

Title	High-temperature reliability of ultrasonic bonded metal ribbon wirings for power electronic devices
Author(s)	朴, 世珉
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/53969
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (朴 世珉)

論文題名

High-temperature reliability of ultrasonic bonded metal ribbon wirings for power electronic devices

(パワーエレクトロニクスデバイス用超音波接合金属リボン配線の高温信頼性)

論文内容の要旨

現在のパワーエレクトロニクス産業では、従来のSi半導体に代えてSiCなどの次世代ワイドバンドギャップ半導体を使用することで、エネルギー損失を約50%削減することが注目されている。これらの次世代半導体は高温環境下でも動作し、高電圧・大電流のコントロールができるためハイブリッド自動車、列車、発電産業等への応用が期待されている。一方で、従来のSi半導体デバイスのチップ-基板間配線では、直径400 μm 以下の円形の金属ワイヤが一般的に使われてきた。しかし、このワイヤサイズでは、1 kV以上の高耐圧、100 A以上の高電流に耐えられず、特に200 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温動作環境ではワイヤ接合部が破壊されやすい。そこで、本研究では新たな金属ワイヤ構造の提案およびその材料を用いた超音波接合プロセス最適化の構築について取り組んだ。

第1章では、パワー半導体に関する研究動向調査および課題抽出を行った。従来の細いワイヤ配線の代わりに形状が長方形のリボン太線を利用すると、断面積が大きいため高温高耐圧下での電子機器接合部の信頼性向上が期待できる。幅1.5 mm、厚さ0.2 mmのリボンワイヤ1本は直径400 μm のボールワイヤ3本と同等な許容電流値を持ち、単位面積当たりの電流（電流密度）を減らすと同時にパッケージの小型が可能である。かつ、接合部の信頼性を向上させてデバイスの寿命を延長させる事が見込まれる。しかし、現在ではリボン太線に関する接合性と信頼性を評価するための標準が存在しない。

第2章では、リボン太線を用いた超音波接合プロセスの最適化を行い、実際のパワーデバイスの適用可能性を検討することを目標とした。今日のパワー半導体で幅広く配線に使われているAlを素材とし、リボン接合条件によるAlリボンの最適接合条件を確立し、特に超音波接合技術の学術的メカニズムの確立を行った。

第3章では、リボン接続の耐久性改善を目指したCu/Alクラッドリボンの信頼性を評価した。第2章で評価したAlリボンは既に実用化もされているが、Alはワイドバンドギャップ半導体で期待される200 $^{\circ}\text{C}$ 以上の動作環境で結晶粒粗大化が生じ、配線亀裂に繋がるため新たな構造の提案が必要になる。CuはAlより優れた物性を持つが、高温で酸化しやすく、硬度が高いため超音波接合することが難しい欠点を有する。これらのAl とCu の素材特性を両立させるために、冷間圧延工程を用いたCu/Alクラッドリボン配線を検討し、Alリボン配線との高温信頼性を比較した。

いずれの材料を使っても、高温でのヒール亀裂の発生は、リボン配線信頼性低下の主要な原因であり、特にAl層の結晶粒粗大化により発生しやすい。Cu/Alクラッドリボン配線はAlリボンより高信頼性を持っているが、長時間の高温試験ではAl層内でヒール亀裂が発生する。

第4章では、第3章の機械的強度データに基づいて極限環境下（200 $^{\circ}\text{C}$ の高温放置試験、-40/250 $^{\circ}\text{C}$ の熱衝撃サイクリング試験）での微細組織変化がCu/Alクラッドリボン配線の信頼性に及ぼす影響を詳細に分析した。冷却圧延を用いて作られたCu/Alクラッドリボン配線は、通常のAlリボン配線に比べて小さい結晶粒サイズを持つため粒界亀裂の発生を抑制させることができ、さらに、Cu-Al間の金属間化合物層が亀裂の成長を防止し、Cu層内への亀裂の伝播を疎外するため高信頼性を確保できることが判明した。

