回路トポロジーに基づく高分解能な電気・光デジタル／アナログ変換器

High resolution coherent electro-optical digital-analog converters based on circuit topology

北 翔太 [1,2], コン グアンウェイ [3], 野崎 謙悟 [1,2], 前神 有里子 [3], 大野 守史 [3], 山本 宗継 [3],
山田 浩治 [3], 新家 昭彦 [1,2], 納富 雅也 [1,2]
(1. NTT ナノフォトニクスセンタ, 2. NTT 物性研, 3. 産総研)
°S. Kita[1,2], G. Cong[3], K. Nozaki[1,2], Y. Maegami[3], M. Ohno[3], N. Yamamoto[3],
K. Yamada[3], A. Shinya[1,2], and M. Notomi[1,2]
(1. NTT Nanophotonics Center, 2. NTT Basic Research Labs., 3. AIST)
E-mail: syouta.kita.ue@hco.ntt.co.jp

低レイテンシかつ低消費電力な光電融合アクセラレータ [1]における不可欠なパーツの一つとして、「電気デジタル信号」を「光アナログ信号」にシームレスに変換する電気・光デジタル／アナログ変換器 (E-O DAC) を提案・実証してきた [2]。同回路は精度よく作製可能な Y 分岐のみでビットの重み付けを完了し、電気光学変調器を並列に配置する構成であるため、低遅延性・低損失性・低雑音性のすべてを満たす現状で唯一の構成である。本構成によって信号雑音比が最大化されることで、これまでにない高分解能動作が期待されている。今回は同 E-O DAC の 8 ビット動作と波長低依存動作を報告する。

実験構成を Fig. 1(a)に示す。4 つの MZI の両アームに位相変調器 (PM) を導入し、これらを並列かつ入れ子に接続した構成とした。PM は縦型 PN 接合によるキャリア引き抜き型であり、長さは 2 mm とした。実験構成による E-O DAC 動作を(b)に示す。各 PM のバイアス電圧および電圧振幅 V_{pp} を 1 – 10 mV の範囲で微調整した上で、8 つの並列なデジタル信号を”00000000”から”11111111”まで順次入力したところ、直接検波において入力ビット数に応じたノコギリ波形の光出力が得られた。さらに入力ビット数を増やすほど、信号波形の階調数が増大してスムーズになることを確認した。コヒーレント型の E-O DAC の報告例 [3]はいくつかあるが、8 ビット動作はこれまでに例がない最大規模である。一方 1550 nm で校正した状態で入力波長を 1500 - 1600 nm に変化させた場合の 4 ビット波形の出力を(c)に示す。出力波形の変化は入力波長の変化に対して予想以上に小さいことが確認された。1550 nm 入力に対する出力を基準とした各入力波長における出力との平均二乗平方誤差 (RMSE) を(d)に示す。およそ C バンド帯の範囲で RMSE が 0.1 未満となることが確認された。各ビットアームを等長化したため原理的に波長無依存な回路ではあったが、PM が 2 mm と長いことを踏まえると、各波長間の位相誤差がこれほど小さいのは意外である。本回路のオンチップ損失は 4.2 dB 程度で、内訳は 78%が PN リブ導波路および Si 細線での伝搬損失、13%が回路構成による損失（ただしビット分解能の向上によりほぼロスレスになる）、9%が Y 分岐の挿入損失（一つあたり 0.1 dB 程度）であることを踏まえると、今後 PM の短尺化・高密度化によって更なる低遅延化・低損失化が見込めるが、変調効率が同一であれば V_{pp} とトレードオフになる。光電融合アクセラレータのデータ入力部のための小型化を現在検討している。本研究は CREST (#JPMJCR15N4), JST の支援を受けた。
参考文献 1) Y. Shen et al., *Nat. Photon.* **11**, 441 (2017). 2) S. Kita et al., *SPIE OPTO* **11299-30** (2020). 3) J. Meng et al., *Adv. Photonics Res.* **2000033** (2020).

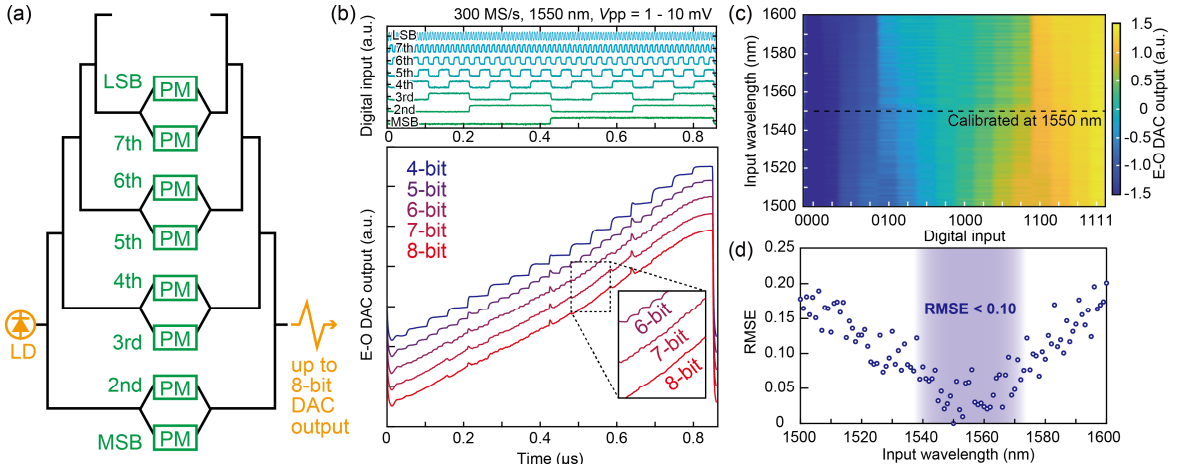

Fig. 1 High resolution E-O DAC based on circuit topology. (a) Experimental configuration. (b) Input digital signals and E-O DAC output with different bit resolution. The inset magnifies the difference between higher bit resolution waveforms. (c) Input wavelength dependence for 4-bit operation. (d) RMSE calculated from (c).

© 2021年 応用物理学会