

酸窒化膜を有する Si 面 4H-SiC MOSFET の反転層内での電荷輸送特性

Carrier transport properties in inversion layer of Si-face 4H-SiC MOSFET with nitrated oxide

野口宗隆¹、岩松俊明¹、網城啓之¹、渡邊寛¹、三浦成久¹、喜多浩之²、山川聡¹

三菱電機(株) 先端技術総合研究所¹、東京大学大学院 マテリアル工学専攻²

°Munetaka Noguchi, Toshiaki Iwamatsu, Hiroyuki Amishiro, Hiroshi Watanabe,
Naruhisa Miura, Koji Kita and Satoshi Yamakawa

Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation¹,

Department of Materials Engineering, The University of Tokyo²

E-mail: Noguchi.Munetaka@dh.MitsubishiElectric.co.jp

SiCを用いたパワーデバイスはパワーエレクトロニクス機器の大幅な省エネ化の鍵であり、電力変換効率を高めるための開発と応用機器への適用が加速しているが、その性能を左右するMOS界面の反転層における電子移動度に影響を及ぼす電子の散乱機構は未解明であった。我々は、従来のSiにおける知見を基に、SiC特有のクーロン散乱の影響を反転層におけるアクセプタ濃度(N_A)で制御し、他の要因と合わせて散乱因子を分離する手法を考案した[1]。ゲート絶縁膜に酸窒化膜を有するSiC MOSFETへ本手法を適用し、反転層内における電子の散乱機構を解析した。SiC MOSFETの反転層におけるホール効果移動度(μ_{Hall})がp型ウェル領域の N_A に依存することを利用し、個々の散乱因子の影響度を N_A によって変化させた。 N_A の低減によりクーロン散乱が μ_{Hall} に及ぼす影響が抑制できることに着目し、 N_A を制御下限の 10^{14} cm^{-3} 台まで低減した素子の μ_{Hall} よりフォノン散乱移動度(μ_{ph})を定めることで、実験的にSiC MOS反転層における電子の散乱機構を評価した。室温にて、SiC MOS反転層では主にフォノン散乱とクーロン散乱が支配的であり、界面ラフネス散乱の影響は限定的であることを明らかにした(図1)。

その後、フォノン散乱の影響をより明確化するために、酸窒化膜を有するSiC MOSFETに対し、高温で散乱因子を分離評価した[2]。高温では μ_{Hall} に対するクーロン散乱の影響度が低減し、フォノン散乱の影響度が増加することに着目した。200°Cにおいて低 N_A の素子では実効垂直電界(E_{eff})と μ_{Hall} の関係がほぼ一致し、 μ_{Hall} は200°C近傍で $T^{-1.52}$ に従い減少することから、 μ_{ph} に非常に近い値が得られたと示唆された。この値は他機関からの報告[3, 4]における実効移動度より評価した μ_{ph} と E_{eff} の関係とよく一致する(図2)。これらより、酸窒化膜においても N_A を 10^{14} cm^{-3} 台まで低減し、200°Cへと昇温することで μ_{ph} が評価できると結論付けた。本評価で得られた μ_{ph} はSi面とC面の面方位及び窒化処理やリン処理に影響されず、SiO₂/SiC界面の本質的な特性を反映している可能性を示唆する。解析の結果、200°Cでも室温と同様にフォノン散乱とクーロン散乱が反転層における電子散乱の主要因であることが明らかとなった。

[1] M. Noguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **58**, 3, pp. 031004 (2019).

[2] M. Noguchi *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, **68**, 12, pp. 6321 (2021).

[3] T. Ohashi *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, **65**, 7, pp. 2707 (2018).

[4] 伊藤 他, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-A201-7 (2020).

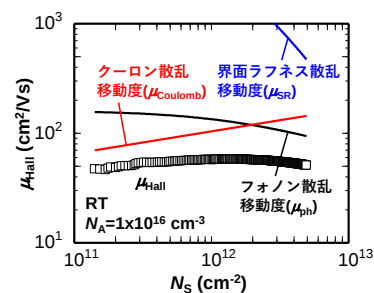


図1 各散乱移動度の分離評価 (室温)

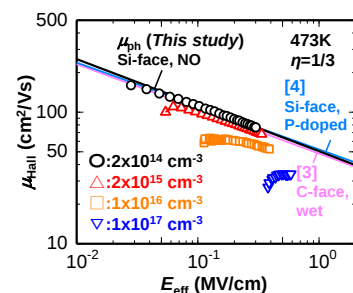


図2 E_{eff} に対する μ_{Hall} と μ_{ph} (200°C)