

## 实验 6-半导体温度计的设计与制作

### 实验目的

- 1.初步了解半导体温度计及测温电路的工作原理，学会使用相关实验仪器。
- 2.学会多种电路分析方法，学会通过电桥平衡设计电路。
- 3.初步了解非线性数据的数据处理方法。

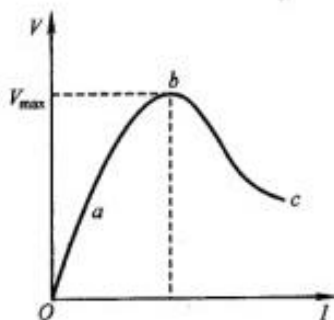
### 实验原理

#### 1.热敏电阻

热敏电阻的电阻随温度而变化。通常情况下使用的热敏电阻，大多是负温度系数的热敏电阻，温度越高阻值越低。

半导体温度计就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的仪器。本实验使用的热敏电阻是金属氧化物的半导体。

如图 6.2，热敏电阻的 U-I 曲线不是线性变化的：



▲图 6.2 热敏电阻的 U-I 曲线

虽然热敏电阻的 U-I 曲线很复杂，但是在 I 很小的时候，U 与 I 近似呈线性关系。因此，在小电流区间实验，可以认为，电流稳恒时，电阻稳定不变，从而便于实验进行，获得比较好的效果。

#### 2.测温电路

本实验使用电桥电路，使得热敏电阻由温度造成的阻值变化转化为电路电流的变化，通过电桥中间的微安计显示出来。

# 实 验 报 告

评分:

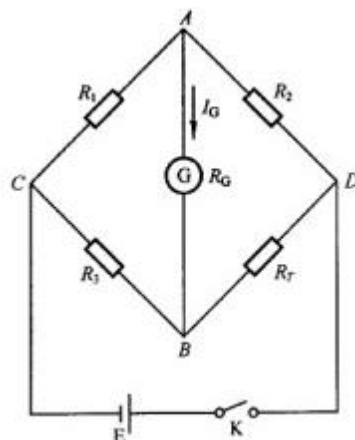
少年班学院 系 20 级

学号 \*\*\*\*\*

姓名 \*\*\*\*\*

日期 2021-6-1

测温电路如图 6.2 所示。



▲图 6.3 实验使用的电桥电路

实验中使用等臂电桥，即  $R_1=R_2$ ；根据基尔霍夫定律，假设流过  $R_G$  的电流远远小于其他的电路部分，那么根据基尔霍夫定律，有

$$I_G = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_{T2}}{R_3 + R_{T2}}}{R_G + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_{T2}}{R_3 + R_{T2}}} V_{CD} \quad (1)$$

这样，可以得到  $R_T$  与  $I_G$  的关系。

## 实验器材

热敏电阻、待焊接的电路板、微安计、电阻器、烙铁、电阻箱、电池、多挡开关、导线、多用表、恒温水浴等。

## 实验步骤

1. 根据实验附件给出的数据画出  $U-I$  图，从而确定其最小、最大温度（ $20^\circ\text{C}$  和  $70^\circ\text{C}$ ）下的电阻。

实验中选取  $CD$  之间的电压为  $1\text{V}$ ，从而保证热敏电阻工作于其小电流部分。

根据已知数据，算出电桥上面两臂的  $R_1$  和  $R_2$  的阻值大小。

以上步骤由预习报告给出。

2. 电路连接和元件设定

# 实 验 报 告

评分:

少年班学院 系 20 级

学号 \*\*\*\*\*

姓名 \*\*\*\*\*

日期 2021-6-1

翻转试验箱的电路板。使得其背面朝上。一个人万用电表按住  $R_1$  的接线柱，另一个人通过调节  $R_1$  的两个旋钮，使得万用电表算出的阻值为之前计算出的阻值。同样对  $R_2$  进行操作，两个共同完成电阻  $R_1$  和  $R_2$  的设定。此后，我们应该保持  $R_1$  和  $R_2$  的阻值不动。

