

論文審査の結果の要旨

報告番号	甲 先 第 378 号	氏 名	許 恒宇
審査委員	主査 直井 美貴 副査 永瀬 雅夫 副査 原口 雅宣 副査 敖 金平		
学位論文題目 Research on Interface State and Reliability of 4H-SiC MOSFETs with Thermal Gate Oxide (4H 炭化ケイ素 MOSFET ゲート酸化膜の界面準位及び信頼性に関する研究)			
審査結果の要旨 <p>炭化ケイ素 (SiC) は、バンドギャップが広く、破壊電界強度が高いから高出力かつ高温パワー金属-酸化物-半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) として開発されている。本論文では 4H SiC MOSFET においてゲート酸化膜の界面準位及び信頼性に関して研究した。</p> <p>SiC の熱酸化工程では、SiO₂ / SiC 界面にかなりの界面準位(D_{it})を引き起こしている。よって、SiC MOSFET のチャネル移動度が低下されることだけでなく、信頼性も下がってしまう。SiO₂ / SiC 界面での酸化反応エネルギー (3.12 eV) は、SiO₂ / Si 界面 (1.23 eV) より大きいと指摘されている。本研究は酸化温度が影響を与える界面準位及び信頼性に関して最適条件を調べた。SiC の伝導帯端より 0.2~0.6 eV 範囲で、1450°C で酸化されたサンプルに最低の界面準位密度 D_{it} が得られた。ただし、1250°C で酸化されたサンプルには最も信頼できる特性も示した。D_{it} と信頼性の間にはトレードオフがあることが判った。</p> <p>界面状態と信頼性のトレードオフを取るために、アルゴン (Ar) と一酸化窒素 (NO) を用い、酸化後のポスト酸化アニール (POA) 効果を調べた。D_{it} の減少は主に NO 雰囲気での POA と温度などが貢献していたことがわかった。ただし、N 正電荷の導入することにより、SiC MOS デバイスのフラットバンド電圧は負にシフトし、ノーマリオンになる。一方、Ar アニーリングでは、フラットバンド電圧を維持できるが、SiO₂ / SiC 界面付近の酸化膜の品質が改善できず、顕著な効果が見えないと判明した。アニーリング温度を 1300°C にし、アニーリング時間を 120 分にすると、伝導帯付近の界面準位密度が大幅に減少することも明らかになった。POA 温度の上昇、時間の延長によって、界面準位密度が減少することが示唆されている。また、ゲート酸化膜の信頼性に対して、NO アニーリングの温度と時間の影響も調べた。電界破壊 (E_{BD}) と電荷破壊 (Q_{BD}) の結果から、高温 NO アニーリングによってゲート酸化物の絶縁特性と信頼性が向上されることがわかった。</p> <p>SiC 材料の局所応力と界面特性の関連性、さらに熱酸化膜信頼性改善のメカニズムを解明するため、市販 SiC エピタキシャル材料を用い、界面欠陥によるゲート酸化膜の信頼性を調べた。第一原理計算によりも、SiC 結晶の格子定数の変化に応じて、界面にバンドギャップの変化傾向と実験結果をフィッティングした。さらに、応力/ひずみによる過度の圧縮/引張り曲率を調査し、ドライ熱酸化プロセスに電界破壊および電荷破壊によって表される SiO₂ 膜の信頼性を低下させることを確認した。「ストレスなし」の基板は、SiC MOSFET にとっては最良の選択であろう。</p> <p>本研究では、4H-SiC の MOSFET ゲート酸化膜の界面準位減少及び信頼性向上のため、新たな熱酸化膜プロセス開発、界面準位改善のメカニズム解明及び酸化膜信頼性と応力の内在関連について、優れた成果が得られている。本論文は博士 (工学) の学位授与に値するものと判定する。</p>			