

自己評価報告書

平成23年 3月31日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究 (S)

研究期間：2008 ~ 2012

課題番号：20226019

研究課題名 (和文) 波長チャネル制御を用いる半導体マイクロリングプロセッサの研究

研究課題名 (英文) Semiconductor microring processor using wavelength channel control

研究代表者

國分 泰雄 (KOKUBUN YASUO)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：60134839

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎／応用光学・量子光工学

キーワード：微小共振器, 量子井戸, 半導体光増幅器, 相互変調効果, 光演算

1. 研究計画の概要

高速大容量の光信号を自在にパス制御する光クロスコネクタ技術は、長距離伝送や中距離光ネットワークなどにおける基本技術である。しかし、現在の LSI を用いた電子的ルーティングは処理速度と膨大な消費電力のために限界に達しつつあり、光信号を光のままルーティングする光-光制御技術が、今後不可欠になると予想される。この問題を解決するには、高速光信号を別の高速光信号によって、しかも波長情報を有効に利用して 1 ns 以下の高速で制御する小型集積化全光演算制御デバイスが必要になる。しかしながら、この実現に不可欠な、多波長を自在に用いてルーティング、スイッチング、レベルリミット、ゲート、等の高速演算処理を実現するデバイスとその集積化は未開拓である

本研究では、半導体量子井戸による光増幅器 (SOA) 導波路によって構成したマイクロリング共振器によって、SOA 中での信号光自身の自己位相変調 (SPM) や入力信号光 (ポンプ光) と制御光間の相互利得変調 (XGM) および相互位相変調 (XPM) を共振器によって増強して高速な光-光変調を実現する。さらにはレーザ発振時の注入同期を利用したフリップフロップ回路を実現して、高速光パルス信号のリミッタなどの波形整形やインバータ動作、および 2 入力信号の XOR、光フリップフロップなどの基本演算を、波長チャネルを用いて可能にする半導体マイクロリングプロセッサの実現とその集積化を目的とする。

2. 研究の進捗状況

これまで以下に以下の成果が得られている。

(1) 半導体マイクロリング導波路の設計お

よび製作技術の確立

半導体マイクロリング共振器を製作するための基本的設計・製作技術の開発を行った。まず、埋め込みクラッド層とコアとの屈折率差が大きすぎて、バスライン導波路とマイクロリング共振器の結合率 K として十分大きな値 (0.3 程度) が得にくい問題の解決のため、結合導波路間の溝のエッチング深さを 2 段階に制御する強結合構造を採用して、結合率の溝幅と深さ依存性を解析して、現状の加工精度での最適な結合部構造を設計した。

この設計に基づき、周回長 172 ミクロンの単一のレーストラック型リング共振器構造を製作した。2 段階エッチング加工に成功し、共振波長間隔 (FSR)、結合効率 K 、周回損失等をほぼ設計どおり得ることに成功した。

(2) 新しい一方向発振レーザの提案と設計

リングレーザの外部に反射構造を設け、リング内で発生した反時計回り (CCW) 方向発振光を時計回り (CW) 方向に戻し、相対的に CW 方向の強度を増やす構造を考案した。この構造では、リングとバスライン間の結合率 K を変化させることで、CW 方向と CCW 方向の光出力比を変化させることが可能となる。

その基本特性の解析においては、まず伝達関数を解いて CW, CCW 双方の発振条件を求め、続いて発振後における CW 方向に伝搬する光子量と CCW 方向に伝搬する光子量の比を、レート方程式を解いて算出し、反射部利得 20dB、 $K=0.8$ で 18dB の選択比が得られることを明らかにした。さらに、マイクロリング内部に増幅領域と可飽和吸収領域を挿入することにより、一層一方向性発振に近づけ得ることを示した。

