トンネル接合型マイクロ SQUID の作製と磁場応答

Fabrication of Tunnel-junction micro-SQUID and its Magnetic Response

200100354：鈴木 一也

指導教員：大塚 洋一　印

1　はじめに

SQUID[1]は超伝導がマクロな領域まで及ぼす波動性と超伝導リングの磁束の量子化を利用した磁束のセンサである。ここでは原理的な説明は省略するが、SQUID の超伝導臨界電流は SQUID リングを貫く磁束に対して周期的に振動しその周期は量子磁束 $\Phi_0 = \dfrac{h}{2e} = 2.0679 \times 10^{-15}$Wb となる。磁束密度の振動周期と磁束が貫く面積 (SQUID のリングが囲む面積) をそれぞれ ΔB、S とすれば

$$\Delta B \cdot S = \Phi_0$$

という関係が成り立つ。したがって SQUID 面積を適当な大きさにとってやれば非常に微弱な磁場の変化を検出することが可能となるのである。本研究では SQUID 面積が $4\mu\mathrm{m}^2$ 程度のトンネル接合型の dc-SQUID の開発をおこなうとともに、微小体の物性観測のための周辺技術の考察も目的としている。

Wernsdorfer は SQUID 面積が $6\mu\mathrm{m}^2$ 程度の弱接合型 SQUID を使用して数 nm 級の Co 微粒子や直径数十 nm、長さ数 μm の Ni 細線の磁化反転を詳細に調べている [1)]。トンネル接合型の SQUID ならば弱接合型に比べ臨界電流が桁違いに小さくなると予想され、消費電力の低減に繋がり、発熱もそれだけ抑えられる可能性がある。

2　作製した SQUID

リソグラフィー技術を用いて作製した SQUID の SEM 画像を Fig.1 に示す。SQUID は Al の真空蒸着により作られる。SEM 画像 Fig.1 を見ると SQUID ループの線幅が約 150nm であり、トンネル接合の接合面積が約 $0.01\mu\mathrm{m}^2$ である。室温での SQUID 全体の抵抗値は 2 端子測定でおおよそ 30kΩ であった。Al-AlO$_x$-Al 型のトンネル接合の電気容量は $1\mu\mathrm{m}^2$ 当たり 45fF という経験則に従うと 1 接合当たり約 0.5fF の電気容量を持つことになる。

3　実験

I-V 特性

定電圧バイアス回路を用いてゼロ磁場下での I-V 特性を測定した (Fig.2)。測定温度は 680mK である。通常の超伝導体と異なりゼロバイアス付近でも電圧状態にあり、有限の抵抗値を示す。これは接合面積が小さいために電気容量が小さく、測定温度が比較的高いために熱雑音電流が大きいためである。Al の超伝導ギャップに対応する 0.3mV のところで電流の極大が見られる。磁場を印加するとゼロバイアス付近のコンダクタンスが周期的に振動することが観測された。この付近の電圧で SQUID を動作させることでコンダクタンスの振動を観測したのが次の実験である。

磁場によるコンダクタンスの振動

定電圧をバイアスしながら SQUID に垂直方向に磁場を印加したときのコンダクタンスの振動を 0〜6000gauss まで測定した (一部を Fig.3 に示す)。振動はおよそ 5000gauss まで続いた。測定領域全体でのフーリエスペクトルが Fig.4 に示されている。理論通りの振動周期約 5gauss を示していることがわかる。この測定の他に SQUID 面に対して磁場を平行に印加したときのコンダクタンスの振動も観測した。磁場を平行に印加させることで金属微粒子などの磁化率測定などに応用させることができ、特性を理解することは価値がある。この測定で振動は 8000gauss 程度で弱くなることが観測された。これは薄膜 Al の臨界磁場とよい一致を示す [2)]。したがって Al の超伝導の性質が失われることで変調がなくなると理解される。

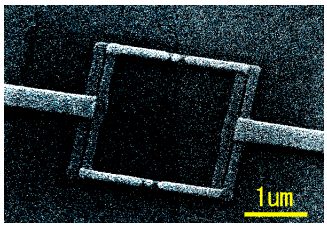

Fig. 1　SEM 画像

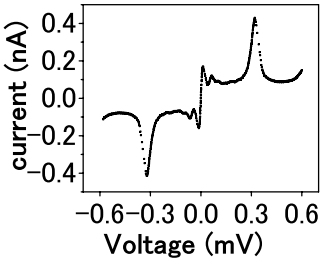

Fig. 2　I-V 特性

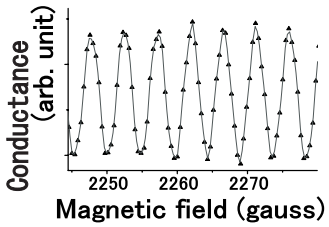

Fig. 3　コンダクタンスの振動

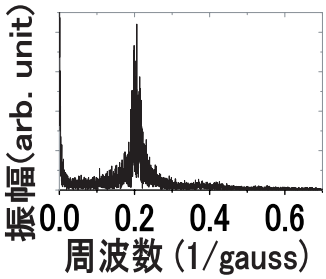

Fig. 4　フーリエ変換

4　まとめ

本研究で作製した SQUID は通常のそれとは異なり、臨界電流ではなくコンダクタンスが振動する現象が観測された。また、振動は臨界磁場付近で弱まることを確かめた。加えて、弱接合型と比べたときのトンネル接合型の SQUID はスイッチングポイント付近での消費電力が 8 桁小さくなることがわかった。

参考文献

1) W.Wernsdorfer, *Adv.Chem.Phys.* **118**, 99 (2001).

2) R.Meservey, P.M.Tedrow, *J.App.Phys.* **42**, 51 (1971).

[1]Superconducting QUantum Interference Device; 超伝導量子干渉計