

微透镜阵列防伪膜制备的新方法

孙浩杰¹, 史 勇²

(1. 上海出版印刷高等专科学校 印刷包装工程系, 上海 200093;

2. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 基于微透镜阵列的防伪膜技术便于观察和易于识别的特点, 采用高感光度的 AZ 1500 和较高解像度的 AZ MIR-703 正性光刻胶以及 SU-8 负性光刻胶对微透镜阵列防伪膜进行制备, 光刻胶热熔法被用来制作微透镜阵列, PDMS 被用来制作微透镜阵列的倒模, 将 SU-8 和 PDMS 倒模配合使用制作最终的微透镜阵列, 利用 AZ 1500 光刻胶制备微缩文字阵列, 从而得到具有体视效果的微透镜阵列防伪膜。实验表征和分析表明, 这种方法制备的微透镜阵列防伪膜效果明显, 均匀性好。该方法与其他方法相比, 工艺简单, 对材料和设备的要求不高, 工艺参数稳定易于控制, 是一种微透镜阵列防伪膜制备的简便新方法。

关键词: 微透镜; 防伪; 莫尔条纹; 微缩文字

中图分类号: O 439 文献标志码: A

A new method for preparation of microlens array anti-counterfeiting film

SUN Haojie¹, SHI Yong²

(1. Department of Printing and Packaging Engineering, Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China; 2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The microlens array anti-counterfeiting film technology is a new anti-counterfeiting technology, which is easy to observe and easy to identify, especially in the environment of insufficient light. A high sensitivity positive photoresist AZ 1500, a high-resolution positive photoresist AZ MIR-703 and a negative SU-8 photoresist were used to produce a microlens array anti-counterfeiting film. Photoresist melting was used to fabricate the microlens array, PDMS was used to fabricate the reverse mold of the microlens array, SU-8 and PDMS reverse mold were used together to make the final microlens array, and the photoresist AZ 1500 was used to fabricate the microtext array. Subsequently, a kind of microlens array anti-counterfeiting film with a stereoscopic effect was obtained. The experimental characterization and analysis show that the microlens array anti-counterfeiting film prepared by the method has obvious effect and good uniformity. Compared with other methods, the method has the advantages of simple process, low requirement for material and equipment, stable

process parameter and easy control. It is a simple and novel method.

Keywords: microlens; anti-counterfeiting; Moire fringe; microtext

基于微透镜阵列的防伪膜技术^[1]是一种新的防伪技术，它是在传统几何光学透镜成像定律的基础上，结合现代微纳米光学领域的先进技术发展而来的。这种技术具有便于观察和易于识别的特点，特别是在光线不足的环境下也可轻易识别，因此受到人们的青睐。制作微透镜阵列是微透镜阵列防伪膜技术中关键的一步。近些年来，制备微透镜的技术有很多，主要有光刻胶热熔成形法^[2]、各向异性刻蚀法^[3]、离子交换法^[4]、激光直写法^[5]、空间光调制法^[6]、软硬膜压印法^[7-10]、灰度掩膜紫外光刻法^[11]、反应离子束刻蚀法^[12]、喷墨法^[13]等。反应离子束刻蚀法中，离子束的均匀度、温度效应、气体的选择等很多因素都直接影响微透镜阵列的品质，工艺较为复杂^[12]；光刻胶热熔成形法，因为光刻胶的黏度是一定的，不同基材其浸润程度不同，导致所制作的微透镜阵列的品质不同^[14]；喷墨法对仪器的精度和树脂本身的特性要求都非常高，成本较高^[13, 15]；灰度掩膜法在配制溶胶凝胶溶液时需花费大量的时间和精力，各物质之间的配比要严格控制，成本高，且不适合批量生产^[16]。Fritze 等^[17]和黄校军等^[18]利用飞秒激光直写技术在镍板上制作微透镜阵列，配合压印技术实现批量生产，但是微透镜的形貌观感和一致性尚需提高，而且模压的温度在 139 ℃ 以上，对于基材的选型限制较大。张嘉元^[19]利用热熔法制作的微透镜阵列防伪膜，精度较高，效果较好，基材的下表面是采用离子束溅射镀膜技术和紫外压印技术制备的滤光片阵列，这种防伪膜能显示较为丰富的颜色，但工艺较为复杂，对于过程控制要求严格。范广飞^[20]利用光敏记录层加微透镜阵列层的方式制作防伪膜，光敏记录层上图像加工的手段较单一，光敏记录层是多层的薄膜结构，加工精度要求很高。

