

Sn-PbめっきとSn-Zn-Biはんだとの 接合強度に及ぼすBi濃度の影響

Effect of Bi Contents on Joint Strength between Sn-Pb Plating and Sn-Zn-Bi Solder

辻口 雅人*¹ 谷川 雅信*¹ 三松 孝彰*² 山田 隆之*²
Masato Tsujiguchi Masanobu Tanigawa Takaaki Mimatsu Takayuki Yamada

要 旨

最も広く使用されている低融点無鉛はんだのひとつであるSn-8Zn-3Biはんだは、Sn-Pbめっき部品を実装した場合、Pbの析出相にBiが偏析しSn-Bi-Pb低融点相が形成されるため、リペア工程等で150℃程度まで再加熱した時に強度が著しく低下する。そこで、はんだ中のBi濃度を低減することにより、再加熱時の強度低下を抑制する検討を行った。その結果、Sn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biの基板再加熱温度150℃におけるリード引張り強度は、それぞれ5.1N、0.9Nであり強度低下の抑制を確認できた。また、冷熱サイクルおよび高温保持信頼性を評価した結果、接合強度、接合界面組織ともにSn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biの差異は見られなかった。

The joint strength of Sn-8Zn-3Bi solder with Sn-Pb plated lead is reduced significantly due to Sn-Bi-Pb low temperature phase when it is reheated in repair process. In order to suppress strength reduction, effect of Bi contents on the joint strength was investigated. The joint strength of Sn-8Zn-1Bi and Sn-8Zn-3Bi were 5.1N and 0.9N respectively when it is reheated to 150°C, so it is confirmed that strength reduction was suppressed by decreasing Bi contents in the solder. Joint strength and interfacial structure of Sn-8Zn-1Bi after thermal cycle and high temperature storage are almost equal to those of Sn-8Zn-3Bi.

まえがき

地球環境問題は、人類共通の最重要課題となっており環境や健康に対する人々の意識はますます高まりつつある。地球温暖化、オゾン層破壊等と並んで廃棄物の問題は将来にわたって生態系に影響する最も重要な環境問題のひとつである。家電、エレクトロニクス製品についても、埋め立て処分した場合、製品に含まれる化学物質が酸性雨などにより溶出し、河川や地下水を汚染することが指摘されている。電子機器等において、デバイスを基板に実装するには、従来、Sn-Pbはんだが用いられてきたが、鉛の人体に対する毒性が指摘されており、ヨーロッパでは2006年7月からROHS指令により鉛の使用が規制されている。そのため、家電、エレクトロニクス製品に使用されるはんだの無鉛化が検討されており、無鉛はんだへの切替は

ほぼ完了しているが、低融点無鉛はんだの開発¹⁾、はんだ槽の侵食²⁾、Snウイスカ発生³⁾等無鉛はんだ化に伴ういくつかの課題も残っている。Sn-Zn-Biはんだは、経済性、機械的特性の観点から低融点無鉛はんだとして最も期待されているが、Sn-Pbめっき部品との接合に課題がある。本検討では、Sn-Zn-BiはんだとSn-Pbめっき部品との接合強度に及ぼすBi濃度の影響について明らかにし、はんだ中のBi濃度を低減することで基板加熱時の接合強度低下を抑制できることを明らかにしたので結果を報告する。

