

全国中文核心期刊

ISSN 1000-372X

CN31-1375/T

应用激光

YING YONG JI GUANG

王大珩 题

APPLIED LASER

4

2015

Vol.35 No.4



ISSN 1000-372X



9 771000 372152

上海市激光技术研究所主办

应用激光

APPLIED LASER

第五届编辑委员会

主 任: 韩 华

副 主 任: 刘文今、王茂才

常务编委: [以姓氏笔画为序]

王又青、王华明、巩水利
朱 晓、朱 青、江海河
李正佳、杨永强、肖荣诗
张 伟、张永康、张庆茂
陈光南、陈彦宾、钟敏霖
施虹敏、姚建华、贾 锋
顾 瑛、顾 波、唐霞辉
黄卫东、梁永茂、董世运
蒋毅坚

编委秘书联络处:

陈 超、刘善琨
邵 火、路王斌

应用激光 (双月刊) 第35卷第4期

主管单位 上海科学院
主办单位 上海市激光技术研究所
指导单位 中国光学学会
激光加工专业委员会
《应用激光》编辑部
编辑出版 王之江
主 编 王之江
地 址 上海市宜山路770号
邮 编 200233
电 话 (021)64700560-1105
投稿邮箱 yyjg@laser.net.cn
印 刷 上海康城印务有限公司
国内发行 上海市报刊发行局
国内订阅 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

邮 发 代 号: 4-376
国 外 代 号: BM 4153
国内统一连续出版物号: CN 31-1375/T
国际标准连续出版物号: ISSN 1000-372X
创 刊 年 份: 1981年
定 价: 38.00元

目次

不锈钢表面激光熔覆 Co 基合金涂层工艺研究	中国石油大学(华东) 崔岗 韩彬 张蒙科 (397)
激光熔覆工艺参数及微合金元素对 Fe 基非晶复合涂层显微硬度的影响	苏州大学沙钢钢铁学院 侯纪新 章顺虎 蒋小舟等 (402)
TC4 钛合金阀门的激光表面渗氮研究	苏州大学机电工程学院激光加工中心 张敏 严凯 陈长军等 (408)
TB5 钛合金的表面 YAG 激光渗氧	苏州大学机电工程学院激光加工中心 张敏 严凯 陈长军等 (415)
医用钛合金激光熔覆金属间化合物基复合涂层研究	浙江工业大学激光加工技术工程研究中心 李敏杰 吴国龙 张杰等 (423)
分区扫描对激光沉积制造钛合金温度场的影响	沈阳航空航天大学 杨光 周佳平 钦兰云等 (428)
激光冲击波调控弹性元件残余应力状态	南通理工学院机电工程学院 李彬 顾海 孙健华等 (437)
填充粉末对钢/铝异种合金激光深熔焊接头界面组织的影响	北京工业大学材料科学与工程学院 马彪 崔丽 钱伟等 (441)
CO ₂ 激光-MAG 电弧复合焊光丝间距对焊缝成形熔滴过渡及焊缝溶质分布影响研究	东北电力大学 薛川 张宏 杨日辉 (445)
中厚板铝/钢异种材料激光深熔钎焊工艺的研究	北京工业大学材料科学与工程学院 钱伟 崔丽 马彪等 (451)
铝/钢异种金属小功率 YAG 激光焊接工艺	南昌大学机电工程学院 李玉龙 李鹤 赵诚 (456)
1Cr18Ni9Ti 激光焊与氩弧焊的显微组织及力学性能对比研究	长安大学材料科学与工程学院 张凤英, 杨雪坤, 吴博等 (461)
工艺参数对纯镍 Ni201 激光搭接焊缝成形和力学性能的影响	长春理工大学机电工程学院 陈俊科 石岩 倪聪等 (467)
皮秒激光加工不锈钢微孔实验研究	上海大学机电工程与自动化学院 刘路 阮亮 张天润等 (472)
Al ₂ O ₃ 陶瓷低压水射流激光复合打孔质量的研究	江南大学机械工程学院 袁根福 陆平卫 (479)
Al ₂ O ₃ -SiC 复相陶瓷水射流辅助激光刻蚀的研究	江南大学机械工程学院 谢兵兵 袁根福 (483)
1.064 μm 红外皮秒激光器远紫外石英玻璃精密划线工艺研究	武汉软件工程职业学院 李勇 曾令慧 (488)
基于 532 nm 波长纳秒激光器的玻璃切割工艺研究	上海市激光技术研究所 沈佳骏 骆公序 潘涌等 (493)
面向焊缝跟踪的线激光检测技术研究	华南理工大学机械与汽车工程学院 邹焱飏 龚国基 (500)
1.34 μm 全固态电光调 Q Nd:YAP 激光器	北京工业大学激光工程研究院 王旭葆 王小磊 曲波等 (508)
应用 Nd:YAG 激光器评价光电探测器性能的研究	安阳工学院电子信息与电气工程学院 晁军峰 邢淑敏 (514)
激光医学 · 论文 ·	
长脉冲 Nd:YAG 激光治疗静脉湖的临床观察	中山大学孙逸仙纪念医院 曾颖 占魁 翁伟丽等 (518)

