

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-216929

(P2006-216929A)

(43) 公開日 平成18年8月17日(2006.8.17)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
 H O 1 L 21/60 (2006.01) H O 1 L 21/60 3 O 1 F 5 F O 4 4

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-193629 (P2005-193629)	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社
(22) 出願日	平成17年7月1日(2005.7.1)		東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(31) 優先権主張番号	特願2005-637 (P2005-637)	(74) 代理人	100107892 弁理士 内藤 俊太
(32) 優先日	平成17年1月5日(2005.1.5)	(74) 代理人	100105441 弁理士 田中 久喬
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(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
		(72) 発明者	山本 幸弘 富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内
		Fターム(参考)	5F044 FF02 FF06

(54) 【発明の名称】 半導体装置用ボンディングワイヤ

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、パワーIC用途の太径や、低コストを優先する半導体等に、材料費が安価で、接合性、ループ制御、ワイヤ変形等に優れた、半導体素子用銅ボンディングワイヤを提供することを目的とする。

【解決手段】 銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記表皮層内にワイヤ径方向に銅の濃度勾配を有し、前記表皮層の表面の銅濃度が0.1mol%以上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である。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記表皮層内にワイヤ径方向に銅の濃度勾配を有し、前記表皮層の表面の銅濃度が 0.1 mol % 以上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】

銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記表皮層内にワイヤ径方向に銅の濃度勾配と金属間化合物を有し、前記表皮層の表面の銅濃度が 0.1 mol % 以上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。

10

【請求項 3】

前記表皮層の主成分が、金、パラジウム、白金、銀又はニッケルから選ばれる 1 種以上である請求項 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】

前記表皮層の主成分が、金、パラジウム、白金又は銀から選ばれる 1 種以上であり、Ca、Sr、Be、Al 又は希土類元素から選ばれる 1 種以上を総計で 1 ~ 300 質量 ppm 含有する請求項 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 5】

前記銅を主成分とする芯材が、銀、スズ又は亜鉛の 1 種以上を総計で 0.02 ~ 30 質量 % 含有する請求項 1 又は 2 に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

20

【請求項 6】

前記表皮層を構成する銅以外の導電性金属の総計は、ワイヤ全体に占める含有量で 0.02 ~ 10 mol % の範囲である請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【請求項 7】

前記表皮層の結晶粒界に銅が濃化している請求項 1 ~ 5 のいずれか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】

30

【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）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。

【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 μm 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、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。ワイヤ先端をアーク加熱で加熱溶解し、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。そうしたワイヤの接続技術でも、現在主流のボール/ウェッジ接合の他に、狭ピッチ化に適したウェッジ/ウェッジ接合では、2ヶ所の部位で直接ワイヤを接合するため、細線の接合性の向上が求められる。

50

【0004】

ボンディングワイヤの接合相手となる材質も多様化しており、シリコン基板上の配線、電極材料では、従来のAl合金に加えて、より微細配線に好適なCuが実用化されている。また、リードフレーム上には、Agメッキ、Pdメッキ等が施されており、また、樹脂基板、テープ等の上には、Cu配線が施され、その上に金等の貴金属元素及びその合金の膜が施されている場合が多い。こうした種々の接合相手に応じて、ワイヤの接合性、接合部信頼性を向上することが求められる。

【0005】

ボンディングワイヤの素材は、これまで高純度4N系(純度>99.99mass%)の金が主に用いられている。しかし、金は高価であるため、材料費が安価である他種金属のボンディングワイヤが所望されている。

10

【0006】

ワイヤボンディング技術からの要求では、ボール形成時に真球性の良好なボールを形成し、そのボール部と電極との接合部で十分な接合強度を得ることが重要である。また、接合温度の低温化、ワイヤの細線化等に対応するためにも、回路配線基板上の配線部にワイヤをウェッジ接続した部位での接合強度、引張り強度等も必要である。

【0007】

高粘性の熱硬化エポキシ樹脂が高速注入される樹脂封止工程では、ワイヤが変形して隣接ワイヤと接触することが問題となり、しかも、狭ピッチ化、長ワイヤ化、細線化も進む中で、樹脂封止時のワイヤ変形を少しでも抑えることが求められている。ワイヤ強度の増加により、こうした変形をある程度コントロールすることはできるものの、ループ制御が困難となったり、接合時の強度が低下する等の問題が解決されなくては実用化は難しい。

20

【0008】

こうした要求を満足す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容易であり、しかも電極部、リード部への接合性も向上しており、ボンディング以降の樹脂封止工程における過剰なワイヤ変形を抑制すること等の、総合的な特性を満足することが望まれている。

【0009】

材料費が安価で、電気伝導性に優れ、ボール接合、ウェッジ接合等も高めるために、銅を素材とするボンディングワイヤが開発され、特許文献1等が開示されている。しかし、銅のボンディングワイヤでは、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。

30

【0010】

そこで、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2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3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ワイヤが提案されている。

40

【0011】

【特許文献1】特開昭61-99645号公報

【特許文献2】特開昭62-97360号公報

【特許文献3】特開2004-64033号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

銅ボンディングワイヤの実用上の問題として、ワイヤ表面が酸化し易いこと、接合強度が低下すること等が起こり易いことが挙げられる。そこで、銅ボンディングワイヤの表面酸化を防ぐ手段として、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

50

る。

【0013】

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、銅ボンディングワイヤの表面を銅と異なる金属で覆った構造の従来の複層銅ワイヤ（以下、従来複層銅ワイヤと記す）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。

【0014】

従来複層銅ワイヤの先端にボールを形成した場合、真球からずれた扁平ボールが形成されたり、ボール内部に溶融されないワイヤが残ることが問題となる。こうした正常でないボール部を電極上に接合すると、接合強度の低下、チップ損傷等の問題を起こす原因となる。

