The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	多層クラッド材の共晶融解反応を利用したパワー半導体向けZn-Al系接合材の開発
Author(s)	山口, 拓人
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59607
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　（　山　口　拓　人　）	
論文題名	多層クラッド材の共晶融解反応を利用した パワー半導体向けZn-Al系接合材の開発

論文内容の要旨

本論文では、パワー半導体接合用の高信頼Pbフリー接合材の開発を目的とした。次世代の高温動作SiCデバイスに対応可能な高信頼性を備え、且つ、汎用性に優れた安価な材料を実現すべく、熱伝導率や材料コストに優れるZn-Alはんだに着目した。Zn-Alはんだは濡れ性が低く、量産適用が困難な材料である。そこで、濡れ不良の要因であるZnとAlの酸化をZn、Al、Cuのクラッド化により回避し、当該クラッド材を共晶融解させることではんだ材として活用するコンセプトを提案した。本材料の基本特性および接合メカニズムを解明し、材料改良を進めることでPbはんだを代替し得る材料に繋げた。

第1章ではパワー半導体および高温はんだの現状を示した。Zn-Al系はんだは低コスト、高放熱、高信頼、260℃リフロー耐性を期待できる材料であることを述べた。

第2章ではZn-Alはんだは表面のAl酸化膜の影響で濡れが劣ることを明らかにした。Zn/Al/Znクラッド材は、クラッド界面が冶金的に接合され、Al内層は酸化せずに保存されることを示した。Zn/Al/Znクラッド材は、Zn-Alはんだに対して濡れ性、接合性が改善し、Pb-5Sn-1.5Agはんだを上回る高強度の継手が得られることを明らかにした。

第3章では、接合層にAl層が残存するAl残存型Zn/Al/Znクラッド材について検討し、接合層の高放熱化を実現できることを示した。250℃高温放置試験および-55/150℃温度サイクル試験にて、Pb-5Sn-1.5Agはんだと同等以上の接合信頼性を確保できる可能性を示した。一方、接合層の経時変化による強度低下と、亀裂が界面を伝播する問題を明らかとした。

第4章では、共晶型Zn/Al/Znクラッド材について適正な接合条件を検討した。接合温度範囲382℃から420℃、接合雰囲気N_2、雰囲気中の酸素濃度100 ppm以下で良好な接合が得られることを示した。一方、接合雰囲気がN_2+4%H_2では接合できないことを見出した。Zn/Al/Znクラッド材表面をCuで覆ったCu/Zn/Al/Zn/Cuクラッド材により、N_2+4%H_2雰囲気で良好な接合を得ることに成功した。

第5章では、材料の保管性と、高酸素濃度N_2+H_2雰囲気下での接合性の観点で最適な材料構造を検討した。Cu/Al/Zn/Al/Cuクラッド材は、共晶温度までの昇温時にもCu被覆が維持され、安定的に接合できることを明らかとした。本特性はAl下地がCuの拡散バリア層として機能した結果であることを示した。

第6章では、Cu/Al/Zn/Al/Cuクラッド材の信頼性を検討し、Pb-5Sn-1.5Agはんだを大きく上回る300℃環境での界面安定性と、-55/150℃温度サイクルでの長期信頼性が得られることを確認した。温度サイクル試験後の破面にはストライエーションが存在し、破壊形態が延性的であることを示した。さらに、Cu/Al/Zn/Al/Cuクラッド材により、SiCパワー半導体パッケージを組み立てられることを確認した。

本論文では、酸化に起因したZn-Alはんだの接合不良を、クラッド圧延を利用したZn、Al、Cuの多層化により克服した。Cu/Al/Zn/Al/Cuクラッド材が高信頼Pbフリー接合材として優れた特性を発揮することを確認し、パワー半導体向けZn-Alクラッド接合材を開発できたと結論付けた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　山　口　拓　人　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査	教授　廣瀬明夫
	副 査	教授　藤本公三
	副 査	教授　上西啓介
	副 査	准教授　佐野智一

論文審査の結果の要旨

本論文では、パワー半導体接合用の高信頼 Pb フリー接合材の開発を目的としている。次世代の高温動作 SiC デバイスに対応可能な高信頼性を備え、且つ、汎用性に優れた安価な材料を実現すべく、熱伝導率や材料コストに優れる Zn-Al はんだに着目している。Zn-Al はんだは濡れ性が低く、量産適用が困難な材料である。そこで、濡れ不良の要因である Zn と Al の酸化を Zn、Al、Cu のクラッド化により回避し、当該クラッド材を共晶融解させることではんだ材として活用するコンセプトを提案している。本材料の基本特性および接合メカニズムを解明し、材料改良を進めることで Pb はんだを代替し得る材料に繋げている。

