

班级

学号

姓名

教师签字

实验日期 2025.11.25

预习成绩

总成绩

## 实验名称 太阳能电池的基本特性研究

## 一、预习

1. 太阳能电池的基本结构和工作原理是什么？
2. 太阳能电池的开路电压、短路电流、最佳匹配负载和填充因子的物理含义是什么？

1. 基本结构：核心是大面积平面P-N结，由P型半导体和N型半导体结合而成，中间形成空间电荷区，还包括电极、封装层等辅助结构。

工作原理：利用半导体P-N结的光伏效应发电，P型半导体富含空穴，N型半导体富含自由电子，结合后形成势垒电场。当光照射电池时，部分电子被激发产生电子-空穴对，结区的势垒电场将电子推向N区，空穴推向P区，使N区带负电，P区带正电，P-N结两端形成电压（光生电动势），接入外电路后，载流子定向移动形成电流，实现光能到电能的转换。

2. 开路电压VOC：当太阳能电池负载断开时，P-N结两端形成的最大电压，此时电路中无电流通过。

短路电流ISC：当太阳能电池负载电阻为零时，电路中流过的最大电流，此时电池输出电压为零。

最佳匹配负载：使太阳能电池输出功率达到最大值时的外接负载电阻，此时负载能最大限度地吸收电池产生的电能。

填充因子FF：表征太阳能电池性能优劣的核心参数， $FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$ ，其值越大，电池光电转换效率越高。

## 二、原始数据记录

## 1. 硅太阳能电池的暗特性测量

表 1 太阳能电池的暗伏安特性测量

电压 (V)	电流(mA)	
	单晶硅	非晶硅
-8	0.112	0.156
-7	0.097	0.132
-6	0.082	0.108
-5	0.066	0.086
-4	0.053	0.066
-3	0.040	0.047
-2	0.026	0.031
-1	0.014	0.015
0	0	0
0.3	-0.005	-0.005
0.6	-0.014	-0.01
0.9	-0.031	-0.015
1.2	-0.09	-0.024
1.5	-0.275	-0.036
1.8	-0.853	-0.052
2.1	-2.9	-0.078
2.4	-8.9	-0.146
2.7	-29.4	-0.466
3.0	-82.5	-1.744
3.3		-5.0
3.6		-11.6
3.9		-20.9
4.2		-32.4

## 2. 开路电压、短路电流与光强关系测量

表 2 两种太阳能电池开路电压与短路电流随光强变化关系

距 离(cm)		15	20	25	30	35	40	45	50
光强 I ( $W/m^2$ )		672	356	220	151	111	86	69	57
单晶硅	开路电压 $V_{oc}$ (V)	2.86	2.72	2.60	2.51	2.43	2.36	2.31	2.26
	短路电流 $I_{sc}$ (mA)	70.8	38.0	23.6	16.1	12.0	9.3	7.5	6.1
非晶硅	开路电压 $V_{oc}$ (V)	3.04	2.95	2.88	2.83	2.78	2.74	2.71	2.68
	短路电流 $I_{sc}$ (mA)	7.8	4.3	2.7	1.9	1.4	1.1	0.9	0.8

## 3. 太阳能电池输出特性测试

表 3 两种太阳能电池输出特性实验 光强  $I = \frac{1}{W/m^2}$ 

单	输出电压 $V(V)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8

晶 硅	输出电流 $I(mA)$	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	9.3	9.0
	输出功率 $P_o(W)$	0	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.28	13.16	14.88	16.20
	输出电压 $V(V)$	2.0	2.2	2.4							
	输出电流 $I(mA)$	5.4	4.4	1.2							
	输出功率 $P_o(W)$	10.8	9.68	2.88							
非 晶 硅	输出电压 $V(V)$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
	输出电流 $I(mA)$	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	输出功率 $P_o(W)$	0	0.22	0.44	0.66	0.88	1.1	1.32	1.4	1.6	1.8
	输出电压 $V(V)$	2.0	2.2	2.4	2.6						
	输出电流 $I(mA)$	0.9	0.8	0.7	0.4						
	输出功率 $P_o(W)$	1.8	1.76	1.68	1.04						

