

线性与非线性元件伏安特性的测量

【实验目的】

- 1.掌握线性与非线性元件伏安特性的测量方法和基本电路；
- 2.掌握普通二极管、稳压二极管、发光二极管的基本特性，准确测量其正向导通电压、反向击穿电压，根据发光二极管的正向工作电压估算出它的峰值波长；
- 3.画出所测量不同元件的伏安特性曲线。

【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_0 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 $r_D = dU_Q/dI_Q$

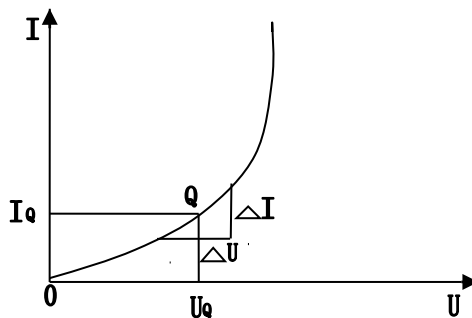


图 1 动态电阻表示图

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 称为正向导通电压。正向导通后，锗管的正向电压降约为 $0.2\sim 0.3V$ ，硅管约为 $0.6\sim 0.8V$ 。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。

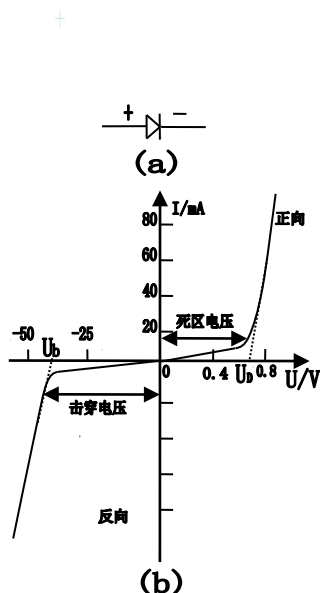


图 2 二极管伏安特性曲线图

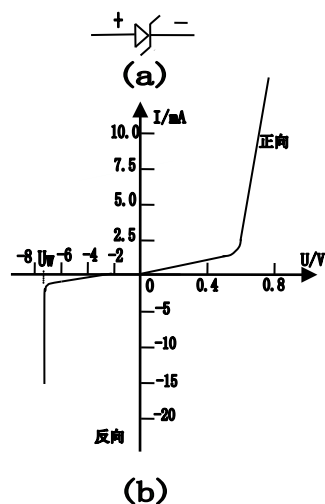


图 3 稳压管伏安特性曲线图

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；最大反向工作电压 U_m ，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。

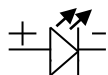


图 4(a) LED 的表示符号图

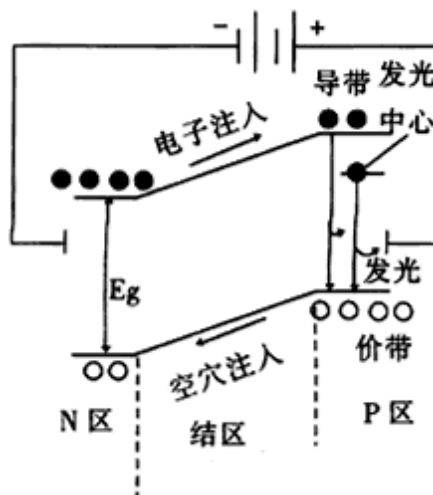


图 4(b) LED 工作的基本原理图

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 λ 与发光区域的半导体禁带宽度 E_g 有关，即

$$\lambda \approx 1240 / E_g(\text{nm})$$

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 1.63~3.26 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 $I_F=20\text{mA}$ 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。