使用电烙铁，参照电路设计和底板结构对电路用导线进行焊接。焊接时注意，开关  $K_1$  放在 1 档，电流计的正极与 E 点最后连接。

电路连接时要避免虚焊、漏焊等问题，要正确连接，避免造成电路损坏。电烙铁温度高，需要注意实验安全，用后及时关闭电源。

## 3. 调节 $R_3$ 、电阻箱的阻值。

将开关置于 3 档，接入电阻箱，调节电阻箱使其阻值为热敏电阻  $20^\circ\text{C}$  时的阻值。调节  $R_3$  使电流计的示数为 0，此时  $R_3$  的电阻即为热敏电阻  $20^\circ\text{C}$  的阻值。然后，调节电阻箱的阻值为热敏电阻  $70^\circ\text{C}$  时的阻值，此时电流计不一定满偏。因此调节  $R$  的阻值，使电流计满偏，此时 CD 两端电压为 1V，达到实验要求条件。

## 4. 数据测量

调整电阻箱的阻值，使其阻值分别为热敏电阻  $20^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ ，到  $70^\circ\text{C}$  时的阻值，每隔  $5^\circ\text{C}$  记录一次此时电流计的示数，并标记到刻度盘纸上。将微安计表盘改为温度计。做出 I-T 曲线。

## 5. 温度测试

选取台号对应的热敏电阻，用热敏电阻替代电阻箱，将热敏电阻放置于恒温水浴锅中。要求热敏电阻必须完全浸没在水中，且不与水浴锅的底部、侧面接触。待读数稳定后，读出此时电流计的读数，以及水银温度计所给出的温度。根据上一步给出的测量数据计算误差。以上步骤在两个不同温度的水浴锅中各进行一次。

## 6. 整理仪器

实验经过验收后，用电烙铁拆除之前所连接的电路，注意安全。整理其他仪器，实验器材归位，实验台整洁、有序。结束实验。

## 数据记录

### 1. 仪器调节

实际使用万用表对  $R_1$  和  $R_2$  进行测量和调节，调节结果为：

# 实 验 报 告

评分:

少年班学院 系 20 级

学号 \*\*\*\*\*

姓名 \*\*\*\*\*

日期 2021-6-1

$R_1=5974\ \Omega$  ,  $R_2=5974\ \Omega$  ;

2.记录的 I-T 关系如下:

温度/ $^{\circ}\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
电流/ $\mu\text{A}$	0.0	6.2	12.4	18.5	24.1	29.8	34.8	39.4	43.0	46.1	50.0

3.温度计测试

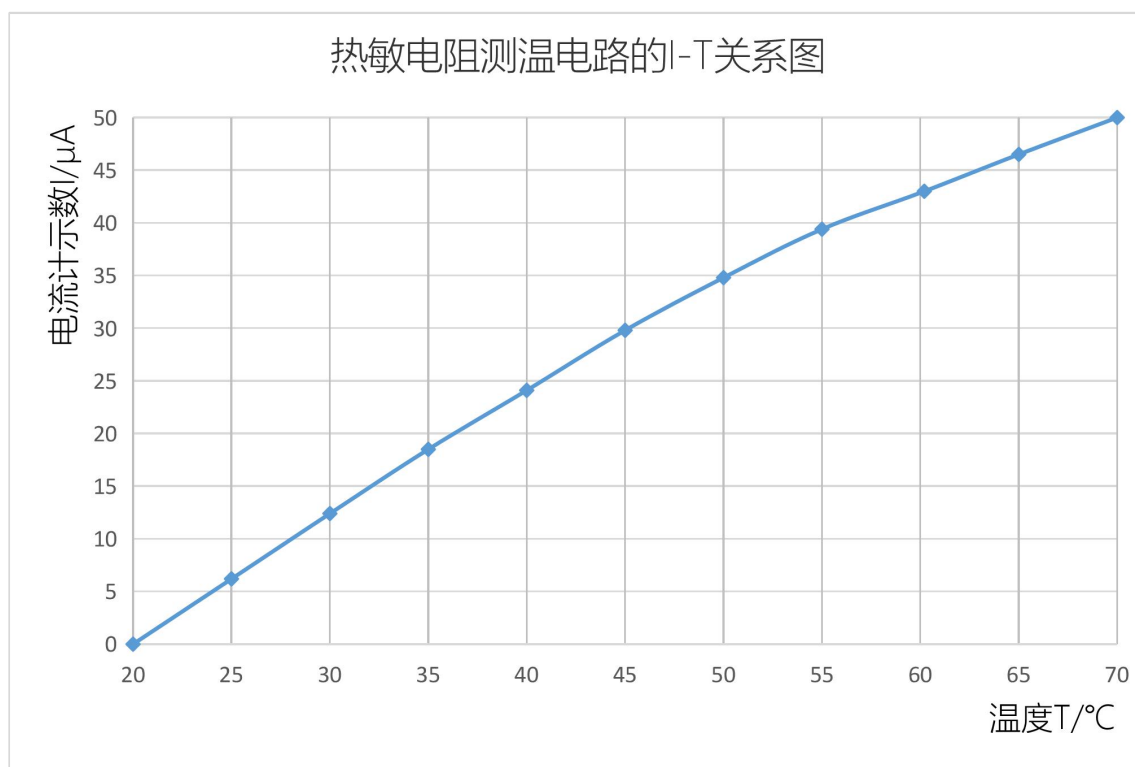
实验中使用恒温水箱测试:

