The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Sn-Ag-Bi-In系はんだ実装部の耐熱疲労特性向上に及ぼす添加元素の影響 |
| Author(s) | 日根, 清裕 |
| Citation | 大阪大学, 2017, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/61768 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

# 論　文　内　容　の　要　旨

| 氏　名　（　　日根　清裕　　） | |
|---|---|
| 論文題名 | Sn-Ag-Bi-In系はんだ実装部の耐熱疲労特性向上に及ぼす添加元素の影響 |

論文内容の要旨

本論文は車載電装デバイスの今後の技術課題となる、はんだ接合部の高温環境での耐熱疲労特性確保の実現を目指し、Sn-Ag-Bi-In系はんだの添加元素の材料物性、界面反応、接合部の耐熱疲労特性に与える影響とメカニズム解明を目的とし、論文全体は6章で構成した。

第1章においては、車載電装デバイスの技術動向から、車載電装デバイスにおけるさらなる高温環境での耐熱疲労特性確保に関する現状とこれまでの研究の課題、本研究の必要性について述べた。

第2章においては、本研究における評価手法の検討を行い、車載電装デバイスの実使用環境における耐熱疲労特性およびはんだの状態変化との相関付けのための評価手法について言及した。

第3章においては、まず耐熱疲労特性に優れるSn-3.5Ag-0.5Bi-6.0In (SAB6I)の、耐熱疲労特性を発現するメカニズムについて、相変態、機械的特性に与えるIn添加率の影響の観点で評価を行った。SAB6Iは温度の上昇と共に破断伸びの上昇を示すことを確認し、この延性向上が耐熱疲労特性に大きな影響を与えることを明らかにした。In添加率の上昇と共に、相変態はより低温から発生し、より低温で相変態挙動が発生するほど、より低温から延性の向上が確認された。相変態の発生により、Sn-Ag-Bi-In系はんだは$\beta$-Sn/$\gamma$ ($InSn_4$)共存状態に変化し、粒界すべりが促進されて粒界すべりの寄与が大きくなることを、ひずみ速度感受性指数と組織状態の評価から明らかにした。本章の研究によって、高温延性が向上することで、温度サイクル中のクラック発生に至るまでの非弾性ひずみの許容量が大きくなり、耐熱疲労特性が向上することを明らかにすることができた。

第4章では、機器使用時のはんだの状態変化による耐熱疲労特性の低下について、Au/Niめっき電極を被接合材として用いた場合の繰り返し温度サイクル試験と接合界面状態の解析により、界面反応と金属間化合物の成長に対する被接合材の影響と、微量のCu添加の効果を評価した。SAB6IとAu/Ni電極との接合では、Cuプリフラックス電極との接合の場合と異なり、接合界面にNi3Sn4が形成され、温度サイクルによって大きく成長すると共に$Ni_3Sn_4$層でのIn濃化を明らかにした。はんだ中のIn添加率が約20%減少すること、それによって高温延性の低下を招き耐熱疲労特性が低下することを定量分析によって明らかにした。Cu添加により、金属間化合物として$(Cu, Ni)_6Sn_5$が形成され、In濃化を抑制することを確認した。Niめっきのはんだ側への拡散速度が小さくなることによって、金属間化合物層の成長が抑制され、はんだのIn添加率の低下を抑制してはんだの状態変化による耐熱疲労特性低下を抑制できるというCu添加時の接合界面反応メカニズムを明らかにすることが出来た。

第5章においては、今後の車載デバイスにおいて要求される、最高175℃の高温環境での耐熱疲労特性の確保に向けた新たなはんだ材料の創出を試みた。In添加による$\beta$-Snと$\gamma$ ($InSn_4$)の相変態にによる耐熱疲労特性向上に着目し、熱力学の観点から微量のSb元素の添加による相変態温度の制御を検討した。Sb添加率の増加と共に、相変態をより高温に制御できること、少量のSb(0.5)を添加した場合に高温延性が向上するという新たな現象を明らかにした。相変態温度が機器の最高使用温度である175℃を超えるSb添加率(1.0)の場合が、繰り返し温度サイクルによる接合部の劣化が最も抑制されることを実証し、所定の温度環境における耐熱疲労特性を確保するためには、使用環境における最高温度よりも相変態温度が高くなるようはんだを設計することが最も重要であるというはんだ設計指針を示すとともに、実用化に向けた課題を示すことができた。

