

北京邮电大学
物 理 实 验 报 告

实验名称 太阳能电池特性与测量

实验目的:

1. 了解硅太阳能电池的结构及工作原理;
2. 学习测定硅太阳能电池的开路电压、短路电流及暗伏安特性曲线;
3. 理解硅太阳能电池最佳负载的定义与应用意义。

实验原理与操作步骤[基本物理思想、实验设计原理、物理公式及其意义、电路图（光路图）等；主要操作步骤]

实验原理:

当光照射在距太阳能电池表面很近的PN结时，只要入射光子的能量大于半导体材料的禁带宽度 E_g ，则在p区、n区和结区光子被吸收会产生电子-空穴对(如图1)。那些在PN结附近n区中产生的少数载流子由于存在浓度梯度而要扩散。只要少数载流子离PN结的距离小于它的扩散长度，总有一定几率的载流子扩散到结界面处。在p区与n区交界面的两侧即结区，存在空间电荷区，也称为耗尽区。在耗尽区中，正负电荷间形成电场，电场方向由n区指向p区，这个电场称为内建电场。这些扩散到结界面处的少数载流子(空穴)在内电场的作用下被拉向p区。同样，在PN结附近p区中产生的少数载流子(电子)扩散到结界面处，也会被内建电场迅速拉向n区。结区内产生的电子-空穴对在内电场的作用下分别移向n区和p区。这导致在n区边界附近有光生电子积累，在p区边界附近有光生空穴积累。它们产生一个与PN结的内建电场方向相反的光生电场，在PN结上产生一个光生电动势，其方向由p区指向n区。这一现象称为光伏效应。

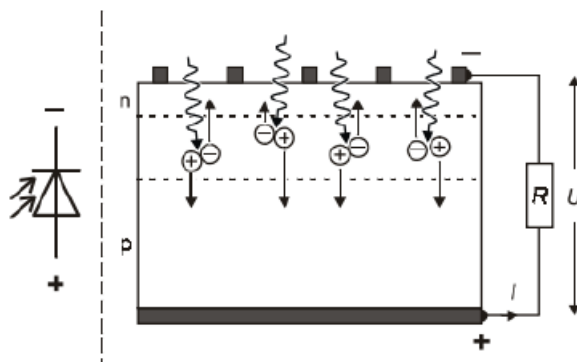


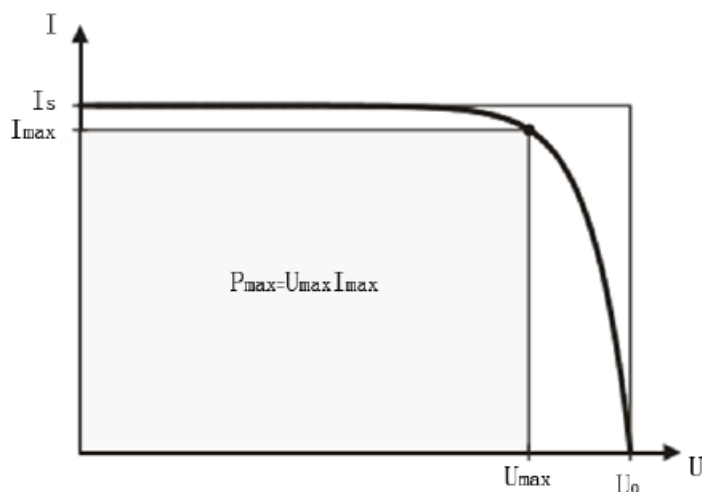
图1 太阳能电池的工作原理

太阳能电池的工作原理是基于光伏效应的。当光照射太阳电池时，将产生一个由n区到p区的光生电流。同时，由于PN结二极管的特性，存在正向二极管电流，此电流方向从p区到n区，与光生电流相反。因此，实际获得的电流为两个电流之差：

$$I = I_s(\Phi) - I_D U \quad (1)$$

如果连接一个负载电阻，电流可以被认为是两个电流之差，即取决于辐照度的负方向电流，以及取决于端电压的正方向电流 $I_D U$ 。

由此可以得到太阳能电池伏安特性的典型曲线(见图2)。在负载电阻小的情况下，太阳能电池可以看成是一个恒流源，因为正向电流 $I_D U$ 可以被忽略。在负载电阻大的情况下，太阳能电池相当于一个恒压源，因为如果电压变化略有下降那么电流 $I_D U$ 迅速增加。



