



Title	Studies on Thermal Design Evaluation Method of SiC Power Module
Author(s)	福永, 崇平
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/77495">https://doi.org/10.18910/77495</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 福永 崇平 )	
	(職) 氏 名
	主査 教授 舟木 剛
論文審査担当者	副査 教授 高井 重昌
	副査 教授 牛尾 知雄
	副査 教授 白神 宏之
	副査 教授 北條 昌秀 (徳島大学大学院 社会産業理工学研究部)

## 論文審査の結果の要旨

本論文は SiC パワーモジュールの熱設計評価に関する研究成果を纏めたものであり、以下の 6 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、SiC パワーモジュールを適用した高電圧電力変換回路の高電力密度化に関する課題と本研究の目的を述べた後、本論文の構成の概略を示している。

第 2 章では、SiC パワーデバイスの電気的特性とその温度依存性を半導体工学に基づき導出した。次に既存のパワーモジュールパッケージの構成について述べたのち、現在研究されている次世代パワーモジュールパッケージ技術を示した。最後に、本研究で開発した多層セラミック基板を用いた SiC パワーモジュールの電気特性を評価し、開発基板により低寄生インダクタンス化が実現できることを示している。

第 3 章では、パワーモジュールパッケージの熱等価回路モデルを同定するアルゴリズムを開発した。従来の熱等価回路モデル同定手法は、測定データのノイズ低減に限界があった。本研究で開発した手法では、測定データに不等間隔フーリエ変換を適用して対数周波数領域に変換したのち、ローパスフィルタを用いて高調波成分を除去することで、従来手法と比べて高いノイズ低減効果を示した。またディスクリートパッケージおよび実装したパワーモジュールの熱等価回路モデルを実験的に同定し、開発手法を用いることでパワーモジュールパッケージの各構造の同定精度が向上することを示している。

第 4 章では、SiC MOSFET のジャンクション温度の時間応答推定方法を提案した。SiC MOSFET はゲート閾値電圧の動的変動が問題として残っており、これが電気的なジャンクション温度推定に影響を与えるため、SiC パワーモジュールの過渡熱特性を正確に評価することが難しい。本研究ではゲート閾値電圧の動的変動の影響を受けない SiC MOSFET 向けの測定法を提案している。SiC MOSFET に内蔵した埋め込み温度検知ダイオードを用いて推定したジャンクション温度が、提案手法により推定されたジャンクション温度の時間応答が一致したことで、提案手法の妥当性を示した。また新規構造である埋め込み型 SBD を有する SiC MOSFET (SWITCH-MOS) の過渡熱抵抗測定を実施し、新規構造ではゲート閾値電圧の動的変動の影響を受けず、従来手法でも過渡熱特性を評価できることを明らかにしている。

第 5 章では、本研究で開発した熱等価回路モデル同定手法および提案した SiC MOSFET の過渡熱抵抗測定手法を用いて、構造の異なる SiC パワーモジュールの過渡熱抵抗測定を実施している。実装するチップサイズやはんだ材料、モジュール基板の銅厚およびベースプレート材料がパワーモジュールの過渡熱特性の改善に有効であることを示した。また本研究で開発した多層セラミック基板の過渡熱特性を評価し、寄生インダクタンスを低減するための厚銅層がジャンクションで生じた熱を横方向に広げることで、放熱特性の改善に有用であることを明らかにしている。

第 6 章では、本論文で得られた成果についてまとめ、今後の展望を示している。

以上のように、本論文はパワーエレクトロニクスによる省エネルギー化に必要な、パワーモジュールの熱性能の評価法の提案およびそれをもちいた設計法を開発しており、今後のパワーエレクトロニクス技術の発展を支える基盤技術に相当する成果となっている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。

