

硅光电池特性的研究

班级：物本 0701

姓名：

学号：2007091100

指导老师：

硅光电池特性的研究

摘要：目前，太阳能的利用主要集中在热能和发电两方面。而硅光电池是一种半导体光电转换器件，它能把光能直接转换成电能，具有效率高、重量轻、体积小、寿命长等一系列特点。是工农业生产和国防建设中开发利用太阳能和用于控制、检测的一种重要元件。为此，我们尝试在普通物理实验中开设了太阳能电池的特性研究实验，介绍硅光电池的电学性质和光学性质，并对这两种性质进行测量。

关键词： 半导体 ； PN； 硅光电池 ； 光电子； 光伏电池 ； 伏安特性

引言：目前半导体光电探测器在数码摄像、光通信、太阳电池等领域得到广泛应用，硅光电池是半导体光电探测器的一个基本单元，深刻理解硅光电池的工作原理和具体使用特性可以进一步领会半导体 PN 结原理、光电效应理论和光伏电池产生机理。本实验对硅光电池的基本特性作了初步的探讨，这对广泛认识和利用各种光器件有十分重要的意义。

1 实验原理

1.1 PN 结的形成及单向导电性原理

采用不同的掺杂工艺,将 P 型半导体与 N 型半导体制作在同一块硅片上,在它们的交界面就形成空间电荷区称 PN 结。

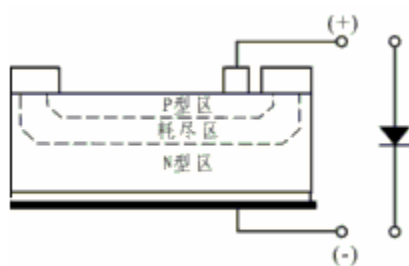
PN 结：一块单晶半导体中，一部分掺有受主杂质是 P 型半导体，另一部分掺有施主杂质是 N 型半导体时，P 型半导体和 N 型半导体的交界面附近的过渡区称 PN 结。PN 结有同质结和异质结两种。用同一种半导体材料制成的 PN 结叫同质结，由禁带宽度不同的两种半导体材料制成的 PN 结叫异质结。制造 PN 结的方法有合金法、扩散法、离子注入法和外延生长法等。制造异质结通常采用外延生长法。在 P 型半导体中有许多带正电荷的空穴和带负电荷的电离杂质。在电场的作用下，空穴是可以移动的，而电离杂质（离子）是固定不动的。N 型半导体中有许多可动的负电子和固定的正离子。当 P 型和 N 型半导体接触时，在界面附近空穴从 P 型半导体向 N 型半导体扩散，电子从 N 型半导体向 P 型半导体

扩散。空穴和电子相遇而复合，载流子消失。因此在界面附近的结区中有一段距离缺少载流子，却有分布在空间的带电的固定离子，称为空间电荷区。P型半导体一边的空间电荷是负离子，N型半导体一边的空间电荷是正离子。正负离子在界面附近产生电场，这电场阻止载流子进一步扩散，达到平衡。在PN结上外加一电压，如果P型一边接正极，N型一边接负极，电流便从P型一边流向N型一边，空穴和电子都向界面运动，使空间电荷区变窄，甚至消失，电流可以顺利通过。如果N型一边接外加电压的正极，P型一边接负极，则空穴和电子都向远离界面的方向运动，使空间电荷区变宽，电流不能流过。这就是PN结的单向导电性。

光电池的工作原理：

光电转换器件主要是利用物质的光电效应，即当物质在一定频率的照射下，释放出光电子的现象。当光照射金、金属氧化物或半导体材料的表面时，会被这些材料内的电子所吸收，如果光子的能量足够大，吸收光子后的电子可挣脱原子的束缚而溢出材料表面，这种电子称为光电子，这种现象称为光电子发射，又称为外光电效应。有些物质受到光照射时，其内部原子释放电子，但电子仍留在物体内部，使物体的导电性增强，这种现象称为内光电效应。光电二极管是典型的光电效应探测器。当PN结及其附近被光照射时，就会产生载流子（即电子-空穴对）。结区内的电子-空穴对在势垒区电场的作用下，电子被拉向N区，空穴被拉向P区而形成光电流。同时势垒区一侧一个扩展长度内的光生载流子先向势垒区扩散，然后在势垒区电场的作用下也参与导电。当入射光强度变化时，光生载流子的浓度及通过外回路的光电流也随之发生相应的变化。在入射光强度的很大动态范围内这种变化能保持较好的线性关系。

