

# 特集

進化を遂げる  
鉛フリーはんだ付け技術

## BGAボールはんだの 衝撃試験結果

(株)日本スペリア社

宮岡 志典、末永 将一、西村 哲郎

### 1 現在の市場背景

携帯電話やデジタルカメラなど電子機器の小型・軽量化、多機能化に伴い、プリント基板実装の高密度化が一段と進み、BGA (Ball Grid Array) やCSP (Chip Size Package) など、接合部が微細なはんだ付けの需要が高まっている。一方、このような小型携帯機器は、落下などの激しい衝撃にさらされる機会が多く、その衝撃によってはんだ接合面積の小さい微細接合部が破壊されやすいという問題点がある。さらに、環境への配慮から鉛フリーはんだへの切り替えが進んでいるが、Sn-Ag-Cu系ボールはんだは、従来のSn-Pb共晶ボールはんだに比べてはんだが硬くなるため、落下衝撃強度が劣るといった問題が指摘されている<sup>1)</sup>。このような製品の性能と安全性を確保するためには、耐衝撃特性に優れたはんだ接合信頼性が求められる。

### 2 衝撃試験の必要性

携帯機器などに用いられるBGAやCSPは、ボールはんだによって基板に接合され、電気伝導の役割を与えられている。これらは、従来のリードフレームタイプよりもはんだ接合部への負担が過酷になっており、そのような機器を落下させた場合を想定すると、はんだ接合部にはせん断、引っ張りなど様々なモードの衝撃が加わる(図1)。たとえば、物体が机などの20cm程度の高さから自由落下する場合、衝突時の落下速度は2,000mm/秒に達すると計算される。したがって、

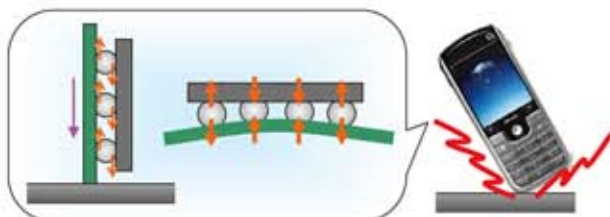


図1 機器落下時の模式図

落下時にはこのような速い速度の衝撃が接合面積の小さいボールはんだ接合部に加わり、接合部が破壊される場合がある。

これまで実施されたはんだ接合部の評価としては、ヒートサイクル試験、引っ張り強度試験など比較的低速度での負荷試験によるもの<sup>2) 3)</sup>が多いと思われる。また、はんだ接合部に対するシエア試験についても報告例はあるが、その多くは低速度における試験<sup>4) 5)</sup>であり、実際の落下速度での特性を模して評価しているとはいいがたい。そこで今回、各種はんだ合金のボールはんだに対する高速度の衝撃特性試験結果を報告する<sup>6)</sup>。

### 3 衝撃試験

#### 1. 供試材

試験サンプルは、Sn-37Pb共晶はんだ合金(以下、SP)、Sn-0.7Cu-0.05Ni+Gelはんだ合金(以下、SCNG)、Sn-3.0Ag-0.5Cuはんだ合金(以下、SAC)の3種とした。表1に各はんだ合金の特性を示す。これらのはんだ合金を用いて、液滴噴霧法により作製した直径0.5(±0.01)mmのボールはんだを試験に供した。

試験に用いた基板の仕様を表2に示す。基板の表面

表1 はんだ合金の特性

合金	引っ張り強度 (MPa)	伸び (%)
SP	44	25
SCNG	32	48
SAC	50	32

表2 基板の仕様

材質	FR4
厚さ	1.6mm
ランド径(レジスト径)	0.42(±0.01)mm
表面処理	(A)OSP(プリフラックス処理) (B)無電解Ni/Auめっき (Ni:3μm, Au:0.03μm)
レジスト厚み	30~40μm

処理は、OSP（プリフラックス処理）とNi/Auめっきの2種類とした。

ボールはんだ実装時のリフロー条件としては、SCNG及びSACは、220℃を40秒間程度保持し、ピーク温度を240℃とした。SPIは、210℃を40秒間程度保持し、ピーク温度を230℃とした。さらに、ボールはんだ実装後、基板に実装してパッケージとする場合を想定し、SCNG及びSACのリフロー条件を用いて、SPを含むすべての合金について2回目のリフローを施した。なお、フラックスはペースト状の活性ロジソタイプを用いた。

## 2. 試験方法

衝撃試験は、ハイスピードボンドテスタ（英Dage社製、DAGE-4000HS）を用いた。図2にはんだ接合部に対してせん断応力を負荷して行うシエア試験の模式図を示す。試験速度は、10、100、1,000、2,000mm/秒とした。

