

超伝導量子アニーリングマシン工学：設計・製造・実装技術

Engineering for Superconducting Quantum Annealing Machines

産総研 川畑史郎

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Shiro Kawabata

E-mail: s-kawabata@aist.go.jp

量子アニーリングとは、量子揺らぎを制御することで組合せ最適化問題を解く数学的手法である。2011年にD-Wave Systems社が、超伝導量子アニーリングマシンを商用化し、それ以来量子アニーリングに大きな注目が集められるようになった。さらに2020年に、同社は5000量子ビット級のD-Wave Advantageの販売を開始した。しかしながら、D-Wave Systems社が用いているニオブ磁束量子ビットのコヒーレンス時間は計算時間に比べて桁違いに短いという問題点が指摘されている。さらに、実ビジネスに適応するためには、最低でも100万量子ビットの集積化が必要となる。そのため、現在量子コヒーレンスと集積度の大幅改善を目指した研究開発が国内外で進められている。本講演においては、ハードウェアの最新研究動向に加えて、大規模化と高コヒーレンス化に必要な様々な工学技術について紹介を行う。

産総研は、2016年より三次元実装技術と特定組合せ最適化問題専用アーキテクチャを利用した超伝導量子アニーリングマシン [1] をNEDOプロジェクトにおいて開発中である。図1(b)に、設計・製造した3量子ビットの（古典NOR回路 [図1(a)] の論理動作に対応した）超伝導量子アニーリングマシンを示す。図1(c)は、極低温下におけるアニーリング動作の測定結果である [2]。NOR回路の真理値表に対応する出力が得られていることがわかる。

超伝導量子アニーリングマシンを大規模化するためには、三次元実装技術の利用が不可欠となる。我々は、三次元実装技術の要である超伝導シリコン貫通ビア (TSV) やフリップチップボンディング技術の開発を行っている。講演においては、超伝導三次元実装技術に加えて、回路設計・検証ツール、熱シミュレーション、量子アニーリング理論 [3] の成果についても紹介する。

本講演で発表した研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) の結果得られたものです。

[1] M. Maezawa, G. Fujii, M. Hidaka, K. Imafuku, K. Kikuchi, H. Koike, K. Makise, S. Nakagawa, H. Nakagawa, M. Ukibe, and S. Kawabata, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 061012 (2019).

[2] D. Saida, Y. Yamanashi, F. Hirayama, K. Imafuku, M. Hidaka, S. Nagasawa, Y. Araga, S. Kawabata, The 33rd International Symposium on Superconductivity (ISS2020), ED6-3-INV (2020).

[3] S. Watabe, Y. Seki, S. Kawabata, Sci. Rep. **10**, 146 (2020).

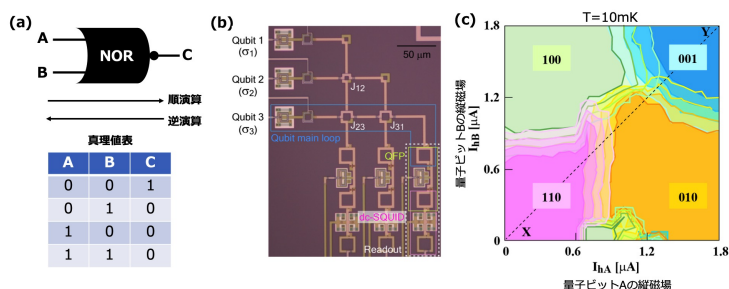


図 1: 超伝導量子アニーリングマシン。(a) 古典 NOR 回路と真理値表。(b) 対応する 3 量子ビットニオブ超伝導量子アニーリングマシンの顕微鏡写真。(c) $T=10\text{mK}$ におけるアニーリング動作の実験結果。