

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 due to the Franz-Keldysh effect in a 4H-SiC p-n junction diode under high reverse bias voltage

前田拓也¹, 遅熙倫¹, 堀田昌宏¹, 須田淳^{1,2}, 木本恒暢¹ (京大院工¹, 名大院工²)

T. Maeda¹, Xilun Chi¹, M. Horita¹, 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み出し、その浸み出した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。ワイドギャップ半導体 SiC, GaN は絶縁破壊電界が 3 MV/cm 程度と大きく、次世代パワーデバイス材料として期待されている。これまで我々は、サブバンドギャップ光照射下の GaN p-n 接合ダイオード(PND)に逆バイアス電圧を印加すると光電流が生じ、その光電流の電圧・波長依存性が FK 効果によって定量的に説明できると報告してきた[1]。

SiC は間接遷移型半導体であるため、価電子帯の電子が光を吸収する際にフォノンの吸収/放出を介して間接遷移するフォノンアシスト光吸収が生じる。間接遷移は直接遷移に比べて遷移確率が小さい。本研究では、サブバンドギャップ光照射下における 4H-SiC PND の光電流の電圧依存性を調べることで、FK 効果による光吸収を調べたので報告する。

実験にはドナー密度 $1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の 4H-SiC メサ構造 PND を用いた。図 1 に波長 405 nm の単色光照射下における SiC PND の逆方向電流-電圧特性を示す。照射光の波長が SiC の吸収端より長いにも関わらず、電圧無印加時にわずかに光電流が生じた。これは、照射光にわずかに含まれる短波長成分が SiC 中で吸収されて光電流が生じたと考えられる。この光電流は電圧依存性が非常に小さくほぼ一定の値であると考えられる。しかし、逆バイアス電圧増加につれて光電流の急増が見られた。この急増は、FK 効果に起因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[2]に基づき、SiC の吸収係数の電界依存性を求め、空乏層中で吸収される光子数から光電流を計算した。図 2 に 0, 1, 2 MV/cm 印加時の 4H-SiC の光吸収係数の波長依存性を示す。高電界時には吸収係数が長波長側へ裾を引き、電界が高くなるにつれてその裾引きが大きくなることから分かる。図 1 に電圧無印加時の光電流(I_{p0})と FK 効果による光電流(I_{FK})の和として計算した光電流を赤点線で示す。実験値と計算値は非常に良く一致しており、SiC PND における光電流の電圧依存性が FK 効果によって定量的に説明できることが分かった。

本結果は、高電界下の SiC デバイスにおける光吸収を考慮する際に有用である。

【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。

【参考文献】 [1] T. Maeda, et al., *Appl. Phys. Lett.* **112**, 252104 (2018). [2] C. M. Penchina, *Phys. Rev.* **38**, 3A (1965).

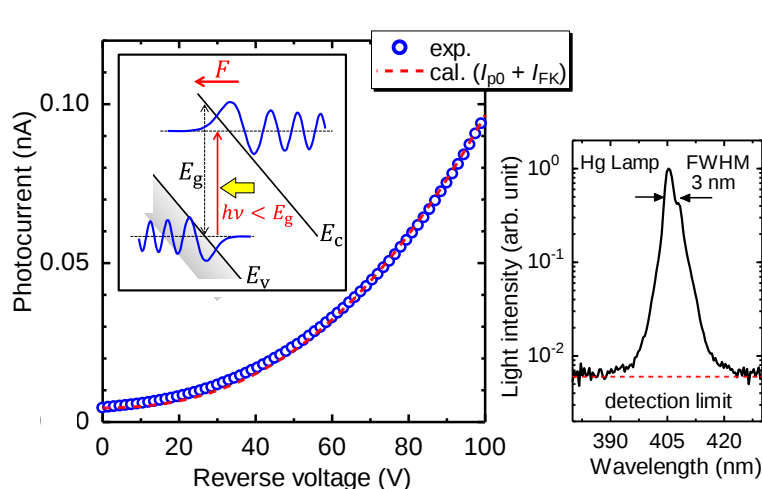


Fig.1. Reverse-voltage dependence of the photocurrent in the 4H-SiC PND under illumination with the sub-bandgap light. The calculated photocurrent with consideration of the FK effect ($I_{p0} + I_{FK}$) is also shown as the red dashed line. Right side: The spectrum of the irradiated light around 405 nm.

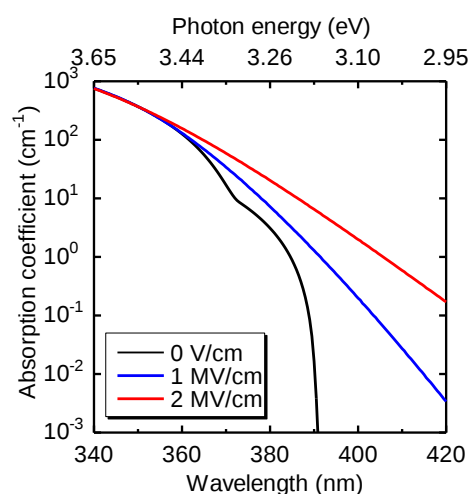


Fig.2. Wavelength dependence of the calculated absorption coefficient in 4H-SiC under electric fields of 0, 1, and 2 MV/cm. The LA-mode phonon ($\hbar\omega_{K_0} = 76 \text{ meV}$) was considered in the calculation.