

# 不揮発光ゲートスイッチと畳み込みニューラルネットワーク応用

## Nonvolatile optical gate switch and application to convolutional neural network

東工大, °庄司 雄哉, 村井 俊哉, 水本 哲弥

Tokyo Tech, °Yuya Shoji, Toshiya Murai, Tetsuya Mizumoto

E-mail: shoji@ee.e.titech.ac.jp

**はじめに:** 近年、光回路を用いた光演算ハードウェア (光アクセラレータ) の研究が注目されている[1],[2]。深層学習などの大規模な情報処理では光のアナログな演算が有効に働く場合があり、ナノフォトニクス技術による微細で高密度な光回路を実現できるようになった影響も大きい。しかし、消費電力や光損失などのスケラビリティについて実用的な規模での議論は十分になされていない。

一方、我々の研究グループでは磁気光学効果を利用した不揮発光ゲートスイッチを研究している。図 1(a)に示すように、リング共振器の上部に CoFeB からなる磁気記録層を形成し、そこにメモリされた磁化で下部の磁気光学ゲート Ce:YIG の発現する磁気光学効果を制御することで不揮発な光ゲートスイッチとして動作する。図 1(b)に示すように、制御電流値に対してアナログ的な光透過率の変化を確認している[3]。今回、この不揮発光ゲートスイッチの光アクセラレータへの応用可能性を考え、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 内の比較的小規模な単位で演算を行う畳み込みフィルタへの応用を検証した。

**ネットワークモデル:** CNN のモデルとして有名な AlexNet を想定した[4]。AlexNet は  $224 \times 224 \times 3$  (RGB) 画素の画像データに対して畳み込み 5 層とプーリング 3 層で深層学習を行う。この畳み込み層を、縦列接続したリング型不揮発光ゲートスイッチと波長多重化した入力信号で積和演算するデバイス構成を検証した。

畳み込みフィルタは  $5 \times 5$  程度の 1 次元積和演算を入力データ列に対して掃引する形で繰り返す。この演算を時間軸、波長軸、空間軸 (素子数) にどう配置するかで何パターンかのケースを想定し、素子数、消費電力、速度、サイズを見積もった。光変調器、光検出器の消費電力を  $1\text{pJ/ baud}$ 、不揮発光ゲート素子の消費電力を  $8\text{nJ/ switch}$  とし、多波長光源の電力は無視した。表 1 はそのうち 3 つを抜粋したもので、Case 1 は不揮発素子を畳み込みフィルタとして空間軸に多く配置した場合、Case 3 は時間軸に多く配置した場合、Case 5 は入力データを不揮発光

ゲート素子に配置した場合である。他のケースや仮定の詳細は当日報告する。

**まとめ:** 素子数に関しては何万素子という従来にない集積度の実現が必要であるが、消費電力やサイズについて現実的な規模で AlexNet に対応できることがわかった。並列演算した結果の和算、プーリング、最終段の全結合層などは電子回路で行うことを想定している。今後は、それらを含めた電子回路との比較検討が必要である。

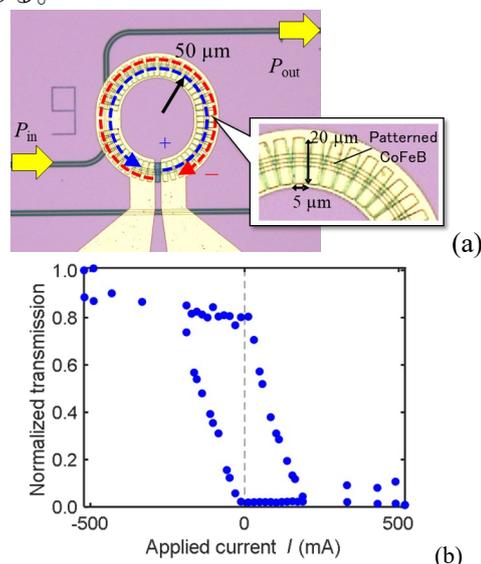


Fig. 1: Nonvolatile optical gate switch [3]

Table 1. Comparison of photonic CNNs

	Case 1	Case 3	Case 5
スイッチ回数	1	1,123	5
素子数	約 375 万	約 1.2 万	約 29 万
消費電力	46 mW	202 mW	200 mW
速度	0.43 $\mu\text{s}$	724 $\mu\text{s}$	65.5 $\mu\text{s}$
サイズ (mm)	188 $\times$ 150	9.6 $\times$ 8.0	45 $\times$ 40

**謝辞:** 本研究の一部は、JST CREST #JPMJCR15N6 及び #JPMJCR18T4、科研費 #19H02190、NEDO の支援を受けて行われた。

**参考文献:** [1] Y. Shen, et al., Nat. Photon. **12**, 441 (2017). [2] K. Kitayama et al., APL Photonics **4**, 090901 (2019). [3] T. Murai, et al., Opt. Express **28**, 31675 (2020). [4] A. Krizhevsky, et al., NIPS 2012, 1106-1114. (2012)