

4H-SiC における電子移動度および正孔移動度の異方性

Anisotropy of electron and hole mobilities in 4H-SiC

京大院工¹, 阪大院工², °石川諒弥¹, 原征大¹, 田中一^{1,2}, 金子光顕¹, 木本恒暢¹

Kyoto Univ.¹, Osaka Univ.², °R. Ishikawa¹, M. Hara¹, H. Tanaka^{1,2}, M. Kaneko¹, and T. Kimoto¹

E-mail: ishikawa@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

移動度は半導体デバイスのオン抵抗を直接決定する重要な物性値である。SiCにおける移動度は異方性を有することが報告されており[1-3], SiC(0001)縦型パワーデバイスでは c 軸方向に電流が流れることから、 c 軸方向の移動度が最も重要である。しかし、SiCにおいてこれまで主に調べられてきたのは c 軸垂直方向の移動度であり、 c 軸方向の移動度に関する報告は非常に限られている。本研究では、SiC(11 $\bar{2}$ 0)試料を用いた Hall 効果測定により、 c 軸方向、 c 軸垂直方向の電子移動度($\mu_{e,H//}$, $\mu_{e,H\perp}$) [4]および正孔移動度($\mu_{h,H//}$, $\mu_{h,H\perp}$)を定量した。また、抵抗率($\rho_{//}$, $\rho_{\perp}$)からドリフト移動度の異方性を評価し、その起源に関して有効質量の異方性に着目した解析・考察を行った。

n 型 4H-SiC(11 $\bar{2}$ 0)基板上に作製した、電子移動度および正孔移動度評価用の Hall bar 構造の模式図を、図 1(a)および(b)に示す。同一試料上に向きの異なる 2 種類の Hall bar 構造を作製することで、同一ドーピング密度において $\mu_{H//}$, $\mu_{H\perp}$ をそれぞれ評価した。

室温における Hall 移動度のドーピング密度依存性を図 2 に示す。ドナー密度が $2.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の試料において得られた電子移動度 $\mu_{e,H//} = 1210 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ は、SiCで実測された室温の移動度として最も高い値である。また、 $\mu_{e,H}$, $\mu_{h,H}$ の実験値に対してCaughey-Thomasの経験式[5]を用いたフィッティングを行い、Hall 移動度とドーピング密度の関係を与える式を決定した(図2中の実線、破線)。

Hall 散乱因子の影響を除去してドリフト移動度(μ)の異方性を解析するために、抵抗率の比から μ の異方性を議論した。実験から得られた抵抗率の比($\rho_{\perp}/\rho_{//} = \mu_{//}/\mu_{\perp}$)の温度依存性を図 3 に示す。まず、電子のドリフト移動度 μ_e の異方性について議論する。 μ_e は、電子の有効質量(m_e^*)と平均緩和時間($\langle\tau_e\rangle$)を用いて $\mu_e = e\langle\tau_e\rangle/m_e^*$ と与えられるため、 μ_e の異方性の起源としては、 m_e^* もしくは $\langle\tau_e\rangle$ の異方性が考えられる。図 3 に示すように、 μ_e の比($\mu_{e,//}/\mu_{e,\perp}$)は温度上昇に伴って減少し、伝導帯底の m_e^* の比(1.21)[6]から乖離していく結果が得られた。そこで、伝導帯底より高いエネルギーを有する電子の有効質量を考慮するために、第一原理計算によって得た m_e^* のエネルギー依存性に対し、電子のエネルギー分布により重みづけを行うことで、平均的な m_e^* の比の温度依存性を計算した(図 3 中の実線)。その結果、エネルギー分布を考慮した m_e^* の比が温度上昇と共に減少し、電子のドリフト移動度の異方性の温度依存性が、電子の有効質量の異方性と近い傾向を示すことが分かった。一方、正孔のドリフト移動度 μ_h の比(~ 0.9)は、価電子帯頂上における正孔の有効質量 m_h^* の比(0.38)[6]と大きく乖離する結果が得られた。 μ_h の異方性の起源を詳細に議論するためには、電子の場合と同様に、価電子帯頂上よりも高いエネルギーを有する正孔の有効質量を考慮に入れる必要がある。

- [1] W. J. Schaffer *et al.*, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **339**, 595 (1994). [2] T. Hatakeyama *et al.*, *Mater. Sci. Forum* **433-436**, 443 (2003).
 [3] M. Schadt *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **65**, 3120 (1994). [4] R. Ishikawa *et al.*, *Appl. Phys. Express* **14**, 061005 (2021).
 [5] D. M. Caughey and R. E. Thomas, *Proc. IEEE* **55**, 2192 (1967). [6] N. T. Son *et al.*, in *Silicon Carbide – Recent Major Advances* (Springer, 2004) p. 437.

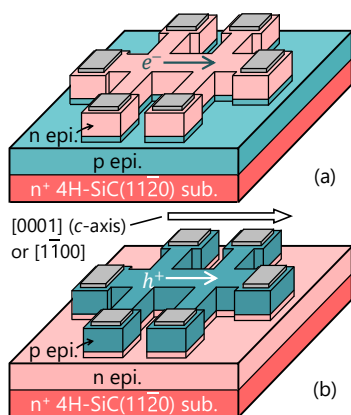


Fig. 1. Hall bar structures for measuring (a) electron and (b) hole mobilities.

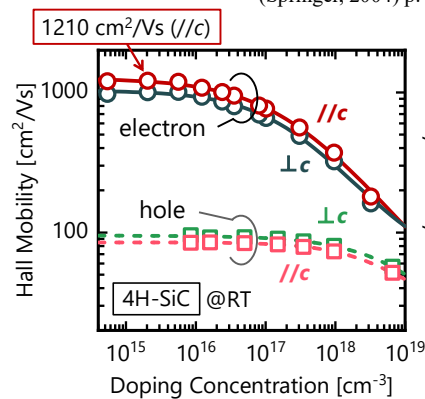


Fig. 2. Doping concentration dependence of Hall mobility at room temperature.

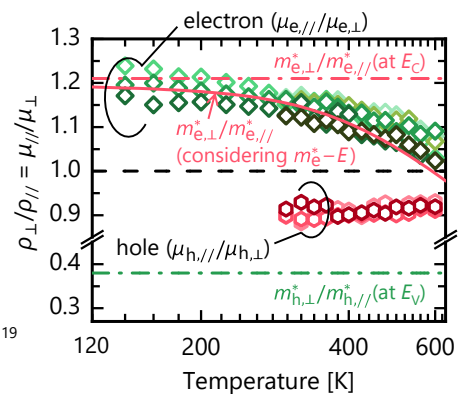


Fig. 3. Resistivity ratio ($\rho_{\perp}/\rho_{//}$) and effective mass ratio ($m_{\perp}/m_{//}$) as a function of temperature.