The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高電圧・大電流・高速スイッチングSiCパワーモジュールの開発とその評価法に関する研究
Author(s)	林, 慧
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72398
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　（　　林　慧　　）	
論文題名	高電圧・大電流・高速スイッチングSiCパワーモジュールの開発と その評価法に関する研究

論文内容の要旨

SiCデバイスを用いた高電圧・大電流・高周波電力変換回路の実現によるシステムの小型・高効率化が進められている。さらなるシステム高性能化・社会実装促進のためには、SiCデバイス回路応用時の正確な測定に基づく評価手法・システム設計手法の確立が不可欠である。

本研究では、高電圧・大電流・高速スイッチング動作を達成するSiCパワーモジュールを設計・開発し、さらに電力変換回路応用時の過渡特性評価法・損失評価法・ノイズ電圧評価法について検討した。また開発したSiCパワーモジュールを適用した大電力変換回路および高周波電力変換回路を製作・評価した結果について報告する。

本論文は「高電圧・大電流・高速スイッチングSiCパワーモジュールの開発とその評価法」に関する研究成果をまとめたものであり、以下の５章で構成される。

第１章では、本研究の背景、従来のSiデバイスと比較したSiCデバイスの特長と回路応用時の問題点、さらに社会実装の現状・制限要因をまとめ、本研究の目的を述べた後、本論文の構成概略を示した。

第２章では、パワーデバイスの構造・動作原理、パワーモジュールの構造についてまとめ、SiCデバイスの利点と実装上の課題について検討した。SiCデバイスの高電圧・大電流・高速スイッチング動作による電力変換回路の高性能化（高効率・小型・軽量化）が期待されている。しかし、高速スイッチング時の高い電圧・電流変化率(di/dt・dv/dt)と回路内寄生成分との相互作用により起こる「ゲート発振による誤動作」および「サージ電圧による素子破壊」が問題となる。本研究では、ゲート発振を抑制するために内蔵ゲート抵抗、サージ電圧を低減するために内蔵スナバコンデンサをパワーモジュール内部に実装したSiCパワーモジュールを開発し、受動部品の内蔵の有用性を明らかにした。開発したSiCパワーモジュールは誤動作・破壊することなく、高電圧・大電流・高速スイッチング動作を達成した。

第３章では、SiCデバイスの高電圧・大電流・高速スイッチング動作時の電圧・電流・電力（損失）・ノイズの測定・評価法に関して検討した。スイッチングの高速化に伴い、電圧・電流の過渡応答、電力（損失）の測定・評価は測定機器の性能不足や回路内寄生成分の影響が顕著になるため難しくなる。また、電力変換回路から発生するノイズの高周波化・広帯域化が懸念される。高周波電力変換回路のパワーデバイス電圧・電流の過渡応答測定、電力（損失）測定、伝導エミッション測定における各課題を示し、SiCデバイスに対応した評価法について提案・検証する。具体的には、「フローティング過渡電圧測定におけるコモンモード電圧補償法」、「高速スイッチングに適した過渡電流測定手法の比較・検証」、「損失解析の簡易手法」、「ベクトルシグナルアナライザを用いたノイズ電圧モード分離手法」である。

第４章では、開発SiCパワーモジュールを用いた電力変換回路を製作し、その性能に関して検討した。開発モジュールを適用した双方向絶縁型DCDCコンバータ（デュアルアクティブブリッジ）回路を開発し、600V・100Ap-p・50kHz・25kWにおいて最高変換効率98.6%を達成した。開発パワーモジュールをフルブリッジ回路に組み込み、600V・100Ap-p・1MHzの高電圧・大電流・高周波連続動作を達成した。

第５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。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（林　慧　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	舟木　剛
	副 査	教授	高井 重昌
	副 査	教授	白神 宏之
	副 査	准教授	杉原 英治

論文審査の結果の要旨

本論文は「高電圧・大電流・高速スイッチング SiC パワーモジュールの開発とその評価法」に関する研究成果をまとめたものであり、以下の５章で構成される。

第１章では、本研究の背景、従来の Si デバイスと比較した SiC デバイスの特長と回路応用時の問題点、さらに社会実装の現状・制限要因をまとめ、本研究の目的を述べた後、本論文の構成概略を示している。

第２章では、パワーデバイスの構造・動作原理、パワーモジュールの構造についてまとめ、SiC デバイスの利点と実装上の課題について検討した。SiC デバイスの高電圧・大電流・高速スイッチング動作による電力変換回路の高性能化（高効率・小型・軽量化）が期待されている。しかし、高速スイッチング時の高い電圧・電流変化率(di/dt・dv/dt)と回路内寄生成分との相互作用により起こる「ゲート発振による誤動作」および「サージ電圧による素子破壊」が問題となる。本研究では、ゲート発振を抑制するために内蔵ゲート抵抗、サージ電圧を低減するために内蔵スナバコンデンサをパワーモジュール内部に実装した SiC パワーモジュールを開発し、受動部品の内蔵の有用性を明らかにしている。開発した SiC パワーモジュールは誤動作・破壊することなく、高電圧・大電流・高速スイッチング動作を達成している。

第３章では、SiC デバイスの高電圧・大電流・高速スイッチング動作時の電圧・電流・電力（損失）・ノイズの測定・評価法に関して検討した。スイッチングの高速化に伴い、電圧・電流の過渡応答、電力（損失）の正確な測定・評価が難しくなる。また、電力変換回路から発生するノイズの高周波化・広帯域化が懸念される。高周波電力変換回路のパワーデバイス電圧・電流の過渡応答測定、電力（損失）測定、伝導エミッション測定における各課題を示し、SiC デバイスに対応した評価法について提案・検証している。

第４章では、開発 SiC パワーモジュールを用いた電力変換回路を製作し、その性能に関して検討した。開発モジュールを適用した双方向絶縁型 DCDC コンバータ（デュアルアクティブブリッジ）回路を開発し、600V・100Ap-p・50kHz・25kW において最高変換効率 98.6%を達成している。開発パワーモジュールをフルブリッジ回路に組み込み、600V・100Ap-p・1MHz の高電圧・大電流・高周波連続動作を達成している。

第５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、本論文は再生可能エネルギー利用における電力システム運用で不可欠な電力潮流制御と送電線容量向上に関して重要な知見を得ており，持続可能な社会形成に貢献・寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。