

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

2021 年度 年次報告書
------------------

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

## § 1. 研究成果の概要

東京大学グループは、Si 導波路で作製したリング共振器に化合物半導体薄膜を貼り合わせたハイブリッド光位相シフタを集積することに成功するとともに、グラフェンを組み合わせた新たな光位相シフタについて動作解析を進めた。また、強誘電体トランジスタとハイブリッド光位相シフタを組み合わせた不揮発光位相シフタを新たに提唱し、原理実証に成功した。多波長光源として動作する光回路の設計も進め、その試作を行った。また、InGaAs 薄膜を Si 導波路上に貼り合わせたフォトトランジスタを光回路の光パワーモニタとして利用することを新たに提唱するとともに、MoS<sub>2</sub>を用いたフォトトランジスタにおいても高い受光感度を実現した。マッハ・ツェンダー干渉計を用いたプログラマブル光回路に冗長性を持たせることで、作製誤差などのエラーを補正できることも数値解析により示した。

産総研グループは、深層学習・量子計算用プログラマブル光回路の実現に向けて、産総研 300 mm シリコン試作ラインを用いたシリコン光回路の試作を進めた。また、シリコン光回路チップをプログラマブルに制御するための光・電気実装を行い、プログラマブル・シリコン光回路システムの構築を行った。シリコン光回路チップを、専用のセラミック端子台に固定した後、ワイヤーボンディングを用いてセラミック端子台上の電気パッドとの電気接続、ファイバーアレイを用いた光接続を行い、4x4 ユニタリ変換動作を確認した。

東北大学グループは、シリコン量子光源の並列化および回路規模向上に向けた研究を進めた。シリコン光導波路の線形・非線形伝搬損失の評価を行った結果、分岐回路の影響がほとんど見られないことを確認した。また、シリコン導波路における非線形パルス伝搬シミュレーション方法を構築するとともに、実験結果との良い一致を確認した。ユニタリ変換光回路の構成要素である方向性結合器の過剰損失も、テスト回路を用いて評価した。その結果、窒化シリコン光導波路を用いた先行研究と同水準の光子検出レートが得られることが分かった。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 東京大学グループ

① 研究代表者:竹中 充 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

② 研究項目

- ・プログラマブル光回路設計
- ・ハイブリッド光位相シフト集積
- ・メモリ機能内蔵光位相シフト
- ・プログラマブル・ハイブリッド光回路システム
- ・多波長コヒーレント光源
- ・光電子集積活性化関数受光器
- ・新回路・アルゴリズム探索

### (2) 産総研グループ

① 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)

② 研究項目

- ・プログラマブル光回路設計
- ・ハイブリッド光位相シフト集積
- ・大規模プログラマブル・シリコン光回路システム
- ・プログラマブル・ハイブリッド光回路システム
- ・量子計算用超伝導光子数検出器アレイ
- ・新回路・アルゴリズム探索

### (3) 東北大学グループ

① 主たる共同研究者:松田 信幸 (東北大学 大学院工学研究科 准教授)

② 研究項目

- ・プログラマブル光回路設計
- ・シリコン量子光源の集積化・並列化および回路規模向上
- ・新回路・アルゴリズム探索

【代表的な原著論文情報】

- 1) S. Ohno, Q. Li, N. Sekine, H. Tang, S. Monfray, F. Boeuf, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka, “Si microring resonator optical switch based on optical phase shifter with ultrathin-InP/Si hybrid metal-oxide-semiconductor capacitor,” *Optics Express*, vol. 29, no. 12, pp. 18502-18511, June 2021.
- 2) T. Piyapataraku, H. Tang, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka, “Numerical analysis of optical phase modulator operating at 2  $\mu$  m wavelength using graphene/III-V hybrid metal-oxide-semiconductor capacitor,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 61, SC1031, Feb. 2022.
- 3) R. Nur, T. Tsuchiya, K. Toprasertpong, K. Terabe, S. Takagi, and M. Takenaka, “Floating gate negative capacitance MoS<sub>2</sub> phototransistor with high photosensitivity,” *Nanoscale*, vol. 14, pp. 2013-2022, Jan. 2022.
- 4) E. Pelucchi, G. Fagas, I. Aharonovich, D. Englund, E. Figueroa, Q. Gong, H. Hannes, J. Liu, C.-Y. Lu, N. Matsuda, J.-W. Pan, F. Schreck, F. Sciarrino, C. Silberhorn, J. Wang, K. D. Jöns, “The potential and global outlook of integrated photonics for quantum technologies”, *Nature Reviews Physics*, vol. 4, No. 3, pp.194-198, 2022.