

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4260337号
(P4260337)

(45) 発行日 平成21年4月30日(2009.4.30)

(24) 登録日 平成21年2月20日(2009.2.20)

(51) Int. Cl. F I
HO 1 L 21/60 (2006.01) HO 1 L 21/60 3 O 1 F
 C 2 2 C 5/00 (2006.01) C 2 2 C 5/00
 C 2 2 C 9/00 (2006.01) C 2 2 C 9/00
 C 2 2 C 21/00 (2006.01) C 2 2 C 21/00 Z

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-122138 (P2000-122138)
 (22) 出願日 平成12年4月24日(2000.4.24)
 (65) 公開番号 特開2001-308134 (P2001-308134A)
 (43) 公開日 平成13年11月2日(2001.11.2)
 審査請求日 平成19年1月31日(2007.1.31)

(73) 特許権者 306032316
 新日鉄マテリアルズ株式会社
 東京都千代田区外神田四丁目14番1号
 (74) 代理人 100107892
 弁理士 内藤 俊太
 (74) 代理人 100105441
 弁理士 田中 久喬
 (72) 発明者 寺嶋 晋一
 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社
 技術開発本部内
 (72) 発明者 宇野 智裕
 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社
 技術開発本部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体実装用のボンディングワイヤ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

【請求項2】

線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20 \mu m^2$ 以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

【請求項3】

線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20 \mu m^2$ 以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体チップ等の電極とリードとを実装するために用いるボンディングワイヤに関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、貴金属または貴金属を主体とする合金は、他の金属と比べると、耐酸化性に優れ

、微細加工がし易く、経時変化も少ないことから、ボンディングワイヤと呼ばれる半導体実装用の細線として使用されている。ここでの貴金属とは、例えばAu、Cu、Al、Pt、およびPd等がある。

【0003】

ボンディングワイヤの製造工程は概ね次のようである。まず、適切な成分系となるように合金を調合する。合金の調合は、最終製品の強度等の種々の特性を決定するため、厳密に管理されている。その後、合金を伸線して、例えば30 μm 程度というように目的の線径のワイヤを得る。尚、伸線は、減面率が3%程度であるダイスを複数個組み合わせ、200m $\cdot\text{min}^{-1}$ 程度の速度で行うことが多い。伸線直後のワイヤは、ボンディングワイヤとして必要な強度は十分に得られているものの、線方向の破断伸びはほとんど得られていない。そこで、通常は伸線直後のワイヤに(3/4) T_c 以上の温度の熱処理を施し、その後さらに100 $\cdot\text{min}^{-1}$ 程度の速度で冷却することで、ボンディングワイヤとして必要な強度と破断伸びの両者を備えた製品を得る。このような、伸線直後のワイヤにボンディングワイヤとして必要な強度と破断伸びの両者を備えせしめるために行う熱処理を、以後、熱処理と称する。また T_c とは、ワイヤの主たる構成元素、ワイヤ中に含まれる不可避不純物、および添加元素の種類と濃度によって決定される、ワイヤの再結晶温度である。

10

【0004】

従来から、半導体素子における代表的な結線方式として、超音波併用熱圧着方式のワイヤボンディング法が採用されている。本ボンディング方式は、キャピラリと呼ばれる円筒状の治具にワイヤを通し、キャピラリの先端から垂下させたワイヤの先端に高電圧を印加することにより、ワイヤの先端部を熔融、凝固させて球状とし、その後、超音波を印加しながら初期ボールと呼ばれるこの球状部を半導体チップ上の電極と接合させ、外部接続用のリードまでループ状にワイヤの母線部を導いてから、ワイヤの母線部と外部リードとを接合し、かかる後に結線に不要な部分を切断することで半導体チップ上の電極と外部接続用のリードとを結線する方式である。尚、チップ上の電極とリードとの間の距離をスパンと呼ぶ。

20

【0005】

ループの形状が適切で無い場合、過剰な応力が集中することで接合部近傍のワイヤに損傷が生じることがある。従って、ループ形状を適切に保つために、ワイヤには良好なループの制御性の確保が要求されている。また、ワイヤカールと呼ばれる巻きぐせがワイヤに生じるとループの制御性が悪化するので、ワイヤカールの回避は重要視されている。

