

文章编号 1004-924X(2009)04-0807-06

微区微纳米压印技术及设备

申 溯,周 雷,魏国军,陈林森

(苏州大学 信息光学工程研究所,江苏 苏州 215006)

摘要:为了实现在大幅面基底上制作微纳结构,开发了一种新型的分布微区微纳米压印技术和相应的设备。介绍了分布微区微纳米压印的技术设想,并以提高压印稳定性和设计可旋转压印头为目标,设计了气动驱动装置和压印头结构。然后,通过实验检测了平台运动精度,并在碳酸聚酯材料上热压印了周期为 400 nm 的光栅。最后,以背光模组用光扩散片为应用实例,介绍了分布微区微纳米压印技术与设备的可能应用领域。实验结果表明,在 1 m 的行程范围上,平台位移精度可达 100 nm,压印头旋转角度为 $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$,压印深度可由加热温度和驱动力大小控制。制作的扩散片厚度为 125 μm ,扩散半径为 5 mm。微区微纳米压印技术和设备特别适合大幅面光学衍射图像和平板显示器件的微结构制作。

关键词:微纳米压印;微结构;热压印;控制

中图分类号: TN305.7 **文献标识码:** A

Design of distributed micro-area micro/nano-imprinting lithographic system

SHEN Su, ZHOU Lei, WEI Guo-jun, CHEN Lin-sen

(*Institute of Information Optical Engineering, Soochow University, Suzhou 215006, China*)

Abstract: To fabricate micro/nano structures on a large-format substrate, a novel micro-area micro/nanoimprinting lithographic system was presented, and the design of this imprinting system was introduced. Focused on improving stability and realizing the rotation of an imprinting mould, the gas circuit and configuration of the imprinting mould were discussed in detail. By use of polycarbonates, the gratings with a period of 400 nm were fabricated and the precision of the platform was given. Then, by taking the fabrication of a diffusing film in a backlight unit of flat panel displays as an example, the potential application of a distributed micro-area micro/nano-imprinting lithographic method was proposed. The experimental results indicate that the positioning precision of the platform in an 1 m long stroke is 100 nm and the rotating angle varies from -90° to 90° when the imprinting depth is controlled by heating temperature and gas pressure. A diffusing film with a thickness of 125 μm was fabricated, whose diffusing radius is 5 mm. These results suggest that the proposed micro-area nanoimprinting lithographic system should be especially suitable for fabrication of optical variable diffraction images and devices used in flat-panel displays.

Key words: nanoimprinting; micro structure; hot embossing; control

收稿日期:2008-07-16;修订日期:2008-08-12.

基金项目:苏州市科技计划科技专项资助项目(No. ZXG0802)

1 引言

微纳米压印技术由 Princeton 大学 S. Y. Chou 教授在 1995 年首先提出^[1],并在近年来取得了很大的发展。相比于远(极)紫外光刻、电子/离子束光刻等微纳加工手段,微纳米压印技术具有操作简单、极限分辨率高($<10\text{ nm}$)、重复性好、设备成本相对较低等优点,所以其一经提出就被称为“可能改变世界的十项技术之一”^[2-4],并被纳入国际半导体发展蓝图。

目前具有代表性的微纳米压印技术主要有 4 种:热压印、紫外压印、微接触(步进-闪光)压印和激光辅助压印^[5]。微纳米压印技术的一般工艺流程是:在基片上涂覆聚合物层,采用某种方式(如加热、紫外辐照等)使聚合物层软化;然后,将带有微纳米图案的刚性压模压在基片上,等到聚合物凝固后,把压模和基片分离,使压模上的图形转移到聚合物层上;接着,就可以对基片进行常规的镀膜、刻蚀、剥离等工艺,最终制成微纳米结构的器件。激光辅助纳米压印技术中采用超快准分子激光直接辐照硅基底,使硅表面熔融后进行压印。在上述 4 种压印原理中,热压印和紫外压印方式由于其适用性强尤为引人注目。