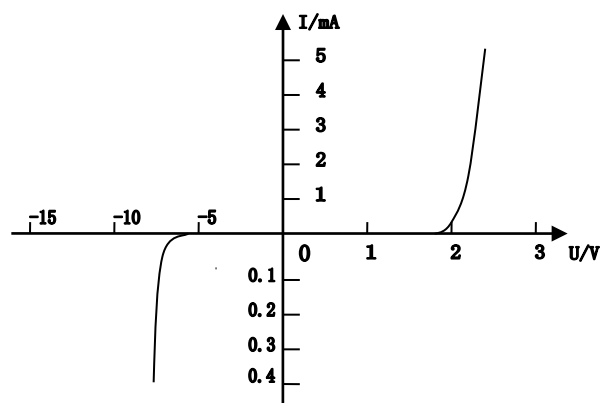


图 5 LED 的电压与电流的关系图

(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。

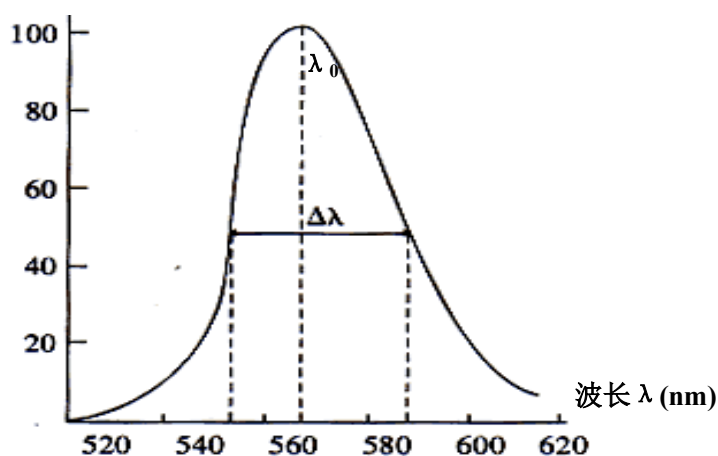


图 6 光谱分布和峰值波长图

由图可见该 LED 所发之光中某一波长 λ_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 I_V 、半值角 $\theta_{1/2}$ 和视角等指标也很重要，但本实验不作研究。

【实验仪器】

FD-UI-D 型线性与非线性元件伏安特性测量实验仪主要由直流可调稳压电源、数字电压表、数字电流表、限流电阻、可变电阻器、连接线、电阻、普通二极管、稳压二极管、发光二极管、测试座等组成，仪器装置如图 7 所示。

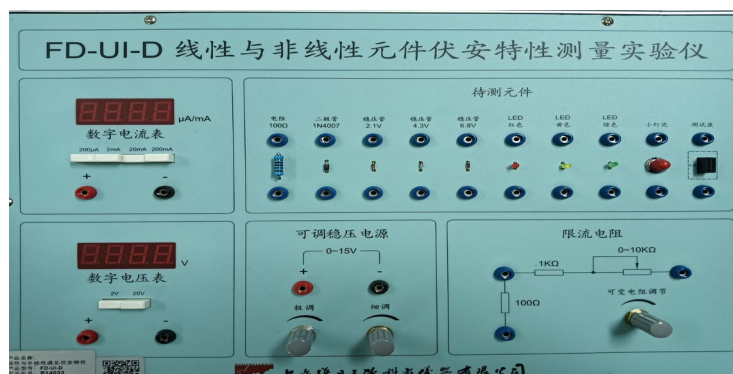


图 7 线性与非线性元件伏安特性测量实验仪

【实验内容】

实验 1. 测量普通二极管的正向伏安特性实验

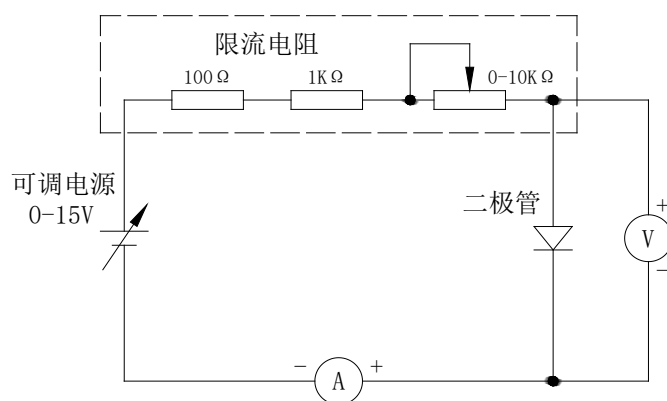


图 8 二极管的正向伏安特性测量原理图

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，可缓慢地微调电压，同时记录电流随电压的变化。记录 $U-I$ 关系数据，描绘出正向伏安特性曲线，并计算出正向导通电压。

