

# 《基础物理实验》实验报告

学号 00000000 姓名 我是谁 实验日期 2025.04.15 星期 二 下午

## 半导体热敏电阻特性的研究(平衡电桥)

### 一、实验目的

1. 了解热敏电阻的电阻-温度特性和测温原理
2. 掌握惠斯通电桥的原理和使用方法

### 二、实验原理

#### 1. 半导体热敏电阻的电阻-温度特性

半导体热敏电阻的基本特性是它的温度特性,而这种特性又是与半导体材料的导电机理密切相关的。由于半导体中的载流子数目随温度升高而按指数规律迅速增加。温度越高,载流子的数目越多,导电能力越强,电阻率也就越小。因此热敏电阻随着温度的升高,它的电阻将按指数规律迅速减小。

实验表明,在一定温度范围内,半导体材料的电阻  $R_T$  和绝对温度  $T$  的关系可表示为

$$R_T = ae^{\frac{b}{T}} \quad (1)$$

其中常数  $a$  不仅与半导体材料的性质而且与它的尺寸均有关系,而常数  $b$  仅与材料的性质有关, $T$  取绝对温度。

定义电阻温度系数为:

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} \quad (2)$$

按照温度系数不同分为正温度系数和负温度系数,正温度系数热敏电阻在温度越高时电阻值越大,负温度系数热敏电阻在温度越高时电阻值越低。

(1) 式中常数  $a$ 、 $b$  可通过实验方法测得。常利用多个  $T$  和  $R_T$  的组合测量值,通过作图的方法(或用回归法最好)来确定常数  $a$ 、 $b$ ,为此取 (1) 式两边的对数。变换成直线方程:

$$\ln R_T = \ln a + \frac{b}{T} \quad (3)$$

或写作  $Y = A + BX$  的形式,其中  $Y = \ln R_T$ ,  $A = \ln a$ ,  $B = b$ ,  $X = \frac{1}{T}$ 。然后取  $X$ 、 $Y$  分别为横、纵坐标,对不同的温度  $T$  测得对应的  $R_T$  值,经过变换后作  $X - Y$  曲线,它应当是一条截距为  $A$ 、斜率为  $B$  的直线。根据斜率求出  $b$ ,又由截距可求出  $a = e^A$ 。

确定了半导体材料的常数  $a$  和  $b$  后,便可计算出这种材料的电阻温度系数

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{b}{T^2} \times 100\% \quad (4)$$

显然,半导体热敏电阻的温度系数是负的,并与温度有关。

#### 2. 用惠斯通电桥测量半导体热敏电阻

惠斯通电桥的原理图如图 1 所示,四个电阻  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_x$  组成一个四边形,即电桥的四个臂,其中  $R_x$  就是待测电阻。在四边形的一对对角  $A$  和  $C$  之间连接电源,而在另一对对角  $B$  和  $D$  之间接入检流计  $G$ 。当  $B$  和  $D$  两点电位相等时, $G$  中无电流通过,电桥便达到了平衡。平衡时必有

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$$

$R_1$ 、 $R_2$  和  $R_0$  都已知, $R_x$  即可求出。

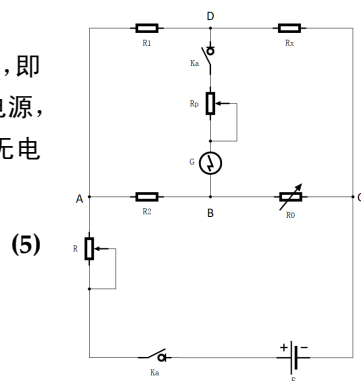


图 1: 实验原理图

### 三、实验仪器

箱式惠斯通电桥、控温仪、热敏电阻、直流电稳压电源。

### 四、实验内容

#### 1. 求电桥灵敏度

本实验中为测量电桥灵敏度,可以先调电桥至平衡,  $R_x = R_0 = 3000\Omega$ ,  $\frac{R_1}{R_2} = 1$ , 改变  $R_x$  至  $R_x + \Delta R_x$ , 使检流计偏转 15 格; 再将  $R_x$  改变为  $R_x - \Delta R_x$ , 使检流计向反方向偏转 15 格, 取两次  $\Delta R_x$  的平均值  $\overline{\Delta R_x}$ , 带入公式  $s = \frac{\frac{\Delta n}{\overline{\Delta R_x}}}{R_x}$  得到电桥灵敏度。

