

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.01.005

光掩膜版衍射条纹不良研究及改善分析

李文^{1*}, 徐兵¹, 熊启龙^{1,2}, 徐智俊¹

(1. 合肥清溢光电有限公司, 合肥 238000; 2. 深圳清溢光电股份有限公司, 广东 深圳 518053)

摘要: 基于衍射条纹的产生机理, 从图形设计和腔室环境方面提出改善措施, 设置不同的重叠区与图形重叠占比、不同的重叠区位置类型以及不同腔室温度和相对湿度波动, 观察版材的衍射条纹变化。试验表明, 随着重叠区与图形重叠比例的增加, 其衍射条纹不良的严重程度逐渐增加; 与混合重叠区位置类型相比, 采用单一重叠区位置类型在衍射条纹上表现更佳; 腔室温度波动超过 0.01°C 、相对湿度波动超过 32% 时, 聚焦气流波动超标, 衍射条纹不良明显变严重。通过管控图形设计和光刻温湿度, 在一定程度上可以降低衍射条纹的发生, 对于其他条纹不良的改善也有一定的借鉴意义。

关键词: 光掩膜版; 衍射条纹; 不良重叠区; 位置类型; 温湿度

中图分类号: TN209 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)01-0022-06

Research and Improvement Analysis on the Defects of Photomask Diffraction Mura

LI Wen¹, XU Bing¹, XIONG Qilong^{1,2}, XU Zhijun¹

(1. Hefei Qingyi Photomask Ltd., Hefei 238000, CHN; 2. Shenzhen Qingyi Photomask Ltd., Shenzhen Guangdong 518053, CHN)

Abstract: Lithography process is the most important part of mask manufacturing processes. Diffraction mura, as a common defect in lithography process, seriously affects the quality of customer products. Based on the generation mechanism of diffraction mura, the improvement measures are put forward from the aspects of graphic design and chamber environment. Different overlap ratio of overlap and graphics, different overlap position types, chamber temperature and relative humidity fluctuations are set to observe the variation of diffraction mura. The results show that the severity of diffraction mura increases with the increase of overlap ratio; Compared with mixed overlap position type, Single overlap position type performs better on diffraction mura; When the chamber temperature fluctuates more than 0.01°C and the relative humidity fluctuates more than 32% , the fluctuation of focused air flow exceeds the standard, and the diffraction mura becomes more serious. By controlling the temperature and humidity of graphic design and lithography, the occurrence of diffraction mura can be reduced to a certain extent, which can also be used for reference for the improvement of other stripes.

Key words: photomask plate; diffraction mura; overlap; location type; temperature and humidity

收稿日期: 2021-08-24

作者简介: 李文(1991—), 男, 主要从事掩膜版制造工艺方面的研究; (E-mail: lw@hf.supermask.com)

徐兵(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事掩膜版制造工艺方面的研究; (E-mail: xb@hf.supermask.com)

熊启龙(1972—), 男, 主要从事掩膜版制造工艺方面的研究。

* 通讯作者

引言

光掩膜版俗称 Photo Mask,其金属薄膜含有复杂几何图形,在面板显示行业,利用光刻的方式就能把光掩膜版上的图形复制到玻璃基板上,其图形包含 TFT-LCD 中的 Con 层(过孔)、Pixel-ITO 层(像素电极)和 SD 层(源漏极)^[1]等。掩膜版包含三层膜层,最上层为感光正胶,中间层为铬和氧化铬的金属层,最下层为石英或苏打基板。光刻作为掩膜版制造工艺中最为关键的一道工序,其原理是利用特定波长的激光对表面涂有感光正胶的基板进行扫描,被激光扫描过的感光胶内部分子链会发生断裂,并能溶解于特定化学药剂,通过湿法后处理得到最终期望的图形。在湿法后处理过程中,对光刻处理后的半成品版材,首先利用显影液和蚀刻液去除光刻刻写的图形部分以及下层的金属层,然后利用酸性溶剂去除最上面的胶层,最终得到的具有一定图形特征的掩膜版。条纹作为光刻工序中最易出现的一种缺陷,将对后端客户产品产生批次性、灾难性的影响。在光刻工序中存在多种不同机理产生的条纹,其中衍射条纹^[2-5]是面板显示掩膜版中最为常见的一种条纹。在暗室中利用强光照射,从特定角度观察,可以明显看出版面存在严重程度不一、宽度不一、分布间隔不一的明暗线。衍射条纹的产生机理复杂,主要受光刻腔室温度、相对湿度、图形设计等因素影响。

