

量子ビット応用に向けた絶縁層を含む強磁性ジョセフソン接合の開発

Development of ferromagnetic Josephson junctions with insulation layer

for qubit applications

名大院工, °(M1)大場 絢次郎, Pham Duong, (M2)杉本 理駆, 田中 雅光, 山下 太郎, 藤巻 朗

Nagoya Univ., °Kenjiro Oba, Duong Pham, Riku Sugimoto,

Masamitsu Tanaka, Taro Yamashita, Akira Fujimaki

E-mail: oba@super.nucee.nagoya-u.ac.jp

背景

多数の量子ビットを備えた量子計算機の実現に向け、高い非調和性を有する超伝導磁束型量子ビットが注目されている。磁束型量子ビットの集積化に向けた課題は、コヒーレンス時間が最大となる最適動作点へ駆動するために、半磁束量子に相当する外部磁場が定常的に必要となる点である。これを解決する手法として、 π 接合を磁束型量子ビットへ導入した、磁束バイアスフリー磁束型量子ビットが提案されている [1, 2]。

これまで、磁束バイアスフリー量子ビットの実現に向け、窒化物ベースの強磁性 π 接合 (NbN/PdNi/NbN 接合) を作製し、 π 状態の実証を報告した [3]。これは金属的な接合であるが、超伝導層と強磁性層間に絶縁層を挿入した π 接合 (超伝導体/強磁性体/絶縁体/超伝導体接合) を用いることで、準粒子に伴うエネルギー散逸が抑制され、エネルギー緩和時間が改善することが理論的に示唆されている [2]。ジョセフソン臨界電流密度の増加に伴いコヒーレンス時間の向上が見込まれており、例えばジョセフソン臨界電流密度 100 A/cm^2 を有する $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ の接合では、 $10 \mu\text{s}$ 以上のエネルギー緩和時間が期待されるため、ジョセフソン臨界電流密度が 100 A/cm^2 以上の超伝導体/強磁性体/絶縁体/超伝導体接合の作製を目指して研究を行っている。

実験

今回、我々は NbN と格子定数が近い AlN を絶縁体として用いた NbN/PdNi/AlN/NbN 接合の作製を行い、ジョセフソン臨界電流や常伝導抵抗の評価を行った。超伝導体および強磁性体各々の専用チャンバーを備えたマルチチャンバー成膜装置を用い、直流マグネトロンスパッタリングにより、全層を成膜した。Fig. 1 に、作製した PdNi 膜厚 10 nm 、AlN 膜厚 0.6 nm を有する接合面積 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ の電流-電圧特性を示す。オーバードンプ型の電流-電圧特性を示し、 $40 \mu\text{A}$ のジョセフソン臨界電流の観測に成功した。また、この接合が π 接合であるか確認するため、超伝導ループ中に Fig. 1 の接合と同じ PdNi 膜厚、AlN 膜厚をもつ接合面積 $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ の強磁性ジョセフソン接合を 3 つ含む SQUID を作製した。Fig. 3 に作製した SQUID の臨界電流の外部磁場依存性を示す。得られた変調パターンは、通常の SQUID に比べ、原点から半磁

束量子分だけシフトしており、作製した NbN/PdNi/AlN/NbN 接合が π 接合であることを実証した。今回作製した接合面積 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ の NbN/PdNi/AlN/NbN 接合は、ジョセフソン臨界電流密度が 40 A/cm^2 であり、理論的にはこの接合を超伝導量子ビットに組み込むことで、 $10 \mu\text{s}$ のコヒーレンス時間が期待される。講演では、異なる PdNi 膜厚と AlN 膜厚を有する接合等も含め報告する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究(S)(JP19H05615)、特別推進研究(JP18H05211)の支援を受けている。

参考文献

- [1] T. Yamashita *et al.*, Phys. Rev. Lett. **95**, 097001 (2005).
 [2] T. Kato *et al.*, Phys. Rev. B **76**, 172502 (2007).
 [3] 杉本 *et al.*, 第 68 回応用物理学会春期学術講演会, 18p-Z27-1(2021).

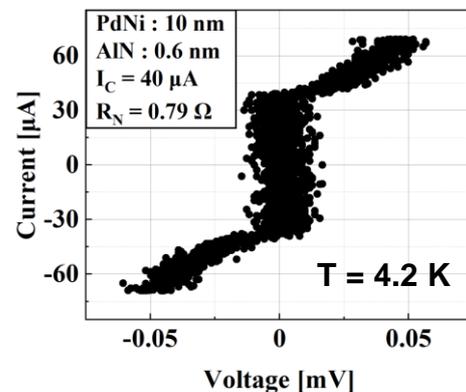


Fig. 1 Current-voltage characteristics of NbN/PdNi/AlN/NbN junction on MgO substrate.

NbN/PdNi/AlN/NbN junctions

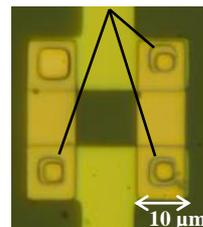


Fig. 2 Photograph of 3-junction-SQUID.

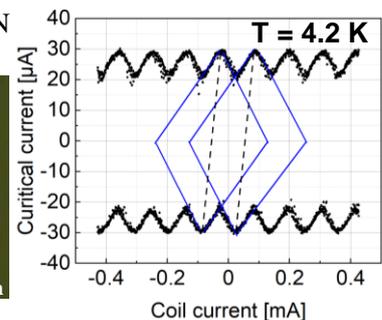


Fig. 3 Modulation pattern of 3-junction-SQUID.