基于微纳米结构尺度的光电子器件及系统具有集成度高、能耗小、体积小、质量轻等诸多优点,而且在微纳米尺度下物质的物理特性有很多特别之处,因而近年来成为人们的研究热点。以大幅面液晶平板显示中的背光模组(Backlight Unit, 包括导光板、扩散片、增亮膜等)中的扩散片为例,传统制作扩散片多采用压花加工、热处理注模和涂布等方法,这些方法缺点在于会导致扩散光不均匀,工艺时间长以及需要多种有机高分子材料作为扩散层,不能满足平板显示器件轻薄化、高亮度、大幅面、低成本、低能耗的总体趋势,具有微纳结构的新型背光模组器件则可以有效解决该问题。然而,目前微纳米压印技术应用的主要瓶颈在于,尽管国际上各纳米压印设备供应商的主流设备都支持 $20\text{ cm}(8\text{ in})$ 晶圆,但是压印模版成本过高,不适合在大幅面基底上制作微纳结构,使得微纳米压印技术的应用领域受到局限。

本文提出了一种新型的分布微区微纳米压印技术,通过对尺寸在几十微米至数毫米的微小区

域单元的分布压印组合,实现宽幅面微纳米结构的制作。这种压印方式在大幅面平板显示、微结构阵列制作、光变图像等方面具有广泛的应用前景。

2 分布微区微纳米压印技术的设想

为了克服现有微纳米压印技术在压印幅面、压印深度、压印取向 3 方面的技术缺陷,分布微区微纳米压印技术的主要设想是:

(1) 通过若干小面积压印单元(即微区)的组合实现大幅面微纳米图形的制作。

(2) 压印原理可以采用热压印的方式,也可以采用紫外压印。

(3) 每个压印单元的有效压印面积小(模仁直径 $<5\text{ mm}$),模仁中具有复杂的微纳结构。

(4) 每个压印单元在计算机文件中具有 4 个特征参数 (x, y, θ, f) ,其中 (x, y) 参数表示该压印单元在 x - y 平台上的位置坐标, θ 参数表示结构空间取向, f 是压印深度控制参数,压印过程由计算机控制完成。

技术实现流程如图 1 所示。首先从计算机中读入某一压印单元的控制数据 (x, y, θ, f) ,平台移动至 (x, y) 位置,模仁旋转角度参数 θ ,然后压力驱动装置根据参数 f ,完成相应的压印动作。压印过程如图 2 所示。压印模仁首先完成一个压印单元的压印动作,如图 2(a, b)所示,然后基板(或者压印模仁)平移一定距离,压印模仁可在工作平面内旋转(如图 2(c))一定角度,再进行一个

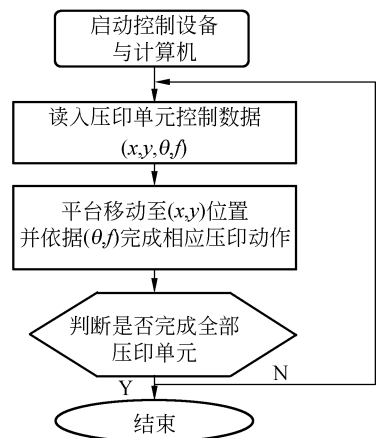


图 1 微区微纳米工作流程示意图

Fig. 1 Flow chart of micro-area nanoimprinting lithography

压印单元的压印,依次完成所有单元,如图2(d)所示。每个压印单元的微纳结构取向和压印力大小都由预先设定的计算机程序控制。分布微区微纳米压印技术可实现大幅面样品的压印,每个压印单元压印深度、取向可控,弥补了现有压印技术中的缺陷。

