

# Optimization of Amorphous Silicon Thin Film Solar Cells Production Process

Caina Wang<sup>1</sup>, Ning Zhang<sup>1</sup>, Dongan Yu<sup>2</sup>, Meiyang Qiu<sup>2</sup>, Ziran Liu<sup>1</sup>, Hexiang Zou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hanergy Tech. Co., Beijing; <sup>2</sup>Tianjin Jinneng Solar Cell Co., LTD, Tianjin

Email: wangcaina@126.com

Received: Mar. 15th, 2011; revised: Mar. 28th, 2011; accepted: Mar. 29th, 2011.

**Abstract:** During the glass substrate amorphous silicon thin film solar cell production process, the laser scribe 2, sputtering AZO back reflected film, sputtering Al film, and laser scribe 3 etc. processes, have great effect on the maximum power (Pmax) of the solar cell. In this paper, we use Minitab software to design factorial experiment and optimize the process parameters. By analyzing the experimental data, we get the conclusion that, between an acceptable range, the sputtering power of Al film has the greatest effect on the Pmax of the solar cell, which increases while the sputtering power increases, and the Pmax increases as the current of laser scribe 3, sputtering power of Al films and flux of Ar increase. Otherwise, Pmax decreases as the current of laser scribe 2 increases. By using the factorial experiment, we get the optimum parameters of the process for the present production line.

**Keywords:** Thin Film Solar Cell; Production Process; Laser Scribe; Sputtering; Optimization

## 非晶硅薄膜太阳能电池生产工艺的优化

王彩娜<sup>1</sup>, 张宁<sup>1</sup>, 于冬安<sup>2</sup>, 邱美艳<sup>2</sup>, 刘自然<sup>1</sup>, 邹贺祥<sup>1</sup>

<sup>1</sup>汉能科技有限公司, 北京; <sup>2</sup>天津市津能电池科技有限公司, 天津

Email: wangcaina@126.com

收稿日期: 2011年3月15日; 修回日期: 2011年3月28日; 录用日期: 2011年3月29日

**摘要:** 在玻璃衬底非晶硅薄膜太阳能电池的生产工艺中, 第二道激光刻划、溅射 AZO 背反射膜, 溅射 Al 背电极及第三道激光刻划等工序, 对电池板输出功率有着重要影响。本研究通过 Minitab 软件设计因子试验, 针对玻璃衬底非晶硅薄膜太阳能电池生产工艺参数进行优化。试验结果表明, 在一定范围内, Al 背电极溅射功率对电池板功率影响最大, 随着溅射功率的增大电池板功率增加; 随着第三道激光刻划电流、AZO 背反射膜溅射功率以及 Ar 流量的增加, 电池板输出功率增加; 而随着第二道激光刻划电流的增加电池板功率下降。最后得到最佳的生产工艺参数。

**关键词:** 薄膜太阳能电池; 生产工艺; 激光刻划; 溅射; 优化

### 1. 引言

非晶硅薄膜太阳能电池具有生产成本低、工艺简单、节省硅原材料等优点, 然而, 随着近年来晶体硅价格的大幅度下降, 非晶硅薄膜太阳能电池的成本优势已不再明显<sup>[1,2]</sup>。为提高产品竞争力, 可通过原材料国产化降低生产成本, 也可通过优化生产工艺提高光电转换效率和成品合格率<sup>[3]</sup>。非晶硅薄膜太阳能电池生产工艺

主要包括玻璃清洗、激光划线、a-Si: H 薄膜沉积、溅射镀膜、箔焊接、测试封装等工序, 这当中又以 a-Si: H 薄膜沉积最为关键。a-Si: H 薄膜采用等离子体增强化学气相沉积法(PECVD)制备, 其配方对太阳能电池的转换效率和光致衰退起着关键作用。第二道激光刻划、溅射 AZO 背反射膜、溅射 Al 背电极及第三道激光刻划等工序也影响和制约着电池板输出功率及产品合格率。本研究是在 PECVD 配方已优化的前提下, 针对第二道激光