$T_1=32^{\circ}\text{C}$        $I_{\text{测}}(32^{\circ}\text{C})=14.6\ \mu\text{A}$

$T_2=59^{\circ}\text{C}$        $I_{\text{测}}(59^{\circ}\text{C})=42.2\ \mu\text{A}$

## 数据处理

将 2 中的数据用曲线画出, 如下图 6.4 所示:



▲ 图 6.4 热敏电阻测温电路的 I-T 曲线图

利用上图拟合得到的曲线, 得到:

$I(32^{\circ}\text{C})=15.10\ \mu\text{A}$  ,  $I(59^{\circ}\text{C})=42.13\ \mu\text{A}$ ;

因此得出两次测量值的相对误差:

# 实 验 报 告

评分:

少年班学院 系 20 级

学号 \*\*\*\*\*

姓名 \*\*\*\*\*

日期 2021-6-1

$$\Delta_1 = \frac{|I_{\text{测}}(32^\circ\text{C}) - I(32^\circ\text{C})|}{I(32^\circ\text{C})} = \frac{15.10 - 14.60}{15.1} = 3.4\%$$

$$\Delta_2 = \frac{|I_{\text{测}}(59^\circ\text{C}) - I(59^\circ\text{C})|}{I(59^\circ\text{C})} = \frac{42.2 - 42.13}{42.13} = 0.2\%$$

两个相对误差值均 $<5\%$ ，符合实验的误差要求。

## 误差分析

1. 电流计最小分度值为  $2\mu\text{A}$ ，读数时容易造成读数误差；
2. 在热敏电阻的 I-T 图上读数时，由于两者关系复杂，因此容易产生读数误差；
3. 测量数据的温度间距较大，造成误差较大。

## 思考题

1. 用万用表测量并调节  $R_1$  和  $R_2$  的阻值时，可以取比式 (16-4) 计算值略小的整数。为什么？

答：这样将导致热敏电阻分压略小于理论计算得到的分压，从而使得流过热敏电阻的电流比较小，可以有效保护电路元件。

2. 完成电路连接后，如果需要测  $R_1$  和  $R_2$ ，为什么需将开关置于 1 挡，拔下 E 处接线，断开微安计？

答：如果开关不在 1 挡，则实际测量中，本身电路有电流通过，会干扰测量结果；如果没有断开 E 处接线，那么万用表在  $R_1$  两端时，根据电路图可知：

①如果 E 处接线全部没有断开，那么其实际测量的是： $R_3$  与  $R_4$  串联，与微安表并联，再与  $R_3$  串联，最后与  $R_1$  并联的电阻，即：
$$R_{\text{测}} = \frac{1}{R_1^{-1} + \left\{ \left[ (R_3 + R_4)^{-1} + R_G^{-1} \right]^1 + R_3 \right\}^{-1}};$$

②如果只断开 E 处与电流计正极的接线，保留 E 与  $R_1$  和  $R_2$  的接线，那么测量的是： $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  串联后，与  $R_1$  并联的电阻，即：
$$R_{\text{测}} = \frac{1}{R_1^{-1} + (R_2 + R_3 + R_4)^{-1}};$$

③如果只断开 E 与  $R_2$  的接线，保留 E 与  $R_1$  和与电流计正极的接线，那么实际测量的是： $R_G$ 、 $R_3$  串联后，与  $R_1$  并联的电阻，即：
$$R_{\text{测}} = \frac{1}{R_1^{-1} + (R_3 + R_G)^{-1}};$$

# 实 验 报 告

评分:

少年班学院 系 20 级 学号 \*\*\*\*\* 姓名 \*\*\*\*\* 日期 2021-6-1

因此，只有将开关置于 1 档，并将 E 处与  $R_2$  和电流计的导线断开时，万用电表测量得到的读数才是  $R_1$  的阻值。同理知，如果要测量  $R_2$  的阻值，也需要将开关置于 1 档，并断开 E 点与  $R_1$  和电流计的导线。

