# HEATE 法による可視領域メンブレン型トポロジカルフォトニック結晶の作製

## Fabrication of GaN Topological Photonic Crystal Membranes in Visible Wavelength Region by Combination Process of HEATE and Wet Etching

上智大理工<sup>1</sup>, 上智大フォトニクス研究センター<sup>2</sup>, 上智大半導体研究所<sup>3</sup> °米田 幸司<sup>1</sup>, 工藤 大樹<sup>1</sup>, 倉邉海史<sup>1</sup>,菊池 昭彦<sup>1,2,3</sup>

### Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Photonics Research Center<sup>2</sup>, Sophia Semiconductor Research Institute<sup>3</sup>

#### <sup>°</sup>Koji Yoneta<sup>1</sup>, Taiju Kudou<sup>1</sup>, Kurabe Umito<sup>1</sup> Akihiko Kikuchi<sup>1,2,3</sup>

### E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

**背景**:近年、複雑な形状のナノホールを用いる高機能フォトニック結晶(PhC)デバイスが注目されており、PhC 作製技術と集積光デバイス技術が成熟している Si や GaAs、InP 系材料を用いて近赤外領域で急速に進展している。一方、可視光領域では、優れた発光特性とデバイス実績を有する GaN 系が最も適する材料候補であるが、短波長化によるナノホールサイズの極小化に加え、低損傷微細加工が困難という問題があり報告は極めて少ない。我々は可視光域における GaN 系高機能性 PhC の開発を目指し、低損傷ナノ加工技術である水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法[1]の開発を進めてきた。本報告では、HEATE 法によるナノ加工技術と AlInN 犠牲層の熱硝酸ウェットエッチング除去技術[2]を組合わせた加工法を用いて、極微細三角形空孔を有する良好な形状と優れた発光特性の C6 対称トポロジカル PhC メンブレンの作製に成功したので報告する。

**実験方法**: Fig.1 に使用した緑色発光 InGaN-6QW ウェハの構造図を示す。ウェハ表面に厚さ 15nm の SiO<sub>2</sub>を 成膜し、電子線描画とドライエッチングで SiO<sub>2</sub> マスクを形成した。次に HEATE 法(水素とアンモニア混合雰囲 中で 200 分間 875℃で加熱)で n-GaN までをエッチングして PhC 構造を作製した。HEATE 法では AlInN 層 はエッチングされず、ナノホール底面に AlInN 層が露出した。次に熱硝酸(5mol/L, 110℃)ウェットエッチング を 2 時間行って AlInN 層を選択除去し、PhC 部が空中に保持されたメンブレン構造体を作製した。メンブレン 裏面の状態は、導電性粘着テープ上にメンブレンを接着転写して観察した。また、室温 PL 測定(405nm, CW) によりナノ加工前後の発光特性を評価した。

結果と考察: Fig.2 に作製したメンブレン型トポロジカル PhC の表面(a)、断面部(b)および裏面(c)の SEM 像を示す。表面に一辺長 110nm の良好な形状の三角形空孔を有する厚さ 193nm のメンブレンが形成されたことが確認された。裏面は AllnN 層が完全に除去され、平坦な N 極性 GaN 面が現れており、三角空孔は表面に比ベサイズが少し縮小し、頂点部分が平坦に欠けている箇所があるが、底部まで三角形空孔が形成されていることが確認された。Fig.3 に作製した構造の室温 PL スペクトルを示す。発光部面積の減少、加工損傷、活性層側面の露出などの発光特性の劣化要因が懸念されるにも関わらず、PhC 領域の発光強度は未加工の平坦領域に対して著しく増強した。これらの結果から、HEATE 法と熱硝酸ウェットエッチングを組合わせた本手法が、可視領域の微細ナノ構造 PhC メンブレンの作製に適した低損傷ナノ加工技術であることが確認された。

<u>まとめ</u>:アンモニア添加 HEATE 法と熱硝酸ウェットエッチングを組合わせたナノ加工法を用いて複雑な三角形 ナノホールで形成されるメンブレン型 InGaN/GaN-6QW PhC を作製し、元ウェハの数倍の発光強度を得た。

<u>参考文献</u>:[1] R. Kita et al. Jpn. J. Appl. Phys. 54 [2] M. Bellanger et al. Appl. Phys. Express., 2 (2009) 121003. **謝辞:**本研究は、JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147 の援助を受けた。

p-GaN (60nm)
In <sub>0.22</sub> Ga <sub>0.78</sub> N/GaN 6QWs (88nm)
n-GaN (45nm)
n-Al <sub>0.83</sub> In <sub>0.17</sub> N (350nm)
n-GaN (~4μm)
(0001)Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (450μm)

Fig 1. Cross-sectional structure of epitaxial wafer used for processing.



Fig. 2. (a) SEM image of InGaN/GaN topological PhC membrane fabricated by combination process of  $NH_3$  added HEATE and hot nitric acid wet etching. Bird's-eye images of (b) cross-section and (c) backside of the membrane.



Fig 3. Room temperature PL spectra of the topological PhC membrane (red-trace) and asgrown planer wafer (black-trace).