第 1 章ではパワー半導体および高温はんだを取り巻く状況について述べている。Pb はんだ代替接合材の研究は、Au 系、Zn 系、Bi 系はんだ、Ag 系、Cu 系焼結接合、Sn 系拡散接合を中心に進められ、全ての材料に一長一短がある現状を示している。特にディスクリート部品の製造に適用可能な無加圧接合法としては、はんだ系の材料に限られる。その中で Zn-Al 系はんだは低コスト、高放熱、高信頼、260℃リフロー耐性を期待できる材料であることを述べている。

第 2 章では Zn-Al はんだの実力を評価するとともに、Zn/Al/Zn クラッド材を提案し、溶融挙動、濡れ性、接合性を検証している。Zn-Al はんだは表面の Al 酸化膜の影響で濡れが劣ることを明らかにしている。Zn/Al/Zn クラッド材は、Zn 外層により Al 内層の酸化を防ぐ構造により、Zn-Al はんだの濡れ性改善を狙った材料である。Zn/Al/Zn クラッド材は、クラッド圧延により界面が冶金的に接合され、Al 内層は酸化せずに保存されることを示している。Zn/Al/Zn クラッド材は、Zn-Al はんだに対して濡れ性、接合性が改善し、Pb-5Sn-1.5Ag はんだを上回る高強度の継手が得られることを明らかにしている。

第 3 章では、接合層に Al 層が残存する Al 残存型 Zn/Al/Zn クラッド材の基本特性と接合信頼性について検討している。Zn-Al 合金よりも熱伝導率の高い Al を接合層に残すことで、接合層の高放熱化を実現できることを示している。Al 残存型 Zn/Al/Zn クラッド材は微小荷重を付与することで接合できることを明らかとしている。また、250℃高温放置試験および-55/150℃温度サイクル試験にて、Pb-5Sn-1.5Ag はんだと同等以上の接合信頼性を確保できる可能性を示している。一方、高温環境で接合層の経時変化による強度低下と、温度サイクルで亀裂が界面を伝播する問題を明らかとしている。本問題は容易に回避し難く、信頼性への懸念を払拭するには、Al が残存しない共晶型 Zn/Al/Zn クラッド材を使用すべきとの指針を提示している。

第 4 章では、共晶型 Zn/Al/Zn クラッド材に絞り、良好な接合が得られる接合条件を明らかとしている。具体的には、接合温度範囲 382℃から 420℃、接合雰囲気 N_2、雰囲気中の酸素濃度 100 ppm 以下を提示している。一方、接合雰囲気が N_2+4%H_2 では接合できないことを見出した。その原因は、H_2 による Zn-Al 融液の濡れ性の低下により、Zn/Al/Zn クラッド材の Zn 初期酸化膜が残留する影響であること明らかとしている。接合性改善策として、Zn/Al/Zn クラッド材表面を Cu で覆った Cu/Zn/Al/Zn/Cu クラッド材を試作している。その結果、N_2+4%H_2 雰囲気で良好な接合を得ることに成功している。

第 5 章では、材料の保管性と、高酸素濃度 N_2+H_2 雰囲気下での接合性の観点で最適な材料構造を導出するため、Cu/Zn/Al/Zn/Cu クラッド材と Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材を比較している。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材のクラッド界面は冶金的に接合されていることを確認している。Cu/Zn/Al/Zn/Cu クラッド材では Cu 層が室温保管中や接合時の昇温中に Zn と反応し変質することを明らかとしている。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材は、室温長期間、且つ、接合時の昇温期間において Cu 被覆が維持される適切な構造であることを明らかとしている。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材の本特性は Al 下地が Cu の拡散バリア層として機能した結果であることを示している。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材を用いて、高強度・低ばらつきの継手が得られることを明らかとしている。

第 6 章では、Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材を用いて作製した継手の接合信頼性を検証している。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材を用いることで Pb-5Sn-1.5Ag はんだを大きく上回る 300℃環境での界面安定性と、-55/150℃温度サイクルでの長期信頼性が得られることを確認している。温度サイクル試験後の破面にはストライエーションが存在することを明らかにしている。即ち、Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材で接合した継手の破壊形態が延性的であることを示している。ストライエーションは、Pb-5Sn-1.5Ag はんだに比べて狭ピッチであり、Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材による継手が Pb-5Sn-1.5Ag はんだより長寿命となる要因であると示唆している。さらに、Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材により、SiC パワー半導体パッケージを組み立てている。SiC 半導体の接合に対応可能であること、ならびに、高温動作が可能であることを確認している。

以上のように、本論文では、酸化に起因した Zn-Al はんだの接合不良を、クラッド圧延を利用した Zn、Al、Cu の多層化により克服している。Cu/Al/Zn/Al/Cu クラッド材が高信頼 Pb フリー接合材として優れた特性を発揮することを確認し、パワー半導体向け Zn-Al クラッド接合材を開発できたと結論付けている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。