TCP リードの金錫接合部の強度特性

—LSI リードフレーム材料の接続に関する研究 (第4報)—

御田 護**, 熊倉 豊彦***

Characteristics of Au-Sn Microsoldered Layer of the TCP Outer Lead Connection.

—A Study on Microjoining of Leadframe for LSI Package (No. 4)—

by Mamoru MITA**, Toyohiko KUMAKURA***

This report considers the low melting point Au-Sn microsoldering (bonding heat tool temp. 523 K and time is 5 sec.) which is applied to the 400 pin count and 0.2 mm lead pitch TCP (Tape Carrier Package) assembling. This method is performed by heat and press tool gang bonding of tin electroplated ($6.5\text{ }\mu\text{m}$ thick) copper pattern on substrate and gold electroplated ($1.0\text{ }\mu\text{m}$ thick) TCP outer lead with non flux in air. Au-Sn microsoldered layer has the high peel strength and has the high reliability in 423 K storage in air that is higher than Sn-37 mass%Pb microsoldering. And the organic glass-epoxy (FR-4) substrate is not damaged after the Au-Sn microsoldering.

Key Words: Microsoldering, Au-Sn microsoldering, Tape carrier, LSI package.

1. 緒 言

現在, LSI パッケージの小型多ピン化が急速に進んでいるが, このパッケージを基板に接続する場合の, 狭ピッチ多ピン一括接続手法の開発が切望されている。これは半導体の高機能化により出力端子数が増加するとともに, さらにパッケージの小型化が進むために, 接続ピッチをより狭くせざるを得ないことによって¹⁾²⁾³⁾。しかし従来のプラスチックモールドパッケージでは, そのパッケージ構造を支えるために, 0.15-0.2 mm の板厚の金属導体を用いられていた。これら従来のパッケージでは, 導体厚が厚いために, 0.3 mm ピッチ程度の接続が限界である。

そこで最近では, 0.025-0.035 mm の厚さの銅箔を用いて, これをホトケミカルエッチングによって微細加工して端子を形成し, LSI 電極と接続して, 基板に実装する手法が行われている。

このパッケージ構造では, 微細接続が可能である反面, 銅箔の厚さが薄いために接合部の信頼性のより高いことが重要となって来ている。

本研究では, 前報, 複合リードフレームの金錫接合部の強度特性, LSI リードフレーム材料の接続に関する研究(第3報)で述べた低温金錫共晶接続法を, 0.2 mm ピッチのアウトリードを持つ TCP (Tape Carrier Package) の配線基板への接続に応用し, 実験検討した結果を報告する。

2. 実験 方 法

2.1 接合試験試料

Fig. 1 に接合実験のために作成した TCP と, その基板搭載の状態を示す。TCP (Tape carrier Package) は 0.018 mm の厚さの銅箔と, 0.075 mm 厚さのポリイミドベースフィルムで構成されており, その中央部分に半導体が接続されている。半導体の電極と TCP のインナーリードの接続には, いわゆる TAB (Tape Automated Bonding, 以

Fig. 1 Structure of TCP mounted on substrate

下 TAB と略す)技術を用いた。この方法は半導体の電極側に厚さ $20\text{ }\mu\text{m}$ の金の Bump (接続用の突起) を形成して, これを TAB テープの金めっき銅箔リード (通常 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 相当の厚さの金めっきを施す) と, 200~500 ピン相当を一括接続する方法である。800 K 程度の加熱ツールを用いるために, 金の層の相互熱拡散によって接続が行われる。今回作成した試料は 400 ピンのインナーリードを持っており, これを 0.06 mm の微細ピッチで半導体の金 Bump と接続した。

またアウトリード側も同じく 400 ピンのリードを持っており, これを配線基板の 0.025 mm 厚さの銅箔パターンに対して, 0.2 mm のピッチで低温金錫接合によって接続した。

Fig. 2 に実験に用いた接続部の略図を示す。TAB テープのアウトリードには, 厚さ $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 標準の電気金めっきを施し (半導体接続のインナーリードと同じ厚さ) また, 配線基板側の銅箔パターンには $6.5\text{ }\mu\text{m}$ の厚さの電気金めっきを施した。配線基板には 0.3 mm 厚さの, 通常のガラスエポキシ基板 (FR-4) を用いた。

