

Title	Agナノ粒子を用いた高耐熱低熱抵抗Pbフリー接合技術とパワー半導体モジュール実装への展開
Author(s)	守田, 俊章
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2831
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【64】

氏 名	もり た とし あき 守 田 俊 章
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 9 5 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 2 1 年 3 月 2 4 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	Ag ナノ粒子を用いた高耐熱低熱抵抗 Pb フリー接合技術とパワー半導体 モジュール実装への展開
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 廣 瀬 明 夫 (副査) 教 授 藤 本 公 三 教 授 上 西 啓 介

論文内容の要旨

自動車用インバータ装置をはじめ、高温環境で使用される電子装置では、半導体チップ搭載部や各種配線結線部等の金属接合部の耐熱性、放熱性、及び長期信頼性確保が大きな課題であった。こうした課題に対応しうる技術として、Agナノ粒子材を用い、その低温融合現象を用いた高耐熱、高放熱接合技術開発に取り組んだ。具体的には(1)Agナノ粒子材の接合技術への展開と接合機構の明確化、(2)高温安定化の実現、及び(3)ナノ粒子接合技術をパワー半導体モジュールに適用し、高放熱化、長期信頼性確保、を本研究の目的とした。本論文はこうした課題と目的に対して、保護膜として有機材料を被膜したAgナノ粒子、及びより低温接合化を目指したマイクロサイズ酸化銀(Ag₂O)粒子を用いた接合技術を研究した内容を全8章の構成でまとめたものである。

先ず第1章においては本研究の背景と目的、及び研究経緯について述べた。

第2章においては、パワー半導体モジュールを構成する各部材において、高温環境に対する諸課題を示した。そして高温環境に対応した接合技術における開発すべき技術を明確にした。

第3章では、被膜材質の異なる2種類のAgナノ粒子を用いた接合性を検討し、被膜材の分解温度、及び塗布量が、接合温度と接合性特性に大きく依存することを明らかにした。さらに相手電極材との接合部界面において、Agと結晶構造が同じく、格子定数差が小さいAu電極とはエピタキシャル構成を成し、格子定数差があるCu電極とは5nm程度の厚さのひずみ層を形成して金属的な接合構造を成している事を示した。Ag-Cu接合において、接合部界面にけるAg、Cuの相互拡散距離は10nm程度と非常に小さく、さらに従来のPb-5Snはんだに比べ、250℃で1000hr放置しても接合強度劣化が無いことを明らかにした。

第4章では、酸化銀(Ag₂O)粒子を用いた新規接合方法を検討した。酸化銀粒子に還元材としてミリスチルアルコールを加え、大気中で加圧を併用することで接合可能であることを示した。酸化銀がアルコールによって還元される際、in-situで数ナノメートルサイズのAg粒子が生成することを新たに見出し、Agナノ粒子と同様の低温融合、及び接合が達成できることを明らかにした。本技術は、低コストで、かつ還元剤の最適化でより低温化接合が達成でき得る。

第5章では、第3章、第4章で検討した接合技術をパワー半導体モジュールに適用し、その放熱特性、及び温度サイクル試験による長期信頼性を評価した。

第6章は、第4章で得られた知見を基に、酸化銀マイクロ粒子を用いた難接合材料との接合について検討した。従来のPb-Sn系高融点はんだでは接合不可能なAl、SUS、Ti、さらには半導体デバイス材料であるSi、SiC(何れもメタライズ無し)との接合を達成した。その接合界面構造は各材料の表面に形成した酸化物層を介してAg層(焼結層)と接合しており、酸化物膜を除去して接合する従来方法とは異なった接合機構であることを明らかにした。

第7章は、本技術を用いた実用化への指針を述べ、第8章ではAgナノ粒子、及び酸化銀を用いた接合機構と、その放熱特性、接合信頼性を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文では耐熱性と放熱性に優れた高融点 Pb フリー接合技術として Ag ナノ粒子を用いた接合法を検討し、接合材料に適するナノ粒子特性と接合機構を明確化している。また、Ag ナノ粒子技術を発展させた酸化銀を用いた新しい接合技術を提案し、その接合機構を明確にするとともに、接合温度の低温化のための指針を示している。そして、この接合技術をパワー半導体モジュール実装に適用して熱抵抗特性と接合信頼性評価を行い、その有用性を示している。さらに提案したナノ粒子接合技術を、従来の Sn や Pb を含有したはんだ材では接合困難な材料との接合へ適用できる可能性も示している。得られた知見の詳細は以下の通りである。

①有機保護被膜 Ag ナノ粒子の接合特性

被膜材質の異なる2種類のAgナノ粒子を用いて接合性を検討し、被膜材の分解温度、及び塗布量が、接合可能温度と接合特性に大きく影響することを示している。また相手電極材との接合部界面においては、Agと結晶構造が同じく、格子定数差が小さいAu電極とはエピタキシャル構成を成し、格子定数差があるCu電極とは5nm程度の厚さのひずみ層を

形成して金属的な接合構造を成すことを明らかにしている。さらにこれらの接合界面におけるAgとCuあるいはAuとの相互拡散距離は10nm程度と非常に小さい。そして、接合部は、従来のPb-5Snはんだ接合と違って、250℃で1000hr放置しても接合強度劣化が無いことを明らかにしている。

②酸化銀 (Ag₂O) 粒子を用いた新規接合方法の検討

酸化銀粒子に還元材としてミリスチルアルコールを加え、大気中で加圧を併用することで、Ag および Au と接合できることを示している。酸化銀がアルコールによって還元される際、in-situで数ナノメートルサイズの Ag 粒子が生成することを新たに見出し、Ag ナノ粒子と同様の低温焼結、及び接合が達成できることを明らかにしている。相手電極材との接合界面構造は、有機保護被膜を有した Ag ナノ粒子接合同様、Ag と結晶構造が同じく、格子定数差が小さい Au 電極とはエピタキシャル層を形成して金属的に接合する構造であることも明確にしている。

③接合部の放熱性、信頼性評価

これまでに検討した接合技術をパワー半導体モジュールに適用し、その放熱特性、及び温度サイクル試験による長期信頼性を評価している。この結果、半導体モジュールの熱抵抗は、従来の Pb-5Sn はんだでダイボンディングした半導体モジュールに比べ、20 から 30%程度低減でき、また信頼性は、従来の Pb-5Sn はんだでダイボンディングした半導体モジュールと同等であることを明示している。

④難接合材との接合性検討

酸化銀粒子を用いた接合技術の更なる展開を図るため、従来の Pb-Sn 系はんだでは接合不可能な Al、ステンレス鋼、Ti、さらには半導体デバイス材料である Si、SiC との接合性を検討し、これらの材料を接合可能であることを示している。その接合界面構造は各材料の表面に形成した酸化物層を介して Ag 層(焼結層)と接合しており、酸化物膜を除去して接合する従来方法とは異なった接合機構であることを示唆している。

以上のように、本論文は Ag ナノ粒子、及び酸化銀を用いた接合機構、放熱特性、接合信頼性、難接合材との接合性を体系的に調査したもので、学問的に価値が高い。さらに本技術を用いた実用化への指針も示しており、今後の実装技術開発に大きく寄与すると評価できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。