

# 仪器使用说明

TEACHER'S GUIDEBOOK



## FD-UI-B

# 非线性元件伏安特性实验仪

中国. 上海复旦天欣科教仪器有限公司

Shanghai Fudan Tianxin Scientific & Educational Instruments Co., Ltd.

# FD-UI-B 型非线性元件伏安特性实验仪

用伏安法来测量线性或非线性元件的电学特性是一种常用的测量方法，也是大学物理实验的重要内容。本实验仪器可以让学生了解电阻串并联的限流及分压原理，并了解不同元件的电学特性，同时掌握伏安法测量二极管、稳压二极管、发光二极管及普通钨丝灯泡的伏安特性。本仪器实验内容丰富，可用于高校的物理实验及中学物理奥林匹克竞赛的培训。

## 一、仪器组成

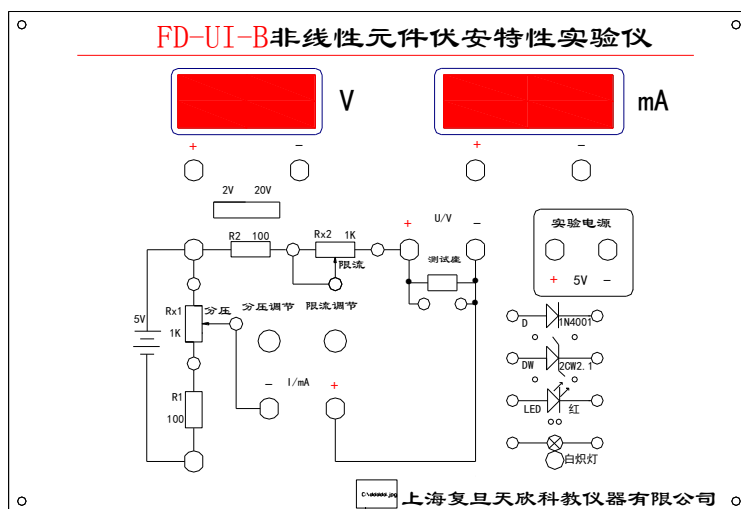
仪器由 5V 直流稳压电源、数字电压表、数字电流表、可变电阻器、普通二极管、稳压二极管、发光二极管、钨丝灯泡等组成。

## 二、技术指标

1. 电源电压  $220V \pm 10\%$ ;  $50Hz \pm 5\%$ ; 功耗  $< 10W$
2. 直流稳压电源 5V; 0.5A
3. 数字电压表 0-1.999V; 0-19.99V 二档; 分辨率分别为 0.001V 和 0.01V
4. 数字电流表 0-200mA; 分辨率 0.01mA

## 三、仪器外形与结构

仪器安装在  $300 \times 210 \times 100$  (mm) 实验箱内，仪器面板如下图



## 四、仪器的使用

本仪器通电后除了测量仪表及实验电源工作外，实验电路要连接上实验电源后才能工作。做正

向测量实验时按面板电路图指示接好线路，接上待测元件处连接线就能进行测量实验了，而测量元件反向特性时必须将待测元件的 2 根实验连线交换（即反接）就可以了（反向测量实验只做稳压管）。

\*实验内容请参考实验讲义

# 非线性元件伏安特性的测量

## 【目的要求】

1. 掌握非线性元件伏安特性的测量方法、基本电路。
2. 掌握二极管、稳压二极管、发光二极管的基本特性。准确测量其正向导通阈值电压。
3. 画出以上三种元件的伏安特性曲线。

