

· 激光应用与系统 ·

## 利用 1064nm 皮秒激光加工石英玻璃精密划线工艺研究

李 勇<sup>1,2</sup>, 朱 芸<sup>1,2</sup>(1. 武汉软件工程职业学院, 武汉 430074;  
2. 武汉软件工程职业学院激光应用技术研究所, 武汉 430074)

**摘 要:**对激光精密加工石英玻璃切割工艺进行了实验研究,探讨了不同的工艺参数对加工效果的影响。首次使用 1064nm 皮秒激光器作为光源,对厚度为 0.3mm 的石英玻璃片进行了激光划线切割。在激光功率 20W, 占空比 60%, 频率 100kHz, 加工速度 700mm/s 时,获得样品正面崩边 11.08 $\mu$ m, 背面崩边 7.610 $\mu$ m, 侧面粗糙度为 4 $\mu$ m 的加工效果。分析了不同工艺参数对样品加工效果的影响,依据实验结果,得到满足实际加工要求的最佳工艺参数。

**关键词:**玻璃切割;皮秒激光;工艺研究;工艺参数

**中图分类号:**TN248 **文献标识码:**A **DOI 编码:**10.14016/j.cnki.jgzz.2015.01.132

## Research of quartz glass precise scribing by 1064nm picosecond laser

LI Yong<sup>1,2</sup>, ZHU Yun<sup>1,2</sup>(1. Wuhan Vocational College Of Software And Engineering, Wuhan 430074, China;  
2. Laser application institute of Wuhan Vocational College Of Software And Engineering, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The processing of laser precision cutting quartz glass has been researched, the processing effects influenced by different parameters have been discussed. Use a 1064nm picosecond laser as light source, scribe cutting the quartz glass which thickness is 0.3mm. Under the laser power 16W, duty ratios 60%, frequency 100kHz, scribing speed 700mm/s, We get sample which oberse side edge collapse 11.08 $\mu$ m, back side edge collapse 7.610 $\mu$ m and side roughness 4 $\mu$ m. The processing effects by different parameters have been analyzed, According to the experimental results, the best processing parameters has been given.

**Key words:** Picosecond laser; Quartz glass cutting; Processing researched; Processing parameters

石英玻璃是一种常见的光学材料,具有优异的光学性能,机械性能和化学稳定性,强度高、硬度大、耐冲刷,质地均匀,被广泛的应用于红外军事装置、卫星空间技术、高强激光窗口材料、LED 及液晶显示技术等光学应用领域。石英玻璃硬度大,传统机械加工方式刀头易磨损,难加工,导致 CNC 刀头损坏。此外石英玻璃材料的脆性很大,尤其是当石英玻璃材料的厚度小于 1mm 时,传统的刀具加工方式容易导致应力碎裂,很难满足实际应用中微细加工的精度要求<sup>[1-3]</sup>。激光加工作为一种非接触式的微细加工方式,现已广泛应用于各种材料加工领域。对石英玻璃薄片的切割,采用激光切割的方式无疑是最好的选择。在石英玻璃材料皮秒激光精密加工的研究方面,国内外尚鲜见报道,目前报道的主要是使用 355nm 的紫外光和

532nm 的绿光,且加工精度不高,使用飞秒激光进行石英玻璃材料加工虽然精度可以达到很高,但是加工成本昂贵<sup>[4-9]</sup>。使用 1064nm 红外激光切割石英玻璃材料的研究,也曾有过报道,但加工效率及精度比较低,加工效果不好<sup>[10,11]</sup>。本文首次利用 Fianium 公司生产的 FP1060-20 的红外 20W 皮秒激光,对石英玻璃高效精密划线切割的工艺进行了深入研究。

## 1 实验

## 1.1 实验原理

激光切割石英玻璃主要有两种方法,一种是划线切割,一种是熔融(气化)切割。本文研究的是划线切割。激光划线是采用脉冲激光在石英玻璃上沿直线打一系列互相衔接的盲孔或者通孔,由于应力集中,稍加力,石英材料便准确地沿此线折断,这就是所谓的玻璃划线切割<sup>[12]</sup>。与穿透切割相比,划线切割具有线宽小,热影响区小,挂渣少,所需功率低等特点,目前得到广泛的应用。

收稿日期:2014-12-01

作者简介:李勇(1985-),男,讲师,主要从事激光加工工艺与激光器技术研究。E-mail:339447823@qq.com。

### 1.2 光源的选择

石英是一种光学材料,光学性能优异。从紫外到红外波段都有很好的透光性。在波长 260nm 至 2500nm 范围内,光学透过率  $T > 90\%$  [13-15]。激光加工效率的高低与材料对激光的吸收率相关。材料对激光吸收率

$$\alpha = 1 - R - T \quad (1)$$

式中  $\alpha$  为材料对光的吸收率,  $R$  为材料对光的反射率,  $T$  为材料对光的透过率。

由(1)式可以看出,材料对常见的激光的吸收率很低,激光要想对石英玻璃进行切割或者打孔,必须有很高的功率密度,这就要求激光的功率高,作用时间长,而由于石英材料本身的脆性,红外激光的长时间的照射所产生的热应力容易使石英材料产生不规则裂纹。355nm 紫外光也很难使石英材料的化学键发生断裂。而超快激光,具有更高的峰值功率和脉冲频率,是石英玻璃切割光源的不错选择。本实验选用平台配置见表 1。

