

北京邮电大学

物理实验报告

实验名称: 硅太阳能电池的光照特性

学 院: 信息与通信工程学院

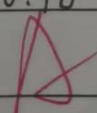
班 级: 2018211128

姓 名: 吴辉强

学 号: 2018213487

任课教师: 王鑫老师

实验日期: 2019.10.18

成 绩: 

北京邮电大学 物理实验中心 印制

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、转换效率的定义与应用意义.

实验仪器名称 [型号、主要参数]

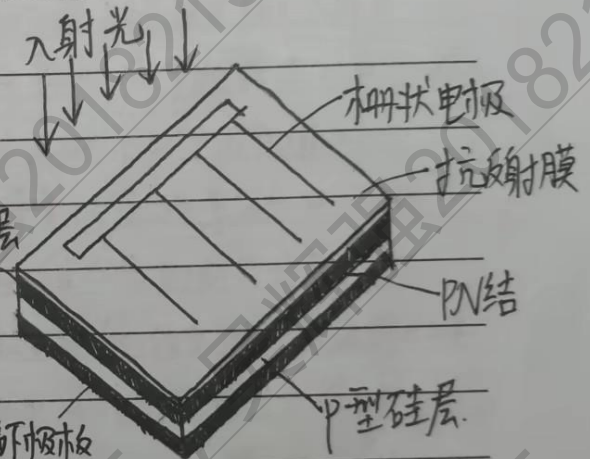
电池特性实验仪、太阳能电池(单晶型、多晶型、非晶型)、可变负载光源、导轨、移动支架、遮光罩、导线若干。

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等; 操作步骤]

一. 硅太阳能电池板结构

硅太阳能电池是由硅半导体材料制成的大面积PN结经串联、并联构成,其结构如图示。

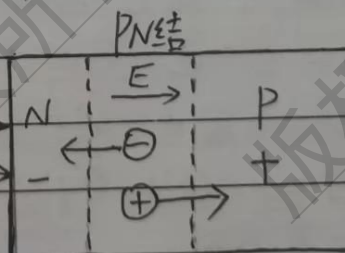
硅太阳能电池的基体材料为一薄片P型单晶硅,在它的表面上利用热扩散法生成一层N型受光层,基体与受光层的交界处生成PN结。在N型受光层,制作金属栅线作为面接触



电极,背面也制作金属膜作为接触电极,这样就形成太阳能电池板。为减小光损失,一般在表面覆盖一层减反射膜。

二. 硅太阳能电池的工作原理

半导体受到光的照射而产生电动势的现象,称为光生伏特效应。硅太阳能电池是根据

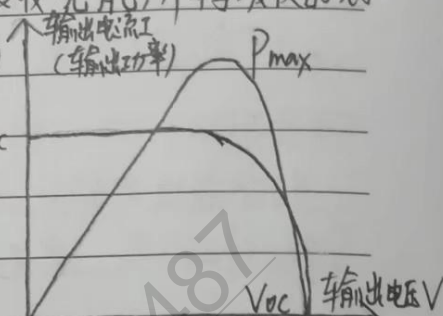


此原理做成的半导体光电转换器件。光照射到N型层外表面时,光透过N区照射到PN结。若光子能量大于硅的禁带宽度,光子能量将被硅晶格吸收,价带电子受激发跃迁到导带,形成自由电子,而价带形成自由空穴,使PN结两边产生电子-空穴对。扩散到PN结的电子-空穴对受E的作用,电子被推向N区,空穴被推向P区,从而产生P为正N为负的电势。若接入一负载,只要有光不断照射,电路中就有

持续电流通过,从而实现光电转换。

三、硅太阳能电池的特性参数

当太阳光照射到硅太阳能电池板时,电池吸收光能,并将吸收的光的能量转化为电能。在无光照时,可将太阳能电池视为一个二极管。测量其加载的正向偏压与通过电流,可得 I_{sc} 电池的暗伏安特性。



当电池短路时,得短路电流 I_{sc} ; 当电池开路时,得开路电压 V_{oc} 。在不同光照条件下,短路电流 I_{sc} 随入射光功率线性增长, V_{oc} 在入射功率增到一定程度后饱和,只略微增加。

