

吉林大学

国家级物理实验教学示范中心

National Demonstration Center for Experimental
Physics Education (Jilin University)

实验成绩

教师签字

批改日期

实 验 报 告

普通物理实验

实验题目：电学元件的伏安特性

学 院：数学学院

学 号：10230524

姓 名：黎瀚文

组 别：A2 实验台号：3

时 间：2024 年 11 月 20 日 星期三 晚上

1 实验内容

1. 实验电路如图，按图连接电路，并根据实验数据设置电表量程为：电压表量程为 $0 \rightarrow 3V$ ，电流表量程为 $0 \rightarrow 100\text{ mA}$ ，将 K_2 调至 1 端，实验中通过电压从 $0V$ 逐渐增大，故取消滑动变阻器，同时改变电压值读取 3 组电流和电压值数据，并计算 R_x
2. 操作过程同上，但 K_2 调至 2 端，改变电压值读取 3 组电流和电压值数据，计算 R_x
3. 设置测量金属膜伏安特性的电路，，从电压为 0 开始至满量程测量 10 组数据
4. 选择线路内外接测量白炽灯的伏安特性，并从电压为 0 到耐压值 80% 测量 7 组数据
5. 同测量白炽灯伏安特性的要求测量二极管正反向伏安特性

2 原始数据

数据处理表格

表 1: 数据处理表格

电压表等级:0.5	量程:0 ~ 3V	$R_V = 200\Omega/V * \text{量程}$
电流表等级:0.5	量程:0 ~ 100mA	$R_A = 0.5\Omega$

测量电阻伏安特性时电表量程为 $V : 0 \sim 3V, I : 0 \sim 100mA$

表 2: 测量电阻的伏安特性

当 K_2 拨动到 1 时测量数据

组别	I/mA	U/V	R_x/Ω
1	8.4	0.996	118.57
2	13.2	1.578	119.55
3	16.8	2.000	119.05

当 K_2 拨动到 2 时测量数据

组别	I/mA	U/V	R_x/Ω
1	5.0	0.482	96.40
2	9.1	0.922	101.32
3	14.2	1.401	98.66

测量金属膜电阻伏安特性时电表量程为 $V: 0 \sim 7.5V$, $I: 0 \sim 100mA$

表 3: 测量金属膜电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U/V	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
I/mA	8.4	16.8	25.2	33.8	42.0	50.9	59.3	67.9	76.4	85.1

测量白炽灯电阻伏安特性时电表量程为 $V: 0 \sim 3.0V$, $I: 0 \sim 500mA$

表 4: 测量白炽灯电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7
U/V	0.1	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
I/mA	39.0	94.5	120.5	163.0	200.0	231.0	264.5

测量二极管电阻伏安特性时电表量程为:

测量二极管正向时 $V: 0 \sim 1.5V$, $I: 0 \sim 100mA$, 反向时 $V: 0 \sim 7.5V$, $I: 0 \sim 100mA$

表 5: 测量二极管正向电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U/V	0.110	0.191	0.272	0.300	0.420	0.550	0.610	0.700	0.750
I/mA	0.3	0.9	1.0	1.1	1.7	2.2	3.2	12.1	37.6

表 6: 测量二极管反向电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7
U/V	1.0	1.2	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5
I/mA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3 数据处理

3.1 误差分析

实验中记录电压表和电流表等级为, 进行误差分析如下: 此时根据原始数据中的数据处理表格可知: $R_V = 600 \Omega$, $R_A = 0.5 \Omega$

