

(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2011-159894
(P2011-159894A)

(43) 公開日 平成23年8月18日(2011.8.18)

(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 B	5 F O 4 4
	H O 1 L 21/60 3 O 1 F	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 27 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-21971 (P2010-21971)</p> <p>(22) 出願日 平成22年2月3日 (2010.2.3)</p>	<p>(71) 出願人 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</p> <p>(71) 出願人 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</p> <p>(74) 代理人 100080089 弁理士 牛木 護</p> <p>(74) 代理人 100137800 弁理士 吉田 正義</p> <p>(74) 代理人 100148253 弁理士 今枝 弘充</p> <p>(74) 代理人 100148079 弁理士 梅村 裕明</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体用銅ボンディングワイヤとその接合構造

(57) 【要約】

【課題】本発明は、材料費が安価で、Al電極との接合部の長期信頼性に優れ、車載用LSI用途にも適用できる接合構造、または半導体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】銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を形成し、銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部であって、前記ボール接合部を130~200のいずれかの温度で加熱した後において、前記ボール接合部の断面に有するCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R1が、40%以上100%以下となるものであることを特徴とする。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を介して半導体素子の電極に接続される銅ボンディングワイヤの接合構造であって、前記ボール接合部を 130 ~ 200 のいずれかの温度で加熱した後において、前記ボール接合部の断面における Cu と Al で構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu Al 相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率 R1 が、50%以上100%以下であることを特徴とする接合構造。

【請求項 2】

前記ボール接合部を前記温度の範囲で、かつ 85 ~ 100% のいずれかの相対湿度で加熱した後、前記ボール接合部の断面における Cu と Al で構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu Al 相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率 R2 が、50%以上100%以下であることを特徴とする請求項 1 記載の接合構造。

10

【請求項 3】

前記ボール接合部における Cu と Al で構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu₉Al₄ 相および Cu Al₂ 相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合が、0%以上40%未満であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の接合構造。

【請求項 4】

前記ボール接合部に、Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種以上の濃化層を有することを特徴とする請求項 1 に記載の接合構造。

20

【請求項 5】

前記ボール接合部に、Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種以上と、Cu および Al により構成される金属間化合物を有することを特徴とする請求項 4 に記載の接合構造。

【請求項 6】

前記ボール接合部に、Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種以上を、総計濃度の最高が 0.5 ~ 30 mol% の範囲で含有する Cu 合金層を有することを特徴とする請求項 1 に記載の接合構造。

【請求項 7】

先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を介して半導体素子の電極に接続される半導体用銅ボンディングワイヤであって、前記ボール接合部を 130 ~ 200 のいずれかの温度で加熱した後において、前記ボール接合部の断面における Cu と Al で構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu Al 相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率 R1 が、50%以上100%以下となることを特徴とする半導体用銅ボンディングワイヤ。

30

【請求項 8】

銅を主成分とする芯材と、前記芯材の上に Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種以上を主成分とする外層とを有することを特徴とする請求項 7 記載の半導体用銅ボンディングワイヤ。

【請求項 9】

前記外層は、Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種で構成される単一外層と、Pd、Au、Ag の金属のうちいずれか 2 種以上を主成分とする合金外層とを有することを特徴とする請求項 8 に記載の半導体用銅ボンディングワイヤ。

40

【請求項 10】

前記外層の厚さが、0.01 ~ 0.4 μm の範囲であることを特徴とする請求項 9 に記載の半導体用銅ボンディングワイヤ。

【請求項 11】

Pd、Au、Ag の導電性金属のうちいずれか 1 種以上を 0.1 ~ 3 mol% の範囲で含有することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の半導体用銅ボンディングワイヤ。

【請求項 12】

50

P、Si、B、Geのうちいずれか1種以上を、0.0001~0.03mol%の範囲で含有することを特徴とする請求項8に記載の半導体用銅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、半導体用銅ボンディングワイヤとその接合構造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(ワイヤボンディング法で接続するワイヤ)として、線径13~50 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。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、直接ボンディングワイヤを外部リード側に超音波圧着により接合させる。

10

【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。

20

【0004】

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。

【0005】

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(以下、銅ボンディングワイヤという)が開発され、特許文献1等が開示されている。しかし、銅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。これが銅ボンディングワイヤの実用化がLSI用途で進まない原因ともなっている。

30

【0006】

ボンディングワイヤの接合相手となる材質に関して、シリコン基板上の配線、電極材料では、純AlまたはAl合金などが主流である。Al合金では、Al-1%Si、Al-0.5%Cu、Al-1%Si-0.5%Cuなどが多く用いられている。微細配線用のCu配線でも、表面にはAl合金などが使用される場合が多い。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。こうした種々の接合相手に応じて、ボンディングワイヤの接合性、接合信頼性を向上することが求められる。

40

【0007】

銅ボンディングワイヤでは、ワイヤ先端を溶融してボール部を形成する際に、酸化を抑制するために、窒素ガスまたは水素を5%程度含有する窒素ガスをワイヤ先端に吹付けながらワイヤボンディングが行われる。

【0008】

銅ボンディングワイヤも、従来の金ボンディングワイヤと同様に半導体の信頼性試験を満足する必要がある。ワイヤボンディングされた半導体は樹脂封止された後に、実使用を加速評価する信頼性試験が行われる。代表的には、高温で加熱するHTS試験(High

50

Temperature Storage)、高温高湿環境での加熱試験であるPCT試験(Pressure Cooker Test)およびHAST試験(Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test)などが実施される。PCT試験は飽和型加圧水蒸気試験とも呼ばれ、その一般的な条件は、121で相対湿度(RH)が100%での加熱であり、電氣的バイアスなどは付加されない。一方、HAST試験は不飽和型加圧水蒸気試験とも呼ばれ、その一般的な条件は、電氣的バイアスを負荷しながら、130の85%RHで加熱される。

【0009】

銅ボンディングワイヤとアルミ電極またはリード電極との接合部の信頼性に関して、現行の金ボンディングワイヤと比較しても報告例は少ない。Cu/Al接合部の信頼性に関しては、特許文献3および非特許文献1などに報告されている。Cu/Al接合部の金属間化合物の成長速度は、Au/Al接合部の場合よりも大幅に遅いことが知られている。こうした遅い金属間化合物の成長速度などの理由から、銅ボンディングワイヤの高温加熱での接合信頼性は金ボンディングワイヤよりも良好であると考えられていた。銅ボンディングワイヤがLSI用途に使用された実績がないため、銅ボンディングワイヤの実使用時の信頼性などは十分に調査されておらず、信頼性評価の基準、寿命なども明確でなかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開昭61-251062号公報

【特許文献2】特開昭61-20693号公報

【特許文献3】国際公開第WO 2008-87922号

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】“Effects of Cu-Al intermetallic compound (IMC) on copper wire and aluminum pad bondability”: H. Kim, J. Lee, K Parik, K Koh, J. Won, IEEE Transactions on Advanced Packaging, 29 (2003), pp. 367-374.

【非特許文献2】M. Drozdov, G. Gur, Z. Atzmon, W. Kaplan, “Detailed investigation of ultrasonic Al-Cu wire-bond: Microstructural evolution during annealing”, J Material Science, 43(2008), pp.6038-6048.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

これまで、銅ボンディングワイヤの用途は、トランジスタなどの個別半導体(ディスクリットIC)に限定されており、LSI用途には実用化されておらず、実使用時の信頼性などは十分に調査されていなかった。今後は、LSI用途の厳しい信頼性基準で調査されることにより、Cu/Al接合部の長期信頼性の問題が懸念される。

【0013】

自動車用途に用いられる車載用LSIでは、より厳しい高温使用環境での信頼性が求められる。一般用途のLSIの信頼性試験では125加熱が一般的であるが、車載用LSIでは150~175のより高温での信頼性が要求される。さらに将来的な要求では、180~250の高温での信頼性も期待されている。

【0014】

銅ボンディングワイヤのHTS試験での接合部の信頼性では、銅ボンディングワイヤとアルミ電極との接合部での強度低下などが問題となる。125程度の低温では問題ないが、150~175の温度範囲で長期間加熱すると、上記のCu/Al接合部での強度の低下、電気抵抗の増加などの不良が問題となる。銅ボンディングワイヤの150~175の温度範囲での接合信頼性が向上すれば、車載用LSIでの実用化が可能となる。

10

20

30

40

50

【0015】

また車載用LSIでもエンジン周辺など厳しい環境で使用される場合は、高温と高湿の組み合わせによる厳しい信頼性が求められる。銅ボンディングワイヤの接合部を用いてPCT試験、HAST試験を行うと、Cu/Al接合部での強度低下などがAuボンディングワイヤよりも短時間で発生することが最近になり懸念されている。

【0016】

本発明では、上述するような接合信頼性の問題を解決して、高温環境または高温高湿環境でのボンディングワイヤの接合信頼性を向上して、金ボンディングワイヤよりも安価な銅を主体とし、車載用LSIにも適用可能である半導体用銅ボンディングワイヤとその接合構造を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明の請求項1に係る発明は、銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を介して半導体素子の電極に接続される銅ボンディングワイヤの接合構造であって、前記ボール接合部を130～200のいずれかの温度で加熱した後において、前記ボール接合部の断面におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R1が、50%以上100%以下であることを特徴とする。

【0018】

本発明の請求項2に係る発明は、前記ボール接合部を前記温度の範囲で、かつ85～100%のいずれかの相対湿度で加熱した後、前記ボール接合部の断面におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R2が、50%以上100%以下であることを特徴とする。

20

【0019】

本発明の請求項3に係る発明は、前記ボール接合部におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合が、0%以上40%未満であることを特徴とする。

【0020】

本発明の請求項4に係る発明は、前記ボール接合部に、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上の濃化層を有することを特徴とする。

30

【0021】

本発明の請求項5に係る発明は、前記ボール接合部に、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上と、CuおよびAlにより構成される金属間化合物を有することを特徴とする。

【0022】

本発明の請求項6に係る発明は、前記ボール接合部に、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を、総計濃度の最高が0.5～30mol%の範囲で含有するCu合金層を有することを特徴とする。

【0023】

本発明の請求項7に係る発明は、先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を介して半導体素子の電極に接続される半導体用銅ボンディングワイヤであって、前記ボール接合部の断面におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R1が、50%以上100%以下となることを特徴とする。

40

【0024】

本発明の請求項8に係る発明は、銅を主成分とする芯材と、前記芯材の上にPd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を主成分とする外層とを有することを特徴とする。