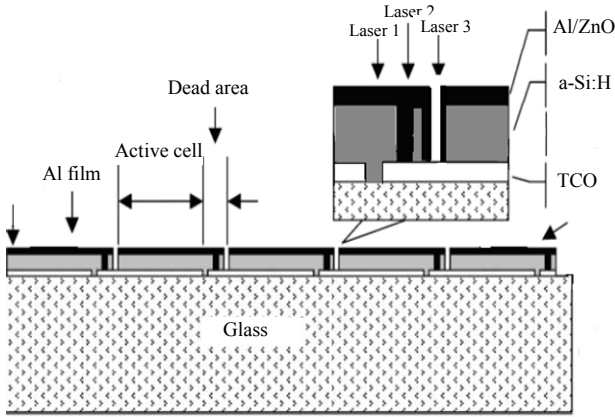


Figure 1. Structure of amorphous silicon thin film solar cell  
图 1. 非晶硅薄膜太阳能电池结构示意图

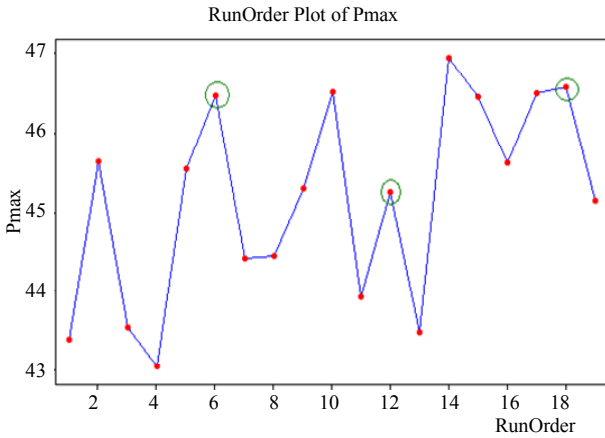


Figure 2. Plot of Pmax versus experimental serial  
图 2. 最大功率与试验序列的关系图

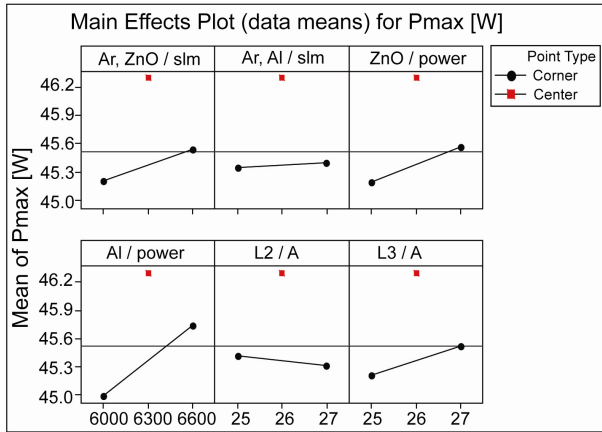


Figure 3. Main effect of Pmax  
图 3. Pmax 主效应图

刻划、溅射AZO背反射膜、溅射Al背电极及第三道激光刻划等工序的工艺参数进行优化，以达到优化整个工序工艺参数的目的。

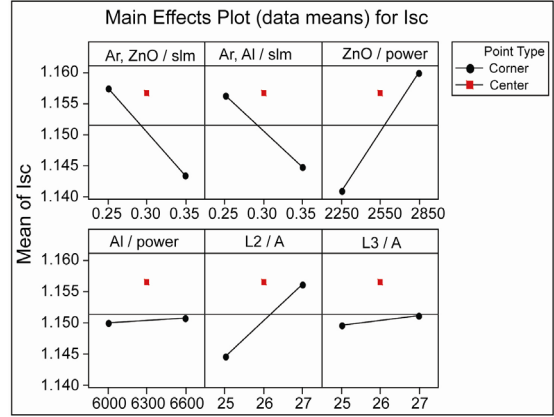


图 3、4 中，Ar, ZnO/slm, Ar, Al/slm 分别表示溅射 ZnO 和 Al 膜时的 Ar 气流量，ZnO/power, Al/power 分别表示溅射 ZnO 和 Al 膜时的溅射功率，L2/A, L3/A 分别表示第二和第三道激光刻划电流

