

文章编号: 1001-3806(2004)01-0085-03

准分子激光直写加工特性与脉冲参数关系的研究

魏仁选

(武汉理工大学 光纤传感技术研究中心 国家光纤传感技术工业性实验基地, 武汉 430070)

摘要: 以玻璃为实验靶材,用精密微动平台准确调节靶材位置,利用波长 248nm 的 KrF 准分子激光器,研究了准分子激光直写加工图形和激光脉冲数及脉冲能量之间的关系。实验证明,随着加工槽深度的增大,单个激光脉冲所烧蚀的深度逐渐减小,当达到一定的脉冲数时,所烧蚀槽的深度基本上保持不变。脉冲能量越大,刻蚀速率越大,其速率同样具有一个上限值。

关键词: 准分子激光;微加工;刻蚀;能量

中图分类号: TG665 文献标识码: A

Relationship between etching identities and laser pulse parameters in excimer laser direct etching fabrication

WEI Renxuan

(State Key Industrial Experiment Base of Fiber Optic Sensing Technology, Fiber Sensing Technology Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: KrF excimer laser, whose wavelength is 248nm, is directly used to ablate and etch glass material; the location of processed material is accurately controlled by a micro motion controlling system. The relationships between laser pulse parameters, the number and energy and characteristics of yielded grooves are investigated. It is shown that the ablation depth of a single laser pulse becomes smaller and smaller along with the increasing of laser pulse amount. Furthermore, the depth of the yielded grooves becomes constant when the laser pulses add up to a definite number. The more the energy of laser pulse the more the etching speed is. There is an upper limit for the etching speed.

Key words: excimer laser; micro fabrication; etching; energy

引 言

准分子激光位于紫外波段,由于强吸收以及短脉冲特性,准分子激光加工具有加工质量好、精度高、加工形状可自由设定等特点,能完成激光热加工(CO₂和 YAG 等红外激光加工)所不能完成的工作,在微细加工、脆性材料和高分子材料加工等方面具有激光热加工无法比拟的优越性,具有广阔的应用前景^[1,2]。特别是随着微机电系统研究和应用的发展,为准分子激光加工开辟了新的应用领域^[3~5],利用短脉冲准分子激光进行微系统加工,极大地缩短了片基的加热时间并减小了材料的龟裂。目前准分子激光微加工的主要形式有投影掩模

加工和直写加工等。激光加工的主要问题是,加工精度在许多方面需要大幅度提高,加工的某些尺寸控制比较困难,要实现大深宽比激光加工,就需要进一步研究激光加工的机理和加工尺寸及形状与激光参数和加工工艺等之间的关系。为了探索实现深槽或孔的准分子激光精密加工的途径,并建立准分子激光加工系统,通过实验,探索了深槽加工时脉冲准分子激光直写加工中脉冲参数与加工形状之间的关系。

1 准分子激光微加工实验系统

实验所用激光器是美国 Lambda Physik 公司生产的 COMPEX 150T 激光器。工作气体为 KrF 时的输出波长为 248nm,脉冲宽度为 27.2ns,最大脉冲输出频率为 50Hz,输出光斑为 5mm × 20mm,发散角小于 0.2mrad。

实验光路采用单透镜系统,如图 1 示。COMPEX 150T 输出激光,采用方孔尺寸为 18mm × 4mm

作者简介:魏仁选(1965-),男,副研究员,博士,主要从事光纤传感技术与系统、光电子器件与激光微加工研究。

E-mail: rxwei@mail.whut.edu.cn

收稿日期:2003-03-28;收到修改稿日期:2003-06-18

的光阑选择基模中能量较为均匀的部分作为聚焦光源。然后,利用焦距为 $f = 50\text{mm}$ 的柱透镜对输出光束进行纵向聚焦,焦点处的光斑形状为长 3.7mm ,宽几十个微米的横线,用它在工件表面不同位置烧蚀出一系列沟槽。通过微动平台将靶材准确置于光束焦点位置,并上下移动工件。通过观察沟槽形状尺寸,从而研究它们之间的关系。微动平台系法国 Newport 公司生产,可在水平、垂直方向实现二维移动,位置控制精度为 $1\mu\text{m}$ 。