30

【0006】

加えて、ワイヤは結線後から樹脂封止を経て使用に至るまでに室温あるいは高温下で種々の応力を受ける。従って、ボンディングワイヤに求められる性能の中で、ワイヤの強度を高めることで結線直後から樹脂封止を経て使用に至るまでワイヤの変形を抑制することは非常に重要とされている。従来から、ワイヤの強度を高める方法としては、添加元素の濃度を増加する手法が主流であった。

【0007】

ワイヤの強度は、例えばワイヤを引っ張り試験した際に得られるワイヤ部の破断応力や、結線後の樹脂封止に伴うワイヤの変位(ワイヤ流れ)量などで評価される。ワイヤの破断伸びは、例えばワイヤを引っ張り試験した際に得られるワイヤ部の破断伸びなどで評価される。ループの制御性は、例えばチップ上のワイヤ接合部近傍におけるワイヤ損傷の状態(亀裂の長さ等)などで評価される。ワイヤカールの評価法には、一定長のワイヤを鉛直方向に垂下し、ワイヤの内で最も水平方向に変位した位置と、ワイヤの両端を結んだ線分との距離の大小で評価する方法などがある。

40

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

昨今の半導体素子における高密度実装という技術動向に伴い、直径が27 μm を下回る細い線径ながら6mm以上という長いスパンの結線に耐えうる、いわゆる細線かつ長尺用のワイヤが要求されつつある。ワイヤを細線化すると断面積が必然的に低下するため、単位断面

50

積当たりの強度をより高める必要が生じる。さらに、長尺用のワイヤでは従来のワイヤより高い強度が要求される。従って、細線かつ長尺用のワイヤには、従来のワイヤの強度を大幅に上回る強度が必要となり、その目安として、例えば $35\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$ 以上という高い破断応力が必要となる。

【0009】

ワイヤの高強度化のためには添加元素の濃度を増加させるという従来の手法が有効であるものの、高濃度に元素を添加すると、添加した元素間の複合効果により初期ボールの強度もワイヤと同程度に高強度化されてしまい、初期ボールを接合する際にチップダメージと呼ばれるチップの破壊が発生しやすくなるという問題が生じる。尚、チップダメージが発生するか否かを評価する手段としては、ワイヤを結線した後に薬液等にてAl等の電極を除去してSiチップの表面を観察し、亀裂が視認されるか否かで評価することなどがある。ワイヤの直径が従来のように $30\mu\text{m}$ 程度である場合は、さほど高濃度に元素を添加する必要がないために、チップダメージは特に問題とはならなかった。しかし、昨今要求されるような直径が $27\mu\text{m}$ を下回るワイヤでは、前述のように単位断面積あたりの強度を従来以上に高める必要がある。その際、添加元素の濃度を増加させるという従来の手法でワイヤ強度を高めようとする、従来以上に元素を高濃度で添加することになるためチップダメージの発生が懸念される。逆に、チップダメージの発生を回避できる程度の濃度に元素を添加した細線ワイヤでは、必要なワイヤ強度が得られない。このように、添加元素の濃度を単に増加させるという手法では、ワイヤの高強度化にあたって、限界が指摘されている。

【0010】

また近年、半導体パッケージを高性能化させるために、 6mm 以上という長いスパンと $500\mu\text{m}$ 程度という短いスパンとが混在するようなパッケージが提案され、一部で実用化されつつある。後者のような、いわゆる短スパンボンディングでは、スパンがチップの厚さと同程度であることから、チップ上の電極とリードとの段差が急となり、結線後のループ形状を適切に制御することが難しくなるため、ワイヤには従来以上に良好なループの制御性が要求されることとなる。