教师	姓名
签字	

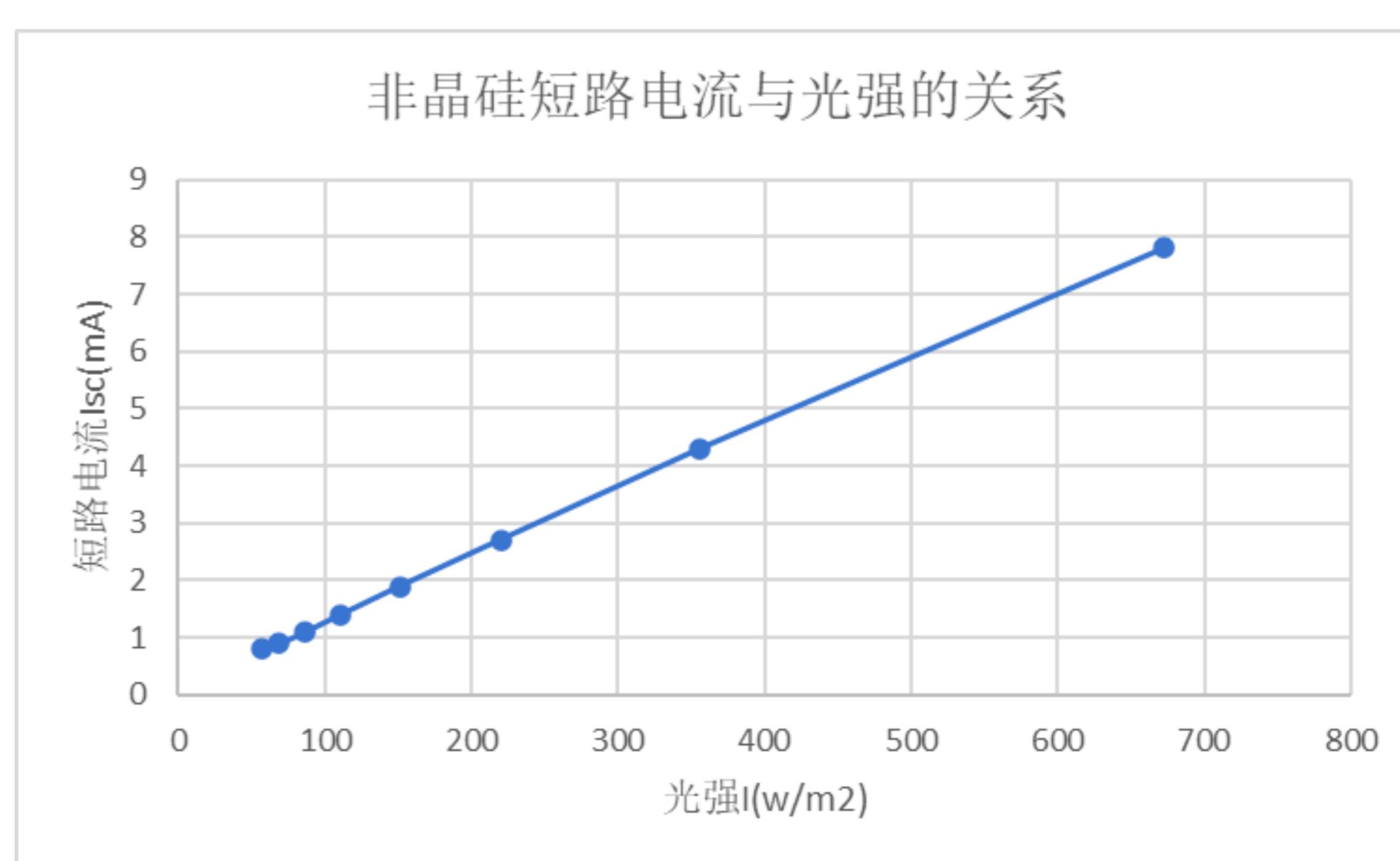
