

高温超伝導 rf-SQUID の共振周波数に対するスリット長依存性

Slit length dependence of rf-SQUID resonant frequency

阪大院基礎工¹, 酒井 章¹, 芦塚 拓也¹, [○]宮戸 祐治¹, 糸崎 秀夫¹

Osaka Univ.¹, Akira Sakai¹, Takuya Ashizuka¹, [○]Yuji Miyato¹, Hideo Itozaki¹

E-mail: miyato@sup.ee.es.osaka-u.ac.jp

超伝導量子干渉素子(SQUID)は非常に高感度な磁気センサであり、様々な磁気計測に活用されている。RF-SQUID は、その共振周波数に合わせた高周波磁場を読み出しコイルから印加することで、コイルと SQUID の間に共振状態を作りだし、外部磁場を測定する。高温超伝導体の YBCO で作製した直線状スリットを有する典型的な形状の RF-SQUID (Fig. 1(a)) では、駆動回路の帯域内で駆動させるため、共振周波数の調整の役割をもつ基板共振器と組み合わせて駆動するのが一般的である。例えば、外径 3.5 mm の直線状スリットを有する RF-SQUID の場合、それ単独では共振周波数が 1.1 GHz と高いが (Fig. 2 中で(a)と示した黒丸の点)、9 mm 角の YBCO 薄膜を有する基板共振器と組み合わせれば 650 MHz 程度となる。しかしながら、基板共振器は必ずしも必要なものではなく、RF-SQUID 単独でも駆動することができる。これまでに、RF-SQUID 単独でも RF-SQUID の外径を大きくすれば、共振周波数を下げられることを確かめており、典型的な駆動回路の帯域内に収めることが可能である [1]。一方、RF-SQUID の外径とともにスリットの長さも長くなることから、共振周波数はスリット部にも関係があるとの仮説を立てた。そこで、本研究はそれを立証するため、スリット長と共振周波数の関係を 3 次元電磁界解析シミュレーションと実験から検討することとした。

まずシミュレーションにより、スリット長と共振周波数の関係を調べた。外径を 3.5 mm で固定した状態でスリット長を変化させるため、スリットを直線状から Fig. 1(b)のミアンダライン状に変更した。Fig. 1 の l , m の長さを調節することで、スリット長を変化させることができる。中心の穴のサイズ及びスリット幅は、これまでの直線状のスリットを有する RF-SQUID と同じ $100 \times 100 \mu\text{m}^2$, $10 \mu\text{m}$ にそれぞれ設定した。シミュレーションにより求めたスリット長に対する共振周波数の結果を Fig. 2 に白丸の点で示す。スリット長が長いほど共振周波数が低くなることが予想された。そこで実際に、STO 双結晶基板上に堆積した YBCO 薄膜を微細加工し、スリット長が 5.1 mm となる RF-SQUID ($l=0.3 \text{ mm}$, $m=0.8 \text{ mm}$)を作製した。ネットワークアナライザで S_{11} パラメータを測定した結果より、作製した RF-SQUID の共振周波数は 550 MHz であり (Fig. 2 中で(b)と示した黒丸の点)、シミュレーションとほぼ同じ結果となった。また、所有する駆動回路 (制御可能帯域: 450-900 MHz)で動作させ、外部磁場を検出できることを確かめた。以上より、RF-SQUID の共振周波数はスリット長に大きく依存していることが明らかとなった。

[1] 芦塚 他, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-G7-9 (2013).

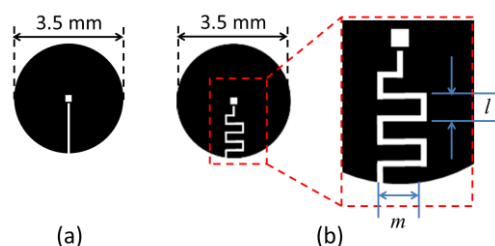


Fig. 1 (a) RF-SQUIDs with a straight slit, and (b) with a meandered slit.

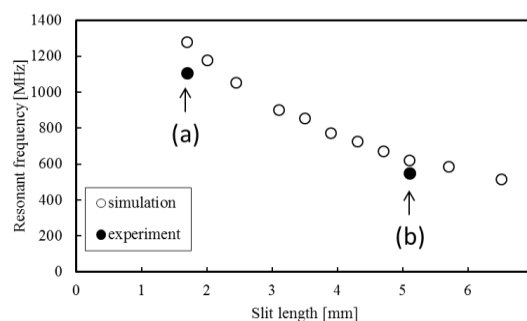


Fig. 2 Dependence of the resonant frequency on the slit length.