

Title	銀焼結接合技術を用いたワイドバンドギャップパワーモジュールの高温信頼性向上に関する研究
Author(s)	杉浦, 和彦
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/73555">https://doi.org/10.18910/73555</a>
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 ( 杉浦 和彦 )

論文題名 銀焼結接合技術を用いたワイドバンドギャップパワーモジュールの高温信頼性向上に関する研究

地球温暖化やCO<sub>2</sub>排出規制などの環境対応問題を受け、自動車メーカーおよびユーザーの環境への意識が高まり、電気自動車(EV)、ハイブリッド自動車(HV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)、さらには燃料電池車(FCV)などの自動車の電動化が進んでいる。そのため、電動車両の生産台数は年々増加し、2025年以降に急激に普及することが予測されている。電動車両向けのパワーモジュールは高出力・小型化のニーズが高く、今後さらなる高出力化・小型軽量(高出力密度化)、高温動作化といった過酷な動作環境下での高い信頼性が要求される。パワーモジュールの小型・車両軽量化は、自動車などの移動体は運動性能が向上することに加えて小型化によるレイアウトの自由度の拡大(搭載性の向上)、さらには部材削減によるコストダウンといった相乗効果が期待できる。これらのパワーモジュールの小型・軽量化は自動車の電動化に限らず、鉄道や飛行機、ドローンのような将来の飛翔体にも展開できる技術であり、自動車自体の形態も変化させる可能性を持っている。現在量産されている電動車両には、従来から使われているSiパワー半導体(Si-IGBT、Si-ダイオード)を用いたインバータや昇圧コンバータと組み合わせてユニット化したパワーコントロールユニット(PCU)が搭載されている。パワーモジュールの高出力密度化を進めるためには、従来のSiデバイス性能を超える次世代のワイドバンドギャップパワー半導体とそれらの優れた性能を使いこなすための実装・モジュール技術が必要である。本研究では、材料やプロセスといった新規な要素技術を創出することに加えて、それらを組み合わせて使いこなし、高出力密度のパワーモジュールの高温での信頼性向上を目指しており、その結果は以下のようにまとめられる。

第1章では、現在の自動車電動化加速などのパワーモジュール開発の置かれている社会環境について述べ、今後普及が期待されているSiCなどのワイドバンドギャップパワー半導体の特長と、そのパワー半導体の優れた性能を活用するためのパワーモジュールの課題、高温信頼性のキーとなるAg焼結接合材料を用いた高温実装技術と高温信頼性の向上のポイントについてまとめている。

第2章では、本研究で新たに見出した遷移金属化合物粒子(酸化タングステン、酸化ニオブ等)等を微量添加したAg焼結接合の高温信頼性に関して、動作温度を考慮した250℃での高温放置試験によるマイクロポーラス構造の成長抑制効果の確認とそのマイクロポーラス成長を定量的に比較評価する評価方法および成長抑制の推定メカニズムを提案・検証した。

第3章では、2章で確認した遷移金属化合物粒子を添加したAg焼結接合材料を真空中で600℃までの加熱過程におけるTEMその場観察によって高温安定性効果の可視化を実現し、さらにこの高温TEM観察を用いることで短時間に高温安定性が確認できる加速試験の可能性を示している。

第4章では、パワーモジュールの高出力密度化に必要な課題を克服できるパワーモジュールの構造設計として、パワーデバイスを上下で挟み込む両面冷却構造、パワーモジュールの上下両面にDBC基板を挿入した応力緩和構造にAg焼結接合技術、封止樹脂も含めたパワーモジュール全体での総合的な応力緩和構造モジュールをFEM解析も駆使して設計した。その設計に基づいて実機を試作し実際の高温動作条件に近い65℃から250℃のパワーサイクル試験での信頼性向上効果の確認・検証とパワーサイクル試験後のダメージ位置とFEM解析結果を比較しFEM解析技術およびモジュール設計技術の妥当性を確認した。

第5章では、1章から4章で述べたワイドバンドギャップパワーモジュールの高温信頼性向上技術に関する本研究の成果をまとめた。

以上のように、本論文では電動車用として必要な次世代パワーモジュールにAg焼結接合技術を適用し、信頼性評価を通して可能性を明確にすると共に、モジュール設計における基本的な点を総括している。よって、博士論文として相応しいものと判断する。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 杉 浦 和 彦 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	菅沼 克昭 (産業科学研究所)
	副 査	教授	舟木 剛
	副 査	教授	平田 勝弘
	副 査	教授	中谷 彰宏
	副 査	准教授	長尾 至成 (産業科学研究所)
	副 査	准教授	菅原 徹 (産業科学研究所)
論文審査の結果の要旨			
<p>地球温暖化や CO<sub>2</sub> 排出規制などの環境対応問題を受け、自動車メーカーおよびユーザーの環境への意識が高まり、電気自動車 (EV)、ハイブリッド自動車 (HV)、プラグインハイブリッド自動車 (PHV)、さらには燃料電池車 (FCV) などの自動車の電動化が進んでいる。電動車両向けのパワーモジュールは高出力・小型化のニーズが高く、今後さらなる高出力密度化、高温動作化に加え、高い信頼性が要求される。本研究では、これら新たな要求に応えるための実装材料、プロセスなどの要素技術を創出することに加え、それらを組み合わせて使いこなし、高出力密度の SiC パワーモジュールの高温での信頼性向上を目指し評価を実施している。特に、実装材料として高性能と高信頼性が同時に期待される銀 (Ag) 焼結接合技術に着目し検討し、以下の結果を得ている。</p>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ag 焼結接合の課題の一つである高温安定性の向上のため、新たに遷移金属化合物粒子 (酸化タングステン、酸化ニオブ等) 等の微量添加技術を提案し、250℃での高温放置試験による Ag 焼結層のマイクロポーラス構造の成長抑制効果の確認している。また、そのマイクロポーラス構造成長を定量的に比較評価する方法、および、成長抑制の推定メカニズムを提案している。</li> <li>2. Ag 焼結層の高温安定性を改善する遷移金属化合物粒子 (WC、W<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等) の添加効果を検証するため、各種 Ag 焼結接合材料を 600℃までその場 TEM 観察を実施し、添加遷移金属添加の高温安定化効果を短時間に評価出来ることを示している。</li> <li>3. SiC パワー半導体を上下で挟み込む両面冷却構造を想定し、FEM シミュレーションと実機評価を通してパワーモジュールの構造最適化を行っている。SiC ダイの上下両面に DBC 基板 (Cu/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Cu) を挿入し、ダイアタッチと応力緩和に Ag 焼結接合を用いることで、封止樹脂も含めたパワーモジュール全体で最適化された応力緩和構造モジュールを提案している。その設計に基づいて実機評価では、65℃から 250℃のパワーサイクル試験で信頼性向上効果の確認し、パワーサイクル試験後のダメージ位置と FEM 解析結果を比較することでモジュール設計技術の妥当性を確認している。</li> </ol>			
<p>以上のように、本論文では今後の電動車用として必要な次世代パワーモジュールに Ag 焼結接合技術を適用し、シミュレーション設計と信頼性評価を通して、Ag 焼結接合を新たなダイアタッチ技術として用いる本設計思想の可能性を明確にしている。</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>			