

AI 応用に向けた異種材料集積プログラマブル光回路

Heterogeneous Programmable Photonic Integrated Circuits for AI Applications

東大院工¹ ○竹中 充¹, 李 強¹, 大野 修平¹, 高木 信一¹

Univ. Tokyo¹, Mitsuru Takenaka¹, Qiang Li¹, Shuhei Ohno¹, Shinichi Takagi¹

E-mail: takenaka@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

50 年以上に渡り CMOS 電子回路の性能向上を支えてきた半導体微細化、いわゆるムーアの法則は物理的限界に近付きつつあり、今後 10 年程度で終焉を迎えると危惧されている。一方、高度な人工知能を実現するために、一層のコンピューティング能力向上が必要とされており、ムーアの法則に依らない革新的コンピューティング技術が求められている。

このような背景の下、プログラマブル光回路を用いた光演算に注目が集まっている。多数の光位相シフタを配したスイッチ網回路を用いることで任意の行列演算が可能であることを活かして、MIT らのグループがプログラマブル・シリコン光回路を用いた深層学習動作を実証し、ムーアの法則に依らない新たなコンピューティング技術の可能性を示した[1]。しかし、プログラマブル・シリコン光回路で主に用いられている熱光学位相シフタは動作電力が大きく、大規模集積化には不向きである。また動作速度も遅く、回路の切り替えに時間を要することも問題となる。

我々は、シリコン光導波路上に化合物半導体薄膜を貼りあせたハイブリッド MOS 型光位相シフタを提唱・実証してきた[2-4]。化合物半導体 MOS 界面に蓄積した電子による屈折率変化を用いることで、超低消費電力かつ高速に位相シフタを制御可能であることを示し[5]、熱光学位相シフタを置き換えたプログラマブル光回路の深層学習応用について研究を進めてきた[6]。本講演ではハイブリッド MOS 型光位相シフタを用いたプログラマブル光回路の AI 応用について論じる。

- [1] Y. Shen *et al.*, “Deep learning with coherent nanophotonic circuits,” *Nat. Photonics*, vol. 11, no. 7, pp. 441–446, Jun. 2017.
- [2] J. Han, M. Takenaka, and S. Takagi, “Suppression of void generation in direct wafer bonding for Si high-k MOS optical modulators using Al₂O₃/HfO₂ bonding interface,” *International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2015)*, A-3-4, Sapporo Convention Center, September 2015.
- [3] J. Han, M. Takenaka, and S. Takagi, “Extremely high modulation efficiency III-V/Si hybrid MOS optical modulator fabricated by direct wafer bonding,” *International Electron Devices Meeting (IEDM’16)*, 25.5, San Francisco, 7 December 2016.
- [4] J.-H. Han, F. Boeuf, J. Fujikata, S. Takahashi, S. Takagi, and M. Takenaka, “Efficient low-loss InGaAsP/Si hybrid MOS optical modulator,” *Nature Photonics*, vol. 11, no. 8, pp. 486–490, Jul. 2017.
- [5] Q. Li, J.-H. Han, C. P. Ho, S. Takagi, and M. Takenaka, “Ultra-power-efficient 2 × 2 Si Mach-Zehnder interferometer optical switch based on III-V/Si hybrid MOS phase shifter,” *Optics Express*, vol. 26, no. 26, pp. 35003–35012, 2018.
- [6] M. Takenaka *et al.*, “III-V/Si hybrid MOS optical phase shifter for Si photonic integrated circuits,” *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, vol. 37, no. 5, pp. 1474–1483, March 2019 (*invited*).