1.064 μm 红外皮秒激光器远紫外石英玻璃 精密划线工艺研究

李勇^{1,2}, 曾令慧^{1,2}

(¹ 武汉软件工程职业学院, 湖北 武汉 430074;

² 武汉软件工程职业学院激光应用技术研究, 湖北 武汉 430074)

摘要 对激光加工石英玻璃精密划线工艺进行了实验研究, 探讨了不同工艺参数对加工效果的影响。使用 1.06 μm 红外皮秒激光器作为光源, 对厚度为 0.4 mm 的 JGS1-1 远紫外石英光学玻璃薄片进行激光划线切割, 在加工速度 700 mm/s 时, 获得样品正面崩边 11.08 μm , 背面崩边 7.610 μm , 侧面粗糙度为 4 μm 的加工效果。结合实际加工要求, 利用控制变量法分析了光源、占空比、点间距及聚焦光斑等工艺参数对加工效果的影响, 得到一组最佳工艺参数。

关键词 皮秒激光; 玻璃切割; 控制变量法; 工艺参数

中图分类号: TN248 **文献标识码**: B **doi**: 10.14128/j.cnki.al.20153504.488

Research of Far UV Quarts Glass Precise Scribing by 1.064 μm Picosecond Laser

Li Yong¹, Zeng Linghui²

(¹ Wuhan Vocational College of Software and Engineering, Wuhan, Hubei 430074, China;

² Laser Application Institute of Wuhan Vocational College of Software and Engineering, Wuhan, Hubei 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 1.064 μm picosecond laser as light source, scribe cutting the JGS1-1 quartz glass which thickness is 0.4mm. Under the striping speed 700 mm/s. We get sample which obverse side edge collapse 11.08 μm , back side edge collapse 7.610 μm and side roughness 4 μm . Combined with the actual machining requirements, the influence of the light source, duty cycle, the point pitch and the focusing spot have been analyzed by using the control variable method and the best parameters have been given.

Key words picosecond laser; quarts glass cutting; processing researched; best parameters

0 引言

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, 被广泛地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领域。传统的石英玻璃切割方法是使用钻石或者硬金属轮划线, 然后用机械的方法折断。这种方法容易造成材料的浪费而且切割后还必须对材料进行清洗, 打磨抛光等后处理, 切面比较粗糙, 存在细微裂纹^[1-2]。尤其在石英玻璃材料厚度小于 0.5 mm 时, 传统切割方法容易造成碎裂。激光加