【0025】

本発明の請求項9に係る発明は、前記外層は、Pd、Au、Agの導電性金属のうちい

50

ずれか1種で構成される単一外層と、Pd、Au、Agの金属のうちいずれか2種以上を主成分とする合金外層とを有することを特徴とする。

【0026】

本発明の請求項10に係る発明は、前記外層の厚さが、0.01~0.4 μ mの範囲であることを特徴とする。

【0027】

本発明の請求項11に係る発明は、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を0.1~3mol%の範囲で含有することを特徴とする。

【0028】

本発明の請求項12に係る発明は、P、Si、B、Geのうちいずれか1種以上を、0.0001~0.03mol%の範囲で含有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0029】

本発明の半導体用銅ボンディングワイヤと接合構造により、材料費が安価で、Al電極との接合部の長期信頼性に優れ、車載用LSI用途にも適用することが可能となる。

【発明を実施するための形態】

【0030】

高温環境または高温高湿環境でのボンディングワイヤの接合信頼性に優れた銅ボンディングワイヤについて鋭意調査した結果、銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を形成し、前記ボール接合部を特定の温度で加熱した後に、前記ボール接合部の断面に、CuAl相の金属間化合物を特定の厚さで形成し得る銅ボンディングワイヤが、前記信頼性に優れるということを見出した。

【0031】

銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を形成し、前記ボール接合部を130~200のいずれかの温度で加熱した後に、前記ボール接合部の断面に有するCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合を相対化合物比率R1とすると、R1が50%以上100%以下となる接合構造が望ましい。前記接合構造を有する銅ボンディングワイヤであれば、高温環境または高温高湿環境の接合信頼性を高めることができる。ここでの金属間化合物とは、2種以上の元素が一定の組成比で混合された中間相であり、結晶構造、格子定数などが各元素とは異なる。加熱されたボール接合部におけるCuAl相の相対化合物比率R1を評価することで、半導体の実使用および信頼性試験などで金属間化合物が成長した状態での接合信頼性をより正確に反映させることができる。

【0032】

銅ボンディングワイヤが接続された半導体の信頼性試験における不良形態は、銅ボンディングワイヤとアルミ電極とのボール接合部(以下、「Cu/Al接合部」ともいう)における強度低下、電気抵抗の増加である。このCu/Al接合界面(銅ボンディングワイヤとアルミ電極との接合界面)での不良原因は、ポイド生成と腐食反応の2種類に分類できることを、本発明者らは明らかにした。

【0033】

ポイドとは微小な空隙(ポイド)のことであり、ボール部とCuとAlで構成される金属間化合物との境界近傍に多数発生する。ポイド生成により接合強度の低下が顕著となり、著しい場合には剥離にまで至る。ポイド生成の機構については十分に判明していないが、原子の拡散に寄与する原子空孔(Vacancy)が集合したものと考えられ、金属間化合物の成長と密接に関与している。

【0034】

金属間化合物の成長とポイドの生成・成長の関係について調査した結果、状態図で知られているCuとAlで構成される金属間化合物の5種類の相の全てがポイド生成を誘発するのではないこと、特定の金属間化合物であるCuAl相(組成比はCu:Al=1:1)の成長促進がポイド生成の抑制に有効であることを見出した。CuAl相は成長速度の

10

20

30

40

50

遅い金属間化合物相であるため、通常の銅ボンディングワイヤの接合界面では優先的に成長することは少ない。前記のようなCuAl相による作用が効果的に得られる銅ボンディングワイヤは、上述のような条件でワイヤを処理して、CuAl相の相対化合物比率R1が50%以上となるようなものである。

【0035】

銅ボンディングワイヤとアルミ電極とのボール接合部に成長する、CuとAlで構成される金属間化合物の主要な相はCu₉Al₄相およびCuAl₂相であることが知られている。非特許文献2には、最新のTEM解析技術を用いた観察において、同様の金属間化合物の成長が報告されている。これらCu₉Al₄相およびCuAl₂相と信頼性との因果関係はこれまで不明であった。本発明者らは、その因果関係を精査した結果、上記2種の金属間化合物がポイドの生成、特にポイドの粗大化を誘発することを確認した。その詳細な機構はまだ不明であるが、これらの金属間化合物の成長により、化学量論性のずれによる高濃度の原子空孔が発生すること、CuとAlの相互拡散速度のずれに伴うカーケンダル効果が大きいいため、原子空孔が集合してポイドが粗大化することなどが関係すると考えられる。

10

【0036】

CuAl相は、前述した原子空孔の発生、カーケンダル効果などを制御することにより、ポイド生成を抑制できると考えられる。CuAl相は成長速度の遅い金属間化合物相である。従来の銅ボンディングワイヤの接合界面ではCuAl相を優先的に成長させることは困難であり、高温加熱によりCuとAlで構成される金属間化合物の別の相が成長することでポイドが生成した。CuAl相の成長を促進することで、高温加熱した時の接合信頼性を向上することが可能である。即ち、銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を形成し、前記ボール接合部を130~200のいずれかの温度で加熱した後に、上述のようにCuAl相の相対化合物比率R1が50%以上となるボール接合部であれば、高温加熱した時の接合信頼性を向上することが可能となる。

20

【0037】

接合信頼性を向上するにはCuAl相の成長の割合が重要であり、前記ボール接合部の断面におけるCuAl相の厚さの割合である相対化合物比率R1が50%以上であれば、ポイド生成を抑制することにより良好な接合信頼性が得られる。すなわち、この銅ボンディングワイヤは、通常の評価よりも厳しい車載用LSI向けHTS試験の基準である、150で3000時間の加速試験において、接合断面でのポイド生成を抑制して、接合強度が良好である接合信頼性を満足することが可能である。さらに、前記比率R1が70%以上であれば、より厳しい車載用LSI向けの基準である150で4000時間の接合信頼性を満足することが可能である。

30

【0038】

半導体に加熱処理を施した後に、ボール接合部の金属間化合物の解析を行うことが効率的である。銅ボンディングワイヤとAl電極とのボール接合部における金属間化合物の成長速度は遅いため、通常の半導体では金属間化合物相の解析が困難である。加熱処理を施す利点として、金属間化合物の成長を促進することにより、金属間化合物相の解析精度が向上すること、半導体の実使用および信頼性試験で要求される接合信頼性をより正確に把握できることなどが挙げられる。

40

【0039】

本発明に係る130~200のいずれかの温度の加熱であれば、金属間化合物の成長を促進することが比較的容易となる。これは、130~200の温度範囲であれば、接合界面でのCuとAl原子の相互拡散速度を助長できるためである。適正な温度および時間は、半導体構造、信頼性の要求基準などにより、選定することが可能である。加熱雰囲気は、大気または、N₂、Arなどの不活性ガスであり、湿度が飽和水蒸気圧以下である乾燥雰囲気であることが望ましい。

【0040】

50

好ましくは、樹脂封止しない加熱では130～200のいずれかの温度、樹脂封止した加熱では130～185のいずれかの温度で、加熱時間は50～2000時間の範囲が有効である(以下、HTS評価条件と称する)。この温度範囲であれば、温度が上昇するほど金属間化合物の成長速度が速くなるため、短時間で相の解析が可能となり、評価の効率が高められる。樹脂封止した試料での上限温度を185とした理由は、185を超える高温で加熱した評価では、封止樹脂の変質が加速的に進行して、半導体に要求される本来の信頼性評価とは異なる不良機構が影響を及ぼすためである。以下に説明するCu/Al接合部に成長する金属間化合物、濃化層、Cu合金層などを評価する条件として、特に説明がなくても、このHTS評価条件を利用していることとする。より好ましいHTS評価条件として、樹脂封止しない試料では150～200で100～700時間、樹脂封止した試料では150～175で200～1000時間の加熱であることが望ましい。この加熱条件であれば、より短時間の加熱により、解析に十分な金属間化合物の厚さを確保できるため、効率的な評価が可能である。本発明に係るボール接合部の加熱について、ボール接合部を樹脂封止された状態での加熱、あるいは樹脂封止しない状態での加熱の両者とも利用できる。

10

20

30

40

50

【0041】

上記の加熱されたボール接合部での金属間化合物の分析を行う半導体に関して、ワイヤボンディングされた状態であれば、実装工程での半導体の中間製品、出荷された半導体の最終製品、又は電子機器に装着されて実際に使用されている半導体を用いることができ、またその限りではない。前記中間製品とは、ワイヤボンディング工程の後の半導体のことであり、樹脂封止されていない試料、樹脂封止されて信頼性試験が行われていない試料、信頼性試験が行われた試料などで例示される。即ち、接合界面に形成される金属間化合物の濃度あるいは厚さは、前述したいずれの半導体を用いて、130～200のいずれかの温度で加熱した後にボール接合部の観察を行っても、本発明の範囲内であれば、その作用効果を奏するものである。

【0042】

銅ボンディングワイヤの先端に形成したボール部をアルミ電極に接合したボール接合部を形成し、前記ボール接合部を130～200のいずれかの温度で、かつ85～100%のいずれかの相対湿度(RH)で加熱した後に、前記ボール接合部の断面に有するCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R2が、50%以上100%以下となる接合構造がより好ましい。前記接合構造を有する銅ボンディングワイヤであれば、よりCuAl相の成長を促進できるものであり、高温高湿の厳しい使用環境でのCu/Al接合部の腐食を抑制して、信頼性を更に向上することができる。ボール接合部の金属間化合物の成長を評価する加熱条件として、130～200、かつ85～100%RHとした理由は、厳しい高温高湿環境での信頼性の要求を満足するための加速評価として望ましいためである。高温高湿加熱では、吸湿された水分が封止樹脂中の塩素の移動を助長することで腐食反応を加速させることになり、前述した乾燥環境での高温加熱とは異なる不良機構による厳しい信頼性評価を行うことができる。

【0043】

銅ボンディングワイヤを用いた半導体のPCTまたはHASTなどの高温高湿試験においてボール接合部で接合強度の低下または電気抵抗の増加などが、最近になり問題視されている。これは、金ボンディングワイヤの接合部では不良が発生することはないことから、銅ボンディングワイヤに特有の課題である。本発明者らが不良機構を詳細に検討したところ、封止樹脂中に含有される塩素またはナトリウムなどが、接合界面に成長したCu-Al系の金属間化合物と化学反応を起こす腐食反応が原因であることを見出した。この腐食不良は化学反応に支配されており、前記のポイド粗大化とは機構が異なる新たな不良現象である。

