

文章编号: 1001-3806(2007)03-0262-03

## 准分子激光刻蚀可变焦光路设计研究

钱晓峰, 陈涛\*, 祁恒

(北京工业大学 激光工程研究院, 北京 100022)

**摘要:** 为了研究在准分子激光刻蚀聚合物的过程中避免经常往复更换不同大小而形状相同的掩模的实验操作, 保证实验的连续性和结果的真实性和可靠性, 在实验的加工系统中基于变焦距系统的原理采用引入一个变焦物镜代替原来系统中普通物镜的方法, 取得了一个准分子激光刻蚀可变焦光路系统。采用 ZEMAX 软件设计一个变焦物镜镜头并分析了它的成像质量。经过 ZEMAX 软件的模拟, 结果表明, 此变焦镜头成像质量基本达到要求, 缩小倍率在 0.15~0.24 范围内可连续变化。因此, 使用这个变焦物镜, 在同样的实验条件下, 可以采用同一片掩模而不再往复更换掩模就可蚀刻出大小不同的结构; 同时由于不再经常需要中断实验过程, 保证了实验结果的真实性。该技术在激光蚀刻中有很大的可行性。

**关键词:** 光学设计与制造; 变焦物镜; 光线追迹; 准分子激光

**中图分类号:** TN202      **文献标识码:** A

### Study on zoom lens in excimer laser ablation systems

QIAN Xiaofeng, CHEN Tao, QI Heng

(College of Laser Engineering Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract** In the process of excimer ablation, the template in different sizes should be changed to get different structure, which not only interrupts the continuity of the experiment but also disturbs the results if other equipments are touched when changing the templates. In order not to change the template time and again and reduce the influence to ensure the continuity and the reliability, a zoom lens was designed with the software of ZEMAX based on the zoom lens theory and was introduced to the machining system instead of normal lens. At last its imaging quality was analyzed. The simulation result proved that the system could get satisfactory results and its magnification could be changed continuously from 0.15 to 0.24. In this case many structures were obtained in this range at the same status and the other templates were not needed. Because the templates are not need to be displaced time and again, the results in the experiment are reliable. The technology using zoom lens instead of normal lens in the ablation by excimer laser is of great feasibility.

**Key words** optical design and fabrication; zoom lens; ray trace; excimer laser

## 引 言

激光刻蚀技术<sup>[1]</sup>是将激光束(聚焦或非聚焦)以一定的方式辐照至材料表面, 利用激光和材料相互作用的直接断键汽化的机理, 对作用区域的材料进行逐层剥蚀的加工<sup>[2]</sup>。这种刻蚀不需要任何液相腐蚀剂。

现在, 准分子激光刻蚀技术广泛应用于二维结构的微细加工领域, 如孔、切口等。在准分子激光蚀刻聚合物<sup>[3]</sup>、玻璃等材料的过程中, 经常需要掩模来确定刻蚀的图案<sup>[4]</sup>。在以往的实验条件下, 准分子激光通过某一固定的掩模只能加工出特定尺寸的图案结构。

因此, 为了加工出尺寸不同的图案结构, 尤其在结构需要有间隔重复的情况下, 就必须往复更换掩模。这样, 不仅实验要多次中断, 而且在实验者更换掩模的过程中, 有可能因触及其它实验设备而影响实验结果的可靠性和真实性。在掩模位置固定不变的前提下, 为了解决这个问题, 可以采用现代数码照相机技术, 引入一个变焦镜头。这样, 不仅掩模不需要更换, 而且可以加工出线宽度连续变化的图案。作者设计了一个用于准分子激光蚀刻的变焦镜头, 经过 ZEMAX 的模拟, 证明了这种技术是一种具有可行性的新技术。

## 1 新技术原理

由于变焦物镜有如下的特点: (1) 变焦过程中相面保持稳定; (2) 成像质量也可以保持在一个较好的程度上; (3) 成像倍率可以相对均匀的变化。因此在这个加工系统中, 用变焦物镜代替原来普通物镜。由于变焦物镜的焦距可以在一定的范围内变化, 因此, 在

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (50335050);  
北京市自然科学基金重点资助项目 (3031001)

作者简介: 钱晓峰 (1980-), 男, 硕士研究生, 从事光学器件材料激光加工与制备的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: chentao@bjut.edu.cn

