

文章编号: 1001-3806(2011)02-0160-03

## 非晶硅薄膜太阳能电池激光除边工艺研究

王中<sup>1,2</sup>, 何里<sup>2</sup>, 卢飞星<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学激光加工国家工程研究中心, 武汉 430074; 2. 武汉华工激光工程有限责任公司, 武汉 430223)

**摘要:** 为了解决在非晶硅薄膜太阳能电池的制备中, 喷砂除边工序存在污染大、加工一致性不佳等问题, 使用 1064nm 脉冲光纤激光器, 在加工速率 3500mm/s、功率 30W、重复频率 80kHz、填充线间距 0.05mm 的参量下, 完成了激光除边, 获得了清除区电阻大于 1000MΩ 的样品。根据实验效果确定了最佳光斑交叠比,  $x$  和  $y$  方向的最佳比值分别为 0.83 和 0.88。结果表明, 激光功率足够时, 光斑交叠情况会明显影响除边的效率和效果, 扫描速率应与重复频率和填充线间距匹配, 从而在最佳效率下获得理想的加工效果。

**关键词:** 激光技术; 非晶硅薄膜太阳能电池; 激光除边; 脉冲光纤激光器; 光斑交叠比

**中图分类号:** TN249 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2011.02.005

## Research of laser edge deletion technology of a-Si: H thin film solar cell

WANG Zhong<sup>1,2</sup>, HE Li<sup>2</sup>, LU Fei-xing<sup>2</sup>

(1. National Engineering Research Center for Laser Processing, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Wuhan Huagong Laser Engineering Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

**Abstract:** In the manufacture of a-Si: H thin film solar cell, sandblasting edge deletion has some disadvantages of pollution and poor conformity. Laser edge deletion was carried out with a 1064nm pulsed fiber laser under the conditions of 3500mm/s scan speed, 30W output power, 80kHz frequency and 0.05mm line space. The resistance of the specimen was larger than 1000MΩ. The best beam spot overlap ratio was acquired according to the experimental results, and the ratio in  $x$  and  $y$  direction was 0.83 and 0.88 respectively. It showed that beam spot overlap status influenced deletion efficiency and effect obviously with enough output power. Scan speed should match with frequency and line space to obtain the best processing effect with the optimal efficiency.

**Key words:** laser technique; a-Si: H thin film solar cell; laser edge deletion; pulsed fiber laser; beam spot overlap ratio

### 引言

太阳能作为低碳环保的新能源, 是 21 世纪新能源研究的热点之一。太阳能电池主要分为晶硅和非晶硅电池两大类。晶硅太阳能电池转换效率高, 澳大利亚新南威尔士大学制得的单晶硅电池转换效率达 24.7%<sup>[1]</sup>, 德国夫朗和费太阳能系统研究所制得的多晶硅电池转换效率为 20%<sup>[2]</sup>, 日本三菱公司制备的多晶硅电池效率为 17%<sup>[3]</sup>。晶硅太阳能电池成本价格高, 其成本很难大幅降低。非晶硅薄膜太阳能电池转换效率较低, 实验室转换效率只有 13%<sup>[4]</sup>, 但工艺成熟、成本较晶硅低廉、制备方便, 适于大规模生产。

除边处理是非晶硅薄膜太阳能电池制备中的一道工序, 目的是将薄膜太阳能电池板边缘特定区域的导

电膜层清除, 方便整块电池板的封装。目前国内工业界常见的除边方法主要是喷砂除边。其优势在于成本低廉, 但会产生大量粉尘, 环境污染大。使用金刚砂打磨会损伤基板, 清除膜层时很难保证均匀, 容易发生残留。循环使用的金刚砂会混入未过滤掉的导电膜层残渣, 下一轮加工时, 这些残渣可能会附着在基板上, 降低清除区的隔离电阻。激光除边为非接触性, 可保证均匀加工, 清除区隔离电阻高, 对玻璃基板损伤小, 不会产生划伤, 加工产品外表美观。激光除边环境污染小, 仅需普通抽风装置处理被清除的膜层粉尘即可。本文中使用的激光除边方法, 研究了不同的工艺参量对清除效果的影响, 在优化参量下制得了性能良好的样品。

### 1 激光除边原理

#### 1.1 激光对导电膜层的作用

非晶硅薄膜太阳能电池通常为叠层结构, 玻璃基板上沉积了透明导电膜 (transparent conductive oxide, TCO) 层、非晶硅层 (a-Si 层) 和背电极层 (Al/ZnO 层) 3

作者简介: 王中 (1965-), 男, 高级工程师, 主要从事激光加工成套技术的研究。

E-mail: wzhong@public.wh.hb.cn

收稿日期: 2010-05-10; 收到修改稿日期: 2010-05-31

层薄膜,其中非晶硅层通过磁控溅射法沉积<sup>[5]</sup>。激光除边是将这3层薄膜全部清除并且不损伤玻璃基板。

由于TCO层对可见光透明,使用红外激光进行清除效率较高。背电极层为铝和锌的氧化物,也可以使用红外激光加工<sup>[6]</sup>。非晶硅的吸收光谱在300nm~1400nm之间<sup>[7]</sup>,其吸收峰位于500nm左右的绿光波段,红外波段(1064nm)的吸收率较峰值下降约50%。为降低设备成本,仍使用同一台红外激光器,但功率必须足够加工该层<sup>[8]</sup>。

