

都立大 SQUID # 3 を用いたカロリメータ # 46-B の特性評価

影井 智宏

2000 年 7 月 3 日

概要

2000 年 6 月 23 日に都立大希釈冷凍機にて、SQUID # 3 を用いてカロリメータ # 46-B の特性評価を行った。
~1.8 K における SQUID の特性評価と、~0.5 K におけるカロリメータの I-R 特性を行った。しかし、1K-POT
からの熱流入のために、カロリメータの温度は ~0.5 K までしか下がらず、またヒーターの不具合もあり、今回の
実験では R-T 特性を測定することはできなかった。

1 測定条件

- 前回と同様に Nb シールド内で Input-Rtn と Bias-Rtn とを銅皮膜付きの NbTi 線で短絡させた。
- シャント抵抗としてマンガニン線 (0.5 ϕ 、4.9 cm) を Input 端子と並列に組み込んだ (図 1)。
- カロリメータに流れる電流を押さえるために、100 K Ω の金属皮膜抵抗をカロリメータの配線間に直列に入れた (図 1)。
- シャント抵抗に用いたマンガニン線の温度依存性を調べるために、サンプル用のマンガニン線を組み込んだ。
- コネクタの抵抗値を調べるために、NbTi 線でショートさせたコネクタを組み込んだ。
- SQUID の駆動装置の電源には、電源駆動 (Power Unit) を用いた。

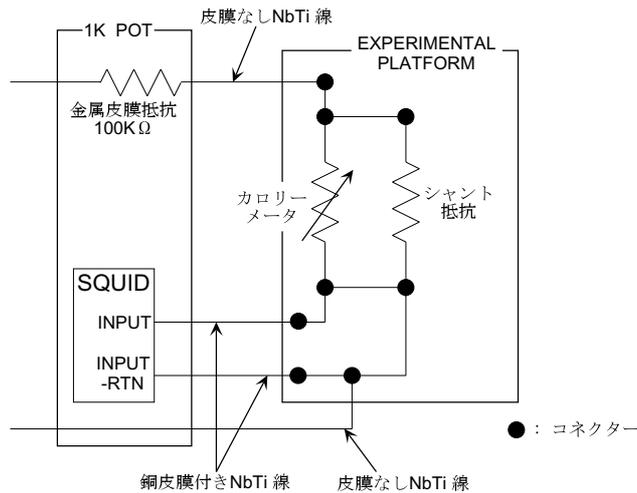


図 1: カロリメータと Input 端子の配線

2 I - V 測定 / Φ - V 測定

2.5 K における SQUID における、I - V、 Φ - V 曲線をそれぞれ、図 2、図 3 に示す。

図 2は振幅 $40 \mu\text{A}$ 、周波数 30 Hz の交流信号を入力したときのデジタルオシロの画像であり、これから臨界電流 I_c は $\sim 25 \mu\text{A}$ と得られた。

図 3はフィードバックコイルに $100 \mu\text{A}$ 、周波数 30 Hz の交流信号を入力し、SQUID に $40 \mu\text{A}(=1.6 I_c)$ の電流をかけたときのデジタルオシロの画像であり、この図から電圧差の周期は $34 \mu\text{A}$ と得られる。よって、SQUID 素子との相互インダクタンス M_{fw} は $\sim 60.8 \text{ [pH]}$ となる。

