

SQUID のダブルループ構造に起因する外部磁場の影響

Effect of external magnetic field attributed to double-loop structure in SQUID

金沢工大, [○]河合 淳, 河端美樹、小山大介

KIT, AEL, [○]Jun Kawai, Miki Kawabata, Daisuke Oyama

E-mail: j-kawai@neptune.kanazawa-it.ac.jp

はじめに

磁束伝達型 SQUID と検出コイルを接続してグラジオメータなどの磁気センサを構成する場合、検出コイル以外で磁場を検出しないように SQUID ループに直接入る磁場を出来るだけ小さくしたい。この場合、SQUID ループにはダブルループと呼ばれる構造が用いられる。具体的には二つの SQUID ループをトンネル接合に対して並列 (並列ループ)、もしくは逆相 (8 の字ループ) に接続することで実現される [1]。両者とも残留磁場が $\sim 100\text{nT}$ 程度の磁気シールド下で使用する場合には、構造の違いによる影響はあまり問題にはならなかった。

しかしながら、SQUID センサを MRI の信号検出に用いる場合 [2] や、地磁気計測 [3] のように磁気シールド外で動作させる場合、すなわち SQUID 自体が比較的強い磁場 ($10\ \mu\text{T} \sim 1\text{mT}$) 中に置かれる場合には、上記の二つの構造の違いに起因する外部磁場の影響の違いが無視できないことがわかった。本研究では、上記二つの方式のダブルループ SQUID が強い磁場に曝された場合の特性の違いを評価したので報告する。

実験と結果

実験では、上記二つの構造で作製した磁束伝達型 SQUID をソレノイドコイル中に配置し、SQUID ループに並行もしくは直交するように磁場を印加しながら特性の変化を調べた。SQUID の入力コイルは超伝導ショートして検出ループを極力小さくしてある。図 1 は、SQUID ループに直交する方向に磁場を印加した際の、並列ループと 8 の字ループの SQUID の最大出力電圧の変化である。縦軸は印加磁場ゼロの時の出力電圧で規格化した値であり、横軸はソレノイドコイルに流した電流値から見積もった磁場の値である。どちらのループ構造においても磁場の増加とともに最大出力電圧は減少しているが、並列 SQUID ループの場合については減少が大きく、いわゆる Fraunhofer パターンが見られた。この時、約 $160\ \mu\text{T}$ の印加磁場で出力電圧はほぼゼロになった。

考察

並列ループの場合に見られた Fraunhofer パターンは、トンネル接合に磁場が侵入した際に見られる現象である。実験では SQUID ループに直交した方向、すなわちトンネル接合には磁場が入らない方向に磁場を印加したにも関わらずこの現象が見えている。これは、並列ループの構造上、印加磁場によってループに発生する永久電流が作る磁場がトンネル接合近傍で強くなり、接合に平行な磁束成分が増加することが原因であると考えられる。

この結果より、強い磁場中で利用する SQUID センサには、並列ループよりも 8 の字ループの磁束伝達型 SQUID を用いる方が良いことがわかった。

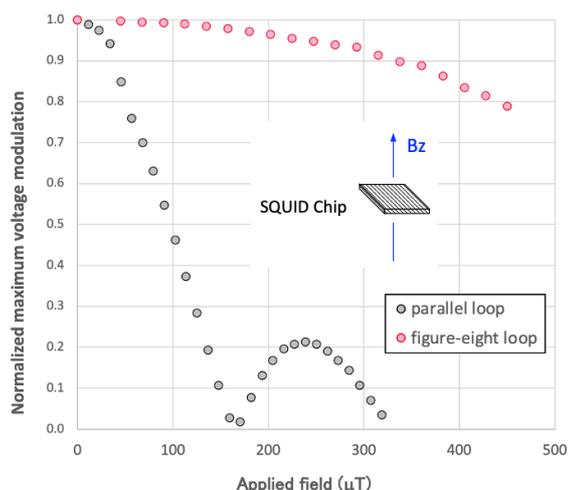


Fig.1 The relationship between the maximum voltage modulation and the external magnetic field, in two types of SQUID with different double loop structure. The magnetic field was applied perpendicular to the SQUID loop.

[1] M. B. Ketchen, J. Appl. Phys., 58 (1985).

[2] D. Oyama, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 23 (2013).

[3] J Kawai, et al., Supercond. Sci. Technol., 30 (2017).