

GaN 系青色域トポロジカルエッジ導波路の FDTD 解析

FDTD analysis of GaN based topological edge waveguide in blue light region

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

○米田 幸司¹, 森谷 裕太¹, 阿部 洗希¹, 工藤 大樹¹, 菊池 昭彦^{1,2,3}

Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center², Sophia Semiconductor Research Institute³

○Koji Yoneta¹, Yuta Moriya¹, Kouki Abe¹, Taiju Kudou¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに：フォトニック結晶(PhC)とトポロジーの概念を融合したトポロジカル PhC[1]が近年注目されている。トポロジカル PhC は一方向性伝搬、欠陥や曲げに対する強いロバスト性などを有しており、トポロジカルバルクエッジレーザ[2]などの新規光デバイスへの応用が期待されているが、ほとんどの報告は PhC 作製技術が成熟した赤外域であり、可視域での報告は極めて少ない[3]。我々は可視光域で優れた発光特性を有する窒化物半導体を用い、可視光短波長域におけるトポロジカル PhC デバイスの作製に向けた研究を行っており、GaN の低損傷微細加工が可能な水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE) 法[4]を用いたトポロジカル PhC の作製を進めている。本研究では、二次元(2D)及び三次元(3D)モデルによるフォトニックバンド計算と有限差分時間領域法(FDTD)による導波シミュレーションを行い、可視短波長域における GaN 系トポロジカル PhC デバイスの実現可能性について検討を行ったので報告する。

解析方法と結果：計算モデルには、Fig.1 に示す六つの三角空孔を六員環状に配置した六角形を一つのクラスタとした。バンド計算から青色域でフォトニックバンドを形成するにはクラスタ周期 A が 280nm 程度、最狭線幅 30nm の極微細構造、さらに一辺長 T が約 90nm の正三角形に近いナノホールの形成が必要であることが確認された。次に $A=280\text{nm}$ 、 $T=A/3$ の正三角形をクラスタ中心から $R=0.35A$ の距離で配置した Topological 領域と、 $R=0.31A$ の距離で配置した Trivial 領域とし、これら 2 領域を接合させた界面導波路(Fig.2a)について FDTD 解析を行った。3D 解析では、高い光閉込めが期待される厚さ 200nm の GaN メンブレン構造とした。

2D と 3D の FDTD 解析による電界分布の例をそれぞれ Fig.2b-1 と 2b-2 に示す。2D で波長 471nm、3D で波長 448nm において、円偏光光源の偏光方向に依存する一方向性伝搬と低散乱鋭角伝搬等のトポロジカルエッジ伝搬の特徴が確認された。GaN メンブレン構造での 120 度曲げ導波路においても 10 数 μm 以上の距離を伝搬することが確認され、実験的な観測も十分可能であることが期待される。

実験では、加速電圧 50kV の電子線描画装置を用いて Fig.3 に示すようなハニカム周期 280nm の三角形ナノパターンの描画条件が得られおり、HEATE 法による GaN ナノ構造の作製についても報告する予定である。

謝辞：本研究は、JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147 の援助を受けて実施された。

参考文献：[1] Xiao Hu. et al., Phys. Rev. Lett., 114 (2015) 223901. [2] Z. Shao et al, Nat. Nanotech., 15 (2019) 62. [3] S. Peng et al., Phys. Rev. Lett., 122 (2019) 117401. [4] R. Kita et al. Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501.

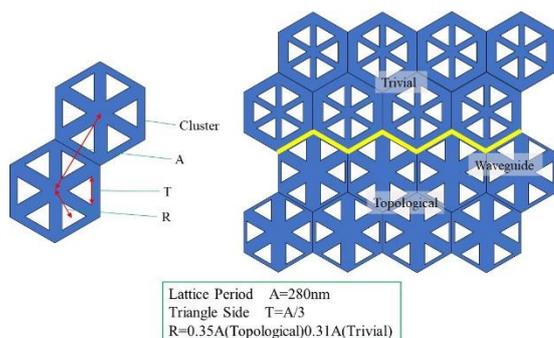


Fig. 1 Calculation models of GaN based topological and trivial photonic crystals.

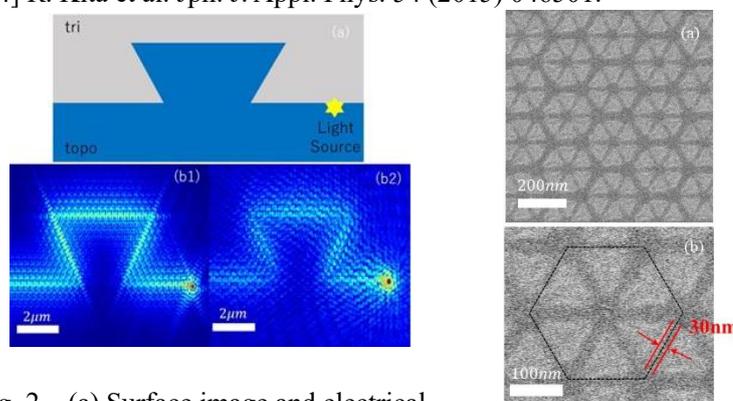


Fig. 2 (a) Surface image and electrical field intensity of GaN topological edge waveguides simulated at 471nm by 2D (b1) and 448nm by 3D (b2).

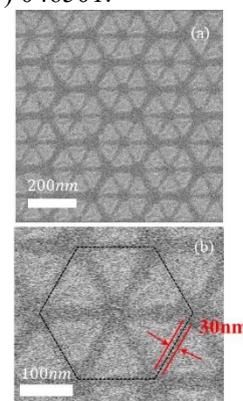


Fig. 3 SEM top-view image of resist mask of topological PhC (a) and its magnified one (b).