Pd 被覆 Cu ワイヤを用いたワイヤボンディング

小野寺 正徳*, 新聞 康弘*, 目黒 弘一*, 田中 淳二*, 河西 純一*

Wire Bonding Using Pd Plated Cu Wire

Masanori ONODERA*, Yasuhiro SHINMA*, Kouichi MEGURO*, Junji TANAKA* and Junichi KASAI*

*Spansion Japan 株式会社ファイナル・マニュファクチャリング・オペレーション R&D 統括部 (〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14)

*Spansion Japan Limited, Final Manufacturing Operations R&D (1-14 Nisshin-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210-0024)

Abstract

The distribution of elements at the bonding interface in Pd-plated Cu bonding wire and changes in the surface condition of the wire during long-term storage were investigated, and package reliability was evaluated, using an actual device. In the ball at the tip of the wire and in the first bonding portion after wire bonding, segregation of Pd was observed in the near surface region at the rate of 20~30 at% in the state of the PdCu alloy. Pd density was highest at the surface, and the PdCu alloy layer was thicker than the initial thickness of the Pd. In the bonding process, when both the first and second sides contacted the groundwork, the Pd plating moved to the surrounding area. The Cu core was thus connected directly to the groundwork, and the contribution of Pd to the bonding was found to be small. Keeping the wire in an air atmosphere for six months had little influence on its surface state. It is thought that the bonding wire used in this study could potentially solve the oxidation problems associated with conventional Cu wire. The reliability of a TSOP (thin small outline package) that was assembled using an actual semiconductor device and Pd-coated Cu wire was evaluated, and its ability to meet all required standards was confirmed.

Key Words: Copper, Palladium, Wire Bonding, Surface, Interface

1. はじめに

Cu ワイヤは, Au ワイヤに比べて 1) 材料コストが安価, 2) 電気伝導性が優れている, 3) Cu/Al の接合信頼性が優れている, などの利点があり, Au ワイヤや Al ワイヤに代わる代替材料として注目され, これまで実用化を見据えたさまざまな研究開発が行われてきた^{1)~4)}。

しかし, Cu は Au よりも硬いためワイヤボンディング時の衝撃荷重により Si チップを損傷しやすい問題を抱え, さらに大気雰囲気において非常に酸化しやすいことから, セカンド側における接合不良や強度不足が起りやすく, 開封後の時間管理と保管環境の管理について Au ワイヤ以上に注意を払う必要があった。これらのデメリットが製造における適用範囲を狭める一因となり, Au ワイヤや Al ワイヤを凌駕するまでに至らないまま現在に至っている。

これに対して材料メーカーでは, チップダメージや Cu の酸化を抑えるために Cu ワイヤの材質の改良や表面処理などを試みながら, 材料の観点から開発を重ねてきた⁵⁾。これらの中で, 酸化を防止するための手段の 1 つとして Cu ワイヤを異種金属で被覆して Cu の酸化を抑える手法が提案さ

れており, Pd や Ni などの金属で被覆した Cu ワイヤについて, 接合性を評価した結果や, テストチップを用いた信頼性を評価した結果が報告されている⁶⁾。

本報では, Cu 母材を Pd めっきで被覆した Pd 被覆 Cu ワイヤについて, 接合界面の元素分布と長期保管した際のワイヤ表面状態の変化について調べた結果, ならびに, 実際のデバイスを用いてパッケージ信頼性を評価した結果について報告する。

2. 実験方法

ボンディングワイヤは, Fig. 1 に示すように 25 μm 径の Cu ワイヤを母材として 0.1 μm 厚の Pd 電解めっきを施したものを使用した。チップはサイズ 4.3×2.55×0.3 mm からなる 16 Mbit 容量の NOR 型フラッシュメモリ, リードフレームは, セカンド側に Ag のスポットめっきを施した 0.15 mm 厚の TSOP 用 Cu 合金リードフレームを使用した。ワイヤボンダは, 窒素ガスの供給源ユニットを備えた Max μm Plus (K&S 社製) を使用した。リードフレーム上にチップを搭載した後, ワイヤの先端をアーク放電により溶融してボールを形成し, 超音波併用熱圧着法により下地温度 200°C で

ワイヤボンディングを行った。チップあたりのワイヤ本数は46本とした。ワイヤボンディング後の試料の外観をFig. 2に示す。ワイヤボンディング後、樹脂埋め込みと研磨を施し、切削法により接合部の中央箇所を断面を形成した。その後、試料にOs（オスミウム）蒸着を行い、供試材とした。

実験では、ファースト側（チップ上のAlパッド側）、セカンド側（リードフレーム上のAgめっき側）の接合部界面におけるPdの元素分布を調べるため、接合部の断面に対して電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)による面分析を行い、走査型電子顕微鏡(SEM)による観察を行った。さらに、長期保管によるワイヤへの影響について調べるため、スプールに巻かれた状態のボンディングワイヤを

Fig. 1 Cross sectional illustration of Pd plated Cu wire.

