

磁場変調パターンが半磁束量子周期となる SQUID の作製

Fabrication of SQUIDs with a period of half flux quantum in magnetic modulation pattern

名大院工¹, JST さきがけ², ○竹下 雄登¹, 長谷川 大輝¹, 神谷 智大¹,

佐野 京佑¹, 田中 雅光¹, 山下 太郎^{1,2}, 藤巻 朗¹

Nagoya Univ.¹, JST PRESTO², ○Yuto Takeshita¹, Daiki Hasegawa¹, Tomohiro Kamiya¹,

Kyosuke Sano¹, Masamitsu Tanaka¹, Taro Yamashita^{1,2}, and Akira Fujimaki¹

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

背景 単一磁束量子(SFQ)回路は、基本素子となるジョセフソン接合が、スイッチした際に発生する電圧パルス(SFQ パルス)を利用することによって、高速動作性と低消費電力性を実現している。SFQ 回路の動的な消費電力はジョセフソン接合がスイッチする際に消費するエネルギー(約 $I_c \Phi_0$)によって決定される。回路の高速動作には高い臨界電流密度、低消費エネルギー動作には低い臨界電流値が必要になるので、これらを両立させるには微小な接合の実現が必要となる。

微細加工技術に頼らずに回路の低消費電力化を実現する方法の一つとして我々は半磁束量子回路(HFQ)回路[1]を提案している。HFQ 回路は、基本素子のジョセフソン接合を、磁性層を含んだ π 接合[2]と通常の 0 接合がループに含まれる $0-\pi$ SQUID に置き換えられた回路である。 $0-\pi$ SQUID はスイッチの際にその両端の位相が π ずつ変化し、HFQ 回路ではその位相変化を単位として論理演算を行う。1 回のスイッチングの位相変化が π であることに加え、スイッチング素子である $0-\pi$ SQUID の LI_c 積を制御することで実効的な I_c を下げ、回路の低消費電力化を実現している。しかしながら、HFQ 回路はシミュレーションでの解析は行われているものの、実際の動作実証には至っていない。本研究では、HFQ 回路の動作実証の方法として $0-\pi$ SQUID を 2 つ組み合わせた SQUID(HFQ-SQUID 図 1)に着目し、外部磁場の変調パターンを測定することで HFQ 回路の動作実証を目指した。

実証方法 本研究では、図 1, 2 に示すような π 接合を 6 つ含む超伝導ループを作製した。現在は同一プロセス上に 0 接合と π 接合を作り分けることが難しいため、図 2 に示すように、今回は $0-\pi$ SQUID と等価な働きをする π 接合のみで構成される $\pi-\pi-\pi$ SQUID を用いた。また、Nb/AlO_x/PdNi/Nb 構造を持つ SIFS 接合によって π 接合を作製した。これは、超伝導ループの位相を π ずらす位相シフタとしての役割を果たすとともに、スイッチング素子としての役割を持つことから、スイッチング特性の優

れた SIFS 接合を用いている。

図 3 に HFQ-SQUID の外部磁場に対する変調パターンの数値解析の結果を示す。 $0-\pi$ SQUID による π の位相変化は磁束量子の $1/2$ に対応するので、HFQ-SQUID の外部磁場に対する変調パターンが $\Phi_0/2$ 周期となっていることがわかる。この周期性を実際に観測することができれば、HFQ が半磁束量子を情報担体としてしていると実証することができる。

謝辞 本研究は、特別推進研究(18H05211)及び科研費(JP19H00764)の支援を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] T. Kamiya *et al.*, IEICE Trans. Electron., E10C, 385 (2018).
- [2] V.V. Ryazanov *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 2427 (2001).

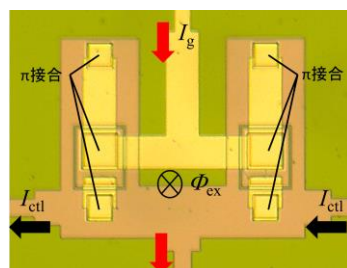


図 1: HFQ-SQUID.

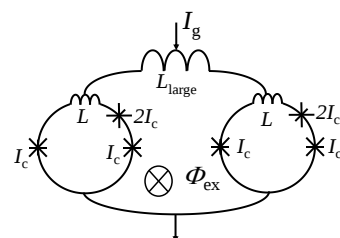


図 2: HFQ-SQUID の回路図.

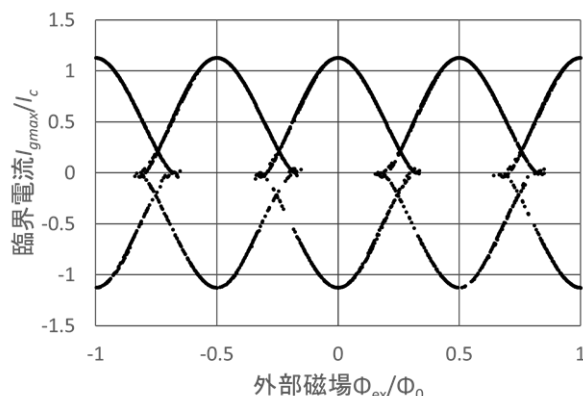


図 3: HFQ-SQUID の外部磁場に対する臨界電流変調パターンの数値解析結果。