

【基盤研究(S)】 大区分B



研究課題名 動的再構成可能なトポロジカルナノフォトニクスの研究

東京工業大学・理学院・教授

のうとみ まさや
納富 雅也

研究課題番号： 20H05641 研究者番号：50393799

キーワード： トポロジカルフォトニクス、ナノフォトニクス、非エルミート光学、フォトニック結晶

【研究の背景・目的】

固体中の電子の波動関数が波数空間で持つ特殊なトポロジーによって、様々な新奇な性質が発現することが判り、その端緒となった成果は2016年のノーベル賞が授与され、トポロジカル物性と総称される活発な研究分野となっている。近年、この概念が屈折率の周期系であるフォトニック結晶に適用され、興味深いトポロジカルな光学的性質が次々と発見されており、この分野はトポロジカルフォトニクスと呼ばれ研究が活発化している。しかし、光学系におけるトポロジカルな性質はこれまで構造により定まっており、可変ではなかった。本研究では、チューナブルなナノ材料によるナノフォトニクス構造修飾法と、屈折率虚部により大幅に特性が変化する非エルミート光学系を用いて、動的に再構成可能な光トポロジー技術を開発することを目指す。さらに、同技術を用いて制御可能な様々なトポロジカル物性を探索し、それによって導かれる新しい光制御技術を提案することを目指す。

【研究の方法】

本研究では、再構成可能なトポロジカルフォトニクスを実現するために、(1)チューナブルなナノ材料修飾の利用、(2)非エルミート光学系の利用という二つの手法をとる。(1)は相変化などにより屈折率が変化する材料を、フォトニック結晶上に装荷することでトポロジカル相転移を狙うものである。図1(a)に我々が検討を進めている構造の例を示す。ここでは相変化により大きく屈折率が変化する $\text{Ge}_2\text{Se}_2\text{Te}_5$ (GST)薄膜を想定しているが、GSTを適切にパターンニングすることにより、GSTの相転移によってフォトニック結晶が通常バンドギャップを持つ状態からトポロジカルなギャップを持つ状態に相転移することを見出している。本科研費研究では、様々な材料や構造を用いて素子を作製し、多彩なトポロジカル相の制御の実験による実証を狙う。

(2)では、屈折率の実部だけでなく虚部も周期性を持つ非エルミート型の光周期系を用いる。非エルミート光学系のバンド構造には、例外点と呼ばれる不連続点が現れ、特殊なバンド構造が実現することが知られているが、屈折率虚部(即ち利得または吸収に相当)は電流注入などによって大きく変えることが可能であり、チューナビリティが発現する。我々は屈折率虚部の制御により、トポロジカル絶縁相を自由に生成、制御できる構造を発見している(図1(b))。本科研費研究では、この手法を用いて非エルミート

型の再構成可能なトポロジカルフォトニクス構造を研究し、実験による実証を狙う。

また、本研究で開発するチューニング技術を用いて、光のベクトル性に起因するトポロジカル物性であるトポロジカルな偏光特異点を制御することも計画している。

本研究は NTT 物性科学基礎研究所と共同で行う。

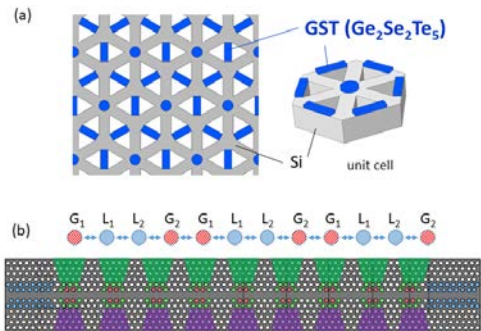


図1 再構成可能なトポロジカルフォトニクス構造。(a)相変化材料装荷型 (b)非エルミート型。

【期待される成果と意義】

トポロジカルフォトニクスの分野では近年次々と新しい性質が見出されているが、本研究で開発する技術によって、この新奇なトポロジカルな特性を自在に制御できるようになれば、新しい光制御技術への発展が期待される。例えば、トポロジカル数に代表されるトポロジカルな性質を動的に制御可能な新たな自由度としてとらえた新しいコンセプトの光デバイス・光制御技術などが考えられる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Takata, and M. Notomi, "Photonic topological insulating phase induced solely by gain and loss," *Phys. Rev. Lett.* 121, 213902 (2018).
- ・ T. Yoda and M. Notomi, "Generation and annihilation of topologically protected bound states in the continuum and circularly polarized states by symmetry breaking", *Phys. Rev. Lett.* 125, 053902 (2020)

【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 141,300千円

【ホームページ等】

<http://notomi-lab.phys.titech.ac.jp>
notomi@phys.titech.ac.jp