

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4554724号
(P4554724)

(45) 発行日 平成22年9月29日(2010.9.29)

(24) 登録日 平成22年7月23日(2010.7.23)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/60 (2006.01) H O 1 L 21/60 3 O 1 F

請求項の数 11 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2009-550510 (P2009-550510)	(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
(86) (22) 出願日	平成21年1月20日(2009.1.20)	(73) 特許権者	595179228 株式会社日鉄マイクロメタル 埼玉県入間市大字狭山ヶ原158番地1
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/050712	(74) 代理人	100080089 弁理士 牛木 護
(87) 国際公開番号	W02009/093554	(74) 代理人	100137800 弁理士 吉田 正義
(87) 国際公開日	平成21年7月30日(2009.7.30)	(74) 代理人	100148253 弁理士 今枝 弘充
審査請求日	平成21年11月5日(2009.11.5)	(74) 代理人	100148079 弁理士 梅村 裕明
(31) 優先権主張番号	特願2008-15262 (P2008-15262)		
(32) 優先日	平成20年1月25日(2008.1.25)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置用ボンディングワイヤ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

主成分がCu、Au及びAgのうち少なくとも1種からなる芯材と、前記芯材の上に芯材とは異なる金属であるPd、Pt、Ru、Rh及びAgのうち少なくとも1種を主成分とする表皮層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面における前記表皮層結晶粒のワイヤ円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における前記芯材結晶粒の平均サイズbとの関係について、 $a/b < 0.7$ 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】

前記平均サイズaが $1.5 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項3】

前記平均サイズbが $2 \mu m$ 以上であることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項4】

前記ワイヤ表面における前記表皮層結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズcと、ワイヤ軸を含み長手方向の断面である軸断面における前記芯材結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズdとの関係について、 $d/c < 1.2$ であることを特徴とする請求項1~3のうちいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項5】

10

20

前記表皮層の表面における硬度SHと、前記芯材の断面における硬度CHとの関係について、SH/CH 1.3であることを特徴とする請求項1~4のうちいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項6】

前記表皮層の厚さが0.005~0.3 μ mであることを特徴とする請求項1~5のうちいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項7】

前記表皮層と前記芯材との間に、前記表皮層及び前記芯材を構成する主成分とは異なる成分からなる中間金属層を有することを特徴とする請求項1~6のうちいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

10

【請求項8】

前記表皮層と前記芯材との間に濃度勾配を有する拡散層を有することを特徴とする請求項1~7のいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項9】

前記芯材を構成する主成分がCuで、In、Ca、B、Pd、Bi、Zr、Ag、及びPのうち少なくとも1種を5~300ppmの範囲で含有することを特徴とする請求項1~8のいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項10】

前記芯材を構成する主成分がCuで、Pdを5~10000ppmの範囲で含有し、前記表皮層を構成する主成分がPd又はAgであることを特徴とする請求項1~9のいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

20

【請求項11】

前記芯材を構成する主成分がAuで、Be、Ca、Ni、Pd、及びPtのうち少なくとも1種を5~9500ppmの範囲で含有することを特徴とする請求項1~8のいずれか1項に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子上の電極と、回路配線基板(リードフレーム、基板、テープ等)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ものである。

30

【背景技術】

【0002】

現在、半導体素子上の電極と、外部端子との間を接合するボンディングワイヤとして、線径20~50 μ m程度の細線(ボンディングワイヤ)が主として使用されている。ボンディングワイヤの接合に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や、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治具等が用いられる。ボンディングの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を形成させた後に、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せしめ、その後で、直接ワイヤを外部リード側に超音波圧着により接合させる。

40

【0003】

近年、半導体実装の構造・材料・接続技術等は急速に多様化しており、例えば、実装構造では、現行のリードフレームを使用したQFP(Quad Flat Packaging)に加え、基板、ポリイミドテープ等を使用するBGA(Ball Grid Array)、CSP(Chip Scale Packaging)等の新しい形態が実用化され、ループ性、接合性、量産使用性等をより向上したボンディングワイヤが求められている。

【0004】

隣接するボンディングワイヤの間隔が狭くなる狭ピッチ化が進行している。これに対応するボンディングワイヤへの要求として、細線化、高強度化、ループ制御、接合性の向上等が求められる。半導体実装の高密度化によりループ形状は複雑化している。ループ形状

50

の分類として、ループ高さ、ボンディングのワイヤ長さ(スパン)が指標となる。最新の半導体では、一つのパッケージ内部に、高ループと低ループ、短いスパンと長いスパン等、相反するループ形成を混載させるケースが増えている。それを1種類のボンディングワイヤで実現するには、厳しいボンディングワイヤの材料設計が必要となる。

【 0 0 0 5 】

ボンディングワイヤの素材は、これまで高純度4N系(純度>99.99質量%)の金が主に用いられている。高強度化、高接合等の特性を向上するため、微量の合金元素を調整することが行われている。最近では、接合部の信頼性を向上する目的等で、添加元素濃度を1質量%以下まで増加させた純度2N(純度>99質量%)の金合金ワイヤも実用化されている。金に添加する合金元素の種類、濃度を調整することで、高強度化、信頼性の制御等が可能である。一方で、合金化により、接合性が低下したり、電気抵抗が増加したりする等の弊害が生じる場合もあり、ボンディングワイヤに要求される多様な特性を総合的に満足することは難しい。

10

【 0 0 0 6 】

また、金は高価であるため、材料費が安価である他種金属が所望されており、材料費が安価で、電気伝導性に優れた、銅を素材とするボンディングワイヤが開発されている。しかし、銅のボンディングワイヤでは、ボンディングのワイヤ表面の酸化により接合強度が低下することや、樹脂封止されたときのワイヤ表面の腐食等が起こり易いことが問題となる。これらが銅のボンディングワイヤの実用化が進まない原因ともなっている。

【 0 0 0 7 】

これまでに実用化されたボンディングワイヤは全て単層構造であることを特徴とする。素材が金、銅等変わっても、内部に合金元素を均一に含有しており、ボンディングのワイヤ断面でみるとワイヤ単層構造であった。ワイヤ表面に薄い自然酸化膜、表面保護のための有機膜等が形成されている場合もあるが、これらも最表面の極薄い領域(~数原子層レベル)に限られる。

20

【 0 0 0 8 】

ボンディングワイヤに要求される多様なニーズに応えるため、ワイヤ表面に別の金属を被覆した多層構造のボンディングワイヤが提案されている。

【 0 0 0 9 】

銅ボンディングワイヤの表面酸化を防ぐ方法として、特許文献1には、金、銀、白金、パラジウム、ニッケル、コバルト、クロム、チタン等の貴金属や耐食性金属で銅を被覆したボンディングワイヤが提案されている。また、ボール形成性、メッキ液の劣化防止等の点から、特許文献2には、銅を主成分とする芯材、該芯材上に形成された銅以外の金属からなる異種金属層、及び該異種金属層の上に形成され、銅よりも高融点の耐酸化性金属からなる被覆層の構造をしたボンディングワイヤが提案されている。特許文献3には、銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と成分又は組成の一方又は両方の異なる金属と銅を含有する外皮層を有し、その外皮層の厚さが0.001~0.02 μm の薄膜であるボンディングワイヤが提案されている。

30

【 0 0 1 0 】

また、金ボンディングワイヤでも、多層構造が多く提案されている。例えば、特許文献4には、高純度Au又はAu合金からなる芯線の外周面に高純度Pd又はPd合金からなる被覆材を被覆したボンディングワイヤが提案されている。特許文献5には、高純度Au又はAu合金からなる芯線の外周面に高純度Pt又はPt合金からなる被覆材を被覆したボンディングワイヤが提案されている。特許文献6には、高純度Au又はAu合金からなる芯線の外周面に高純度Ag又はAg合金からなる被覆材を被覆したボンディングワイヤが提案されている。

40

【 0 0 1 1 】

こうした半導体向けの多層構造のボンディングワイヤは、実用化の期待は大きいものの、これまで実用化されていなかった。多層構造による表面改質、高付加価値等が期待される一方で、ワイヤ製造の生産性、品質、またボンディング工程での歩留まり、性能安定性、さらに半導体使用時の長期信頼性等が総合的に満足されなくてはならない。

50

【 0 0 1 2 】

量産で使用されるワイヤ特性として、ボンディング工程におけるループ制御が安定しており、接合性も向上しており、樹脂封止工程でワイヤ変形を抑制すること、接続部の長期信頼性等の、総合的な特性を満足することで、最先端の狭ピッチ接続、積層チップ接続等の高密度実装に対応できることが望まれている。

【特許文献 1】特開昭62-97360号公報

【特許文献 2】特開2004-64033号公報

【特許文献 3】特開2007-12776号公報

【特許文献 4】特開平4-79236号公報

【特許文献 5】特開平4-79240号公報

【特許文献 6】特開平4-79242号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

従来の単層構造のボンディングワイヤ(以下、単層ワイヤと記す)では、引張り強度、接合部の強度、信頼性等を改善するのに、合金化元素の添加が有効であるが、特性向上には限界が懸念されている。多層構造をしたボンディングワイヤ(以下、複層ワイヤと記す)では、単層ワイヤよりもさらに特性を向上して付加価値を高めることが期待される。高機能化をもたらす複層ワイヤとして、例えば、銅ボンディングワイヤの表面酸化を防ぐために、ワイヤ表面に貴金属や耐酸化性の金属を被覆することが可能である。金ボンディングワイヤでも、ワイヤ表面に強度の高い金属又は合金を被覆することで、樹脂流れを低減する効果が期待される。

【 0 0 1 4 】

しかし、半導体実装の高密度化、小型化、薄型化等のニーズを考慮して、本発明者らが評価したところ、複層ワイヤでは、後述するような実用上の問題が多く残されていることが判明した。

【 0 0 1 5 】

多ピン・狭ピッチ化により、一つのIC内にワイヤ長、ループ高さが異なるワイヤ接続が混載することが行われている。従来は知られていなかった問題が発生する場合も多い。代表例として、ボール直立部のリーニング不良は、狭ピッチ化により認識された新たな課題である。リーニング不良とは、ボール接合近傍のワイヤ直立部が倒れて、隣接ワイヤの間隔が接近する現象である。リーニング不良を改善するワイヤ材料が求められる。

【 0 0 1 6 】

ボール直立部のリーニング不良の対策として、ボンディングワイヤを単純に高強度化・高弾性率化したり、反対に低強度化しても、改善することは困難である。また、破断伸び、弾性率等機械的特性だけを増減しても、リーニングを安定して低減することは困難である。ボール直立部ではボール溶融時の熱影響、ループ形成時の変形歪み等を受けており、単純なワイヤ母線の機械的特性、あるいは元素添加による合金設計等に基づいた、従来材料の延長では限界がある。ボンディングのワイヤ倒れであるリーニング不良を抑えることが、狭ピッチ接続の量産段階での重要課題の一つとなっている。複層ワイヤでは、芯材と表皮層のそれぞれを分けて材料設計、組織制御を行う必要があるため、リーニング問題の改善は困難とされており、その支配要因等も明確でなかった。