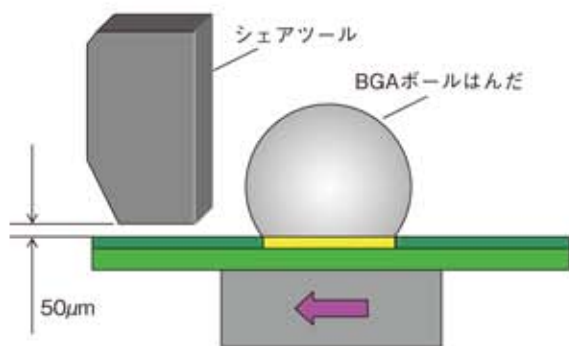


図2 シェア試験模式図

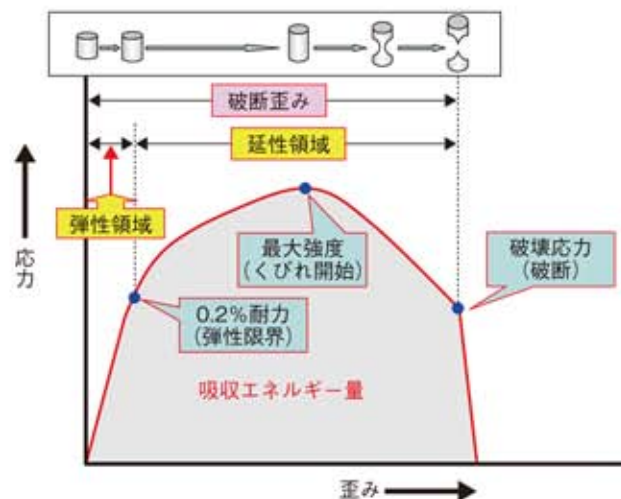


図3 応力-歪み曲線

図3に金属材料の引っ張り試験で得られる一般的な応力-歪み曲線の模式図を示す。金属材料は、始めに弾性変形（応力は歪みに対して直線的に増加）したのち、塑性変形を生じ、最大強度に達した後、くびれ（クラック）が入り応力が低下して破断に至る。本衝撃試験においても、図3と同様の応力-歪み曲線が得られ、同じような状態を示していると考えられる。また、応力-歪み曲線で囲まれた領域を「吸収エネルギー量」と称する。通常、引っ張り試験において固体金属やその接合体の強度評価には最大強度をよく用いるが、本衝撃試験においては、はんだ材料内の延性破壊モードと接合界面での脆性破壊モードが混在するため、最大強度ではなく吸収エネルギー量で評価した。