Fig. 2 OM image of sample after wire bonding.

Fig. 3 EPMA mapping result of the cross section of ball at the tip of wire.

クリーンルーム（クラス1000レベル）内の大気雰囲気中に6ヵ月間暴露し（以下、保管品）、暴露していない新品状態のボンディングワイヤ（以下、新品）とともに表面をオージェ電子分光法(AES), X線光電子分光法(XPS)により分析して状態を比較した。AES深さ方向分析では加速電圧1kVのArイオンを使用し、検出元素のピークが出現する範囲のスペクトルの測定とArスパッタエッチングとを交互に繰り返して行い、横軸をエッチング時間、縦軸を相対原子濃度とした深さプロファイルを得た。

パッケージの信頼性評価は、48ピン、端子ピッチ0.5mmのTSOPを試作して行った。ベーキング125°C, 24hrs+ 吸湿85°C/85%RH, 24hrs+IR リフロー 260°C Max.の前処理を行った後に単体温度サイクル試験、高温放置試験、プレッシャックッカ試験の3項目を実施し、試験後にデバイスの電気的な動作確認を行って良否を判定した。

3. 実験結果

3.1 ボール形成直後におけるPdの状態

接合前に行ったワイヤ先端のボール形成では、真球度の高いボールが安定して得られた。形成したボールの断面に対してEPMA面分析を行った結果をFig. 3に示す。Pdはボール内部では検出されず、ボール表面を覆うように表面近傍に分布していることがわかった。Pdの分布状態としては、Pdが濃化している箇所としていない箇所が存在し、均一な膜厚では分布していなかった。そこで、このPdの状態を詳しく調べるためにAES分析を行った。

まず、ワイヤの非先端部分のAES深さ方向分析結果をFig. 4に示す。Pd濃度はエッチング初期では100%近いレベルにあるが、10minを過ぎたあたりから急激に減少を始め、20~25minの間でCu濃度を下回った。Pdの厚さを0.1μmと仮定すると、Pdのエッチングレートは約4.5nm/minと見積もられる。

次に、先端ボール部の側面中心部（Fig. 3の矢印部分）におけるAES深さ方向分析結果をFig. 5に示す。これを見ると、非先端部分のPdプロファイルとは異なる傾向を示

しており、少なくとも表面近傍ではPd:Cuはおおよそ1:4（原子数比）の割合でほぼ一定であった。この結果はボールを形成する過程で表層にあったPdがCuバルク中に拡散し、PdCu合金を形成したことを示唆している。PdCu合金

のエッチレートがPdと同等と仮定すると45 minで約0.2 μm エッチングされたこととなり、この時点でCuの素材が現れなかったことから、先端ボール部の表面近傍ではPdCu合

Fig. 4 AES depth profile on the initial surface of wire.

Fig. 5 AES depth profile on the ball surface at the tip of wire.

(a)

(b)

Fig. 6 EPMA mapping results of the cross section of bonding portion. (a) first bonding side, (b) second bonding side.

Fig. 7 Cross sectional SEM image of second bonding portion.

金が $0.2\mu\text{m}$ 以上の厚さで存在していると考えられる。

3.2 ワイヤボンディング後におけるPdの状態

実験では実際の半導体デバイスに対してワイヤボンディングを行ったが、ワイヤボンディング時の衝撃荷重によるSiチップの損傷は発生しなかった。ワイヤボンディング後のファースト側、セカンド側における接合部断面についてEPMA面分析を行った結果をそれぞれ前ページFig. 6(a), (b)に示す。ともに接合界面ではPdが検出されず、接合部の周囲で濃化して分布している様子が認められた。この結果は、Pdめっきが下地と接触した際にキャピラリツールによる押圧により周囲に押しのけられ、その際に表出したCu新生面が下地と接合したことを示している。この現象は、AuワイヤがAl酸化膜を破壊して表出した新生面と接合するメカニズムを踏まえて考えると⁷⁾、Pdが厚すぎるとCu新生面が生成しにくくなるため、新生面を広い面積で得るための最適なPd厚条件が存在することを示唆している。一方、周囲に押しのけられたPdは、厚さが不均一ながらもボール表面をほぼ覆った状態で分布していることから、ファースト接合部の表面におけるCu酸化膜の生成はこの保護膜によってある程度抑えられる可能性がある。