当太阳电池的输出端短路时，可以得到短路电流，它等于光生电流 I_s 。当太阳电池的输出端开路时，可以得到开路电压 U_0 。

在固定的光照强度下，光电池的输出功率取决于负载电阻 R 。太阳能电池的输出功率在负载电阻为 R_{max} 时达到一个最大功率 P_{max} ，即 R_{max} 近似等于太阳能电池的内阻 R_i 。

$$R_i = \frac{U_0}{I_s} \quad (2)$$

这个最大的功率比开路电压和短路电流的乘积小(见图2)，它们之比为

$$R_i = \frac{P_{max}}{U_0 * I_s} \quad (3)$$

F 称为填充因数。

此外，太阳能电池的输出功率 $P = U * I$ 是负载电阻 $R = \frac{U}{I}$ 的函数

我们经常用几个太阳能电池组合成一个太阳能电池。串联会产生更大的开路电压 U_0 ，而并联会产生更大的短路电流 I_s 。在本实验中，把2个太阳能电池串联，分别记录在四个不同的光照强度时电流和电压特性。光照强度通过改变光源的距离和电源的功率来实现。

操作步骤：

0. 据实验原理，连接实验线路。

(1). 把太阳能电池插到插件板上，用两个桥接插头把上边的负极和下面的正极连接起来，串联起 2 个太阳能电池。

(2). 插上电位器作为一个可变电阻，然后用桥接插头把它连接到太阳能电池上。

(3). 连接电流表，使它和电池、可变电阻串联。选择测量范围：直流 200mA。

(4)连接电压表使之与电池并联，选择量程：直流 3V。

(5)连接卤素灯与稳压源，使灯与电池成一线，以使电池均匀受光。

1. 接通电路，将可变电阻器阻值调为最小以实现短路，并改变卤素灯的距离和调节电源输出功率，使短路电流大约 45mA。

2. 逐步改变负载电阻值降低电流，分别读取电流和电压值，记入表格。

3. 断开电路，测量并记录开路电压。

4. 调节电源功率，分别使短路电流约为 35mA，25mA 和 15mA，并重复上述测量。

5. 在不同照度下，测定太阳能电池的输出功率 P 和负载电阻 R 的函数关系。

实验仪器名称：

太阳能电池两块，插件板，稳压源，卤素灯，万用表

实验数据处理与分析[实验数据计算、不确定公式推导与计算、结果表示、误差分析、结果讨论]

