

6.1 电阻温度关系和减压降温技术

➤ <实验前的思考>

1. 材料的电阻率与什么有关？
2. 怎样的材料适合作为电阻温度计？一般常用的温度计有几种？

➤ <实验原理>

当电子在材料中运动时，它们会受到如下的影响：

1. 晶格热振动对运动电子的散射

晶格热振动是原子在平衡位置附近的微小振动，和温度有关，温度越高，振动越激烈。晶格热振动对运动电子的散射，导致电阻率 $\rho_i(T)$ ， $\rho_i(T)$ 称为**本征电阻率**，与温度有关。

2. 杂质和缺陷对运动电子的散射

晶格中存在的杂质（替位、空位、间隙）和缺陷（点缺陷、线缺陷、面缺陷）对运动电子的散射，导致电阻率 ρ_r 。如果材料很纯（即杂质和缺陷很少），则这种电阻率 ρ_r 近似认为与温度无关， ρ_r 称为**剩余电阻率**。

因此，材料的电阻率可以用**马德森定律 (Matthiessen)**表示为：

$$\rho = \rho_i(T) + \rho_r$$

- 根据著名的欧姆定律:材料中的电流密度 j 与外电场 E 服从如下关系

$$j = \sigma E, \quad \sigma = \frac{ne^2\tau}{m_e^*}$$

其中 σ 就是电导率。而电阻率

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e^*}{ne^2\tau}$$

进一步根据金属电子理论中的**布洛赫-格林爱森定律** (Bloch-Gruneisn), 本征电阻率 $\rho_i(T)$ 可表示为:

1. 高温区 ($T > 0.5\Theta_D$)时

$$\rho_i(T) \approx \frac{A}{4} \frac{T}{M\Theta_D^2} \propto T$$

2. 低温区 ($T < 0.1\Theta_D$)时,

$$\rho_i(T) \approx 124.4 \frac{AT^5}{M\Theta_D^6} \propto T^5$$

其中 M 为原子质量, Θ_D 是德拜温度, 其反映温度对晶格振动的影响。

- 对于纯金属材料

在高温区，电阻率主要来自晶格振动对运动电子的散射，此时：

$$\rho \approx \rho_i(T) \propto T$$

在低温区，晶格振动很弱，电阻率可以认为主要来自杂质对运动电子的散射，此时：

$$\rho \approx \rho_r \quad (\text{与温度无关})$$

如图是铂电阻（ $\Theta_D = 240\text{K}$ ）的 R - T 曲线，在 $T > \Theta_D/3$ （ $\sim 75\text{K}$ ）有很好的线性关系，是非常好的电阻温度计材料。

