

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出
2018 年度採択

2021 年度 年次報告書

胡 曉

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点
MANA 主任研究者

人工グラフェンに基づくトポロジカル状態創成と新規特性開発

§ 1. 研究成果の概要

【トポロジカル絶縁体レーザの理論構築】蜂の巣型トポロジカル PhC と自明な PhC の界面でできたリング共振器のトポロジカル光モードを解析し、光の擬スピン状態とリング共振器に沿った軌道角運動量が垂直に放射されるレーザ光の円偏光と光渦度にそれぞれ対応することを解明した。この成果は最近イスラエル-ドイツの研究チームがトポロジカル単一方向光伝搬を利用して世界記録となる 30 個の VCSEL に亘るコヒーレントなレーザ発振に成功した実験の理論指針になった。

【トポロジカル垂直結合器の提案・実証】トポロジカル光伝送路近傍所定の位置に欠陥構造を導入することで、自由空間からトポロジカルフォトンクス伝送系への垂直結合効率を大幅に向上させる手法を開発することに成功した。本技術は、トポロジカル伝送路を伝搬している光信号の情報を読み出すだけにとどまらず、これを要素素子として利用することで各機能デバイスに繋げることが可能となる。該当現象は光のボソンとしての量子統計特性に係り、光トポロジーの優位性をフルに引き出すものである。

【カゴメ超伝導体分数磁束量子状態の解明】最近報告された準 2 次元カゴメ物質 CsV_3Sb_5 の Little-Parks 実験における分数磁束量子 $\phi_0/3 = hc/6e$ 周期抵抗振動を理論的に解明した。中間温度領域において熱揺らぎに伴って超伝導体リングにカイラル域壁が現れ、Higgs-Leggett メカニズムによって3つの超伝導秩序変数が異なる巻き数を示す準安定状態の存在が判明し、カゴメ構造という舞台上で繰り広げられる“6電子”超伝導現象とその背後にある新奇なトポロジカル励起が明らかになった。

【GaN 系膜型 PhC 作製技術の開発】低圧水素中における GaN の熱分解エッチング技術である HEATE 法と AlInN の熱硝酸エッチングを組み合わせることにより、加工損傷のない InGaN/GaN 系 PhC 膜型構造を作製する技術を確立した。可視域における PhC デバイス作製技術として高い汎用性を有すると期待される。

§ 2. 研究実施体制

(1) NIMS グループ

- ① 研究代表者: 胡 曉
(物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 MANA 主任研究者)
- ② 研究項目
 - ・優れたトポロジカルレーザ特性の実現に向けた理論研究
 - ・新規トポロジカル物理現象・光新機能の探索

(2) 東工大グループ

- ① 主たる共同研究者: 雨宮 智宏
(東京工業大学 科学技術創成研究院 助教)
- ② 研究項目
 - ・光通信帯域光渦 MUX/DEMUX 素子の制作・評価
 - ・光励起による光通信帯域トポロジカルレーザの制作・評価
 - ・フォトニックバンドギャップ測定用の装置開発

(3) 上智大グループ

- ① 主たる共同研究者: 菊池 昭彦
(上智大学 理工学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・可視光におけるトポロジカル単一方向伝播経路の制作・評価
 - ・光励起による可視光領域トポロジカルレーザの制作・評価

【代表的な原著論文情報】

- 1) X.-C. Sun and X. Hu, “Topological ring-cavity laser formed by honeycomb photonic crystals”, Phys. Rev. B vol. 103, 245305 (2021).
- 2) X.-C. Sun, X.-X. Wang, T. Amemiya and X. Hu, “Comment on ‘Spin-Momentum-Locked Edge Mode for Topological Vortex Lasing’”, Phys. Rev. Lett. vol. 127, 209401 (2021).
- 3) H. Kagami, T. Amemiya, S. Okada, N. Nishiyama and X. Hu, “Highly efficient vertical coupling to topological waveguide with defect structure”, Optics Express vol. 29, 32755 (2021).