OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Characteristics of interfacial reaction between Sn-Cu solder alloys with trace elements and Cu substrates
Author(s)	Bang, Jung Hwan
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73574
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (BANG JUNG HWAN)	
Title	Characteristics of interfacial reaction between Sn-Cu solder alloys with trace elements and Cu substrates (微量元素添加Sn-Cuはんだと Cu基板間の界面反応特性)

In this dissertation, new approaches of Pb-free solders with some additional elements were proposed and analyzed for improving characteristics of the solder joints in electronic packaging of automotive electronics under harsh environments.

In chapter 1, described the research back ground of my dissertation.

In chapter 2, the fabrication process and basic properties of the Sn-Cu solders containing Cr and Al(Si) to improve the property of the Sn-Cu solder for applying to automotive electronics were reported. When Cr and Al(Si) were doped in the Sn-Cu solder, the melting temperature was approximately 3 ° C higher than the Sn-Cu solder. Furthermore, the addition of Cr and Al(Si) could effectively disperse the β-Sn + Cu-Sn IMC networks in the solder matrix.

In chapter 3, the IMC growth behaviors and mechanical properties of the interfaces between Al(Si)-added Sn-Cu (SC-Al(Si)) solder and Cu substrate were studied, and the results were compared to the conventional SC07 solder. When Al(Si) was doped to the Sn-Cu solder, The IMC growth rate of the SC-Al(Si)/Cu joint was slower than that of the SC07/Cu joint under multi-reflow processes.

In chapter 4, the IMC formation and growth behavior of the Cr-added Sn-Cu (SC-Cr) solder/Cu joint were studied, and the results were compared to the Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) and Sn-0.7Cu (SC07) solder joints. The addition of Cr reduced undercooling or free energy for nucleation and critical nucleus size, which resulted in the formation of very fine Cu_6Sn_5 IMCs. Moreover, the IMC growth in the SC-Cr/Cu joint was more effectively inhibited than the SAC305/Cu and SC07/Cu joints. In particular, during various heat-treatments such as thermal aging, thermal shock and multiple reflows, the growth of Cu_3Sn IMC was greatly suppressed, which result in remarkably reducing the formation of the Kirkendall void between Cu_3Sn and Cu substrate due to suppress the interdiffusion by dispersed $CrSn_2$ near Cu_6Sn_5.

In chapter 5, the IMC growth behavior in the SC-Cr/Cu joint was evaluated using calculating the activation energy during isothermal aging at various temperatures, and the results were compared to the SAC305/Cu and SC07/Cu joints. The activation energies were 73.52, 57.31, and 77.96 kJ/mol for the SAC305/Cu, SC07/Cu, and SC-Cr/Cu joints, respectively. These results mean the IMC growth effectively can be suppressed by adding Cr. Meanwhile, the accelerated factors (AFs) were determined as 1.823, 1.327, and 1.987 for the SAC305, SC07 and SC-Cr solders, respectively after the thermal shock test with the range of -40 ° C to 150 ° C which are harsher than the field conditions. Using AFs, the predicted field life cycles of the SAC305, SC07 and SC-Cr solders were approximately 7,090, 7,287, and 12,366 cycles, respectively.

In chapter 6, the shear strength of the SC-Cr/Cu joint was evaluated after thermal treatment. The degradation rate of shear strength was lowest in SC-Cr/Cu joint compared to SAC305/Cu and SC07/Cu joints. From the results of fracture surface analysis, more ductile areas by inhibiting IMC growth and Kirkendall void were observed in the SC-Cr/Cu joint.

In chapter 7, an overall summary and conclusion of this dissertation are given.

In this dissertation, these results finally show that the properties of solder joint and interfaces can be improved when the minor elements such as Cr and Al(Si) were added to Sn-Cu solder alloy. Especially, the addition of 0.2 wt.% Cr can suppress the IMC growth and Kirkendall void formation, which result in improving the mechanical properties of the solder joint. Therefore, it will be expected that the Sn-Cu-0.2Cr (0.2 wt.% Cr) solder alloy will successfully applied to fabrications of electronic modules under harsh environments as a high-reliability solder material.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	(BANG JUNG HWAN)

	(職)	氏　名	
論文審査担当者			
主 査	教 授	西川　宏	(接合科学研究所)
副 査	教 授	桐原　聡秀	(接合科学研究所)
副 査	准教授	牟田　浩明	
副 査			
副 査			
副 査			
副 査			

論文審査の結果の要旨

本論文では、使用環境が過酷な自動車の電子モジュールにおけるはんだ接合部の特性向上を目的として、鉛フリーはんだに元素を微量添加することで、新しいはんだ材料の提案を行った。

第 1 章では緒論として鉛フリーはんだ及びそのプロセスに関するこれまでの研究動向及び本研究目的を述べた。

第 2 章では、自動車向け電子機器における使用を考慮し、Sn-Cu はんだ(SC07)の特性を改善するため Cr 及び Al(Si)を添加した Sn-Cu 系はんだを作製し、その製造工程及び基本特性を示した。Sn-Cu はんだに Cr と Al(Si)を添加することで、溶融開始温度は Sn-Cu はんだより約 3℃上昇した。また、Cr と Al(Si)の添加により、はんだマトリックス内に β-Sn + Cu-Sn IMC を効果的に分散させることができた。

第 3 章では、Al(Si)を添加したはんだ(SC-Al(Si))と Cu 基板の界面における金属間化合物 (IMC) の成長挙動および機械的性質を調べ、その結果を従来の SC07 はんだと比較した。SC07 に Al(Si)を添加することで SC-Al(Si)/Cu 接合部の IMC 成長速度はすべてのリフロー加熱条件において SC07/Cu 接合部の IMC 成長速度より遅くなった。

第 4 章では、Sn-Cu(SC-Cr)はんだ/Cu 接合部の IMC の形成及び成長挙動を観察し、その結果を Sn-3.0Ag-0.5Cu(SAC305)及び Sn-0.7Cu(SC07)はんだと比較した。Cr を添加することで、核生成及び臨界核の大きさに対する過冷却または自由エネルギー減少の影響により、非常に微細な Cu_6Sn_5 IMC が形成されることが分かった。

第 5 章では、多様な温度での高温放置試験による SC-Cr/Cu 接合部の IMC 成長挙動を、活性化エネルギーを計算することで評価し、その結果を SAC305/Cu や SC07/Cu 接合部と比較した。活性化エネルギーは SAC305/Cu、SC07/Cu、SC-Cr/Cu 接合部でそれぞれ 73.52、57.31 および 77.96 kJ/mol という結果が得られた。これらの結果より、Cr を添加することで IMC の 成長が効果的に抑制されたと考えられる。

第 6 章では、高温放置試験後に SC-Cr/Cu 接合部のせん断強度試験を行った。せん断強度の低下速度は SAC305/Cu と SC07/Cu 接合部に比べて SC-Cr/Cu 接合部が最も低い結果となった。せん断試験後の破壊断面分析より、SC-Cr /Cu 接合部で IMC の成長と Kirkendall ボイドが抑制され、より広範囲の延性領域が観察された。

第 7 章は結言であり、以上の研究で得られた結果について総括した。

本論文は Sn-Cu はんだ合金に Cr 及び Al(Si)を添加することで、汎用の Sn-Cu はんだ接合部の特性を改善させることができることを示したものであり、環境・エネルギー工学、特に今後の Co2 削減策として期待されている電気自動車などの電子モジュールに向けた有害物質代替プロセスや接合部高信頼性化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認める。