量子計算応用に向けた強磁性ジョセフソン接合の作製

Fabrication of ferromagnetic Josephson junctions toward quantum computing applications

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]

NICT[1], JST-PRESTO[2], °Taro Yamashita[1,2], Akira Kawakami[1], Hirotaka Terai[1]

E-mail: taro@nict.go.jp

近年、従来の古典計算機を凌駕する性能への期待から量子計算機の開発が世界的に盛んとなっている。量子計算機の基本要素である量子ビットとしては様々な物理系が提案されているが、回路設計が可能でスケーラビリティを有する超伝導量子ビットが極めて有力な候補として期待されており、最近では Google や MIT を始めとして様々な研究機関や民間企業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、トランズモン等のタイプが存在し、最近でも新しい素子構造が提案され続けている。その中で、Mooij らによって提案された磁束型量子ビットは、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、この外部磁場により生じ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。またスケー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のπ状態を用いて定常的な外部磁場を不要とするπ接合量子ビットである[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り、π接合量子ビットはこのπ状態における位相のねじれを磁束型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、π接合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（超伝導/強磁性/超伝導接合）の作製と評価を行った。超伝導体としては MgO 基板上にエピタキシャル成長可能な NbN を用い、強磁性体には希釈磁性体である CuNi 合金を用いた。作製した素子の電流-電圧特性を測定した結果、明瞭なジョセフソン電流を観測した。図 1 に、ジョセフソン臨界電流（J_C）及び常伝導抵抗（R_N）の接合サイズ依存性を示す。J_C 及び R_N ともに、5 – 50 μm□の様々なサイズの接合に関して良い線形性が得られていることが分かる。講演では、J_C の CuNi 膜厚依存性及び温度依存性を示し、π状態実現の可能性とその条件について詳細に議論する。

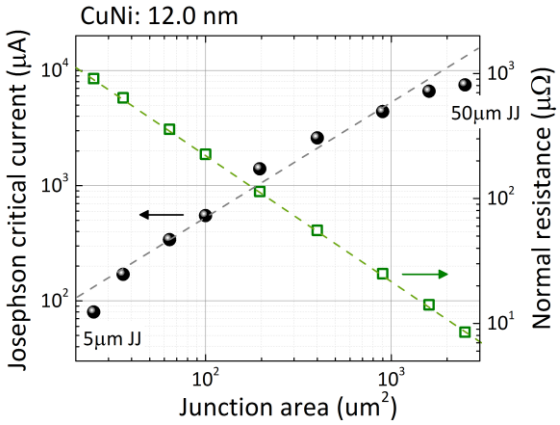

Fig. 1. Junction area dependences of Josephson critical current and normal resistance.

[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).