

实验报告

43 21

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚

班 级: 蔡金考班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

页 数: 1/7 座 号: 20

一、实验名称: 太阳能电池实验

二、实验目的: 1. 了解和研究硅光电池的主要参数和基本特征

2. 测量太阳能电池板的负载特性及短路电流 I_{sc} 、开路电压 U_{oc}
并计算最大输出功率 P_m 和填充因子 FF 。

三、实验仪器: 硅光电池, 太阳能电池板, 光学导轨及支座附件, 光源, 电源, 光功率计, 聚光透镜, 5个滤光片, 多量程毫安表及伏特表, 电阻箱, 开关, 一对偏振器等。

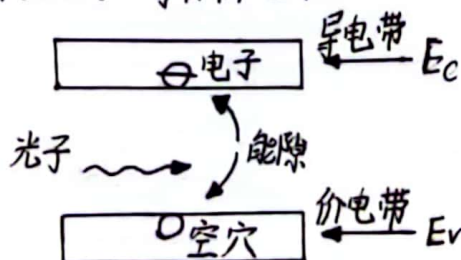
四、实验原理: 太阳能是一种新能源, 对太阳能的充分利用可以解决人类日趋增长的能源需求问题。目前, 太阳能的利用主要集中在热能和发电两方面。利用太阳能发电目前有两种方法, 一是利用热能产生蒸汽驱动发电机发电, 二是太阳能电池。太阳能的利用和太阳能电池的特性研究是21世纪的热门课题, 许多发达国家正投入大量人力物力对太阳能接收器进行研究。本实验通过对太阳能电池的电学性质和光学性质进行测量, 联系科技开发实际, 有一定的新颖性和实用价值。

硅光电池在没有光照时其特性可视为一个二极管, 在没有光照时其正向偏压 U 与通过电流 I 的关系式为:

$$I = I_0(e^{\beta U} - 1) \quad (1)$$

(1) 式中, I_0 与 β 是常数。

由半导体理论, 二极管主要是由能隙为 $E_c - E_v$ 的半导体构成, 如图2所示。 E_c 为半导体导电带, E_v 为半导体价电带, 当入射光子能量大于能隙时, 光子



(图 2)

联系方式: _____

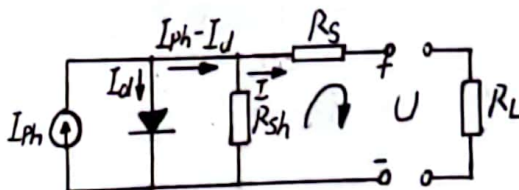
指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚
 班级: 蔡金芳班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙
 页数: 2/7 座号: 20

会被半导体吸收,产生电子和空穴对。电子和空穴对会分别受到二极管之内电场的影响而产生光电流。

假设硅光电池的理论模型是由一理想电流源(光照产生光电流的电流源),一个理想二极管、一个并联电阻 R_{sh} 与一个电阻 R_s 所组成,如图3所示。



(图3)

图3中, I_{ph} 为硅光电池在光照时该等效电流源输出电流, I_d 为光照时,通过硅光电池内部二极管的电流。由基尔霍夫定律得:

$$I R_s + U - (I_{ph} - I_d - I) R_{sh} = 0, \quad (2)$$

(2)式中, I 为硅光电池的输出电流, U 为输出电压。由(2)式可得:

$$I (1 + \frac{R_s}{R_{sh}}) = I_{ph} - \frac{U}{R_{sh}} - I_d, \quad (3)$$

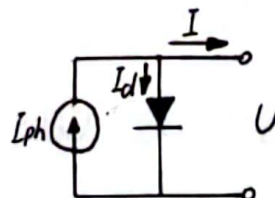
假定 $R_{sh} = \infty$ 和 $R_s = 0$,硅光电池可简化为图4所示电路。

这里, $I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_0(e^{\beta U} - 1)$ 。

在短路时, $U = 0, I_{ph} = I_{sc}$;

而在开路时, $I = 0, I_{sc} - I_0(e^{\beta U_{oc}} - 1) = 0$

$$\therefore U_{oc} = \frac{1}{\beta} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right], \quad (4)$$



(图4)