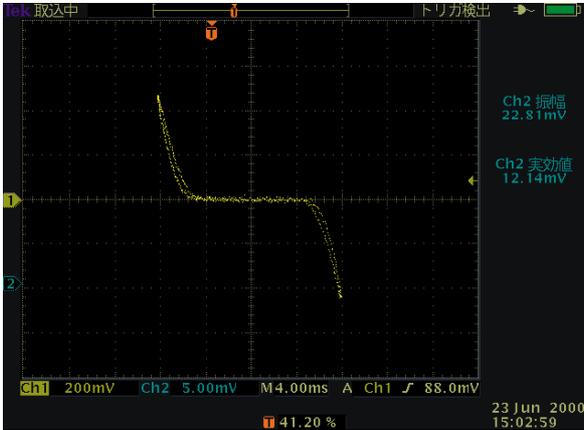


図 2: 1.8 K において振幅 $40 \mu\text{A}$ の交流信号を入力したときの $I - V$ 曲線

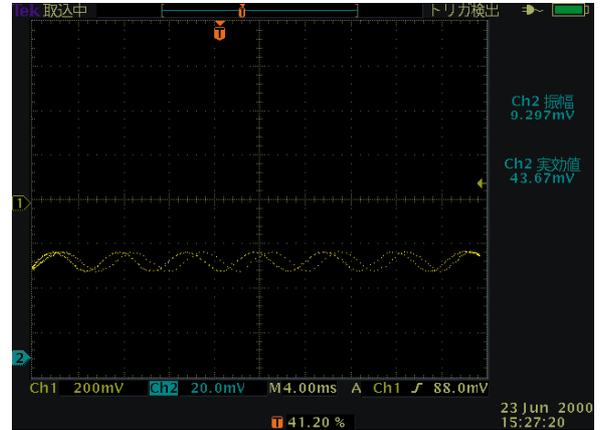


図 3: 1.8 K において SQUID に $40 \mu\text{A}(=1.6 I_c)$ の電流を入力したときの $\Phi - V$ 曲線

3 電流感度測定

1.8 K における、周波数に対する電流感度を図 4に示す。ソース源には FFT アナライザを用いた。シャント抵抗は表 1より、 $94 \text{ m}\Omega$ であり、このときのカロリメータの抵抗を $\sim 65 \Omega$ として電流感度を求めた。

また、図 5は循環運転中の周波数に対する電流感度である。ここでは 50 Hz のときの電流感度を $750,000 \text{ [W/A]}$ と仮定した。するとカロリメータの抵抗は $\sim 8.0 \Omega$ となり、これからカロリメータの温度は $\sim 0.47 \text{ K}$ と得られる。このときカロリメータのホルダーに埋め込んだ RuO_2 温度計は 0.53 K となっていた。

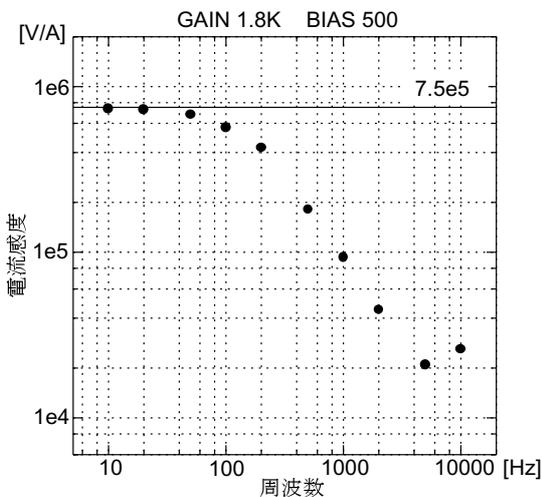


図 4: カロリメータの温度 1.8 K における電流感度

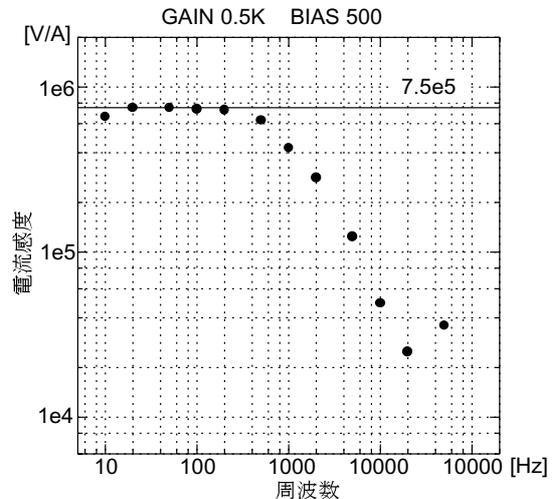


図 5: カロリメータの温度 0.47 K における電流感度

4 I-R 特性

FFT アナライザをソース源として周波数 47 Hz、200 mV pp の交流信号を DC offset にのせて、カロリメータに入力したときにおける I-R 特性を図 6 に示す。ここで、電流感度を 750,000 [V/A] であると仮定した。このときのカロリメータの温度は、 ~ 0.48 K と見積もられるが、RuO₂ 温度計では 0.52 K であった。