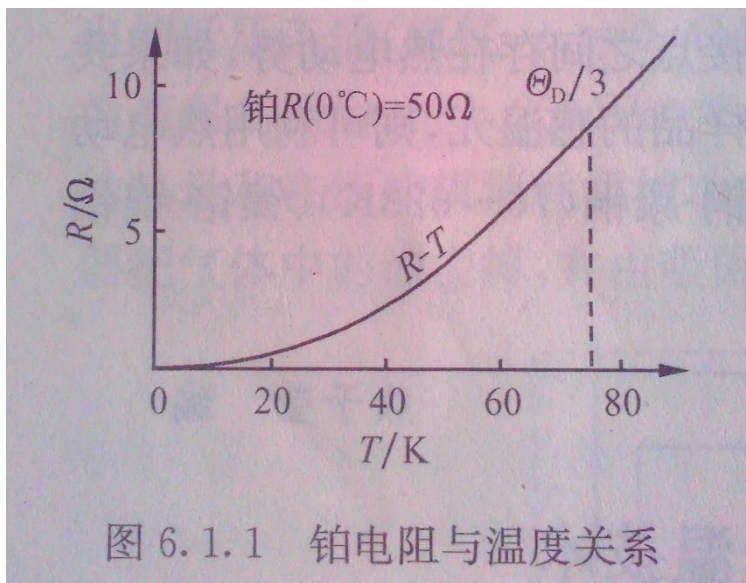


图 6.1.1 铂电阻与温度关系

- 对于掺杂浓度比较高的合金材料

电阻率主要与杂质散射有关，总电阻： $\rho \approx \rho_r$ 。近似与温度无关。

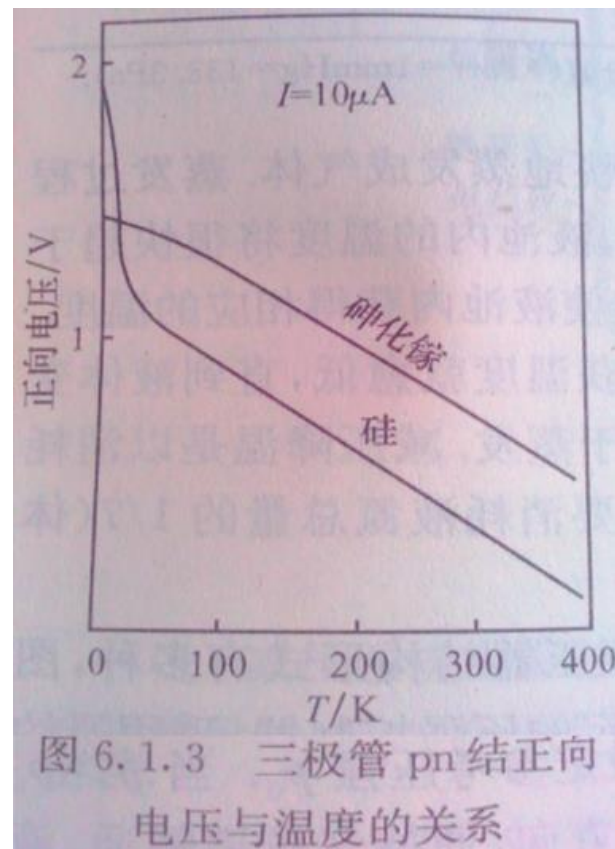
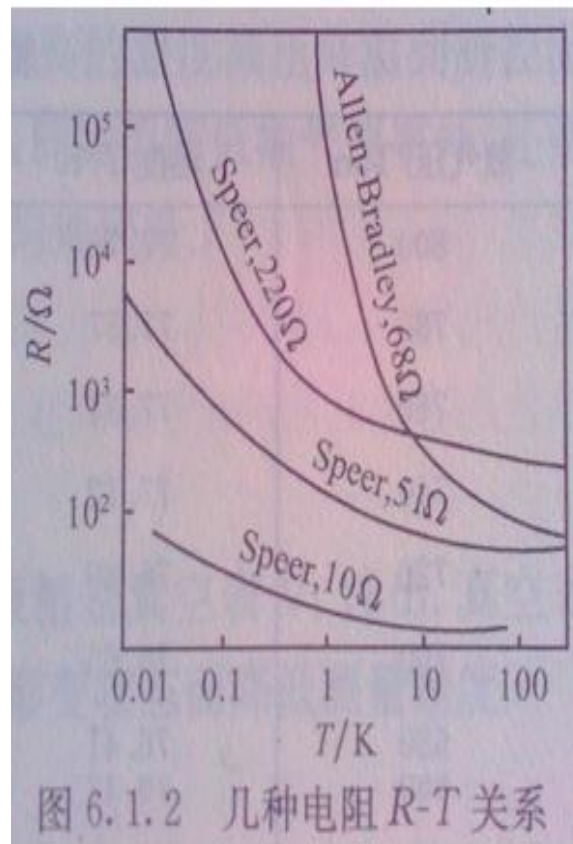
- 对于碳膜电阻

由微小石墨晶粒组成，呈各向异性，具有多晶的性质，由于晶粒间存在晶界，会对电阻产生较大影响，因此不同的碳膜电阻与温度的关系不同，难以确定明确的R-T关系式。

碳膜电阻具有负电阻温度关系，可以用来作为液氦温区下(4.5K)的温度计。

- 对于二极管PN结

PN结正向电阻与温度呈负电阻温度关系，并且具有良好的线性关系，可以作为温度计。



➤ <实验内容>

- 采用液氮制冷，通过液氮泵向杜瓦瓶内充入液氮，让恒温块浸入液氮中，使得恒温块内的四个被测样品：二极管、合金、铂（Pt）、碳膜电阻降温至液氮温度77.4K。
- 然后采用提拉法升温，在升温过程中（77.4K—300K）测量四个被测样品的电阻温度关系。