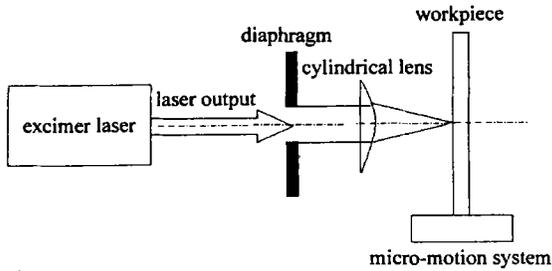


Fig. 1 Experiment setup for micro fabrication

2 刻蚀特性与脉冲数的关系

实验方法是利用图 1 所示的系统,将激光器的放大器和振荡器均调至 22kV ,脉冲输出频率为 10Hz ,单脉冲有效能量为 134.88mJ ,光斑长度为 3.7mm 。样品为普通载玻片,将其置于激光束焦点处,在载玻片不同的位置烧蚀出一系列沟槽,通过烧蚀时间的不同来控制烧蚀的脉冲数。实验结束后将玻璃片沿垂直于沟槽方向切开,在光学显微镜下观察其剖面,测试相关尺寸,结果发现加工出来的所有槽横截面均呈锥形。图 2 是烧蚀深度与脉冲数的关系曲线。烧蚀深度与脉冲数的关系为:

$$h = \begin{cases} 63.18 \ln(x) - 284.28 & 0 < x < 4800 \\ 257.4 & x \geq 4800 \end{cases} (\mu\text{m}) \quad (1)$$

拟合函数与实验数据的相关系数为 0.99 。图中平滑曲线为回归曲线。

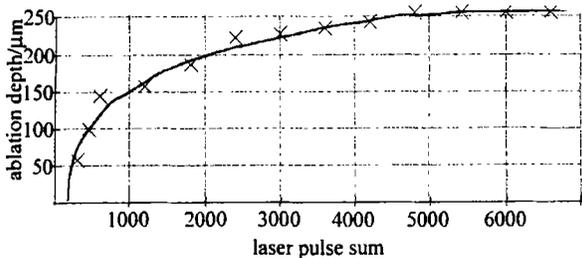


Fig. 2 Relationship between etching depth and sum of laser pulses

由图 2 可知,在一定范围内,烧蚀深度随脉冲数的增加而增大,但并不是随脉冲的个数线性增加,而

是呈现曲线变化,曲线的斜率随脉冲个数的增加而减小,说明随着槽深度的增大,单脉冲所烧蚀的深度逐渐减小,当达到一定的脉冲数时,所烧蚀槽的深度基本上保持不变,此时可认为激光对靶材的烧蚀已达到饱和状态,这种现象称为饱和现象。在显微镜下可以明显地观察到饱和现象,锥形槽剖面底部为很细的裂纹状延伸部分。

因此可以得出结论:在离焦量一定脉冲有效能量不变的情况下,烧蚀速率随烧蚀深度的增加而减小;烧蚀足够的脉冲后,槽深度有一个上限值。

3 刻蚀特性与脉冲能量的关系

实验方法是将激光器振荡器电压调至 20kV 并保持不变,放大器电压在 $18\text{kV} \sim 26\text{kV}$ 的范围内进行调节,激光脉冲重复率为 10Hz ,单脉冲有效能量随放大器电压的变化而变化。样品为普通载玻片,利用微动平台将工件准确置于焦点处,并上下移动工件,在载玻片的不同位置烧蚀出一系列沟槽,刻蚀时间均为 4min ,刻蚀脉冲为 2400 。实验结束后将玻璃片沿垂直于沟槽方向切开,在光学显微镜下观察其剖面,测试相关尺寸。加工过程中,采用 VectorTM S310 型能量计对辐射到工件表面的激光脉冲能量进行精确测定。

按照上述方法测量的结果如图 3 所示。图中平滑曲线为回归曲线。在实验中发现:(1)激光脉冲能量越大,槽表面宽度越大,说明激光脉冲能量分布沿光束半径方向梯度较大;(2)激光脉冲能量密度达到一定的数值时,烧蚀足够的脉冲数量,沟槽深度呈现定值。

