

「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの
基盤技術」

H27 年度
実績報告書

平成27年度採択研究代表者

納富 雅也

日本電信電話株式会社 物性科学基礎研究所 ナノフォトニクスセンタ
センタ長

低遅延光演算ゲートとその集積技術の研究

§ 1. 研究実施体制

(1)「NTT」グループ

① 研究代表者:納富 雅也 (日本電信電話株式会社 物性科学基礎研究所 ナノフォトニクスセンタ センタ長)

② 研究項目

- ・低遅延ナノフォトニクス素子及び集積技術の開発
- ・新しい光学現象を利用した超低遅延化の研究
- ・超低レイテンシ演算回路およびシステムの実証実験

(2)「京大」グループ

① 主たる共同研究者:石原 亨 (京都大学大学院 情報学研究科通信情報システム専攻 准教授)

② 研究項目

- ・光パスゲートと COMOS 論理ゲートが融合する光演算回路の最適設計環境の開発
- ・光パスゲートに基づく超低遅延演算回路の研究
- ・超低レイテンシ演算回路およびシステムの実証実験

(3)「九大」グループ

① 主たる共同研究者:井上 弘士 (九州大学大学院システム情報科学研究院 I&E ビジヨナリー特別部門 教授)

② 研究項目

- ・超低レイテンシ光電融合プロセッサ・アーキテクチャの開発
- ・超低レイテンシ処理回路およびシステムの実証実験

§ 2. 研究実施の概要

本チームでは、光パスゲート論理回路という新しい回路方式をナノフォトニクス技術を用いて実現し、超低レイテンシの情報処理を目指した研究を、本年度より CREST 研究として開始した。5年間の CREST 研究の目標としては、光パスゲート論理により光の伝搬速度で演算が実行できることを実証し、この回路方式により実現可能となる情報処理システムを設計、提案することを目指している。本研究は、NTTを中心としたデバイス研究、京大を中心とした回路研究、九大を中心としたアーキテクチャ研究の3つのフェーズの研究で構成されるが、頻繁に会合およびテレビ会議等を行い緊密な共同研究体制の元に3つの研究を進めている。以下ではそれぞれフェーズの研究実施の概要について順に説明する。

デバイス研究に関しては、まず超低遅延動作が可能となる光ゲート構成について具体的検討を始めた。光ゲートは機能的には従来の光変調器、光切替スイッチと似通っているが、それらのデバイスの伝搬遅延極小化に関する研究はこれまで殆ど行われていない。そこで、まずどのような構成が有望であるかの検討を行った。1×1 ゲートに関しては、Electroabsorption(EA)振幅変調器が最も有望であるという見極めをつけた。また、2×2 ゲートに関しては Mach Zehnder 干渉型電気光学スイッチが構成としては適しているが、位相変調器の短尺化が重要であることがわかり、探索的に設計を開始した。一つの解決策として、フォトニック結晶のスローライトを利用した方向性結合器を用いると短尺化できることに注目し、これを元に短尺な電気光学切替スイッチを実現できる目途を付けた。

また、さらなる超低遅延化を目指して、Parity-Time 対称性を持つ光スイッチや、メタフィルムによる干渉型スイッチ等の理論的検討を行い、後者に関しては予備的な実験を行った。

また、本方式は演算レベルでの光電融合を目指していることから、光電変換の効率化がもう一つの鍵となる。OE 変換効率を劇的に向上させる手段として、超低キャパシタンスの光受光器に大きな抵抗を装荷する手法が提案されているが、本研究では 1fF 程度の極小容量を持ち高速、高感度で動作する光受光器をフォトニック結晶を用いて達成し、集積した抵抗により十分な電圧の発生に成功した。

回路研究に関しては、申請時にアイデアとして出していた光パスゲート論理による加算器について、デバイス研究で実現予定の光ゲートをベースに設計を進めて、具体的な構成を設計した。また、光パスゲート論理回路の実現するパフォーマンスを CMOS 回路と定量的に比較することを目的として、光電協調動作の回路シミュレーション環境を新たに構築した。さらにこのシミュレーション技術を用いて、設計した光加算器の動作を解析し、CMOS 技術による加算器との定量的な比較を行い、十分に短い計算遅延で光加算器が動作することが確認された。

アーキテクチャ研究としては、光パスゲートによる回路が、広帯域光情報路に直結した、超低レイテンシプロセッサに適しているとの判断をし、同プロセッサのあるべき姿、持つべき機能について設計を開始した。それらの機能の中で特にパタンマッチングが重要な役割を果たすことが明らかになったので、光パスゲートを用いたパタンマッチングの構成に関して設計を開始した。