10

【0015】

従来複層銅ワイヤで複雑なループ制御等を実施すると、被覆層と銅との界面で剥離すること等で、ループ形状が不安定になったり、狭ピッチ接続では隣接ワイヤが電氣的ショートを起こすことが懸念される。

【0016】

従来複層銅ワイヤを回路基板等の電極にウェッジ接続する際に、被覆層と芯材との界面の剥離や、ワイヤと電極の接合部から被覆層が排出されて銅が直接接合すること等により、接合強度が不安定となったり、低下すること等が懸念される。

【0017】

前述した従来複層銅ワイヤの問題の改善する因子として、被覆層の厚さを制御することが考えられる。しかし、被覆層を厚くすると、ウェッジ接続等の改善は期待されるが、メッキや蒸着等で厚い被覆層を形成することで生産性の低下、材料費の上昇等、工業生産面で問題が生じる。また、被覆層を厚くすると、溶融されたボール部内で銅以外の元素の濃度が上昇することで、ボール部が硬化してしまい、ボール接合時にチップ損傷を与えることが問題となる。

20

【0018】

その反対に、従来複層銅ワイヤの被覆層を薄くするだけでは、被覆層と芯材との界面での剥離が発生したり、酸化防止やウェッジ接続の改善等が難しくなる問題が生じる。

【0019】

そこで、本発明では、上述するような従来技術の問題を解決して、ボール部の形成性、接合性を改善し、ループ制御性も良好であり、ウェッジ接続の接合強度を高め、工業生産性にも確保し、金ワイヤよりも安価な銅を主体とするボンディングワイヤを提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記課題を解決するための本発明は、以下の構成を要旨とする。

(1) 銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記表皮層内にワイヤ径方向に銅の濃度勾配を有し、前記表皮層の表面の銅濃度が0.1mol%以上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。

40

(2) 銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層を有するボンディングワイヤであって、前記表皮層内にワイヤ径方向に銅の濃度勾配と金属間化合物を有し、前記表皮層の表面の銅濃度が0.1mol%以上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。

(3) 前記表皮層の主成分が、金、パラジウム、白金、銀又はニッケルから選ばれる1種以上である(1)又は(2)に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

(4) 前記表皮層の主成分が、金、パラジウム、白金又は銀から選ばれる1種以上であり、Ca、Sr、Be、Al又は希土類元素から選ばれる1種以上を総計で1~300質量ppm含有する(1)又は(2)に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

50

(5) 前記銅を主成分とする芯材が、銀、スズ又は亜鉛の1種以上を総計で0.02~30質量%含有する(1)又は(2)に記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

(6) 前記表皮層を構成する銅以外の導電性金属の総計は、ワイヤ全体に占める含有量で0.02~10mol%の範囲である(1)~(5)のいずれかに記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

(7) 前記表皮層の結晶粒界に銅が濃化している(1)~(5)のいずれかに記載の半導体装置用ボンディングワイヤ。

【発明の効果】

【0021】

本発明の半導体装置用ボンディングワイヤにより、材料費が安価で、ボール接合性、ワイヤ接合性等に優れ、ループ形成性も良好である、狭ピッチ用細線化、パワー系IC用途の太径化にも適応する銅系ボンディングワイヤを提供することが可能となる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明のボンディングワイヤは、銅を主成分とする芯材と、芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層で構成されている。但し、銅の芯材と表皮層との単純な2層構造では、ボール形成、接合性、ループ制御等が十分でなく、単層の銅ワイヤよりも特性劣化が生じる場合がある。そこで、単層の銅ワイヤよりも特性を総合的に改善するため、本発明の該表皮層では、内部に銅の濃度勾配を有する。

【0023】

さらに、銅の濃度勾配だけでは、ボンディングワイヤ工程の生産性が現行主流の金ボンディングワイヤよりも低下する場合がある。そこで、金ボンディングワイヤと同等以上まで生産性を向上させるには、表皮層の表面に銅を露出することが有効であることを初めて見出した。

20

【0024】

即ち、銅を主成分とする芯材と、該芯材の上に形成された芯材と異なる組成の導電性金属の表皮層、例えば銅以外の導電性金属を主体とする表皮層で構成され、該表皮層の内部に銅の濃度勾配を有し、該表皮層の表面における銅濃度が0.1mol%以上である構造からなるボンディングワイヤである。

【0025】

導電性金属とは、銅以外の金属であり、銅の酸化防止に効果がある金属であることが望ましい。導電性金属として、金、パラジウム、白金、銀、ニッケルの少なくとも1種の金属であることが好ましい。中でも、金、パラジウム、白金、銀は、導電性が高く、半導体デバイスの高速化にも対応できるため好ましい。また、金は、封止樹脂との密着性、電極への接合性等に実績が多く、品質管理も容易である等の利点がある。銀は、比較的安価であり、表面酸化は少なく、フレームの表面に多用されるAgメッキとの良好な接合性も得られる等の利点があるためである。パラジウム、白金は、ボール形状を安定化させる効果がある。

30

【0026】

表皮層は、銅と銅以外の導電性金属の表皮層から構成される。表皮層内の銅の分布は、銅の濃度勾配を有していることが好ましく、層全体に均一に分布している場合より、芯材と表皮層の密着性の向上と、ワイヤのウェッジ接合性の改善を同時に向上できる。また、表皮層の内部に銅の濃度勾配を有することで、表皮層を薄くしても接合性を十分向上することができ、その結果、ボール部に含有する導電性金属の濃度を低減させ、ボール部の硬化を抑制する効果も得られる。これに対し、表皮層内に銅が均一に分布する等濃度勾配のない場合には、酸化防止、接合性の改善、密着性の向上、ボール硬化の抑制等の多数の要求特性を同時に満足することが困難である。

40

【0027】

濃度勾配の定義は、深さ方向への濃度変化の程度が1 μ m当り5mol%以上であることが望ましい。この変化を超えると、前述した濃度勾配を持つ表皮層としての改善効果が