$$\Delta V_m = V_m \times 0.5\% = 3 V \times 0.5\% = 0.015 V$$

$$\Delta I_m = I_m \times 0.5\% = 100 mA \times 0.5\% = 0.5 mA$$

当 K_2 拨到 1 时, 电流表内接时,

$$R'_x = \frac{U}{I} = \frac{U_x + U_A}{I} = R_x + R_A$$

$$\text{绝对误差为 } R_x = R'_x - R_A$$

计算 $\frac{V_g}{V}$ 、 $\frac{I_g}{I}$

$$\begin{array}{ll} \text{第一组 } \frac{\Delta V_m}{V} = \frac{0.015}{0.996} = 0.0151 & \frac{\Delta I_m}{I} = \frac{0.5}{8.4} = 0.0595 \\ \text{第二组 } \frac{\Delta V_m}{V} = \frac{0.015}{1.578} = 0.0095 & \frac{\Delta I_m}{I} = \frac{0.5}{13.2} = 0.0379 \\ \text{第三组 } \frac{\Delta V_m}{V} = \frac{0.015}{2.000} = 0.0075 & \frac{\Delta I_m}{I} = \frac{0.5}{16.8} = 0.0298 \end{array}$$

计算 $\frac{\Delta R_x}{R}$

$$\begin{array}{ll} \text{第一组 } \frac{\Delta R'_x}{R'_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0151)^2 + (0.0595)^2} = 0.0614 \\ \text{第二组 } \frac{\Delta R'_x}{R'_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0095)^2 + (0.0379)^2} = 0.0391 \\ \text{第三组 } \frac{\Delta R'_x}{R'_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0075)^2 + (0.0298)^2} = 0.0307 \end{array}$$

计算校准误差后的电阻由公式 $R_x = R'_x - R_A$ 得到

$$R_x = R'_x - R_A = 118.57 - 0.5 \Omega = 118.07 \Omega$$

$$R_x = R'_x - R_A = 119.55 - 0.5 \Omega = 119.05 \Omega$$

$$R_x = R'_x - R_A = 119.05 - 0.5 \Omega = 118.50 \Omega$$

$$\Delta R_x = \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.0614 \times 118.07 \Omega = 7.25 \Omega$$

$$\Delta R_x = \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.0391 \times 119.05 \Omega = 4.65 \Omega$$

$$\Delta R_x = \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.0307 \times 118.50 \Omega = 3.64 \Omega$$

组别	U/V	I/mA	R'_x/Ω	$\frac{\Delta V_m}{V}$	$\frac{\Delta I_m}{I}$	$\frac{\Delta R'_x}{R'_x}$	$R_x = R'_x - R_A / \Omega$	$R_x = R_x \pm \Delta R_x / \Omega$
1	0.996	8.4	118.57	0.0151	0.0595	0.0614	118.07	118.07 ± 7.25
2	1.578	13.2	119.55	0.0095	0.0379	0.0391	119.05	119.05 ± 4.65
3	2.000	16.8	119.05	0.0075	0.0298	0.0307	118.50	118.50 ± 3.64

当 K_2 拨到 2 时电流表外接,

$$R'_x = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_x + I_V} = \frac{R_x R_V}{R_V + R_x}$$

$$R_x = \frac{R'_x R_V}{R_V - R'_x}$$

计算 $\frac{V_g}{V}$ 、 $\frac{I_g}{I}$

第一组	$\frac{\Delta V_g}{V} = \frac{0.015}{0.482} = 0.0311$	$\frac{\Delta I_g}{I} = \frac{0.5}{5.0} = 0.1000$
第二组	$\frac{\Delta V_g}{V} = \frac{0.015}{0.922} = 0.0163$	$\frac{\Delta I_g}{I} = \frac{0.5}{9.1} = 0.0549$
第三组	$\frac{\Delta V_g}{V} = \frac{0.015}{1.401} = 0.0107$	$\frac{\Delta I_g}{I} = \frac{0.5}{14.2} = 0.0352$

计算 $\frac{\Delta R_x}{R}$

$$\begin{aligned} \text{第一组 } \frac{\Delta R'_x}{R} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0311)^2 + (0.1000)^2} = 0.1047 \\ \text{第二组 } \frac{\Delta R'_x}{R} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0163)^2 + (0.0549)^2} = 0.0573 \\ \text{第三组 } \frac{\Delta R'_x}{R} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta V_g}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_g}{I}\right)^2} = \sqrt{(0.0107)^2 + (0.0352)^2} = 0.0368 \end{aligned}$$

