

SiC MOS 反転層における Hall 移動度に界面準位の面直位置が与える影響

Impacts of out-of-plane position of interface states on 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 SiC MOS 反転層における電子輸送を理解するため, Hall 効果測定による可動電子移動度の評価が行われている [1,2]. その際, 得られた Hall 移動度 μ_H を実効垂直電界に対してプロットするにあたり, 空乏層の空間電荷と Hall 電子密度に対応する電荷を用いて定義した実効垂直電界が用いられている [2]. 他方, 界面準位が MOS 界面より SiC 側に存在する場合, 界面準位捕獲電子が反転層電子にとっての垂直電界に影響を与えるため, この影響を含めた実効垂直電界の定義も考えられる. 本研究では, MOS 界面より SiC 側に界面準位を仮定した理論計算を行い, 界面準位の面直位置および実効垂直電界の定義法が, μ_H およびその実効垂直電界依存性に与える影響を検討した.

計算方法 MOS 反転層中の電子状態は, 有効質量近似に基づくバンド構造・波動関数の計算と, ポアソン方程式による反転層内の電位の計算とを自己無撞着に行うことで求めた. ただし, この際, MOS 界面から SiC 側へ測った距離 $z = z_{it}$ の位置に界面準位が存在すると仮定し, 界面準位捕獲電子の電荷 $-eN_{trap}$ をポアソン方程式の中で考慮した. 界面準位密度 D_{it} 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 [3] を用いると共に, エネルギーの基準を反転層のサブバンド端とした [4]. 散乱過程としては, フォノン散乱 (PH), イオン化不純物散乱 (IMP), 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), 表面ラフネス散乱 (SR) を考慮した. 散乱レートの計算の際にも, 界面準位は $z = z_{it}$ に存在すると仮定した. 以上で得られたバンド構造と散乱レートとを用い, 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, PH・IMP・IT を考慮して計算した, 室温における μ_H の実効垂直電界依存性を, $z_{it} = 2 \text{ nm}$ の場合 (赤) と, MOS 界面に界面準位がある $z_{it} = 0 \text{ nm}$ の場合 (青) について示す. 横軸の実効垂直電界として, 垂直電界を反転層内の電子密度の空間分布で重みづけ平均したもの (E_{ave}) と, 空乏層の空間電荷と Hall 電子密度から求めたもの ($E_{eff,H}$) の二通りを考え, それぞれに対して μ_H を白抜き四角および丸でプロットした. まず, μ_H の E_{ave} 依存性 (白抜き四角) においては, z_{it} が 0 nm から 2 nm に変化することで, 反転層電子と界面準位捕獲電子が接近して IT が強くなり, 高アクセプタ密度 N_A における μ_H が半分程度に低下する. 一方, $E_{eff,H}$ 依存性 (丸) の場合, N_{trap} の実効垂直電界への寄与が無視されて $z_{it} = 2 \text{ nm}$ でのプロットが左へ大きくシフトした結果, 上記の低下幅が見かけ上小さくなる. Fig. 2 には, PH・IMP・IT に加えて SR を考慮した場合の μ_H の計算結果を示す. Fig. 2 では, z_{it} を 0 nm から 2 nm に変化させた場合の μ_H の低下が, 高 N_A での $E_{eff,H}$ 依存性においても顕著に見られる. この低下は, $z_{it} = 2 \text{ nm}$ の場合, N_{trap} の存在により電子にとっての実質的な垂直電界が大きくなり, SR が増加することによる.

本研究は, JSPS 科研費 JP19K23514, JP21H05003 および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 の助成を受けたものです.

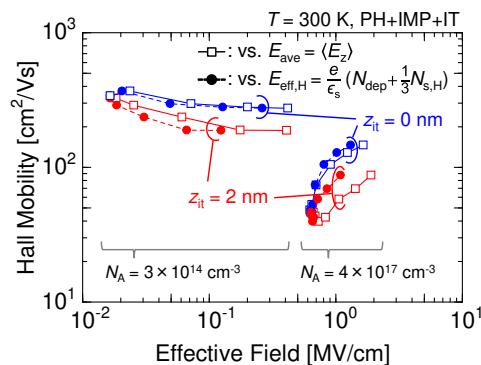


Fig. 1: Effective field dependence of Hall mobility in 4H-SiC (0001) MOS inversion layers calculated considering PH, IMP, and IT scattering. Plots for two z_{it} values and two definitions of effective field, E_{ave} and $E_{eff,H}$, are compared.

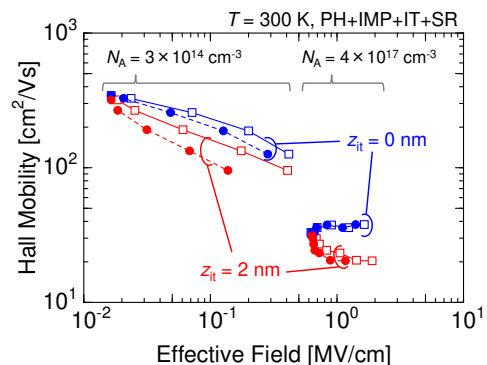


Fig. 2: Effective field dependence of Hall mobility calculated considering PH, IMP, IT, and SR scattering. Plots for two z_{it} values and two definitions of effective field, E_{ave} and $E_{eff,H}$, are compared as in Fig. 1.

[1] T. Hatakeyama *et al.*, *APEX* **10**, 046601 (2017). [2] M. Noguchi *et al.*, *IEDM2017*, 219 (2017). [3] K. Tachiki *et al.*, *TED* **65**, 3077 (2018). [4] K. Ito *et al.*, *JAP* **128**, 095702 (2020).