

Clements 型 16 入力 16 出力光行列演算回路の動作実証

Demonstration of a Clements-type 16-input 16-output photonic matrix processor

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性研², NTT CS 研³, 産総研⁴, 北 翔太^{1,2}, 野崎 謙悟^{1,2}, 高田 健太^{1,2}, 池田 幸平^{1,2}, 青山 一生³, 鈴木 恵治郎⁴, 前神 有里子⁴, 大野 守史⁴, コン グアンウェイ⁴, 山本 宗継⁴, 山田 浩治⁴, 新家 昭彦^{1,2}, 澤田 宏³, 納富 雅也^{1,2}
NTT NPC¹, NTT BRL², NTT CSL³, AIST⁴, S. Kita^{1,2}, K. Nozaki^{1,2}, K. Takata^{1,2}, K. Ikeda^{1,2}, K. Aoyama³, K. Suzuki⁴, Y. Maegami⁴, O. Morifumi⁴, G. Cong⁴, N. Yamamoto⁴, K. Yamada⁴, A. Shinya^{1,2}, H. Sawada³, and M. Notomi^{1,2}
E-mail: syouta.kita.ue@hco.ntt.co.jp

Si フォトニクスによる大規模集積回路の成熟¹⁾と, MIT によるオンチップ光学干渉系を用いた光行列演算回路および音声認識の実証²⁾がきっかけとなり, アナログ光演算を主体としたアクセラレータが様々な機関で開発されている. 我々は光行列演算器としてより高い忠実度 (Fidelity) を実現しやすいとされる Clements 型³⁾に着目し, 前回すでに電極数 25 の 5 入力 5 出力の光行列演算回路による所定のユニタリ変換および分類タスク動作を実証した⁴⁾. 今回は電極数を一気に 440 にまで増大させた 16 入力 16 出力の回路を実装し, 一部の行列演算動作を確認したので報告する.

作製した 16 入力 16 出力の Clements 型光行列演算回路の Si フォトニクスチップの光学顕微鏡写真を Fig. 1(a)に示す. 前回とのデバイスとしての相違点は, 複素数入力が可能であることと, ビームスプリッタに低損失 ($\sim 0.05\text{dB}$) な方向性結合器を用いたことである. 回路の動作としては, まず連続光を 16 個に等分配し, 各変調器を介して入力電気信号を光アナログ信号に変換する. これらの光信号を所定の重みが入力された光行列演算回路に入力し, 所望の 16×16 要素の複素行列演算を実行する. 本チップを光電実装したものの写真を Fig. 1(b)に示す. 今回は電極数が多いためインターポーザをボンディングし, LGA ソケットおよび PCB を経由することで外部の大規模電圧源に接続した. さらにパッケージ全体の温度を安定化させるため, ペルチェ素子とサーミスタにより温度制御を実施した. 本回路の全ての移相器を校正した後, 行列演算回路としての動作の妥当性を検証するために, ランダムなユニタリ変換を実装した場合の測定値と理論値の相関を調べたところ, Fig. 1(c)のようになった. Fidelity の指標として R^2 決定係数を求めたところ元々 0.485 であったが, 温度と理論モデルにおけるパラメータ調整を導入した状態で 0.859 まで改善した. 校正後に単位行列を実装した結果を Fig. 1(d)に示す. このように消光比 10 dB 以上の行列演算動作の一例を確認した. 現在, MNIST などの分類タスクの精度の評価を進めているところであるが, 詳細は当日報告する. 参考文献 1) K. Ikeda et al., *Opt. Commun.* **466**, 125677, (2020). 2) Y. Shen et al., *Nat. Photon.* **11**, 441 (2017). 3) W. R. Clements et al., *Optica* **3**, 1460 (2016). 4) 北ら, 秋季応物 **11p-N207-1** (2021).

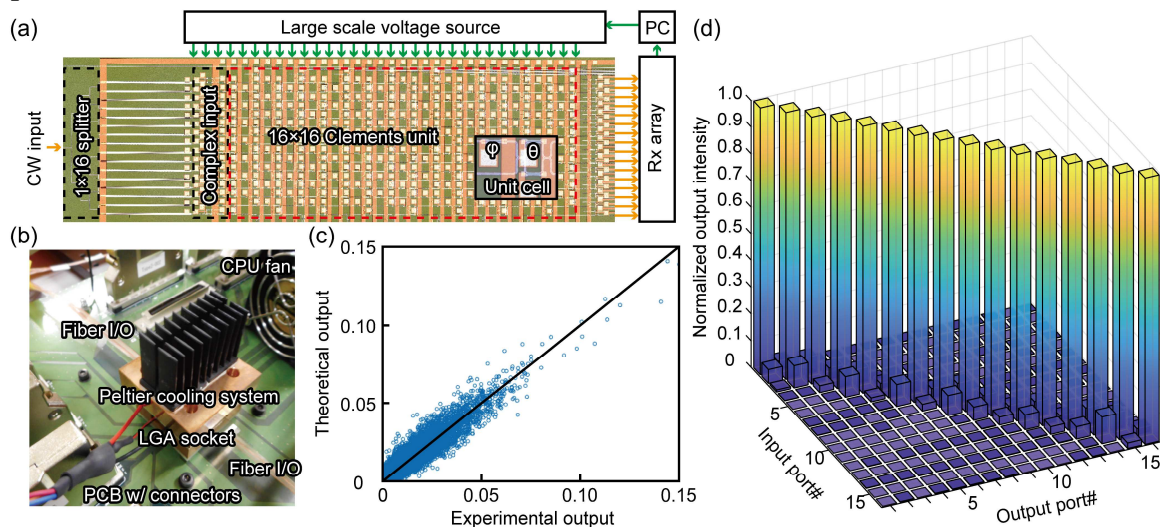


Fig. 1 Demonstration of a Clements type 16×16 photonic matrix processor. (a) Measurement system and optical microscope images of the circuit. (b) Picture of the package silicon die with temperature control system. (c) Correlation of the observed values and the theoretical values against random unitary transformations after the calibration. (d) Matrix processing for 16×16 identity matrix.