

超伝導クラーク素子の開発

～量子干渉によるフェムトボルト検出への挑戦～

物質理学研究科 物質科学専攻

◎M1 こたにともや 小谷朋也、助教 かわさきいくと 川崎郁斗、准教授 やまぐちあきら 山口明、教授 すみやまあきひこ 住山昭彦

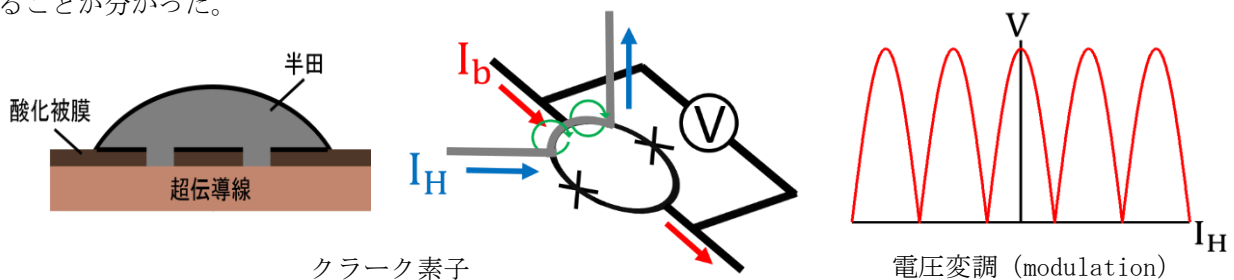
キーワード

超伝導, ジョセフソン効果, 量子効果, SQUID, 高感度計測

研究概要

我々の研究室では、主に極低温で現れる超伝導現象の研究を行っている。超伝導体の性質の1つに、ジョセフソン効果がある。これは弱く接合した2つの超伝導体間に、量子力学的トンネル効果による超伝導電流が流れる現象である。B.D. Josephsonはこの効果の発見により1973年のノーベル物理学賞を受賞した。ジョセフソン効果に伴う量子干渉を利用したSQUID(超伝導量子干渉素子)は、分解能 $5 \text{ aT}(5 \times 10^{-18} \text{ T})$ という超高感度の磁場センサとして知られている。脳磁計などの生体磁気計測への応用例を始めとして、基礎科学分野の研究においても、汎用磁化測定装置の心臓部として広く普及しているセンサである。また、最近話題となった重力波の検出にも使われている優れた超伝導利用技術といえる。

超伝導クラーク素子はSQUIDの1つで、高精度の電圧センサである。その構造は下図のような酸化被膜のある超伝導線と、同じく低温で超伝導となるPb-Sn合金(半田)からできており、超伝導線の被膜に偶然入った複数の傷を弱接合(ジョセフソン接合)として超伝導線-半田間のSQUID回路としている。入力信号電圧は信号電流(I_H)として、SQUIDに入力される。 I_H に伴う磁束変化を電圧変調(modulation)として測定することが可能で、入力電圧分解能は $10 \text{ fV}(10^{-14} \text{ V})$ に達するという報告がある。市販されているSQUIDと比較して、クラーク素子は簡便かつ安価に作成することができる。一方で、ジョセフソン接合が複数できないとSQUIDとして動作しないため、偶然入った傷を接合とする素子作成方法では再現性に欠く。本研究ではジョセフソン接合を意図的に作る方法に着目し、接合の数や接合間隔を制御し素子製作の安定化を図った。これまでに、接合間隔を変えることにより modulation の電流周期の幅を制御できることが分かった。



アピールポイント

現在市販されているSQUIDは微細加工技術を利用した素子で、安定性がある優れた装置といえる。しかしながら、比較的高価であり、研究の現場で手軽に利用できるところまでは行っていない。一方で、実験室で簡便かつ安価に作製できるという強みがクラーク素子にはある。その安定性を高めることで、研究の現場で手軽にフェムトボルト測定を可能にするというのが、本研究の試みである。そのために、ジョセフソン接合の作成方法を見直し、超伝導線に人工的に酸化被膜を導入した。ある程度意図的に接合を作成できるようになり、周辺回路の製作など、応用に向けての開発を進めている。

