

平成21年5月14日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560728  
 研究課題名(和文) 第三元素添加による Sn-Bi 系低温実装対応鉛フリーはんだの共晶組織微細化効果  
 研究課題名(英文) Effect of Third Element Addition on Eutectic Microstructure of Lead Free Low Temperature Sn-Bi Based Solders  
 研究代表者  
 上西 啓介 (UENISHI KEISUKE)  
 大阪大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：80223478

## 研究成果の概要：

Sn-Bi 共晶系はんだは、その融点が 140℃と低いため、低温実装用材料として期待されている。しかし、その延性が乏しいことが実用化の阻害要因となっており、その改善が求められている。研究者らはこれまで、Sn-Bi 共晶はんだに 1mass%以下の Ag を添加することにより、共晶組織を微細化し、延性を改善することができることを報告した。また Ag 以外には Cu、Ge などの元素を添加することによっても同様な微細化効果があることが確認された。

更に添加元素として Sb を添加量を 1mass%以下に制御することにより、比較的遅い冷却速度においても Sn/Bi の共晶組織を著しく微細化することが明らかとなった。この材料は引張り試験による伸びが 40%以上と、従来の Sn-Pb 共晶はんだよりも延性にすぐれ、かつ融点が 140℃前後の新しい低融点はんだ材料として有望であることが確認された。Sb 添加が有効である要因としては、元素添加により新たに形成する金属間化合物相が、他の添加元素では晶出によって形成されるため、ローカルには粗大化したものが形成されやすいのに対して、Sb を添加したときに形成する SnSb 相は過飽和な Sn 固溶体から析出するため、微細に Sn と Bi の粒界に分散するためであることが、計算状態図による熱力学的考察により明らかとなった。

この開発した Sn-Bi-Sb はんだ BGA ボールを用いて、Cu 基板との接合を行ったところ、160℃という従来のはんだ材料の場合よりも低温のリフローで接合が可能でバンププル引張り試験によっても高い引張り強度を示すなど、その接合性も良好であることが確認された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：鉛フリーはんだ、低温接合、マイクロ接合、界面反応、信頼性評価

## 1. 研究開始当初の背景

様々な電子機器の高機能化や軽薄小型化が進み、それに伴って実装基板及び部品が薄型化、多層化し、部品間距離が縮まっている。部品が集積した箇所では総熱容量が大きくなるために温度上昇しにくく、実装温度の上昇や長時間化が余儀なくされる。しかし、集積箇所と非集積箇所では熱容量に差が生じているために温度分布の差が大きく、非集積箇所においては集積箇所よりも基板や部品が熱影響を受けやすくなるため、その熱影響を抑えるための手段として、低温実装を行なう必要がある。その実現のためには新しい低融点のはんだ材料の開発が必須である。その1つとして Sn-58Bi はんだが挙げられるが、Bi が硬く脆い性質を持つため、延性に乏しいという問題がある。

## 2. 研究の目的

延性改善の手段として、第三元素を添加させて共晶組織を微細化させるといった事が考えられており、例えば Ag 添加による効果が報告されている。しかし、我々のこれまでの研究により、熱疲労などの低歪み速度条件では延性が確保されるものの、落下衝撃のようなより速い歪み速度においては、Ag の効果は十分では無く、新たな他の元素添加による延性改善を検討する必要がある。本研究では、種々の第三元素の添加により添加元素がはんだの組織や特性に及ぼす影響について詳しく調査を行ない、延性改善に有効な元素探索とその要因について考察した。