【 0 0 1 7 】

次に、積層チップ接続で問題となるスプリング不良について説明する。積層チップのワイヤ接続では、通常のワイヤボンディングとは接合位置が逆転する、逆ボンディングと呼ばれる接続が多く用いられる。第一段階では、チップ上の電極にスタッドバンプを形成し、第二段階では、基板の電極上にボール部を接合し、前記スタッドバンプの上にボンディングワイヤをウェッジ接合する手法である。この逆ボンディングにより、ループ高さを低く抑えられたり、チップ積層数が増えて段差がかなり高い場合でも安定したループ制御が可能となる。一方で、この逆ボンディングではボンディングワイヤが屈曲するスプリング

10

20

30

40

50

不良が発生することが懸念されている。メモリICでは積層チップが主流となりつつあり、このスプリング不良の低減が期待されている。

【0018】

スプリング不良を低減する手法として、ボンディングワイヤの破断強度を低下させる手法が用いられている。しかし、ワイヤ強度の低下により細線化には限界があり、ループ形状が不安定になること等が懸念されている。スプリング不良の低減と、ループ形状の安定化を両立することは困難であった。複層ワイヤでは、芯材と表皮層のそれぞれを分けて素材選定、合金化、組織制御を行う必要があるため、スプリング不良とループ形状とは分離して改善が検討されたとしても、両特性を同時に満足させるのは困難と考えられていた。

【0019】

本発明では、上述するような従来技術の問題を解決する複層ワイヤであって、特にリーニング不良とスプリング不良を低減させることが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】

【0020】

本発明者らが、上記ボンディングワイヤのリーニング不良、スプリング不良等の問題を解決するために複層構造のボンディングワイヤを検討した結果、前記表皮層の結晶粒組織と芯材の結晶粒組織を制御することが有効であることを見出した。

【0021】

本発明は前記知見の基づいてなされたものであり、以下の構成の要旨とする。

【0022】

本発明の請求項1に係るボンディングワイヤは、主成分がCu、Au及びAgのうち少なくとも1種からなる芯材と、前記芯材の上に芯材とは異なる金属であるPd、Pt、Ru、Rh及びAgのうち少なくとも1種を主成分とする表皮層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面における前記表皮層結晶粒のワイヤ円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における前記芯材結晶粒の平均サイズbとの関係について、 $a/b \geq 0.7$ であることを特徴とする。

【0023】

本発明の請求項2に係るボンディングワイヤは、請求項1において、前記平均サイズaが $1.5 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0024】

本発明の請求項3に係るボンディングワイヤは、請求項1又は2において、前記平均サイズbが $2 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0025】

本発明の請求項4に係るボンディングワイヤは、請求項1～3のうちいずれか1項において、前記ワイヤ表面における前記表皮層結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズcと、ワイヤ軸を含み長手方向の断面である軸断面における前記芯材結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズdとの関係について、 $d/c \geq 1.2$ であることを特徴とする。

【0026】

本発明の請求項5に係るボンディングワイヤは、請求項1～4のうちいずれか1項において、前記表皮層の表面における硬度SHと、前記芯材の断面における硬度CHとの関係について、 $SH/CH \geq 1.3$ であることを特徴とする。

【0027】

本発明の請求項6に係るボンディングワイヤは、請求項1～5のうちいずれか1項において、前記表皮層の厚さが $0.005 \sim 0.3 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0028】

【0029】

【0030】

10

20

30

40

50

本発明の請求項7に係るボンディングワイヤは、請求項1～6のうちいずれか1項において、前記表皮層と前記芯材の間に、前記表皮層及び前記芯材を構成する主成分とは異なる成分からなる中間金属層を有することを特徴とする。

【0031】

本発明の請求項8に係るボンディングワイヤは、請求項1～7のうちいずれか1項において、前記表皮層と前記芯材との間に濃度勾配を有する拡散層を有することを特徴とする。

【0032】

本発明の請求項9に係るボンディングワイヤは、請求項1～8のうちいずれか1項において、前記芯材を構成する主成分がCuで、In、Ca、B、Pd、Bi、Zr、Ag、及びPのうち少なくとも1種を5～300ppmの範囲で含有することを特徴とする。

10

本発明の請求項10に係るボンディングワイヤは、請求項1～9のうちいずれか1項において、前記芯材を構成する主成分がCuで、Pdを5～10000ppmの範囲で含有し、前記表皮層を構成する主成分がPd又はAgであることを特徴とする。

【0033】

本発明の請求項11に係るボンディングワイヤは、請求項1～8のうちいずれか1項において、前記芯材を構成する主成分がAuで、Be、Ca、Ni、Pd、及びPtのうち少なくとも1種を5～9500ppmの範囲で含有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0034】

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤにより、ボール直上部のワイヤ倒れ(リーニング不良)を改善できる。また、積層チップ接続等で問題となるスプリング不良を抑制することもできる。また、ループの直線性、ループ高さの安定性を向上できる。また、ボンディングワイヤの接合形状の安定化を促進できる。その結果、細線化、狭ピッチ化、ロングスパン化、三次元実装等最新の半導体実装技術にも適応する、高機能のボンディングワイヤを提供することが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】ワイヤ表面の観察エリア

【図2】ワイヤの構造および断面 (a) ワイヤ構造 (b) ワイヤ軸に垂直方向の断面(垂直断面) (c) ワイヤ長手方向の断面(軸断面)

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

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)について、導電性金属からなる芯材と、該芯材の上に芯材とは異なる面心立方金属を主成分とする表皮層で構成されたものを検討した結果、前記表皮層の結晶粒組織と芯材の結晶粒組織を特定の関係に制御することが、ウェッジ接合強度の向上に加えて、ボール直上部のワイヤ倒れ(リーニング不良)を改善したり、逆ボンディングにおけるスプリング不良を抑制するために有効であることを見出した。

【0037】

具体的には、狭ピッチ接続、3次元接続等の新たなニーズ等にも対応できる複層構造のボンディングワイヤを検討した結果、表皮層と芯材の組織を互いに制御することが有効であることを見出した。特に、表皮層の表面の結晶粒サイズと、芯材の断面における結晶粒サイズとの関係が、ワイヤボンディングの使用性能に及ぼす影響に着目することで、ループ制御性、接合性等の総合的な改善が可能であることを初めて確認した。更に効果的には、表皮層と芯材の材質、厚さ等の組合せを制御することが有効であることも見出した。

40

【0038】

即ち、導電性金属からなる芯材と、前記芯材の上に芯材とは異なる金属を主成分とする表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記ボンディングワイヤの表面における前記表皮層結晶粒の円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における前記芯材結晶粒の平均サイズbとの関係について、 $a/b > 0.7$ であることを特徴と

50

する半導体装置用ボンディングワイヤである。該複層ワイヤであれば、リーニング不良を改善できる。

【0039】

リーニングを制御する因子はこれまで明らかにされておらず、新たな指標に基づいたワイヤ材料開発が必要となる。リーニング現象(不良)とは、ボール接合近傍の直立部におけるワイヤ倒れである。よって、リーニング現象は、ボール接合の直上部近傍又はボール接合時に熱の影響を受ける部位(熱影響部)における局所領域のワイヤ直線性とも言える。この部位の直線性を維持してループ形状を制御するには、ボンディングワイヤの表面と中心部との組織を個別に制御することが有効である。複層ワイヤでは、表皮層と芯材を個別に制御することが比較的容易であることから、この点では有利である。

10

【0040】

複層ワイヤの表皮層の結晶粒サイズを細かくすること、逆に、芯材の結晶粒サイズを大きくすることを同時に制御することが、リーニングの改善(リーニング不良の抑制、熱影響部等のワイヤ直線性)には有効であることを見出した。芯材の結晶粒サイズが大きくなることで、複雑なループ制御における変形抵抗を低減させ、ループを安定化させる効果が期待される。さらに、表皮層の結晶粒サイズを細かくすることで、熱影響部の表面組織を微細化させて直線性を維持する効果が期待される。ボール近傍のボンディングワイヤが熱影響を受けて、芯部が再結晶により結晶粒が粗大化しても、表皮層は微細な組織をある程度まで維持できる。これが、湾曲、曲折等による相当の変形歪みを受けても、横方向への倒れを抑えるのに有効に作用していると考えられる。表皮層の微細化又は芯材の粗大化のどちらか一方だけ行っただけでは、リーニングを改善する効果は小さいことが確認された。

20

【0041】

具体的には、ワイヤ表面における表皮層結晶粒の円周方向の平均サイズ a と、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における該芯材の結晶粒の平均サイズ b とを用い、その比率 a/b がリーニング現象との相関が最も高いことが判明した。ボンディングワイヤが横に倒れるリーニング現象では、ワイヤ軸の円周方向及び垂直断面の組織がより支配的であること、薄い表皮層では表面から観察した方が組織を正確に判定できること等を総合的に考慮している。ここで、表皮層と芯材の結晶粒平均サイズの比率である a/b が0.7以下である理由は、リーニング不良を抑制する効果が高められるためである。好ましくは、該比率 a/b が0.3以下であれば、ループ高さが400 μm 以上の高ループ接続でもリーニング不良を低減する高い効果が得られる。リーニング不良はワイヤ倒れと深く関係することから、一般にループ高さが高いほど不良率が増加する傾向にある。ループ高さが400 μm 以上でもリーニング性を向上することで多段配線等に有利となる。さらに好ましくは、該比率 a/b が0.1以下であれば、線径20 μm 以下の細線でのリーニング不良を抑制する効果が高められることで、40 μm 以下の狭ピッチ接続に好適である。また、 a/b が低いほどリーニング不良の抑制には有利な傾向ではあるが、ワイヤ製造の生産性、操作性、品質保証等の点まで考慮すると、現実的には下限値は0.001であることが望ましい。

30

【0042】

芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記結晶粒サイズ比率 a/b 0.7の関係を満足し、更に望ましくは、前述した表皮層の結晶粒平均サイズ a が1.5 μm 以下である。これにより、これまで対応が困難とされていた、逆段差ボンディング時のリーニングを改善することにより、積層チップ接続の量産実用を促進することができる。

40

【0043】

逆段差ボンディングでは、通常はウェッジ接合部がボール接合部よりも高い位置にあるため、通常のボンディングと比較して、ボール接合近傍のワイヤ直立部の長さが数倍長く、塑性変形の部位も異なる。これが逆段差ボンディングにおけるワイヤ倒れ、曲がり等の不良発生頻度を高める要因でもあった。不良の原因は上述したリーニング現象と類似しており、さらに厳しい評価となる。

【0044】

50

ここで表皮層の円周方向の結晶粒平均サイズaが $1.5\mu\text{m}$ 以下である理由は、 $1.5\mu\text{m}$ 超であれば、ネック部の直線性がより顕著に反映され易い逆段差ボンディングでは、リーニング不良を低減することが難しい場合があるためである。より好ましくは、該結晶粒平均サイズaが $1\mu\text{m}$ 以下であり、前記範囲内であれば、線径 $20\mu\text{m}$ 以下の細線による逆段差ボンディングにおいて、リーニング不良を抑制するより高い効果が得られる。表皮層の結晶粒平均サイズは上記のように小さい方が好ましいのであるが、現状技術での製造上限界から、その下限は、 $0.001\mu\text{m}$ 以上が現実的である。

【0045】

芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、更に望ましくは、前述した芯材の結晶粒平均サイズbが $2\mu\text{m}$ 以上である。これにより、ネック部の損傷を低減することで、低ループ化に有利となる。低ループ接続では、ボンディングワイヤを強制的に引っ張る操作を行うため、熱の影響によって、強度が弱いネック部において、クラックや、開口形状等の損傷を受け易い。芯材の結晶粒平均サイズbを大きくすれば結晶粒界を減らすこともでき、結果として個々の結晶粒の延性の向上、又は残留歪みの低減等により、ネック部の損傷を抑えられていると考えられる。芯材の結晶粒平均サイズは上記のように大きい方が好ましいのであるが、その上限は芯材径以下であり、更に、製造過程における粒成長させる経済的な時間から $15\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【0046】