Figure 4. Main effect of Isc  
图 4. Isc 主效应图

## 2. 试验

图 1 所示为非晶硅薄膜太阳能电池的结构，整个电池通过激光刻划形成若干子电池串联的结构，这种方法减弱了电池板的“尺寸效应”，即电池材料的横向不均匀性导致旁路电导以及透明电极的横向电阻导致串联电阻随电池面积的增大而增大。

在确定激光刻划 2，激光刻划 3，溅射 AZO 背反射膜及溅射 Al 背电极等工序要优化的工艺参数及其范围后，用 Minitab 设计析因试验，如表 1 所示。析因试验法是研究变动着的两个或多个因素效应的有效方法，用 Minitab 设计试验时，选取 3 个中心点，中心点是因子取值上下限的中间值，将其均匀分布在试验表中，通过分析中心点的试验数据可以判定试验重复性的好坏。

每组试验做 24 块样品，试验后测组件的最大功率 Pmax，短路电流 Isc，开路电压 Voc 等电性能，剔除异常数据后取其平均值，把平均值填入表格 1 中。

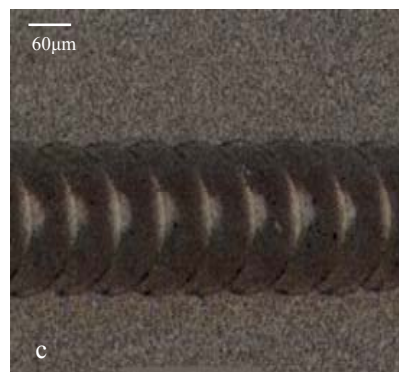
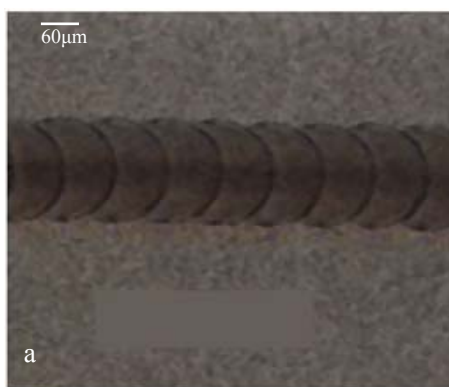
## 3. 试验数据及讨论

组件最大功率 Pmax 与试验序列的关系如图 2 所示。图中标出的三个位置是中心点，中心点是重复试验，输出量应基本稳定在同一水平。从图 2 看出第二个中心点位置的输出量稍有偏离，说明试验过程中可能有些问题，虽然单个数据不能直接下结论，但对试验者来说要检查该次试验过程中变化的条件<sup>[4]</sup>。

Pmax 和 Isc 的因子主效应图分别如图 3 和图 4 所

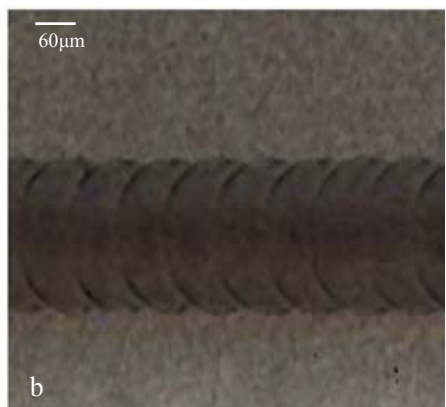
Table 1. Experimental serial  
表 1. 试验序列表

