

# 2020年秋季大学物理实验（3）-电子元件的伏安特性的测定

专业班级：电气1908 学号：U201912072 姓名：柯依娃 日期： 2020/10/8 实验台：30号 报告柜：J21

## 实验名称:

电子元件的伏安特性的测定

## 实验目的:

- (1) 了解线性电阻、非线性电阻的伏安特性；
- (2) 掌握用伏安法测电阻时电流表内接、外接的条件；
- (3) 掌握电表量程的选择及读数。

## 实验仪器材料

本实验中需要用到的仪器包括直流电源、九孔板、元件模块、微安表，毫安表，电压表，导线等。

## 预备问题

(1) 查阅资料，了解常用电压表、毫安表、微安表内阻的量级。

常用电表：选用我常用电表CA5212查阅用户手册

功能	量程 C.A 5215/17(C.A 5212)	分辨率	准确度		
			C.A 5212	C.A 5215	C.A 5217
交流电压 V	6.000V(4.000V)	0.001V	0.5% + 4		
	60.00V(40.00V)	0.01V			
	600.0V(400.0V)	0.1V			
	750V(600V)	1V			
直流电压 V	6.000V(4.000V)	0.001V	0.2% + 2	0.2% + 2	
	60.00V(40.00V)	0.01V			
	600.0V(400.0V)	0.1V			
	1000V(600V)	1V	0.5% + 2		
交流电压 mV	60.00mV(40.00mV)	0.01mV	1% + 6		不适用
	600.0mV(400.0mV)	0.1mV	1% + 4		
直流电压 mV	60.00mV(40.00mV)	0.01mV	1%+5		
	600.0mV(400.0mV)	0.1mV	0.2% + 2		
二极管测试	3.000V	0.001V	10%		
温度 °C/°F(K 型热电偶)	50°C 至 400°C	1°C	不适用		2% + 1°C
	0°C 至 50°C	1°C			± 2°C
	-55°C 至 0°C	1°C			9% + 2 °C
电阻	600.0Ω(400.0Ω)	0.1Ω	0.5% + 5		
	6.000kΩ(4.000kΩ)	0.001kΩ			
	60.00kΩ(40.00kΩ)	0.01kΩ			

功能	量程	分辨率	准确度		
			C.A 5212	C.A 5215	C.A 5217
电容	9.999nF	0.001nF	10% + 10		
	99.99nF	0.01nF	5% + 5		
	999.9nF	0.1nF	2% + 5		
	9.999μF	0.001μF			
	99.99μF	0.01μF			
	999.9μF	0.1μF			
	9.999mF	0.001mF	5%+5		
	99.99mF	0.01mF			
频率	10 - 99.99Hz	0.01Hz	不适用		1% + 3
	999.9Hz	0.1Hz			
	1.000kHz	0.001kHz			约 1%
占空比	0.1% to 99.9%	0.1%			
交流电流 μA	600.0μA(400.0μA)	0.1μA	不适用	1%+5	
	6000μA(4000μA)	1μA		0.5%+5	
直流电流 μA	600.0μA(400.0μA)	0.1μA		0.5%+3	
	6000μA(4000μA)	1μA			
交流电流 mA	60.00mA(40.00mA)	0.01mA		0.5%+5	
	600.0mA(400.0mA)	0.1mA			
直流电流 mA	60.00mA(40.00mA)	0.01mA		0.5%+3	
	600.0mA(400.0mA)	0.1mA			
交流电流 A	6.000A(4.000A)	0.001A	1%+5		
	10.00A(10.00A)	0.01A	0.5%+5		
直流电流 A	6.000A(4.000A)	0.001A	1%+5		
	10.00A(10.00A)	0.01A	0.5%+5		

查阅网上资料，现在常用数字电压表，数字电压表输入阻抗高：数字电压表的输入阻抗通常为10MΩ ~ 10000MΩ，最高可达1TΩ。在测量时从被测电路上吸取的电流极小，不会影响被测信号源的工作状态，能减小由信号源内阻引起的测量误差