一、在不同光照强度下测量太阳能电池的输出电压 U 和输出电流 I

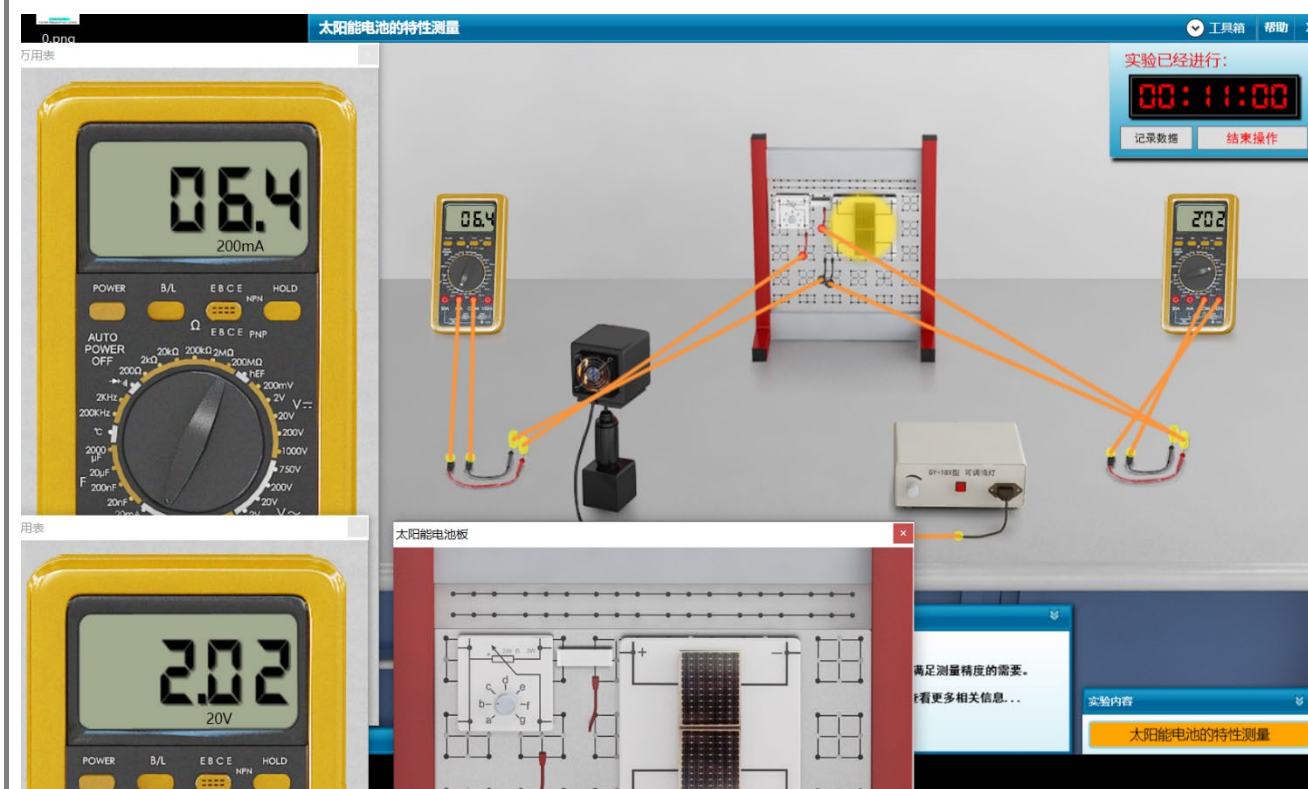
(1)、短路电流 $I_s = 45\text{mA}$ ；开路电压 $U_o(\text{V}) = 2.05$

内容	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R/ Ω	<u>0.2</u>	<u>10.4</u>	<u>20.7</u>	<u>30.9</u>	<u>41.0</u>	<u>51.1</u>	<u>61.4</u>	<u>71.6</u>	<u>81.6</u>	<u>91.4</u>
I/ mA	<u>45.0</u>	<u>45.0</u>	<u>45.0</u>	<u>45.0</u>	<u>42.0</u>	<u>35.4</u>	<u>30.3</u>	<u>26.4</u>	<u>23.4</u>	<u>21.0</u>
U/V	<u>0.01</u>	<u>0.47</u>	<u>0.93</u>	<u>1.39</u>	<u>1.72</u>	<u>1.81</u>	<u>1.86</u>	<u>1.89</u>	<u>1.91</u>	<u>1.92</u>
P/ mW	<u>0.45</u>	<u>21.15</u>	<u>41.85</u>	<u>62.55</u>	<u>72.24</u>	<u>64.07</u>	<u>56.36</u>	<u>49.90</u>	<u>44.69</u>	<u>40.32</u>
内容	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R/ Ω	<u>102.1</u>	<u>112.1</u>	<u>132.4</u>	<u>153.5</u>	<u>172.2</u>	<u>193.2</u>	<u>215.1</u>	<u>235.3</u>	<u>254.4</u>	<u>315.6</u>
I/ mA	<u>19.0</u>	<u>17.4</u>	<u>14.8</u>	<u>12.9</u>	<u>11.5</u>	<u>10.3</u>	<u>9.3</u>	<u>8.5</u>	<u>7.9</u>	<u>6.4</u>
U/V	<u>1.94</u>	<u>1.95</u>	<u>1.96</u>	<u>1.98</u>	<u>1.98</u>	<u>1.99</u>	<u>2.00</u>	<u>2.00</u>	<u>2.01</u>	<u>2.02</u>
P/ mW	<u>36.86</u>	<u>33.93</u>	<u>29.01</u>	<u>25.54</u>	<u>22.77</u>	<u>20.50</u>	<u>18.60</u>	<u>17.00</u>	<u>15.88</u>	<u>12.93</u>