【0044】

高温高湿加熱において成長するCuAl相の成長促進が、ボール接合部の腐食反応の抑

制に有効であることを見出した。高温高湿加熱で腐食不良を誘発する塩素またはナトリウムなどに対して、CuAl相は腐食され難い相であるためと考えられる。これが、前記のCuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R2に着目した理由である。高温高湿加熱においてCuAl相を優先的に成長させることで、実使用および信頼性試験での接合信頼性をより向上することができる。

【0045】

ボール接合部の金属間化合物の成長を評価する加熱条件として、130～200℃、かつ85～100%RHとした理由は、厳しい高温高湿環境での信頼性の要求を満足するための加速評価として望ましいためである。

【0046】

好ましくは、前記ボール接合部を130℃の温度、かつ85%の相対湿度で加熱した後に、前記ボール接合部の断面におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、CuAl相の金属間化合物の厚さの割合である相対化合物比率R2が、60%以上100%以下であることが望ましい。温度130℃は、通常の封止樹脂のガラス転移温度と同程度であるため実使用環境での不良を想定した評価に好適な温度条件ある。湿度85%RHは、樹脂内部の吸水性の向上と樹脂表面の過剰な結露の抑制をバランスさせることで、腐食不良の程度が半導体内部でばらつくのを抑えるのに好適な湿度条件である。従って、130℃ - 85%RHの加熱条件（以下、UHAST評価条件と称する）は、金属間化合物の成長と腐食反応を同時に進行させられるため、実使用または信頼性試験を再現するのに適した加熱条件である。すなわち、前記R2を評価する高温高湿加熱条件は、温度130℃、湿度85%RHがより望ましい。

【0047】

前記R2を評価するための加熱時間は150～1000時間の範囲であれば、接合信頼性を判定するのに十分な厚さの金属間化合物が成長する。好ましくは、200～600時間の加熱であれば、相の同定など解析に十分な金属間化合物の厚さを確保でき、腐食反応生成物などの生成を少なくすることで効率的な評価が可能である。

【0048】

ここで、130℃ - 85%RHの加熱条件は、バイアス無しのHAST試験に相当して、UHAST評価（Un-biased HAST）として最近注目されている。従来の金ボンディングワイヤで利用される高温高湿試験として、PCT試験（121℃ - 100%RH、バイアスなし）、HAST試験（130℃ - 85%RH、バイアス負荷）などが一般的である。PCT試験条件では、信頼性データのばらつきが大きく、寿命評価の再現性が劣ることが問題であり、HAST評価ではバイアス負荷により加速係数が高く、実使用の不良機構を再現していないことが懸念される。本発明者らは、銅ボンディングワイヤの信頼性に適した評価条件として、寿命のばらつきが小さく、信頼性を適切に評価できるUHAST評価条件が有効であることを確認した。高温高湿加熱評価では、腐食不良を再現評価するためにも、樹脂封止されたボール接合部を用いることが望ましい。

【0049】

前記相対化合物比率R2が50%以上であることにより、ボール接合部の腐食の進行を抑える高い効果が得られ、比較的信頼性要求の高い半導体での信頼性要求の目安となるHAST試験（130℃ - 85%RH、バイアス負荷）の192時間（8日間）加熱でも、接合断面での腐食を抑制して、接合強度が良好であることを確認した。UHAST試験（130℃ - 85%RH、バイアスなし）では300時間の加熱に相当する。さらに、R2が70%以上であれば、さらに厳しい基準である336時間（14日間）のHAST試験でも、良好な接合信頼性を満足することが可能である。これはUHAST試験では500時間の加熱に相当する。

【0050】

前記条件で加熱した後において、前記ボール接合部におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合が、0%以上40%未満であることを特徴とする接合構造であることが

10

20

30

40

50

望ましい。ここでの加熱とは、前記条件である130～200のいずれかの温度での加熱、あるいは130～200のいずれかの温度で、かつ85～100%のいずれかの相対湿度での加熱である。Cu₉Al₄相およびCuAl₂相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合(R3、R4)に関して、前者の加熱条件での該割合をR3、後者の加熱条件での該割合をR4と便宜上区別する。

【0051】

Cu/Al接合部での不良機構について鋭意調査した結果、ポイド生成、腐食反応に關与するのはCuとAlで構成される金属間化合物のなかでも特定の相であり、なかでもCu₉Al₄相およびCuAl₂相がポイドを生成したり、腐食され易いことが原因であることを見出した。すなわち、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相がポイド、腐食に關与する主な相であり、これらの相成長を抑えることでボール接合部の信頼性を向上させる効果を高められる。前述したCuAl相の成長促進に加えて、前記条件で加熱したときのCu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長抑制を組み合わせることで、特にポイド、腐食を抑制するより高い相乗効果が得られる。

10

【0052】

前記ボール接合部を130～200のいずれかの温度で加熱したときに、ボール接合部におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合R3が、0%以上40%未満である接合構造であれば、ポイド生成をさらに抑制する優れた効果が得られるため、高温接合信頼性がさらに向上する。高温加熱されたときのCu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長がポイドの粗大化を助長しているためと考えられる。前述したCuAl相の成長促進に加えて、130～200のいずれかの温度で加熱したときのCu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長抑制を組み合わせることで、ポイド生成を抑制する相乗効果が得られる。R3が40%未満であれば、厳しい車載用LSI向けの基準となる150で4000時間加熱したHTS試験で良好な接合信頼性が可能である。好ましくは、15%未満であれば、さらに厳しい車載用LSI向けの基準である4500時間のHTS試験でも高い接合信頼性を満足することが可能である。

20

【0053】

前記ボール接合部を130～200のいずれかの温度で、かつ85～100%のいずれかの相対湿度で加熱したときに、ボール接合部におけるCuとAlで構成される金属間化合物の厚さに対して、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相を有する金属間化合物の厚さの総計の割合R4が、0%以上40%未満である銅ボンディングワイヤであれば、ボール接合部の腐食をさらに抑制する優れた効果が得られるため、高温高湿接合信頼性がさらに向上する。好ましくは、前述した加熱条件である、130 - 85%RHであるUHAST評価条件が望ましい。このUHAST評価条件であれば、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長と腐食を同時に再現できるため、R4の評価の精度、効率をより向上することができる。

30

【0054】

R4が40%未満であれば、厳しい車載用LSI向けの基準となる288時間(12日間)のHAST試験において、良好な接合信頼性を満足することが可能である。好ましくは、15%未満であれば、さらに相当厳しい車載用LSI向けの基準である408時間(17日間)のHAST試験でも、良好な接合信頼性を満足することが可能である。

40

【0055】

上記接合構造において、ボール接合部にPd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上の濃度が高い濃化層を有する接合構造であることが望ましい。ここでの濃化層を評価する試料は、130～200のいずれかの温度での加熱、または前記温度で85～100%RHでの加熱などの状態のいずれでも構わない。前記銅ボンディングワイヤであれば、ボール接合部におけるCuAl相の相対化合物比率を制御することで、今後の車載用LSI向けの信頼性基準である175で3000時間のHTS試験での接合信頼性を向上できる。ボール接合部に形成されたPd、Au、Agの濃化層の役割は、CuとAl

50

原子の相互拡散速度を調整して、CuAl相の成長を促進すること、ボイド粗大化を抑制することなどが考えられる。CuおよびAlよりも貴な金属であるPd、Au、Agの濃化層であれば、酸化されることも少ないため、腐食性ガス、イオンなどの接合界面近傍での移動などを抑えるプロテクト効果も期待できる。

【0056】

前記濃化層とは、ボール接合部の中心部における導電性金属の濃度よりも相対的に濃度が高い領域のことである。ボール接合部の界面近傍に濃化層が存在することで信頼性を向上する作用が高められる。また界面から少し離れたボール内部に濃化層が存在しても、該濃化層から前記導電性金属が拡散により界面に供給されることで信頼性を高めることが可能である。好ましくは、濃化層に含まれる導電性金属の濃度が、ボール接合部の中心部の濃度に比べて1.2倍以上であれば、濃化層の高い効果が得られる。より好ましくは、該比率が2倍以上であれば、濃化層による改善効果をさらに高めることができる。ボール接合部の界面または表面における濃化の形態が、層状に形成されている場合が多いことから、本願では濃化層と称する。濃化層は、必ずしも連続的な層状の形態に限定されるわけではなく、濃化層の一部が不連続(断続的)に形成される形態も含む。濃化層で導電性金属の存在状態に関して、Cu中に前記導電性金属が固溶する状態、前記導電性金属の1種以上とCuおよびAlにより構成される金属間化合物のいずれでも構わない。

10

【0057】

濃化層に関して、前記導電性金属を総計した最高濃度が0.1~30mol%、厚さが0.1~15μmの範囲であることが望ましい。これは最高濃度が0.1mol%未満では信頼性の改善効果が小さく、30mol%を超えるとボール部が硬化してチップ損傷を与えることが懸念されるためである。好ましくは、0.5~12mol%であれば、150以下の低温接合した試料でも初期の接合強度を高めることができるため、BGA、CSP等の樹脂基板の接続に有利である。濃化層の厚さが0.1μm以上であれば上述した信頼性を向上する効果が得られ、15μmを超えるとチップ損傷を与えることが懸念される。好ましくは、濃化層の厚さが0.5~10μmの範囲であれば、高温加熱でのボール接合部の寿命を延長させるより高い効果が得られる。

20

【0058】

上記接合構造において、加熱評価されたボール接合部に、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上と、CuおよびAlにより構成される金属間化合物(以下、「多元素金属間化合物」と称す)を有する接合構造であることが望ましい。前記多元素金属間化合物が形成される場所は、ボール接合部の界面近傍であることが望ましい。多元素金属間化合物の一例として、Cu-Al-Pd、Cu-Al-Auなどの3種で構成される場合、Cu-Al-Pd-Ag、Cu-Al-Pd-Auなどの4種類で構成される場合などが例示される。また、CuとAlで構成される金属間化合物が前記導電性金属を固溶する場合も多元素金属間化合物に含める。こうした多元素金属間化合物をボール接合部に形成させる接合構造であれば、高温高湿環境でのCu/Al接合部の腐食を抑制する効果を増進することにより、HAST試験の480時間(20日間)の接合信頼性をさらに向上できる。この基準は、UHAST試験の600時間(25日間)にほぼ相当する。前記多元素金属間化合物は、CuとAl原子の相互拡散のバリア機能を有することにより、CuAl相の安定成長を促進すると共に、腐食される可能性の高いCu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長を抑制する効果が高い。さらに多元素金属間化合物の独自の作用として、塩素およびナトリウムなどの接合界面への侵入を防ぐことが考えられ、これが腐食抑制効果を増進させる働きをしている。

