自己形成 Eu 添加 GaN ナノコラムの光学特性評価

Optical properties of self-organized Eu doped GaN nanocolumns grown by RF-MBE

豊橋技科大¹, 上智大²

^{\circ}助川睦¹, 関口寬人¹, 松崎良相¹, 山根啓輔¹, 岡田浩¹, 岸野克巳², 若原昭浩¹

Toyohashi Tech¹, Sophia Univ.²

^oA. Sukegawa¹, H. Sekiguchi¹, R.Matsuzaki¹, K. Yamane¹, H. Okada¹, K. Kishino², A. Wakahara¹

E-mail: sukegawa-a@int.ee.tut.ac.jp, sekiguchi@ee.tut.ac.jp

Eu 添加 GaN(GaN:Eu)は,発光線幅が非常に鋭く,発光波長の環境温度安定性が高いといった特 徴を持つ.これまでに GaN:Eu 薄膜を活性層とする赤色 LED の報告がされているが[1],更なる光 出力の向上には各 Eu イオンの発光効率の改善および発光中心となる Eu 濃度の増加が求められる. 薄膜において Eu 濃度を増加させていくとクラックや多結晶化,濃度消光などの問題が生じるが[2], 貫通転位を含まずひずみ緩和効果が期待できるナノコラムを用いることで高濃度領域での結晶性, 発光効率の改善が期待できる[3].本研究では,Eu 濃度 0.25%以上の高 Eu 濃度領域において自己形 成 GaN:Eu ナノコラムを作製し,薄膜と比較してナノコラムの優位性を示すとともに、ナノコラム でも観察される濃度消光問題の原因を明らかにするための光学特性評価を行ったので報告する.

RF-MBE 法を用いて n-Si(111)基板上に 860℃ で GaN ナノコラムを 90 分間成長させた後, GaN:Eu ナノコラムを 610 ℃ にて 60 分間成長させた. Ga フラックス, N₂流量はそれぞれ 5.0×10⁵ Pa, 1.0 sccm と一定とし, Eu フラックスを 1.0~8.0×10⁶ Pa の範囲で変化させることで Eu 濃度を制御した. グロー放電発光分析を用いて Eu 濃度を評価したところ, Eu フラックスに対して線形に増加するこ とが示され, Eu 濃度 0.25% ~2.0%の範囲で制御できていることが明らかとなった.

まずは濃度消光を定量的に評価するために、PL 発光強度を Eu 濃度で規格化した値を発光効率と 定義し、PL 特性を評価した. Fig.1 に GaN:Eu 薄膜とナノコラムにおける室温での発光効率の Eu 濃度依存性を示す. 薄膜でもナノコラムでも Eu 濃度が低い領域では一定の発光効率が得られ、高 濃度領域で発光効率の低下する傾向を示したが、薄膜では 0.25%付近を境に急激な発光効率の低下 が観察されるのに対し、ナノコラムでは 1%以上において発光効率の低下が観察され、ナノコラム の優位性が確かめられた. 一方で、ナノコラム結晶でも Eu 濃度 1%以上において濃度消光が観察さ れたため、その原因を調べるために室温および低温にて PL 特性の励起光強度依存性を評価しレー ト方程式を用いて光学的に活性な Eu 濃度(N_{RE})を評価した. Fig. 2 に室温および低温での N_{RE}の Eu 濃度依存性を示す. 室温、低温ともに濃度消光が観察される 1%までは N_{RE}が増加する傾向を示し、 それ以上では減少する傾向を示した. 次に室温において異なる Eu 濃度をもつ試料の発光減衰特性 を Fig. 3 に示す. 濃度消光が観測されるよりも低い Eu 濃度領域から発光寿命の低下が観察され、 バックトランスファーが Eu 濃度の増加に伴い単調に増加することを示唆する結果を得た. 発表で はナノコラム結晶において Eu 濃度が発光効率に与える影響についてモデルを立てて説明する.

【参考文献】[1] A. Nishikawa *et al.*, Appl. Phys. Express, **2**, 071004 (2009). [2] H. Bang *et al.*, Appl. Phys. Lett., **85**, 227 (2004). [3] Y. Yoshizawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **36**, L459 (1997). [4] H.Sekiguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys.**55**,05FG07 (2016).

本研究の一部は、村田学術振興財団の援助を受けて行われた.

 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{3} 10^{3} 10^{3} 10^{3} 10^{3} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{1} 10^{1} 10^{2} 10^{2} 10^{2} 10^{3} 10^{1} $10^{$

【謝辞】

Fig.1 Emission efficiency of GaN:Eu (a) film and (b) nanocolumns as a function of Eu concentration



Fig.2 The number of optical active Eu ion of nanocolumn sample as a function of Eu concetration



Fig.3 PL decay characteristics for GaN:Eu nanocolumn with different Eu concentration