工具有非接触性、无环境污染, 易控制等特性, 使用激光切割石英玻璃则可以避免这些问题的出现。激光的玻璃切割也是近年来国内激光行业研究的一个热点, 常见的激光切割石英玻璃的方法有使用调 Q 的 YAG 激光器作为光源、采用控制断裂法切割、双光束 CO₂ 激光切割、紫外激光切割、准分子激光切割等方法^[3-7]。但是这些方法进行的切割很难实现断面崩边小于 20 μm 的精密切割, 德国夫琅禾费研究所使用飞秒激光切割石英玻璃, 能得到 5 μm 端面崩边度^[8]。但目前国内飞秒激光的应用尚未普及, 且光源昂贵, 在石英玻璃切割上鲜有应用。本文采

收稿日期: 2015-04-14; 收到修改稿日期: 2015-06-23

基金项目: 武汉市产学研资助项目(项目编号: CXY201421)

作者简介: 李勇(1985-), 男, 工程师, 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

用 ekspla 公司生产的波长为 $1.06\ \mu\text{m}$ 红外的皮秒激光器,对石英玻璃进行了切割,得到了很好的切割效果。

1 实验

1.1 实验方法

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^[9-10]。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。

1.2 实验配置及装置

本实验选用平台配置见表 1,图 1 为光源及系统原理图。

表 1 实验平台配置

Tab. 1 The experimental platform configuration

Configuration of experimental platform					
light source	motion control	sample	beam expander	focus lens	testing equipment
16 W $1\ 064\ \text{nm}$ ps laser	linear motor	0.4 mm UV quartz glass	$3.8\times$	$F=20\ \text{mm}$	keyence vx-100

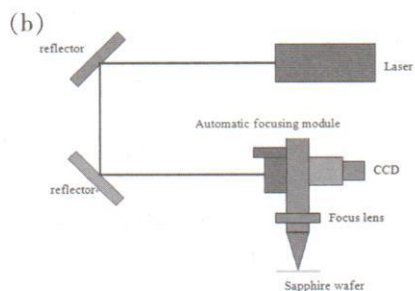
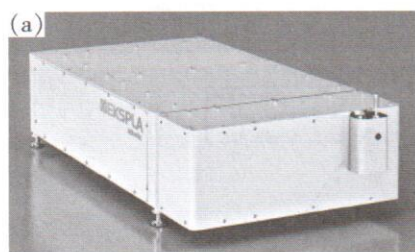


图 1 光源及系统原理图

(a) ekspla ps 激光 (b) 处理系统原理示意图

Fig. 1 Light source and principles of schematic processing system

2 实验结果及分析

本次实验加工样品为上海石英玻璃厂生产的 JGS1-1 远紫外石英光学玻璃薄片,厚度 $0.4\ \text{mm}$ 。图 2 所示为该石英玻璃样品在不同波长下的光学透过率曲线^[11]。由图 2 可知,该石英玻璃对波长小于 $5\ \mu\text{m}$ 的光来说,其光学透过率非常高,但在波长为 $5\sim 20\ \mu\text{m}$ 的范围内,石英玻璃的透过率几乎为零,从光学透过率曲线来看,本次石英玻璃样品切割的理想光源应该是 CO_2 激光器。但是笔者在此之前也曾选用过射频 CO_2 激光作为光源,其加工的断面崩边都在 $40\ \mu\text{m}$ 左右,不能满足客户精密加工的要

求。这是因为,射频 CO_2 激光去除材料的机理仍然是光热效应。光热效应去除材料就会产生热影响区,频繁的出现重铸材料表面碎屑等,这就使得加工精度很难达到精细微加工的要求^[12-14]。而皮秒激光是通过多光子吸收来激发材料中的电子,并且直接破坏原子键实现对材料的加工。此外,由于脉宽很短,脉冲的持续时间小于电子与晶格之间产生热平衡的时间,基本不会生成热影响区,因此皮秒激光成了激光加工石英玻璃的最佳光源。而从样品 JGS1-1 远紫外石英光学玻璃的透过率曲线来看,红外皮秒激光器比可见光皮秒激光器更适合作为加工的光源。为了实现精密加工,本次实验使用 Ekspla 公司生产的 16 W 红外皮秒激光器,脉冲宽度小于 $10\ \text{ps}$ 。

