

ALCA-Next

「半導体」領域

2024 年度 年次報告書

2024 年度採択

[研究開発代表者名:木本 恒暢]

[京都大学大学院工学研究科 教授]

[研究開発課題名:パワーエレクトロニクス応用における SiC 半導体素子の革新]

主たる共同研究者:

[小林 拓真 (大阪大学大学院工学研究科 准教授)]

[丹羽 正昭 (東京大学大学院工学研究科 上席研究員)]

実施期間 : 2024 年 11 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

§1. 研究開発成果の概要

炭化珪素(SiC)は現行の Si 素子の限界を桁違いに突破する高電圧・低損失パワー半導体として有望であり、SiC パワーMOSFET の実用化が始まっている。しかしながら、その性能は SiC 本来のポテンシャルから大きく乖離している。本研究では、酸化膜/SiC 界面近傍の高密度欠陥の解明と低減、MOS 界面のチャネル移動度の向上、およびデバイス構造の革新を通じて高性能 SiC パワーMOSFET の実現を目指す。本年度の成果は以下の通りである。

第一原理計算による界面欠陥の解明に関しては、欠陥物性を計算するための SiO₂/SiC スラブモデルを構造最適化計算により構築し、界面欠陥計算の準備を完了した。また、界面構造の物理分析に関しては、分析試料の作製条件を改善し、Si 原子と C 原子を明瞭に分離できる TEM 像観察技術を確立すると共に、標準条件で作製された SiO₂/SiC 試料の EELS スペクトルを取得した。また、SiC の熱酸化を抑制しながらゲート酸化膜(SiO₂ 膜)を形成する技術に関しては、伝導帯端近傍で 10¹¹ cm⁻² eV⁻¹ を下回る界面準位密度を得ると共に、従来の標準プロセスと比較して約2倍の高移動度(低ドープ p型ボディ上MOSFETで 82 cm²/Vs)を達成した。さらに、SiO₂/SiC 界面の固定電荷密度が SiC の伝導型やドーピング密度に強く依存することを見出した。また、SiO₂/SiC 界面の電子輸送現象を学術的に明らかにし、MOSFET 特性を予測する物理モデルの構築を目指して、体系的な MOS-Hall 効果測定データを取得した。自由電子密度と界面準位捕獲電子密度のゲート電圧依存性から伝導帯端極近傍の界面準位密度のエネルギー分布を正確に導出すると共に、フォノン散乱、ラフネス散乱、および SiC MOS 特有のクーロン散乱を考慮したモデルを用いた理論計算により、Hall 移動度の実効垂直電界依存性を 200~400K の広い温度範囲でほぼ完全に再現することに成功した。微細フィン FET に関しては、フィン内の電子の波動関数、存在確率分布、量子化エネルギー、移動度を理論的に計算するプログラムを構築し、SiC フィン FET の理論的な特性予測の準備を完了した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Mikami, M. Kaneko, and T. Kimoto,
“Doping-dependent fixed charges in SiC/SiO₂ structure,”
Appl. Phys. Express **18**, 034002 (2025).
- 2) T. Kimoto, R. Ishikawa, K. Tachiki, X. Chi, K. Mikami, and M. Kaneko,
“Fundamentals and Future Challenges of SiC Power Devices,”
Proc. of 9th IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference 2025 (Hong Kong, 2025), M-6-1-1.
- 3) X. Chi, K. Ito, T. Suto, A. Shima, M. Kaneko, and T. Kimoto,
“Unique electron trapping and its impacts on electron mobility in SiC n-channel MOSFETs,”
Tech. Digest of 70th IEEE Int. Electron Devices Meeting (San Francisco, 2024), 40-4.