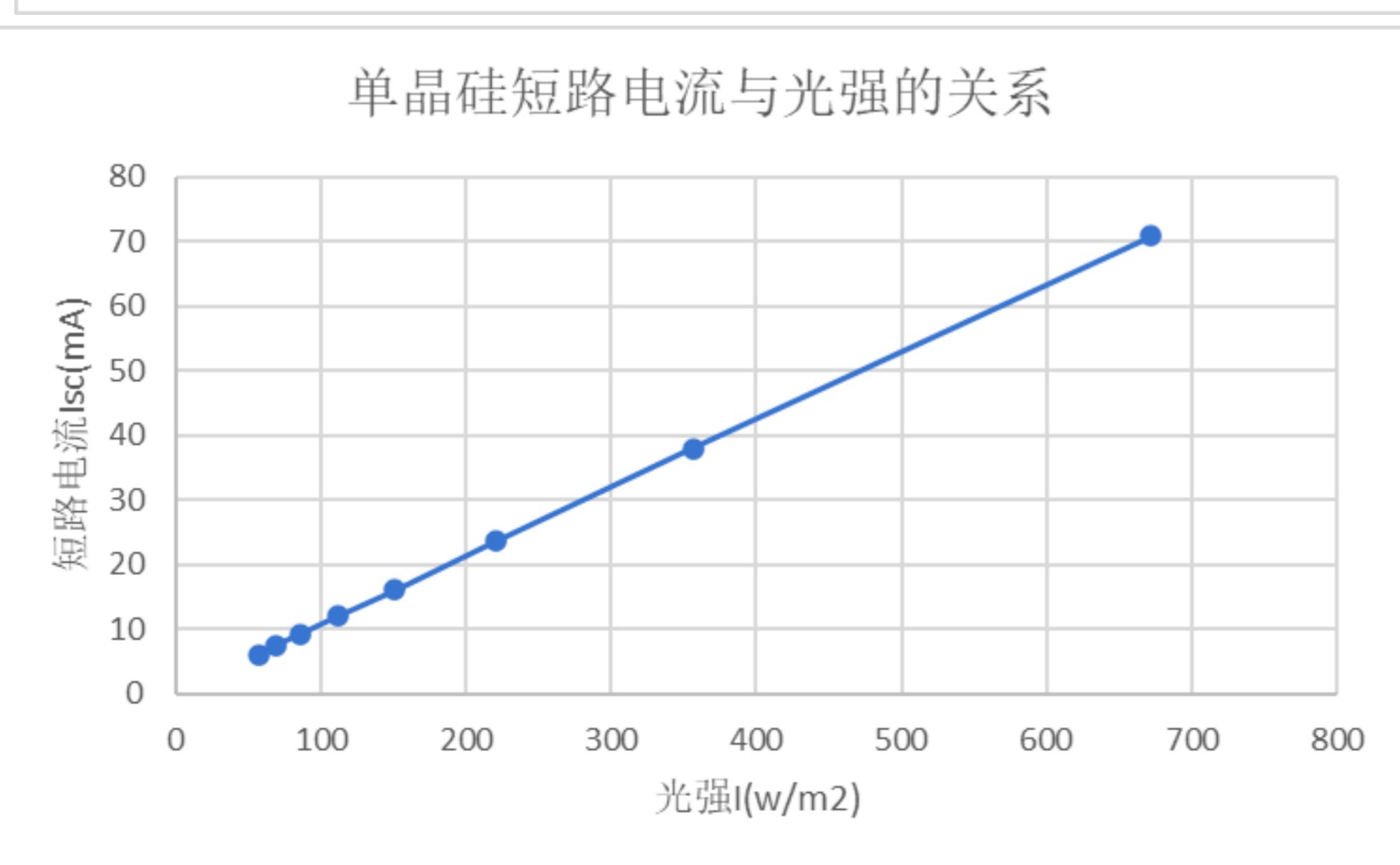
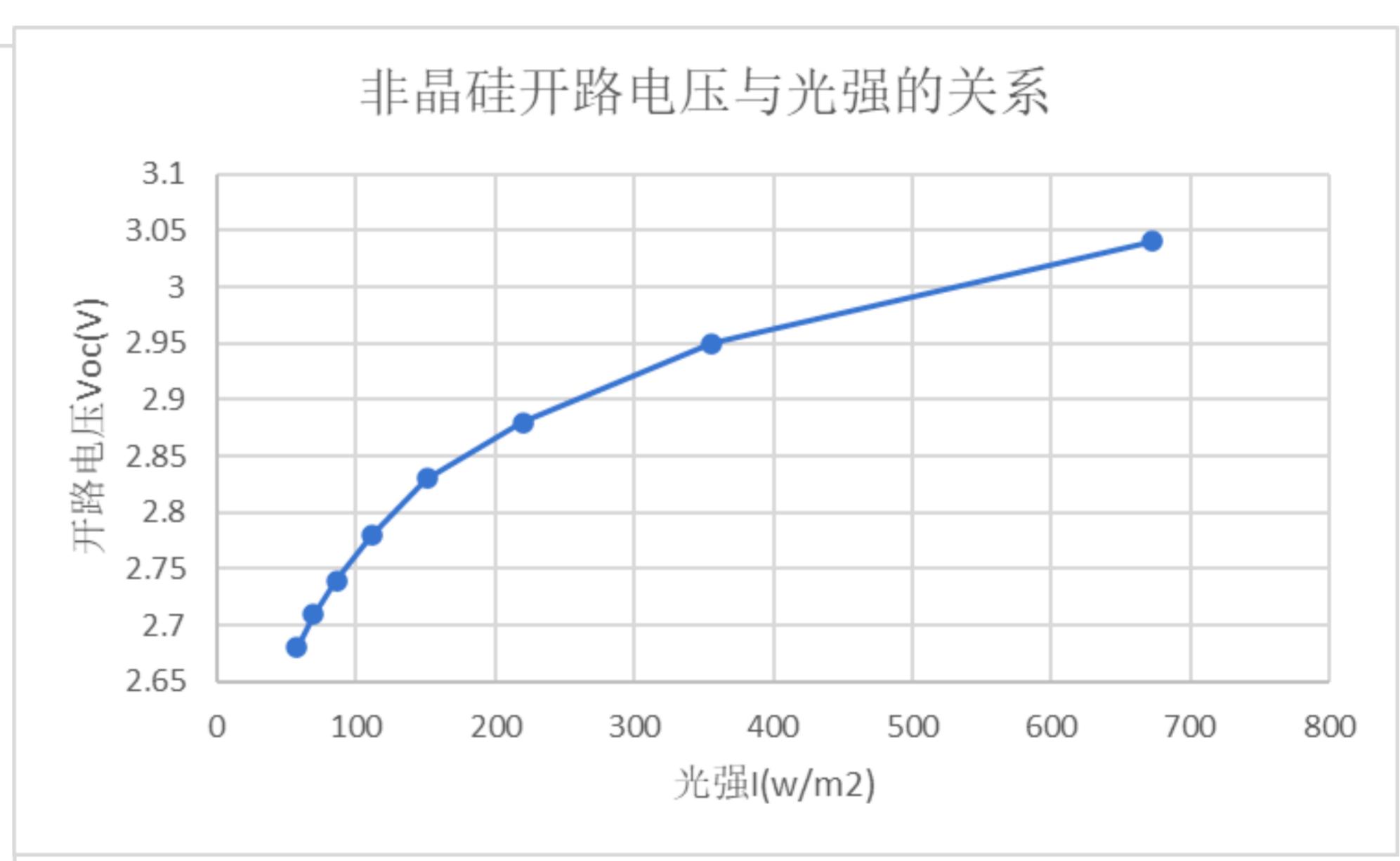