## 3. 試験結果

### (1) 衝撃試験前の接合界面

図4に実装後（衝撃試験前）のはんだ接合部の断面観察結果を示す。観察はSEM（走査型電子顕微鏡）によって行った。

SPの場合、OSP、Ni/Auめっきの両基板とも、接合界面の金属間化合物（以下、IMC）の厚さはほぼ均一である。

SCNGの場合、OSP基板では4µm程度の平坦な層状にIMCを形成する。Ni/Auめっき基板では、接合界面に形成されるIMCは1µm程度である。

SACの場合、OSP基板では6µm程度の凹凸の激し

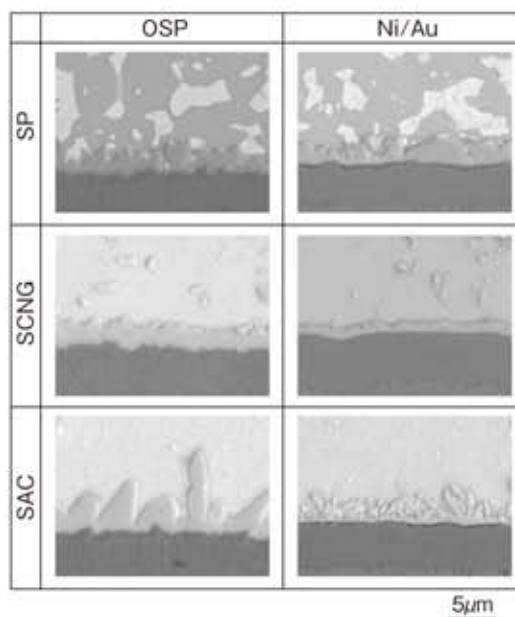


図4 はんだ接合部(実装後)の断面観察結果



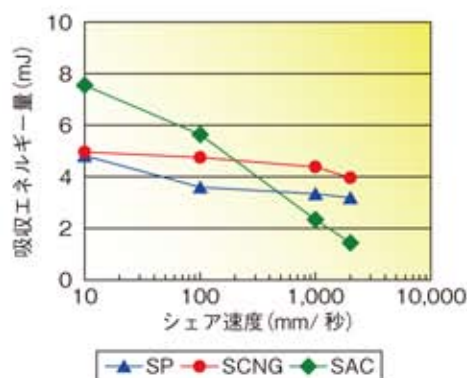
いIMCを形成し、大きく成長した個所では、IMCの厚さは10 $\mu$ mにも達する。Ni/Auめっき基板では4 $\mu$ m程度のIMCを形成するが、OSPの場合とは異なり、細い針状の形状をもっている。

IMCの厚さをOSPとNi/Auめっきで比較すると、SPでは大きな差は認められないが、SCNGとSACではNi/Auめっきの方が薄い傾向にある。

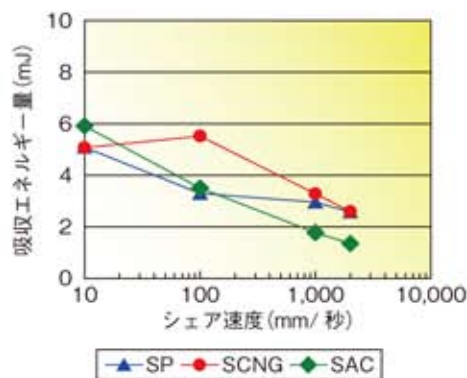
### (2)吸収エネルギー量

図5にOSPとNi/Auめっきの表面処理を施した両基板について、シヤ試験で得られた吸収エネルギー量を示す。(a)はOSP、(b)はNi/Auめっきである。縦軸は吸収エネルギー量であり、横軸は試験速度である。

基板の表面処理の種類に関わらず、すべてのはんだ合金で試験速度の上昇に伴い、吸収エネルギー量が低下する傾向を示している。しかし、その変化量を比較した場合、SCNGは、すべての試験速度においてSPよりも大きい傾向にあり、SPと比較して同等以上の



(a)OSP



(b)Ni/Auめっき

図5 吸収エネルギー量

優れた吸収エネルギー量を示していることがわかる。一方、SACは、低速度側においてはSP、SCNGよりも大きくなるが、高速度側においてはそれが逆転し、吸収エネルギー量が急激に低下する傾向であることがわかる。高速度側での吸収エネルギー量を比較すると、SCNG $\geq$ SP>SACとなる。

図6にシヤ試験後の接合界面近傍の断面写真を示す。試験速度はすべて2,000mm/秒である。

SPは、OSPの場合、はんだ合金部分で破壊が生じている。図4に示した衝撃試験前の断面写真と比較して、接合界面に変化は見られない。一方、Ni/Auめっきの場合はIMCの形状を保ったまま、はんだ/IMC間で破壊した個所と、はんだ合金部分で破壊した個所が混在している。はんだ部分は、粗大なPb層がIMCの上側に位置するため、高速度でせん断方向の応力を負荷した場合、はんだ部分での吸収エネルギー量が大きく、接合界面に伝播する応力が少なくなり、はんだ/IMC間とはんだ合金部分の破壊が混在したものと予想される。

SCNGは、OSPの場合、SPと同様にはんだ中で破壊を生じた。SCNG及びSACと、Ni/Auめっきとの接合の場合、共にはんだ/IMC間で破壊した個所が観察された。しかし、SCNGの場合は、接合界面に残存したIMCの形状が判別できるのに対して、SACでは微細な破片が残っただけであるという違いが確認できた。図4に示した試験前の断面写真より、SACは、Ni/Au