## 【实验仪器】

非线性元件伏安特性实验仪。仪器由直流稳压电源、数字电压表、数字电流表、多圈可变电阻器、普通二极管、稳压二极管、发光二极管、钨丝灯泡等组成。

## 【实验原理】

### 1. 伏安特性

给一个元件通以直流电，用电压表测出元件两端的电压，用电流表测出通过元器件的电流。通常以电压为横坐标、电流为纵坐标，画出该元件电流和电压的关系曲线，称为该元件的伏安特性曲线。这种研究元件电学特性的方法称为伏安法。伏安特性曲线为直线的元件称为线性元件，如电阻；伏安特性曲线为非直线的元件称为非线性元件，如二极管、三极管等。伏安法的主要用途是测量研究线性和非线性元件的电特性。有些元件伏安特性除了与电压、电流有关，还与某一物理量的变化呈规律性变化，例如温度、光照度、磁场强度等，这就是各种物理量的传感元件，本实验不研究此类变化。

根据欧姆定律，电阻  $R$ 、电压  $U$ 、电流  $I$ ，有如下关系：

$$R = U/I \quad (1)$$

由电压表和电流表的示值  $U$  和  $I$  计算可得到待测元件  $R_x$  的阻值。但非线性元件的  $R$  是一个变量，因此分析它的阻值必须指出其工作电压（或电流）。非线性元件的电阻有两种方法表示，一种称为静态电阻（或称为直流电阻），用  $R_D$  表示；另一种称为动态电阻用  $r_D$  表示，它等于工作点附近的电压改变量与电流改变量之比。动态电阻可通过伏安曲线求出，如图 1 所示，图中  $Q$  点的静态电阻  $R_D = U_Q/I_Q$ ，动态电阻  $r_D = dU_Q/dI_Q$

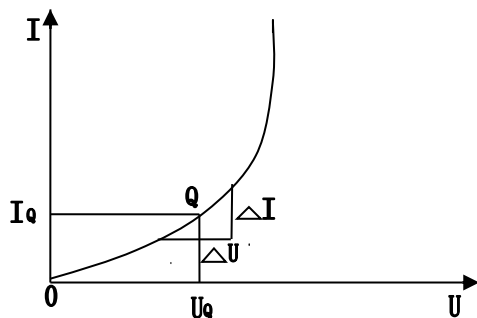


图 1 动态电阻表示图

测量伏安特性时，受电压表、电流表内阻接入影响会引入一定的系统误差，由于数字式电压表内阻很高、数字式电流表内阻很小，在测量低、中值电阻时引入系统误差较小，本实验将其忽略不计。

## 2. 半导体二极管

半导体二极管是一种常用的非线性元件，由 P 型、N 型半导体材料制成 PN 结，经欧姆接触引出电极，封装而成。在电路中用图 2(a) 符号表示，两个电极分别为正极、负极。二极管的主要特点是单向导电性，其伏安特性曲线如图 2(b) 所示，其特点是：在正向电流或正向电压较小时，电流较小，当正向电压加大到某一数值  $U_D$  时，正向电流明显增大，将此段直线反向延长与横轴向交，交点  $U_D$  称为正向导通阈值电压。正向导通后，锗管的正向电压降约为 0.2-0.3V，硅管约为 0.6-0.8V。在反向电压超过某一数值  $-U_b$  时，电流急剧增大，这种情况称为击穿， $U_b$  为击穿电压。

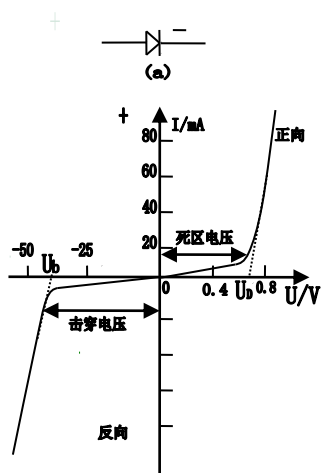


图2(b)

二极管伏安特性曲线图

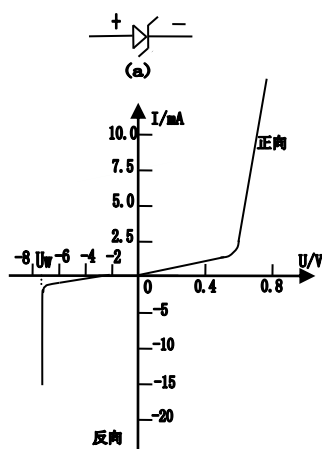


图3(b)

