GaN における Franz-Keldysh 効果に起因した サブバンドギャップ光吸収の電界および波長依存性

Electric field and wavelength dependence of sub-bandgap optical absorption due to the Franz-Keldysh effect in GaN

京大院工 [1]，住友電工 [2]
○前田 拓也 [1]，岡田 政也 [2]，上野 昌紀 [2]，山本 喜之 [2]，堀田 昌宏 [1]，須田 淳 [1]
Kyoto Univ. [1], Sumitomo Electric Industries, Ltd. [2]
°Takuya Maeda[1], Masaya Okada[2], Masaki Ueno[2], Yoshiyuki Yamamoto[2], Masahiro Horita[1], Jun Suda[1]
E-mail: maeda@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

前回、我々は、数十 V 以上の逆バイアス電圧を印加した Ni/n-GaN 縦型ショットキーバリアダイオードにおいて Franz-Keldysh (F-K)効果による空乏層内でのサブバンドギャップ光吸収による光電流が明瞭に見られることを報告した[1]。今回、F-K 効果による光吸収の式に基づいて光電流の計算を行い、広い電圧範囲、波長範囲において、計算と実験が良く一致したので報告する。

c 軸方向に電界Fが印加された時の GaN の光吸収係数$\alpha(\omega, F)$は、次のように表される。[2]

$$\alpha(\omega, F) = \frac{e^2|\boldsymbol{e}\cdot\boldsymbol{p}_{cv}|^2}{2\varepsilon_0 m_0^2 nc\omega}\left(\frac{8\mu_{||}\mu_{\perp}^2}{\hbar^3}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{\hbar\theta}\left[\mathrm{Ai}'^2(\eta) - \eta\mathrm{Ai}^2(\eta)\right] \quad (1)$$

$$\mu_{||} = \frac{m_e^{||}m_h^{||}}{m_e^{||}+m_h^{||}},\quad \mu_{\perp} = \frac{m_e^{\perp}m_h^{\perp}}{m_e^{\perp}+m_h^{\perp}},\quad \hbar\theta = \left(\frac{e^2\hbar^2F^2}{2\mu_{||}}\right)^{\frac{1}{3}},\quad \eta = \frac{E_g - h\nu}{\hbar\theta} \quad (2)$$

ここで、Ai(η)は Airy 関数である。μは換算有効質量であり、添字($\perp$, ||)はそれぞれ c 軸に対して垂直方向、平行方向を表している。文献値[3]から GaN の$\mu_{||}$を計算すると $0.14m_0$となる。Ni/GaN 界面を $x = 0$、空乏層端を $x = W$ として、裏面から空乏層に入射した光束Φ_0が Ni/GaN 界面で反射されて空乏層から出るまでの過程を考えると、F-K 効果による光電流は $I_{F-K}=e\Phi_0\left\{1-\exp\left(-2\int_0^W \alpha(\omega,F(x))\mathrm{d}x\right)\right\}$となる。光電流には、Ni/GaN 界面での内部光電子放出(IPE)による成分I_{IPE}があるので、0 V の実験値でI_{IPE}を、200 V の実験値でΦ_0を求めた。

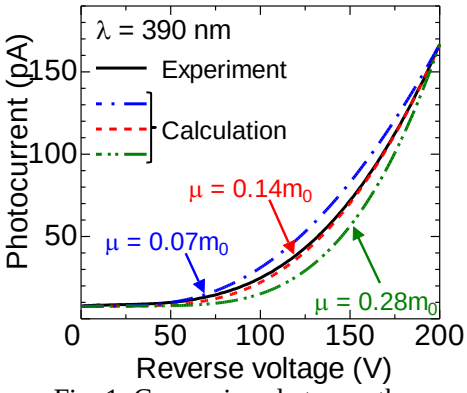

Fig. 1. Comparison between the experimental and calculated values of photocurrent at 390 nm.

図 1 に波長 390 nm の光電流の実験値(黒線)と計算値(赤破線)を示す。$\mu_{||}$を $0.14m_0$とした時、実験値と計算値は全電圧域で非常によく一致している。$\mu_{||}$を $0.07m_0$、$0.28m_0$などとした場合は、0 V と 200 V で値が合うだけになり、実験の電圧依存性は再現されない。$\mu_{||}$ = $0.14m_0$を用いると、他の波長(380-400 nm)についても実験値と計算値はよく一致した。

以上より、(1)式の電界、波長依存性($\sqrt{\hbar\theta}\left[\mathrm{Ai}'^2(\eta) - \eta\mathrm{Ai}^2(\eta)\right]$)については、$\mu_{||}$ = $0.14m_0$の値で GaN の光吸収をかなり精度良く表現できることが結論づけられる。本知見は GaN の F-K 効果によるサブバンドギャップ光吸収を利用した評価やデバイスの特性解析に有益と考えられる。

【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。

[1] T. Maeda *et al.*, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21a-W541-12 (2016) [2] D. E. Aspnes, *Phys. Rev.* **147,** 2 (1966)
[3] G. D. Chen *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **68**, 2784 (1996)

© 2016年 応用物理学会