计算校准误差后的电阻由公式 $R_x = R'_x - R_A$ 得到

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{R'_x R_V}{R_V - R'_x} = \frac{96.40 \times 600}{600 - 96.4} \Omega = 114.85 \Omega \\ R_x &= \frac{R'_x R_V}{R_V - R'_x} = \frac{101.32 \times 600}{600 - 101.32} \Omega = 121.91 \Omega \\ R_x &= \frac{R'_x R_V}{R_V - R'_x} = \frac{98.66 \times 600}{600 - 98.66} \Omega = 118.08 \Omega \end{aligned}$$

计算 $\Delta R'_x$

$$\begin{aligned} \Delta R_x &= \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.1047 \times 114.85 \Omega = 12.02 \Omega \\ \Delta R_x &= \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.0573 \times 121.91 \Omega = 6.99 \Omega \\ \Delta R_x &= \frac{\Delta R'_x}{R'_x} \times R_x = 0.0368 \times 118.08 \Omega = 4.35 \Omega \end{aligned}$$

组别	U/V	I/mA	R'_x/Ω	$\frac{\Delta V_m}{V}$	$\frac{\Delta I_m}{I}$	$\frac{\Delta R'_x}{R'_x}$	$R_x = \frac{R'_x R_V}{R_V - R'_x} / \Omega$	$R_x = R_x \pm \Delta R_x / \Omega$
1	0.482	5.0	96.40	0.0311	0.1000	0.1047	114.85	114.85 ± 12.02
2	0.922	9.1	101.32	0.0163	0.0549	0.0573	121.91	121.91 ± 6.99
3	1.401	14.2	98.66	0.0107	0.0352	0.0368	118.08	118.08 ± 4.35

3.1.1 不确定度的计算

A 类统计不确定度的计算

$$\begin{aligned}
 \text{内接法 } \bar{U} &= \frac{\sum U_i}{3} = 1.525 \text{ V} \\
 \bar{I} &= \frac{\sum I_i}{3} = \frac{8.4 + 13.2 + 16.8}{3} = 12.80 \text{ mA} \\
 \bar{R}_x &= \frac{\sum R_x^i}{3} = \frac{118.57 + 119.55 + 119.05}{3} \Omega = 119.06 \Omega \\
 \text{外接法 } \bar{U} &= \frac{\sum U_i}{3} = 0.935 \text{ V} \\
 \bar{I} &= \frac{\sum I_i}{3} = \frac{5.0 + 9.1 + 14.2}{3} = 9.43 \text{ mA} \\
 \bar{R}_x &= \frac{\sum R_x^i}{3} = \frac{96.40 + 101.32 + 98.66}{3} \Omega = 98.79 \Omega
 \end{aligned}$$

内接法

$$\begin{aligned}
 u_A(U) &= \sqrt{\frac{(U_i - \bar{U})^2}{3 \times 2}} = \sqrt{\frac{(0.996 - 1.525)^2 + (1.578 - 1.525)^2 + (2.000 - 1.525)^2}{3 \times 2}} \text{ V} = 0.2911 \text{ V} \\
 u_A(I) &= \sqrt{\frac{(I_i - \bar{I})^2}{3 \times 2}} = \sqrt{\frac{(8.4 - 12.80)^2 + (13.2 - 12.80)^2 + (16.8 - 12.80)^2}{3 \times 2}} \text{ mA} = 2.433 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

外接法

$$\begin{aligned}
 u_A(U) &= \sqrt{\frac{(U_i - \bar{U})^2}{3 \times 2}} = \sqrt{\frac{(0.482 - 0.935)^2 + (0.922 - 0.935)^2 + (1.401 - 0.935)^2}{3 \times 2}} \text{ V} = 0.2654 \text{ V} \\
 u_A(I) &= \sqrt{\frac{(I_i - \bar{I})^2}{3 \times 2}} = \sqrt{\frac{(5.0 - 9.43)^2 + (9.1 - 9.43)^2 + (14.2 - 9.43)^2}{3 \times 2}} \text{ mA} = 2.661 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