30

40

【0059】

多元素金属間化合物に含まれる前記導電性金属を総計した最高濃度が0.5~20mol%であることが望ましい。ここで、0.5mol%以上であれば上記の高い腐食抑制効果が得られ、20mol%を超えると上記加熱後にアルミ電極の下にダメージを与えることが懸念されるためである。多元素金属間化合物の厚さは0.02~3μmの範囲であることが望ましい。上記濃度範囲の領域の厚さが0.05μm以上であれば上述した信頼性

50

を向上する効果が得られ、 $3\ \mu\text{m}$ を超えるとチップ損傷を与えることが懸念される。好ましくは $0.05\sim 2\ \mu\text{m}$ の範囲であれば、アルミ電極の膜厚が $0.7\ \mu\text{m}$ 以下の薄い場合にも高温高湿での接合信頼性を向上することが可能である。

【0060】

上記接合構造において、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を、総計濃度の最高が $0.5\sim 30\ \text{mol}\%$ の範囲で含有するCu合金層を有する接合構造であることが望ましい。ここでのCu合金とは、前記導電性金属がCu中に固溶されている状態であり、結晶構造はCuと同じ面心立方構造のままである。即ちCu合金は、前述した金属間化合物とは明らかに異なる。この接合構造であれば、封止樹脂のガラス転移温度を超えた $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ の高温で 1000 時間のHTS試験での接合信頼性を向上できる。これはエンジン周辺に用いられる車載用LSIの厳しい信頼性基準に相当する。前記Cu合金層がCuの拡散を調整する機能を有することで、ボイド生成を抑制する効果が増進するためと考えられる。Cu合金層が形成される場所は、接合部界面近傍であれば信頼性を向上させる高い効果が得られるが、ボール接合部の内部に存在しても構わない。

10

【0061】

前記Cu合金層に含まれる前記導電性金属を総計した最高濃度が $0.5\sim 30\ \text{mol}\%$ であることが望ましい。ここで、 $0.5\ \text{mol}\%$ 以上であれば上記の高いボイド抑制効果が得られ、 $30\ \text{mol}\%$ を超えると隣接する金属間化合物との熱膨張差などによりボール部の外周近傍に亀裂が発生することが懸念されるためである。好ましくは、 $0.5\sim 12\ \text{mol}\%$ であれば、低温での接合性、小ボール接合性なども良好である。Cu合金層の厚さは $0.1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。ここで、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上であれば上述した信頼性を向上する効果が得られる。好ましくは $1\ \mu\text{m}$ 以上であれば、アルミ電極の膜厚が $1.8\ \mu\text{m}$ 以上の厚い場合にも高温での接合信頼性を向上することが可能である。Cu合金層の厚さの上限はボール接合部の圧着高さの 60% 以下、またCu合金層の厚さの上限がボール直径の 40% 以下であれば、接合性等に悪影響を及ぼすことなく、良好な接合性が確保される。

20

【0062】

上記銅ボンディングワイヤの線径は $10\sim 75\ \mu\text{m}$ の範囲であることが望ましい。好ましくは $10\sim 30\ \mu\text{m}$ の範囲であれば高密度実装での信頼性向上に有効であり、より好ましくは $12\sim 25\ \mu\text{m}$ の範囲であれば、狭ピッチ接続および複雑なループ制御、樹脂封止時のワイヤ変形の低減などの性能向上と作業性維持を両立できる。ボール接合部のサイズでは、ボール接合部の直径の平均値が線径の $1.2\sim 3.5$ 倍の範囲であれば、良好な接合信頼性を確保することができる。好ましくは、 $1.4\sim 3$ 倍の範囲であれば、連続ボンディングでの量産歩留りを向上でき、より好ましくは、 $1.5\sim 2.5$ 倍の範囲であれば、BGA基板での低温接合における接合信頼性を向上することが容易となる。

30

【0063】

接合相手となるアルミ電極の材質が、純AlまたはAl合金であれば、良好な接合信頼性を確保することができることを確認した。ここでAl合金とは、Al-1%Si、Al-0.5%Cu、Al-1%Si-0.5%Cuなどで例示されるが、その限りではない。前記アルミ電極の膜厚は、 $0.4\sim 4\ \mu\text{m}$ の範囲であることが望ましい。好ましくは、 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ の範囲であれば、接合部周囲にアルミが掃出される不良(スプラッシュ不良)を低減することで、接合性および信頼性を向上することができる。また、前記アルミ電極の下部構造は、金属膜、誘電膜、酸化膜などからなる複層構造であっても、良好な接合信頼性が確保できることを確認した。

40

【0064】

接合界面に成長する金属間化合物の相同定には、TEM(Transmission Electron Microscope)の電子線回折または濃度解析手法が有効である。金属間化合物、濃化層、Cu合金層などの濃度解析手法では、接合断面においてEPM(A)(Electron Probe Microanalyser)、EDX(Electron Probe MicroAnalyser)、AES(Auger Electron Spectroscopy)等を用いて点分析又は線分析する手法が利用できる。特に拡散が十分でなく上記の相

50

の厚さが薄い場合には、AESまたは高分解能TEM解析などが有効であり、微小領域での分析精度を向上できる。ボール接合部の界面の分析には、AES、EPMA、EDX、TEMなどの装置を利用した。濃化の場所が特定できない場合などには、接合界面の近傍における線分析が望ましい。濃化層の位置が明確である場合には、点分析は簡便な手法である。点分析で濃化の有無を評価するためには、濃化領域と、ボール接合部の内部で接合界面から十分離れた領域との少なくとも2箇所分析することが望ましい。また界面の生成物の厚さの評価は、主にAES、EPMA、EDXによる線分析による測定、あるいはSEM(Scanning Electron Microscope)、TEM、光学顕微鏡などで撮影した写真を用いた測定が可能である。

【0065】

前述した金属間化合物、濃化層、化合物などの存在、厚さなどを調査する接合界面の部位に関しては、ボール接合部の断面の両端近傍を除いた中央領域であることが望ましい。ここでの中央領域とは、ボール接合断面の中心線をはさんで70%の領域、言い換えるとボール接合断面のそれぞれの両端の各15%を除外した領域に該当する。この理由は、前記中央領域がボール接合部の信頼性を支配していること、ボール接合の両端部では接合部外周のアルミ電極からのAl原子の拡散が影響して、金属間化合物の成長などが前記中央領域とは異なること、などに基づく。

【0066】

本発明の半導体用銅ボンディングワイヤは、上述のように、アルミ電極に接合したボール接合部の断面においてCuAl相の相対化合物比率R1が50%以上100%以下となるものであればよく、以下にその例を述べる。

【0067】

前記熱処理でR1が上記の範囲となる銅ボンディングワイヤの1つの例は、銅を主成分とする芯材と、前記芯材の上にPd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を有する主成分とする外層とを有する半導体用銅ボンディングワイヤである。以下、芯材と外層とを有する銅ボンディングワイヤを総称して、複層銅ボンディングワイヤとする。ここで、主成分とは、濃度が50mol%以上の場合に相当する。

【0068】

上記の複層銅ボンディングワイヤの中で、R1が上記の範囲になる複層銅ボンディングワイヤは、CuAl相の成長を促進し易く、接合信頼性に優れるという効果が得られる。さらに、R1が上記の範囲になる複層銅ボンディングワイヤは、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長を抑えることができ、前述した導電性金属の濃化層、前記多元金属間化合物、前記Cu合金層などの成長を促進することができるので、接合信頼性に優れてより一層高い効果を得ることができる。加えて、複層銅ボンディングワイヤでは、ワイヤ表面の酸化を抑制して製品寿命を増加させることができる。さらに、複層銅ボンディングワイヤでは、外層厚さ、組成、構造等を適正化することで、ワイヤ表面の酸化を抑制して製品寿命を増加させる効果、チップ損傷を低減する効果などを得ることができる利点がある。一方、従来の単層構造の銅ボンディングワイヤでは、R1が上記の範囲に入るものではない。従来の単層構造の銅ボンディングワイヤで、R1が上記の範囲に入るようにしようとすると、即ち、CuAl相など特定の金属間化合物の成長を促進するようにしようとすると、ワイヤ中の合金元素の添加濃度を増加させるという方法が考えられるが、実際には添加濃度を増加するとボール接合部が出来ないものになってしまう。これは、ボール部が硬化して接合時にチップ損傷を与えるからである。

【0069】

前記外層は、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を主成分とし、R1を上記の範囲内とすることで、CuAl相の成長を促進して接合信頼性を高める顕著な効果が得られると同時に、ボール接合時の変形を等方的にすることでボール接合形状を真円化することができる。好ましくは、外層がPdを含有することにより、ボール接合形状を真円化する効果をより高めることができる。

【0070】

外層を構成する元素数で整理すると、前記導電性金属の1種により構成される単一外層の場合、前記導電性金属のうち2種以上による合金外層の場合、または前記の単一外層と合金外層の両者による混合型外層の場合のいずれでも、R1を上記の範囲内とすることで、CuAl相の成長を促進してボール接合部の信頼性を向上することが可能である。それぞれの特徴として、単一外層であれば接合界面での前記濃化層の形成が促進され、合金外層では前記多元素金属間化合物の形成が促進される傾向があることも確認された。さらに、合金外層が前記導電性金属のうち2種以上の濃度勾配を有することにより、低温でのウェッジ接合強度の増加、高段差接続でのワイヤ倒れによるリーニング不良の低減などにも有利となる。

【0071】

前記外層の厚さは0.01~0.4 μm の範囲であることが望ましい。これは良好なウェッジ接合性が得られ、ボール接合性の向上効果も高められるためである。厚さが0.01 μm 未満では、銅ボンディングワイヤの表面酸化を抑制が不十分となったり、それによって十分な接合信頼性が得られなかったりする場合がある。一方、厚さが0.4 μm 超では、ボール部が硬化してチップ損傷を与えることが懸念される。好ましくは、外層の厚さが0.02~0.3 μm の範囲であれば、低温接合でのウェッジ接合強度を増加させる効果を増進できる。より好ましくは、外層の厚さが0.04~0.2 μm の範囲であれば、線径18 μm 以下の細線での表面酸化の抑制とウェッジ接合性の向上を両立することで、45 μm 以下の狭ピッチ接合の生産性向上に有効である。

