

高透磁率を得るための π 接合を用いた SQUID の解析Analysis of the SQUID based on π -junction for high magnetic permeability

名大院工 ○東正志、竹下雄登、加藤健人、藤澤日向、李峰、
田中雅光、山下太郎、藤巻朗

Nagoya Univ, ○Masayuki Higashi, Yuto Takeshita, Kento Kato, Hinata Fujisawa, Feng Li,
Masamitsu Tanaka, Taro Yamashita, and Akira Fujimaki

E-mail: mhigashi@super.nuee.nagoya-u.ac.jp

背景

室温において、高透磁率を得るために磁性体が用いられている。このとき、磁性体には保持力が小さく、ヒステリシスの小さい特性を持つ軟磁性体が好ましい。しかし、極低温化においては磁性体の保持力が増大し、特性が変化してしまう。このため、超伝導集積回路において高透磁率を得るためには、室温とは異なる材料または素子が必要となる。

我々は π 接合を1つ含む超伝導量子干渉計(以下、 π -SQUID)によって高透磁率を得ることを提案している[1]。 π 接合は超伝導体/磁性体/超伝導体の三層構造を持つ磁性ジョセフソン接合の磁性体層膜厚を制御することで実現することができる[2]。 π -SQUIDは LI_c 積を調整することで、Fig.1に示すようなヒステリシスのない内部磁束-外部磁束特性を得ることができる。原点付近では外部磁束よりも内部磁束が大きく、また損失が非常に小さいと考えられるため、高透磁率を得るための素子として適している。

実験

我々は今回、産業技術総合研究所のNb四層プロセス($J_c=10\text{ kA/cm}^2$)上に π 接合(Nb/PdNi/Nb)を作製し、Fig.2に示す素子を作製した。この素子は3つの $0-\pi$ SQUIDから構成され、dc-SQUIDによって内部磁束を検出する。ここで、 $0-\pi$ SQUIDを構成する π 接合の臨界電流値は 0 接合の臨界電流値よりも十分大きいいため、 $0-\pi$ SQUIDは π -SQUIDと等価な素子とみなせる。実験では、 $0-\pi$ SQUIDがdc-SQUIDの閾値電流 $I_{g,\max}$ の変調パターンに与える影響を評価した。Fig.3に結果を示す。結果から、dc-SQUIDの変調周期が一定ではないことがわかる。Fig.1は実験結果を解析した際のフィッティングパラメータから求めた π -SQUIDの内部磁束-外部磁束特性であり、Fig.1を用いて実験結果について説明する。外部電流 I_{ex} が0のとき、②の $0-\pi$ SQUIDにはバイアス電流 I_g が左右に均等に流れるため、内部磁束は0となる。また、①と③の $0-\pi$ SQUIDにはそれぞれに対して反対の向きにバイアス電流が流れる。このため、それぞれの $0-\pi$ SQUIDはFig.1における3つの赤丸で示す内部磁束を持つ。また、外部電流 I_{ex} を0から正方向に増加させ

ていくと、Fig.1に示す3つの赤丸が正方向にシフトする。dc-SQUIDが検出する内部磁束は3つの $0-\pi$ SQUIDが持つ内部磁束と外部磁束との総和であり、その総和が非線形に変化するため、変調周期が一定ではないと考えられる。

講演では、今回得られた実験結果の詳細な解析について議論を行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費(JP18H05211、JP18H01498、JP19H05615)及びCREST(JPMJCR20C5)の支援を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] 東ほか、応用物理学会秋季学術講演会, 2021年9月.
- [2] V. V. Ryazanov, V. A. Oboznov, A. Yu. Rusanov, A. V. Veretennikov, A. A. Golubov, and J. Aarts, Phys. Rev. Lett., vol. 86, pp. 2427-2430, 2001

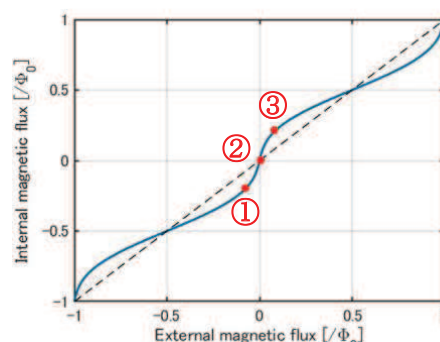


Fig. 1 The characteristic of π -SQUID

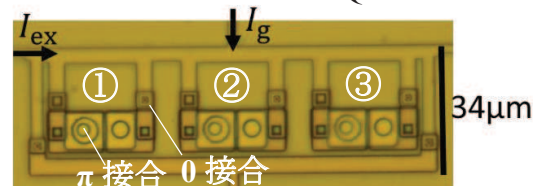


Fig. 2 Photograph of the fabricated element

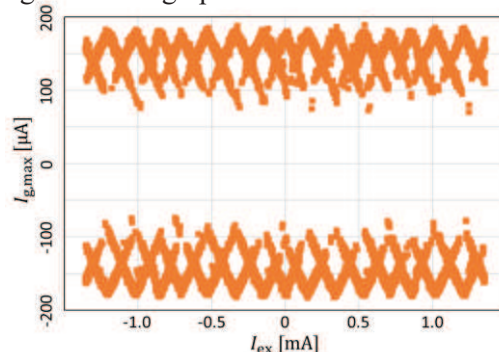


Fig. 3 Modulation pattern of $I_{g,\max}$ against I_{ex}