

# 激光光刻大面积扫描投影成像光学系统测试及评价

梅龙华 周金运 雷亮 林清华 王新星 施颖

(广东工业大学物理与光电工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要** 基于 351 nm XeF 激光大面积投影成像光刻系统, 通过对其光学系统包括光学照明系统和折叠投影系统进行光学性能测试。由激光经过柱面透镜、微透镜阵列均束器以及投影折叠物镜之后产生的能量及光束质量变化, 将准分子激光光束均匀性评价指标部分运用到光学系统的评价之中, 得到光学系统在不同关键位置的能量分布曲线以及平顶因子关系图, 表明微透镜阵列均束器虽保证了整个光学系统各处光斑的均匀性, 但衍射却造成了能量利用率的降低。同时, 通过对印制电路板(PCB)和玻璃(ITO)进行曝光和显影实验, 表明该双远心共焦投影光学系统, 只要控制使均匀输出的能量符合曝光剂量, 就能够满足分辨率的要求。

**关键词** 成像系统; 准分子激光; 光刻; 紫外激光投影成像; 光束均匀性; 平顶因子

**中图分类号** TN247 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.072201

## Measurement and Evaluation for the Optical System in Laser Large-Area Scanning Projection Imaging Lithography

Mei Longhua Zhou Jinyun Lei Liang Lin Qinghua Wang Xinxing Shi Ying

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

**Abstract** Based on the system of a large-area laser projection imaging lithography using 351 nm XeF excimer laser, some optical properties of the system including illumination system and folded projection system are measured. According to the variation of energy and beam quality of the beam passing through two cylindrical square lenses and two microlens arrays and projection folded system, some evaluating norm about excimer laser beam uniformity is partly adopted to evaluate this optical system. The energy distribution on different crucial areas of the optical system and the top-hat factor can be obtained. The results show that the microlens array maintains the beam uniformity, whereas the energy utilization rate is suppressed due to the diffraction. Meanwhile, through the printed circuit board (PCB) and ITO lithographic experiment, it shows that the designed double-telecentric confocal projection lithographic system can meet the required resolution, provided the uniform-output energy is controlled to be in accord with the exposure dose.

**Key words** imaging system; excimer laser; lithography; UV laser projection imaging; beam uniformity; top-hat factor

**OCIS codes** 220.4840; 120.4640; 140.2180

## 1 引言

准分子激光由于其波长短、光子能量大、空间相干性弱和平均功率大的特点, 被作为当前主流光刻装置的主要光源<sup>[1]</sup>。激光投影成像(LPI)技术集各类图像转移的优点于一体<sup>[2]</sup>, 采用准分子激光器的高输出能量进行光学投影成像, 与传统的普通光源 i 线光刻相比, LPI 具有高的分辨率和产率。

本文针对设计的投影扫描式大面积光刻系统<sup>[3]</sup>, 采用 351 nm XeF 准分子激光器作为光源, 对其中光学系统包括光学照明系统和折叠投影系统进行测试及评价。国内有许多关于准分子激光光束均匀性的报道<sup>[4]</sup>, 对本光学系统, 采用激光经过柱面透镜、微透镜阵列均束器以及投影折叠物镜后的能量及光束质量变

收稿日期: 2012-02-04; 收到修改稿日期: 2012-03-04; 网络出版日期: 2012-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(60977029, 61107029)和广东工业大学校重大项目培育专项(092010)资助课题。

作者简介: 梅龙华(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事紫外激光投影光刻方面的研究。E-mail: mlh6@163.com

导师简介: 周金运(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光刻方面的研究。E-mail: zhjy@gdut.edu.cn

化,将准分子激光光束均匀性评价指标部分运用到光学系统的评价之中,还未见报道。通过测试和评价得到一些有价值的结论,有助于了解在光刻过程中应注意的事项。最后通过实验来直观地判断光学系统投影成像的效果。

