

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

2022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

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)  
菊池 昭彦 (上智大学 理工学部・機能創造理工学科 教授)

## 研究成果の概要

### 【トポロジカルフォトニック結晶における新奇 Huygens-Fresnel 現象】

蜂の巣型トポロジカルフォトニック結晶(PhC)では、光渦光源によって最近接の正六角形単位胞に同じ向き光渦モードが誘起され、それが逐次遠方の単位胞へ伝搬しながら、大局的にはトポロジカル PhC 全体に光源の光渦と逆向きの環状電磁エネルギー流を形成する、極めて特異な Huygens-Fresnel 伝搬様式になっていることを解明した[Nature Communications 誌掲載決定]。その現象がトポロジカル PhC の Dirac 型周波数分散関係及びベリー位相が深くかかわることも判明した。本研究で解明された特異なカイラル応答は系のバルクのトポロジカル特性であり、今までの広く研究されていたトポロジカル界面・表面状態と異なり、新規光制御方法の確立等光機能革新への寄与が期待される。

### 【トポロジカル MUX/DEMUX の提案・実証】

特定の光渦信号のみを伝送させるトポロジカル光伝送路のデザインを提案し、それをを用いた完全無電力の MUX/DEMUX 素子を作製した。作製した素子において、円偏光(RCP or LCP)および光渦( $l=1$ )による2多重信号の DEMUX を行った結果、2ポートの出力に対してはクロストーク 5dB 程度で適切な動作を得た。現在は、円偏光および光渦( $l=0, 1$ )による4多重信号の DEMUX 実験を進めている。本技術は、将来的な光渦多重通信の要素素子となる可能性がある。また、対象物の構造由来の情報を反映した画像を取得できるフォトニックバンドイメージングを提案・基礎実証を行い、その実用化を進めた。

### 【可視域トポロジカルフォトニック現象の観測】

難加工性の GaN に垂直で精細なナノホールを加工する技術の開発と可視域フォトニックバンド顕微鏡の構築を行い、GaN トポロジカル PhC における可視全域のバンド制御、トリビアル PhC とトポロジカル PhC のバンド端反転、およびトポロジカルエッジモードの直接観測に成功した。優れた発光特性をもつ GaN 系材料におけるトポロジカルフォトニック現象の実証により、新規機能性光デバイスへの展開が期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) S. Okada, T. Amemiya, H. Kagami, Y. Wang, N. Nishiyama, X. Hu “Discussion on fabrication accuracy of infrared topological photonic structures using hyperspectral Fourier image spectroscopy,” *Journal of Optical Society of America B*, vol. 39, 2464 (2022).
- 2) T. Amemiya, S. Okada, H. Kagami, N. Nishiyama, Y. Yao, K. Sakoda, X. Hu, “High-speed infrared photonic band microscope using hyperspectral Fourier image spectroscopy,” *Optics Letters*, vol. 47, 2430 (2022).
- 3) H. Kagami, T. Amemiya, S. Okada, Y. Wang, N. Nishiyama, X. Hu, “Selective excitation of optical vortex modes with specific charge numbers in band-tuned topological waveguides,” *Optics Letters*, vol. 47, 2190 (2022).
- 4) H. Huang, T. Kariyado and X. Hu, “Topological magnon modes on honeycomb lattice with coupling textures”, *Scientific Reports* vol.12, 6257 (2022).