

狭帯域・波長超安定 Eu 添加 GaN 赤色発光ダイオードの新展開 ～特異構造制御とフォトン場制御～

New development of narrow-band, wavelength ultra-stable red light-emitting diodes
with Eu-doped GaN: Control of singularity and photon fields

大阪大院工 °藤原 康文, 稲葉 智宏, 朱 婉新, 館林 潤

Osaka Univ., °Yasufumi Fujiwara, Tomohiro Inaba, Wanxin Zhu, Jun Tatebayashi

E-mail: fujiwara@mat.eng.osaka-u.ac.jp

我々は、有機金属気相エピタキシャル(OMVPE)法を用いて、III-V族半導体中で希土類元素を原子のレベルで操ることにより、新しい物性・機能を効果的に発現させるとともに、それらを有効に活用した新規デバイスを創出することを目指している。これら一連の研究の過程で、我々は赤色蛍光体の発光中心として広く用いられている Eu イオンに着目し、OMVPE 法により高品質な Eu 添加 GaN (GaN:Eu)を作製するとともに、それを活性層とした狭帯域・波長超安定赤色 LED の室温動作に成功した[1]。その後、赤色 LED からの光出力は増大の一途を辿り、現在では 20 mA 駆動において 1 mW に達しており、社会実装を視野に入れることが可能となりつつある。実用化には更なる高輝度化が求められるものの、本発明により同一基板上への三原色 LED の集積化が可能となり、高精細マイクロ LED ディスプレイや超小型 LED プロジェクタなどの実現が期待される。本講演では、その更なる高輝度化に向けた様々な取り組みについて紹介する。

母体励起による Eu イオンへの効率的なエネルギー輸送には、Eu 発光中心の特異構造が大きく関係する。Eu イオンの近傍にドナやアクセプタとなる不純物や結晶欠陥をそれぞれ配置することにより、エネルギー輸送効率が劇的に向上することが明らかになっている[2]。高いエネルギー輸送効率を示す Eu 発光中心 (OMVPE7 と呼ばれる) には酸素が関係しており、その形成には OMVPE 成長雰囲気中に酸素を意図的に添加することが有効である。しかしながら、デバイス応用を考えた場合、成長雰囲気への酸素添加は控えることが望ましい。Fig. 1 に GaN:Eu (2~3 nm)/無添加 GaN (10 nm)積層構造試料 (40 周期) における Eu 発光スペクトルを、酸素を含む Eu 原料 (Eu(DPM)₃) を用いて成長した GaN:Eu 試料(300 nm)のものと比較して示す。積層構造試料において、酸素の意図的な添加を施していないにも拘わらず、同様のスペクトルが観測される[3]。また、積層構造試料において、単位膜厚あたりの Eu 発光強度は各 GaN:Eu 層の膜厚の減少とともに劇的に増大することが明らかになっている。

一方、フォトン場を制御することにより、更なる高輝度化が可能であり、表面プラズモン[4]やマイクロ共振器[5]の利用が有効である。Fig. 2 に ZrO₂/SiO₂ 分布 Bragg 反射鏡(DBR)と AlInN/GaN DBR からなるマイクロ共振器 LED からの EL スペクトルを、従来のものと比較して示す。共振器の共振波長位置 (624.5 nm)で発光最大値が観測された。また、Eu 発光遷移確率の増大と光取り出し効率の向上により、発光増強率として 10.9 倍が得られた。

[1] A. Nishikawa, Y. Fujiwara *et al.*: Appl. Phys. Exp. **2**, 071004 (2009). [2] B. Mitchell, Y. Fujiwara *et al.*: J. Appl. Phys. **115**, 204501 (2014). [3] B. Mitchell, Y. Fujiwara *et al.*: Sci. Rep. **6**, 18801 (2016). [4] T. Inaba *et al.*: AIP Adv. **6**, 045105 (2016). [5] T. Inaba *et al.*: in preparation.

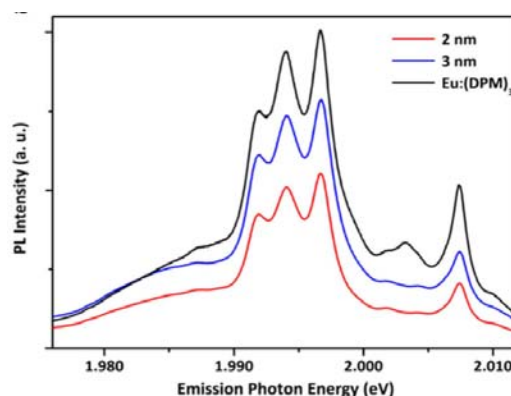


Fig. 1 PL spectra in multi-layer structures with different thickness of a GaN:Eu layer, compared with that in a bulk GaN:Eu prepared using Eu(DPM)₃.

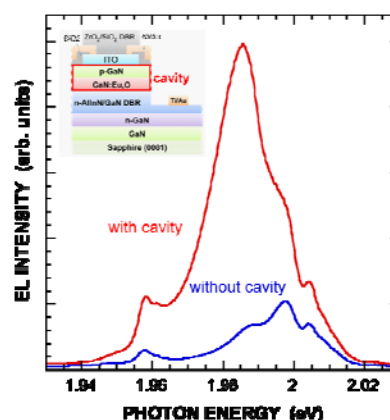


Fig.2 EL spectra in LEDs with and without a microcavity.