## 2 光学系统设计结果

光刻光学系统包括光学照明系统和光学投影系统,如图 1 所示。

### 2.1 照明系统设计

照明系统是投影光刻系统的关键部件之一。投影光刻对照明系统的均匀性要求很高,一般情况下,线宽越小对均匀性的要求越高。

进行照明系统光路设计时,首先进行扩束准直系统设计,然后利用微透镜阵列器匀束<sup>[5]</sup>,最后微透镜阵列组还要与聚光镜组配合良好才能得到很好的照明均匀性,通常采用柯拉照明方式,微透镜阵列组的前透镜阵列被它后面的光学系统成像在掩膜上,而微透镜阵列组的后透镜阵列应被聚光镜组成像在投影物镜的入瞳处,这样既保证了像面的均匀性,又保证了与投影物镜的匹配。

### 2.2 折叠投影光学系统

投影光刻物镜具有衍射极限的成像质量,整个视场内的光程差应小于  $\lambda/4$ ,  $\lambda$  为波长,对于无像差均匀照明圆孔径的光学系统,若要求光学调制传递函数  $f_{MT} \geq 0.6$ ,则分辨力  $R = 0.78\lambda/NA$ ,若要求  $f_{MT} \geq 0.55$ ,则分辨力  $R = 0.70\lambda/NA$ <sup>[6]</sup>。

对于像差校正,光刻物镜的色差很小,可以忽略不计。对于放大率与光刻面积,采用一个 1:1 的投影物镜;对于光学材料,选择紫外线透射率较高和热膨胀系数比较小的熔石英,如果再镀制高质量的增透膜,透射率可以达到 98% 以上。在进行光路结构设计时,采用左右完全对称且物像关系倒置的双远心的光路结构,可以自动消除垂轴像差(彗差、畸变和垂轴色差)<sup>[6]</sup>,同时可以保证像面离焦或者物面有位移时,光学系统的倍率  $M$  可以保持不变,这点对图形投影成像多次曝光显得特别重要。

投影系统设计 10  $\mu\text{m}$  分辨率,光刻物镜的数值孔径为 0.025,焦深为 560  $\mu\text{m}$ 。利用 Zemax 工程光学设计软件对其投影系统进行了模拟设计和优化<sup>[6]</sup>。

## 3 光学系统的测试及评价

实验所使用光刻光源为 351 nm XeF 准分子激光器,最大脉冲能量为 120 mJ,重复频率 1~50 Hz,平均功率为 5 W,激光脉宽为 20~30 ns,光斑尺寸为 18 mm $\times$ 8 mm。下面使用能量计测量光束经过柱面透镜和微透镜阵列均束系统之后的能量,再利用准分子激光光束均匀性评价指标对照明系统光束均匀性作数据处理和数值分析。

在照明光学系统中,使用美国 Ophir-Spiricon 公司 Juno-7Z02885 能量计分别对激光器发出的原始光斑、使用柱面透镜和微透镜阵列两关键位置进行测试,得到光学系统在不同关键位置的能量分布曲线,如图 2 所示。由图可见,能量利用率降低,根据公式

$$E(E_t) = \sum_{E_i=E_p}^{E_t} \frac{E_i N_{\text{pix}, E_i}}{E_L}$$

即可得到阈值能量-能量分数曲线如图 3 所示。式中  $E$  为每一加工窗口所对应的能量分数;  $E_p$  为峰值能量;  $E_t$  为由加工窗口所决定的阈值能量;  $E_L$  为光束总能量;  $N_{\text{pix}, E_i}$  为与能量  $E_i$  所对应的像素数目。其中曲线 A 表示使用柱面透镜和微透镜阵列之后能量分数曲线,曲线 B 表示激光原始光斑能量分数曲线。通过对图中两