ここで、芯材の断面の結晶粒平均サイズbが $2\mu\text{m}$ 以上である理由は、 $2\mu\text{m}$ 未満であれば、低ループでのネック損傷を低減する十分な効果が得られない場合があるためである。更に好ましくは、該結晶粒平均サイズbが $4\mu\text{m}$ 以上である。前記範囲内であれば、ループ高さが $70\mu\text{m}$ 以下の超低ループでのネック損傷を抑える、より高い効果が得られる。

【0047】

芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、更に望ましくは、ワイヤ表面における表皮層結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズcと、ワイヤ軸を含み長手方向の断面である軸断面における前記芯材結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズdとの関係について、 $d/c = 1.2$ である。これにより、リーニング不良の抑制とループ形状の直線性の向上(ループ形状の安定化)ができると共に、更に、スプリング不良の低減ができ、スプリング不良の低減とループ形状の安定化を両立することで積層チップ接続に有利となる。前記の平均サイズc、dの影響について、両者が複雑に(複合的に)関係しているものの、それぞれの主要効果を分けて推定すると、芯材結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズdを増加させることで、ウェッジ接合後のテイルカットにおけるワイヤ破断伸びを上昇させて、スプリング不良を低減させる作用があり、一方で、表皮層結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズcを低減させることで、テイルカットの破断形状を安定化させてスプリング性を低減する効果に加えて、ループ形状の直線性を向上させる作用も働いていると考えられる。これら総合的な効果を整理するのに、表皮層結晶粒と芯材結晶粒とのワイヤ軸方向の結晶粒平均サイズの比率である d/c が最も有効であった。

【0048】

ここで該比率 d/c が 1.2 以上である理由は、 1.2 未満であれば、スプリング不良の低減と、ループ形状の直線性を同時に向上する十分な効果が得られない場合があるためである。より好ましくは、該比率 d/c が 2 以上であれば、線径 $20\mu\text{m}$ 以下の細線を用いてもスプリング不良を抑える高い効果が得られる。

【0049】

芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、更に望ましくは、表皮層の表面における硬度SHと、前記芯材の断面における硬度CHとの関係について、 $SH/CH = 1.3$ である。これにより、リーニング不良の抑制とループ高さのパラッキの低減(ループ形状の安定性)ができると共に、更に、ウェッジ接合性を向上できる、即ち、ウェッジ接合性とループ形状の安定性を両立することがで

10

20

30

40

50

きる。

【0050】

これまで複層ワイヤでは、ウェッジ接合性とループ安定性はトレードオフ関係となる場合が多く、両立させることは困難な場合が多かった。硬度比SH/CHという新たな指標を用いることで、相反するウェッジ接合性とループ安定性を同時に向上させる複層ワイヤの設計が可能となる。前記硬度SH、CHの影響について、両者が複雑に関係しているものの、それぞれの主要効果を分けて推定する。芯材の硬度CHが低いほど軟質となり、ウェッジ接合での接合面積を増加させて接合性を高める作用があり、さらに、表皮層の表面硬度SHが高いことで、接合相手を変形させながら表面の酸化膜、汚染層等を破壊することで接合強度を高める作用が働いていると考えられる。また、ループ形状に関して、SHが高いほど表面が硬質となり、CHが低いほど芯材は軟質となりループ形成時の変形抵抗が減少する傾向にあることから、硬度比SH/CHが上昇することで、高速で複雑なループ制御を操作するのに有利となる。

10

【0051】

より好ましくは、該比率SH/CHが2以上であれば、ウェッジ接合性とループ高さのバラツキの低減を両立させる、高い効果が得られ、特に線径20 μ m以下の細線では両特性を改善するより高い効果が得られる。硬度比SH/CHの上限値は、使用性能からは特に設定しないが、ワイヤ製造工程を考慮すれば50以下であることが現実的である。測定法では、微小ビッカース硬度又は、ナノインデント装置を用いた微小領域の硬度測定法を用いることができる。測定部位、材質等により硬度測定法を使い分けることができ、例えば、芯材では断面の微小ビッカース硬度測定、表皮層では、ワイヤ表面のナノインデント硬度測定が有効である。微小ビッカース硬度の測定では、硬度にあわせて、荷重を0.09807~9.807Nで調製する。ナノインデント硬度測定では、荷重を0mN~20mN程度までかけ、荷重と深さの関数を測定して硬度を求める。

20

【0052】

表皮層の主成分となる導電性金属は、芯材の主成分である導電性金属とは異なる金属であり、ボンディングワイヤの接合性の改善に効果があり、ボンディングワイヤの酸化防止にも有効である金属であることが望ましい。具体的には、Pd、Pt、Ru、Rh、又はAgが候補となり、さらに実用性、コストパフォーマンス等を重視すれば、Pd、Pt、Ru、及びAgの少なくとも1種の金属であることがより望ましい。ここでの主成分とは濃度が50mol%以上を有する元素のことである。Pdは、封止樹脂との密着性、電極への接合性も十分であり、品質管理も容易である等の利点がある。Ptは、ボール形状を安定化させることが比較的容易である。Ruは硬質で緻密な膜を形成し易く、材料費も比較的安価である。Rhは耐酸化性等性能は良好であるが、材料費が高価であるため、薄膜化等今後の検討が期待される。Agは軟質であるため、表皮層が形成されたワイヤを伸線加工した場合、比較的容易にキズを抑制等することができ、材料費も安価であるため、コスト重視の半導体等に有用である。

30

【0053】

即ち、表皮層はPd、Pt、Ru、及びAgのうち少なくとも1種を主成分とする純金属、又は前記導電性金属を主成分とする合金であることが好ましい。純金属であれば耐酸化性、接合性の向上等が容易である利点があり、合金であれば引張強度、弾性率の上昇により樹脂封止時のワイヤ変形を抑制する利点がある。ここでの上記純金属とは、表皮層の一部に99mol%以上の濃度を有する層が含まれるか、あるいは拡散層を除く表皮層の平均濃度が80mol%以上であることに相当する。上記合金とは、Pd、Pt、Ru、及びAgの少なくとも1種の金属を50mol%以上含有するものである。

40

【0054】

芯材を構成する導電性金属は、Cu、Au、Agが候補となり、実用性を重視すれば、Cu、及びAuのうち少なくとも1種を主成分することが望ましい。Cuは、材料費が安く、電気伝導性が高く、ボール形成時にシールドガスを吹付ければ良好なボール形成も容易である等操作性も比較的的良好である。Auは、耐酸化性が強く、ボール形成時にシールドガス等が不要であり、接合時の変形も良好であり、接合性を確保し易い等の利点がある。Agは、導電性

50

が優れているが、伸線加工がやや難があり、製造技術を適正化することが必要である。一方、Cu、Auは単層ボンディングワイヤ用素材としての使用実績が多いことは利点でもある。

【 0 0 5 5 】

芯材は該導電性金属を主成分とする合金であれば、ワイヤ強度の増加による細線化、又は接合信頼性の向上等に有利な場合もある。Cu合金の場合には、In、Ca、B、Pd、Bi、Zr、Ag、及びPの少なくとも1種を5～300ppmの範囲で含有することで、ボンディングワイヤの引張り強度、弾性率の増加等により、スパン5mm程度までのロングスパンでの直線性を向上する効果が得られる。さらに上記の改善効果として、小型パッケージに必要な接続技術である、スパン0.5mm以下の短スパンで低ループでも直線性を向上する高い効果が得られることが確認された。上記の添加作用を高めるには、Cuの単層ワイヤでは十分ではないのに対して、芯材の主成分がCuである複層ワイヤに適用する方が高い効果が得られることを確認した。即ち、芯材がIn、Ca、B、Pd、Bi、Zr、Ag、及びPの少なくとも1種を5～300ppmの範囲で含有するCu合金であり、表皮層がPd、Pt、又はRuを主成分とする、芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係であることにより、短スパン低ループでの直線性を向上する効果が一層高められる。この理由として、結晶方位を制御した表皮層と合金元素を含有する芯材との相乗効果により、直線性が向上すると考えられる。

【 0 0 5 6 】

芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、更に望ましくは、表皮層を構成する主成分がPd又はAg、芯材を構成する主成分がCuであり、芯材中にPdを5～10000ppmの範囲で含有する複層構造のボンディングワイヤであれば、ワイヤの逆接続方式においてスプリング不良の低減とスタッドバンプ高さの安定化とに有効であり、又は、ボール接合部の圧着高さの安定化も可能である。逆接続方式の生産性を低下させる要因には、不安定なスタッドバンプ高さ、ループが屈曲変形するスプリング不良とがある。特に、積層チップ構造の中でも厳しい接合性が要求されるオーバハング型の場合に、芯材中のPd添加は、スプリング不良の低減とスタッドバンプ高さの安定化を両立させる上記効果がより顕著となる。オーバハング型積層チップではチップの直下の一部が固定されない構造であることから、チップの反り・破壊を回避するために、該チップ上の電極に形成されたバンプ上にウェッジ接合するとき荷重、超音波等を低くする弱接合が求められる。したがって、テイルカットの破断強度が高くなるため、スプリング不良の発生頻度が通常の接続形態よりも増加することが問題となる。芯材中にPd添加した上記ワイヤであれば、ワイヤ製造での熱処理工程において、芯材/表皮層の界面近傍で、芯材中のPdと表皮層中のPd又はAgがお互いに拡散するとき、Pd濃度の変化を均一化且つ緩やかにさせる相乗作用により、スプリング不良を抑えられると考えられる。また、上述したPd添加によるループの直線性を向上させる効果が、スプリング不良の抑制に影響することも期待される。こうしたワイヤ内部のPd濃度変化は、ワイヤ全体だけでなく、ボール溶融の熱影響を受けるネック部にさらに有効に作用するので、スタッドバンプ高さの安定化にも有効である。このようにスタッドバンプ高さを安定させることができるのは、ネック部の再結晶粒径の分布をワイヤ中心部と表面近傍で均一化させることで、スタッドバンプ形成時の破断長さを安定化させる作用があると考えられる。また、Cuの芯材とPdの表皮層の組み合わせでは、ボールが溶融するときCuとPd、Agの混合が不均一となりボール形状の異形が発生する場合があるが、芯材にPdを含有させることで、初期ボールのサイズを安定化させて、ボール部の圧着高さを安定化させる効果が高められる。ここで、芯材に含まれるPd濃度に関して、5ppm以上であれば上記効果が確認され、好ましくは200ppm以上であれば、オーバハング型積層でのスタッドバンプ高さを安定化させる効果がより一層高められる。該Pd濃度の上限に関して、10000ppm以下であればボールの硬化によるチップ損傷を抑えることができ、好ましくは8000ppm以下であればチップ損傷を抑える効果がより高められ、狭ピッチ接続にも有利となる。

