

【基盤研究(S)】

大区分C



研究課題名 量子超越性を実証する超伝導スピントロニクス大規模量子計算回路の創出

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

やました たらう
山下 太郎

研究課題番号：19H05615 研究者番号：60567254

キーワード：超伝導デバイス、スピントロニクス、量子計算

【研究の背景・目的】

近年、超伝導体を用いた量子計算機の実現を目指し全世界的な競争が加熱している。その成否の鍵を握るのが、量子計算機の構成単位である量子ビットの性能を損なうことなく、多数の量子ビットを備えた大規模量子回路を実現できるかどうかという点である。量子ビットにおける重要な性能指標のひとつに、量子状態の寿命を表すコヒーレンス時間があるが、量子ビット数の増加に伴う外因的・内因的雑音の増大や制御困難性によりコヒーレンス時間が低下するため、現状では古典計算に対する優位性を表す「量子超越性」の実証には至っていない。本研究では、超伝導スピントロニクス技術を量子回路及び量子制御回路へ導入することにより、コヒーレンス時間の低下を抑制した大規模な量子計算回路を実現し、量子超越性の実証を目指す。

【研究の方法】

従来の超伝導磁束型量子ビットでは、量子動作のために外部磁場の印加が必要であり、さらに最適動作点と呼ばれるコヒーレンス時間が最長となる動作点を実現するためには磁場の精密な制御が不可欠であった。そこで本研究では、超伝導スピントロニクス素子のひとつである磁性ジョセフソン接合 (π 接合) を量子ビットへ導入した、外部磁場フリー動作が可能な独自の π 量子ビットを用いる。これにより、大規模化における制御困難性を解消することが可能となり、磁場印加配線に起因する雑音増大の抑制も期待される。また良好なコヒーレンス時間を得るためには材料選択も重要だが、我々が開発した雑音源となる酸化物を排除した窒化物接合 (図 1(a)) を採用することで、コヒーレンス性に優れた量子回路を実現する。図 1(b) に試作した π 量子回路の写真を示す。

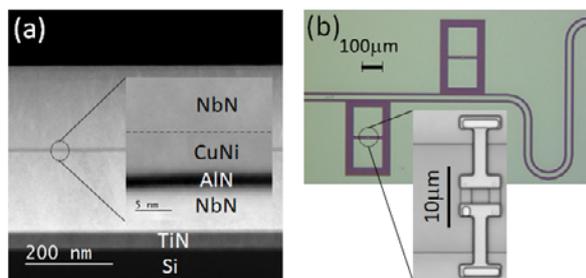


図 1 (a) 窒化物磁性接合の透過型電子顕微鏡写真。
(b) π 量子ビットで構成される π 量子回路の写真。

また、量子回路の大規模化に伴い室温からの量子制御用配線が増加するため、外界からの雑音増大も懸念される。本研究では量子制御回路として極低温動作する超伝導論理回路を用いることで、雑音源の究極的な排除を目指す。量子回路と同じミリケルビンレベルの極低温下での動作を可能とするため、 π 接合の導入により従来の超伝導論理回路を更に低電力化した、独自の半磁束量子回路を実現し量子回路との融合を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究により、コヒーレンス時間を律速する物理的本質の解明に加え、図 2 に示すような量子回路と量子制御回路が一体化した大規模量子計算回路の実現、そして量子超越性の評価を通じた量子計算機の優位性・有効性の実証が期待される。

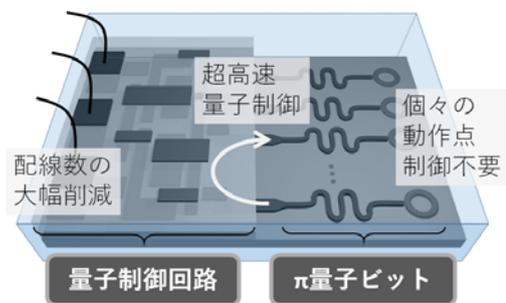


図 2 本研究で目指す大規模量子計算回路の概念図。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Yamashita, K. Tanikawa, S. Takahashi, and S. Maekawa, “Superconducting π Qubit with a Ferromagnetic Josephson Junction,” *Physical Review Letters*, vol. 95, pp. 097001-1-4 (2005).
- ・ T. Yamashita, A. Kawakami, and H. Terai, “NbN-Based Ferromagnetic 0 and π Josephson Junctions,” *Physical Review Applied*, vol. 8, no. 5, pp. 054028-1-5 (2017).

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和 5 年度
156,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.super.nuee.nagoya-u.ac.jp/yamashita@nuee.nagoya-u.ac.jp>