收稿日期: 2006-04-07; 收到修改稿日期: 2006-05-24

整个加工系统光路不变的条件下,系统的放大率可在固定的范围内变化。因此,使用同一块掩模,就可以蚀刻出尺寸不同的图案。

准分子激光经过掩模投影成像系统如图 1 所示。实验过程中,准分子激光光束经匀束<sup>[5]</sup>后透过已经固

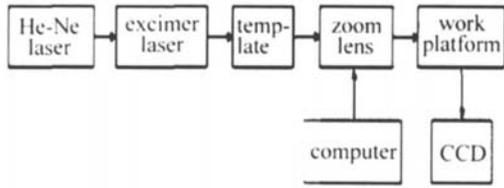


Fig 1 Scheme of the excimer laser projecting machining system with zoom lens

定的掩模投影到工作台上,与工作台上的物质发生物理作用,刻蚀出与掩模相似尺寸不同的图形结构。在以往的刻蚀方案下,掩模的图案尺寸一旦决定,刻蚀出的图像尺寸也就固定了。在连续加工需要尺寸不同而图案相似的情况下,从前的技术方案就显得捉襟见肘了。利用变焦距物镜<sup>[6]</sup>的原理,上面的这个问题就可以解决。

## 2 ZEMAX 设计和模拟结果

ZEMAX 是一种光学设计 CAD 软件,有 3 个版本,SE 版, XE 版和 EE 版,本实验中使用的是 EE 版,即专业版。选择 JGS1(远紫外光学石英玻璃)为所用玻璃,波长为 248nm 超紫外光线。考虑到过多的镜片的使用,导致能量的损失,降低了激光刻蚀能力,所以,在该情况下尽量用较少数目的镜片。选用正-负-正<sup>[7,8]</sup>的形式,根据光学系统变焦方程<sup>[9]</sup>,选取焦距分别为 A,

B, C(分别为 144cm, -40cm 和 48cm)的镜片组。其中 A 为前固定组, B 为变倍组, C 为补偿组,结构如图 2 所示,其各自曲率半径列入表 1。

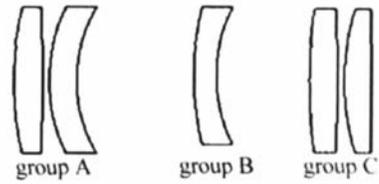


Fig 2 Configuration of the three lenses

Table 1 Curvatures of every surface of the three lenses/mm

group	1	2	3	4
group A	65.07	-339.31	32.98	27.32
group B	80.00	15.40	-	-
group C	92.64	-339.31	47.29	infinity

整个系统的光学长度为 600.20mm,其中物体离前组的距离为 400mm。为了使像面上得到较好的成像质量,必须对选取的模型进行优化<sup>[10]</sup>。选择第 5 表面为光阑,孔径为 15mm,对球差、场曲和像散的目标值为 0,权重为 1,让软件自我优化,得到系统参数。系统可分为长焦、次长焦、次短焦、短焦 4 个部分。经过优化,列出了系统在次短焦时的参数,见表 2。其系统结构如图 3 所示。

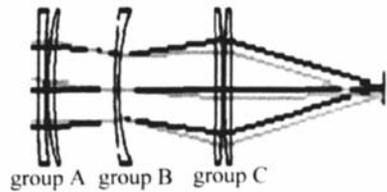


Fig 3 Optical system of hyper short lens

Table 2 Parameter chart of the whole system (hyper short lens)

surface	type	comment	radius/mm	thickness/mm	glass	semidiameter/mm
object	standard	object	infinity	400.000000		8.000000
1°	standard		107.680665	4.200000	JGS1	12.500000
2°	standard		41.266000	1.500000		12.500000
3°	standard		17.360307	4.000000	JGS1	12.500000
4°	standard		29.080315	36.000000		12.500000
aperture stop	standard		25.018045	3.000000	JGS1	12.500000
6°	standard		14.641000	57.300000		12.500000
7°	standard		-268.705208	4.200000	JGS1	12.500000
8°	standard		-52.460687	1.200000		12.500000
9°	standard		51.435308	4.000000	JGS1	12.500000
10°	standard		infinity	90.800000		12.500000
image	standard		infinity			2.188983