次に、セカンド側の接合状態を詳細に調べるために接合部断面のSEM観察を行った。そのSEM像をFig. 7に示す。接合部に空隙、割れなどはなく、良好な接合状態が得られている。EPMA分析でPdが検出された場所ではSEMでもPdの存在が確認できるが、このPdとAgの界面には線状の空隙が見られる。これは、PdとAgが物理的に接触しているだけで接合されていないか、もしくは接合されているこ

Fig. 8 AES depth profile on the top surface of ball at the first bonding side.

局所的な接合に限られていることを示している。このことから、Pdのワイヤボンディングへの寄与は小さく、母材のCuと下地金属との接合部形成がワイヤボンディングの成否を担っていると考えられる。

ファースト接合部の、ボール上面におけるAES深さ方向分析結果をFig. 8に示す。Pd量は34at%から緩やかに減少し、45minエッチング後は28at%程度となっていた。このように、Pdは接合前の先端ボール部と比較して若干の濃度勾配の差異が認められたものの、Cuパルク中に拡散して形成された合金の状態が接合後もある程度維持されているこ

とがわかった。

3.3 長期保管によるワイヤ表面状態の変化

次に、長期保管によるワイヤへの影響について調べた結果について述べる。保管品と新品の、ワイヤ表面におけるAES深さ方向プロファイルをそれぞれFig. 9(a)およびFig. 9(b)に示す。最表面で検出されたN, O, S, Cuは、0.2~0.4 minのエッチング (SiO_2 換算で1.2~2.4 nm除去) で検出限界以下となった。Clは存在しないか、最表面に微量存在する程度と考えられる。この結果が示すように、深さ方向分析では保管品と新品の間にほとんど違いは認められなかった。

次に、ワイヤ表面のXPSワイドスキャンスペクトルおよびナロウスキャンスペクトルをそれぞれFig. 10, Fig. 11に示す。保管品、新品ともにC, N, Cu, Pdが検出され、Nの量は保管品の方が、C, Cuの量は新品の方がやや多かった。なお、XPSではOのピークがPdのサブピークと重なってしまうため、Oを定量することができなかった。C, N, Cu, Pd各元素のスペクトルを見てみると、Cは金属表面に通常見られる吸着炭化水素や炭酸ガスなどの状態で存在していると考えられる。Nは金属と結合しており、化学吸着していると考えられる。Cuは Cu_2O もしくは金属の状態がほとんどで、 CuO の状態も少し存在している。Pdは金属の状態が主で、酸化物の状態も存在する。酸化物の割合はわずかに保管品の方が多いようである。

以上のように、保管品と新品の間に軽微な違いが見られたものの、表面の酸化膜やその他の吸着元素はごくわずかであり、保管による影響はほとんどないことが確認された。

4. TSOPの試作および信頼性評価

最後に、実際のデバイスを用いてパッケージの信頼性評価を行った結果について述べる。今回試作したパッケージ

Fig. 9 AES depth profile on the surface of wire. (a) after 6 months-storage, (b) initial.

Fig. 10 XPS wide scan spectra on the surface of wire. (a) after 6 months-storage, (b) initial.

Fig. 11 XPS narrow scan spectra on the surface of wire. (a) C1s, (b) N1s, (c) Cu2p3/2, (d) Pd3d.

の外観写真をFig. 12に示す。パッケージサイズは12×18.4 mm (リード部を除く), 取り付け高さは1.2mm max.である。評価結果をTable 1に示す。いずれの評価項目においても不良は発生せず, 基準を満たす結果が得られた。一般に, CuワイヤとAlの接合の場合は, 相互の拡散速度の

違いから金属間化合物 (以下, IMC) はCu側で生成されるが, その成長速度はAuとAlの接合に比べて極めて遅い^{1),8),9)}。そのうえ, 脆くない強固なIMCが形成されるため, 接合信頼性が高いことがいくつかの研究者から報告されている^{1),10)}。今回の評価では特にPdの接合部に及ぼす影響に

Fig. 12 Photo of a prototype TSOP (48-pin).