B 类不确定度的计算

由于选择量程范围相同，设误差均匀分布则内外接时其 $u_B(U)$ 、 $u_B(I)$ 相等

$$u_B(U) = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}} = \frac{0.015}{\sqrt{3}} \text{ V} = 0.0087 \text{ V}$$

$$u_B(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0.29 \text{ mA}$$

C 类合成不确定度的计算

内接法

$$u_c(U) = \sqrt{u_A^2(U) + u_B^2(U)} = \sqrt{(0.2911)^2 + (0.0087)^2} \text{ V} = 0.2912 \text{ V}$$

$$u_c(I) = \sqrt{u_A^2(I) + u_B^2(I)} = \sqrt{(2.433)^2 + (0.29)^2} \text{ mA} = 2.450 \text{ mA}$$

外接法

$$u_c(U) = \sqrt{u_A^2(U) + u_B^2(U)} = \sqrt{(0.2654)^2 + (0.0087)^2} \text{ V} = 0.2655 \text{ V}$$

$$u_c(I) = \sqrt{u_A^2(I) + u_B^2(I)} = \sqrt{(2.661)^2 + (0.29)^2} \text{ mA} = 2.677 \text{ mA}$$

扩展不确定度的计算

已知 $R_x = \frac{U}{I}$ ，由不确定度传递公式得

$$\text{内接法} \quad \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u_c(U)}{\bar{U}}\right)^2 + \left(\frac{u_c(I)}{\bar{I}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.2912}{1.525}\right)^2 + \left(\frac{2.450}{12.80}\right)^2} = 0.0270$$

$$\text{外接法} \quad \frac{u(R_x)}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{u_c(U)}{\bar{U}}\right)^2 + \left(\frac{u_c(I)}{\bar{I}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.2655}{0.935}\right)^2 + \left(\frac{2.677}{9.43}\right)^2} = 0.0402$$

分别带入 $\bar{R}_x = 119.06 \Omega$ 、 98.79Ω 得内接法 $u(R_x) = 3.21 \Omega$ ，外接法 $u(R_x) = 3.97 \Omega$

扩展不确定度取置信概率 $p = 0.955$ ， $K_p = 2$

$$\text{内接法} \quad U(R_x) = K_p u(R_x) = 2 \times 3.21 \Omega = 6.42 \Omega$$

$$\text{外接法} \quad U(R_x) = K_p u(R_x) = 2 \times 3.97 \Omega = 7.94 \Omega$$

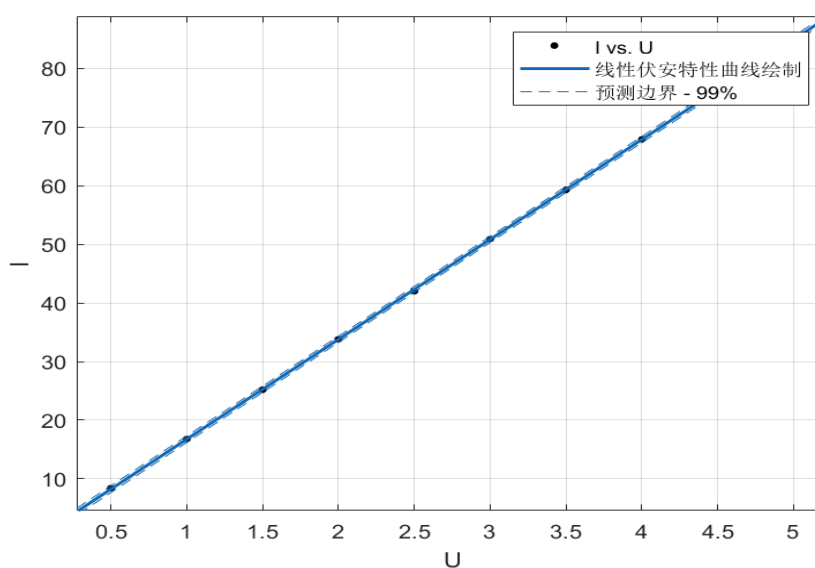
内接法时， $R_x = 119.06 \pm 6.42 \Omega$ ， $p = 0.955$ ；外接法 $R_x = 98.79 \pm 7.94 \Omega$ ， $p = 0.955$