## 論文内容の要旨

氏名 ( 福永 崇平 )	
論文題名	Studies on Thermal Design Evaluation Method of SiC Power Module (SiCパワーモジュールの熱設計評価法に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>省エネ社会の推進を背景に、パワエレ機器の高効率化が求められている。従来の電力変換回路に適用されているSiCパワーデバイスに代わり、物性値的に優れたSiC半導体を適用したパワーデバイスやこれをモジュール化したパワーモジュールが注目されている。SiCパワーデバイスを省エネ効果が大きい高電圧・大電流のパワエレ機器で利用することで、低オン抵抗化や高速スイッチングが可能になり、高電力密度化が期待できる。一方で高速スイッチングを活かした電力変換回路の高電力密度化に伴う小型化では、放熱面積の縮小や、部品間距離の短縮による熱干渉の増大により、放熱性能が低下する。よってSiCパワーデバイスを適用した高電力密度電力変換回路の実現にはSiCパワーモジュールの熱設計が重要である。本研究では高放熱性が求められるSiCパワーモジュールの熱設計評価に向けた過渡熱回路モデル同定手法を開発した。また現在のSiC MOSFET固有の問題であるゲート閾値電圧の動的変動の影響を排除した過渡熱抵抗測定手法を提案し、SiCパワーモジュールの熱設計評価を可能とした。さらに開発手法を用いて構造の異なるSiCパワーモジュールの過渡熱特性を評価し、放熱性能の改善に有効なパラメータを明らかにした。</p> <p>本論文は「SiCパワーモジュールの熱設計評価法」に関する研究成果をまとめたものであり、以下の6章で構成されている。</p> <p>第1章では、本研究の背景、SiCパワーモジュールを適用した高電圧電力変換回路の高電力密度化に関する課題と本研究の目的を述べた後、本論文の構成の概略を示した。</p> <p>第2章では、SiCパワーデバイスの電気的特性とその温度依存性を半導体工学に基づき導出した。次に既存のパワーモジュールパッケージの構成について述べたのち、現在研究されている次世代パワーモジュールパッケージ技術を示した。最後に、本研究で開発した多層セラミック基板を用いたSiCパワーモジュールの電気特性を評価し、開発基板により低寄生インダクタンス化が実現できることを示した。</p> <p>第3章では、パワーモジュールパッケージの熱等価回路モデルを同定するアルゴリズムを開発した。従来の熱等価回路モデル同定手法は、測定データのノイズ低減に限界があった。本研究で開発した手法では、測定データに不等間隔フーリエ変換を適用して対数周波数領域に変換したのち、ローパスフィルタを用いて高調波成分を除去することで、従来手法と比べて高いノイズ低減効果を示した。またディスクリートパッケージおよび実装したパワーモジュールの熱等価回路モデルを実験的に同定し、開発手法を用いることでパワーモジュールパッケージの各構造の同定精度が向上することを示した。</p> <p>第4章では、SiC MOSFETのジャンクション温度の時間応答推定方法を提案した。SiC MOSFETはゲート閾値電圧の動的変動が問題として残っており、これが電気的なジャンクション温度推定に影響を与えるため、SiCパワーモジュールの過渡熱特性を正確に評価することが難しい。本研究ではゲート閾値電圧の動的変動の影響を受けないSiC MOSFET向けの測定法を提案した。SiC MOSFETに内蔵した埋め込み温度検知ダイオードを用いて推定したジャンクション温度が、提案手法により推定されたジャンクション温度の時間応答が一致したことで、提案手法の妥当性を示した。また新規構造である埋め込み型SBDを有するSiC MOSFET (SWITCH-MOS) の過渡熱抵抗測定を実施し、新規構造ではゲート閾値電圧の動的変動の影響を受けず、従来手法でも過渡熱特性を評価できることを明らかにした。</p> <p>第5章では、本研究で開発した熱等価回路モデル同定手法および提案したSiC MOSFETの過渡熱抵抗測定手法を用いて、構造の異なるSiCパワーモジュールの過渡熱抵抗測定を実施した。実装するチップサイズやはんだ材料、モジュール基板の銅厚およびベースプレート材料がパワーモジュールの過渡熱特性の改善に有効であることを示した。また本研究で開発した多層セラミック基板の過渡熱特性を評価し、寄生インダクタンスを低減するための厚銅層がジャンクションで生じた熱を横方向に広げることで、放熱特性の改善に有用であることを明らかにした。</p> <p>第6章では、本論文で得られた成果についてまとめ、今後の展望を示した。</p>	