【 0 0 5 7 】

Au合金の場合には、Be、Ca、Ni、Pd、Ptの少なくとも1種を5～9500ppmの範囲で含有することであれば、同様の効果があり、良好な直線性を確保するのが容易となる。さらに上記の改善効果として、小型パッケージに必要な接続技術である、スパン0.5mm以下の短スパンで低ループでも直線性を向上する高い効果が得られることが確認された。即ち、芯材がBe、Ca、Ni、Pd、又はPtの少なくとも1種を5～9500ppmの範囲で含有するAu合金であり、表皮層がPd、Pt、Ru、又はAgを主成分として、芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足することが望ましい。

【0058】

複層構造のボンディングワイヤの構成では、表皮層と前記芯材の間に、前記表皮層及び前記芯材を構成する主成分とは異なる成分からなる中間金属層を有することで、前述した表皮層の粒径サイズ等の組織を制御するにも有利となる。表皮層の形成では下地の組織の影響を受けることがあり、芯材の上に形成した中間金属層の組成、粒径、膜厚等を制御する方が比較的容易であるためである。

【0059】

即ち、前記表皮層と前記芯材との間に、前記表皮層及び前記芯材を構成する主成分とは異なる成分からなる中間金属層を有することを特徴とする複層構造のボンディングワイヤが望ましい。中間金属層を加える効果として、表皮層と芯材の密着性の向上等により、ウェッジ接合部の接合強度の指標の一つであるピール強度を高めることができる。ここで、ピール強度の測定には、ウェッジ接合近傍でのプル強度を測定する簡便な方法で代用できる。したがって、中間金属の挿入によりピール強度が増加できる。ここで、中間金属層の成分は、表皮層及び芯材の成分との組み合わせで選定されるべきものである。例えば、Au、Pd、Pt、Rh、Ag等が挙げられ、特に、Au、Pd、Ptがより好ましい。更に好ましくは、表皮層/芯材の主成分の組み合わせがPd/Cuである場合、中間金属層の主成分がAuであれば、前述した表皮層と芯材の組織とを同時に制御することに有利であり、さらに表皮層/中間金属層/芯材のそれぞれの界面での密着性も比較的良好である。また、表皮層/芯材の主成分の組合せがPd/Auである場合、中間金属層の主成分がPtであれば、表皮層の組織、組成、膜厚等の安定化に有利である。

【0060】

表皮層の厚さが0.005～0.3 μm の範囲であれば、上述のリーニング不良やスプリング不良の改善に加えて更に、接合性や、ループ制御等の要求特性も総合的に満足することが容易となる。厚さが0.005 μm 以上であれば、表面組織を制御した表皮層の十分な効果が得られるためであり、0.3 μm を超えると、ボール部の合金化による硬化が顕著となり、接合時にチップにクラック等の損傷を与えることが問題となる場合がある。

【0061】

好ましくは、表皮層の厚さが0.01～0.25 μm の範囲であれば、複雑なループ制御でも速度を落とすことなく、所望するループ形状を安定して形成することができる。より好ましくは、0.02～0.2 μm の範囲であれば、ボンディングワイヤの使用性能を維持しつつ、膜形成工程の処理効率を高められる等、安定した膜質を得ることが容易である。

【0062】

中間金属層の厚さが0.003～0.2 μm の範囲であれば、更に、芯材との界面の密着性を向上し、複雑なループ制御にも対応できる。好ましくは、0.007～0.1 μm の範囲であれば、膜厚の均一性、再現性を確保することが容易となる。

【0063】

ここで、表皮層と芯材との境界は、表皮層を構成する導電性金属の検出濃度の総計が50mol%の部位とする。よって、本発明でいう表皮層とは、表皮層を構成する導電性金属の検出濃度の総計が50mol%の部位から表面であり、即ち、表皮層を構成する導電性金属の検出濃度の総計が50mol%以上の部位である。

【0064】

上述の、表皮層結晶粒のサイズ、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における芯

10

20

30

40

50

材結晶粒のサイズ、及び、ワイヤ軸を含み長手方向の断面である軸断面における芯材結晶粒のサイズは、それぞれの結晶粒界(結晶粒同士の境界)を次のように特定して、結晶粒の形状を明確にして測定する。化学的エッチング法若しくはCP(Cross-section Polishing)法により結晶粒界を直接観察する手法、又は後方電子散乱図形(Electron Back Scattering Pattern、以降EBSP)法により結晶粒界を解析する手法によって、前記結晶粒界を特定する。化学的エッチングでは、表皮層又は芯材の素材、構造等に適した薬液、エッチング条件を選定することで、簡便に結晶粒等の組織を観察できる。前記薬液としては、例えば、塩酸、硝酸、硫酸、酢酸等の酸性水溶液である。前記酸濃度(pH)と、温度や時間といったエッチング条件とを選定して、粒界を選択的に溶解したり、又は、特定の結晶面を選択的に溶解させることで、結晶粒界を確定して、結晶粒の形状を観察する。CP法では、例えば、2~6kVの加速電圧のアルゴンイオンのブロードなビームを用いて試料断面を形成して、結晶粒界を明確にし、結晶粒の形状を観察する。

10

【0065】

EBSP法では各結晶粒の方位を測定できるため、結晶粒界が確定できる。本発明では、隣接する結晶粒の方位差が15°以上のものを結晶粒界とする。

【0066】

EBSP法による組織観察では、通常、試料の凹凸、曲面が大きい場合は、結晶方位を高精度測定するのが難しい。即ち、表皮層を観察する場合には、曲面が問題となる。しかしながら、測定条件を適正化すれば高精度の測定、解析が可能である。具体的には、表皮層を観察する場合、図1に示すように、ボンディングワイヤ1を平面に直線状に固定し、そのボンディングワイヤ1の中心近傍の平坦部8をEBSP法で測定する。測定領域について、円周方向のサイズはワイヤ長手方向の中心を軸として線径の50%以下であり、長手方向のサイズは100µm以下であれば、精度に加えて測定効率を高められる。好ましくは、円周方向のサイズは線径の40%以下、長手方向のサイズは40µm以下であれば、測定時間の短縮により測定効率をさらに高められる。

20

【0067】

EBSP法で高精度の測定を行うには、1回で測定できる領域は限られるため、3箇所以上の測定を行い、ばらつきを考慮した平均情報を得ることが望ましい。測定場所は近接しないよう、円周方向に異なる領域を観察できるように、測定場所を選定することが好ましい。

【0068】

例えば、線径25µmのボンディングワイヤの測定では、平板上にワイヤ向きをなるべく変えるように固定したボンディングワイヤを用い、そのワイヤ軸を中心に円周方向に8µm、長手方向には30µmのサイズを一回の測定エリアとし、1mm以上離して3箇所の測定を行うことで、ボンディングワイヤの表面組織の平均的情報を入手することが可能である。但し、測定の領域、場所の選定はこの限りでなく、測定装置、ワイヤ状態等を考慮して適正化することが望ましい。

30

【0069】

また、芯材の組織(結晶粒)は、図2に示すように、ワイヤ軸に垂直方向の断面(垂直断面)6、又は、ワイヤ軸を含み長手方向の断面(軸断面)7を測定する。芯材の垂直断面の結晶粒サイズbの測定には垂直断面を直接観察し、芯材のワイヤ軸方向の平均サイズdの測定には軸断面を直接観察する。機械的研磨により断面を作製したときは、研磨面の残留歪みを軽減するためにエッチングにより表層を除去することが望ましい。

40

【0070】

EBSP法による測定結果の解析では、装置に装備されている解析ソフトを利用することで、結晶粒のサイズに関しても長手方向(軸方向)と円周方向での平均サイズ等を計算できる。

【0071】

上記各結晶粒の平均サイズは、数平均で算出するものである。少なくとも5個以上の結晶粒のサイズを平均する。また、本発明では、前記全ての分析手法で得られる結晶粒平均サイズが本発明の規定範囲を満足する必要はなく、1つの分析手法で得られる結晶粒平均

50

サイズが本発明の規定範囲を満足すればその効果が得られるものである。

【0072】

本発明のボンディングワイヤを製造するに当り、芯材の表面に表皮層を形成する工程と、表皮層、拡散層、芯材等の構造を制御する加工・熱処理工程とが必要となる。

【0073】

表皮層を芯材の表面に形成する方法には、メッキ法、蒸着法、熔融法等がある。メッキ法では、電解メッキ、無電解メッキ法は使い分けることが可能である。電解メッキでは、メッキ速度が速く、下地との密着性も良好である。電解メッキは1回のメッキ処理でも構わないが、フラッシュメッキと呼ばれる薄付けメッキと、その後に膜を成長させる本メッキに区分でき、これら複数の工程に分けて行うことで、より膜質の安定化に有利である。無電解メッキに使用する溶液は、置換型と還元型とに分類され、膜が薄い場合には置換型メッキのみでも十分であるが、厚い膜を形成する場合には置換型メッキの後に還元型メッキを段階的に施すことが有効である。無電解法は装置等が簡便であり、容易であるが、電解法よりも時間を要する。

10

【0074】

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等の化学吸着とを利用することができる。いずれも乾式であり、膜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。

【0075】

メッキ又は蒸着を施す段階について、狙いの線径で導電性金属の膜を形成する手法と、太径の芯材に膜形成してから、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。前者の最終径での膜形成では、製造、品質管理等が簡便であり、後者の膜形成と伸線との組み合わせでは、膜と芯材との密着性を向上するのに有利である。それぞれの形成法の実例として、狙いの線径の細線に、電解メッキ溶液の中にワイヤを連続的に掃引しながら膜形成する手法、あるいは、電解又は無電解のメッキ浴中に太線を浸漬して膜を形成した後に、ワイヤを伸線して最終径に到達する手法等が可能である。

20

【0076】

ここで、前述した最終線径で表皮層を形成する最終メッキ法では、成膜後には熱処理工程だけである。また、太径の芯材に膜形成する太径メッキ法では、狙いの線径までの加工工程と熱処理工程を組み合わせることが必要となる。

30

【0077】

表皮層を形成した後の加工工程では、ロール圧延、スエージング、ダイス伸線等を目的により選択、使い分ける。加工速度、圧加率又はダイス減面率等により、加工組織、転位、結晶粒界の欠陥等を制御することは、表皮層の組織、密着性等にも影響を及ぼす。

【0078】

単純にワイヤを成膜、加工及び加熱しただけでは、表皮層の表面及び内部での結晶粒サイズを制御できない。通常のワイヤ製造で用いられる最終線径での加工歪取り焼鈍をそのまま適用しても、表皮層と芯材との密着性の低下によりループ制御が不安定になったり、ワイヤ長手方向の表皮層の均質性、ワイヤ断面での表皮層、拡散層等の分布をコントロールすることは困難である。

40

【0079】

表皮層の結晶粒サイズと芯材の結晶粒サイズをそれぞれ制御するには、合金素材、製造技術を適正化することが望ましい。

【0080】

表皮層の結晶粒サイズを優先的に微細化するには、加工歪みがワイヤ表面近傍に集中するように、例えば、一回の加工における圧下率又は伸線ダイスの減面率を低減させることが有効である。また、表皮層結晶粒のワイヤ円周方向のサイズとワイヤ軸方向のサイズは、加工度を大きくするほどワイヤ軸方向のサイズが大きくなるので、結晶粒を微細化するために圧下率又は減面率を低減した中でも、圧下率又は減面率の大小によって決まる。

