

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560721

研究課題名（和文） エレクトロニクス実装はんだ継手微細化に伴う接合界面挙動評価と高信頼性界面の創出

研究課題名（英文） Effect of miniaturization of solder joint for electronics packaging on interfacial reaction between solder and substrate and impact reliability of the joint

## 研究代表者

西川 宏 (NISHIKAWA HIROSHI)

大阪大学・接合科学研究所・准教授

研究者番号：90346180

研究成果の概要（和文）：はんだサイズと基板パッドサイズ、さらには加熱方式を変化させ、はんだ微細化が接合部に与える影響、すなわち界面反応層の形成や接合部の接合強度（特に耐衝撃性）に与える影響を基礎的に評価した。その結果、界面反応層の形成及び接合部の耐衝撃性とともに、パッドの種類関わらずサイズの影響が明確にみられ、はんだバンプを微細化することにより接合部へ与える影響は大きく、接合部の信頼性確保には十分注意が必要であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：As solder bumps become increasingly miniaturized to meet the sever demands of future electronic packaging, it is important to consider whether the solder joint size and geometry could become reliability issues and thereby affect implementation of the Pb-free solders. In this study, the effect of the solder bump size on the interfacial reaction between the solder and a substrate and the impact reliability using a miniature impact tester was investigated. Experimental results suggest that the solder bump size can influence the interfacial reaction and the impact reliability of the solder bump.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：エレクトロニクス実装、微細接合、微細化

## 1. 研究開始当初の背景

エレクトロニクス製品の小型化・高性能化が進むなかで、微細接合技術は欠くことの出来ない要素技術となっており、製品寿命に大きな影響を与えている。継手部は、微細化・高密度化が進行するだけでなく、車載用エレクトロニクス等の発展により暴露環境がますます多様化しており、継手部の評価及びその信頼性確保は、重要かつ困難な問題となっている。したがって、微細化が進行する接合部の界面挙動を的確に把握し、制御するとともに、界面構造と接合信頼性との関係を明確にすることが重要となる。

これまで検討をおこなってきた鉛フリーはんだ／基板材料界面の反応層形成やその接合強度については、はんだ量が一定の場合を対象としてきた。はんだバンプの微細化が進行することを考慮し、はんだ量が 1/10、さらには 1/100 に減少する影響も含めた包括的な検討はほとんどおこなわれておらず、接合信頼性への影響にまで踏み込んだ研究例はない。したがって、微細化による影響を的確に評価しながら、信頼性の高い接合界面を創出することが喫緊の課題と考えられる。

## 2. 研究の目的

継手部の微細化が進行することにより、はんだ量が極端に減少することを想定し、はんだ量が界面反応層や接合信頼性に与える影響について、包括的に明らかにすることを本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 供試材料

本研究において、母材としては広く用いられている Cu パッド基板を用い、はんだ材料として鉛フリーはんだの代表的な組成である Sn-3.0Ag-0.5Cu(mass%、以下省略)を用いた。接合部の微細化の影響を検討するために、はんだバンプおよび Cu パッドサイズを変化させ、界面反応層の形成や接合部の接合強度（特に耐衝撃性）に与える影響を基礎的に評価した。はんだバンプおよびパッドのサイズとして、リフロー後のはんだ形状がバンプ径によらずほぼ相似形となるように、表 1 に示すようなパッドのサイズとはんだボールの組み合わせを選択した。

表 1 はんだバンプとパッドのサイズ

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
Solder bump size (mm)	1	0.76	0.5	0.37	0.25
Cu pad size (mm)	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2
Solder bump size/Cu pad size	1.25	1.27	1.25	1.23	1.25

### (2) 実験方法

リフロー前の処理として、Cu パッドを配置した約 40 mm×40 mm 程度の基板を 4 %HCl 水溶液で 120 s 酸洗し、水道水で洗った後、97% エタノール中で 60 s 洗浄し送風機を用いて乾燥させた。一方、はんだボールはエタノールで 60 s 洗浄した後、乾燥させた。