また図 7 は、このときの熱伝導度 [W/K] の温度変化をプロットしたものである。

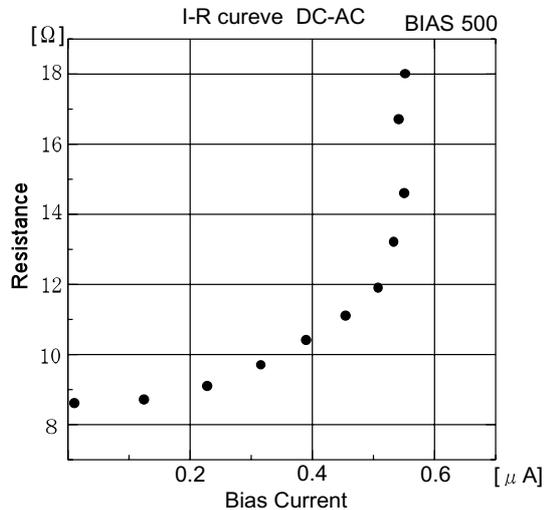


図 6: 0.48 K における I-R 曲線

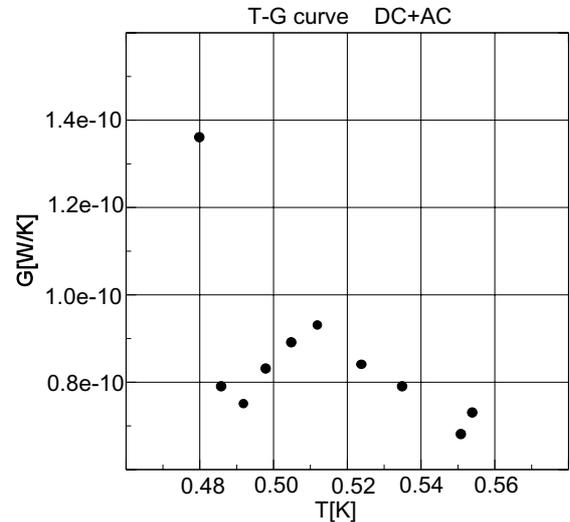


図 7: 0.48 K における熱伝導度

5 シャント抵抗とコネクタ抵抗

シャント抵抗として用いたマンガン線 (0.5 ϕ 、4.9 cm) の抵抗の温度依存性を確かめるためにサンプル用マンガン線 (0.5 ϕ 、4.95 cm) を組み込み、測定した。その結果を表 1 に示す。

また、図 1 で用いているコネクタ (Sn) による抵抗がどの程度あるのかを調べるために、NbTi 線でショートさせたコネクタ間の抵抗の温度変化を測定した。その結果を表 2 に示す。これより、Sn の転移温度 (3.7 K) 以下ではコネクタの抵抗値はほぼゼロとなり、コネクタの使用は問題ないことが分かった。

| 温度 [K] | 抵抗値 [mΩ] | 抵抗率 (実測値) [$\mu\Omega/cm$] | 抵抗値 (文献値) [$\mu\Omega/cm$] | シャント抵抗 [$\mu\Omega$] |
|--------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 297 | 115.5 | 46.3 | 48 | 114.8(実測値) |
| 77 | 108.1 | 43.3 | ? | 107.4 |
| 4.2 | 95.6 | 38.3 | 43 | 95.0 |
| 0.53 | 94.2 | 37.7 | ? | 93.6 |

表 1: マンガン線の抵抗値の温度変化

| 温度 [K] | 抵抗値 [mK] |
|--------|----------|
| 297 | 7820 |
| 77 | 6728 |
| 4.2 | 6.5 |
| 0.53 | 0.1 |

表 2: コネクタ間の抵抗の温度変化

6 今後

Input からカロリメータへ間を結ぶ配線 (1K Pot から EP への配線) に銅皮膜付きの NbTi 線 (~3 cm) を使用していたことから、カロリメータを十分に冷却することができなかったと思われる (6 月 27 日大島様のメール参照)。そのため、次回は Input 端子からの配線を銅皮膜なしの NbTi 線 @ ~6 cm とする (既に組み込み済)。また、図 1 における銅皮膜なしの NbTi 線は MC と 1K Pot の間にサーマルアンカーをとることにより、それからの熱流入を排除した。これらによって 1K Pot から EP へのサーマルコンタクトは銅皮膜なしの NbTi 線 (0.1 ϕ 、~6 cm) のみとなり、次回は十分な冷却が期待できる。

今回の測定において、サンプルホルダーに埋め込んだ RuO₂ 温度計と実際の測定から見積もられるカロリメータの温度とは ~50 mK 程度の差があったため、RuO₂ 温度計の正確な校正が今後必要になるとと思われる。