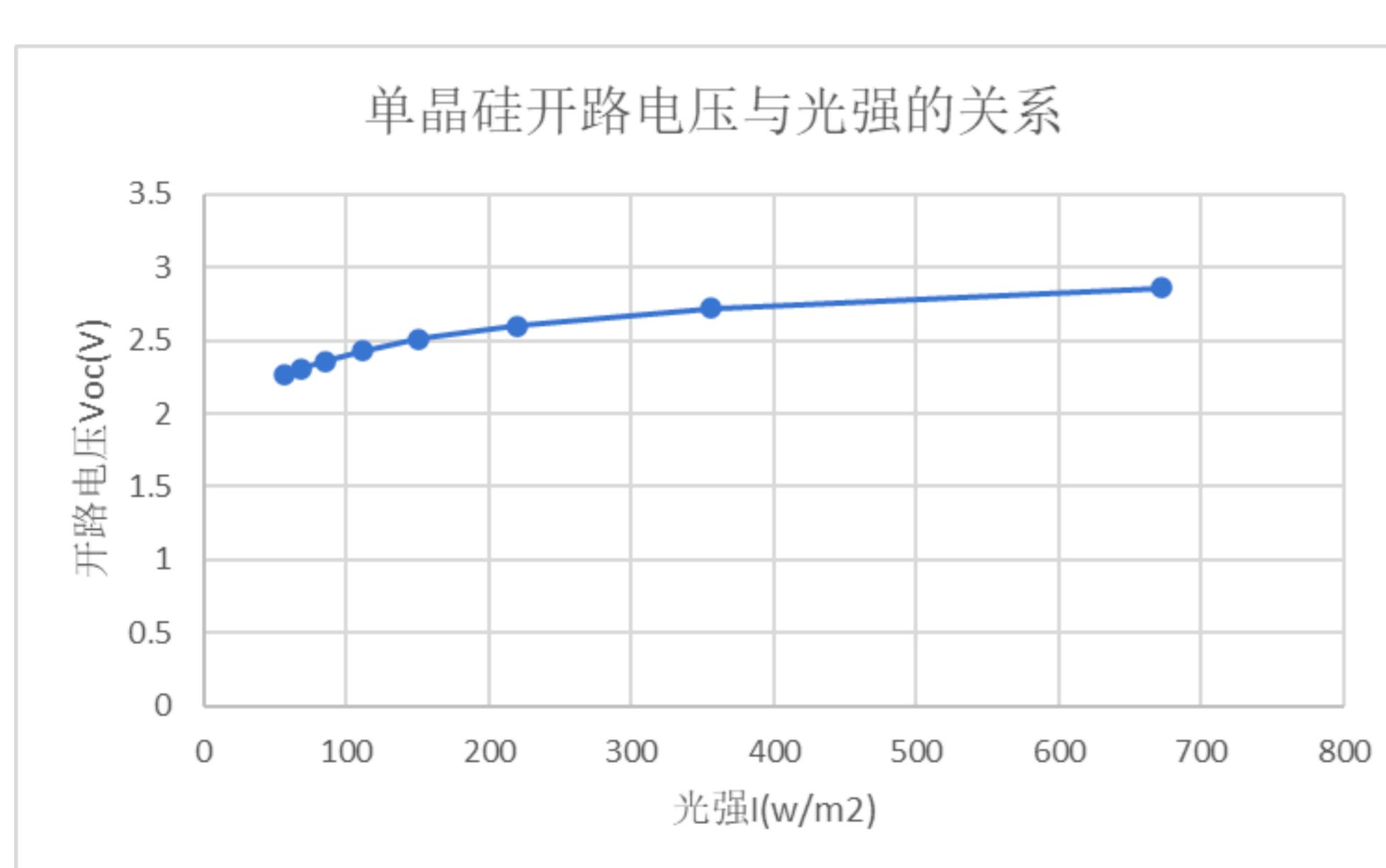
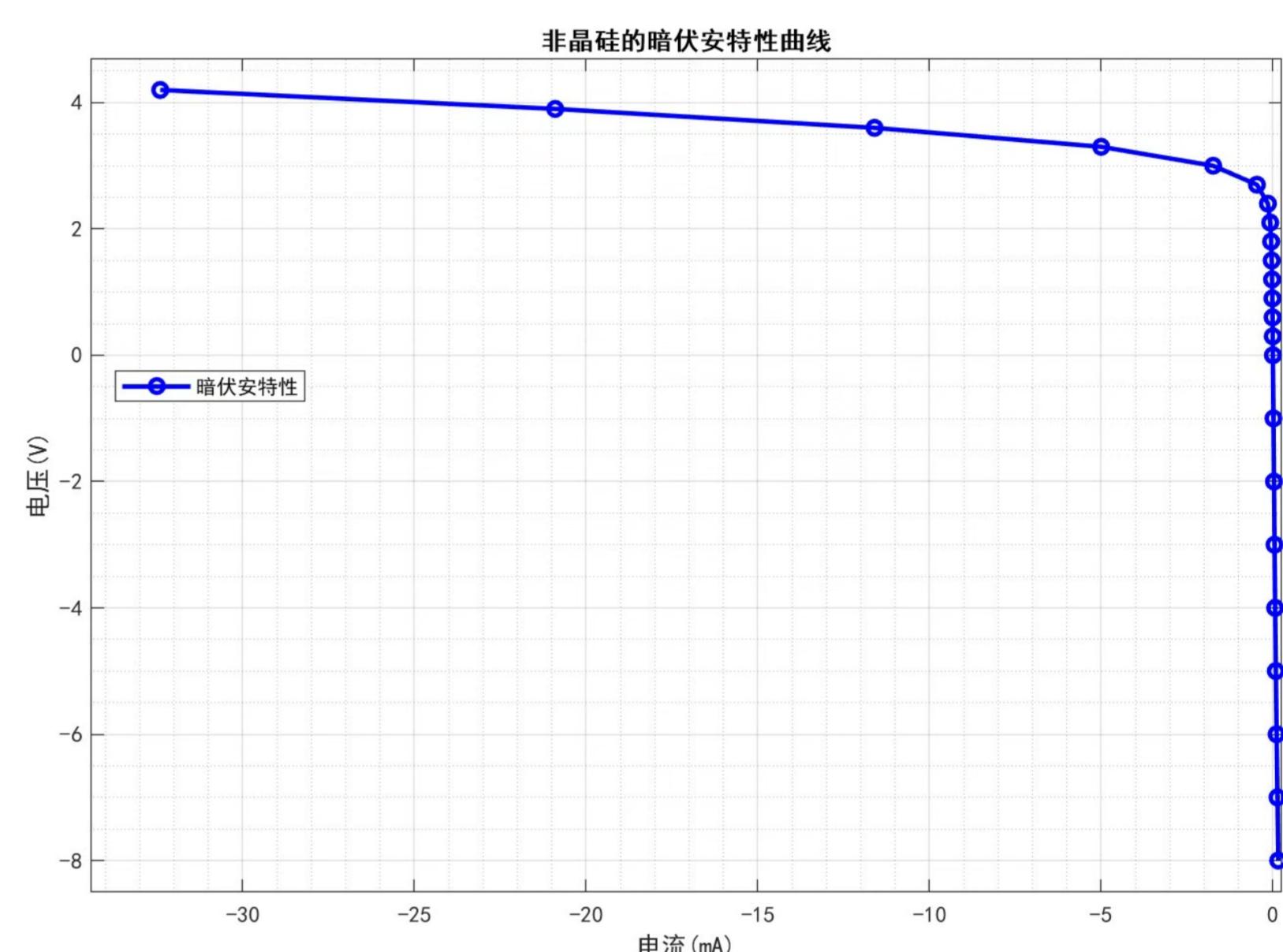
