにより、S濃度をはじめとするモールド樹脂の仕様によらず、高温環境下における良好な接合信頼性を有利に実現することができる。

[0038] [半導体装置]

本発明の半導体装置用Ag合金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。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] 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）等に供される各種半導体装置が挙げられ、中でも、高温環境下においても良好な接合信頼性をもたらすことが求められる車載用の半導体装置が好適である。

実施例

[0042] 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。

[0043] (サンプル)

原材料となる A g は純度が 99.9 at. % 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。第 1 元素 (P d 及び P t)、第 2 元素 (P、C r、Z r 及び M o)、他のドーパント元素 (I n、C u 及び G a) は、純度が 99.9 at. % 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。

[0044] ボンディングワイヤに用いる A g 合金は、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 N₂、A r ガス等の不活性雰囲気中で 1080～1600℃まで加熱して溶解させた後、連続鋳造にて φ4～6 mm のワイヤを製造した。

[0045] 得られた A g 合金に対して、ダイスを用いて伸線加工等を行うことによって、φ300～600 μm のワイヤを作製した。その後、200～700℃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 φ20 μm 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 20～600 m/分とした。中間熱処理はワイヤを連続的に掃引しながら、A r 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 20～100 m/分とした。

[0046] 伸線加工後のワイヤは最終的に破断伸びが約 9～25 % 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 20～100 m/分とした。最終熱処理温度は 200～700℃で熱処理時間は 0.2～1.0 秒とした。

[0047] ボンディングワイヤ中の第 1 元素、第 2 元素、他のドーパント元素の濃度は、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した。

[0048] (試験・評価方法)

以下、試験・評価方法について説明する。

[0049] [高温環境下における接合信頼性の評価]

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、S含有モールド樹脂によって封止して作製した。ここで、S含有モールド樹脂としては、S濃度の異なる2種類のエポキシ樹脂を用いた。低濃度S含有樹脂としては、S濃度が2質量ppmのものを、高濃度S含有樹脂としては、S濃度が16質量ppmのものを、エポキシ樹脂中のS濃度は、樹脂を粉碎して窒素ガスフロー中で 200°C 、10時間加熱し、キャリア窒素ガスに含まれる樹脂からのアウトガスを過酸化水素水で捕集し、イオンクロマトグラフィーによってS濃度の評価を行った。なお、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。

[0050] 高温環境下における接合信頼性は、高温放置試験（HTSL: High Temperature Storage Life Test）により評価した。詳細には、高温恒温機を使用し、温度 175°C の環境に暴露した際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、250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。高温放置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。

[0051] HTSL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箇所の測定値の平均値を用いた。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0052] 評価基準：

- ◎◎：接合寿命3000時間以上
- ◎：接合寿命2000時間以上3000時間未満
- ：接合寿命1000時間以上2000時間未満
- ×：接合寿命1000時間未満

[0053] [チップダメージ]

チップダメージの評価は、S i 基板に厚さ 1.0 μm の A l 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、ワイヤ及び A l 電極を薬液にて溶解し S i 基板を露出し、ボール接合部直下の S i 基板を光学顕微鏡で観察することにより行った（評価数 N = 100）。S i 基板に、ダメージが見られた場合は不良と判定した。そして、以下の基準に従って、評価した。

[0054] 評価基準：

◎：不良 0 箇所

○：不良 1 箇所（実用上問題なし）

×：不良 2 箇所以上

[0055] 〔圧着形状〕

ボール接合部の圧着形状（ボールのつぶれ形状）の評価は、S i 基板に厚さ 1.0 μm の A l 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（評価数 N = 100）。ボールのつぶれ形状の判定は、つぶれ形状が円形に近い場合に良好と判定し、楕円形や花弁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。

[0056] 評価基準：

◎：不良なし

○：不良 1 ～ 4 箇所（実用上問題なし）

×：不良 5 箇所以上

[0057] 〔初期接合強度〕

ボール接合部の初期接合強度は、S i 基板に厚さ 1.0 μm の A l 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、ボール接合部のシェア試験を実施して評価した。シェア試験機は D A G E 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 20 箇所の測定値の平均値を用い、以下の基準に従って、評価した。

[0058] 評価基準：

◎ : 平均値 1 6 g f 以上

○ : 平均値 1 0 g f 以上 1 6 g f 未満

× : 平均値 1 0 g f 未満

[0059] 実施例及び比較例の評価結果を表 1 及び表 2 に示す。

[0060] [表1]