在图形设计方面,主要考虑相邻光刻区域之间的重叠区域。在制作面板显示掩膜版时,光刻机通常每扫描一次 X 方向,在微观上表现为平行于 Y 向扫描,整体上沿着 X 向移动,然后镜头回到原位置接着进行扫描,重复如此。为了保证光刻精度,相邻光刻区域之间会有一个重叠区域(叠加的部分即接口位置),此区域激光会重复扫描^[6-9]。

理论上重叠区域由两次能量为 100% 的设计能量光刻而成,但各光束在 Y 方向不可避免会存在位置、能量以及各光束之间间距的误差,该类误差会导致重叠区区域的能量不稳定、图形质量欠佳等不

良影响。在显影、蚀刻和脱膜后可能会影响版面局部或整体亮度均匀性,从而造成衍射条纹。

光刻机在进行高精度扫描时,对外界的温湿度要求颇高,过高或过低的温湿度会影响激光干涉仪的定位准确度和镜头聚焦的稳定性,在光刻原材时,镜头下方的气流会影响镜头与版材之间的距离,气流如果因温湿度影响发生变化,那么镜头与版材之间的距离也会发生不规则扰动,这可能导致产品的衍射条纹变得严重。

随着显示行业对产品的要求越来越高,掩膜版的制造水平也需要相应提高。常见条纹,尤其是衍射条纹的控制就成为了重中之重,在设备能力一定的情况下,还需要从制造水平上进行优化。文章通过对图形设计中的重叠区和温湿度这两方面进行实验设计,结合实验结果,对掩膜版衍射条纹改善进行探索,使条纹水平降至最低。

1 实验设计与结果分析

不同系列光刻机的光刻扫描宽度和重叠区长度不同,本系列光刻机采用 Mycronic 生产的 FPS 型^[10],在 Y 方向的最大扫描宽度和重叠区长度分别为 347.2 μm 和 11.2 μm 。根据实际掩膜版生产情况,选取具有代表性的若干图形并进行实验设计,分别是 Con 层、Pixel-ITO 层和 SD 层,均是面板显示行业的典型图层。各实验组其他的工艺条件如光刻剂量和显影蚀刻时间等均相同,测试版尺寸为 152 mm \times 152 mm \times 2.3 mm,光刻后进行标准显影、蚀刻、脱膜工艺,并在暗室中通过强光射灯对各组样品衍射条纹程度进行判定。为减少专业检测人员的主观差异性,检测过程设定在同一时段、同一检测人员条件下进行。版材检测面为掩膜版镜面,射灯入射角度在 10° 到 80°,观测者与版材的观察距离约为 0.3 m,照度为 400 000 lux。判定依据为条纹的可视度、线条贯穿性、均匀性和衍射条纹特征尺寸四个方面,四项均 OK 则判定测试版条纹无异常,否则判定测试版条纹 NG,表 1 为具体的判断依据。

表 1 测试版条纹判断依据

Tab.1 Mura judgment basis of test plates

可视度		贯穿性		均匀性		特征尺寸/mm	
明显或中等可视	轻微或不可视	整版或局部贯穿	非贯穿	整版或局部不均匀	均匀	≥ 0.2	< 0.2
NG	OK	NG	OK	NG	OK	NG	OK

1.1 重叠区对衍射条纹的影响

1.1.1 重叠区与光刻图形重叠区占比 σ 对衍射条纹的影响

以 Con 层图形为例,其主要特征为光刻区域分布一定尺寸的方形,方形区域透光,其余大部分区域均不透光。根据排布规律,分别设计重叠区与光刻方形区不同重叠面积占比 σ ,以过孔方形区域面积为基数, σ 分别设置为 0、20%、50% 和 100%。此外,为对比 Con 尺寸对衍射条纹的影响,设置了一组对比组,孔的宽度为 15 μm ,超过重叠区域且重叠区完全位于孔上。以上试验参数与实验结果如下表 2 所示,图例中两平行红色实线之间区域代表重叠区。

