

反転対称性の破れたフォトニック結晶におけるトポロジーに保護された円偏光放射

Topologically-Protected Circularly-Polarized Radiation in Photonic Crystal Slabs without Inversion Symmetry

東工大¹, NTT 物性基礎研², NTT ナノフォトニクスセンタ³ [○]養田大騎^{1,2}, 納富雅也^{1,2,3}

Tokyo Tech¹, NTT BRL², NTT NPC³, [○]Taiki Yoda¹, Masaya Notomi²

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

トポロジカル絶縁体を始めとするバンド構造のトポロジーの概念は、フォトニック結晶(PhC)のバンド構造にも応用されトポロジカルフォトニクスとして盛んに研究されている[1]。一方でトポロジーの概念はライトラインの上にある放射モードにおいても偏光渦として現れることが知られている[2-5]。しかし先行研究では反転対称性のある PhC のみを扱っており、偏光状態はほぼ直線偏光のみに限られていた。今回我々は反転対称性の破れた PhC の遠方場の偏光について解析を行い、 σT 対称性により s 偏光と p 偏光の位相差が 90 度になること、円偏光点の周りで半整数に量子化された 1 種の偏光渦が存在することを新たに見出したので報告する。

今回計算に用いた構造は Fig.1 (a)のような三角形の空気穴を持つ三角格子 PhC であり、材料は Si($n=3.48$)とした。またスラブの上部は空気($n=1$)、下部は SiO₂($n=1.46$)となっている。 ΓK 方向の 1 番下のバンドの遠方場の偏光を計算した結果が Fig. 1(a)(b)である。円偏光となるためには s 偏光と p 偏光の大きさが等しくかつ位相差が 90 度でなければならないが、我々は ΓK 上では x 方向の鏡映操作(σ)と時間反転対称性(T)の積 σT によって位相差が 90 度になることを発見した (Fig.1 (b))。 ΓK 上では σT 対称性により位相差が 90 度となるため、2 つの偏光の大きさが等しいときに遠方場は完全円偏光となる。計算の結果、2 つの偏光の大きさが等しくなる点が $k_x a/2\pi = 0.065$ 付近に存在することが判明した(Fig. 1(a))。

次に円偏光点周りの 2 次元波数空間での偏光状態について調べた結果を Fig. 1(c)(d)に示す。位相差が 90 度となる線と同様に、波数空間上に 2 つの偏光の大きさが等しくなる線を書くことができ、2 つの曲線の交点がちょうど円偏光点に対応する。さらに波数空間上で交点の周りを 1 周すると偏光楕円が半整数だけ回転する(Fig. 1(d))。これは交点では偏光楕円の長軸が定義できず 1 種の偏光特異点となっていること、偏光楕円の長軸の方向に π の不定性が存在することに起因する[4,5]。これらのトポロジカルな性質によって円偏光点は波数空間上に安定に存在できる。今回の結果は反転対称性の破れた PhC の遠方場の偏光においてもトポロジカルな性質が現れることを示し、トポロジーに保護された円偏光発光制御やメビウスの輪状のビームパターン生成[6]、非エルミートトポロジカルフォトニクスなど様々な展開が期待される。

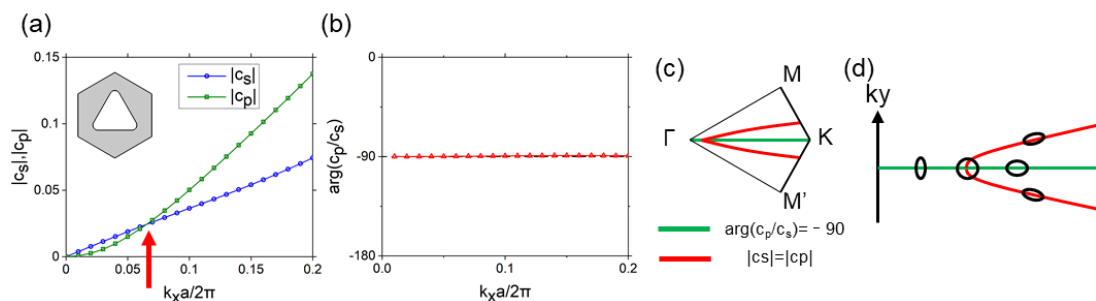


Fig. 1 (a) Far-field intensities of two polarization. (b) Phase difference of two polarization in the far field. (c) Nodal line of $|c_s|=|c_p|$ and $\arg(c_p/c_s)=-90$ in the momentum space. (d) Evolution of the polarization ellipse around the intersection.

[3] C. W. Hsu *et al.* Nat. Rev. Mater. **1**, 16048 (2016). [4] H. Zhou *et al.* Science **359**, 1009 (2018).

[5] A. Chen *et al.* arXiv:1712.09296 (2017). [6] T. Bauer *et al.* Science **347**, 964 (2015)