(表1)

実施例 No.	第1元素(at.%)			第2元素(at.ppm)					その他の元素 (at.ppm)	HTSL (175℃)		圧着 形状	チップ ダメージ	初期接合 強度
	Pd	Pt	総計	P	Cr	Zr	Mo	総計		低濃度S 含有樹脂	高濃度S 含有樹脂			
1	0.07		0.07	300				300		◎	○	○	◎	◎
2	0.05		0.05	680				680		◎	○	○	◎	○
3	1		1	30				30		◎	○	○	◎	◎
4		1	1			31		31		◎	○	○	◎	◎
5	1		1				32	32		◎	○	○	◎	◎
6	0.5	0.5	1		30			30		◎	○	○	◎	◎
7	0.8	0.2	1			15	16	31		◎	○	○	◎	◎
8	1.7		1.7	300				300		◎◎	◎	◎	◎	◎
9	2.8		2.8	200				200		◎◎	◎	◎	◎	◎
10		2.9	2.9	80			20	100		◎◎	◎	◎	◎	◎
11	1.4	1.4	2.8		32			32		◎◎	◎	◎	◎	◎
12		1.5	1.5			600		600		◎◎	○	◎	◎	○
13	1.6		1.6	300				300	In 495	◎◎	◎	◎	◎	◎
14	1.8		1.8	300				300	Cu 490	◎◎	◎	◎	◎	◎
15		2.8	2.8	80				80	Ga 495	◎◎	◎	◎	◎	◎
16	1		1	15				15		◎	○	○	◎	◎
17		1	1				18	18		◎	○	○	◎	◎
18	0.7	0.3	1			7	8	15		◎	○	○	◎	◎
19	2.1		2.1	31				31		◎◎	◎	◎	◎	◎

[0061] [表2]

(表2)

比較例 No.	第1元素(at.%)			第2元素(at.ppm)					その他の元素 (at.ppm)	HTSL (175℃)		圧着 形状	チップ ダメージ	初期接合 強度
	Pd	Pt	総計	P	Cr	Zr	Mo	総計		低濃度S 含有樹脂	高濃度S 含有樹脂			
1	0.04		0.04					0		×	×	×	◎	◎
2		1.5	1.5		10			10		◎	×	×	◎	◎
3	0.04		0.04	100				100		×	×	○	◎	◎
4	3.4		3.4				300	300		◎◎	◎	◎	×	◎
5	0.03		0.03	600				600		×	×	○	◎	○
6		3.5	3.5		550			550		◎◎	○	◎	×	○
7		0.04	0.04				720	720		×	×	○	◎	×
8		0.7	0.7			705		705		×	×	○	◎	×
9	2		2	900				900		×	×	×	◎	×
10	3.1		3.1			720		720		×	×	◎	×	×
11	0.3		0.3	13				13		○	×	×	◎	◎
12		3.1	3.1			12		12		◎◎	×	○	○	◎

[0062] 実施例No. 1～19はいずれも、第1元素及び第2元素の含有量が本発明範囲内にあり、S含有量の高いモールド樹脂（高濃度S含有樹脂）を用いる場合であっても、高温環境下において良好な接合信頼性を呈すると共に、ボール接合時のチップダメージを抑制し得ることを確認した。

加えて、第1元素の含有量が1at.%超である実施例No. 8～15、19（特に第2元素の含有量が500at.ppm以下である実施例No.

8～11、13～15、19)は、高濃度S含有樹脂を用いる場合であっても、高温環境下において顕著に優れた接合信頼性を呈すると共に、ボール接合部の圧着形状も一際良好であることを確認した。また、第1元素の含有量が2at.%超であると、第2元素の総計濃度が15at.ppm以上35at.ppm未満のような極低量域においても、高濃度S含有樹脂を用いる場合であっても高温環境下において顕著に優れた接合信頼性を呈すると共に、ボール接合部の圧着形状も一際良好であることを確認した(実施例No. 11、19)。

他方、比較例No. 1～12は、第1元素及び第2元素の少なくとも一方の含有量が本発明範囲外であり、高濃度S含有樹脂を用いる場合に高温環境下において接合信頼性が不良であったり、ボール接合時にチップダメージが発生したりすることを確認した。