

## GaN の電子・正孔の衝突イオン化係数の測定

### Measurement of Electron and Hole Impact Ionization Coefficients in GaN

○前田拓也<sup>1</sup>, 成田哲生<sup>2</sup>, 山田真嗣<sup>3,4,5</sup>, 加地徹<sup>3</sup>, 木本恒暢<sup>1</sup>, 堀田昌宏<sup>1,3,5</sup>, 須田淳<sup>1,3,5</sup>

京大理工<sup>1</sup>, 豊田中央研究所<sup>2</sup>, 名大未来材料・システム研究所<sup>3</sup>, アルバック半電研<sup>4</sup>, 名大院工<sup>5</sup>

T. Maeda<sup>1</sup>, T. Narita<sup>2</sup>, S. Yamada<sup>3,4,5</sup>, T. Kachi<sup>3</sup>, T. Kimoto<sup>1</sup>, M. Horita<sup>1,3,5</sup>, J. Suda<sup>1,3,5</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, TOYOTA Central R&D Labs.<sup>2</sup>, Nagoya Univ. IMaSS<sup>3</sup>, ULVAC ISET<sup>4</sup>, Nagoya Univ.<sup>5</sup>

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

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( $\alpha_n, \alpha_p$ )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]。本研究では、GaN p<sup>-</sup>/n<sup>+</sup>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、GaNの $\alpha_n, \alpha_p$ を得ることに成功したので報告する[2]。

図1に測定に用いたデバイスの構造を示す。水銀ランプを光源とし、バンドパスフィルタにより単色化した波長 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。 $h\nu > E_g$ の光照射時、p<sup>+</sup>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。図2に実験値に対する計算値の比として求めた電子注入および正孔注入時の増倍係数( $M_n, M_p$ )を示す。非常に広い範囲( $10^{-2}$ – $10^3$ )で精度よく増倍係数が得られていることが分かる。また、 $M_n$ は $M_p$ より小さく、これは $\alpha_n$ が $\alpha_p$ より小さいことを示唆している。増倍係数の電界依存性を解析することで $\alpha_n, \alpha_p$ を求めた。図3に得られた $\alpha_n, \alpha_p$ の電界依存性を示す。得られた値は、 $\alpha - E^{-1}$ プロットにおいて良い直線性を示し、Chynoweth の経験式[5]を用いてモデル化したところ、 $\alpha_n = 2.69 \times 10^7 \cdot \exp(-2.27 \times 10^7 \text{ Vcm}^{-1}/E) \text{ cm}^{-1}$ 、 $\alpha_p = 4.32 \times 10^6 \cdot \exp(-1.31 \times 10^7 \text{ Vcm}^{-1}/E) \text{ cm}^{-1}$ が得られた。モデル化した $\alpha_n, \alpha_p$ を用いてシミュレーションした $M_n, M_p$ は、図2に赤点線で示すように、実験値をよく再現した。また、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、得られた値の精度・信頼性が良いことを示している。

本研究で得られた $\alpha_n, \alpha_p$ 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」(管理法人: 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」(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。

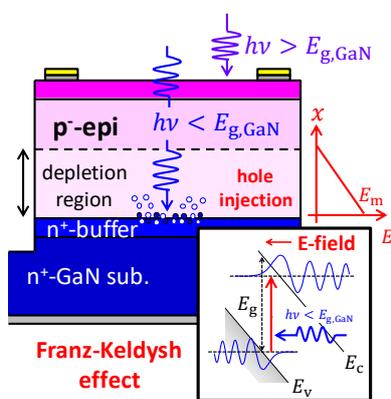


Fig.1. Schematic cross-section of a GaN p<sup>-</sup>/n<sup>+</sup> junction photodiode with vertical deep-etch termination.

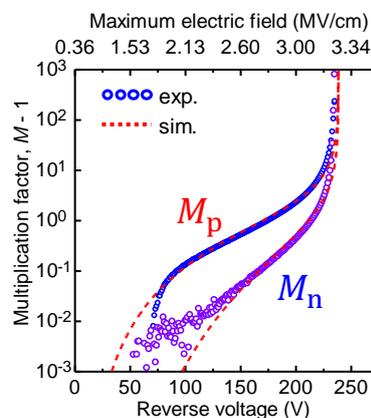


Fig.2. Experimental multiplication factors  $M_n$  and  $M_p$  (open circles) and the simulated curves using the modeled  $\alpha_n$  and  $\alpha_p$  (red lines).

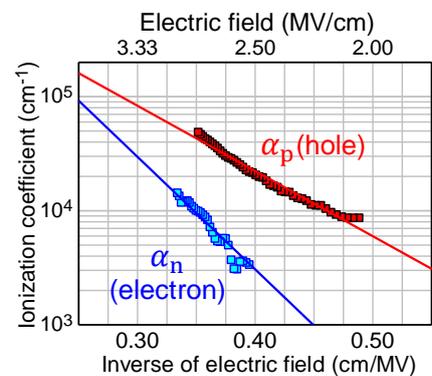


Fig.3. Impact ionization coefficients in GaN extracted in this study. It is observed that  $\alpha_n$  is smaller than  $\alpha_p$ .