

# 实验二十三 高温超导材料特性测试和低温温度计

田睿轩 物理学院 1900011602

2021 年 6 月 15 日

## 1 实验数据

Pt 电阻上电流:  $I = \frac{100mV}{100\Omega} = 1mA$

Si 二极管上电流:  $I = \frac{1V}{10k\Omega} = 0.1mA$

样品电流:  $I = \frac{100.093mV}{10\Omega} = 10.0093mA$

实验中所测得的所有数据如表 1 所示, 其中包含了室温下的数据、从室温开始到超导相变开始之间阶段的数据、超导相变端的数据以及液氮沸点的数据。其中, Pt 电阻上的电压、SiD 上的电压、温差电偶上的电压和样品上的电压为直接测量量。其余量为间接测量量, Pt 电阻和 SiD 的阻值通过  $R = \frac{U}{I}$  确定; 温度是根据 Pt 电阻的阻值确定的, 其中 100K 以上时直接由提供的操作手册中电阻与温度的对应关系读出, 100K 以下时通过操作手册中给出的电阻与温度的关系式  $T = 2.3666R + 29.342$  确定; 样品的电阻由样品上电压除以样品上电流确定。

表格中第一行为室温中数据, 由于没有放入液氮, 温差电偶两端没有温差, 因此温差电偶上电压非常接近 0; 表格中最后一行为测量液氮沸点时的数据, 同样的, 此时温差电偶两端也没有温差, 因此电压非常接近 0。在样品超导相变段前后, 由于要密切关注样品上电压, 因此没有测量温差电偶上的电压。

表 1: 实验数据

$U_{Pt}/mV$	$R_{Pt}/\Omega$	T/K	$U_{SiD}/V$	$R_{SiD}/\Omega$	$U_{\text{温差电偶}}/mV$	$U_{\text{样品}}/mV$	$R_{\text{样品}}/\Omega$
109.82	109.82	298.4	0.5113	5113	-0.001	0.170	0.0170
106.50	106.50	289.9	0.5331	5331	5.750	0.166	0.0166
102.50	102.50	279.6	0.5583	5583	5.388	0.160	0.0160
99.00	99.00	270.7	0.5805	5805	5.064	0.155	0.0155
95.00	95.00	260.5	0.6058	6058	4.700	0.150	0.0150
91.00	91.00	250.3	0.6313	6313	4.345	0.144	0.0144
87.00	87.00	240.2	0.6565	6565	4.005	0.138	0.0138
83.00	83.00	230.1	0.6814	6814	3.672	0.133	0.0133
79.00	79.00	220.0	0.7060	7060	3.351	0.129	0.0129
75.00	75.00	210.0	0.7308	7308	3.034	0.124	0.0124

$U_{Pt}/mV$	$R_{Pt}/\Omega$	T/K	$U_{SiD}/V$	$R_{SiD}/\Omega$	$U_{\text{温差电偶}}/mV$	$U_{\text{样品}}/mV$	$R_{\text{样品}}/\Omega$
71.00	71.00	200.0	0.7551	7551	2.742	0.119	0.0119
67.00	67.00	190.1	0.7795	7795	2.454	0.114	0.0114
61.00	61.00	175.2	0.8153	8153	2.042	0.107	0.0107
55.00	55.00	160.4	0.8507	8507	1.662	0.101	0.0101
51.00	51.00	150.7	0.8739	8739	1.421	0.096	0.0096
46.50	46.50	139.7	0.8996	8996	1.166	0.090	0.0090
42.50	42.50	130.1	0.9223	9223	0.952	0.086	0.0086
40.50	40.50	125.2	0.9335	9335	0.849	0.083	0.0083
38.50	38.50	120.5	0.9447	9447	0.753	0.080	0.0080
36.50	36.50	115.7	0.9558	9558	0.656	0.078	0.0078
34.50	34.50	110.9	0.9669	9669	0.564	0.075	0.0075
32.00	32.00	105.0	0.9810	9810	0.445	0.070	0.0070
30.00	30.00	100.3	0.9923	9923	0.359	0.065	0.0065
29.43	29.43	99.0	0.9953	9953	—	0.064	0.0064
29.22	29.22	98.5	0.9964	9964	—	0.063	0.0063
29.01	29.01	98.0	0.9974	9974	—	0.063	0.0063
28.80	28.80	97.5	0.9985	9985	—	0.062	0.0062
28.59	28.59	97.0	0.9997	9997	—	0.061	0.0061
28.38	28.38	96.5	1.0007	10007	—	0.061	0.0061
28.16	28.16	96.0	1.0019	10019	—	0.060	0.0060
27.95	27.95	95.5	1.0029	10029	—	0.059	0.0059
27.74	27.74	95.0	1.0040	10040	—	0.059	0.0059
27.53	27.53	94.5	1.0051	10051	—	0.057	0.0057
27.32	27.32	94.0	1.0061	10061	—	0.056	0.0056
27.11	27.11	93.5	1.0072	10072	—	0.055	0.0055
26.90	26.90	93.0	1.0082	10082	—	0.054	0.0054
26.69	26.69	92.5	1.0093	10093	—	0.051	0.0051
26.48	26.48	92.0	1.0104	10104	—	0.046	0.0046
26.43	26.43	91.9	1.0106	10106	—	0.044	0.0044
26.40	26.40	91.8	1.0108	10108	—	0.042	0.0042
26.39	26.39	91.8	1.0108	10108	—	0.040	0.0040
26.36	26.36	91.7	1.0109	10109	—	0.038	0.0038
26.35	26.35	91.7	1.0110	10110	—	0.036	0.0036
26.34	26.34	91.7	1.0111	10111	—	0.034	0.0034
26.33	26.33	91.7	1.0112	10112	—	0.032	0.0032

