

SII#6A R-T 測定 & X 線パルス取得実験 with TSS Amp. (TMU 2001 年 6 月中旬)

広池 哲平

2001 年 7 月 17 日

概要

セイコーインスツルメンツの素子 #6A を組み込み、R-T 曲線を得た。また、X 線照射実験を行い X 線パルスの取得に成功した。しかし、パルスハイトが高すぎるため、現在の SUIQD では、入力磁束が大き過ぎて素子の性能を十分に引き出せていない。今回のセットアップでは、エネルギー分解能が 300 eV を切る程度である。今後は、吸収体を取り付ける。または、SQUID の交換をするなどして、素子の性能を見極めるべきである。

1 SII#6A

1.1 見積もり

SII#6A の各部サイズとその熱容量の見積もりを表 1 に示す。ただし、Membrane 部については、Si として計算している。また、SII#6A の写真を図 1 に示す。

Parameter	Membrane	Ti	Au
縦 [mm]	2	0.5	0.5
横 [mm]	1	0.5	0.5
厚さ [nm]	10^3	40	120
格子比熱 C_s [J/cm ³ /K]	$6.03 \times 10^{-7} \times T^3$	$2.47 \times 10^{-6} \times T^3$	$4.23 \times 10^{-5} \times T^3$
電子比熱 C_e [J/cm ³ /K] (超伝導時)	0	$3.15 \times 10^{-4} \times T$ $1.12 \times \exp(-604.8/T)$	$6.74 \times 10^{-5} \times T$
熱容量 [J/K] (Ti 常伝導時)	$1.21 \times 10^{-14} \times T^3$	$2.47 \times 10^{-14} \times T^3$ $(+2.02 \times 10^{-14} \times T)$	$1.27 \times 10^{-14} \times T^3$ $+3.15 \times 10^{-12} \times T$

表 1: SII #6A の各部サイズと熱容量

2 R - T 測定

2.1 セットアップ

図 2 の様に、E/P にカロリメータサンプルステージを設置した。AVS-47 を用いて E/P 上の温度計の値を読み込んで、温度コントロールしながら測定を行った。また、カロリメータサンプルステージ上の LTC 温度も同時にモニターできるようになっている。抵抗値は LR-700 を用いて測定レンジを $20 \Omega - 20 \mu V \cdot 2 \Omega - 20 \mu V \cdot 0.2 \Omega - 20 \mu V$ の 3 つの組合せ

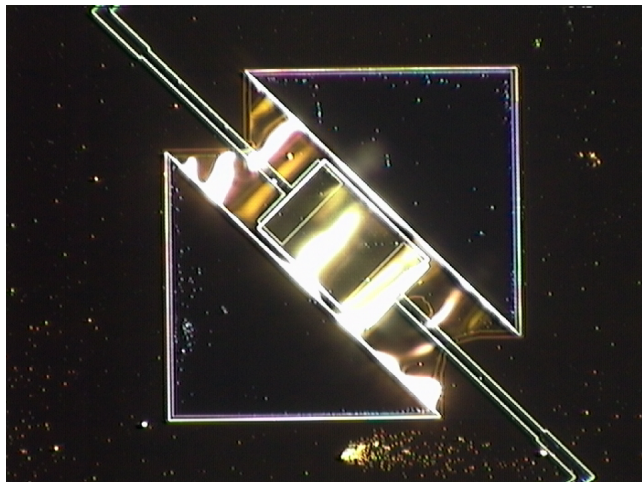


図 1: SII#6A の写真

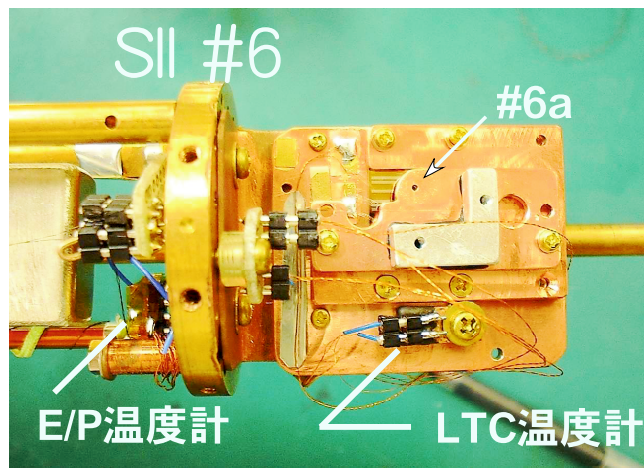


図 2: $R - T$ 測定時のセットアップ

2.2 測定結果

抵抗値は LR-700 を用いて測定レンジを $20 \Omega - 20 \mu V \cdot 2 \Omega - 20 \mu V \cdot 0.2 \Omega - 20 \mu V$ の 3 つの組合せにて測定した。結果を図 3 に示す。● (Fill) は E/P の温度計の値を示しており、○ (Open) は LTC 温度計を表している。また、E/P 温度計と LTC 温度計との相関を図 4 に示す。

