

利得/損失ヘテロ界面上の映進対称非エルミート型フォトニック結晶導波路の特性

Characteristics of non-Hermitian photonic crystal waveguide with glide symmetry on the gain/loss heterostructure

東工大¹, NTT 物性研², JST さきがけ³, NTT NPC⁴

○上村 高広^{1,2}, 大塚 秀太郎^{1,2}, 千葉 永^{1,2}, 養田 大騎², 森竹 勇斗^{1,3}, 納富 雅也^{1,2,4}

1. Tokyo Institute of Technology, 2. NTT BRL, 3. JST Presto, 4. NTT NPC

○Takahiro Uemura^{1,2}, Shutaro Otsuka^{1,2}, Hisashi Chiba^{1,2}, Taiki Yoda², Yuto Moritake^{1,3}, Masaya Notomi^{1,2,4}

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

利得および損失を導入した非エルミート光学系では、Exceptional point の出現や超光速伝搬といった興味深い性質が発現することが知られている。とりわけ、フォトニック結晶系では、放射損失や吸収・利得媒質によって利得や吸収を比較的容易に導入できるため、非エルミート光学系のプラットフォームとして期待されている。例えば、すでにInGaAsP等を用いた埋め込みヘテロ構造等を用いた、PT対称共振器構造が提案されている[1]。今回、利得および吸収媒質を用いた非エルミートフォトニック結晶導波路の構造を考案したので、報告する。

ベースとなるバレーフォトニック結晶(VPhC)構造[2]をFig.1(a)に示す。ただし、格子定数を $a = 470$ nm, 三角穴の一边を $d_0 = 0.8a$, スラブ厚さを $h = 200$ nm、基板材質をSi ($n = 3.48$)とした。Fig.1(b)が今回考案した構造であり、ヘテロ構造映進面の下部にグラフェンを5枚、一様に装荷してある。グラフェンの電気伝導率の値としては、参考文献[3]にて報告されている式を利用し、パラメータであるフェルミ準位と緩和時間には $E_F = 0.2$ eV, $\tau = 100$ s を用いた。グラフェンの装荷位置が映進面からずれているが、これがEPに与える影響については発表にて議論する。グラフェンが存在しないときのフォトニックバンドをFig.1(c)に示す。このとき、映進対称性によって $k_x a = \pi$ におけるDirac点の形成が保証される。Fig.1(d)はグラフェンを装荷した場合、EP近傍におけるエッジモード固有周波数の実部と虚部である。グラフェンの装荷によって $k_x a = \pi$ におけるDirac点が分裂し、EPが形成されていることが確認できる。続いて、EP近傍におけるエッジモードの群速度 $\partial\omega/\partial k_x$ を計算した。Fig.1(e)に示すように、EP近傍で群速度が変化していることがわかる。計算の結果、その変調効果がグラフェンを装荷しない場合に比べて最大で20倍程度になり、光速を超えることを確認した。このモードはバンドギャップに守られており、かつライトラインの内側に存在するため、導波モードとしての活用が期待される。発表では、InGaAsPによって構成される利得VPhCと損失VPhCの接合や、三角格子ではなくハニカム格子を採用した場合の結果についても述べる。

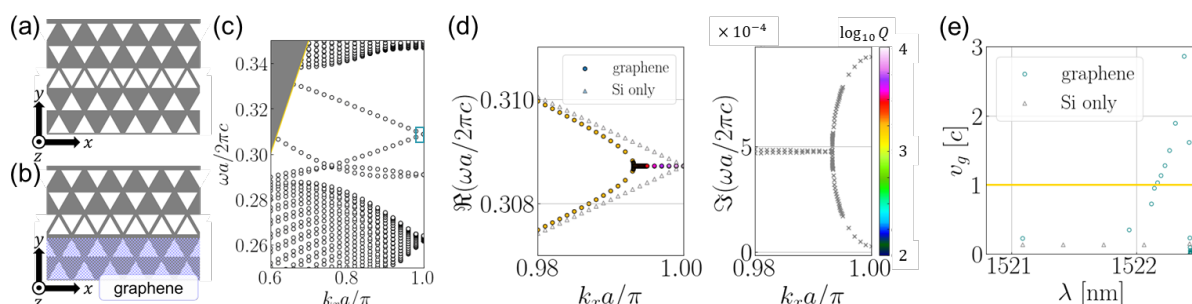


Fig.1 (a) Schematic of glide symmetric valley photonic crystal (bearded edge). (b) Schematic of graphene-loaded glide symmetric valley photonic crystal. (c) Band dispersion curves of the TE-like mode in the k_x direction. (d) Real and imaginary part of normalized frequency of edge modes near the exceptional point. (e) Group velocity of the edge mode.

【参考文献】 [1] K. Tanaka et al, Physical Review Applied 7.5 054023 (2017) [2] T. Yoda et al, CLEO: Application and Technology, Optical Society of America JTh2A-10 (2019) [3] G. W. Hanson, J. Appl. Phys. 103, 064302 (2008)

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