## 3. 研究の方法

供試材として、Sn-58Bi はんだに Cu、Ge、Sb、Zn を 0.5wt% 添加した合金を用いた。第三元素を添加した Sn-Bi 系はんだの延性を調査するために引張試験を行ない、評点部分の破断伸びを測定する事で Sn-Bi 系はんだの延性を評価した。さらに延性改善の傾向が最も見られた第三元素については、添加量を 0.1~5.0wt% とし、引張速度を 3mm/min 及び 0.5mm/min に設定して同様に実験を行なった。また、ビッカース硬さ試験により第三元素の添加によるはんだの硬度を調査した。試験条件は荷重 0.98N、負荷時間 10 s とし、3箇所測定した平均値をビッカース硬さの値とした。さらに、SEM にてはんだの組織及び試験片の破断面を観察し、はんだ組織の生成相の同定や添加元素の濃度分布を調査するために XRD 及び EPMA による元素分析を行なった。

## 4. 研究成果

引張試験を行なったところ、図 1 に示すように Sn-57Bi-0.5Zn はんだ、Sn-57Bi-1.0Ag はんだ以外では破断伸びが上昇した。特に Sb を添加した合金が最も大きい破断伸びを示

し、延性改善の傾向が見られた。はんだ組織中の添加元素の状態を観察したところ、Sb 以外の添加元素では、添加元素もしくは添加元素と Sn の金属間化合物が粗大に形成されており、延性の低下に影響していると考えられる。

次に最も延性改善の見られた Sb について、添加量及び引張速度を変化させて引張試験を行なった。図 2 に引張速度 3mm/min にて Sb 添加量を変化させて試験した結果について示す。いずれの引張速度においても 0.1~1.0wt%Sb 添加合金では延性の改善が見られ、最も延性を示した 0.5wt%Sb 添加合金では引張速度の上昇による破断伸び低下の影響も少なく、良好な延性を示した。0.5wt%Sb 添加合金では、微視的様相を観察するとディンプルが確認され、破断形態が脆性破壊から延性破壊へ移行した。また、はんだの共晶組織を観察したところ、0.5wt% 添加した場合に最も微細となっていた。XRD の結果より Sb 添加した Sn-Bi 系はんだは Sn、Bi、及び金属間化合物 SnSb から構成されていた。そして、EPMA の面分析の結果から Sb 添加量が 1.0wt% 以下では  $1\mu\text{m}$  以下の微細な SnSb が Sn 相と Bi 相の境界に点在していた。一方、添加量が 3.0wt% を越えると  $10\mu\text{m}$  オーダーの SnSb が晶出した。

