

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：严旭铨

学号：3220101731

日期：2023 年 9 月 25 日

地点：东三 406 教室

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：祁才君 成绩：

实验名称：仪器使用练习 实验类型：电学实验 同组学生姓名：褚玘铖

实验 2 半导体二极管特性测试

一、实验目的

- 学习 MULTISIM 电路仿真软件的使用
- 掌握半导体二极管特性测试
- 进一步熟悉电子仪器的使用

二、实验内容

- 用万用表粗略判别二极管好坏
- 采用逐点测量法测量二极管的 VA 特性
- 采用扫描测量法测量二极管的 VA 特性，并双踪观察信号源与二极管两端电压（注意其击穿值）
- 采用逐点测量法测量稳压管的 VA 特性
- 应用 MULTISIM 软件仿真二极管的 VA 特性

三、实验数据记录、处理与分析

内容一：用万用表粗略判别二极管好坏

1. 实验器材

求是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+ 万用表（该实验的测量设备）

2. 实验步骤

- 检查万用表，并将万用表调节到测量二极管的档位
- 选取整流二极管（1N4007）
- 将万用表的红笔接到二极管正极，黑笔接到负极
- 读取数据并记录
- 将两表笔反接后，读取数据并记录
- 根据读数判断二极管是否正常

3. 实验数据

表 1 用万用表粗略判别二极管好坏实验数据

二极管型号	正向压降测量值	反向压降测量值	好坏
1N4007	0.708V	∞	好

4. 数据处理与分析

万用表红笔接二极管正极，黑笔接二极管负极（正向接法），有比较合理的读数；当红笔接负极黑笔接正极（反向接法），无法读出正常数（数值无穷大）。则符合二极管单向导电性，可粗略判断是好的。

内容二：采用逐点测量法测量二极管的 VA 特性

1. 实验器材

求 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+ 万用表（该实验的测量设备）、GWINSTEK GPD4303S 稳压源

2. 实验步骤

方法一：固定 W，调节 US，测量不同电流状态下的二极管电压

- （1）选用标称值为 $1\text{k}\Omega$ 的电阻作为 R2（测量值为 $0.989\text{k}\Omega$ ），按如图所示连接好电路（此处 R1 实际上没有连，依靠稳压电源进行限流）
- （2）打开稳压电源，调节输出电压为 30V，设定限流值为 3A 并输出
- （3）将万用表分别接在图示 XMM1 和 XMM2 的位置（只有一个万用表）读取第一组数据
- （4）停止输出，调节稳压电源使电压降低，每次降低 5V，在二极管两端电压变化较快的部分减小降压区间，增加实验组数，多次读数测量并记录
- （5）利用 Excel 和 Origin 软件处理数据并绘制 VA 特性曲线

