



大学物理-基础实验 | 实验报告

姓名 王嘉璐
学号 PB21051167
班级 21 级 209 院 05 班 (工程科学学院 5 班)
日期 2022 年 5 月 19 日

硅光电池特性研究[†]

1 实验目的

了解硅光电池工作原理，掌握硅光电池的工作特性。

2 实验原理

硅光电池是根据光伏效应而制成的将光能转换成电能的一种器件，它的基本结构就是一个 P-N 结。

2.1 P-N 结偏置特性

当 P 型和 N 型半导体材料结合并达到平衡时，PN 结两侧形成一个耗尽区，耗尽区的特点是无自由载流子，呈现高阻抗。当 PN 结反偏时，外加电场与内电场方向一致，耗尽区在外电场作用下变宽，使势垒加强；当 PN 结正偏时，外加电场与内电场方向相反，耗尽区在外电场作用下变窄，使势垒削弱，使载流子扩散运动继续形成电流，这就是 PN 结的单向导电性，电流方向是从 P 指向 N。

2.2 光伏效应

当硅光电池 PN 结处于零偏或反偏时，若有光照，电池对光子的本征吸收和非本征吸收都产生光生载流子，但能引起光伏效应的只能是本征吸收所激发的少数载流子。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。

2.3 硅光电池的基本特性

2.3.1 伏安特性

在一定光照下，在光电池两端加一个负载就会有电流流过，当负载很大时，电流较小而电压较大；当负载很小时，电流较大而电压较小。硅光电池的伏安特性曲线由二个部分组成：

- 1) 无偏压工作状态，光电流随负载变化很大。
- 2) 反偏压工作状态，光电流与偏压、负载几乎无关（很大的动态范围内）。

2.3.2 照度特性

当有光照并在在 PN 结两端加负载时，就有光生电流流过负载。

当硅光电池在短路状态时 ($U = 0$)，短路电流 I_{SC} 和光照强度 L 成正比。

当硅光电池在开路状态时 ($I = 0$)，开路电压 U_{OC} 与光照强度 L 的对数成正比。

[†]本报告由王嘉璐撰写，存在一定不足，仅供参考。如需了解不足、获取最新版本，请访问我的主页home.ustc.edu.cn/~luiswang。

2.3.3 输出特性

硅光电池负载上的电压降 U 和通过负载的电流 I 之积称为硅光电池的输出功率 P 。在一定的照度下，不同负载有不同的输出功率，输出功率达到最大值 P_m 时的负载电阻 R_m 称为最佳负载电阻。此时能量转换效率最高，且 R_m 随光强而变化。

填充因子定义为 $FF = \frac{P_m}{U_{OC}I_{SC}}$ ，是表征硅光电池性能优劣的一个重要参数， FF 越大则输出功率越高，说明硅光电池对光的利用率越高。 FF 取决于入射光强、材料禁带宽度、负载电阻等。

3 实验仪器

硅光电池、数字万用表、毫安表、电阻箱、溴钨灯、直流稳压电源、光学导轨及支座、开关、导线。

4 分析与讨论

4.1 硅光电池输出特性测量

不加偏压，电阻箱作为负载，用溴钨灯照射硅光电池。

4.1.1 数据处理

使用数字万用表电压档，选择“2V”量程，测量不同光照强度 L 、不同负载 R_L 下硅光电池的工作电压 U ，根据测量数据，计算工作电流 I 和功率 P ，数据处理结果如表 1.1。