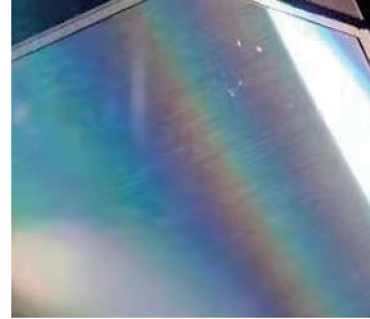
表 2 重叠区与光刻方形重叠占比 σ 对衍射条纹不良的影响

Tab.2 Impact of overlap and lithography square overlap ratio σ on Mura

序号	σ (%)	设计图形图例	宏观现象	Mura 判定
①	0		干净清晰,非贯穿,各角度均无不良	OK
②	20		轻微均匀条纹,无贯穿明暗线	OK
③	50		重度均匀条纹,有贯穿明暗线	NG
④	100		重度均匀条纹,有大量贯穿明暗线	NG
⑤	对比组		重度均匀条纹,有大量贯穿明暗线	NG

从表 2 可以看出,重叠区与图形无叠加时,观察发现版面各个角度均没有衍射条纹。当增加叠加区域后,发现有轻微均匀分布的条纹,无明显暗线;进一步增加叠加区域至 50% 及以上,条纹现象目视明显,且有大量贯穿的明暗线,对比组同样如此,均已达到报废标准,如图 1 所示分别为第④组和第①组的条纹情况(σ 分别为 100% 和 0%)。不同 σ 的衍射条纹严重程度与重叠区区域内的光束能量稳定性紧密相关,由于重叠区区域被相邻的扫描宽度的多条光束描绘,其光束位置、能量的偏差对整版的条纹影响甚大。宏观上的不良必定会在微观上有所

体现,为研究衍射条纹在微观上的区别,对上述各 σ 值对应的 Con 图形的线边质量和关键尺寸(Critical Dimension, CD)进行检查,检查设备为 Vtec Venus 机型,测量镜头倍率为 100 倍。



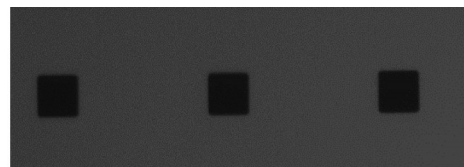
(a) 第④组严重衍射条纹不良



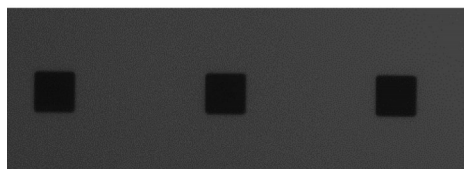
(b) 第①组轻微均匀衍射条纹不良

图 1 不同 σ 对应的衍射条纹(a: $\sigma=100$; b: $\sigma=0$)

Fig.1 Diffraction mura corresponding to different σ (a: $\sigma=100$; b: $\sigma=0$)



(a) 第④组显微图



(b) 第①组显微图

图 2 不同 σ 对应的显微图(a: $\sigma=100$; b: $\sigma=0$)

Fig.2 Micrographs corresponding to different σ (a: $\sigma=100$; b: $\sigma=0$)

在显微镜放大 100 倍且只开启反射光的情况下,查看方形图形的线边粗糙度和直线度。各组图形的线边质量均良好,第④组和第①组线边质量无明显差别,如图 2,主要原因是 Con 层图形规整,平

行或垂直光刻方向时,重叠区区域的光束位置偏差对图形线边质量影响不大。为研究不同程度的衍射条纹在CD上的差别,对表2中的①~④组测试版进行Y向(即图形竖向)连续点CD测量,每个测试版连续测量40个点位,每个点位测量一次后得到一个CD测量值。对于 σ 为20%,50%,100%,按照表2中图形排布规律,分别测量20个重叠区和非重叠区点位,间隔排列,而 σ 为0时,全部为非重叠区测量点位,结果见下图3。

由图3可知,重叠区测量点位的CD值明显偏大,且随着 σ 值的增大而增大,在四组中,非重叠区测量点位的CD平均值基本一致。不同位置的重叠区

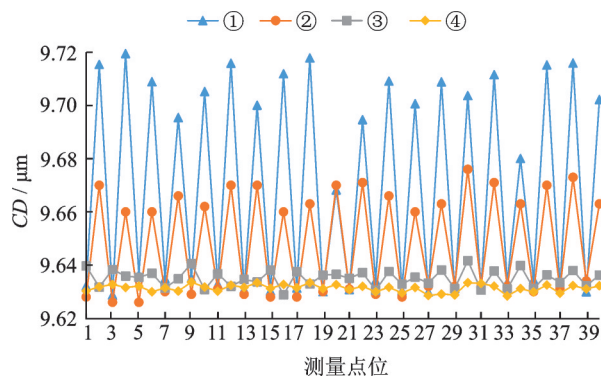


图3 重叠区区域不同位置对CD的影响

Fig.3 The influence of different overlap positions on CD
① 重叠区_100%; ② 重叠区_50%; ③ 重叠区_20%; ④ 重叠区_0;

