

# 高温超导材料特性测试和低温温度计实验报告

实验仪器：BW2 型高温超导材料特性测试装置，PZ158 型直流数字电压表，液氮，BW2008 铂电阻。

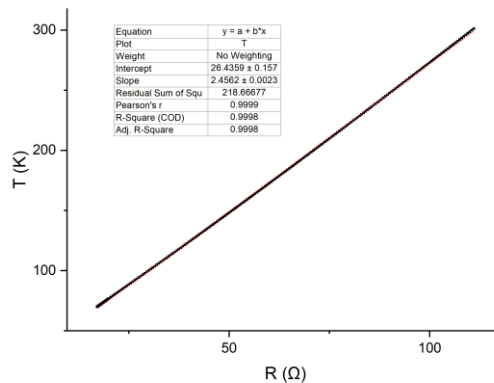
## 1. 铂电阻温度计电阻与温度的关系：

由实验室给出的铂电阻温度计电阻温度关系参考值进行线性拟合，确定铂电阻温度计的线性电阻温度关系为：

$$T(R) = aR + b$$
$$a = 2.4562\text{K}/\Omega; b = 26.4359\text{K}; r = 0.9999$$

特点：铂电阻温度计电阻在 60~300K 温度范围内几乎随温度线性增加。

图 1. 铂电阻温度计电阻与温度的关系



## 2. 室温下的参数测量

铂电阻回路电流	1.0000mA	铂电阻两端电压	107.77mV
Si 回路电流	100.02μA	Si 电阻两端电压	0.5198V
样品电流	10.01mA	样品电压	0.079V

室温下，铂电阻大小为 107.77Ω，计算得室温 T=291.141K。

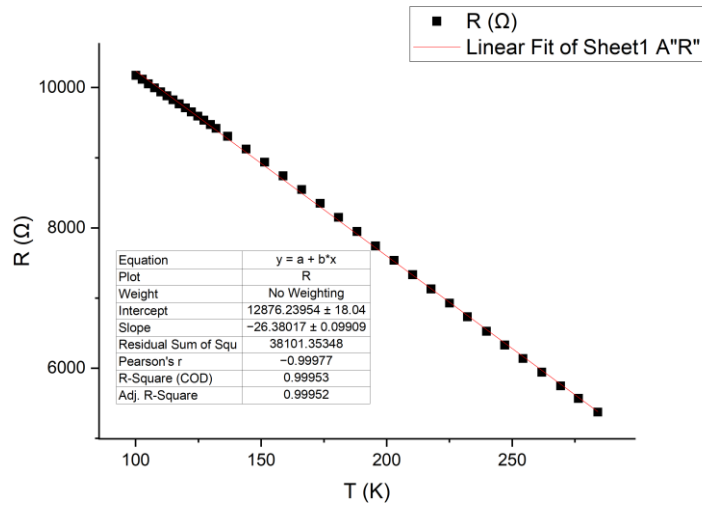
## 3. 温度，铂电阻，Si 二极管、温差电偶数据记录与处理

Pt 电阻电 压 (mV)	Pt 电 阻 (Ω)	温度 (K)	Si 二极管 电压 (V)	Si 二极管 电阻 (Ω)	温差电偶 电压 (mV)	温差电偶 电阻 (Ω)
104.91	104.91	284.116	0.5376	5374.93	5.619	0.561
101.77	101.77	276.403	0.5571	5569.89	5.320	0.531
98.88	98.88	269.305	0.5750	5748.85	5.052	0.505
95.83	95.83	261.814	0.5944	5942.81	4.775	0.477
92.78	92.78	254.322	0.6140	6138.77	4.505	0.450
89.82	89.82	247.052	0.6332	6330.73	4.248	0.424
86.86	86.86	239.781	0.6528	6526.69	3.995	0.399
83.77	83.77	232.192	0.6734	6732.65	3.739	0.373