稳压管伏安特性曲线图

二极管的主要参数：最大整流电流  $I_f$ ，即二极管正常工作时允许通过的最大正向平均电流；最大反向电压  $U_b$ ，一般为反向击穿电压的一半。

由于二极管具有单向导电性，它在电子电路中得到了广泛应用，常用于整流、检波、限幅、元件保护以及在数字电路中作为开关元件等。

### 3. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的硅二极管,表示符号如图 3(a);其伏安特性曲线如图 3(b)，在反向击穿区一个很宽的电流区间，伏安曲线陡直，此直线反向与横轴相交于  $U_w$ 。与一般二极管不同，普通二极管击穿后电流急剧增大，电流超过极限值 $-I_s$ ，二极管被烧毁。稳压二极管的反向击穿是可逆的，去掉反向电压，稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，稳压管同样会因热击穿而烧毁。故正常工作时要根据稳压二极管的允许工作电流来设定其工作电流 。稳压管常用在稳压、恒流等电路中。

稳压管的主要参数：稳定电压  $U_w$ 、动态电阻  $r_D$ ( $r_D$  越小,稳压性能越好)、最小稳压电流  $I_{min}$ 、最大稳压电流  $I_{max}$ 、最大耗散功率  $P_{max}$ 。

### 4. 发光二极管(LED)

发光二极管是由 III、V 族化合物如 GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体材料制成的，其核心是 PN 结。因此它具有一般 PN 结的伏安特性，即正向导通、反向截止、击穿特性。LED 的表示符号如图 4（a），其主要是它具有发光特性。在正向电压下，电子由 N 区注入 P 区，空穴由 P 区注入 N 区。进入对方区域形成少数载流子，此时进入 P 区的电子和 P 区的空穴复合，进入 N 区的空穴和 N 区的电子复合，并以发光的形式辐射出多余的能量，这就是 LED 工作的基本原理，如图 4（b）所示。

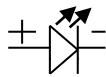


图 4（a）LED 的表示符号图

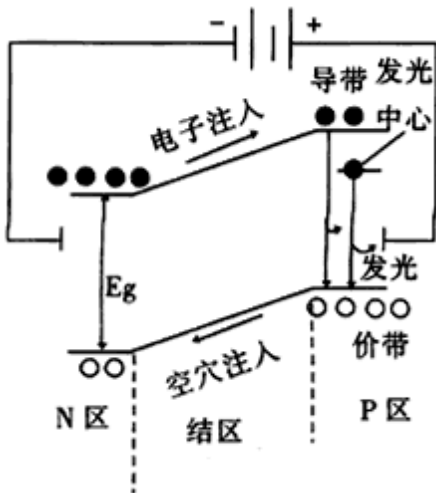


图 4(b) LED 工作的基本原理图

假设发光是在 P 区中发生的，那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光，或者先被发光中心捕获后，再与空穴复合发光。除了这种发光复合外，还有些电子被非发光中心（这个中心介于导带、价带中间附近）捕获，而后再与空穴复合，但每次释放的能量不大，不能形成可见光。发光的复合量相对非发光复合量的比例越大，光量子效率越高。由于复合是在少数扩散区内发光的，所以发光仅在靠近 PN 结面数微米内产生。理论和实践证明，光的峰值波长  $\lambda$  与发光区域的半导体禁带宽度  $E_g$  有关，即

$$\lambda \approx 1240 / E_g (nm)$$

式中  $E_g$  的单位为电子伏特 (eV)。若能产生的可见光波长在 380nm(紫光)~780nm(红光)，半导体材料的  $E_g$  应在 3.26~1.63 eV 之间，目前已有红外、红、黄、绿、白、蓝光等发光二极管。