1. Sn-Zn-Bi はんだと Sn-Pb めっき部品の接合における課題

現在、Sn-Ag-Cu合金が一般的な無鉛はんだとして広く用いられているが、Sn-Pb共晶はんだに比べ融点

*¹ 環境安全本部 環境技術開発部

*² 情報通信事業本部 生産部

が約40℃高くリフロー温度を上昇せざるを得ないため、部品耐熱の観点から全ての製品に適用することは困難となっている。Sn-Pb共晶はんだと同等の融点を持つSn-Zn-Bi系はんだは機械的特性および経済性に優れており、一部の製品にSn-8Zn-3Biが適用されている⁴⁾。しかしながら、Sn-8Zn-3BiはんだはSn-Pbめっき部品を実装した場合、Pbの析出相にBiが偏析しSn-Bi-Pb低融点相（共晶Sn-46.2Bi-28.7Pb, 100℃）が形成され、再加熱時に強度が著しく低下する⁵⁾⁶⁾。そのため、製造プロセスにおいてリフロー実装後の検査で不合格判定された基板をリペアする場合、リペアの対象部品の周辺部品が温度上昇によって剥離するといった問題が生じる。基板再加熱時の接合強度低下抑制として、Sn-8Zn-3Biはんだ中のBi濃度を低減することが考えられている。そこで、本検討ではSn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biはんだの基板再加熱時のリード部品接合強度評価を行うとともに冷熱サイクルおよび高温保持信頼性評価を行い、Sn-Pbめっき部品実装時の再加熱時剥離予防の効果を検討した。

2. 実験方法

2.1 サンプル作製条件

表1に今回の実験に用いたサンプルの作製条件を示す。

表1 用いた部品仕様とサンプル作製条件

Table 1 Specimens and soldering conditions.

基板仕様		FR4 両面基板の片面に実装			
基板サイズ		170mm × 100mm × 0.8mm			
基板表面処理		Cu+耐熱ブリフラックス			
基板再加熱時強度評価	リード部品	めっき	リード材	ピン数	リードピッチ
		Sn-10Pb	Cu	144	0.4mm
冷熱サイクル・高温保持信頼性評価	リード部品	めっき	リード材	ピン数	リードピッチ
		Sn-1.5Cu	Cu	144	0.4mm
	チップ部品	めっき	種類	サイズ	
		Sn	抵抗	1005	
はんだペースト		Sn-8Zn-1Bi Sn-8Zn-3Bi			
印刷ステンシル		t=0.15mm			
リフローピーク温度		220℃			
リフローO ₂ 濃度		1000ppm			

2.2 基板再加熱時強度評価

Sn-Pbめっき部品実装後の基板再加熱時の接合強度評価検討用サンプルは、25℃から150℃まで基板を再加熱した際、25℃毎にリード引張り試験を行いその接合強度を測定した。リード引張り試験は、図1に示す

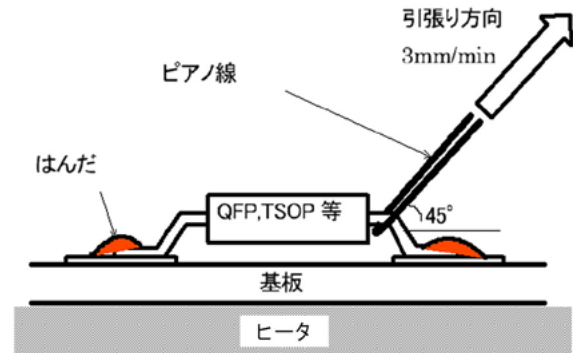


図1 QFP リード引張り試験方法

Fig. 1 Method of QFP lead pull test.

ようにQFPリード部を引張り速度3mm/minで各5個測定した。基板加熱時の強度測定は、基板にシートヒータを貼り付け、基板上の温度を熱電対で測定しながら行った。また、加熱温度150℃における引張り試験剥離面のSEMおよびEPMA観察を行い、剥離のメカニズムを検討した。

2.3 信頼性試験

信頼性試験は、-40℃ 30分～125℃ 30分の冷熱サイクル試験および125℃の高温保持試験をそれぞれ1000サイクルならびに1000時間まで行った。接合強度評価は、250サイクル（時間）毎にリード引張り試験、チップシエア試験を行った。リード引張り試験は図1に示した方法で行った。チップシエア試験は、図2に示すように1005チップ抵抗部品をツール速度0.4mm/secで各5個測定した。また、SEMおよびEDXによる接合断面観察を行い、初期と1000サイクル（時間）後の接合界面状態の変化を検討した。