表 1 实验平台配置

实验平台配置			
光源	20w 1064nm 皮秒激光	扩束镜	3.8X
运动控制	直线电机	聚焦镜	F=20mm
实验样品	0.3mm 石英玻璃片	检测仪器	Keyence vx-100 显微镜

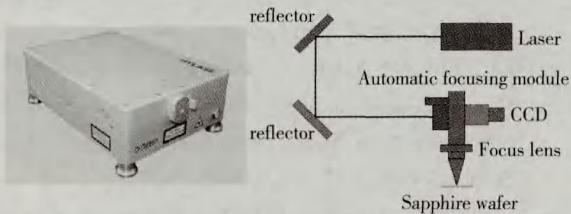


图 1. a. Fianium 皮秒激光器 b. 加工系统原理图

### 1.3 工艺参数的选择

石英玻璃激光划片,经过简单的理论推导可以得到以下公式 [16]:

$$PL/vh = b\rho \{ c\Delta T_1 + L + \Phi [ c\Delta T_2 + B ] - QR \} \quad (1)$$

式中;  $PL$  为激光峰值功率;  $v$  为划线速度;  $h$  为划线深度;  $b$  为划线宽度;  $\rho$  为材料密度;  $c$  为比热;  $\Delta T_1$  为环境温度与熔点之差;  $L$  为熔化热;  $\Phi$  为汽化材料占总切口材料的比例;  $\Delta T_2$  为熔点与沸点之差;  $B$  为汽化热。  $QR$  为单位质量被划材料的反应热。  $PL/vh$  为刻划单位面积断面所需的激光能量,称作有效功率密度,它与划线宽度成正比,并决定材料的密度及热物理性质。对每一种特定的基板材料,它为一特定的常数值。划线速度越高,则要求激光平均功率越大,划

线的缝宽越细,则  $PL/vh$  越小。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 占空比的影响

本实验使用的 1064nm 皮秒激光功率为 20W,重复频率 100kHz,在划线速度为 200mm/s 时,得到占空比与划线的崩边度及侧面粗糙度度的关系如下图所示

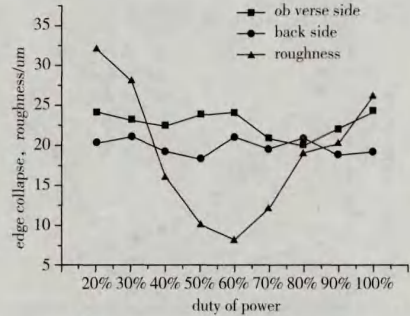


图 2 激光功率对划线崩边度及侧面粗糙度的影响

从图 2 可以看出,激光功率的变化对石英划线的崩边度影响较小,而对侧面粗糙度的影响显著。从图中可以看出,在占空比低于 60% 的时候,随着功率的增加断面粗糙度不断减小。在占空比大于 60% 的时候,断面粗糙度随着功率增加而增大。这是因为,在占空比小于 60% 时,实际加工的激光功率偏小,导致划线深度不够。在掰片的时候,产生的断面粗糙度较大。在占空比为 60% 的时候,石英玻璃材料完全贯穿,此时的侧面粗糙度最小,表明石英玻璃的划线切割在材料穿透的情况下,效果更好。在功率占空比大于 60% 时,断面粗糙度又开始变大,这是因为,在功率过大的时候,小孔周围热影响区域出现再融化与粘连,从而使得掰片变得困难,断面粗糙度变大。



a. 占空比 20% 切割断面图 b. 占空比 90% 切割断面图 c. 占空比 60% 切割断面图

图 3 样品照片(200x)

### 2.2 点间距及聚焦光斑的影响

在皮秒激光功率为 20W,占空比为 60%,在重复频率 100kHz 时,得到划线速度与划线的崩边度及侧面粗糙度度的关系如图 4 所示

从图 4 可以看出,在划线速度为 700mm/s 时,正反面的崩边度及断面粗糙度最小,在划线速度小于 700mm/s 时,随着划线速度的加快,崩边及粗糙度呈

不断变小的趋势,这是因为,在划线速度较小时,激光脉冲在材料上打出的小孔较为密集,容易产生粘连及融化现象,热影响区域较大。当速度过大的时候,孔间距过大,划线区域应力集中不够,导致在掰片的时候容易产生崩边和断面粗糙的现象。从图像中还可以看出,划线速度增大的时候,即点间距变大时,对断面的粗糙度影响较大。为了进一步验证点间距对划线掰片崩边的影响,在改变激光频率和划线速度情况下进行了多组实验,得出如下关系:

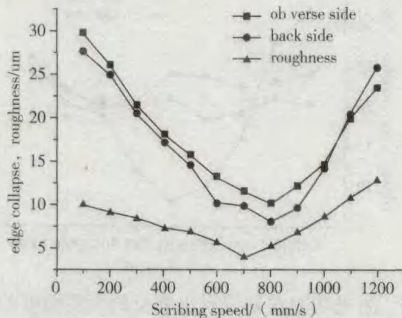


图4 划线速度对崩边度及侧面粗糙度的影响

$$K = W_d * f / v$$

式中: $K$  为小孔直径与孔间距的比值, $f$  为激光频率, $v$  为划线速度, $W_d$  为小孔直径。

实验表明在  $K$  值为 70% 时,加工效果最好。

根据以上实验结果,在激光重复频率为 100Khz,激光功率百分比为 60% 加工速度为 700mm/s 时,得到了正面崩边 11.08 $\mu$ m,背面崩边 7.610 $\mu$ m,侧面粗糙度 4 $\mu$ m 的划线切割效果。切割样品如下图所示

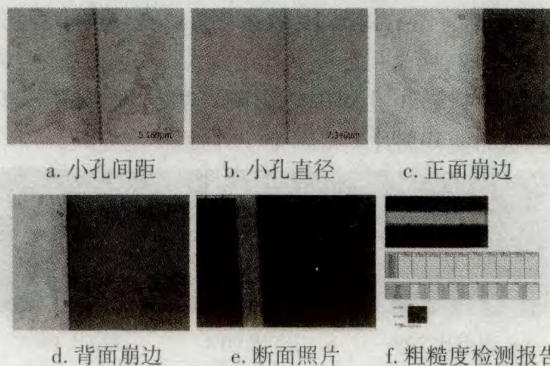


图5 样品照片

### 3 结论

本文采用 1064nm 红外皮秒激光器对石英玻璃材料进行了划线切割实验研究,分析了激光功率、小孔直径及孔间距对划线切割效果的影响,在激光功率 20W 占空比 60%,重复频率 100KHz,划线速度为 700mm/s 的工艺参数下,获得了正面崩边 11.08 $\mu$ m,

背面崩边 7.610 $\mu$ m,侧面粗糙度 4 $\mu$ m 的良好切割效果。本实验采用划线掰片的方式切割石英玻璃,针对的图形是直线,对于实现圆形切割掰片存在一定难度;如果采用此技术切割圆角显示屏面板,需要解决的是面板四个角的圆弧段切割,尚需要进一步工艺试验。

### 参考文献

- [1] 付国柱,玻璃的激光切割技术[J]. 光机电信息, 2008, 03:5-11.
- [2] 焦俊科,王新兵,李又平,激光切割玻璃的研究进展[J]. 玻璃,2007,04:8-11.
- [3] 杨立军,应用裂纹控制法的钠钙玻璃 YAG 激光切割技术[J]. 红外与激光工程,2010, 39(3).
- [4] 段金鹏. 皮秒激光加工系统及精细钻孔的工艺研究[D]. 北京工业大学硕士学位论文,2012:14-16.
- [5] 赵裕兴. 皮秒激光微加工应用[C]. 第九届全国激光加工学术会议. 苏州:2009.
- [6] 季凌飞,凌晨,李秋瑞,等. 皮秒激光工程应用研究现状与发展分析[J]. 机械工程学报,2014,50(5):115-119.
- [7] 王国彪. 光制造科学与技术的现状和展望[J]. 机械工程学报. 2011,47(21):157-169.
- [8] Yen-Liang Kuo, Jehnming Lin. Laser Cleaving on Glass Sheets with Multiple Laser Beams[J]. Optics and Laser in Engineering. 2008, 46: 388-395.
- [9] 顾理,孙会来,于凯,赵方方. 飞秒激光微加工的研究进展[J]. 激光与红外,2013,43(01):14-18.
- [10] LAUZURICA S, GARCIA - BALLESTEROS J J, COLINA M, et al. Selective ablation with UV laser of a-Si: H thin film solar cells in direct scribing configuration [J]. Applied Surface Science, 2011, 257: 5230-5236.
- [11] STEPHEN L, ALLAN A, LENNY M, Comparison of ns and ps pulse for Si and glass micromachining applications [J]. Proc. of SPIE, 2009, 7193: 719322-719329.
- [12] M. E. Innocenzi, R. T. Swimm etc. room-temperature optical absorption in undoped  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, J. Appl. Phys, 1990, 67(12):7542-7546.
- [13] Bernhard Klmt. Micromachining with industrial picosecond lasers [J]. LASER MICRO MACHINING, 2007, 1: 244-253.
- [14] Ralf Knappe and Achim Nebel. High-speed micromachining with high-power picosecond ultraviolet lasers [C]. Proceedings of SPIE, 2012, 6871: 687121-687122
- [15] 侯敏. 短脉冲及超短脉冲硅表面微加工研究[D]. 天津大学硕士学位论文. 2008:9-10.
- [16] 侯廉平,陈清明. 射频激光对氧化铝陶瓷基片划片的研究. 佛山陶瓷, 2002, 67(11):3-7.