1.3 测硅光电池的伏安特性的原理



硅光电池是一个大面积的光电二极管，其基本结构如上图所示，当半导体PN结处于零偏或负偏时，在它们的结合面耗尽区存在一内电场。当没有光照射时，光电二极管相当于普通的二极管。其伏安特性是

$$I = I_s \left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

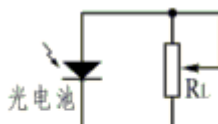
式(1)中I为流过二极管的总电流, I_s 为反向饱和电流, e 为电子电荷, k 为玻耳兹曼常量, T 为工作绝对温度, V 为加在二极管两端的电压。对于外加正向电压, I 随 V 指数增长, 称为正向电流; 当外加电压反向时, 在反向击穿电压之内, 反向饱和电流基本上是个常数当有光照时, 入射光子将把处于价带中的束缚电子激发到导带, 激发出的电子空穴对在内电场作用下分别飘移到N型区和P型区, 当在PN结两端加负载时就有一光生电流流过负载。流过PN结两端的电流可由式(2)确定:

$$I = I_s \left(e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right) - I_p \quad (2)$$

此式表示硅光电池的伏安特性。式(2)中 I 为流过硅光电池的总电流, I_s 为反向饱和电流, V 为PN结两端电压, T 为工作绝对温度, I_p 为产生的反向光电流。从式(2)中可以看到, 当光电池处于零偏时, $V=0$, 流过PN结的电流 $I=I_p$; 当光电池处于负偏时流过PN结的电流 $I=I_p-I_s$ 。因此, 当光电池用作光电转换器时, 光电池必须处于零偏或负偏状态。

1.4 测硅光电池的负载特性的原理

光电池作为电池使用如下图所示。在内电场作用下, 入射光子由于内光电效应把处于价带中的束缚电子激发到导带, 而产生光伏电压, 在光电池两端加一个负载就会有电流流过, 当负载很小时, 电流较小而电压较大; 当负载很大时, 电流较大而电压较小。实验时可改变负载电阻 R_L 的值来测定硅光电池的负载特性。



硅光电池负载特性的测定

2 实验内容

2.1 仪器的安装

2.1.2 安装场地的选择

该仪器是实验用仪器。为了提高仪器的工作质量和延长仪器的使用寿命，在选择仪器安装场地时应注意以下几点：

1. 环境温度 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$
2. 净化湿度 $< 65\%$
3. 无强振动源、无强电磁场干扰。
4. 室内保持清洁、无腐蚀性气体。
5. 仪器应放置在坚固的平台上。
6. 仪器放置处不可长时间受阳光照射。
7. 室内应具稳压电源装置对仪器供电，装有地线，保证仪器接地良好。

2.2 实验操作步骤

2.2.1 在没有光源（全黑）的条件下，测量太阳能电池正向偏压时的 $I-U$ 特性（直流偏压从 $0-3.0\text{V}$ ）

- (1) 设计测量电路图，并连接。

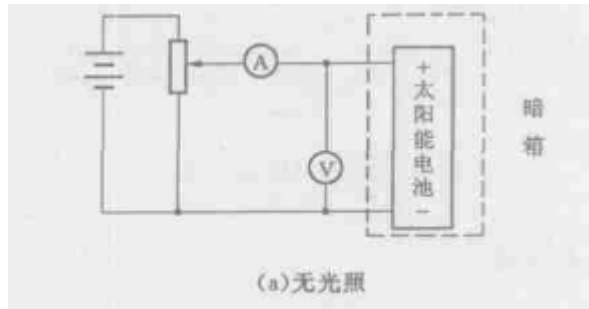


图 1

(2) 利用测得的正向偏压时 $I-U$ 关系数据，画出 $I-U$ 曲线并求出常数 $\beta = \frac{q}{nKT}$ 和 I_0 的值。

2.2.2 在不加偏压时，用白色光照射，测量太阳能电池一些特性。注意此时光源到太阳能电池距离保持为 20cm.