80.86	80.86	225.044	0.6929	6927.61	3.502	0.350
77.87	77.87	217.700	0.7131	7129.57	3.204	0.320
74.88	74.88	210.356	0.7334	7332.53	3.034	0.303
71.87	71.87	202.963	0.7540	7538.49	2.809	0.281
68.86	68.86	195.570	0.7744	7742.45	2.591	0.259
65.86	65.86	188.201	0.7950	7948.41	2.370	0.237
62.86	62.86	180.833	0.8153	8151.37	2.166	0.216
59.88	59.88	173.513	0.8352	8350.33	1.969	0.197
56.88	56.88	166.145	0.8549	8547.29	1.779	0.178
53.86	53.86	158.727	0.8744	8742.25	1.590	0.159
50.87	50.87	151.383	0.8939	8937.21	1.409	0.141
47.88	47.88	144.039	0.9125	9123.18	1.240	0.124
44.88	44.88	136.670	0.9307	9305.14	1.077	0.108
43.00	43.00	132.053	0.9420	9418.12	0.979	0.098
42.08	42.08	129.793	0.9475	9473.11	0.931	0.093
41.02	41.02	127.189	0.9537	9535.09	0.877	0.088
40.04	40.04	124.782	0.9594	9592.08	0.829	0.083
39.00	39.00	122.228	0.9655	9653.07	0.777	0.078
38.02	38.02	119.821	0.9712	9710.06	0.730	0.073
37.02	37.02	117.364	0.9770	9768.05	0.682	0.068
36.02	36.02	114.908	0.9827	9825.03	0.635	0.063
35.02	35.02	112.452	0.9884	9882.02	0.589	0.059
34.02	34.02	109.996	0.9941	9939.01	0.543	0.054
33.02	33.02	107.540	0.9998	9996.00	0.499	0.050
32.01	32.01	105.059	1.0055	10052.99	0.455	0.045
31.02	31.02	102.627	1.0120	10117.98	0.409	0.041
30.00	30.00	100.122	1.0176	10173.97	0.367	0.37

(1) 硅二极管电阻与温度的关系

图 2.硅二极管电阻与温度的关系



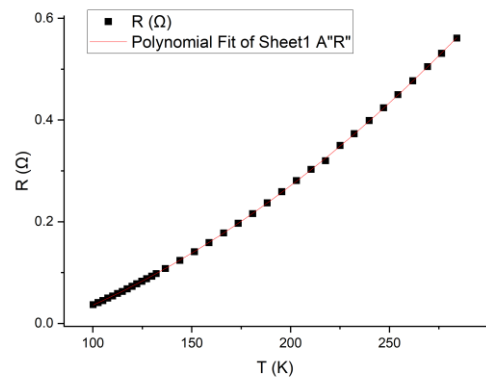
硅二极管关于温度的线性拟合结果为：

$$U_{SiD}(T) = a_{SiD}T + b_{SiD}$$
$$a_{SiD} = -26.38\Omega/K; \quad b_{SiD} = 12876.24\Omega; \quad r = -0.9998$$

