

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	于 美 琪
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
論 文 題 目 Alloy design of Bi systems for high temperature solders and their characterizations (高温はんだ用 Bi 系合金の設計と特性評価)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	松 木 一 弘	印
審査委員	教 授	佐 々 木 元	印
審査委員	准教授	曙 鉦之	印
審査委員	助 教	崔 龍範	印
審査委員	前 神戸大学特命教授	末次 憲一郎	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文では、高温用はんだの中でも低温領域での実装に適応すべく Bi 系合金を候補とし、有望合金の効率的な開発技術の確立を検討した。合金の組成最適化に分子軌道計算の一つである DV-Xα クラスタ法から得られた電子パラメータを用い、電子パラメータと組織および機械特性の相関を検討したうえで有望組成合金を提唱し、それらを溶製して高温はんだ合金として具備すべき特性の評価を行った。</p> <p>第1章では、鉛フリー高温はんだ合金の応用領域と、今までの鉛フリーはんだ合金開発状況および各種合金設計方法について紹介すると共に、本論文の研究目的と記述している。</p> <p>第2章では、Bi クラスタ中の合金化元素の s 軌道エネルギー準位 (Mk) を用い、従来の Bi 合金の組成平均である $\angle Mk$ と機械・物理的特性との相関関係が示され、組成最適化に使用可能であるため、Bi 系はんだ合金の組成決定パラメータに用いた。そこで、$\angle Mk$ 値が 0.013-0.343 の二元系実験合金 Bi-Cu/-Ag/-Zn を設計・溶製し、これら合金の $\angle Mk$ 値と機械的特性の関係を調査した。硬度、最大引張強さおよび破断伸びと 293K における $\angle Mk$ との間には相関関係がある。なお、423K で測定した実験合金の最大引張強さ、破断伸びと $\angle Mk$ との相関関係は、293K と同様傾向を示した。よって、この相関関係は、引張試験温度および合金組成に関係悪く、$\angle Mk$ による引張特性推定が可能であること有用性を示唆している。</p> <p>第3章では、第2章で得られた $\angle Mk$ と引張特性の相関関係から、有望組成合金として三元系 Bi-2.0Ag-0.5Cu ($\angle Mk$: 0.180) と Bi-5.0Ag-0.5Cu ($\angle Mk$: 0.379) を設計した。293 K における二種の合金の引張特性 (σ_{UTS}: 21.7~26.8 MPa、ϵ_f: 2.8~4.7%) と 423 K における二種の合金の引張特性 (σ_{UTS}: 9.8~11.5 MPa、ϵ_f: 35.3~43.4%) は、第2章の $\angle Mk$ と引張特性との相関図の予想に概ね合致し、合金系が異なっても $\angle Mk$ が Bi 系合金の引張特性を予測するのに有用な指標であることが再確認できた。なお、上記の二種の有望組成合金の融点(536 および 538 K)、熱伝</p>			

導率(18.7 および 19.1 $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$)および有望組成合金とCu板との濡れ接触角(28 および 30 degree)は、高温用はんだの応用に適していることが確認できた。

第4章では、実際のはんだ合金の応用を加味して、有望組成合金 Bi-5.0Ag-0.5Cu のヒートサイクル試験を行い、また汎用はんだ合金 Sn-3.0Ag-0.5Cu および Pb-20Sn の二種を比較合金とした。実装の前処理としての Bi および Sn めっきを施した。特に Bi めっき処理を施した電子基板に Bi-5.0Ag-0.5Cu をはんだ付けしたものは、600 サイクル後に表面クラックが発生し、他の比較合金(Sn めっきを施した Bi-5.0Ag-0.5Cu: 50 サイクル後、Sn-3.0Ag-0.5Cu: 50 サイクル後、Pb-20Sn: 100 サイクル後)のものより優れた耐熱疲労性を有することが確認された。なお、Bi-5.0Ag-0.5Cu と Bi めっきを施した Cu 板の接合強度試験を行った、Bi-5.0Ag-0.5Cu 合金は接合部が剥離に至る前に Bi 合金部で破断が生じた。Cu 板に Bi めっきを施すことで、Bi-5.0Ag-0.5Cu は Cu と良好に接合できたことが確認できた。これは Bi-5.0Ag-0.5Cu は高温はんだとして使用可能性を示唆する。

第5章では、上記の調査の結果を要約した。有望組成 Bi 合金二種の強度、延性、熱伝導率、融点、銅と実験合金融液の接触角などの各特性とも、実用に充分供することができるものであると判断する。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考：審査の要旨は、1、500 字以内とする。