指针式毫安表内阻约0.2~10欧

指针式微安表内阻约100~3000欧

指针式直流电压表内阻较小，一般在10兆欧以下

## 实验室用电表内阻

<b>mA表</b>	天津腾马	量程(mA)	7.5	15	30	75	150
		内阻( $\Omega$ )	2.56	1.75	1.05	0.535	0.35
	哈尔滨电表仪器厂	量程(mA)	7.5	15	30	75	150
		内阻( $\Omega$ )	8.58	4.45	2.31	0.98	0.51
	天津中环	量程(mA)	7.5	15	30	75	150
		内阻( $\Omega$ )	2.54	1.76	1.06	0.52	0.36
<b><math>\mu</math>A表</b>	天津市电表厂	量程(mA)	7.5	15	30	75	150
		内阻( $\Omega$ )	2.55	1.75	1.05	0.53	0.36
	哈尔滨电表仪器厂	量程( $\mu$ A)	50	100	200		
		内阻(k $\Omega$ )	1.0411	2.7359	1.9220		
	上海第二电表厂	量程( $\mu$ A)	100	200	500	1000	
		内阻(k $\Omega$ )	1.2000	1.1000	0.5603	0.3003	
<b>伏特表</b>		量程(V)	1	2.5	5	10	
		内阻(k $\Omega$ )	1.000	2.500	5.000	10.000	

(2) 常用的电工电子仪表上都是一些标识符号，这些符号都表示什么？

编号	功能名称
1	数据保持功能已启动
2	AC, DC-DC 或 AC 电压、电流
3	二极管测量
4	导通性测试
5	M, k-十进制前缀
6	Hz-频率测量
7	% - 占空比测量
8	A, V-安培或伏特
9	F-电容测量
10	n, m, $\mu$ - 十进制前缀
11	$^{\circ}$ F, $^{\circ}$ C-温度测量
12	Max - Min-最大最小值测量
13	自动关机已启动
14	电量不足请更换电池
15	相对值模式
16	自动量程测量

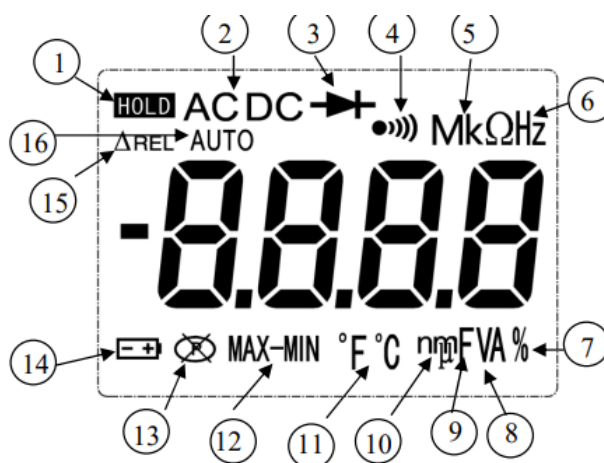
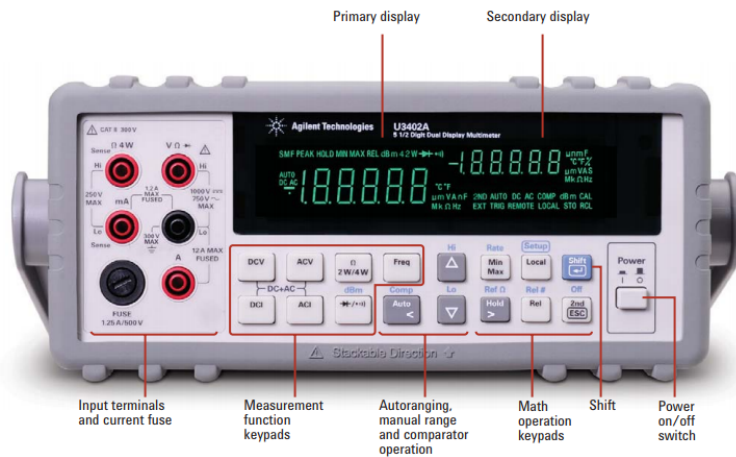


