## GaN ナノコラム発光デバイス

## GaN Nanocolumn Light Emitting Devices

上智大理工<sup>1</sup>, 上智ナノテク研究センター<sup>2</sup> <sup>0</sup>岸野 克巳<sup>1,2</sup>. (M2)松井祐三<sup>1</sup>.

## (P)大音 隆男<sup>1</sup>, 吉田 純<sup>1</sup>, (M1)菊池主馬<sup>1</sup>, 山野晃司<sup>1</sup>

Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Nanotechnology Research Ceneter<sup>2</sup>, <sup>o</sup>Katsumi Kishino<sup>1,2</sup>, Yuzo Matsui<sup>1</sup>, Takao Oto<sup>1</sup>, Jun Yoshida<sup>1</sup>, Kazuma Kikuchi<sup>1</sup>, and Koji Yamano<sup>1</sup>

E-mail: kishino@sophia.ac.jp

窒化物半導体(InGaN 系)では、青から緑さら に赤色域へと長波長化に伴って、結晶欠陥、内 部電界、In 組成揺らぎが増加し、それが相乗 的に作用して、発光効率が急激に減少する。現 在のところ、薄膜構造では有効な解決法が見出 されていない。半導体光デバイスの歴史では、 材料的限界に直面したとき、構造効果に活路を 見出してきた。GaN ナノコラムは、直径が数 百 nm 以下の一次元ナノ結晶で<sup>1)</sup>、貫通転位低 減とひずみ緩和効果<sup>2)</sup>などのナノ結晶効果が 発現され、InGaN 系の課題解決に有効と考えら れ、ナノ発光デバイスへの関心が高まり、世界 的に研究されている。

我々は、これまでに、rf-MBE を用いて GaN ナノコラムの Ti マスク選択成長法を開拓し<sup>3)</sup>、 コラム径と位置の精密制御を実現してナノコ ラム規則配列化を得た。さらに、成長核成長と コラム成長を異なる条件で行う二段階成長法 を用いて、コラム径 50 nm 以下 26 nm までの細 線ナノコラムの均一規則配列化を得た<sup>4)</sup>。 InGaN/GaN 系規則配列ナノコラムの発光色は、 コラムパラメータ(コラム径、周期、高さ)で 制御でき 5、この発光色制御法を用いて異なる 発光色の LED の一体集積化に成功した <sup>6,7)</sup>。さ らに GaN ナノコラムの貫通転位尾フィルタリ ング効果のコラム径依存性を議論し<sup>2)</sup>、GaNナ ノコラム上の InGaN 臨界膜厚は、ひずみ緩和 効果のために、ある細いコラム径以下では無限 大に発散し、厚膜 InGaN で不整合転位が発生 しない。ひずみ緩和効果が成長メカニズムを与 える効果のコラム径依存性を明らかにした<sup>8)</sup>。 ナノコラムを規則的に配列させるとフォト ニック結晶効果が発現し、光波と周期構造間の 強い相互作用によって二次元的に強く光が閉 じ込められ、青色域と緑色域で、面発光型の光 励起レーザ発振が得られた<sup>9,10)</sup>。一方、ナノコ ラムフォトニック結晶をランダムレーザ発振 へ展開すべく、多層膜反射鏡を下部に有するナ ノコラムレーザを基礎にして、構造を単純化す るため、コラム周期は一定のままコラム径を空 間的に線形的に変化させた一次元グレーデッ ト構造を作製した。光励起発振では、ランダム レージングが誘起され、広いスペクトル(半値 幅 32 nm)の多波長発振が得られ、スペックル 雑音フリーレーザへの応用性が示唆された<sup>11)</sup>。 一方、ナノコラムフォトニック結晶は、LED 特性の向上にも寄与し、フォトニックバンド端 での光回折によって、放射角の小さな鋭い放射 ビーム特性が得られ、橙色ナノコラム LED に おいて放射角±20°の放射ビーム特性を実証さ れた<sup>12)</sup>。さらに、Si 基板上のスパッターAIN バッファー層を核形成層とする方法で GaN ナ ノコラム選択成長法を実現し、Si 基板除去に よるナノコラム LED のフリップチップ実装を 達成した<sup>13)</sup>。2 インチ Si 基板全面にナノイン プリント描画でナノパターンを描画し、ナノテ ンプレート選択成長法を適用して大面積ナノ コラム LED を試作した。

これらの窒化物半導体ナノコラム研究から、 ナノコラム発光デバイスの進展について講演 する。

## 文献

- M. Yoshizawa, ..., K. Kishino, Jpn. J. Appl. Phys. 36, L459 (1997).
- K. Kishino and S. Ishizawa, *Nanotechnol.* 26, 225602 (2015).
- 3) K. Kishino, H. Sekiguchi, and A. Kikuchi, *J. Cryst. Growth* **311**, 2063 (2009).
- T. Kano, ..., K. Kishino, *Electron. Lett.* 51, 2125 (2015).
- 5) H. Sekiguchi, K. Kishino, and A. Kikuchi, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 231104 (2010).
- 6) K. Kishino, K. Nagashima, and K. Yamano, *Appl. Phys. Express* 6, 012101 (2013).
- K. Kishino, A. Yanagihara, K. Ikeda, and K. Yamano, *Electron. Lett.* 51, 852 (2015).
- T. Oto, Y. Mizuno, A. Yanagihara, K. Ema, and K. Kishino, *Appl. Phys. Express* **10**, 045001 (2017).
- T. Kouno, K. Kishino, K. Yamano, and A. Kikuchi, *Opt. Express* 17, 20440 (2009).
- S. Ishizawa, K. Kishino, R. Araki, A. Kikuchi, and S. Sugimoto, *Appl. Phys. Express* 4, 055001 (2011).
- 11) K. Kishino and S. Ishizawa, *Appl. Phys. Lett.* **109**, 071106 (2016).
- 12) A. Yanagihara, S. Ishizawa, and K. Kishino, *Appl. Phys. Express* 7, 112102 (2014).
- 13) H. Hayashi, D. Fukushima, T. Noma, D. Tomimatsu, Y. Konno, M. Mizuno, and K. Kishino, *Photonic. Tech. Lett.* 27, 2343 (2015)