TES#40 冷却実験 報告書

~kagei/TES/report/rep0322.tex

影井 智宏

2000 年 4 月 5 日

概要

2000 年 3 月 22 日に都立大希釈冷凍機で 2 月 18 日に早稲田で作成された Ti-Au TES #40 (Ti: 1000 Å、 Au: 1000 Å) のうち、 C,D 2 つの R-T 特性を測定した。希釈冷凍機の最低到達温度は $\sim$50 mk であり測定するためには十分に冷却することができた。その結果、転移温度はどちらも 0.19 K 程度であり、 α は C が $\sim$ 25、 D が $\sim$ 19 程度だった。

1 目的

2000 年 3 月 15 日に宇宙研クライオスタットで測定したが転移温度が低い (0.2 K 以下) と予想されるために完全に転移を確認することができなかった (山崎君 TES#40 冷却報告書参照)、 Ti-Au TES#40 (Ti: 1000 Å、 Au:1000 Å) の R-T 特性を 2000 年 3 月 22 日に都立大希釈冷凍機で測定した。

2 サンプル

TES#40 は 2 月 18 日に早稲田大学庄司研の横山君が製作したもので、 Ti を 1000 Å、 Au を 1000 Å 蒸着した後に、その上からスパッタでアルミ配線をつけたものである。 TES#40 の特徴を表 1、 2 にまとめる。

物質	膜厚 [$\AA$]
Al	sputter
Au	1000
Ti	1000

表 1. TES#40 の膜厚

測定場所	A[Ω]	B[Ω]	C[Ω]	D[Ω]
早稲田	OPEN	90	40	53
宇宙研	OPEN	126	51	80
都立大	OPEN	114	45	61

表 2. TES#40 の抵抗

この中から、宇宙研で 3 月 15 日に C,D を測定したことから、都立大でも C,D を測定することにした。

3 組み込み

3.1 TES のマウント

- 宇宙研で、 TES サンプル用ステージに C,D をボンディングした。その様子は図 1、図 2 のとおりである。ここで点線がボンディングワイヤーである。

- その後、ホルダーを都立大希釈冷凍機の EXPERIMENTAL PLATFORM に組み込みこんだ。その様子は図 3、図 4 のとおりである。ここでサンプル用ステージの熱接触は EXPERIMENTAL PLATFORM と NbTi 線 14 本 (10 μm) である。

- 配線には NbTi 線を用い、プラス、マイナスと対応する配線は全てツイストとした。
- 熱伝導をよくするために、ネジ、ナットは全て真鍮製とした。ただしスプリングワッシャーはステンレス製である。