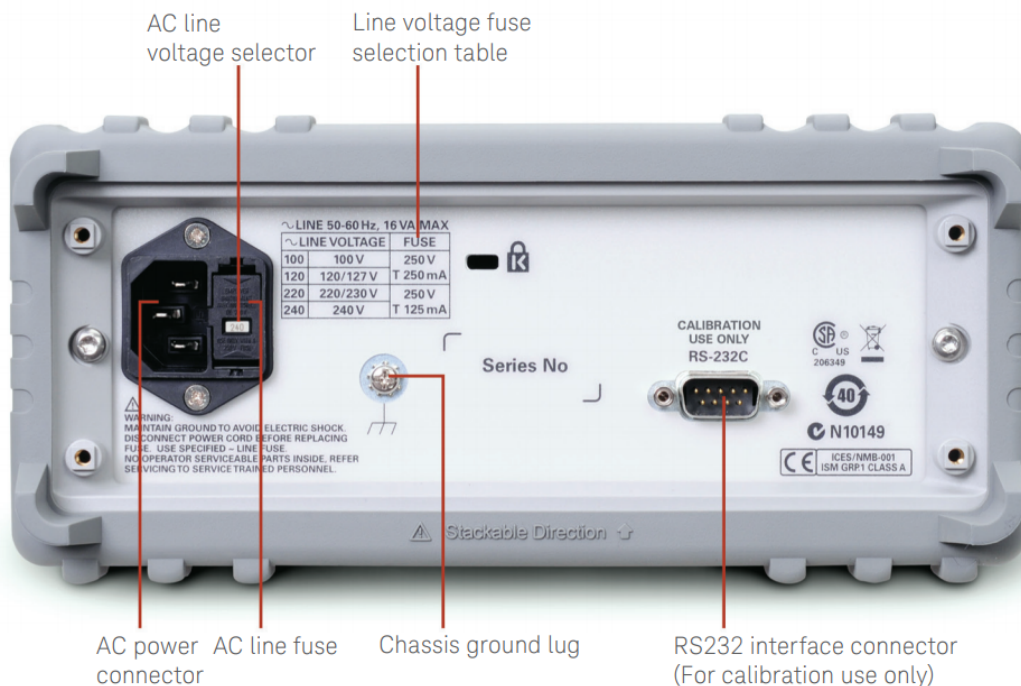
表 1：仪表上的符号

	AC-交流		DC - 直流
	交流或直流		双重绝缘
	电击危险		保险丝
	电池		必须阅读和理解说明
	二极管		CE 标志，符合欧洲相关标准
	在欧盟，产品必须按照 WEEE 2002/96/EC 来进行处理。该产品不能和生活垃圾一起处理		接地
	危险！当遇到此危险符号时，请使用参考本用户手册操作。		电容

## Take a closer look



**Figure 1** Front panel of the U3402A. The front panel of the U3401A is similar with slight differences in the position of certain functions. Please refer to the U3401A's User's and Service Guide U3401-90001 for details.

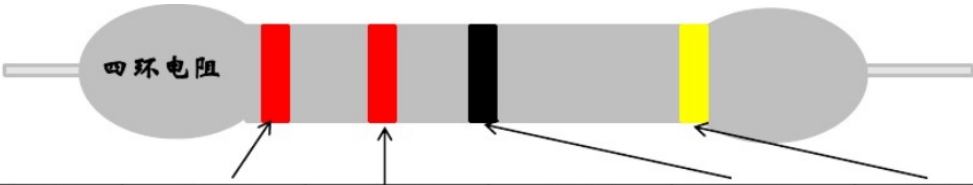


**Figure 2** Rear panel of the U3401A/U3402A.

Typical dual display combinations and applications


Primary display	Secondary display	Application	Available in
DCV	ACV	– Testing of DC-to-AC or AC-to-DC converter circuit	U3402A, U3401A
ACV + DCV	DCV	– Power supply DC level and AC ripple measurement	U3402A, U3401A
DCV	DCI	– Testing of power supply load regulation	U3402A
DCV	ACI	– Loop current and voltage drop level checking	U3402A
ACI + DCI	DCV	– Testing of line and load regulation	U3402A
ACV	DCI	– Testing of AC-to-DC or DC-to-AC converter	U3402A
ACI + DCI	ACV	– Power supply DC level and AC ripple measurement	U3402A
ACV	ACI	– Transformer testing	U3402A
ACV	Hz	– Amplifier circuit's AC frequency response measurement	U3402A, U3401A
ACI	Hz	– Adjustment of AC motor control	U3402A, U3401A
DCI	ACI	– Power supply AC ripple and DC current measurement	U3402A, U3401A
ACI + DCI	DCI	– Current dissipation measurement	U3402A, U3401A
dBm	Reference $\Omega$		U3401A
dBm	DCV	– RF frequency measurement	U3402A, U3401A
dBm	ACV		U3402A, U3401A
dBm	Hz	– Frequency response checking	U3402A