【0011】

従って、前述の長短スパンが混在するパッケージでは、高いワイヤ強度と適切な強度を有する初期ボールの形成能に加えて、良好なループの制御性を有するワイヤが必要となる。高強度化するために添加元素の濃度を増加させた従来のワイヤでは、添加した元素がワイヤ表面に析出することがあり、従来の結線では問題なかったワイヤでも、短スパンボンディングのように良好なループの制御性が要求される結線では、元素に起因する表面析出物とキャピラリの摩擦により結線後のループが乱れるという問題が生じてしまう。

【0012】

以上に鑑み、本発明の目的は、添加元素の濃度を増加させるという従来の手法だけでは製造できなかった、直径が $27\mu\text{m}$ を下回る細い線径ながら長い結線に耐えうるワイヤに要求される高いワイヤ強度と、適切な強度を有する初期ボールの形成能という、相反する特性を同時に満足できるワイヤを得ることにある。さらに、短スパンボンディングのように良好なループの制御性が要求される結線にも適したワイヤを供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記の課題は、以下の手段によって解決することができる。即ち、

(1) 線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

(2) 線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20\mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

(3) 線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20\mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする半導体実装用のボンディングワイヤ。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

【 発明の実施の形態 】

本発明者らは鋭意検討した結果、上記課題を解決し得る前記のようなワイヤを発明した。以下、本発明の構成について説明する。

【 0 0 1 5 】

まず、破断伸びの平均値を1%以上3.5%以下とすることが必要な理由は次の通りである。

【 0 0 1 6 】

一般にワイヤ中には伸線加工や熱処理によって加工歪みが導入されており、加工歪みは破断伸び等の機械特性に密接に関与することが知られている。破断伸びの平均値が3.5%以下であれば、加工歪みが強い強度の確保に寄与するため、元素を特に添加しなくても35 kgf · mm⁻²以上という高い破断応力を得ることができ、なおかつ、初期ボール中には加工歪みは残留せず初期ボールの強度を適切にできることからチップダメージを回避できるので良い。

10

【 0 0 1 7 】

ワイヤの破断伸びの平均値が3.5%を上回ると、高濃度に元素を添加しなければ35 kgf · mm⁻²以上という高い破断応力を得ることはできない。しかし、35 kgf · mm⁻²以上という高い破断応力を得ようと高濃度に元素を添加するとチップダメージが生じるため好ましくない。この傾向は、線径が27 μmを下回る程度にワイヤを細線化した際に、特に顕著である。

【 0 0 1 8 】

一方、破断伸びの平均値が1%を下回ると、ワイヤ全体に渡ってワイヤーカールが発生することがあり、望ましくない。この理由は、破断伸びの平均値が1%を下回ると加工歪みが過剰に残留するためと考えられる。

20

【 0 0 1 9 】

つまり、破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であるワイヤでは、ワイヤーカールが生じることもなく、35 kgf · mm⁻²以上という高い破断応力を得ることができる上、チップダメージも回避できる。しかしながら、このワイヤであっても、局所的にワイヤーカールが生じたり、局所的に破断応力が低下したりすることがあり、直径が27 μmを下回る細い線径で長い結線に耐えることや、短スパンボンディングのように良好なループの制御性が要求される結線を行うことが難しくなることがある。

【 0 0 2 0 】

本発明者らは、鋭意検討した結果、局所的なワイヤーカールの発生あるいは局所的な破断応力の低下等の課題を解決するためには、ワイヤの平均的な特性の向上のみでは不十分であり、ワイヤ全体に渡ってワイヤ特性を安定させることが重要であることを明らかにし、さらに検討を重ねた結果、ワイヤ全体に渡ったワイヤ特性の安定性が転位の挙動と密接に関係していることを見出した。つまり、残留抵抗比が5以上40以下であればワイヤ全体に渡ってワイヤ特性を安定にできることを明らかにしたのである。

