低消費電力半導体光増幅器による光リザーバコンピューティング

Photonic Reservoir Computing Using Low-Power-Consumption SOA

NTT 先端集積デバイス研究所　○鶴谷 拓磨，開 達郎，中島 光雅，相原 卓磨，
Diamantopoulos Nikolaos-Panteleimon，藤井 拓郎，瀬川 徹，松尾 慎治
NTT Device Technology Labs, NTT Corporation, ○Takuma Tsurugaya, Tatsurou Hiraki, Mitsumasa Nakajima, Takuma Aihara, Nikolaos-Panteleimon Diamantopoulos, Takuro Fujii, Toru Segawa, and Shinji Matsuo, E-mail: takuma.tsurugaya.fa@hco.ntt.co.jp

1. 背景

光の伝搬や光デバイスの応答を活用し、高速かつ低消費電力な情報処理を実現する光リザーバコンピューティング（RC）が精力的に研究されている。専用の線形光回路を構築し、処理対象の光信号を伝搬させることで、RC に要される線形演算を超高速かつ消費電力ゼロで実行できる[1,2]。

一方、非線形演算を光領域において低消費電力かつ低光パワーで実行することは容易でなく、典型例としては数百 mW の電力を消費する半導体光増幅器（SOA）[3]や数百 μW ~ 数 mW の入力光パワーを要する過飽和吸収体[4]などが光 RC 用途の非線形素子としてよく用いられている。

我々は小型かつ低消費電力なアクティブ光デバイスの研究開発に取り組んでおり、特に近年開発した薄膜 SOA[5,6]は、その低消費電力性および低入力光パワーでの非線形性から、電力効率に優れた光 RC 実現のキーコンポーネントとして期待される。本研究では、薄膜 SOA の非線形性を積極的に活用した光 RC の構成を提案、実装し、低消費電力かつ低パワースケールな光リザーバの動作を実証したため、その結果を報告する。

2. 光 RC の構成

構築した光 RC 系の概略を Fig. 1 に示す。光ファイバおよび光サーキュレータからなる遅延ループが薄膜 SOA チップ内の Si 系導波路と低損失に結合しており、一度 SOA で増幅された光信号が対向側から再度 SOA に入射する自己フィードバック系が構成されている。このとき、入力光信号のバイアスパワーを十分に大きく設定し、SOA を飽和領域で動作させると、入力光とフィードバック光との間での相互利得変調（XGM）が発現し、一方の波形がもう一方の波形に極性反転を伴って転写される。これによって過去の入力信号の保持および信号の非線形変換がもたらされる。薄膜 SOA の構造を Fig. 1(b),(c)に示す。小さな活性体積、強い光閉じ込めを特徴としており、これにより低電力性が得られる。従来の遅延ループ構成[2-4]と同様に、処理対象の入力信号にマスク関数を重畳することで遅延ループに沿って仮想ノードを配置した。ループ遅延時間 τ = ~54 ns、総ノード数 N = 200 とした。ループ内に光カプラを挿入し、一部の光をタップしてその強度（$P_{out,1}$）の時間波形を測定することでリザーバ応答を得た。

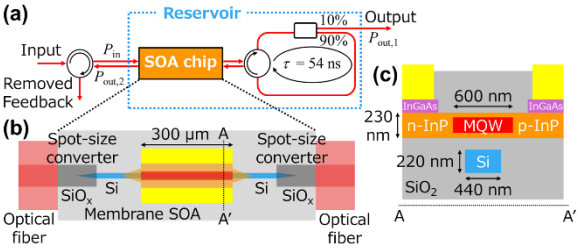

Fig. 1 (a) Schematic illustration of photonic RC using SOA. (b) Plane and (c) cross-sectional views of membrane SOA.

3. 実験結果

薄膜 SOA への注入電流を 20 mA（消費電力 33 mW）、光ファイバ段（P_{in}）での入力光バイアスパワーを 160 μW とした際のリザーバのインパルス応答（入力パルス幅 1 ns）を Fig. 2(a)に示す。遅延時間 τ を一周期として一周ごとに極性が反転する応答が得られていることから、XGM が発現していることが確認できる。同一の駆動条件下で Santa-Fe タスク[7]を解いた結果を Fig. 2(b)に示す。訓練用として 3,000 点、評価用として 1,000 点のデータ点を用いた。他の実験的な光 RC での値[7]と同程度である NMSE = 0.153 というスコアが得られた。以上の結果から、薄膜 SOA が低消費電力、低入力光パワーで顕著な非線形応答を示し、RC に適した非線形性をもたらすことを確認した。

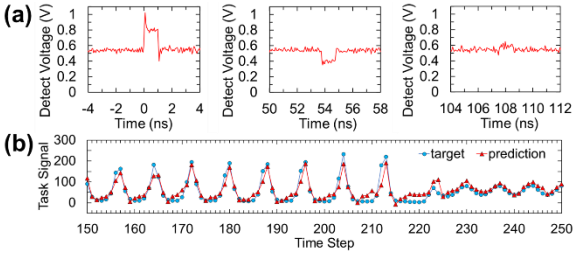

Fig. 2 (a) Impulse response. (b) Santa-Fe time-series prediction.

参考文献

[1] K. Vandoorne et al., *Nat. Commun.* **5**, 3541 (2014).
[2] 中島他、第 80 回応物秋季学術講演会 19p-F211-8 (2019).
[3] F. Duport et al., *Optics Express* **20**, 22783-22795 (2012).
[4] A. Dejonckheere et al., *Optics Express* **22**, 10868-10881 (2014).
[5] 開他、第 66 回応物春季学術講演会 11p-W331-4 (2019).
[6] T. Hiraki et al., *J. Light. Technol.* **38**, 3030-3036 (2020).
[7] Y. Kuriki et al., *Optics Express* **26**, 5777-5788 (2018).

© 2021年 応用物理学会