组别	\bar{U}/V	\bar{I}/mA	\bar{R}_x/Ω	$u_c(U)/V$	$u_c(I)/mA$	$u(R_x)/\Omega$	$R_x = R_x \pm U(R_x)$
内接法	1.525	12.80	119.06	0.2912	2.450	3.21	$119.06 \pm 6.42 \Omega$
外接法	0.935	9.43	98.79	0.2655	2.677	3.97	$98.79 \pm 7.94 \Omega$

3.2 金属膜电阻根据电表等级计算最大误差并作出伏安特性曲线，对线路误差进行修正

测量金属膜电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U/V	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
I/mA	8.4	16.8	25.2	33.8	42.0	50.9	59.3	67.9	76.4	85.1



作图得到的伏安特性曲线为 $I = 17.0473 U - 0.30$

由原始数据得到电表等级为 0.5，电压表、电流表量程分别为 $V : 0 \sim 7.5V, I : 0 \sim 100mA$

故得到最大误差如下

$$\frac{\Delta V_m}{V_m} = 0.5\% \quad \frac{\Delta I_m}{I_m} = 0.5\%$$

$$\Delta V_m = V_m \times 0.5\% = 7.5 \times 0.5\% V = 0.0375 V$$

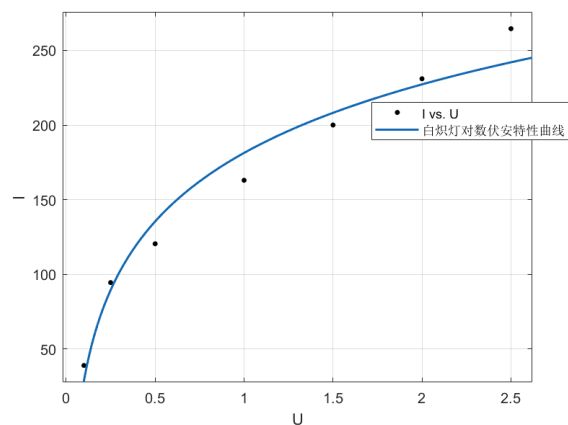
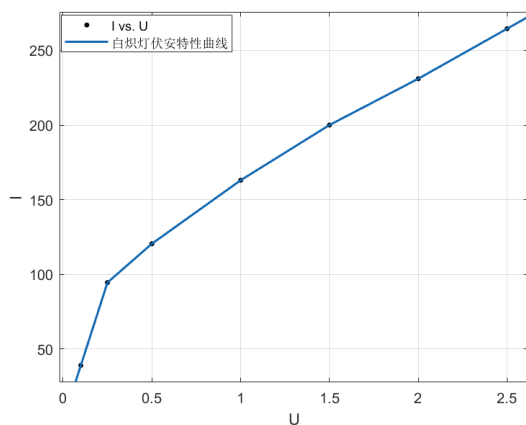
$$\Delta I_m = I_m \times 0.5\% = 100 \times 0.5\% mA = 0.5 mA$$