Cu パッド上にはんだボールをピンセットで配置し、はんだボール上から RMA フラックス (Mildly Activated Rosin Base Flux) を滴下した。その後、リフロー装置にはんだボールを配置した基板を入れ、窒素雰囲気下でリフロー加熱を行った。リフロー中の温度プロファイルは、炉内を 100 °C まで昇温した後、100 °C に保った状態でおおよそ 120 s 予熱を行い、予熱が終了した後 2.5 °C/s で再度温度を上昇させ、250 °C となったところで 60 s 保持した後、空冷した。冷却した後、取り出した試料をエタノール洗浄することで基板に残存したフラックスなどを除去した。

リフロー直後の基板試料の外観を図 1 に示す。緑色の部分はレジスト部、また銀色の金属光沢部分ははんだボール部となっている。一部の試料については、時効処理として、アルミホイルで包み、オイルバスに浸せきし 150 °C で 48, 168, 504, 1008 h の時効処理を行った。これらの試料の断面観察を行う際には、直径 3 cm 程の円筒プラスチック型を用いて樹脂埋めした後、断面の研磨をおこない観察用試料を作成した。研磨した試料の切断面を、光学顕微鏡、レーザー顕微鏡、走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) を用いて観察した。また、一部の試料に対しては電子線マイクロアナライザー (EPMA: Electron Probe Micro Analyzer) による元素分析を行った。

衝撃試験については、微小マイクロ試験機 (米倉製作所(株)製、MI-S) を利用し、試験の模式図を図 2 に示す。各はんだバンプの衝撃強度を評価する為に、衝撃試験で得られる荷重-変位曲線から最大荷重と全エネルギーを抽出した。衝撃試験の条件として、バンプに衝突する際のハンマーの速度を決定するハンマー振り上げ角度と、衝突高さすなわちハンマーと基板との距離を設定する。



図 1 リフロー加熱直後の基板試料

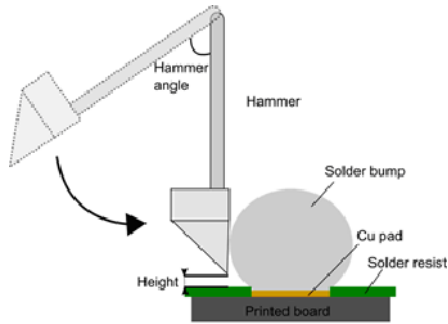


図2 衝撃試験の模式図

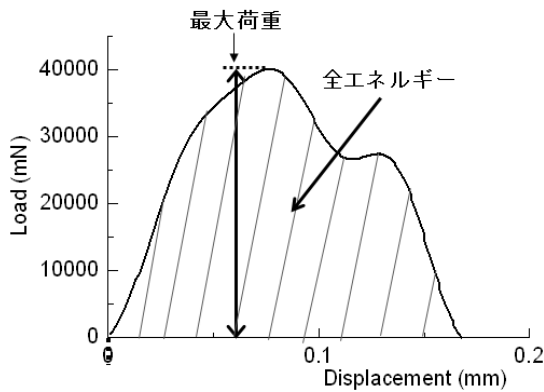


図3 衝撃試験による荷重-変位曲線の一例

本研究ではハンマー振り上げ角度は 60 ° に固定し、衝突高さに関しては、50  $\mu\text{m}$  に固定した。衝撃試験後に得られる波形データと最大荷重、全エネルギーとの関係の一例を図3に示す。また衝撃試験によるはんだバンプの破断面の凹凸状態を計測するために、一部の試料に対して試験後の基板部破断面をレーザー顕微鏡により観察した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 界面反応層およびはんだ組織への影響

