

实验报告——太阳能电池特性实验

姓名：杨博涵 学号：PB20000328 实验日期：2022年3月8日

一. 实验目的

认识单晶硅、多晶硅、非晶硅三种太阳能电池，学习伏安特性测量电路接法，并测量三种太阳能电池的暗伏安特性以及开路电压、短路电流和光强之间的关系，并对其太阳能电池的输出特性进行测量，得到相应的拟合曲线。

二. 实验背景与原理简介

太阳能电池是利用半导体PN结的光伏效应发电的一种器件，广泛用于清洁发电工程。其基本结构是一个大面积平面PN结。可以说，太阳能不但数量巨大，而且用之不竭，不会产生环境污染，所以大力推广太阳能并对高效太阳能电池进行研发是世界性的趋势。

P型半导体中有相当数量的空穴，几乎没有自由电子，而N型半导体中有相当数量的自由电子，几乎没有空穴。当两种半导体结合在一起形成PN结时，N区的电子向P区扩散，P区的空穴向N区扩散，在PN结附近形成空间电荷区与势垒电场。势垒电场会使载流子向扩散的反方向作漂移运动，最终扩散与漂移达到平衡，使交界区内几乎没有能导电的载流子，又称为结区或耗尽区。

当PN结受光照射时，部分电子被激发而产生电子-空穴对，在结区激发的电子和空穴分别被势垒电场推向N区和P区，使N区有过量的电子而带负电，P区有过量的空穴而带正电，从而在PN结两端产生电动势，这就是光伏效应，此时可向负载输出电能，使光能转化为电能。

本实验即对太阳能电池的在不同光照下的伏安关系进行测量。

在太阳能电池定量研究中有几个比较重要的物理量：

填充因子 $F \cdot F$ 定义为

$$F \cdot F = \frac{P_{max}}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

其中，负载电阻为零时测得的最大电流 I_{SC} 称为短路电流，负载断开时测得的最大电压 V_{OC} 称为开路电压，输出电压与输出电流的最大乘积值称为最大输出功率 P_{max} 。

填充因子是表征太阳电池性能优劣的重要参数，其值越大，电池的光电转换效率越高，一般的硅光电池 FF 值在0.75~0.8之间。

转换效率 η_s 定义为

$$\eta_s = \frac{P_{max}}{P_{in}}$$

P_{in} 为入射到太阳能电池表面的光功率。

理论分析及实验表明，在不同的光照条件下，短路电流随入射光功率线性增长，而开路电压在入射光功率增加时只略微增加。

三. 实验仪器

光源，导轨，滑动支架，遮光罩，单晶硅、多晶硅、非晶硅太阳能电池，电阻箱，测试集成终端仪，导线若干，光功率探头，试件盒。

四. 原始数据

1. 三种太阳能电池的暗伏安特性特性测量 (电压量程为 20V, 电流量程为 200mA)

电压(V)		-4	-3	-2	-1	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
电流(mA)	单晶硅	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4
	多晶硅	-0.1	-0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.3	0.6	1.4
	非晶硅	-0.8	-0.5	-0.2	-0.1	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4

2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3
0.7	0.9	1.3	1.9	3	4.6	7.4	12.5	22.2	38	67.8
2.4	3.3	4.5	6.2	8.6	12.2	17.3	24.8	37.8	57.1	90.3
0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.6	2.3	3.4

表 1

2. 三种太阳能电池开路电压与短路电流随光强变化关系 (电压量程为 20V, 电流量程为 200mA)

距离(cm)		30	35	40	45	50
光功率(mW)		3.922	2.932	2.294	1.86	1.546
光强(W/m ²)		196.1	146.6	114.7	93	77.3
单晶硅	开路电压(V)	2.77	2.72	2.68	2.64	2.61
	短路电流(mA)	26.6	19.5	15	12.1	10.1
多晶硅	开路电压(V)	2.67	2.58	2.51	2.44	2.39
	短路电流(mA)	26.3	19.2	14.9	12	9.9
非晶硅	开路电压(V)	2.83	2.77	2.69	2.61	2.49
	短路电流(mA)	3.1	2.2	1.7	1.4	1.1

表 2

3. 三种太阳能电池输出特性测量 (电压量程为 20V, 电流量程为 200mA)

单晶硅	输出电压(V)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	输出电流(mA)	26.6	26.7	26.9	26.8	26.5	26.3
	输出功率(mW)	0	5.3	10.8	16.1	21.2	26.3
多晶硅	输出电压(V)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	输出电流(mA)	26.4	26.5	26.4	26.5	26.5	26.3
	输出功率(mW)	0	5.3	10.6	15.9	21.2	26.3
非晶硅	输出电压(V)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	输出电流(mA)	3.1	3	3	2.9	2.9	2.8
	输出功率(mW)	0	0.6	1.2	1.7	2.3	2.8