【0081】

50

芯材の結晶粒サイズを大きくするには、表皮層の形成以前の芯材を熱処理させて再結晶粒を粗大化させることが有効である。また、例えば、芯材結晶粒の垂直断面と軸断面のサイズは、表皮層の形成以前の芯材の再結晶と加工の組み合わせで設計できる。また表皮層と芯材の材質が異なることを利用して、熱処理温度の制御により、表皮層と芯材との再結晶進行度を変えることも有効である。例えば、表皮層を形成して加工も施したワイヤを用いて、加工途中又は最終線径における熱処理に関して、表皮層の材料の再結晶温度より低く、且つ、芯材の材料の再結晶温度より高い温度で熱処理することで、表皮層と芯材の結晶粒サイズの比率 a/b を低く抑えることが容易となる。ここで表皮層及び芯材の再結晶温度は、素材、合金化、加工度により増減させることは可能である。

【0082】

熱処理工程では、熱処理を1回又は複数回実施することが有効である。熱処理工程は、膜形成直後の焼鈍と、加工途中での焼鈍と、最終径での仕上げ焼鈍とに分類され、これらを選択、使い分けることが重要となる。どの加工段階で熱処理を行うかにより、最終の表皮層、表皮層と芯材との界面での拡散挙動等が変化する。一例では、メッキ処理後の加工途中に中間焼鈍を施し、さらにワイヤを伸線し、最終径で仕上げ焼鈍を施す工程で作製することで、中間焼鈍を施さない工程と比較して、表皮層/芯材の界面に拡散層を形成して密着性を向上するのに有利である。

【0083】

熱処理法として、ワイヤを連続的に掃引しながら熱処理を行い、しかも、一般的な熱処理である炉内温度を一定とするのではなく、炉内で温度傾斜をつけることで、本発明の特徴とする表皮層及び芯材を有するボンディングワイヤを量産することが容易となる。具体的な事例では、局所的に温度傾斜を導入する方法や、温度を炉内で変化させる方法等がある。ボンディングワイヤの表面酸化を抑制する場合には、 N_2 やAr等の不活性ガスを炉内に流しながら加熱することも有効である。

【0084】

溶融法では、表皮層又は芯材のいずれかを溶融させて鑄込む手法であり、10~100mm程度の太径で表皮層と芯材を接続した後に伸線することで生産性に優れていること、メッキ、蒸着法に比べて表皮層の合金成分設計が容易であり、強度、接合性等の特性改善も容易である等の利点がある。具体的な工程では、予め作製した芯線の周囲に、溶融した導電性金属を鑄込んで表皮層を形成する方法と、予め作製した導電性金属の中空円柱を用い、その中央部に溶融金属を鑄込むことで芯線を形成する方法に分けられる。好ましくは、後者の中空円柱の内部に芯材を鑄込む方が、表皮層中に芯材の主成分の濃度勾配等を安定形成することが容易である。ここで、予め作製した表皮層中に芯材成分(例えば、銅)を少量含有させておけば、表皮層の表面での芯材成分濃度の制御が容易となる。また、溶融法では、表皮層に芯材成分を拡散させるための熱処理作業を省略することも可能であるが、表皮層内の芯材成分の分布を調整するために熱処理を施すことで更なる特性改善も見込める。

【0085】

さらに、こうした溶融金属を利用する場合、芯線及び表皮層のうち少なくとも一方を連続鑄造で製造することも可能である。この連続鑄造法により、上記の鑄込む方法と比して、工程が簡略化され、しかも線径を細くして生産性を向上させることも可能となる。

【0086】

芯材の主成分が銅である複層銅ワイヤを用いてボンディングするときは、ボールを形成するときのシールドガスが必要であり、1~10%の範囲で H_2 を含有する N_2 混合ガス、又は純 N_2 ガスを用いる。従来の単層の銅ワイヤでは、 $5\%H_2+N_2$ に代表される混合ガスが推奨されていた。一方、複層銅ワイヤでは、安価な純 N_2 ガスを使用しても良好な接合性が得られるため、標準ガスである $5\%H_2+N_2$ ガスよりも、ランニングコストを低減できる。 N_2 ガスの純度は99.95%以上であることが望ましい。即ち、純度が99.95%以上の N_2 ガスをワイヤ先端又はその周囲に吹付けながらアーク放電を生じさせてボール部を形成し、該ボール部を接合するボンディング方法であることが望ましい。

【0087】

また、表皮層と芯材との間に拡散層を形成することで密着性を向上することができる。拡散層とは、芯材と表皮層の主成分が相互拡散することで形成された領域であり、該主成分の濃度勾配を有する。拡散層の形成により芯材と表皮層の密着性を向上するため、ワイヤ製造工程における伸線時の断線、熱処理時の曲がり等の不良を低減して、歩留り及び生産性を向上できる。さらに濃度勾配を有することで、導電性金属は表皮層全体に均一濃度である場合より、高速で伸線加工したときの断線を低減して生産性を高める効果が高められる。即ち、芯材と表皮層の複層構造のボンディングワイヤであって、前記の結晶粒平均サイズ比率 a/b 0.7の関係を満足し、更に望ましくは濃度勾配を有する拡散層を有することにより、ワイヤ生産性の向上に有利である。好ましくは、前記の結晶粒平均サイズ比率 a/b 0.7の関係と、前記硬度比 SH/CH 1.3の関係を同時に満足し、更に望ましくは濃度勾配を有する拡散層を有することにより、線径 $20\mu\text{m}$ 以下の細線での製造歩留りの向上と、最終製品の機械的特性の安定化等に有効であることが確認された。硬度比 SH/CH の増加により、表皮層は硬く、芯材は柔らかくなるため、極細線の伸線時の断線を低減する高い効果が得られる。拡散層内の濃度勾配は、深さ方向への濃度変化の程度が $1\mu\text{m}$ 当り $10\text{mol}\%$ 以上であることが望ましい。好ましくは、 $0.1\mu\text{m}$ 当り $5\text{mol}\%$ 以上であれば、表皮層と芯材の異なる物性を損なうことなく、相互に利用する高い効果が期待できる。拡散層の厚さは $0.002\sim 0.3\mu\text{m}$ の範囲であることが好ましい。これは、拡散層の厚さが $0.002\mu\text{m}$ 未満であれば効果が小さく、分析で識別することも難しいためであり、 $0.3\mu\text{m}$ を超えると、表皮層の組織に影響を及ぼすため、前述した結晶方位を安定して形成することが難しいためである。芯材と表皮層の間に中間金属層を有する場合には、表皮層と中間金属層との間の拡散層、又は芯材と中間金属層との間の拡散層が形成されていれば、上記拡散層の改善効果と同様であることが確認された。この拡散層を制御するため、熱処理を利用することが有効である。先述したように、熱処理と加工を組み合わせることで拡散の進行度を制御することにより、ワイヤの円周方向又は長手方向に所望する拡散層を均一に形成することが可能となる。

【0088】

本願の拡散層の定義では、密着性、強度、ルーピング性、接合性等の性能、又は生産性等の観点から判断して、Pdの検出濃度が $10\sim 70\text{mol}\%$ の領域とする。この濃度域の拡散層であれば、Pd濃度が低く、表皮層と芯材の両者とは異なる役割を果たすためである。表皮層とは、前述したようにPdの検出濃度が $50\text{mol}\%$ 以上の高濃度の部位であり、即ち $50\text{mol}\%$ の部位から表面までの部位に相当する。ここで、Pd濃度が $50\sim 70\text{mol}\%$ の領域は表皮層と拡散層の両者の厚さに含まれており、これは該濃度域は表皮層と拡散層のどちらにも共通するワイヤボンディングの機能を有しているためである。ここでの表皮層、拡散層での濃度について、表皮層と芯材を構成する金属元素を総計した濃度比率を用いており、表面近傍のC、O、N、H、Cl、S等ガス成分、非金属元素等は除外して計算した濃度値を用いている。

【0089】

表皮層、芯材等の濃度分析は、電子線マイクロ分析法(EPMA)、エネルギー分散型X線分析法(EDX)、オージェ分光分析法(AES)、透過型電子顕微鏡(TEM)等を利用することができる。特にAES法は、空間分解能が高いことから、最表面の薄い領域の濃度分析に有効である。また、平均的な組成の調査等には、表面部から段階的に酸等に溶解していき、その溶液中に含まれる濃度から溶解部位の組成を求めることも可能である。本発明では、前記全ての分析手法で得られる濃度値が本発明の規定範囲を満足する必要はなく、1つの分析手法で得られる濃度値が所望の条件を満足すればよい。

【実施例】

【0090】

以下、実施例について説明する。

【0091】

ボンディングワイヤの原材料として、芯材に用いるCu、Au、Agは純度が約99.99質量%以上の高純度の素材を用い、表皮層又は中間金属層に用いられるAu、Pt、Pd、Ru、Rh、Agの素材には純度99.9質量%以上の原料を用意した。

【0092】

10

20

30

40

50

ある線径まで細くしたワイヤを芯材とし、そのワイヤ表面に異なる金属の層を形成するには、電解メッキ法、無電解メッキ法、蒸着法、熔融法等を行い、熱処理を施した。電解メッキ液、無電解メッキ液は、半導体用途で市販されているメッキ液を使用し、蒸着はスパッタ法を用いた。線径が約25～1500 μm のワイヤを予め準備し、そのワイヤ表面に蒸着、メッキ等により被覆し、最終径の13～25 μm まで伸線して、最後に加工歪みを取り除き伸び値が5～15%の範囲になるよう熱処理を施した。必要に応じて、線径25～200 μm までダイス伸線した後に、拡散熱処理を施してから、さらに伸線加工を施した。伸線用ダイスの減面率は、1個のダイス当たり5～15%の範囲で準備し、それらダイスの組み合わせにより、ワイヤ表面の加工歪みの導入等を調整した。伸線速度は20～500m/minの間で適正化した。

10

【0093】

熔融法を利用する場合には、予め作製した芯線の周囲に熔融した金属を鑄込む方法を採用した。その後、鍛造、ロール圧延、ダイス伸線等の加工と、熱処理とを行い、ボンディングワイヤを製造した。

【0094】

本発明例のワイヤの熱処理について、ワイヤを連続的に掃引しながら加熱した。局所的に温度傾斜を導入する方式、温度を炉内で変化させる方式等を利用した。例えば、炉内温度を3分割して制御できるように改造した熱処理炉を利用した。温度分布の一例では、ワイヤの挿入口から出口に向かって、高温 中温 低温、又は中温 高温 低温の分布を得て、それぞれの加熱長さも管理した。温度分布と合わせて、ワイヤ掃引速度等も適正化した。熱処理の雰囲気では、酸化を抑制する目的で N_2 、Ar等の不活性ガスも利用した。ガス流量は、0.0002～0.004 m^3/min の範囲で調整し、炉内の温度制御にも利用した。熱処理を行うタイミングとして、伸線後のワイヤに熱処理を施してから表皮層を形成する場合と、熱処理を加工前、加工途中、又は表皮層を形成した直後等のうち2回以上行う場合とに分類できる。

20

【0095】

表皮層の結晶粒サイズと芯材の結晶粒サイズをそれぞれ制御するには、上述のように、素材、合金化、加工度を適正化することが有効である。一回の加工における圧下率又は伸線ダイスの減面率を低減させることで、表皮層の結晶粒サイズの微細化を促進させた。前記低減した圧下率又は減面率の大小で、ボンディングワイヤの円周方向と軸方向の表皮層結晶粒サイズを制御した。表皮層の形成以前の芯材に熱処理を施したり、加工度を低減させることで、芯材の結晶粒サイズの増加を促進させた。また、芯材の垂直断面と軸断面の結晶粒サイズは、熱処理条件(温度と時間)と加工度の組み合わせで調整した。さらに、最終線径における熱処理温度を、表皮層の材料の再結晶温度より低く、且つ、芯材の材料の再結晶温度より高い温度で加熱できるように、熱処理前の加工プロセス、熱処理温度等を適正化した。