(1) 设计测量电路图，并连接。

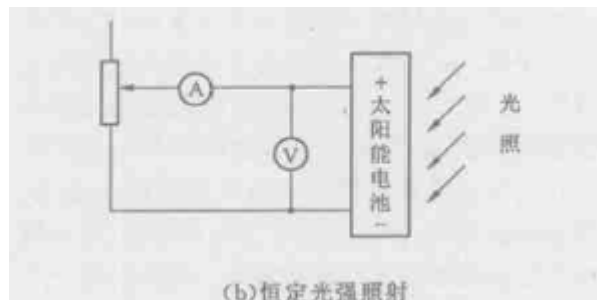


图 2

(2) 测量电池在不同负载电阻下， I 对 U 变化关系，画出 $I-U$ 曲线图。

(3) 求短路电流 I_{SC} 和开路电压 U_{OC} 。

(4) 求太阳能电池的最大输出功率及最大输出功率时负载电阻。

(5) 计算填充因子 $FF = P_{max} / I_{SC} U_{OC}$

2.2.3 测量太阳能电池的光电效应与电光性质

在暗箱中（用遮光罩挡光），取离白光源 20CM 水平距离光强作为标准光照强度，用光功率计测量该处的光照强度 J_0 ；改变太阳能电池到光源的距离，用光功率计测量该处的光照强度 J ，求光强 J 与位置关系。测量太阳能电池接受到相对光强度 J / J_0 不同值时，相应的 I_{SC} 和 U_{OC} 的值。

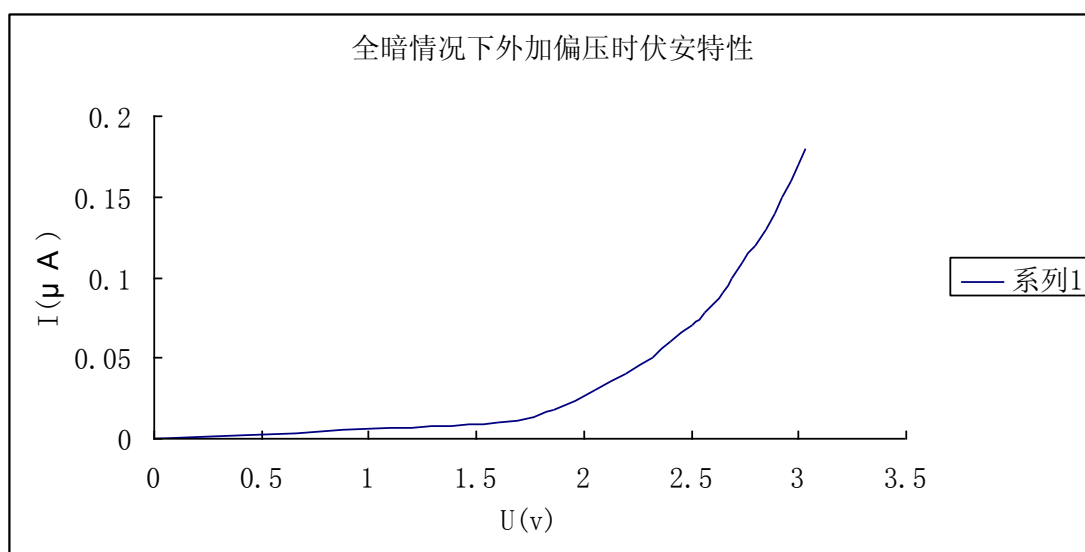
- (1) 设计测量电路图，并连接.
- (2) 测量太阳能电池接受到相对光强度 J/J_0 不同值时，相应的 I_{sc} 和 U_{oc} 的值。
- (3) 描绘 I_{sc} 和与相对光强 J/J_0 之间的关系曲线，求 I_{sc} 和与相对光强 J/J_0 之间的近似关系函数。
- (4) 描绘 U_{oc} 和与相对光强 J/J_0 之间的关系曲线，求 U_{oc} 和与相对光强 J/J_0 之间的近似关系函数。

