

界面準位を考慮した SiC MOS 反転層における Hall 移動度の理論解析

Theoretical analysis on Hall mobility in SiC MOS inversion layers considering interface states

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 は高耐圧パワーデバイスとして実用化が進んでいるが, SiC MOS 界面には高密度の界面準位が存在し, これによる電子捕獲が可動電子密度の減少と可動電子移動度の低下の両面で SiC MOSFET のデバイス特性に影響を与える。そのため, SiC MOSFET において界面準位が電子輸送特性に与える影響を理解することは重要な課題となっている。

この目的のため, 反転層可動電子の Hall 移動度 μ_H の測定が行われており [1,2], (1) μ_H が実効垂直電界 0.1 MV/cm で $200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下と, Si MOSFET における反転層電子移動度より大幅に低い, (2) この μ_H は, 界面準位密度を低減させる窒化処理 (NO アニール) を行っても向上しない, といった報告がなされている。しかし, これらの起源を説明するモデルは確立されていない。そこで, 本研究では, 界面準位を考慮した 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により μ_H を計算して, 実験結果と比較しつつその振る舞いを解析した [3]。

計算方法 MOS 反転層における電子状態は, 有効質量近似に基づく自己無撞着計算により求めた。散乱過程として, 通常の Si MOS 界面で仮定される, 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, 界面準位捕獲電子および界面固定電荷によるクーロン散乱 (IT), SiC 中の電気的に中性な欠陥による散乱 (NDF) を考慮した。SiC MOS 界面においては, 伝導帯端近傍に高密度の界面準位が存在することから, 散乱ポテンシャルに応じて界面準位の占有率が局所的に変化すると考え, この効果を界面準位捕獲電子による遮蔽効果として記述し, IMP・IT・SR 散乱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 散乱については, 格子定数程度に局在した散乱ポテンシャル [4] を仮定して定式化した。以上で得られたサブバンド構造と散乱レートとを用い, 電界と磁界の両方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, 様々な散乱過程の組み合わせに対して計算した, 室温における μ_H の実効垂直電界依存性を示す。界面準位密度 D_{it} と固定電荷密度としては, 窒化処理を行った MOSFET の電気的特性から抽出された値 [5] を用いた。この結果から, 界面準位捕獲電子を含む IT が無視できない寄与をしていることがわかる。また, SR および NDF 散乱のパラメータを実験値にフィッティングした結果, 実験値に近い振る舞いを再現することができた。

Fig. 2 に, D_{it} を 5 倍または 0.2 倍とした場合の μ_H の計算結果を示す。これらは互いにはほぼ一致し, 窒化処理で D_{it} を低減しても μ_H が上昇しないという実験結果 [1] と整合した。これは, D_{it} が, 捕獲電子によるクーロン散乱と遮蔽効果という, 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。講演では, 文献 [3] 以降のモデルの改良についても報告する。

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。

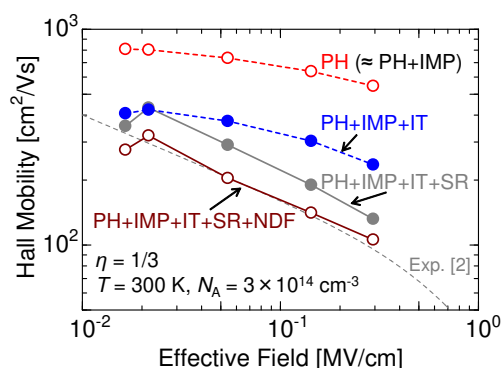


Fig. 1: Effective normal field dependence of Hall mobility in 4H-SiC (0001) MOS inversion layers calculated considering PH, IMP, IT, SR, and NDF scattering.

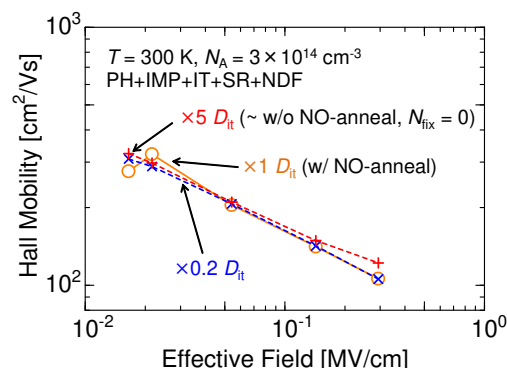


Fig. 2: Comparison of Hall mobilities calculated assuming different D_{it} . SR and NDF parameters are common to all the calculation conditions.

[1] T. Hatakeyama *et al.*, *APEX* **10**, 046601 (2017). [2] M. Noguchi *et al.*, *IEDM2017*, 219 (2017). [3] H. Tanaka and N. Mori, *JJAP* **59**, 031006 (2020). [4] S. Iwase *et al.*, *PRB* **95**, 041302 (2017). [5] K. Tachiki *et al.*, *TED* **65**, 3077 (2018).