由于激光直接照射导电膜层的热效应严重,会引起非晶硅熔化和再沉积,使电池板性能劣化,所以激光通常从基板未镀膜的一面入射<sup>[9]</sup>。

### 1.2 光斑交叠比

激光除边的效果可以用扫描光斑的交叠情况描述,即光斑交叠比 $w$ :

$$w_x = \frac{s}{d} \quad (1)$$

$$w_y = \frac{v}{f d} \quad (2)$$

式中, $w_x$ 为垂直于扫描方向的交叠比, $s$ 为填充线间距, $d$ 为光斑直径,单位均为mm。 $w_y$ 为沿着扫描方向的交叠比, $v$ 为扫描速率,单位为mm/s, $f$ 为激光重复频率,单位为Hz。 $x$ 和 $y$ 方向的光斑交叠如图1所示。

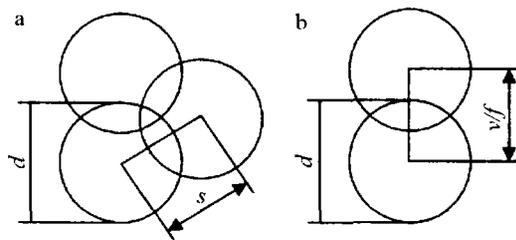


Fig. 1 Beam spot overlap

a—overlap in x direction overlap b—overlap in y direction

$x$ 方向的光斑应交错排列,为避免斜向光斑间空隙过大,留下未清除的膜层,所以 $w_x$ 在 $1/2 \sim \sqrt{3}/2$ 之间取值较合适。 $y$ 方向的光斑不应相离,否则会有未清除净的膜层,影响清除区电阻。当 $w_y = 1$ 时,光斑外缘相接,为避免膜层残留, $w_y$ 应小于1。而 $w_y$ 也不宜过小,否则会降低扫描速率,影响加工效率,最佳交叠比可以通过实验确定。

## 2 激光除边工艺研究

### 2.1 实验设备

除边工序要求清除区电阻大于1000MΩ,不能损伤玻璃基板,并且速率尽可能高。实验中设备采用自产30W脉冲光纤激光器,搭配国产振镜及直线电机驱动工作台。设备参量如表1所示,输出功率和脉宽测量值以及设备照片如图2、图3所示。

Table 1 Device parameters

wavelength	max output power	frequency	pulse width	beam quality	galvanometer aperture	max scanning speed	$f$ - $\theta$ focal length
(1064 ± 1) nm	30W	(20 ~ 80) kHz	> 110ns	$M^2 < 1.2$	10mm	6000mm/s	254mm

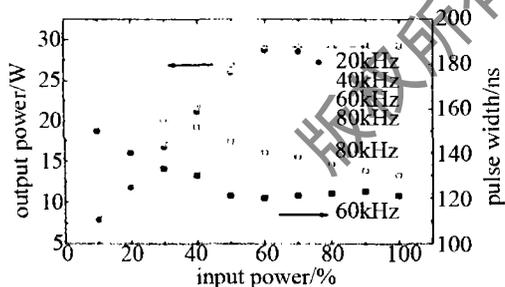


Fig. 2 Measured value of power and pulse width

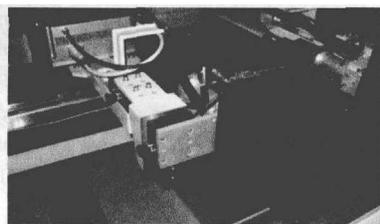


Fig. 3 Device photo

聚焦光斑直径约0.05mm~0.06mm,选择填充线间距为0.05mm,填充方式为交错填充,此时 $x$ 方向交叠比 $w_x = 0.83$ 。从图2可知,重复频率对于平均功率的影响很小,对脉冲宽度的影响较小,所以,激光器参

量设置为输入功率100%,重复频率80kHz。

### 2.2 实验研究

使用不同的扫描速率对非晶硅薄膜太阳能电池板样品进行了加工,清除区放大照片如图4所示,放大倍率为200倍。



Fig. 4 Specimen photos(200 ×)