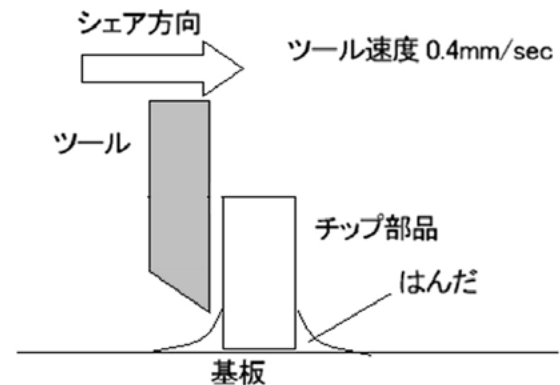


図2 チップシエア試験方法

Fig. 2 Method of chip shear test.

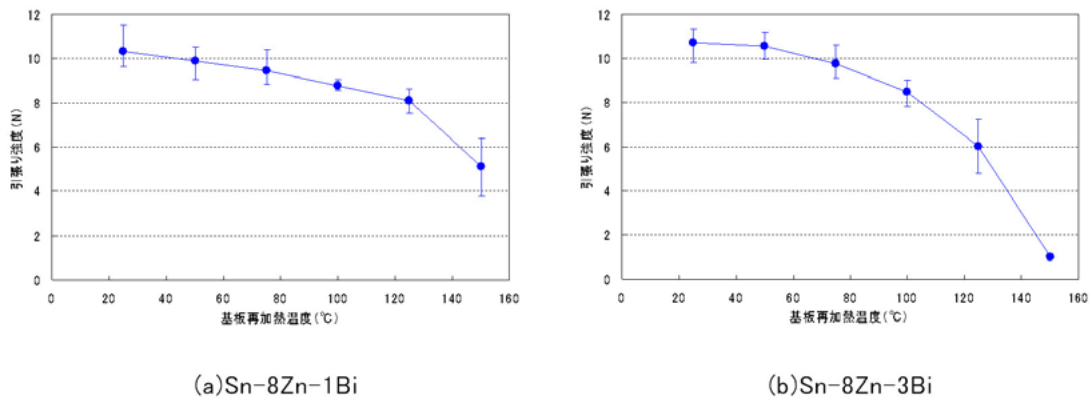


図3 基板を再加熱した時の接合強度変化

Fig. 3 Change in joint strength when the board is reheated.

3. 実験結果と考察

図3にSn-Pbめっき部品を実装後に基板を再加熱した時の接合強度変化を示す。図より基板を再加熱すると接合強度が実装直後の値から徐々に低下しているのがわかる。Sn-8Zn-1Biの接合強度の低下に比べ、Sn-8Zn-3Biは強度低下が大きく、はんだ中のBi濃度と強度低下率に関係があることがわかる。Sn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biの基板再加熱温度150°Cにおける接合強度の平均値は、それぞれ5.1Nと0.9Nであった。Sn-8Zn-1Biは、加熱した基板を再び室温に戻した時、加熱する前とほぼ同じ強度が得られた。基板再加熱温度150°Cにおける剥離モードは、実体顕微鏡観察の結果基板Cu電極とはんだ界面の剥離であった。

図4にSn-8Zn-1BiおよびSn-8Zn-3Biの基板再加熱温度150°Cにおける基板Cu電極側剥離面のSEMおよびEPMA観察結果を示す。いずれの剥離面もPbとBiが同じ箇所が存在し、Cu-Zn化合物相の表面にBi-Pb濃化相が分布していることがわかる。この結果はSn-Zn-Bi系はんだでSn-Pbめっき部品を実装した場合、Cu電極とはんだの界面にSn-Bi-Pb相が形成され、基板再加熱時にこの相が起因して著しく強度が低下することを示唆している。はんだ中のBi濃度を低減することにより、Sn-Bi-Pb相の生成量が減少したことと、Sn-Bi-Pb相中のBi濃度が減少、Sn-Bi-Pb相自体の融点が増加したことにより、再加熱時の強度に差が生じているものと推測されるが、定量的な評価は今後の課題である。