また, 配線基板の銅パターンには, Sn-37 mass%Pb のは

*原稿受付 平成 8 年 8 月 13 日 平成 6 年度秋季全国大会で発表

**正 員 日立電線(株) Member, Hitachi Cable Co. Ltd

*** 日立電線(株) Hitachi Cable Co. Ltd

Fig. 2 Cross-section of the Au/Sn microsoldering

Table 1 Microsoldering condition

Item	Condition
Upper heat tool temperature	523K
Bonding time	5Sec (Gang bonding for 400 pin count)
Bonding pressure	100Mpa
Bonding condition	Non flux in air

Fig. 3 Au/Sn microsoldering by gang bonding tool

んだめつきを施した試料も同時作成して、金錫接合法との比較を行った。

2.2 接合条件

Table 1 に接合条件を示す。接合条件は前報と同じであり、接合温度はツール温度管理で523 K である。Fig. 3 に示すように、400ピンのアウターリードを5秒間で一括接続した。また、接続にはフラックスを用いずに、大気中で接続した。

2.3 接合強度の評価方法

接合強度の評価方法を Fig. 4 に示す。評価には引っ張り試験法と、引き剥がし試験法の両方を行った。引っ張り試験法は、接続リードを切断せずに、そのままフックにより持ち上げる方法である。半導体のワイヤボンディングのボンディング性評価に通常用いられている。一方、引き剥がし

Fig. 4 Methods of the peel strength measurement

し試験法は、あらかじめリードを切断してから、その切断した端部をチャックで掴み上部に引き上げる方法である。この2つの方法の適否を判定するために、実験的に両方行って比較をした。

また、接合部の強度特性を調べるために、島津製作所製4900N 型引っ張り試験装置を用いて、引き剥がし強度のプロファイルを求めた。

2.4 接合部の観察方法

接合部分の観察には、日立製 S-650 走査型電子顕微鏡を用いて、接合部の組織観察と組成分析を同時に行った。接合部は#2000のエメリー研磨紙で研磨してから、仕上げをダイヤモンド粒子で研磨して観察に供した。

2.5 大気中423 K 保持試験

接合部の大気中加熱における信頼性を評価するために、ヤマト科学(株)製のクリーンオープン DT42 を使用して、1000時間までの放置試験を行い、接合強度の低下を調べた。

3. 実験結果及考察

3.1 接合強度

Fig. 5 に引き剥がし試験法 (Peel strength) による接合強度の測定結果を示す。また、Fig. 6 にはリード幅が0.1 mm の時の引っ張り試験法 (Pull strength) による強度の測定結果を示した。Fig. 5 は0.11 mm 幅の配線基板側の銅箔パターンに対して、TCP のアウターリードの幅を変化させた時の引き剥がし接合強度を示している。当然のことながら、アウターリード幅に比例して接合強度が増加している。接合強度は前報と同様錫めつき厚さが6.5 μmt、金めつき厚さが1.0 μmt の時に高い強度が得られている。図には示していないが、錫めつき厚さが10 μm では、熔融錫が過剰流出してパターン間の短絡が一部発生したために、6.5 μm を標準めつき厚さとした。また、この条件での接合強度は、全報同様6.5 μm の時より低下した。

Fig. 5 の接合強度は各測定点が40点の平均値と変動幅を示しているが、400ピンを一括接合しても、安定した接合強度を示している。

Fig. 8 TCP lead cross-section connected by Au/Sn microsoldering (SEM×200)

Fig. 5 Peel strength of Au/Sn microsoldered lead

Fig. 6 Pull strength of Au/Sn microsoldering

また比較のために Sn-37 mass%Pb のはんだめっきを、 $6.5\mu\text{m}$ の厚さに配線基板側のリードに施して、同一条件で接合を行った。はんだ接合では接合強度が金錫接合の約半分と小さい。

