

## 映進対称フォトニック結晶導波路を利用した SSH ナノ共振器の構成

SSH nanocavity in glide-symmetric photonic crystal waveguide

東工大<sup>1</sup>, NTT 物性研<sup>2</sup>, NTT NPC<sup>3</sup>

◦上村 高広<sup>1,2</sup>, Dai Wei<sup>1</sup>, 森竹 勇斗<sup>1</sup>, 納富 雅也<sup>1,2,3</sup>

1. Tokyo Institute of Technology, 2. NTT BRL, 3. NTT NPC

◦Takahiro Uemura<sup>1,2</sup>, Wei Dai<sup>1,2</sup>, Yuto Moritake<sup>1</sup>, Masaya Notomi<sup>1,2,3</sup>

E-mail: uemura.t.ac@m.titech.ac.jp

光ナノ構造を利用したトポロジカルフォトニクスは、高集積かつ欠陥に対してロバストな光集積回路を実現するプラットフォームとして期待されている。とりわけ、トポロジカルバルク構造の界面に出現する0次元エッジ状態は光ナノ共振器として機能するため、更なる集積化のために重要である。これまでにナノビーム構造や正方格子フォトニック結晶を利用した光ナノ共振器とそのレーザ応用が報告されている一方[1,2]、一般に光ナノ導波路として広く利用される、三角格子やハニカム格子型導波路を利用したトポロジカルナノ共振器の実現報告はない。先行研究[1,2]はいずれもバルク構造が持つ光トポロジエーを利用しているため、三角格子やハニカム格子に対して同様の手法を適用することは困難であった。今回、曲げに対する耐性を持つことが知られている三角格子型映進対称フォトニック結晶導波路[3]を利用し、エッジ状態が持つトポロジエーを利用した光ナノ共振器の構成方法を考案したため、報告する。

今回解析する2次元フォトニック結晶スラブ導波路構造をFig.1(a)に示す。格子定数を $a=470$  nm, 三角穴の一辺を  $s=0.8a$ , スラブの実効誘電率を $\epsilon_{\text{slab}}=6.76$ と設定している。無摂動の場合、空間構造が持つ映進対称性によって、1次元エッジ状態のバンド構造はBrillouin zone中心としたDirac型分散を持つ。Fig.1(a)に示すx軸方向の三角穴位置シフト $\Delta R$ によってDirac点の縮退が解ける(Fig.1(b))が、位置シフトの符号に応じてエッジ状態のバンドが0もしくは $\pi$ のZak位相[4]を獲得する。この挙動は、映進対称導波路が実効的には映進対称面の上半分と下半分をそれぞれA, Bサイトとする2サイト系みなすことができ、1次元格子模型であるSu-Schrieffer-Heeger (SSH) モデルとのアナロジーが成立することに由来する。また、この手法はユニットセルを拡張することなく実装することができ、エッジ状態がライトラインの下に位置するという利点を持つ。続いて、Fig.1(c)に示すスラブ型フォトニック結晶ヘテロ構造 (材料屈折率:3.48, スラブ厚: 200 nm) を有限要素法によって解析し、0次元エッジ状態である共振モードの形成および $10^4 \sim 10^5$  程度のQ値が達成可能であることを解明した。さらに、2次元FDTD法による透過率解析の結果、透過スペクトルに共振モードに由来するピークが出現することを明らかにした(Fig.1(d))。今回の解析では三角格子および三角穴を採用したが、ハニカム格子配列[5]や丸穴を採用した場合でも同様にしてナノ共振器の形成が可能である。我々の成果は、フォトニック結晶導波路上にトポロジカルキャビティを形成するための汎用的な手法をもたらす。

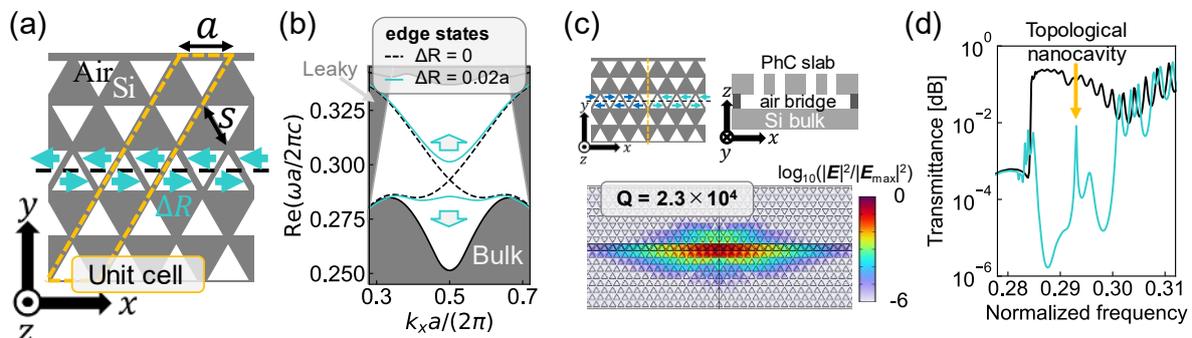


Fig.1 (a) Schematic of the glide-symmetric photonic crystal waveguide. (b) Band dispersion curves of the TE edge modes in the  $k_x$  direction. (c) Schematic of the photonic crystal slab and the electric field distribution of topological nanocavity mode calculated by the FEM method. (d) The transmission spectrum in 2D FDTD method.

【参考文献】 [1] Y. Ota *et al.*, *Commun Phys* **1**, 86 (2018). [2] Y. Ota *et al.*, *Optica* **6**, 786-789 (2019). [3] W. Dai *et al.*, arXiv:2310.17487 (2023). [4] M. Xiao *et al.*, *Phys. Rev. X* **4**, 021017 (2014). [5] H. Yoshimi *et al.*, *Opt. Express* **29**, 13441-13450 (2021).

【謝辞】本研究は、科学研究費補助金 (20H05641, JP24H02232 および 24K01377)の援助の下に行われた。