

新規超伝導探索に向けた、局所測定用 SQUID センサーの開発

SATテクノロジー・ショーケース2024

■ はじめに

超伝導体には電気抵抗0、磁場の排除、巨視的量子効果などの性質が見られ、工学分野ではエネルギー損失のない線材、量子分野では高感度SQUIDセンサーやジョセフソン電圧標準など、様々な分野における技術革新へ貢献した。しかし、超伝導の可能性はこれのみにとどまらない。超伝導の発現機構は1957年にBCS理論[1]によって理解されたが、1986年[2]から銅酸化物系を始めとしてBCS理論に従わない新規超伝導が発見され、超伝導応用への新しい可能性が示された。具体例として、銅酸化物系超伝導は転移温度がBCS超伝導に比べて高く、寒剤として液体窒素が使えるようになり、工学応用へのハードルを下げた。このように、新規超伝導の探索は、さらなる技術革新へとつながる。

さて、私の研究では従来とは異なり、自発的に磁場を発生させる新規超伝導(Fig.1.)に着目する。この超伝導は、環境ノイズに強いトポロジカル量子コンピュータを実現させるためのカギとして期待されている。しかし、従来型超伝導と区別するための自発磁場がいまだに観測されていないため、具体的な物質が確定していない。本研究では、この自発磁場の検出によって新規超伝導体となる物質の探索を目指す。

■ 活動内容

自発磁場が今日まで検出されなかったのは、超伝導の磁場を排除する効果によって磁場が弱まり、結晶のエッジへ局所分布することが原因の1つと考えられる。

本研究ではこのような磁場を検出するため、磁気センサーとして超伝導量子干渉計(SQUID)を使用する。SQUIDとはFig.2. のようなループ状の素子で、ループに鎖交する磁束を高感度に検出することができる。

また、検出対象が局所磁場であるため、センサーの位置や形状によって検出効率が下がり(Fig.2.)、自発磁場が存在しても検出できない可能性が生じる。このため、本研究では超伝導体から自発的に生じる局所磁場を効率よく検出するためにSQUIDセンサーの最適化を行う。センサーの最適化のために行った活動を以下に示す。

1. SQUID素子の最適設計

最適設計の主な指針は以下の二つである。

● デザインパラメータの最適化

センサーの線形性や感度を考慮して、インダクタンス

L や臨界電流 I_c などのパラメータを指定した。

● 素子の形状やサイズ

局所磁場を効率よく検出できるようにコイルのサイズや形状を工夫した。

2. SQUID素子の作製

設計した素子のデザインをもとに、フォトリソグラフィのプロセスを用いて素子を作製した。こちらは産総研と共同で作製した。

3. 作製したSQUID素子の動作確認および設計評価

2.で作製したSQUIDを、Heタンク内や希釈冷凍機等で動作確認を行った。さらに、測定結果からデザインパラメータを抽出し、設計値と比較することで設計指針の評価を行った。

当日は、1.で設計した素子デザインの詳細を説明する。さらに、2.で作製したSQUIDの動作確認の結果(3.)について、素子の性能や設計指針の観点から議論する。最後に、現段階において自発磁場が検出可能か議論する。

■ 関連情報等

[1] J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer, Phys. Rev. **108**, 1175 (1957).

[2] J. G. Bednorz and K. A. Müller, Zeitschrift Für Phys. B Condens. Matter **64**, 189 (1986).

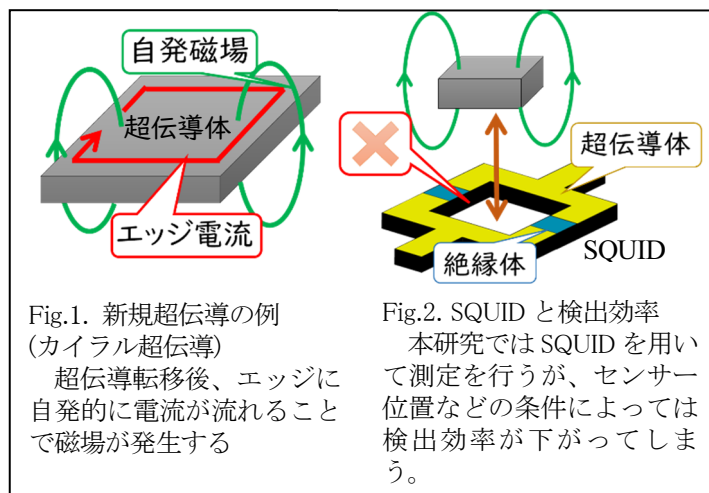


Fig.1. 新規超伝導の例 (カイラル超伝導)

超伝導転移後、エッジに自発的に電流が流れることで磁場が発生する

Fig.2. SQUID と検出効率

本研究ではSQUIDを用いて測定を行うが、センサー位置などの条件によっては検出効率が下がってしまう。

代表発表者 **勅使河原 充洋(てしがわら みつひろ)**
 所属 **名古屋大学大学院 工学研究科応用物理学専攻**
 問合せ先 **E-mail: teshigawara.mitsuhiro.n5@s.mail.nagoya-u.ac.jp**

■キーワード: (1)超伝導
 (2)超伝導量子干渉計(SQUID)
 (3)非従来型超伝導
 ■共同研究者: 山森弘毅(産総研)、大野誠(名大工)、
 矢野力三(名大工)、柏谷聡(名大工)