また、Fig. 6 の引っ張り試験においては、金錫接合部の剥離ではなく、リードが母材破断するのが特徴である。破断はリードの中央部から起こっており、強度は 0.3 N/Lead 以上の銅箔自体の破断強度となっている。この例では接合幅 $d=0.1\text{ mm}$ の時であるが、接合幅に関係なく、この引っ張り試験においては母材破断した。このために、この試験方法では正確な接合強度が得られないことから、以下の試験は引き剥がし試験法を採用した。

Fig. 7 Peel strength profile of Au/Sn microsoldered layer

Fig. 7 には錫めっきの厚さを変えた時の、金錫接合部の引き剥がし試験のプロファイルを示す。Fig. 7 は引き剥がし時の 1 リード当たりの引き剥がし加重として表示している。接合引き剥がし加重はフィレットの形成部分で高くなっており、接合の中間部分では比較的低く、またリード端のフィレット部分で高くなっている。

初期の錫めっきの厚さによる比較では、 $4.0\mu\text{mt}$ まではリード中央の引き剥がし加重は低下しないが、 $3.0\mu\text{mt}$ の錫めっき厚さでは低下している。

Fig. 8 に接合部に平行方向の断面写真を示す。 0.75 mm の接合長さの全体にわたって、均一な接合が行われている。またフィレットはリードの持ち上がり部分に大きく、また終端部に小さく形成されている。接合界面の厚さは約 $2.0\mu\text{m}$ であり、錫と金の接合前のめっき厚さの合計 $7.5\mu\text{m}$ の約 $1/4$ となっている。これは 523 K に加熱された接合ツールによる加圧によって、金と錫の熔融液層が押し出されて薄くなったと考えられ、加圧接合の効果が現われている。接合界面の濡れ広がり是非常によく、これは TCP のリードの長さ全体にわたる欠陥のない接合界面の様子からもわかる。接合はすべてノンフラックスで、大気中における 5 秒の接合時間でおこなっているが、大気中における金と錫の電気めっき膜の濡れ性の良さがうかがえる。これら電気めっき膜の接合性は表面の酸化に敏感であるが、除湿包装

Fig. 9 Photograph of the TCP lead connected by A

の形で1ヶ月経過後も、接合の可能なことを確認している。また、接合断面からも解るように、523 K×5秒の接合条件において、ガラスエポキシ基板の熱による損傷や、配線パターンの剝離などは認められなかった。

Fig. 9 には接合部の外観を示す。接合ピッチは0.2 mmであり400ピンの一括接合の状態を示している。各接合部分には、接合時の加熱と加圧による金と錫の溶融液層の広がりによるフィレットが全ピンに形成されている。また、Fig. 10 には接合に直角方向の断面写真の幾つかの例を接合前の断面との対比で示した。接合前の TAB リードの断面は、断面研磨による金めっき層のダレを防ぐために、厚い銅めっきを施してある。金めっきされた TCP のアウターリードと基板の錫めっきパターンとが完全に接合されていることがわかる。また Fig. 10 の右側には接合ずれの断面のい

Fig. 10 Cross-section of Au-Sn microsoldered layer

(a) Area map of tin

(b) Area map of gold

Fig. 11 EPMA analysis of Tin and Gold distribution in Au-Sn microsoldered layer

くつかの例を示している（上から左方向のずれ，右方向のずれ，ずれなし）。接合がずれた場合でも，フィレットと接合界面の形成が完全に行われている。

3.2 接合部の観察結果

Fig. 11 に，接合部の EPMA による Sn, Au の面分析結果を示す。錫の面分析ではフィレット部分で錫の濃度が高くなっている。また逆に金の面分析では，フィレット部分より中央部の接合界面の金の濃度が高くなっている。

	mass%	
	Sn	Au
A	46.9	53.1
B	88.2	11.8

Fig. 12 Analytical result of the Au/Sn microsoldered layer by EPMA (×500)