2.3 数据记录及处理

2.3.1 全暗情况下太阳能电池在外加偏压时伏安特性

U (V)	0	1.63	1.87	2.07	2.20	2.35	2.43	2.52	2.59	2.67
I (mA)	0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09

U (V)	2.70	2.75	2.81	2.85	2.89	2.94	2.97	3.03
I (mA)	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17



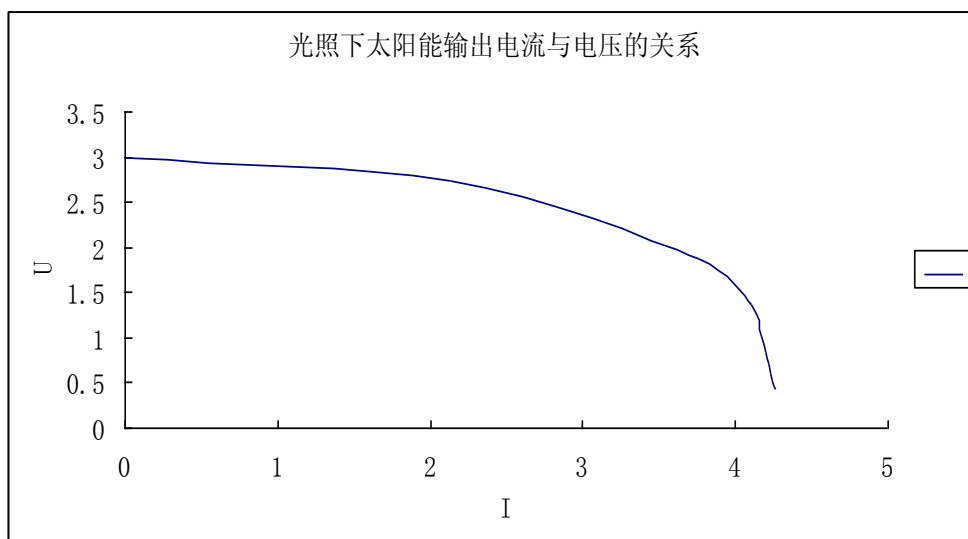
计算常数 $\beta = \frac{q}{nKT}$ 和 I_0 的值:

$\beta = 2.60V^{-1}$ $I_0 = 6.28 \times 10^{-6}mA$ 相关系数 $r = 0.9998$

2.3.2 在不加偏压时, 在使用遮光罩条件下, 保持白光源到太阳能电池距离 20CM, 测量太阳能电池的输出电流对太阳能电池的输出电压的关系。

(1) 测量电池在不同负载电阻下, I 对 U 变化关系, 画出 $I-U$ 曲线图。

$U(V)$	3	2.73	1.89	1.35	1.04	0.84	0.71	0.63	0.52	0.46	0.42
$I(mA)$	0	2.11	3.74	4.10	4.15	4.20	4.23	4.24	4.25	4.26	4.27

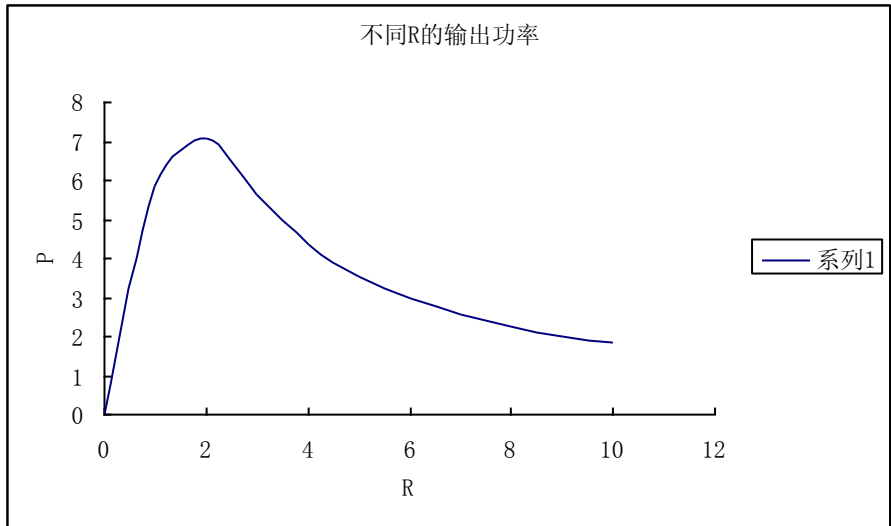


(2) 短路电流 I_{sc} 和开路电压 U_{oc} :