図5にSn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biはんだの冷熱サイクル信頼性試験結果を示す。冷熱サイクル1000サイクル後まで両はんだの接合強度に差は見られないことがわかる。

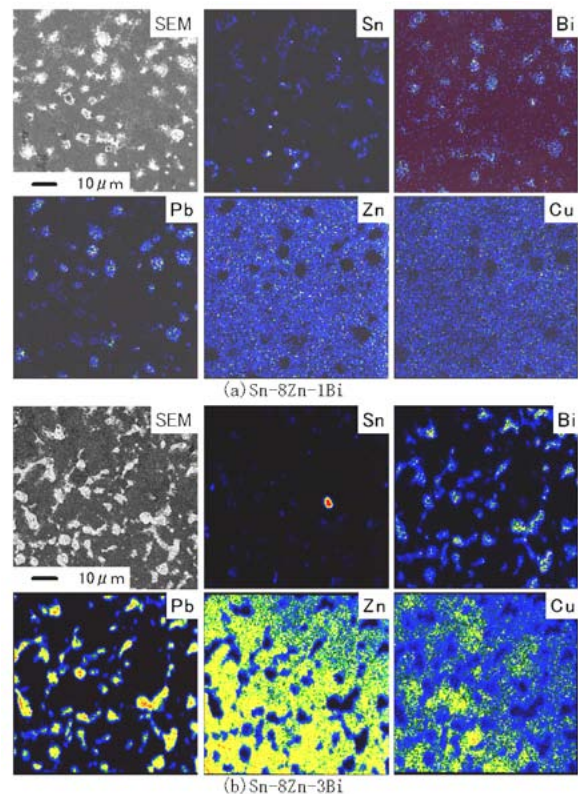


図4 再加熱基板温度 150°Cにおける基板電極側剥離面分析結果

Fig. 4 SEM and EPMA analysis of fracture surface of Cu electrode side at 150°C.

接合界面状態を調べるため、はんだと基板Cu電極との接合界面の断面分析を行った。図6に実装直後の接合界面の断面SEM、EDX分析結果を示す。過去に報告されているとおり¹⁾、Sn-Zn-BiはんだとCu電極との間にCu-Zn系金属間化合物が見られる。化合物層の厚さはSn-8Zn-1Biが1.1～1.8μm、Sn-8Zn-3Biが1.1～