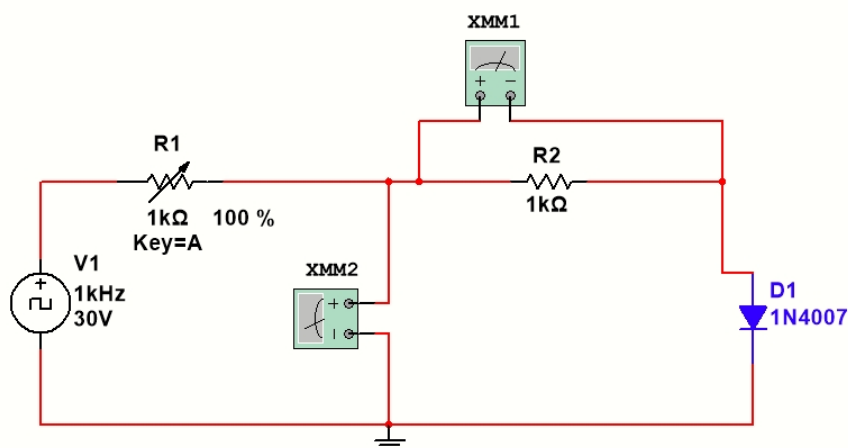


图 1 内容二电路图

方法二：固定 US，调节 W，测量不同电流状态下的二极管电压

- （1）在方法一电路的基础上，将稳压电源调节至输出电压为 30V，限流为 3A。
- （2）将 R2 进行更换，分别选择标称值为 $1\text{k}\Omega$ 、 $5.1\text{k}\Omega$ 、 $10\text{k}\Omega$ 、 $20\text{k}\Omega$ 、 $50\text{k}\Omega$ 、 $100\text{k}\Omega$ 的电阻进行实验
- （3）稳压源输出，对每一组阻值分别读数并记录
- （4）利用 Excel 和 Origin 软件处理数据并绘制 VA 特性曲线

3. 实验数据

表 2 逐点法固定 W，调节 US 测量二极管 VA 特性实验数据

序号	U2/V	UL/mV	稳压源输出/V	序号	U2/V	UL/mV	稳压源输出/V
1	29.43	750	30	14	0.72	581	1.3
2	24.41	743	25	15	0.53	566	1.1
3	19.38	733	20	16	0.44	550	1

4	14.36	720	15	17	0.26	520	0.8
5	9.35	701	10	18	0.22	520	0.75
6	7.35	690	8	19	0.18	510	0.7
7	5.35	676	6	20	0.14	500	0.65
8	4.36	666	5	21	0.1094	480	0.6
9	3.36	654	4	22	0.0751	470	0.55
10	2.37	638	3	23	0.0454	450	0.5
11	1.88	627	2.5	24	0.0227	420	0.45
12	1.39	612	2	25	0.0086	380	0.4
13	0.91	592	1.5				