实验 2. 测量稳压二极管的正向、反向伏安特性实验

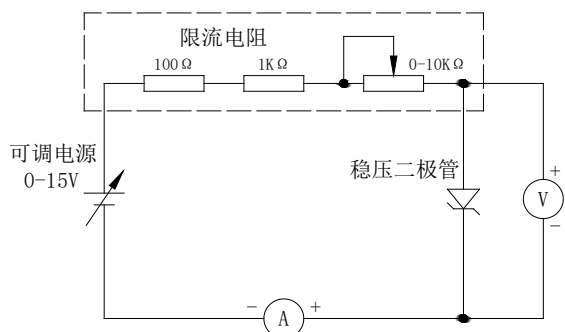


图 9(a) 稳压管正向特性测量电路图

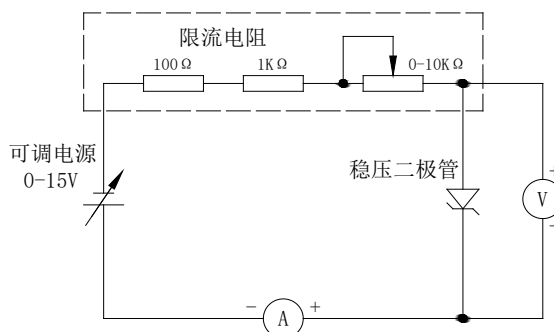


图 9(b) 稳压管反向特性测量电路图

分别用图 9(a)与图 9(b)的电路测量稳压二极管的伏安特性（只要将稳压电源输出端两根线反一下即可），调节稳压二极管两端电压，同时记录电流随电压的变化。记录 $U-I$ 关系数据，并描绘出伏安特性曲线。（注意正反向测量时限流电阻阻值要相同）

实验 3. 测量发光二极管的正向伏安特性

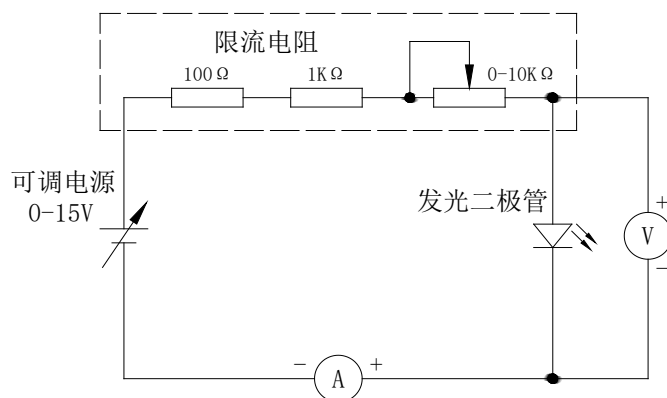


图 10 发光二极管的正向伏安特性测量原理图

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。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，记下导通电压（点亮电压），正向电流达到约 $10\sim 15\text{mA}$ 时结束(正向电流过大会导致 LED 烧坏)。本实验提供三种颜色的发光二极管，可测出导通电压，并根据导通电压估算出峰值波长。

【实验数据记录及处理】

实验 1. 测量普通二极管的正向伏安特性实验

表 1 二极管的正向电压与电流关系表

U/V	I/mA	U/V	I/mA
0		0.62	
0.10		0.64	
0.20		0.66	
0.30		0.67	
0.40		0.68	
0.50		0.69	
0.55		0.70	
0.60		Max	

做普通二极管的正向伏安特性曲线，取正向电流随正向电压改变最大的几组数据，以最小二乘法拟合，得出截距（即正向导通电压）。

实验 2. 测量 2.1V 稳压二极管的正向、反向伏安特性实验

表 2 稳压二极管的电压与电流关系表

U/V	I/mA	U/V	I/mA
-2.25		-0.50	
-2.20		0	
-2.15		0.50	
-2.10		0.60	
-2.05		0.65	
-2.00		0.68	
-1.90		0.70	
-1.80		0.71	
-1.70		0.72	
-1.50		0.73	
-1.30		0.74	
-1.00		Max	

在同一个图中画出 2.1V 稳压二极管的正、反向伏安特性曲线。

实验 3. 测量红色发光二极管的正向伏安特性

表 3 红色发光二极管的正向电压与电流关系表

U/V	I/mA	U/V	I/mA
0		1.82	
1.00		1.84	
1.50		1.85	
1.70		1.86	
1.75		1.87	
1.78		1.88	
1.80		Max	

做红色发光二极管的正向伏安特性曲线，取正向电流随正向电压改变最大的几组数据，以最小二乘法拟合，得截距（即正向导通电压）和光谱峰值波长。

思考题：

1. 总结所做实验的各非线性元件的伏安特性。
2. 稳压二极管与普通二极管有什么区别？