このような組織の形成機構を考察するため、熱力学計算より計算状態図を作成したところ、三元共晶組成を超える第三元素の過剰な

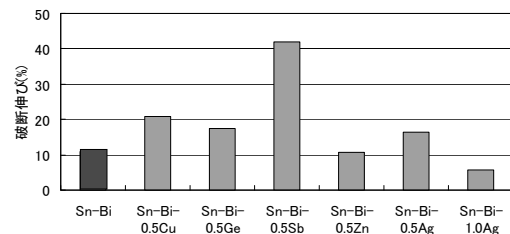


図 1 Sn-57Bi-0.5X 破断伸び

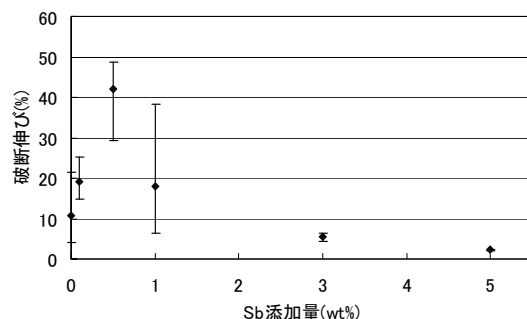


図 2 Sn-57Bi-xSb 破断伸び

添加によって液相線は上昇するため、金属間化合物もしくは添加元素の初晶が晶出する

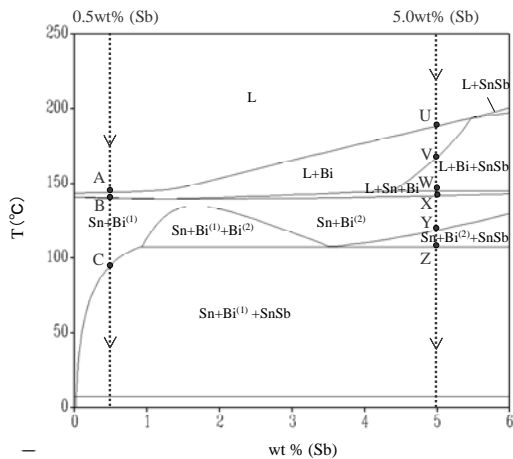


図3 Sn-57Bi-Sb 三元系状態図

可能性があり、その金属間化合物等の初晶が成長して延性の低下を招く恐れがあることが明らかとなった。一方で、図3に示すようにSbを1.0wt%以下にて添加すると液相線の上昇はあるものの、SnSbの生成は晶出ではなく、固体のSn中からの析出によって形成するために化合物相は粗大化せず、延性は低下しないと考えられる。

以上の事より、Sn-Bi系はんだへのSbの添加は比較的速い歪み速度においても延性の改善に効果があり、低温実装を実現するための低温対応はんだ材料として有望であることを示した。

#### 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)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 金児仁史、中西徹洋、鳥居久範、赤松俊也、作山誠樹、上西啓介、佐藤武彦  
第三元素添加によるSn-Bi共晶はんだの組織微細化と延性改善効果  
第15回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム (MATE2009) 論文集 Vol. 15, pp. 345-348 (2009) 査読有
- ② 作山誠樹、赤松俊也、上西啓介、佐藤武彦  
低応力実装に向けたSn-Bi低温接合技術  
電子情報通信学会論文誌C、Vol. J91-C, No. 11, pp. 534-541 (2008) 査読有
- ③ 金児仁史、鳥居久範、赤松俊也、作山誠樹、上西啓介、佐藤武彦  
Sn-Bi共晶はんだへの第三元素添加効果  
第18回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (MES2008) 論文集 Vol. 18 p. 203-206 (2008) 査読有

- ④ Keisuke Uenishi, H. Torii, S. Nakajima, T. Akamatsu, S. Sakuyama and Takehiko Sato  
Effect of Ag Addition to Sn-Bi Eutectic Solders on the Microstructure and Properties of Joints with Cu  
Proceedings of International Conference on Electronics Packaging, 2007, Tokyo Japan, (2007) p.193-196 (2007) 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 金児仁史、中西徹洋、鳥居久範、赤松俊也、作山誠樹、上西啓介、佐藤武彦  
第三元素添加によるSn-Bi共晶はんだの組織微細化と延性改善効果  
第15回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム (MATE2009) (2009年2月 横浜)
- ② 金児仁史、鳥居久範、赤松俊也、作山誠樹、上西啓介、佐藤武彦  
Sn-Bi共晶はんだへの第三元素添加効果  
第18回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (2008年9月 京都)
- ③ Keisuke Uenishi, H. Torii, S. Nakajima, T. Akamatsu, S. Sakuyama and Takehiko Sato  
Effect of Ag Addition to Sn-Bi Eutectic Solders on the Microstructure and Properties of Joints with Cu  
International Conference on Electronics Packaging 2007 (2007年4月 東京)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：はんだ、はんだ付け方法および半導体装置  
発明者：上西啓介、作山誠樹、赤松俊也、鳥居久範、金児仁史  
権利者：富士通研究所、大阪大学  
種類：特許  
番号：特願 2009-013893  
出願年月日：平成 21 年 1 月 26 日  
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.mit.eng.osaka-u.ac.jp/td2/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上西 啓介 (UENISHI KEISUKE)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：80223478

(2) 研究分担者

佐藤 武彦 (SATO TAKEHIKO)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60379112

(3) 連携研究者

荘司 郁夫 (SHOUJI IKUO)  
群馬大学・工学部・准教授  
研究者番号：00323329