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との関係(2)

Relationship between spatial inhomogeneity of photo-excited carrier distribution and internal quantum efficiency of radiation in GaN single crystals (2)

東北大多元研[1]、産総研[2] ○小島一信[1]、浅井栄大[2]、福田浩一[2]、秩父重英[1]

IMRAM-Tohoku Univ.[1], AIST[2] ○K. Kojima[1], H. Asai[2], K. Fukuda[2], and S. F. Chichibu[1]

E-mail: kkojima@m.tohoku.ac.jp

フォトルミネセンス(PL)は、単結晶のような固体材料の物性を非破壊・非接触にて調べるために有用な物理現象である。GaN をはじめとする単結晶において我々はこれまで、時間分解 PL(TRPL)による発光寿命(τ_{PL})測定や、全方位 PL(ODPL)による内部量子効率(IQE)測定などを用いた光物性評価を行ってきた[1-3]。TRPL や ODPL 測定においては、光励起されたキャリアが結晶内を空間的に拡散し、それらが発光再結合を起こした結果生じる光が、結晶外に取り出されて初めて検出される。したがって、得られた結晶の光学的な応答から非発光再結合中心濃度(N_T)等を正確に見積もるためには、空間的に不均一な光励起キャリア濃度と、τ_{PL} や IQE といった実験的に検出可能な物理量とを正確に橋渡しする数理モデルが必要である[4]。本発表では、汎用 TCAD システムである HyENEXSS[5-7]に、光励起過程および自由電子正孔対の再結合に基づく発光過程の双方を新たにモデルとして組み込み、GaN 単結晶における光物性の理論的な検討を行った結果について述べる。

本研究では結晶の光励起を想定し、励起光の吸収は結晶厚み方向に沿って生じるものとした。励起光の吸収長は 100 nm (吸収係数に換算すると 10^5 cm^{-1})とした。励起光強度の厚み方向に対する変化に対して面内の変化は無視できるものと考え、キャリアの空間分布は 1 次元の電流連続式およびポアソン方程式の自己無撞着解として求めた。図 1 は、弱励起条件における IQE を N_T の関数として、正孔移動度(μ_p)を変化させて計算したものである(残留電子濃度:n_0 = 1×10^{17} cm^{-3})。N_T が 1×10^{16} cm^{-3} より大きい領域では、IQE はμ_p によらずほぼ一定の値をとることに対し、$N_T < 1\times10^{16}$ cm^{-3}となる領域においては、μ_p によって IQE が変化することが分かる。このように、IQE と N_T との相関を正確に理解するためには、光励起キャリアの拡散による空間的不均一を考慮する必要がある。

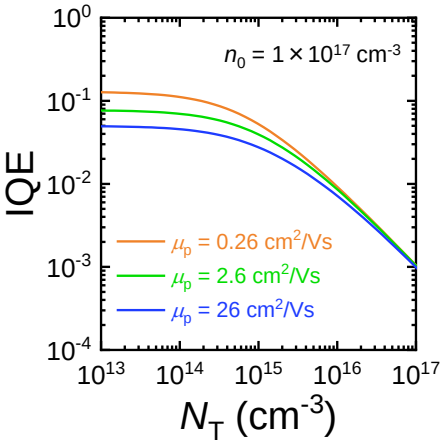

Fig. 1 Calculated internal quantum efficiency of the near-band-edge emission in the GaN crystal under photo-excitation.

【謝辞】本研究の一部は、経産省 NEDO-SIP、科研費(若手研究(A) 17H04809、新学術領域・特異構造の結晶科学 16H06427)、およびダイナミック・アライアンスの援助を受けた。

【参考文献】[1] Kojima, Chichibu, *et al.*, JAP **120**, 015704 (2016), [2] Kojima, Chichibu, *et al.*, APEX **8**, 095501 (2015), [3] Chichibu, *et al.*, APL **86**, 021914 (2005), [4] 小島、浅井、福田、秩父、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、5a-A301-4 (2017), [5] N. Kotani, Proc. Int. Conf. SISPAD, 3 (1998), [6] 和田他, 第 53 回応用物理学関係連合講演会 22p-ZA-2 (2006), [7] 中村光利, 応用物理 **77**, 818 (2008).

© 2018年 応用物理学会