50

期待できること、定量分析の精度上も再現良い結果が得られる等の理由による。但し、ワイヤ中の元素濃度が局所的に上下している場合、不均一に分布している場合等とは区別する。好ましくは、 $1\ \mu\text{m}$ 当り $10\ \text{mol}\%$ 以上であれば製造が容易である。さらに好ましくは、 $1\ \mu\text{m}$ 当り $20\ \text{mol}\%$ 以上であれば、表皮層と芯材の異なる特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。

【0028】

この濃度勾配は、導電性金属元素と銅元素との拡散により形成された領域であることが望ましい。これは、拡散で形成された層であれば、局所的な剥離、クラック等の不良の可能性が低いこと、連続的な濃度変化の形成等が容易であること等の利点が多いためである。

10

【0029】

表皮層の表面における銅濃度が $0.1\ \text{mol}\%$ 以上である理由は、表皮層と芯部とも十分溶解して真球のボール部が形成され、ボール接合部の強度も高いこと、ウェッジ接合性が良好であること等による。これに対し、表皮層に濃度勾配が含まれていても表面に銅が存在しない場合に、ボール形成時の異形不良、銅ボールの内部に銅ワイヤが溶解されないで残る問題等が解決できない。表皮層の表面における銅濃度は、 $3\ \text{mol}\%$ 以上であることがより好ましい。これは $3\ \text{mol}\%$ 以上であれば、ウェッジ接合部の接合強度を高める十分な効果が得られるためである。より好ましくは、 $10\ \text{mol}\%$ 以上であれば、ボール部の真球性が向上し、例えば、ワイヤ径の 2.5 倍以下の直径の小ボール部を形成しても、真球性が良好であるためである。さらにより好ましくは、 $20\ \text{mol}\%$ 以上であれば、

アーキ放電を安定させることで、ボール径のばらつきを低減できる。ここでの表面の領域は、最表面から深さ方向に $0.001\ \mu\text{m}$ ～表皮層厚の半分までの領域とする。これは、空間分解能の高いオージェ分光法等の解析手法で安定して定量分析できる深さが $0.001\ \mu\text{m}$ 程度であること、また、表面のCu濃度と特性との関連性を考慮したところ、上述した効果を得るためには、表皮層厚の半分の深さまでのCu濃度が重要であることを確認したためである。好ましくは、最表面から $0.001\ \mu\text{m}$ ～ $0.002\ \mu\text{m}$ までの範囲を表面とし、その領域の濃度を上記の表面濃度として扱うことが望ましい。 $0.002\ \mu\text{m}$ までの深さのCu濃度がボール形成性をより支配するためである。

20

【0030】

表皮層の表面の銅濃度の上限が $90\ \text{mol}\%$ 以下であれば、ボール形成性は良好である。また、 $80\ \text{mol}\%$ 以下であれば、ワイヤの表面酸化を抑制する効果が高く、大気中で放置しても特性劣化を抑える効果が高い。さらに $70\ \text{mol}\%$ 以下であれば、ウェッジ接合時の強度を高めるより高い効果が得られる。

30

【0031】

銅の濃度勾配について、芯材側から最表面側の方向に銅濃度が減少する変化が好適である。これは表面での銅濃度を抑えつつ、芯材と表皮層の界面での銅濃度を高めることで、ワイヤ表面の酸化の抑制と、芯材と表皮層の密着性の向上を両立できる。ウェッジ接合性、ループ制御性等も向上できる。また、銅の濃度勾配に加えて、導電性金属も、銅とは逆の濃度勾配を持つことが望ましい。これは、ワイヤの機械的強度、弾性率等を向上することができるためである。

40

【0032】

生産性及び品質安定性等の面から、表皮層内の濃度勾配は連続的に変化していることが好適である。即ち、濃度勾配の傾きの程度は、表皮層内で必ずしも一定である必要はなく、連続的に変化していて構わない。例えば、表皮層と芯材との界面又は最表面近傍等での濃度変化の傾きが表皮層の内部と異なっていたり、指数関数的に濃度変化している場合でも良好な特性が得られる。

【0033】

表皮層の最表面近傍の領域では、内部から表面側の方向に銅濃度が上昇する領域を有することも有効な濃度勾配となる。これは、最表面での銅濃度が高いことでボール形成時のアーキ放電が安定化し、ボールの形状・サイズが安定できること、さらに、最表面から少

50

し深い方向の銅濃度を低く抑えることで、ウェッジ接合性も十分確保できるためである。前述した内部の濃度勾配と組み合わせると、銅濃度の変化を、表面から表皮層内部の方向で見ると、濃度が減少する場合（負の濃度勾配）、やがて濃度が増加する場合（正の濃度勾配）に相当する。

【0034】

表皮層の構造では、表面近傍に銅濃度が一定の合金層が形成され、内部の表皮層に濃度勾配が含まれることで特性改善される場合もある。これは、表面での銅濃度が一定の領域は、アーク放電を安定させてボールの形状、寸法等が安定する効果が得られるためである。ここでの表面近傍の領域とは、上述した表面領域の直下から0.003~0.01 μm までの深さの領域である。

10

【0035】

表皮層の表面にCu酸化物が薄く形成されていることで、封止樹脂との密着性を向上することができる。Cu酸化物の厚さは0.005 μm 以下であることが好ましい。これは、0.005 μm を超えると、低温等の厳しい条件でのワイヤのウェッジ接合強度が低下する原因となるためである。

【0036】

以上、銅を主成分とする芯材の上に形成される表皮層について、銅及び導電性金属を含有する合金層又は拡散層からなる表皮層であることが望ましい。

【0037】

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が5mol%以上の領域とする。この根拠は、本発明の表皮層の構造から特性の改善効果が期待できる領域であること、特性発現に導電性金属の濃度が連続的に変化する場合が多く、それを評価するための通常の定量分析の精度等を、総合的に判断して、導電性金属の濃度が5mol%以上の領域とした。好ましくは、10mol%以上の領域であれば、定量分析の精度が上がり、測定がより簡便となる。

