

位相シフト型磁束量子ビットに向けた強磁性ジョセフソン接合の開発

Development of ferromagnetic Josephson junctions for phase-shift flux quantum bits

情通機構¹, JST さきがけ² °山下 太郎^{1,2}, 川上 彰¹, 寺井 弘高¹

NICT¹, JST-PRESTO², °Taro Yamashita^{1,2}, Akira Kawakami¹, Hiroataka Terai¹

E-mail: taro@nict.go.jp

近年、量子計算機の開発が世界的に盛んである。量子計算機の基本要素である量子ビットとして、回路設計が可能でスケラビリティを有する超伝導量子ビットが有力候補として期待されており、Google や MIT を始めとして多くの研究機関が精力的な開発を進めている。超伝導量子ビットには、電荷型、磁束型、位相型、トランズモン等様々なタイプが存在する。その中で磁束量子ビットは、現在でも有力なターゲットとして研究が進められているが、その量子動作のためには定常的に外部磁場を印加することが必要である。ところが、この外部磁場に起因するノイズが量子状態を破壊することによりデコヒーレンス時間が短くなることが懸念されている。またスケラビリティの観点からも、多数の磁束量子ビットに均一な磁場を印加するのは困難である。

この問題を解決するために提案されたのが、強磁性ジョセフソン接合(超伝導/強磁性/超伝導接合)の π 状態を用いて定常的な外部磁場を不要とする位相シフト型の磁束量子ビットである[1,2]。 π 状態は超伝導位相差が π でエネルギー的に安定となる量子状態であるため、この π 状態における位相のねじれを磁束量子ビットへ組み込むことにより、外部磁場ゼロの状態でも量子ビットとして動作することが理論的に示されている。

そこで今回我々は、位相シフト型磁束量子ビットの実現に向けた第一歩として、 π 状態を示す強磁性ジョセフソン接合の開発を行った。超伝導体としては酸化マグネシウム基板上にエピタキシャル成長可能な窒化ニオブ (NbN) を

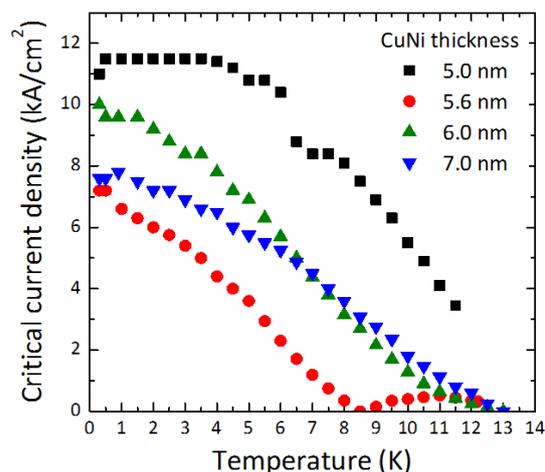


Fig. 1. Temperature dependences of Josephson critical current density of NbN/CuNi/NbN junctions.

用い、強磁性体には希釈磁性体である銅ニッケル (CuNi) 合金を用いた。様々な CuNi 膜厚を有する素子を作製し、ジョセフソン臨界電流の CuNi 膜厚及び温度に対する依存性を測定した結果、0 状態と π 状態の相転移を示すディップ構造が観測された。図 1 に臨界電流密度の温度依存性を示す。CuNi 膜厚が 5.6 nm の素子では 8.5 K 近傍において明瞭なディップ (0- π 相転移) が観測されたほか、CuNi 膜厚 5.0 nm 素子の低温側におけるフラットな温度依存性等の特徴的な振る舞いも観測され、これらは微視的理論によりコンシステントに説明できることが分かった[3]。本研究は、JST さきがけ (課題番号: JPMJPR1669) の支援により行われた。

- [1] T. Yamashita, K. Tanikawa, S. Takahashi, and S. Maekawa, *Phys. Rev. Letts.* **95**, 097001 (2005).
- [2] T. Yamashita, S. Takahashi, and S. Maekawa, *Appl. Phys. Letts.* **88**, 132501 (2006).
- [3] T. Yamashita, A. Kawakami, and H. Terai, *Phys. Rev. Appl.* **8**, 054028 (2017).