

# InGaN 系青色 LED 構造における効率曲線の 励起子レート方程式モデルによる解析

Analysis of efficiency curves of InGaN-based blue light emitting diodes using rate equation for radiative and nonradiative recombination of excitons

山口大院・創成科学<sup>1</sup> 徳山高専<sup>2</sup>

渋谷和憲<sup>1</sup> 米田歩<sup>1</sup> 橋口勇樹<sup>1</sup> 三好博之<sup>1</sup> 倉井聡<sup>1</sup> 室谷英彰<sup>2</sup>

岡田成仁<sup>1</sup> 只友一行<sup>1</sup> 山田陽一<sup>1</sup>

Yamaguchi Univ.<sup>1</sup> and NIT, Tokuyama Coll.<sup>2</sup>

K. Shibuya,<sup>1</sup> A. Yoneda,<sup>1</sup> Y. Hashiguchi,<sup>1</sup> H. Miyoshi,<sup>1</sup> S. Kurai,<sup>1</sup> ○H. Murotani,<sup>2</sup>

N. Okada,<sup>1</sup> K. Tadatomo,<sup>1</sup> and Y. Yamada<sup>1</sup>

E-mail: murotani@tokuyama.ac.jp

これまでに我々は、InGaN 系近紫外 LED において内部量子効率の励起強度依存性を評価し、励起子の輻射・非輻射再結合過程に基づいたレート方程式モデルによる解析を行った[1]。さらに、その結果に基づき、弱励起下における内部量子効率の増大が非輻射再結合中心(NRC)の充填によって説明できることを示した。今回、成長条件の異なる 2 種類の InGaN 系青色 LED 構造において、同様の解析を行い、レート方程式モデルの妥当性について検討したので報告する。

測定に用いた試料は、2 種類の InGaN/GaN 量子井戸 LED 構造である。これらの試料は、同一の構造であり、成長時にアニール処理を行ったものを試料 Da、アニール処理を行っていないものを試料 D とした。発光波長はいずれの試料においても約 450 nm 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(a)および 1(b)は、それぞれ、試料 D および試料 Da における効率曲線の温度依存性を示している。横軸に積分発光強度、縦軸に内部量子効率を示しており、内部量子効率はそれぞれの試料の低温における最大値で規格化している。いずれの試料においても低発光強度側で内部量子効率の増大が観測されている。この結果は、NRC の充填によるものであると考えられる。そこで、NRC の充填を考慮した励起子の輻射・非輻射再結合モデル[2]を用いた解析を行った。このモデルでは、定常状態における内部量子効率の発光強度依存性は

$$\eta_{\text{int}} = 1/[1 + \alpha/(I_{\text{PL}} + \beta)], \quad \alpha = kW_{\text{nr}}D, \quad \beta = kW_rW_{\text{nr}}/W_{\text{tr}}$$

と表される。ここで、 $D$  は NRC の密度、 $W_{\text{nr}}$  は NRC における非輻射再結合レート、 $W_r$  は励起子の輻射再結合レート、 $W_{\text{tr}}$  は NRC への捕獲レート、 $k$  は定数である。このモデルを用いた解析結果を図 1 の実線で示している。

図 2 は試料 D および試料 Da における  $\alpha/\beta = W_{\text{tr}}D/W_r$  の温度依存性を示している。いずれの試料においても  $\alpha/\beta$  の値は温度上昇に伴い増大していることが分かる。この結果は、温度上昇に伴う NRC への捕獲レートの増大と輻射再結合レートの減少を反映したものと考えられる。

本講演では、InGaN 系青色 LED の結果に加えて、InGaN 系近紫外および緑色 LED の結果も報告し、NRC 充填過程の In 組成比依存性についても検討する。

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] 室谷他, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 17p-503-6. [2] Y. Iwata et al., J. Appl. Phys. **117**, 075701 (2015).

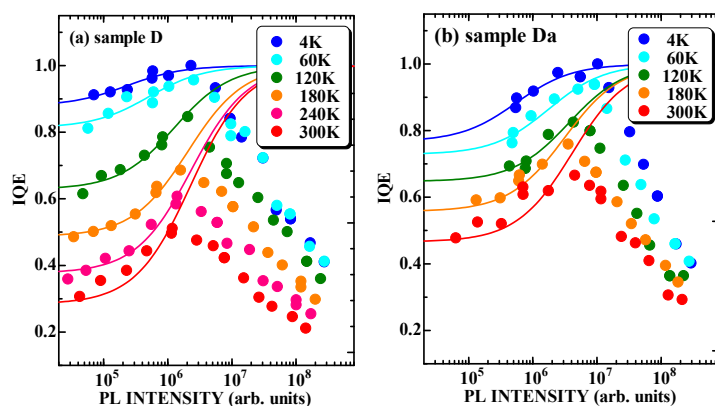


Fig. 1. Temperature dependence of IQE as a function of PL intensity taken from samples (a) D and (b) Da.

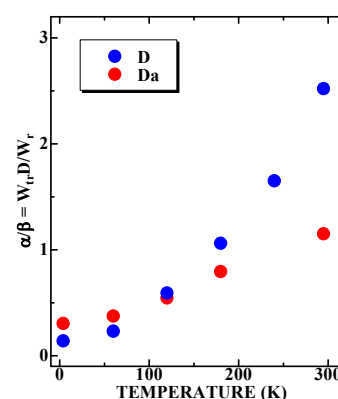


Fig. 2. Temperature dependence of the parameter  $\alpha/\beta$  for the sample D and Da.