30

【 0 0 2 1 】

一般に、転位は金属材料における結晶の不規則性に対応し、加工歪みを残留せしめる主要因の一つとされている。本発明者らは、残留抵抗比がワイヤ中の転位の濃度、即ち転位密度の大小を反映する物理量であり、残留抵抗比が小さいほど転位密度は大きくなることを確認した。この残留抵抗比(RRR)は、298Kでのワイヤの電気抵抗率をR_{298K}と、4.2Kでのワイヤの電気抵抗率をR_{4.2K}とそれぞれすると、

$$RRR=R_{298K}/R_{4.2K} \quad \dots \text{(数式1)}$$

で与えられる。

40

【 0 0 2 2 】

残留抵抗比が5以上であれば局所的なワイヤーカールの発生を防止することができ、残留抵抗比が40以下であれば局所的に破断応力が低くなる現象を回避することができる。即ち、残留抵抗比が5以上40以下であれば、転位密度の局所的な分布を均質化できることから任意の局所的な領域でもワイヤ特性を安定にすることができ、その結果、ワイヤ全体に渡ってワイヤーカールが発生せず、また35 kgf · mm⁻²以上という高い破断応力をワイヤ全

50

体に渡って安定して得ることができる。

【0023】

残留抵抗比の値は、添加元素の濃度を総計で1.5質量%以下としたり熱処理条件を後述するように適切としたりすることで、上記の範囲とすることができる。

【0024】

残留抵抗比が5を下回ったり40を上回ったりすると、局所的に残留する加工歪みの濃度、特に局所的な転位密度にばらつきが生じ、その結果、転位が密となった部分で局所的にワイヤカールが生じたり、転位が粗となった部分で局所的に破断応力が低下したりするので好ましくない。特に、添加元素の濃度で残留抵抗比を調整する場合、添加元素の濃度が例えば1.5質量%を上回ると残留抵抗比が5を下回るが、この場合は初期ボールの強度が過度となるためチップダメージが生じ易いので好ましくない。

10

【0025】

従って、線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、かつ、残留抵抗比が5以上40以下であるワイヤでは、ワイヤ全体に渡ってワイヤカールが生じず、かつ、35 kgf・m⁻²以上という高い破断応力をワイヤ全体に渡って安定して得ることができるので、例えば樹脂封止後のワイヤ流れが少ないのみならずワイヤ全体に渡ってばらつきも少なくすることができる。さらに該ワイヤでは、高い破断応力を得るための元素の過剰な添加を必要としないため、従来のワイヤで発生が懸念されるチップダメージの問題も回避できる。

【0026】

さらに本発明者らは、ループの制御性が、ワイヤの線方向を法線とする断面における結晶粒の粒径の分布と密接に対応することを見出した。すなわち、ワイヤ中の結晶粒径の分布がばらつくとワイヤ表面における結晶粒径の分布もばらつき、その結果キャピラリとの摩擦が大きくなるためループの制御性が低下するのに対し、ワイヤ中の結晶粒径がばらつかなければ、キャピラリとの摩擦を抑制できるので良好なループの制御性が得られるのである。本発明者らは、結晶粒径の分布は正規分布で整理できることを併せて明らかにした。つまり本発明者らは、ワイヤの線方向を法線とする断面における結晶粒の粒径の分布を正規分布に基づいて管理すれば、良好なループの制御性を得ることができることを見出したのである。

20

【0027】

線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が0.20 μm²以下であると、ワイヤ中の結晶粒径がばらつかないことから、良好なループの制御性が得られる。一方、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が0.20 μm²を上回ると、ループの制御性が低下することがあるので好ましくない。尚、通常のワイヤでは、結晶粒径の平均値は線径の0.5から5%程度である。

30

【0028】

さらに、線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が0.20 μm²以下であれば、ワイヤ全体に渡ってワイヤカールが生じることもなく、35 kgf・m⁻²以上という高い破断応力をワイヤ全体に渡って安定して得ることができる上、良好なループの制御性が得られるので良い。さらに該ワイヤでは、高い破断応力を得るための元素の過剰な添加は必要としないため、従来のワイヤで発生が懸念されるチップダメージの問題も回避できる。

40

【0029】

また、本発明のワイヤの組成としては、貴金属を主体とする。ここでの貴金属とは、例えば、Au、Pd、Cu、Al、あるいはPt等を指す。尚、これら貴金属には、不可避不純物元素としてTi、Cr、Mn、Zn、Ga、Ge、Zr、Nb、In、Sn、およびSbの内、1種もしくは2種以上の元素が含まれていても良い。添加元素としては、上記記載の貴金属およびCa、Be、Mg、Sc、Fe、Co、Ni、Y、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、およびLuの内、1種もしくは2種以上の元素を用いることができる。