Table 1. Reliability test results for TSOP

Test Item	Condition	Test Time	Results
High Temp Storage	150°C	500 hrs	0/36 units fail
Temperature Cycle	-55°C~125°C	1,000 cycles	0/36 units fail
Pressure Cooker	121°C, 85%	168 hrs	0/36 units fail

ついて着目していたが、出炉後にワイヤ接合部の断面をSEM観察した限りではIMCの成長は確認されず、パッケージの信頼性へ及ぼす影響は特に認められなかった。

5. まとめ

本研究では、Pd被覆Cuワイヤについて、接合界面の元素分布と長期保管した際のワイヤ表面状態の変化について調べ、実際のデバイスを用いてパッケージ信頼性を評価した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) Pd被覆Cuワイヤの先端ボール部およびワイヤボンディング後のファースト接合部では、Pdは20~30at%の割合でPdCu合金化した状態で表面に偏析していた。Pd濃度は表面が最も高く、PdCu合金層はPdの元厚よりも厚くなっていた。
- (2) Pd被覆Cuワイヤのボンディングでは、ファースト側、セカンド側ともにPdめっきが下地との接触時に周囲に押しのけられ、母材のCuが下地と直接接合しており、Pdの接合への寄与は小さかった。したがって、本ワイヤはCuを下地といかに状態良く接合させるかが良否を決めるうえで重要となる。
- (3) 6ヵ月の大気雰囲気中暴露によるワイヤ表面状態への影響はほとんどみられなかった。このことから、本研究で使用したボンディングワイヤは従来のCuワイヤが抱えていた酸化の問題をクリアできており、今後適用範囲を広げられるポテンシャルをもっていると考えられる。
- (4) Pd被覆Cuワイヤを用いて実際の半導体デバイスを搭

載したTSOPパッケージの信頼性評価を行い、基準を満足するレベルにあることを確認した。

(2008.2.28-受理)

文 献

- 1) J. Onuki, M. Koizumi and I. Araki: "Investigation of the Reliability of Copper Ball Bonds to Aluminum Electrodes", IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufact. Technol., Vol. **CHMT-12**, pp. 550-555, Dec. 1987
- 2) K. Toyozawa, K. Fujita, S. Minamide and T. Maeda: "Development of Copper Wire Bonding Application Technology", IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufact. Technol., Vol. **13**, No. 4, pp. 667-672, Dec. 1990
- 3) M. Deley and L. Levine: "The Emergence of High Volume Copper Ball Bonding", 2004 IEEE/SEMI Int'l Electro. Manufact. Technol. Sympo., pp. 186-190, Jul. 2004
- 4) S. Murali and N. Srikanth: "Acid Decapsulation of Epoxy Molded IC Packages with Copper Wire Bonds", IEEE Trans. Electro. Packag., Manufact., Vol. **29**, No. 3, pp. 179-183, July 2006
- 5) Saraswati, Ei Phyu Phyu Theint, D. Stephan, H. M. Goh, E. Pasamanero, D. R. M. Calpito, F. W. Wulff and C. D. Breach: "High Temperature Storage (HTS) Performance of Copper Ball Bonding Wires", 2005 Electro. Packag. Technol. Conf., pp. 602-607, Dec. 2005
- 6) S. Kaimori, T. Nonaka and A. Mizoguchi: "The Development of Cu Bonding Wire with Oxidation-Resistant Metal Coating", IEEE Trans. Advanced Packaging, Vol. **29**, pp. 227-231, May 2006
- 7) 石坂彰利, 岩田誠一, 山本博司: "AuとAlの熱圧着における接合界面の変形と新生面の生成", 日本金属学会誌, Vol. **41**, No. 11, pp. 1154-1160, 1977
- 8) W. J. Tomlinson, R. V. Winkle and L. A. Blackmore: "Effect of Heat Treatment on the Shear Strength and Fracture Modes of Copper Wire Thermosonic Ball Bonds to Al-1%Si Device Metallization", IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufact. Technol., Vol. **13**, No. 3, pp. 587-591, Sep. 1990
- 9) Hyoung-Joon Kim, Joo Yeon Lee, Kyung-Wook Paik, Kwang-Won Koh, Won, J., Sihyun Choe, Jin Lee, Jung-Tak Moon and Yong-Jin Park: "Effects of Cu/Al Intermetallic Compound (IMC) on Copper Wire and Aluminum Pad Bondability", IEEE Trans. Comp., Packag., Manufact. Technol., Vol. **26**, No. 2, pp. 367-374, Jun. 2003
- 10) S. L. Khoury, D. J. Burkhard, D. P. Galloway and T. A. Scharr: "A Comparison of Copper and Gold Wire Bonding on Integrated Circuit Devices", Proc. 40th Electron. Comp. Technol. Conf., pp. 768-776, May 1990