(3) 电阻上的色环表示什么？



四环电阻

色环环数	第一环	第二环	第三环	乘数	误差率
黑	0	0	0	1	
棕	1	1	1	10	±1%
红	2	2	2	100	±2%
橙	3	3	3	1k	±3%
黄	4	4	4	10k	±4%
绿	5	5	5	100k	
蓝	6	6	6	1M	
紫	7	7	7	10M	
灰	8	8	8	100M	
白	9	9	9	1000M	
金	-1	-1	-1	0.1	±5%
银	-2	-2	-2	0.01	±10%
无色					±20%
色环环数	第一环	第二环	第三环	乘数	误差率



五环电阻

(4) 内接法和外接法产生误差的原因分别是什么？在实际测量中怎样减小误差的影响？

### 三、实验原理

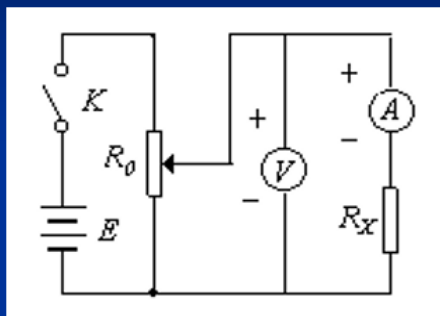
#### 1、电流表内接法和电流表外接法

##### 电流表内接法

$$U = U_R + U_A = IR + IR_A$$

待测电阻修正值  $R = U/I - R_A$

相对系统误差为  $E_{r内} = \frac{|R - R_{测}|}{R} = \frac{R_A}{R}$

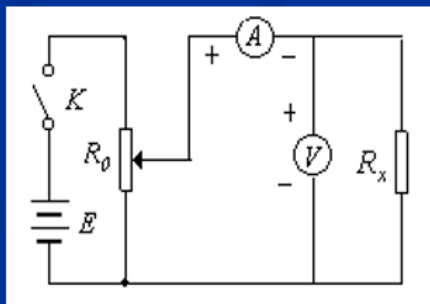


##### 电流表外接法

$$I = I_R + I_V = I_R + U/R_V$$

待测电阻修正值  $R = \frac{U}{I - U/R_V} = \frac{U}{I - U/R_V}$

相对系统误差为  $E_{r外} = \frac{R}{R + R_V}$



可以看出，内接法使得电压测量值偏大， $R_x$ 测量偏大，外接法使得电流测量值偏大， $R_x$ 测量值偏小

实际测量中，查表得出电压表电流表的大致内阻，可以采用算法直接计算，但是更常用比较测量内阻值，如测量内阻在千欧级以下，使用外接法，反之使用内接法，但是考虑到目前技术的提升，数字电表的使用，往往无所谓内接和外接，因为数字电压表阻值极高，达10M欧以上，而数字电流表内阻毫欧级，一般情况下不会影响测量。简单的说，电阻阻值小外接，反之内接。