$U_{Pt}/mV$	$R_{Pt}/\Omega$	T/K	$U_{SiD}/V$	$R_{SiD}/\Omega$	$U_{\text{温差电偶}}/mV$	$U_{\text{样品}}/mV$	$R_{\text{样品}}/\Omega$
26.32	26.32	91.6	1.0112	10112	——	0.030	0.0030
26.31	26.31	91.6	1.0112	10112	——	0.028	0.0028
26.30	26.30	91.6	1.0113	10113	——	0.026	0.0026
26.30	26.30	91.6	1.0113	10113	——	0.024	0.0024
26.29	26.29	91.6	1.0114	10114	——	0.022	0.0022
26.28	26.28	91.5	1.0114	10114	——	0.020	0.0020
26.27	26.27	91.5	1.0114	10114	——	0.018	0.0018
26.27	26.27	91.5	1.0115	10115	——	0.016	0.0016
26.27	26.27	91.5	1.0115	10115	——	0.014	0.0014
26.26	26.26	91.5	1.0115	10115	——	0.012	0.0012
26.25	26.25	91.5	1.0115	10115	——	0.010	0.0010
26.24	26.24	91.4	1.0116	10116	——	0.008	0.0008
26.23	26.23	91.4	1.0116	10116	——	0.006	0.0006
26.22	26.22	91.4	1.0117	10117	——	0.004	0.0004
26.20	26.20	91.3	1.0118	10118	——	0.002	0.0002
26.18	26.18	91.3	1.0119	10119	——	0.000	0.0000
25.96	25.96	90.8	1.0131	10131	——	-0.002	-0.0002
25.45	25.45	89.6	1.0177	10177	——	-0.002	-0.0002
20.32	20.32	77.4	1.0430	10430	-0.001	-0.002	-0.0002

## 2 数据分析、处理和结论

### 2.1 室温数据

“实验数据”部分已给出，三部分测量电路中各自的电流分别为：Pt 电阻上电流为 1mA，Si 二极管上电流为 0.1mA，样品电流为 10.0093mA。

根据铂电阻阻值测得室温为 298.4K，即 25.2°C。室温下样品的电阻为 0.0170Ω。

### 2.2 低温温度计定标

以铂电阻的电阻测得的温度为标准，研究 Si 二极管的电阻与温度的关系，和温差电偶上的电压与温度的关系。Si 二极管与温度关系如图 1 所示，温差电偶上电压与温度的关系如图 2 所示。

根据实验手册给出的铂电阻与温度的关系可以看出，在温度不是非常低的情况下 (>13K)，铂电阻的阻值与温度之间成线性关系，温度越高，电阻越大；而根据实验测得的数据和绘制的曲线可以看出，Si 二极管的电阻与温度成反相关，温度越低，电阻越大，且就实验测量的温度范围而言，两者之间也有很好的线性关系，如果用最小二乘法对实验中 SiD 的阻值与温度之间进行线性