30

【0096】

表皮層を形成した後の圧延、伸線による加工レベルについて、成膜時のワイヤと最終線径との面積比率で算出する累積の加工率で整理できる。この加工率(%)が30%未満の場合にはR1、30%以上70%未満ではR2、70%以上95%未満ではR3、95%以上ではR4で表記した。

40

【0097】

ワイヤ表面の組織観察について、ボンディングワイヤの表層における表面のある領域において、EBSP法により結晶粒の形状を測定した。測定試料の準備では、3～5本のボンディングワイヤを平板上に互いにワイヤ向きをなるべく変えるように固定した。観察領域はワイヤ軸を含む四角形の領域として、結晶粒サイズは円周方向に5～10 μm 、長手方向に10～50 μm を一回の測定エリアとした。測定箇所は、3～10箇所とし、お互いに0.5mm以上離して選定した。測定ポイントの間隔は0.01～0.2 μm の間隔で実施した。線径25 μm 以下のボンディングワイヤを用いてEBSP測定した結果で比較した。線径がさらに細かい場合にも、同様の傾向が認められることが確認された。

【0098】

50

芯材の組織観察では、ボンディングワイヤの断面を研磨し、化学エッチングにより表面の加工歪みを低減した試料を用いて、EBSP法により結晶粒の形状を測定した。断面は、ワイヤ軸に垂直方向である垂直断面とワイヤ軸を含み長手方向の断面である軸断面を測定した。

【 0 0 9 9 】

EBSP測定データの解析には専用ソフト(TSL製 OIM analysis等)を利用した。測定エリアでの結晶粒の形状を解析し、結晶粒のサイズを求めた。上記方法で、表皮層結晶粒及び芯材結晶粒のそれぞれの方向で各サイズを測定し、それぞれ10個の結晶粒のサイズを平均して平均サイズとした。

【 0 1 0 0 】

表皮層の硬度測定では、ワイヤ表面に垂直方向にナノインデント硬度測定を行い、5ヶ所の平均値を求めた。表皮層の厚さ、硬さ等により、荷重を1mN～20mNの範囲で選定した。芯材の硬度測定では、ワイヤ長手方向の断面である軸断面において、微小ビッカース硬度を5ヶ所測定して、その平均値を求めた。硬度に合わせて、荷重を0.09807～9.807Nで調製した。測定法の違いによる硬度の補正を行うため、数種のワイヤ試料の軸断面において、微小ビッカース硬度測定とナノインデント硬度測定を行い、両方法の硬度値から換算式を求めることで補正を行った。

【 0 1 0 1 】

ワイヤの加工性について、線径500 μ mの太線から最終線径が25 μ m又は17 μ mまで伸線加工する工程での断線回数で評価した(伸線加工性)。試料長さは、線径500 μ mの時点で5000mを伸線した。厳しい不良加速評価として、通常の伸線速度の2～3倍の高速で伸線した。断線回数が0回であれば非常に高い生産性が期待されるため 印、1～2回であれば通常の実生産性は良好であると判断して 印、3～6回の範囲であれば伸線条件の若干の変更は必要であるため 印、7回以上であれば生産性の低下が懸念されるため×印で表示した。

【 0 1 0 2 】

ワイヤ表面の表皮層や中間金属層の膜厚測定にはAESによる深さ分析を用い、元素分布の観察にはAES、EPMA等による面分析、線分析を行った。AESによる深さ分析では、Arイオンでスパッタしながら深さ方向に測定して、深さの単位にはSiO₂換算で表示した。ワイヤ中の導電性金属濃度は、ICP分析、ICP質量分析等により測定した。

【 0 1 0 3 】

AESによる深さ分析において、表皮層と芯材の間に濃度勾配を有する拡散層が確認され、その拡散層の厚さが0.002～0.2 μ mの範囲である場合には、表1中の「拡散層」の欄に印で表記した。

【 0 1 0 4 】

ボンディングワイヤの接続には、市販の自動ワイヤボンダーを使用して、ボール/ウェッジ接合を行った。アーク放電によりワイヤ先端にボールを作製し、それをシリコン基板上の電極膜に接合し、ワイヤ他端をリード端子にウェッジ接合した。ボール形成時の酸化を抑制するために用いるシールドガスは、主に純N₂ガスを用いた。ガス流量は、0.001～0.01m³/minの範囲で調整した。

【 0 1 0 5 】

接合相手は、シリコン基板上の電極膜の材料である、厚さ1 μ mのAl合金膜(Al-1%Si-0.5%Cu膜、Al-0.5%Cu膜)を使用した。一方、ウェッジ接合の相手には、表面にAgメッキ(厚さ:2～4 μ m)したリードフレームを用いた。尚、BGA基板上のAu/Ni/Cuの電極への接合性についても、一部のワイヤ試料を用いて、前記リードフレームと同様の効果が得られることを確認している。

【 0 1 0 6 】

ボール接合近傍のワイヤ直立部が倒れる現象であるリーニング不良(リーニング性)については、チップ水平方向からワイヤ直立部を観察し、ボール接合部の中心を通る垂線とワイヤ直立部との間隔が最大であるときの間隔(リーニング間隔)で評価した。ワイヤ長は4mm、試料数は50本とした。ループの最高高さは、通常の約200 μ mと、リーニング評価には

10

20

30

40

50

より厳しい高ループである約350 μm の2種類で調べた。上記のリーニング間隔がワイヤ径よりも小さい場合にはリーニングは良好、大きい場合には直立部が傾斜しているためリーニングは不良であると判断した。リーニングの不良発生頻度により分類し、不良が3本以上の場合には 印、0本の場合には 印、その中間では 印で表示した。

【0107】

積層チップ接続への適応性について、逆段差ボンディング時のワイヤ曲がり性を評価した(逆段差ボンディングの曲がり性)。ボール接合部がウェッジ接合部よりも低い位置となるよう、上述した、電極上にスタッドバンプを形成し、その上にウェッジ接合を行った。高さ450 μm の高段差チップを用い、ボール接合近傍のワイヤ直立部が350 μm 程度となるようボンディングを行った。ボンディングされたボンディングワイヤ200本を上方から観察して、直立部の最大倒れ量が線径の4倍以上のものが1本でもあれば不良と判断して 印で示し、全てのボンディングワイヤの最大曲がり量が線径の2倍より小さい場合には良好であると判断して 印で表し、その中間である場合には、屈曲は少し発生しているものの、一般的な使用では問題にならないと判断して 印で表示した。

10

【0108】

オーバハング型積層チップへの適応性について、逆ボンディング時のワイヤ曲がり性とバンプ高さの安定性を評価した(オーバハング積層逆ボンディングの曲がり性)。3段のチップを積層し、オーバハング量は約0.4mmとした。高さ450 μm の高段差チップを用い、ボール接合近傍のワイヤ直立部が350 μm 程度となるようボンディングを行った。ボンディングされたボンディングワイヤ200本を上方から観察して、直立部の最大倒れ量が線径の4倍以上のものが1本でもあれば不良と判断して 印で示し、全てのボンディングワイヤの最大曲がり量が線径の2倍より小さい場合には良好であると判断して 印で表し、その中間である場合には、屈曲は少し発生しているものの、一般的な使用では問題にならないと判断して 印で表示した。

20

【0109】

オーバハング型積層チップのバンプ高さの安定性を評価した(オーバハング積層逆ボンディングのバンプ高さ)。上記のオーバハング型積層チップを用いて、バンプ形成するがその上にウェッジ接合しない状態で試料を作製し、バンプ高さを光学顕微鏡で50本を測定した。バンプ高さの平均に対する標準偏差の割合が8%超である場合にはバラツキが大きい。ため \times 印、2%超8%未満の範囲であればバラツキは若干大きく改善が必要となる場合もあるため 印、0.8%超2%未満の範囲であれば実用上は問題ないため 印、0.8%以下であればバンプ高さが安定しており生産管理が容易であるため 印で表示した。

30

【0110】

ネック損傷について、ボンディングされたボンディングワイヤのネック部をSEM観察して評価した(低ループのネック損傷)。中でも、ネック部で損傷を受けやすい部位として、ウェッジ接合と反対方向のネック部の外側を注意して観察した。損傷形態では、微小亀裂、サイズの大きいクラック、しわ状の疲労等を調査した。線径は25 μm 、ワイヤ長は2~4mmの範囲とし、ループ高さが一般的な90 μm 、低ループである70 μm の2種で試料を作製した。ループ高さが低くなる場合にネック損傷の発生率が増えるため、より厳しい評価となる。ワイヤ数は300本を観察した。ネック損傷が10本以上であれば不良と判断して \times 印で表し、ネック損傷が5~9本の範囲であれば、通常は問題ないレベルだが改善が必要と判断して 印で表し、ネック損傷が1~4本の範囲であれば問題ないと判断して 印で示し、ネック損傷が観察されない場合は安定して良好であると判断し 印で表した。

40

【0111】

ボンディング工程でのループ形状安定性については、ループの直線性とループ高さのバラツキの2方法で評価した(ルーピング安定性)。

【0112】

ボンディングされたループの直線性を評価するため、ワイヤ間隔(スパン)が5mmのロングスパンでボンディングを行った(直線性)。線径は25 μm とする。30本のボンディングワイヤを投影機により上方から観察して、ボール側とウェッジ側の接合部を結ぶ直線に対し

50

、ボンディングワイヤが最も離れている部位のずれを曲がり量として測定した。その曲がり量の平均が、線径の1本分未満であれば良好であると判断し 印で表示し、2本分以上であれば不良であるため 印、その中間であれば、通常は問題とならないため 印で表示した。

【0113】

ループ高さのバラツキについては、ワイヤ毎に3箇所のループ高さを測定し、そのループ高さの標準偏差により評価した(高さばらつき)。安定なループ形状を得るのがより困難である狭ピッチ・ロングスパンへの実用性を評価するため、ワイヤ長は5mm長、ループ形状は台形、ループ高さは約350 μm でボンディングを行った。ループを50本ずつ選定し、測定には光学顕微鏡を使用した。測定個所には、ループ高さのバラツキが発生し易い部位として、ボール直上部、最高到達部、ワイヤ長の中心部の3箇所とした。このループ高さの標準偏差がワイヤ径の1/2以下であれば、バラツキが大きいと判断し、1/2未満であればバラツキは小さく良好であると判断した。その基準を基に判断し、3箇所ともバラツキが小さい場合には、ループ形状が安定していると判断し、 印で表示し、バラツキが大きい箇所が1箇所である場合には、比較的良好であるため 印、2箇所の場合には 印、3箇所ともバラツキが大きい場合には×印で表示した。

10

【0114】

短スパンで低ループ接続されたループの直線性を評価するため、ワイヤ間隔(スパン)が0.5mmの短スパンで、ループ高さ80 μm 狙いのボンディングを行った(短スパン・低ループの直線性)。線径は25 μm とする。40本のボンディングワイヤを投影機により上方から観察して、ボール側とウェッジ側の接合部を結ぶ直線に対し、ボンディングワイヤが最も離れている部位のずれを曲がり量として測定した。その曲がり量の平均が、線径の1本分未満であれば良好であると判断し 印で表示し、2本分以上であれば不良であるため 印、その中間であれば、通常は問題とならないため 印で表示した。