实验过程截图贴至此处（包括连线框图，实验时间，电流表电压表对应上表任意测量值）



(1.) 实验连线



(2.) 45mA 时的某一测量值

太阳能电池的特性测量

工具箱 帮助 X

实验已经进行:

00:39:14

记录数据 结束操作

实验数据表格

12.1	10.8	9.7	8.8	8.1	7.5	6.9
1.71	1.74	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81
141.3	161.1	182.5	202.3	221.0	240.0	262.3
20.69	18.79	17.17	15.66	14.50	13.50	12.49

表2: 对应于最大功率的负载电阻值Rmax和根据(2)式计算出的内阻值Ri

对应于最大功率的负载电阻值Rmax和根据(2)式计算出的内阻值Ri

测量值/组数	第一组	第二组	第三组	第四组
Rmax/ Ω	41.0	50.5	70.8	111.0
Ri/ Ω	45.6	58.2	78.5	125.8
Rmax/Ri	0.8990	0.8674	0.9016	0.8824

表3: 最大功率Pmax和开路电压与短路电流的乘积

最大功率Pmax和开路电压与短路电流的乘积

测量值/组数	第一组	第二组	第三组	第四组
Pmax/mW	72.24	55.28	39.41	23.35
(U0*IS)/ mW	92.25	70.85	49.45	28.69
F=Pmax/(U0*IS)	0.7831	0.7802	0.7971	0.8137

Fmax的平均值是 0.7935

实验内容

太阳能电池的特性测量

(3.) 实验结束时间

(2)、短路电流 $I_s = 35\text{mA}$; 开路电压 $U_o(\text{V}) = 2.03$

内容	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R/ Ω	0.3	10.3	20.3	30.4	40.4	50.5	60.7	70.6	81.0	90.7
I/mA	34.9	34.9	34.9	34.9	34.9	33.1	29.0	25.5	22.6	20.4
U/V	0.01	0.36	0.71	1.06	1.41	1.67	1.76	1.80	1.83	1.85
P/mW	0.35	12.56	24.78	36.99	49.21	55.28	51.04	45.90	41.36	37.74
内容	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R/ Ω	101.1	111.2	131.0	151.2	172.3	192.1	210.9	232.1	250.0	272.2
I/mA	18.5	16.9	14.5	12.7	11.2	10.1	9.2	8.4	7.8	7.2
U/V	1.87	1.88	1.90	1.92	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96
P/mW	34.60	31.77	27.55	24.38	21.62	19.59	17.85	16.38	15.21	14.11

