

# 大容量光通信用高機能シリコンフォトニック波長可変レーザの開発 (142102003)

Silicon Photonic Wavelength tunable Laser Diodes for High Capacity Optical Communication system

## 研究代表者

北 智洋 東北大学

Tomohiro Kita Tohoku University

## 研究分担者

山本 直克<sup>†</sup>

Naokatsu Yamamoto<sup>†</sup>

<sup>†</sup>情報通信研究機構

<sup>†</sup>National Institute of Information and communication technology

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

## 概要

本課題は、非常に小型でありながら高い機能性を有する波長フィルタ構造をシリコンフォトニクスを利用して作製し、III-V族化合物半導体量子井戸、量子ドットなどの半導体光増幅チップと結合させることで様々な機能を持つ光通信用レーザを実現する事を目的としている。デジタルコヒーレント光通信用の光源として開発した 100 kHz 以下の狭線幅波長可変レーザ、C バンド及び L バンドを一台でカバーする非常に広い波長可変範囲を持つ波長可変レーザ、量子ドット光増幅器を用いた 1200 nm 帯波長可変レーザといった様々なレーザを開発した。さらに量子ドット光増幅器を持つ複数のモードの同時かつ安定にレーザ発振できるという特性を利用した多波長可変量子ドットレーザの開発に成功した。

## 1. まえがき

成熟した CMOS 製造技術を用いて超小型、低消費電力な光デバイスを実現するシリコンフォトニクスは、光通信、光インターコネクタなどの分野での実用化を目指して世界的な研究開発競争が行われている。本研究開発課題では、シリコンフォトニクスを用いて作製した外部共振器波長フィルタチップと化合物半導体光増幅チップとを結合する事で、様々な高機能波長可変レーザを開発した。

## 2. 研究開発内容及び成果

### ・C-L バンド波長可変レーザ

シリコン細線光導波路はコアとクラッドとの屈折率差が非常に大きいため微小なシリコン細線光導波路内に強く光が閉じ込められる。このため曲げ半径が 10  $\mu\text{m}$  の急峻な曲げ構造においても光の損失が小さく、非常に小型で Free spectral range (FSR) の大きなリング共振器を作製できる。FSR の大きな二つのシリコン細線リング共振器のバーニア効果を利用する事で、広い波長範囲で単一モードを選択する波長フィルタを容易に実現できる。本研究課題では、光通信における C バンドと L バンドを一台でカバーする非常に広い波長可変動作が可能な波長可変レーザを開発した。図 1 にシリコンフォトニクスを用いて作製した波長可変フィルタの顕微鏡写真を示す。本フィルタでは、二つのリング共振器の他に非対称マッハ・ツェンダー干渉計 (a-MZI) を装荷することで、広い波長可変範囲と高い波長選択性を両立する波長可変フィルタの作製に成功した。

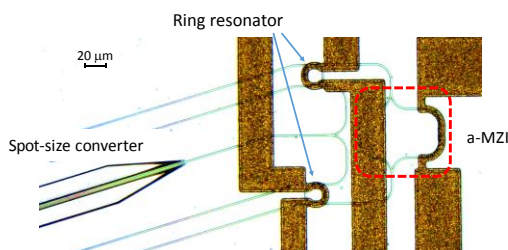


図 1 a-MZI 波長可変フィルタ

作製した波長可変フィルタと光増幅チップとを結合させレーザ発振させた時の波長スペクトル、リング共振器と a-MZI 上に設置したマイクロヒータへの投入電力を図 2 に示す。リング共振器と a-MZI 上のヒータ制御によって 1530 ~ 1630 nm 程度の範囲の任意の波長を出力できている事がわかる。本波長可変レーザは、2 mm  $\times$  0.3 mm の光増幅チップと 0.8 mm  $\times$  0.6 mm の波長可変フィルタチップのみで構成されており、非常に小型でありながら高い機能性を持つ。

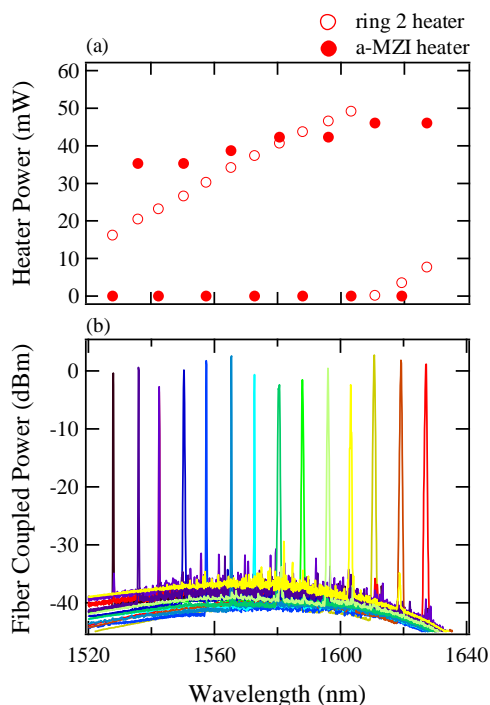


図 2 (a) リング共振器と a-MZI へ投入電力と発振波長の関係 (b) 発振スペクトルの重ね合わせ

### ・多波長可変量子ドットレーザ

InAs 量子ドットを活性層を持つ量子ドット光増幅器は、複数の波長のモードを同時、かつ安定に発振させる事が可能である。この性質を利用して複数の波長を同時出力できる多波長可変レーザを開発した。シリコンフォトニクスを用いて作製した二波長可変フィルタの顕微鏡写真を図3に示す。Spot Size Converter (SSC)を介して量子ドット光増幅チップから入射された光は、リング共振器の一つの共振波長のみが、ブラッグ反射鏡によって反射されレーザ発振する。ここで直列に繋いだ二つのリング共振器の共振波長をマイクロヒータによって制御することで、二波長可変動作が可能になる。

