

## 实验十六 二极管电学特性测试

### 实验简介：

器件的测试也是器件研究的重要一环，通过对所制备的器件进行在线的直流测试和参数提取可以（1）判断器件制备是否成功；（2）了解掌握该器件的主要特性。

### 实验原理：

#### 1. Keithley2400 源表使用

Keithley2400 源表用于给二极管加偏置和得到测量结果，屏幕显示：如图 1 所示，屏幕左上方所显示为「量测值」，右上方为「输出开/关」显示，左下方为「电源输出值」，右下方为「箝位值」显示。



图 1 Keithley 2400 屏幕显示图

加电压量测电流过程如下：

- (1) 将探针座的两根线接上；
- (2) 按SOURCE V, 设定输出电压(由"EDIT" 左、右键来更改光标位置，并经由 "SOURCE"  $\Delta/\nabla$  及各数字键来设定数值)；
- (3) 按MEAS I (量测电流)
- (4) 按OUTPUT ON/OFF 输出 (灯亮代表输出)；  
若单纯量测电流, 可将电压设为 0V 做电流表用；
- (5) 自面板读取量测值。

## 2. SM-4 多探针电学测量平台使用



图 2

探针台结构，从上至下结构名称：

- 1 显微镜目镜； 2 显微镜聚焦； 3 显微镜变倍  
4 显微镜照明系统； 5 探针座； 6 探针座平台  
7 样品台； 8 样品台移动机构； 9 样品固定真空控制开关。

探针台用于将所测圆片和测量仪器连接，具体操作如下：

如图，首先把被测样品放在图 7 的样品台中心位置；打开真空泵泵开关，打开图 9 中间开关用以真空吸附样品；旋动图 8 的大小旋钮，把被测样品移动到显微镜的最中心位置，用图 1 眼睛对准目镜确定样品是否在中心位置；用手移动图 5 的探针座，把探针针尖移动到被测样品的中心点，尽可能接近即可，**注意：用眼睛直接看，不要用显微镜看**；旋动图 3 显微镜变倍旋钮，把倍率调到最小；眼睛对准图 1 目镜，观测被测样品的 PAD 及探针针尖是否在同一位置，如 OK，旋动图 5 探针座的 XYZ 轴移动探针至 PAD 中心点，同时旋动图 3 变倍旋钮放大显微镜至合适倍率；通过显微镜观测被测 PAD 点及探针针尖，两个点聚焦逐步清晰；同时不断调整探针座的 XYZ 轴，直至把探针扎到 PAD 点上；

确认是否扎上有两个方法：1）看 2400 表是否有信号输入或输出；2）探针座的 Z 轴下降至 PAD 点时通过显微镜观测探针针尖有平行的移动，即已扎上。

### 3. Labview 使用

用 GPIB 连接线将 2400 源表和计算机连接。

### 4. 提参技术

肖特基金属半导体接触的电流电压公式为

$$J=J_s \left[ \exp\left(\frac{V}{nV_T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

