

ジョセフソン接合の磁気干渉における局所的電流注入の効果

Effects of the local current injection on the magnetic interference of Josephson junctions

産総研¹、九工大² ○馬渡 康徳¹、上田 天馬²、小田部 荘司²

AIST¹, Kyushu Inst. of Tech.² ○Yasunori Mawatari¹, Tenma Ueda², and Edmund Soji Otabe²

E-mail: y.mawatari@aist.go.jp

強磁性体や d 波超伝導体などを用いた π 接合と通常の 0 接合とを組み合わせた超伝導ループに、半磁束量子 $\phi_0/2$ をもつ磁束が現れることが知られており、SFQ 回路の低損失化や量子ビットへの応用が検討されている。Tübingen 大のグループは、通常の s 波超伝導 (Nb-AlOx-Nb) 接合に局所的に電流注入することにより位相を制御し、 0 接合と π 接合が共存する $0-\pi$ 接合を形成し[1]、半量子磁束対の状態を注入電流により制御できることを実証した[2]。一方、この $0-\pi$ 接合の実証の根拠の一つとして臨界電流の磁場依存性における電流注入の効果が測定されているが[1]、その理論的理解は進んでおらず、ゼロ磁場中の臨界電流の注入電流依存性が解析されているのみである[3]。

本研究では、局所的に電流注入したジョセフソン接合における磁場中の臨界電流について、理論解析を行った。Fig. 1 のように、バリア層を挟んで 2 枚の超伝導ナノストリップを重ねた overlap 型接合において、上部ストリップの端部に電極対を設けて局所的に電流 I_{inj} を注入し、かつ接合面内に外部磁場 H_x を印加した場合を考えた。磁気遮蔽効果および自己磁場が十分小さいと仮定して、接合におけるゲージ不変位相差の簡潔な表式を導き、ジョセフソン電流 I_J の最大値である直流臨界電流 $I_c(H_x, I_{inj})$ を求めた結果を Fig. 2 に示す。臨界電流は $I_{c0} = I_c(0,0)$ で規格化し、磁場は磁束量子 ϕ_0 で規格化した磁束 Φ_x として表している。 $I_{inj} = 0$ (点線)では Fraunhofer 型干渉パターンであるが、 $I_{inj}/I_0 = +1.76$ (紫線)および $I_{inj}/I_0 = -1.76$ (青線)では $H_x = 0$ で $I_c = 0$ となり、 $0-\pi$ 接合を示唆する。また、 $I_{inj} \neq 0$ での I_c は H_x の正負に対して非対称であるが、 $I_c(H_x, -I_{inj}) = I_c(-H_x, I_{inj})$ の対称性がある。これらの振る舞いは、実験データ[1]を定性的に再現している。

本研究は、JSPS 科研費 20K05314 の助成を受けて行われた。

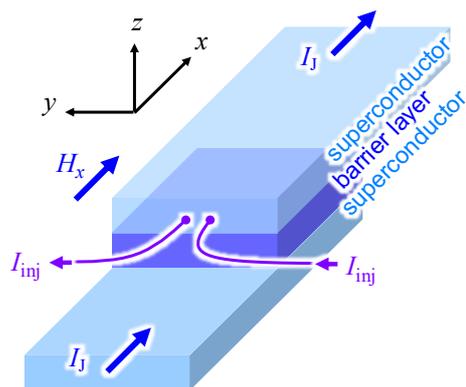


Fig. 1. Schematic of an overlap-type Josephson junction with Josephson current I_J , applied magnetic field H_x , and the local current injection I_{inj} .

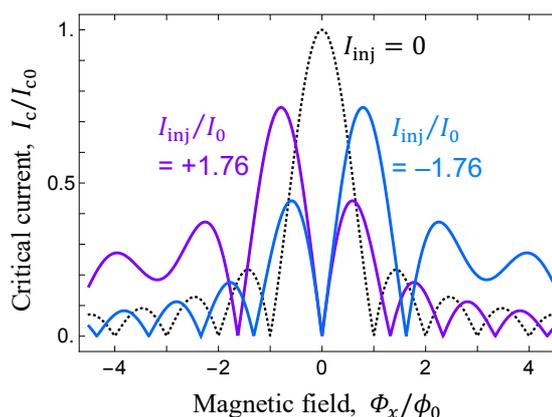


Fig. 2. Magnetic field H_x dependence of the dc critical currents I_c of Josephson junctions with local current injection I_{inj} .

[1] E. Goldobin, A. Sterck, T. Gaber, D. Koelle, and R. Kleiner, Phys. Rev. Lett. **92**, 057005 (2004).

[2] A. Dewes, T. Gaber, D. Koelle, R. Kleiner, and E. Goldobin, Phys. Rev. Lett. **101**, 247001 (2008).

[3] V. G. Kogan and R. G. Mints, Phys. Rev. B **90**, 184504 (2014).