

高品質 GaN 単結晶の絶対放射量子効率測定(4)

Measurement of the absolute quantum efficiency of radiation in high quality GaN single crystals (4)

東北大多元研¹, 三菱化学(株)² °小島一信¹, 池田宏隆², 藤戸健史², 秩父重英¹

IMRAM-Tohoku Univ.¹, Mitsubishi Chemical Corp.²

°K. Kojima¹, H. Ikeda², K. Fujito², and S. F. Chichibu¹

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

【はじめに】窒化物半導体の室温における輻射現象には、励起子の束縛エネルギーが大きいことを踏まえると、バンド間の輻射遷移と、励起子発光の寄与があると考えられる。しかしながら、両者が具体的にどの程度寄与しているかという定量的な議論は、切り分けが難しいことから、これまであまりなされてこなかった。本研究では、混晶効果を考慮する必要がない二元物質であるGaNを測定対象として、全方位フォトルミネセンス (ODPL) 法[1]による絶対量子効率(AQE)測定と、時間分解フォトルミネセンス(TRPL)法による発光寿命(τ_{PL})測定の結果から、GaNにおける発光ダイナミクス of 定量的理解に挑戦した。

【実験概要】測定には、酸性アモノサルマル法で作製したGa_{0.99}N_{0.01}を種結晶とし、ハイドライド気相成長法にて成長させたGa_{0.99}N_{0.01}単結晶(残留電子濃度: $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) [2]を用いた。試料のAQE (外部量子効率と考えて差し支えない) は、積分球を用いたODPL法[1]を用いて測定した。また、試料の τ_{PL} はTRPL法によって評価した。試料の励起には、両測定において共通して、繰り返し周波数8 MHzのパルス光(266 nm)を用いた。実験は室温、窒素雰囲気下において行った。

【結果】図1に、試料のPL減衰曲線を示す。励起強度を増加させるに従いPLの減衰が単調に緩やかになっていく。このような傾向は、他のGa_{0.99}N_{0.01}結晶においても観測された。一方、同様の実験条件を用いてAQEを評価し、光励起強度を媒介変数として、AQEを τ_{PL} の関数として描画したものが図2である。 τ_{PL} は、図1の結果を二つの異なる寿命を持つ指数関数でフィットした結果(τ_{PL1} および τ_{PL2})の双方を、それぞれ黒塗りおよび白抜き点で載せている。図2から、AQEは τ_{PL} に対して正の相関を持っていることが分かる。つまり、光取り出し効率は励起強度にほぼ依存しないと考えられるので、 τ_{PL} の増加とAQEの増加は直結している。この事実、非輻射再結合中心(NRC)の濃度(N)と τ_{PL} との間に相関があること[3,4]と良い一致を見る。本研究では、励起強度を変化させているので、光励起強度の増加に伴うNRCの飽和が生じ、結果として実質的な(τ_{PL} を支配する)非輻射寿命が増加、同時に、AQEが増加したものと考えられる。次に、AQEの τ_{PL1} および τ_{PL2} に対する依存性を調べたところ、AQEは τ_{PL1} の5.1乗、 τ_{PL2} の2.0乗にそれぞれ比例していることが分かった。これは、NRCが複数種存在すること、また、その種類ごとに飽和が生じる時間スケールが異なることを示唆していると考えている。特に速い寿命成分である τ_{PL1} は、高速(~2 ns)に飽和するNRCの存在を示すものであると考えられる。当日は、本解析の詳細について議論する。

【謝辞】本研究の一部は、ダイナミック・アライアンス、科研費(若手研究(A) 26706003、新学術領域・特異構造の結晶科学 16H06427)、および経産省 NEDO-SIP 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] Chichibu, Kojima, *et al.*, Adv. Mater. (on-line on Nov. 24, 2016; DOI:10.1002/adma.201603644).

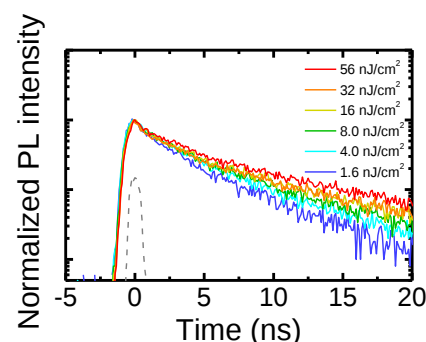


図1 GaN 単結晶の PL 減衰曲線。破線は測定系の応答関数。

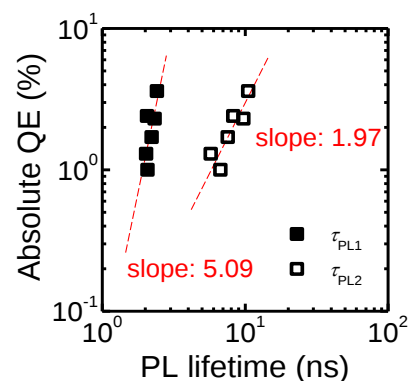


図2 励起光強度を変化させたときの、AQEの τ_{PL} 依存性。