1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6
26.2	26.1	25.9	26.2	25.9	25	21.7	11.9
31.4	36.5	41.4	47.2	51.8	55	52.1	30.9
1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	
26.4	26.2	25.8	24.2	22.4	19	12.1	
31.7	36.7	41.3	43.6	44.8	41.8	29	
1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6
2.7	2.6	2.5	2.4	2.2	2	1.7	1.1
3.2	3.6	4	4.3	4.4	4.4	4.1	2.9

表 3

五. 数据分析

1. 硅太阳能电池的暗伏安特性测量

以电压为横坐标，电流为纵坐标，由表 1 画出三种伏安特性曲线

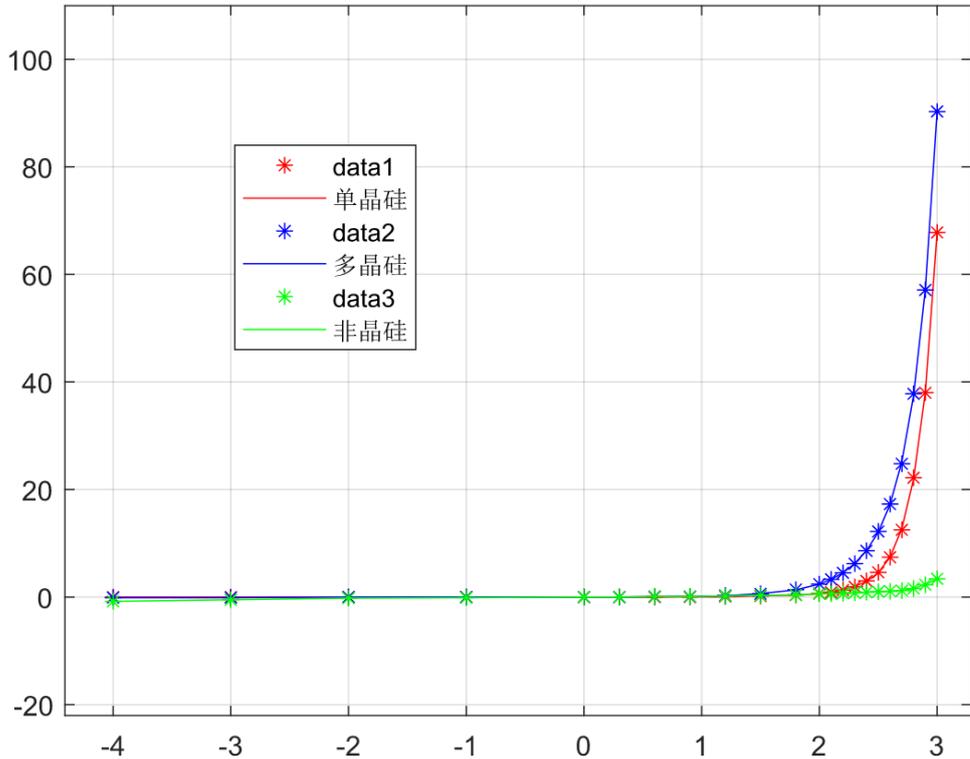


图 1 暗伏安特性曲线

可以看到，在遮光条件下，三种光电池的伏安特性与一般的二极管特性基本相同，总变化趋势完全一样，可以使用指数函数来近似描述。而其中由于材料不同和晶体结构不同而导致的斜率和反向泄露电流具体数值不同是相异点。