2.3 考察

$R - T$ 曲線を『Femri 分布関数 \times 一次関数 + オフセット』として、抵抗値を温度の関数として表す。

$$R = \frac{1}{e^{b(a-T)} + 1} \left(\frac{T}{c} + d \right) + e \quad (1)$$

温度を LTC 温度計の読みとして、測定レンジごとにそれぞれの測定からフィットした $a \sim e$ の値を表 2 に示す。 a は TES の超伝導転移温度 T_c を表しており、 e はオフセット抵抗を表している。測定結果よりある測定点と、その前後の温度での測定値の、合計 3 点を通る 2 次曲線を求めてやり、その真ん中の測定点での接線の傾き dR/dT を求め、

$$\alpha \equiv \frac{d \ln R}{d \ln T} = \frac{T}{R} \frac{dR}{dT} \quad (2)$$

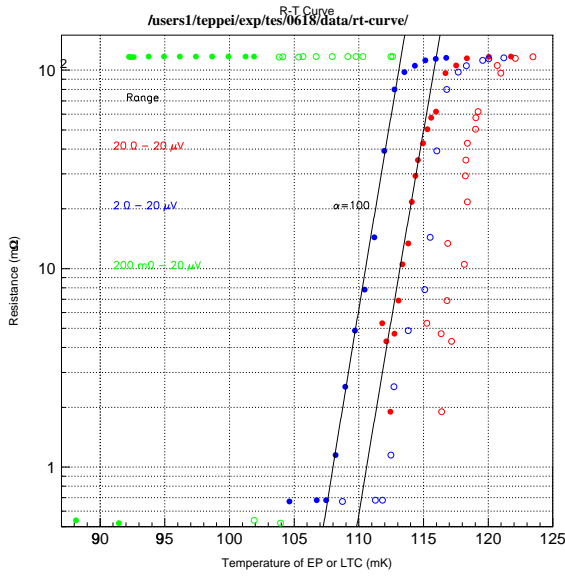


図 3: SII #6a $R - T$ Curve

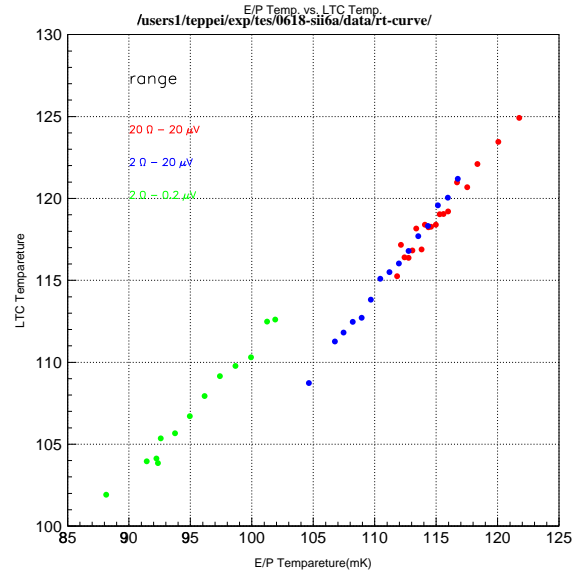


図 4: E/P 温度計と LTC 温度計の相関図

素子の名称	SII #6a	
測定レンジ	20 Ω - 20 μV	2 Ω - 20 μV
a	119.12	116.36
b	1.4171	2.0226
c	1.0945	1.0865
d	2.5866×10^{-5}	6.8817×10^{-9}
e	2.5998	1.2195

表 2: 関数としてフィットした際のパラメータ

として α をそれぞれの測定点で求めた。 $R - T$ プロットと合わせて、図 5 に示す。横軸は LTC 温度 (mK)、縦軸は TES の抵抗値 (mK) と α (無次元量) を重ねて示している。点線は $R - T$ 曲線を上の式でフィットしたものであり、実線はその式を用いて α を求めたものである。フェルミ関数を用いた $R - T$ 近似式から、カロリメータ SII#6a の素子のみで決まるエネルギー分解能を求める。 α の大きい極限で素子のみで決まるエネルギー分解能は、動作温度 T 、その温度での熱容量を C として、

$$\Delta E \sim 2.36 \sqrt{4k_B T^2 C \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{n+1}{2}}} \quad (3)$$

で表される。ここで n は物質による定数で、Si の場合は $n = 4$ として良い。熱容量 C は、表 1 で表されるが、TES が超伝導遷移端の状態では、TES の抵抗値を R_{tes} 、残留抵抗 ($T = T_c$ での抵抗値の 2 倍とする) を R_r としてやると、Ti の熱容量は、

$$C(Ti) = 2.47 \times 10^{-14} \times T^3 + 2.02 \times 10^{-14} \times T \times \frac{R_{tes}}{R_r} \quad (4)$$

