

## 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： 22301070      姓 名： 杨雨燃      班 级： 22材物

合作者：                           桌 号：                     

指导教师： 艾斌

实验日期：

## 【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

## 【实验原理】

### 0.1 半导体材料体电阻率的测量

#### 0.1.1 半无穷大样品体电阻率的测量

在四探针法中，当电流  $I$  通过探针以点电流源形式注入半导体材料内部时，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。四根金属探针排成一列，间距均为  $S$ 。在这种情况下，当探针 1 和探针 4 通以电流  $I$  时（探针 1 为正极，探针 4 为负极），探针 2 和探针 3 上测得的电压为  $V_{23}$ 。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  $\rho$  可以表示为：

$$\rho = 2\pi S \cdot \frac{V_{23}}{I}$$

式中  $\rho$  以  $\text{cm}$  为单位，而所测电压，电流分别以  $\text{mV}$ ， $\text{mA}$  为单位。此外本实验测量时的探针间距  $S=0.1\text{cm}$  相比于样品的尺寸符合上式使用的要求，将电流  $I$  选取为  $2\pi S=0.628\text{ mA}$  时，2，3 探针所测电压示数即为所测电阻率的示数（直读法）。

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  $F_T$ ：

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

#### 0.1.2 无穷大薄样品体电阻率的测量

无穷大薄样品是指厚度  $d$  小于探针间距  $S$  而横向尺寸无穷大的样品。根据无穷大样品的模型推导，电流  $I$  以点接触的形式进入样品，此时形成的电流密度呈柱对称分布，取距离点电源 1 米处的电势为零，用类似半无穷大样品的方法，等间距一字排开的四根金属探针压在薄样品表面，故无穷大薄样品的电阻率  $\rho$  可表示为：

$$\rho = \frac{\pi V_{23}}{I \ln 2}$$

电压电流分别以  $\text{mV}$ ， $\text{mA}$  为单位。

### 0.2 半导体材料电阻的测量

#### 0.2.1 半导体薄层电阻（或方块电阻）的测量

四探针法除了可以测量硅片、硅锭等体材料的电阻率外，还可用来测量扩散层、绝缘衬底上的半导体薄膜的薄层电阻。薄层电阻又称为方块电阻，是指平行于电流方向的正方形表面下的半导体

薄层在电流方向上的电阻。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:

$$R_{sq} = \rho \frac{L}{L \cdot X_j} = \frac{\rho}{X_j}$$

将其视为无穷大薄样品, 可得其电阻表示为

$$R_{sq} = 4.5324 \frac{V_{23}d}{I}$$

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, 就可以利用上式计算薄层电阻。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:

$$R_{sq} = F \frac{V_{23}}{I}$$

由上式可知, 如果半导体薄层可以视作无穷大薄样品, 可以把测试电流设为  $4.5324 \text{ mA}$ , 然后从电压表上直接读出样品的方块电阻。

## 【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

## 【实验过程】

### 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, 将“电阻率/方块电阻测试切换开关”(  $\rho/R$  开关) 设置到相应位置。
2. 将样品置于样品台上, 调节探针使其落在样品的测试点, 注意轻压探针避免损坏。
3. 调节测试电流和恒流源电压档位, 使得电压表显示稳定的测试电流和电压值。
4. 记录测试电流和电压, 计算样品的电阻率或方块电阻, 完成测量后取走样品。

### 测量 p 型硅棒的电阻率

使用推荐的测试电流对硅棒横截面上多个位置处的电阻率进行测量, 记录结果并修正至  $23^\circ\text{C}$ 。利用公式计算电阻率分布的不均匀度。

### 测量 p 型单晶硅片(薄样品)的电阻率

1. 直接读取电流和电压, 计算硅片的电阻率。
2. 根据测得的电流和电压, 以及硅片的尺寸, 计算电阻率并修正至  $23^\circ\text{C}$ 。

### 测量 p 型单晶硅衬底上的 n 型扩散片的方块电阻

在扩散片中心位置进行方块电阻的测量, 记录结果并修正至  $23^\circ\text{C}$ 。

## 测量 p 型单晶硅衬底上的 n 型透明导电玻璃的方块电阻

测试方法与要求与扩散片一致。

### 【实验数据】

制作了excel表格，附后