



Title	Die-attach Bonding Process Using Metallic Microparticles for High-temperature Applications
Author(s)	Gao, Runhua
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/82246">https://doi.org/10.18910/82246</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 (GAO RUNHUA)

Title

Die-attach Bonding Process Using Metallic Microparticles for High-temperature Applications  
(金属マイクロサイズ粒子を利用した高温実装用ダイアタッチ接合プロセス)

## Abstract of Thesis

The objective of this research is to assemble reliable Cu/Cu joints using Cu microparticles for high-temperature applications. Efforts to resolve the problem of Cu low-temperature sintering were put in place. This dissertation presents two approaches, reductive reaction and ultrasonic vibration, in order to improve sinterability of Cu microparticles at low temperatures.

In chapter 1, the background of power devices utilizing wide bandgap (WBG) semiconductor and corresponding die-attach methods currently being used for high-temperature applications was described. It was indicated that the sintering process using metallic particles is a propitious die-attach method for WBG semiconductors, and Cu microparticles are potential candidates as the metallic particles; nevertheless, the poor sinterability of Cu microparticles causes the development of the corresponding bonding procedure significantly challenging. Thus, two assisting approaches, namely reductive reaction and ultrasonic vibration, were proposed.

In chapter 2, a reductive bonding process that sinters preoxidized Cu microparticles in a formic-acid atmosphere at a temperature of 300 °C was developed. Cu/Cu joints at a maximum average shear strength of 33 MPa were assembled in a process time of 40 min. Transformation of Cu microparticles after the preoxidation and reductive sinterability were also observed. The reaction between fragments of oxide and formic acid resulted in the high bonding density, by generating micro bridges between individual particles.

In chapter 3, the feasibility of a low-power ultrasonic-assisted bonding process was explored using Ag microparticles. Robust Ag-sintered joints exhibiting an average shear strength of 36.2 MPa was obtained in a process time of 5 min, at an actual temperature of 240 °C. The impacts of the ultrasonic time and ultrasonic power on the quality of joints and the sintered microstructures were investigated. Two distinctive microstructures, micro bridges and dense layers, were found to be generated with the ultrasonic vibration, subsequently affecting bonding shear strength and fracture mode of sintered joints.

In chapter 4, a low-temperature bonding process using Cu microparticles with the synergic strengthening of ultrasonic vibration and redox reaction was developed. Cu/Cu joints exhibiting an average shear strength of 27 MPa were assembled through sintering Cu microparticles at an actual temperature of 200 °C in a process time of 15 min. The microparticles were bonded at a low temperature with little oxidation because of the reductive agents and the short process time resulted from ultrasonic assisting. With the synergic strengthening of acoustic softening effect and localized high temperatures, the microparticle tightly bonded through the interfacial recrystallization caused by deformation and dislocation tangles of the micro-region.

In chapter 5, the sintered joints prepared by the methods in Chapters 2 - 4 with different materials and different substrates were isothermally aged at 200 °C in the air. Oxidation was found to be the main effect of the aging on the Cu-sintered joints, affecting both shear strength and failure modes. Formation of continuous oxide interlayer induced degradation and naturally debonding of Cu/Cu joints; however, the oxide layers could be avoided at compact bonding interfaces that formed with the ultrasonic assisting.

In chapter 6, the dissertation was summarized, and future works were planned. The environmental assessment on the bonding process and corresponding bonding materials was presented.

The use of the reductive agents and the ultrasonic vibration in the bonding process of microparticles lowers process temperature, shortens process time, and avoids discharge of toxic substances; therefore, the bonding processes developed in this study are promising and environmentally friendly.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( GAO RUNHUA )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 西川 宏
	副 査	教授 桐原 聡秀
	副 査	准教授 大石 佑治
<b>論文審査の結果の要旨</b>		
<p>本論文では、電子実装用途の高耐熱高性能接合部を得るため、金属マイクロサイズ粒子を使用して Cu/Cu 接合方法を開発し、接合性能および熱安定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。</p> <p>第 1 章では、緒言として、ワイドバンドギャップ (WBG) 半導体を使用したパワーデバイスの背景と、高温用途で使用されているダイアタッチ方法について説明した後、金属マイクロサイズ粒子の焼結性を改善するための方法を提案した。</p> <p>第 2 章では、予備酸化処理をした Cu マイクロサイズ粒子をギ酸雰囲気下で還元接合を提案、プロセスを最適化した。粒子を 280 °C で 30 分間予備酸化した後、ペーストとして作製し、ギ酸雰囲気下で焼結した。300 °C の条件で、平均せん断強度 23 MPa の信頼性の高い Cu/Cu 接合部を実現した。酸化物とギ酸の反応が焼結密度と粒子間結合に及ぼす影響を調べたところ、酸化物が高い焼結密度をもたらし、粒子間にマイクロブリッジが生成されたことがわかった。</p> <p>第 3 章では、低出力の超音波振動アシスト接合法の実現可能性を調査、プロセスを最適化した。Ag マイクロサイズ粒子を使用して、240 °C ・加圧力 7 MPa ・超音波出力 8 W の条件で、平均せん断強度 36.2 MPa の Ag 焼結接合部を実現した。マイクロサイズ粒子の形状変化に対する超音波時間と超音波出力の影響を調べたところ、超音波振動は局所加熱と軟化効果を誘発することがわかった。その影響により、マイクロブリッジと高密度層が生成された。それらは、粒子間および界面での強固な結合を可能にした。</p> <p>第 4 章では、低出力超音波振動と還元剤を利用した Cu マイクロサイズ粒子の低温焼結法を提案し、保護溶媒、加熱プロファイル、プロセス時間などのプロセスを最適化した。アスコルビン酸とグリセリンで保護し、超音波振動を補助することで、Cu マイクロサイズ粒子は 200 °C、15 分までに焼結し、平均せん断強度 27 MPa の Cu/Cu 接合部を実現した。軟化効果と局所加熱により、Cu マイクロサイズ粒子は、界面粒界の形成と、微小領域の変形と転位の凝集によってもたらされる動的再結晶によって、信頼性の高い接合部を実現した。</p> <p>第 5 章では、2-4 章で紹介した方法で作成した接合部を大気中 200 °C で時効し、マイクロサイズ粒子材料、基板、および接合方法が接合部の長期的な信頼性に及ぼす影響を調査した。酸化は、Cu/Cu 接合部の時効の主な影響であり、剥離を誘発する酸化物中間層を生成するため、せん断強度と破壊モードの両方に影響を与えることがわかった。Ag 粒子と ENIG 基板を利用し、また超音波振動で実現された接合部は、酸化物層がないため、長期的な信頼性が向上した。</p> <p>第 6 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、本研究で開発した接合方法と対応する接合材料の環境評価について議論した。</p> <p>よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>		