

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12307 号
------	---------------

氏 名 Nguyen Xuan Truyen

### 論文題目

Study on Electronic States of Surfaces and Interfaces of Wide Bandgap Materials: SiC and GaN

(ワイドバンドギャップ半導体SiC及びGaNにおける表面及び界面の電子状態に関する研究)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	宮崎 誠一
委員	名古屋大学	教授	曾田 一雄
委員	名古屋大学	教授	中塚 理
委員	名古屋大学	准教授	牧原 克典
委員	産業総合技術研究所	主任研究員	田岡 紀之

## 論文審査の結果の要旨

Nguyen Xuan Truyen君提出の博士論文「Study on Electronic States of Surfaces and Interfaces of Wide Bandgap Materials: SiC and GaN (ワイドバンドギャップ半導体SiC及びGaNにおける表面及び界面の電子状態に関する研究)」は、SiCおよびGaNワイドバンドギャップ半導体に対する酸化物/半導体界面の高品質形成技術の開発およびその界面物性解明に関する研究報告をまとめたものである。

省エネルギー社会の実現において、パワーデバイスは非常に重要な役割を担うが、現在のパワーデバイスの性能を更に向上させるため、SiC及びGaNなどのワイドバンドギャップ半導体に注目が集まっている。

本論文では、独創的な手法としてリモートプラズマを用いたSiCおよびGaN MOS界面の改質について系統的な試料作製と表面・界面の物理的構造・電子状態およびそれらに関連した電気的な特性がまとめられている。更に本研究において、ワイドバンドギャップ半導体のギャップ内に分布する界面準位密度をより広いエネルギー範囲で評価する手法として、光電子収率分光法(PYS)を提案し、PYSや光電子分光法、電気特性(C-V、I-V)等を組み合わせ、SiCおよびGaNの表面・界面特性を明らかにするとともに、その表面・界面の制御性について詳細に議論している。尚、本論文は、以下の8章で形成されており、各章の詳細は下記の通りである。

第1章では、研究背景、目的および概要について述べられている。研究背景では、低損失で高性能なパワーデバイス開発の必要性とともに有力な材料となるSiC及びGaNの物性および絶縁膜形成時における課題等が詳細に記載されており、本研究の意義と目的が述べられている。

第2章では、本研究を推進する上で重要な実験事項であるリモートプラズマ技術、光電子収率分光法及び電気特性評価の基本原則および基礎的事項が詳細に述べられている。

第3章では、リモートH<sub>2</sub>プラズマ処理がSiC表面の化学結合状態及び電子状態に与える影響を議論している。具体的には、プラズマ処理前後における表面形状、化学結合状態および電子占有欠陥密度の変化をそれぞれ、原子間力顕微鏡(AFM)、X線光電子分光法(XPS)およびPYSを用いて評価した結果を述べている。水素プラズマ処理はSiC表面のクリーニングに有効であるが、長時間の処理によりC原子の選択エッチングが進行する事が明らかとなり、PYS測定により水素プラズマ照射により欠陥準位密度が増大することも明らかにしている。

第4章では、リモートO<sub>2</sub>/Arプラズマ支援CVD(ROPE-CVD)を用いて形成したSiO<sub>2</sub>/GaN構造の化学結合状態及び電子占有欠陥の深さ方向分析の結果について議論している。ここではサファイア基板にエピタキシャル成長したGaN表面上にSiH<sub>4</sub>及びリモート酸素プラズマを用いたROPE-CVDにより膜厚約5.2nmのSiO<sub>2</sub>を堆積し、XPS分析により、ROPE-CVDと同条件で励起したリモート酸素プラズマでGaN表面を処理した場合には、表面酸化が進行するのに対して、ROPE-CVDによりSiO<sub>2</sub>を堆積した場合には、組成急峻なSiO<sub>2</sub>/GaN界面が形成されること明らかにしている。さらには、価電子帯スペクトル分析より、SiO<sub>2</sub>/GaN界面のエネルギーバンドアライメントを決定している。

第5章では、前章で形成したSiO<sub>2</sub>/GaN構造の電気特性を議論している。具体的には、ホモエピタキシャル成長したGaN基板上に膜厚約5~20nmのSiO<sub>2</sub>膜を堆積し、MOSキャパシタのC-Vカーブから、正の固定電荷がSiO<sub>2</sub>/GaN界面近傍に局在し、その面密度は約 $1.4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ であることを明らかにしている。

第6章では、SiO<sub>2</sub>/GaN構造の熱安定性を述べている。具体的には、イオンダメージを抑えた処理が可能なりリモート酸素プラズマ支援CVDを用いて形成したSiO<sub>2</sub>/GaN構造において、光電子分光法により化学結合状態を調べるとともに、MOSキャパシタにおける電気特性を調べた結果を議論している。リモートプラズマ支援CVDにより、膜厚20nmのSiO<sub>2</sub>膜を500°Cで堆積した後、窒素雰囲気中に600°Cから800°Cまで堆積後熱処理を行った場合、堆積直後及び600°C、700°Cの熱処理後では界面準位密度分布に顕著な変化がないものの、800°Cの熱処理後では界面準位密度分布が減少し、SiO<sub>2</sub>/GaN界面は高い熱安定性を有していることを明らかにしており、SiO<sub>2</sub>/GaN界面を用いることにより高信頼及び高性能GaNパワーデバイスを界面制御層の導入なく、実現できる可能性を示している。

第7章では、リモートO<sub>2</sub>/Heプラズマ支援CVD SiO<sub>2</sub>/GaN構造の化学結合状態及び電気特性に与える影響を述べている。リモート酸素/ArプラズマCVDにより形成したSiO<sub>2</sub>は酸素/HeプラズマCVDにより形成したSiO<sub>2</sub>よりも表面ラフネスが大きいものの、化学結合状態分析からArまたはHeの希釈ガスに依存せず形成したSiO<sub>2</sub>/GaN構造はGaN表面に顕著な酸化が認められず組成急峻であることが明らかとなった。また、O<sub>2</sub>/Ar及びO<sub>2</sub>/Heプラズマにより形成したGaN MOSキャパシタのC-Vカーブはヒステリシス及び周波数分散が小さく、理想C-Vカーブとよく一致し、低欠陥密度の界面が形成していることを示している。

第8章では、本論文で明らかにした研究成果を総括するとともに、残された今後の課題や展望が述べられている。

以上のように本論文では、酸化物/ワイドバンドギャップ半導体界面の結晶学的構造と電子物性、電気特性との相関について、総合的な分析結果が示されており、その学術的意義は十分に高く、ワイドバンドギャップ半導体の界面制御に関連する工学分野の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるNguyen Xuan Truyen君は、博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判断した。