表 1.1 输出特性测量的数据处理结果

	R_L/Ω	100	300	500	700	900	1000	3000	5000	7000	9000	10000	∞
$d=20\text{ cm}$ $L=250\text{ lx}$	U/V	0.0403	0.1167	0.1810	0.2290	0.2629	0.2760	0.3663	0.3845	0.3935	0.3981	0.3998	0.4141
	I/mA	0.4030	0.3890	0.3620	0.3271	0.2921	0.2760	0.1221	0.0769	0.0562	0.0442	0.0400	—
	P/mW	0.0162	0.0454	0.0655	0.0749	0.0768	0.0762	0.0447	0.0296	0.0221	0.0176	0.0160	—
$d=30\text{ cm}$ $L=111.1\text{ lx}$	U/V	0.0167	0.0505	0.084	0.1168	0.1484	0.1636	0.3144	0.3456	0.3580	0.3648	0.3672	0.3871
	I/mA	0.1670	0.1683	0.1680	0.1669	0.1649	0.1636	0.1048	0.0691	0.0511	0.0405	0.0367	—
	P/mW	0.0028	0.0085	0.0141	0.0195	0.0245	0.0268	0.0329	0.0239	0.0183	0.0148	0.0135	—
$d=40\text{ cm}$ $L=65\text{ lx}$	U/V	0.0089	0.0271	0.0453	0.0634	0.0813	0.0903	0.2367	0.2981	0.3209	0.3323	0.3365	0.3663
	I/mA	0.0890	0.0903	0.0906	0.0906	0.0903	0.0903	0.0789	0.0596	0.0458	0.0369	0.0337	—
	P/mW	0.0008	0.0024	0.0041	0.0057	0.0073	0.0082	0.0187	0.0178	0.0147	0.0123	0.0113	—
$d=50\text{ cm}$ $L=40\text{ lx}$	U/V	0.0055	0.0171	0.0285	0.0400	0.0515	0.0572	0.1634	0.2363	0.2745	0.2947	0.3011	0.3477
	I/mA	0.0550	0.0570	0.0570	0.0571	0.0572	0.0572	0.0545	0.0473	0.0392	0.0327	0.0301	—
	P/mW	0.0003	0.0010	0.0016	0.0023	0.0029	0.0033	0.0089	0.0112	0.0108	0.0096	0.0091	—

4.1.2 实验分析

根据数据处理结果，绘制 $I-U$ 、 $P-R_L$ 曲线，如图 1.1、图 1.2 所示。

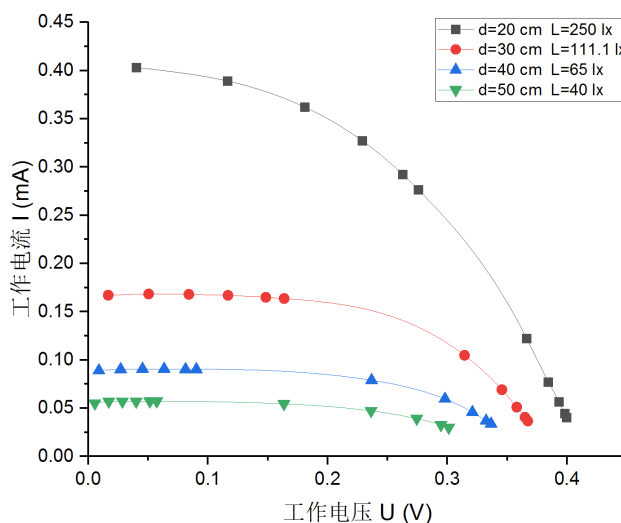


图 1.1 输出特性测量的 $I-U$ 曲线

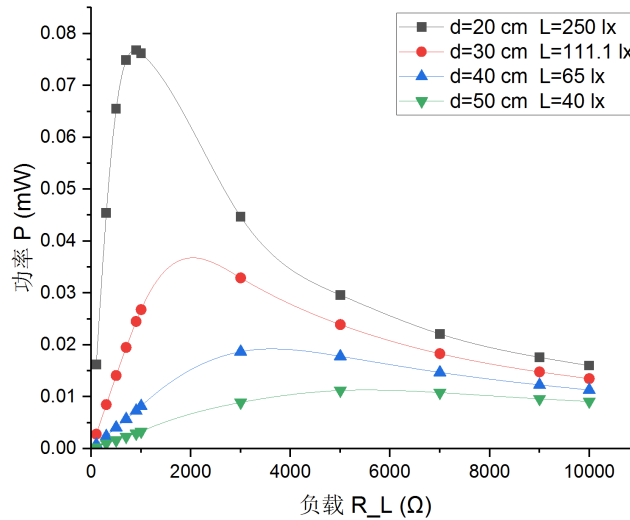


图 1.2 输出特性测量的 $P - R_L$ 曲线

为简化计算过程，直接从数据处理结果中选取不同光照下功率的最大值作为最大输出功率 P_m ，对应即为最佳负载电阻 R_m ，并计算填充因子 $FF = \frac{P_m}{U_{OC}I_{SC}}$ ，其中 U_{OC} 、 I_{SC} 分别为开路电压、短路电流，将在 4.2 中给出，结果如表 1.2。

