

Franz-Keldysh 効果によるサブバンドギャップ光吸収を利用した GaN p-n 接合ダイオードにおけるアバランシェ増倍の測定

Measurement of avalanche multiplication in GaN p-n junction diode
using sub-bandgap optical absorption due to Franz-Keldysh effect

前田拓也¹, 成田哲生², 兼近将一², 上杉勉², 加地徹³, 木本恒暢¹, 堀田昌宏¹, 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, M. Kanechika², T. Uesugi², T. Kachi³, T. Kimoto¹, M. Horita¹, 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

これまで我々は、GaN p-n 接合ダイオード(PND)における Franz-Keldysh (FK)効果に起因したサブバンドギャップ($h\nu < E_g$)の光吸収による光電流を調べ、逆バイアス電圧 200 V までの範囲で、光電流の電圧・波長依存性が FK 効果により定量的に説明できることを報告してきた[1]。本報告では、さらに高電圧(高電界)まで測定を行うことで、空乏層内での衝突イオン化による光電流のアバランシェ増倍を観測したので報告する。

実験には、p 層 Mg 濃度 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, n 層 Si 濃度 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のエピ層を持つ GaN PND を用いた。図 1 に波長 390, 400, 410 nm における光電流の測定値(I_m)を実線で、FK 効果のみを考えた光電流の計算値(I_{FK})を破線で示す。前回報告した通り、逆バイアス電圧 200 V (最大電界 2.0 MV/cm) 程度までは、どの波長においても測定値と計算値が良く一致している。一方、200 V 以上の高電圧印加時には測定値が計算値を大きく上回っており、空乏層内で FK 効果による光吸収によって生成された電子・正孔の衝突イオン化によるアバランシェ増倍が生じたと考えられる。各波長の光電流から増倍係数を FK 効果の理論値に対する測定値の比($M = I_m/I_{FK}$)として求めた。図 2 に増倍係数 $M - 1$ の電圧依存性を示す。増倍係数の電圧依存性は波長に依存せず一致している。今回測定に用いた波長域では、FK 効果による光吸収係数の絶対値は波長により異なるものの、光吸収の生じる位置は p-n 接合界面付近(高電界部)に局在しているため、どの波長においても同様の増倍係数となることは理にかなっている。増倍係数は 200~400 V の範囲で指数関数的に増加し、400 V より高電圧ではさらに急激に増加して暗時の絶縁破壊電圧(415 V 程度)で無限大に発散した。

今回使用した GaN PND は素子端部における電界集中を十分に緩和できていないため、電界集中した箇所でも局所的にアバランシェ増倍が生じていると考えられる。今後、電界集中を極力緩和した素子を作製することで、GaN のアバランシェ増倍について詳細な解析ができると考えている。

【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 - GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発」(管理人: NEDO)によって実施された。

【参考文献】 [1] T. Maeda, *et al.*, 第 78 回 秋応物, 5p-C17-8 (2017).

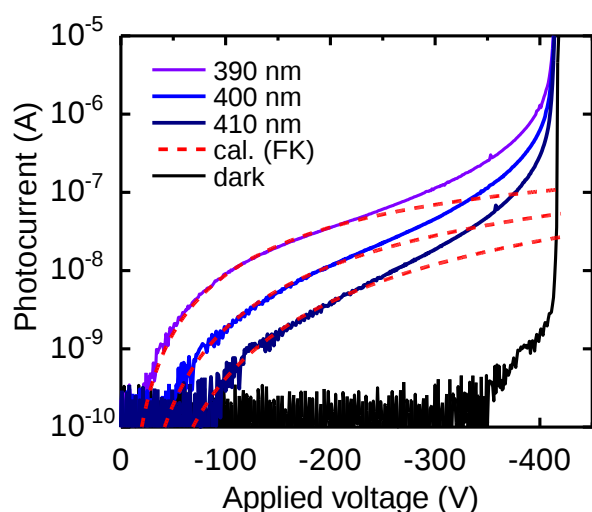


Fig.1. Comparisons between the experimental photocurrents and the calculated curves considering the electroabsorption due to the Franz-Keldysh effect in the GaN PND under sub-bandgap light illumination.

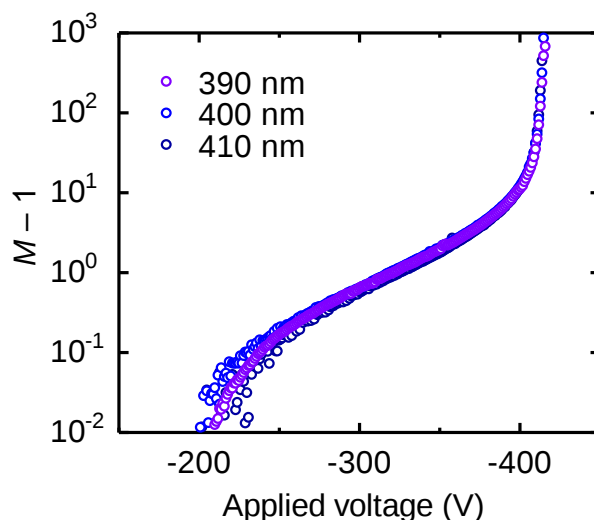


Fig.2. Voltage dependence of the multiplication factor in the GaN PND extracted as $M = I_{exp}/I_{FK}$. The multiplication factors show good agreement among the wavelengths of 390 nm, 400 nm, and 410 nm.