(4)式即为在 $R_{sh} = \infty$ 和 $R_s = 0$ 的情况下,硅光电池的开路电压 U_{oc} 和短路电流 I_{sc} 的关系式。其中 U_{oc} 为开路电压, I_{sc} 为短路电流,而 I_0, β 是常数。可看出开路电压 U_{oc} 与短路电流 I_{sc} 满足对数关系,如果 I_{sc} 与光照强度有线性关系,则 U_{oc} 与光照强度也满足对数关系。

硅光电池一大用途就是制成太阳能电池板来发电,太阳能电池板是由多个硅晶片根据功率大小串联和并联组合制成的,所以太阳能电池板的原理与硅光电池一样,由于二极管的分流作用,负载电阻越大,太阳能电池板的输出电流越小,实验可以证明这时输出电压却越大。因此,在入射光能量不变化的情况下,要从光电池获取最大功率,负载电阻要取适当的值。其中太阳能电池板的填充因子:

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} \cdot U_{oc}} \quad (5)$$

填充因子是代表太阳能电池板性能优劣的一个重要参数。指导教师签字: _____

联系方式: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚

班 级: 紫金芳班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

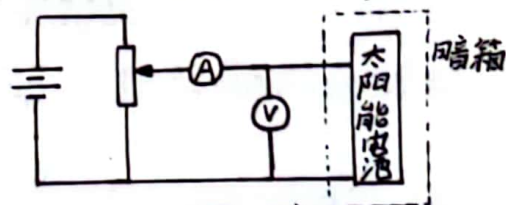
页 数: 3/7 座 号: 20

五、实验内容与主要步骤:

1. 在无光源的条件下, 测量硅光电池正向偏压时的伏安特性(直流偏压从0-5.0V).

a. 伏安特性即 $I-U$ 关系, 图5为实验原理图, 根据原理图连接好线路。

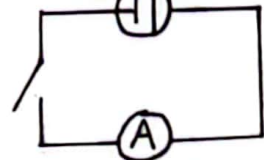
b. 按照数据表1(后有), 利用测得的正向偏压时 $I-U$ 关系数据, 画出 $\ln I-U$ 曲线并求常数 β 、 I_0 的值(利用条件 $I \gg I_0$).



(图 5)

2. 测量光电池的日照特性

测量短路电流 I_{sc} 与光电池上的相对光照强度的变化关系。在光电池的线性响应范围内, 光电流与入射光强度成正比, 这是光电池作为光电检测元件的重要原因。



(图 6)

a. 取离白光源20cm水平距离处的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 , 依次改变太阳能电池到光源的距离 x , 用光功率计测量 x 处的光照强度 J 。

b. 依次改变电池板到光源的距离, 分别测量此处的短路电流 I_{sc} 的值和开路电压 U_{oc} 的值, 并填入表2(后有), 其中电路原理图如图6所示。

描绘 I_{sc} 和相对光强度 J/J_0 之间的关系曲线, 求 I_{sc} 和相对光强度 J/J_0 之间近似关系函数。

3. 测量太阳能电池板的负载特性

测量光照情况下, 太阳能电池板距光源20cm处的输出电压和输出电流与负载电阻的关系(填表3)。其中电路原理图如图7所示, 根据表4, 画出在有负载的情况下输出电压和电流之间的关系, 并画出负载电阻与输出功率的关系。



(图 7)

确定太阳能电池板的最大输出功率 P_m 以及最大输出功率时的负载电阻 R_e (最佳匹配电阻)。

4. 填充因子 (Full Factor) FF : 表示最大输出功率 $I_m U_m$ 与极限输出功率 $I_{sc} U_{oc}$ 之比, 即:

$$FF = \frac{I_m U_m}{I_{sc} U_{oc}}$$

5. 光电转换效率:

光电转换效率是太阳电池性能优劣的最重要判据, 常以 η 表示, 一般定义为太阳电池最大输出功率和照射到太阳电池上的入射功率之比, 即:

$$\eta = \frac{I_m U_m}{P_{in}}$$

其中 $I_m U_m$ 为最大功率点的电流和电压, 而 P_{in} 为入射光的功率。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚
 班级: 蔡金芳班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙
 页数: 4/7 座号: 20

六、数据处理:

1. 在没有光源的条件下,测量硅光电池正向偏压时的伏安特性:

分别在电压为0.5V、1.0V、...、4.5V、5.0V时,测出电流 I ,将数据导入Excel表格,借助计算机得到各个 I 值所对应的 $\ln I$ 。(见附录表1)。

由表中数据,使用Excel表格绘出 $I-U$ 曲线以及 $\ln I-U$ 曲线(见附录图1),并拟合出线性回归方程:

$$y = 0.9231x - 2.6315 \quad (1)$$

决定系数 $R^2 = 0.987 \approx 1$,拟合程度较好。

根据没有光照时硅光电池正向偏压 U 与通过电流 I 的关系式:

$$I = I_0 \cdot (e^{\beta U} - 1) \quad (2)$$

两边取对数,整理得:

$$\ln I = \ln(e^{\beta U} - 1) + \ln I_0 \quad (3)$$

由于 $I \gg I_0$,由(2)式可知 $e^{\beta U} - 1$ 极大,不妨令 $e^{\beta U} - 1$ 近似为 $e^{\beta U}$,则(3)式可化为:

$$\ln I = \beta U + \ln I_0 \quad (4)$$

(4)式与(1)式相对照,得 $\beta = 0.9231$, $\ln I_0 = -2.6315$,两边同取底数 e ,得 $I_0 = 0.0719A$

2. 测量太阳能电池板的负载效应:

①: 以100 Ω 为间隔,测量各负载电阻值所对应的电压值 U 、电流值 I ,将数据导入Excel表格,借助计算机得到各个 I 情况下的输出功率值(见附录表2)。

②: 由表2,可见输出功率在400 Ω 附近取得最大值,故在310 $\Omega \sim 440\Omega$ 内以10 Ω 为间隔,测量各负载电阻值所对应的电压值 U 、电流值 I ,将数据导入Excel表格,借助计算机得到各个情况下的输出功率值(见附录表3)。

③: 根据数据绘制出输出电流与电压之间的关系曲线(见附录图2)
 与输出功率与负载电阻的关系曲线(见附录图3)。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚
 班级: 蔡金芳班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙
 页数: 5/7 座号: 20

④由图3中曲线可见,最大输出功率 $P_m = 29.82 \text{ mW}$, 此时负载电阻为 $R_e = 910 \Omega$

3. 计算填充因子:

结合图2与图3, 得: $P_m = 29.82 \text{ mW}$, $I_{sc} = 10.2 \text{ mA}$, 由表2, 得: $U_{oc} = 5.13 \text{ V}$

根据填充因子计算公式:

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} \cdot U_{oc}} \quad (5)$$

计算得: $FF = 0.5699$

七. 思考题:

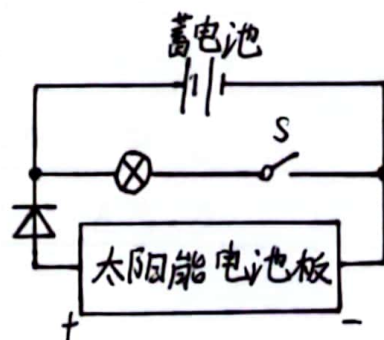
用太阳能电池板自己设计电路, 使太阳能电池板白天在太阳光下给蓄电池充电, 而晚上蓄电池可以供灯泡发光, 并且蓄电池的电流不会倒流回太阳能电池板。

答: 见右侧电路图。

分析: ①白天关闭开关S, 太阳能电池板可以给蓄电池充电; 晚上打开开关S, 蓄电池可以给电灯泡供电, 使其发光。

②: 添加二极管可以实现电流单向流通的功能, 主要避免了蓄电池电流倒流回太阳能电池板。

③: 一些改进: 可以将光敏电阻引入电灯泡所在支路, 取代开关S, 实现自动开关灯。



实验报告

23 4 ~

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚

班 级: 紫金芳班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

页 数: 6/7 座 号: 20

八、原始数据:

表格 1:

U/V	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
I/mA	0.0793	0.1903	0.342	0.543	0.826	1.214	1.795	2.7	4.2	6.9
ln I	-2.535	-1.659	-1.073	-0.606	-0.1912	0.1939	0.5850	0.993	1.44	1.93

表格 2:

