

確率的クロスバーアレイを構築するための超伝導シナプスの動作実証

Demonstration of a superconducting synapse for a stochastic crossbar array

横国大先端科学高等研究院¹, 産総研 G-QuAT², 九州大学³

○羅文輝¹, 竹内尚輝², 陳オリビア³, 吉川信行¹

IAS, Yokohama Nat'l Univ.¹, G-QuAT, AIST², Kyushu Univ.³

○Wenhui Luo¹, Naoki Takeuchi², Olivia Chen³, Nobuyuki Yoshikawa¹

E-mail: luo-wenhui-jm@ynu.ac.jp

クロスバーアレイは、二次元のグリッド構造であり、高密度のデバイス集積と効率的なデータ処理が可能となる[1]。本研究では、確率的演算ベースの超伝導クロスバーアレイ (SC-CBA) を構築するため、クロスポイントのスイッチ素子である確率的超伝導シナプス回路の提案および動作実証を行う。

Fig. 1 に本研究で提案する SC-CBA の概略図を示す。入力データはストカスティック数生成器を用いてストカスティックビット列に変換し、SC-CBA に印加する。超伝導シナプス回路は、SFQ コンパレータであり、制御電流を調整することで、出力ビット列 S_{out} に含まれる 1 の確率と入力ビット列 S_{in} に含まれる 1 の確率の比率を制御できる (この比率が重み w を表す: $w = P_{S_{out}=1} / P_{S_{in}=1}$)。しかし、個々の SFQ コンパレータの制御電流を調整するためには、たくさんの入力ケーブルが必要になり、SC-CBA のスケーラビリティが低下してしまう。そこで、JJ を dc-SQUID に置き換えて、磁束 D/A 変換器 (Φ -DAC) [2]により dc-SQUID への印加磁束をオンチップで調整することで、スケーラビリティの高い w の制御を目指す。

AIST の Nb 10 kA/cm² プロセス (HSTP) [3] を使用してシナプス回路を設計および作製し (Fig. 2)、実験的に dc-SQUID に印加された磁束により出力確率と入力確率の比率の制御を行った。さらに、確率の比率と印加磁束の依存

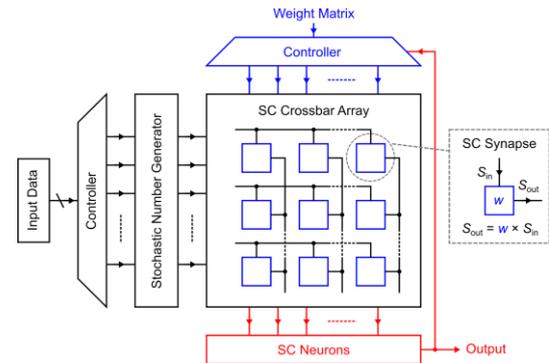


Fig. 1 SC-CBA の概略図

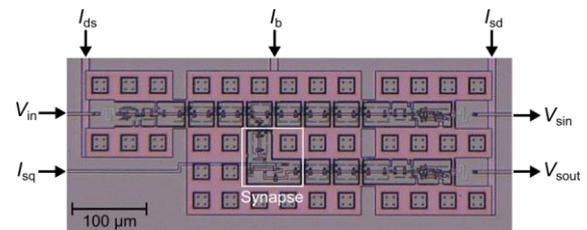


Fig. 2 シナプス回路のチップ写真

性をシミュレーション結果と比較し評価した。

謝辞

本研究に使用された回路は、産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導量子回路試作施設 (Qufab) において作製された。本研究は JSPS 科研費 (JP22H00220) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] D. B. Strukov et al., Nature, vol. 453, no. 7191, pp. 80–83, May 2008.
- [2] N. Takeuchi et al., Physical Review Research, vol. 5, no. 1, p. 013145, Feb. 2023.
- [3] N. Takeuchi et al., Supercond. Sci. Technol., vol. 30, no. 3, p. 035002, Mar. 2017.