20

【0038】

前述した表皮層に関して、ワイヤ全体に占める導電性金属濃度が総計で0.02~10mol%の範囲であるボンディングワイヤであれば、ウェッジ接合性の向上に加えて、ボール部の接合性を確保することができる。ワイヤ全体に占める導電性金属濃度を制御することで、導電性金属の固溶によるボール組織の変化や接合界面の拡散への影響を抑えられるため、ボール接合部の直下のチップ損傷を低減できると考えられる。一方、単純に表皮層を導電性金属だけで構成し、その層厚を薄くするだけでは、ワイヤ全体に占める導電性金属濃度を低く抑えることは困難である。ワイヤ全体に占める導電性金属濃度が総計で0.01mol%未満でウェッジ接合性、ループ制御等を総合して満足することが難しく、10mol%を越えるとチップ損傷が問題となったり、異形発生等によりボール圧着形状が不安定になることが問題となる。好ましくは導電性金属濃度が0.03~2mol%の範囲であれば、大径ボールの接合時のチップへの損傷を低減する効果が高まる。さらに好ましくは、0.04~0.8mol%の範囲であれば、小ボールの圧着形状を安定化させる効果が高まる。

30

【0039】

表皮層の厚さは、0.03 μm 以上であることが望ましい。これは、0.03 μm 以上であれば、ワイヤ全体に均一に形成でき、表面の凹凸も少なく、表皮層の剥離等の問題もないため、酸化抑制、接合性等の十分な効果が得られ、ループ形状も安定化する等の理由による。また、厚さの上限は、線径の70%以下であることが望ましく、工業的な量産性が高く、品質管理等も十分対応できる。厚さの下限について、好ましくは0.1 μm 以上であれば、高温に曝されたときの酸化抑制の効果が高まり、より好ましくは0.2 μm 以上であれば、比較的簡便に分析できるため品質保証等が容易となる等の利点が多い。一方の上限では、好ましくは線径の50%以内であれば内部に濃度変化層を均一に形成することが容易であり、より好ましくは線径の30%以内であれば電気抵抗の増加を低く抑えられる等の利点がある。

40

50

【0040】

表皮層を構成する元素の分布に関して、結晶粒界に銅が濃化しているボンディングワイヤであれば、総合的な使用性能は維持しつつ、工業生産性が高い製品を比較的容易に提供することができる。銅の濃化について、結晶粒界の $0.01\mu\text{m}$ 程度の領域で、平均濃度よりも5%以上濃化することが望ましい。後述する表皮層または表面層の形成法であるメッキ法、蒸着法等では、結晶粒界に銅が濃化する現象が起こり易く、それを回避するには製造条件の制御が複雑となること、一方でウェッジ接合性、ループ制御、ボール形成等では、結晶粒界の影響はほとんど少ないことを確認したことから、結晶粒界に銅が濃化している構造とすることで生産性、歩留まり等を向上させ、比較的安価なワイヤを提供することができる。

10

【0041】

表皮層の濃度分析について、ワイヤの表面からスパッタ等により深さ方向に掘り下げていきながら分析する手法、あるいはワイヤ断面でのライン分析又は点分析等が有効である。前者は、表皮層が薄い場合に有効であるが、厚くなると測定時間がかかり過ぎる。後者の断面での分析は、表皮層が厚い場合に有効であり、また、断面全体での濃度分布や、数ヶ所での再現性の確認等が比較的容易であることが利点であるが、表皮層が薄い場合には精度が低下する。ワイヤを斜め研磨して、拡散層の厚さを拡大させて測定することも可能である。断面では、ライン分析が比較的簡便であるが、分析の精度を向上したいときには、ライン分析の分析間隔を狭くするとか、界面近傍の観察したい領域に絞っての点分析を行うことも有効である。これらの濃度分析に用いる解析装置では、E P M A、E D X、オー

20

【0042】

表皮層の中に濃度勾配に加えて、銅と導電性金属を主体とする金属間化合物相が含まれることも有効である。即ち、銅を主体とする芯材と導電性金属の表皮層で構成され、表皮層の内部には、銅の濃度勾配を有した部位と、銅と導電性金属を有する金属間化合物とが1層以上含まれており、表皮層の表面における銅濃度が $0.1\text{mol}\%$ 以上であるボンディングワイヤでは優れた特性が得られる。金属間化合物相が表皮層内に含まれることで、ワイヤの強度、弾性率等の機械的特性が増加し、ループの直線性の向上、封止時のワイヤ流れの抑制等に有効である。金属間化合物相は、銅と導電性金属が主体であり、それらの総計濃度が $80\text{mol}\%$ 以上であることが望ましいが、芯材、表皮層に含有される合金化元素を一部含有しても構わない。例えば、導電性金属が金、パラジウム、白金等の場合に形成される金属間化合物相は、 CuAu_3 、 CuAu 、 Cu_3Au 、 Cu_3Pd 、 CuPd 、 Cu_3Pt 、 CuPt 、 CuPt_3 、 CuPt_7 等が候補であり、これらの金属間化合物相が、表皮層又は表皮層/芯材の界面に形成されることで、特性改善に有効である。これらの金属間化合物相の厚さは、 $0.001\mu\text{m}$ から表皮層の厚さの半分までが好ましい。

30

【0043】

表皮層を形成する表皮主要金属が金、パラジウム、白金、銀、銅の場合に、さらに、Ca、Sr、Be、Al、希土類元素の少なくとも1種以上を総計で $1\sim 300$ 質量ppm含有することで、表皮層の強度、組織、塑性変形抵抗を調整することができるため、ウェッジ接合時にワイヤと電極材(Ag、Au、Pd等)との変形を制御する効果を促進できる。前述した表皮主要金属が濃度勾配を有している場合に、これらの元素の添加効果は高い効果を得ることが判明した。さらに、Ca、Sr、Be、Al、希土類元素が濃度勾配を有することで、より一層高い効果を得ることができる。

