

Eu 添加 GaN の強励起条件下における赤色発光強度の増大 Enhanced red emissions from GaN:Eu under strong excitation condition

阪大院工 °市川 修平, 館林 潤, 藤原 康文

Osaka Univ., °Shuhei Ichikawa, Jun Tatebayashi, Yasufumi Fujiwara

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

【はじめに】我々はこれまでに、有機金属気相成長法(organometallic vapor phase epitaxy: OMVPE)により希土類元素の Eu を GaN 結晶中に in-situ 添加し (GaN:Eu)、これを活性層とした赤色 LED を実現してきた[1]。さらなる高輝度化を目指すためには、高電流注入下において顕著にみられる効率ドループ現象を抑制することが求められる。これは、Eu 4f 殻内遷移の発光寿命が長いために、強励起下では Eu イオンの多くが励起状態となり、発光強度が飽和することに由来している。本研究では、サファイア基板上 GaN:Eu 膜成長時において、成長基板や成長条件を変化させることで、強励起条件下での発光強度の増大に向けた構造設計指針について知見を得たので報告する。

【実験・結果】on-axis (0001)サファイア基板上および、 m 軸方向に 2° のオフ角を有する微傾斜(0001)サファイア基板上に、OMVPE 法により試料作製を行った。はじめに無添加 GaN 層を数 μm 程度成長し、Eu, O 共添加 GaN 層を 300 nm 程度成長した後に、無添加 GaN 層をキャップ層として 10 nm 成長した。この際、Eu 流量を一定として、Ga および N 原料の供給量を変化させることで、V/III 比を保ちながら Eu/Ga 流量比を 2.4~7.1%で変化させて試料を作製した。on-axis 基板上に成長した試料表面の光学顕微鏡像を Fig. 1 に示す。図より、従来の最適成長条件である Eu/Ga 比 2.4%の試料と比較して、Eu/Ga 比を増加した試料では表面平坦性が失われていることが分かる。Fig. 2 に、各試料の室温 PL スペクトル(He-Cd レーザー、5 mW 励起時)と PL 積分強度(610~650 nm)の励起強度依存性を示す。Eu/Ga 比を増大させることで Eu 発光中心が増加し、強励起下で観測される発光強度の飽和現象が抑制され、顕著な発光増強が得られていることが分かる。一方で、Eu/Ga 比を 3.5→7.1%と増加させた際には、逆に発光の飽和現象が強まり、僅かに発光強度の減少が観測された。これは、Eu/Ga 比 3.5→7.1%変化時において結晶成長表面が劇的に劣化したことで[Fig. 1(b), (c)]、適切なサイトへの Eu の取り込みが阻害された可能性を示唆している。Fig. 3 に、Eu/Ga 比 3.5%で 2° オフ基板上に成長した試料の光学顕微鏡像を示す。微傾斜基板上の試料では表面にステップバンチングに伴うマクロステップが存在するものの、試料全面でステップフロー成長が促進されており、高い結晶性を保ちつつ高濃度 Eu 添加が可能であることが分かった。オフ基板上の試料では、on-axis 基板上の試料と比較して、強励起下での発光強度の飽和がさらに抑制されており、従来条件比 2.04 倍の発光増強を実現した(Fig. 2)。このことは、オフ基板上への GaN:Eu 層の成長が、LED の高輝度化に有用であることを示唆している。また、Eu 添加層を多重構造化することで実効的なキャリア濃度を下げる事も、強励起下での特性向上に有用であることを見出しており、さらなる赤色発光増強に向けた重要な知見を得た。

[1] A. Nishikawa, Y. Fujiwara, *et al.*, *Appl. Phys. Express* 2, 071004 (2009).

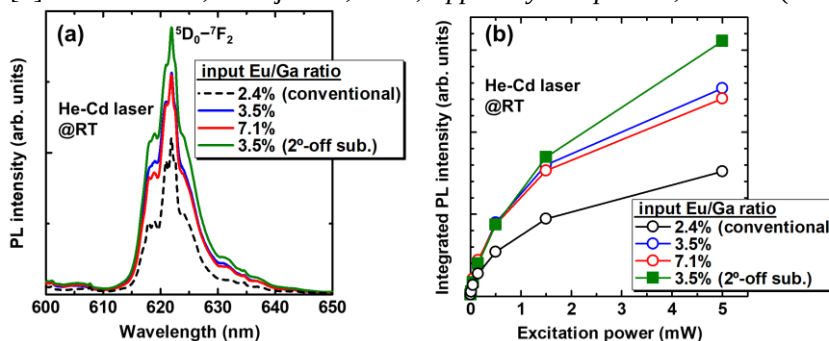


Fig. 2: (a) PL spectra of samples with variation of Eu/Ga ratios and surface off-angles. (b) Excitation power dependences of integrated PL intensity.

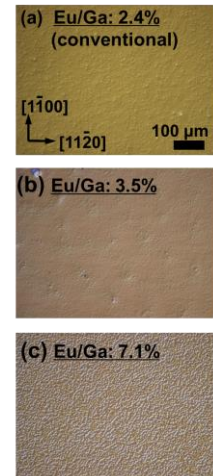


Fig. 1: Optical microscope images of GaN:Eu, O films grown on (0001) on-axis sapphire substrates. Input Eu/Ga ratios are varied with (a) 2.4%, (b) 3.5%, and (c) 7.1%, respectively.

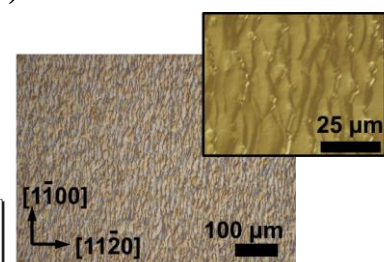


Fig. 3: Optical microscope images of a GaN:Eu, O (input Eu/Ga ratio: 3.5%) layer grown on a 2° -off vicinal sapphire substrate.