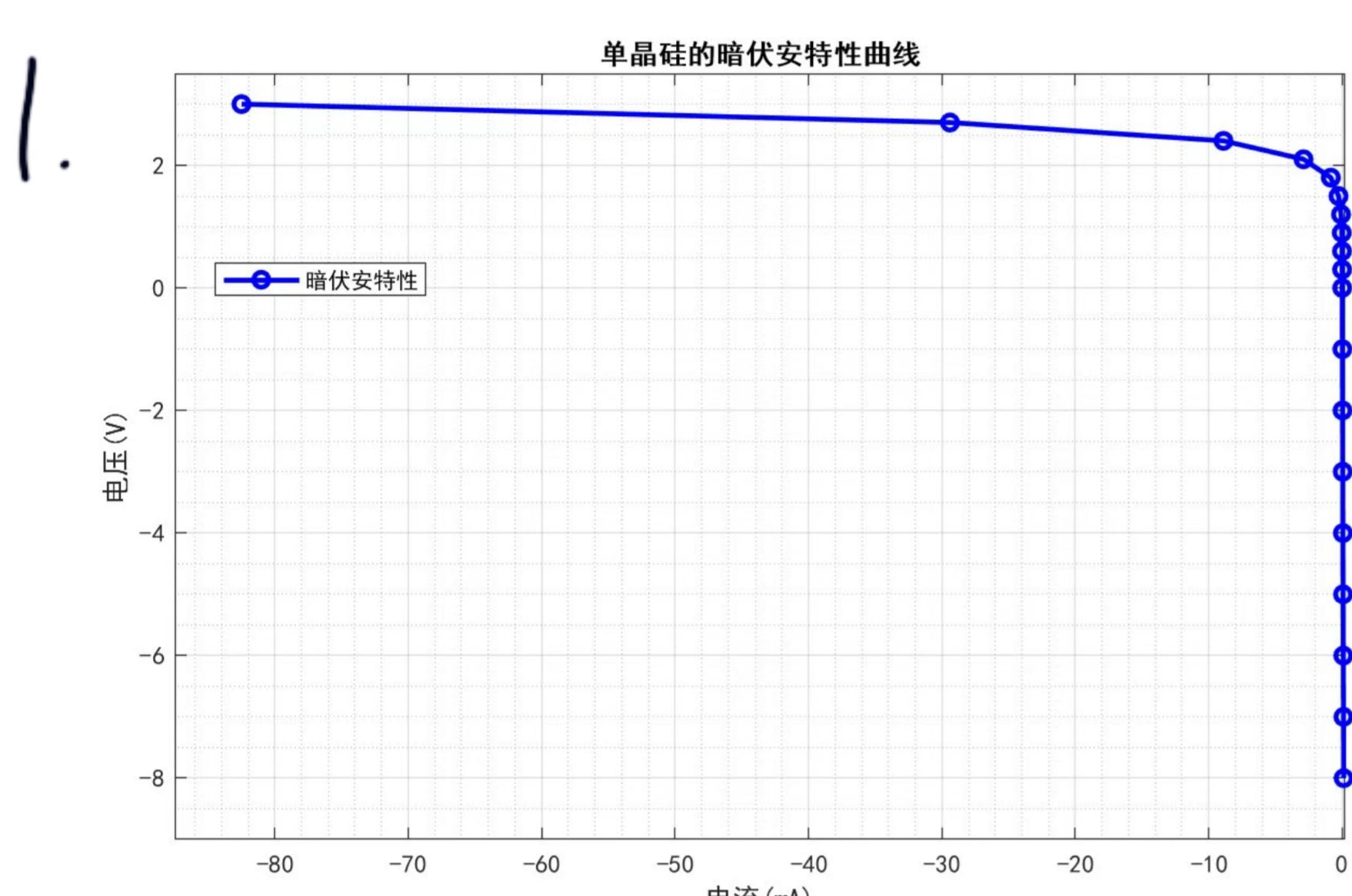
### 三、数据处理