对CD的影响,各组CD范围($CD_{max} - CD_{min}$)的大小顺序为重叠区_100% > 重叠区_50% > 重叠区_20% > 重叠区_0。在 σ 为0时,CD范围仅为5 nm左右,当 σ 从20%增加至50%时,CD范围也在此发生了突变,由此前的13 nm增加到50 nm,同时,衍射条纹也在此由轻微变为严重,说明CD范围的大小顺序与衍射条纹严重程度的规律完全吻合。

通过以上结果可以得出,在图形设计允许的条件下,尽量减少重叠区与图形的叠加面积,进而从侧面减小CD范围,可以有效减弱衍射条纹的程度。

1.1.2 重叠区在图形中位置差异对衍射条纹的影响

在产品制作中,Con层是最为简单的膜层,面对结构复杂的图形时,往往无法避免重叠区与图形的重叠,如Pixel-ITO层,SD层等,其重叠区就不可避免地设计在光刻区域。为了研究重叠区与光刻图形的重叠位置对衍射条纹的影响,设计了如下试验。以典型的Pixel-ITO和SD层为研究对象,将重叠区设置不同的图形位置类型,分别为Pixel-ITO:沟槽与图像区混合设置、中沟槽区域设置、图像区域设置以及下沟槽区域设置;SD层:线条与图像区混合设置、近邻图像区域设置、图像区域设置以及远离图像区域设置。经显影、刻蚀和脱膜后在暗室内以强光射灯观察,结果如表3。

表3 Overlap不同位置类型对Mura的影响

Tab.3 Influence of different overlap positions on Mura

组别	设计图形图例		宏观现象	不良判定
	Pixel-ITO	SD		
①			重度均匀条纹,有贯穿明暗线	NG
②			轻微均匀条纹,无明暗线	OK
③			轻微均匀条纹,无明暗线	OK
④			轻微均匀条纹,无明暗线	OK

如表3设计图例所示,第①组有三种重叠区位置类型,第②③④组重叠区与图形只有一种交叠类型。观察条纹效果,Pixel-ITO和SD层均是第①组条纹效果最差,具体表现为严重的类似于树皮状的条纹,伴随着明显的贯穿亮暗线,达到了版材报废的程度。而第②③④组的条纹效果相对明显改善,尽管也有少数树皮状条纹,但是程度轻微均匀,不易察觉,该类条纹对客户造成的影响可忽略不计。究其原因,当图形有多种重叠区位置类型时,激光光束能量、位置偏差以及各光束之间的间距误差对各重叠区位置影响不一,各重叠区位置对激光光束能量、位置和间距误差的敏感度也各有不同。每种位置类型产生的条纹效果有些许不一致,各种相互不一致的现象叠加聚集会在视觉上造成较为严重的周期性宏观效果,在射灯下观察,可以看出严重不均匀的衍射条纹。

由此可见,在日常的掩膜版图形设计和生产中,根据膜层情况,采用单一的重叠区位置类型将有助于减弱衍射条纹现象。

1.2 温湿度对衍射条纹的影响

稳定的光刻过程需要可靠的定位系统以及镜头焦距稳定性的保证,而光刻腔室内的温度和相对湿度是影响坐标定位和镜头聚焦的主要因素之一,在光刻过程中若焦距不稳定则会加大衍射条纹的发生风险。为研究不同的温度和相对湿度对衍射条纹的影响,设计如下试验:在保持产品设计和工艺条件一致的前提下,以Pixel-ITO层和SD层为研究对象,在一定时间内,各组温湿度的中心值保持不变,设置四组温湿度均匀波动的实验组,温度波动大小从0.004℃到0.018℃,相对湿度波动大小从7.9%到49.3%。在此