40

【0044】

前記銅を主成分とする芯材が、銀、スズ又は亜鉛の1種以上を総計で $0.02\sim 30$ 質量%含有することで、ワイヤ強度等が増加することにより、ロングスパンでのループの直線性を高めたり、樹脂封止時のワイヤ変形を抑制して狭ピッチ用細線化にも対応できるようになる。通常はワイヤ強度が低下するとウェッジ接合性が低下する場合が多いが、上記

50

の元素添加では、強度増加とウェッジ接合性の向上を両立することが可能であり、高密度実装に適したワイヤを提供することが可能となる。

【0045】

本発明のワイヤを製造するに当り、芯材と表皮層の形成する工程と、銅元素の表皮層内の濃度勾配及び最表面への露出する熱処理工程が必要となる。

【0046】

表皮層を銅の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、無電解メッキ法のどちらでも製造可能である。ストライクメッキ、フラッシュメッキと呼ばれる電解メッキでは、メッキ速度が速く、下地との密着性も良好である。無電解メッキに使用する溶液は、置換型と還元型に分類され、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

【0047】

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。

【0048】

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、狙いの線径の銅線に、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い銅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

【0049】

上記手法により形成された表皮層と芯材を用い、表皮層中に銅の濃度勾配及び最表面に銅を露出させる工程として、加熱による拡散熱処理が有効である。これは、表皮層と芯材の界面で、銅と導電性金属との相互拡散を助長するための熱処理である。ワイヤを連続的に掃引しながら熱処理を行う方法が、生産性、品質安定性に優れている。しかし、単純にワイヤを加熱しただけでは、表皮層の表面及び内部での銅の分布を制御できる訳ではない。通常ワイヤ製造で用いられる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、キャピラリ内部にワイヤ削れ屑が堆積して詰まりが発生したり、また、表面に露出した銅が酸化して接合強度が低下する等の問題を完全に解決することは困難である。そこで、熱処理の温度、速度、時間等の制御が重要である。

30

【0050】

好ましい熱処理法として、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、温度を炉内で変化させる方法等がある。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。

40

【0051】

温度傾斜の方式では、炉入口近傍での正の温度傾斜（ワイヤの掃引方向に対し温度が上昇）、安定温度領域、炉出口近傍での負の温度傾斜（ワイヤの掃引方向に対し温度が下降）等、複数の領域で温度に傾斜をつけることが効果的である。これにより、炉入口近傍で表皮層と芯材との剥離等を生じることなく密着性を向上させ、安定温度領域で銅と導電性金属との拡散を促進して所望する濃度勾配を形成し、さらに炉出口近傍で表面での銅の過剰な酸化を抑えることにより、得られたワイヤの接合性、ループ制御性等を改善すること

50

ができる。こうした効果を得るには、出入口での温度勾配を10 / cm以上設けることが望ましい。

【0052】

温度を変化させる方法では、炉内を複数の領域に分割して、各領域で異なる温度制御を行うことで温度の分布を作ることも有効である。例えば、3ヶ所以上に炉内を分割して、独立に温度制御を行い、炉の両端を中央部よりも低温とすることで、温度傾斜の場合と同様の改善効果が得られる。また、ワイヤの表面酸化を抑制するため、炉の両端又は出口側を銅の酸化速度の遅い低温とすることで、ウェッジ接合部の接合強度の上昇が得られる。

【0053】

こうした温度傾斜又は温度分布のある熱処理は、生産性の点では最終線径で施すことが望ましいが、一方で、熱処理の後に伸線を施すことで、表面の酸化膜を除去して低温での接合性を向上したり、さらに伸線と歪み取り焼鈍を併用することで、キャピラリ内部でのワイヤ削れを低減する効果等も得られる。

【0054】

また、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、1~50mm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、その中央部に溶融した銅又は銅合金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銅の芯材を鑄込む方が、表皮層中に銅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銅を少量含有させておけば、表皮層の表面での銅濃度の制御が容易となる。また、溶融法では、表皮層にCu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Cu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。

【0055】

さらに、こうした溶融金属を利用する場合、芯線と表皮層の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。

【実施例】

【0056】

以下、実施例について説明する。

【0057】

ボンディングワイヤの原材料として、芯材に用いる銅は純度が約99.99質量%以上の高純度の素材を用い、外周部のAu、Pt、Pd、Ni、Agの素材には純度99.9質量%以上の原料を用意した。

【0058】

ある線径まで細くした銅ワイヤを芯材とし、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、溶融法等を行い、濃度勾配を形成するためにも、熱処理を施した。最終の線径で表皮層を形成する場合と、ある線径で表皮層を形成してからさらに伸線加工により最終線径まで細くする方法を利用した。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。直径が約50~200μm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15~25μmまで伸線して、最後に加工歪みを取り除き伸び値が4~10%程度の範囲になるように熱処理を施した。必要に応じて、線径30~100μm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。

【0059】

溶融法を利用する場合には、予め作製した芯線の周囲に、溶融した金属を鑄込む方法と、予め作製した中空円柱の中央部に溶融した銅又は銅合金を鑄込む方法を採用した。芯線

10

20

30

40

50

の直径は約3～8mm、外周部の直径は約5～10mmで行った。その後、鍛造、ロール圧延、ダイス伸線等の加工と、熱処理を行い、ワイヤを製造した。

【0060】

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。この温度差は30～200の範囲とし、温度分布、ワイヤ掃引速度等を適正化して、引張伸びが4%前後になるように調整した。熱処理の雰囲気では、大気他に、酸化を抑制する目的でN₂、Ar等の不活性ガスも利用した。比較例の熱処理工程について、伸線後のCuワイヤに熱処理を施してからメッキ層を形成した場合(比較例2、5～9)と、熱処理を伸線後と、メッキ層の形成後で2回施した場合(比較例3、4)で、試料を準備した。