### 实验原理

使用电压表电流表根据实际情况内接外接描点画线

### 数据分析处理

开始，使用万用表粗测元件内阻

电阻：10欧，1k欧

二极管：0.72V压降

微安表200uA：1.93k欧

毫安表7.5mA：2.8欧

毫安表15mA：1.8欧

电压表1V：1k欧

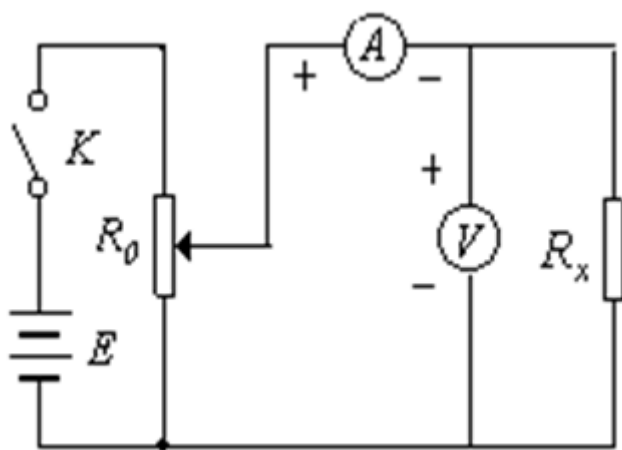
电压表10V：10k欧

电压源：9V

精度等级0.5%

测量10Ω(外接)和1kΩ(内接)电阻的伏安特性

10欧外接：

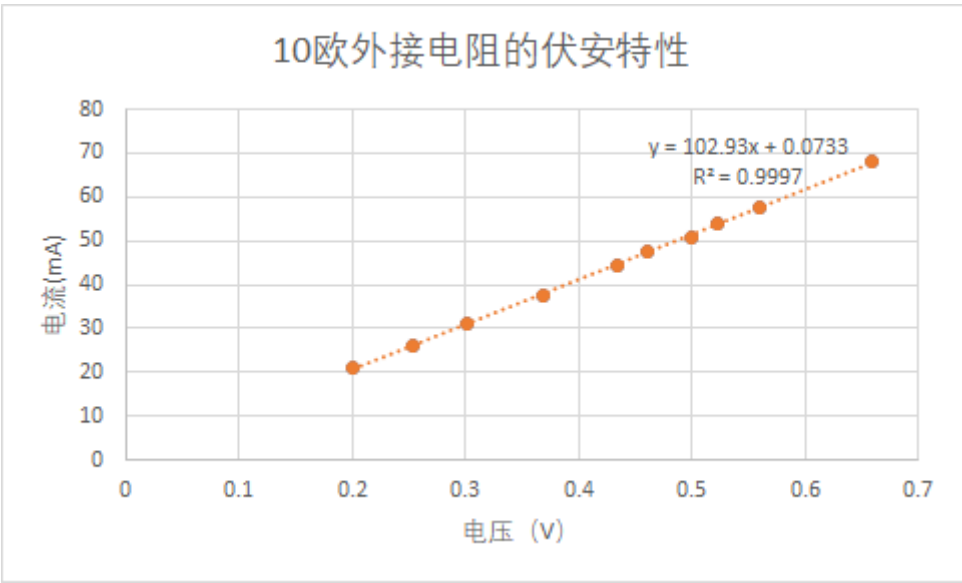


精度等级

$$1V * 0.5\% = 0.005V$$
$$75mA * 0.5\% = 0.375mA$$

(1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压表 (1V/100格)	20.1	25.3	30.1	36.8	43.3	49.9	55.9	65.9	52.2	46
电流表 (75mA/150格)	41.9	52.2	62	75.5	89	102	115.1	136	108.2	95.5
电压 (V)	0.201	0.253	0.301	0.368	0.433	0.499	0.559	0.659	0.522	0.460
电流 (mA)	21.0	26.1	31.0	37.8	44.5	51.0	57.6	68.0	54.1	47.8



$$I = \frac{U}{R_x} + \frac{U}{R_V}$$
$$\text{即 } R_x = \frac{1}{102.93} k\Omega = 9.715\Omega$$

(1)

$$\text{相对不确定度 } u_r = \frac{|10 - 9.715|}{10} = 2.95\%$$

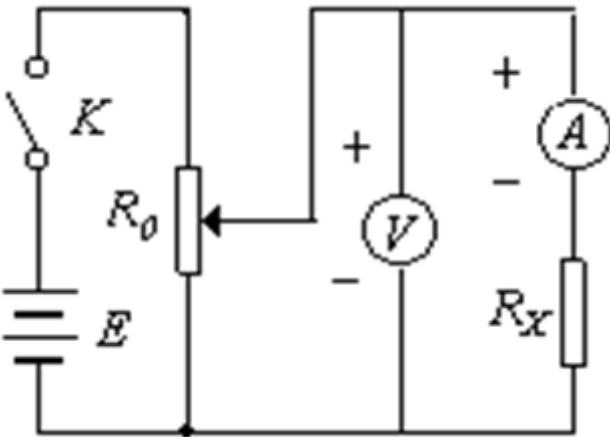
(2)