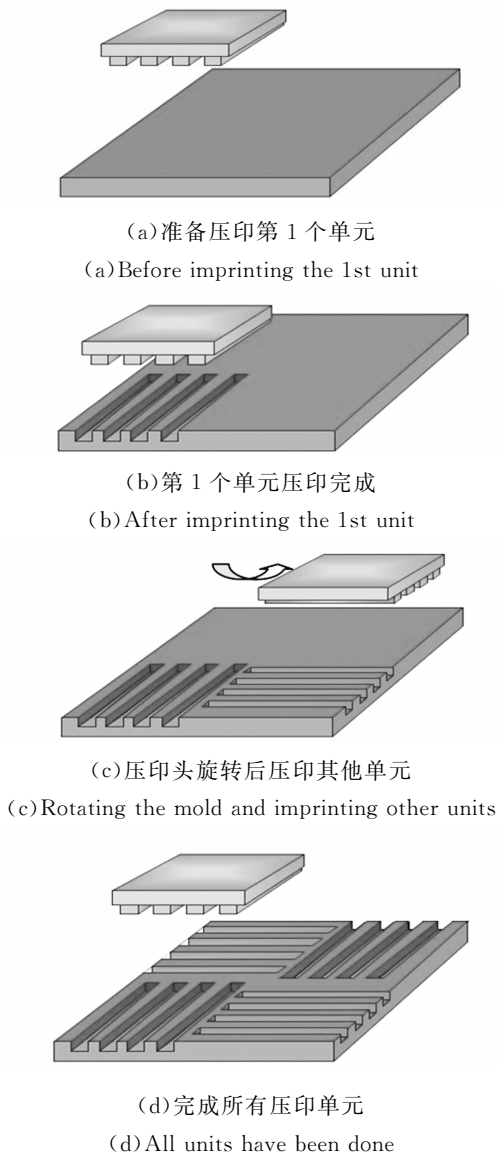


图2 微区微纳米工艺示意图

Fig. 2 Process of MNIL

3 分布微区微纳米压印设备的研制

根据上述微区微纳米压印技术的设想,本文研制了基于热压印的分布微区微纳米压印设备。

装置的压力驱动采用气体动力,气动装置工

作速度调节容易,安装维护简单。在设计的装置中着重解决了两个问题:(1)减少气体压力波动对压印效果的影响;(2)避免活塞高速运动带来的冲击,冲击效应不仅会导致压印图形效果下降,而且会使压印模仁的使用寿命缩短。通过气路系统(如图3所示)精密控制气体压力。从气源中出来气体经过过滤后,一路经过精密减压阀(1)、储能器进入外先导型电磁阀,为活塞运动提供下行动力。另一路经过减压阀(2)后作为外先导型电磁阀的驱动气源和活塞上行动力。外先导型电磁阀为三位五通,响应时间为12 mm,绝对精度为2%,从气缸8出来的气体经过该电磁阀排出。高精密度压力传感器(Festo SDE1)提供压力反馈信号,最大测压值2 bar。

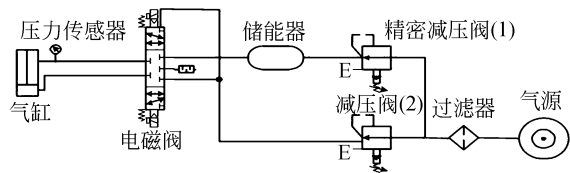


图3 微区纳米压印气动驱动气路示意图

Fig. 3 Schematic of the gas circuits

气缸活塞带动压印模仁运动,在与工作平面垂直的方向上的行程可由程序中设定抬升时间来限定。压印模仁由伺服电机(Panasonic Minus A4)控制旋转角度,电机驱动器内部采用了四倍频技术,脉冲当量为 0.036° ,达到制作衍射光变图像所需的 0.25° 的精度要求。加热及温度传感装置安装于压印头部,加热温度范围从室温至 200°C 。