Fig. 12 には，同じく EPMA による接合部分の Sn, Au の組成分析結果を示す。フィレット部分は錫が88.2 mass%と非常に高いが，フィレット部以外の内側の接合界面では錫が46.9 mass%と低くなっている。めっき厚さの比率から計算される接合前の金と錫の組成は Au 27.4 mass%, Sn 72.6 mass%であり，これと比較するとフィレット部以外の接合界面では錫の組成比率が低くなっており，またフィレット部分では錫が高くなっている。接合層の厚さは，接合前のめっき厚さの合計が7.5 μmであった

	mass%	
	Sn	Au
A	62.6	37.4
B	98.2	1.8

Fig. 13 Microstructure and Au/Sn composition at fillet area by EPMA

Fig. 14 Microstructure and Au/Sn composition at microsoldered layer

	mass%	
	Sn	Au
1	33.5	66.5
2	45.7	54.3

ものが、接合後は約 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ の厚さになっている。

Fig. 13にはフィレット部分の断面マイクロ組織と、金と錫の組成分析の詳細を示す。フィレット部の組織はAu 37.4 mass%の層と、Sn 98.2 mass%の錫の非常にリッチな層からなっている。いわゆる接合開始時に加圧接合により錫の流動した組織の中に、Au 37.4 mass%の板状組織が分散している状態になっている。これは加圧接合によって錫が流動し排除されながら、金の拡散により接合が進行する過程で、錫の流出したフィレット部に、金のリッチな組織が凝固析出したものと考えられる。

また、Fig. 14には、接合中央部分の断面マイクロ組織とEPMAによる分析結果を示す。接合中央部の界面は、大部分のSn 45.7 mass%の層と、TCPリード近傍の、Sn 33.5 mass%の金リッチ層とからなっている。

3.3 大気中423 K 保持試験

Fig. 15には、大気中における423 K 保持試験後の引き剥がし試験の結果を、はんだ接合との比較で示す。はんだ接合は前述のように、Sn-37 mass%Pbのはんだめっきを配線基板のパターン側にほどこし、金錫接合同様に接合して行ったものである。Fig. 15に示す様にSn-37 mass%Pbのはんだめっきでの接合の場合、250 hの試験で、引き剥がし強度が著しく低下した。剥離は、接合界面内部で起こっているが、これは銅のはんだ中への拡散により、脆いCu-Snの金属間化合物が成長して破断に至ったものと思われる。

TCP アウターリードのはんだ接続に関しては配線基板側にPb-72 mass%Snのめっき($10\text{ }\mu\text{m}$)を施し接続した例が報告されている。この例ではTCP側は $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の錫めっきであるが500時間程度の423 K 放置試験で同様に接合強度の低下することが報告されている⁴⁾。

さらに共晶Sn/Pb系のはんだめっきを配線基板側に施して高温高湿試験($358\text{ K}\times 85\%\text{RH}$)を行った報告があり、この場合は1000時間の放置試験で接合強度が約1/2に低下することが報告されている⁵⁾。

また同じのはんだ接合では、Sn-37 mass%Pbの組成のはんだペースト印刷リフローによる、多量(リフロー後ののはんだ厚さ $80\text{ }\mu\text{m}$ 程度の厚さ)のSn-37 mass%Pbのはんだと銅の反応に関して、本研究、LSI リードフレーム材料の接続に関する研究(第2報)で報告した²⁾。

Fig. 15 Peel strength after 423 K aging test in air

この場合423 Kの温度で250 h 放置すると、約 $6\text{ }\mu\text{m}$ の厚さにCu-Snの合金層が成長し、また500時間の放置では、銅のはんだ中への拡散がさらに進み、銅の絶対厚さの減少により、母材破断に至ることが確認された。

これに対して今回実験のSn-37 mass%Pbのはんだめっきでの接合では、はんだの接合界面の厚さは加圧接合により $2\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、はんだの絶対量が非常に少ないために、銅のはんだ中への拡散による、母材の体積の減少は制限されている。しかし短時間に接合層全部が合金層から脆弱な金属間化合物に成長し、引き剥がし強度が著しく低下したと考えられる。したがってのはんだ接合の場合は、供給するはんだの絶対量の管理が加熱における信頼性との関係で重要である。

