

水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE) 法で作製した InGaN/GaN 多重量子井戸ナノピラーにおける発光特性のサイズ依存性

Size-dependent optical characterization of InGaN/GaN multi quantum well based 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, 伊藤 大智¹, 川崎 祐生¹, 大江 優輝¹, 松岡 明裕¹, 森谷 祐太¹, 菊池 昭彦^{1,2}

Sophia Univ.¹, Sophia Nanotechnology Research Center,²

○Yusuke Nmae¹, Daichi Ito¹, Yusei Kawasaki¹, Yuki Ooe¹,

Akihiro Matsuoka¹, Yuta Moriya¹, Akihiko Kikuchi^{1,2}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに: InGaN/GaN量子井戸ナノ構造は、歪緩和効果や貫通転位隔離効果、光取出効率の向上などによる発光特性の向上をもたらす魅力的な材料である。我々は水素雰囲気中での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、GaNのエッチング特性[2]やInGaN/GaNナノ構造LEDの作製[3]等を報告してきた。本稿では、HEATE法でInGaNディスク直径を38 nmから2020 nmまで系統的に変化させ作製した、InGaN/GaNナノピラーアレイのフォトルミネッセンス(PL)発光特性のInGaNディスク直径依存性について報告する。

実験: (0001)面Al₂O₃基板上にMOCVD法で3周期のIn_{0.16}Ga_{0.84}N(2.4 nm)/GaN(11 nm)-MQWを成長したpn接合エピウェハ表面に、厚さ10 nmのSiO₂膜を堆積した。電子線描画とリフトオフ法によりTiナノパターンを作製し、CF₄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。直径を約40 nmから2 μmまで系統的に変化させたSiO₂ナノパターンをマスクとし、この試料を石英管状炉内で水素:アンモニア(=20:1)混合ガス雰囲気において、圧力100 Pa、温度875 °Cの条件で60分間加熱(HEATE)してナノピラーアレイを作製した。最後にSiO₂とTiをウェットエッチングし、この試料を波長405 nmのレーザーで励起してPL発光特性を評価した。

結果: Fig. 1 に作製したナノピラーアレイの鳥瞰SEM像の一例を示す。InGaNディスク直径D = 38から2020 nmのナノピラーアレイが作製された。Fig. 2にナノピラーアレイと非エッチング領域であるメサのPLスペクトルを示す。D = 38, 238, 2020 nmのナノピラー、およびメサの発光ピークエネルギーはそれぞれ2.79, 2.75, 2.74, および2.74 eVであり、D = 38 nmと238 nmのナノピラーは微細化に伴い歪緩和に起因するブルーシフトが確認された。Fig. 3にPL発光強度のInGaNディスク直径依存性を示す。D = 2020 nmから824 nmまでは発光強度に大きな違いは無いが、D = 745 nmから238 nmにかけて微細化に伴い発光強度が顕著に増加した。これはD < 745 nmにおいてInGaNディスクの内部歪が緩和された領域からの発光が支配的になったためだと考えられる。一方、D < 238 nmでは微細化に伴い発光強度が急激に減少した。これはInGaNディスクの体積に対する表面積が増大し、表面非発光再結合が支配的になったためだと考えられる。

まとめ: HEATE法で作製したInGaN/GaNナノピラーアレイにおけるPL発光特性のInGaNディスク径依存性を38 nmから2020 nmの広範囲で系統的に評価し、微細化に伴う発光強度の増加および減少の傾向を確認した。発表では発光効率についても議論する予定である。

謝辞: 日頃ご支援いただく上智大学岸野克己教授、山形大学大音隆男助教に感謝します。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] R. Kita, R. Hachiya, T. Mizutani, H. Furuhashi, and A. Kikuchi, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 046501 (2015). [3] K. Ogawa, R. Hachiya, T. Mizutani, S. Ishijima, A. Kikuchi, Phys. Stat. Sol. A, 214, 1600613 (2017).

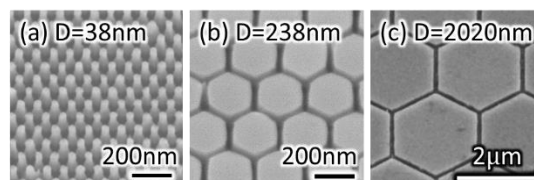


Fig.1 Bird's-eye-view SEM images of InGaN/GaN nanopillar arrays.

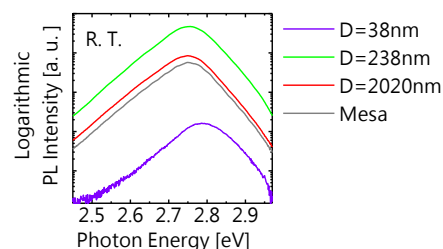


Fig.2 Logarithmic PL spectra of InGaN/GaN nanopillar arrays and mesa.

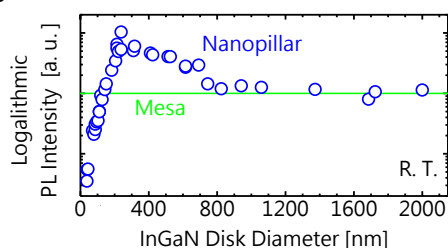


Fig.3 Logarithmic PL intensity of InGaN/GaN nanopillar arrays and mesa versus InGaN disk diameter.