1k欧内接

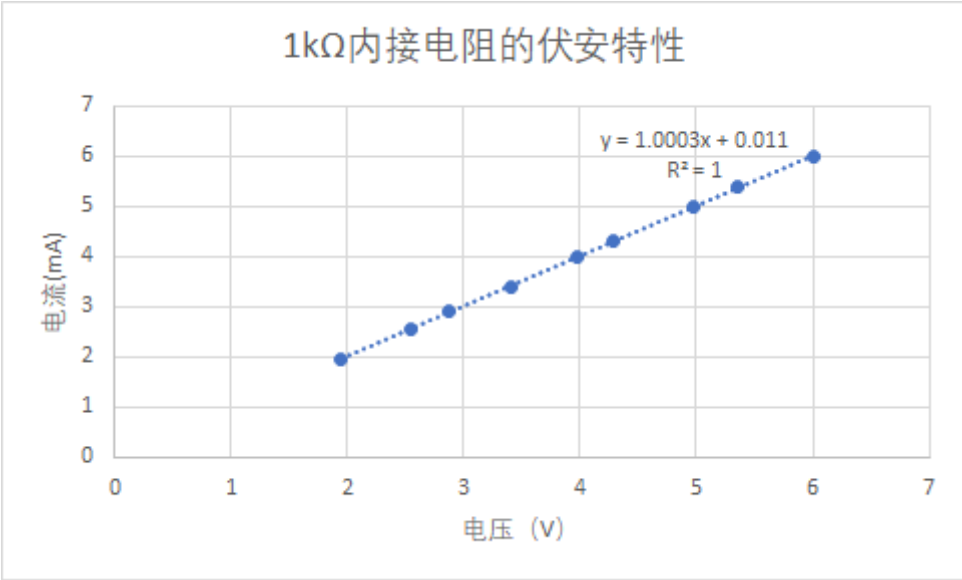
精度等级

$$10V * 0.5\% = 0.05V$$
$$7.5mA * 0.5\% = 0.0375mA$$

(3)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压表 (10V/100格)	19.5	25.5	28.8	34	39.8	49.5	53.5	60	49.8	42.9
电流表 (7.5mA/150格)	39.2	51.2	58	68	80	90.8	107.5	120	100	85.9
电压 (V)	1.95	2.55	2.88	3.40	3.98	4.95	5.35	6.00	4.98	4.29
电流 (mA)	1.96	2.56	2.90	3.40	4.00	4.54	5.38	6.00	5.00	4.30





$$I = \frac{U}{R_x + R_A}$$

(4)

又由于  $R_A$  趋近于 0

$$\text{即 } R_x = \frac{1}{1.0003}k\Omega = 0.9997k\Omega$$

$$\text{相对不确定度 } u_r = \frac{|1k - 0.9997k|}{1k} = 0.03\%$$

(5)

测绘半导体二极管的正、反向伏安特性曲线

精度等级

$$1V * 0.5\% = 0.005V$$
$$15mA * 0.5\% = 0.075mA$$

(6)