由图中关系可求出短路电流 $I_{sc} = 4.35\mu A$ 和开路电压 $U_{oc} = 3V$

(3) 太阳能电池在光照时, 测量输出功率与负载电阻的关系

$P(W)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R(\Omega)$	5.86	7.08	5.63	4.33	3.54	2.96	2.85	2.23	2.02	1.85



由图中关系可求出最大输出功率 $P_{\max}=7.08786\text{W}$

最大输出功率时负载电阻 $R=2.06\text{k}\Omega$ 。

(4) 计算填充因子

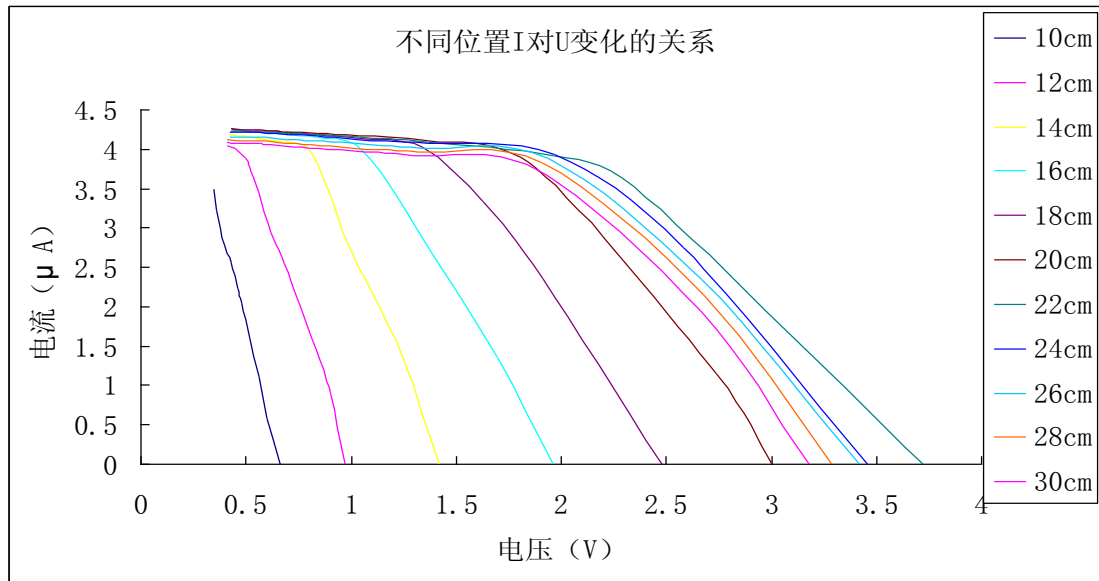
$$\text{填充因子 } FF = P_{\max} / I_{sc} U_{oc} = 0.4394$$

2.3.3 测量太阳能电池 I_{sc} 和 U_{oc} 与相对光强 J/J_0 的关系。

(1) 太阳能电池到光源的距离不同的光强与 U、I:

10cm		12 cm		14 cm	
光强 J:7950 lx		光强 J:4650 lx		光强 J:2940 lx	
电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)
0.66	0	0.97	0	1.42	0
0.6	0.59	0.9	0.89	1.248	1.34
0.56	1.12	0.83	1.46	1.1	2.19
0.518	1.61	0.73	2.18	0.986	2.8
0.48	2.05	0.668	2.64	0.9	3.41
0.462	2.24	0.618	2.94	0.8	3.99
0.43	2.56	0.56	3.44	0.68	4.09
0.4	2.78	0.518	3.78	0.59	4.13
0.38	2.99	0.5	3.89	0.52	4.15
0.36	3.22	0.45	4.02	0.47	4.17
0.35	3.49	0.41	4.05	0.42	4.19
16 cm		18 cm		20 cm	
光强 J:2040 lx		光强 J:1400 lx		光强 J:1145 lx	
电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)
1.96	0	2.48	0	3	0

