

InGaN/GaN 屈折率導波路型フォトニック結晶デバイスに向けた HEATE 法による高アスペクトナノホールアレイの作製

High aspect nano-hole array fabricated by HEATE for InGaN/GaN optical waveguide type photonic crystal device

上智大理工¹, 上智大フォトニクスリサーチセンター²

○森谷 祐太¹, 大江 優輝¹, 川崎 祐生¹, 伊藤 大智¹, 阿部 洗希¹, 木下 堅太郎¹, 菊池 昭彦^{1,2}

Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center²,

○Yuta Moriya¹, Yuki Ooe¹, Yusei Kawasaki¹, Daichi Ito¹, Kouki Abe¹, Kentaro Kinoshita¹, Akihiko Kikuchi^{1,2}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに：フォトニック結晶 (PhC) は光デバイスの高性能化・高機能化に有用なデバイス技術であり、最近ではハニカム格子に配置した誘電体ロッドやホールにより光領域でのトポロジカルエッジ伝搬の理論予測[1]や実験的検証[2]も報告され関心を集めている。窒化物半導体を用いた可視領域 PhC の研究も行われ、面発光レーザ[3]や高 Q 値共振器[4]などが報告されている。本研究では、可視光領域でのトポロジカル光伝搬現象の検証や高性能 PhC デバイスの作製に向けた GaN ナノ加工技術について報告する。

理論検討：高 Q 値 PhC 共振器やトポロジカル PhC を作製するためには、光を PhC 構造部に強く閉じ込め可能な誘電体メンブレン構造が有効だが、窒化物半導体では電流注入構造の形成が困難という課題がある。一方、屈折率導波路構造全体にエアホールを形成して大部分の光を PhC 部に閉じ込める場合、平均屈折率が低下するため、厚い導波路構造と高アスペクトナノホールの形成が必要となる。図 1 は p-GaN(100 nm)/InGaN-MQW/n-GaN 屈折率導波路構造全体に格子定数 $a=228$ nm、直径 137 nm の円形空孔を三角格子配列で形成した場合の平均屈折率を設定し、光電界が 99.9%存在する領域の厚さ T を MQW 層数に対してプロットした計算例である。この場合の低次 Γ 点バンド端は波長 500nm 付近に形成される。図より 6QW では $3.6 \mu\text{m}$ 、13 QW で $1.3 \mu\text{m}$ 、20QW で $1.1 \mu\text{m}$ の厚さが必要であることが分かる。一般に、ICP エッチングなどのドライエッチングでこのような高密度の高アスペクトナノホールアレイを低加工損傷で形成することは非常に難しいと考えられる。

実験と結果：我々は、これまでに高温減圧水素雰囲気下での GaN の熱分解反応を利用する低損傷極微細ナノ加工技術である HEATE (Hydrogen Environment Anisotropic Thermal Etching)法について報告してきた[5, 6]。ここでは、(0001)面 Al_2O_3 基板上に成長した n-GaN テンプレートおよび InGaN 量子井戸を 6 層含む p-GaN/6QW/n-GaN-LED ウェハの表面に、原子層堆積法で SiO_2 を 15 nm 堆積し、電子線描画及び CF_4 ガスエッチングで円形開口を有する SiO_2 ナノマスクを形成した。この試料を石英環状炉内で全圧 100 Pa の H_2 (90%)と NH_3 (10%)の混合雰囲気において 975°C で 20 分間加熱して HEATE によるナノ加工を行った。

Fig. 2 は n-GaN 試料に形成したナノホールアレイの表面および鳥瞰 SEM 像であり、直径 72 nm、深さ $1.1 \mu\text{m}$ の均一な高アスペクトナノホール構造の形成が確認された。Fig.3 は、LED 構造に形成したナノホールアレイの SEM 像と室温 PL スペクトルであり、高密度ナノ構造の形成にもかかわらず、元ウェハの 2.3 倍の発光が得られ、 NH_3 添加 HEATE 法が PhC 構造の作製に適したエッチング法であることが示された。

謝辞：本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18T4, JSPS 科研費 JP16K14260 および JP17H02747、上智大学 2018 年度理工学部申請型研究費 (応募制) の援助を受けて実施された。

文献：[1] Xiao Hu. et al. Phys. Rev. Lett., 114 (2015) 223901. [2] Barik, et al. New J. of Phys., 18.11 (2016) 113013. [3] S. Noda et al., Science, **319** (2008) 445. [4] M. Arita et al., Appl. Phys. Lett., **91** (2007) 051106. [5] R. Kita et al., Jpn. J. Appl. Phys. **54** (2015) 046501. [6] K. Ogawa et al., Phys. Stat. Sol. A. **214** (2017) 1600613.

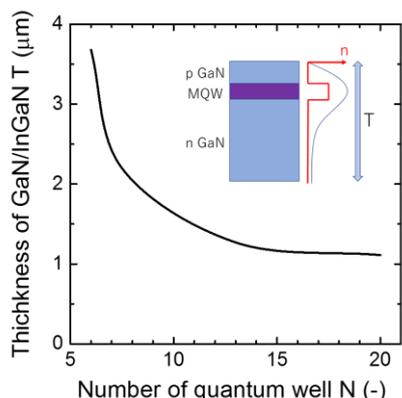


Fig. 1 Relationship between Thickness of GaN/InGaN and Number of QW

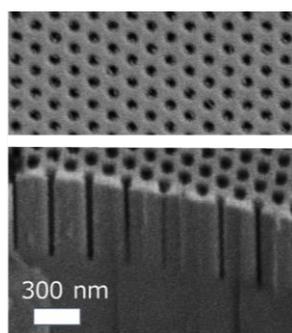


Fig. 2 Top and bird's eye view SEM images of GaN nanohole array fabricated by HEATE with 10% NH_3 addition.

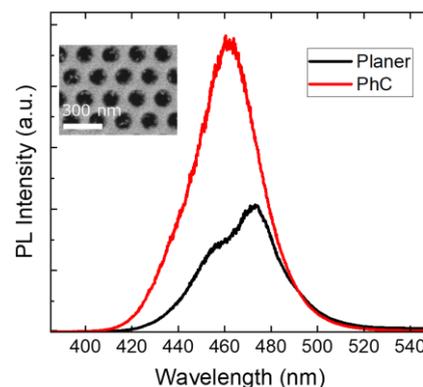


Fig. 3 Top view SEM image of InGaN/GaN nano-hole array and RT-PL spectra of nano-hole array and planer.