当电池接上负载 R 时,在一定光照条件下,改变太阳能负载电阻大小,测量输出电压与输出电流,可得输出伏安特性,如上图所示。

太阳能电池的功率输出为输出电压与输出电流的乘积, $P = UI$ 。

同样电池及光照条件,负载 R 不同时,输出功率 P 是不一样的。 $P-V$ 曲线如图。

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} ,这时的负载电阻为最佳匹配电阻,能量转换效率 η 最高。 η 定义为太阳能电池的最大输出功率与照射到太阳能电池的总辐射能 P_{in} 之比,即: $\eta_s(\%) = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\%$

四、操作步骤

- 列表法处理数据
1. 测量硅太阳能电池的暗伏安特性; (作 $I-V$ 曲线) 王金
 2. 测量硅太阳能开路电压与入射光强度的关系; (作 $V_{oc}-\ln(I_{in})$ 与 $I_{sc}-I_{in}$ 图线)
 3. 测量硅太阳能电池的短路电流与入射光强度的关系; (作 I^2R-R 曲线)
 4. 在保持入射光强度不变的条件下,测定硅太阳能电池输出功率与负载电阻的关系。

注意事项:

1. 在预热光源时,需用遮光罩罩住太阳能电池,以降低太阳能电池的温度,减小实验误差。
2. 光源工作及光闭后的约 1 小时期间,灯罩表面温度高,不可碰。

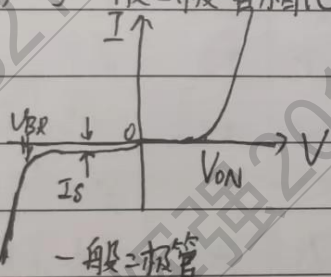
实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

1. 暗伏安特性测量.

i) 单晶硅: 由 $I-V$ 图看出: 当所加正向电压较小时, 电流增长缓慢, 几乎无电流通过, 当到 2V 左右时电流快速增长, 且电流增长速度越来越快。加反向电压时, 电压越大, 电流越大, 近似呈线性关系。

* ii) 非晶硅: 由 $I-V$ 图看出, 非晶硅与单晶硅总体趋势相似, 非晶硅当 $V > 3V$ 后, I 的迅速增大, 但速度小于单晶硅, 而加反向电压时, 电压与电流近似为线性, 但与单晶硅相比电流增长更快。

* iii) 与一般二极管相比, 正向电压下极为相似, 太阳能电池类似二极管存在开启电压, 当 V 越过 V_{on} 后, I 才快速增长。二极管加反向电压存在饱和电流, 即 V 反向增大, $I \rightarrow I_s$ 很小, 且存在击穿电压 V_{BR} , 与硅光电池近似呈线性关系较为不同。

2. V_{oc} 与 I_{sc} 测量

光强 $I_{in} (W/m^2)$	700	382	244	171	128	99	80	65
$\ln(I_{in})$	6.55	5.95	5.50	5.14	4.85	4.60	4.38	4.17
单晶硅	$V_{oc}(V)$	2.68	2.56	2.49	2.42	2.37	2.32	2.26
	$I_{sc}(mA)$	68.7	38.5	24.8	17.5	13.2	10.3	7.0
* 非晶硅	$V_{oc}(V)$	3.22	3.12	3.05	3.00	2.94	2.90	2.84
	$I_{sc}(mA)$	10.8	6.0	3.9	2.8	2.2	1.7	1.2

由图可得 V_{oc} 与 $\ln(I_{in})$ 近似呈线性关系, 其中 V_{oc} 随 $\ln(I_{in})$ 增大而上升的速度, 非晶硅略大于单晶硅, 但两者 V_{oc} 数值较相近; I_{sc} 与 I_{in} 也近似呈线性关系, 其中关于 I_{sc} 随 I_{in} 增大而上升的速度, 单晶硅明显大于非晶硅, 其同一 I_{in} 下, 单晶硅的 I_{sc} 也远大于非晶硅。

3. 硅太阳能电池输出特性实验.