表 1.2 不同光照下的 P_m 、 R_m 、 FF

距离 d/cm	光照强度 L/lx	最大输出功率 P_m/mW	最佳负载电阻 R_m/Ω	填充因子 FF
20	250	0.0768	900	$\frac{0.0768}{0.4158 \times 0.3990} = 0.4629$
30	111.1	0.0329	3000	$\frac{0.0329}{0.3881 \times 0.1676} = 0.5058$
40	62.5	0.0187	3000	$\frac{0.0187}{0.3668 \times 0.0918} = 0.5554$
50	40	0.0112	5000	$\frac{0.0112}{0.3477 \times 0.0578} = 0.5573$

4.1.3 实验讨论

对于图 1.1、图 1.2，可以看出曲线的趋势与预习讲义符合的较好。

对于表 1.2，可以看 R_m 随光强而变化，填充因子 FF 与入射光强、负载电阻相关，与理论相符。

4.2 硅光电池开路电压、短路电流与光照特性测量

不加偏压，用溴钨灯照射硅光电池，测量电池的开路电压、短路电流。

4.2.1 数据处理

将数字万用表电压档直接与硅光电池两端连接，选择“2V”量程，测量不同光照强度 L 下硅光电池的开路电压 U_{OC} ；将电阻箱调至小阻值 50Ω 作为负载，使用数字万用表电压档，选择“200mV”量程，测量不同光照强度 L 下电阻箱两端的短路电压 U_{SC} ，根据测量数据，计算硅光电池的短路电流 I_{SC} ，数据处理结果如表 2.1。

表 1.1 开路电压、短路电流与光照特性测量的数据处理结果

距离 d/cm	20	25	30	35	40	45	50
光照强度 L/lx	250.00	160.00	111.11	81.63	62.50	49.38	40.00
开路电压 U_{OC}/V	0.4158	0.4008	0.3881	0.3770	0.3668	0.3569	0.3477
短路电压 U_{SC}/mV	19.95	12.37	8.38	6.05	4.59	3.58	2.89
短路电流 I_{SC}/mA	0.3990	0.2474	0.1676	0.1210	0.0918	0.0716	0.0578

4.2.2 实验分析

根据数据处理结果，绘制 $U_{OC} - L$ 散点图，并采用 Log3P1 模型对散点进行拟合、绘制曲线，如图 2.1 所示。将拟合结果导出，如图 2.2 所示。

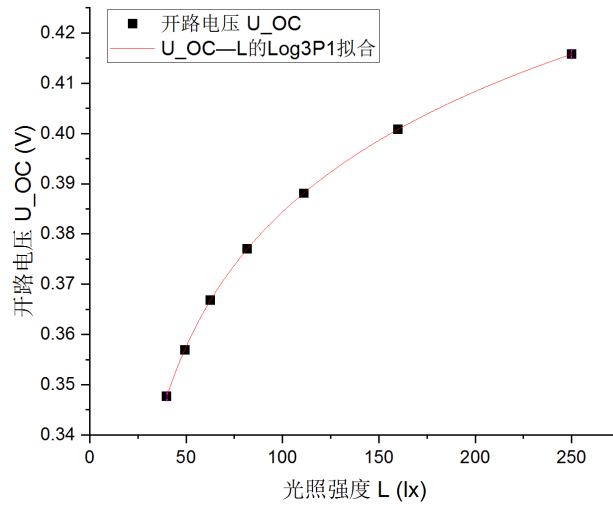


图 2.1 开路电压、短路电流与光照特性测量的 $U_{OC} - L$ 曲线

模型	Log3P1
方程	$y = a - b \cdot \ln(x+c)$
绘图	开路电压 U_{OC}
a	$0.24468 \pm 8.99482E-4$
b	$-0.03129 \pm 1.67127E-4$
c	-13.14003 ± 0.3478
Reduced Chi-Sqr	$8.76138E-9$
R平方(COD)	0.99999
调整后R平方	0.99999

