

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分

平成29年 5月 31日現在

研究課題名（和文） **半導体モノリシック光波合成・任意ユニタリ変換光集積回路の創出**

研究課題名（英文） Research on reconfigurable unitary optical mode converters and wavefront synthesizers using semiconductor photonic integrated circuits

課題番号：26000010

研究代表者
中野 義昭 (NAKANO YOSHIAKI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要：半導体モノリシック光集積回路技術に依拠して、レーザ、光アンプ、光位相制御器、偏波制御器、光パワーモニタなど多数の能動光素子を燐化インジウム(InP)チップ上にモノリシックに集積したアダプティブ光波合成回路を創製する。さらに、より普遍的な多入力任意光ユニタリ変換回路へと拡張し、次世代光通信、光配線、LiDAR、医療／生体イメージング、光量子演算など、広範な応用分野への展開を目指す。

研究分野：オプトエレクトロニクス

キーワード：集積フォトニクス、半導体光デバイス、モノリシック光集積回路、InP

1. 研究開始当初の背景

燐化インジウム(InP)系半導体を用いたモノリシック光集積回路は、これまで光通信用送受信器の開発を主としており、光波合成への応用は殆ど検討されて来なかった。最近になって、シリコンを用いたフェーズアレイ光回路が報告されたが、シリコンはレーザや光アンプの集積が難しく、大規模化に伴い十分な光パワーが得られないという問題がある。また、熱光学効果を用いるため、動作速度が遅く消費電力も大きい。

2. 研究の目的

本研究では、低消費電力かつ高速なアダプティブ光制御が可能で高出力化が見込めるInP系半導体を中心に、大規模アダプティブ光波合成・任意ユニタリ変換回路を初めて実現することを目的としている。まず、これまで代表者らが開発してきたフェーズアレイ光スイッチ技術をベースに、垂直方向光結合器を導入することで、三次元自由空間で光波合成を可能にする。さらに、偏波制御素子を開発し、モノリシックに集積することで、偏波状態を含めたアダプティブ光波合成回路を実現する。その上で、本素子を複数の入力に拡張した任意光ユニタリ変換回路を実現し、各種応用実証を目指す。

3. 研究の方法

図1に示す分担・協力体制で、目的達成に必要な試作プロセス技術開発、素子設計・作製、特性測定評価、応用に当たっている。

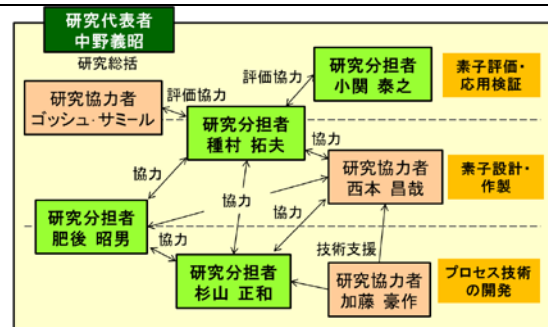


図1 研究体制図

4. これまでの成果

(1) 偏波制御素子の試作実証

光波合成回路の要素技術となる偏波制御技術に関して、これまでに、ハーブリッジ型偏波変換器と位相シフタを組み合わせたモノリシック集積素子の試作実証、量子井戸層導入による高効率化、オンチップ偏波状態モニタの試作実証(図2)、高速ストークスベク

