多ピン LSI パッケージの Au-Ag 熱圧着接合技術[†]

三 浦 一 真^{*} 芹 沢 弘 二^{**} 中 村 省 三^{*}

Au-Ag Heat-Press Bonding Technology for Multi-LSI Package

by

Kazuma MIURA^{*}, Koji SERIZAWA^{**} and Shozo NAKAMURA^{*}

The Au-Ag heat-press bonding process was applied to the micro bonding process for Multi-LSI package. The Au-plated Cu lead was bonded on the Ag-plated Cu frame.

In the case of bonding temperatures above 325°C and pressures from 150MPa to 300MPa, the bonding strength was about 8N/mm and the fracture occurred at the neck of Cu lead. However, when the bonding pressure was higher than 300MPa, the strengths were reduced. On the other hand, when the bonding pressure was less than 100MPa, the strengths were reduced rapidly and the fracture occurred at the Au/Ag interface.

By observing the structure on the cross section, several non-bonding areas were found at the Au/Ag interface. On the other hand, non-bonding areas were not found at the interface of Cu lead fractured bonding. According to the AES analysis of the surface of the bonding fractured at Au/Ag interface, it was assumed that this bonding was achieved by the Au-Ag slight mutual diffusion at the interface. In the case of the bonding done at more than 300MPa, deformation of Cu lead caused the reduction of the bonding strength.

Key words: Au-Ag heat-press bonding, Multi-LSI package, Au/Ag interface, Mutual diffusion, Deformation of Cu lead

1 緒 言

Large Scale Integration (LSI) パッケージの組立技術において、マイクロ接合技術は LSI の機能を十分に活用するために不可欠な要素技術である。この分野の接合技術としては LSI チップとリードとの接合、リードとパッケージのリードフレームとの接合、チップと基板をバンブを介して接合するフリップチップ接合、パッケージの基板への接合など多岐にわたっている。

最近では、情報通信、家電分野を中心にした電子機器の高機能・高性能化の要求に伴い、LSI の高集積化が進んでおり、チップの外部接続ピン数は増加の傾向にある。しかも、パッケージは低コスト化、および小形化の要求が高いことから、搭載されるチップサイズは小さくなっている。したがって、接合部は狭ピッチ化、微細化の傾向にある。¹⁾

このような背景のもと、パッケージにおける多ピン・狭ピッチ微細接合技術として、部材にめっきを施し、ボンディングツールを用いて加圧・加熱する接合技術が注目されている。

我々は多ピンパッケージに適用可能な方法として、Auめっき、および Snめっきが施された部材をボンディングツールを用いて加熱、加圧する Au-Sn 共晶接合技術について検討し、高 Au 側組成で高い接合強度が得られることを報告した。²⁾しかし、Au-Sn 接合は液相を形成する接合であるため、狭ピッチ化には限界がある。そこで、Au-Sn 共晶接合に比べて多ピン・狭ピッチ化が可能な方法として、固相接合である Au-Ag 熱圧着接合技術に注

目した。この Au-Ag 接合に関する研究報告例は少なく、プラスチックパッケージ用ワイヤボンディングについての報告³⁾やインタポーザとリードフレームとの接合研究のなかで一部報告されている程度である。⁴⁾

本報では、微細リードモデルサンプルを用いて、接合強度に及ぼす接合条件の影響、および微細リードを用いた場合に問題となるリード変形と接合圧力との関係について検討した結果について述べる。

2 実験方法

本実験に用いたモデルサンプルの形状および接合時のサンプル配置を Fig. 1 に、主な仕様を Table I に示す。接合材料には表面に Agめっき (7μm) を施した厚さ 0.2mm の Cu フレームと Ni 下地めっき (約 1μm) を介して Auめっき (0.6μm) を施した厚さ 25μm、幅 50μm の Cu リードを用いた。なお、Cu リードは厚さ 75μm のポリイミドフィルムを張り合わせることで部材の剛性を高め、接合実験および強度試験を容易に行えるようにした。接合は Cu フレームの上に Cu リードを置き、耐熱合金のインコネルからなるボンディングツールを用いて接合部を加熱・加圧する方式とした。

接合実験に使用した装置の概略を Fig. 2 に示す。ステージ上に配置されたサンプルの位置合わせを行った後、ボンディングツールを下降し、接合部に到達後、加熱・加圧される。このときの加熱は接合時にボンディングツールに瞬間的にパルス電流を流し、ツールを加熱するパルスヒート方式である。また、加圧はサーボモータドライバ方式を採用した。なお、加熱・加圧はいずれもコン

