

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年度採択研究代表者

2020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  
／筑波大学 大学院理工情報生命学術院  
MANA 主任研究者／連携大学院教授

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

2020年度中はトポロジカル光回路(TPICs)構築及びトポロジーに誘起される新しい光特性と機能の探索を行った。具体的な成果以下の通りである。

[1] Si 細線導波路からトポロジカル光導波路への高結合効率トポロジカルコンバータの作製に成功した。Si 細線導波路から単一 TE/TM モード伝送を維持したまま、導波路幅を徐々に広げる。その後導波路の両側から蜂の巣型トポロジカルフォトニック結晶(PhC)と自明な PhC を徐々に挟み込んでいくことで、トポロジカル光導波路への高効率な結合を実現した。この際、二つの PhC 内誘電体配置の相違によって Si 導波路での等位相面が傾斜回転し、トポロジカル導波路内の光スピン状態が発現する。トポロジカルコンバータは光トポロジーを活用したゼロエネルギー消費多重分波器・合波器等の基礎部分に当たり、その作製はトポロジカルフォトニクスデバイス開発の極めて重要な一環である。

[2] 中心回転軸が蜂の巣格子に配列している誘電体長方体 PhC を考案し、個々の長方体の回転でトポロジカル PhC と自明な PhC 間の変換が可能であることを見出し、書き換え可能なトポロジカル光導波路を提案した。

[3] 円偏光を持つレーザービームの周期的配列の照射によって、2次元電子系に超構造を印加し、チャーン数等のバンド特性を光学的にチューニングできることを示した。光・物質相互作用を通じた新規電子状態創出及び光電子デバイス開発に繋がる成果である。

[4] その他に、トポロジカルレーザによる偏光と光渦創発の原理解明、新奇なトポロジカル光学活性現象の発見、トポロジカル垂直結合器とトポロジカルスプリッタの考案、トポロジカルトポロジカル LED の作製と評価、フォトニックバンドダイアグラム顕微鏡の開発と実用化、可視域トポロジカルデバイスの作製に向けた GaN 系 PhC 作製と光集積回路基盤技術の開発等の研究成果を得た。

## § 2. 研究実施体制

### (1) NIMS グループ

#### ① 研究代表者: 胡 暁

(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

- ・トポロジカルフォトニック結晶(PhC)による偏光と光渦創発の原理解明
- ・フォトニックトポロジーがもたらす新しい光学活性現象の発見
- ・光照射によるトポロジカル電子状態創成の提案
- ・トポロジカル超伝導ジョセフソンプラズマ現象の解析

### (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

- ・トポロジカル光回路基本要素の作製と評価
- ・トポロジカル LED の作製と評価
- ・フォトリソバンドダイアグラム顕微鏡の開発と実用化

(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

- ・GaN 系可視域トポロジカル PhC の三次元 FDTD 法による解析
- ・GaN 系メンブレン型 PhC 作製技術の開発
- ・可視域トポロジカルデバイスの作製に向けた GaN 系光集積回路基盤技術の開発
- ・可視全域に対応可能な蛍光光源技術の開発

【代表的な原著論文情報】

- 1) H. Kagami, T. Amemiya, S. Okada, N. Nishiyama and X. Hu, “Topological converter for high-efficiency coupling between Si wire waveguide and topological Si waveguide”, *Optics Express* vol. 28, 33619 (2020).
- 2) X.-X. Wang and X. Hu, “Reconfigurable topological waveguide based on honeycomb lattice of dielectric cuboids”, *Nanophotonics*, vol. 9, 3451 (2020).
- 3) H. Kim, H. Dehghani, H. Aoki, I. Martin and M. Hafezi, “Optical imprinting of superlattices in two-dimensional materials”, *Phys. Rev. Res.* vol. 2, 043004 (2020).
- 4) H. Huang, T. Kariyado and X. Hu, “Topological Josephson plasma modes on honeycomb lattice”, *Optical Materials Express* vol. 11, 448 (2021).
- 5) S. Okada, T. Amemiya, H. Kagami, K. Saito, M. Tanaka, N. Nishiyama and X. Hu, “Optical vortex beam splitter using topological edge state waveguide”, *Proc. Conference on Lasers and Electro-Optics*, JW2D.23 (2020).