#### 2. 测量热敏电阻的温度特性

接好电路, 安置好仪器。

将热敏电阻放入加热铜管, 温度由自动温控仪控制。热敏电阻的两条引出线连接到惠斯通电桥的待测电阻  $R_x$  的接线柱上。

测试的温度从  $30^\circ\text{C}$  开始, 每增加  $2.5^\circ\text{C}$ , 测量温度点的  $R_t$ , 直到  $70^\circ\text{C}$  止。绘制热敏电阻  $R_T - T$  特性曲线。

由电阻的温度系数定义式, 在  $T = 50^\circ\text{C}$  的点作切线, 求出该点切线的斜率、 $T = 50^\circ\text{C}$  点的电阻温度系数。

作  $\ln R_T - \frac{1}{T}$  曲线, 确定式 (1) 中常数  $a$  和  $b$ , 再由 (4) 式求  $T = 50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数  $\alpha$  ( $\alpha = -\frac{b}{T^2}$ ), 并将两次求得的  $\alpha$  进行对比。

### 五、数据记录

原始数据见附录。

### 六、数据处理

#### 1. 求电桥灵敏度

$$\overline{\Delta R_x} = \frac{\Delta R_{x1} + \Delta R_{x2}}{2} = \frac{23.7 + 23.3}{2} \Omega = 22.5 \Omega$$
$$s = \frac{\frac{\Delta n}{\overline{\Delta R_x}}}{\frac{R_x}{3000 \Omega}} = \frac{15}{22.5 \Omega} = 2000$$

#### 2. 热敏电阻温度特性

将摄氏温标转换为开氏温标, 对正向与反向的电阻取平均值, 见图 2。

	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)
长名称	温度	温度	正向电阻	反向电阻	电阻
单位	℃	K	Ω	Ω	Ω
注释					平均
F(x)=		A+273.15			(C+D)/2
1	30	303.15	4098	4095	4096.5
2	32.5	305.65	3728	3741	3734.5
3	35	308.15	3413	3424	3418.5
4	37.5	310.65	3127	3128	3127.5
5	40	313.15	2861	2870	2865.5
6	42.5	315.65	2623	2630	2626.5
7	45	318.15	2406	2412	2409
8	47.5	320.65	2216	2218	2217
9	50	323.15	2037	2040	2038.5
10	52.5	325.65	1887	1888	1887.5
11	55	328.15	1741	1738	1739.5
12	57.5	330.65	1607	1608	1607.5
13	60	333.15	1486	1483	1484.5
14	62.5	335.65	1374	1372	1373
15	65	338.15	1272	1267	1269.5
16	67.5	340.65	1176	1176	1176
17	70	343.15	1092	1092	1092

图 2: 数据表

绘制热敏电阻  $R_T - T$  散点图, 并用  $y = Ae^{\frac{B}{x}}$  作拟合曲线, 然后再  $50^\circ\text{C}$  处作切线, 如图 3 所示。