20

【0115】

スプリング特性の評価のために、電極上に形成されたスタッドパンプの上にボンディングワイヤのウェッジ接合を行う接続方法である逆ボンディングを行い、ボンディングワイヤが屈曲するスプリング不良を観察した。線径は20 μm 、長さは3mmとし、1000本のボンディングワイヤ接続を行った。その接続されたボンディングワイヤをチップ上方から観察して、スプリング不良の発生数を調べた。スプリング不良の数が8本以上であれば不良と判断して×印、7~4本であれば改善が望ましいため 印、1~3本であれば通常の使用条件では問題ないと判断して 印、0本であればスプリング性は非常に良好であるため 印で表した。

30

【0116】

ウェッジ接合性の評価では、剥離不良が増える低荷重、低温での接続により加速評価を行った。接続温度は160 とし、接合相手はAgメッキされたCuリードフレームを用いた。線径20 μm のボンディングワイヤで1000本の連続ボンディングを施し、ウェッジ接合部での剥離が起こる不良発生頻度により分類した。剥離数が6本以上であれば不良と判断して×印、5~3本であれば改善が望ましいため 印、1又は2本であれば通常の使用条件では問題ないと判断して 印、0本であればウェッジ接合性は良好であるため 印で表した。

40

【0117】

ピール接合強度の評価には、ウェッジ接合部のプル試験を用いた。線径は25 μm 、スパンは2mmとする。これは、ワイヤ長の3/4よりもウェッジ接合部に近い位置で、ループに引っ掛けたフックを上方に移動させ、ボンディングワイヤの破断強度を測定した。プル強度はボンディングワイヤの線径、ループ形状、接合条件等にも左右されるため、絶対値ではなく、プル強度/ワイヤ引張強度の相対比率(Rp)を利用した。Rpが20%以上であればウェッジ接合性は良好であるため 印、15%以上20%未満であれば問題ないと判断し 印、10%以上15%未満であれば不具合が発生する場合があると判断して 印、10%以上であれば量産工程で問題があるため×印で表示した。

【0118】

50

チップへの損傷の評価では、ボール部を電極膜上に接合した後、電極膜をエッチング除去して、絶縁膜又はシリコンチップへの損傷をSEMで観察した(チップダメージ)。電極数は400箇所を観察した。損傷が認められない場合は 印、5μm未満のクラックが2個以下の場合には問題ないレベルと判断して 印、5μm以上20μm未満のクラックが2個以上の場合には懸念されるレベルと判断して 印、20μm以上のクラック又はクレータ破壊等が1個以上の場合には懸念されるレベルと判断して×印で表示した。

【0119】

表1、2には、本発明に係わる線径25μmのボンディングワイヤの実施例と比較例を示す。

【0120】

【表1】

加工率	製法(A:舞電線B:電線C:線着、D:溶融)	中間金属層膜厚 / μm	主成分	坩散層	芯材		表皮層		表皮層/芯材の硬さ比 SH/CH	表皮層の表面、芯材の断面における組織			加工率
					主成分	添加元素 mass-ppm	主成分	膜厚 / μm		表皮層/芯材の粒徑比 a/b	表皮層の表面粒徑a	芯材の断面粒徑b	
1	A	-	-	○	Cu	-	Pd	0.01	1.5	0.8	3.3	1.5	R2
2	B	-	-	○	Cu	P30	Pd	0.06	1.8	2.0	3.5	1.1	R1
3	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.03	2.6	4.2	3.5	1.0	R3
4	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.09	3.0	6.8	4.0	0.8	R2
5	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.05	2.1	21.4	4.5	0.6	R2
6	A	-	-	○	Cu	-	Pd	0.32	3.3	52.5	5.0	0.5	R3
7	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.24	4.3	87	7.0	0.2	R2
8	B	-	-	○	Cu	Zr25	Pd	0.28	13.5	420	8.2	0.02	R2
9	D	-	-	○	Cu	B8	Pd	0.18	1.7	1.7	6.3	2.0	R1
10	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.006	0.9	0.9	5.0	3.4	R1
11	B	-	-	○	Cu	-	Pd	0.02	1.5	2.6	2.5	1.2	R3
12	C	-	-	○	Cu	Pd1000	Pd	0.13	1.2	1.0	1.8	1.2	R2
13	A	-	-	○	Cu	-	Pt	0.08	3.6	1.5	3.7	0.7	R4
14	B	-	-	○	Cu	-	Pt	0.15	2.1	32.5	2.6	0.8	R2
15	B	-	-	×	Cu	-	Pt	0.004	2.3	71.3	1.9	0.5	R1
16	B	-	-	○	Cu	-	Ru	0.10	2.5	1.2	3.8	1.7	R2
17	A	-	-	○	Cu	Be10	Ru	0.06	6.4	4	2.7	0.05	R1
18	B	-	-	○	Cu	-	Rh	0.007	1.3	8	11.2	5.8	R2
19	B	-	-	○	Au	Be15	Pd	0.04	1.5	1.8	2.7	1.2	R3
20	D	-	-	○	Au	Pd8000	Pd	0.18	4.4	12.1	5.0	0.9	R1
21	B	-	-	○	Au	-	Pd	0.09	1.2	2.3	0.5	0.3	R2
22	C	-	-	×	Au	Ca20 Ni10	Pt	0.03	1.4	1.0	4.1	2.5	R4
23	B	-	-	○	Au	-	Ru	0.07	3.9	5.4	5.0	0.5	R1
24	B	-	-	○	Ag	-	Rh	0.03	1.8	1.3	2.7	0.7	R3
25	B	0.08	-	○	Cu	B25	Pd	0.015	2.7	3.5	5.0	0.7	R2
26	B	0.03	-	○	Cu	-	Pd	0.16	5.2	0.8	7.0	0.2	R2
27	B	0.02	-	○	Cu	P20	Ru	0.06	2.1	3.0	6.3	2.0	R1
28	B	0.03	-	○	Cu	-	Pd	0.06	2.4	2.1	1.8	0.6	R3
29	B	0.12	-	○	Au	-	Pt	0.15	3.2	1.7	0.8	0.2	R2
30	B	0.005	-	○	Au	Ca15	Ru	0.01	1.3	2.3	5.0	2.5	R3
31	B	-	-	○	Au	Pt3000	Pd	0.12	2.3	5.5	12	2.5	R2
32	B	-	-	○	Au	Pd2000, Ca25	Ag	0.22	1.6	1.5	3.3	0.9	R2
33	B	-	-	○	Cu	-	Ag	0.1	1.4	1.8	3.9	2.5	R4
34	B	-	-	○	Cu	In20, Bi10	Pd	0.01	1.7	2.5	3.5	1.2	R4
35	B	-	-	○	Cu	Ag250	Pd	0.14	4.4	4.6	17	4.8	R3
36	B	-	-	○	Cu	Pd180	Pd	0.08	2.9	2.7	7.3	1.3	R4
37	B	0.03	-	○	Cu	Pd7500	Ag	0.03	1.1	1.0	4.2	0.8	R4
38	B	-	-	○	Cu	Pd1000, Bi15	Ag	0.09	1.5	1.7	4.5	0.4	R4
39	B	-	-	○	Cu	Pd9800, Ag50	Pd	0.06	1.3	1.1	2.5	0.2	R4
40	B	-	-	○	Cu	B5, Pd2000	Pd	0.07	2.2	2.2	7.0	0.6	R4
1	C	-	-	×	Cu	-	Pt	0.02	1.5	1.8	2.1	1.5	R3
2	B	-	-	×	Cu	-	Pd	0.06	1.3	0.2	5.3	3.8	R4
3	A	-	-	×	Cu	-	Pd	0.01	1.0	1.6	1.5	1.4	R3
4	B	-	-	○	Cu	-	Ru	0.2	1.2	0.7	0.3	0.81	R1
5	B	-	-	○	Au	-	Pd	0.25	0.5	1.5	0.3	1.33	R2
6	B	-	-	○	Au	-	Pt	0.1	1.1	2.2	1.5	0.80	R2

【0121】

10

20

30

40

【 表 2 】

実施例	リーニング性	逆段差ボンディングの曲がり性	オーバハンギング積層の逆段差ボンディング		低ループの高さ		低ループのネック損傷		ルーピング安定性	短スパン・低ループの直線性	スプリング特性	ウエッジ接合性	ピール接合強度(25μmφ、スパン3mm)	伸線加工性		チップダメージ
			曲がり性	ハンズ高さ	90μm高さ	70μm高さ	直線性	高さばらつき						25μm	17μm	
1	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	◎	◎	◎
2	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
3	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
4	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
5	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
6	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
7	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
8	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
9	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
10	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
11	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
12	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
13	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
14	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
15	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
16	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
17	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
18	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
19	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
20	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
21	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
22	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
23	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
24	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
25	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
26	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
27	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
28	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
29	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
30	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
31	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
32	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
33	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
34	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
35	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
36	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
37	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
38	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
39	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
40	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	◎	◎	◎
1	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×
2	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×
3	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×
4	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×
5	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×
6	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	△	△	△	×

10

20

30

40

【 0 1 2 2 】

第1請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~40であり、第2請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~8、11~15、17、19~21、23~26、28、29、32、34、36~40、第3請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~11、13、14、16~20、22~27、30~40、第4請求項に係わるボンディングワイヤは実施例2~9、11、13~21、23~25、27~36、38、40、第5請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~9、11、13~20、22~36、38~40、第6請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~5、7~14、16~40、第7請求項に係わるボンディングワイヤは実施例25~30、37、第8請求項に係わるボンディングワイヤ

50

は実施例1～14、16～21、23～40、第9請求項に係わるボンディングワイヤは実施例2、8、9、25、27、34～36、第10請求項に係わるボンディングワイヤは実施例12、36～40、第11請求項に係わるボンディングワイヤは実施例19、20、22、30～32に相当する。比較例1～6では、第1請求項を満足しない場合の結果を示す。

【0123】

それぞれの請求項の代表例について、評価結果の一部を説明する。

【0124】

実施例1～40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の表面における結晶粒の円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸の垂直断面における芯材の結晶粒の平均サイズbとの関係が $a/b = 0.7$ である複層構造のボンディングワイヤであることにより、線径 $25\mu\text{m}$ におけるリーニング性が良好であることが確認された。一方、該比率 a/b が 0.7 超である複層ワイヤに関する比較例1～6では、リーニング不良が多発していることが確認された。好ましい事例として、 $a/b = 0.3$ の関係を満足する実施例3～8、13、15、17、20、23～26、29、31、32、35～40では、線径 $25\mu\text{m}$ におけるリーニング性がさらに向上されていることが確認された。

10

【0125】

実施例1～8、11～15、17、19～21、23～26、28、29、32、34、36～40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、芯材と表皮層の結晶粒サイズa,bに関して、 $a/b = 0.7$ 、且つ、 $a = 1.5\mu\text{m}$ の関係を同時に満足することにより、線径 $25\mu\text{m}$ での逆段差ボンディング時のワイヤ曲がり性が良好であることが確認された。