上記設計に基づいて一方向発振レーザの

試作を試みたが、電極形成上の問題が生じ、レーザ発振には至らなかった。

(3) コヒーレント結合の発見と結合部設計法の確立

本研究のような強結合構造では結合部において偶モードと奇モードのほかにリーキーモードが励振されるため、多モード干渉によって結合率および結合損失に周期的変化が重畳されることを計算機シミュレーションによって発見して、これをコヒーレント結合と名付けると共に、結合損失が極小値をとる条件を明らかにして、低損失な結合部設計法を確立した。すなわち、導波路幅を変化させると伝搬定数が変化するため、低損失となる結合長の周期と所望の結合効率を得る結合長が変化する。この結果から最適な導波路幅を計算することで、損失の極めて小さい方向性結合器を設計することが可能となった。

3. 現在までの達成度

③ やや遅れている。

理由：申請時点でのスケジュールでは、マイクロリング SOA を前半で、後半ではマイクロリングレーザの実現を目指す予定であったが、研究開始1年目に両方を同時に進めることに計画を変更した。しかしながら、現時点では両デバイスの動作確認に至っていないので、当初の目標に対して研究はやや遅れている。

この研究の遅れは、多くのデバイスパラメータの値を広い範囲で変えて設計したためにフォトマスクの設計に予想以上の時間を要したことと、平成 22 年度後半に完成したデバイスの電極厚さが不足して電流が流れなかったことによるものである。フォトマスク設計はこれまでのノウハウの蓄積から今後は時間を短縮出来ると考えられ、また試作したデバイスの電極厚さが不足していた事は非常に悔いが残る誤りであったが、構造の設計と製作には問題点は見つかっていないので、再試作したデバイスでの動作確認は期待出来る。したがって、「やや遅れている」と判断した。今後は震災後の電力不足による装置停止計画などでデバイス完成時期に遅れが出る恐れもあるが、目標の実現に向けて努力を続ける。

なお、本研究で目指すマイクロリングレーザのレーザ発振と波長チャンネルを用いたフリップフロップ動作、およびマイクロリング SOA の共振効果による自己位相変調、相互位相変調が実現できれば、一気に大きな成果が期待できると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

上記で述べた電極形成上の問題を解決し、一方向発振レーザによる光フリップフロップ動作の実現、マイクロリング SOA の利得

増強効果の実証、2 波長の信号による波長変換+インバータ動作および波形整形や、XOR、光フリップフロップなどの論理回路の実現を目指す。さらにこれらの光演算回路用基本要素デバイス一方向発振レーザによる光フリップフロップを集積化し、マイクロリングプロセッサの実現する。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 16 件)

- (1) "InGaAs/InAlAs Five-Layer Asymmetric Coupled Quantum Well Exhibiting Giant Electrorefractive Index Change", T. Arakawa, T. Toya, M. Ushigome, K. Yamaguchi, T. Ide and K. Tada, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, vol.50, no.3 032204 (2011).
- (2) "UV trimming of Polarization - independent Microring Resonator by Internal Stress and Temperature Control," N. Kobayashi, T. Sato, and Y. Kokubun, Optics Express, 査読有, vol.18, no.2, pp.906-916 (2010).
- (3) "Influence of Heterointerface Abruptness on Electrorefractive Effect in InGaAs/InAlAs Five-Layer Asymmetric Coupled Quantum Well", Y. Iseri, T. Arakawa, K. Tada, and N. Haneji, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, vol. 49 no. 4, paper no.4DG04 (2010).
- (4) "Hitless wavelength selective switch using vertically coupled microring resonator manipulated by MEMS structure," T. Yamada, Y. Kokubun, Applied Physics Express (APEX), 査読有, vol.2, 062402 (2009).

[学会発表] (計 85 件)

- (1) "Fabrication of Microring Resonator Tunable Wavelength Filter Using Five-layer Asymmetric Coupled Quantum Well," T. Makino, R. Hasegawa, T. Arakawa, and Y. Kokubun, 22nd Annual Lasers and Electro Optics Society Meeting, WN1 (2009).

[図書] (計 2 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 1 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

研究成果を公開している研究室 Web ページ
<http://www.dnj.ynu.ac.jp/kokubun-lab/>
<http://www.arakawa-lab.ynu.ac.jp/top.htm>