リフロー加熱直後の 1.0 mm はんだバンプの光学顕微鏡による全体の断面観察写真と接合界面近傍の拡大観察写真を図4に示す。EPMAによる元素分析と合わせて、リフロー加熱直後の接合界面には IMC 層 ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) が形成され、時効を行うことにより  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  と Cu パッドの間に、新たな IMC 層が形成される。この新たな層は一般的に  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  層よりも脆いと言われている  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  層である。このように、 $\text{Cu}_3\text{Sn}$  層を含め IMC 層全体が時効と共に変化し、信頼性にも大きな影響を与えうると考えられる。図5にバンプ径 250  $\mu\text{m}$  および 1000  $\mu\text{m}$  における Cu パッド界面の SEM 写真を示す。両者の IMC 厚さを比べると初期 (0 h) では、250  $\mu\text{m}$  の方がスカラップ形状の IMC 層が厚く形成されており、いずれのバンプ径においても、時効によって IMC 層が厚くなっ

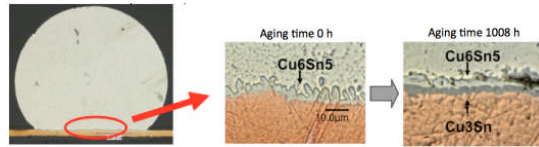


図4 直径 1.0 mm のはんだバンプの外観とはんだ/Cu 界面

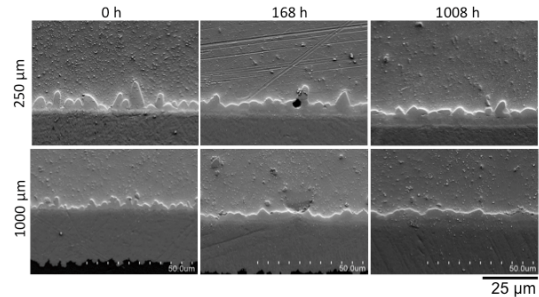


図5 はんだ/Cu 界面の SEM 写真

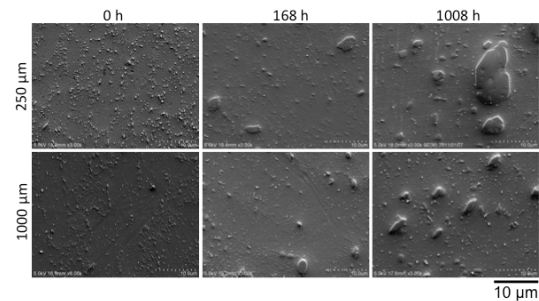


図6 はんだバルクの SEM 写真

ていることが分かった。図6にバンプ径 250  $\mu\text{m}$  および 1000  $\mu\text{m}$  におけるはんだバルク部分の SEM 写真を示す。初期 (0 h) では、両者ともに  $\beta\text{-Sn}$  初晶を取りまくように共晶組織が現れ、微細な  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  と  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  が分散している。時効によって、 $\text{Ag}_3\text{Sn}$  と  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  の粒子が粗大化することが分かるが、バンプ径が小さい方が、早く粒子が成長することが分かった。IMC 厚さやはんだ組織の差は、はんだの体積が大きく異なることにより、リフロー加熱中にパッドから溶解はんだ中へ溶解拡散する Cu の速度やはんだバンプ中 Cu 濃度が異なる為と考えられ、その結果、リフロー後のはんだ中の元素濃度にもバンプ径毎に差異が生じ、はんだバルクの組織形態や界面 IMC の形成に影響を与えるためと考えられた。

##### (2) 耐衝撃性への影響

各はんだバンプ接合部の衝撃強度を評価するために、リフロー加熱直後及び時効処理後のはんだバンプに対して、図2に示した衝撃試験をおこなった。各はんだバンプサイズで得られた最大応力と単位面積あたりの全エネルギーの時効処理による変化の様子を示す。はんだバンプ微細化が接合信頼性に与える影響を評価した。図7に得られた最大応