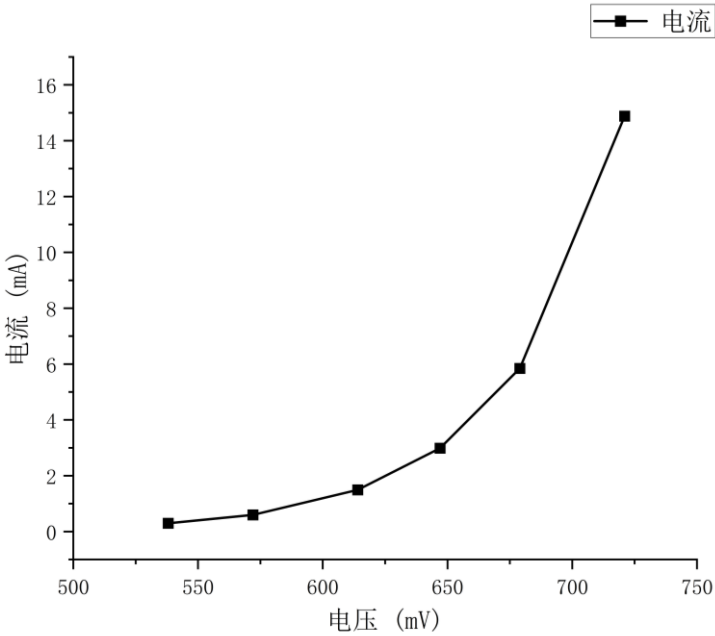


图 3 方法二得到的 VA 特性图线

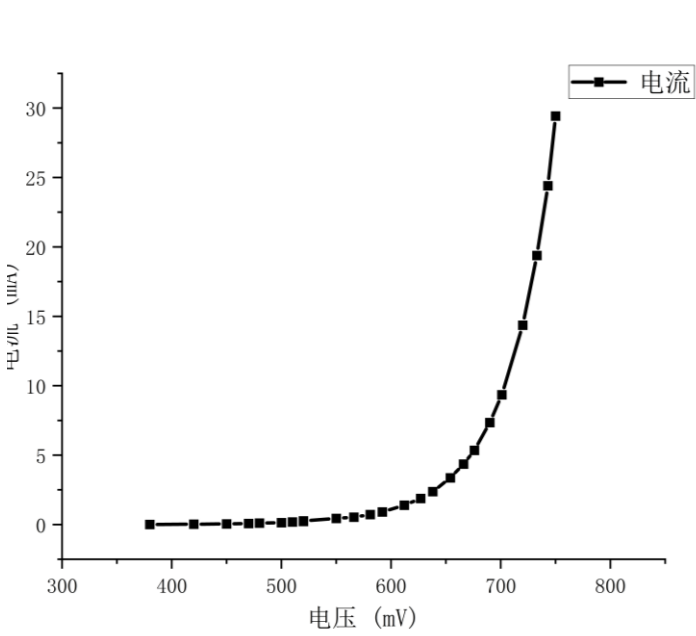


图 2 方法一得到的 VA 特性图线

表 3 逐点法固定 U_S ，调节 W 测量二极管 VA 特性实验数据

序号	U_1/V	U_L/V	$R/k\Omega$	$R_{\text{实际}}/k\Omega$	i/mA
1	29.46	0.721	2	1.98	14.879
2	29.51	0.679	5.1	5.05	5.844
3	29.54	0.647	10	9.88	2.990
4	29.57	0.614	20	19.76	1.496
5	29.61	0.57	50	49.53	0.598
6	29.65	0.538	100	99.3	0.299

4. 数据处理与分析

在实际操作过程中，我们没有完全按照老师 PPT 上的电路图，而是用稳压电源进行限流保护。考虑到万用表电流档测量结果误差与选用档位有关，我们将万用表与 R_2 并联，并采用电压档，将万用表当做电压表，与电阻并联后充当电流表，这样可以在一定程度上减少系统误差。我们在方法一中采用 $1k\Omega$ 的电阻，测得的电压值数值和电流值是一致的，单位稍作计算即可非常方便地得到电流数据。

在方法一中，我们发现当二极管两端电压下降到 $600mV$ 之后，电流的变化就放缓了，此时我们增加了测量的组数以确保数据的准确性。得到的曲线比较符合二极管特性。

在方法二中，受限于器材，我们做的组数不多，得到的曲线因取样点较少而不太平滑。

综合来看，该二极管在两端电压 $0.6V$ 以下时处于截止状态，基本没有电流通过，在 $0.6V-0.7V$ 逐渐开始导通，在 $0.7V$ 之后，电流开始快速增大。由此可得，二极管的导通电压大致在 $0.6V-0.7V$ 之间。

内容三：采用扫描测量法测量二极管的 V_A 特性，并双踪观察信号源与二极管两端电压

1. 实验器材

求是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+ 万用表（该实验的测量设备）、GWINSTEK GPD4303S 稳压源、Keysight DSOX1102G 示波器、RIGOL DG1022U 信号源

2. 实验步骤

- （1）考虑到电路中只能有一个“地”，我们将示波器的地线和信号源的地线接在同一个节点，按照图 4 连接电路

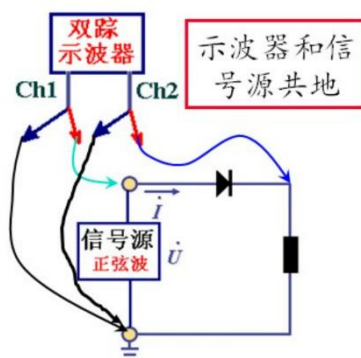


图 4 内容三电路图

- （2）打开信号源和示波器，调节信号源使之产生幅值为 $5V$ ，频率为 $100Hz$ 的正弦波，低电平为 0 ，高电平为 $5V$
- （3）调节示波器至 XY 显示模式，调节时基和显示比例以方便观察图形

