

相変化材料を用いた光バレートポロジーの制御

Control of photonic valley topology by using phase-change materials

○上村 高広^{1,2}、千葉 永^{1,2}、養田 大騎^{1,2}、森竹 勇斗¹、田中 祐輔²、納富 雅也^{1,2,3}

(1.東工大理、2.NTT 物性研、3.NTT NPC)

○Takahiro Uemura^{1,2}, Hisashi Chiba^{1,2}, Taiki Yoda^{1,2}, Yuto Moritake^{1,2}, Yusuke Tanaka², Masaya Notomi^{1,2,3}

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

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

近年、電子の結晶内の特殊なバレー状態に着目したバレートロニクス概念をフォトニック結晶に適用し、光波にバレー偏極や一方向伝搬などの性質を持たせる研究が盛んに行われている。従来の研究では、フォトニック結晶の構造変調によって光バレートポロジーを生成していたが、これを後から自在に制御する研究はほとんど行われていなかった。今回、相変化材料である GST($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)または $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Se}_4\text{Te}_1$ (GSST)を用いて光バレートポロジーの制御を可能にする方法を見出したので、報告する。

ハニカム格子型 Si バレーフォトニック結晶の空間的構造とバンド構造を、それぞれ Fig.1(a),(b)に示す。格子定数は 440nm、z 軸方向の厚さは 200nm であり、上下及び三角系の空孔が SiO_2 で満たされている。フォトニック結晶内を伝搬する光のバレートポロジーは、K 点および K' 点において異なるバレー自由度を持つ、2 つの固有モードの周波数の大小関係によって決まる[1]。相変化材料として広く用いられる GST は、アモルファス相(以下、a-相)と結晶相(c-相)の間で大きな屈折率差を持つ。波長 $1.55\mu\text{m}$ の光に対する屈折率は、a-相で $4.39-0.16i$ 、c-相で $7.25-1.55i$ である[2]。また、GST に Se をドーピングした GSST は、a-相、c-相ともに GST に比べ吸収が抑制される。 $1.55\mu\text{m}$ における屈折率は a-相で $3.39-(1.8\pm 1.2)\times 10^{-4}i$ 、c-相で $5.14-0.42i$ である[3]。

相変化材料の屈折率変化によって K(K') 点の固有モードに摂動を加えることで、光バレートポロジーを制御しようと試みた。そのために、2 つのモードの電場分布のコントラストを調べ(Fig.1(c))、コントラストの大きい領域に相変化材料 GSST を配置した(Fig.1(d))。有限要素法による解析の結果、相変化材料の相転移によって K 点上でバンド反転が実現することを確認した。続いて、Fig.1(e)に示すように片側のみに GSST を装荷したヘテロ構造を考えバンド構造を調べた。a-相と c-相の相変化によってエッジモードの有無が切り替わることを確認した(Fig.1(f))。以上から、相変化材料の相転移による光バレートポロジーの制御が可能であることがわかった。

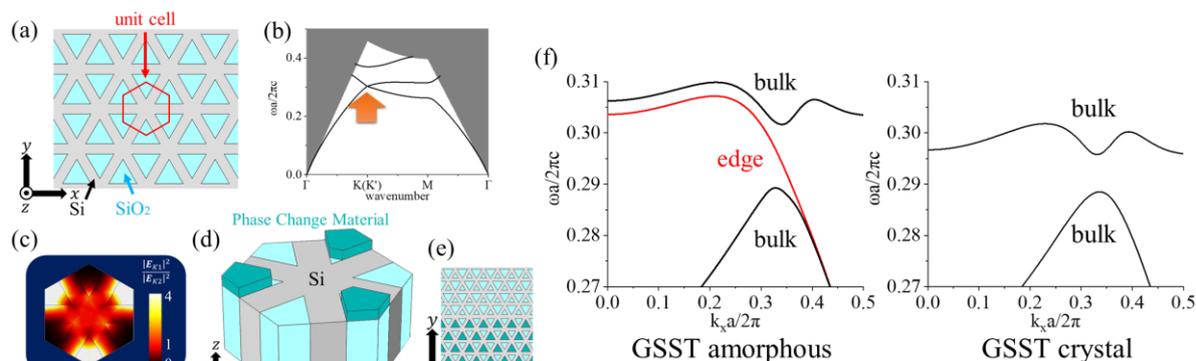


Fig.1(a)Schematic of a Si valley photonic crystal slab (VPhC). (b)The band structure of VPhC. (c)The contrast of electric field between two eigenmode at K(K') point. (d)Schematic of a VPhC with phase change material. (e)Heterostructure for creating an edge mode. (f)Band dispersion curves in the k_x direction for a-phase and c-phase.

参考文献：[1]Mikhail I. Shalaev et al., Nature Nanotechnology VOL 14 JANUARY 31–34 (2019) [2] D Tanaka et al., Optics express 20(9), 10283-10294 (2012) [3]Qihang Zhang et al., Optics Letters Vol. 43, No. 1 (2018)