R_x/Ω	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
U/V	0.1023	1.102	2.05	2.89	3.51	3.90	4.20	4.38	4.50	4.59
I/mA	10.2	10.0	9.7	9.2	8.5	7.6	6.8	6.1	5.5	5.0
P/mW	1.04	11.0	20	26	(29.835)	(29.64)	28	27	25	23
R_x/Ω	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	4000	∞	
U/V	4.66	4.72	4.76	4.79	4.82	4.83	4.92	5.04	5.13	
I/mA	4.6	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	2.4	1.221	0	
P/mW	21	20	18	17	16	15	12	6.15	0	

(表格 3 见下页)

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 太阳能电池实验 实验日期: 2024 年 3 月 21 日 晚
 班级: 蔡金芳班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙
 页数: 7/7 座号: 20

表格 3

R_x/Ω	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

U/V	2.98	3.06	3.12	3.19	3.24	3.30	3.35	3.41	3.46	3.50
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

I/mA	9.2	9.1	9.1	9.0	8.9	8.8	8.7	8.6	8.6	8.5
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

P/mW	27.416	27.846	28.392	28.71	28.836	29.04	29.145	29.326	29.756	29.75
--------	--------	--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------	--------	-------

R_x/Ω	410	420	430	440	450	460	470	480	490
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

U/V	3.55	3.59	3.62	3.66	3.71	3.75	3.78	3.82	3.86
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

I/mA	8.4	8.3	8.2	8.1	8.0	7.9	7.8	7.7	7.7
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

P/mW	29.82	29.797	29.684	29.646	29.68	29.625	29.484	29.414	29.722
--------	-------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------

联系方式: _____

指导教师签字: _____

九、附录：

表 1 没有光源的条件下，测量硅光电池正向偏压所得数据

U/V	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
I/mA	0.0793	0.1903	0.342	0.543	0.826	1.214	1.795	2.7	4.2	6.9
lnI	-2.535	-1.659	-1.073	-0.6106	-0.1912	0.1939	0.5850	0.993	1.44	1.93

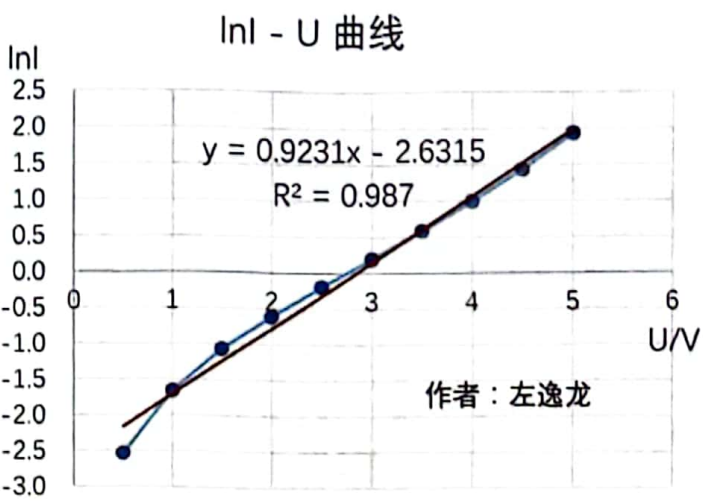
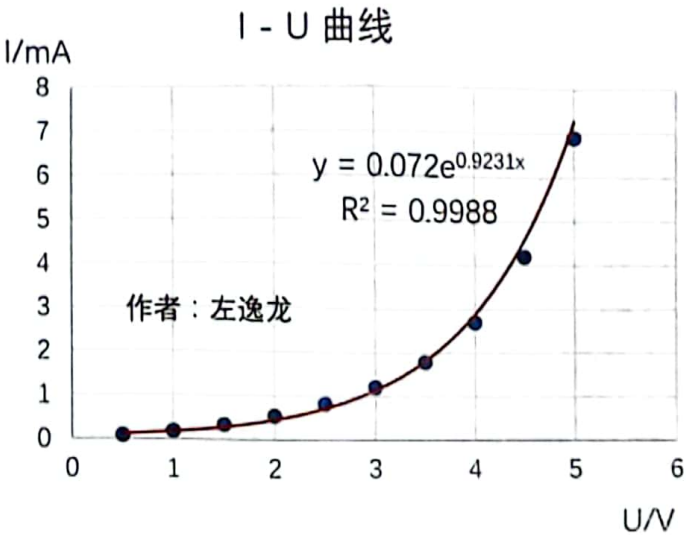