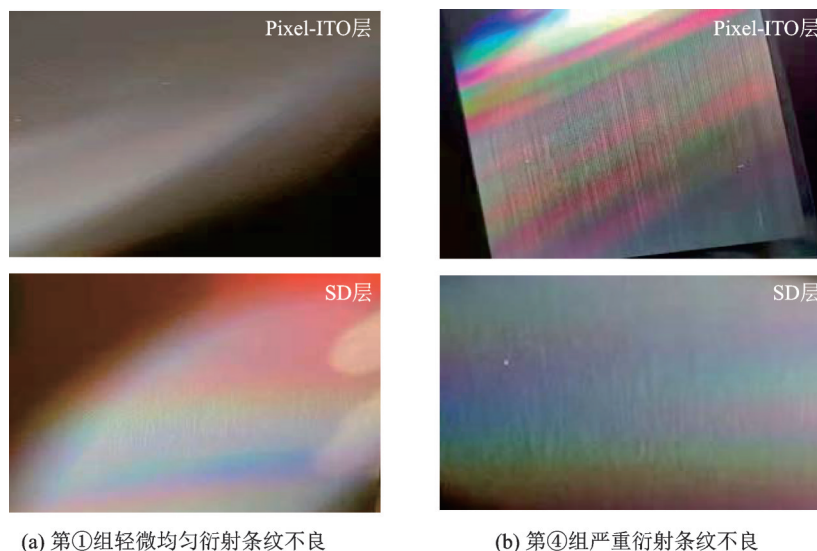
基础上考察不同的温湿度波动对衍射条纹的影响,各组温湿度波动情况和衍射条纹测试结果如表4所示。

表 4 温湿度波动设置

		项目组别			
		①组	②组	③组	④组
相对湿度波动大小/(%)	Pixel-ITO	7.9	21.4	34.1	49.3
	SD	8.2	23.0	32.1	49.0
温度波动大小/(℃)	Pixel-ITO	0.005	0.01	0.013	0.017
	SD	0.004	0.009	0.014	0.018

表4是光刻机在刻写版期间内部温湿度的波动情况,而图4选取具有代表性的条纹图,分别为第①组和第④组的条纹情况。第①组条纹水平低,整版条纹结果良好,第②组和第①组条纹情况类似,第④组有严重条纹,且有明显贯穿的明暗线,第③组比第④组条纹状况略好,但是仍达到NG标准。从上可以看出,当温湿度波动很小时,条纹几乎不可见;当温湿度波动大小超过0.01℃,相对湿度的波动达到32%时,条纹效果明显变差,进一步加强温湿度波动大小,条纹变得更加明显,在强光灯照射下,目视轻易可见。此外,选取第①和第④组,分析这两组在光刻时气流高度和Z向高度的版面分布图,见图5。

对比可以发现第④组测试版在光刻时,气流高度在版面的分布均匀性远远低于第①组的测试版,同时Z向高度分布的均匀性也较差,这些均表明大范围的温湿度波动对镜头运行时的稳定性造成影响,从而造成严重的衍射条纹。为了减弱条纹对产品的影响,在实际生产中,需要控制光刻机内部温度的波动小于0.01℃,相对湿度的波动小于32%,