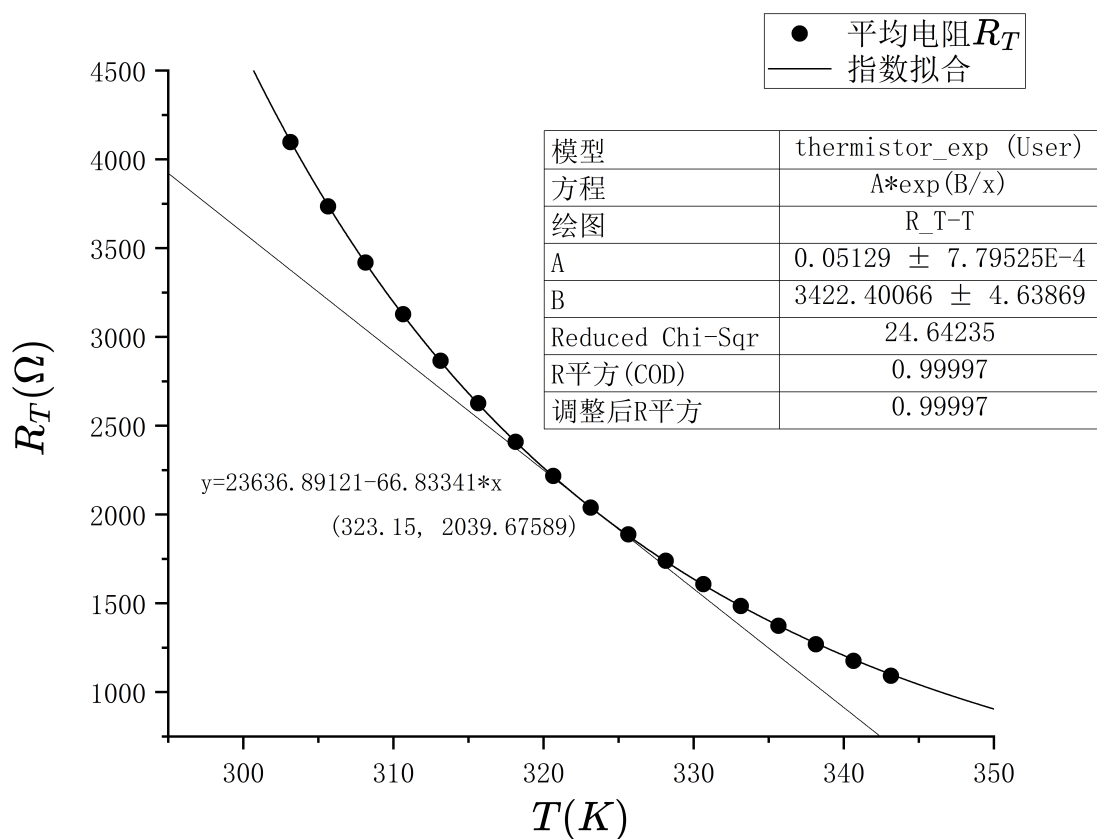


图 3: 热敏电阻  $R_T - T$  特性曲线及其指数拟合与  $T = 50^\circ\text{C}$  处的切线

得到拟合曲线方程为  $y = 0.05129e^{\frac{3422.40066}{x}}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$  处的切线方程为  $y = -66.83341x + 23636.89121$ , 故斜率为  $-66.83341$ 。通过带入 (2) 式可得到电阻温度系数为  $\alpha_1 = \frac{-66.83341}{2038.5} = -0.03279 / ^\circ\text{C}$