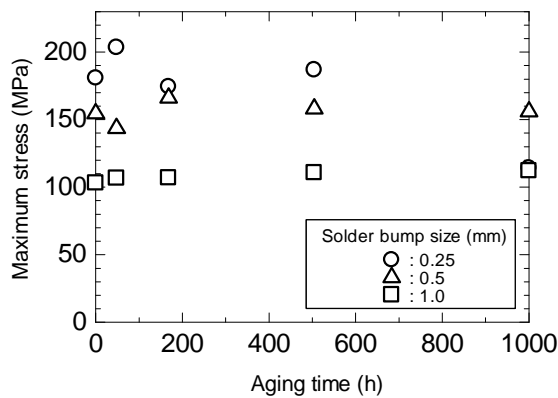


図7 各バンプサイズでの最大応力への時効処理の影響

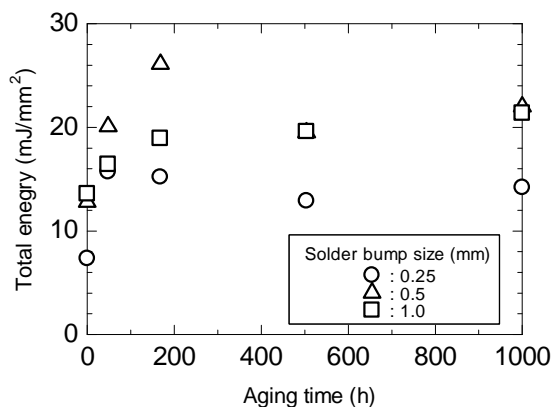


図8 各バンプサイズでの全エネルギーへの時効処理の影響

力と時効処理時間の関係を、図8に得られた全エネルギーと時効処理時間の関係をそれぞれ示した。最大応力については、バンプ径により最大応力は異なっており、時効処理による影響はそれほどないが、はんだ付直後及び時効初期段階では、バンプ径が小さくなるほど、最大応力が大きくなる傾向がみられた。一方、全エネルギーの場合には、バンプ径に関わらずはんだ付直後よりも時効初期段階で、全エネルギーが高くなった。これは時効処理によりはんだ強度が低下し、はんだの変形が容易になったことになり、全エネルギーが高くなったものと考えられた。またバンプ径が0.25mmの場合に全エネルギーは低くなっており、はんだの体積が少ないために変形可能量が少ないことから、全エネルギーも低くなったものと考えられた。

以上のようなことから、バンプ径が衝撃強度（最大応力、全エネルギー）に与える影響は明確に確認でき、バンプ径が小さくなるほど、はんだの変形量が制限されることから衝撃吸収能が低下し、接合信頼性が低下することが懸念されることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

①宇治野真、西川 宏、レーザはんだ付したはんだバンプ衝撃強度に及ぼす微細化の影響、スマートプロセス学会春季総合学術講演会、2013. 5. 22、大阪大学

②H. Nishikawa, N. Iwata, T. Takemoto: Effect of isothermal Aging on Sn-Ag-Cu solder joints on electroless Ni-P/Au plating by laser reflow soldering, 5th International Brazing and Soldering Conference (IBSC 2012), 2012. 4. 22-25, Las Vegas, USA.

③山本晃将、西川 宏、低融点はんだ/Cu 継手の耐落下衝撃性評価、(社) 日本金属学会 2011 年秋期大会、2011. 11. 7、沖縄コンベンションセンター

④ H. Nishikawa: Impact reliability of micro-joints soldered with Sn-Ag-Cu solder using laser process, Sino-Japanese Workshop on Welding Thermo-Physics (招待講演), 2011. 11. 9, 済南 (中国).

⑤ H. Nishikawa, N. Iwata and T. Takemoto: Intermetallic Compound Formation and Growth at the Lead-Free Solder/Cu Interface during Laser Reflow Soldering and during Isothermal Aging, 141st Annual Meeting & Exhibition (TMS2012), 2012. 3. 11-15, Florida, USA.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西川 宏 (NISHIKAWA HIROSHI)  
大阪大学・接合科学研究所・准教授  
研究者番号：90346180

### (2) 連携研究者

芹澤 久 (SERIZAWA HISASHI)  
大阪大学・接合科学研究所・准教授  
研究者番号：20294134