



## 实验名称: 半导体温度计的设计

姓名: 刘子言 学号: 20002462 实验班: G13 组号: 15 教师: 倪一

### 一、实验目的

1. 掌握半导体温度计测量温度的基本原理与方法;
2. 学习采用不平衡电桥测非电量的标定方法;
3. 设计制作一台半导体温度计。

### 二、实验原理

#### 1. 热敏传感器及其种类

热敏传感器将温度变化转换为电学量变化;按照材料可以分为热电阻(如金属铜、铂等)和热敏电阻(半导体)。其中热敏电阻又可分为PTC、NTC、CTR三种,本实验选择NTC(负温度系数)热敏电阻作为实验器材。

#### 2. 热敏电阻特性

(1) 非电量测量法: 半导体温度计是利用半导体的电阻值随温度急剧变化的特性而制作的,以半导体热敏电阻为传感器,通过测量其电阻值来确定温度。

#### (2) 热敏电阻伏安特性:

在右图1:  $V-I$  曲线的起始部分曲线接近线性,符合欧姆定律,此时热敏电阻的阻值主要与外界温度有关,电流的影响可以忽略不计,因为电流小时热敏电阻消耗的功率不足以显著改变热敏电阻的温度。

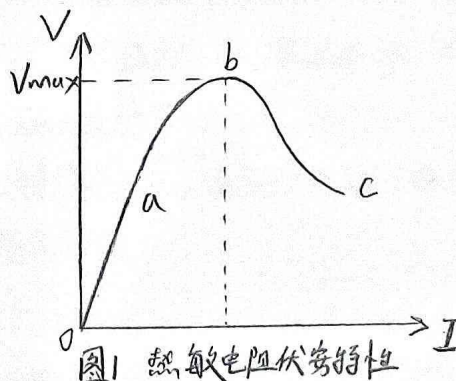


图1 热敏电阻伏安特性

#### 3. 不平衡电桥法测温电路原理

(1) 不平衡电桥原理: 如图2,  $R_T$  为热敏电阻,电桥平衡时  $I_G = 0$ , 有  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_T}$ ,





若取  $R_1 = R_2$ , 则  $R_3$  即为  $R_T$ , 若  $R_T$  变化, 平衡打破,  $I_G$  有示数。若  $V_{CD}$ ,  $R_G$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  均已定, 则可根据  $I_G$  计算  $R_T$ , 即微安表中电流大小直接反映了热敏电阻大小。

(2) 确定各个电阻值:

由电桥原理可知: 当  $R_T = R_{T1}$  (测温量程的下限) 时, 要求  $I_G = 0$ , 电桥平衡; 若取  $R_1 = R_2$ , 则  $R_3 = R_{T1}$ , 由此决定  $R_3$  的值。当温度增加时,  $R_T$  减小,  $I_G$  有示数, 当  $R_T = R_{T2}$  (测量量程的上限温度电阻值), 要求  $I_G$  为满刻度, 此时  $I_G$  与  $V_{CD}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  有关, 由于  $R_1 = R_2$ , 故  $I_G$  只与  $R_{T2}$ ,  $V_{CD}$  有关。若流入  $R_T$  的电流  $I_T$  满足  $I_T \gg I_G$ , 则加在电桥两端上的电压  $V_{CD}$  近似有:

$$V_{CD} = I_T (R_3 + R_T) \quad (1)$$

根据所设计的图2电桥电路, 由基尔霍夫定律可以求出  $I_G$  与  $V_{CD}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_{T2}$  的关系, 又由于  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_{T1}$ , 整理可得以下公式:

$$R_1 = \frac{2V_{CD}}{I_G} \cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \right) - 2 \left( R_G + \frac{R_{T1} R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \right) \quad (2)$$

由②式可确定  $R_1$ ,  $R_2$  的值, 这样确定的  $R_1$ ,  $R_2$  与  $V_{CD}$  的选择相对应, 即和  $I_T$  相对应, 由式①,  $I_T$  小一些, 则  $V_{CD}$  也小一些, 则相应的  $R_1$  和  $R_2$  的实际值也可以比计算值小一些, 但不应大于计算值。本实验选择  $V_{CD} = 1V$ , 代入②式, 可得  $R_1$  与  $R_2$ 。

一般  $V_{CD}$  小于电池电动势, 为保证电桥两端所需的电压, 通常在电路中接入一个可变电阻器  $R$ ,  $R$  的值根据电桥电路中的总电流来选择。