发光二极管(LED)的主要参数：

- (1)最大正向电流  $I_{Fm}$ ：允许加的最大正向直流电流，超过此值 LED 损坏。
- (2)正向工作电流  $I_F$ ：指 LED 正常发光时的正向电流值，在实际使用中应根据亮度需要选择  $I_F$  在  $0.6I_{Fm}$  以下。
- (3)正向工作电压  $V_F$ ：参数表中给出的工作电压是在给定的正向电流下测得的，一般是在  $I_F=20mA$  时测得的， $V_F$  在 1.4~3V。
- (4)最大反向电压  $V_{Rm}$ ：允许加的最大反向电压，超过此值 LED 可能被击穿损坏。
- (5)允许功耗  $P_m$ ：允许加在 LED 两端正向直流电压与流过它的电流之积的最大值。超过此值 LED 发热损坏。
- (6)伏安特性：LED 的电压与电流的关系可用图 5 表示。

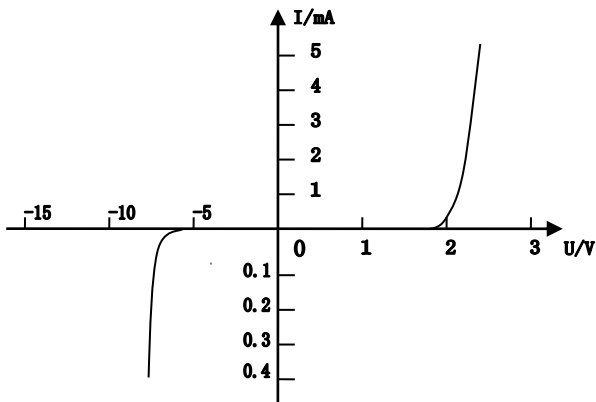


图 5 LED 的电压与电流的关系图

(7)光谱分布和峰值波长：某一个 LED 所发的光并不是单一波长，其波长大体按图 6 所示。

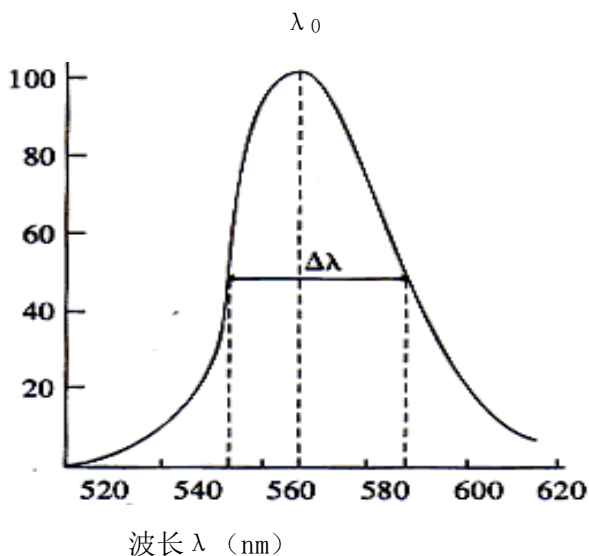


图 6 光谱分布和峰值波长图

由图可见该 LED 所发之光中某一波长  $\lambda_0$  的光强最大，该波长为峰值波长。

(8) 光谱半宽度  $\Delta\lambda$ ：它表示 LED 的光谱纯度，是指图 6 中 1/2 峰值光强所对应两波长之间隔。

\*发光强度 IV、半值角  $\theta_{1/2}$  和视角等指标也很重要，但本实验不作研究。

### 【实验内容】

#### 实验 1. 测量普通二极管的正向伏安特性实验（此项不做）

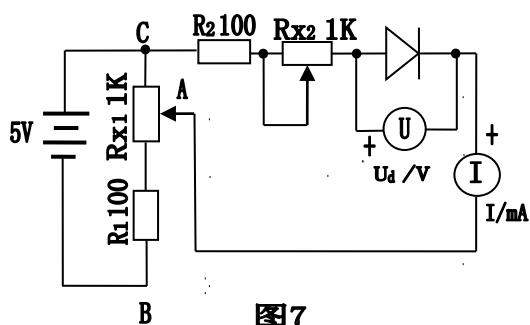


图 7

图 7 二极管的正向伏安特性测量原理图

测量二极管正向特性时，电压从最小开始调节，观察正向电流，当开始有正向电流时，即很慢地用分压调节微调电压，正向电流达到 10mA 时实验结束。记录 I-U 关系数据，在作图纸上描出正向伏安特性曲线。



