

超高速波長ルーティング集積回路 (071503009)

Ultrafast Wavelength Routing Photonic Integrated Circuit

研究代表者

國分 泰雄 横浜国立大学大学院工学研究院
Yasuo Kokubun Graduate School of Engineering, Yokohama National University

研究分担者

荒川太郎[†] カトフ・レドワン[†]
Taro Arakawa[†] Redouane Katouf[†]
[†]横浜国立大学大学院工学研究院
[†]Graduate School of Engineering, Yokohama National University

研究期間 平成 19 年度～平成 21 年度

概要

超高速の波長ルーティングを可能にするために、低電圧・低損失・高速で巨大な電界誘起屈折率変化をもつ五層非対称結合量子井戸 (FACQW) を用いた直列結合マイクロリング共振回路によるヒットレス波長選択スイッチ・ルーティング回路の実現を目指した。2段階エッチングによる結合効率制御と曲がり部の放射損失低減を両立できる構造を考案し、電圧駆動化合物半導体素子としては初めて FACQW シングルマイクロリング共振器の試作に成功し、約 13V で 0.9nm の波長シフトを得た。

Abstract

The objective of this project is to realize hitless microring wavelength selective switches and routing circuits with the five-layer asymmetric coupled quantum wells (FACQWs) for ultrahigh speed wavelength routing. We developed a novel low-loss coupler which enables precise control of coupling efficiency, and successfully demonstrated a single FACQW microring resonator for the first time as a voltage-driven compound semiconductor device. We obtained the wavelength shift of 0.9 nm at 13 V.

1. まえがき

高速大容量の光信号を自在にパス制御する波長ルーティング技術は、長距離伝送や中短距離光ネットワークはもとより、将来はボード間やチップ間の光配線にまでおよぶ基本技術である。光ネットワークにおいては、有限の周波数資源とエネルギー資源の制約の下に変動幅の大きい(バースト性の大きい)通信需要に対応するには、超高速でフレキシブルにパス制御を行う技術が不可欠になる。このためには、高密度に並べた多波長を超高速にスイッチングする波長ルーティング技術が必要である。しかし、多波長を自在にかつヒットレスでダイナミックにルーティング、スイッチング、多波長生成、波長掃引するデバイスとその集積化は未開拓である。

そこで本研究では、代表者の國分がこれまで培ってきたマイクロリング共振器によるヒットレス波長選択スイッチ技術と、分担者の荒川が開発した大きな電界誘起屈折率変化を発現する半導体ポテンシャル制御量子井戸導波路を組み合わせて、超高速に波長ルーティングを行う高密度光集積回路を実現するための基盤技術の開拓を目指した。

2. 研究内容及び成果

本研究では超高速に波長ルーティングを行う高密度集積回路の実現を目指し、高屈折率差誘電体光導波路の熱光学効果によるヒットレス波長選択スイッチを用いた多波長・多ポートクロス接続回路の実現と、巨大な電界誘起屈折率効果を発現する五層非対称結合量子井戸の新規構造の探索・理論解析、およびウェハの結晶成長技術と光導波路加工技術の開発、電圧制御型マイクロリング共振器波長フィルタの開発などを行い、量子井戸半導体光導波路による波長選択スイッチの設計・製作技術の確立を行った。

本稿では、半導体量子井戸によるマイクロリング共振器型波長選択スイッチを構成する基本デバイスとして試作した、半導体導波路を用いたレーストラック型マイクロリング共振器 (図 1) に関する研究成果を主に報告する。

まず、分子線エピタキシー (MBE) 法により、InGaAs/InAlAs 五層非対称結合量子井戸 (FACQW) をコア層、InP を上下クラッド層とするエピタキシャルウェハを成長した。FACQW は、大きな電界誘起屈折率変化の発現が期待されるポテンシャル制御量子井戸の一つである。次に、ドライエッチング法によりハイメサ光導波路を形成し、ポリマー (BCB) による埋め込み、電極形成を行った。

バスライン導波路とリング共振器導波路間の結合部は、光がコアに強く閉じこめられて、BCB クラッド部に光がしみ出さないため、十分な結合効率を確保するには導波路間隔を 0.2 μm 程度に微細化する必要がある。しかし、このような狭間隔のギャップを 2 μm 程度の深さで垂直に形成することは困難であるため、リング導波路部およびバスライン導波路部はハイメサ形状に、また結合部はコア層を一部残した浅い溝を加工した方向性結合型の新構造を採

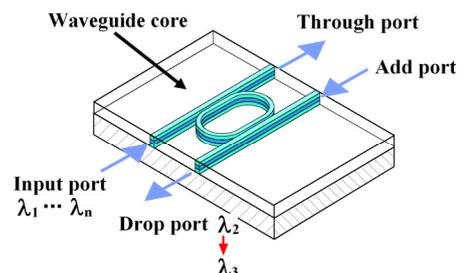
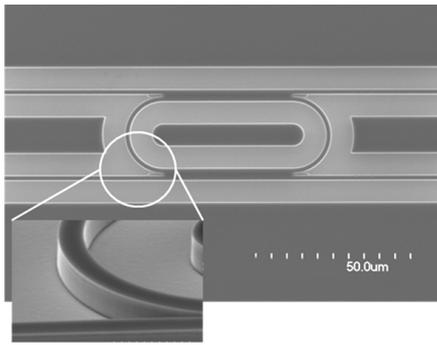
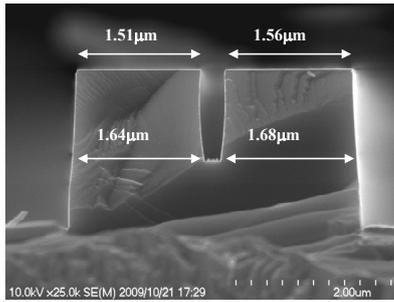


