水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法による GaN 高アスペクト微細ナノホールアレイの断面形状制御

Cross-sectional shape control of GaN high-aspect fine nano-hole array by hydrogen environment anisotropic thermal etching (HEATE)

上智大理工¹, 上智大フォトニクス研究センター², 上智大半導体研究所³

[°]阿部 洸希¹, 森谷 祐太¹, 川崎 祐生¹, 伊藤 大智¹,木下 堅太郎¹, 菊池 昭彦^{1,2,3} Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center², Sophia Semiconductor Research Institute³ [°]Koki Abe¹, Yuta Moriya¹, Yusei Kawasaki¹, Daichi Ito¹, Kentaro Kinoshita¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3} E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに: 近年、対称性の低いナノホールで構成されたフォトニック結晶 (PhC)構造を用いる大面積単一 モードレーザ[1]やトポロジカルバルクエッジレーザ[2]などの近赤外高性能半導体レーザが提案されている。 前者は形状の異なる二つのナノホールペアによる二重格子、後者は六員環状三角ナノホールのハニカム格子が 用いられている。このような非対称ナノホールを用いた発光デバイスを可視領域で実現するには、近赤外域に 対して、より高精度かつ低損傷な微細加工技術が必要となる。我々は、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[3]、NH₃ガス添加による高アスペクトナノトレ ンチ形成等について報告してきた。本研究では、可視光領域におけるトポロジカルエッジ伝搬やトポロジカル バルクエッジレーザの実現を目指し、HEATE 法による GaN 高アスペクトナノ構造の面方位依存性を検討した。 実験と結果:ナノホール型トポロジカル PhC デバイスでは、Fig.1 に示すように六つの三角ホールを六員環状 に配置したクラスタをハニカム格子状に配列し、ハニカム周期をao、三角形と六員環の重心間距離をR、三角 形の一辺を T とし、R<ao/3 のトリビアル PhC 領域と R<ao/3 のトポロジカル PhC 領域を隣接させた構造が用い られる。一例として、窒化物半導体で波長 500nm 近傍のトポロジカル PhC を形成する場合、ao=300nm、T=100nm、 最狭線幅 35nm という極微細構造が必要となる。Fig.2 は、GaN 三角ホール PhC において三角形の頂点部の丸 まり具合を表す曲率半径の大きさに対するギャップマップであり、青色がトリビアル領域、赤色がトポロジカ ル領域のバンドギャップである。三角形の頂点が丸みを帯びて曲率半径が増加するとバンドギャップが減少し、 18nm 以上ではバンドギャップが消滅しており、三角形の形状制御が重要であることが示された。

実験では、サファイア基板上に成長した GaN テンプレートの表面に原子層堆積法で SiO₂を 15nm 堆積し、 三角形ナノホールアレイ開口を有する SiO₂ マスクを形成した。ここでは、ナノホール形状の結晶面方位依存 性を評価するため、三角形の辺が GaN の m 面に平行な m 面マスクと a 面に平行な a 面マスクの二通りを用い た。試料を NH₃ 添加 HEATE 法でエッチング加工し、作製した試料の一部を YAG レーザにより露出させナノ 構造の表面、及び断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察して形状の比較を行った。Fig.3(a)(b)は m 面マスク、 (c)(d)は a 面マスクを用いたナノホールであり、(a)と(c)が表面 SEM 像、(b)と(d)がレーザ照射で露出させたナ ノホール深部の SEM 像である。深さは(b)は約 300nm、(d)が約 800nm である。m 面マスクでは表面で三角形頂 点部が丸みを帯び、深さ 300nm では a 面で囲まれた六角形になった。一方、a 面マスクでは表面は一辺 75nm の鋭い頂点の三角形ホール空孔が形成され、800nm の深部でもややサイズが縮小したもののシャープなファセ ットの三角形が維持され、ナノホール加工では a 面が安定に形成されやすい異方性を持つことが分かった。

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] Z. Shao et al, Nat. Nanotech., 15 (2019) 62. [3] R. Kita et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501.



Fig. 1. Scheme of size and structures of topological and trivial photonic crystals.



Fig.3 (a) and (b) are surface and cross section (at the depth of 300nm) SEM images of nano-holes fabricated by the m-plane mask. (c) and (d) are surface and cross section (at the depth of 800nm) of nano-holes fabricated by the a-plane mask.