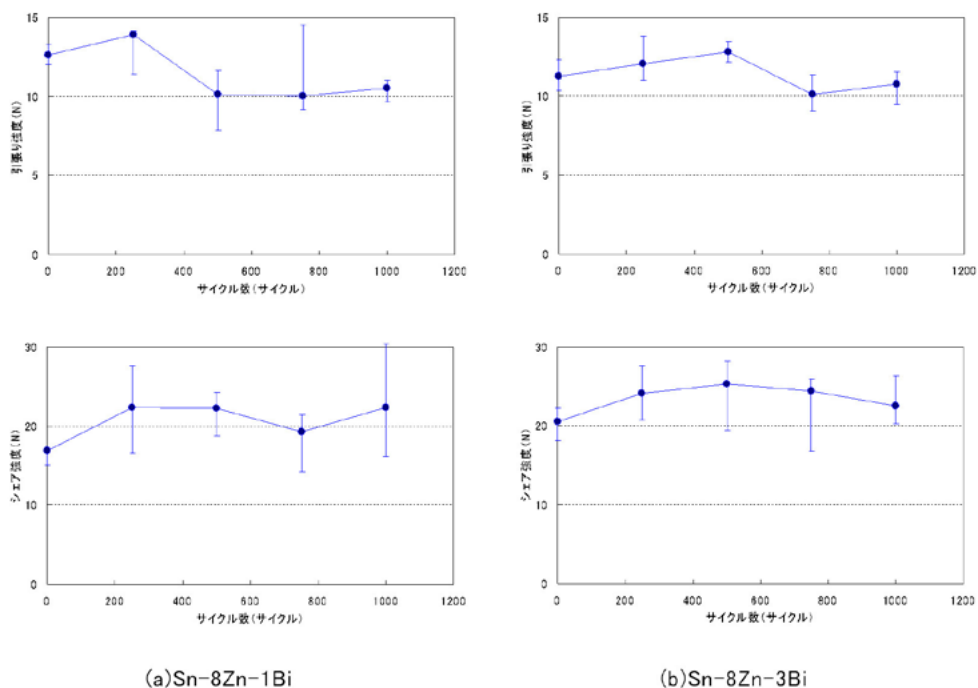


図5 冷熱サイクル試験結果
Fig. 5 Results of thermal cycle test.

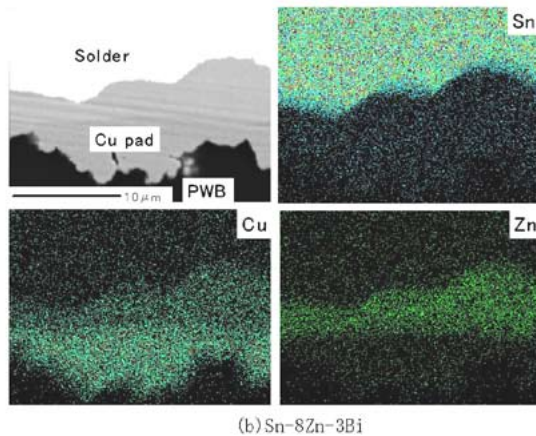
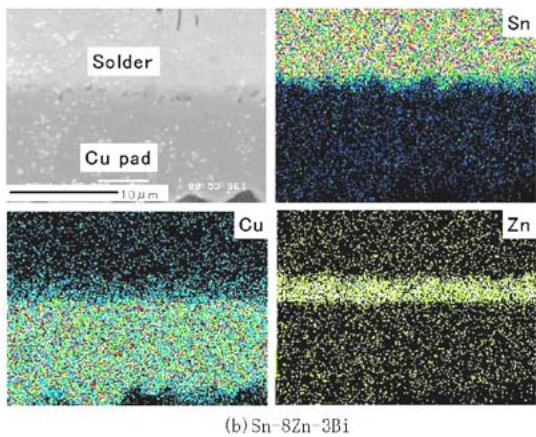
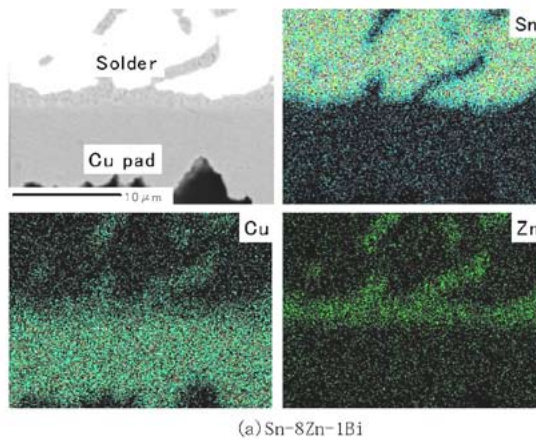
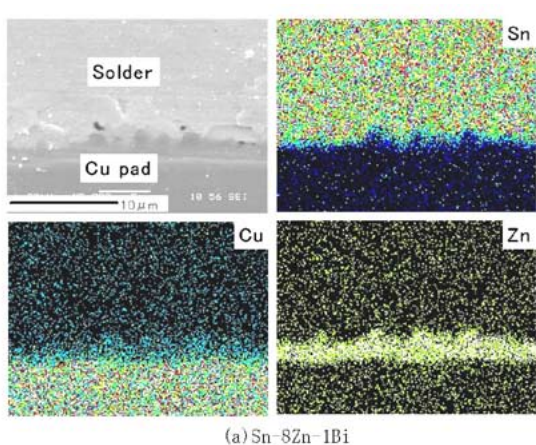


図6 実装直後の接合界面分析結果
Fig. 6 Cross section at the joint interface after reflow.