【0072】

芯材と外層の間に、ワイヤ径方向に濃度勾配を有する拡散層を形成することが望ましい。拡散層を形成することで、両立が難しいとされていたループ制御性とウェッジ接合性を同時に高める効果が得られる。拡散層とは、芯材を構成する元素と外層を構成する元素の両者が逆方向に相互拡散する過程で形成される。すなわち、前記拡散層は、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上の元素とCuとにより構成される。好ましくは、拡散層がワイヤ径方向に濃度勾配を有することで、芯材と外層の密着性と、複雑な塑性変形を受けるループ時の制御性を同時に向上できる。本発明における拡散層の定義では、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、前記導電性金属の検出濃度が10~50mol%の領域とする。この濃度域の拡散層であれば、前記濃度が低く、外層と芯材の両者とは異なる役割を果たすためである。また、外層とは、前記導電性金属の検出濃度が50mol%以上の高濃度の部位に相当する。ここでの外層、拡散層での濃度について、外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。

【0073】

拡散層の厚さは、0.002~0.2 μm の範囲であることが望ましい。0.002 μm 未満であればループ制御を安定化する効果が小さく、0.2 μm を超えるとボール接合部の偏芯、異形などが発生することが問題となるためである。好ましくは、0.002~0.08 μm の範囲であれば、ループ制御性を向上するより高い効果が得られる。

【0074】

前記外層は、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種で構成される単一外層と、前記導電性金属のうちいずれか2種以上を主成分とする合金外層とを有する複層銅ボンディングワイヤであることが望ましい。これは前記の混合型外層に相当する。この単一外層と合金外層の両者で形成されることにより、高ループ形成時などの不良モードであるリーニング性を改善できる。多ピンでの多段接続(Multi-Tier Bonding)では、ループ高さの高いループ形成時にネック近傍でワイヤが倒れるリーニング不良を改善することが期待されている。

【0075】

好ましくは、混合型外層の構成について、最表面の合金外層が単一外層を覆う構造であることが望ましい。この合金外層/単一外層/芯材の構成であれば、リーニング性を向上

10

20

30

40

50

する高い効果が得られる。表面の合金外層は、ボール溶融の熱影響による再結晶粒の粗大化を抑える役割を果たし、内部の単一外層は、ループ形成時の不均一な歪みの残留などによる変形の不均一性を低減する役割を分担しているためと考えられる。より好ましくは、合金外層の内部および合金外層と単一外層の界面において、前記導電性金属の2種以上の元素が濃度勾配を有することにより、リーニングの抑制効果を特段に高めることが可能である。この濃度勾配により、ループ形成時の外力を緩和する効果が高まり、リーニングの抑制効果がより一層高まるためと考えられる。元素の組み合わせでは、特に、単一外層がPdで、合金外層がPdとAuの合金であるケース、または、単一外層がPdで、合金外層がPdとAgの合金であるケースなどでは、上記のリーニングを抑制する特段の高い効果が確認された。合金外層と単一外層のそれぞれの厚さは特に限定はないが、単一外層の厚さが合金外層の厚さの2倍以上であれば、安定した改善効果が得られる。

10

20

30

40

50

【0076】

複層銅ボンディングワイヤにおいて、上記熱処理でR1が50%~100%の範囲となる銅ボンディングワイヤとするためには、芯材と外層を形成する被覆工程および熱処理工程などボンディングワイヤ製造条件の適正化が有効である。銅ボンディングワイヤとAl電極の接合信頼性が半導体用途の厳しい要求に応えるためには、単に信頼性の平均値を高めることだけでは不十分であり、加速試験での不良率をppmオーダまで低減するための、ばらつき抑制が重要となる。大量生産レベルでボール接合部のばらつきを抑えて安定化させることができる銅ボンディングワイヤが必要となる。即ち、上記ボール接合部の断面におけるCuAl、Cu₉Al₄およびCuAl₂相に関する相対化合物比率R1、R2、R3、R4を制御するためには、ボール接合部でのCuとAlの拡散を接合界面全体に均一に起こすことが重要なポイントとなる。言い換えると、接合界面での不安定因子をできる限り管理するための、銅ボンディングワイヤの製造技術が求められる。例えば、外層と芯材の界面の均一性、密着性を向上すること、あるいは外層の表面粗度の低減、外層内に混入する不純物の低減などを行うことにより、R1、R2、R3、及びR4を本発明の範囲にすることができ、その結果、ボール接合部の拡散を制御する機能が高められ、接合信頼性を安定して向上させる効果を発現できる。

【0077】

前記複層銅ボンディングワイヤに関して、R1に影響を及ぼす主なワイヤの材料ファクターは、外層の厚さおよびその均一性、不純物成分および濃度、加工歪み、表面粗度、外層と芯材との界面の密着性および均一性などが関与する。R1を増加させるためには、例えば、外層の厚さが大きくなること、不純物を低減すること、外層と芯材との界面の密着性および均一性を向上すること、拡散層を均一に形成することなどが有効である。前記材料ファクターを適宜組み合わせることにより、R1を本発明の範囲である50%~100%にすることがより容易となる。好ましくは、外層と芯材との界面の密着性および均一性を向上することにより、R1を本発明の好ましい範囲である70%~100%にすることがより容易となり、外層の厚さを大きくしたりその厚さの均一性を促進することにより、R2を本発明の範囲である50%~100%にすることが容易となる。

【0078】

前記複層銅ボンディングワイヤに関して、R3に影響を及ぼすワイヤの材料ファクターは、R1とほぼ同様である。なかでも不純物成分およびそれらの濃度を抑制することで、R1が増加する傾向にある。特に、不純物の中でもメッキ液、有機物の残留、水素ガス成分などを抑制することが、R3を本発明の範囲である0%以上40%未満にするのに有効である。好ましくは、残留する有機物を抑制することが、R3を本発明の好ましい範囲である0%以上40%未満に制御するのに有効であり、水素ガス成分を抑制することが、R4を本発明の範囲である0%以上40%未満に安定制御するのに有効である。

【0079】

以下に、R1を本発明の範囲内にする、更にはR2~R4も上記の特定の範囲内とする複層銅ボンディングワイヤを製造するプロセス条件の一例を説明する。具体的には、芯材の作製、外層の被覆、伸線加工、熱処理などの工程に分けて、プロセス条件および前述し

た材料ファクターとの関係などを後述するが、この限りではない。さらに、下記のプロセス条件を適宜組合わせることで、R1～R4を制御する効果がより高められる。

【0080】

Cuの芯材を準備する工程において芯材表面の平滑性の向上、あるいは表面酸化膜を抑制することで、芯材と外層との密着性を向上させて、接合信頼性を向上する銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。こうして製造された銅ボンディングワイヤであれば、外層を構成する導電性金属がボール表面および内部に均等に分布させて、ボール接合部でのCuとAl原子の拡散が安定化するので、R1を50%～100%の範囲とする銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。

【0081】

銅の芯材の表面にメッキ法、蒸着法などにより外層を被覆する工程では、外層内に混入する不純物を低減することが必要である。外層内にメッキ液、有機物の残留、水素などガス成分の固溶などを厳しく管理することにより、アーク放電によりボール形成するときの外層と芯材の溶融、混合を安定化させることで、接合信頼性を向上する銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。こうして製造された銅ボンディングワイヤであれば、外層を構成する導電性金属がボール表面および内部に均等に分布し、ボール接合部でのCuとAl原子の拡散が安定化するので、R1を50%～100%の範囲とする銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。さらに、メッキ液、有機物の残留を低減することが、拡散を阻害する要因を抑えることになり、Cu₉Al₄相およびCuAl₂相の成長を抑制するため、R3を本発明の範囲である0%以上40%未満にするのに有効である。好ましくは、外層に残留する有機物を低減することが高温環境における拡散を阻害する要因を抑えることになり、R3の好ましい範囲である0%以上40%未満にするのに有効であり、また、水素などガス成分を低減することが、温度130℃かつ相対湿度85%などの高温高湿環境における拡散を阻害する要因を抑えることになり、R4を0%以上40%未満の範囲にするのに有効となる。

【0082】

外層を芯材の表面に被覆した後の伸線加工では、加工速度の安定制御、伸線で銅ボンディングワイヤ中に導入される加工歪の均一化などを管理することが有効である。これにより、円周方向、ワイヤ長手方向に外層の厚さを均一化すること、または、外層と芯材の界面の均一性を向上することにより、結果として、ボールの真球形、表面平滑性を促進して、接合信頼性を向上する銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。こうして製造された銅ボンディングワイヤであれば、ボールの真球形、表面平滑性を安定化させ、アルミ電極の酸化膜を破壊して接合界面全体での金属接合を促進して拡散を均一化させることができ、R1を50%～100%の範囲とするのに有効である。また、外層の厚さを均一化することが、外層を構成する導電性金属をボール内部に均等な分布を促進することになり、結果として、接合後の温度130℃かつ相対湿度85%などの高温高湿環境におけるCuとAlの拡散を促進することで、R2を50%～100%の範囲とするのに有効である。

【0083】

銅ボンディングワイヤの加工途中または最終線径などで施される熱処理工程においても、加熱雰囲気、加熱温度・時間、冷却方法などを管理することによって、接合信頼性を向上する銅ボンディングワイヤの製造が可能となる。こうして製造された銅ボンディングワイヤであれば、外層の内部に含有するガス濃度、表面粗度、外層と芯材との界面の密着性、拡散層の形成などを制御することにより、ボール接合部の界面近傍での前記導電性金属の分布、拡散などを制御して、R1を50%～100%の範囲とすることに有効である。また、高温高湿環境におけるCuとAlの拡散を促進することが容易となり、R2を50%～100%の範囲とすることも可能である。さらに、拡散を阻害する要因を抑える効果も高いので、R3を本発明の範囲である0%以上40%未満にすることも可能である。

【0084】

単層構造の銅ボンディングワイヤ（以下、「単層銅ボンディングワイヤ」という）でも、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を含有する銅合金とし、R1を

10

20

30

40

50

50%～100%の範囲とすれば、CuAl相の成長を促進して接合信頼性を向上することが可能である。前記の複層銅ボンディングワイヤでは、外層の形成など製造コストの増加、品質を安定化させる材料開発などが必要となるのに対して、上記の導電性金属を含有する単層銅ボンディングワイヤであれば、製造が比較的容易であることが利点である。

