

4H-SiC MOS 反転層における Hall 移動度の理論的検討

Theoretical investigation on Hall mobility in 4H-SiC MOS inversion layers

○ 田中 一, 森 伸也 (阪大院工)

○ Hajime Tanaka and Nobuya Mori (Osaka Univ.)

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

背景 SiC MOS 界面における低いチャネル移動度に関して、高密度界面準位への電子捕獲の影響に加え、可動電子に対する移動度もバルク移動度から予想される値より低いことが、Hall 効果測定に基づき指摘されている [1,2]. しかし、その低い Hall 移動度の起源については解明されていない. 本研究では、SiC MOS 界面における電子散乱過程を定式化した上で、電場と磁場との両方を印加した条件下でのモンテカルロシミュレーションにより Hall 移動度を計算し、実験的に報告されている Hall 移動度の振る舞いとを比較を行った.

計算方法 まず、MOS 反転層における電子状態を、有効質量近似に基づく自己無撞着計算により求めた. 得られたサブバンド構造と、以下で述べるモデルで求めた散乱レートとを用い、モンテカルロ法により Hall 移動度を計算した. 考慮した散乱過程は、音響および光学フォノン散乱 (PH), イオン化不純物散乱 (IMP), 界面準位捕獲電荷および界面固定電荷によるクーロン散乱 (IT), 表面ラフネス散乱 (SR), SiC 中の電気的に中性な欠陥による散乱 (NDF) である. 界面準位のエネルギー分布 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結果 [3] を用いた. IMP・IT・SR 散乱に対して、通常の可動電子による遮蔽効果に加え、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効果を、界面準位捕獲電荷による遮蔽効果として考慮した. 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、可動電子による遮蔽効果のみを考慮した.

結果 Fig. 1 に、様々な散乱過程の組み合わせ (PH のみ, PH+IMP, PH+IMP+IT) に対して計算した、室温における Hall 移動度の実効垂直電界依存性を示す. PH と PH+IMP の比較から、IMP 散乱の寄与は高アクセプタ密度の場合を除いて小さいことがわかる. また IT を加えることで移動度が 1/2 から 1/3 程度に低下することから、PH と IT はどちらも無視できない寄与をしていることもわかる. 他方、PH+IMP+IT による Hall 移動度は、実験値と比べて高く、これら以外の散乱過程も重要であることが示唆される.

次に、SR および NDF 散乱も加えて実験値にフィッティングした結果を Fig. 2 に示す ($\times 1 D_{it}$). 計算結果は実験値に近い振る舞いを再現していることがわかる. ただし、SR・NDF 散乱の寄与は実効電界に関して似た依存性を示したため、これらに関するパラメータを一意に決定するのは難しい. ここで、さらに、 D_{it} を 5 倍、または 0.2 倍とした場合の Hall 移動度も計算した. これらの計算結果は互いにほぼ一致し、窒化処理により D_{it} を低減しても Hall 移動度が上昇しないという実験結果 [2] と整合した. この振る舞いは、 D_{it} が、捕獲電荷によるクーロン散乱と遮蔽効果という、移動度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から理解できる.

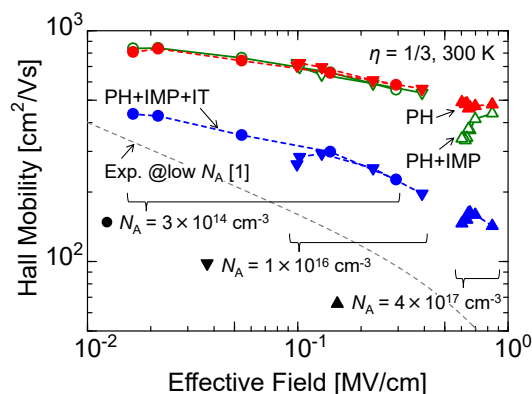


Fig. 1: Effective normal field dependence of Hall mobility in 4H-SiC (0001) MOS inversion layers calculated considering PH, IMP and IT scattering.

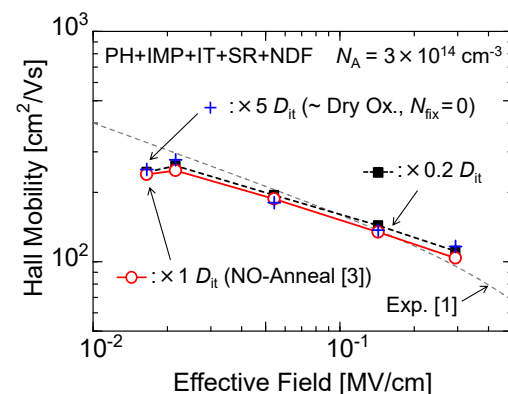


Fig. 2: Comparison of Hall mobilities calculated assuming different D_{it} . SR and NDF parameters are common to all calculation conditions.

[1] M. Noguchi *et al.*, *IEDM2017*, 219 (2017).

[2] T. Hatakeyama *et al.*, *APEX* **10**, 046601 (2017).

[3] K. Tachiki *et al.*, *TED* **65**, 3077 (2018).

[4] S. Iwase *et al.*, *PRB* **95**, 041302 (2017).