20

【0126】

実施例1～11、13、14、16～20、22～27、30～40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、芯材と表皮層の結晶粒サイズa、bに関して、 $a/b = 0.7$ 、且つ、 $b = 2\mu\text{m}$ の関係を同時に満足することにより、ループ高さが約 $90\mu\text{m}$ である低ループにおいてネック損傷が抑えられていることが確認された。好ましくは、上記関係が $b = 4\mu\text{m}$ である実施例4～10、18、20、22、23、25～27、30、31、35～38、40では、ループ高さ約 $70\mu\text{m}$ である超低ループでもネック損傷が抑制できており、優れた低ループ性能を有することが確認された。

【0127】

実施例2～9、11、13～21、23～25、27～36、38、40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、前述した結晶粒サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、且つ、表皮層の表面における結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズcと、芯材の結晶粒のワイヤ軸方向の平均サイズdとの関係が $d/c = 1.2$ であることにより、スプリング不良を低減して、さらに、ループ形状の直線性も向上できることを確認した。好ましくは、上記関係が $d/c = 2$ である実施例2～8、11、14、15、17、18、20、21、23、25、27、28、30、31、34～36、40では、スプリング不良の低減とループ形状の直線性との両者ともにさらに向上して、積層チップ接続に優れた特性が得られていることを確認した。

30

【0128】

実施例1～9、11、13～20、22～36、38～40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、前述した結晶粒サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、且つ、表皮層の表面における硬度SHと、前記芯材の断面における硬度CHとの関係が $SH/CH = 1.3$ であることにより、ウェッジ接合性を向上する効果と、ループ高さのバラツキを低減する効果を両立できることを確認した。好ましくは、 $SH/CH = 2.0$ である実施例3～8、13～17、20、23、25～29、31、35、36、40では、ウェッジ接合性とループ高さのバラツキ抑制との両者において、さらに優れた特性が得られていることを確認した。

40

【0129】

実施例25～30、37の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、前述した結晶粒サイズ比率 $a/b = 0.7$ の関係を満足し、且つ、表皮層と芯材の間に中間金属層を有することにより、ウェッジ接合部でのピール強度を高められることを確認した。

【0130】

50

実施例1~5、7~14、16~40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の厚さが0.005~0.3 μm の範囲であることにより、リーニング不良やスプリング不良の改善に加えて更に、接合性や、ループ制御等の要求特性も総合的に満足することが容易であり、さらにチップ損傷を低減し良好であった。比較として、実施例6では、表皮層の厚さが0.3 μm を超えるため、チップ損傷が増加していること、実施例15では、表皮層の厚さが0.005 μm 未満であるため、スプリング不良やウェッジ接合性に改善の余地があることが確認された。

【0131】

実施例1~14、16~21、23~40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層と芯材の間に濃度勾配を有する拡散層を有するため、線径25 μm までの伸線加工性が良好であることが確認された。好ましい事例である、実施例1~9、11、13、14、16~20、23~36、38~40では、拡散層を有し、且つSH/CH 1.3であることにより、さらに細い線径17 μm までの伸線加工性が良好であることが確認された。

10

【0132】

実施例2、8、9、25、27、34~36の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、芯材を構成する主成分がCuで、In、Ca、B、Pd、Bi、Zr、Ag、又はPの1種以上を5~300ppmの範囲で含有することにより、短スパン・低ループの直線性が向上することが確認された。同様に、実施例19、20、22、30~32は、本発明に係わる、芯材を構成する主成分がAuで、Be、Ca、Ni、Pd、又はPtのうち少なくとも1種を5~9500ppmの範囲で含有することにより、短スパン・低ループの直線性が向上することが確認された。

20

【0133】

実施例12、36~40の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、前記芯材を構成する主成分がCu、表皮層の主成分がPd又はAgで、Pdを5~10000ppmの範囲で含有することにより、オーバハング積層逆ボンディングの曲がり性が向上することが確認された。好ましくは、実施例12、37~40では、Pd濃度が200~10000ppmの範囲であるため、オーバハング積層逆ボンディングのバンプ高さを改善するより高い効果が確認された。また、実施例12、36~38、40ではPd含有量が5~8000ppmの範囲であるため、チップ損傷が抑制されているのに対して、実施例39ではPd含有量が8000ppmを超えるためチップ損傷が増加することが確認された。

【0134】

表3の実施例41~80には、本発明に係わる線径20 μm 以下のボンディングワイヤの実施例を示す。ボンディングワイヤの使用性能の中でもリーニング性、逆段差ボンディング時のワイヤ曲がり性について評価結果を示しているが、それ以外の使用性能においても利用できる良好な特性が得られることを確認している。

30

【0135】

実施例41~80の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の表面における結晶粒の円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸の垂直断面における芯材の結晶粒の平均サイズbとの関係が $a/b > 0.7$ である複層構造のボンディングワイヤであることにより、リーニング性が良好であることが確認された。さらに好ましい事例である $a/b > 0.1$ の関係を満足する実施例46~48、57、63、66、78~80の複層ボンディングワイヤでは、線径20 μm 以下でのリーニング性がさらに向上しており、優れた性能が確認された。

40

【0136】

実施例43~48、53~55、57、60、61、63~66、68、69、72、77~80の複層構造のボンディングワイヤは、本発明に係わる、芯材と表皮層の結晶粒サイズa、bに関して、 $a/b > 0.7$ 、且つ、 $a > 1\mu\text{m}$ の関係を同時に満足することにより、線径20 μm 以下での逆段差ボンディング時のワイヤ曲がり性が良好であることが確認された。

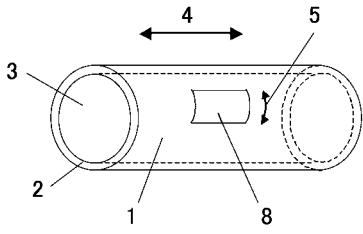
【0137】

【 例 3 】

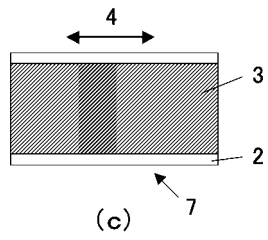
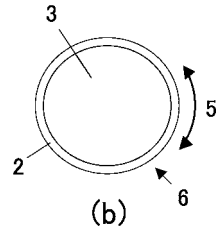
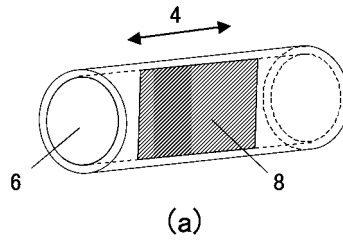
41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	表皮層/芯材の 粒徑比 a/b		表皮層の表面 粒徑a		芯材の垂直断面 粒徑b		軸方向の粒徑 比 d/c		表皮層/芯材 の硬度比 SH/CH		表皮層		芯材		中間金屬層		製法 (A:無 電解,B:電 解,C:蒸着、 D:溶融)		線徑 /μm		加工 率		リーニング性		逆段差ボン ディングの曲 がり性		
	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分	膜厚 /μm	主成分
0.42	1.4	3.3	0.8	1.4	Pd	0.01	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	20	R2	○	○					
0.30	1.1	3.7	2.0	1.8	Pd	0.06	Cu	P30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	18	R2	○	○					
0.29	1.0	3.4	4.2	2.6	Pd	0.04	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	○					
0.20	0.8	4.0	6.8	2.9	Pd	0.09	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	○					
0.15	0.7	4.8	2.2	2.1	Pd	0.05	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	○					
0.10	0.5	5.1	5.1	3.1	Pd	0.31	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	20	R3	◎	◎					
0.03	0.2	6.8	8.5	4.1	Pd	0.25	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	13	R4	◎	◎					
0.002	0.02	8.4	4.15	13.5	Pd	0.28	Cu	Zr25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	◎	◎					
0.32	2.0	6.3	1.7	1.7	Pd	0.18	Cu	B8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	15	R2	○	△					
0.65	3.3	5.1	0.9	0.9	Pd	0.005	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R1	○	△					
0.48	1.2	2.5	2.5	1.6	Pd	0.02	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	○					
0.72	1.3	1.8	1.0	1.3	Pd	0.14	Cu	Pd1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	17	R2	○	○					
0.18	0.7	3.9	1.5	3.8	Pt	0.08	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	20	R4	○	◎					
0.32	0.8	2.5	3.3	2.1	Pt	0.15	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.26	0.5	1.9	7.3	2.4	Pt	0.004	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R1	○	◎					
0.45	1.7	3.8	1.2	2.6	Ru	0.10	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	△					
0.02	0.05	2.8	4	6.3	Ru	0.06	Cu	Be10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	20	R1	◎	◎					
0.51	5.8	11.4	8	1.3	Rh	0.007	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	△					
0.44	1.2	2.7	1.7	1.6	Pd	0.04	Cu	Be15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	15	R4	○	○					
0.18	0.9	4.9	12.4	4.5	Pd	0.17	Cu	Pd8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	20	R2	○	○					
0.80	0.4	0.5	2.5	1.2	Pd	0.09	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.61	2.5	4.1	1.0	1.4	Pt	0.03	Cu	Ca20 Ni10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	20	R4	○	△					
0.10	0.5	5.0	5.4	3.7	Ru	0.06	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.26	0.7	2.7	1.3	1.8	Rh	0.03	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	◎					
0.17	0.8	4.8	3.5	2.6	Pd	0.015	Cu	B25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.03	0.2	6.9	0.8	4.3	Pd	0.16	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	15	R3	◎	◎					
0.32	2.0	6.3	2.9	2.1	Ru	0.07	Cu	P20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R1	○	△					
0.35	0.6	1.7	2.1	2.5	Pd	0.06	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R4	○	◎					
0.25	0.2	0.8	1.7	3.2	Pt	0.15	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.50	2.4	4.8	2.3	1.4	Ru	0.01	Cu	Ca15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	△					
0.21	2.5	12	5.3	2.3	Pd	0.12	Cu	Pt3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	17	R2	○	△					
0.28	0.9	3.2	1.5	1.7	Ag	0.22	Cu	Pd2000,Ca25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R2	○	◎					
0.66	2.5	3.8	1.7	1.5	Ag	0.1	Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R4	○	△					
0.36	1.3	3.6	1.3	1.7	Pd	0.01	Cu	In20,Bi10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	15	R4	○	○					
0.28	4.7	17	4.4	4.5	Pd	0.14	Cu	Ag250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R3	○	△					
0.18	1.3	7.3	2.6	2.9	Pd	0.08	Cu	Pd180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	17	R4	○	○					
0.18	0.7	4.0	1.0	1.1	Ag	0.03	Cu	Pd7500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	15	R4	○	◎					
0.09	0.4	4.4	1.6	1.4	Ag	0.09	Cu	Pd1000,B15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	20	R4	◎	◎					
0.08	0.2	2.6	1.1	1.5	Pd	0.06	Cu	Pd9800,Ag50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	15	R4	◎	◎					
0.09	0.6	7.0	2.3	2.2	Pd	0.07	Cu	B5, Pd2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	12	R4	◎	◎					

実 施 例

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

- (72)発明者 宇野 智裕
東京都千代田区大手町2丁目6番3号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 木村 圭一
東京都千代田区大手町2丁目6番3号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 山田 隆
埼玉県入間市狭山ヶ原158番地1 株式会社日鉄マイクロメタル内

審査官 関根 崇

- (56)参考文献 特開2005-268771(JP,A)
特開2004-031469(JP,A)
特開2004-228541(JP,A)
特開2006-190763(JP,A)
特開2006-032934(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/60
C22F 1/00
H01B 5/02