高透磁率を得るためのπ接合を用いた人工スピン系の提案

Proposal of π -junction-based artificial spin systems 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, ^OMasayuki 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

<u>背景</u>

超伝導集積回路においてしばしば、高い相互イ ンダクタンス、つまり高い結合係数が求められる。 我々はπ接合を用いた人工スピンをアレイ化した 系によって高透磁率を有する強磁性体を模擬し、 結合係数の増加を目指す。

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[1]。超伝導ル ープ内にπ接合を含む超伝導量子干渉計(SQUID) は量子干渉の周期がπシフトするため、外部磁場 なしに周回電流の向きに対応する2つの安定状態 を持つことができる。このため、π 接合を含んだ SQUID は人工スピン素子と見なすことができる。 また、SQUID の状態は外部磁場を印加することで 変化することができる。

<u>提案</u>

我々が提案する人工スピン系の回路図を Fig.1 に示す。超伝導ループ内にジョセフソン接合(0 接 合)及び π 接合を含む 0- π SQUID N 個から構成さ れ、それらを含む dc-SQUID によって内部磁束を 検出する。dc-SQUID の内部磁束は 0- π SQUID の 状態および外部磁束によって決定される。また、 dc-SQUID に外部磁場を与えると、内部に含まれる 0- π SQUID の状態が変化する。このとき、dc-SQUID 内の磁束密度Bは次の式に対応する。

 $B = \mu_0 (H + M) \tag{1}$

ここで、 μ_0 は真空の透磁率、Hは外部磁場、Mは 0- π SQUID の磁化である。第一項は外部磁場による 磁束密度、第二項は 0- π SQUID の状態によって決 まる磁束密度に対応する。外部磁場による 0- π SQUID の状態の変化に伴う磁束密度の変化が小さ く連続的であるとみなせると、式(1)は次のように なる。

$B \sim \mu H$ (2)

ここで、 μ は透磁率を表し($\mu > \mu_0$)、0- π SQUID に よって透磁率が増加することがわかる。

<u>実験</u>

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 に示す人工スピン系を作製した。この 人工スピン系は 3 個の 0- π SQUID から構成され、 dc-SQUID によって内部磁束を検出する。実験では、 0- π 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。外部電流 I_{ex} をゼロから増加した場合、 I_{ex} = 228 μ A及び305 μ Aにおいて閾値電流 $I_{g,max}$ の変調パ ターンが Fig.3 で示す黒波線から赤波線にシフト した。これは外部磁場によって 0- π SQUID が持つ 磁束の向きが変化し、dc-SQUID の内部磁束が増加 したためである。今回は3つの 0- π SQUID を含む 系の評価を行ったが、0- π SQUID の数が増加し、 個々の磁束の向きが連続的に変化した場合、より 内部磁束が増加しやすい、つまり高透磁率が期待 できる。

<u>謝辞</u>

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。

<u>参考文献</u>

[1] 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