(a) 第①组轻微均匀衍射条纹不良

(b) 第④组严重衍射条纹不良

图 4 不同温湿度对应的衍射条纹

Fig.4 Diffraction mura corresponding to different temperatures and humidities

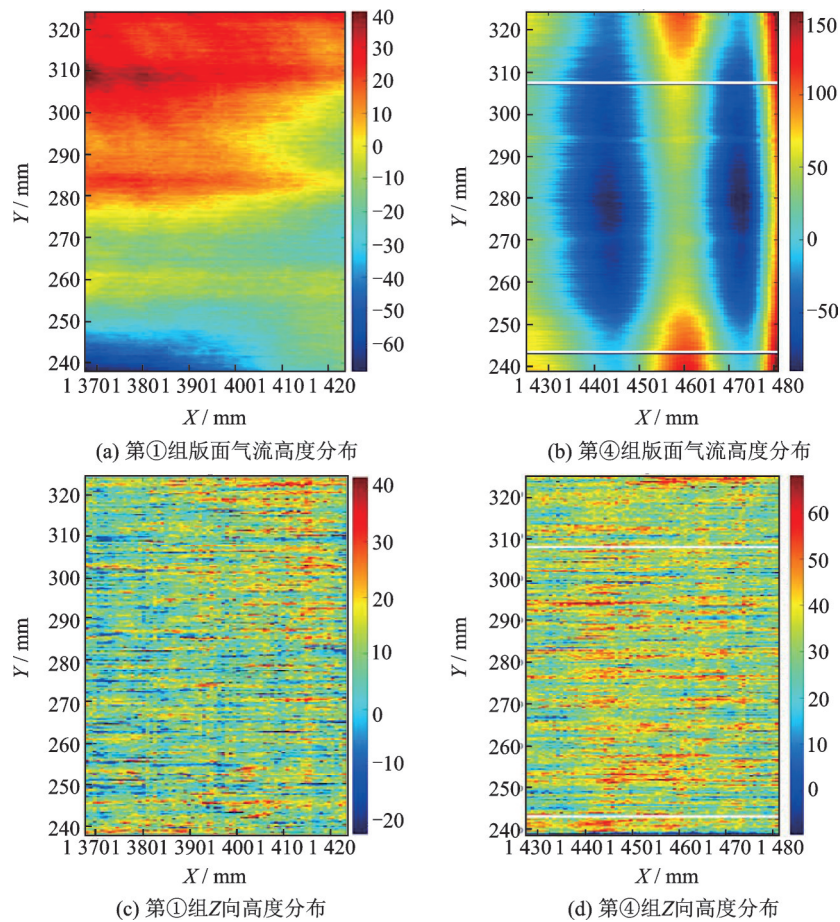


图5 气流高度和Z向高度分布对比

Fig.5 Comparison of flow and Z-direction height distribution

以提高镜头焦距稳定性,进而提升产品的质量。

2 结 论

针对目前FPS系列光刻机生产的掩膜版产品易出现严重衍射条纹的现状,从图形设计和光刻机腔室环境两方面对条纹效果进行优化。在图形设计方面,随着重叠区与图形重叠比例的增加,其衍射条纹的严重程度会逐渐增加。对于复杂图形,与混合重叠区位置类型相比,采用单一重叠区位置类型在衍射条纹上表现更好,均为轻微均匀的条纹,对客户产品影响甚微。在腔室环境方面,腔室温度波动超过 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度波动超过32%时,聚焦气流波动超标,导致衍射条纹明显变差,宏观上表现为严重的不均匀变化的树皮状条纹,并伴随部分贯穿亮线。在实际生产中,重叠区合理避开光刻图形且尽量减小重叠区设计位置类型,保持设备腔室内部的温湿度稳定,可以有效减弱衍射条纹的程度。通过这些管控措施,逐步降低产品的不良率,提升产品的精度,降低生产成本。以上研究旨在图形设计和腔室环境方面改善衍射条纹,对于其他类

型的条纹依旧存在一定的参考价值,能够为光刻产品条纹改善这个大方向提供一定的经验积累。

参 考 文 献

- [1] 申智源. TFT-LCD技术结构、原理及制造技术[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [2] 黄霜霜,喻 玥,马国永,等. TFT制程曝光色差研究[J]. 液晶与显示,2021,36(3):412-419.
- [3] 村井诚. 波纹缺陷检查掩模、波纹缺陷检查装置及方法、以及光掩模的制造方法[P]. 中国专利: CN200510075811.9,2005-11-30.
- [4] 齐 鹏,施 园,刘子源. TFT-LCD Touch 条纹不良的研究和改善[J]. 液晶与显示,2013, 28(2):204-209.
- [5] 杨德波,王云志,陶 雄,等. Rubbing 条纹产生机理及改善研究[J]. 液晶与显示,2018,33(6):469-474.
- [6] T·桑德斯雷姆,P·伊克伯格,P·阿斯克杰,等. 在平版印刷中用于减少误差的方法[P]. 中国专利: CN00807832.7,2002-05-29.
- [7] 托布乔恩·桑德斯卓姆,雷夫·奥德赛柳斯,彼得·埃克博格,等. 在微刻写入中的射束定位[P]. 中国专利: CN00814427.3, 2002-11-13.
- [8] 滕 伟,穆海华,周云飞. 光刻机工作台运动控制中的若干关键问题[J]. 机械工程学报,2014,50(8):165-173.
- [9] 杨亮亮,周云飞,潘海鸿,等. 步进扫描投影光刻机同步机制研究[J]. 中国机械工程,2009,20(1):20-23.
- [10] Micronics. Multi-purpose photomask manufacturing gets unparalleled flexibility [EB/OL]: <https://www.mycronic.com/en/products/photomask-equipment/multi-purpose-mask-writer/>, 2021-05-20.