为了解决以上问题，本文提出制备微透镜阵列防伪膜的新方法。该方法通过光刻胶热熔成形法和烘烤工序制备及复制微透镜阵列，再通过曝光和显影方法在微透镜阵列的 PET 膜背面做微缩文字阵列，可在同一片 PET 膜的正背面分别制备出微透镜阵列和微缩文字阵列，得到具有双面结

构的微透镜阵列防伪膜。

1 实验仿真

1.1 实验准备

采用 PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)作为基材，光刻胶是 AZ MIR-700 系列中高解像度 I 线正性光刻胶 AZ MIR-703。选取 SU-8 负性光刻胶复制微透镜阵列。选取 250 W 的紫外高压汞灯作为曝光光源，光谱能量分布中心波长为 365 nm，曝光平台距离光源 102 mm。掩膜版采用正六边形排列的正六边形掩膜，如图 1 所示，单个六边形的外接圆直径为 60 μm，两个六边形边与边之间的距离为 10 μm。

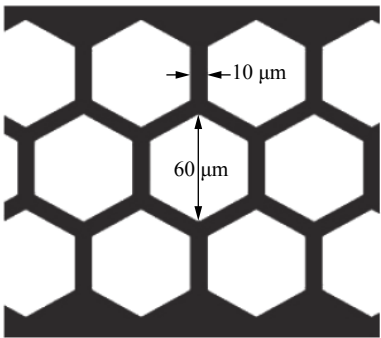


图 1 掩膜版几何示意图

Fig. 1 Geometric diagram of the mask plate

1.2 微透镜阵列的制备和复制

在 K9 玻璃基片上旋涂 AZ MIR-703 光刻胶，之后在 110 ℃ 的烘箱里对光刻胶进行烘烤。取出烘干的 K9 玻璃基片，将带有预设图案的掩膜版放在 K9 玻璃基片上，用搭建的曝光系统进行曝光，并显影，吹干。获得 K9 玻璃基片上棱柱状的阵列结构，然后将其放入烘箱，以 140 ℃ 的温度烘烤 45 min，由于表面张力作用，光刻胶棱柱结构上表面在坍塌时形成球面状，光刻胶微透镜阵列完成，如图 2(a)所示。

将聚二甲基硅氧烷 PDMS(Polydimethylsiloxane)和固化剂，按体积比 1 : 10 的比例混合均匀，倾倒至微透镜阵列上，再将其放到热台上以 100 ℃ 的温度加热 90 min 左右。当 PDMS 固化好后，将

其揭下, 得到完整的 PDMS 微透镜阵列倒模, 如图 2 所示。

在 PDMS 微透镜阵列倒模的凹槽填满 SU-8 光

刻胶, 然后将 PET(Polyester)膜覆在 PDMS 上面, 曝光, 待其冷却固化后, 揭下 PDMS, 得到带有微透镜阵列的 PET 膜, 如图 3 所示。

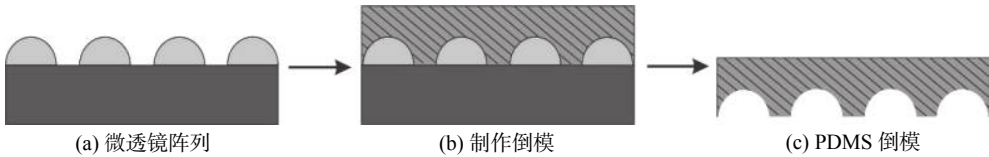


图 2 PDMS 微透镜阵列倒模
Fig.2 Inverted mode of the PDMS microlens array

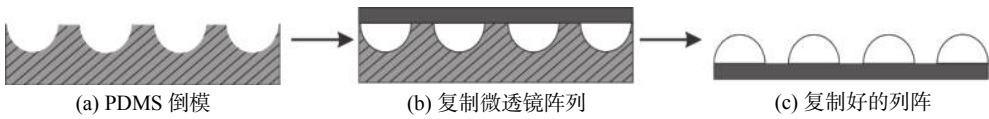


图 3 利用 PDMS 和 PET 复制微透镜阵列
Fig.3 Copying microlens array by use of PDMS and PET

1.3 微缩文字阵列制备

在微透镜阵列的 PET 膜背面做微缩文字阵列, 微缩文字阵列掩膜版的设计方法和微透镜阵列掩膜版相同, 并确定微缩文字阵列的周期和单个微缩文字的尺寸。将 PET 膜固定在玻璃基片上, 然后将玻璃基片吸附在匀胶机上进行匀胶, 如图 4 所示, 匀胶结束后将 PET 膜放在 95 ℃ 加热台上加热固化 60 min。