50

【0030】

破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であるワイヤは、ワイヤの合金組成やワイヤ径によっても異なるが、例えば添加元素濃度を1.5%以下とした上で、平均減面率が5%以上であるダイスを複数個組み合わせて $350\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 以上 $500\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 未満の速度で伸線を行い、そのワイヤに、5から50cmの均熱帯を有し1気圧程度に保たれた電気炉にて、5から $100\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で $(1/4)\text{Tc}$ 以上 $(2/3)\text{Tc}$ 以下の温度で熱処理を施すことで製造できる。破断伸びの値は主に熱処理温度の調整によって最適化することができる。残留抵抗比の値は、主に添加元素濃度、伸線速度及びダイスの減面率の調整によって最適化することができる。

【0031】

破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20\mu\text{m}^2$ 以下であるワイヤは、ワイヤの合金組成やワイヤ径によっても異なるが、添加元素濃度を1.5%以下とした上で、伸線直後のワイヤに、5から50cmの均熱帯を有し1気圧程度に保たれた電気炉にて、5から $100\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で $(1/4)\text{Tc}$ 以上 $(2/3)\text{Tc}$ 以下の温度で熱処理を施し、さらに熱処理後のワイヤに $200\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 以上の速度で冷却を施すことで製造できる。結晶粒径の分布における分散は、主に熱処理後のワイヤ冷却速度の調整によって最適化することができる。

【0032】

破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20\mu\text{m}^2$ 以下であるワイヤは、ワイヤの合金組成やワイヤ径によっても異なるが、添加元素濃度を1.5%以下とした上で、平均減面率が5%以上であるダイスを複数個組み合わせて $350\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 以上 $500\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 未満の速度で伸線を行い、そのワイヤに、5から50cmの均熱帯を有し1気圧程度に保たれた電気炉にて、5から $100\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で $(1/4)\text{Tc}$ 以上 $(2/3)\text{Tc}$ 以下の温度で熱処理を施し、さらに熱処理後のワイヤに $200\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ 以上の速度で冷却を施すことで製造できる。

【0033】

尚、AuまたはAuを主体とする合金の場合のTcはおおむね600程度である。PdまたはPdを主体とする合金の場合のTcはおおむね800程度である。また、CuまたはCuを主体とする合金の場合のTcはおおむね500程度であり、熱処理中の酸化を防ぐため熱処理はHeやAr等の不活性雰囲気下で行う必要がある。さらに、AlまたはAlを主体とする合金の場合のTcはおおむね300程度であり、熱処理中の酸化や硫化を防ぐため、熱処理はHeやAr等の不活性雰囲気下で、5から $60\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で行うのが好ましい。PtまたはPtを主体とする合金の場合のTcはおおむね900程度であり、熱処理中の酸化や硫化を防ぐため、熱処理はHeやAr等の不活性雰囲気下で、5から $70\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で行うのが好ましい。

【0034】

【実施例】

以下に、実施例を説明する。

本実施例に示す各試料を作製するにあたっては、まず99.999質量%という高純度の貴金属を真空溶解することで、あるいは99.999質量%という高純度の貴金属に添加元素を加えてからその合金を真空溶解することで、表1に示す成分の合金をそれぞれ得た。表1記載の減面率のダイスを複数個組み合わせて、その合金を表1記載の速度で伸線し、長さ1000m、線径 $22\mu\text{m}$ に加工した。さらに、この伸線直後の合金に、20cmの均熱帯を有するAr雰囲気下の電気炉を用いて表1記載の温度で $20\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度で熱処理を施し、表1記載の速度で冷却を行うことでボンディングワイヤを得た。

