



Title	Novel bonding process using surface-modified microscale Cu particles for high-temperature electronic packaging
Author(s)	劉, 向東
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/67071">https://doi.org/10.18910/67071</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

	Name ( 劉向東 / LIU XIANGDONG )
Title	Novel bonding process using surface-modified microscale Cu particles for high-temperature electronic packaging (表面改質したマイクロサイズCu粒子による新たな高温電子実装用接合プロセス)
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>The purpose of this study was to develop surface-modified microscale Cu particles to obtain a high-performance joint for high-temperature electronic packaging application. Attempts were made to deal with the present challenges in Cu sintering technology. The dissertation presented two surface modification methods to improve the sinterability of microscale Cu particles. It covered the study of the process, performance, mechanism, and thermal stability of transient liquid phase (TLP) bonding using microscale Sn-coated Cu particles, solid-state bonding (SSB) using microscale Sn-coated Cu particles, as well as oxidation-reduction bonding (ORB) using microscale Cu particles, respectively.</p> <p>In <i>Chapter 1</i>, the brief description on the background of wide-band-gap (WBG) semiconductor-based power device, immersing issues of WBG power device packaging and currently used high-temperature die attach techniques were given. It was suggested that microscale Cu particle paste is a very promising candidate for WBG semiconductor-based power device packaging, however the effective sintering with microscale Cu particles is very challenging. Thus, the usage of surface-modified microscale Cu particles for high-temperature electronic packaging was suggested.</p> <p>In <i>Chapter 2</i>, a transient liquid phase (TLP) bonding that utilizes microscale Sn-coated Cu particles was presented. When used as die attach materials for Cu-Cu bonding, a thermally stable joint comprising a <math>\text{Cu}_3\text{Sn}</math> intermetallic compounds (IMCs) with a dispersion of ductile Cu particles was obtained after bonding at 300 °C for 30 s, and a shear strength equivalent to that of conventional Pb-5Sn solder could be achieved. After the isothermal aging at 250 °C for 1000 h, the sound shear strength remained and the <math>\text{Cu}_3\text{Sn}</math>-Cu composite microstructure was almost unchanged.</p> <p>In <i>Chapter 3</i>, a solid-state bonding (SSB) process using microscale Sn-coated Cu particles were presented. After bonding at 200 °C for 20 min with an applied pressure of 20 MPa, the joints exhibited a microstructure fully comprised of <math>\text{Cu}_3\text{Sn}</math> intermetallic compounds with a dispersion of Cu particles. During the bonding, the coalescence of adjacent particles and the solid-state reaction between the Sn coating layer and the core Cu occurred simultaneously. The reliability and microstructure evolution of SSB joints under the high-temperature storage test at 250 °C was also characterized.</p> <p>In <i>Chapter 4</i>, an in-situ surface modification method to microscale Cu flake-shaped particles by an oxidation-reduction process was presented. During a thermal oxidation at 300 °C, thin <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> layer was initially formed on the flake surface. Afterward, the <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> nanoparticles quickly formed on the initial <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> layer and covered the entire flake. Then, after a reduction process in the formic acid atmosphere at 300 °C, this <math>\text{Cu}_2\text{O}</math> nanoparticles layer was subsequently reduced to Cu nanotextured surface, and by which surface-modified Cu particles were obtained.</p> <p>In <i>Chapter 5</i>, the oxidation-reduction process was applied in the sintering bonding process, by which an oxidation-reduction bonding (ORB) process was presented. The ORB joint exhibited significantly higher shear strength than their corresponding non-oxidation bonding (NOB) joint. Also, the excellent thermal stability of the ORB joint at 250 °C was identified.</p> <p>In <i>Chapter 6</i>, the effect of particle shape and substrate on the bonding properties of pressureless ORB process was verified. The microstructure and shear strength of ORB joints using microscale flake-shaped Cu particles, spherical Cu particles, and their hybrid particles were characterized. Moreover, ORB joints were also fabricated with pre-oxidized Cu and electroless nickel/immersion gold (ENIG)-finished Cu substrates, and then characterized.</p> <p>In <i>Chapter 7</i>, the summary of the study was given. Also, the environmental assessment on various die attach materials and bonding process were presented. Finally, the plan of the future works was given.</p> <p>Therefore, it is believed that this dissertation provides the method of surface modification that has the potential to overcome the limitations of die attach bonding using microscale Cu particles and enable the Cu-based bonding in view of a low-cost, green, and high-performance technology for high-temperature electronic packaging.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 劉 向 東 / LIU XIANGDONG )			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	西川 宏	准教授
	副 査	池 道彦	教授
	副 査	廣瀬 明夫	教授
	副 査	桐原 聡秀	教授
	副 査		
	副 査		
	副 査		

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、高温電子実装用途のための高耐熱高性能接合部を得るため、マイクロサイズ Cu 粒子の表面改質方法を提案し、Cu 粒子を用いた接合特性の研究成果をまとめたものである。本論文は、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章では緒言として、ワイドバンドギャップ (WBG) 半導体パワーデバイスの背景、WBG パワーデバイス実装の問題、および研究目的を述べた。

第 2 章では、Sn コーティングしたマイクロサイズ Cu 粒子を用いた液相拡散 (TLP) 接合を提案し、300 °C・30 s の条件で接合した場合に、Cu 粒子が分散した Cu<sub>3</sub>Sn 金属間化合物 (IMC) から成る安定な接合部が得られることを示し、従来の Pb-5Sn はんだ以上の接合強度を得た。

第 3 章では、Sn コーティングしたマイクロサイズ Cu 粒子を用いた固相接合 (SSB) プロセスを提案し、加圧力 20 MPa・200 °C・20 min の条件で接合した場合に、Cu 粒子と Cu<sub>3</sub>Sn 金属間化合物の混合微細構造を有する接合部が得られることをメカニズムとともに示し、従来の Pb-5Sn はんだと同等の接合強度を得た。

第 4 章では、粒子表面の酸化及び還元を用いたマイクロサイズ Cu 粒子のその場表面改質方法を提案した。300 °C の大気中で酸化させた場合、薄い Cu<sub>2</sub>O 層が最初に粒子表面上に形成されるのが確認でき、続いて Cu<sub>2</sub>O ナノ粒子構造が Cu<sub>2</sub>O 層上に形成されることを見出した。一方、表面を酸化させた粒子を 300 °C のギ酸雰囲気中で加熱した場合、Cu<sub>2</sub>O ナノ粒子構造は還元され、表面でナノ粒子構造の焼結が進行することで表面改質した Cu 粒子を得た。

第 5 章では、第 4 章で示した酸化還元による表面改質を用いた接合プロセス、酸化還元接合 (ORB) プロセスを提案し、マイクロサイズ Cu 粒子を用いた ORB 接合部は、対応する還元プロセスのみによる接合部よりも、高いせん断強度を有することを示した。さらに、接合部の高温放置に対する安定性も確認した。

第 6 章では、ORB プロセスの接合特性に、マイクロサイズ Cu 粒子形状および基板表面の状態が与える影響を評価した。特に、フレーク状 Cu 粒子、球状 Cu 粒子、およびそれらの混合粒子を用いた ORB 接合部の微細構造およびせん断強度を明らかにした。

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。

以上のように本論文の内容は、マイクロサイズの Cu 粒子を用いたダイアタッチボンディングの限界を克服し、低コスト、グリーン、高性能の接合技術を可能にするものであり、環境・エネルギー工学、特にエネルギーの有効利用技術として期待されている次世代パワーデバイスに向けた有害物質代替プロセスや省エネルギー実装プロセス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。