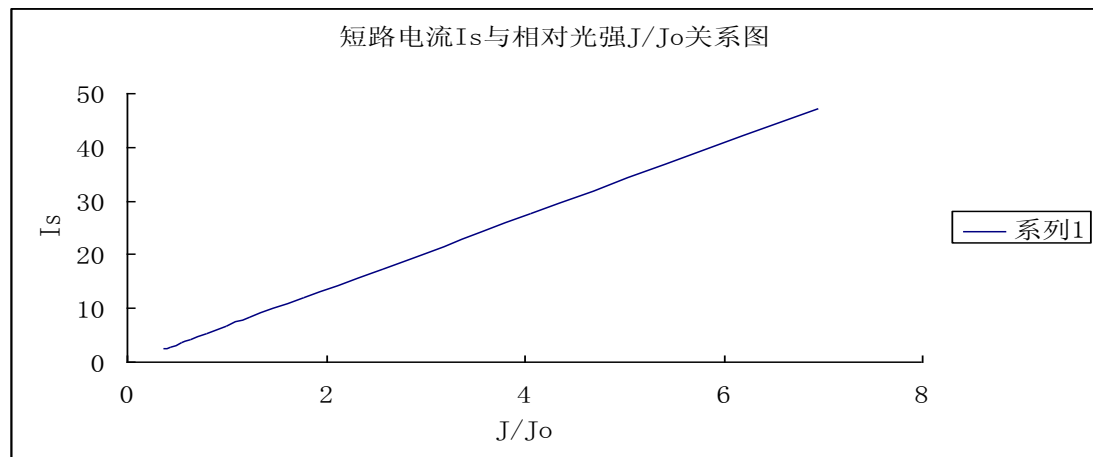
1.7	1.36	1.91	2.36	2.74	1.15
1.4	2.61	1.629	3.33	1.88	3.76
1.18	3.55	1.34	4.03	1.37	4.1
1.02	4.06	1.04	4.14	1.04	4.17
0.83	4.15	0.84	4.18	0.84	4.2
0.7	4.19	0.7	4.21	0.7	4.22
0.6	4.2	0.61	4.23	0.61	4.23
0.53	4.22	0.53	4.25	0.53	4.24
0.47	4.23	0.48	4.25	0.47	4.25
0.43	4.24	0.43	4.26	0.43	4.26
22 cm		24 cm		26 cm	
光强 J:906 lx		光强 J:725 lx		光强 J:612 lx	
电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)
3.72	0	3.46	0	3.42	0
2.35	3.53	2.58	2.76	2.67	2.35
1.96	3.92	1.97	3.94	1.94	3.88
1.36	4.09	1.36	4.08	1.34	4.02
1.04	4.15	1.03	4.13	1.02	4.07
0.84	4.18	0.84	4.17	0.82	4.11
0.7	4.2	0.7	4.19	0.69	4.13
0.6	4.21	0.6	4.2	0.59	4.15
0.53	4.22	0.53	4.21	0.52	4.16
0.47	4.23	0.47	4.22	0.46	4.16
0.43	4.24	0.42	4.22	0.42	4.16
28 cm		30 cm			
光强 J:494 lx		光强 J:424 lx			
电流 I(μ A)	电压 U(V)	电流 I(μ A)	电压 U(V)		
3.29	0	3.18	0		
2.68	2.14	2.66	1.95		
1.91	3.82	1.88	3.75		
1.32	3.96	1.3	3.91		
1.01	4.02	1	3.98		
0.81	4.06	0.8	4.02		
0.68	4.08	0.67	4.04		
0.59	4.1	0.58	4.06		
0.51	4.1	0.57	4.07		
0.46	4.11	0.46	4.08		
0.41	4.12	0.41	4.09		