3. 实验数据

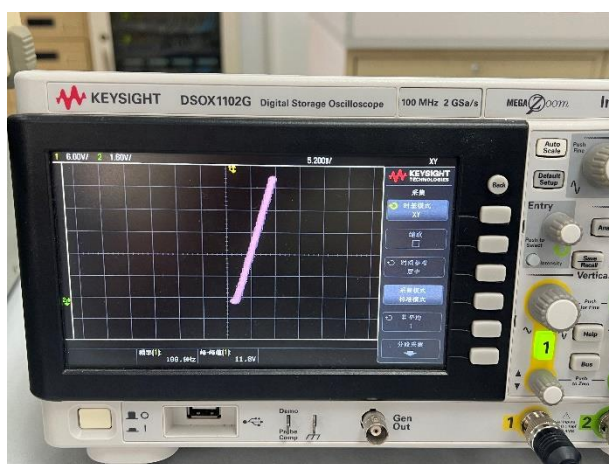


图 5 内容三示波器显示的图线

4. 数据处理与分析

虽然图 5 的线比较粗，比例没有逐点法测量得到的好看，但是基本能够反映二极管的 VA 特性，即在正向电压较小时的时候有一段是比较平的，说明电流随电压变化而变化的程度比较小；后面一段斜率很大的上升则是正向电压达到了导通电压，电压增大一点，电流增大很多。这里 x 轴为二极管正端发出的，反映二极管两端电压（？有一定疑问）；y 轴为电阻两端发出的，是电阻电压，间接可以反映为流过二极管的电流（要乘一个系数）。

但是，包括我们组在内的很多同学有一些疑问。

由图 4，示波器 x 轴接收到的波实际上反映的并不是二极管两端的电压，而像是路端电压，二极管电压应该是由二极管两端的电势作差得到。从波的角度看，是两个通道的波形作差之后才能得到这个电压，而示波器上 x 轴的波是来自一个通道的，似乎不能直接反映二极管两端电压。我们用示波器上的 Math 区功能将 xy 轴进行作差，但是作差后的波无法和原来的 y 轴 波叠加在示波器上，也难以通过”Measure”功能测量该作差后的波参数，也就无法用信号发生器发生。对于为什么能够得到这个比较近似的图像，我们仍存有疑惑。

内容四：采用逐点测量法测量稳压管的 VA 特性

1. 实验器材

求是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+万用表（该实验的测量设备）、GWINSTEK GPD4303S 稳压源

2. 实验步骤

与内容二方法一基本一致，只是将原来的二极管换成了稳压管并且反向接入电路

- （1）接好电路后，打开稳压电源，调节输出电压为 30V，设定限流值为 3A 并输出
- （2）将万用表分别接在图示 XMM1 和 XMM2 的位置读取第一组数据
- （3）停止输出，调节稳压电源使电压降低，每次降低 5V，在二极管两端电压变化较快的部分减小降压区间，增加实验组数，多次读数测量并记录
- （4）利用 Excel 和 Origin 软件处理数据并绘制 VA 特性曲线

3. 实验数据

表 4 逐点测量法测量稳压管的 VA 特性实验数据

序号	U1/V	UL/V	输出(V)	序号	U1/V	UL/V	输出(V)
1	-24.8	-5.17	30	14	-0.985	-4.348	5.3
2	-19.9	-5.15	25	15	-0.913	-4.319	5.2
3	-14.98	-5.11	20	16	-0.843	-4.288	5.1
4	-10.05	-5.03	15	17	-0.77	-4.25	5
5	-5.17	-4.88	10	18	-0.708	-4.222	4.9
6	-4.2	-4.82	9	19	-0.644	-4.185	4.8
7	-3.28	-4.75	8	20	-0.582	-4.147	4.7
8	-2.38	-4.65	7	21	-0.522	-4.105	4.6
9	-1.94	-4.59	6.5	22	-0.363	-3.963	4.3
10	-1.52	-4.5	6	23	-0.233	-3.791	4
11	-1.36	-4.46	5.8	24	-0.088	-3.432	3.5
12	-1.13	-4.39	5.5	25	-0.023	-2.994	3
13	-1.059	-4.375	5.4				