runorder	Ar, ZnO/slm	Ar, Al/slm	ZnO/power (W)	Al/power (W)	L2 /A	L3/A	Voc/V	Isc/A	Pmax/W
1	0.35	0.35	2850	6000	27	25			
2	0.35	0.25	2850	6600	25	25			
3	0.25	0.25	2850	6000	27	27			
4	0.35	0.25	2250	6000	27	25			
5	0.25	0.25	2850	6600	27	25			
6	0.3	0.3	2550	6300	26	26			
7	0.25	0.35	2850	6000	25	25			
8	0.35	0.25	2250	6600	27	27			
9	0.25	0.25	2250	6600	25	27			
10	0.35	0.35	2250	6600	25	25			
11	0.25	0.35	2250	6600	27	25			
12	0.3	0.3	2550	6300	26	26			
13	0.25	0.35	2250	6000	27	27			
14	0.25	0.35	2850	6600	25	27			
15	0.35	0.35	2250	6000	25	27			
16	0.25	0.25	2250	6000	25	25			
17	0.35	0.25	2850	6000	25	27			
18	0.3	0.3	2550	6300	26	26			
19	0.35	0.35	2850	6600	27	27			



图中 a, b, c 分别表示激光刻划电流为 25 A, 26 A, 27 A 时的刻划线形貌图

Figure 5. Morphology of laser scribing 2 using different current  
图 5. 不同电流时第二道激光刻划后的薄膜表面形貌



示。主效应图中直线斜率绝对值的大小表示该因子对输出量影响的大小。由图3可见, Al溅射功率对电池板输出功率影响最大, 随着溅射功率的增加, 电池板输出功率增加。其原因是溅射功率增大导致铝膜质量改善, 质量差的Al膜不能有效的收集电流, 并且附着力差, 容易脱落。因此, 适当提高溅射功率能有效提高电流收集效果, 从而提高电池板的输出功率。

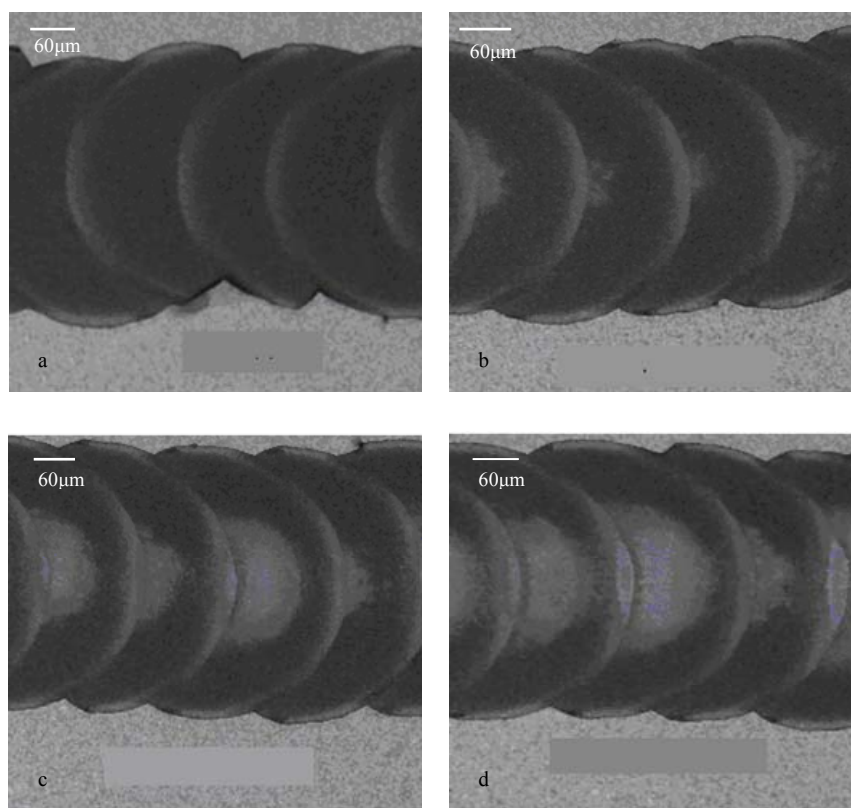


图 6 中 a, b, c, d 分别表示刻划电流为 24 A, 26 A, 28 A, 29 A 时的刻划线形貌图

Figure 6. Morphology of laser scribing 3 using different current  
图 6. 不同电流时第三道激光刻划后的薄膜表面形貌