特点：在 100~300K 这一温度范围内，硅二极管的阻值随温度上升而线性下降。

(2) 温差电偶电阻与温度关系

图 3.温差电偶电阻与温度的关系



特点：随着温度升高，温差电偶的电阻升高，产生的温差电动势升高，且两者的关系非线性。

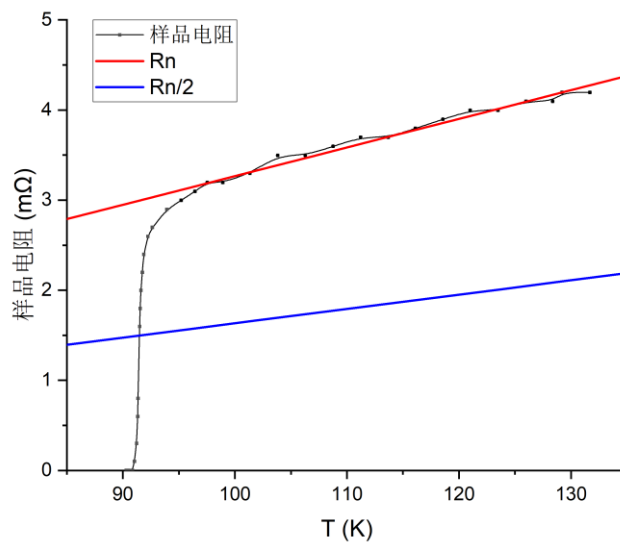
4. 超导样品数据记录与处理

Pt 电阻电压(mV)	Pt 电阻 (Ω)	温度 (K)	超 导 样 品 电 压 (mV)	超导样品电阻 (mΩ)
42.85	42.85	131.684	42	4.195
41.84	41.84	129.203	42	4.195
41.50	41.50	128.368	41	4.095
40.53	40.53	125.986	41	4.095
39.51	39.51	123.480	40	3.995
38.50	38.50	121.000	40	3.995
37.51	37.51	118.568	39	3.896
36.51	36.51	116.112	38	3.796
35.52	35.52	113.680	37	3.696
34.52	34.52	111.224	37	3.696
33.52	33.52	108.768	36	3.596
32.51	32.51	106.287	35	3.496
31.51	31.51	103.831	35	3.496
30.50	30.50	101.350	33	3.296
29.51	29.51	98.918	32	3.196
28.95	28.95	97.543	32	3.196
28.50	28.50	96.438	31	3.097
28.00	28.00	95.210	30	2.997
27.48	27.48	93.932	29	2.897
26.95	26.95	92.630	27	2.697
26.79	26.79	92.237	26	2.597
26.64	26.64	91.869	24	2.397
26.59	26.59	91.746	22	2.198
26.54	26.54	91.623	20	1.998
26.51	26.51	91.550	18	1.798
26.49	26.49	91.501	16	1.598
26.43	26.43	91.353	8	0.799
26.42	26.42	91.329	6	0.599

26.38	26.38	91.230	3	0.300
26.30	26.30	91.034	1	0.100
26.23	26.23	90.862	0	0.000
26.10	26.10	90.543	0	0.000
26.00	26.00	90.297	0	0.000

实验中，在电压表示数达到 0 后，将回路电流反向（克服乱真电动势的影响），发现电压表的示数仍然是 0，说明超导样品确实达到了零电阻的超导态。

图 4.超导样品电阻与温度的关系



用图中 $T \in [95.21\text{K}, 131.681\text{K}]$ 区间的共计 18 个数据点拟合直线 $R_n(T)$ :

$$R_n(T) = a_n T + b_n; \quad a_n = 0.0318 \text{ m}\Omega/\text{K} \quad b_n = 2.794 \text{ m}\Omega$$

相关系数:  $r = 0.99$

再绘制 $\frac{1}{2}R_n(T)$ ，与样品特性曲线相交，得到超导转变中点温度 $T_{cm}$ 。

综合数据记录和处理，得到起始转变温度 $T_{c,onset}$ 、超导转变中点温度 $T_{cm}$ 、零电阻温度 $T_{c0}$ 如下：

$$T_{c,onset} = 97.31\text{K}; \quad T_{cm} = 91.45\text{K}; \quad T_{c0} = 90.86\text{K}$$

## 5. 液氮沸点检测数据

铂电阻回路电流	1.0002mA	铂电阻电压	20.35mV
Si 回路电流	100.21μA	Si 电阻两端电压	1.0695V
样品电流	10.0125mA	样品电压	0.001mV

当装置完全浸入液氮中时， $R_{Pt} = 20.34593\Omega$ ，由 $T(R) = aR + b$ 得，此时得温度为 76.41K。因此，液氮的沸点为 76.41K。该温度下超导样品得电阻为 0  $\Omega$ 。

## 6. 评价测量系统的精确度和稳定性

(1)  $Pt$ 电阻测量电路电流的误差:  $\frac{1.0002-1.0000}{1.0000} = 0.02\%$

(2)  $Si$ 半导体电阻测量电路电流的误差:  $\frac{100.21-100.02}{100.02} = 0.21\%$

(3) 超导电阻测量电路电流的误差:  $\frac{10.0125-10.01}{10.01} = 0.025\%$

综合而言,三个温度计均具有较高的精确度和稳定性,相比较而言,在该实验的测量区间内, $Pt$ 电阻的精确度和稳定性更高,超导电阻次之, $Si$ 半导体电阻再次之。

## 7. 思考题

利用硅二极管  $pn$  结正向电压随温度变化的线性关系,可以得到哪些物理信息?

答:硅二极管  $pn$  结的正向电压随温度变化线性递减,可以用于测量温度、研究半导体材料的温度特性、还可以用于在电子元器件的温度补偿。半导体少数载流子对温度变化敏感,当温度升高时,少数载流子浓度增加,电流增强。为了维持相同的正向电流,正向电压降低,半导体电阻下降。