分布微区纳米压印的另一关键技术是平台移位精度的控制^[6-7]。实验中压印样品承载台由PMAC卡控制的直线电机传动^[8],并通过高精度光栅尺实现闭环反馈控制^[9]。直线电机传动响应快,可得到大的瞬时加、减速度。采用光栅尺定位的方法在许多大行程直线测量设备中具有广泛应用,其长度测量系统的分辨率已达到纳米级,测量速度为 $60\sim 480\text{ m/min}$,测量长度为 $1\sim 100\text{ m}$ 。本系统采用上述的传动定位系统,光栅尺定位精度为 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

4 实验结果和讨论

图 4 为实际制作的微区纳米压印装备压印头结构示意图。气缸驱动导轨上的滑块上下运动, z 轴电机驱动压印头在工作平面内旋转, 微动开关用于 z 轴运动强制限位。缓冲器减缓模压头的冲击作用。采用 LIGA 工艺制作金属(Ni)模版, 安装于模仁夹具。

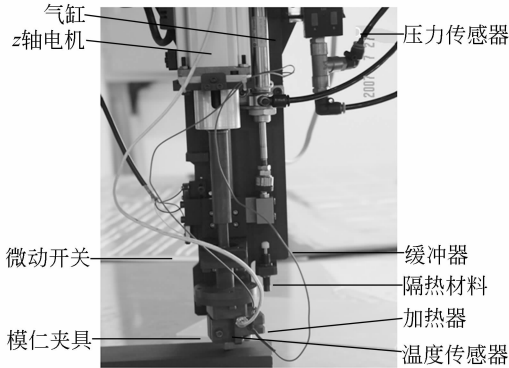


图 4 微区微纳米压印装备压印头部结构图
Fig. 4 Mould structure of MNIL

图 5 是 PMAC 卡控制的直线电机启动归位定位精度示意图。可以看到, 平台启动运行至预设位置(距离起点 100 μm)需要时间 120 ms, 其中上升时间 42 ms, 经过 78 ms 微调后实现定位。目前使用 0.1 μm 精度的光栅尺定位系统直线运动。归位时的情况与启动时类似。

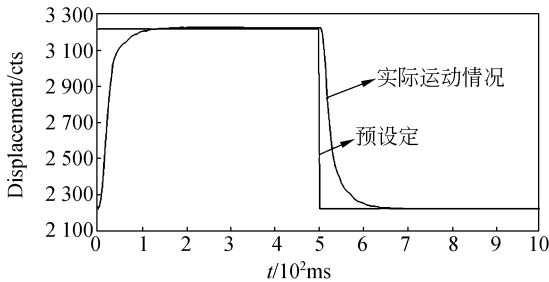
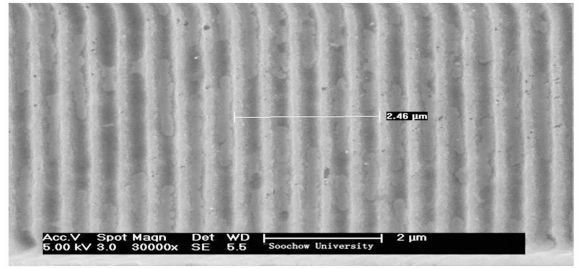
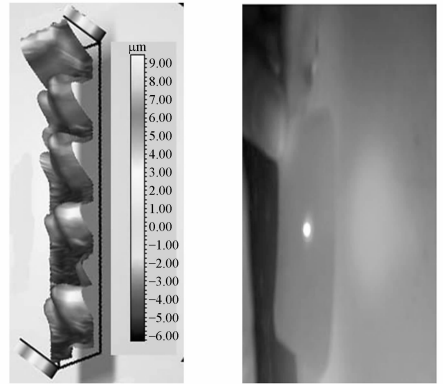


图 5 PMAC 卡控制直线电机启动-归位脉冲与时间关系
Fig. 5 Relationship between motor homing pulse and time