【0085】

上記銅ボンディングワイヤのなかでも、前記導電性金属のうちいずれか1種以上を0.1～3mol%の範囲で含有する銅ボンディングワイヤであることが望ましい。この濃度範囲であれば、ボール接合部のシヤ強度を向上することができる。ダメージを受けやすい電極構造などで荷重・超音波などの条件範囲に制約がある場合などにも、この濃度範囲であれば対応可能である。前記導電性金属は、複層銅ボンディングワイヤまたは単層銅ボンディングワイヤのどちらでも、ワイヤを溶融して形成されるボール部の内部に導電性金属が固溶されるため、シヤ強度に影響する。前記導電性金属は、0.1mol%未満では接合信頼性を向上する効果が小さく、3mol%を超えると、シヤ強度が低下する傾向にあり、それを抑制する接合条件の範囲が狭くなり、量産性が低下することが懸念される。前記導電性金属の濃度の総計が0.3～2mol%の範囲であれば、接合信頼性を向上する効果に加えて、ボール接合時の荷重・超音波振動などの接合条件の適正化によりメタルリフト不良を抑えることも可能である。最近のLSIの電極構造ではlow-k膜が使用されており、接合時にメタルリフト不良と呼ばれる電極膜の剥離が生じることが問題となる。このメタルリフト不良は、前記のチップダメージよりも敏感である。0.3mol%未満では接合信頼性を向上する効果が小さく、2mol%を超えると、メタルリフトの発生が懸念されるためである。

10

20

【0086】

前記単層銅ボンディングワイヤに関して、R1に影響を及ぼす主なワイヤの材料ファクターは、Pd、Au、Agの導電性金属の濃度およびその均一性、銅の粒径分布、加工歪み、表面のCu酸化膜の厚さおよび分布、Cu中のガス成分の微量濃度などが関与する。R1を増加させるためには、例えば、Pd、Au、Agの導電性金属の濃度を大きくなること、表面のCu酸化膜の厚さを小さくし均一に分布させること、加工歪みをワイヤ内部で均一化させることなどが有効である。前記材料ファクターの適宜組み合わせにより、R1を本発明の範囲である50%～100%にすることがより容易となる。好ましくは、Pdの含有濃度を高めたり均一に分布させること、表面のCu酸化膜の厚さを低減することが、R2を本発明の範囲である50%～100%にするのに有効である。

30

【0087】

R3に影響を及ぼすワイヤの材料ファクターは、R1とほぼ同様である。好ましくはCu中のS、N、O、Hなどのガス成分を低減することにより、R3を本発明の範囲である0%以上40%未満にするのに有効である。好ましくは、水素ガス成分を抑制することがR4を0%以上40%未満に安定制御するのに有効である。

【0088】

前記複層銅ボンディングワイヤまたは前記単層銅ボンディングワイヤにおいて、P、Si、B、Geのうちいずれか1種以上を0.0001～0.03mol%の範囲で含有する銅ボンディングワイヤであることが望ましい。これにより、ループ高さが60μm以下の超低ループ化が可能となる。ネック部はボール形成時の熱影響を受けており、再結晶粒が成長して、低ループ形成時にネック部にクラックが発生することが問題となる。P、Si、B、Geの元素群を含有することにより、再結晶粒の成長を抑制してネック損傷を低減する高い効果が得られる。ここで、上記濃度が0.0001mol%未満では改善効果が小さく、0.03mol%を超えるとワイヤが硬くなるためループ高さが不安定となり、低ループ化に適さないためである。好ましくは、P、Si、B、Geの総計濃度が0.0005～0.02mol%の範囲であれば、線径18μm以下の細線での低ループ化を向上する効果が高められる。

40

【実施例】

【0089】

50

以下、実施例について説明する。

【0090】

銅ボンディングワイヤの原材料として、芯材に用いるCuは純度が約99.999質量%以上の超高純度の素材を用い、外層に用いられるPd、Au、Agの素材には純度99.95質量%以上の高純度の原料を用意した。

【0091】

単層銅ボンディングワイヤでは、所定の合金元素を添加して溶解してインゴットを作製した。溶解温度は1100～1300の温度範囲とし、昇温・降温の速度の調整、雰囲気では真空、不活性ガス置換などを繰り返すことにより、Cu中のガス成分の濃度、分布などを制御した。

【0092】

複層銅ボンディングワイヤの作製では、直径が約50～2000μmの線径の銅ワイヤを芯材として予め準備して、その銅ワイヤ表面に外層を被覆するために、電解メッキ法、無電解メッキ法、蒸着法等を行った。被覆前の芯材の表面の平滑性、酸化膜などを管理した。メッキ液の選定に加えて、メッキ槽内への不純物の混入、メッキ液の攪拌、メッキ中の液濃度・温度の安定化なども厳しく管理した。メッキ直後には、密着性を向上する拡散熱処理を施した。

【0093】

外層を被覆した後に、最終径の17μm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25～200μmまでダイス伸線した後に、中間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などを調整した。伸線速度は20～500m/minの間で適正化した。伸線の速度・張力・潤滑性・ダイス形状、中間熱処理の温度・線径・ガス雰囲気などを適宜組み合わせることにより、外層の膜厚の均一性、外層と芯材の密着性および均一性、水素などガス成分の濃度および分布などを制御した。

【0094】

本発明例のワイヤの熱処理は、ワイヤを連続的に掃引しながら加熱して行った。局所的に温度傾斜を導入する方式と、温度を炉内で変化させる方式とを利用した。温度分布、加熱時間、ワイヤ掃引の速度・張力なども管理することで、外層と芯材の間の拡散層の形成、密着性、ワイヤ表面の酸化膜などを制御した。熱処理の雰囲気では、酸化を抑制する目的でN₂、Ar等の不活性ガスも一部利用し、炉内の酸素濃度も管理した。ガス流量は、0.0002～0.004m³/minの範囲で調整し、炉内の温度制御にも利用した。熱処理炉の出口の段階的な温度調整、冷却ガスの吹き付け、冷却液の塗布などにより、冷却速度も管理した。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、または表皮層を形成した直後などのうち1回または2回以上行うなどの場合とを使い分けた。

【0095】

本発明の接合信頼性を向上する銅ボンディングワイヤの製造には、上述した膜形成条件、加工・熱処理条件など多くのプロセス因子を複合的に制御して製造しており、結果として材質、組成、厚さなどの材料因子などを制御することが有効である。単層銅ボンディングワイヤでも同様に、合金濃度、伸びなどを管理することが有効である。実施例では、材料因子として外層の構造、元素および組成、外層・拡散層の膜厚、芯材の成分、引張伸びなどを代表として用い、プロセス条件の一部として熱処理回数、最終線径の熱処理温度、伸線速度なども利用した。

【0096】

複層銅ワイヤの表面の膜厚測定にはAESによる、表面分析、深さ分析を行った。ワイヤ中の導電性金属濃度は、ICP(Inductively Coupled Plasma)分析等により測定した。

【0097】

10

20

30

40

50

銅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(A S M製E a g l e 6 0 - A P型)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部を作製し、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 $N_2 - 5\% H_2$ の混合ガスを吹き付けた。初期ボールのサイズは、約 $30\mu m$ の通常サイズと、約 $26\mu m$ の小ボールでそれぞれ評価した。接合温度は、通常の 175 と、低温の 150 とした。

【0098】

接合相手としてのシリコン基板上の電極はアルミ電極(A l - 1% S i - 0.5% C u膜、A l - 0.5% C u膜)を使用し、その厚さは 0.6 、 1 、 $2\mu m$ の3種類とした。一方、ウェッジ接合の相手は、リードフレーム上のA gメッキの電極を使用した。ここで、初期ボールのサイズとアルミ電極厚さの組合せで整理すると、初期ボールが約 $30\mu m$ の場合にはアルミ電極厚さが 0.6 、 1 、 $2\mu m$ 、初期ボールが約 $26\mu m$ の場合にはアルミ電極厚さが $1\mu m$ の組合せのボンディング試料を準備した。

10

【0099】

銅ボンディングワイヤとアルミ電極とのボール接合部を高温加熱(H T S評価)または高温高湿加熱(U H A S T評価)した後に、ボール接合部の断面研磨を行い、金属間化合物、濃化層、C u合金層などを調査した。

【0100】

高温加熱の条件は、樹脂封止しない試料を用いた場合は $150 \sim 200$ で $200 \sim 700$ 時間、樹脂封止した試料では $150 \sim 175$ で $200 \sim 800$ 時間とした。高温高湿加熱の条件は、樹脂封止した試料で $130 \sim 170$ 、 $85 \sim 100\% R H$ の条件で、 400 時間加熱した。ここで、表1の高温高湿加熱条件では、実施例10($150 - 85\% R H$)、11($170 - 100\% R H$)、23($170 - 85\% R H$)のみ特別な加熱条件を用いており、それ以外の実施例および比較例は $130 - 85\% R H$ のU H A S T評価条件で加熱した結果を示す。

20

【0101】

ボール接合部の分析には、A E S、E P M A、E D X、T E Mなどの装置を利用した。界面に形成された金属間化合物などの相の同定には、主にT E Mの電子線回折、A E Sによる定量分析などを行った。濃化層、C u合金層などの確認には、主にA E S、E P M A、E D Xの定量分析を行った。また界面の生成物の厚さの評価には、主にA E S、E P M A、E D Xによる線分析を利用したり、あるいはS E M、T E M、光学顕微鏡などで撮影した写真を用いて評価した。実際の半導体の製造、使用等では、ボール接合した後の工程、履歴等は多種であることから、工程、熱履歴の異なる幾つかの試料で分析を実施した。例えば、ボール接合の直後、樹脂封止及びキュア加熱後等の試料を用いた。その評価結果を表1に示す。なお、表1中の評価法では、高温加熱後の試料を用いた結果である場合は「A」、高温高湿加熱後の試料を用いた結果である場合は「B」で表記する。