i) 单晶硅

负载电阻 $R(\Omega)$	0	10	20	30	40	50	60	80	100
输出电流 $I(\text{mA})$	71.5	71.1	71.0	65.8	53.8	44.5	37.8	28.9	23.4
$I^2R(\text{W})$	0	0.051	0.101	0.130	0.116	0.099	0.086	0.067	0.055
负载电阻 $R(\Omega)$	150	200	300	400	500	600	700	800	900
输出电流 $I(\text{mA})$	15.8	12.0	8.0	6.0	4.7	4.0	3.4	3.0	2.6
$I^2R(\text{W})$	0.037	0.029	0.019	0.014	0.011	0.010	0.008	0.007	0.006

ii) 非晶硅

负载电阻 $R(\Omega)$	0	50	100	150	200	250	260	280	300
输出电流 $I(\text{mA})$	10.4	10.5	10.4	10.2	10.0	9.4	9.3	8.9	8.6
$I^2R(\text{W})$	0	0.0055	0.0108	0.0156	0.0200	0.0221	0.0225	0.0222	0.0222
负载电阻 $R(\Omega)$	320	340	360	400	500	600	700	800	900
输出电流 $I(\text{mA})$	8.2	7.8	7.5	6.8	5.6	4.7	4.1	3.6	3.2
$I^2R(\text{W})$	0.0215	0.0207	0.0203	0.0185	0.0157	0.0133	0.0118	0.0104	0.0092

如图所示, 单晶硅最佳匹配负载约为 30Ω ; 由原始数据求得: $I_{in} = 700\text{W}/\text{m}^2$ ($\Phi = 15\text{cm}$).

$$\eta_s = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \approx \frac{0.131}{700 \times 0.05^2} \times 100\% \approx 49\%$$

如图, 非晶硅光电池最佳匹配负载约为 260Ω ;

$$\eta_s = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \approx \frac{0.0226}{700 \times 0.05^2} \times 100\% \approx 1.29\%$$

可见, 单晶硅电池的最佳匹配负载一般比非晶硅电池小, 转换效率比非晶硅电池高。

回答问题与实验总结

1. i) 可使用电压表与电流表测出硅太阳能电池的开路电压 V_{oc} 与短路电流 I_{sc} , 则可估算最佳负载为 $\frac{V_{oc}}{I_{sc}}$ 。若进一步, 可搭建电路, 在估计值附近微调阻值, 通过测 I , 计算 $I^2 R$ 来求出最佳负载。ii) 由戴维南定理相关内容, 我们可用 $\frac{V_{oc}}{I_{sc}}$ 求出电池的等效电阻, 又由最大功率传输定理知, 可负电阻 R_L 等于电源等效内阻时, 功率最大。

2. 由以上讨论知: ① 无光照时, 加正向电压条件下, I 随 V 增长而增长的速度, 非晶硅电池速度较慢于单晶硅电池, 加反向电压条件下, 非晶硅电流变化快。② V_{oc} 随 I_{in} 增大而增大的速度, 非晶硅电池略大于单晶硅电池, I_{sc} 随 I_{in} 增大速度, 单晶硅明显大于非晶硅。

③ 单晶硅电池最佳匹配负载比非晶硅电池的小, 且单晶硅电池转换效率大于非晶硅电池。

总结: 电路的连接一定要正确, 本次实验刚开始在连电路时走了较多弯路, 但最终正确连接了电路, 将数据纠正了回来, 锻炼了动手操作能力。这次实验使我更深刻了解了硅光电池的工作原理、伏安特性、负载等特性, 也通过查阅资料了解了硅光电池的广泛应用。总之, 在老师和同学们的帮助下, 我解决了许多问题, 收获良多。

任课教师指导意见

实验 3.6 硅太阳能电池的光照特性

姓名 吴辉强 合作者 李伟泽 班级 2018211128 教师 王鑫老师 实验时间 2019.10.18 实验组号

一、预习要点

1. 硅太阳能电池的基本特性;
2. 硅太阳能电池的特性曲线的测量方法;
3. 太阳能电池仪的使用。

二、实验注意事项

1. 在预热光源时,需要用遮光罩罩住太阳能电池,以降低太阳能电池的温度,减小实验误差;
2. 实验中及实验结束后一段时间内,灯罩表面的温度都比较高,请不要触摸;
3. 实验中硅太阳能电池的正、负极不要弄错;
4. 注意不要用手触摸太阳能电池表面。