10

【0061】

ワイヤの引張強度及び弾性率は、長さ10cmのワイヤ5本の引張試験を実施し、その平均値により求めた。

【0062】

ワイヤ表面の膜厚測定にはAESによる深さ分析を用い、結晶粒界の濃化等の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。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。表皮層の結晶粒界の近傍で銅濃度が5%以上高い場合には 印、それ以下の場合には濃化なしで示した。

【0063】

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(初期ボール径:35～50μm)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上にウェッジ接合した。ボール溶融時の酸化を抑制するために、ワイヤ先端にN₂ガスを吹き付けながら、放電させた。

20

【0064】

接合相手としては、シリコン基板上の電極膜の材料である、厚さ1μm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:1～4μm)したリードフレーム、又はAuメッキ/Niメッキ/Cuの電極構造の樹脂基板を使用した。

【0065】

ボンディング工程でのループ形状安定性について、ワイヤ長が3mmと5mmの2種類のボンディング試料を作製し、それぞれ500本のワイヤを投影機により観察し、ワイヤの直線性、ループ高さのバラツキ等を判定した。ワイヤ長が長い5mmでの条件は、より厳しい評価となる。ワイヤ長3mmで、直線性、ループ高さ等の不良が5本以上ある場合は、問題有りとして判断してx印で表し、ワイヤ長3mmで不良が2～4本で、且つ、ワイヤ長5mmで不良が5本以上の場合には、改善が必要と判断して 印で表し、ワイヤ長3mmで不良が1本以下、且つ、ワイヤ長5mmで不良が2～4本の場合には、ループ形状は比較的良好であるため 印で示し、ワイヤ長5mmで不良が1本以下の場合にはループ形状は安定であると判断し 印で表した。不良原因の一つに、芯線と外周部の界面の密着性が十分でないこと、断面での特性バラツキ等が想定される。

30

40

【0066】

樹脂封止時のワイヤ流れ(樹脂流れ)の測定は、ワイヤ長5mmのボンディング試料を作製し、市販のエポキシ樹脂で封止した後に、軟X線非破壊検査装置を用いて、ワイヤ流れが最大の部分の流れ量を20本測定し、その平均値をワイヤのスパン長さで除算した値(百分率)を封止時のワイヤ変形率とした。このワイヤ変形率が6%以上であれば不良と判断してx印、4%以上6%未満であれば改善が必要であるため 印、2.5%以上4%未満であれば実用上は問題ないと判断して 印、2.5%未満であればワイヤ変形の低減が良好であるため 印で表した。

【0067】

初期ボール形状の観察では、接合前のボールを20本観察して、形状が真球であるか、

50

寸法精度が良好であるか等を判定した。異常形状のボール発生が2本以上であれば不良であるため×印、異形が2本以下だが、ワイヤに対するボール位置の芯ずれが顕著である個数が5個以上である場合には 印、芯ずれが2～4個であれば実用上の大きな問題はないと判断して 印、芯ずれが1個未満で寸法精度も良好である場合は、ボール形成は良好であるため 印で表記した。

【0068】

圧着ボール部の接合形状の判定では、接合されたボールを500本観察して、形状の真円性、寸法精度等を評価した。ボール圧着径は、ワイヤ径の2～3倍の範囲になる条件を選定した。真円からのずれが大きい異方性や楕円状等の不良ボール形状が5本以上であれば不良と判定し×印、不良ボール形状が2～4本、又は花弁状等のボール圧着部の外周部が8本以上であれば改善が必要であるため 印、不良ボール形状が1本未満、且つ、花弁状変形が3～7本であれば実用上は問題ないレベルと判定し 印、花弁状変形が2本以下であれば良好であるため 印で表記した。

10

【0069】

ボール接合部の接合強度については、アルミ電極の2μm上方で治具を平行移動させてせん断破断強度を読み取るシェアテスト法で、40本の破断荷重(シェア強度)を測定した。シェア強度の絶対値は、接合条件の変更等により増減させることは容易であるが、シェア強度のバラツキは、ボール変形の安定性と密接に関連し、量産性の点からも重要となる。シェア強度の標準偏差が、14.7mN以上であればバラツキの改善が必要であるため 印、7.8～14.7mNであれば実用上の大きな問題はないため 印、7.8mN

20

【0070】

ボール接合部直下のシリコン基板への損傷を評価するために、ボール接合部及び電極膜は王水により除去した後、シリコン基板上のクラック、微小ピット穴等を顕微鏡やSEM等により観察した。500個の接合部を観察し、5μm以上のクラックが3個以上認められる場合はチップ損傷が問題となると判断して 印で表し、クラックが1～3個発生しているか、又は1μm程度のピット穴が2個以上認められる場合は、チップ損傷が懸念されるものの実用上は問題はないことから、 印で表し、クラックは発生しておらずピット穴も1個以下の場合は、非常に良好であることから 印で表示した。

【0071】

リード側にワイヤを接合するウェッジ接合性の判定では、低温になるほど接合が困難なることから、ステージ温度を220、180の低温で、それぞれ1000本のボンディングを行い、連続作業性、ワイヤの変形形状等を調査した。220で、接合部での完全剥離が2本以上生じた場合は×印、220での完全剥離が2本未満、且つ、ワイヤ破断近くの部分的な剥離が生じている場合には改善が必要であるため 印、220では不良はなく、しかも180での完全剥離が1本以下である場合には 印、180での完全剥離がなく、部分剥離も3本未満である場合には 印で表示した。