(3)、短路电流 $I_s = 25\text{mA}$; 开路电压 $U_o(\text{V}) = 1.97$

内容	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

R/ Ω	<u>0.4</u>	<u>10.4</u>	<u>20.3</u>	<u>30.7</u>	<u>40.6</u>	<u>50.6</u>	<u>60.7</u>	<u>70.8</u>	<u>80.8</u>	<u>90.7</u>
I/mA	<u>25.1</u>	<u>25.1</u>	<u>25.1</u>	<u>25.1</u>	<u>25.1</u>	<u>25.1</u>	<u>25.0</u>	<u>23.6</u>	<u>21.4</u>	<u>19.4</u>
U/V	<u>0.01</u>	<u>0.26</u>	<u>0.51</u>	<u>0.77</u>	<u>1.02</u>	<u>1.27</u>	<u>1.52</u>	<u>1.67</u>	<u>1.73</u>	<u>1.76</u>
P/mW	<u>0.25</u>	<u>6.53</u>	<u>12.80</u>	<u>19.33</u>	<u>25.60</u>	<u>31.88</u>	<u>38.00</u>	<u>39.41</u>	<u>37.02</u>	<u>34.14</u>
内容	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R/ Ω	<u>101.1</u>	<u>111.0</u>	<u>130.7</u>	<u>150.4</u>	<u>171.6</u>	<u>191.8</u>	<u>212.4</u>	<u>231.7</u>	<u>253.3</u>	<u>272.9</u>
I/mA	<u>17.7</u>	<u>16.3</u>	<u>14.0</u>	<u>12.3</u>	<u>10.9</u>	<u>9.8</u>	<u>8.9</u>	<u>8.2</u>	<u>7.5</u>	<u>7.0</u>
U/V	<u>1.79</u>	<u>1.81</u>	<u>1.83</u>	<u>1.85</u>	<u>1.87</u>	<u>1.88</u>	<u>1.89</u>	<u>1.90</u>	<u>1.90</u>	<u>1.91</u>
P/mW	<u>31.68</u>	<u>29.50</u>	<u>25.62</u>	<u>22.76</u>	<u>20.38</u>	<u>18.42</u>	<u>16.82</u>	<u>15.58</u>	<u>14.25</u>	<u>13.37</u>

(4)、短路电流 $I_s = 15\text{mA}$; 开路电压 $U_o(\text{V}) = \underline{\quad 1.90 \quad}$ (本组测量及对应数据处理为选作)

内容	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R/ Ω	<u>10.6</u>	<u>20.5</u>	<u>30.5</u>	<u>40.4</u>	<u>50.3</u>	<u>60.3</u>	<u>70.9</u>	<u>80.8</u>	<u>90.7</u>	<u>100.7</u>
I/mA	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.1</u>	<u>15.0</u>
U/V	<u>0.16</u>	<u>0.34</u>	<u>0.46</u>	<u>0.61</u>	<u>0.76</u>	<u>0.91</u>	<u>1.07</u>	<u>1.22</u>	<u>1.37</u>	<u>1.51</u>
P/mW	<u>2.42</u>	<u>4.68</u>	<u>6.95</u>	<u>9.21</u>	<u>11.48</u>	<u>13.74</u>	<u>16.16</u>	<u>18.42</u>	<u>20.69</u>	<u>22.65</u>
内容	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R/ Ω	<u>111.0</u>	<u>121.2</u>	<u>131.0</u>	<u>141.3</u>	<u>161.1</u>	<u>182.5</u>	<u>202.3</u>	<u>221.0</u>	<u>240.0</u>	<u>262.3</u>
I/mA	<u>14.5</u>	<u>13.7</u>	<u>12.9</u>	<u>12.1</u>	<u>10.8</u>	<u>9.7</u>	<u>8.8</u>	<u>8.1</u>	<u>7.5</u>	<u>6.9</u>
U/V	<u>1.61</u>	<u>1.66</u>	<u>1.68</u>	<u>1.71</u>	<u>1.74</u>	<u>1.77</u>	<u>1.78</u>	<u>1.79</u>	<u>1.80</u>	<u>1.81</u>
P/mW	<u>23.35</u>	<u>22.74</u>	<u>21.80</u>	<u>20.69</u>	<u>18.79</u>	<u>17.17</u>	<u>15.66</u>	<u>14.50</u>	<u>13.50</u>	<u>12.49</u>