30

【0102】

高温環境の接合信頼性評価では、ボンディング後に樹脂封止された試料を、加熱した後に、封止樹脂を除去してから、20本のボール接合部のシェア強度を評価した。封止樹脂の除去には市販のモールドオープナ装置(N S C製)を用いた。加熱温度と時間は、 150 で $1000h$ 、 $2000h$ 、 $3000h$ 、 $4000h$ 、 $4500h$ 、または 175 で $2000h$ 、あるいは 200 で $1000h$ とした。 150 、 175 、 200 の加熱は、それぞれ汎用L S I向け評価、車載L S I用途の現行の厳しい評価、次世代の車載L S I用途のより厳しい評価を想定した。それぞれの試料の加熱前の平均シェア強度に対して、加熱後のシェア強度の相対値(シェア強度比)で判定した。シェア強度比が 20% 未満のボール接合部が3本以上の場合には不良のため×印、シェア強度比が全て 50% 以上の場合には比較的良好であるため○印、シェア強度比が全て 80% 以上の場合には非常に良好な信頼性であるため△印、その3種類の判定のいずれにも該当しない場合には改善が必要となる場合があるが実用上は問題なしと考えられるため□印で、表3中の「高

40

50

温信頼性」の欄に表示した。

【0103】

高温高湿環境の接合信頼性評価についても、上述した高温環境での接合信頼性評価と基本的には同様であり、加熱条件が異なるだけである。ボンディング後に樹脂封止された試料にHAST試験とUHAST試験で加熱処理を施した後に、封止樹脂を除去してから、20本のボール接合部のシヤ強度を評価した。加熱条件は、HAST試験ではバイアスを負荷しながら130、85%RH、UHAST試験ではバイアスを負荷しないで130、85%RHとした。加熱時間は、HAST試験では96h、144h、192h、288h、336h、408h、UHAST試験では300h、500h、700hとした。それぞれの試料の加熱前の平均シヤ強度に対して、加熱後のシヤ強度の相対値（シヤ強度比）で判定した。シヤ強度比が20%未満のボール接合部が3本以上の場合には不良のため×印、シヤ強度比が全て50%以上の場合には比較的良好であるため○印、シヤ強度比が全て80%以上の場合には非常に良好な信頼性であるため◎印、その3種類の判定のいずれにも該当しない場合には改善が必要となる場合があるが実用上は問題なしと考えられるため△印で、表3中の「高温高湿信頼性」の欄に表示した。

10

【0104】

ボール接合部の形状の評価では、ボール接合されたボール部を200本観察して、形状の真円性、異常変形不良、寸法精度等々を評価した。真円からずれた異方性や花卉状等の不良ボール形状が6本以上であれば不良と判定し×印、異方性や花卉状等の不良ボール形状が1～5本ある場合は二つに分類して、顕著な偏芯などの異常変形が1本以上発生していれば量産での改善が望ましいから△印、異常変形が発生していなければ使用可能であることから○印、不良ボール形状が0本であれば良好であるため◎印で、表3中の「ボール接合形状」の欄に表示した。

20

【0105】

シヤ強度の評価には、30本のボール接合部のシヤ試験を行い、そのシヤ強度の平均値を測定し、ボール接合部の面積の平均値を用いて計算できる単位面積当たりのシヤ強度を用いた。単位面積当たりのシヤ強度が、70MPa未満であれば接合強度が不十分であるため×印、70以上90MPa未満の範囲であれば若干の接合条件の変更で改善できるため△印、90以上110MPa未満の範囲であれば実用上は問題ないと判断して○印、110MPa以上の範囲であれば良好であるため◎印で、表3中の「シヤ強度」の欄に表示した。

30

【0106】

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。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以下のクラックが2個以下の場合には問題ないレベルと判断して△印、5μm以下のクラックが2個以上、且つ10μm以上のクラックが1個以下の場合には懸念されるレベルと判断して△印、10μm以上のクラックが2個以上の場合には懸念されるレベルと判断して×印で、表3中の「チップダメージ」の欄に表示した。

40

【0107】

メタルリフトの評価では、ボール部をアルミ合金の電極膜上に接合した後に、ワイヤのプル試験を行い、ボール接合部の下の電極膜から剥離が生じる場合を評価した。不良加速試験として、荷重、超音波出力を高め調整してボール接合を行った。プル試験のフックの位置は、ボール接合部からの距離がスパンの約1/3の部位で行った。100個のボール接合部で試験を行い、メタルリフトの不良数を測定した。メタルリフト不良数が7本以上の場合には問題となるため×印、不良数が3～6本の場合には改善が必要であるため△印、不良数が1本又は2本の場合にはほぼ良好であるため○印、不良数がゼロの場合にはメタルリフトの心配がなく良好であると判断して◎印で、表3中の「メタルリフト」の欄に表示した。

【0108】

50

ウェッジ接合の評価では、合計1000本を評価した。評価基準として、ウェッジ接合部での不良により連続ボンディング動作が2回以上中断した場合にはウェッジ接合性が悪いため×印で示し、ボンディング中断が1回以下で顕微鏡観察により剥離等の不良現象が5本以上の場合にはウェッジ接合性が不十分であるため○印、連続ボンディングは可能でも剥離が1本認められた場合には、接合条件の変更で対応できるため△印、連続ボンディングで不良が認められない場合には、ウェッジ接合性は良好であると判断し□印で、表3中の「ウェッジ接合」の欄に表示した。

【0109】

ループ制御の評価を、ワイヤ長さが5mmのロングスパンの直線性で判断した。50本のループ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との接合部を結ぶ直線に対し、銅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3中の「ループ制御」の欄に表示した。

10

【0110】

低ループ性の評価では、ワイヤ長さが2mm、ループ高さが約60μmの超低ループを50本接続し、ネック部のダメージの程度で評価した。ダメージのレベルは、クラック開口部が大きいものを大ダメージ、ネック部のクラック開口部が小さいものを小ダメージ、ダメージなしの3種に分類した。大ダメージが2本以上であれば不良と判定して×印、大ダメージが1本以下で、小ダメージが5本以上の場合にはループ条件の改善が必要であると判断して○印、小ダメージが5本未満で大ダメージがない場合には実用上は問題ないレベルと判断して△印、ダメージが1本もない場合には良好であるため□印で、表3中の「低ループ」の欄に表示した。

20

【0111】

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3mm、試料数は50本とした。リーニング評価には厳しい高ループである、ループ最高高さが約400μmの試料を準備した。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3中の「リーニング性」の欄に表記した。

30

【0112】

表1において、第1請求項に係わる接合構造は実施例1～28、第2請求項に係わる接合構造は実施例3～12、14～24、26～28、第3請求項に係わる接合構造は実施例4～12、14～25、27、28、第4請求項に係わる接合構造は実施例2～24、26～28、第5請求項に係わる接合構造は実施例2～12、15～24、27、28、第6請求項に係わる接合構造は実施例3～11、15～24、26～28、第7請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例1～28、第8請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例1～24、第9請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例6、8、9、12、19、21、22、24、第10請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例1～23、第11請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例1～10、12～23、26～28、第12請求項に係わる銅ボンディングワイヤは実施例2～5、8、12、16、17、20、24に相当する。

40

また、比較例1～6は、第1請求項を満足しない銅ボンディングワイヤの場合に相当する。

【0113】

実施例1～28の接合構造は、本発明の第1請求項に係わる、130～200℃の範囲の温度で加熱した後のボール接合部に形成されるCuAl相の相対化合物比率R1が50

50

%以上であることにより、150 で3000h加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。一方、比較例1～6では、前記比率R1が50%未満であることにより、150 の高温加熱での接合信頼性が低いことが確認された。好ましくは前記R1が70%超である実施例4～12、14～24、27、28では、150 -3500hの厳しい高温加熱条件での接合信頼性が向上していた。

【0114】

実施例3～12、14～24、26～28の接合構造は、本発明の第2請求項に係わる、相対湿度85～100%で加熱した後のボール接合部に形成されるCuAl相の相対化合物比率R2が50%以上であることにより、高温高湿加熱試験であるHAST試験の192時間加熱、あるいはUHAST試験(130 -85%RH、バイアスなし)の300時間加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。好ましくは前記R2が70%超である実施例5～12、15～24、27、28では、HAST試験で336時間の加熱、あるいはUHAST試験で500時間の加熱における厳しい条件での接合信頼性が向上していた。

10

【0115】

実施例4～12、14～25、27、28の接合構造は、本発明の第3請求項に係わり、しかも130～200 の範囲の温度で加熱した後のボール接合部に形成されるCu₉Al₄相およびCuAl₂相の厚さの総計の割合R3が40%未満であることにより、150 で4000h加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。好ましくは前記R3が15%未満である実施例5～12、15～24、28では、150 で4500h加熱する厳しい条件での接合信頼性が向上していた。

20

【0116】

実施例4～12、15～24、27、28の接合構造は、本発明の第3請求項に係わり、さらに相対湿度85～100%の高温高湿で加熱した後のボール接合部に形成されるCu₉Al₄相およびCuAl₂相の厚さの総計の割合R4が40%未満であることにより、HAST試験で288時間加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。好ましくは前記R4が15%未満である実施例5～12、17～24、28では、HAST試験で408時間の加熱における厳しい条件での接合信頼性が向上していた。

【0117】

実施例2～24、26～28の接合構造は、本発明の第4請求項に係わる、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上の濃度が高い濃化層が形成されることにより、175 で2000h加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。好ましくは、濃化層に関して、前記導電性金属を総計した最高濃度が0.1mol%以上、厚さが0.1μm以上である実施例3～12、15～24、26～28では、175 で2000h加熱での接合信頼性がさらに向上していることが確認された。

30

【0118】

実施例2～12、15～24、27、28の接合構造は、本発明の第5請求項に係わる、ボール接合部に前記導電性金属のうち少なくとも1種以上とCuおよびAlにより構成される金属間化合物が形成されたことにより、HAST試験の408時間加熱したときの接合信頼性が良好であることが確認された。好ましくは、前記導電性金属を総計した最高濃度が0.5mol%以上、厚さが0.02μm以上である実施例4～12、16～24、28では、上記条件のHAST試験の信頼性が向上していることを確認した。より好ましくは、前記金属間化合物の厚さが0.05～2μmの範囲である実施例5～9、12、17～22、24、28では、アルミ電極の膜厚が0.6μmの薄い場合のボール接合部におけるHAST試験の信頼性が高いことが確認された。

40

【0119】

実施例3～11、15～24、26～28の接合構造は、本発明の第6請求項に係わる、ボール接合部に前記導電性金属の総計濃度の最高が0.5～30mol%の範囲で含有するCu合金層を形成することにより、200 で1000h加熱したHTS試験での接合信頼性が良好であることが確認された。これはエンジン周辺に用いられる車載用LSI

