

水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE) 法によって作製した InGaN/GaN 極微細量子井戸ナノピラーのフォトルミネッセンス評価

Photoluminescence characterization of InGaN/GaN ultra-fine nanopillars
fabricated by Hydrogen Environment Anisotropic Thermal Etching (HEATE)

上智大・理工¹, 上智大ナノテクセンター²

○生江 祐介¹, 松岡 明裕¹, 石嶋 駿¹, 小川 航平¹, 大江 優輝¹, 川崎 祐生¹, 菊池 昭彦^{1,2}

Sophia Univ.¹, Sophia Nanotechnology Research Center,²

○Yusuke Namae¹, Akihiro Matsuoka¹, Shun Ishijima¹, Kohei Ogawa¹,
Yuki Ooe¹, Yusei Kawasaki¹, Akihiko Kikuchi^{1,2}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに: 位置と形状が制御された極微細窒化物半導体ナノ結晶は、量子物理現象の発現やナノレーザー、単一光子源、単電子トランジスタなどへの応用が期待される魅力的な材料である。我々は水素雰囲気中のGaNの熱分解反応[1]を利用し、低損傷極微細加工が可能な水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法の研究を行い、エッチング特性やInGaN/GaNナノ構造LEDの作製等を報告してきた[2]。本稿では、HEATE法で作製した上部平均直径15 nmの極微細InGaN/GaNナノピラーアレイにおけるフォトルミネッセンス (PL) ピークエネルギーの温度特性について報告する。

実験: (0001) 面 Al₂O₃ 基板上に MOCVD 法で p-GaN(25nm)/InGaN(3nm)/n-GaN(60nm) を成長した pn 接合エピウェハ表面に、厚さ約 50 nm の SiO₂ 膜を堆積した。電子線描画とリフトオフ法により Cr ナノパターンを作製し、CF₄ と O₂ ガスを用いたドライエッチングで SiO₂ ナノパターンを形成した後、ウエットエッチングで Cr を除去した。直径約 110 nm と直径約 45 nm の円形 SiO₂ をマスクとし、この試料を石英管状炉内で水素圧力 100 Pa、温度 900 °C の条件で 22 分間加熱 (HEATE) してナノピラーアレイを作製した。これらの試料を He-Cd レーザ (波長 325 nm) で励起して PL 発光特性の温度依存性を評価した。

結果: Fig.1 に作製したナノピラーアレイの鳥瞰 SEM 像を示す。SiO₂ ナノマスク周囲から約 15 nm のオーバーエッチングが生じ、上部平均直径 80 nm (左) および 15 nm (右) のナノピラーアレイが作製された。Fig.2 にナノピラーの構造図を示す。これらのナノピラーアレイの室温 PL ピーク波長は、それぞれ 435.0 nm と 423.4 nm であり、明瞭な青色発光を示した。元ウェハのピーク波長 452.2 nm に対して顕著な短波長化が生じており、これは歪緩和効果に加え、少量の In 脱離の可能性も考えられる。これらのナノピラーの PL ピークエネルギーの温度特性 (4K ~ 300K) を Fig.3 に示す。上部直径 80 nm のナノピラーは、In 組成揺らぎに起因する典型的な S 字型シフト特性 [3] を示したが、上部直径 15 nm の極微細ナノピラーの PL ピークエネルギーは低温化に伴い単調に増加した。これは、InGaN 量子井戸内の In 組成揺らぎが少ないことを示唆しており、微細化によって量子井戸の横幅が組成揺らぎのスケールと同等あるいはそれ以下になった可能性が考えられる。

まとめ: HEATE 法で作製した InGaN/GaN ナノピラー

アレイの PL 温度特性において、ピラーサイズに依存する波長シフト特性を観察し、極微細ナノピラーにおいて In 組成揺らぎが抑制されている可能性が示された。

謝辞: 日頃ご支援いただく上智大学岸野克己教授、下村和彦教授に感謝します。本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K14260 および JP17H02747 の援助を受けた。

参考文献: [1] K. Hiramatsu et al., MRS Proc. 482, 991 (1997). [2] K. Ogawa, R. Hachiya, T. Mizutani, S. Ishijima, A. Kikuchi, Phys. Stat. Sol. A, 214, 1600613 (2017). [3] Y. H. Cho. et. al., Appl. Phys. Lett. 73, 1370 (1998).

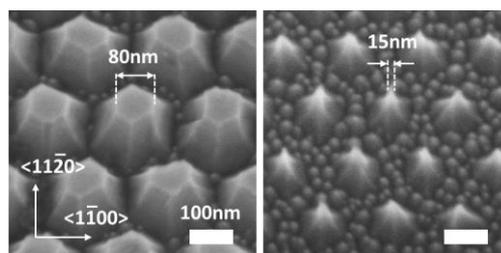


Fig.1 Bird's-eye-view SEM images of InGaN/GaN nanopillar arrays.

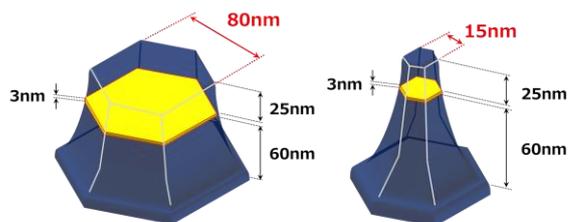


Fig.2 Schematic images of large and ultra-fine InGaN/GaN nanopillars.

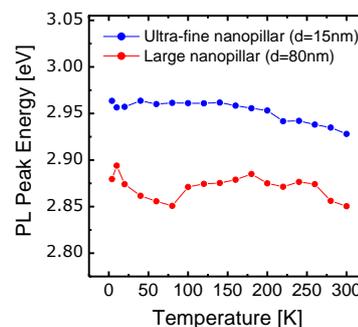


Fig.3 PL peak energy of InGaN quantum disks embedded in GaN nanopillars as a function of temperature.