

## 論文審査の要旨

|   |                |         |         |
|---|----------------|---------|---------|
| 博士の専攻分野の名称  | 博 士 ( 工 学 )    | 氏名      | 村 岡 幸 輔 |
| 学位授与の要件   | 学位規則第4条第①・2項該当 |         |         |
| 論 文 題 目   |                |         |         |
| A Study on High-Mobility SiC MOSFETs with Interfacial Silicate Layer for Harsh Environment Electronics<br>(極限環境エレクトロニクス実現に向けた界面ケイ酸塩層を有する高移動度 SiC MOSFETs の研究)   |                |         |         |
| 論文審査担当者   |                |         |         |
| 主 査   | 教 授            | 黒 木 伸一郎 | 印       |
| 審査委員  | 教 授            | 東 清一郎   | 印       |
| 審査委員  | 教 授            | 寺 本 章 伸 | 印       |
| 〔論文審査の要旨〕   |                |         |         |
| <p>本論文は SiC (Silicon Carbide) 半導体を用いた MOSFETs (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistors) の金属-酸化膜-半導体界面 (MOS 界面) に関する研究をまとめたものである。SiC MOSFETs の MOS 界面にバリウムケイ酸塩を導入し、これによるチャネル移動度増加を示し、また放射線/高温環境がこの SiC MOSFETs に与える影響を調べた。またバリウムケイ酸塩層及びバリウム原子の MOS 界面における挙動、役割を示し、特にバリウム原子導入により、SiC 上の酸化膜形成が促進される増殖酸化の発生メカニズムを示した。博士論文は 6 つの章により構成される。</p> <p>第 1 章では、本研究の詳細な背景、目的について説明し、放射線/高温環境が MOS デバイスに与える影響を総括し、物性的特徴から SiC 半導体が極限環境下においてもトランジスタ特性を維持し続ける理由を説明している。また SiC MOS 界面における欠陥密度低減方法について概観し、バリウムケイ酸塩層を用いることの優位点等を説明している。</p> <p>第 2 章では、キャップ SiO<sub>2</sub> 層及び界面 BaO<sub>2</sub> 層の膜厚変化が MOS 界面に与える効果について述べている。本研究においてバリウムケイ酸塩を導入した酸化膜は、界面バリウムケイ酸塩層は BaO<sub>2</sub> 層と SiO<sub>2</sub> 層を成膜後、酸素雰囲気中で熱酸化することで形成した。この章では界面ケイ酸塩構造および界面準位密度のキャップ SiO<sub>2</sub> 層膜厚依存性を示した。また BaO<sub>2</sub> 層の膜厚が MOS 界面に与える効果について示し、6 nm 以上の厚い BaO<sub>2</sub> 層は界面ケイ酸塩層の多結晶化を誘起し、ゲート絶縁膜として適当ではないことを示した。</p> <p>第 3 章では、MOS 界面にバリウムケイ酸塩層を配した SiC MOSFETs の高温特性について示している。室温から 500 °C までのトランジスタ特性を示している。バリウムを界面改善に用いる上で、バリウム原子が可動イオンとして振舞うかどうかは非常に重要である。500 °C において、SiC MOSFET のドレイン電流は反転層電子のゲート絶縁膜注入によるヒステリシスを示したが、同温度領域においてバリウムケイ酸塩構造自体は安定であることを示した。</p> <p>第 4 章ではバリウムケイ酸塩層を有する SiC MOSFETs のガンマ線耐性について示して</p> |                |         |         |

いる。作製した MOSFETs を用いてコバルト 60 (Co60) ガンマ線照射実験を行い、Total Ionizing Dose (TID) 効果によるトランジスタ特性の変動の研究を行っている。バリウムケイ酸塩層を配した MOSFET は熱酸化膜を用いた MOSFET より低い界面欠陥生成効率/酸化膜トラップ生成効率を示し、ケイ酸塩層の TID 耐性が熱酸化膜よりも高いことを示した。また 830 kGy (SiC) の吸収線量にて、ドレイン電流-ドレイン電圧特性の飽和領域にキック効果が現れることを明らかにした。これはガンマ線照射によって生じた二次電子によるはじき出し損傷が原因であると考えられる。ドレイン-SiC 基板間の pn 接合中に結晶欠陥が生じ、これを介したトンネル電流によって正孔が p 型 SiC 基板に蓄積し、キック効果が現れたと説明できることを示した。

第 5 章ではガンマ線誘起移動度増加現象について議論している。ケイ酸塩層を配した SiC MOSFET に 600 kGy (SiO<sub>2</sub>) 以上照射すると、電界効果移動度が 12 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> から 18 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> まで増加した。バイアス温度ストレス試験の結果、この現象は可動イオンによって引き起こされたものではないことを示した。またこの移動度増加現象はトランジスタのチャネル幅に依存し、狭チャネルがより大きな移動度、しきい値電圧の変化を引き起こすことを明らかにした。これはチャネル幅の拡大が放射線耐性向上に繋がることを示唆し、ゲート金属端部の応力による移動度変調機構が考えられることを示した。

第 6 章で、本研究の総括を述べる。

上記の要約通り、著者はバリウムケイ酸塩を MOS 界面に導入することで、SiC MOSFETs の移動度向上を実現し、さらに 830 kGy までの放射線曝露特性と 500 °C までの高温環境でも動作特性を示し、更に放射線曝露によるキャリア移動度向上などを示し、工学的寄与を示している。

また学術的には、この放射線曝露によるキャリア移動度向上のメカニズムや、MOS 界面にバリウムケイ酸塩を導入するにより発生する増殖酸化のメカニズムを示した。

これらの成果は半導体プロセス工学における知見と、これら物性と電気特性の相関という電子工学的知見を示しており、SiC 半導体デバイスの発展に貢献できると考えられ、高く評価できる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。