

## GaN ナノコラム光共振器構造の設計と作製

## Design and fabrication of optical cavity by arranged GaN nanocolumns

豊橋技科大<sup>1</sup>, 上智大<sup>2</sup>・高木俊裕<sup>1</sup>, 関口寛人<sup>1</sup>, 玉井良和<sup>1</sup>,山根啓輔<sup>1</sup>, 岡田浩<sup>1</sup>, 岸野克巳<sup>2</sup>, 若原昭浩<sup>1</sup>Toyohashi Univ. Tech<sup>1</sup>, Sophia Univ.<sup>2</sup>・T. Takagi<sup>1</sup>, H. Sekiguchi<sup>1</sup>, Y. Tamai<sup>1</sup>,K. Yamane<sup>1</sup>, H. Okada<sup>1</sup>, K. Kishino<sup>2</sup>, A. Wakahara<sup>1</sup>E-mail: [takagi-t@int.ee.tut.ac.jp](mailto:takagi-t@int.ee.tut.ac.jp), [sekiguchi@ee.tut.ac.jp](mailto:sekiguchi@ee.tut.ac.jp)

希土類添加窒化物半導体である Eu 添加 GaN (GaN:Eu) は、希土類イオンの外殻電子によって遮蔽された内殻電子遷移による発光を利用するため、シャープな発光スペクトルを示し、発光波長が環境温度に依存しないといった特徴をもつ<sup>[1]</sup>。レーザへの応用のためには光学利得の増大が不可欠であり、そのためには発光センターとなる Eu 濃度の増加が求められるが、薄膜では Eu 濃度増加に伴う発光強度の濃度消光が起きる。ナノコラム結晶は結晶中に転位を含まず側面での歪み緩和効果を有することから光学特性の向上が期待できる。これまでにナノコラム結晶へと Eu を添加することで薄膜に比べて濃度消光を抑制できることを示してきた<sup>[2]</sup>。本研究では、GaN:Eu 結晶と微小共振器を一体集積を目指し、ナノコラムによるフォトニック結晶効果を得るための設計を行い、配列化された GaN:Eu ナノコラムの成長を行ったので報告する。

まずは Eu イオン起因の発光波長 (620 nm) の光を閉じ込めるため、TE モードにおけるフォトニックバンドの解析を行った。単純にナノコラムを規則配列化させただけではフォトニックバンドは開かないため、Fig. 1a に示すような周期的にナノコラムをなくすことでロッド型ではなく空孔型のフォトニック結晶を設計した。Fig. 1b に周期 185 nm, 直径 173 nm, 充填率 93% のフォトニック構造におけるシミュレーション結果を示す。空孔型の場合にはフォトニックバンドが開くことが明らかとなった。波長を Eu イオンの発光波長となる 620 nm とし、ナノコラム直径, 周期, 充填率とバンドの関係性を調べたところ、直径 175~190 nm, ナノコラム周期 180~195 nm, 充填率を 93~100% で設計すればフォトニックバンドが開かれることが明らかとなり、作製のための指針が得られた。

次に設計した構造の GaN ナノコラムを作製するため、Ti マスク選択成長法を用いた。まず GaN テンプレート基板に EB 蒸着法を用いて Ti 薄膜を 10 nm 成膜し、EB 描画装置及びドライエッチング装置を用いて周期 100~500 nm, 直径 50~350 nm の三角格子配列された Ti マスクパターン及び周期 180~195 nm, 直径 50~190 nm の Ti マスクナノパターンを作製した。ナノパターン形成後、RF-MBE 法により成長条件の異なる GaN ナノコラムを結晶成長させた。高成長温度, 低窒素流量においてパターン内の意図しない自己形成ナノコラムが抑制された。Fig. 2 に最適化された条件にて作製された GaN ナノコラムの鳥瞰 SEM 像を示す。設計条件を満たす直径 180 nm, 周期 185 nm, 充填率 94.6% の GaN ナノコラムによる空孔型フォトニック構造が得られた。最後に配列化された GaN ナノコラム上に GaN:Eu ナノコラムを結晶成長した。Fig. 3 に直径 150 nm, 周期 200 nm の室温 PL スペクトルを示す。Eu イオンに起因するシャープな発光が観察されたことが確認された。

[1] A. Nishikawa *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **2**, 071004 (2009) [2] A. Sukegawa *et al.*, *Phys. Status Solidi, A*, vol.215, 1800501 (2018)

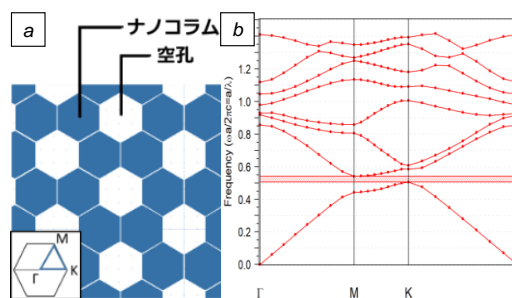


Fig. 1 (a) Designed nanocolumn structure for optical cavity (b) PBG simulation

(P = 185 nm, D = 173 nm, Filling rate = 93%)

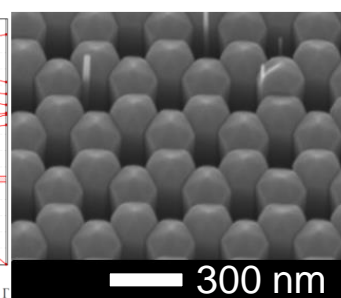


Fig. 2 Cross-sectional SEM image of arranged GaN nanocolumns

(P = 185 nm, D = 180 nm, Filling rate = 94.6%)

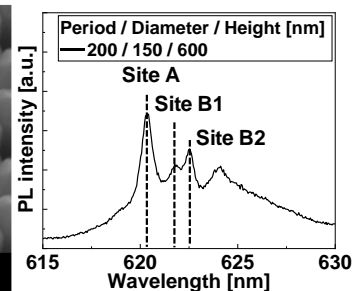


Fig. 3 PL spectra of arranged GaN:Eu nanocolumns