三、实验内容

1. 硅太阳能电池的暗伏安特性测量;
2. 测量硅太阳能电池开路电压与入射光强度的关系;
3. 测量硅太阳能电池的短路电流与入射光强度的关系;
4. 在保持入射光强不变的条件下,测定硅太阳能电池输出功率与负载电阻的关系。

四、数据表格

1. 硅太阳能电池的暗伏安特性测量

注意:电阻箱调至 50Ω 后串连进电路,用遮光罩罩住太阳能电池。

表 1-1 单晶硅太阳能电池的暗伏安特性

电压 $V(V)$	0.00	1.88	2.02	2.26	2.36	2.42	2.54	2.62	2.68
电流 $I(mA)$	0.00	0.504	1.015	1.540	2.070	2.510	3.000	3.000	40.0
电压 $V(V)$	2.73	2.75	2.80	2.83	2.86	2.88	2.90	2.91	-2.00 -4.00 -6.00 -8.00
电流 $I(mA)$	50	60	70.1	80.0	90.0	100.0	110.1	114.8	-0.02 -0.04 -0.08 -0.16

表 1-2 非晶硅太阳能电池的暗伏安特性 (选作)

电压 $V(V)$	0.00	2.71	2.94	3.22	3.35	3.42	3.61	3.74	3.87
电流 $I(mA)$	0.000	0.501	1.013	4.0	7.0	10.0	20.0	30.0	40.0
电压 $V(V)$	3.96	4.06	4.15	4.22	4.27	-2.00	-4.00	-6.00	-8.00
电流 $I(mA)$	50.0	60.2	70.1	80.0	90.88	-0.055	-0.156	-0.352	-0.753

2. 硅太阳能电池开路电压与短路电流与光强关系测量

注意:光源开关,预热 5 分钟,再进行测量。

北京邮电大学物理实验要求及原始数据表格

表 2-1 硅太阳能电池开路电压与短路电流随光强变化关系

距离 L (cm)		15	20	25	30	35	40	45	50
光强 I_{in} (W/m^2)		700	382	244	171	128	99	80	65
单晶硅	开路电压 V_{oc} (V)	2.68	2.56	2.49	2.42	2.37	2.32	2.29	2.26
	短路电流 I_{sc} (mA)	68.7	38.5	24.8	17.5	13.2	10.3	8.4	7.0
非晶硅 (选作)	开路电压 V_{oc} (V)	3.22	3.12	3.05	3.00	2.94	2.90	2.86	2.84
	短路电流 I_{sc} (mA)	10.8	6.0	3.9	2.8	2.2	1.7	1.4	1.2

3. 硅太阳能电池输出特性实验

注意：在一定光照强度下 ($L=15cm$ 处)，测量两种硅太阳能电池的输出特性。

表 3-1 单晶硅太阳能电池的输出特性

负载电阻 $R(\Omega)$	0	10	20	30	40	50	60	80	100
输出电流 I (mA)	71.5	71.1	71.0	65.8	53.8	44.5	37.8	28.9	23.4
负载电阻 $R(\Omega)$	150	200	300	400	500	600	700	800	900
输出电流 I (mA)	15.8	12.0	8.0	6.0	4.7	4.0	3.4	3.0	2.6

表 3-2 非晶硅太阳能电池的输出特性 (选作)

负载电阻 $R(\Omega)$	0	50	100	150	200	250	260	280	300
输出电流 I (mA)	10.4	10.5	10.4	10.2	10.0	9.4	9.3	8.9	8.6
负载电阻 $R(\Omega)$	320	340	360	400	500	600	700	800	900
输出电流 I (mA)	8.2	7.8	7.5	6.8	5.6	4.7	4.1	3.6	3.2

教师签字 王金

五、数据处理要求

1. 用列表法处理数据，作硅太阳能电池的 $I-V$ 曲线并写出结论；
2. 用列表法处理数据，作硅太阳能电池的 $V_{oc}-\ln(I_{in})$ 图线与 $I_{sc}-I_{in}$ 图线并写出结论；
3. 用列表法处理数据，作硅太阳能电池的功率曲线 (I^2R-R 曲线；找出最佳匹配负载；计算转换效率 η_s 。入射到太阳能电池板上的光功率 $P_{in}=I_{in}\times S_l$ ， S_l 为太阳能电池板面积 (本实验电池面积为 $5cm\times 5cm$)。