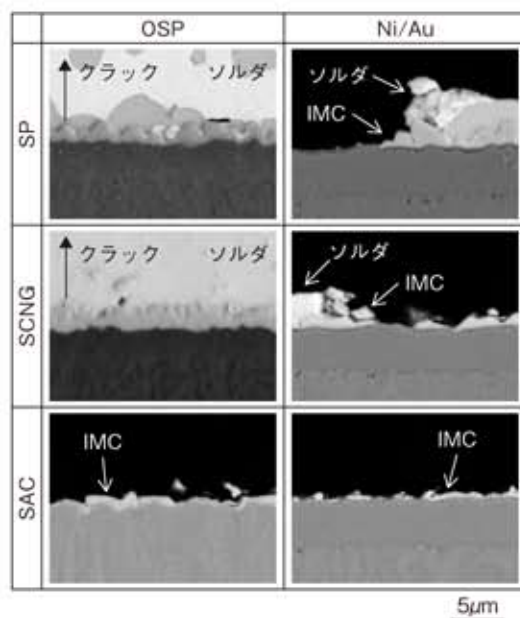


図6 シヤ試験後の断面観察結果

# 進化を遂げる鉛フリーはんだ付け技術 特集

めっきとの接合界面に形成するIMCの厚さが不均一であり、細長い形状をもったものが数多く存在していることがわかる。このため応力が加わった場合に、はんだ合金によってエネルギーが吸収できず、接合界面に強い力が伝われば、IMC部分で容易に破壊を生じることが予想される。

SACとOSPとの接合の場合は、Ni/Auめっきの場合と比較して、IMCが接合界面に多く残存している。これは、接合時に形成されたIMCが、Ni/Auめっきの場合よりも厚いためと考えられる。

また、前述した吸収エネルギー量において、SACで、速度の増加に伴い吸収エネルギー量がSPやSCNGと逆転する変化点のあることがわかり、それは100mm/秒と1,000mm/秒の間にあることが確認できた。そこで、100mm/秒と1,000mm/秒の間で

大きな変化が生じた原因について検討するため、衝撃試験後のBGAボールはんだの打痕跡及び、基板側破断面の観察を行った。

### (3)BGAボールはんだ打痕跡の観察

図7にNi/Auめっき基板におけるシヤ試験で得られた応力-歪み曲線とBGAボールはんだの打痕跡を示す(打痕跡の上に示す数字は、SPの打痕断面積を100%とした場合のそれに対する割合である)。(a)は100mm/秒、(b)は1,000mm/秒である。

100mm/秒では、SPとSCNGの差は小さく、それぞれ同程度の打痕断面積を示しているが、SACの打痕断面積が小さい傾向にある。

1,000mm/秒では、SPとSCNGが100mm/秒の時と同等の打痕断面積を示しているが、SACは打痕断面積がかなり小さくなっていることがわかった。これらの打痕断面積を比較すると、 $SP \geq SCNG > SAC$ となる。

一般的に、物体が変形することによりエネルギーを吸収すると考えられることから、打痕断面積の大きいものほど柔軟に衝撃を吸収しやすいといえる。以上のことから、SACは硬くて変形しにくい合金であり、SCNGはSP同様に軟らかい合金であることがわかる。