となる。これを代入することで、

$$\Delta E \sim 1.3706 \times 10^8 \times \sqrt{4.95 \times 10^{-14} \times \frac{T^5}{\alpha}} \text{ [eV]} \quad (5)$$

として温度の関数として求めることができる。例えば、SII#6a を 119.12 mK にて動作させたとすると、 $\Delta E \sim 0.015$ [eV] と見積もることができる。上の式と、フィットから求めた α の値を用いて、エネルギー分解能の温度依存性を見積も

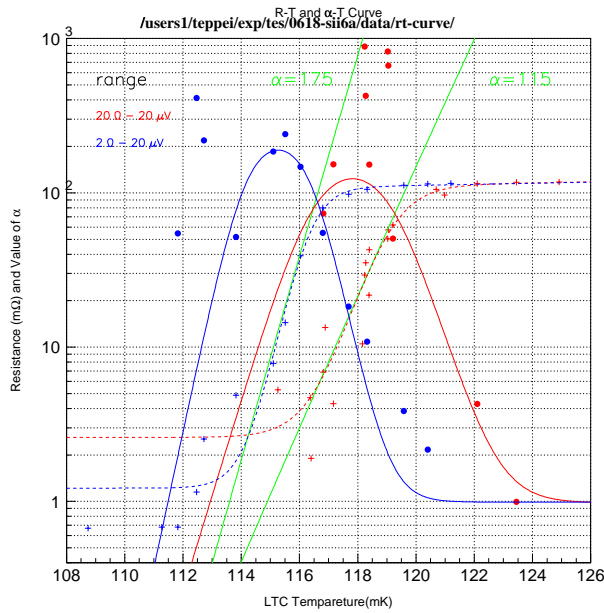


図 5: SII #6a $R - T$ Curve and α Value

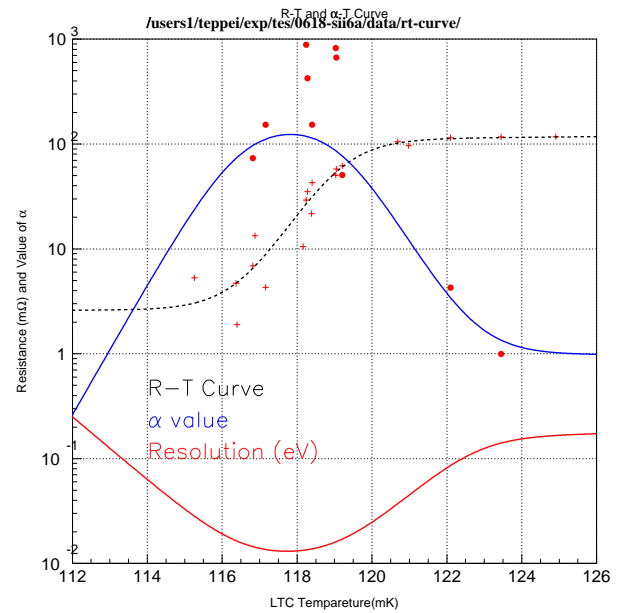


図 6: 素子のみで決まるエネルギー分解能

る。横軸を LTC の温度として、縦軸に TES 抵抗値、 α 、エネルギー分解能を示したものが図 6 である。次に熱伝導度を求める。熱伝導度 G には様々な関係式があるが、発熱量を P 、温度を T としてもとの定義式は

$$G \equiv \frac{dP}{dT} \quad (6)$$

のように書ける。この式に則して最も単純と思われる方法で求めてみる。測定レンジを変えることで、TES に流れる電流値を変更できるので、TES の抵抗値が残留抵抗値の半分 ($T = 1/2T_c$ の時の抵抗値) の時の TES の発熱量をそれぞれのレンジで求め、その発熱量の変化量を、超伝導転移温度の変化量で割って求める。計算には、上でフィットした $R - T$ の関数を用いている。計算に用いた値と計算結果を表 3 に示す。

素子の名称	SII #6a	
	測定レンジ	20 $\Omega - 20 \mu V$
転移温度 T_c [mK]	119.12	116.36
抵抗値 ($T = T_c$) [m Ω]	57.017	54.768
TES に流れる電流 [μA]	1	10
発熱量 P [pW]	57.017	5476.8
発熱量の変化量 ΔP [pW]	5419.8	
温度の変化量 ΔT [mK]	2.76	
熱伝導度 G [nW/K]	2.0	

表 3: 熱伝導度を求める際の各パラメータ

3 X 線照射実験

3.1 セットアップ