温度间隔：10K

样品恒流：100uA

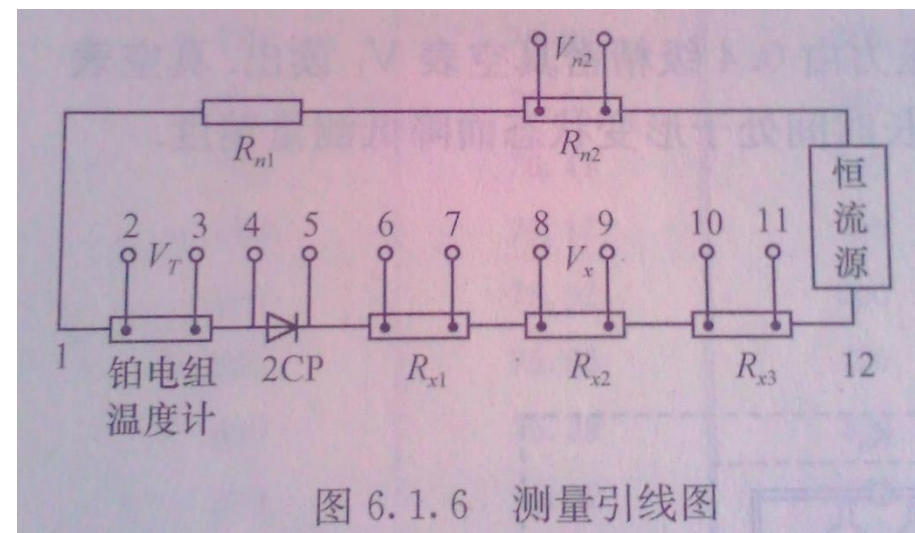
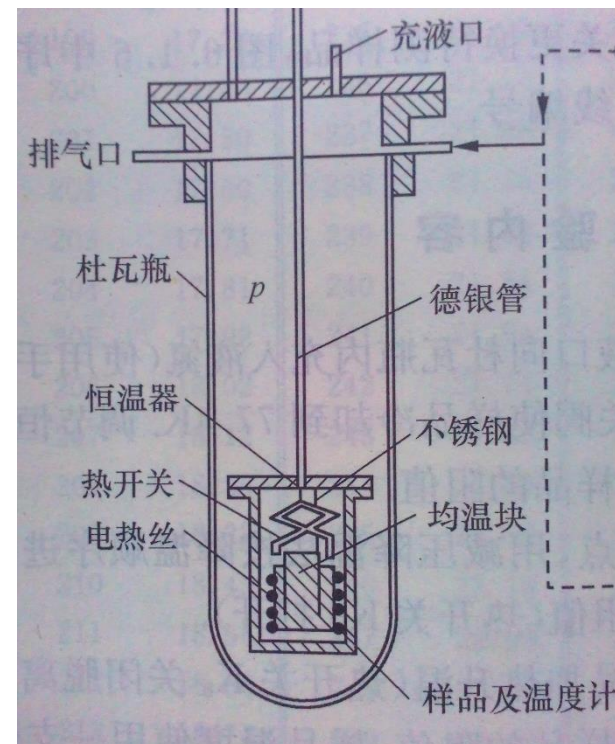


图 6.1.6 测量引线图

➤ <数据处理>

分别画二极管、合金、铂（Pt）、碳膜电阻的R-T曲线，以及碳膜电阻的 $\lg R - 1/T$ 曲线。

➤ <思考题>

1. 二极管、合金、铂、碳膜电阻样品中哪些适合作为实验温区的电阻温度计？
2. 为什么要在回路中串联标准电阻？
3. 为什么要采用微小电流进行测量？