1. 绘制单晶硅、非晶硅暗伏安特性曲线。
2. 根据表 2 数据,画出两种太阳能电池的开路电压随光强变化的关系曲线以及短路电流随光强变化的关系曲线。
3. 根据表 3 数据作两种太阳能电池的输出伏安特性曲线及功率曲线。计算最大功率  $P_{max}$  和最佳匹配负载电阻。
4. 根据表 3 数据计算两种太阳能电池的填充因子和转换效率。转换效率为:

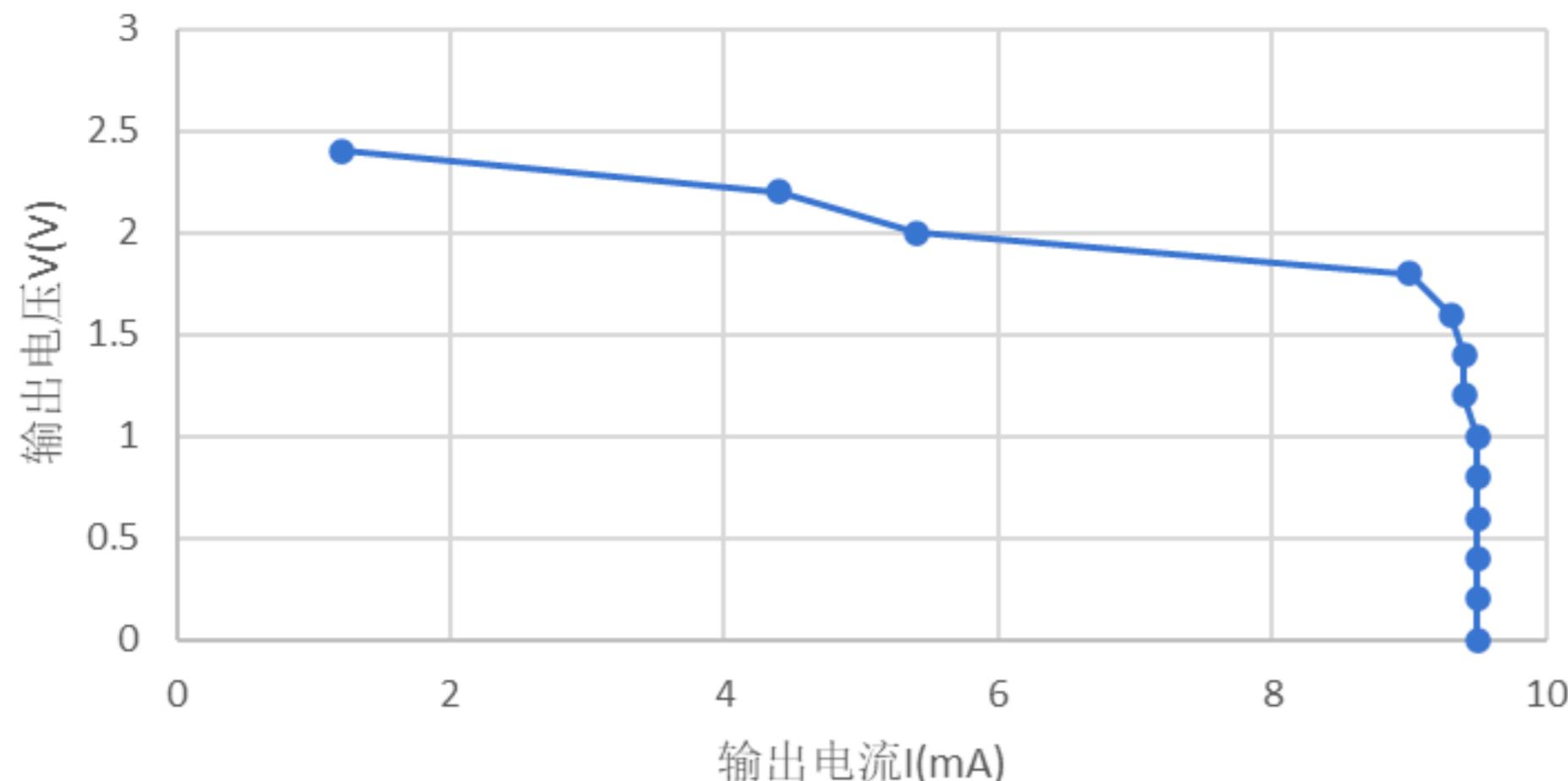
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{SI}$$