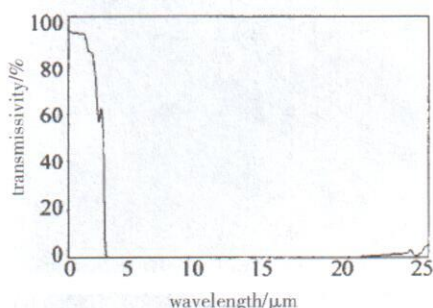


图 2 JGS1-1 远紫外石英光学玻璃透过率^[11]

Fig. 2 Optical transmissivity of JGS1-1 quartz glass^[11]

2.1 占空比

本实验使用的 $1\ 064\ \text{nm}$ 皮秒激光功率为 16 W,重复频率 $100\ \text{kHz}$,在划线速度为 $200\ \text{mm/s}$ 时,得到占空比与划线的崩边度及侧面粗糙度的关系如图 3 所示。

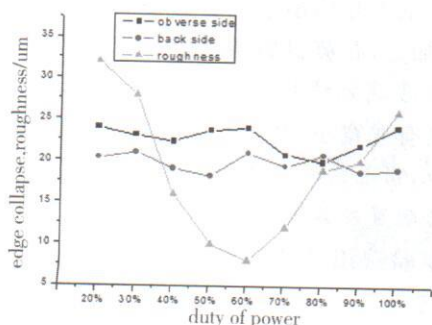


图3 激光功率对划线崩边度及侧面粗糙度的影响
Fig. 3 Influence of laser power on edge collapse and roughness

从图3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。由图4可以看出,在占空比低于60%的时候(图4(c)),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,超高的能量密度产生的高温等离子体使小孔周围产生热影响,热影响区域温度过高导致融化与粘连,从而使得掰片变得困难,断面粗糙度变大。

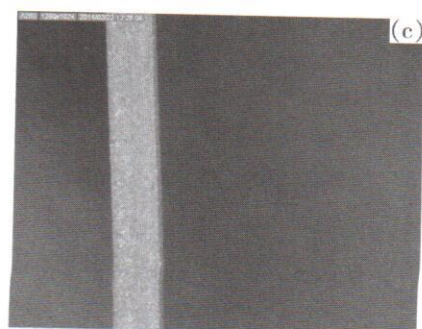
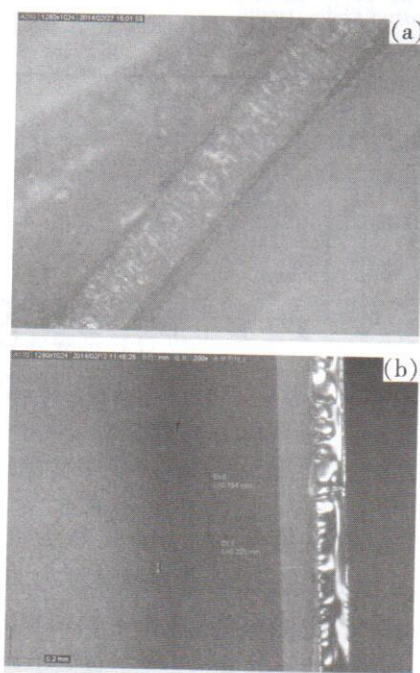


图4 不同占空比下样品断面照片(200×)
(a)20%占空比 (b)90%占空比 (c)60%占空比
Fig. 4 Sample photos(200×)of different duty cycle