【0035】

【表1】

10

20

30

40

試験例	試料番号	成分/質量%										伸線速度 /m・min ⁻¹	ダイスの減面率 /%	熱処理温度 /°C	熱処理後の冷却速度 /°C・min ⁻¹	
		Au	Cu	Al	Pt	Pd	Ca	Be	Fe	Co	Ni					不可避不純物
	1	残部	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.0010	0.0002	490	7	200	190
	2	残部	0	0	0	0	0.002	0.002	0	0	0.0010	0.0002	350	5	240	190
	3	残部	0	0	0	0	0.001	0.002	0	0	0.0020	0.0002	350	5	260	190
	4	残部	0	0	0	0	0.002	0.001	0	0	0.0020	0.0002	400	5	290	190
	5	残部	0	0	0	0	0.002	0.002	0	0	0.0020	0.0002	350	5	330	190
	6	残部	0	0	0	0	0.003	0.002	0	0	0.0020	0.0002	490	8	350	190
	7	残部	0	0	0	0	0.002	0.003	0	0	0.0020	0.0002	350	6	360	190
	8	残部	0	0	0	0	0.002	0.002	0	0	0.0030	0.0002	350	5	370	190
	9	残部	0	0	0	0	0.003	0.003	0	0	0.0020	0.0002	400	5	380	190
	10	残部	0	0	0	0	0.002	0.003	0	0	0.0030	0.0002	350	5	390	190
	11	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0002	350	5	340	190
	12	残部	0	0	0	0	0.002	0.001	0	0	0.0010	0.0002	300	7	310	200
	13	残部	0	0	0	0	0.001	0.002	0	0	0.0010	0.0002	350	6	220	220
	14	残部	0	0	0	0	0.001	0.001	0	0	0.0020	0.0002	350	5	330	250
	15	残部	0.500	0.500	0.499	0	0	0	0	0	0.0008	0.0002	350	6	260	190
	16	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002	350	5	300	190
	17	残部	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0	0.0002	350	6	250	190
	18	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002	400	6	200	190
	19	残部	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0	0.0002	350	5	150	190
	20	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002	350	6	500	190
	21	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0020	0.0002	350	6	450	190
	22	残部	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002	350	6	440	190
	23	残部	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.0020	0.0002	350	5	400	190
	24	残部	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.0002	500	5	500	100
	25	残部	0	0	0	0	0.002	0.001	0	0	0.002	0.0002	500	5	500	100
	26	残部	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.003	0.0002	500	5	120	100
	27	残部	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.003	0.0002	500	5	140	100
	28	残部	0	0	0	0.002	0	0	0	0.003	0.003	0.0002	300	4	130	100
	29	残部	0.040	0.040	0.040	0.040	0.002	0.002	0	0	0.002	0.0002	500	5	480	100

【0036】

各ワイヤの破断伸びと破断応力は、ワイヤ全体を10等分して10の領域に分けて、それぞれの領域から10cm長のワイヤを各4本切り出して合計で40本の測定試料とし、それらを引っ張り試験することで評価した。ワイヤカールの評価は、ワイヤ全体を10等分して10の領域に分けて、それぞれの領域から10cm長のワイヤを各4本切り出して合計で40本の測定試料とし、各試料を鉛直方向に垂下し、ワイヤの内でも最も水平方向に変位した位置と、ワイヤの両端を結んだ線分との距離が、いずれの試料でも5mm以下であればばらつきが無く良

好であるとして 印で、1本でも5mm以上であればばらつきが生じていて不良であるとして ×印で、それぞれ示した。

【0037】

残留抵抗比は、ワイヤ全体を10等分して10の領域に分けて、それぞれの領域から30cm長のワイヤを各4本切り出して合計で40本の測定試料とし、それら試料を298Kおよび4.2Kに保持した後、それらに1mAの定電流を通電した際に生じる電位降下量と形状因子から各温度での電気低効率R298KおよびR4.2Kを算出し、数式1を用いて求めた。尚、試料は、ヒータおよび液体Heを用いて温度制御できるクライオスタット内に設置した。