50

の相当厳しい信頼性基準に相当する。好ましくは、前記Cu合金層の厚さが0.1μm以上である実施例3~11、15~24、26~28では、上記条件のHTS試験の信頼性が向上していることを確認した。より好ましくは、前記Cu合金層の厚さが1μm以上である実施例6~11、15~24、28では、アルミ電極の膜厚2μmの厚い場合のHTS試験で接合信頼性が向上していた。

【0120】

実施例1~24の銅ボンディングワイヤは、本発明の第8請求項に係わる、CuAl相の厚さの比率R1が50%以上であり、且つ、銅を主成分とする芯材と、前記芯材の上にPd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を主成分とする外層とを有する複層銅ボンディングワイヤであることにより、ボール接合形状の異形を抑制して真円化することを確認した。好ましくは、外層がPdを含有する実施例1、2、5~12、14、16~24では、ボール接合形状を真円化する効果をより高められることを確認した。

10

【0121】

実施例6、8、9、12、17、19、21、22、24の銅ボンディングワイヤは、本発明の第9請求項に係わる、外層がPd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種で構成される単一外層と、前記導電性金属のうちいずれか2種以上を主成分とする合金外層とにより形成される複層銅ボンディングワイヤであることにより、リーニング性が向上することを確認した。好ましくは、単一外層がPdで、合金外層がPdとAuの合金またはPdとAgの合金である実施例6、8、9、12、19、21、24では、リーニングを抑制するより高い効果が確認された。

20

【0122】

実施例1~23の銅ボンディングワイヤは、本発明の第10請求項に係わる、外層の厚さが0.01~0.4μmの範囲である複層銅ボンディングワイヤであることにより、ウェッジ接合性が良好であることを確認した。好ましくは、0.02~0.3μmの範囲である実施例2~9、12~23では、ウェッジ接合性がより向上していることを確認した。

【0123】

実施例1~10、12~23、26~28の銅ボンディングワイヤは、本発明の第11請求項に係わる、Pd、Au、Agの導電性金属のうちいずれか1種以上を0.1~3mol%の範囲で含有することにより、ボール接合部のシェア強度が向上していることが確認された。このうち、実施例26~28は、単層銅ボンディングワイヤである。好ましくは、上記濃度が0.3~2mol%の範囲である実施例2~9、12~22、26~28では、メタルリフト不良を抑制できることが確認された。

30

【0124】

実施例2~5、8、12、15~17、20、24の銅ボンディングワイヤは、本発明の第12請求項に係わる、P、Si、B、Geのうちいずれか1種以上を0.0001~0.03mol%の範囲で含有することにより、低ループ性が良好であることを確認した。好ましくは、上記濃度が0.0005~0.02mol%の範囲である実施例3~5、8、12、16、17、20では、ウェッジ接合性がより向上していることを確認した。

【0125】

40

【 表 1 】

	金属間化合物の相対比率				濃化層			3元系金属間化合物			Cu合金層			
	高温加熱 (A)		高温高湿加熱 (B)		主成分	最高濃度	厚さ	評価法	最高濃度	厚さ	評価法	最高濃度	厚さ	評価法
	CuAl	Cu9Al4, CuAl2	CuAl	Cu9Al4, CuAl2										
1	50	43	45	50	Pd	0	0	A	0	0	A	0	0	A
2	62	47	46	43	Pd	0.08	0.1	A	0.4	0.01	A	0.3	0.03	A
3	56	42	50	41	Au	0.5	0.15	A	0.5	0.01	A	0.5	0.08	A
4	70	28	60	39	Ag	1	0.4	B	1	0.04	B	1	0.3	B
5	80	14	75	14	Pd	3	0.5	B	1.5	0.05	B	3	0.4	B
6	90	10	90	10	Pd,Ag	2	1.2	A	2	0.1	A	1	1	A
7	100	5	100	0	Pd	3	4	A	2.5	0.2	A	2	3	A
8	100	0	100	0	Pd	6	6	A	3	0.6	A	6	5	A
9	100	0	100	0	Pd,Au	8	10	A	2	1.8	A	8	8	A
10	100	0	100	0	Pd	15	12	B	2	2.5	A	15	4	A
11	100	0	100	0	Pd	20	16	B	8	4	A	20	6	A
12	100	0	100	0	Pd,Au	32	6	A	16	1	A	32	3	A
13	55	42	48	46	Au	0.05	0.05	B	0	0	B	0	0	B
14	70	30	55	41	Pd	0.2	0.07	A	0	0	A	0.2	0.1	A
15	90	10	75	25	Ag	0.2	1.1	A	0.2	0.02	A	1	1	A
16	100	5	85	15	Pd	5	2	B	0.5	0.02	B	5	1.5	B
17	90	0	95	5	Pd,Ag	4	6	B	1	0.05	B	4	5	B
18	100	0	100	0	Pd	8	3.5	A	2	0.2	A	8	3	A
19	100	0	100	0	Pd,Au	25	4.5	A	1	0.4	A	25	4	A
20	100	0	100	0	Pd	5	9	A	2.5	1	A	5	8	A
21	100	0	100	0	Pd	18	6	A	3	2	A	18	3	A
22	100	0	100	0	Pd,Au,Ag	5	6	A	5	1.5	A	3	5	A
23	100	0	100	0	Pd	6	15	B	6	2.9	A	5	12	A
24	100	0	100	0	Pd,Ag	15	5	A	15	0.7	A	7	4	A
25	60	39	48	45	Pt	0.5	0.5	A	0	0	A	0.4	0.5	A
26	50	45	50	42	Ag	1	0.6	A	0	0	A	1	0.3	A
27	70	25	80	15	Pd	2	0.3	B	0.5	0.03	B	1	0.2	B
28	95	5	90	5	Pd	5	2.7	A	2	0.5	A	5	2	A
1	0	100	0	100	-	0	0	A	0	0	A	0	0	A
2	45	55	40	50	Pd,Ag	1.0	1.5	A	0.7	0.2	A	1	1	A
3	0	70	0	100	Pd	0	0	B	0	0	B	0	0	B
4	12	80	20	80	Pd	2	2	A	0	0	A	2	2	A
5	40	40	55	40	Ag	3	1.2	B	0.5	0.02	B	3	1	B
6	25	70	10	80	Pd	0	0	A	0.1	0.02	A	0.3	0.03	A

【 0 1 2 6 】

実

施

例

比

較

例

【表 2】

	外層				拡散層の厚さ / μm	芯材		ワイヤ中の元素濃度 mol%						
	主成分	表面側 (合金外層)	内側(単 一外層)	膜厚 / μm		添加元 素	残	Pd,A g,Au	P	Si	B	Ge	Cu	
実 施 例	1	Pd	-	-	0.01	0.0006	-	Cu	0.2					残
	2	Pd	-	-	0.02	0.002	-	Cu	0.3	0.0001				残
	3	Au	-	-	0.03	0.005	-	Cu	0.4		0.006			残
	4	Ag	-	-	0.04	0.012	-	Cu	0.6			0.001		残
	5	Pd	-	-	0.05	0.007	-	Cu	0.7	0.002				残
	6	Pd,Ag	PdAg合金	Pd	0.06	0.003	-	Cu	0.8					残
	7	Pd	-	-	0.08	0.01	-	Cu	1					残
	8	Pd,Au	PdAu合金	Pd	0.12	0.02	-	Cu	1.3			0.005		残
	9	Pd,Au	PdAu合金	Pd	0.2	0.04	-	Cu	1.7					残
	10	Pd	-	-	0.35	0.08	-	Cu	3					残
	11	Pd	-	-	0.4	0.22	-	Cu	3.1					残
	12	Pd,Au	PdAu合金	Pd	0.27	0.15	-	Cu	2	0.003				残
	13	Au	-	-	0.02	0.001	-	Cu	0.3		0.00007			残
	14	Pd	-	-	0.04	0.006	-	Cu	0.6					残
	15	Ag	-	-	0.06	0.008	-	Cu	0.9				0.035	残
	16	Pd	-	-	0.09	0.016	-	Cu	1.1	0.007				残
17	Pd,Ag	Ag	Pd	0.12	0.003	-	Cu	1.3			0.0005		残	
18	Pd	-	-	0.07	0.009	-	Cu	0.9					残	
19	Pd,Ag	PdAg合金	Pd	0.1	0.006	-	Cu	1					残	
20	Pd	-	-	0.18	0.03	-	Cu	1.5			0.002		残	
21	Pd,Ag	PdAg合金	Pd	0.14	0.01	-	Cu	1.3					残	
22	Pd,Au,Ag	AuAg合金	Pd	0.2	0.06	-	Cu	1.9					残	
23	Pd	-	-	0.3	0.16	-	Cu	2.2					残	
24	Pd,Ag	PdAg合金	Pd	0.43	0.22	-	Cu	3.2		0.025			残	
25	Pt	-	-	0.12	0.08	-	Cu	1.1					残	
26	単層銅ワイヤ (+Ag添加)						Ag	Cu	0.5			0.020	残	
27	単層銅ワイヤ (+Pd添加)						Pd	Cu	0.2	0.010			残	
28	単層銅ワイヤ (+Pd添加)						Pd	Cu	1.3		0.004		残	
比 較 例	1	単層銅ワイヤ (高純度Cu)							Cu	0				残
	2	Pd,Ag	PdAg合金	Pd	0.03	0.001	-	Cu	0.3					残
	3	Pd	-	-	0.008	0.008	-	Cu	0.1			0.012	残	
	4	Pd	-	-	0.02	0.002	-	Cu	0.2				残	
	5	Ag	-	-	0.06	0.005	-	Cu	0.4				残	
	6	単層銅ワイヤ (+Pd添加)						Pd	Cu	0.1				残

10

20

30

【 0 1 2 7 】

【表 3】

	高温信頼性												ボール 接合形 状	シエア 強度	チップ ダメージ	メタ ルリフト	ループ 制御	低 ループ	リーニ ング	ウェッジ 接合			
	高温信頼性						高温高温信頼性																
	150°C			175°C			200°C			HAST試験											UHAST試験		
	3000h	3500h	4000h	4500h	2000h	2000h	Al:1μm 厚	1000h	192h	288h	336h	408h									0.6μm 厚	300h	500h
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	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎				
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

実

施

例

比

較

例

10

20

30

40

フロントページの続き

(74)代理人 100125081

弁理士 小合 宗一

(74)代理人 100161665

弁理士 高橋 知之

(72)発明者 宇野 智裕

東京都千代田区丸の内二丁目6番1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

(72)発明者 池田 敦夫

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

Fターム(参考) 5F044 AA14 CC02 EE13 FF02 FF06