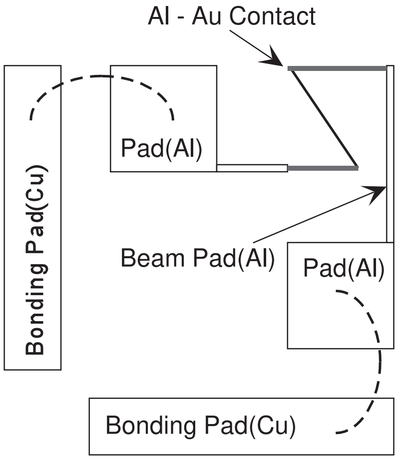


図 1. #40-C のボンディングの様子

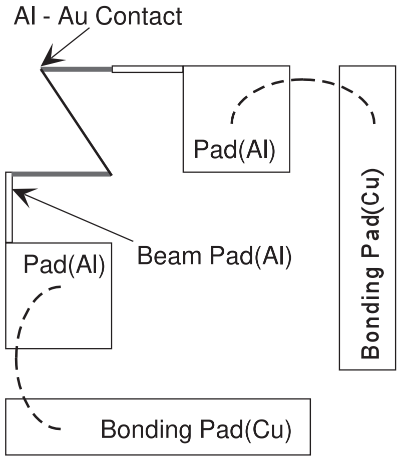


図 2. #40-D のボンディングの様子

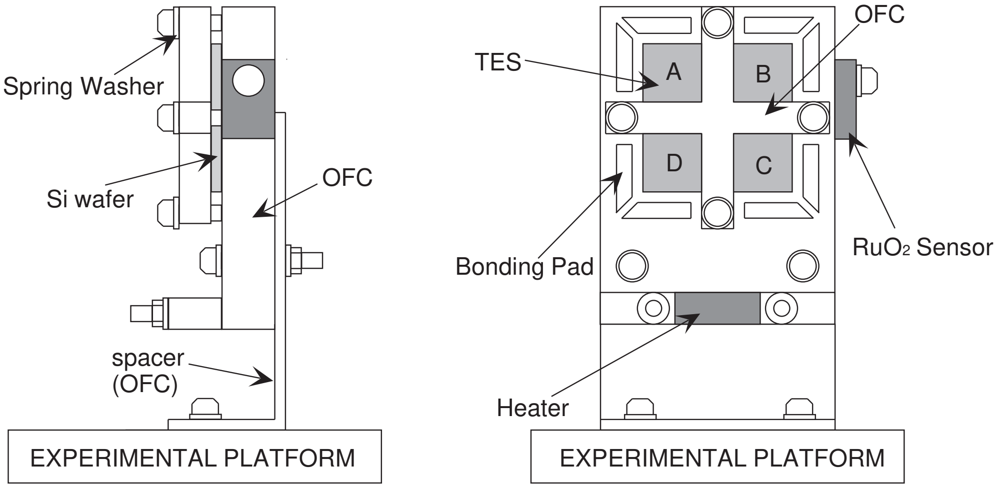


図 3. TES のサンプ用ステージ

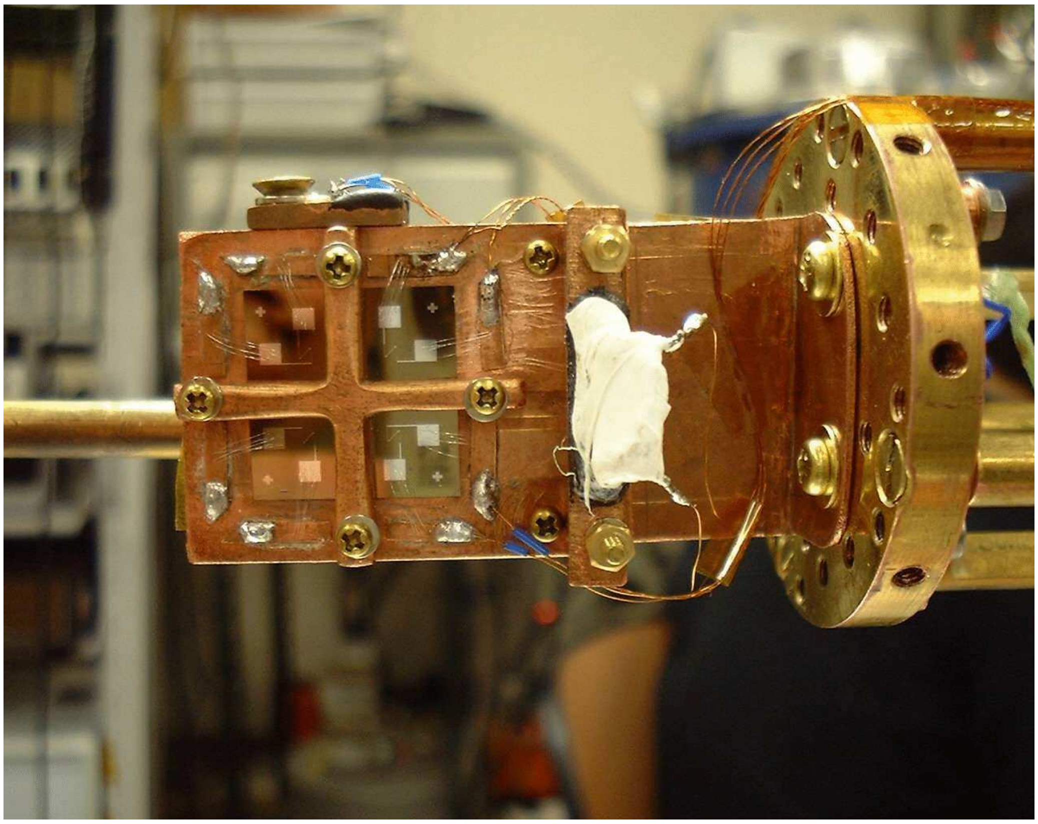


図 4. TES マウントの写真

3.2 セットアップ

- 温度計には、 RuO_2 を用い、サンプルホルダーに埋め込んだ (図 3)。
- 温度コントローラーとして LTC-20 を用いた。その際、サンプル用のヒーターは 400Ω の金属皮膜抵抗を用い、それに流れる電流を小さくするために図 5 のような回路を用いて電流を分流した (この図よりヒーターには $\sim \frac{1}{200}$ の電流が流れることになる)。 LTC-20 のヒーター出力は 100% で 50Ω の抵抗に 0.05W かかるよう設定されていることから、その設定が 100% のとき回路に流れる電流 I は