间的间隔很明显, 整个阵列结构分布十分清晰且均匀。

利用金相显微镜观察微缩文字阵列膜, 可显现微缩文字阵列的形貌, 如图 6 所示, 微缩文字

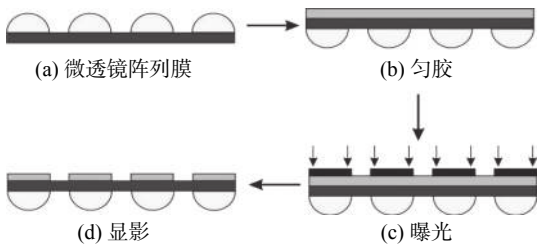


图 4 微缩文字阵列的制作流程
Fig. 4 Production process of the microtext array

待 AZ 1500 光刻胶干后, 将掩膜版放在膜表面, 用搭建的曝光系统进行曝光, 取出曝光后的 PET 膜用显影液显影并吹干, 获得 PET 膜上的微缩文字阵列, 即可得到具有双面结构的微透镜阵列防伪膜。

2 样品表征

利用金相显微镜观察热熔后的微透镜阵列的表面, 如图 5 所示。可以看到微透镜热熔后的表面, 图中的六边形边角分明, 六边形与六边形之

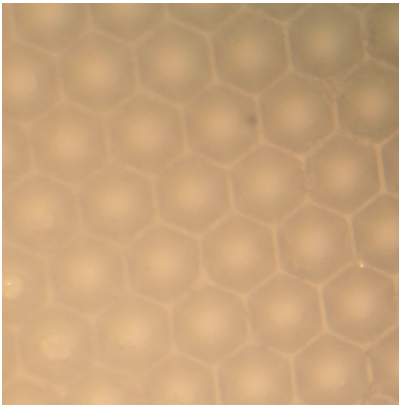


图 5 热熔后微透镜阵列的表面
Fig. 5 Surface of the microlens array after thermal melting

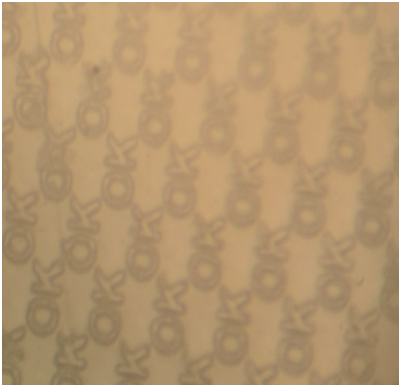


图 6 微缩文字阵列图
Fig. 6 Microtext array diagram

阵列排列规则，显影效果较为清晰，能够分辨出文字的具体内容。

微透镜阵列防伪膜的最终效果，如图7所示，可以看出基材背后的微缩文字阵列在基材前表面的微透镜阵列的作用下，具有了很好的立体效果，实验结果符合实验预期。



图7 微透镜阵列防伪膜最终效果图

Fig.7 Final effect of anti-counterfeiting membrane in the microlens array

3 实验分析

3.1 莫尔放大作用的验证

将微透镜阵列和微缩文字看成两个有一定周期结构的光栅，当两光栅夹角为0时，不产生莫尔条纹；当两光栅的夹角很小时，就会产生明显的莫尔条纹放大作用。由于微透镜阵列对微缩文字的莫尔放大作用^[1]，就可以产生特殊的视觉效果。

因此，将两片带有微透镜阵列的防伪膜重合在一起，可以观察到在两片防伪膜相互移动的过程中，由于莫尔放大作用的存在，原来防伪膜上肉眼观察不清楚的微透镜阵列，清晰地呈现在眼前而不需要借助额外的仪器。如图8所示，图中的微透镜阵列均匀有序地排列，随着两片防伪膜相互之间位置的不同，放大的倍率也不相同，眼睛观察到的微透镜阵列的尺寸也不相同。