[†] 原稿受理 平成 9 年 11 月 6 日 Received Nov. 6, 1997

^{*} 正 会 員 (株)日立製作所生産技術研究所 〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町, Pro. Eng. Res. Labo., Hitachi Ltd., Totsuka-ku, Yokohama, 244-0817

^{**} (株)日立製作所生産技術研究所 〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町, Pro. Eng. Res. Labo., Hitachi Ltd., Totsuka-ku, Yokohama, 244-0817

コンピュータ制御している。

接合条件は時間を 1s と一定にし、温度を 225 ～ 400℃、圧力を 50 ～ 450MPa の間に変化させた。接合温度とは接合部の温度のことであり、実際にはリードフレームの接合部に相当する位置に熱電対を置き、その上にリードを重ねた状態でツールで加熱・加圧し、そのときの温度を測定した。

接合強度は Fig. 3 に示す 90°ピール試験により評価した。このとき、Au めっき Cu リードの中心部のポリイミドテープが張られていない Cu 部分を折り曲げ、試験機のフックをリードに設けられた穴に引っ掛け、上に引っ張ることにより、装着時に発生しやすい衝撃荷重等の負荷を防止した。なお、ピール試験時の引張速度は 5mm/min. である。

接合部の組織観察は走査型電子顕微鏡を用い、分析は走査型オージェ電子分光装置（アルバックファイ(株)製、model 1670) を用いて行った。

3 実験結果と考察

3・1 接合強度の条件依存性

Fig. 4 に Cu フレームの Ag めっき厚さが 7μm で Cu リードの Au めっきを 0.6μm とし、接合時間を 1s としたときの接合強度と接合温度、並びに圧力との関係を示す。接合圧力が 150MPa の場合、接合温度が 225℃では未接合であり、250℃においても強度は平均で 2N/mm である。これより温度を高くすると接合強度は急激に上昇し、325℃で平均 8N/mm の強度が得られた。接合温度が 275 ～ 325℃の範囲では、接合強度は圧力が高いほど高くなる傾向にある。接合圧力が 100MPa の場合では接合温度が 350℃で接合強度が急激に上昇している。

Fig. 1. Shape of the model sample and sample arrangement.

Table I. Specification of the model sample.

	Structure	Material	Thickness
Cu frame	Cu	Annealed Cu	0.2mm
	Metallization	Ag electroplating	7μm
Cu lead	Cu	Electrodeposited Cu	25μm
	Tape	Polyimide	75μm
	Metallization	Ni/Au Electroplating	Ni:1μm Au:0.6μm

破壊モードは 7.5N/mm までは界面ではなく離するモード、それ以上ではリードネックで破断するモードとなった。Fig. 4 では黒印で示した条件がリードネックで破断するモードである。本接合では接合温度が 275℃以上で圧力が 200MPa、325℃以上で圧力が 150MPa の場合、350℃以上の場合、すべてリードネックで破断した。

次に、接合温度を 325℃と一定にした時の接合強度と接合圧力との関係について検討した結果を Fig. 5 に示す。接合強度は接合圧力が 150MPa から 200MPa でピークとなるが、300MPa で強度はわずかながら低下する。300MPa を越えると強度は急激に低下し、450MPa では平均で 5N/mm となった。なお、150MPa 以上の圧力では全てリードネックから破断している。

3・2 接合部断面および破面観察結果

前節までの結果から、接合強度は接合温度、圧力に大きく依存することが明らかとなった。接合温度が低い

Fig. 2. Schematic illustration of the bonding equipment.

Fig. 3. Schematic illustration of the peel test.

場合や接合圧力が低い場合では、Au めっきと Ag めっき界面ではなく離し、接合強度は低くなるが、信頼性を考えた場合、これらの条件による強度の違いの原因を明確にすることが安定な量産技術を確立する上で重要である。本節では接合部の断面組織観察、はく離面観察、分析を行い、接合強度の違いを組織の面から考察した。

Fig. 6 は各条件で接合したサンプルの Cu リード/Cu フレーム接合部の断面組織写真である。界面ではなく離した接合圧力 100MPa の場合は Fig. 6 (a) に示すように界面に未接合部が見られる。それに対して、リードで破断したサンプルの接合界面には Fig. 6 (b) で示すように未接合部は認められない。

Fig. 7 は Fig. 6 (b) と同じ条件で接合したサンプルの接合部断面組織、およびオージェ線分析した結果を示したものである。これらの結果より、界面における化合物層の形成は認められない。しかし、界面極近傍における詳細な情報、特に Au, Ag それぞれの拡散挙動については不明であった。そこで、次に界面近傍の接合状態の把握を目的にピール試験において界面ではなく離したものについて、はく離面の観察、分析を試みた。