以上より、本研究では、200 $^{\circ}\text{C}$ を越える実用環境を想定し、次世代SiC半導体デバイス用の金属リボン配線の超音波接合技術を探索し、新たなCu/Alクラッドリボン配線構造を提案し、長時間の高温信頼性が確保できることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (朴 世 珉)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	菅沼 克昭
	副 査	教 授	南埜 宜俊
	副 査	教 授	上西 啓介
	副 査	教 授	浅田 稔
	副 査	教 授	中谷 彰宏
	副 査	教 授	平田 勝弘
	副 査	准教授	萩原 幸司
	副 査	准教授	能木 雅也
	副 査	特任准教授	長尾 至成
論文審査の結果の要旨			
<p>近年、次世代ワイドバンドギャップ半導体パワーエレクトロニクスの実現に向けて、高温・高電圧・大電流の動作環境で耐えられる新たな金属配線技術の開発が進められている。従来のSi半導体デバイスのチップ-基板間配線では、直径400 μm以下の円形断面の金属ワイヤが一般的に使われてきた。しかし、このワイヤサイズでは、1 kV以上の高耐圧、100 A以上の高電流に耐えられず、特に200 $^{\circ}\text{C}$以上の高温動作環境ではワイヤ接合部が破壊される懸念があり、配線接合部の信頼性を向上させてデバイスの寿命を十分に確保する事が課題である。</p> <p>そこで本研究では、従来の細いワイヤ配線の代わりに断面形状が長方形のリボン太線を提案し、超音波接合プロセス条件最適化を行い、200 $^{\circ}\text{C}$を越える高温動作環境で長時間の保持試験や温度サイクル試験を実施し、組織変化のメカニズム解析や亀裂進展の状況进行评估した。その結果、以下の成果を得た。</p>			
<p>(1) リボン材料で成形性が優れた柔らかい Al を用い、超音波接合プロセスの最適化を行い、安定的なりボン配線を得た。実際のパワーデバイスの配線技術としても十分に適用可能であり、幅 1.5 mm、厚さ 0.2 mm のリボン 1 本は直径 400 μm のボールワイヤ 3 本と同等な許容電流値を持ち、単位面積当たりの電流 (電流密度) を減らすと同時にパッケージの小型が可能であることを示した。</p>			
<p>(2) Al 配線はワイドバンドギャップ半導体で期待される 200 $^{\circ}\text{C}$以上の動作環境で結晶粒粗大化が生じ、配線亀裂に繋がるため、Al に替わる新たな材料や接続構造の提案が必要になる。Cu は Al より優れた電気・力学的物性を持つが、高温で酸化しやすく、硬度が高いため超音波接合することが難しい欠点を有する。これらの Al と Cu の素材特性を両立させるため冷間圧延工程で作製された Cu/Al クラッドリボン配線を提案し、Al リボン配線との高温信頼性を比較した。その結果、Cu/Al クラッドリボンは、何れの環境でも亀裂の進展が穏やかであり、Al リボンより長時間の優れた高温信頼性を有する配線構造が得られることを明らかにした。</p>			
<p>(3) 冷却圧延を用いて作られた Cu/Al クラッドリボン配線は、硬度とヤング率が高い Cu を用いる優れた機械的強度の確保が可能であり、さらに、Cu-Al 間界面の金属間化合物層でヒール亀裂の進展が止まり、Cu 層内への亀裂の伝播を疎外するため高信頼性を確保できることを明らかにした。</p>			
<p>以上のように本論文では、200 $^{\circ}\text{C}$を越える実用環境において、次世代ワイドバンドギャップ半導体デバイス用の金属リボン配線の超音波接合技術を探索し、新たなCu/Alクラッドリボン配線構造を提案し、長時間の高温信頼性が確保できることを明らかにした。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>			