

京都大学	博士 (工学)	氏名	Nathabhat Phankong
論文題目	Characterization of SiC Power Transistors for Power Conversion Circuits Based on C-V Measurement (SiC パワートランジスタの C-V 測定に基づく電力変換回路のための特性評価)		
(論文内容の要旨)			
<p>ワイドバンドギャップ半導体SiCを用いたパワーデバイスに関して、デバイス特性の実測により内部構造およびその物理現象に基づくモデルを検討し、回路解析に供することが可能なスイッチング特性を表現できるデバイスモデルを導出すると共に、導出したデバイスモデルを基にデバイスの優位性を生かした電力変換回路の設計を試みた一連の研究の成果をまとめたものである。本論文は7章からなっている。</p> <p>第1章では、本研究の背景および研究の意義について述べている。</p> <p>第2章では、SiC DiMOSFET, 横型のRESURF SiC JFET, 縦型のSiC JFETに関して、それぞれの特性を支配するMOS形およびpn接合形からなるキャパシタンスを特定し、各素子の断面構造から導出されるキャパシタンスに関して、特性の端子電圧依存性および構造依存性を導出した。これらに基づき、デバイス特性を支配するキャパシタンスの測定の必要性を示した。</p> <p>第3章では、パワートランジスタのC-V特性測定システムを開発しその詳細について説明している。パワーデバイスの端子間容量は、スイッチング駆動時のデバイスの動特性を把握するために重要な物理量である。実際の素子においては、これらのキャパシタンスは定数ではなく端子の印加電圧によって変化する。そこでゲート電圧駆動型のパワーデバイスに関するC-V特性の測定システムを新たに開発した。本システムは5種類の測定回路からなり、3個の端子間キャパシタンスと2個の回路動作時の素子キャパシタンスの測定を可能にし、ゲートのバイアス値で決まるブロッキング条件の下で各キャパシタンス値の算出を可能にした。空乏層および蓄積層の変化はこれらのキャパシタンスの変化として測定できる。本測定システムにより、これらのキャパシタンスがデバイス構造およびその動作を明確に反映していることを実験に基づき明らかにした。</p> <p>第4章では、Si および SiC パワーMOSFETに関して、それらの広範囲の動作条件におけるデバイス特性を予測するため、端子間キャパシタンスに基づくデバイスの物理モデルを検討した。パワーデバイスの端子間キャパシタンスの電圧依存性から、C-V特性に基づくI-V特性をモデル化すると同時に、モデルパラメータを抽出した。また、パワーMOSFETのスイッチング特性を端子間容量に基づいて考察し、Si および SiC パワーデバイスのスイッチング特性は、それらのMOS容量、pn接合容量からなる内部寄生容量によって支配されることを明らかにした。この検討に基づくデバイスのスイッチング挙動の数値計算結果は、同一条件の実験結</p>			

氏名	Nathabhat Phankong
----	--------------------

果と良好に一致した。SiC MOSFET は Si MOSFET に比べこれらの端子間容量が小さく高速なオン、オフ動作を実現できることを確認した。

第5章では、縦型および横型SiC JFET のスイッチング特性を、端子間キャパシタンスのゲートおよびドレイン電圧依存性、静的I-V特性の測定に基づき検討した。両素子のスイッチング動作特性は、空乏層によって生じる内部寄生容量に依存することを明らかにした。横型SiC JFET は縦型 SiC JFET よりも高速なスイッチング速度を実現できることをC-V特性の測定に基づき明らかにするとともに、構築したモデルは実験結果を良好に再現できることを示した。

第6章では、SiCパワーMOSFETを用いた高周波スイッチングコンバータ回路を製作し、その素子特性を実用回路中において実験的に検証した。第4章のモデルによる数値計算結果と得られた実験結果を比較し、その妥当性を検討している。SiCパワーMOSFETを用いて共振形dc/dc昇圧コンバータを製作し、低損失化のためゼロ電圧、ゼロ電流におけるスイッチングを実現した。同一のコンバータにSiCパワーMOSFETとSiパワーMOSFETの双方を用いた結果より、SiC パワーMOSFETがより高周波の共振に適していることが示された。これより、SiCパワーMOSFETの高周波スイッチング利用への可能性が得られた。

第7章は、本論文の結論であり、得られた成果を要約すると共に、今後の研究課題について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたパワーデバイスに関して、デバイス特性の実測により、内部構造およびその物理現象に基づくモデルを検討し、回路解析に供することが可能なスイッチング特性を表現できるデバイスモデルを導出すると共に、導出したデバイスモデルを基にデバイスの優位性を生かした電力変換回路の設計を試みた一連の研究の成果をまとめたものである。本論文により得られた主要な結果は以下の通りである。

- (1) パワーデバイス SiC MOSFET, SiC JFET に関して、デバイス構造とその物理現象に基づき、それらの内部キャパシタンスに着目した端子間の等価回路を導出した。特に空乏層領域のキャパシタンス変化を、ドーピング濃度の傾斜分布を仮定することで表現することが可能であることを示した。
- (2) SiC パワーデバイスに関して、高電圧印加の状態でゲート入力時における C-V 特性を容易に計測可能な測定システムを独自に開発し、それらの特性の選択的な計測を可能にした。その測定結果に基づき、各デバイスの伝達特性を求め、ドリフト層における空乏層の発展に基づく容量変化の特徴などをデバイスの実装条件下で明らかにした。
- (3) 従来の Si パワーデバイスのモデル化に関する研究成果および SiC パワーデバイスの C-V 特性の計測結果に基づき、SiC MOSFET のモデルを構築した。その結果、デバイスの C-V 特性、静的 I-V 特性とスイッチング挙動との関係を明らかにし、デバイスのスイッチング特性のシミュレーションを可能にした。
- (4) SiC JFET の特性について検討し、モデルの導出およびシミュレーションを試みた。デバイス構造の差異によるデバイス特性の変化を導出したモデルにより記述することができることを示し、同時にデバイスのスイッチングの現象に伴うデバイス内部の物理現象を明らかにした。
- (5) SiC MOSFET を用いた共振形電圧変換回路を設計し、デバイスの特性の回路動作への優位性を示した。

上記のように、本論文では SiC パワーデバイス特性が測定できる計測システムの独自の開発によるデバイスの実装条件下における特性の測定結果に基づき、デバイスのスイッチング動作を明らかにすると同時に応用回路の検討を行ったものであり、SiC パワーデバイスの構造と物理現象に基づく基礎的な研究から、モデルの構築および回路応用への具体的な展開を図った極めて独創的な成果と言える。

本論文は、ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたパワーデバイスの特性測定に基づくデバイスモデルの提案により、新しい電力変換回路の設計を可能にしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 22 年 8 月 2 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。