(2) 描绘 I_{sc} 和与相对光强 J/J_0 之间的关系曲线，求 I_{sc} 和与相对光强 J/J_0 之间的近似关系函数。

太阳能电池接受到相对光强度 J/J_0 不同值时，相应的 I_{sc} 的值：

J/J_0	6.93	4.06	2.57	1.79	1.24	1.00	0.780	0.64	0.53	0.45
I_s	47.22	27.58	17.41	12.05	8.243	6.72	5.30	4.22	3.55	2.84

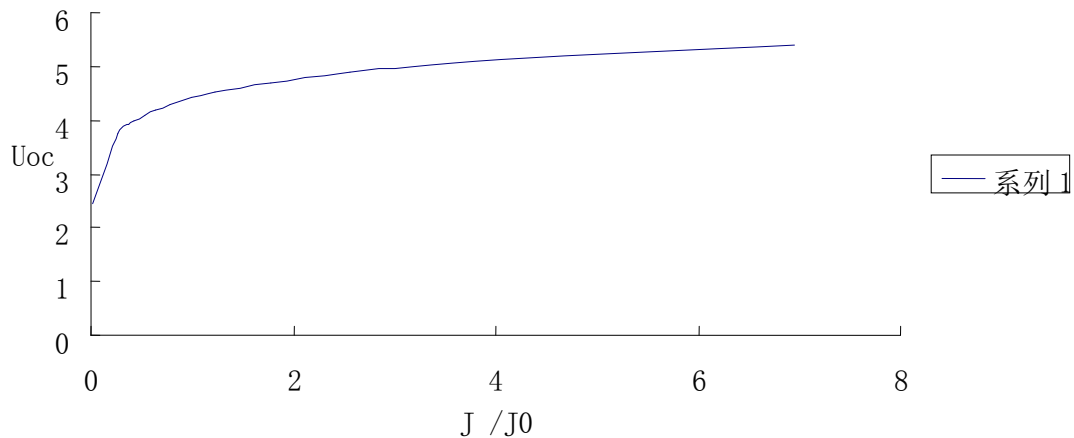


从图中找出 I_{sc} 与相对光强 J/J_0 的近似函数关系为 $I_{sc}=A(J/J_0)$ ，利用最小二乘法拟合，得 $I_{sc}=6.814 (J/J_0) -0.0905$ ，相关系数 $r=0.9996$ 。

(2) 描绘 U_{oc} 和与相对光强 J/J_0 之间的关系曲线，求 U_{oc} 和与相对光强 J/J_0 之间的近似关系函数：

J/J ₀						1.0	0.8			0.4	0.3
	6.93	4.25	2.57	1.79	1.24	0	0	0.64	0.53	5	8
U _{oc}						4.4	4.2			3.9	3.7
	5.39	5.12	4.89	4.71	4.51	1	9	4.18	4.10	9	5

开路电压 U_{oc} 和与相对光强 J /J₀ 之间的关系曲线



由图找出 U_{oc} 与相对光强 J/J₀ 的近似函数关系为 $U_{oc} = \beta \ln(J/J_0) + C$

利用最小二乘法拟合， $U_{oc} = 0.5057 \ln(J/J_0) + 4.413$ ，相关系数 $r = 0.923$

2.4 误差分析

- (1) 系统外界光线影响，导致测量结果产生微小误差。
- (2) 光源到太阳能电池之间的距离不能调节到绝对的 20cm。
- (3) 读取读数时引入误差
- (4) 处理数据时引入误差。
- (5) 系统仪器本身存在系统误差。

参考文献

- [1] 化成英, 童诗白. 模拟电子技术基础 [M]. 高等教育出版社, 2006. 05 (20): 288-301.
- [2] 杨述武, 赵立竹, 沈国土. 普通物理实验 (3) · 光学部分 [M]. 高等教育出版社, 2007. 12, (02): 93-95.
- [3] 魏锐. 太阳能电池的原理及制作 [J]. 教学仪器与实验 2006. 03, (01): 123-125
- [4] 郝晓剑, 李仰军. 光电检测技术与应用 [J]. 国防工业出版社

2009. 08. 01, (03) :33-35.

[5]周秀云. 光电检测技术及应用[J]. 电子工业出版社, 2002:72-78.