

# トポロジカルフォトンクスと光回路 Topological photonic integrated circuits

雨宮 智宏

Tomohiro AMEMIYA

東京科学大学 工学院電気電子系

## 概要

トポロジカルフォトンクスは、トポロジカル絶縁体やワイル半金属などの電子系におけるトポロジーの概念を、光学系へと展開した研究分野である[1]。その代表的な実現系として、 $C_{6v}$  対称性を有する誘電体ユニットセルからなるハニカム格子型フォトニック結晶があり、構造設計によって  $Z_2$  トポロジカル相を実現できる[2]。このような系では、異なるトポロジカル相の界面にエッジ状態が形成され、構造不完全性や急峻な曲がりに対して頑健な光伝搬が可能となる。さらに、円偏光に対応するスピン角運動量や、光渦に対応する軌道角運動量といった光の内部自由度を保持できることから、これらを活用した次世代の大容量光通信への応用が期待される。

こうした特長を実用的な光集積回路に取り込むため、我々は、従来のシリコンフォトニック集積回路の一部にトポロジカル構造を導入する、トポロジカルフォトニック集積回路 (TPIC) を提案している。既存のシリコンフォトンクスとの互換性を維持しながら、トポロジカル光伝搬を回路機能として活用するには、導波路のみならず、光の入出力や回路内の信号制御を担う基本素子を整備する必要がある。

そこで、従来のシリコン光回路との接続に向けて、Si 細線導波路の伝搬モードとトポロジカルエッジ状態との不整合を低減し、両者を高効率に結合するトポロジカルコンバータを開発している[3]。また、チップ外部からの光入力に対しては、自由空間光をトポロジカル導波路へ高効率に導入するトポロジカル垂直結合器を用いる[4,5]。これらの接続・入出力機能に加え、回路内の信号制御を担うのが、トポロジカル分岐素子・スイッチである[6,7]。偏光や軌道角運動量などの内部自由度を保持しながら、任意の強度比で光信号を分岐することで、トポロジカル光伝搬の特長を活かした回路構成を可能にする。

本講演では、これらの基本素子の設計原理、動作機構および実験実証を紹介し、TPIC における光の内部自由度の保持・制御について論じる。さらに、各素子の集積による大規模なトポロジカル光回路の構築と、大容量かつ頑健な光通信・情報処理システムへの応用を展望する。

## Abstract

We propose topological photonic integrated circuits (TPICs) that harness topological edge states to preserve and control the spin and orbital angular momentum of light. To enable practical integration with conventional silicon photonics, we develop fundamental passive components, including topological converters, vertical couplers, and splitters. This talk presents their design principles, operating mechanisms, and experimental demonstrations, highlighting the potential of TPICs for robust, high-capacity optical communication and information processing.

## References

- [1] T. Ozawa et al., “Topological photonics,” *Rev. Mod. Phys.* 91, 015006 (2019).
- [2] L.-H. Wu and X. Hu, “Scheme for achieving a topological photonic crystal by using dielectric material,” *Phys. Rev. Lett.* 114, 223901 (2015).
- [3] H. Kagami et al., “Topological converter for high-efficiency coupling between Si wire waveguide and topological waveguide,” *Opt. Express* 28, 33619 (2020).
- [4] H. Kagami et al., “Highly efficient vertical coupling to a topological waveguide with defect structure,” *Opt. Express* 29, 32755 (2021).
- [5] S. Okada et al., “Demonstration of a highly efficient topological vertical coupler,” *Opt. Express* 31, 35218 (2023).
- [6] X.-X. Wang et al., “Interference and switching effect of topological interfacial modes with geometric phase,” *Phys. Rev. Research* 7, 023067 (2025).
- [7] T. Amemiya et al., “Topological photonic integrated circuits for controlling internal degrees of freedom of light,” *J. Phys. Soc. Jpn.* 94, 101005 (2025).