图 1 没有光源的条件下，测量硅光电池正向偏压时的 I - U 曲线与 lnI - U 曲线

表 2 测量太阳能电池板的负载效应时所得数据

R_x/Ω	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
U/V	0.1023	1.102	2.05	2.89	3.50	3.93	4.20	4.38	4.50	4.59
I/mA	10.2	10.2	10.0	9.7	8.5	7.6	6.8	6.1	5.5	5.0
P/mW	1.04346	11.2404	20.5	28.033	29.75	29.868	28.56	26.718	24.75	22.95
R_x/Ω	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	4000	∞	
U/V	4.66	4.72	4.76	4.79	4.82	4.83	4.92	5.04	5.13	
I/mA	4.6	4.2	3.9	3.6	3.4	3.2	2.4	1.221	0	
P/mW	21.436	19.824	18.564	17.244	16.388	15.456	11.808	6.15384	0	
R_x/Ω	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
U/V	2.98	3.06	3.12	3.19	3.24	3.30	3.35	3.41	3.46	3.50
I/mA	9.2	9.1	9.1	9.0	8.9	8.8	8.7	8.6	8.6	8.5
P/mW	27.416	27.846	28.392	28.71	28.836	29.04	29.145	29.326	29.756	29.75
R_x/Ω	410	420	430	440	450	460	470	480	490	
U/V	3.55	3.59	3.62	3.66	3.71	3.75	3.78	3.82	3.86	
I/mA	8.4	8.3	8.2	8.1	8.0	7.9	7.8	7.7	7.7	
P/mW	29.82	29.797	29.684	29.646	29.68	29.625	29.484	29.414	29.722	

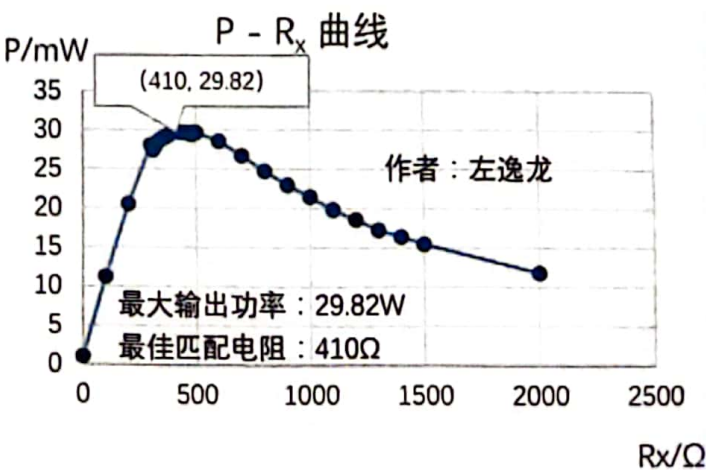
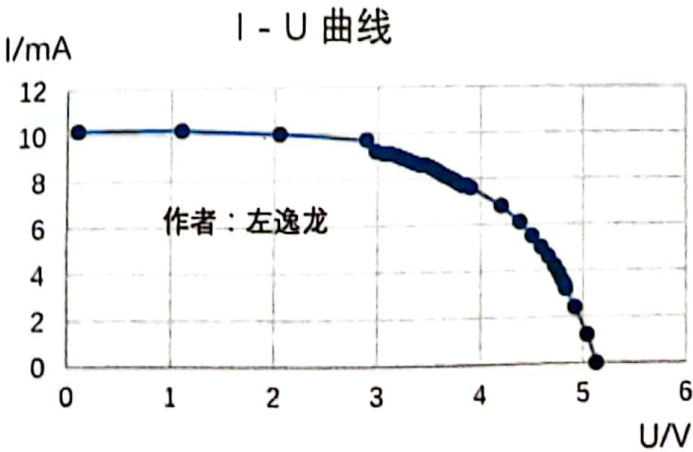


图 3 测量太阳能电池板的负载效应时的 I - U 曲线

图 2 测量太阳能电池板的负载效应时的 P - R_x 曲线