

高品質 GaN 単結晶の絶対放射量子効率測定(3)

Measurement of the absolute quantum efficiency of radiation in high quality GaN single crystals (3)

東北大多元研¹, 三菱化学(株)² °小島一信¹, 大友友美¹, 斉藤真^{1,2},
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, T. Otomo¹, M. Saito¹, H. Ikeda², K. Fujito², and S. F. Chichibu¹

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

【はじめに】単結晶 GaN の高品質化の進展は著しく、貫通転位と積層欠陥の密度は大幅に低減され反りも殆ど無くなりつつある[1,2]。このような結晶では、キャリアの拡散長(1~10 μm)程度の空間スケールに存在する構造欠陥の数が極めて少ない状況が実現される。そこでは、点欠陥性の非輻射再結合中心(NRC)[3]が GaN の光物性を支配すると考えられる。我々は、全方位フォトルミネセンス(Omnidirectional photoluminescence: ODPL)法[4]による高品質 GaN 単結晶の内部量子効率測定を、励起光密度を変化させながら行うことにより非輻射再結合過程の詳細について調べたので報告する。

【評価方法】試料の励起には光子エネルギー3.81 eV の連続レーザー光を用い、励起光密度は減衰フィルタを用いて変化させた。さらに、励起光の集光レンズを取り外してスポットサイズを大きくすることにより、励起光密度を4~5桁変化させ実験を行った。測定は室温、窒素雰囲気にて行った。試料にはハイドライド気相エピタキシー(HVPE)法で成長させた GaN 単結晶やサファイア上の GaN 薄膜など、さまざまな条件で作製された GaN を用いた。

【結果】図1は、HVPE-GaN 単結晶(貫通転位密度 10^6 cm^{-2} 以下、設計電子濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) のバンド端近傍(NBE)の発光の内部量子効率 η_{int} を、励起光密度の関数として描画したものである。すべての励起光密度にわたり η_{int} は単調増加するが、その傾きは一定でなく、 η_{int} がほとんど変化しない励起光密度も存在することが分かる。弱い励起である 10^{-1} W/cm^2 以下では η_{int} の励起に対する増加率が大きく、同時に評価した黄色発光帯の効率は単調に減少した。この結果から、このような励起光密度では試料中に光励起された少数キャリア(正孔)の再結合メカニズムのうち、NBE 発光、つまり輻射再結合過程による正孔の消費割合が、黄色発光の起源(Ga 空孔とOの点欠陥複合体など)による正孔捕獲割合に打ち勝ちつつある描像が示唆される。一方、 $10^{-1} \sim 10^0 \text{ W/cm}^2$ の励起光密度では、 η_{int} が励起の変化に対してほぼ影響をうけていない。このような励起光密度では、NBE 発光が黄色発光に対して優勢と思われるが、 η_{int} が1でないことから、別種の非輻射再結合中心(NRC)が依然として支配的である。しかし、励起光密度が 10^0 W/cm^2 を上回ると、 η_{int} の励起光密度に対する増加の傾きが再び大きくなった。これは、NBE 発光による正孔の消費割合が NRC の正孔捕獲割合に打ち勝ちつつあることを示唆する。

このように、ODPL 測定[4]による絶対放射量子効率評価は、GaN の非輻射再結合に関する詳細を知ることができる極めて有効な計測技術であると言える。当日は、黄色発光の起源や NRC の濃度や捕獲係数[5]、さらには他試料の評価結果についても議論する。

【謝辞】本研究の一部は、NEDO SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)、附置研アライアンス、および科研費(若手研究(A))により実施された。

【参考文献】[1] Tsukada, *et al.*, I-Tu-A3, ISGN6 (2015), [2] Kojima, Chichibu, *et al.*, APEX **8**, 095501 (2015), [3] Chichibu, *et al.*, APL **86**, 021914 (2005); JAP **111**, 103518 (2012), [4] 小島, 秩父 他, 第 63 回応用物理学学会春季学術講演会, 20a-H121-2 (2016), [5] Chichibu, Kojima *et al.*, We-A43, ISGN6 (2015).

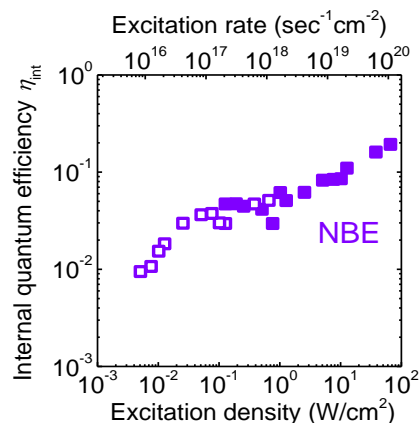


図1 η_{int} の励起光密度依存性。色塗りには集光レンズあり、白抜きは集光レンズなしで測定した結果。