三角格子フォトニック結晶における Γ 点 BIC の分裂による特異点形成

Splitting from at-Γ BIC into singularity in photonic crystal slabs with triangular lattice

東工大理 [1]、NTT 物性研 [2]、NTT NPC[3]、○養田大騎 [1,2]、納富雅也 [1,2,3]

Tokyo Tech [1], NTT BRL [2], NTT NPC[3] ○Taiki Yoda[1,2], Masaya Notomi[1,2,3]

E-mail: yoda.t.aa@m.titech.ac.jp

近年トポロジーの概念がフォトニクスの分野でも応用され、様々な光学現象で現れることが知られている。その 1 つの例がフォトニック結晶のライトラインの上の放射モードの偏光ベクトル場であり、例えば Bound state in the continuum (BIC)と呼ばれるライトラインの上にあるにも関わらず Q 値が無限大になるモードはトポロジカルチャージを持ち、その周りでは偏光ベクトルが波数空間上で整数回回ることが知られている[1]。またごく最近では円偏光点の周りで偏光楕円が半整数回回ることが報告されている[2,3]。今回我々は三角格子フォトニック結晶の一番下の TE モードに注目し、空気穴の形状と格子点の位置を制御することにより偏光ベクトル場のトポロジーを様々に制御できることを見出したので報告する。

まず空気穴の形状が円の三角格子フォトニック結晶から始め、その格子点位置に摂動を加えることを考える。格子定数を a、スラブの厚さ h=0.38a、円の半径 r=0.27844a、屈折率 n=3.48 とし、Fig.1(a)のように 2 つの並進ベクトルの角度 θ をパラメーターとして計算を行った。θ が 60 度のときは 6 回回転対称性により Γ 点にチャージ-2 の BIC が存在する。一方で θ を 60 度からずらすと対称性の低下によって Γ 点では BIC は存在できなくなる。そのためにチャージ保存則より Γ 点の BIC を必ず 2 つの有限の波数を持つ BIC に分裂させることができる。計算の結果、θ が 60 度より小さい場合には BIC が kx 軸上に分裂し(Fig. 1(b))、θ が 60 度より大きい場合には ky 軸上に分裂する(Fig. 1(c))ことが明らかになった。このような分裂を起こすのは Γ 点の BIC のチャージの絶対値が 1 よりも大きいためであり、結晶の対称性とトポロジカルチャージ保存則によって理解できる。従来の研究[1]では有限の波数で BIC が出現するかどうかはスラブの厚さなどの構造パラメーターに大きく依存し、それらを上手く調節する必要があった。一方で今回我々が発見した方法は全てフォトニック結晶の対称性のみで決まっているため、パラメーターの値に依らず格子点を少しずらすだけで必ず BIC を有限の波数へ分裂させることができる。また前回報告したように、空気穴が三角形の場合には Γ 点にチャージ+1 の BIC が、有限の波数にチャージ-1/2 の 6 つの円偏光点が存在する。丸穴の場合と同様に θ を 60 度からずらすと、Γ 点の BIC がチャージ+1/2 の 2 つの円偏光に分裂し、さらにチャージ-1/2 の円偏光と対消滅させることも数値計算により確認した。以上のようにチャージ-2 の BIC に格子点の位置の摂動を加えることによって偏光ベクトル場の様々なトポロジーの変化が容易に観測できる。

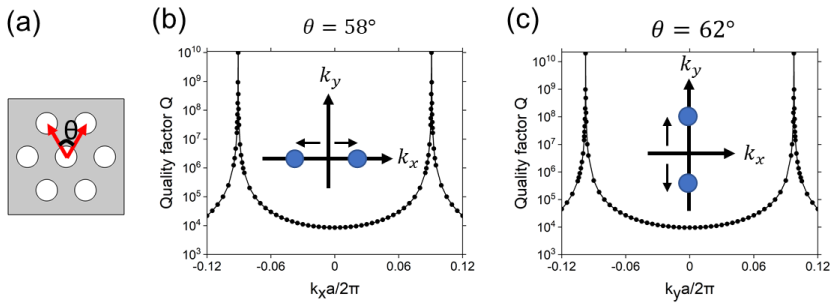

Fig. 1 (a) Schematic of simulated structure. (b) Quality factor along the kx axis with θ=58° .
(c) Quality factor along the ky axis with θ=62° .

[1] B. Zhen *et al*. Phys. Rev. Lett. **113**, 257401 (2014). [2] W. Liu et al. arXiv:1904.01733 (2019).
[3] 養田大騎、納富雅也　第 66 回応用物理学会春季学術講演会 11a-W631-3 (2019)