Franz-Keldysh 効果による光電流を利用した GaN p-n 接合ダイオードにおけるアバランシェ増倍の温度依存性の測定

Temperature dependence of Avalanche multiplication in GaN p-n junction diodes measured by using the light absorption due to 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],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.Maeda[1], T.Narita[2], H.Ueda[2], M.Kanechika[2], T.Uesugi[2], T.Kachi[3], T.Kimoto[1], M.Horita[1], J.Suda[1,3,4]
Kyoto Univ.[1], TOYOTA Central R&D Labs.[2], Nagoya Univ. IMaSS[3], 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]．また，前回の応物では，絶縁破壊電圧まで電圧掃引して光電流を測定し，測定値と FK 効果による光電流の計算値の比からアバランシェ増倍係数を求められると報告した[2]．本研究では，光電流の温度依存性を測定・解析し，アバランシェ増倍の温度依存性を得たので報告する．

実験には，p 層 Mg 濃度3×10^{17} cm^{-3}，n 層 Si 濃度7×10^{16} cm^{-3}のエピ層を持つ GaN PND を用いた．図 1 に 223, 298, 373 K における波長 390 nm の光電流の測定値(I_m)を実線で，FK 効果による光電流の計算値(I_{FK})を破線で示す．なお，計算には GaN のバンドギャップの温度依存性を考慮した[1]．どの温度においても，逆バイアス電圧 150 V (最大電界 1.7 MV/cm)程度までは測定値と計算値が良く一致している．一方，250 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いる．これは，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・正孔が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．また，この増倍は，温度が低いほど顕著であることが分かる．各温度の光電流について，FK 効果による光電流の計算値に対する測定値の比として増倍係数($M = I_m/I_{FK}$)を求めた. 図 2 に 223, 298, 373 K における増倍係数の電圧依存性を示す. 温度上昇につれて，増倍係数は小さくなり，絶縁破壊電圧は増大した．これは，温度上昇につれてフォノン散乱の影響によりキャリアがエネルギーを得にくくなり，電子・正孔の衝突イオン化係数が減少したことを反映していると考えられる．

今回使用した GaN PND は接合端部でやや電界集中しており, 電界集中した箇所で局所的なアバランシェ増倍が生じていると考えられる．今後，電界集中のない素子を作製することで，GaN の本質的なアバランシェ増倍を解析できる. 本結果は, その温度依存性を解析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 - 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。

【参考文献】 [1] T. Maeda, *et al*., *Appl. Phys. Lett.* **112**, 252104 (2018). [2] T. Maeda, *et al*., 第 65 回 春応物, 18a-C302-1 (2018).

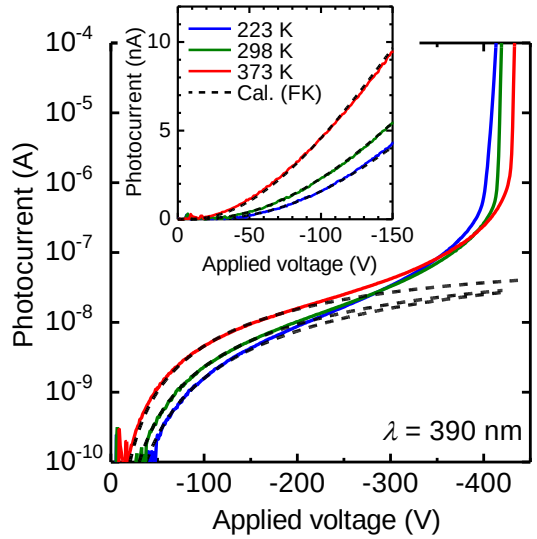

Fig.1. The experimental photocurrents and the calculated curves with consideration of the light absorption the Franz-Keldysh effect in the GaN PND at 223, 298, and 373.

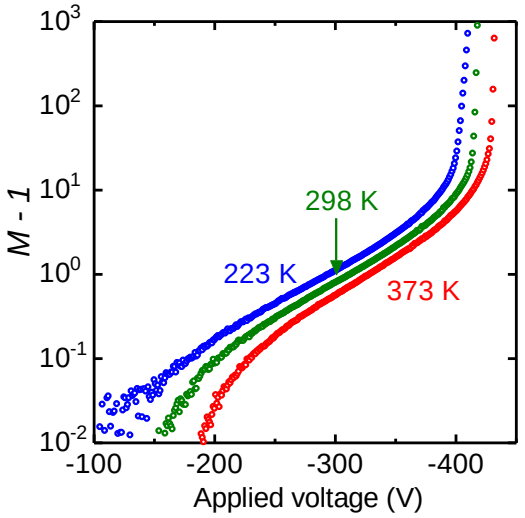

Fig.2. Voltage dependence of the multiplication factor in the GaN PND extracted as $M = I_{exp}/I_{FK}$ at 223, 298, and 373 K. The multiplication factors decreased with an elevated temperature.

© 2018年 応用物理学会