式中  $n$  为理想因子， $J_s$  为反向饱和电流密度， $V_T$  为热电压， $V$  和  $J$  分别为电压和电流密度。

在正向电压比较大时，上式简化为

$$J=J_s \exp\left(\frac{V}{nV_T}\right) \quad (2)$$

若考虑串联电阻的影响，则（1）式变为

$$I=I_s \exp\left[\frac{V-IR_s}{nV_T}\right] \quad (3)$$

进一步地，（3）式可转化为

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = IR_s + nV_T \quad (4)$$

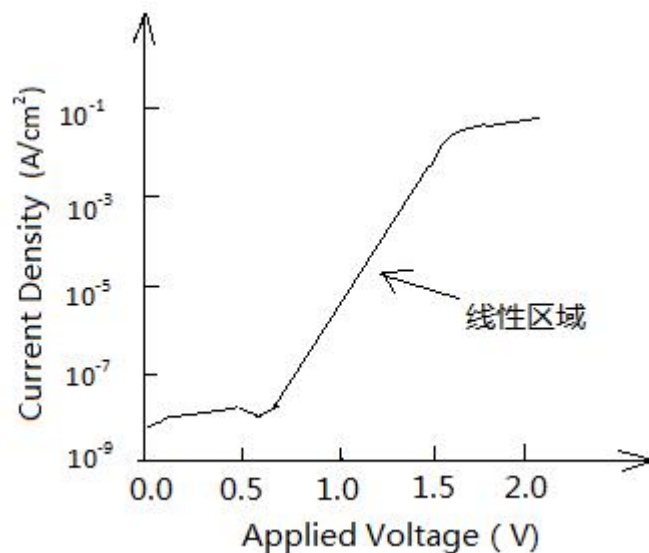


图 1 半对数正向特性

在半对数坐标（这里指横坐标为线性坐标，纵坐标为对数坐标，如图 1）上，提取如下参数：

(1) 理想因子的提取：在图 1 找到线性区域，根据下式得到该段线性区域的斜率：

$$\text{斜率} = \frac{\ln(J_1) - \ln(J_2)}{V_1 - V_2} \quad (5)$$

由表达式 (2)，从而

$$n = \frac{1}{\text{斜率} \times V_T} \quad (6)$$

式中  $V_T$  ( $=kT/q$ ) 取 300K 下热电压。

提取理想因子的另一个办法是根据公式 (4)，作出  $\frac{dV}{d(\ln I)}$  和  $I$  的关系曲线，其截距即

为  $n \times V_T$ 。

(2) 饱和电流密度的提取：在图 1 找到线性区域，直线的延长线和纵轴的交点即为饱和电流密度  $J_s$ ，原因是：

$$J = J_s \exp\left(\frac{V}{nV_T}\right) \quad (\text{正向}) \quad (7)$$

在线性坐标（横纵均为线性坐标，如图 2）上，提取如下参数：

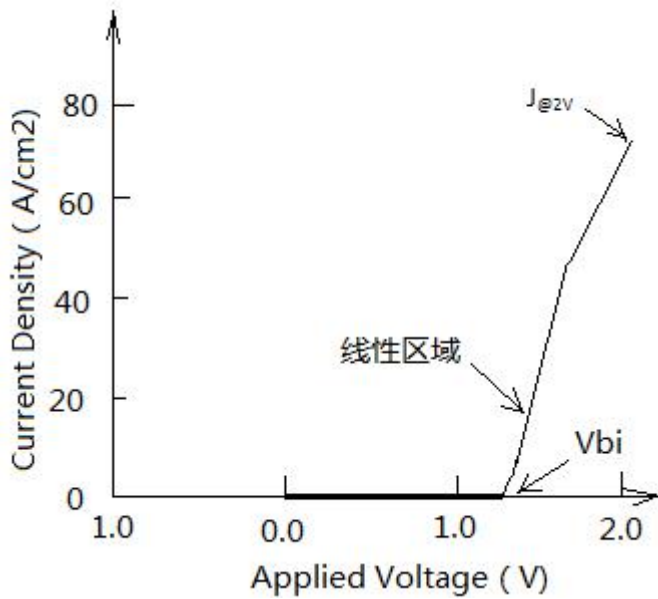


图 2 正向特性

(3) 开启电压的提取：图 2 中电流开始出现增长的起点对应的电压即为开启电压  $V_{bi}$ 。

(4) 开态电阻的提取：在图 2 中找到正向电流-电压变化的线性区域，其斜率的倒数即为开态电阻  $R_{on}$ ：

$$R_{on} = \frac{1}{\text{斜率}} = \frac{V_3 - V_4}{I_3 - I_4} \quad (8)$$

(5) 正向电流密度的提取（2V 下）：在图 2 中找到+2V 电压对应的电流密度即为 2V 下的正向电流密度  $J_{@2V}$ 。

在反向曲线（如图 3）上，提取如下参数：

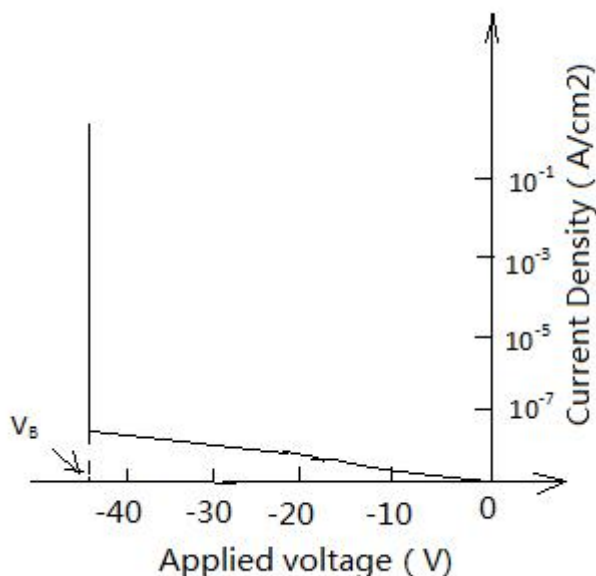


图 3 反向特性

（6）反向击穿电压的提取：在图 3 找到反向曲线中电流突然增大的电压点即为反向击穿电压  $V_B$ 。

接下来还可提取如下参数：

（7）整流比的提取：根据如下表达式计算出整流比：

$$\text{整流比} = \frac{J_{@2V}}{J_{S@-2V}} \quad (9)$$

（8）势垒高度的提取：根据如下表达式计算出势垒高度  $\phi_B$ ：

$$\therefore J_S = RT^2 e^{-\phi_B/V_T} \quad (10)$$

$$\therefore \phi_B = -V_T \ln\left(\frac{J_S}{RT^2}\right) \quad (11)$$

式中  $V_T$  为热电压， $T$  为温度（实验室温度如果没测可取 300K）， $R$  为里查孙常数，对于 n-Si 来说， $R=110.4 \text{ A}/(\text{cm}^2 \text{K}^2)$ 。

（9）串联电阻的提取：由表达式（4），作出  $\frac{dV}{d(\ln I)}$  和  $I$  的关系曲线，曲线的斜率即为串联

电阻  $R_S$ 。

学习重点：

1. 学习 Keithley2400 源表，探针台和 Labview 的使用；
2. 掌握肖特基二极管的测试方法；
3. 掌握肖特基二极管的提参方法。

实验仪器：

Keithley2400 源表一台，SM-4 多探针电学测量平台一台，PC 电脑一台（配置 Labview 软件），

GPIB 连接线一根

实验内容：

1. Keithley2400 源表和 Labview 使用；
2. SM-4 多探针电学测量平台使用；
3. 上述三仪器结合使用测试所制备肖特基二极管的常温 I-V 特性，电压范围为-2-5V，将测试曲线文件保存；
4. 对所测曲线进行参数提取。

注意事项：

1. 确保 2400 仪表和探针台的测试线缆已连接好；
2. 探针座的 XYZ 轴属于精密移动机构，如果手已无法旋动，可能已移到极限位置，建议移动探针座整体，不可用力扭动 XYZ 轴；
3. 样品台的移动和探针座相似。

作业：

给出你测试的肖特基二极管 I-V 特性曲线，对所测曲线进行参数提取，包括整流比，开启电压，开态电阻，正向电流密度，饱和电流密度，理想因子，势垒高度和串联电阻的提取。