最後に第6章にて本論文のまとめを行った。

様式 7

# 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏　名　（　日根　清裕　） | | |
|---|---|---|
| 論文審査担当者 | （職） | 氏　名 |
| | 主 査　教　授 | 上西　啓介 |
| | 副 査　教　授 | 廣瀬　明夫 |
| | 副 査　准教授 | 森　裕章 |

## 論文審査の結果の要旨

車載電装デバイスにおいては、今後、より高温環境での信頼瀬の確保が重要である。本研究は電装デバイスにおける、はんだ接合部の高温環境での耐熱疲労特性向上を目的とし、自社で開発した Sn-Ag-Bi-In 系はんだについて、合金組成や添加元素が、はんだの材料物性、基板との界面反応、および接合部の耐熱疲労特性に与える影響を調査し、そのメカニズムの解明を試みた。その成果を要約すると次の通りである。

(1) 耐熱疲労特性に優れる Sn-3.5Ag-0.5Bi-6.0In (SAB6I)の、耐熱疲労特性を発現するメカニズムについて、相変態、機械的特性に与える In 添加率の影響の観点で評価を行った。SAB6I は温度の上昇と共に破断伸びの上昇を示すことを確認し、この延性向上が耐熱疲労特性に大きな影響を与えることを明らかにした。In 添加率の上昇と共に、相変態はより低温から発生し、より低温で相変態挙動が発生するほど、より低温から延性の向上が確認された。相変態の発生により、Sn-Ag-Bi-In 系はんだは $\beta$-Sn/$\gamma$(InSn$_4$)共存状態に変化し、粒界すべりが促進されて粒界すべりの寄与が大きくなることを、ひずみ速度感受性指数と組織状態の評価から明らかにした。以上より、高温延性が向上することで、温度サイクル中のクラック発生に至るまでの非弾性ひずみの許容量が大きくなり、耐熱疲労特性が向上することを明らかにした。

(2) 機器使用時の耐熱疲労特性の低下について、Au/Ni めっき電極を被接合材として用いた場合の繰り返し温度サイクル試験と接合界面状態の解析により、界面反応と金属間化合物の成長に対する被接合材の影響と、微量の Cu 添加の効果を評価した。SAB6I と Au/Ni 電極との接合では、接合界面に Ni$_3$Sn$_4$ が形成され、温度サイクルによって大きく成長すると共に Ni$_3$Sn$_4$ 層での In が濃化し、逆に、はんだ中の In 量が約 20%減少することを確認した。このはんだ中の In 量の減少が、はんだの高温延性を低下させ、耐熱疲労特性が低下することを明らかにした。この対策として、はんだに Cu を添加することにより、界面反応層として形成する金属間化合物が成長速度の遅い(Cu, Ni)$_6$Sn$_5$ に変化し、はんだ中の In 量の低下を抑制することにより、耐熱疲労特性低下を抑制できることを明らかにした。

(3) 今後の車載デバイスにおいて要求される、最高 175℃の高温環境での耐熱疲労特性の確保に向け、微量の Sb 元素の添加による相変態温度の制御と耐熱疲労特性の向上を試みた。Sb 添加率の増加と共に、相変態をより高温に制御できること、少量の Sb(0.5)を添加した場合に高温延性が向上するという新たな現象を明らかにした。相変態温度が機器の最高使用温度である 175℃を超える Sb 添加率(1.0)の場合が、繰り返し温度サイクルによる接合部の劣化が最も抑制されることを実証し、所定の温度環境における耐熱疲労特性を確保するためには、使用環境における最高温度よりも相変態温度が高くなるようはんだを設計することが最も重要であるという設計指針を示すとともに、実用化に向けた課題を示した。

以上のように、より過酷な使用環境における信頼性を有するはんだ材料の開発が求められる中、本研究は材料組成と組織、変態挙動と耐熱疲労特性との関係を詳細に調査することにより、はんだの融点を向上させることなく、耐熱疲労特性を向上させる、新たな材料を開発したものである。これは今後、エレクトロニクス製品が自動車など幅広い製品に適用されるための、新たな方向性を示すもので、エレクトロニクス実装技術の今後の開発研究に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものとして認める。