将  $R_T$  取对数,  $T$  取倒数, 作  $\ln(R_T) - \frac{1}{T}$  散点图以及线性拟合曲线, 如图 4 所示。

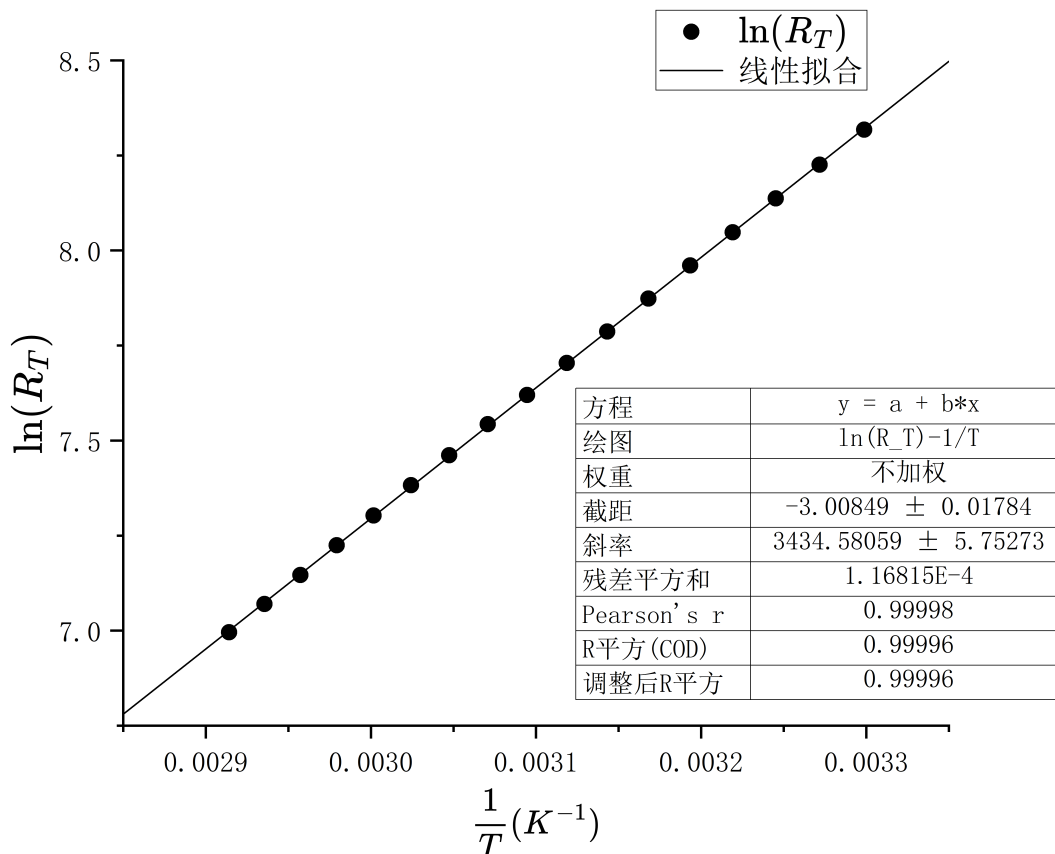


图 4: 热敏电阻  $\ln(R_T) - \frac{1}{T}$  特性曲线及其线性拟合

得到拟合直线方程为  $y = 3434.58059x - 3.00849$ 。根据 (4) 式可知得到  $\alpha_2 = -\frac{k}{T^2} = -\frac{3434.58059}{323.15^2} = -0.03289 / ^\circ\text{C}$

对比  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$

$$\left| \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1} \right| = \left| \frac{-0.03289 + 0.03279}{-0.03279} \right| = 3.049 \times 10^{-3} = 0.3049\%$$

$$\left| \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_2} \right| = \left| \frac{-0.03279 + 0.03289}{-0.03289} \right| = 3.040 \times 10^{-3} = 0.3040\%$$

故可以得出  $\alpha_1 \approx \alpha_2$ , 故该热敏电阻在  $50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数为

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{-0.03279 - 0.03289}{2} = -0.03284 / ^\circ\text{C} = -3.284\% / ^\circ\text{C}$$

## 七、误差分析

1. 自动温控仪控温会在  $0.1^\circ\text{C}$  内波动, 使得电阻读数不准;
2. 电桥的电阻调节最小刻度为  $1\Omega$ , 不够精确;
3. 开关与导线本身有电阻, 使得结果不准确;

4. 使用时间久导致电桥电阻会发热而阻值不准确。

## 八、思考题

1. 在多次测量灵敏度的时候, 试分析每次需要重测初始电阻吗?

答: 本实验中的  $R_0, R_x$  为固定值  $3000\Omega$ , 比例臂  $\frac{R_1}{R_2}$  固定为  $1:1$ , 故无需重新测量, 重新测量反而会带来更多的系统误差。但若按照正常流程, 即通过调节  $R_0$  测量计算初始电阻  $R_x$ , 并且改变  $R_0$  来使检流计偏转, 需要重新测量初始电阻, 因为电阻或电桥内部元件受温度影响, 阻值可能发生微小漂移; 电桥开关或接线端子接触不良会导致初始平衡条件改变; 电源电压波动可能影响电桥平衡点。导致初始电阻未校准, 后续测量的  $\Delta R_x$  和灵敏度  $s$  将偏离真实值, 导致结果不可靠。

2. 测量热敏电阻的阻值, 如果没有等温度稳定就记录实验结果, 试分析对结果的影响?

答: 会导致误差。热敏电阻的阻值随温度动态变化。若温度未稳定时记录数据, 测得的  $R_T$  对应的是瞬时温度下的而非设定温度下的, 导致  $R_T - T$  曲线偏离真实特性。若温度波动剧烈, 数据点会分散, 降低拟合精度。若每个点测量温度都比设定温度略低, 则导致测得  $R_T$  偏高, 使得对数法拟合得到的斜率偏大而使温度系数的绝对值偏大, 温度未稳定会导致切线斜率不准确, 进一步影响  $\alpha$  的计算。

## 九、实验结论

实验所用的惠斯特电桥灵敏度为  $s = 2000$ , 此热敏电阻在  $50^\circ\text{C}$  时的电阻温度系数为  $\alpha = -0.03284 / ^\circ\text{C} = -3.284\% / ^\circ\text{C}$