

光励起下の GaN 単結晶における内部量子効率の空間的不均一

Spatial inhomogeneity of internal quantum efficiency

in GaN single crystals under photoexcitation

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, AIST², K. Kojima¹, H. Asai², K. Fukuda², and S. F. Chichibu¹

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

単結晶のような固体材料のフォトルミネセンス(PL)は、材料の物性を調べるために有用な物理現象である。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)測定などを用いて、GaN 単結晶における非輻射再結合中心(NRC)である空孔型点欠陥の濃度(N_{NRC})を、 10^{16} cm^{-3} を下回る比較的低い濃度領域において定量することを試みてきた[1-3]。しかし、単結晶を光励起した場合、結晶中の各空間点において、励起レートが励起光の吸収長程度の範囲で不均一になる。さらに、光励起された電子や正孔は拡散を生じることからそれらの濃度もまた空間位置に依存すると考えられる。したがって、 N_{NRC} の正確な見積もり、さらには結晶中の物性を正確に理解するためには、励起レートやキャリア濃度といった不均一量を、 τ_{PL} やIQEといった実験的に測定可能な物理量と正確に橋渡しをする必要がある。そこで本研究では、汎用 TCAD システムである HyENEXSS[4]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詳細検討を行った結果について報告する。

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(z)に沿って生じるものとした($z = 0 \text{ }\mu\text{m}$ を結晶表面の位置と定義する)。また、励起光の吸収長は 100 nm (吸収係数に換算すると 10^5 cm^{-1})を想定した。励起光強度の z 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、励起光強度密度 P における n-GaN(残留電子濃度: $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)のキャリアおよびイオン化 NRC の z 依存性である。NRC には、Ga 空孔関連の複合点欠陥[3]、すなわち、SRH 型の深いアクセプタ準位を想定し、その濃度を $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ に抑制できたと仮定した。図から、光励起によって生じる少数キャリア濃度は、空間的に強く不均一であることが分かる。また、 P の大小に応じて NRC のイオン化率も z 依存性を持ち、結果として IQE 自体が空間的に不均一になることが明らかとなった。

【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] HyENEXSS.

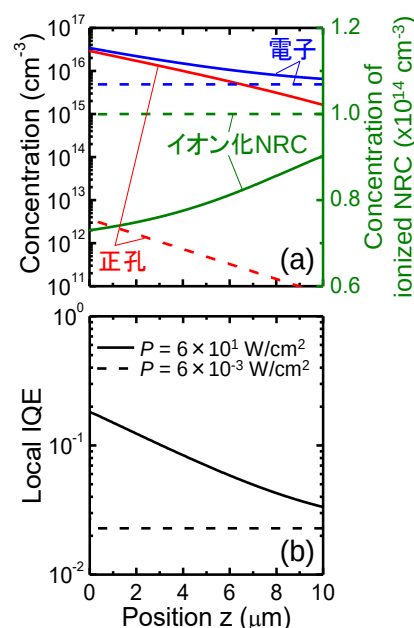


図 1 光励起された GaN 結晶中の(a)電子・正孔・イオン化 NRC 濃度、(b)局所 IQE の空間分布。