实验 2. 测量稳压二极管的正向、反向伏安特性实验

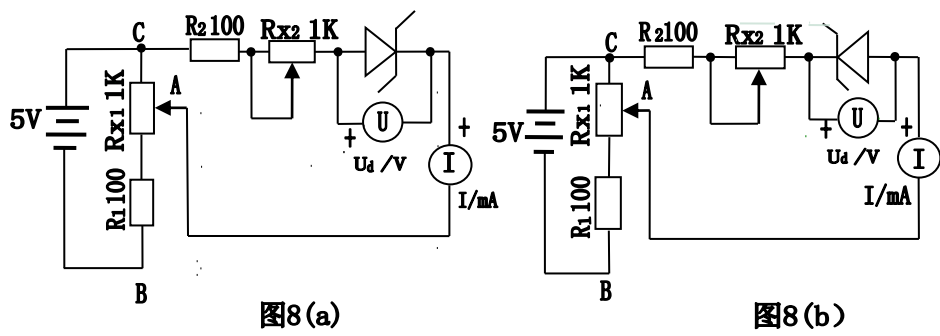


图 8(a)测稳压管正向特性电路图

图 8 (b) 测稳压管反向特性电路图

测正向特性时，电压从最小开始调节（分压调节调至最小），观察正向电流，当开始有正向电流时即用分压调节微调电压，正向电流达到 10mA 时结束。在作图纸上描出正向伏安特性曲线。测反向击穿特性（稳压特性）时，只要将待测稳压二极管 2 端连线对换（反接）即可，测出反向电流与反向电压的关系，直至反向电流达 10mA 时停止测量，用外推法求截距，得到稳压二极管的反向击穿电压（稳定电压）。并用伏安法求出稳压二极管的动态电阻，说明动态电阻的大小对稳压特性的影响。在作图纸上描出反向伏安特性曲线。

实验 3. 测量发光二极管的正向伏安特性

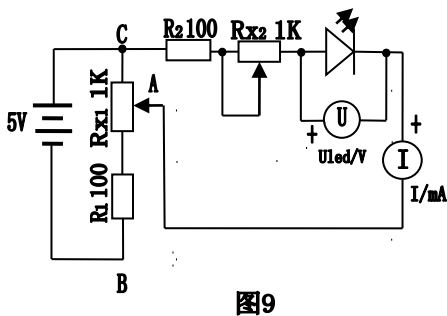


图 9 为发光二极管测量原理图

发光二极管的正向伏安特性与一般二极管相似，它的导通电压即为发光二极管的点亮电压。由与它的峰值波长与半导体材料禁带宽度  $E_g$  有关，故不同材料制成的发光二极管会发出不同峰值波长的光，且导通电压也会因半导体材料禁带宽度不同而不同。本实验提供红色发光二极管，测出它的导通电压，并根据导通电压估算出它的峰值波长。测正向特性时，电压从最小开始调节（分压调节调至最小），观察正向电流，当开始有正向电流时即用分压调节微调电压，记下它们导通电压（点亮电压），正向电流达到 10mA 时结束(正向电流最大不能超过 20mA，否则 LED 可能烧坏)。

### 【思考题】

1. 什么是静态电阻和动态电阻，说明二者区别？
2. PN 结正向伏安特性曲线的函数形式可能是什么类型？写出其标准形式。从实验数据求出二极管（PN 结） $I$ - $U$  关系的经验公式。

### 参考资料

全国中学生物理竞赛实验指导书：吕斯骅主编. 北京大学出版社

（20091201 修订）