

誘電体によるトポジカルフォトニクスに向けて

Keywords: Photonic crystal, dielectric material, topological state

MANA主任研究者 / ナノシステム分野 ナノシステム物性理論グループ

古月 暁

HU.Xiao@nims.go.jp | https://samurai.nims.go.jp/profiles/hu_xiao?locale=ja



研究の背景

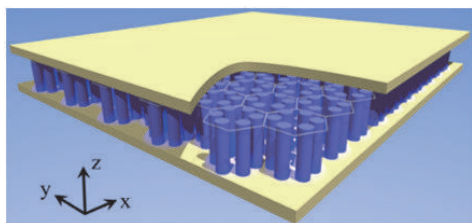
表面や縁に特異な量子状態を持つトポジカル物質が注目されており、その探索が物性物理及び物質科学の最先端の一つになっている。結晶中の電子波動関数の運動量空間における形状(=トポロジー)に起因して、ゼロ抵抗電流、散乱されないスピン流、電磁ノイズに影響されない超伝導準粒子励起等が発現し、斬新なスピントロニクスや強靱な量子計算への応用が期待されている。

研究の狙い

トポジカル現象は普遍的なものであるが、応用の広さから電磁波のトポジカル特性が特に重要視されている。しかし、電子等のフェルミオン系と電磁波が対応する光子等のボソン系では、時間反転対称性の働き方が根本的に異なる。時間反転対称なトポジカル電磁状態の実現が挑戦的な研究課題になっている。

最先端研究トピックス

□ 誘電体シリンダーの配列によるフォトニック結晶



□ 擬時間反転対称性と擬スピンの創発

* 軌道角運動量 \leftrightarrow 擬スピン

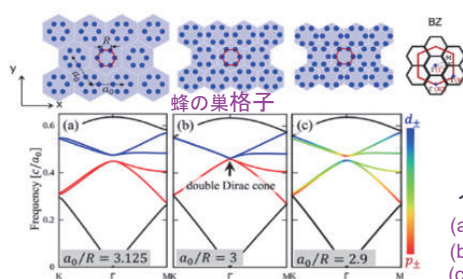
* 一般的な電磁波系の時間反転オペレーター \mathcal{K} : $\mathcal{K}^2 = 1$

* この系の擬時間反転オペレーター \mathcal{T} : $\mathcal{T} = i\sigma_y \mathcal{K}$

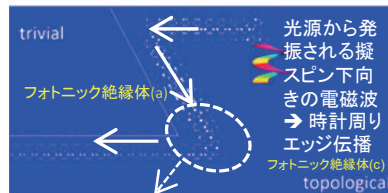
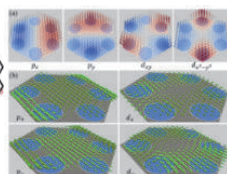
$\mathcal{T}^2 = -1 \rightarrow$ 電磁波クラームス対

□ マクスウェル方程式から計算されたフォトニックバンド

6員環 \leftrightarrow 人工原子



□ トポジカルエッジ電磁波伝播



人工原子での電磁波分布

(a) 普通のフォトニック絶縁体

(b) 蜂の巣格子 = 相転移点

(c) p、d軌道が Γ 点で反転 \rightarrow

トポジカルフォトニック絶縁体

鋭角経路でも散乱されない電磁波伝播 \leftrightarrow トポジカル保護

文献

- ・L.-H. Wu and X. Hu: Phys. Rev. Lett. vol. 114, 223901 (2015).
- ・H.-M. Weng, R. Yu, X. Hu, X. Dai and Z. Fang: Adv. Phys. vol. 64, 227 (2015).
- ・胡暁: 「応用物理」(解説)、85巻、474ページ(2016年)。

まとめ

- トポジカルな電磁波伝播の新しい実現方法の提案
- シリコンや窒化ガリウム等、普通の誘電体のみ使用
- 外部磁場の印加無し
- 結晶対称性から擬スピン自由度の創成
- 電子系の量子スピンホール効果に等価

実用化への目標

- 時間反転対称な単一方向エッジ電磁波伝播
- 鋭角経路や欠陥からも無散乱
- 擬スピンによる電磁波制御
- 光学フィルターとスイッチの新しい設計原理
- 音波系、冷却原子系、電子系にも応用可能