六、思考题

1. 如何快速判断硅太阳能电池的最佳负载？为什么？
2. 比较两种硅光电池的特性差异 (选作)。

1. 暗伏安特性测量

5

10

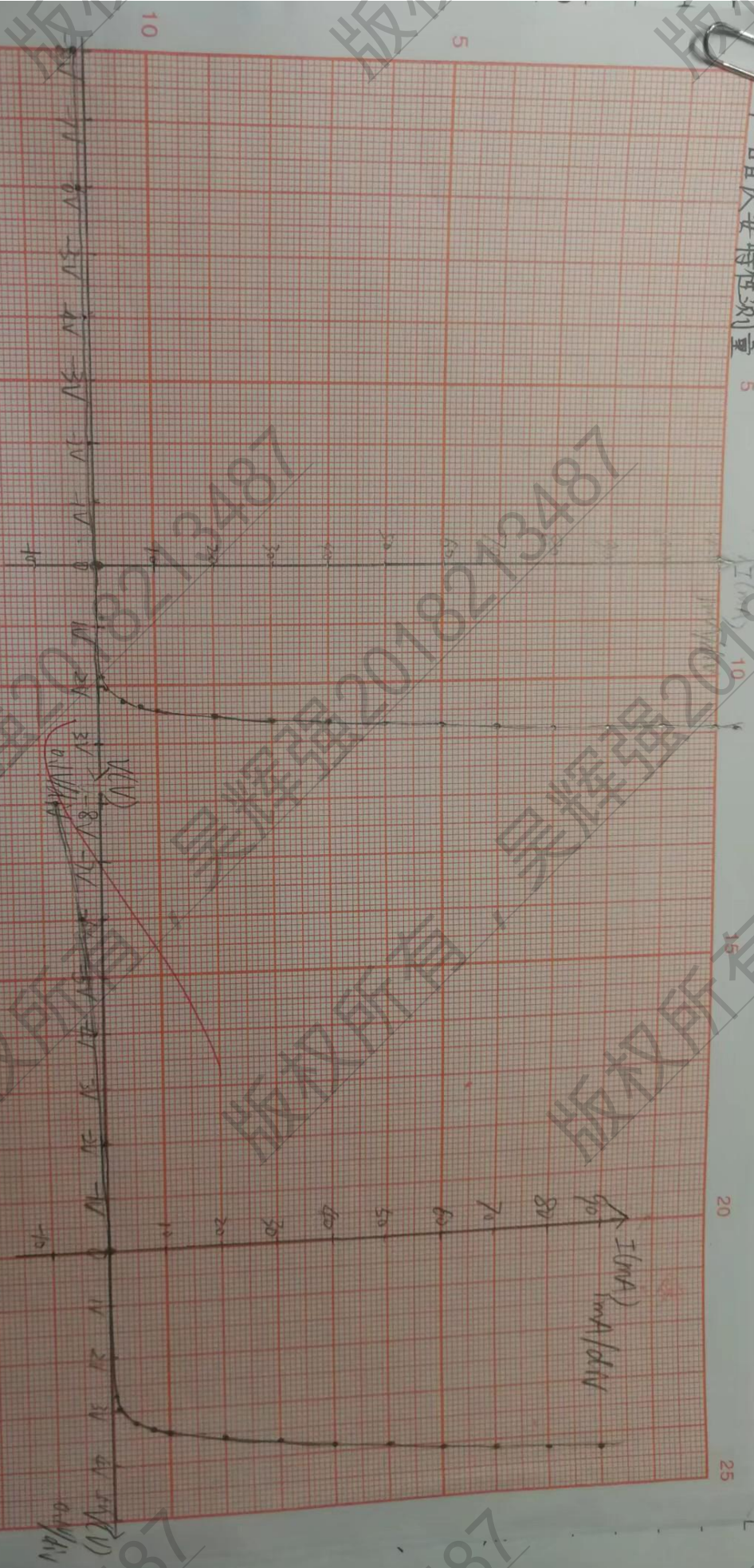
15

20

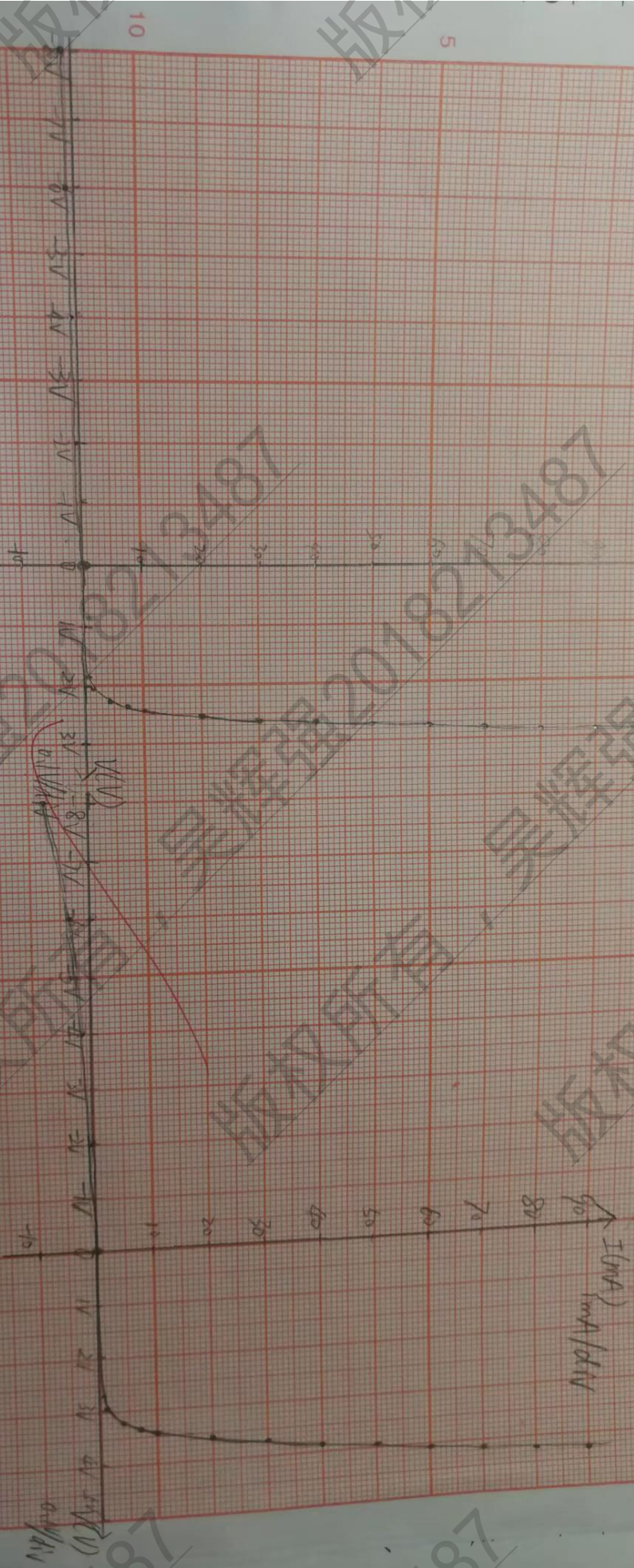
25

非晶硅 (选作)	开路电压 V_{oc} (V)	短路电流 I_{sc} (mA)
	3.22	10.8
	3.12	6.0
	3.05	3.9
	3.00	2.8
	2.94	2.2
	2.90	1.7
	2.86	1.4
	2.84	1.2

单晶硅 I-V 图



(*) 非晶硅 I-V 图



40	50	60	80	100
----	----	----	----	-----

2. V_{oc} 与 I_{sc} 测量

单晶硅	开路电压 V_{oc} (V)	短路电流 I_{sc} (mA)
1	2.68	68.7
2	2.56	38.5
3	2.49	24.8
4	2.47	17.5
5	2.44	13.2
6	2.44	10.3
7	2.44	8.4
8	2.44	7.0

I_{sc} (mA)

20

25

单晶硅 $V_{oc} - I_{sc}$ 测量

0.05 V/div

V_{oc} (V)