Fig. 8 は接合温度が 300℃、接合圧力が 100MPa の場合の Cu フレーム側のはく離面写真、およびオージェ

分析結果の一例である。はく離面で平坦になっている部分（点 A）の点分析結果を見ると、Au, Ag 両元素が検出されている。またこの部分を高倍率で観察した結果、延性破壊を示す細かいディンプル模様が観察されている。一方、それ以外の部分（点 B）は初期の Ag めっき表面とほぼ同じ形態を示しており、分析結果を見ると Ag のみが検出されている。このことから、点 A を含む表面部分が実際に接合している部分であると思われる。

Fig. 9 は Fig. 8 と同じ接合条件の Cu リード側のはく離面写真、およびオージェ点分析結果の一例である。はく離面組織のうち、点 A, B を含む表面が接合部分と考えられる。この部分を拡大してみた場合、フレーム側はく離面ほどはっきりとはしていないものの、延性破壊を示すディンプル模様が観察されている。分析結果を見ると、点 A は Ag のみ、点 B では Au, Ag が検出されている。

Fig. 4. Temperature dependence of the bonding strength.

Fig. 5. Pressure dependence of the bonding strength on the bonding made at 325°C.

Fig. 6. Microstructure across the Au-Ag bonding made at 325°C, (a) 100MPa, (b) 150MPa.

Fig. 7. Microstructure and AES line analysis across the Au-Ag bonding made at 325°C, 150MPa.

したがって、リード側のはく離面の接合部分の周囲はフレーム側の Ag であり、内側は合金化された部分から構成されている。Au, Ag が互いに全率で固溶する合金であることを考慮に入れると、これらの観察・分析結果より、界面近傍においては Au と Ag が相互拡散し固溶による合金化がおこり、それが接合強度を上昇させるものと思われる。なお、被接合部分でははく離は Ag めっき内部から界面近傍における合金内部で生じるものと考えられる。

断面組織およびはく離面観察、分析結果をもとに接合メカニズムを推定すると Fig. 10 のようになる。^{5), 6)} 部材を接合ツールで加熱・加圧することにより、塑性変形を起こし、それぞれのめっき (Au, Ag) 表面に存在する汚染膜が破壊されて新生面が露出し、そこでの接触、密着が進む。そして、界面を通じて、原子や空孔の拡散、クリープ変形などによって空孔部 (ポイド) が収縮し、接合面積が増大していく。本接合においては温度、圧力が接合強度に重要な役割を果たしている。

界面ははく離を示した接合では接合領域に未接合部が多く存在しているのが確認された。これは接合温度や圧力が低いために被接合表面汚染膜の破壊が十分ではなく、空孔部 (ポイド) など残るためと考えられる。接合温度や圧力が高くなると汚染膜の破壊が促進されて新生面が露出し、未接合部が消失することにより、接合面積が増大するため、接合強度は高くなるものと思われる。この場合、加圧によるリードの塑性変形が寄与しているものと思われる。Au-Au 熱圧着接合の場合でも加圧によるリードの変形が大きくなると、ディンプル延性破面の割合が高くなり強度が大きくなるとの報告例がある。⁷⁾

一般に固相接合では原子の拡散が強度に寄与するものと思われる。本接合では、接合界面の断面観察、分

析結果より、 μm オーダの拡散層は確認されなかったが、はく離面の接合されていた部分の分析で Au, Ag が確認されたことから、界面近傍の nm オーダの非常に微小な領域で固溶による合金化がおこっているものと思われる。

3・3 接合圧力とリード変形率との関係

3・1 節において、接合圧力が高すぎると、接合強度が低下することが明らかとなった。このことは微細リー

Fig. 9. The peeling surface structure and AES point analysis of the Cu lead side.

Fig. 8. The peeling surface structure and AES point analysis of the Cu frame side.

Fig. 10. Schematic illustration on the Au-Ag bonding mechanism, (a) Before bonding, (b) Formation of interface, (c) Improvement of bonding strength.