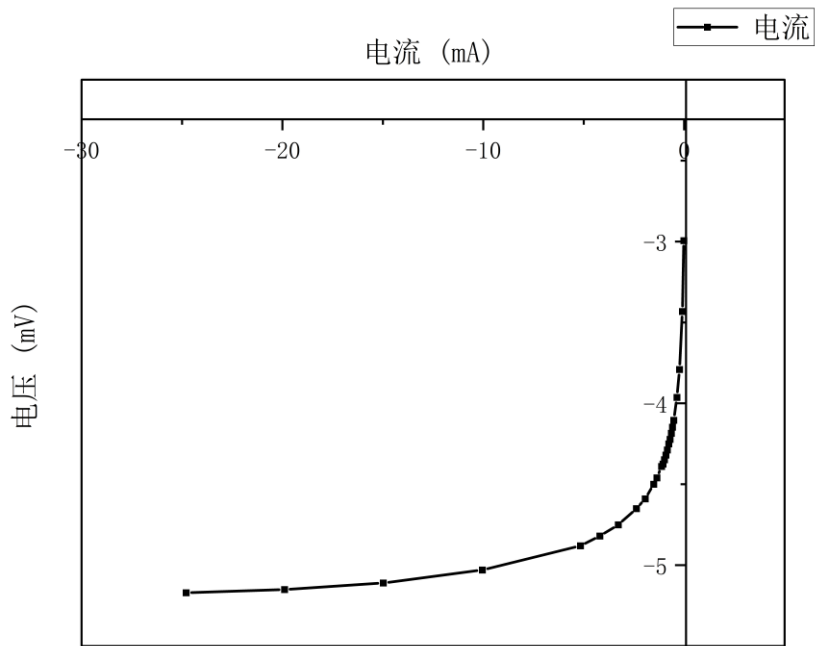


图 6 逐点法测得稳压管的 VA 特性曲线

4. 数据处理与分析

稳压管反向的 VA 特性曲线走向和普通二极管正向导通的 VA 特性曲线走向类似，该稳压管的反向击穿电压在 5V 左右。

内容五：应用 MULTISIM 软件仿真二极管的 VA 特性

1. 实验步骤

- (1) 在 Multisim 软件中画好原理图，注意要接地
- (2) 将函数发生器波形设置为正弦波，频率设置为 50Hz，振幅设置为 500mVp
- (3) 运行，打开示波器界面，将时基调整至 500ms，显示模式为 B/A，通道 AB 刻度均为 200 mV/Div，注意将通道 B 下的“-”选中，否则得到的是关于 x 轴对称的图形。
- (4) 菜单栏选中视图-图仪，将文件另存为 csv 格式
- (5) 打开 MATLAB，编辑器输入脚本：

```
[data]=xlsread('E:\VA2.csv','VA2');vd=data(:,[1]);id=data(:,[2]);plot(vd,id)
```