2. 开路电压、短路电流和光强关系测量

由表 2 可以分别画出开路电压、短路电流和光强关系的拟合曲线

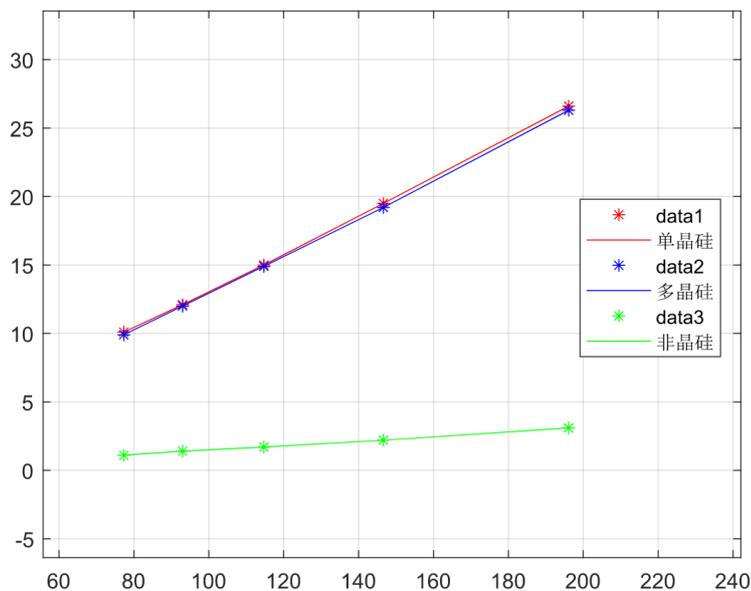


图2 短路电流和光强拟合曲线

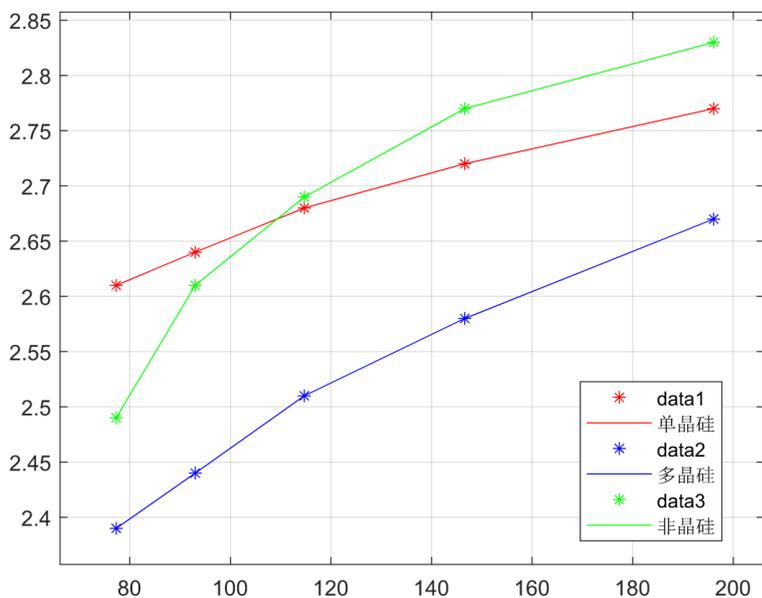


图3 开路电压和光强拟合曲线

图2和图3表明，在不同的光照条件下，短路电流随入射光功率线性增长，而开路电压在入射光功率增加时只略微增加，这与前面所介绍的基本理论是相符的。

3. 太阳能电池输出特性测量

讲义上的标准输出特性曲线如下图，我们期待三种太阳能电池输出特性的测量结果与之相符

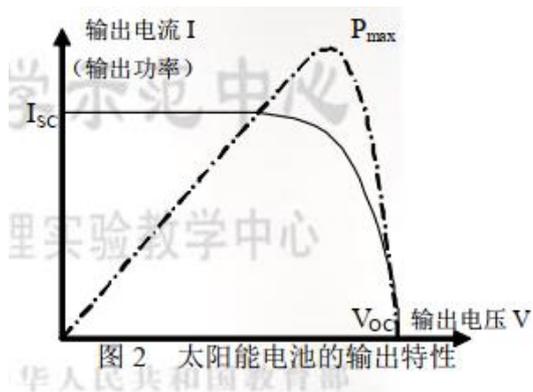


图2 太阳能电池的输出特性

(1) 由表 3 可以画出单晶硅太阳能电池输出伏安特性曲线与功率曲线。

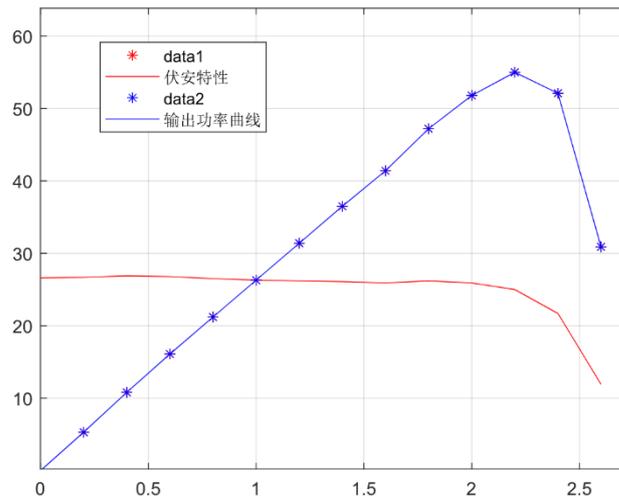


图 4 单晶硅输出伏安特性曲线与功率曲线

显然，最大功率点应在 $U = 2.2V, I = 25mA$ 处，此时电阻箱阻值为

$$R_1 = \frac{2.2V}{25mA} = 88\Omega$$

此即单晶硅太阳能电池的最佳匹配负载。

填充因子为

$$F \cdot F = \frac{55mW}{2.77V \times 26.6mA} = 74.6\%$$

转换效率为

$$\eta_s = \frac{55mW}{5cm \times 5cm \times 196.1W/m^2} = 11.2\%$$

(2) 由表 3 可以画出非晶硅太阳能电池输出伏安特性曲线与功率曲线。

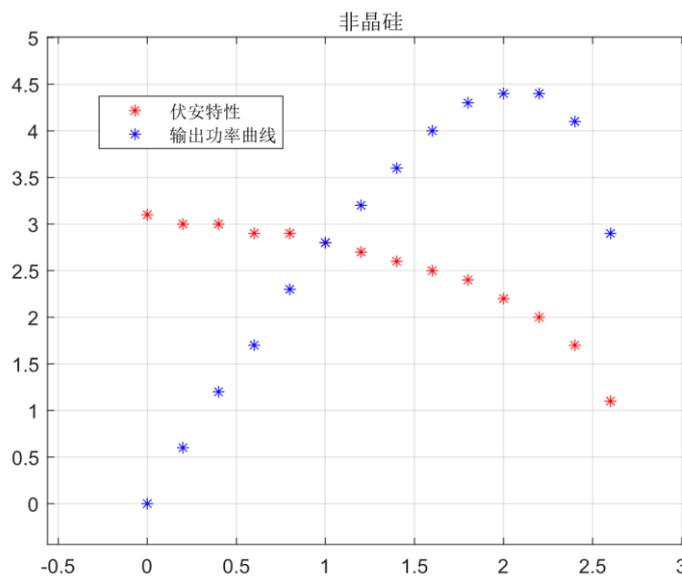


图 4 非晶硅输出伏安特性曲线与功率曲线

