

GaN 単結晶における光励起キャリアの空間的不均一と内部量子効率の関係(1)

Relationship between spatial inhomogeneity of photo-excited carrier distribution and internal quantum efficiency of radiation in GaN single crystals (1)

産総研¹, 東北大多元研² ◯浅井栄大¹, 小島一信², 福田浩一¹, 秩父重英²AIST¹, IMRAM-Tohoku Univ.² ◯H. Asai¹, K. Kojima², K. Fukuda¹, and S. F. Chichibu²E-mail: hd-asai@aist.go.jp

PL(Photoluminescence)は、材料のバンド構造のみならず結晶品質を反映した発光スペクトルを示す事から欠陥の検出などに用いられている。GaNの単結晶に関しても、PL測定を用いた発光寿命と非発光再結合中心(NRC)となる欠陥濃度の関係が調べられており[1,2]、有用な評価手法の一つとして注目されている。近年では、積分球を用いたPL測定から高精度に内部量子効率(IQE)を測定する手法が考案され[3]、より直接的な結晶品質の評価が可能となってきている。しかし、PL測定では光照射される試料表面において局所的にキャリアが発生するため、試料内部に不均一なキャリア分布を引き起こす。この「不均一」なキャリア分布は試料内部の種々の再結合現象やドリフト・拡散現象に左右され、試料外部に放出される光強度に大きな影響を与える。そのため、IQEを用いたNRC濃度の検量については未だ議論の余地があると言える。

そこで、我々は試料内部の不均一なキャリア分布とIQEの関係を調べるため、汎用 TCAD システムである HyENEXSS[4-6]を用いた数値シミュレーションを行ってきた[7]。その結果、キャリア分布に応じて試料内部の「局所的輻射量子効率」が不均一になり、実験的に測定されるIQEへ大きな影響をもたらす事が明らかになった。本研究では前回までのシミュレーション結果を踏まえながら、解析的な手法を用いてIQEとNRC濃度の関係について議論する。まず、前回同様に励起光の吸収は試料厚み方向 (x 方向) に沿って生じるものとし、面内の変化を無視した一次元のモデルを考えた。次に、1) 励起光による光キャリア生成、2) 発光再結合、3) NRCによる非発光再結合、4) 表面再結合を考慮した、以下の少数キャリア(ホール)連続の式を考えた。

$$\text{ホール濃度連続の式} \quad \frac{\partial p}{\partial t} = G - Bnp - N_{DL}^- C_p p + D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$

$$\text{境界条件} \quad (x=0) \quad \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{pv_s}{D_p}$$

ここで n , p は電子及びホール濃度、 G は光励起キャリア発生レート、 B は発光再結合係数、 N_{DL}^- はイオン化NRC濃度、 C_p はホール捕獲係数、 D_p はホール拡散係数、 v_s は表面再結合速度である。また、光キャリア生成によって生じる電場は十分小さい(弱励起)としてドリフト項を無視している。図に解析的に計算したキャリアの試料厚み方向の分布とTCADによる数値シミュレーション結果を示す。解析計算の結果はTCADの結果と良く一致している事がわかる。更に本研究では、この解析的なキャリア分布を用いて光の自己吸収を考慮したIQEの計算を検討した。その結果IQEとNRC濃度の関係を結びつける解析的な式を導く事が可能である事がわかった。

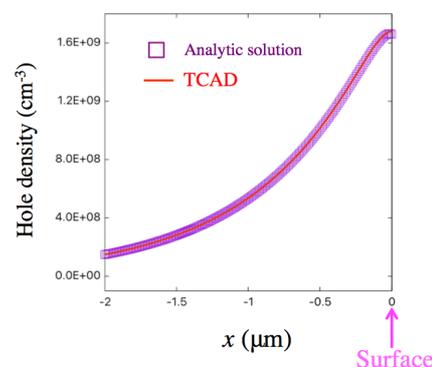


Fig. 1. Distribution of the photo-excited hole in GaN bulk. $x = 0$ is the surface where the pump light is irradiated.

- [1] Chichibu, *et al.*, APL 86, 021914 (2005). [2] Kojima, Chichibu, *et al.*, APEX 8, 095501 (2015).
 [3] Kojima, Chichibu, *et al.*, JAP 120, 015704 (2016) [4] N. Kotani, Proc. Int. Conf. SISPAD, 1998, p. 3
 [5] 和田哲典他, 第53回応用物理学関係連合講演会 22p-ZA-2 (2006) [6] 中村光利, 応用物理 Vol.77 No.7 p.818 (2008)
 [7] 小島一信, 浅井栄大, 福田浩一, 秩父重英, 第78回応用物理学会秋季学術講演会 5a-A301-4 (2017)