

<11 $\bar{2}$ 0>方向に電界印加した 4H-SiC p-n 接合ダイオードにおける Franz-Keldysh 効果に起因したフォノンアシスト光吸収

Phonon-assisted optical absorption induced by Franz-Keldysh effect in 4H-SiC p-n junction diodes under electric field along <11 $\bar{2}$ 0> direction

前田拓也¹, 遅熙倫¹, 田中一¹, 堀田昌宏^{1,2}, 須田淳^{1,2}, 木本恒暢¹ (京大院工¹, 名大院工²)
T. Maeda¹, X. Chi¹, H. Tanaka¹, M. Horita^{1,2}, J. Suda^{1,2}, T. Kimoto¹ (Kyoto Univ.¹, Nagoya Univ.²)

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

半導体に高電界を印加すると、電子・正孔の波動関数が禁制帯中に浸出し、その状態間でサブバンドギャップ($h\nu < E_g$)の光吸収が生じるようになる。これは、Franz-Keldysh (FK)効果として知られている[1, 2]。これまで我々は、4H-SiC(0001) p-n 接合ダイオード(PND)において、逆バイアス電圧印加によりサブバンドギャップ光吸収による光電流が生じ、その電圧依存性は FK 効果によって定量的に説明できると報告してきた[3]。FK 効果による光吸収の電界依存性は電界印加方向に対する換算有効質量 $\mu = m_e m_h / (m_e + m_h)$ に強く依存する。本研究では、<11 $\bar{2}$ 0>方向に電界印加した 4H-SiC における光電流の電圧依存性を測定・解析し、FK 効果による光吸収を調べた。

まず、n 型 4H-SiC(11 $\bar{2}$ 0)基板上に n⁺, p, p⁺層を成長し、ICP-RIE によるメサ構造形成、電極形成を行い、p 層のアクセプタ密度が異なる 2 種の素子(PN1: $N_d = 2.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, PN2: $6.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)を作製した。光電流の測定には、水銀ランプの輝線を波長 405 nm のバンドパスフィルターにより単色化したものを光源として用いた。照射光子束は $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ である。図 1 に光電流の実験値を PN1: ○, PN2: □として示す。光電流は逆バイアス電圧増加につれて増大しており、その増大は、アクセプタ密度の高い PN1 の方が顕著となった。これは、光電流が FK 効果に起因しており、PN1 の方が同電圧で p-n 接合における電界強度が高く、光吸収量が多いことを反映していると考えられる。そこで、FK 効果に起因したフォノンアシスト光吸収の理論[4]に基づき、空乏層内における光吸収量を考えることで、光電流を計算した。なお、有効質量の異方性[5, 6]を考慮して、<11 $\bar{2}$ 0>方向の場合、 $m_{e\perp} = 0.42m_0$ と $m_{h\perp} = 0.66m_0$ ($\mu_{\perp c} = 0.26m_0$)を用いた。図 2 に 4H-SiC の光吸収係数の電界依存性を示す。<0001>方向の場合($\mu_{\parallel c} = 0.28m_0$)と換算有効質量の差が小さいため、吸収係数の電界依存性の差は小さいことが分かる。図 1 に光電流の計算結果を赤点線で示す。実験値と計算値は良く一致しており、 $\mu_{\perp c} = 0.26m_0$ を用いて<11 $\bar{2}$ 0>方向に電界印加した場合の FK 効果による光吸収を精度よく表現できることを示す結果である。

本研究は、4H-SiC における高電界下の光吸収およびその異方性を考慮する際に有用である。

- [1] V. W. Franz, *Z. Naturforsch. A* **13**, 489 (1958). [2] L. V. Keldysh, *Sov. Phys. JETP* **34**, 1138 (1958).
[3] T. Maeda *et al.*, *Appl. Phys. Express* **11**, 091302 (2018). [4] C. M. Penchina, *Phys. Rev.* **138**, A924 (1965).
[5] D. Volm *et al.*, *Phys. Rev. B* **53**, 23 (1996). [6] N. T. Son *et al.*, *Phys. Rev. B* **61**, 16 (2000).

【謝辞】本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代パワーエレクトロニクス」(管理法人: NEDO)によって実施された。

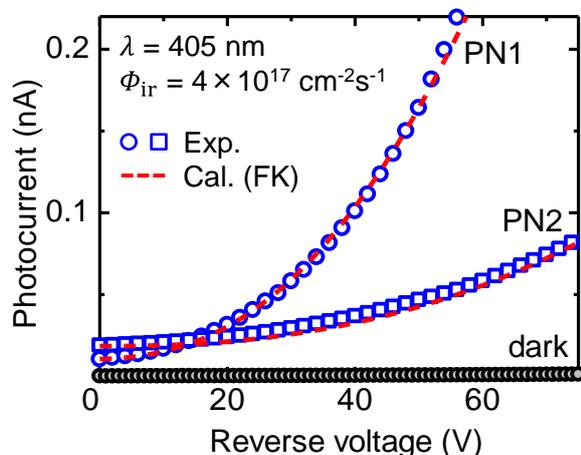


Fig. 1. Voltage dependence of the photocurrent in PN1 and PN2 under sub-bandgap light ($\lambda = 405 \text{ nm}$, 3.06 eV). The irradiated photon flux Φ_{ir} was $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

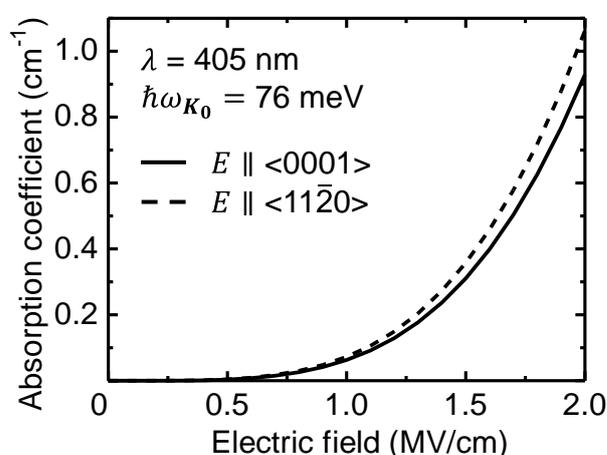


Fig. 2. The calculated absorption coefficient in 4H-SiC under electric field along the <0001> using $\mu_{\parallel c} = 0.28m_0$ (solid line) and along the <11 $\bar{2}$ 0> using $\mu_{\perp c} = 0.26m_0$ (broken line).