显然，最大功率点应在 $U = 2.1V, I = 2.1mA$ 处（两个最值点，此处插值取平均），此时电阻箱阻值为

$$R_1 = \frac{2.1V}{2.1mA} = 10^3\Omega$$

此即非晶硅太阳能电池的最佳匹配负载。

填充因子为

$$F \cdot F = \frac{4.4mW}{2.83V \times 3.1mA} = 50.2\%$$

转换效率为

$$\eta_s = \frac{4.4mW}{5cm \times 5cm \times 196.1W/m^2} = 0.9\%$$

(3) 由表 3 可以画出多晶硅太阳能电池输出伏安特性曲线与功率曲线。

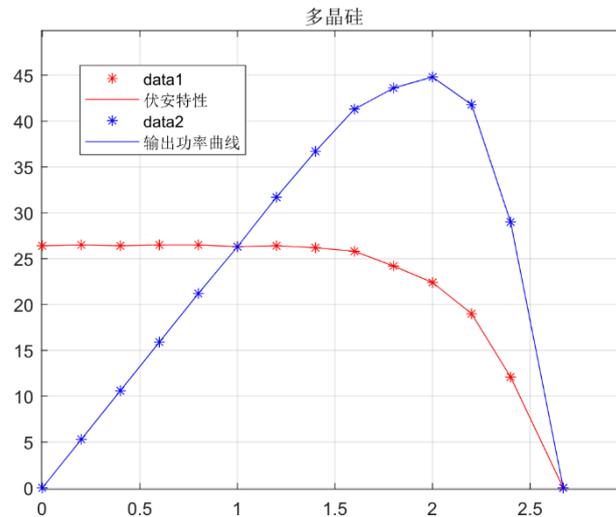


图 4 多晶硅输出伏安特性曲线与功率曲线

显然，最大功率点应在 $U = 2.0V, I = 22.4mA$ 处，此时电阻箱阻值为

$$R_1 = \frac{2.0V}{22.4mA} = 89\Omega$$

此即多晶硅太阳能电池的最佳匹配负载。

填充因子为

$$F \cdot F = \frac{44.8mW}{2.67V \times 26.3mA} = 63.8\%$$

转换效率为

$$\eta_s = \frac{44.8mW}{5cm \times 5cm \times 196.1W/m^2} = 9.1\%$$

六. 实验总结

本实验中我们测量了三种太阳能电池的伏安特性与光强之间的对应关系，得到了相应的拟合曲线，经过与标准曲线和基本实验原理的比对，得到的关系趋势基本相同。

可以发现，在三种太阳能电池中，单晶硅太阳能电池的填充因子和转换效率均最高，而非晶硅则均最差。因此，如果单从性能的角度考虑，单晶硅应是太阳能产业发展的首选。但是鉴于非晶硅薄膜太阳能电池成本低，重量轻，便于大规模生产，所以在今后的研究中可以尝试提高其性能，使其具有强大的市场价值和潜力。

本次实验到此结束。