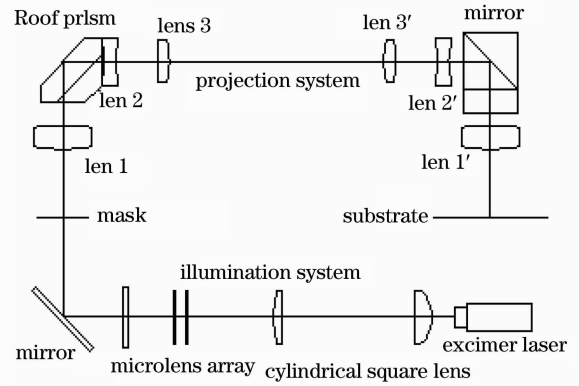


图 1 激光投影光刻系统图

Fig. 1 Diagram laser projection lithographic system of

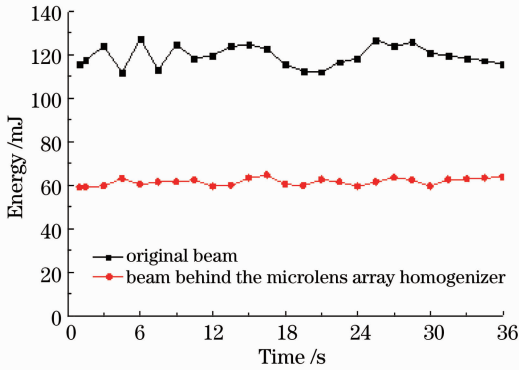


图2 原始光束和经过微透镜阵列光束能量分布图

Fig. 2 Diagram of energy distribution of the original beam and the beam passing through the microlens array

种情况下光束能量曲线的比较可以看出,在使用微透镜阵列之后光束的均匀性得到改善。

光强分布的均匀性也可以用平顶因子来衡量<sup>[7]</sup>,通过美国 Ophir-Spiricon 公司 LBA-USB-SP620 光束质量分析仪得到平顶因子值。利用柱面透镜和微透镜阵列均束器得到均匀截面位置与平顶因子关系图,即均匀截面的动态范围,根据测量数据拟合如图 4 所示,其中  $L$  为微透镜阵列到 CCD 接收屏的距离。当接收位置在 53~68 mm 之间移动时,均匀性较好,平顶因子都在 0.71 以上,动态范围可达到 15 mm。

通过上面对照明系统均匀性的测试和分析,下面分别用该曝光系统经过掩膜板(线宽  $10\ \mu\text{m}$ ,线距  $20\ \mu\text{m}$ )后对印制电路板(PCB)和 ITO 玻璃进行光刻曝光和显影实验<sup>[9]</sup>,以验证投影光学系统是否满足实际光刻分辨率的要求。用光学显微镜拍得图形如图 5 和图 6 所示。由此可以看出,所设计的双远心共焦投影光学系统,只要控制使均匀输出的能量符合曝光剂量,就能够满足分辨率的要求。

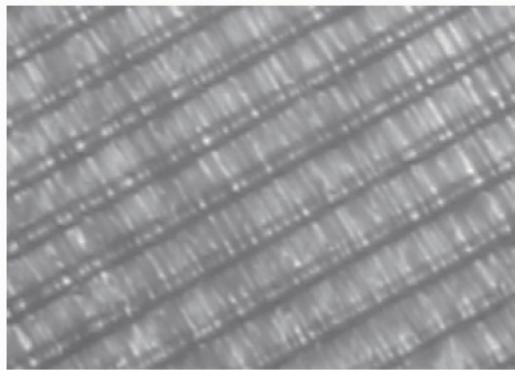


图5 PCB 经过 LPI 系统曝光显影图

Fig. 5 LPI exposure image with  $10\ \mu\text{m}$  wide line and  $20\ \mu\text{m}$  space for PCB

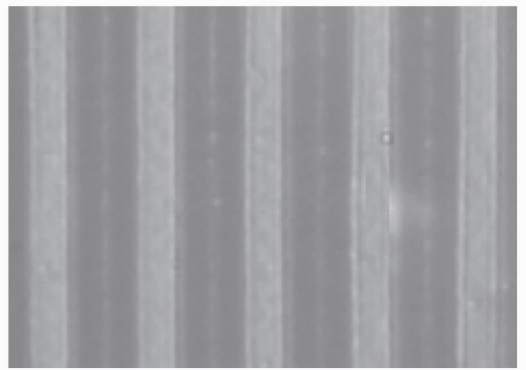


图6 ITO 玻璃经过 LPI 系统曝光显影图

Fig. 6 LPI exposure image with  $10\ \mu\text{m}$  wide line and  $20\ \mu\text{m}$  space for ITO glass