### 三 实验仪器

热敏电阻、水浴锅、微安表、1.5V 电池, 滑线变阻器、可调电阻器、四线电阻箱、数字万用表、废笔、导线、单刀开关等。

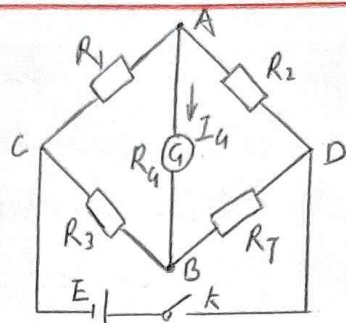


图2: 热敏电阻测温电路原理图



## 四、实验内容与主要步骤

### 1. 实验内容:

- (1) 用半导体热敏电阻作为传感器, 设计制作一台测温范围为 $10-70^{\circ}\text{C}$ 的半导体温度计, 并用自制温度计对热平衡环境进行测温。
- (2) 要求: 微安计的全部量程均能有效利用, 即 $20^{\circ}\text{C}$ 时, 微安计示数为零,  $70^{\circ}\text{C}$ 时, 微安计示数为满刻度。

### 2. 主要步骤:

#### (1) 准备工作

设计实验参数, 调整仪器。点击“记录数据”打开数据表格, 查看热敏电阻在 $20^{\circ}\text{C}$ 和 $70^{\circ}\text{C}$ 时的阻值, 代入公式②, 计算并填写 $R_1$ 的电阻值。

用万用表的 $20\text{k}\Omega$ 档, 调节变阻器3的阻值 $R_3$ , 使其等于热敏电阻在 $20^{\circ}\text{C}$ 时的测量阻值。用类似方式, 通过万用表调节变阻器1、2的阻值为计算值。

#### (2) 标定半导体温度计

将微安表调零, 准备标定。按照图2连线, 其中用电阻箱代替热敏电阻。连线完成后, 点击“确定状态”以保存连线状态。

调节电阻箱阻值为 $20^{\circ}\text{C}$ 时的热敏电阻阻值 $R_{T1}$ 。调节滑线变阻器, 同时用万用表测量电桥两端电压至 $1\text{V}$ 。观察微安表的示数是否为零, 若不是, 则微调变阻器3。

注意: 电桥调平衡后,  $R_3$ 不能再改变。

调节电阻箱阻值为 $70^{\circ}\text{C}$ 时的热敏电阻阻值 $R_{T2}$ 。调节滑线变阻器, 使得微安表指针指向满刻度位置。注意: 在此之后滑线变阻器阻值不应再改变。

调节电阻箱阻值, 使其依次等于表格中各个温度点的热敏电阻值, 读出并记录相应的微安表的示数, 同时添加刻度线, 对微安表进行“温度标定”。

#### (3) 半导体温度计测量温度值





用热敏电阻替换电阻箱，接入电路，线路中其它组件不变。连接完成后点击“确定状态”。打开水浴锅，选择合适的水域温度（第一次设定为  $35^{\circ}\text{C}$ ，第二次设定为  $55^{\circ}\text{C}$ ），待温度稳定以后，读出自制温度计测量得到的温度值，以及此时微安表上的电流值，记录并比较。

## (4) 结束工作

确认填写表格，提交数据，整理实验仪器，结束实验。

## 五、数据处理与分析

1. 实验时已知的热敏电阻阻值与对应温度表如下：

温度值( $^{\circ}\text{C}$ )	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
热敏电阻值(单位 $\Omega$ )	4206	3400	2768	2268	1870	1552	1295	1087	917	777	662

## 2. 电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 的设计过程

已知微安表表头内阻  $R_G = 1200\Omega$ ， $I_G = 100\mu\text{A}$ ，加在电桥两端的电压为  $V_{CD} = 1\text{V}$ ， $R_{T1} = 4206\Omega$ ， $R_{T2} = 662\Omega$ ，代入公式②，计算得：

$$R_1 = R_2 = \frac{2V_{CD}}{I_G} \left( \frac{1}{2} - \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \right) - 2 \left( R_G + \frac{R_{T1} R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}} \right) = \frac{2 \times 1}{100 \times 10^{-6}} \times \left( \frac{1}{2} - \frac{662}{4206 + 662} \right) - 2 \left( 1200 + \frac{662 \times 4206}{4206 + 662} \right) = 3736.25\Omega$$

## 3. 标定温度计时的微安表电流值

温度值( $^{\circ}\text{C}$ )	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
热敏电阻值( $\Omega$ )	4206	3400	2768	2268	1870	1552	1295	1087	917	777	662
微安表电流值( $\mu\text{A}$ )	0.0	11.0	22.0	33.0	44.0	55.0	65.2	75.0	84.0	92.5	100

