

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

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

蜂の巣型トポロジカルフォトニック結晶における新規光閉じ込め現象を発見し、高品質なトポロジカル共振器面発光レーザー (TCSEL) の作製に成功した。トポロジー由来のレーザー発振原理は、優れた固体レーザー光源開発の新たな指針になり、近接場光学顕微鏡や光ピンセットの開発等、マイクロレーザー技術の革新への寄与が期待される。

具体的には、多重量子井戸構造を持つ InGaAsP 薄膜にナノ加工技術を利用して三角空孔の配列を導入する。三角空孔中心の位置を蜂の巣配列に比べて六角形単位胞の中心からわずかに遠ざける (図1a 青線) ことによってトポロジカルフォトニック結晶を作製できる。逆に中心に近づけて (図1a 緑線) 得られるのはトポロジカル特性を持たない自明なフォトニック結晶である。

トポロジカルフォトニック結晶の周辺を自明なフォトニック結晶で囲んだところ、その境界 (図1a 赤線) で光反射が起き、光モードが中心部に閉じ込められる現象を発見した。この新規光閉じ込め効果は、二種類のフォトニック結晶のバンドエッジにおける固有電磁モードが反対のパリティを示すことから由来し、フォトニックバンドのトポロジカル特性と深く関わっている。

このようにできた共振器に光照射し、室温でのレーザー発振に成功した。図1bのパワースペクトルに示されるように、レーザー発振閾値は市販の半導体レーザーダイオードと同程度に小さく、サイドモード抑制比等のレーザー特性が IEEE 規格を満たしている。これらのレーザー特性は、今までに報告されているトポロジカル絶縁体レーザーの特性を大きく上回っている。

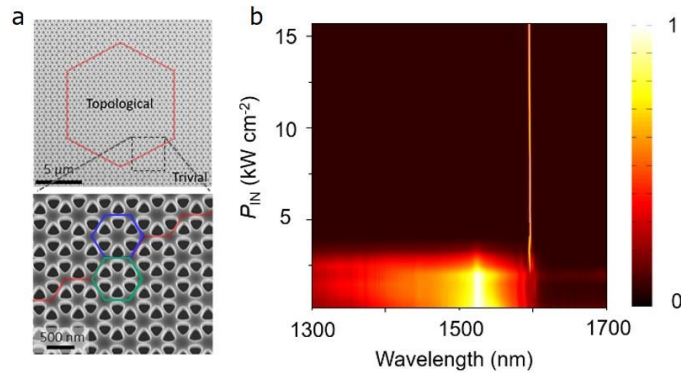


図1:(a)トポロジカルフォトニック結晶共振器のSEM像、(b)レーザーパワースペクトルの照射強度依存性。

また、光通信において広く利用されているシリコン光回路の一部をトポロジカルフォトニクス系に置き換えることで、トポロジカル光回路の構築に向けて、理論と実験の両面から研究を推進した。トポロジカル光回路内において、光渦を分岐・結合するためのトポロジカルスプリッタを提案し、理論解析によって素子特性を検証した。トポロジカルフォトニクス研究を推進するための装置開発の一環として、高速でフォトニックバンドダイアグラムを得ることができるフォトニックバンド顕微鏡の開発に成功し、その実用化を進めた。

可視光領域におけるトポロジカルフォトニック現象の実証とデバイス応用技術の開発を目指し、独自の水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法を用いる InGa_N/Ga_N 系窒化物半導体フォトニック結晶デバイスの極微細ナノ加工技術を向上させ、蜂の巣型超格子周期 300nm、一辺 75nm、最近接間隔 40nm の高アスペクトハニカム配列極微細ナノホールアレイの作製に成功した。

【代表的な原著論文】

1. Z.-K. Shao, H.-Z. Chen, S. Wang, X.-R. Mao, Z.-Q. Yang, S.-L. Wang, X.-X. Wang, X. Hu, and R.-M. Ma, “A high-performance topological bulk laser based on band-inversion-induced reflection”, Nature Nanotechnology Vol. 15, 67 (2020) [10.1038/s41565-019-0584-x].

§ 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ゥクス研究拠点、MANA 主任研究者)

② 研究項目

- ・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の理論研究
- ・新奇トポロジカル現象と特性の理論研究
- ・トポロジカルレーザーの動作原理の理論解析

(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未来産業技術研究所、助教)

② 研究項目

- ・トポロジカルフォトリニクス系の光通信デバイス応用の実験研究
- ・トポロジカル光回路の実現
- ・トポロジカルフォトリニクス系を利用した近赤外トポロジカルレーザーの実現
- ・トポロジカルフォトリニクス系を利用した光渦多重素子の実現

(3) 上智大グループ

① 主たる共同研究者: 菊池 昭彦

(上智大学理工学部機能創造理工学科、教授)

② 研究項目

- ・GaN 系ナノ結晶による可視光領域トポロジカル状態の実験研究
- ・GaN 系極微細ナノ構造作製技術の開発と発光特性の評価
- ・GaN 系トポロジカル可視光レーザーに向けたデバイス化技術の開発