背电极处的 AZO 膜在电池板中有增加反射的作用，从而增大电池的短路电流，提高电池转换效率。AZO 膜厚度随着溅射功率的增大而增加，随着 AZO 厚度的增加，薄膜的结晶质量提高，载流子浓度增加，电阻率下降<sup>[5]</sup>。因此，提高 AZO 膜的溅射功率可提高电池转换效率。由图 3 和 4 可见，氩气流量对薄膜的形貌和光电性能也有着重要影响，随着氩气流量的增大，AZO 膜的载流子迁移率下降，电阻率显著升高<sup>[6]</sup>，导致电池的短路电流降低，从而导致电池效率降低。

图 5 所示为不同电流时第二道激光刻划后的薄膜表面形貌。第二道激光刻划的作用是去除 a-Si: H 膜，使电池的正负极连通，形成若干子电池的串联结构。第二道激光刻划线如有未断点不会对电池整体输出性能造成很大影响。由图 5 可见，随着激光刻划电流增大，刻划线中间出现白色斑点，这是由于 SnO<sub>2</sub> 膜损坏所致，因此，第二道激光刻划线的电流设置不宜过大，试验结果表明控制在为 24 A~25 A 范围较好。

图 6 所示不同电流时第三道激光刻划后的薄膜形

貌。第三道激光刻划的作用是把连在一起的电池板负极切断，即把 a-Si: H 膜连同 AZO 膜及 Al 膜一同去除，一般采用 532 nm 波长激光。此时如果移除不彻底，会导致子电池的负极相连，造成电池板开路电压降低。因此，第三道激光刻划的能量要足够大。从图 6 看出，当激光电流为 26 A 时，在激光光斑中间已出现 SnO<sub>2</sub> 损坏的小斑点，随着电流的增大这种斑点逐渐增大，电流增大到 29 A 时这种斑点已经很大，这种 SnO<sub>2</sub> 表面结构的破坏易引起漏电，所以第三道激光的刻划电流应适度，从试验结果看控制在 26 A~27 A 范围较好。

#### 4. 结论

通过前面的析因试验可知：适当增加 AZO 和 Al 薄膜的溅射功率，以及 Ar 流量都能提高电池板输出功率；第二道激光刻划电流增加使电池输出功率下降；第三道激光刻划电流增加电池输出功率提高。

优化后的工艺参数为：第二道激光刻划电流为 24 A~25 A；ZnO 薄膜溅射功率为 3000 W，其氩气流量为 0.3 slm；Al 背电极溅射功率为 6600 W，其氩气流量为 0.4 slm；第三道激光刻划电流为 26 A~27 A。

## 5. 致谢

感谢天津市津能电池科技有限公司提供的试验和测试平台，感谢于冬安高工、邱美艳工程师对本试验的支持和帮助，感谢张宁博士和敖建平教授对本论文提出的建议和修改。

## 参考文献 (References)

- [1] K. Yamamoto, A. Nakajima, M. Yoshimi, et al. A high efficiency thin film silicon solar cell and module. *Solar Energy*, 2004, 77(6): 939-949.
- [2] 薛俊明, 麦耀华, 赵颖等. 薄膜非晶硅/微晶硅叠层太阳电池的研究[J]. *太阳能学报*, 2005, 26(2): 166-169.
- [3] 国金证券. 薄膜电池行业研究报告[EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/94657a8884868762caaed518.html>, 2010-08-25.
- [4] 马林, 何桢. 六西格玛管理[M].北京: 中国人民大学出版社, 2007: 296-400.
- [5] U. Manna, J. Yoo, S. K. Dhungel, et al. The Effect of the Thickness of a ZnO: Al Back Reflector on the Performance of p-i-n Thin-Film Solar Cells. *Journal of the Korean Physical Society*, 2005, 46(6): 1378-1382.
- [6] 付恩刚, 方玲, 庄大明等. 绒面ZnO: Al(ZAO)透明导电薄膜的制备[J]. *太阳能学报*, 2003, 24(5): 672-676.