其中  $S$  为太阳能电池面积 (按 50mm\*50mm 计算),  $I$  为光强。

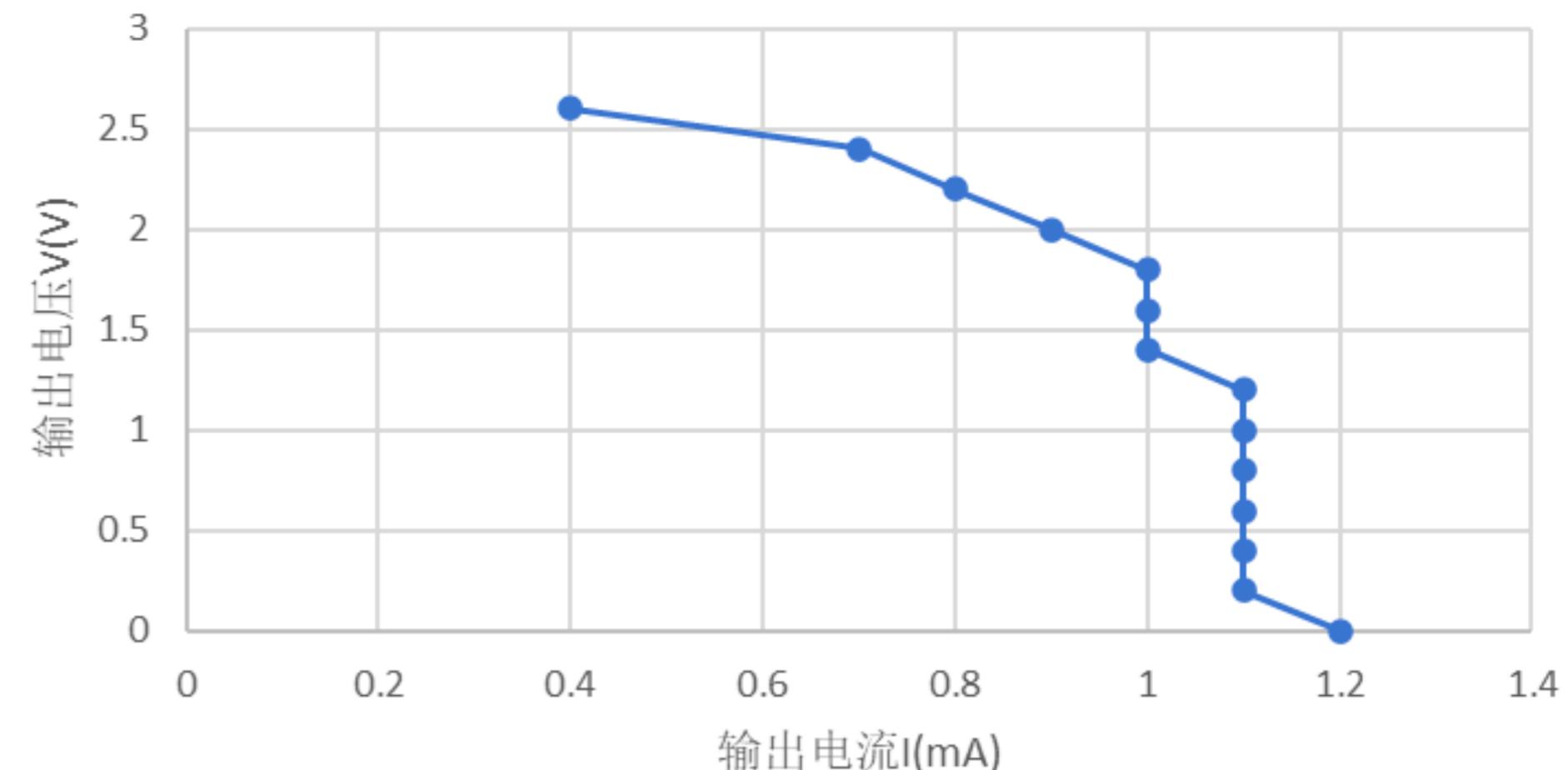
5. 分析可能的误差来源。



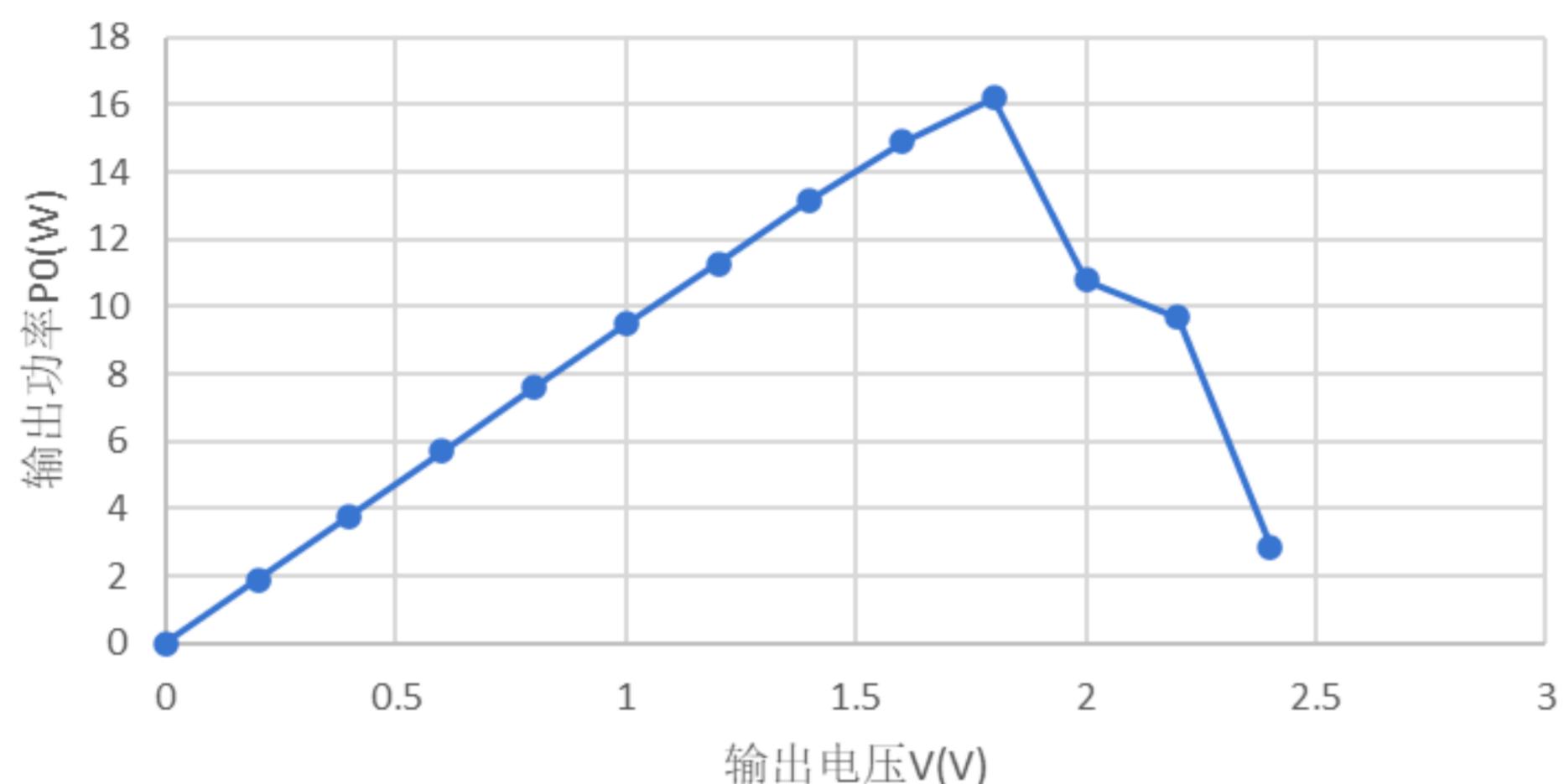
单晶硅输出伏安特性曲线



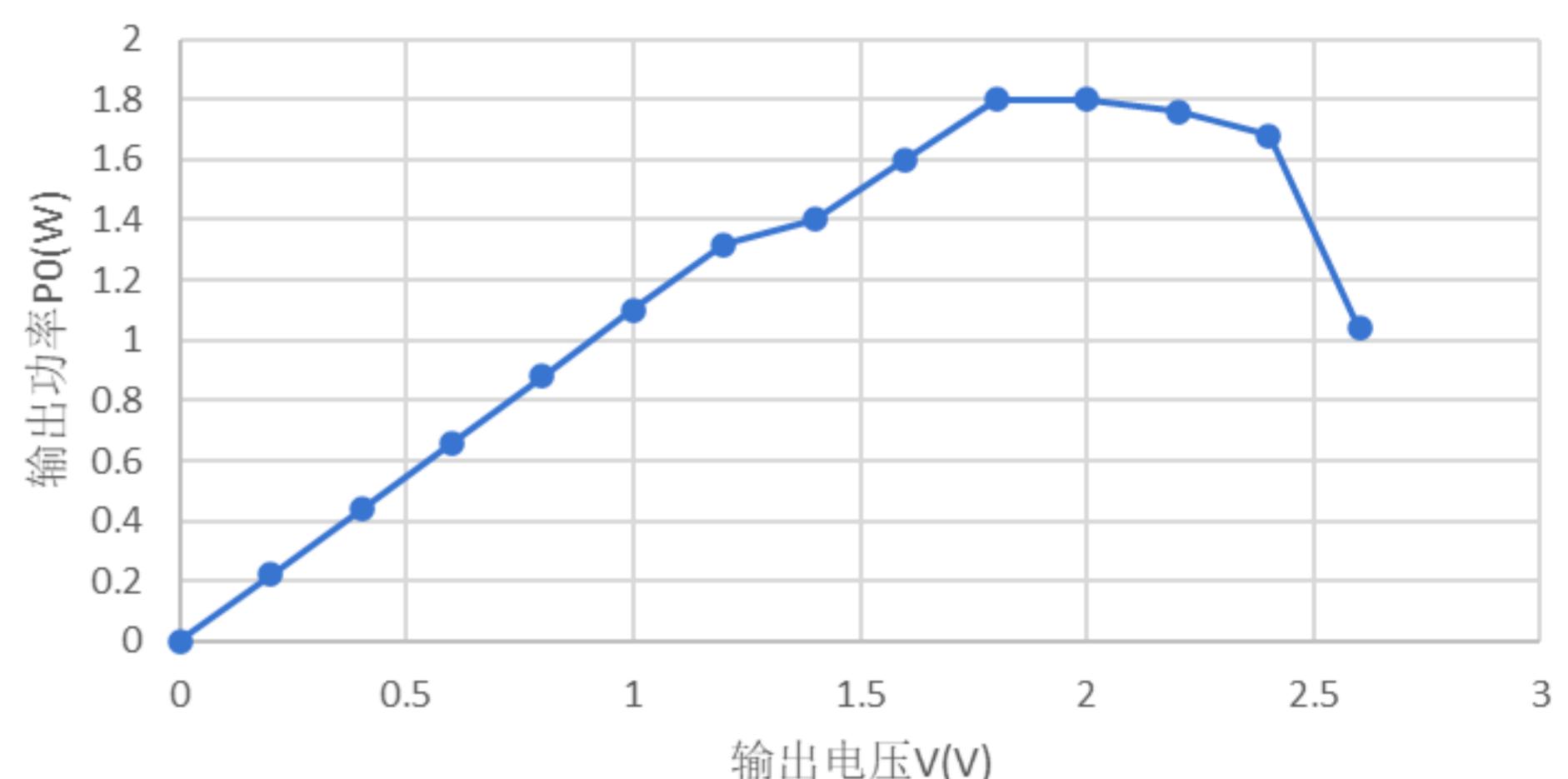
非晶硅输出伏安特性曲线



单晶硅输出功率曲线



非晶硅输出功率曲线



4. 单晶硅： $V_{oc} = 2.36V$ ,  $I_{sc} = 0.0093A$

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{0.0162}{2.36 \times 0.0093} \approx 0.74$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{S \times I} = \frac{0.0162}{0.0025 \times 86} \approx 0.075$$

非晶硅： $V_{oc} = 2.74V$ ,  $I_{sc} = 0.0011A$

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{0.0018}{2.74 \times 0.0011} \approx 0.60$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{S \times I} = \frac{0.0018}{0.0025 \times 86} \approx 0.0084$$

5. 仪器误差：太阳能电池特性实验仪器的精度偏差。

