

Si-MZI 上メンブレン SOA による光リザーバコンピューティング

Photonic Reservoir Computing Utilizing Membrane SOAs on Si-MZI

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

1. 背景

光の特長を活用したニューラルネットワークとして、光リザーバコンピューティング (RC) が注目を集めている。我々は、半導体光増幅器 (SOA) 中の相互利得変調 (XGM) とファイバ遅延線を用いた光 RC を提案している[1,2]。本方式では、SOA の両端に光サーキュレータ (CIR) を配置することで、SOA を通過する対向方向の入出力信号を分離する。これによって遅延帰還光がファイバ遅延線を周回しないようにし、安定動作を実現している。このとき、コンパクトかつ安定な光 RC 回路実現のためには光源や遅延線を含む全ての光素子をオンチップで集積化することが望ましいが、CIR はチップ上への集積が容易でなく、これが将来的な集積化に向けての課題となっていた。

そこで本研究では、オンチップでの入出力信号分離を可能とする素子構成として、Si 導波路で形成されたマッハツェンダー干渉計 (MZI) の両アームに SOA がヘテロ集積された構成を提案し、CIR を用いずに光 RC を実装して動作を実証した。

2. Si-MZI 上メンブレン SOA

作製した素子の構成および実装した光 RC 系の構成を図 1 に示す。Si 導波路から成る 2 つの多モード干渉計 (MMI) によって MZI が形成され、その両アームに InP 系のメンブレン SOA および位相シフタ (PS) が集積されている[3,4]。各々の PS への印加電圧を制御することで bar/cross のうち片方のポートにだけ光を出力させるようにできる。左下から入力された光信号はまず MMI で分岐して両アームの SOA に入射し、その後 MMI での干渉を経て右下 (bar ポート) から出力される。その出力光の一部はタップされて測定され、残りは遅延線を経て右上から帰還光として入射する。その帰還光は、入力光と同様、両アームの

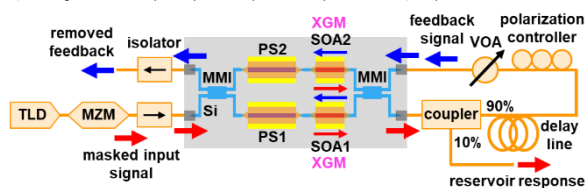


Fig. 1 Schematic illustration and operation principle of the XGM-based reservoir circuit implemented with the SOA-MZI chip. Attenuation of the VOA was set at -4 dB.

SOA に入射した後に左上から出力される。これによって、両アームの SOA で対称に XGM を起こしながら入出力信号を分離することができる。

3. 光 RC 動作実証

本光 RC の動作には、SOA が十分な利得および飽和的非線形を示す必要がある。これを満たすために $I_{SOA1} = I_{SOA2} = 15 \text{ mA}$ とした。まず、入力方向/帰還方向のいずれか一方から -2 dBm の光を入力した際の SOA-MZI チップの分岐比を評価した。 $V_{PS1} = 1 \text{ V}$, $V_{PS2} = 2.25 \text{ V}$ とすることで、いずれの方向でも 20 dB を超える分岐比が得られ、入力光と遅延帰還光を高い消光比で分離できることを確認した。次に、入力光バイアスパワー (信号のゼロレベルに対応) を -1 dBm として図 1 の光 RC 回路を動作させた。図 2(a)はリザーバのインパルス応答 (入力パルス幅 1 ns) であり、遅延時間 $\tau \sim 48 \text{ ns}$ に対応するタイミングで極性反転した応答パルスが現れていることから、XGM の発現が確認できる。図 2(b)は Santa-Fe タスク[1,2]の処理結果である。ノード数、マスク関数、訓練用/評価用データ点数は[1,2]のそれと同一とした。NMSE = 0.103 という優れた処理性能が得られた。このとき、SOA-MZI チップの総消費電力はわずか 47 mW に抑えられていた。これはメンブレン素子の特長である低電力性[1-4]に由来している。

以上の結果から、本提案構成により、CIR を要さずに入出力信号を分離しながら XGM を引き起こし、光 RC を動作させられることを確認した。

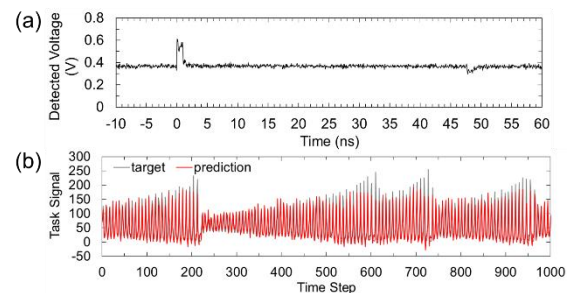


Fig. 2 (a) Impulse response. (b) Santa-Fe time-series prediction.

参考文献

- [1] T. Tsurugaya et al., *CLEO 2021*, AW2E.5 (2021).
- [2] 鶴谷他、第 68 回応用物理学会春季学術講演会 19p-Z34-3 (2021).
- [3] T. Hiraki et al., *J. Light. Technol.* **38**, 3030-3036 (2020).
- [4] T. Aihara et al., *OFC 2020*, M2B.5 (2020).