从图中得出电阻值为 $R = \frac{100}{17.0473} \Omega = 5.866 \Omega$

3.3 作出白炽灯伏安特性曲线

表 7: 测量白炽灯电阻伏安特性

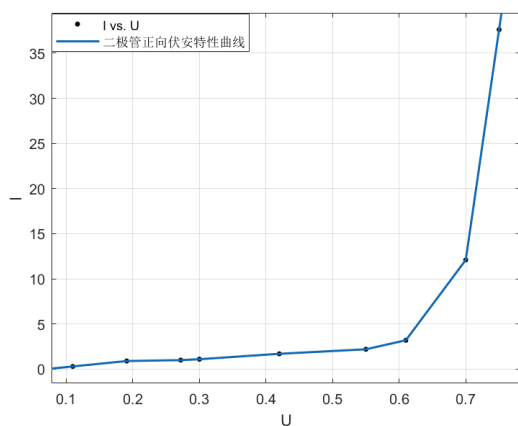
组别	1	2	3	4	5	6	7
U/V	0.1	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
I/mA	39.0	94.5	120.5	163.0	200.0	231.0	264.5



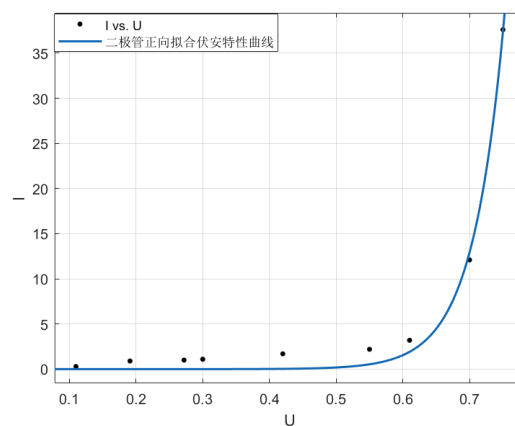
3.4 绘制二极管正反向伏安特性曲线

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U/V	0.110	0.191	0.272	0.300	0.420	0.550	0.610	0.700	0.750
I/mA	0.3	0.9	1.0	1.1	1.7	2.2	3.2	12.1	37.6

二极管正向伏安特性曲线



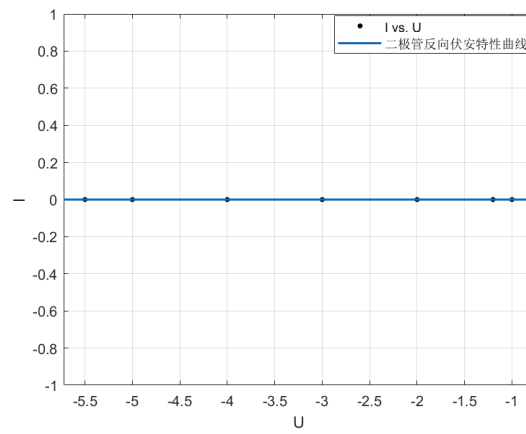
二极管正向拟合伏安特性曲线



测量二极管反向电阻伏安特性

组别	1	2	3	4	5	6	7
U/V	1.0	1.2	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5
I/mA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

二极管反向伏安特性曲线



4 思考题

4.1 通电前滑线变阻器的滑键放置的位置

应该将变阻器滑键调到电阻值最大处，使电路中流过的电流尽可能小，保证电表安全。

4.2 根据电表准确度等级正确记录电表读数的有效数字的方法

电表的量程乘以准确度等级为极限误差 e ，电表标度尺上所有分度线的基本误差都不超过 e ，读数时，应使读数小数位与 e 一致，即应该估读到最小分度值下一位。

4.3 电压表和电流表内阻未知情况下通过实验方法选择实验电路内外接的方法

应该选取电压表示数接近满偏时的读数，以达到对不确定度较小的要求。

4.4 如何选取电表读数

1. 万用表 $20\text{ k}\Omega$ 以上各挡内阻非常大，使测量电路中电流很小，变化比例就相应的变得很大，而二极管的组织随通过自身电流变化而变化，造成测量值不同。2. 测量线性元件，用不同挡位测得数值相差不大，但也应该选择正确的挡位来达到实验的要求。

4.5 测量二极管正反向伏安特性曲线采取的电表接法及原因

二极管正向电阻小，应该采用外接法；而反向电阻非常大，应该采用内接法。