3.2 几何结构尺寸的测量

借助 Bruker 公司的三维白光轮廓仪 GTK0-X 进一步测量微透镜阵列具体的形貌和尺寸，并以 3D 图形直观呈现，有助于实验结果的分析。图9是白光轮廓仪选用 50 倍的物镜下，微透镜阵列的表面轮廓图。从图9可看出微透镜阵列表面形貌基本相同。

在软件界面可以测量微透镜的高度和微透镜底面六边形外接圆的直径(以下简称微透镜底面直径)。如图10所示，在防伪膜正中心位置，选取采样区域，每个区域中有若干个采样点，每个采

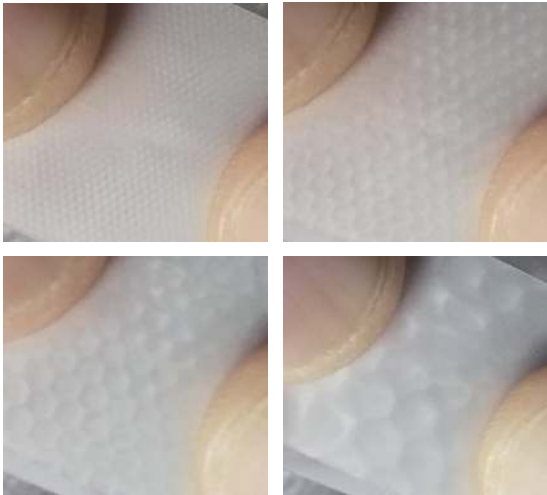


图8 微透镜阵列的莫尔放大作用

Fig.8 Moire amplification of the microlens array

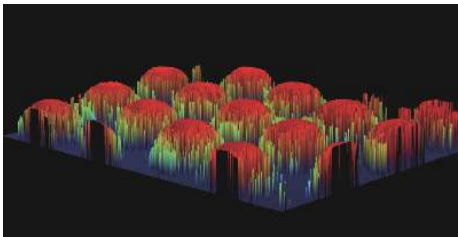


图9 微透镜列表面的轮廓图

Fig.9 Profile of the microlens array surface

样点对应着一个微透镜。图10(a)显示的是微透镜高度的测量，通过拉动图中红、绿箭头分别置于微透镜的中心和边缘处，即为所要测量的微透镜的高度。图10(b)显示的是微透镜底面直径的测量，通过拉动图中的红、绿箭头分别置于六边形的两个对角点，即为所要测的微透镜的直径。

根据以上的方法，选取其中8个微透镜并测量其高度值和其底面直径值，并记录数据和绘制数据图。如图11所示，横坐标表示中心采样区域的8个采样点处的微透镜，纵坐标是高度或者底面直径的数值，单位是μm。从数值的变化趋势可以看出，微透镜底面直径的尺寸变化和微透镜高度的变化都较为平缓，说明制备的微透镜阵列的均匀性较好。

同样方法，选取5个采样区域，如图12所示。5个采样区域的微透镜底面直径的散点图显示：微透镜底面直径的变化较小，基本在58.5~62 μm 的范围内；微透镜高度变化也很小，基本在15~19 μm 范围内。这个结果进一步说明制备的微透镜阵列的均匀性较好。