图 2.2 $U_{OC} - L$ 曲线的拟合结果

根据 Log3P1 模型的方程和拟合结果，给出 $U_{OC} - L$ 曲线的近似函数，为

$$U_{OC} = 0.2447 + 0.0313 \ln(L - 13.1400) \quad (V)$$

根据数据处理结果，绘制 $I_{SC} - L$ 散点图，并采用线性模型对散点进行拟合、绘制曲线，如图 2.3 所示。将拟合结果导出，如图 2.4 所示。

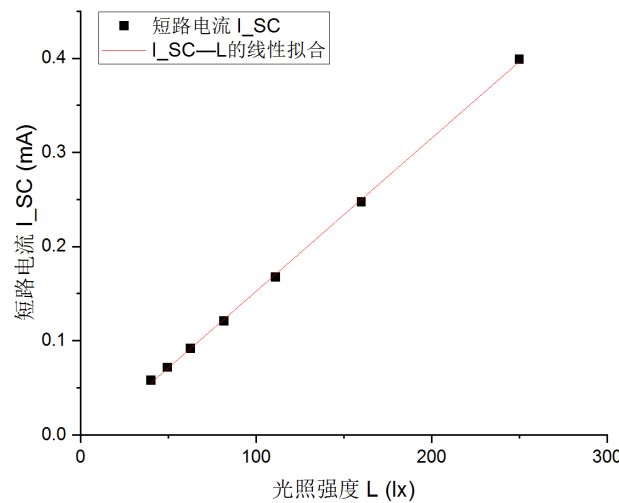


图 2.3 开路电压、短路电流与光照特性测量的 $I_{SC} - L$ 曲线

方程	$y = a + b \cdot x$
绘图	短路电流 I_{SC}
权重	不加权
截距	-0.01004 ± 0.00186
斜率	$0.00163 \pm 1.45146E-5$
残差平方和	$3.5502E-5$
Pearson's r	0.9998
R平方(COD)	0.9996
调整后R平方	0.99952

图 2.4 $I_{SC} - L$ 曲线的拟合结果

根据线性模型的方程和拟合结果，给出 $I_{SC} - L$ 曲线的近似函数，为

$$I_{SC} = 0.0016L - 0.0100 \quad (\text{mA})$$

4.2.3 实验讨论

对于图 2.1、图 2.3，根据图 2.2、图 2.4 的导出结果，可以看出决定系数 R 均大于 0.999，说明曲线拟合结果较好，近似函数的准确性较好。

4.3 不同负载下硅光电池输出电压与光照特性测量

不加偏压，电阻箱作为负载，用溴钨灯照射硅光电池。

4.3.1 数据处理

使用数字万用表电压档，选择“2V”量程，测量不同光照强度 L 、不同负载下硅光电池的输出电压 U ，测量数据如表 3.1。

表 3.1 不同负载下硅光电池输出电压与光照特性测量的数据

距离d/cm		20	25	30	35	40	45	50
光照强度L/lx		250.00	160.00	111.11	81.63	62.50	49.38	40.00
输出电压U/V	100Ω	0.0395	0.0245	0.0165	0.0118	0.0089	0.0069	0.0054
	1000Ω	0.2754	0.2217	0.1619	0.1187	0.0905	0.0702	0.0564
	5000Ω	0.3855	0.3647	0.3448	0.3232	0.2980	0.2667	0.2342
	10000Ω	0.3998	0.3819	0.3666	0.3510	0.3358	0.3181	0.2995

4.3.2 实验分析

根据数据处理结果，绘制 $U - L$ 曲线，如图 3.1 所示。

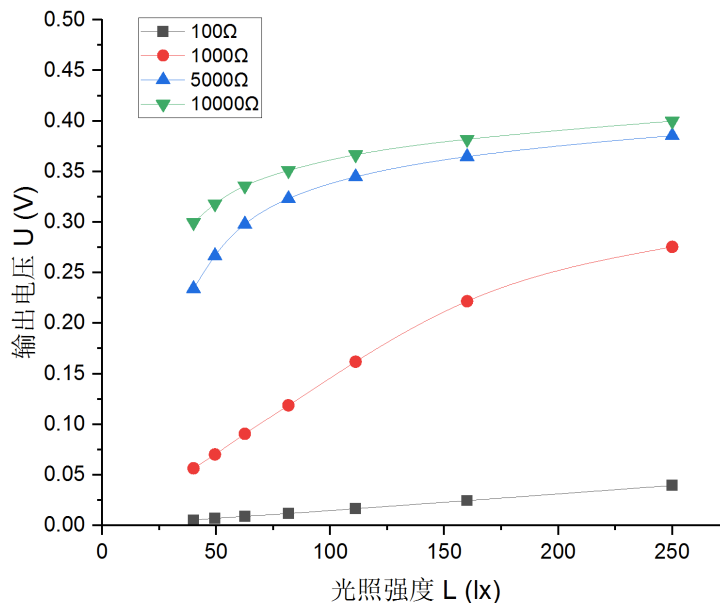


图 3.1 不同负载下硅光电池输出电压与光照特性测量的 $U - L$ 曲线

在实验所选的光照强度范围内，当负载阻值很小时，输出电压与光照强度近似呈线性相关；当负载阻值较大时，输出电压与光照强度呈非线性相关，电压随光强增大而增大但增大的幅度减小。