【0038】

ワイヤ断面における結晶粒径の測定にあたっては、まず、ワイヤ全体を10等分して10の領域に分けて、それぞれの領域から0.5cm長のワイヤを各4本切り出して、線方向を法線方向とする面でワイヤを断面研磨した後、塩酸を主体とするエッチング溶液を用いてエッチングして合計で40個の測定試料を得た。結晶粒径の測定法には、例えば走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、あるいは光学顕微鏡等を用いる手法があるが、今回は、研磨した断面を光学顕微鏡にて1000倍に拡大し、所定のカウンタを用いて計測した。また、SEMを用いて同様に測定した場合でも同様の結果であったことを確認している。尚、測定においては0.1 μm以下の粒径を有する結晶粒は除外して評価した。

【0039】

結線後の評価は、以下のようにしてそれぞれ行った。まず、上記のようにして得られたワイヤを、Siチップ上のAl電極（Al厚：約1 μm）とAgめっきされた42アロイから成るリードとの間で、超音波併用熱圧着ボールウェッジ方式のワイヤーボンディング法にて結線した。その際、スパンは6mmとし、結線本数は200本とした。特に、CuあるいはAlを主体とするワイヤは溶融時に酸化しやすいため、それらのワイヤの初期ボールはHeやAr等の不活性ガス雰囲気中で作製した。以下に示すそれぞれの評価は、結線したワイヤの内、任意の40本のワイヤを用いて行った。チップダメージの評価は、結線直後にAl電極を除去してSiチップの表面を観察し、亀裂が視認されればチップダメージが不良であるとして ×印で、視認されなければチップダメージは生じておらず良好であるとして 印で、それぞれ示した。ワイヤの強度の評価は、耐流れ性の一指標である樹脂封止後のワイヤ流れおよびそのばらつきの測定で行った。前者では、ループを鉛直上方から軟X線透過観察装置にて観察して、ループの軌跡が1本でも直線から22 μmを超えて変位していればワイヤ流れは不良であるとして ×印で、直線からの変位がいずれの試料でも22 μm以下であればワイヤ流れは良好であるとして 印で、それぞれ示した。後者では、同様にして得られたワイヤ流れの最大値と最小値の差が、5 μm以上であればばらつきが顕著で不良であるとして ×印で、3 μm以上5 μm未満であればばらつきが少なく良好であるとして 印で、3 μm未満であればばらつきが特に少なく良好であるとして 印で、それぞれ示した。ループの制御性の評価は、結線後に、チップ上のワイヤ接合部近傍をSEM観察し（倍率は3000倍）、1 μmを超える長さの亀裂が生じていればループの制御性が不良として ×印で、亀裂は存在するがその長さが1 μm以下であれば特に問題の無い損傷と見なしループの制御性は良好として 印で、亀裂が確認できなければループの制御性は特に良好として 印で、それぞれ示した。以上の結果を表2に示す。

【0040】

【表2】

10

20

30

40

ワイヤの線径 $\phi 22\mu\text{m}$ 、スパン6mm

試験例	試料番号	破断伸びの平均値/%	残留抵抗比 / -	結晶粒径の分散 / μm^2	破断応力の平均値 / $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$	樹脂封止後のワイヤ流れ	ワイヤ流れのばらつき	ワイヤーカールのばらつき	ワイヤ損傷の有無	チップダメージ
実施例	1	1.0	5	0.25	46	○	◎	○	○	○
	2	1.0	40	0.24	46	○	◎	○	○	○
	3	1.5	30	0.24	44	○	◎	○	○	○
	4	2.5	30	0.25	41	○	◎	○	○	○
	5	3.0	30	0.26	38	○	◎	○	○	○
	6	3.5	5	0.26	35	○	◎	○	○	○
	7	3.5	15	0.23	35	○	◎	○	○	○
	8	3.5	30	0.24	36	○	◎	○	○	○
	9	3.5	35	0.25	35	○	◎	○	○	○
	10	3.5	40	0.23	35	○	◎	○	○	○
	11	2.5	31	0.27	39	○	◎	○	○	○
	12	3.5	4	0.20	35	○	○	○	◎	○
	13	1.0	30	0.10	56	○	◎	○	◎	○
	14	3.5	35	0.20	43	○	◎	○	◎	○
	15	2.5	28	0.29	43	○	◎	○	○	○
	16	2.5	33	0.26	38	○	◎	○	○	○
	17	2.5	30	0.25	40	○	◎	○	○	○
	18	2.5	29	0.22	36	○	◎	○	○	○
	19	2.5	32	0.23	38	○	◎	○	○	○
	20	2.5	27	0.24	37	○	◎	○	○	○
	21	2.5	29	0.25	39	○	◎	○	○	○
	22	2.5	30	0.21	38	○	◎	○	○	○
	23	2.5	32	0.23	39	○	◎	○	○	○
比較例	24	5.0	4	0.40	41	○	×	○	×	×
	25	5.0	4	0.40	27	×	×	○	×	○
	26	0.4	4	0.30	55	○	×	×	×	○
	27	2.5	4	0.30	41	○	×	×	×	○
	28	2.5	44	0.28	56	○	×	×	×	○
	29	3.5	4	0.30	40	○	×	×	×	○

