

半导体热敏电阻特性的研究（平衡电桥）

热敏电阻是开发早、种类多、发展较成熟的敏感元器件。热敏电阻器的典型特点是对温度敏感，不同的温度下表现出不同的电阻值。按照温度系数不同分为正温度系数热敏电阻器（PTC）和负温度系数热敏电阻器（NTC）以及临界温度热敏电阻（CTR）。正温度系数热敏电阻器在温度越高时电阻值越大，常见的正温度系数电阻有 BaTiO_3 或 SrTiO_3 或 PbTiO_3 为主要成分的烧结体；负温度系数热敏电阻器在温度越高时电阻值越低，该电阻材料是利用锰、铜、硅、钴、铁、镍、锌等两种或两种以上的金属氧化物进行充分混合、成型、烧结等工艺而成的半导体陶瓷。

热敏电阻的主要特点是：①灵敏度较高，其电阻温度系数要比金属大 $10\sim 100$ 倍以上，能检测出 10^{-6}℃ 的温度变化；②工作温度范围宽，常温器件适用于 $-55\text{℃}\sim 315\text{℃}$ ，高温器件适用温度高于 315℃ （目前最高可达到 2000℃ ），低温器件适用于 $-273\text{℃}\sim 55\text{℃}$ ；③体积小，能够测量其他温度计无法测量的空隙、腔体及生物体内血管的温度；④使用方便，电阻值可在 $0.1\sim 100\text{k}\Omega$ 间任意选择；⑤易加工成复杂的形状，可大批量生产；⑥稳定性好、过载能力强。因此，它在测温技术、无线电技术、自动化和遥控等方面都有广泛的应用。

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

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

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

$$Y = A + BX$$

式中 $Y = \ln R_T$, $A = \ln a$, $B = b$, $X = 1/T$ ，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 $X \sim Y$ 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. 用惠斯顿电桥测量半导体热敏电阻

惠斯顿电桥的原理图如图 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

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} R_0 \quad (5)$$

R_1 、 R_2 和 R_0 都已知， R_x 即可求出。

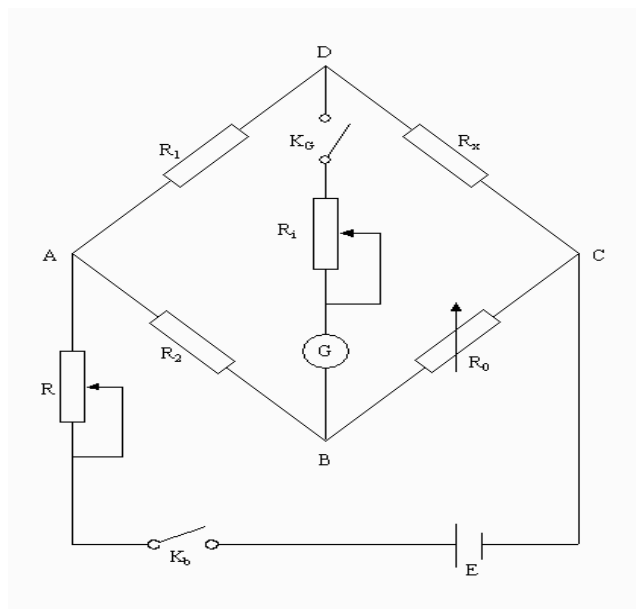


图 1. 实验原理图

电桥属于非常灵敏的原件，电桥灵敏度的定义为：

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta R_0 / R_0} \quad (6)$$

其中， R_0 是电桥平衡时比较臂的电阻， ΔR_0 是在电桥平衡后 R_0 的微小改变量， Δn 越大，说明电桥灵敏度越高。

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得 R_0 , 改变 R_0 至 $R_0 + \Delta R_0$, 使检流计偏转 10 格, 求出电桥的灵敏度; 再将 R_0 改变为 $R_0 - \Delta R_0$, 使检流计向反方向偏转 10 格, 求出电桥的灵敏度, 取两次的平均值。

2. 测量热敏电阻的温度特性

接好电路, 安置好仪器。

在容器内盛入水, 开启加热装置对水加热, 使水温逐渐上升, 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 二接线柱上。

测试的温度从室温开始, 每增加 2.5°C , 测量温度点的 R_t , 直到 70°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 $\ln R_t - (1/T)$ 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 α ($\alpha = -\frac{b}{T^2}$), 并将两次求得的 α 进行对比。

五、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?
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?