

# リング共振器アレイ型シリコン光回路を用いた深層学習の検証

## Evaluation of deep learning using Si photonic circuit with ring resonator array

○大野 修平<sup>1</sup>, トーブラサートポン カシディット<sup>1</sup>, 高木 信一<sup>1</sup>, 竹中 充<sup>1</sup>(東大工<sup>1</sup>)

○Shuhei Ohno<sup>1</sup>, Kasidit Toprasertpong<sup>1</sup>, Shinichi Takagi<sup>1</sup>, Mitsuru Takenaka<sup>1</sup>

(The University of Tokyo<sup>1</sup>)

E-mail: ohno@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】近年、様々な分野でニューラルネットワークを用いた機械学習が注目を集めている。その学習過程でボトルネックとなる行列計算を高速化し性能を向上させるため、既存のフォン・ノイマン型計算機の性能を超えた深層学習向けコンピューティング技術が必要とされている。この課題を解決するため、近年 Si フォトニクス技術をもとにした光集積回路によるニューラルネットワークの研究が活発化している。先行研究では、マッハ・ツェンダー型光スイッチを組み合わせた光集積回路によるニューラルネットワークで、4種類の母音の識別に成功している[1]。しかし、マッハ・ツェンダー型光スイッチの素子サイズは大きく、集積規模を大きくする際の障壁となる。そこで我々は、マッハ・ツェンダー型光スイッチに対して素子面積を小さくすることができるリング共振器[2]に注目し、Fig. 1のようなニューラルネットワーク向け光集積回路を提案する。互いに異なる共振波長をもつリング共振器をアレイ状にした回路構成となっている。多波長光源を光入力とし、リング共振器の位相シフトにより重みを設定することで、深層学習で必要となる積和演算を光信号のみで実行可能となる。本研究では、SOI 基板上にリング共振器を集積した Si 光回路を作製し、その動作を検証したので報告する。

【素子作製】作製した光回路の構造を Fig. 2 の挿図に示す。3 dB カプラで一つの光源から疑似的に2入力光源をつくり、それぞれ異なるリング共振器で共振された光の合計を測定する回路構成とした。Si 光導波路は電子線リソグラフィと SF<sub>6</sub> 及び CHF<sub>3</sub> によるドライエッチングを用いて形成した。PECVD で SiO<sub>2</sub> 保護膜を堆積した後、リング部分にタングステンヒーターを堆積し、熱光学位相シフトを形成した。光入出力部にはグレーティングカプラを形成した。

【実験結果】まず単一の波長可変レーザーを光回路の入力側、光パワーメーターを出力側に結合させ、出力光強度の波長依存特性を測定した。これにより、1560 nm 付近でそれぞれのリング共振器に対応した二つの共振ピークが確認された。次にこれらの共振波長に波長を設定した多波長光信号を、2 台の波長可変レーザーと 3 dB カプラで生成し、素子に入力した。この際、2つの波長信号強度が同一となるように設定した。二つのリング共振器のうち A のヒーターに電圧をかけることで A の共振波長をシフトさせた。このときの光出力強度をスペクトルアナライザーで測定した結果を Fig. 2 に示す。リング B に対応したピーク波長の強度は変化しないのに対し、A に対応したピーク波長の強度は、位相シフト量の増加に従って 0 に近い値まで変化したことが分かる。位相

シフト量に応じてニューラルネットワークの重みを設定することができ、多波長光出力をフォトディテクターで測定し、一括して電気信号に変換することで、Fig. 1 における  $w_{11}x_1 + w_{12}x_2$  の出力を得ることができる。以上の結果から、素子内の二つのリングは独立に制御可能であること、それぞれのリングで共振されて出力された二つの光強度の合計を得ることが可能であることが分かり、提唱した光回路を用いた深層学習動作が可能であることが分かった。

【謝辞】本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託により実施した。

【参考文献】

[1] Y. Shen et al., Nat. Photon., **11**, 441 (2017).

[2] W. Bogaerts et al., Laser Photon. Rev., **6**, 47 (2012).

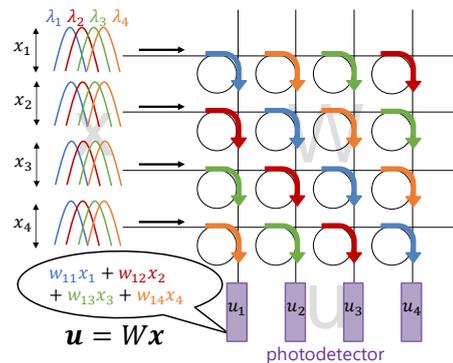


Fig. 1: Photonic integrated circuit for neural network using ring resonator.

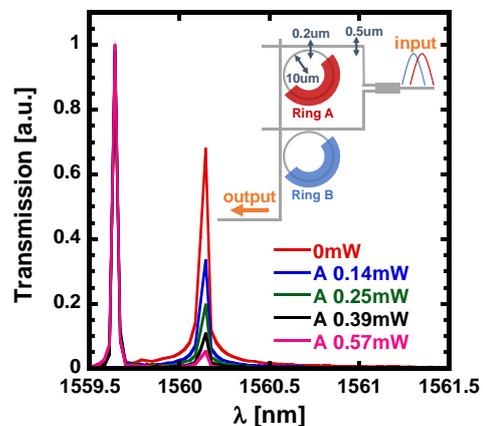


Fig. 2: Experimental result of photonic circuit for evaluation of matrix operation of Fig. 1.