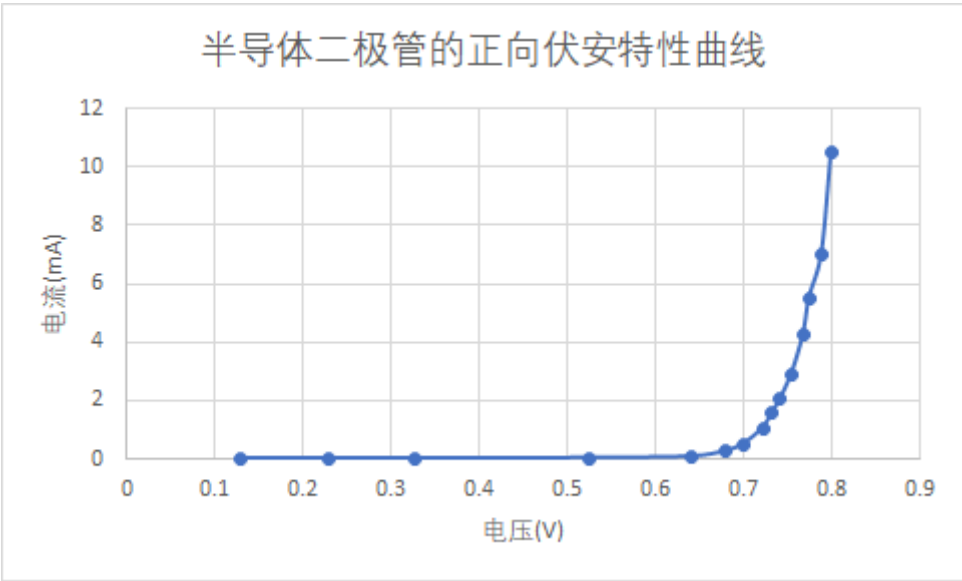
考虑到拐点时二极管电阻较大,约为几百欧姆以上，采用内接法

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
电压表 (1V/100格)	12.9	22.9	32.8	52.5	64.2	67.9	70	72.2	73.3	74.2	75.5	76.8	77.5	78.9	80
电流表 (15mA/150格)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8	2.6	5.1	10.5	15.8	20.5	29.2	42.3	55.2	70.3	105
电压 (V)	0.129	0.229	0.328	0.525	0.642	0.679	0.700	0.722	0.733	0.742	0.755	0.768	0.775	0.789	0.800
电流 (mA)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.08	0.26	0.51	1.05	1.58	2.05	2.92	4.23	5.52	7.03	10.50

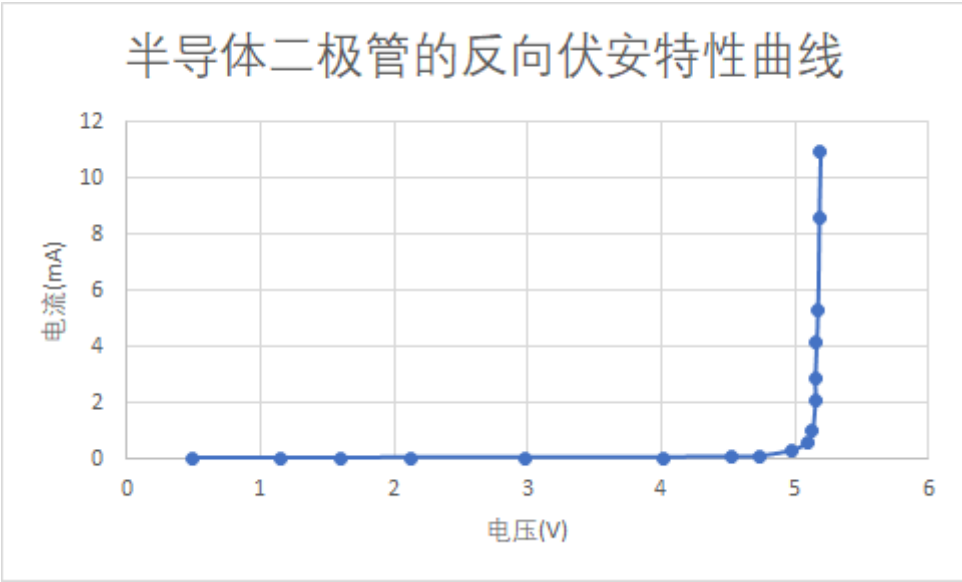
精度等级

$$10V * 0.5\% = 0.05V$$
$$15mA * 0.5\% = 0.075mA$$

(7)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
电压表 (10V/100格)	5	11.5	16	21.2	29.8	40.1	45.2	47.3	49.8	51	51.3	51.5	51.5	51.6	51.7	51.8	51.9
电流表 (15mA/150格)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	2.9	6	9.9	20.5	29	41.2	53.2	86	109.5
电压 (V)	0.50	1.15	1.60	2.12	2.98	4.01	4.52	4.73	4.98	5.1	5.13	5.15	5.15	5.16	5.17	5.18	5.19
电流 (mA)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.29	0.6	0.99	2.05	2.9	4.12	5.32	8.6	10.95



则得到半导体二极管伏安特性曲线，可以看出20°左右时二极管最高反向工作电压约为5V，反向电流约为0.3mA，正向导通电压约为0.7V

## 测各电表内阻，精确测量电阻阻值

分别将电压表电流表串联和并联读数

串联时  $\frac{U}{I_A} = R_V$

并联时  $\frac{U}{I_A} = R_A$

1V电压表内阻约为1k欧时，串联使用7.5mA毫安表（量程有点用不好呀，最好是用1mA量程的表比较方便，但是只有200uA和7.5mA）

10V电压表内阻约为10k欧时，串联使用7.5mA毫安表（量程有点用不好呀，最好是用1mA量程的表比较方便，但是只有200uA和7.5mA）

15mA毫安表内阻约为1.8欧，并联使用0.05V或0.02V电压表比较好，但是没有

由于此方法测量误差大，又在实验器材的限制下无更好方法，认为再测下去对精准测量电阻阻值的效果较低，故放弃测量