## InGaN/GaN 屈折率導波路型フォトニック結晶作製に向けた HEATE 法による三角ナノホール形状の面方位依存性の検討

Crystal line orientation dependency of triangle nano hole structure by HEATE for InGaN/GaN optical waveguide type photonic crystal device

上智大理エ<sup>1</sup>, 上智大フォトニクスリサーチセンター<sup>2</sup>

<sup>°</sup>阿部 洸希<sup>1</sup>,大江 優輝<sup>1</sup>,川崎 祐生<sup>1</sup>,伊藤 大智<sup>1</sup>,森谷 祐太<sup>1</sup>,木下 堅太郎<sup>1</sup>,菊池 昭彦<sup>1,2</sup>

Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Photonics Research Center<sup>2</sup>,

<sup>°</sup>Koki Abe<sup>1</sup>, Yuki Ooe<sup>1</sup>, Yusei Kawasaki<sup>1</sup>, Yuta Moriya<sup>1</sup>, Daichi Ito<sup>1</sup>, Kentaro Kinoshita<sup>1</sup>, Akihiko Kikuchi<sup>1,2</sup>

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに: 近年、半導体中に規則的にナノホールを配置したホール型フォトニック結晶(PhC)において、非対称なナノホール形状を用いることにより、大面積単一モードレーザ発振[1]やトポロジカルエッジ伝搬[2]、トポロジカルバルクレーザ[3]など、新機能性光デバイスの展開が報告されている。我々は、InGaN/GaN 系半導体と高アスペクトナノホールを用い、電流注入に適した屈折率導波路型のバルクフォトニック結晶デバイスの開発を目指した研究を行っている。これまでに、高温水素雰囲気下での GaN の熱分解反応を利用する低損傷ナノ加工技術である HEATE 法を開発し[4]、NH3ガスを添加すると高アスペクトナノトレンチ構造などを形成可能できることを見出した。本研究では、可視光領域でのトポロジカルエッジ伝搬やトポロジカルバルクレーザの実現を目指し、三角形断面を有する高アスペクト微細ナノホールの形成条件の検討を行った。

実験: サファイア基板上に成長したノンドープ GaN テンプレートの表面に、原子層堆積法で SiO<sub>2</sub> を 10nm 堆 積し、電子線描画及び CF<sub>4</sub> ガスドライエッチングを用いて円形ホールや三角形ナノホールアレイ開口を有する SiO<sub>2</sub> マスクを形成した。この試料を石英管状炉内で全圧 100Pa の H<sub>2</sub> と NH<sub>3</sub> の混合ガス中で加熱して HEATE を行った。作製した試料の表面、及び断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察してナノ構造形状の比較を行った。

結果: Fig.1(a)は NH<sub>3</sub> 混合比 10%、温度 T=975℃、時間 t=20min の HEATE 条件で作製した円形ナノホールアレ イ断面の鳥瞰 SEM 像であり、直径 130nm の円形開口に対して深さ 460nm の円錐型ホールとその中心に直径約 15nm、深さ 760nm の高アスペクトホールが形成された。Fig.2 は、同条件で作製した三角ナノホールの SEM 像であり、(a)と(b)では三角形の辺がそれぞれ GaN の m 面と a 面に一致するように形成されている。(a)では頂 点部の曲率半径が約 16nm であるのに対し、(b)は約 13nm であり、辺を a 面にすると頂点の尖った形状を得や すいことが確認された。次に、NH<sub>3</sub> 濃度 15%、T=975℃、t=60min では、Fig.1(b)に示すような直径 160nm の円 形開口で深さ 2060nm の垂直に近い高アスペクトナノホールが得られた。Fig.3(a)と(b)は、この NH<sub>3</sub> 濃度 15% の条件で作製した三角ナノホールの表面 SEM 像であり、(b)と(d)は、パルス YAG レーザ照射で露出したナノ ホール途中領域の断面 SEM 像である。深さ位置は、(b)で約 2000nm、(d)で約 980nm であった。(a)と(b)は三角 形の辺が m 面、(c)と(d)は a 面になるよう三角ホールマスクが形成されている。(a)では角丸の三角形状が、(b) では直径約 20nm の円形ホールに変形した。一方、(c)では一辺約 40nm の三角形状が、(d)でも一辺約 30nm の 明瞭な三角形状を維持しており、HEATE 法による高アスペクトナノ構造形成において、断面構造に明瞭な面 方位依存性が生じることがわかった。

**まとめ:** HEATE 法により三角形断面を持つ高アスペクト GaN ナノホールを形成可能であることを示した。 **謝辞:**本研究は、JST CREST JPMJCR18T4, JSPS 科研費 JP19K22147, JP17H02747 の援助を受けて実施された。

文献: [1] M. Yoshida et al., Nat. Mat., 18 (2019)121. [2] S. Barik et al., Science, 359 (2018) 6376. [3] Z. Shao et al, Nat. Nanotech., 15 (2019) 62. [4] R. Kita et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501.



Fig. 1. Bird's eye view SEM images of GaN nanohole array fabricated under different HEATE conditions of 10% NH<sub>3</sub> for 20 min (a), and 15% NH<sub>3</sub> for 60min (b), both at 975 °C.

Fig. 2 Top view SEM images of triangle nanohole fabricated with (a) m-plane facet (b) a-plane facet.

Fig. 3 Top view SEM images of triangle nanoholes. (a) and (b) has m-plane facets and (c) and (d) have a-plane facets. (b) and (d) are cross section of holes at 2um 860 nm in depth, respectively.