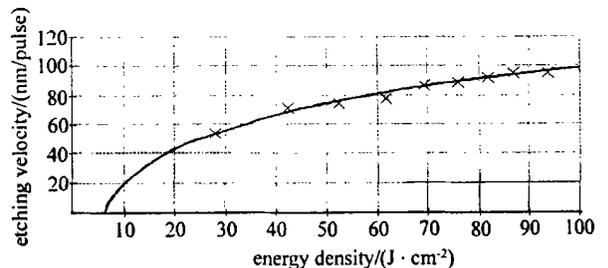


Fig. 3 Relationship between etching velocity and energy density of laser pulse

图 3 中能量密度根据下面的公式计算:

$$F = E/S = E/ab \quad (2)$$

式中, F 为激光脉冲能量密度, S 为沟槽的面积(a , b 为沟槽表面长和宽), E 为激光单脉冲能量。平均刻蚀速率 v_a 由右式求得: $v_a = h/N$ 。其中 h 为刻蚀深度, N 为激光脉冲个数。

刻蚀速率与激光脉冲能量密度关系的回归曲线方程为:

$$v = 34.867 \ln(F) - 62.025 \quad (\text{nm/pulse}) \quad (3)$$

式中, v 为刻蚀速率, F 为激光脉冲能量密度。拟合曲线与实验数据之间的相关系数为 0.988。

由(3)式可以看出,在脉宽不变的情况下,能量在刻蚀中起决定作用。

在实验中还可发现,在激光能量不变的情况下,烧蚀加工槽的宽度越大,槽深度越大。这是由于大的槽口有利于融化材料所形成的离子云的逃逸,从而使到达靶材的激光能量较多的缘故。

利用准分子激光进行直写刻蚀时,在刻蚀表面四周可以清楚地观察到一些黑色分解产物淀积,这些淀积物可以通过酒精等清洗掉。但在刻蚀表面基本观察不到淀积物,因此,可以认为分解产物的淀积对刻蚀性能影响不大。

4 结束语

(1) 准分子加工材料尺寸极为准确且棱角十分

(上接第 84 页)

灵敏度衰减量低的几部测距机,均为接收灵敏度失调;机号 300084 的测距机激光发射衰减量和激光接收灵敏度衰减量同时偏低,则可能是三轴平行性失调。经对症调试后,均合格。这对指导部队维修十分有意义。

(3) 激光能量、光束发散角、脉冲宽度以及三轴平行性等因素对测距能力的影响,已在激光发射衰减量中得到了综合的反映。可见,该检测仪在反映测距能力内在因素的全面性上优于消光比法。

4 结论

探讨了一种激光测距机测距能力的新方法——无靶板消光比法。提出将激光发射能力和激光接收灵敏度分开测量,并研制出相应的检测仪。实际

完好。(2) 周围材料无烧坏现象,也无残渣毛刺。(3) 基底材料变形极小,热影响区很窄。(4) 多脉冲准分子激光进行槽的加工,烧蚀速率随脉冲数的增加而减小,加工槽的深度具有上限值。准分子激光直接刻蚀光路简单,可实现任意形状图形的加工,适应性强,但其加工精度受刻蚀光源发散、光斑形状和位移控制精度的影响。

参 考 文 献

- [1] 楼祺洪,章琳. 杭州师范学院学报(自然科学版), 2002, 1(1): 72~76.
- [2] 刘文波. 准分子激光微加工应用研究. 武汉工业大学硕士学位论文, 1997. 3~4.
- [3] IHLEMANN J, RUBAHN K. Applied Surface Science, 2000, 154~155: 587~592.
- [4] SMUK A Y, LAWANDY N M. Opt Commun, 1998, 156: 297~299.
- [5] PAPA KONSTANTINOU P, VAINOS N A, FOTAKIS C. Applied Surface Science, 1999(5): 159~170.

应用表明,该方法具有很强的规律性和实用性。它不受天候影响,不受靶板目标性质影响,不受测距机 AGC/TPG 电路的影响;在可重复性、全面性、移动性、应用环境、可操作性等方面均优于消光比法。同时,该方法对测距机的调试、维修有指导意义。该方法不仅适用于工厂生产时的调试、检测,还特别适用于部队条件下的快速检测和维修保障。研制成功的检测仪体积小、重量轻、稳定可靠、适合各种环境下使用,不论军民用均具有极大的推广价值。

参 考 文 献

- [1] FANG Q W, RAO J H, YING Zh X. Proc SPIE, 1996, 2889: 292~293.
- [2] 苏美开,陈志斌. 火力与指挥控制, 1999, 24(1): 78~80.
- [3] 刘志勇,李志令. 军械工程学院学报, 1998, 10(4): 15~19.
- [4] 张承铨,刘松明,彭长华. 国外军用激光仪器手册. 北京:兵器工业出版社, 1989. 5~41.