これに対して金錫接合の場合には、1,000 hの経過後も接合強度の顕著な低下は認められず安定である。

この金錫の状態図における共晶点551 K 以下での低温接合に関してはChen Y 他⁶⁾の報告がある。この報告では、GaAs 半導体デバイスにクロム蒸着膜を下地として順次Au, Sn, Auを $0.07/3.26/0.19\text{ }\mu\text{m}$ の厚さ(蒸着膜)に形成して、これを $6.4\text{ }\mu\text{m}$ の厚さの金蒸着膜を持つアルミナ基板の上に、 $513\text{ K}\times 10\text{ min.}$, 20 min. および $533\text{ K}\times 5\text{ min.}$ で接合実験したものである。GaAs 半導体デバイスには、金をはさんで厚い錫の層があるために、 $513\text{ K}\sim 533\text{ K}$ の低い温度で錫が溶融して接合が行われている。その後厚い金の層との相互拡散によって、接合界面の金の濃度が上昇し、最終的に接合界面の組成は、Au 70 mass%/Sn 30 mass%に達した。

この報告ではGaAs 半導体デバイスの内部配線の熱的ダメージを軽減するために、この低温接合を考案したとしており、これは本報告のような微細接続ではなくまた接合時間も長い、本報告における有機材料の熱的損傷を軽減する目的と接合温度の低い点が一致している⁶⁾。

4. 結 言

TCPのアウターリード(400ピン)を、低温金錫接合法によって、配線基板の銅配線(400ピン)に一括接合する実験を行った。TCPのリード側に金めっきを施し、配線基板の銅配線に錫めっきを施して、523 Kの温度で大気中で一括接合(接合時間5秒)した結果、以下の結論を得た。

(1) TCPのリード側に $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の厚さの電気金めっき、配線基板の銅配線に $6.5\text{ }\mu\text{m}$ の厚さの電気錫めっきを施したとき、最も高い引き剥がし強度が得られる。

(2) 523 Kの接合温度において、配線基板のガラスエポキシ樹脂(FR-4)は損傷されることなく、また銅配線の熱による剥離なども認められなかった。

(3) 金錫接合ではSn-37 mass%Pbの同じ厚さのはんだめっき接合より、高い引き剥がし強度が得られた。

また、金錫接合においては、接合リードを切断せずに直接に引っ張り試験を行った結果、リードの母材破断に至った。

(4) 金錫接合部の引き剥がし強度特性は、リード端に形成されるフィレット部で高くなっている。また接合中央部での強度は、錫めっき厚さが $4.0\text{ }\mu\text{m}$ までは差がないが、 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ では約半分に低下した。

(5) 加圧接合により溶融錫が側面に流出し、フィレット

部の錫の組成比率は高くなる。また中央部では金の組成比率が高くなっている。

(6) フィレット部では Sn 98.2 mass%, Au 1.8 mass% の錫の組成比率の非常に高い層と、この中に析出している Sn 62.6 mass%, Au 37.4 mass% の層からなっている。また接合中央部の界面は、Sn 45.7 mass% の層と、Sn 33.5 mass% の TCP リード近傍の金リッチ層からなっている。

(7) 金錫接合部は 423 K の大気中保持試験において 1,000 時間経過後も安定した接合強度をもっている。一方 Sn-37 mass% Pb のはんだめっきによる接合では、250 時間経過後接合強度が著しく低下した。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導を戴いた茨城大学工学部

機械工学科、志田朝彦教授に厚くお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 春日：高密度実装に向けての VLSI パッケージの動向，溶接学会誌，65，No. 4，(1996) P58.
- 2) 御田，服巻，岡田：リードフレームはんだ付け部の引き剥がし強度特性，溶接学会論文集 Vol 14，No. 2，(1996)，P449.
- 3) 特集新型パッケージと実装技術の課題，電子材料，33，No. 9，(1994) P22.
- 4) 松原，阪本，山村，貫井：無洗浄微小ピッチ TAB/OLB 技術，溶接学会第49回マイクロ接合研究委員会，(1996) P53.
- 5) 西：TAB-OLB ソルダリングの信頼性，溶接学会シンポジウム，マイクロエレクトロニクスにおける超微細接合，(1993) p131.
- 6) Chen Y. wang and Chin C. lee: A Eutectic Technology at Temperature Below the Eutectic Point, 42th ECTC/IEEE (1992) p 502.