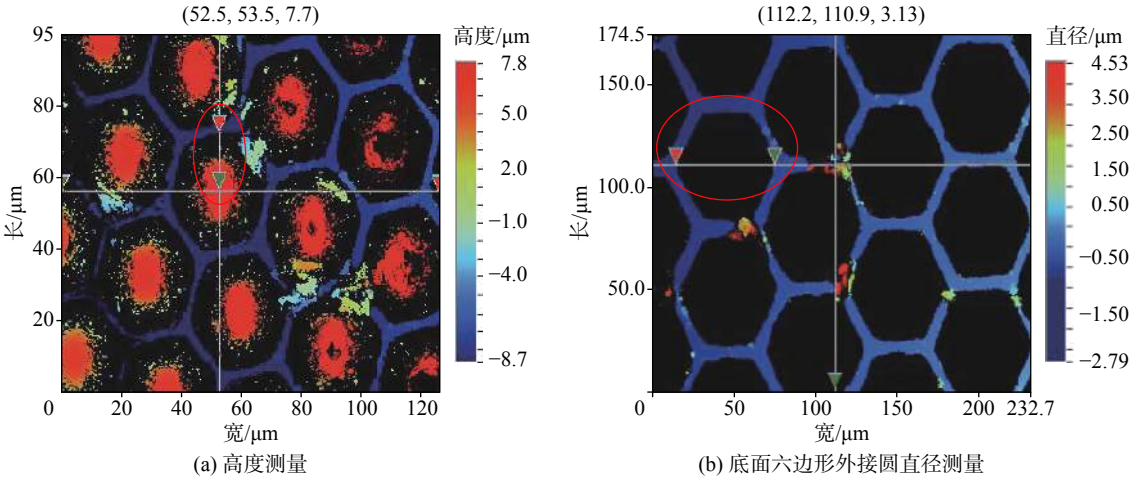


图 10 微透镜阵列结构尺寸的测量图

Fig.10 Measurement of the structural dimensions of microlens array

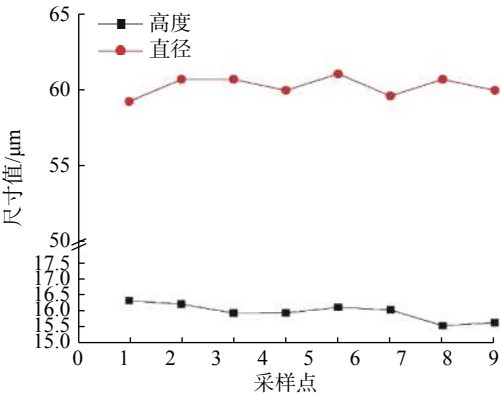


图 11 中心采样区透镜尺寸图

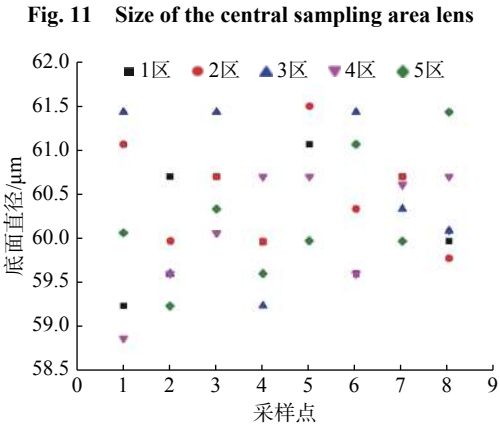


图 12 5 个采样区微透镜底面直径散点图

Fig. 12 Dispersion of the diameter of bottom surface of the microporous mirror in five sampling areas

4 结 论

介绍了一种微透镜阵列防伪膜制备的简便新方法。先通过光刻胶热熔成形法和烘烤工序制备及复制微透镜阵列, 再通过曝光和显影方法在微

透镜阵列的 PET 膜背面做微缩文字阵列。本实验中防伪膜反面的微缩文字阵列也是用光刻的方式制作, 这就使得微透镜阵列防伪膜双面结构的制备使用同一种工艺, 减小了实验的复杂度。实验表征和分析表明, 这种方法工艺简单, 对材料和设备的要求不高, 工艺参数稳定易于控制, 而且不受器件材料的限制。制备的微透镜阵列防伪膜经实验验证效果明显, 均匀性好。

参考文献:

[1] 孙浩杰, 史勇. 微透镜阵列莫尔放大作用及其防伪特征的研究[J]. 光学仪器, 2018, 40(5): 60–65.

[2] 高应俊, 刘德森, 阎国安, 等. 高质量光刻胶微小透镜阵列的制作[J]. 光子学报, 1996, 25(10): 909–913.

[3] CHAN K F, FENG Z Q, YANG R, et al. High-resolution maskless lithography[J]. Journal of Microlithography, Microfabrication, and Microsystems, 2003, 2(2): 331–339.

[4] 刘德森, 高应俊, 朱传贵, 等. 自聚焦平面微透镜阵列的制作及其基本特性[J]. 高技术通讯, 1996(4): 35–39.

[5] 徐兵, 魏国军, 陈林森. 激光直写技术的研究现状及其进展[J]. 光电子技术与信息, 2004, 17(6): 1–5.

[6] 申溯, 浦东林, 胡进, 等. 一种基于空间光调制器的微透镜阵列制备技术[J]. 中国激光, 2012, 39(3): 244–248.