図7 冷熱サイクル1000サイクル後の接合界面分析結果
Fig. 7 Cross section at the joint interface after thermal cycle test (1000 cycles).

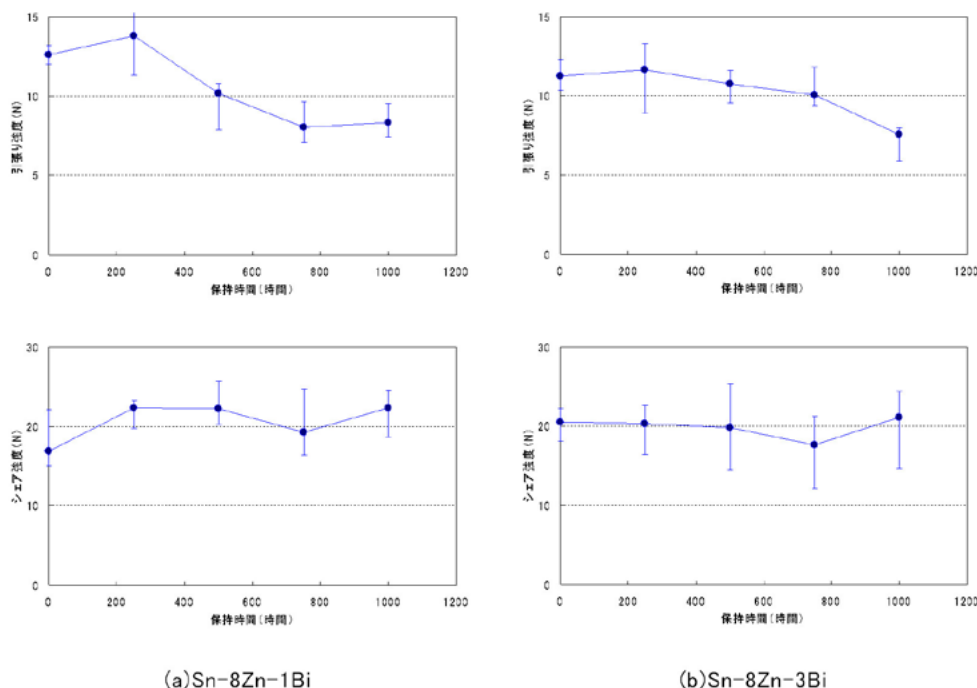


図8 高温保持試験結果

Fig. 8 Results of high temperature storage test.

1.4μmでほとんど差が見られなかった。

図7に冷熱サイクル1000サイクル後のはんだと基板Cu電極との接合断面のSEMおよびEDX分析結果を示す。実装直後と比較してCu-Zn系化合物層の成長が見られる。化合物層は厚いところでSn-8Zn-1Biが6.0μm, Sn-8Zn-3Biが6.8μmまで成長しているが、両はんだ間で顕著な差は見られなかった。1000サイクル後の強度に変化は見られないことからCu-Zn系化合物は強度に影響していないことがわかる。以上の結果から、Sn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biの冷熱サイクル後の接合強度および接合界面状態に差はなく、冷熱サイクル信頼性は同等であることがわかった。

図8にSn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biはんだの高温保持信頼性試験結果を示す。高温保持1000時間後まで両はんだの接合強度に差は見られないことがわかる。

図9に高温保持1000時間後のはんだと基板Cu電極との接合断面のSEMおよびEDX観察結果を示す。高温保持後も、実装直後と比較してCu-Zn系化合物の成長が見られる。Cu電極とSn-Zn-Biはんだ間の化合物層は厚いところでSn-8Zn-1Biが5.5μm, Sn-8Zn-3Biが5.1μmまで成長しているが、両はんだ間で顕著な差は見られない。以上の結果から、Sn-8Zn-1BiとSn-8Zn-3Biの高温保持後の接合強度および接合界面状態に差はなく、高温保持信頼性は同等であることがわかった。