运行，得到绘图。

2. 实验数据

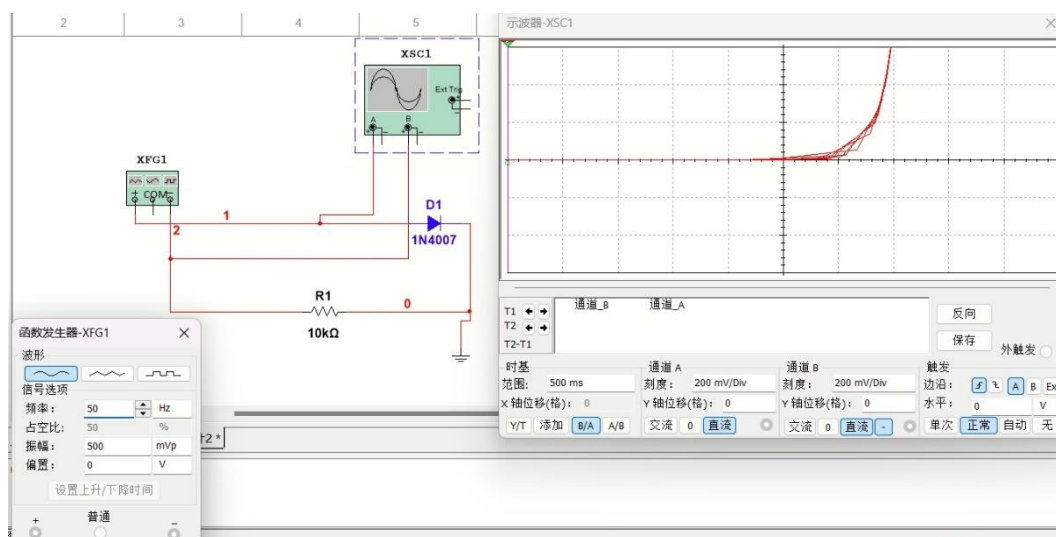


图 8 Multisim 软件用扫描法仿真得到的图像

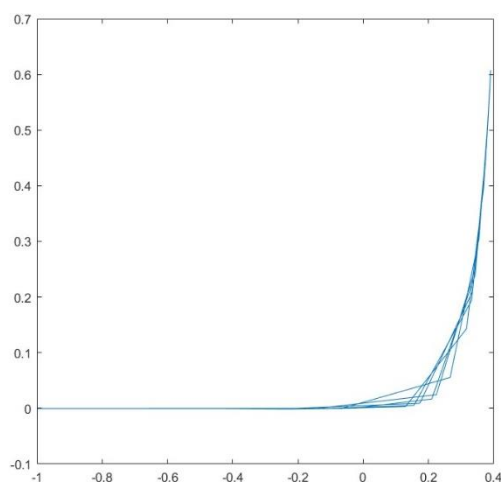


图 7 Multisim 得到的数据导入 MATLAB 得到的图像

3. 数据处理与分析

仿真软件得到的结果比实验测得的电压要低，大约在 200mV 左右。

但是在仿真过程中发现，电流较小区间示波器得到的图像抖动较为剧烈，调节发生器幅值和频率的作用也不大，不知道是什么原因。

四、实验拓展内容&思考题

1. 二极管特性与稳压二极管特性有什么区别？

二极管特性（普通二极管）：普通二极管是一种电子元件，由两个不同类型的半导体材料组成（P 型和 N 型）。它具有单向导电性，即只有当正向偏置时才能导通电流，而在反向偏置时则不导电。普通二极管常用于整流电路、信号检测和电路保护等应用。

稳压二极管特性（稳压二极管、Zener 二极管）：稳压二极管是一种具有稳定的反向击穿电压的二极管。当反向电压达到其额定的击穿电压时，稳压二极管会在反向方向上导通，阻止电压继续增加，从而实现电压稳定功能。稳压二极管常用于稳压电源、电压调节和电路保护等应用。

2. 二极管的主要参数有哪些？

最大正向电压（VF）、最大反向电压（VR）、最大正向电流（IF）、最大反向电流（IR）

额定反向电压（VRM）：指的是在正常工作条件下，二极管可承受的最大反向电压。

额定反向电流（IRM）：指的是在正常工作条件下，二极管可承受的最大反向电流。

正向电压降（VF）：指的是二极管在正向导通时的电压降。

反向击穿电压（VZ）：对于稳压二极管，指的是在反向偏置时，二极管开始导通的电压

$I_f(AV)$ ：最大整流电流，二极管长期运行允许最大的正向平均电流值

fM：最高工作频率，二极管工作的上限频率，高于该频率后将不能再工作

反向击穿电流（IZM）：对于稳压二极管，指的是在反向击穿时通过的最大电流

3. 稳压管的主要参数有哪些？

UZ—稳定电压：指稳压二极管通过额定电流时两端产生的稳定电压值。该值随工作电流和温度的不同而略有改变。由于制造工艺的差别，同一型号稳压管的稳压值也不完全一致。

- IZT—额定电流：指稳压二极管产生稳定电压时通过的电流值。低于额定电流时，虽然也能稳压，但稳压效果会变差；高于额定电流时，只要不超过额定功率损耗，也是允许的，而且稳压性能会好一些，但要多消耗电能。