另外，如果不断开 E 点与电流计正极连接的导线，可能导致电流计的电流过大而烧毁。

3. 开关置于 3 档，电阻箱接入接线柱 A 和 B。使电阻箱的阻值为上限温度（70℃）所对应的  $R_{T2}$ 。为什么此时调节电位器 R 可以使微安计满刻度？

答：经过理论计算，在 DE 两端位于合适的分压下时，电流计达到满刻度。根据实验设计，调节 R 的阻值，可以使 DE 两端达到合适的分压，从而使微安计满刻度。

4. 开关置于 2 挡，调节电位器  $R_4$  使微安计满量程，这时， $R_4=R_{T2}$ 。这样做的目的何在？

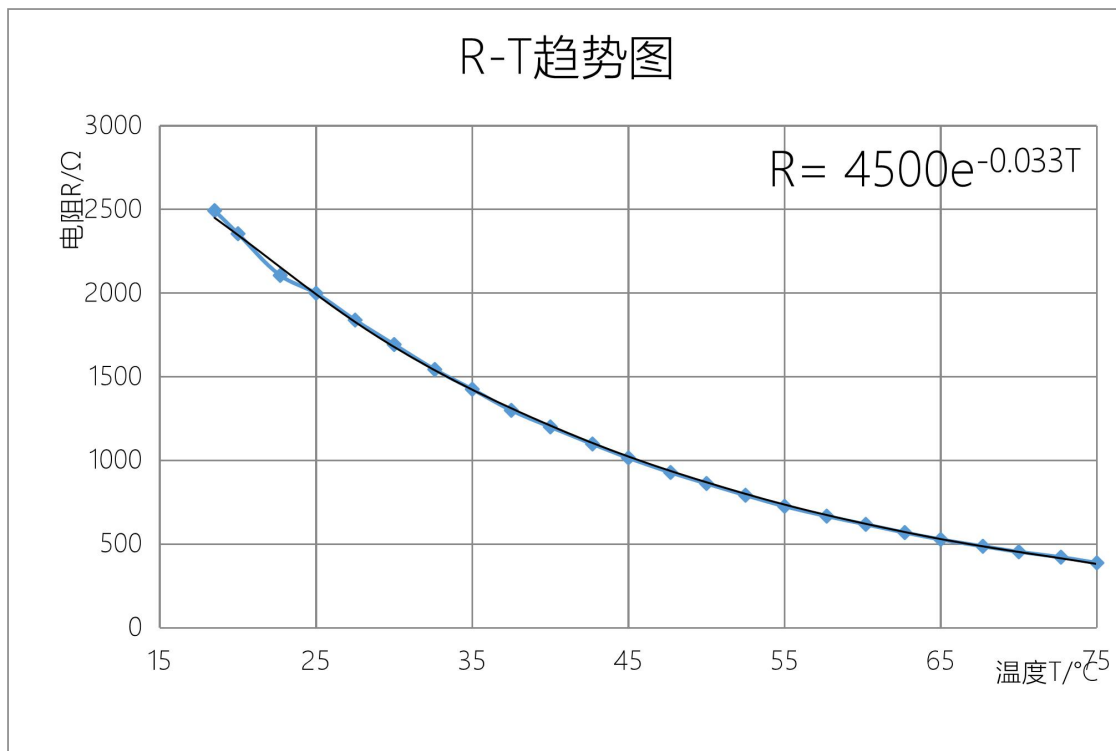
答：这样使得电位器  $R_4$  接入电路的阻值为  $R_T$  在 70℃时的阻值。其目的是，当电路长时间使用，如果元件状态发生微小变化，因此需要重新调整 R 的接入阻值时，只需要将电路的开关调整到 2 档，无需拆开电路重新操作，使得实验操作、电路校准更为便捷。

## 实验小结

这个实验的实验过程不难，但是由于数据呈现非线性关系，因此需要采用特殊的处理手段。从结果来看，实验比较成功，在一定精度上对恒温水浴箱的温度进行了测量和验证。

## 半导体温度计的设计和制作 预习报告

根据附录画出 R-T 图如下图:



▲图 6.1 R-T 图

根据附录知,  $T=20^\circ\text{C}$  时,  $R_T=2355\ \Omega$ ;  $T=70^\circ\text{C}$  时,  $R_T=455\ \Omega$ , 由此计算得到:

$$R_1=R_2=5974\ \Omega$$