10

20

30

【0041】

実施例1～11が示すように、線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下である本発明のワイヤでは、チップダメージも生じず、ワイヤーカールも起きず、ループの制御性も良好で、樹脂封止後のワイヤ流れも少なく、 $35 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ 以上という高い破断応力が安定して確保できた。

【0042】

また、実施例12が示すように、線方向の破断伸びの平均値が3.5%であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20 \mu\text{m}^2$ である本発明のワイヤでは、良好なループの制御性が得られた。

40

【0043】

さらに、実施例13および14が示すように、線方向の破断伸びの平均値が1%以上3.5%以下であり、残留抵抗比が5以上40以下であり、ワイヤ母線部の線方向を法線とする断面での結晶粒径の分布における分散が $0.20 \mu\text{m}^2$ 以下である本発明のワイヤでは、チップダメージも生じず、ワイヤーカールも起きない上、高い破断応力を有するため樹脂封止後のワイヤ流れも少なく、良好なループの制御性が得られた。

【0044】

また、実施例16～23が示すように、本発明のワイヤでは主体となる貴金属の種類あるいはその添加元素の濃度にかかわらず、チップダメージも起きず、ループの制御性も良好であり、 $35 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ 以上という高い破断応力が確保できた。

50

【0045】

実施例15に見られるように、添加元素濃度が1.5質量%であっても、本発明のワイヤでは、チップダメージも生じず、ワイヤークールも起きず、ループの制御性も良好で、 $43 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ という高い破断応力がワイヤ全体に渡って確保できた。それに対して、比較例29では添加元素濃度が1.5質量%を超え、残留抵抗比が5を下回り、チップダメージが生じた。

【0046】

それらに対して、比較例24は $41 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$ 以上という高い破断応力を得るために添加元素の濃度を増加させるという従来の手法を用いたワイヤであるが、高濃度に元素を添加したため残留抵抗比の値が4となり、初期ボールの強度もワイヤと同程度に高強度化されてしまったため、初期ボールを接合する際にチップダメージが生じた。一方、比較例25はチップダメージの発生を回避できる程度の濃度に元素を添加した従来細線ワイヤであるが、必要なワイヤ強度が得られなかった。

10

【0047】

比較例26にあるように、破断伸びの平均値が0.5%を下回ると、ワイヤークールが発生した。

【0048】

比較例27および28にあるように、破断伸びが2.5%であっても、残留抵抗比や結晶粒径の分散が適切でないと、ワイヤ特性が安定しなかった。

【0049】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、添加元素の濃度を増加させるという従来手法だけでは製造できなかった、直径が $27 \mu\text{m}$ を下回る細い線径ながら長い結線に耐えうるワイヤに要求される高いワイヤ強度と、適切な強度を有する初期ボールの形成能という相反する特性を、ワイヤ全体に渡って同時に満足できるワイヤを得ることができる。さらに、短スパンボンディングのように良好なループの制御性が要求される結線にも適したワイヤを供することができる。

20

フロントページの続き

(72)発明者 巽 宏平

富津市新富20 - 1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内

審査官 市川 篤

(56)参考文献 特開平03 - 264628 (JP, A)

特開2000 - 299346 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/60