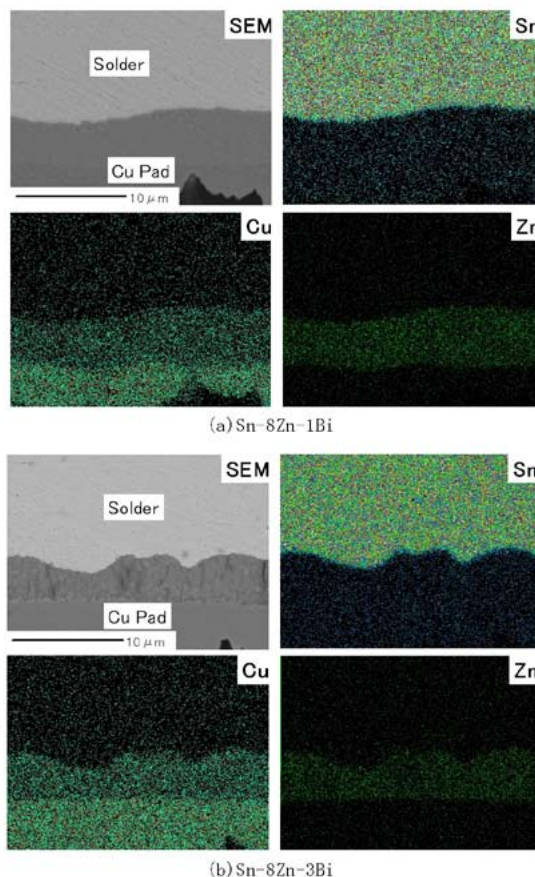


図9 高温保持 1000 時間後の接合界面分析結果

Fig. 9 Cross section at the joint interface after high temperature storage test (1000 hours).

むすび

今回の報告では、Sn-Zn-Biはんだの組成を変えることで界面のSn-Bi-Pb層の形成状態を変化させ、再加熱時の接合強度の改善を行った。はんだ実装においては、接合界面に形成される金属間化合物が接合強度、信頼性に与える影響は大きく、このような金属間化合物形成に関する冶金学的な知見を得て、実装技術開発に活かすことが重要である。

今回の検討では、低融点はんだであるSn-Zn-Biはんだの再加熱時の接合強度を改善し、リペア性の向上が図れた。設備や省エネの観点から、従来のリフロー温度で実装可能な低融点無鉛はんだへの要望は大きい。Sn-Zn系低融点はんだは、金属材料のコストが低く、機械的特性に優れるという特長がある一方、Znの反応性が高いという性質を合わせ持つことから、高温高湿信頼性、大気リフロー、フロー実装への対応等の課題が残されている。さらなる適用範囲の拡大のためには、今後これらの課題を解決していく必要がある。

謝辞

本検討を行うにあたり多大なご協力を頂きました情報通信事業本部、環境安全本部の関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 菅沼克昭他, “低温鉛フリーはんだ実装技術開発プロジェクト”, 第12回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, pp. 167-170 (2002)
- 2) 竹本正他, “鉄系合金と鉛フリーはんだの反応”, エレクトロニクス実装学会誌, 6, pp. 496-502 (2003)
- 3) 坂本一三, “ウイスカ試験方法分科会”, JEITA 鉛フリーはんだ実用化検討の2003年成果報告書, pp. 1-10, 社団法人電子情報技術産業協会(2003)
- 4) 谷川雅信, “シャープの無鉛はんだ実装技術”, 鉛フリー実装技術2004徹底検証講演予稿集, pp. 49-64, 電子ジャーナル(2004)
- 5) 山他, “SnPbめっきと鉛フリーはんだとの低融点反応層の再溶解温度測定”, エレクトロニクス実装学会誌, 8, pp. 144-149 (2005)
- 6) Teh-Hsuan Ho et al., “Die Dreistoffsysteme Blei-Kadmium-Wismut und Blei-Zinn-Wismut”, Zeitschrift für Metallkunde, 44, pp. 127-129 (1953).

(2006年6月12日受理)