操作误差：接线接触不良，暗特性和测量时遮光不完全，光源预热不足。

环境误差：实验环境杂散光干扰，温度变化影响电池特性。

记录误差：读数或记录时的失误。

## 四、实验现象分析及结论

### (一) 实验现象分析

1. 暗特性：正向电压下，两电池电流随电压增大而增，单晶硅增长更快；反向漏电流小，非晶硅略大于单晶硅。
2. 光强关系：短路电流随光强线性减小，开路电压随光强变化平缓；相同光强下，单晶硅的开路电压和短路电流更大。
3. 输出特性：I-V 曲线平滑下降，P-V 曲线有峰值（最大输出功率）；负载接近最佳匹配电阻时功率最大，偏离则功率下降。

### (二) 实验结论

1. 太阳能电池暗特性符合 P-N 结伏安规律，单晶硅结特性更优。
2. 短路电流与光强线性相关，开路电压随光强增大趋于稳定。
3. 存在最佳匹配负载，此时输出功率最大。
4. 单晶硅太阳能电池的开路电压、短路电流及转换效率均优于非晶硅。
5. 填充因子和转换效率是评价电池性能的关键指标。

## 五、讨论题

1. 利用半导体 P-N 结的光伏效应发电，P型半导体富含空穴，N型半导体富含自由电子，结合后形成势垒电场。当光照射电池时，部分电子被激发产生电子-空穴对，结区的势垒电场将电子推向 N 区，空穴推向 P 区，使 N 区带负电，P 区带正电，P-N 结两端形成电压（光生电动势），接入外电路后，载流子定向移动形成电流，实现光能到电能的转换。
2. (1) 计算最大输出功率  $P_{max}$ ：从伏安特性曲线中记录多对 U、I，由  $P=UI$  得到 P，其中最大值为  $P_{max}$   
 (2) 计算最佳匹配负载电阻：输出达到  $P_{max}$  时的电阻。由欧姆定律，由  $V_{max}$  和  $I_{max}$  算出  $R = \frac{V_{max}}{I_{max}}$