ドでの接合において、接合圧力が不均一になったときにリード切れ断線不良につながる。そこで、本節では接合圧力とリード変形率（つぶれ率）との関係について検討した結果について述べる。

Fig. 11 は接合温度を 325℃としたときの接合後の Cu リード厚さとそのときの接合圧力との関係、および加圧後のリードの変形の様子を示したものである。なお、接合後のリード厚さは接合部断面観察により求めた。この結果より、接合後のリード厚さは接合圧力に大きく依存することがわかる。接合圧力が 100MPa の場合、リード厚さは変形前 (25 μ m) とほとんど変わらない。最高強度を示す 150～200MPa ではリード厚さは 17～18 μ m、すなわち変形率（リード高さ変化を初期のリード厚さで割り、それに 100 をかけた値）は約 28～32% となる。接合強度が急激に低下する接合圧力が 350MPa 以上になると、Cu リードの厚さは接合前の半分以下、すなわち、変形率は 50% 以上になっている。

Fig. 12 は 325℃で接合した Cu リード/Cu フレーム接合部の外観を接合圧力別に示したものである。図中のリードの広がっている部分がボンディングツールにより加熱、加圧された接合部である。これより、接合圧力 150MPa にくらべ、450MPa と接合圧力を高くした場合は、リードのつぶれによる変形が大きくなっている。また、リードネック部分におけるボンディングツールの当たっている部分とそうでない部分との境界付近を拡大して見ると、接合圧力が 450MPa の場合では境界部がダメージを受けているのが観察される。リードネックにおける破断はこの境界部分でおこる。このことから、300MPa を越える接合圧力で加圧した場合の接合強度の低下はリードつぶれによる境界部の強度劣化によるものと考えられる。

固相接合では接合時に界面で酸化皮膜を破壊し、接合、密着を促進させるため接合温度、圧力を高くする。本接合においては、Cu リードはツールにより 325℃に

Fig. 11. Pressure dependence of thickness of Cu lead after bonding at 325℃ and cross-sectional photograph.

加熱されるため、加圧により塑性変形は加速される。このため、接合圧力が高いほどリードの変形が大きくなり、その結果、リードネック部分の強度の低下を招く。したがって、リード変形による接合強度の低下は接合部が微細化するほど、問題になるものと思われ、微細接合技術を確立する上でますます重要な課題になるものと考ええる。なお、熱圧着接合による界面変形挙動については、リードとパッドの材質が共に Au である場合の数値解析研究例があり、このなかで接合界面での変形挙動がリード、パッドの寸法、材質に影響されることを報告している⁸⁾。

以上のことから、本接合を LSI パッケージの接合に適用する場合はプロセス条件のばらつきを抑えけるとともに、接合時の部材の変形挙動についても十分に把握する必要がある。

4 結 言

微細リードモデルサンプルを用いて、接合強度の接合プロセス条件による違いについて検討し、接合強度の違いを接合部の組織の面から考察した。さらに、微細リードを用いた場合に問題となるリード変形に及ぼす接合圧力の影響について検討し、以下の結論を得た。

- (1) 接合強度は接合温度、圧力に大きく依存し、温度が 325℃以上、圧力が 150MPa 以上で平均約 8N/mm の強度が得られる。しかし、接合圧力が 300MPa を越えると接合強度は低下する。
- (2) 接合強度が低く、しかも界面ではく離する条件では界面に未接合部と思われるボイドが認められる。それに対して、接合部と未接合リードとの境界部であるリードネック部で破断したものでは未接合部は認められな

Fig. 12. Outview of the Cu lead after bonding at 300℃. (a) 150MPa, (b) 450MPa.

った。はく離面の分析結果より, Au, Ag は nm オーダの微小な領域で拡散し, 合金化することにより接合しているものと推定される。

(3) 300MPa を越える圧力で接合した場合に見られる接合強度の低下はリード変形によるリードネック部分, すなわち, 接合部と未接合部リード境界部の強度低下によるものと考えられる。したがって, 高い接合強度を得るためにはリード変形(つぶれ)率が 30% 前後になるような接合条件を選定する必要がある。

(平成 9 年 5 月 22 日 日本材料学会第 46 期学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 廣瀬明夫, 小林絃二郎, 金属学会会報, **33**, 1382 (1994).
- 2) 三浦一真, 芹沢弘二, 中村省三, 溶接学会論文集, **15**, 180 (1997).
- 3) Y. K. Sow and A. Yasmin, Proc. Electron Compon. Technol. Conf., **43**, 341 (1993).
- 4) 米本隆治, 佐藤 巧, 鈴木勝美, 米川琢哉, Mate. 95 1st Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, p.39 (1995) JWS.
- 5) 溶接学会編, “溶接・接合便覧”, p.514 (1990) 丸善.
- 6) エレクトロニクス接合技術編集委員会編, “エレクトロニクス接合技術”, p.65 (1994) 工業調査会.
- 7) 中塚康雄, 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, p.41 (1995).
- 8) 高橋康夫, 井上道信, 井上勝敬, Mate. 97 3rd Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, p.137 (1997) JWS.