4. 绘制  $I-T$  曲线：见纸质报告后附图3. 微安表电流值( $I$ )与温度( $T$ )曲线。

5. 标定好的温度计：截图见纸质报告后附图4。

## 6. 自制温度计测量温度值

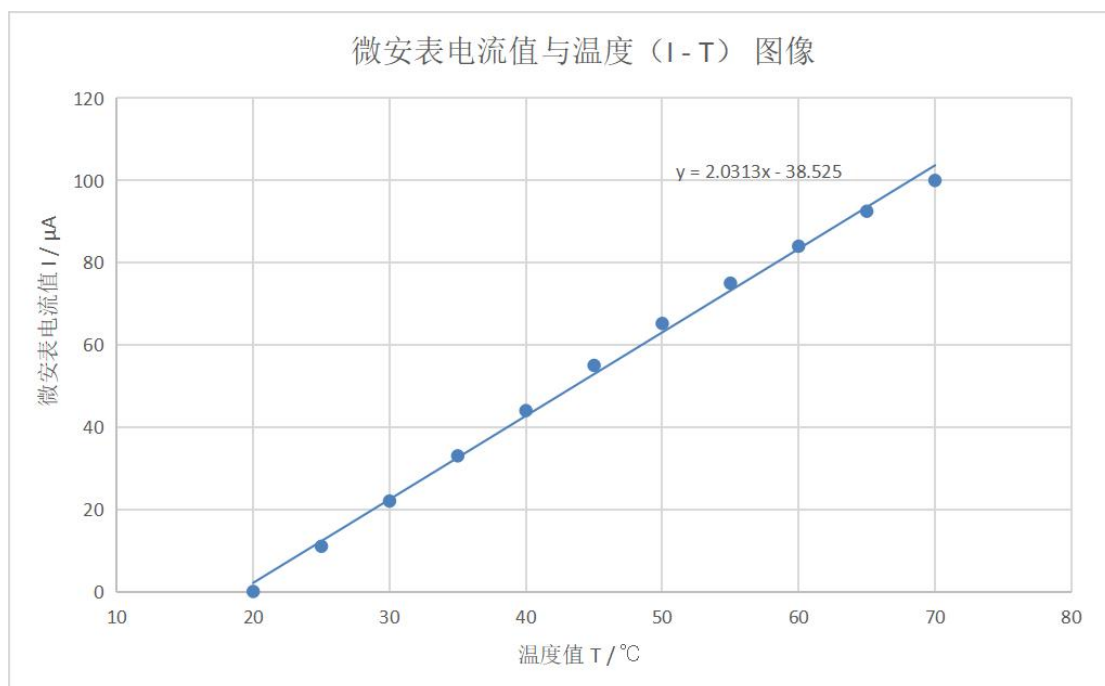


图 3 微安表的电流值与温度 (I - T) 图像



图 4 标定完成的温度计





## 6. 自制温度计测量温度值

选择的水浴温度值 $T(^{\circ}\text{C})$	35.1	55.0
使用设计的温度计测得的读数 $T(^{\circ}\text{C})$	35.0	55.0
此时对应的微安表电流值 $I(\mu\text{A})$	33.0	75.0

## 六、结果与讨论

1. 通过对实验原理、方法的学习和实践, 基本掌握了半导体温度计测量温度的方法;
2. 采用不平衡电桥法测量非电阻, 并标定温度; 利用所标定的温度计测量温度值, 得到的读数与选择的水浴温度值一致, 说明自制的温度计准确度较高, 设计与标定都较为准确。测量的温度范围为  $20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$

## 七、分析讨论题

Q: 能否用不平衡电桥测量电阻? 若能, 请说明测量方法。

A: 可以用不平衡电桥测量电阻, 方法如下:

利用图2中的不平衡电桥电路, 将热敏电阻  $R_T$  换成待测电阻  $R_x$

已知  $R_g$ 、 $V_{CD}$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  的值, 则通过调节电桥上  $I_G$  的值, 通过计算便可得到  $R_x$  的值。为了避免电流过大使检流计超过量程, 我们可以将检流计换成普通电流表  $A$ , 记录电流表示数  $I_G$ , 推导出的  $I_G$  与  $R_x$  的关系式如下:

$$I_G = V_{CD} \cdot \frac{R_2 R_3 - R_1 R_x}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_x) R_g + R_1 R_3 (R_2 + R_x) + R_2 R_x (R_1 + R_3)}$$

也可以选用变阻箱代替待测电阻  $R_x$ , 通过改变变阻箱  $R'$  的值记录多组  $I_G$  的值, 绘制  $I_G - R'$  的图像, 再将  $R_x$  代替  $R'$ , 读出  $I_G$  的值, 根据已得的图像, 找到此  $I_G$  对应的  $R'$  值, 即为待测电阻  $R_x$  的测量值。