(*) 非晶硅 $V_{oc} - I_{sc}$ 测量

0.05 V/div

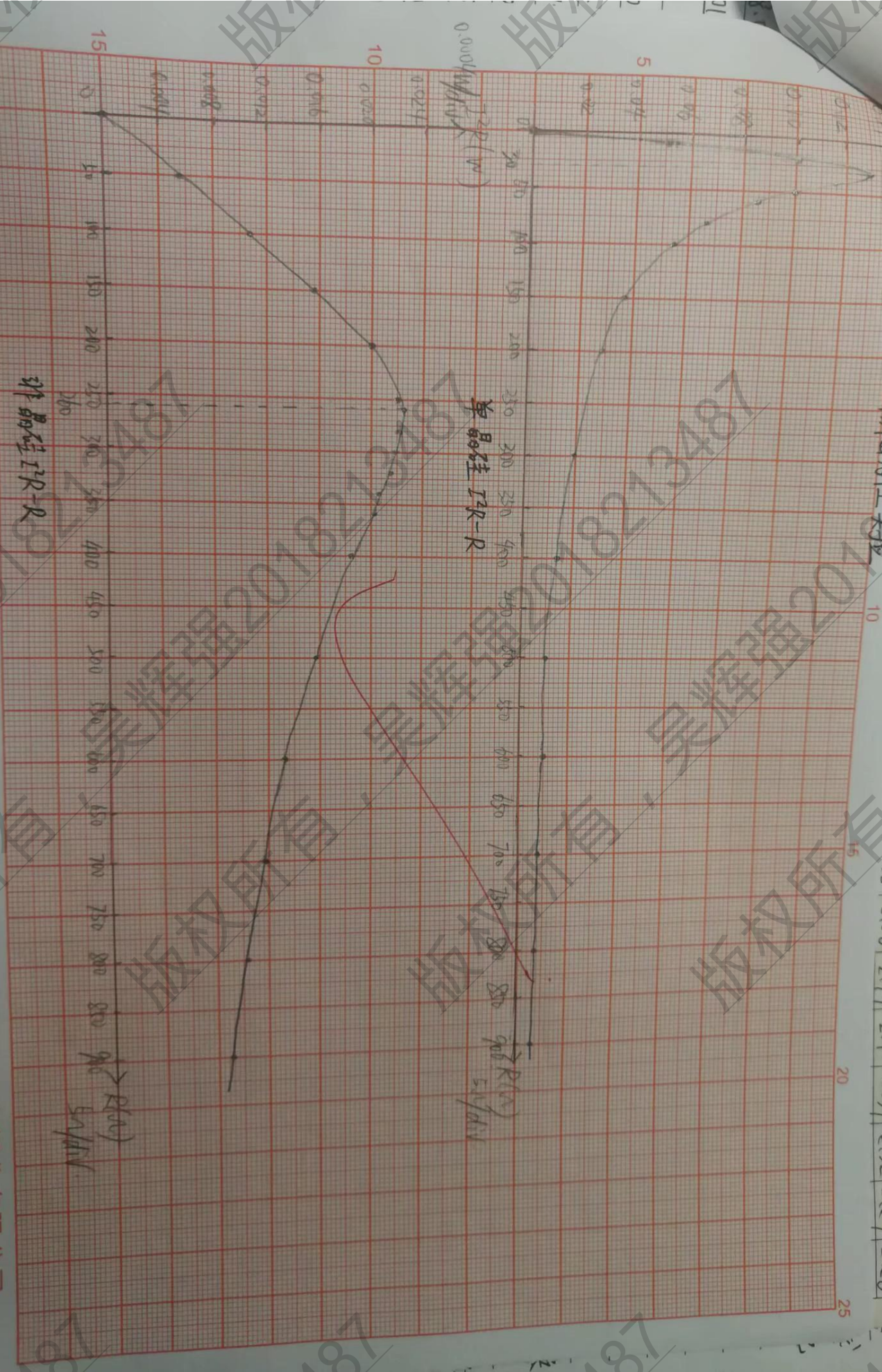
0.2 mA/div

单晶硅 $I_{sc} - I_m$

10 A/m²/div

10 A/m²/div

3. 硅太阳能电池输出特性实验



光强 I_0 (W/m^2)	700	382	244	171	128	99	80	65
开路电压 V_{oc} (V)	2.68	2.56	2.49	2.42	2.37	2.32	2.29	2.26

17X25厘米

标准计算纸

上海小画家纸业有限公司