$$I = \sqrt{\frac{0.05}{50}} \cong 3.2 \times 10^{-2} \text{ [A]}$$

である。よってこのとき、ヒーターに流れる電流を I_h とすれば

$$I_h \cong \frac{1}{200} I \cong 1.6 \times 10^{-4} \text{ [A]}$$

となる。 LTC のヒーター出力設定は 0.01% でコントロールできることから、ジュール発熱は

$$P = 0.0001\ {I_h}^2 R_h = 0.0001\ \left(1.6 \times 10^{-4}\right)^2 \times 400 \cong 1.3 \times 10^{-9} \text{ [W]}$$

の単位でコントロールすることができる。

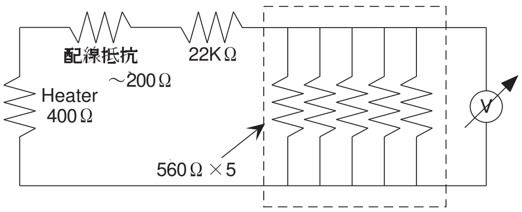


図 5. ヒーターの分流回路

- TES の抵抗を測定するために、 KEITHLAY 236 を用いて TES に定電流 を流し、 KEITHLAY 2001 を用いて、その両端の電圧を測定した (図 6)。

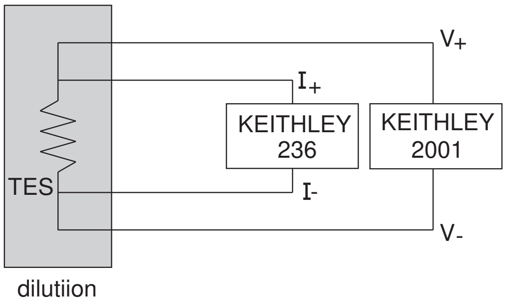


図 6. TES の測定回路図

- KEITHLAY 2001 のセットアップは表 3 のとおりである。
(これにより、 20 秒で 100 カウント測定し AVERAGENG した値を読むことになる)

SPEED	HACCURACY 10PLC 1PLC = 50 Hz
FILTER	AVERAGENG
SAMPLE	100

表 3. KEITHLAY 2001 のセットアップ

- コネクターの配線対応を以下にまとめる。

接続先	26Way Conector	Fisher Conector
TES-D V_+	E	5
TES-D V_-	F	6
TES-D I_+	H	7
TES-D I_-	J	8
TES-C V_+	K	9
TES-C V_-	L	10
TES-C I_+	M	11
TES-C I_-	N	12
温度計 V_+	S	15
温度計 V_-	T	16
温度計 I_+	U	17
温度計 I_-	V	18
ヒーター R_+	a	23
ヒーター R_-	b	24

表 4. 配線対応表

4 測定

TES の抵抗の測定は電流の向きをプラスとマイナスの両方で流して、それぞれの電圧を測定することによりゼロ点補正をした。ただし、 KEITHLAY 2001 は 0.01 μV の単位までしか測定することができない。流す電流を $\sim \mu$A としたため、測定の精度としては $\sim$ 0.01 Ω の誤差であることになる。

測定のタイムスケールは以下のとおりである。

日	内容
3/16	ボンディング、組み込み
3/17	組み込み、真空引き
3/21	液体窒素で予冷
3/22	ヘリウム転送
3/23	11:00 循環運転開始 13:00〜18:40 TES-C 温度 up → down 測定 18:50〜20:30 TES-C 温度 down → up 測定 21:30〜0:50 TES-D 温度 up → down 測定

