

## 材料科学基础实验预习报告

实验名称： 四探针法测量半导体电阻率和薄层电阻

学 号： 22301056      姓 名： 王俊杰      班 级： 22 材物

合作者： 无      桌 号：                     

指导教师： 艾斌

实验日期：

## 1 实验目的

1. 理解四探针方法测量半导体电阻率和薄层电阻的原理；
2. 学会用四探针方法测量半导体电阻率和薄层电阻；
3. 针对不同几何尺寸的样品，了解其修正方法；
4. 了解影响测量结果准确性的因素及避免方法

## 2 实验原理

### 2.1 半导体材料体电阻率的测量

#### 2.1.1 半无穷大样品体电阻率的测量

在电阻率分布均匀的半无穷大样品表面上，若电流  $I$  通过探针以点电流源的形式注入到半导体材料内部，则电流密度在材料内部是均匀分布的，具体是以探针尖为球心沿径向放射状分布。四探针法测量半导体材料体电阻率采用四根金属探针排成一行，并且四根金属探针的间距相等，均为  $S$ 。将四根金属探针压在一块半无穷大的半导体材料表面上，当 1、4 探针通以电流  $I$ （探针 1 为正极，探针 4 为负极），2、3 探针上测得的电压为  $V_{23}$  时，只要样品厚度及边缘与探针的最近距离大于四倍探针间距，半无穷大样品的体电阻率  $\rho$  可表示为：

$$\rho = 2\pi S \cdot \frac{V_{23}}{I} \quad (1)$$

半导体材料的电阻率对温度比较灵敏，因此，测试半导体材料的电阻率时不但要记录测试的环境温度，还要将该温度下的实测电阻率修正到  $23^\circ\text{C}$  下的电阻率，引入修正系数  $F_T$ ：

$$\rho = \frac{2\pi S}{F_T} \cdot \frac{V_{23}}{I} \quad (2)$$

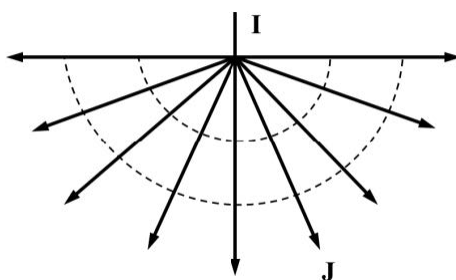


图 1: 电流  $I$  以点接触的形式注入到半无穷大样品内部的电流密度分布

#### 2.1.2 无穷大薄样品体电阻率的测量

类似前面的分析，无穷大薄样品的体电阻率  $\rho$  可表示为：

$$\rho = \frac{\pi V_{23}}{I \ln 2} \quad (3)$$

## 2.2 半导体材料电阻的测量

### 2.2.1 半导体薄层电阻（或方块电阻）的测量

如果扩散片的结深用  $X_j$  表示，根据定义，方块电阻  $R_{sq}$  可表示为：

$$R_{sq} = \rho \frac{L}{L \cdot X_j} = \frac{\rho}{X_j} \quad (4)$$

将式 (3) 代入式 (4) 得：

$$R_{sq} = 4.5324 \frac{V_{23}d}{I} \quad (5)$$

实际测量中，只要薄层的厚度小于  $0.5S$ ，并且样品面积相对于探针间距  $S$  可视为无穷大时，就可以利用式 (5) 计算薄层电阻。如果不能将样品的横向面积视为无穷大，也需要使用包含修正因子  $F$  的公式来计算方块电阻：

$$R_{sq} = F \frac{V_{23}}{I} \quad (6)$$

## 3 实验仪器

KDY-1 型四探针电阻率/方阻测试仪，一台计算机；p 型单晶硅棒(电阻率样品)、p 型单晶硅片(薄样品)、p 型硅基底上的 n 型扩散片(薄层电阻样品)各一个

## 4 实验过程

### 4.1 测量样品电阻率或方块电阻的操作步骤

1. 打开 KDB-1 四探针测试仪后面板上的电源开关，此时恒流源已开启，测试电流自动处于 1mA 档。根据测试目的，将测试仪后面板上的“电阻率/方块电阻测试切换开关”( $\rho/R$  开关)拨到相应位置。
2. 将样品置于样品台上，旋转测试架上的手轮使探针下降，同时调整样品位置，使四根探针正好落在样品的测试点。当探针快要接触样品时，应缓慢旋转手轮，使探针缓慢轻压在样品上。当听到主机传来“咔嚓”一声、且前面板左侧的两块绿字电表有数值显示，即表示探针与样品已接触到位，应立即停止旋转手轮。
3. 根据附表给出的推荐值，并通过选择合适的测试电流档位和恒流源电压档位，调节测试电流和恒流源电压旋钮，使测试电流达到合适的值，此时，电压表显示的  $V_{23}$  应出现尽可能多的有效数字，且电压值在测试电流不变的前提下能长时间保持稳定，而且正测和反测得到的  $V_{23}$  的绝对值差别也不大。
4. 记录此时的测试电流  $I$  和电压  $V_{23}$  的值，由相应公式计算样品的电阻率或方块电阻。测量完毕，升起探针，取走样品。

### 4.2 测量 p 型硅棒的电阻率

使用厂家推荐的测试电流对硅棒横截面上五个不同位置处（中心点和距离圆心  $1/3$  半径处的 4 个等距点）的电阻率进行测量。为了减小测量误差，对同一点的测量分别进行正向和反向测量。将实验结果记录到表中，使用式 (1) 计算电阻率  $\rho(T)$ 。利用附录将测得的电阻率修正到  $23^\circ\text{C}$ 。此外，利用下面的公式计算电阻率分布的不均匀度。

### 4.3 测量 p 型单晶硅片（薄样品）的电阻率

1. 直读法，根据样品厚度和附表 4 得到直读电流的值，并将其设置为测试电流，直接从电压表上读取样品的电阻率。
2. 选择合适的测试电流  $I$  和测得的电压  $V_{23}$ ，采用  $\rho(T) = \frac{V_{23}}{I} \cdot d \cdot F_{SP} \cdot F(d/S) \cdot F(S/D)$  计算硅片的电阻率。对硅片中心位置处的电阻率测量 5 次。每次测量完毕后，升起探针，将硅片逆时针旋转  $30^\circ \sim 35^\circ$  进行下一次测量。同一位置正向和反向各测量一次，并将测量结果修正到  $23^\circ\text{C}$ 。

### 4.4 测量 p 型单晶硅衬底上的 n 型扩散片的方块电阻

扩散片的结深  $X_j$  和尺寸由老师现场提供。由于待测扩散片近似正方形，故取最短的边长作为扩散片的直径  $D$ 。将探针压在扩散片的中心位置进行方块电阻的测量。

1. 直读法，设置合适的测试电流，从电压表上直接读出样品的方块电阻。
2. 根据测试电流、电压  $V_{23}$  以及扩散片的尺寸，利用式 (6) 计算扩散片的方块电阻。需要测量两个位置的方块电阻，即在第一次测量完成之后将样品旋转  $90^\circ$  再测量一次。同一位置正向和反向各测量一次。

### 4.5 测量 p 型单晶硅衬底上的 n 型扩散片的方块电阻

本实验提供两种透明导电玻璃（FTO 导电玻璃和 ITO 玻璃），测试方法及要求与测试扩散片一致。