



Title	大電流パワーモジュールのための高信頼超音波接合技術の研究
Author(s)	川城, 史義
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88068
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 川 城 史 義 ）

論文題名 大電流パワーモジュールのための高信頼超音波接合技術の研究

論文内容の要旨

電力を制御するパワーデバイスは、ノートPCからエアコン、自動車、鉄道、さらには送配電まで幅広く使われており、電力削減や環境負荷低減に対する要求が世界的に高まる中、その需要が増している。中でも、自動車・産業機器分野におけるバッテリー化や電動化、新エネルギー分野における太陽光発電などの急速な普及・進展に伴い、耐圧1000 Vを超えるパワーデバイスの需要が急拡大している。この領域では、パワーモジュールを高機能化するためにさまざまな取り組みがなされており、特に電流密度の高いワイドバンドギャップ半導体である炭化珪素(SiC)半導体デバイスを搭載したパワーモジュールでは、高電流で高温動作を実現せねばならない。そこで、エレクトロニクス実装において、長い歴史を持ち、融点の高い接合を実現できる超音波接合を研究対象とし、ワイドバンドギャップ半導体を実現するために必要な高電流密度化を達成するために、パワーモジュールの中の様々な箇所への適用検討を行う。特にチップのゲート部には腐食対策をおこなった細線ワイヤ接合技術を、チップの表面の大電流端子部には応力緩和層を設けた太線ワイヤ接合技術を、また、電流の集中する外部端子には高パワーでも絶縁性を損なわない超音波端子接合技術を提案した。

本論文の構成は以下とした。

第1章では、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を主とした温室効果ガス排出の削減を行うために、ワイドバンドギャップ半導体を用いたエレクトロニクス実装技術の必要性について問題提起を行い、特に古くからエレクトロニクス実装に用いられてきた技術である超音波接合技術を使用した場合にワイドバンドギャップ半導体を搭載したパワーモジュールが現在抱える課題について議論を行った。超音波接合技術として、特にボールワイヤボンディング技術、ウェッジワイヤボンディングおよび超音波金属接合技術について言及した。

第2章では、細線Cuワイヤ接合部を高信頼化する技術について議論した。チップサイズを小型化せざるを得ないSiCパワー半導体デバイスにおいて、高電流密度化を実現するためにゲート面積の縮小が必要であり、ゲート小型化のために超音波接合技術の中でも、微細な接合を可能とするボールワイヤボンディング技術に注目した。特に低コストが期待される細線Cuワイヤ接合部は腐食に対する課題を抱えており、腐食耐性を向上する接合部仕様とその信頼性向上効果について言及した。

第3章では、SiCパワー半導体デバイスにおいて高電流密度化および高温動作化を目指した場合に直面する課題について議論を行った。超音波接合技術の中でもウェッジボンディング技術を用いたチップ表面への太線ワイヤ接合部の信頼性向上を課題とし、パワー半導体の実動作を模したパワーサイクル試験における接合寿命の長寿命化を目指して、ワイヤとボンディングパッドの材質の改善を行い、実験と有限要素解析の双方の観点から、繰り返し熱疲労に強いワイヤ接合部の構造について言及した。

第4章では、外部端子の超音波接合技術が直面する課題について議論を行った。従来、はんだ接合が主流であった外部端子接合部が高温でも動作できるように超音波接合への置き換えが進んでいる。材質と超音波接合技術の選択のために、太線ワイヤおよびリボンを用いたウェッジワイヤボンディング技術と成形した大面積の端子を用いた超音波金属接合技術を比較し、大電流化のために必要な端子構造が抱える課題を抽出し、その信頼性について実証を行った。

第5章では、各章で得られた知見を総括し、今後の展望を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (川 城 史 義)			
	(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	教授	福本 信次

論文審査の結果の要旨

電力削減や環境負荷低減に対する要求が世界的に高まる中、自動車・産業機器分野における電動化、新エネルギー分野における太陽光発電などが急速に普及・進展しており、炭化珪素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) など特に電流密度の高いワイドバンドギャップ半導体デバイスを搭載したパワーモジュールの需要が増えている。これらのパワーモジュールは大電流で高温動作を低コストかつ長寿命で実現せねばならないが、その構造は発展途上の段階である。本論文は、エレクトロニクス実装において、長い歴史を持ち、融点の高い接合を実現する超音波接合を研究対象とし、高電流密度化を達成するために行った研究成果をまとめたものである。本論文は、以下の5章から構成される。

第1章では、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を主とした温室効果ガス排出の削減を行うために、ワイドバンドギャップ半導体用の大電流エレクトロニクス実装技術の必要性について問題提起を行っている。また、超音波接合技術の概要とともに、ワイドバンドギャップ半導体を搭載したパワーモジュールの課題について言及している。

第2章では、細線銅ワイヤ接合部を高信頼化する技術について議論している。チップサイズを小型化せざるを得ないSiCパワー半導体デバイスにおいて、高電流密度化を実現するためにゲート面積の縮小が必要であり、ゲート小型化のために超音波接合技術の中でも、微細な接合を可能とするボールワイヤボンディング技術に注目している。特に腐食耐性を向上する接合部仕様とその信頼性向上効果について提案、検証している。

第3章では、SiCパワー半導体デバイスにおいて高電流密度化および高温動作化を目指す場合に直面する課題について議論している。超音波接合技術の中でもウェッジボンディング技術を用いたチップ表面への太線ワイヤ接合部の信頼性向上を課題とし、パワー半導体の実動作を模したパワーサイクル試験における接合寿命の長寿命化を目指して、ワイヤとボンディングパッドの材質の改善を行い、実験と有限要素解析の双方の観点から、繰り返し熱疲労に強いワイヤ接合部の構造について提案、検証している。

第4章では、外部端子の超音波接合技術が直面する課題について議論している。従来、はんだ接合が主流であった外部端子接合部を高温でも動作できるように超音波接合へ置き換えている。特に、材質と超音波接合技術の選択のために、太線ワイヤおよびリボンを用いたウェッジワイヤボンディング技術と大面積の端子を用いた超音波金属接合技術を比較し、大電流化のために必要な端子構造が抱える課題を抽出し、その信頼性について検証している。

第5章では、各章で得られた知見を総括し、今後の展望を述べている。

以上のように、本論文は大電流パワーモジュールのための高信頼超音波接合技術の研究成果をまとめたものであり、論文審査の要件を満たしている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。