

InGaN 系 LED 構造における非輻射再結合中心充填過程の転位密度依存性

Dependence of filling process of nonradiative recombination centers on dislocation density in InGaN-based light emitting diodes

徳山高専¹ 山口大院・創成科学²

○室谷英彰¹ 山田陽一²

NIT, Tokuyama Coll.¹ and Yamaguchi Univ.²

○H. Murotani¹ and Y. Yamada²

E-mail: murotani@tokuyama.ac.jp

これまでに我々は、InGaN 系 LED 構造において内部量子効率の励起強度依存性を評価し、内部量子効率が励起強度の増大に伴い増大した後に減少することを明らかにしてきた[1]。さらに、弱励起下における内部量子効率の増大は非輻射再結合中心(NRC)の充填によるものであると説明してきた。今回、貫通転位密度の異なる3種類の InGaN 系 LED 構造において、弱励起下における内部量子効率の増大を解析することにより、非輻射再結合中心の充填過程の貫通転位密度依存性について考察したので報告する。

測定に用いた試料は、GaN 基板上(GaN380)、凹凸加工されたサファイア基板上(LEPS380)、通常のサファイア基板上(Norm380)に成長された3種類の InGaN/GaN 量子井戸 LED 構造である。これらの試料は、成長基板を除いて同一の構造であり、発光波長は全ての試料で約 380 nm である。試料の貫通転位密度は、GaN380 で $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 、LEPS380 で $1.5 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 、Norm380 で $4.0 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ である。PL 測定は、XeCl エキシマレーザー励起の色素レーザーを励起光源として用い、活性層選択励起下にて行った。

図1に3種類の試料の低温および室温における内部量子効率の発光強度依存性を示している。内部量子効率は発光強度の増大に伴い増大した後、減少していることがわかる。低発光強度側の内部量子効率の増大は、NRC の充填によるものであると考えられる。そこで、基底準位、励起子準位、NRC 準位の3準位からなる輻射・非輻射再結合モデルを用いた解析を行った(図2)。このモデルでは、励起子の輻射再結合過程、NRC への捕獲過程および、NRC における非輻射再結合過程を考慮しており、欠陥への捕獲レート $[W_{tr}(T-N)]$ は欠陥密度 T と欠陥に捕獲された励起子密度 N の差に比例するものと仮定している[2]。このモデルに基づき、定常状態における内部量子効率の発光強度依存性は

$$\eta_{\text{int}} = 1/[1 + \alpha/(I_{\text{PL}} + \beta)]$$

$$\alpha = kW_r T, \quad \beta = kW_r W_{nr} / W_r$$

と表される。ここで、 W_r は励起子の輻射再結合レート、 W_{nr} 欠陥における非輻射再結合レート、 k は定数である。このモデルを用いた解析結果を図1の実線および破線で示している。

図3は低温および室温における α および β の貫通転位密度依存性を示している。低温と室温のいずれにおいても α は貫通転位密度の増大に伴い単調に増大しているのに対し、 β は貫通転位密度に依存せず一定であることがわかった。

本講演では、これらのパラメータ(α , β)の温度依存性についても考察する。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H06428 の援助を受けて行われたものである。

[1] T. Kohno et al., Jpn. J. Appl. Phys. **51**, 072102 (2012).

[2] Y. Iwata et al., J. Appl. Phys. **117**, 075701 (2015).

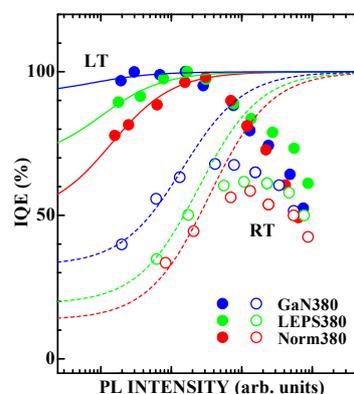


Fig. 1. PL intensity dependence of IQE at 5 K and 300 K taken from GaN380, LEPS380, and Norm380.

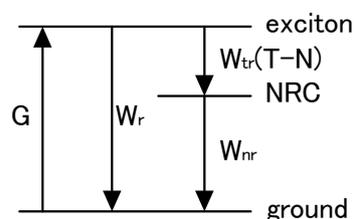


Fig. 2. Schematic of radiative and nonradiative recombination model.

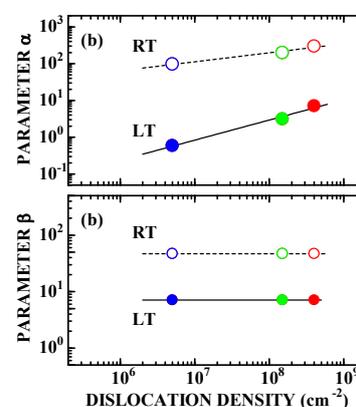


Fig. 3. Values of parameters (a) α and (b) β at 5 and 300 K for GaN380, LEPS380, and Norm380.