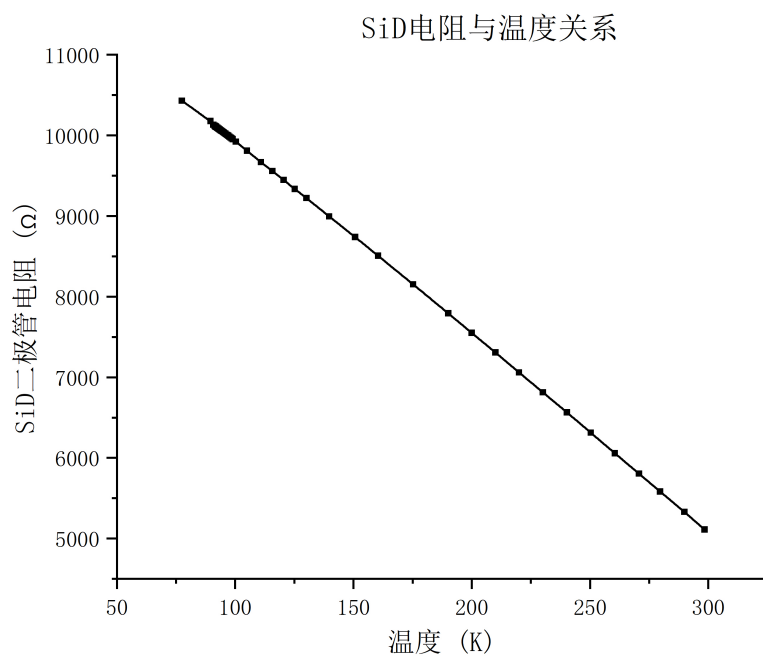


图 1: SiD 与温度关系

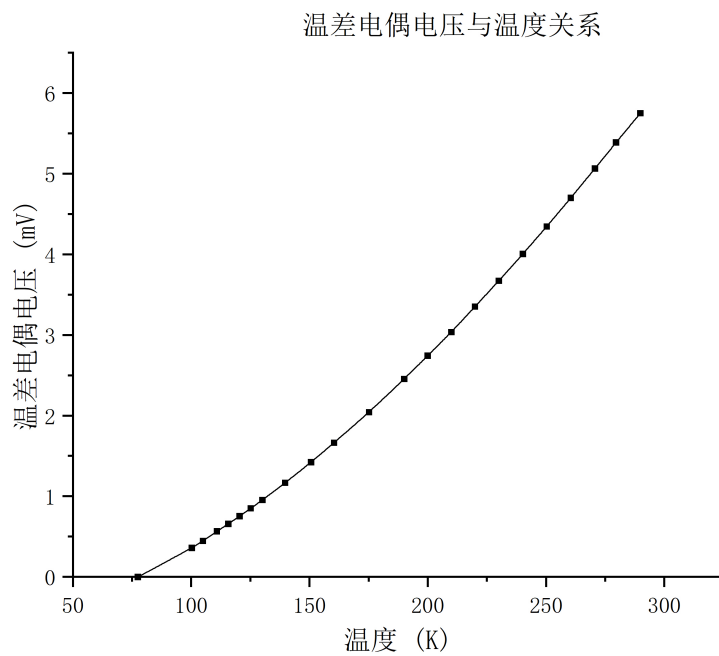


图 2: 温差电偶电压与温度关系

拟合，相关系数可达到  $r = 0.99993$ ，可见线性程度相当高；而温差电偶上的电动势则与温度成正比，即温度越高，电压越大，且随着温度升高，曲线上升得越来越快，即电压的增量随温度升高而增大。

### 2.3 超导样品数据

绘制超导样品的阻值随温度的变化曲线，如图 3 所示。

用最小二乘法对温度在室温到 130K 之间的数据进行线性拟合，得到直线  $l_1$  如图 4 所示， $l_1$  同时也显示在图 3 中，为品红色斜线段。 $l_1$  的解析式为  $R_1 = AT + B$ ，其中  $A = 4.9749 \times 10^{-5} \Omega/K$ ， $B = 0.00201 \Omega$ ，直线的相关系数为  $r = 0.9993$ 。

样品的电阻曲线在  $T=110.9K$  时开始偏离  $l_1$ ，因此  $T_{c,onset} = 110.9K$ 。

$T_{cm}$  需要由相变段的直线和  $l_2 = \frac{1}{2}l_1$  确定。 $l_2$  的解析式为  $R_2 = \frac{1}{2}(AT + B)$ ，其中 A、B 的取值和  $R_1$  中相同。本实验中，相变段的曲线已经非常接近竖直线，实际上有多个温度都会出现同一个温度对应多个不同电阻值的情况。我们最终选取了  $T = 91.5K$  作为相变段直线。因此可得两直线交点，即  $T_{cm} = 91.5K$ 。

$T_{c0}$  为最终样品电阻刚达到 0 时对应的温度，反应在实验中是样品上电压刚达到一个接近 0 并不再变化的电压对应的温度。由于乱真电动势的存在，本实验的最终电压是在 -0.002 和 -0.003 之间跳动，按下电流方向开关前后电压都在这两个值上跳动。实验中，刚达到这种电压的温度是 90.8K。此时样品上的电流为  $I = 10.0110mA$ ，比实验开始时略大，不过由于有效数字的限制，并不会反应在电阻值上。综合考虑，取  $T_{c0} = 90.8K$ 。