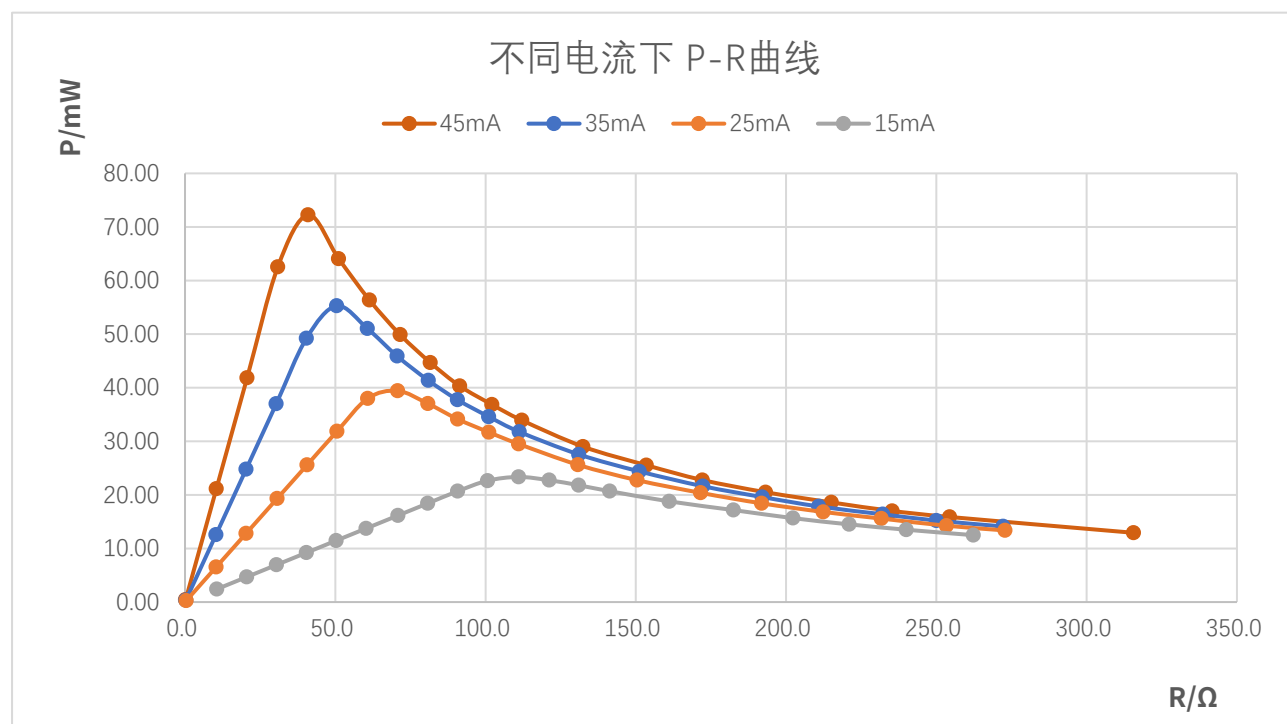
二、计算光电池在不同光照条件下内阻值 R_i , 并寻找对应最大输出功率负载电阻 R_{\max} 。

测量值/组数	(1)	(2)	(3)	(4) (选作)
R_i/Ω	<u>45.6</u>	<u>58.2</u>	<u>78.5</u>	<u>125.8</u>
R_{\max}/Ω	<u>41.0</u>	<u>50.5</u>	<u>70.8</u>	<u>111.0</u>
R_{\max}/R_i	<u>0.8990</u>	<u>0.8674</u>	<u>0.9016</u>	<u>0.8824</u>

三、计算最大功率 P_{\max} 和开路电压与短路电流乘积比较

测量值/组数	(1)	(2)	(3)	(4) (选作)
P_{\max}/mW	<u>72.24</u>	<u>55.28</u>	<u>39.41</u>	<u>23.35</u>
$(U_o \cdot I_s) / \text{mW}$	<u>82.25</u>	<u>70.85</u>	<u>49.45</u>	<u>28.69</u>
$F = P_{\max} / (U_o \cdot I_s)$	<u>0.7831</u>	<u>0.7802</u>	<u>0.7971</u>	<u>0.8137</u>

四、在同一坐标系下，绘制不同光照条件下的太阳能电池输出特性曲线（P 输出-R 负载曲线）。将图贴至下方。通过分析比较以及前面的计算结果，得出实验结论。



结论：

随着阻值增大，电流减小(减小的越来越快)，电压增大(增大的越来越慢)，功率逐渐增大，达到最高点时开始减小；随着电流的减小，最大功率逐渐降低。

回答问题：

试举例：生活中的太阳能电池

临时交通灯警示灯、铁路信号灯、农村载波电话、太阳能水泵、光伏背包、路灯、节能灯、汽车空调等

教师指导意见：