## 4 结 论

通过对激光光刻大面积扫描投影成像光学系统包括光学照明系统和折叠投影系统进行光学性能测试,得到光学系统在不同关键位置的能量分布曲线以及平顶因子关系图,表明微透镜阵列均束器虽保证了整个

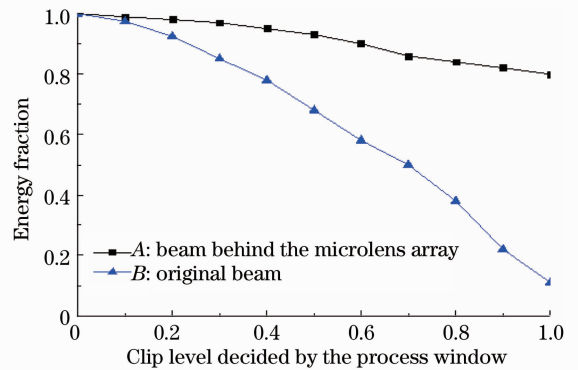


图3 阈值能量-能量分数曲线

Fig. 3 Scheme of the relation between the clip level and the energy fraction

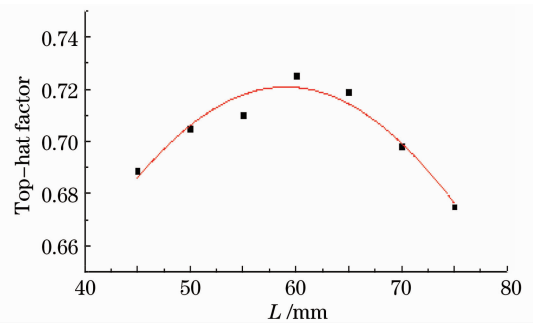


图4 均匀截面位置与平顶因子关系图

Fig. 4 Scheme of the relation between the top-hat factor and the microlens array homogenous distance

光学系统各处光斑的均匀性,但却由于衍射造成了能量利用率的降低。这对研究激光光刻光学系统光束均束器的其他方法比如二元光学均束法有参考价值。同时,通过对 PCB 和 ITO 玻璃进行曝光和显影实验,表明我们所设计的双远心共焦的投影光学系统,只要控制使均匀输出的能量符合曝光剂量,就能够满足分辨率的要求。

### 参 考 文 献

- 1 M. Hakaru. Progress of excimer laser technoledied [C]. *SPIE*, 2000, **4226**: 16~26
- 2 K. Jain, M. Zemel, M. Klosner. Large-area high-resolution lithography and photoablation systems for microelectronics and optoelectronics fabrication [J]. *IEEE*, 2002, **90**(10): 1681~1688
- 3 Jinyun Zhou, Qin Ouyang, Qinghua Lin *et al.*. 351 nm Excimer large-area lithography by scanning and projection [J]. *Advanced Materials Research*, 2010, 139~141:758~761
- 4 Li Hongxia, Lou Qihong, Ye Zhenhuan *et al.*. Research on evaluating norm of excimer laser beam uniformity [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **16**(6): 729~732  
李红霞, 楼祺洪, 叶震寰 等. 准分子激光光束均匀性的评价指标研究 [J]. *中国激光*, 2004, **16**(6): 729~732
- 5 Lin Qinghua, Song Chao, Wang Lubin *et al.*. Beam shaping of excimer laser used for lithography and its research progress [J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 2007, **24**(4): 415~419  
林清华, 宋 超, 王鲁宾 等. 用于光刻的准分子激光束整形及其研究进展 [J]. *量子电子学报*, 2007, **24**(4): 415~419
- 6 Li Wenjing, Zhou Jinyun, Lin Qinghua. Design of fold laser projection lithography lens [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(9): 46~49  
李文静, 周金运, 林清华. 折叠式激光投影光刻物镜的设计研究 [J]. *光电工程*, 2007, **34**(9): 46~49
- 7 G. Klauminzer, C. Abele. Excimer lasers need specification for beam uniformity [J]. *Laser Focus World*, 1991, **27**(5): 153~158
- 8 Wang Xinxing, Zhou Jinyun, Lei Liang *et al.*. High resolution ITO lithography using excimer laser for flat-panel display fabrication [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 314~316:1910~1913