

2023 年度年次報告書

独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成

2020 年度採択研究代表者

竹中 充

東京大学 大学院工学系研究科

教授

ハイブリッド光位相シフタによるプログラマブル光回路を用いた光演算

主たる共同研究者:

岡野 誠 (産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター 研究チーム長)

松田 信幸 (東北大学 大学院工学研究科 准教授)

研究成果の概要

東京大学グループは、ハイブリッド光位相シフタを強誘電体トランジスタで駆動することで不揮発化することに成功した¹⁾。ゲート絶縁膜として強誘電体である HfZrO_2 を用いることで、自発分極の向きに応じてトランジスタの閾値電圧を変えることができる。強誘電体トランジスタでハイブリッド位相シフタを駆動することで、閾値電圧に応じた光位相シフトを得ることに成功した。これによりクロスバーアレイ電気配線が可能であることを明らかにした。開発した相変化材料 $\text{Ge}_2\text{Sb}_3\text{Te}_3\text{S}_2$ を光位相シフタ²⁾として用いるだけでなく、光強度変調器にも応用可能であることを提唱した。近赤外波長で動作させることで、挿入損失がゼロとなり、極めて高い消光比を持った強度変調が可能であることを実証した。更に、行列演算光回路に応用し、畳み込みニューラルネットワークを用いた手文字認識に利用可能であることを明らかにした。また、人工知能を用いた自動設計により曲げ導波路の損失の低減にも成功した³⁾。

産総研グループは、300 mm シリコン試作ラインを用いた第 2 次シリコン光回路試作に向けた CAD 設計、フォトマスク作製、プロセスフローの構築を行った。超伝導光子数検出器アレイに関しては、4 チャンネル同時読み出しを可能とする超伝導転移端センサーアレイシステムを準備し、500 kHz の繰り返し周波数で動作することを確認した。これは、同種の実験としては先行研究の 5 倍のスピードである。

東北大学グループは、ユニタリ演算光回路の制御性向上を図った。結果、任意のユニタリ行列を 99%以上という極めて高い忠実度で光回路に実装することに成功した。また、高精度ユニタリ変換光回路、真空スクイーズド光源、そして産総研グループの光子数識別検出器を組み合わせて、ガウシアンボゾンサンプリングの実証実験を行った。結果、理論分布に従うボゾン出力分布の観測に成功した。加えて回路規模を拡大した第二次試作回路を設計した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) R. Tang, K. Watanabe, M. Fujita, H. Tang, T. Akazawa, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka, “Non-volatile hybrid optical phase shifter driven by a ferroelectric transistor,” *Laser & Photonics Reviews*, 2300279, October 2023. DOI: 10.1002/lpor.202300279
- 2) Y. Miyatake, K. Makino, J. Tominaga, N. Miyata, T. Nakano, M. Okano, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka, “Proposal of low-loss non-volatile mid-infrared optical phase shifter based on $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_3\text{S}_2$,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 70, no. 4, pp. 2106–2112, April 2023. DOI: 10.1109/TED.2023.3235865
- 3) Y. Miyatake, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka, “Design of compact and low-loss S-bends by CMA-ES,” *Optics Express*, vol. 31, no. 26, pp. 43850–43863, Dec. 2023. DOI: 10.1364/OE.504866