30

【0072】

ウェッジ接合部のプル強度測定では、接合界面の密着性を判定するために、ワイヤ長が3mmの試料でウェッジ接合部の近傍でプル試験を行い、20本の平均値を求めた。

40

【0073】

表1、3、4には、本発明に係わる銅ボンディングワイヤの評価結果を示し、表2には比較例を示す。

【0074】

【表 1】

試験 No.	表皮層				ワイヤ機械的的特性 引張強度 /MPa 伸び /%	初期ポールの形成性	圧着ポールの接合形状	シエアラック強度	チップ損傷	ループ形状安定性	樹脂封止時のワイヤ変形	ウエッジ接合材料	ウエッジ接合性	ウエッジ接合部の強度 /MPa					
	主要元素	表皮層厚 / μm	表面から深さ方向のCu濃度 mol% 表皮層厚の20%深さ 表皮層厚の70%深さ	金属間化合物の観察											ワイヤ中の導電性金属濃度 /mol%	製法 (A:無電解, B:電解, C:蒸着, D:半溶融)	線径 / μm		
1	Au	0.028	2	10	42	—	なし	0.02	A	20	222	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	142
2	Au	0.05	5	14	53	—	—	0.03	B	18	231	4	◎	◎	◎	◎	Au	◎	159
3	Au	0.05	10	23	72	—	—	0.05	B	25	235	6	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	149
4	Au	0.06	15	45	73	—	—	0.1	C	25	238	7	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	151
5	Au	0.08	38	48	65	CuAu	—	0.08	B	25	262	10	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	155
6	Au	0.04	22	31	56	—	—	0.07	B	25	237	4	◎	◎	◎	◎	Au	◎	165
7	Au	0.06	58	53	72	CuAu, CuAu ₃	—	0.1	D	25	258	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	141
8	Au	0.1	4	12	27	—	なし	0.05	A	25	241	4	◎	◎	◎	◎	Pd	◎	139
9	Au	0.1	28	18	43	—	—	0.2	B	25	238	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	152
10	Au	0.3	15	29	56	—	—	0.5	B	25	249	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	154
11	Au	1	20	27	44	—	—	0.5	B	25	242	4	◎	◎	◎	◎	Au	◎	157
12	Au	3	4	17	30	—	—	8	D	30	250	6	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	158
13	Ag	0.05	15	42	68	—	—	0.1	B	20	218	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	162
14	Ag	0.07	4	20	44	—	—	0.2	B	25	221	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	164
15	Ag	0.1	11	25	51	—	—	0.1	B	25	227	4	◎	◎	◎	◎	Au	◎	163
16	Ag	2	12	23	54	—	—	4	D	30	230	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	168
17	Pd	0.037	15	35	58	—	—	0.15	A	20	223	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	142
18	Pd	0.08	26	45	66	—	—	0.1	D	25	223	6	◎	◎	◎	◎	Pd	◎	140
19	Pd	0.1	14	32	57	CuPd	—	0.07	B	25	252	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	136
20	Pd	1	4	12	46	—	なし	2.5	B	25	242	8	◎	◎	◎	◎	Pd	◎	145
21	Pt	0.07	32	47	69	—	—	0.2	C	25	228	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	147
22	Pt	0.1	5	13	39	—	—	0.5	B	25	224	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	142
23	Pt	1	11	24	52	CuPt	—	3	B	25	253	6	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	148
24	Ni	0.06	15	25	48	—	—	0.07	B	20	243	7	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	123
25	Ni	0.1	8	14	32	—	なし	0.1	B	25	242	4	◎	◎	◎	◎	Ag	◎	115

本発明例

10

20

30

40

50

【表 2】

試験 No.	主要元素	表皮層						ワイヤ中の導電性金属濃度/mol%	製法 (A:無電解, B:電着、 C:蒸着、 D:半溶融)	線径/ μm	ワイヤ機械的特性		初期ボール形成性	圧着ボール接合形状	シエアラ強度バッキ	チップ損傷	ループ形状安定性	樹脂封止時のワイヤ変形	ウエッジ接合材料	ウエッジ接合性	ウエッジ接合部強度/MPa
		表面から深さ方向のCu濃度 mol%				引張強度/MPa	伸び/%														
1	なし	—	—	—	—	—	—	—	25	172	4	○	×	△	◎	△	△	Ag	×	94	
2	Au	0.04	—	—	—	—	なし	0.05	25	177	2	△	×	△	◎	△	Au	△	127		
3	Au	0.1	0.05	6	18	—	なし	0.2	25	188	4	△	×	△	◎	△	Ag	△	127		
4	Au	2	0.02	4	15	—	なし	12	25	189	4	△	×	△	×	△	Ag	△	133		
5	Ag	1	—	—	—	—	なし	8	25	172	3	△	×	△	×	△	Ag	△	142		
6	Pd	0.5	—	—	—	—	なし	0.8	25	175	2.7	△	×	△	○	△	Au	×	121		
7	Pd	2	—	—	—	—	なし	15	25	181	3.2	△	×	△	×	△	Ag	×	123		
8	Pt	0.4	—	—	—	—	なし	0.5	25	173	3	△	×	△	◎	△	Ag	△	128		
9	Ni	0.8	—	—	—	—	なし	0.7	25	190	3	△	×	△	◎	△	Au	×	101		