2.2 点间距及聚焦光斑

在皮秒激光功率为16 W,占空比为60%,在重复频率100 kHz时,得到划线速度与划线的崩边度及侧面粗糙度的关系如图5所示。

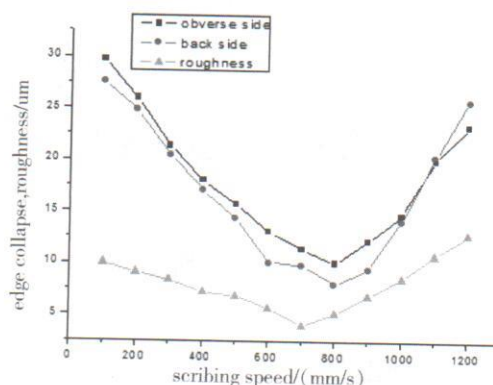


图5 划线速度对崩边度及侧面粗糙度的影响
Fig. 5 Influence of stripping speed on edge collapse and roughness

从图5可以看出,在划线速度为700 mm/s时,正反面的崩边度及断面粗糙度最小,在划线速度小于700 mm/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。当速度过大时,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5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

$$K = W_d \cdot f / v \quad (1)$$

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 100 kHz, 激光功率百分比为 60% 加工速度为 700 mm/s 时, 得到了正面崩边 11.08 μm , 背面崩边 7.610 μm , 侧面粗糙度 4.00 μm 的划线切割效果。切割样品如图 6(a)~6(f) 所示图。

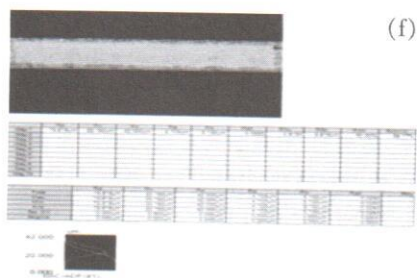
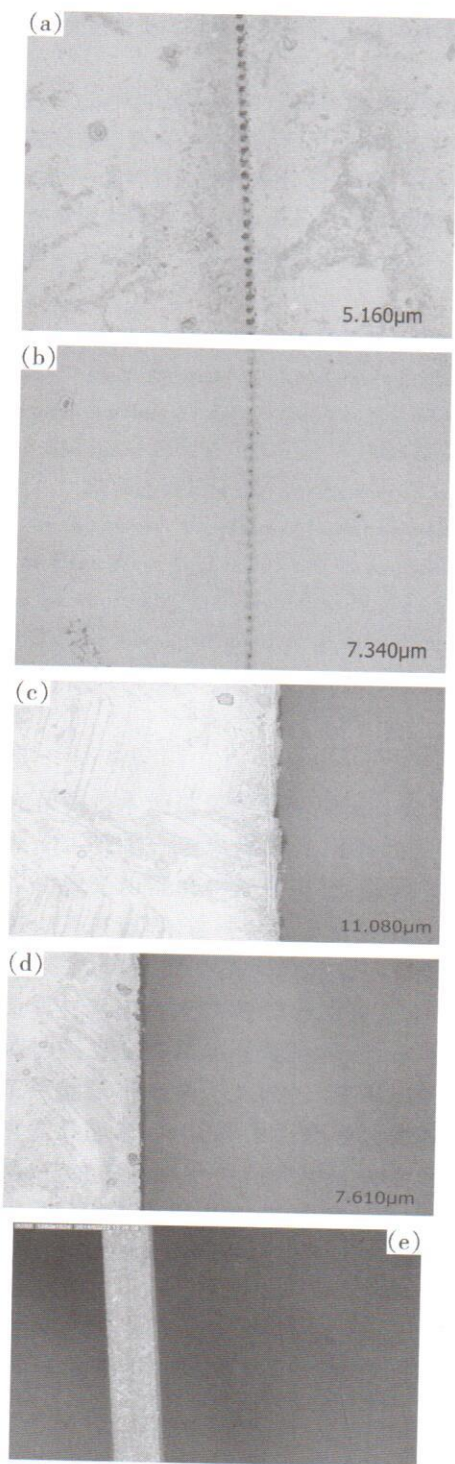


