

SiC MOS 反転層における電子散乱過程および Hall 移動度のモデリング

Modeling of Electron Scattering Mechanisms and Hall Mobility in SiC MOS Inversion Layers

阪大院工 ○田中 一, 森 伸也

Osaka Univ. ○Hajime Tanaka, Nobuya Mori

E-mail: tanaka@si.eei.eng.osaka-u.ac.jp

背景 炭化ケイ素 (SiC) MOSFET は次世代パワーデバイスとして普及が進んでいるが, MOS 界面の高密度界面準位に由来する測定・定式化両面の複雑さから, その MOS 反転層における電子輸送のモデルは確立されていない. 本研究では, MOS 反転層に対する Hall 効果測定により得られた, (1) Hall 移動度 μ_H が, 実効垂直電界 $E_{\text{eff}} = 0.1 \text{ MV/cm}$ で $200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下と, Si MOS 反転層の電子移動度より大幅に低い, (2) 窒化処理により界面準位密度 D_{it} を低減させても, μ_H は向上しない, という報告 [1, 2] に着目して, これらを再現する SiC MOS 界面における電子散乱過程のモデルを提案し, モンテカルロシミュレーションを行い μ_H の振る舞いを解析した [3, 4].

計算方法 MOS 反転層の電子状態は, 有効質量近似に基づく自己無撞着計算で求めた. 散乱過程としては, Si MOS 界面に対して通常仮定される, フォノン散乱 (PH)・イオン化不純物散乱 (IMP)・表面ラフネス散乱 (SR) に加え, 界面準位捕獲電子と界面固定電荷によるクーロン散乱 (IT), および SiC 中の電的に中性な欠陥による散乱 (NDF) を考慮した. さらに, SiC MOS 界面では, 伝導帯端近傍に高密度の界面準位が存在するため, 散乱ポテンシャルに応じ界面準位の占有率が局所的に変化すると考えた. この効果を界面準位捕獲電子による遮蔽効果として定式化し, IMP・IT・SR に対して, 可動電子による遮蔽効果に追加する形で考慮した. NDF は, 格子定数程度に局在した散乱ポテンシャルにより記述した. 中性欠陥の空間分布としては, MOS 界面から SiC 中へ向けて線形に密度が減少する形を仮定した. 以上で得られたサブバンド構造と散乱レートとを用い, 電界と磁界とを考慮したモンテカルロシミュレーションにより μ_H を計算した.

結果 Fig. 1 に, 様々な散乱過程に対して計算した μ_H の E_{eff} 依存性を示す. D_{it} と固定電荷密度は, 窒化処理を行った MOSFET の電気的特性から抽出された値 [5] とした. IT の考慮で, μ_H がフォノン制限移動度の 1/2 以下に低下しており, 界面準位捕獲電子を含む界面電荷による散乱が無視できない寄与をしていることがわかる. また, SR と NDF のパラメータのフィッティングにより, 実験値に近い振る舞いを再現できた.

Fig. 2 に, μ_H のアクセプタ密度 N_A 依存性を示す. 薄い色のシンボルは, 実験で得られた N_A 依存性を Fig. 1 同様のモデルで再現した結果である. この場合, MOS 界面での NDF 密度 n_{ndf} を, 高 N_A において顕著に増加させる必要があった [3]. 他方, 濃い色で, NDF 分布の相関を考慮するなどの改良を加えたモデルによる結果 [4] を示す. 本改良モデルは, n_{ndf} の増大を抑えつつ, 実験結果の N_A 依存性を良く再現した.

上記の改良モデルを用いて, D_{it} を 5 倍または 0.2 倍に変化させて計算した μ_H を, Fig. 3 に示す. 異なる D_{it} に対する μ_H は互いにほぼ一致し, 窒化処理で D_{it} を低減しても μ_H は増加しないという実験結果 [1] と整合した. これは, D_{it} が, 捕獲電子がクーロン散乱源となる効果と, 遮蔽により散乱を抑制する効果という, μ_H に逆の影響を与える効果を生じており, D_{it} が増減した際にこれらが相殺することに由来する.

本研究は, JSPS 科研費 JP18J00168, JP19K23514, JP21H05003, 文部科学省革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777, および増屋記念基礎研究振興財団の助成を受けたものです.

[1] T. Hatakeyama *et al.*, APEX **10**, 046601 (2017). [2] M. Noguchi *et al.*, JJAP **58**, 031004 (2019). [3] H. Tanaka and N. Mori, JJAP **59**, 031006 (2020). [4] H. Tanaka and N. Mori, IMFEDK2021, IN05 (2021). [5] K. Tachiki *et al.*, TED **65**, 3077 (2018).

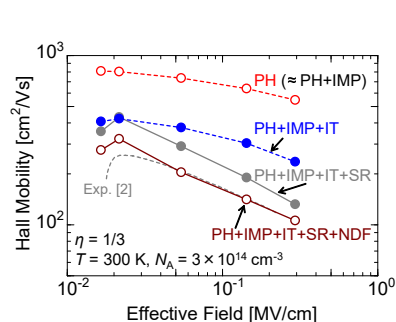


Fig. 1: E_{eff} dependence of μ_H in 4H-SiC (0001) MOS inversion layers considering various scattering mechanisms.

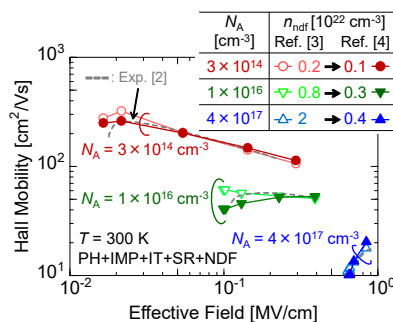


Fig. 2: μ_H at various N_A calculated by the models in [3] (light-colored) and [4] (dark-colored).

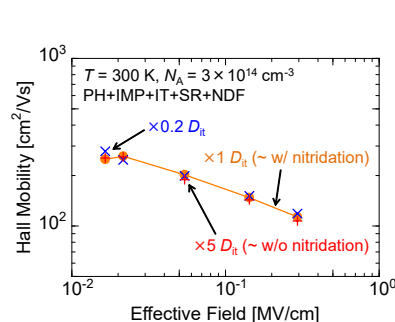


Fig. 3: Comparison of μ_H calculated by the revised model in [4] assuming different D_{it} .