

磁性ジョセフソン接合を含む SQUID における半磁束量子単位変調

Demonstration of modulation with a period of half-flux-quantum in a magnetic

Josephson junction-based SQUID

名大院工, [○]竹下 雄登, 加藤 健人, 長谷川 大輝, 李 峰, 田中 雅光, 山下 太郎, 藤巻 朗

Nagoya Univ.¹, [○]Yuto Takeshita, Kento Kato, Daiki Hasegawa, Feng Li,

Masamitsu Tanaka, Taro Yamashita, and Akira Fujimaki

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

背景 半磁束量子(HFQ)回路は、単一磁束量子(SFQ)回路の基本素子であるジョセフソン接合を π 接合と0接合を含む超伝導ループで構成される0- π SQUID に置き換えた回路である。0- π SQUID は、その LI_c 積を制御することによって実効的な I_c を下げることができるため、接合の微細化を必要とせず回路の低消費電力化を実現することができる。HFQ 回路の基本素子となる0- π SQUID は、通常ジョセフソン接合である0接合と磁性ジョセフソン接合によって実現される π 接合によって構成される。この0- π SQUID を基本素子とする HFQ 回路においては、SFQ 回路の基本素子の位相変化の半分となる π の位相変化を基本単位として論理演算を行うという特徴を持ち、この位相変化が半磁束量子に対応する[1]。

これまでの研究で、HFQ 回路や0- π SQUID の数値的な解析が行われており、HFQ 回路による論理ゲートの動作や、0- π SQUID の消費電力の評価などが行われている[2]。本研究では、HFQ 回路の実現に向けた次なるステップとして、0- π SQUID を2つ組み合わせた SQUID (HFQ-SQUID Fig. 1)を用いることによって、半磁束量子の観測を目指した。

実証 HFQ-SQUID を作製するにあたって、0- π SQUID の代わりに、同様の性質を持つ作製が容易な0-0- π SQUID を用いた。Fig. 2 がその等価回路となる。ここに示したように、3つのループを反映した量子状態を取り得る。

HFQ-SQUID の変調パターンが半磁束量子周期であることを示すために、同様の形、インダクタンスを持ち、0接合のみで構成されるSQUID(SFQ-SQUID)を同時に作製し、同様の磁場を加えた時の変調パターンの比較を行った。SFQ-SQUID における小さな SQUID は通常のジョセフソン接合のようにふるまうため、SFQ-SQUID はDC-SQUID のように単一磁束量子周期の変調パターンを持つ。

Fig. 3 に、実験によって得られたそれぞれのSQUID の外部電流(磁場) 変調パターンを示

す。HFQ-SQUID の変調パターンはSFQ-SQUID に比べて変調周期が半分(半磁束量子周期)となり、臨界電流値も小さい。HFQ-SQUID では、原点の山の量子状態は $(-1/2, 0, -1/2)$ と $(1/2, 0, 1/2)$ が、その右の山では $(-1/2, 0, 1/2)$ と $(1/2, 1, -1/2)$ がといったように常に2つの状態が重なっており、その結果、半磁束量子周期の変調パターンが得られる。講演では、より詳細に解説を行う。

謝辞 本研究は、特別推進研究(18H05211)及び科研費(JP19H05615)の支援を受けている。本研究で利用した回路の一部は、産業技術総合研究所のCRAVITYにおいて作製された。

参考文献

- [1] T. Kamiya *et al.*, IEICE Trans. Electron. E101-C 385, 2018.
- [2] F. Li *et al.*, “Low-power high-speed half-flux-quantum circuits driven by low bias voltages”, Supercond. Sci. Technol.

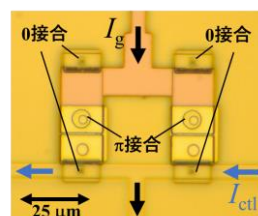


Fig. 1. Photograph of HFQ-SQUID

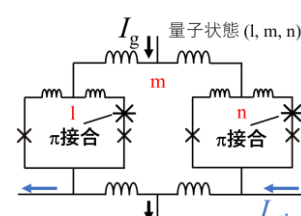


Fig. 2. Schematic diagram of HFQ-SQUID.

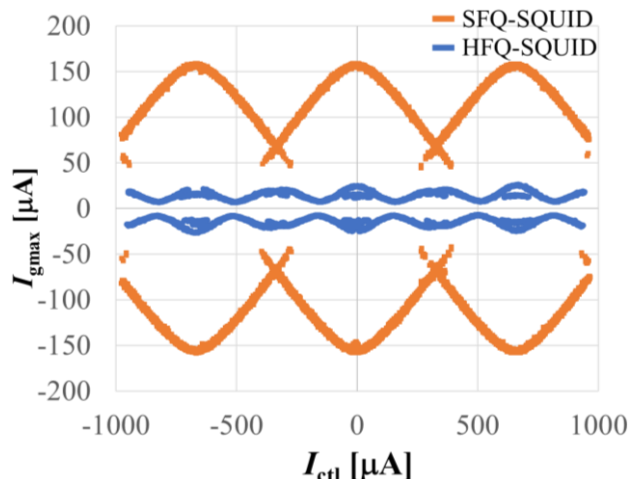


Fig. 3. Modulation pattern of HFQ-SQUID.