图 6 样品照片

(a)节点 (b)孔径 (c)侧面崩边
(d)背面崩边 (e)侧面照 (f)侧面粗糙度

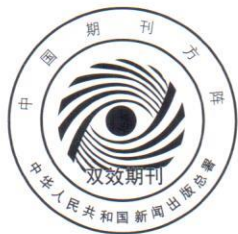
Fig. 6 Sample photos

3 结论

本文利用 1.064 μm 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, 分析了光源、激光功率、小孔直径及孔间距几个工艺参数对划线切割效果的影响。在激光功率 16 W 占空比 60%, 重复频率 100 kHz, 划线速度为 700 mm/s 的工艺参数下, 获得了正面崩边 11.08 μm , 背面崩边 7.610 μm , 侧面粗糙度 4 μm 的良好切割效果。

参考文献

- [1] 付国柱. 玻璃的激光切割技术[J]. 光机电信息, 2008 (3): 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(4): 8-11.
- [3] 杨立军, 王懋露, 等. 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): 512-515.
- [4] 汪旭煌, 姚建华, 周国斌, 等. 基于热裂法的液晶玻璃基板激光切割技术研究[J]. 激光技术, 2011, 35 (4): 472-476.
- [5] 叶圣麟, 马军山, 黄鑫, 等. 液晶显示玻璃基板激光切割的热应力场有限元仿真[J]. 应用激光, 2006, 26 (4): 267-271.
- [6] 李迎霞. 采用双光束 CO_2 激光的玻璃切割技术[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [7] 姜超, 胡少六, 王又青. 准分子激光精密加工陶瓷, 玻璃等脆性材料的研究[J]. 中国激光, 2002, 29(6): 575-578.
- [8] 李晓龙. 玻璃的紫外激光精密切割技术研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2012.
- [9] BERNHARD KLIMT. Micromachining with industrial picosecond lasers[J]. Laser Micro Machining, 2007(1): 244-253.
- [10] INNOCENZI M E, SWIMM R T. Room-temperature optical absorption in undoped $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ [J]. J. Appl.



中文核心期刊
中国科学引文数据库(CSCD)

ISSN 0253-2743

CN50 - 1085/TN

CODEN: JIZAEE

激光杂志

Laser Journal

第36卷 第1期

Vol.36. NO.1

40

《激光杂志》成立四十周年
1975-2015

1

2015

ISSN 0253-2743



重庆市光学机械研究所主办
《激光杂志》编辑委员会出版

目次

·光全息与信息处理·

- 基于经纬映射的径向畸变快速校正算法的研究 刘亿静,苗长云,杨彦利(1)
- 基于多通道盲复原和改进 K-SVD 模型的图像恢复 陈杰,尚丽,孙站里(5)
- 基于统计滤波的自适应双阈值改进 canny 算子边缘检测算法 段军,高翔(10)
- 地面 Lidar 平面标靶稳健定位 官云兰,程效军,陈晓勇,张立亭(13)
- 基于超图稀疏编码框架的图像特征提取方法 周霞,卓志宏,姚敏(17)
- 基于 Laplacian 塔式分解的自适应图像模糊增强 寇计萍,邓家先,陈益刚(21)
- 基于多尺度 LBP 和 SVM 的掌纹识别算法研究 赵强,崔畅(27)
- 小波分析和时间序列法相融合的信息安全态势估计 毛正标,杨顺韬,王伟,杏建军(31)
- 基于自适应字典学习降噪改进的脑 MRI 图像分水岭精确分割算法研究 苗加庆(35)
- 分块双向 2DPCA 融合局部特征的人脸识别 杨叶芬,刘海,叶成景(40)
- 基于 DSP 的激光衍射图像识别算法研究 彭玲玲(46)
- Contourlet 变换在 MRI 图像重建算法中的应用 李桂来(49)
- 改进自组织特征网络的医学图像分割算法 黄建灯(53)
- 高斯变邻域差分的灰度图像增强算法 海洁,吴海燕,罗中剑(57)
- 基于改进遗传算法的小波阈值语音去噪 李新春,吴秋铜(62)
- 信息技术在图书馆信息咨询服务模式的探析 李南(66)
- 基于 ZigBee 技术的无线红外 CO 检测仪 李亮,曹婷婷(68)
- 采用近红外漫反射技术对牛奶中蛋白质、脂肪检测 王明,于峰,刘新,付蓉(70)
- 采用虚拟仪器的近红外无损液体识别电子舌设计 张飞,耿红琴,陈萍(74)