a—2000mm/s b—2500mm/s c—3000mm/s d—3500mm/s e—4000mm/s f—5000mm/s

从图4a可以看出,2000mm/s速率时清除区域非常理想,整个区域均匀性和一致性很高,填充线间残留膜层痕迹很浅。这种浅色膜层是透明导电膜经过红外

激光作用后形成的,已经失去了原有的导电特性,此时交叠比  $w_x = 0.5$ 。图 4b 中,2500mm/s 速率时清除区域也非常理想,此时  $w_y = 0.63$ 。但某些填充线间残留膜层痕迹较 2000mm/s 时明显,原因在于激光光斑横模为高斯分布,而填充线间的部分受光斑边缘照射,样品的透明导电膜层也不能保证完全均匀,所以可能部分残留。图 4c 和图 4d 中,3000mm/s 及 3500mm/s 速率时该膜层的残留更加明显,但从电阻测试结果来看,这种程度的残留仍然可以保证电阻大于 1000M $\Omega$ ,在允许范围以内,此时交叠比  $w_y$  为 0.75 和 0.88。4000mm/s 速率是交叠比  $w_y = 1$  的临界点,即光斑外缘相接。从图 4e 中可以看到,虽然纵向加工区域的膜层基本除净,但某些填充线间已出现了深色的非晶硅膜层,这些填充线横向实际间距大于 0.05mm 并且已经不是交错填充,而是近似于纵向的平行填充,此时电阻下降至 700M $\Omega$ 。这是由于填充设置参量虽然不变,但振镜的重复定位精度随速率的提高而下降造成的。5000mm/s 速率时,激光器的重复频率已经与速率不匹配,交叠比  $w_x = 1.25 > 1$ ,纵向和横向的激光光斑均已分离,排布无明显规律,如图 4f 所示。此时非晶硅膜层未除净,电阻 300M $\Omega$ ,不满足除边工序的要求。

### 2.3 实验结果

使用 1kV 兆欧表测量清除区电阻,得到的电阻值与扫描速率关系曲线如图 5a 所示,最高扫描速率为 3500mm/s 时可以满足要求。获得的样品照片如图 5b 所示,样品边长 13cm,清除区宽 1.5cm。

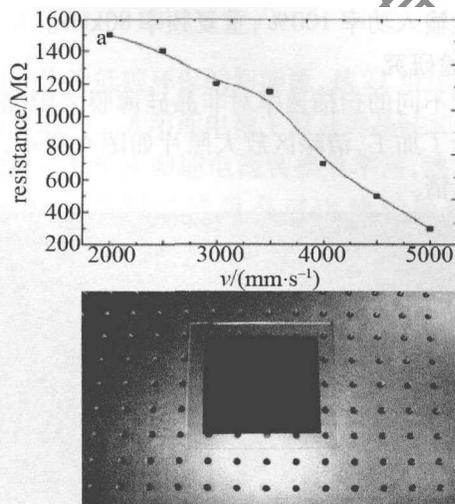


Fig.5 Resistance and photo of the specimen  
a—measured value of resistance b—specimen photo

### 3 结论

使用激光除边方法完成了非晶硅薄膜太阳能电池制备中的除边工序,对该方法进行了理论探讨和工艺研究。(1)以光斑交叠比描述除边效果。使用 1064nm 脉冲光纤激光器,在 3500mm/s 扫描速率、30W 功率、80kHz 重复频率、填充线间距 0.05mm 的参量下完成了激光除边。(2)获得了清除区电阻大于 1000M $\Omega$  的电池板样品,确定最佳光斑交叠比为  $w_x = 0.83$ ,  $w_y = 0.88$ 。(3)后续改进方向主要是提高扫描速率,可通过换用大功率激光器、增大焦斑面积、减少扫描次数等方法来实现,这有待进一步的研究。

### 参考文献

- [1] GREEN M A, EMERY K, HISHIKAWA Y, *et al.* Solar cell efficiency tables[J]. *Progress in Photovoltaics: Research and Application*, 2009, 17(5): 320-326.
- [2] SCHULTZ O, GLUNZ S W, WILLEKE G P. Multicrystalline silicon solar cells exceeding 20% efficiency[J]. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2004, 12(7): 553-558.
- [3] NAKATANI M, KARAKIDA S, MORIKAWA H, *et al.* Investigation of rapid thermal firing for high efficiency of large area multi-crystalline Si solar cells[C]//2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. Waikoloa, Hawaii, America: IEEE, 2006: 1234-1237.
- [4] DENG X M. Optimization of a-SiGe based triple, tandem and single-junction solar cells[C]//Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Lake Buena Vista, FL, America: IEEE, 2005: 1365-1370.
- [5] LUO Sh Y, FENG L, WANG H, *et al.* Study on the preparation of amorphous silicon film and its crystallization property[J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 2008, 37(5): 1191-1194 (in Chinese).
- [6] GOLAY S, MEIER J, DUBAIL S, *et al.* First pin/pin micromorph modules by laser patterning[C]//Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Anchorage, Alaska, America: IEEE, 2000: 1456-1459.
- [7] MEILLAUD F S. Microcrystalline silicon solar cells: theory, diagnosis and stability[D]. Neuchatel, Swiss: Institut of Microtechnique, University of Neuchatel, 2006: 4-5.
- [8] PERNET P, GOETZ M, NIQUILLE X, *et al.* Front contact and series connection problems of a-Si: H solar cells on polymer film substrates [C]//2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion. Brussels, Belgium: Joint Research Centre, European Commission, 1998: 203-206.
- [9] GOLAY S, MEIER J, DUBAIL S, *et al.* Laser scribing of p-i-n/p-i-n micromorph (a-Si: H/ $\mu$ c-Si: H) tandem cells[C]//16th EC Photovoltaic Solar Energy Conference. London, UK: James & James (Science Publishers) Ltd, 2000: 494-497.