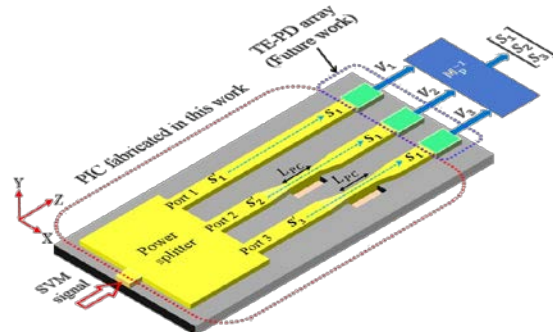


図2 集積化偏波解析素子

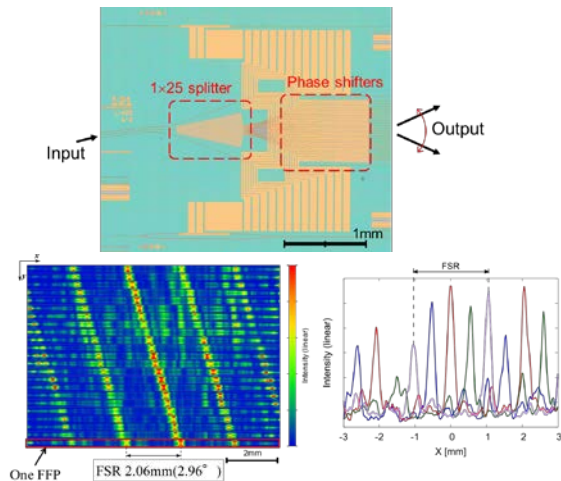


図3 試作した光フェーズアレイ回路とビームビームスキャンニング測定結果

トル変調信号の受信実験に成功している。量子井戸層のモノリシック集積にあたっては、オフセット量子井戸手法およびバットジョイント法を用いた。

(2) フェーズアレイ回路の試作実証

光波合成回路の大規模化に向けて、これまでに、1x25(図3)、1x100 一次元光フェーズアレイ回路の試作と高速イメージング実験、二次元光波合成素子の設計、および、その要素技術となる45度ミラーの試作実証に成功した。高速イメージングにおいては、新たにゴーストイメージング手法を採用することで効率化を実現した。光学評価系を新たに構築し、ナノ秒オーダーの高速イメージングに成功した。二次元光波合成回路の設計に取り掛かり、5x5光波合成回路のレイアウト設計を完成させた。これらの光波合成回路の高出力化を実現するために、光増幅器の最適化設計と試作を進めている。

(3) 光ユニタリ変換回路の提案と設計

ユニタリ変換回路に関しては、これまでに、多モード干渉計カプラと方向性結合器を用いた新規素子の提案、数値解析による実証、原理検証用4x4素子の作製、10x10素子の設計、測定評価系の構築を終えている。

5. 今後の計画

(1) 光波合成回路の開発

最終目標とする二次元光波合成チップの実証に向けて、石英ガラス三次元光導波路チップを用いる手法およびグレーティング結合器を集積する手法を中心に研究を進める。

一方、高出力化に向けて、これまでに構築したオフセット量子井戸手法を基に、半導体光増幅器(SOA)のモノリシック集積を行う。

(2) ユニタリ変換回路の開発

4x4多モード干渉(MMI)カプラ型ユニタリ変換回路(図4)の評価を行い、提案手法の妥当性を実験的に示す。並行して、10x10回

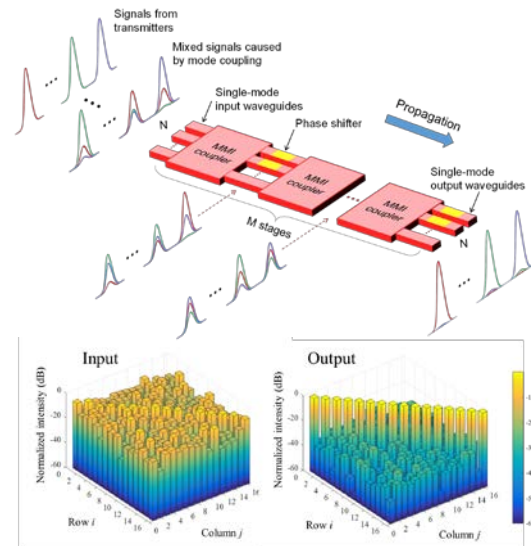


図4 多モード干渉カプラを用いた光ユニタリ変換回路

路の作製を進める。多ポート方向性結合器に基づくユニタリ変換回路の可能性を並行して検証する。最後に、ユニタリ変換回路の応用例として、モード多重光通信システムへの適用性を実証する。

一方、当初想定していなかった本研究で開発する各種光素子の新しい可能性を追求して行く：

- ゴーストイメージング手法のLiDAR応用
- 偏波制御/解析素子のストークスペクトル変復調器応用

6. これまでの発表論文等

- (1) R. Tang, T. Tanemura, and Y. Nakano, "Integrated reconfigurable unitary optical mode converter using MMI couplers," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 29, no. 12, pp. 971-974, Jun. 2017.
- (2) S. Ghosh, Y. Kawabata, T. Tanemura, and Y. Nakano, "Polarization-analyzing circuit on InP for integrated Stokes vector receiver," Opt. Express, vol. 25, no. 11, pp. 12303-12310, May 2017.
- (3) K. Komatsu, Y. Ozeki, Y. Nakano, and T. Tanemura, "Ghost imaging using integrated optical phased array," Optical Fiber Communication Conference (OFC'17), Th3H.4, Los Angeles, Mar. 23, 2017.
- (4) S. Ghosh, T. Tanemura, Y. Kawabata, K. Katoh, K. Kikuchi, and Y. Nakano, "Simple direct-detection-based Stokes vector receiver circuit on InP," Optical Fiber Communication Conference (OFC'17), Th1A.6, Los Angeles, Mar. 23, 2017.

ホームページ等

<http://www.ee.t.u-tokyo.ac.jp/~nakano/lab/>