

非エルミート・ディラック点における一方向光放射/反射現象

Unidirectional radiation/reflection at non-Hermitian Dirac Point

京大院工, °井上卓也, 吉田昌宏, Gellela John, 野田進

Kyoto Univ., °T. Inoue, M. Yoshida, J. Gellela, S. Noda

E-mail: t_inoue@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【序】 我々は、フォトニック結晶レーザーの大面積・高輝度化の実現に向けて、二重格子フォトニック結晶¹⁾の格子点設計の深化を進めており、フォトニック結晶の結合係数のエルミート成分と非エルミート成分の適切な調整により、超大面積単一モード動作が実現可能であることを明らかにしている²⁾。さらに、エルミート結合係数と非エルミート結合係数の打ち消し合いを利用することで、放射損失のある非エルミート系においても純粋なディラック点を Γ 点に形成可能であることをも見出している³⁾。今回、上記の非エルミート・ディラック点における光伝搬解析を行い、一方から光を入射すると放射効率が1となり、他方から光を入射すると反射率が1となる特異な現象を見出したので報告する。

【理論】 Fig.1(a)(b)の模式図に示すように、直線 $y=x$ に関する対称性を有するフォトニック結晶を考える。ここで、材料利得・吸収を与えない場合、 x 軸に対して、 $+45^\circ$ 方向に伝搬する光波 ($R_{xy}=R_x+R_y$)、 -135° 方向に伝搬する光波 ($S_{xy}=S_x+S_y$)、および垂直放射波 (E_{rad}) の時間発展を表す結合波方程式は以下で与えられる⁴⁾。

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} R_{xy} \\ S_{xy} \end{pmatrix} = i \begin{pmatrix} i\mu & (R+iI+i\mu)e^{i\theta_{pc}} \\ (R-iI+i\mu)e^{-i\theta_{pc}} & i\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{xy} \\ S_{xy} \end{pmatrix} - \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) \begin{pmatrix} R_{xy} \\ -S_{xy} \end{pmatrix} \cdots (1), \quad E_{rad} = \sqrt{2\mu} (R_{xy} + e^{i\theta_{pc}} S_{xy}) \cdots (2)$$

ここに、 v_g は群速度、 R, I はエルミート結合係数の実部および虚部²⁾、 μ は非エルミート結合係数 (実数)、 θ_{pc} は対向する基本波が放射波に結合する際の位相差を表す。ここで、非エルミート・ディラック点の形成条件 ($R=0, I=\mu$)³⁾ を考えると、(1)式で R_{xy} から S_{xy} への結合が0となるため、 R_{xy} は反射されことなく伝搬し、(2)式に従って垂直方向に放射される。一方、 S_{xy} から R_{xy} への結合は0でないため、定常状態において S_{xy} は R_{xy} へと反射され、両者の打ち消し合いにより垂直放射は0となる。

【解析結果】 具体的に $R=0, I=\mu=20 \text{ cm}^{-1}$ となるフォトニック結晶を考え、Fig.1(a)(b)のフォトニック結晶の左下および右上から、ディラック点の周波数の光を入射したときの伝搬特性の解析を行った。ただし、フォトニック結晶の無い領域も有効屈折率は等しいと仮定し、側面の境界には完全反射鏡を設定した。 R_{xy} および S_{xy} 入射時の進行波・反射波・放射波の分布を Fig.1(c)(d)に、遠方への放射ビームパターンを Fig.1(e)(f)に示す。上記の理論予測に従い、 R_{xy} 入射時[Fig. 1(c)(e)]には、入射した光が反射なく全て垂直方向へ放射されるのに対し、 S_{xy} 入射時[Fig. 1(d)(f)]には、完全に光が反射して垂直方向への放射が生じないことが確認出来る。媒質に利得を与えた場合の解析結果等、詳細は当日報告する。

【謝辞】 本研究の一部は戦略的イノベーション創造プログラムおよび科研費のもとで行われた。**【文献】**

- 1) Yoshida *et al.*, Nat. Mater. **18**, 121 (2019).
- 2) 井上他, 2021 年春応物 17p-Z31-7.
- 3) 吉田他, 本応物.
- 4) Inoue *et al.*, Phys. Rev. B **99**, 035308 (2019).

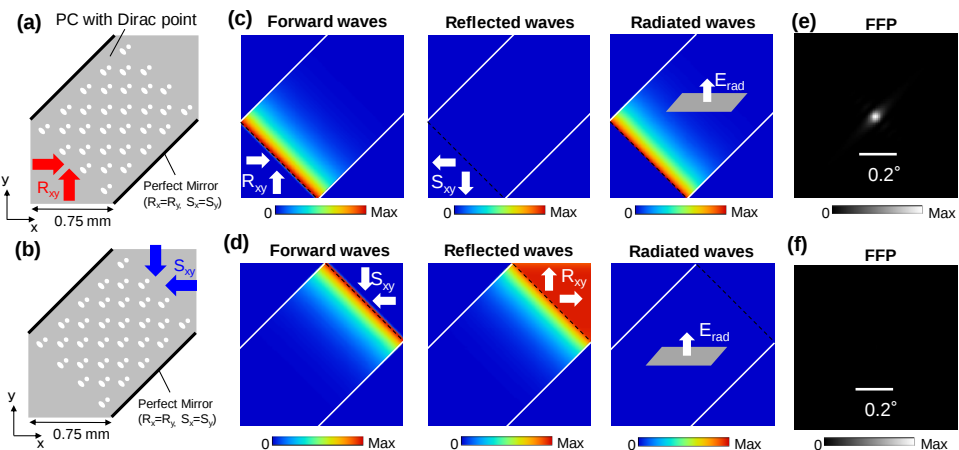


Fig.1. (a)(b) Simulation model of light propagation in a photonic crystal with a non-Hermitian Dirac point. (c)(d) Calculated electric field distributions of forward (left), reflected (middle), and radiated (right) waves. (e)(f) Calculated far-field radiation patterns.