

GaN フォトニック結晶における可視域トポロジカルエッジ伝搬の観測

Observation of visible range topological edge-state propagation in GaN PhC

上智大理工¹, 上智大フォトリクス研², 上智大半導体研³, 物材機構 WPI-MANA⁴

○高野 大和¹, 倉邊 海史¹, 秋元 弥頼¹, 本多 卓人¹, 胡 暁⁴, 菊池 昭彦^{1,2,3}

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

WPI-MANA, National Institute for Materials Science⁴

○Yamato Takano¹, Umuto Kurabe¹, Mirai Akimoto¹, Takuto Honda¹, X. Hu⁴, Akihiko Kikuchi^{1,2,3}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

背景: フォトニック結晶(PhC)にトポロジーの概念を導入したトポロジカル PhC が注目され、PhC 技術が成熟した近赤外領域においてトポロジカルエッジ伝搬の実験的検証^[1]、バルクエッジレーザ^[2]や光渦伝送デバイス^[3]の提案・試作などが報告され急速に進展している。本研究では、低損傷加工技術である水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法^[4]と AlInN 犠牲層選択エッチングによりメンブレン型 GaN 系トポロジカル PhC^[5]を作製し、可視域でのトポロジカルエッジ伝搬の観測に成功したので報告する。

実験方法: GaN(200nm)/AlInN(300nm)/GaN(4.8μm)/(0001)Al₂O₃構造のエピウェハ表面に、六つの三角空孔で構成される六角形クラスタを周期 $a_0 = 500 \sim 400\text{nm}$ で配列した SiO₂マスクを形成した。三角空孔の重心と六角形クラスタ中心の距離 R が $R < a_0/3$ のクラスタ領域が Trivial PhC、 $R > a_0/3$ のクラスタ領域が Topological PhC であり、2 種の PhC 境界部にトポロジカルエッジ状態が形成される。HEATE 法を用いて GaN 露出部を垂直にエッチングし PhC 構造を作製した後、熱硝酸で AlInN 犠牲層を選択除去することで、PhC 部が空中に保持されたメンブレン型トポロジカル PhC を作製した。可視域(400-730nm)分光顕微鏡システムを構築し、PhC 領域を照射してフーリエ像を取得し、その積層断面からフォトニックバンド構造を構成した。また、PhC 境界部に配置した垂直結合用欠陥キャビティ部に偏光光を集光照射してトポロジカルエッジ伝搬の観測を試みた。

結果と考察: Fig1 は $a_0 = 450\text{nm}$ の Topological PhC と Trivial PhC の境界部の SEM 像であり、一辺長 172nm、頂点部曲率半径 19nm、メンブレン厚さ 174nm の良好な形状の三角空孔の形成が確認された。この試料の PhC 境界領域のフォトニックバンドを観測したところ、626nm 近傍にフォトニックバンドギャップとエッジモードの形成が確認された。Fig2 に PhC 全体の顕微鏡像(a)、欠陥キャビティに波長 626nm の直線偏光(b)、左回り円偏光(c)、右回り円偏光(d)を照射した際のトポロジカルエッジ伝搬の実空間画像を示す。偏光の回転方向に依存する明瞭なトポロジカルエッジ伝搬が生じていることがわかる。GaN 系材料を用いた可視域トポロジカルエッジ伝搬の実証は初めてであり、可視域トポロジカル PhC デバイスへの展開が期待される。

謝辞: 本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147 の援助を受けた。

参考文献: [1]Sabyasachi Barik et al., New J. Phys., 18(2016) 113013. [2]Zeng-Kai Shao et al., nature Nanotechnology., 62-72 (2020) . [3]H. Kagami et al., Optics Express., 28(2020) 22. [4] R. Kita et al. Jpn, J. Appl. Phys., 54 (2015) 046501. [5] K. Yoneta et al. Jpn. J. Appl. Phys., 61 (2022) SC1078.

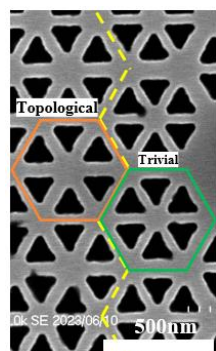


Fig.1 SEM image of GaN topological PhC membrane.

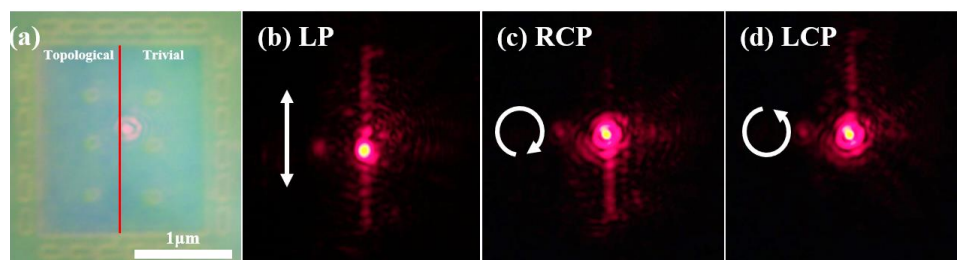


Fig.2 (a) Optical microscope image of GaN topological PhC membrane. Red line indicates the interface between trivial PhC and topological PhC. Real space optical images of topological edge state propagation by irradiating with (b) linearly (c) right-handed circularly, and (d) left-handed circularly polarized light of 626nm in wavelength.