### (4)基板側破断面の観察

図8にNi/Auめっき基板におけるシヤ試験で得られた応力-歪み曲線と基板側の破断面を示す。(a)は100mm/秒、(b)は1,000mm/秒である。

100mm/秒では、各はんだ合金とも接合界面における破壊が生じることはなく、はんだ合金部分で延性破壊をしている。

1,000mm/秒のSCNGとSPIは、はんだ合金部分で延性破壊をしているが、SACは、はんだと基板導体箔の接合界面で脆性破壊をしている(図9にシヤ速度

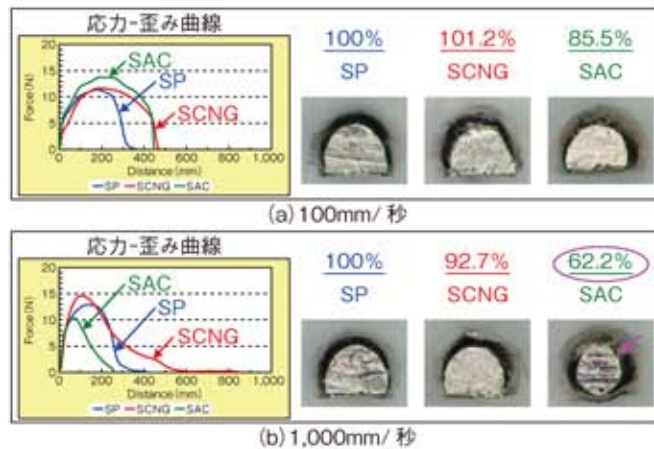


図7 応力-歪み曲線とBGAボールはんだの打痕跡

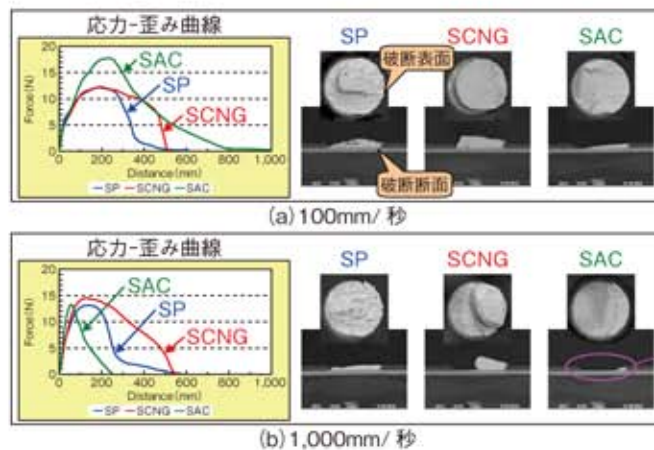


図8 応力-歪み曲線と基板側の破断面

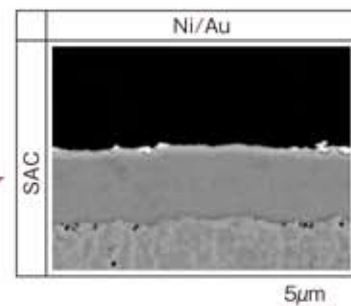


図9 SACの1,000mm/秒での詳細図



1,000mm/秒での詳細図を示す)。これは、SACとNi/Auめっきとの接合界面に形成されるIMCIは、厚さは不均一で細長い形状をもったものが多く存在しており(図4)、また硬くて変形しにくいはんだ合金であるため、衝撃応力が加わった場合にははんだ合金によって応力が吸収できず、接合界面(IMC)に強い衝撃力が伝わり脆性破壊が生じたものと考えられる。

したがって、シエア試験では加えられた衝撃エネルギーは、はんだ合金によって吸収されるが、吸収できる量を超えた場合、接合界面へ伝播して接合界面破断に至ると推測される。

## 4 まとめと今後の展望

ボールはんだ接合に対して高速度の衝撃試験を行い、各種はんだ合金の接合強度を比較した結果、次のことが明らかとなった。

- ① SACの吸収エネルギー量は、低速度ではSPやSCNGよりも大きい値を示すが、高速度では逆転して小さい値を示す。
- ② SCNGは、低速度から高速度までSPと同等以上の値を示す。

以上のことから、硬くて最大強度が大きいはんだ合金よりも、伸びがよく柔軟性のあるはんだ合金の方が耐衝撃特性に優れているといえる。

実際には、合金の種類及び接合される基板の違いによって、はんだ合金の吸収エネルギー量や接合界面強度は異なるため、使用する環境を考慮して最適のはんだ合金を選定することが重要である。

### 参考文献

- 1) 松尾 光永、咲間 光廣、松永 俊博、宮本 誠司、千野 満、伊澤 早苗：第16回マイクロエレクトロニクスシンポジウム、pp163-166 (2006)
- 2) 菅沼 克昭：はじめての鉛フリーはんだ付けの信頼性、工業調査会、p104 (2005)
- 3) 干 強、澁谷 忠弘、田中 彬史、小山 隆宏、白鳥 正樹：第16回マイクロエレクトロニクスシンポジウム、pp159-162 (2006)
- 4) Jorney Seo：IPC Works Asia 2007、pp69-82 (2007)
- 5) 小原 泰浩、佐伯 敏男、上西 啓介、小林 結次郎、莊司 郁夫、山本 雅春：エレクトロニクス実装学会誌、Vol.4 No.3、pp192-199 (2001)
- 6) 関 園子、宮岡 志典、末永 将一、西村 哲郎：14th Symposium on [Microjoining and Assembly Technology in Electronics]、pp235-240 (2008)

## NEWS CLIP ニュースクリップ

### タイ工場でのCO<sub>2</sub>排出量を330トン削減

㈱沖データは、タイのドットプリンタ用印字ヘッドの生産拠点であるOki Precision (Thailand) Co.,Ltdの空調設備全体に新空調コントロールシステムを導入し、消費電力775MWhと330トンのCO<sub>2</sub>削減に成功したと発表した。新システムでは、除湿性能を高めて雨季を除き冷房だけ操作するシステムを構築し、ヒータに必要な電力削減を実現した。

沖データ

### ルネサスがケイデンスのSPICE回路シミュレータを採用

日本ケイデンス・デザイン・システムズ社は、㈱ルネサス テクノロジが、アナログ及びミックスシグナル設計向けに、「turbo」テクノロジー搭載のVirtuoso Spectre Circuit Simulatorの新バージョンを採用したと発表した。これによりルネサスは、レイアウト前の設計向けシミュレーション実行時間の大幅な削減を実現し、シミュレーション速度を最大で5倍向上させた。

日本ケイデンス・デザイン・システムズ社