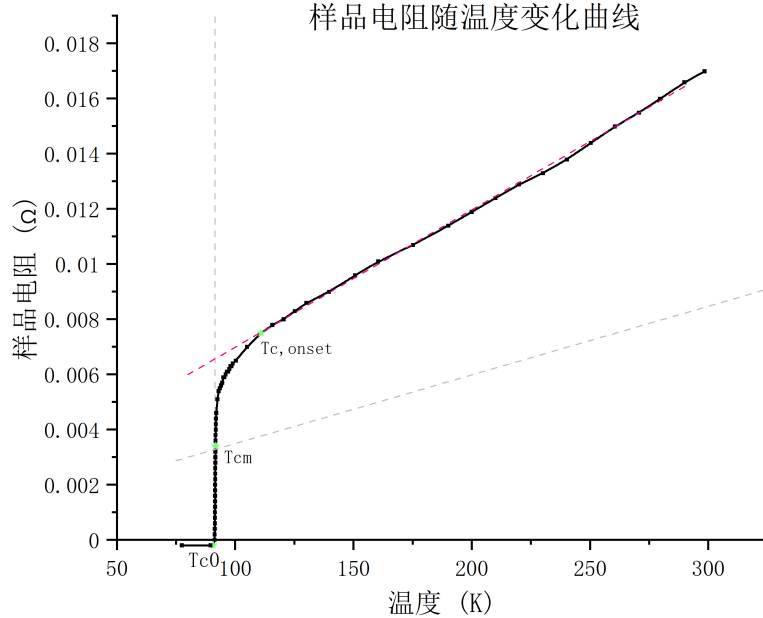


图 3: 超导样品的阻值随温度的变化

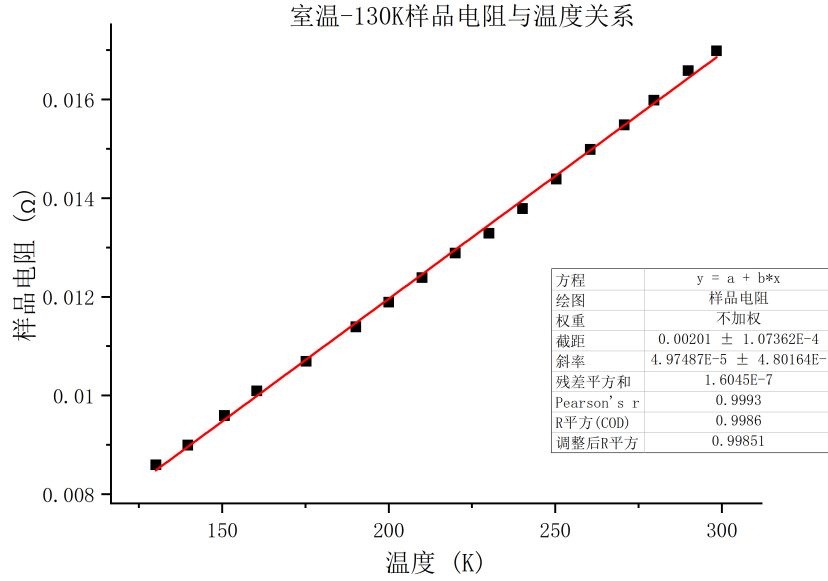


图 4: 最小二乘法拟合室温到 130K 数据

## 2.4 液氮沸点检测数据

液氮沸点相关的实验数据已经呈现在表 1 的最后一行。实验测得的液氮沸点为  $T = 77.4K$ ，此时 SiD 上的电压  $U_{SiD} = 1.0430V$ ，对应的电阻为  $R_{SiD} = 1.430\Omega$ 。温差电偶上的电压为  $U_{\text{温差电偶}} = -0.001mV$ ，样品上电压在-0.002 和-0.003 之间跳动（因受乱真电动势影响），样品上电流为  $I = 10.0110mA$ ，样品电阻因此为  $R = (-0.0002 \sim -0.0003)\Omega$ 。

此时再去测量三个测量电路中的电流，Pt 电阻测量电路中的电流为  $I = 1mA$ ，SiD 上的电流为  $I = 0.1mA$ ，样品上的电流为  $I = 10.0110mA$ 。可以看出，Pt 电阻和 SiD 的测量电路中恒流源的稳定性还是比较好的，样品电压测量电路中恒流源稳定性稍差，但对实验结果影响不大。

## 3 分析与讨论

实验中样品的  $T_{c,onset}$  的参考值为 92-98K 左右，但实际测得的为 110.9K，远高于参考值；而  $T_{c0}$  的参考值为 90-92K，实测值为 90.8K，与参考值符合得比较好。出现这种现象可能是因为样品使用得时间过长，性能下降，已经有点失超了，这会导致  $T_{c,onset}$  变大而  $T_{c0}$  基本上不受影响。所以实验中测得的  $T_{c,onset}$  很大。