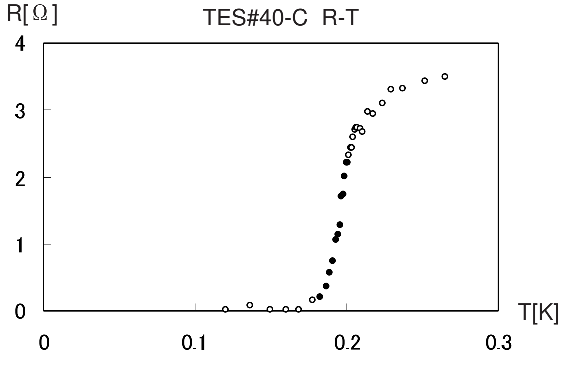
表 5. 測定スケジュール

5 結果

今回の都立大希釈冷凍機の最低到達温度は ∼0.05 K であり、測定を行うためには十分冷却することができた。常温 (測定前)、ヘリウム温度、 1 K、最低到達温度、常温 (測定後) での抵抗をそれぞれ表 6 に示す。

温度	TES-C の抵抗 [Ω]	TES-D の抵抗 [Ω]
300 K	44.8	60.8
4.2 K	23.8	33.8
1 K	3.5	3.8
0.05 K	super	super
300 K	44.2	59.8

表 6. TES#40 の抵抗値 (T ＞ 1.5 K では Al 配線抵抗を含む)



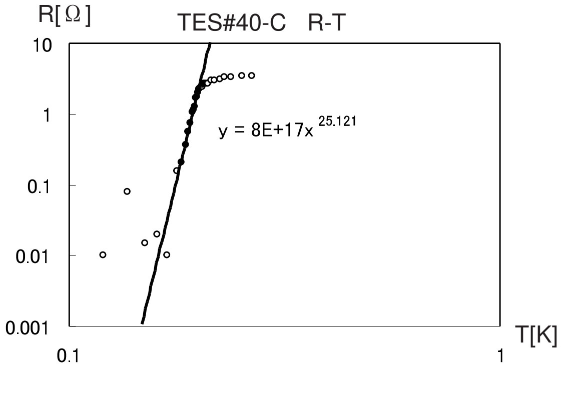


図 7. TES#40-C の R-T 特性。流した電流は 1μA である。 α は ∼25

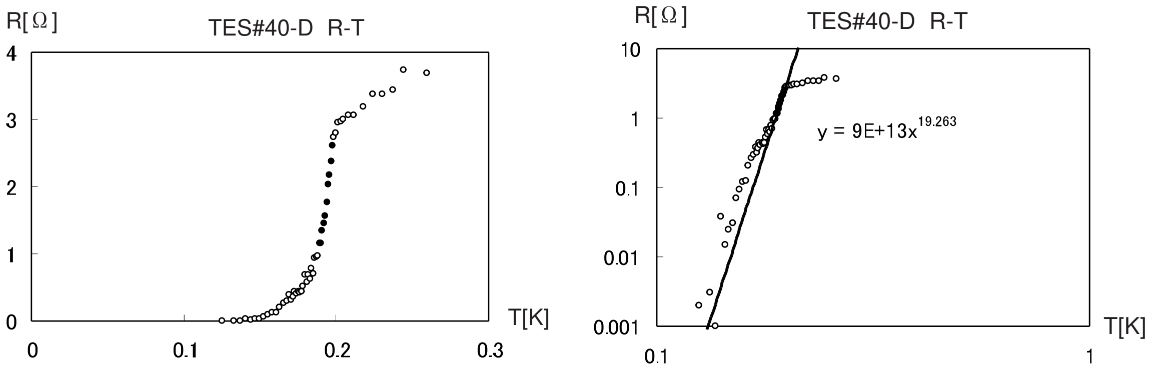


図 **8. TES#40-D** の **R-T** 特性。流した電流は 1μA である。 α は $\sim$**19**

6 考察

転移温度を TES の抵抗が常伝導状態の抵抗値の 50% になる温度、転移幅を 10%$\sim$90% となる温度幅と定義すると、C,D それぞれ以下のようになる。

TES	転移温度	転移幅
C	198 mK	48 mK
D	195 mK	39 mK

表 **7.** 転移温度と転移幅

これと図 7、 8 から C、 D の転移温度には $\sim$mK のずれがあることが分かる。このことは希釈冷凍機の温度勾配などが原因であると考えられるが確かめてはいない。

7 まとめ

TES#40-C,D の R-T 特性を測定した。転移温度はとちらも 0.19 K 程度で、 C は $\alpha \sim$25、 D は $\alpha \sim$19 だった。