·实验技术与装置·

- 后向散射法测量湿蒸汽的实验优化方案的研究 黄竹青,丁涛,蔡成,黄章俊(78)
- 基于 DSP 的 DFB 激光器驱动电源设计 胡叶民(82)

·激光物理·

- 极坐标下矢量的微分几何研究 邵毅全,田莉兰,黄永超,倪陶(85)

·光通信与网络·

- 超高速光纤通信系统中孤子间稳定传输滤波器补偿效应研究 曾辉,卓辉(87)
- 基于 RR 间期差的深神经网络房颤检测 刘明,万慧华,龚硕然,韩小岑(90)
- 基于 ARM 的 Qt/Embedded 视频采集应用程序设计的改进与实现 刘飞飞,赖惠成,齐立飞,任旭强(94)
- 基于混沌鱼群改进算法的无线传感网覆盖优化 李显,刘明生,李燕,梁丽丽(98)
- 基于激光半导体技术的光纤点式测温系统 田杰,余鹏,段绍辉,王同志,刘小燕(102)
- 改进布谷鸟算法优化极限学习机的网络入侵检测 李新磊(105)
- 相空间重构和正则极限学习机的网络流量预测 卢振利(109)
- 改进遗传算法优化无线传感器网络路由算法 周莹(113)
- 面向 VANETs 的服务质量的一种信道分配的新算法 杨玉丽,刘捷(117)
- 基于混沌粒子群算法的多目标调度优化研究 张琪,屈卫清,熊伟清(122)
- 捕鱼算法优化核极限学习机的微博热点话题预测 姬建新(128)

·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,朱芸(132)
- 基于 IP 核的便携式综合电子测量仪的设计与实现 李新春,张庆江,高念(135)
- 基于改进模糊均值聚类算法的医学图像分割 苗彬,侯燕(140)

·激光医学·

- 不同浓度的碘化丙啶染色对细胞周期分布的影响 胡梦裳,张云艳,万建美,章斌,吴翼伟(144)
- 半导体激光与微波联用药物治疗护理带状疱疹后遗神经痛的疗效观察 曾小平,袁红梅(148)
- MRI 引导聚焦超声开放血脑屏障靶向传递不同分子数量级药物的研究 黄琴,徐忠辉,谢宗义,陈晋,程远,刘映江,王智彪(151)
- 某光电学院教师中非正式群体的形成与管理分析 伍自力,刘小强,凌农(156)

名誉主编:刘颂豪院士 姚建铨院士

总编:刘斌

主编:程正学

副主编:毛幼菊 王声波 过振 刘凌云 殷一贤

李峻亨 崔永忠 白和亮 戴特力 陈书潮

本期编校:崔永忠

本刊曾被下列数据库作为收录期刊:

EI《美国工程索引》数据库

中国核心期刊数据库

中国无线电电子学,电信技术类核心期刊

中国科技论文统计与分析统计源

中国科学引文数据库

中国物理类核心期刊

中国学术期刊综合评价数据库

中国学术期刊光盘版

· 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^{1,2}, 朱 芸^{1,2}

(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, 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 11.08μm,背面崩边 7.610μm,侧面粗糙度为 4μm 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^{1,2}, ZHU Yun^{1,2}