図 1. 本研究で試作した半導体導波路を用いたレーストラック型マイクロリング共振器



(a)



(b)

図2. 作製した単一リング波長フィルタの走査型電子顕微鏡像。(a)全体像、(b) バスライン導波路とリング共振器導波路間の結合部

用した。

本マイクロリング共振器の共振波長間隔 (FSR) は 3.65 nm、半値全幅 (FWHM) を 0.32 nm として設計を行い、周回長 L を 172.0 μm 、結合部長 l を 54.6 μm とした。結合部の浅溝の幅は、エッチング可能な最小幅である 0.3 μm とし、深さは 1.15 μm と設定した。このとき、結合効率 K は 0.221 となる。また、上部 InP クラッドに非ドープ層を挿入することで吸収損失を抑制し、リング周回損失を 0.2 dB/round まで低減化できることを明らかにした。

以上の設計に基づき、単一リング波長フィルタを試作し、波長チューニング特性を測定した。デバイス全体およびバスライン導波路とリング共振器導波路間の結合部の断面走査型電子顕微鏡像 (SEM) 像を図2に示す。概ね設計通りの構造が作製できている。図3に電圧印加時の波長可変特性を示す。電圧 13 V 印加で 0.9 nm の共振波長シフトを得ることに成功した。化合物半導体によるマイクロリング波長フィルタの電界制御は世界初である。

この波長シフトは、マイクロリング導波路のコアに用いた FACQW 層での屈折率変化により生じている。

量子井戸層での電圧制御による屈折率変化は、量子閉じ込めシュタルク効果 (QCSE) および 1 次電気光学効果 (ポッケルス効果) の 2 つであるが、後者はリング周回長が短いため極めて小さくなってしまったため、本素子における屈折率変化は主に QCSE により生じていると考えられる。

本素子の全導波損失は約 2.85 dB/round と、本研究の最初の結果 (5.8 dB/round) よりも大きく改善された。特に、直線導波路の吸収損失はほぼ理論値通りとなり、損失の低減に成功した。一方、リングの結合部における損失は、1 結合部あたり 1.2 dB となったが、理論値 0.3 dB/coupling と比べると大きくなった。

3. むすび

本研究の成果について、電圧制御型半導体量子井戸マイクロリング共振器波長フィルタの開発を中心に述べた。今

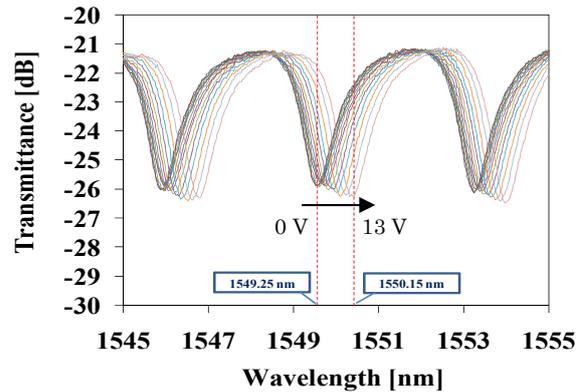


図3. 単一マイクロリング共振器の電圧印加による波長可変特性。

後は、最終目標であったマイクロリング共振器の高次結合による波長選択スイッチや nsec オーダーの高速応答特性の測定等を行っていく予定である。

本研究の成果は、新世代の光通信ネットワークはもとより、将来のボード間やチップ間光配線の大規模・大容量クロスコネクタ等にも大きなインパクトをもたらすと考えられる。とくに本研究が目指す LSI と同程度のチップサイズへの集積化は近い将来に必要な不可欠になるが、従来技術の延長では達成困難であり、またスケーラブルな、すなわち小規模集積化の実証が大規模集積化につながる集積化技術である。

【誌上发表リスト】

- [1] Y. Goebuchi, M. Hisada, T. Kato, Y. Kokubun, "Optical cross-connect circuit using hitless wavelength selective switch," *Optics Express*, vol.16, no.2, pp.535-548 (Jan. 21, 2008)
- [2] N. Kobayashi, T. Sato, Y. Kokubun, "UV trimming of Polarization - independent Microring Resonator by Polarization Stress and Temperature Control," *Optics Express*, vol.18, no.2, pp.906-916 (Jan. 18, 2010)
- [3] T. Makino, R. Hasegawa, T. Arakawa, Y. Kokubun, "Fabrication of Microring Resonator Tunable Wavelength Filter Using Five-layer Asymmetric Coupled Quantum Well," 22nd Annual Lasers and Electro Optics Society Meeting, WN 1 (Oct. 7, 2009).

【申請特許リスト】

- [1] 國分泰雄, 小林直樹, 光導波路波長フィルタの形成方法および光導波路波長フィルタ, 日本, 2007年8月27日.

【受賞リスト】

- [1] 電子情報通信学会 平成 20 年度 (第 12 回) エレクトロニクスソサイエティ賞 (化合物半導体・光エレクトロニクス分野) 國分泰雄「マイクロリング共振器光回路の先駆的・独創的研究」(2009年9月17日).
- [2] Kengo Tanaka, MOC Student Paper Award, "Demonstration of OCDM coding and variable bandwidth filtering by wavelength selective switch using quadruple series coupled microring resonators," 15th Microoptics Conference (MOC'09), Tokyo, G3 (2009年10月27日).
- [3] 田中健吾, 國分泰雄, OPE 研究会 学生優秀研究賞, "4 次直列結合 MRR 型波長選択スイッチによる OCDM 符号化及び帯域可変フィルタの原理実証", 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会, OPE2009-65, pp.191-194, (2009年7月31日発表), (2010年5月21日授賞式).