- RZJ—动态电阻：指稳压二极管两端电压变化与电流变化的比值。该比值随工作电流的不同而改变，一般是工作电流愈大，动态电阻则愈小。

- PZ—额定功耗：由芯片允许温升决定，其数值为稳定电压 V_z 和允许最大电流 I_{zm} 的乘积。

- CTV—温度系数：如果稳压二极管的温度发生了变化了，它的稳定电压也会发生微小变化，温度变化 1°C 所引起管子两端电压的相对变化量即是温度系数（单位： $\%/^\circ\text{C}$ ）。

- IR—反向漏电流：指稳压二极管在规定的反向电压下产生的漏电流。

4. 如何判定二极管的好坏？

检查万用表，并将万用表调节到测量二极管的档位，将万用表的红笔接到二极管正极，黑笔接到负极，读取数据并记录；将两表笔反接后，读取数据并记录。万用表红笔接二极管正极，黑笔接二极管负极（正向接法），有比较合理的读数；当红笔接负极黑笔接正极（反向接法），无法读出正常数（数值无穷大）。则符合二极管单向导电性，可粗略判断是好的。

5. 如何测量二极管的门限电压（导通电压）？

使用数字多用表（DMM）：将 DMM 设置为电压测量模式，选择较低的电压量程。将 DMM 的正负测量引线分别与二极管的正负极连接，观察 DMM 的读数。当正向偏置电压超过了二极管的导通电压，DMM 的读数会出现变化，即为二极管的门限电压。

或用晶体管图示仪直接测量。

6. 如何设计实验测量二极管的伏安特性？

如本实验内容二、三、四，用逐点法或扫描法测量，经处理得到伏安特性曲线

7. 简要讨论硅基芯片和碳基芯片的区别与现状

表 5 硅基芯片和碳基芯片的区别与现状

		硅基芯片	碳基芯片
区别	材料	采用硅（Silicon）作为主要材料，硅在电子行业中应用广泛，具有良好的半导体特性，有稳定性好、加工工艺成熟等优势。	采用碳（Carbon）纳米管、石墨烯等碳基材料，具有优异的电子传输性能、高频电学特性和机械强度。有高速传输、宽频响应等优异特性，但制造工艺相对复杂，稳定性和可扩展性仍待解决。
	应用领域	硅基芯片是目前主流的芯片技术，广泛应用于计算机、通信、嵌入式系统、人工智能等领域。	碳基芯片在量子计算、高速通信、生物医学等领域有着巨大潜力，可以提供更高的性能和更强大的功能。
现状		硅基芯片已经发展了几十年，产业链完善，制造工艺趋于成熟。硅基芯片已经商业化应用广泛，成为电子行业的重要基础。	碳基芯片在实验室中展示了很大的潜力，但需要进一步解决制造成本、工艺可靠性等问题，推动其商业化应用。碳基芯片商业化应用仍在起步阶段，但一些碳纳米管和石墨烯的产品已经进入市场，例如传感器、柔性显示等。

8. 分析 PCB 板浮地与机箱连接两种接地各有什么特点？

PCB 板浮地：PCB 板浮地是指 PCB 板的接地点与机箱的接地点之间没有直接连接。这种接地方式适用于一些对电磁兼容性（EMC）要求较高的应用，通过在 PCB 板上使用独立的接地平面、隔离环等来实现对噪声的屏蔽和隔离，从而减少电磁干扰。

特点：

- (1) 不直接连接到机箱接地，可以减少共地引起的噪声传导。
- (2) 能够提供较好的电磁兼容性，减少电磁干扰。
- (3) 通过独立的接地层或平面来分离信号引地和电源引地，可以有效控制接地回路。

机箱连接： 机箱连接是指 PCB 板上的接地点与机箱的接地点直接连接。这种接地方式适用于一些对接地连续性和机械强度要求较高的应用，通过将 PCB 板的接地与机箱接地直接连接，实现共地，确保接地的连续性和稳定性。

特点：

- (1) 接地连续性好：通过直接连接到机箱接地，确保接地的连续性和稳定性。
- (2) 机械强度高：通过接地连接，可以增加 PCB 板与机箱的机械强度和稳定性。