

GaN における電子・正孔の衝突イオン化係数の温度依存性

Temperature dependence of impact ionization coefficients of electrons and holes in GaN

○前田拓也^{1*}, 成田哲生², 山田真嗣^{3,4}, 加地徹³, 木本恒暢¹, 堀田昌宏^{1,3,5}, 須田淳^{1,3,5}

京大院工¹, 豊田中央研究所², 名大未来材料・システム研究所³, アルバック先進研⁴, 名大院工⁵

T. Maeda¹, T. Narita², S. Yamada^{3,4}, T. Kachi³, T. Kimoto¹, M. Horita^{1,3,5}, J. Suda^{1,3,5}

Kyoto Univ.¹, TOYOTA Central R&D Labs.², Nagoya Univ. IMASS³, ULVAC AIT⁴, Nagoya Univ.⁵

*e-mail: tm654@cornell.edu (the 1st author is currently a postdoc in Cornell University)

パワーデバイスの耐圧や安全動作領域を予測するには電子・正孔の衝突イオン化係数(α_n, α_p)を用いたデバイスシミュレーションが必要である。これまで我々は、Franz-Keldysh (FK)効果による光吸収を利用し、光電流の電圧依存性からアバランシェ増倍係数を求める測定方法を報告してきた[1, 2]。本研究では、GaN p⁻/n⁺接合ダイオードにバンドギャップより短波長/長波長の光を照射し、それらの光電流増倍を解析することで、衝突イオン化係数の温度依存性を求めたので報告する。

図1に測定に用いたデバイスの構造を示す。p⁻/n⁺接合においては、高電界部となるp-n接合界面が基板側に位置する。波長313 nm ($h\nu > E_g$)および405 nm ($h\nu < E_g$)の光照射下による光電流の逆バイアス電圧依存性の測定を行った。図2に測定の概略図を示す。 $h\nu > E_g$ の光照射時、p⁻層表面近傍で光吸収が生じ、少数キャリアの電子が拡散して空乏層へ到達して電子注入による光電流が得られる。一方、 $h\nu < E_g$ の光照射時、高電界部であるp-n接合近傍でFK効果に起因した光吸収が生じることで正孔注入による光電流が得られる。光キャリア拡散電流[3]、および、FK効果に起因した光電流[4]をそれぞれ数値計算したところ、低電圧域では実験値を高精度で再現しており、高電圧域では明瞭なアバランシェ増倍が見られた。実験値と計算値の比から増倍係数を抽出し、その電界依存性を解析することで α_n, α_p を求めた。図3に得られた α_n, α_p の電界依存性を示す。GaNにおいて、電子の衝突イオン化係数は正孔に比べて小さいことが分かる。これは、GaNの特異な伝導帯構造に起因している。温度上昇につれて、衝突イオン化係数が減少している。これは、温度上昇に伴いフォノン散乱率が増大してキャリアが十分なエネルギーを得にくくなったことを反映している。モデル化した α_n, α_p を用いて増倍係数をシミュレーションしたところ、実験値をよく再現した。また、様々なドナー密度のGaN p-n接合に対して絶縁破壊特性をシミュレーションしたところ、これまで報告されているGaNのアバランシェ破壊特性[6, 7]もよく再現することができ、高精度な値が得られたことを支持している。

本研究で得られた α_n, α_p は、GaNデバイスのアバランシェ増倍現象を理解する上で重要なデータであり、絶縁破壊特性のデバイスシミュレーションに有用である。

【参考文献】 [1] T. Maeda, et al., *Appl. Phys. Lett.* **115**, 142101 (2019). [2] T. Maeda et al., *IEDM Tech. Digest*, 2019, 4.2.1.

[3] C. Raynaud et al., *Phys. Status Solidi A* **206**, 2273 (2009). [4] T. Maeda et al., *Appl. Phys. Lett.* **112**, 252102 (2018). [5] A.G. Chynoweth, *Phys. Rev.* **109**, 5 (1958). [6] T. Maeda et al., *IEDM Tech. Digest*, 2018, 30.1.1. [7] H. Fukushima et al., *JJAP*, **58**, SCCD25 (2019).

【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 - GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発」(管理人: NEDO), および、「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」事業 JPJ005357 (文部科学省)からの委託を受けたプロジェクトによって実施された。

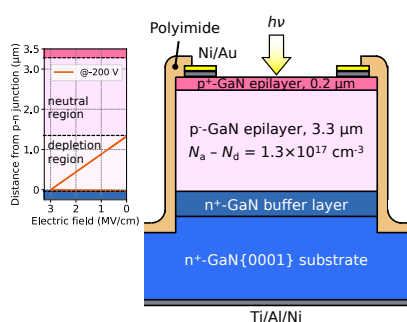


Fig.1. Schematic cross-section of a GaN p⁻/n⁺ junction photodiode with vertical deep-etch termination.

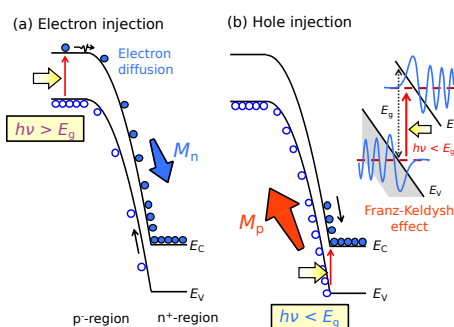


Fig.2. Schematic drawing of the photomultiplication measurements using above- and sub-bandgap illumination proposed in this study.

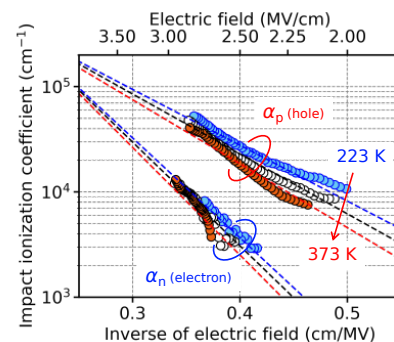


Fig.3. Impact ionization coefficients in GaN extracted in this study. It is observed that α_n is smaller than α_p .