经过优化之后,除 C 组最后一个镜片的曲率没有发生变化外,其它的都发生了变化,但是基本形状还是相似的。系统经过优化后,成像质量也取得不错的结

果。取物高为 0mm ~ 8mm 的视场角度,选择次短焦时的像差图来分析成像质量。

由图 4~ 图 6 所示,该变焦系统的成像质量只能

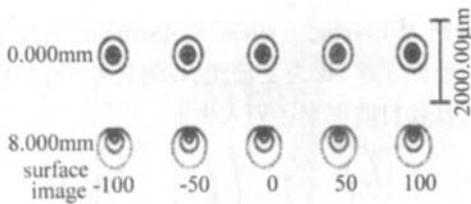


Fig 4 Spot diagrams of through focus

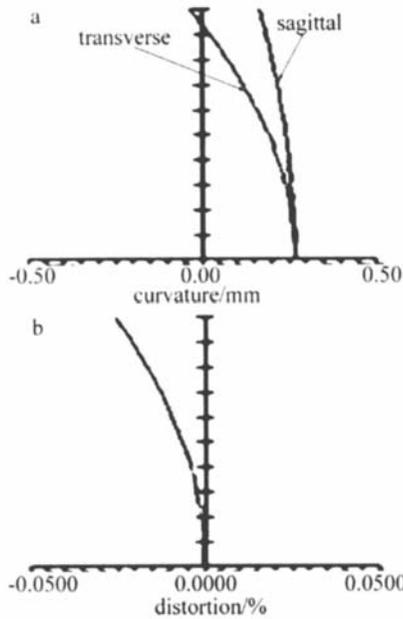


Fig 5 Field curvature and distortion

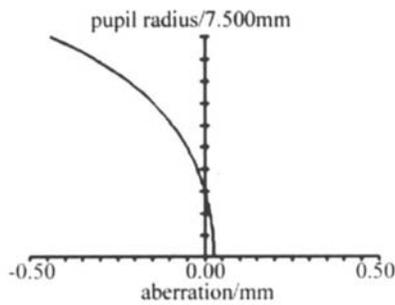


Fig 6 Longitudinal aberration

基本满足要求。可以看出次长焦时的畸变比较小,但像散和球差还不是非常小。如果设计得更巧妙的话,成像质量可以进一步提高,尤其是像散和球差得得到

Table 3 Heights of image at four statuses

telephoto lens	hyper telephoto lens	hyper short lens	short lens
1.93mm	1.63mm	1.41mm	1.12mm

较大的提高。为了探求该系统的缩小倍率,进行光线追迹。经过光线追迹,长焦,次长焦,次短焦和短焦时的像高见表 3(此时物高为 8mm)。

可见,此系统的缩小倍率为 0.15~0.24,即系统在倍率 0.15~0.24 范围内可以任意变化。根据实际需要,可以改变系统结构,添加镜片个数进行优化后,可以取得更大的倍率变化范围。这对于微细加工技术来说,特别是要求加工尺寸大小连续变化的过程,无疑是个新的具有可行性的技术。

### 3 结 论

通过 ZEMAX 软件的模拟,可知在准分子激光刻蚀技术中,采用变焦物镜代替普通物镜,无需更换掩模就可刻蚀出各种尺寸不同而结构相似的图形。因此,它完全是一种可行的新技术方案。只要变焦系统设计合理,使像差控制在一个很小的范围内,这种新技术在以后的微细加工技术中必将有很广阔的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] YUAN W, ZHANG B H. Micro mechanism and micro processing technology [M]. 2nd ed Xi'an: Northwest Institute of Technology Press, 2001: 84~133 (in Chinese).
- [2] QI H, CHEN T. Research of polymers used in fabrication of biochip [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 138~141 (in Chinese).
- [3] ZHANG L, LOU Q H, WEI Y R. Micropatterns on polymers etched by excimer laser [J]. Laser Technology, 2002, 26(2): 94~96 (in Chinese).
- [4] DU J L, ZENG Y S, HUANG X Y. Effect of distortion of mask on photolithography pattern quality [J]. Laser Technology, 2002, 26(1): 20~22 (in Chinese).
- [5] YE Zh H, LOU Q H, LI H X. Beam homogenizing technology for UV excimer laser [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 207~212 (in Chinese).
- [6] AN L Sh. Apply optics [M]. 3rd ed Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2003: 202~204 (in Chinese).
- [7] YUAN X C. Optical design [M]. Beijing: Science Press, 1983: 525~535 (in Chinese).
- [8] TAO Ch K. Zoom lens optical system design [M]. Beijing: National Defense Industrial Press, 1988: 49~63 (in Chinese).
- [9] TAO Ch C. Equations using in zoom system [J]. Chinese Science Bulletin, 1977, 22(4-5): 207~213 (in Chinese).
- [10] LI Ch J. Research on differences of design parameters between laser optics and geometrical optics in laser focusing system [J]. Laser Technology, 1994, 18(5): 277~280 (in Chinese).