4.4 反向偏压下硅光电池电流与光照测量

加反向偏压，电阻箱作为负载，用溴钨灯照射硅光电池。

4.4.1 数据处理

加 2.0V 反向电压，将电阻箱调至阻值 1500Ω 作为负载，使用数字万用表电压档，选择“2V”量程，测量不同光照强度 L 下电阻箱两端电压 U ，根据测量数据，计算硅光电池电流 I ，数据处理结果如表 4.1。

表 4.1 反向偏压下硅光电池电流与光照测量的数据处理结果

距离 d /cm	20	25	30	35	40	45	50
光照强度 L /lx	250.00	160.00	111.11	81.63	62.50	49.38	40.00
电压 U /V	0.6022	0.3702	0.2512	0.1817	0.1380	0.1080	0.0876
电流 I /mA	0.4015	0.2468	0.1675	0.1211	0.0920	0.0720	0.0584

4.4.2 实验分析

根据数据处理结果，绘制 $I - L$ 散点图，并采用线性模型对散点进行拟合、绘制曲线，如图 2.3 所示。将拟合结果导出，如图 2.4 所示。

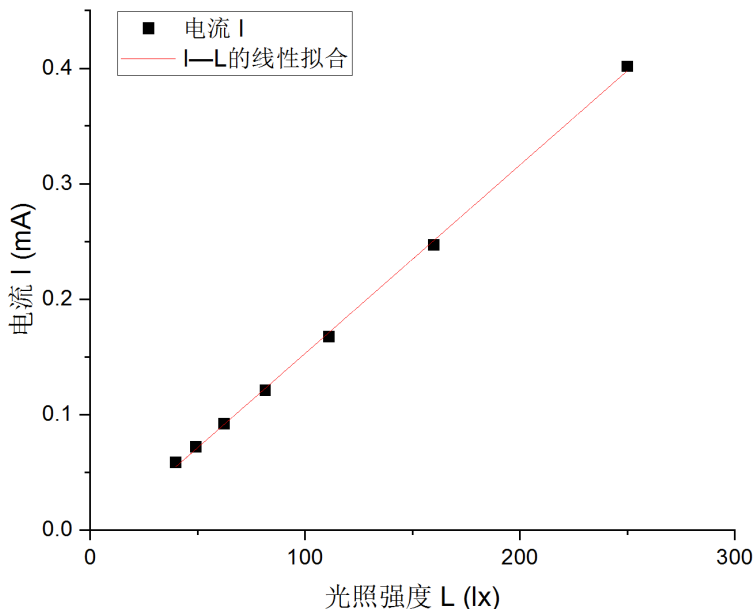


图 4.1 反向偏压下硅光电池电流与光照测量的 $I - L$ 曲线

方程	$y = a + b \cdot x$
绘图	电流 I
权重	不加权
截距	-0.01039 ± 0.00244
斜率	$0.00163 \pm 1.90392E-5$
残差平方和	$6.10859E-5$
Pearson's r	0.99966
R平方(COD)	0.99932
调整后R平方	0.99918

图 4.2 $I - L$ 曲线的拟合结果

根据线性模型的方程和拟合结果，给出 $I - L$ 曲线的近似函数，为

$$I = 0.0016L - 0.0104 \quad (\text{mA})$$

5 思考题

5.1 光电池在工作时为什么要处于零偏或反偏？

当硅光电池 PN 结处于零偏或反偏时，耗尽区存在一内电场，当有光照时，电池对光子的本征吸收激发了少数载流子，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。如果硅光电池 PN 结处于正偏，外加电场与内电场方向相反，耗尽区的内电场减弱或反向，以上的光伏效应无法正常激发，光电池无法正常工作。

5.2 当增加光照强度，硅光电池的哪些参数发生变化？

增加光照强度，短路电流 I_{SC} 、开路电压 U_{OC} 会增大，连接负载后的工作电压 U 、工作电流 I 、输出功率 P 也会变化。

附件

原始数据