(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 11.08μm, back side edge collapse 7.610μm and side roughness 4μm. 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^[1-3]。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^[4-9]。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^[10,11]。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^[12]。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 α 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

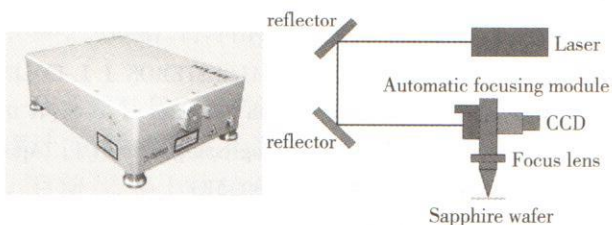


图 1. a. Fianium 皮秒激光器

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]:

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

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; ρ 为材料密度; c 为比热; ΔT_1 为环境温度与熔点之差; L 为熔化热; Φ 为汽化材料占总切口材料的比例; ΔT_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

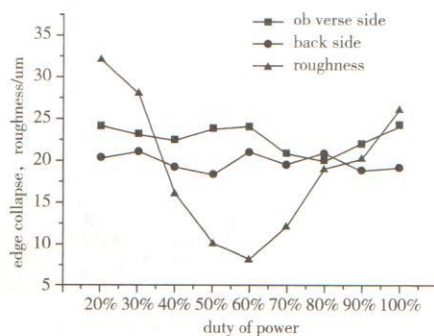


图 2 激光功率对划线崩边度及侧面粗糙度的影响

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。

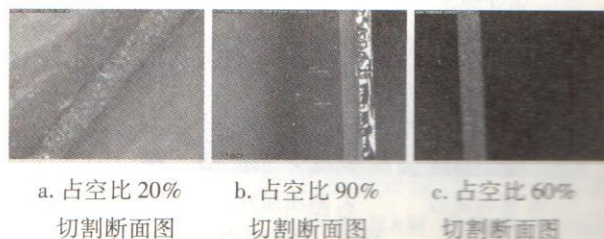


图 3 样品照片 (200x)

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:

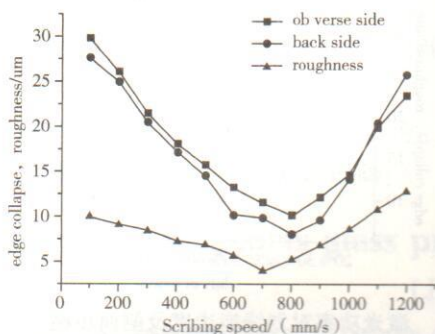


图4 划线速度对崩边度及侧面粗糙度的影响

$$K = W_d * f / v$$

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 11.08μm,背面崩边 7.610μm,侧面粗糙度 4μm 的划线切割效果。切割样品如下图所示

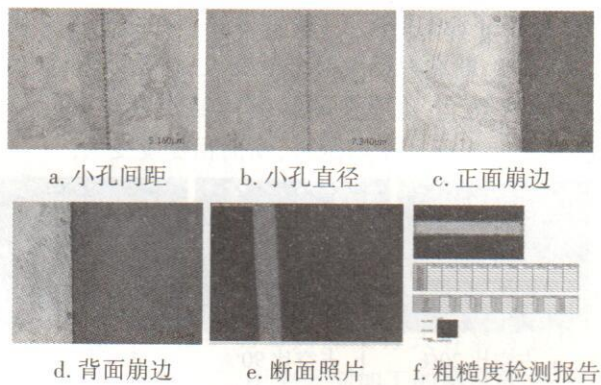


图5 样品照片

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 11.08μm,

背面崩边 7.610μm,侧面粗糙度 4μm 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 α -Al₂O₃, J. Appl. Phys, 1990, 67(12):7542~7546.
- [13] Bernhard Klimt. 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.