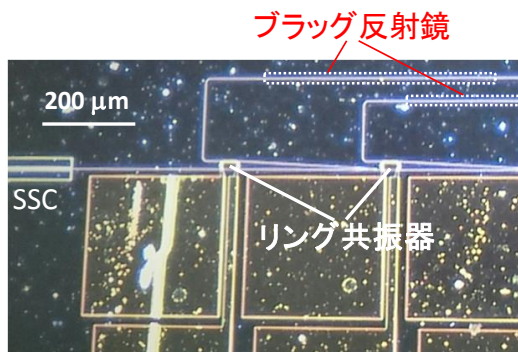


図3 二波長可変フィルタ

二波長可変レーザの発振スペクトルを図4に示す。図中に示しているマイクロヒータへの投入電力によって一方のモードの発振波長を制御できている事がわかる。本レーザは、高速なフォトディテクタで受光することで二波長の差周波数にあたるミリ波を出力する事が可能でありRadio on Fiber (RoF) 用光源としての応用を想定している。開発した二波長可変レーザの周波数差は、40 GHz~400 GHzの非常に広い周波数範囲をカバーしている。現状では1mW程度の弱い光出力強度を増加させていく事で、光信号をシームレスにミリ波へと変換する RoF 用光源としての有用性を実証していく。

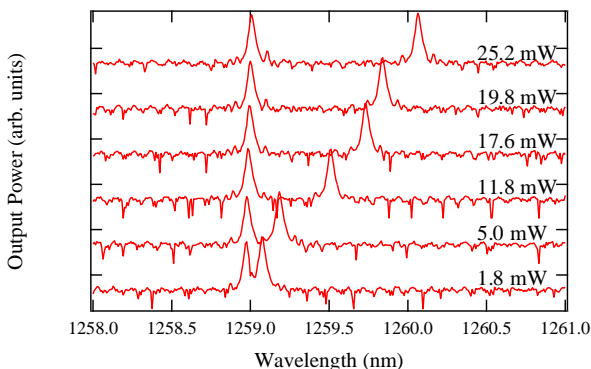


図4 二波長可変レーザの発振スペクトル

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発によってシリコンフォトニクスの優れた光波の制御性とⅢ-V族化合物半導体光増幅チップとを組み合わせた様々なシリコンフォトニックレーザの開発が可能になった。狭線幅波長可変レーザに関しては、デジタルコヒーレント光通信用光源としての実用化を目指して実装手法や制御回路についても検討していく。多波長可変レーザは、情報通信研究機構とRoF(Radio on fiber)用光源として応用するための研究を今後も継続していく。このよ

うに様々な機能性を高い自由度で付加できるシリコンフォトニックレーザは、多様な研究分野に応用可能である。本課題で開発した波長可変レーザは、1.2 μm~1.6 μm という非常に広い波長範囲で使用できるため波長分割多重光通信における大容量化が可能になる。二波長可変レーザにおいては、ミリ波の発信源としての応用も期待できるため移動体通信ネットワークの大容量化にも貢献できると考えている。

### 4. むすび

本研究課題によって、シリコンフォトニクスによって容易に作製できる共振器や光スイッチ、ブラッグ反射鏡などの光波制御デバイスを適切に組み合わせる事で、様々な機能を持つレーザ光源を開発する事が可能になった。製造技術が確立されつつあるシリコンフォトニクスを用いる事で、用途に合わせた機能性を付加したシリコンフォトニックレーザは、様々な情報通信システムへの応用が可能である。

#### 【誌上发表リスト】

- [1]Tomohiro Kita, Naokatsu Yamamoto, Tetsuya Kawanishi, and Hirohito Yamada, "T-band Ultra-compact Wavelength Tunable Quantum Dot Laser with Silicon Photonics External Cavity", Applied Physics Express, vol. 8, pp. 062701-1-4 (2015年5月20日)
- [2]Tomohiro Kita, Rui Tang, and Hirohito Yamada, "[Invited paper] Narrow Spectral Linewidth Silicon Photonic Wavelength Tunable Laser Diode for Digital Coherent Communication System", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics vol. 22, pp. 1500612-1-12 (2016) (2016年4月27日)
- [3]Tomohiro Kita, Hiroyuki Yamazaki, Naokatsu Yamamoto, and Hirohito Yamada, "[Invited] Silicon Photonic Wavelength Tunable Lasers for high-capacity optical communication system" Optical Fiber Communication Conference and Exhibition (OFC), W1E. 3 (2017年3月22日)

#### 【受賞リスト】

- [1]北 智洋、石田實記念財団研究奨励賞、“大容量光通信用シリコンフォトニック波長可変レーザに関する研究”、2014年11月14日

#### 【報道掲載リスト】

- [1]“光ファイバー波長数2倍 東北大などレーザ部品開発”、日経産業新聞、2015年5月20日
- [2]“波長可変、広範に”、日刊工業新聞、2015年5月26日
- [3]“Tunable Laser Diode Taps NIR for Data Transmission”, Photonics Spectra, 2015年8月1日