[7] KUNNAVAKKAM M V, HOULIHAN F M, SCHLAX M, et al. Low-cost, low-loss microlens arrays fabricated by soft-lithography replication process[J]. Applied Physics Letters, 2003, 82(8): 1152–1154.

[8] CHANG C Y, YANG S Y, HUANG L S, et al. Fabrication of polymer microlens arrays using capillary forming with a soft mold of micro-holes array and UV-curable polymer[J]. Optics Express, 2006, 14(13): 6253–6258.

c. 对各因素进行极差分析并综合平衡各因素对路用性能的影响, 得到橡胶粉降噪微表处配合比的优化方案为: 级配为①类型均匀级配, 其中, 改性乳化沥青用量为 11.5%, 外加水量为 3%, 水性环氧树脂掺量为 10%, 另外, 橡胶粉的细度选择为 0.250 mm, 掺量为 3%。

参考文献:

[1] 张冉. 微表处路面噪声机理与减噪技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.

[2] BUENO M, LUONG J. Noise reduction properties of an experimental bituminous slurry with crumb rubber incorporated by the dry process[J]. *Coatings*, 2014, 4: 602–613.

[3] 连静, 陈喜平. 基于橡胶改性沥青技术低噪声微表处混合料耐久性试验研究[J]. *公路*, 2017, 62(4): 269–275.

[4] 王海有. 微表处减噪技术试验研究[J]. *河南科技*,

2005(13): 34–35.

[5] 杨晓勇, 李春雷, 陈功, 等. 环境友好型微表处混合料配合比设计[J]. *华东公路*, 2013(2): 23–25.

[6] 黄颂昌, 徐剑, 秦永春, 等. JTG/TF40-02-2005, 微表处和稀浆封层技术指南[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[7] 陈平, 刘胜平, 王德中. 环氧树脂及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[8] 徐剑, 黄颂昌, 秦永春, 等. 微表处在铁四高速公路养护工程中的应用研究[J]. *公路*, 2004(3): 117–120.

[9] 李福善, 严二虎, 黄颂昌, 等. JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

[10] 王旭东, 周兴业, 张蕾, 等. JT/T 797-2011, 路用废胎硫化橡胶粉[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

[11] 马贤智, 王援朝, 桑永全, 等. JB/T 7510-1994, 工艺参数优化方法 正交试验法[S]. 北京: 机械科学研究院, 1995.

(编辑: 石 瑛)

(上接第 257 页)

[9] DUTTA R K, VAN KAN J A, BETTIOL A A, et al. Polymer microlens replication by nanoimprint lithography using proton beam fabricated Ni stamp[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2007, 260(1): 464–467.

[10] PENG C, LIANG X G, FU Z L, et al. High fidelity fabrication of microlens arrays by nanoimprint using conformal mold duplication and low-pressure liquid material curing[J]. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*, 2007, 25(2): 410–414.

[11] 张新宇, 裴先登, 谢长生. 用于近场集成光学头微透镜器件的灰度掩模技术[J]. *光学技术*, 2002, 28(4): 291–292, 295.

[12] 许乔, 杨李茗, 舒晓武, 等. 微透镜阵列反应离子束蚀刻传递研究[J]. *光学学报*, 1998, 18(11): 1523–1527.

[13] TROST H J, AYERS S, CHEN T, et al. Using drop-on-demand technology for manufacturing GRIN lenses[C]//

Proceedings of 2001 Ann. Mtg. Raleigh: ASPE, 2001: 533–536.

[14] POPOVIC Z D, SPRAGUE R A, CONNELL G A N. Technique for monolithic fabrication of microlens arrays[J]. *Applied Optics*, 1988, 27(7): 1281–1284.

[15] 用喷墨法生产微透镜[J]. *光机电信息*, 2002(7): 45.

[16] YU W X, YUAN X C. UV induced controllable volume growth in hybrid sol-gel glass for fabrication of a refractive microlens by use of a grayscale mask[J]. *Optics Express*, 2003, 11(18): 2253–2258.

[17] FRITZE M, STERN M B, WYATT P W. Laser-fabricated glass microlens arrays[J]. *Optics Letters*, 1998, 23(2): 141–143.

[18] 黄校军. 基于表面微透镜阵列的立体随角异图防伪膜制备研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2015.

[19] 张嘉元. 彩色滤光片阵列制作工艺及应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.

[20] 范广飞. 光场打印 3D 图形机理与系统研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2016.

(编辑: 丁红艺)