

Franz-Keldysh 効果を利用した光電流増倍測定による GaN におけるキャリアの衝突イオン化係数の推定

Estimation of Impact Ionization Coefficients in GaN by

Photomultiplication Measurements Utilizing Franz-Keldysh Effect

前田拓也¹, 成田哲生², 上田博之², 兼近将一², 上杉勉², 加地徹³, 木本恒暢¹, 堀田昌宏^{1,3,4}, 須田淳^{1,3,4}

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, 名大院工⁴

T.Maeda¹, T.Narita², H.Ueda², M.Kanechika², T.Uesugi², T.Kachi³, T.Kimoto¹, M.Horita^{1,3,4}, J.Suda^{1,3,4}

Kyoto Univ.¹, TOYOTA Central R&D Labs.², Nagoya Univ. IMaSS³, Nagoya Univ.⁴

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、正確な衝突イオン化係数の値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、両側空乏ベベルメサ構造を有する GaN p-n 接合ダイオード(PND) [2]を用いて、FK 効果を利用した光電流増倍測定から増倍係数を求め、電子と正孔の衝突イオン化係数が等しいとの仮定の下ではあるが、GaN におけるキャリアの衝突イオン化係数を推定したので報告する。

ドーピング密度が異なる 4 種の PND ($N_a N_p / (N_d N_a) = 4.7 \times 10^{16}, 6.4 \times 10^{16}, 1.2 \times 10^{17}, 1.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) [2] について、波長 405 nm の単色光照射下における逆方向電流-電圧特性を測定した。図 1 に光電流の電圧依存性を示す。逆バイアス電圧印加時、FK 効果によるサブバンドギャップ ($h\nu < E_g$) 光吸収が生じ、その光電流の電圧・波長依存性は空乏層における光吸収量を考慮することで定量的に計算できる[3]。図 1 に FK 効果による光電流の計算値を赤点線で示す。どの PND においても絶縁破壊電圧の半分程度までは実験値を非常によく再現できている。一方、さらに高電圧域では、アバランシェ増倍により実験値が計算値を大きく上回っていることが分かる。増倍係数は、FK 効果による(増倍のない)光電流の計算値に対する実験値の比 ($M = I_{\text{exp}}/I_{\text{FK}}$) として求めることができる[1]。図 2 に増倍係数の電界依存性を示す。電子と正孔の衝突イオン化係数が等しいと仮定することで、衝突イオン化係数 ($\alpha_n = \alpha_p \equiv \alpha$) を求めた結果を図 3 に $\alpha - E^{-1}$ プロットとして示す。それぞれの PND から得られた α は同一直線上に位置しており、Chynoweth の経験式[4]によるフィッティングにより、 $\alpha = 1.3 \times 10^6 \cdot \exp\{-(1.18 \times 10^7/E)\}$ が得られた。得られた衝突イオン化係数の式を用いて計算した増倍係数を図 2 に赤点線で示す。実験値と計算値は 2.0–3.3 MV/cm の範囲でどの PND においてもよく一致している。これは、データの信頼性が高いことを支持している。

今後、電界に対して空乏層の伸びる方向が逆となる p^+/n^- , p^-/n^+ 接合ダイオードに対して本手法で測定を行い解析することで、電子と正孔の衝突イオン化係数をそれぞれ求めることが必要である。

【参考文献】 [1] T. Maeda *et al.*, presented at IWN2018, ED6-3. [2] T. Maeda, *et al.*, in *IEDM Tech. Digest*, 2018, pp. 30.1.1-30.1.4.

[3] T. Maeda *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **112**, 252102 (2018). [4] A.G. Chynoweth, *Phys. Rev.* **109**, 5 (1958).

【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)によって実施された。

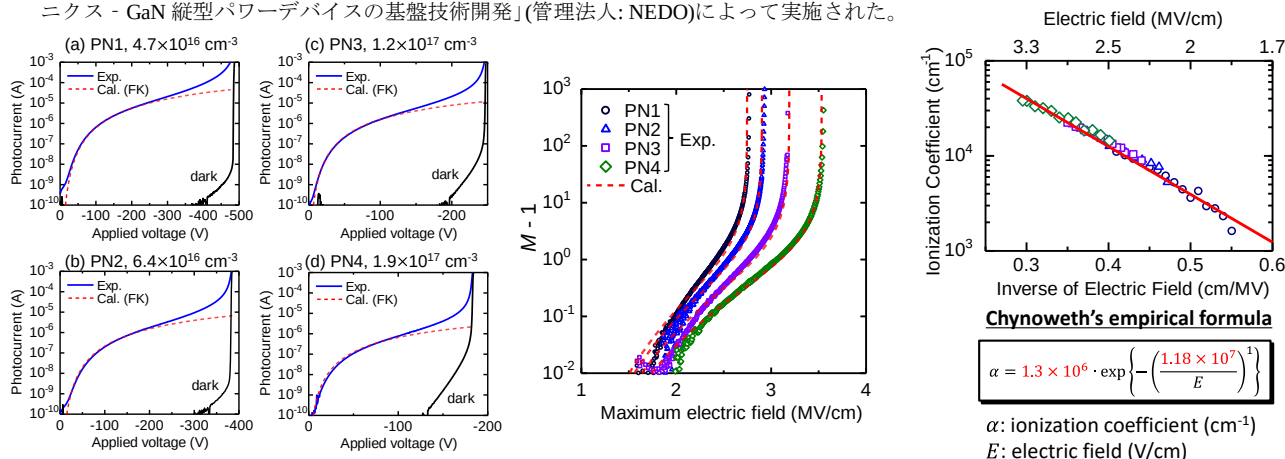


Fig.1. Experimental photocurrents and the calculated curves with consideration of the light absorption the Franz-Keldysh effect in the GaN PNDs.

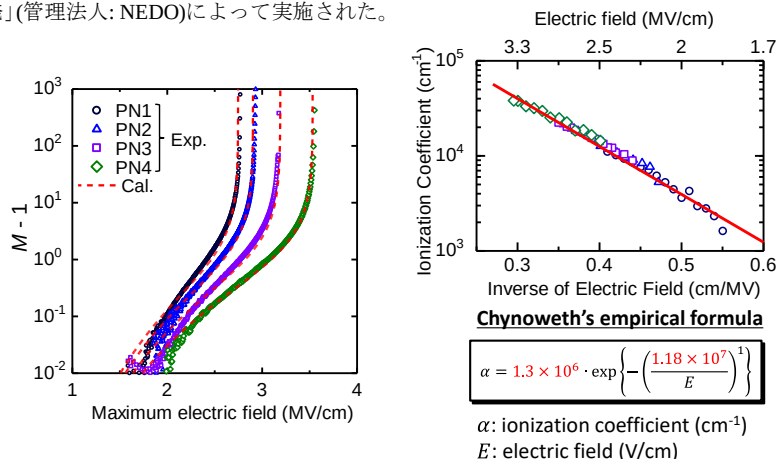


Fig.2. Experimental multiplication factors and the calculated curves using the ionization coefficient α shown in Fig. 3.

Fig.3. Impact ionization coefficient in GaN extracted from the multiplication factors based on the assumption; $\alpha \equiv \alpha_n = \alpha_p$.