比較例

10

20

30

40

50

【表 3】

試験 No.	主要元素	含有元素の平均濃度/質量%	表皮層厚/ μm	表皮層				ワケ中の導電性金属濃度/mol%	製法 (A:無電解、 B:電解、 C:蒸着、 D:半溶融)	線径/ μm	ワイヤ機械的特性		初期ボール形成性	圧着ボール接合形状	チップ損傷	シエアラップ強度バキ	ルーブル形状安定性	樹脂封止時のワイヤ変形	ウエッジ接合材料	ウエッジ接合性	ウエッジ接合部の強度/MPa
				表面	表皮層厚の20%深さ	表皮層厚の70%深さ	表皮層厚の70%深さ				引張強度/MPa	伸び/%									
26	Au	Ca:0.001 La:0.001	0.035	15	45	73	○	C	25	232	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Ag	◎	149	
27	Au	Ca:0.001 Be:0.001	0.07	38	48	65	○	B	25	234	6	◎	◎	◎	◎	○	○	Au	◎	155	
28	Au	Eu:0.001 Al:0.001	0.2	22	31	56	○	B	25	241	7	◎	◎	◎	◎	○	○	Ag	◎	150	
29	Pd	Ca:0.001 Y:0.001	0.08	10	45	73	○	C	25	245	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Ag	◎	136	
30	Pd	Ca:0.001 Be:0.0005	0.05	25	50	65	○	B	25	243	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Ag	◎	131	
31	Pd	La:0.001 Al:0.002	0.1	32	45	58	○	B	25	247	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Pd	◎	135	
32	Pt	Nd:0.001 Be:0.0005	0.05	6	17	38	なし	A	25	244	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Pd	◎	137	
33	Ag	Ca:0.001 Be:0.0005	0.08	14	28	45	○	B	25	242	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Pd	◎	147	
34	Ag	Gd:0.001 Al:0.001	0.1	33	43	61	○	D	25	242	4	◎	◎	◎	◎	○	○	Pd	◎	148	

本発明例

10

20

30

40

【表 4】

試験 No.	芯材		表皮層					ワイヤ機械的特性	初期ボール形成性	圧着ボール接合形状	チップ損傷	シェア強度ラッキ	ループ形状安定性	樹脂封止時のワイヤ変形	ウエッジ接合材料	ウエッジ接合性	ウエッジ接合部のプル強度/MPa
	主要元素	含有元素/質量%	含有元素の平均濃度/質量%	表皮層厚/ μm	表面Cu濃度 mol1%	表面から深さ方向のCu濃度 mol1%	表面Cu濃度 mol1%										
35	Cu	Ag:2	Au	0.028	2	Au	10	42	なし			20	282	4	◎	◎	144
36	Cu	Ag:15	Pd	0.05	5	Pd	14	53	○			15	285	5	◎	◎	134
37	Cu	Sn:3	Au	0.1	10	Au	23	72	○	CuAu		25	280	4	◎	◎	143
38	Cu	Sn:7	Au, Pd	0.2	15	Au(50), Pd(35)	45	73	○			25	283	6	◎	◎	150
39	Cu	Ag:4 Sn:3	Au	0.15	38	Au	48	65	○			25	288	4	◎	◎	152
40	Cu	Ag:4 Ca:0.001	Pt	0.04	22	Pt	31	56	○	CuPt		25	283	4	◎	◎	127
41	Cu	Ag:4 La:0.002	Au	0.06	58	Au	53	72	○			25	280	4	◎	◎	141
42	Cu	Ag:4 Ca:0.003	Au, Pt	0.1	4	Au(62), Pt(34)	12	27	なし			25	286	4	◎	◎	154
43	Cu	Ag:4 Be:0.001	Pt, Pd	0.1	28	Pt(25), Pd(47)	18	43	○			25	291	4	◎	◎	132
44	Cu	Sn:4 La:0.002	Au	0.3	15	Au	29	56	○			25	288	4	◎	◎	147
45	Cu	Sn:4 Al:0.003	Pd	1	20	Pd	27	44	○			25	292	4	◎	◎	131

本発明例

10

20

30

40

【0078】

第1請求項に係わるボンディングワイヤは実施例1~25であり、第2請求項に係わる

50

ボンディングワイヤは実施例 5、7、19、23 であり、第 3 請求項に係わるボンディングワイヤは実施例 1～25、第 4 請求項に係わるボンディングワイヤは実施例 26～34、第 5 請求項に係わるボンディングワイヤは実施例 35～45、第 6 請求項に係わるボンディングワイヤは実施例 1～45、第 7 請求項に係わるボンディングワイヤは実施例 2～7、9～19、21～24、26～31、33、34、36～41、43～45 に相当する。表 2 には、本願の請求項に該当しないボンディングワイヤの結果を示す。

【0079】

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。

【0080】

実施例 1～25 のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の内部に銅の濃度勾配を有し、表面における銅濃度が 0.1 mol % 以上であることにより、ボール部の形成性、接合形状、ウェッジ接合性等が良好であることが確認された。これらの特性は、比較例 1～9 の銅以外の元素の膜を表面に形成した Cu ワイヤでは十分でなく、実施例 1～25 では改善されていることが明確になった。 10

【0081】

実施例 1～45 では、ワイヤ全体に占める該添加元素濃度が総計で 0.01～10 mol % であることにより、チップ損傷が低減されていたのに対し、該濃度が 10 mol % 超である比較例 4、7 では、チップ損傷が多く観察された。

【0082】

実施例 5、7、19、23 のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の内部に銅の濃度勾配と銅と金属間化合物とを有し、表面における銅濃度が 0.1 mol % 以上であることにより、ワイヤ強度が上昇し、樹脂封止時のワイヤ変形が低減されていた。 20

【0083】

実施例 26～34 のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の主成分が、金、パラジウム又は白金であり、Ca、Sr、Be、Al 又は希土類元素を所領含有することにより、ウェッジ接合性が向上していた。

【0084】

実施例 35～45 のボンディングワイヤは、本発明に係わる、芯材が、銀、スズ又は亜鉛の 1 種以上を所領含有する銅合金からなることにより、十分なウェッジ接合性を確保しつつ、ワイヤ強度を増加させて、樹脂封止時のワイヤ流れを抑制する効果が向上していた。 30

【0085】

実施例 2～7、9～19、21～24、26～31、33、34、36～41、43～45 のボンディングワイヤは、本発明に係わる、表皮層の結晶粒界に銅の濃化が確認され、ボール径、ループ形状等の使用性能が安定化することでばらつきが減少しており、ワイヤ製造工程の総合歩留まりも平均して 5 % 以上は改善していた。