

相変化材料を用いた光トポロジカル相転移の検討

A study of photonic topological phase transition 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、結晶電子系におけるトポロジカル絶縁体のアナロジーとして、光トポロジカル絶縁体と呼ばれる物質が考案された。これまで、光トポロジカル絶縁体のトポロジーを、外部から動的に制御する研究は殆ど行われていなかった。今回、相変化材料であるGST($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$)を用いてこれを可能にする方法を見出したので、報告する。

本研究では、光トポロジカル絶縁体として知られているハニカム格子型フォトニック結晶構造を採用した[1]。この構造は図1(a)に示す単位ユニットを三角格子に配列したものであり、三角空気穴の位置をシフトすることによってtrivialあるいはtopologicalの光トポロジカル相を示す結晶が実現する。基板材料はSi、格子定数は $a=820[\text{nm}]$ であり、z方向にも $200[\text{nm}]$ の厚さを持つ。この単位ユニットには、Fig.1(b),(c)に示す H_z 分布を持つ電磁場が固有モードとして現れる。pモード、dモードの周波数 ω_p, ω_d について、 $\omega_p < \omega_d$ のときtrivial、 $\omega_p > \omega_d$ のときtopologicalとなる。

今回相変化材料として採用したGSTは、アモルファス相(以下、a-相)と結晶相(c-相)で屈折率が大きく異なる。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]。Fig.1(a)の光トポロジカル絶縁体について、GSTの屈折率変化を用いて、穴シフトと同じ作用を実現する方法を検討した。そのために、図1(a)の構造の固有モードの電場分布を調べた。Fig.1(d)は、(a)のSi表面におけるpモード、dモードの電場分布のコントラストである。図から、六角形の中心および辺の中央付近にGSTを配置することで、 ω_p と ω_d の大小関係を効果的に変調できると予想される。

電場分布のコントラストに基づき、(a)の表面にGSTを $30[\text{nm}]$ 載せた構造をFig.1(e)に示す。GSTがa-相、c-相各々の場合について、3次元有限要素法によってFig.1(e)のフォトニックバンドを計算した。その結果、相変化による屈折率変化によって、 ω_p と ω_d の大小関係が変化することを確認した。

続いて、Fig.1(a), (e)の構造をFig.2(a)のように並

べた構造を考えた。但し、Fig.1(a)側の構造はtrivialに、Fig.1(e)側はGSTがa-相のときtopological、c-相のときtrivialとなるよう、格子中心と三角穴中心の距離を調整した。また、GSTがa-相のとき、両者のバンドギャップが重なるようにした。Fig.2(a)のバンド構造を計算した結果をFig.2(b),(c)に示す。GSTがa-相のときエッジモードが現れるが、c-相のときには消滅している。この結果は、相変化によってGST側の光トポロジカル相が変化していることを示している。

以上より、GSTの相変化によって光トポロジカル絶縁体の相の変調が可能であることがわかった。本結果は、光トポロジカル相の外部制御に繋がる可能性がある。

【参考文献】 [1] Barik et al., Science 359, 666–668 (2018). [2] D Tanaka et al., Optics express 20(9), 10283-10294 (2012)

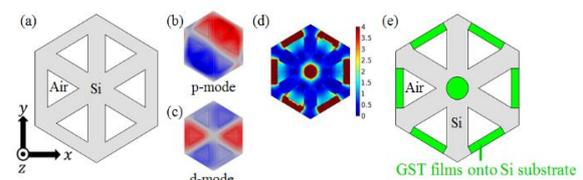


Fig.1 (a)Schematic of a Si photonic crystal slab. (b),(c) H_z distribution of p-mode and d-mode. (d) $|E_p|^2 / |E_d|^2$ distribution. (e)Schematic of a GST-loaded Si photonic crystal.

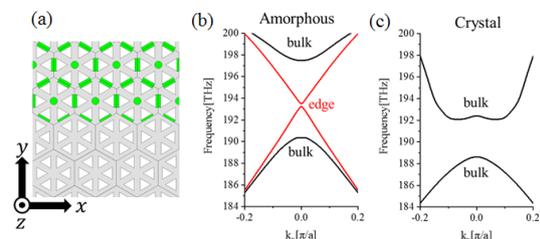


Fig.2 (a) Heterostructure for creating an edge mode. (b),(c) Band dispersion curves in the k_x direction for a-phase and c-phase.