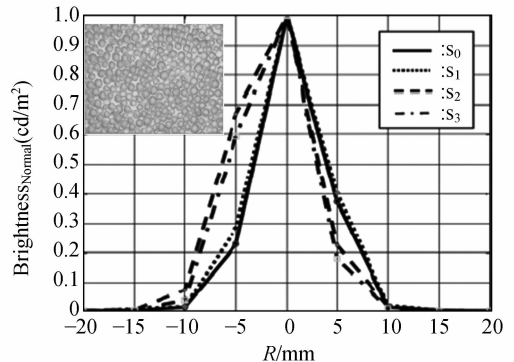
利用所研制的微区微纳米压印机, 在聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)上进行压印纳米结构的压印实验, 结果如图 6(a)所示。压印模版上的光栅结构周期为 500 nm, 占宽比为 0.5。在 PC 材料上的压印深度约为 150 nm。实验还表明, 压印深



(a) 压印亚微米光栅微结构 SEM 照片。光栅周期为 480 nm, 压印深度为 200 nm
(a) Sub-micron period gratings with period of 480 nm and depth of 200 nm



(b) 压印微透镜阵列结构
(b) Surface profile of fabricated microlens
(c) 光扩散膜效果
(c) Photograph of diffusing effect arrays (MLA)



(d) 扩散半径测试结果, 内插图为微结构显微照片
(d) Measured diffusing radius of fabricated sample with MLA. The inset is the microscopy photo of randomly distributed microlens array.

图 6 压印微结构

Fig. 6 Microstructure fabricated by MNIL

度不仅与加热温度、保压时间、压力大小有关,还与待压印材料性质密切相关。图6(b)是在PC薄膜上压印随即分布的微凹透镜的形貌结构。模版为随机分布的直径为30 μm 的二氧化硅小球电铸镍版,得到的微透镜直径约27 μm 。

扩散片是平板显示背光模组中的重要组成部分。传统上制作扩散膜采用压花加工、热处理注模和涂布等方法。采用透镜微结构的扩散片透过率高、材质轻薄,满足新型平板显示发展的总体趋势。图6(c)为制作基于微透镜阵列的光扩散膜的效果照片。He-Ne激光器出射光斑大小为直径2 mm,经过扩散膜后光场范围扩大,呈均匀分布。图6(d)是扩散半径测试结果。图中横坐标表示位置,纵坐标表示归一化光强。 S_0 为某涂布扩散粒子结构扩散片的测试结果,其厚度为0.7 mm。 $S_1 \sim S_3$ 是微区纳米压印制作的微透镜阵列结构扩散片,厚度为0.125 mm,压印温度分别为110、120、130 $^{\circ}\text{C}$,保压时间相同。将扩散半径定义为入射光强降为最大光强一半时的半宽度。 S_0

扩散半径为3 mm,基于微透镜结构的 $S_1 \sim S_3$ 扩散半径为4 mm。可以看到,基于微结构的扩散片不但在扩散效果上优于传统扩散片,而且具有更加轻薄的优点。

5 结 论

微纳米压印技术是一种具有重要应用前景的微纳结构制造手段,微区微纳米压印技术结合了现有压印技术的优点,增加了模仁转角等控制参数,具有更灵活的压印方式。本文研制了基于热压印技术的微区微纳米压印样机,制作了具有优良性能的背光模组用光扩散片并进行了测试。实验结果证明:微区纳米压印头可实现 $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 旋转,加热温度至200 $^{\circ}\text{C}$,直线定位精度为100 nm,压印深度根据模版情况可实现数百纳米至数微米深度的压印。微区微纳米压印还可以用于制作大幅面的衍射光变图像,实现无真正油墨的打印功能。

参考文献:

- [1] CHOU S Y, KRAUSS P R, RENSTROM P J. Imprint lithography with 25-nanometer resolution [J]. *Science*, 1996, 272: 85-87.
- [2] 10 emerging technologies that will change the world [J]. *MIT Technology Review*, 2003, 106 (36): 1-11.
- [3] GUO L J. Recent progress in nanoimprint technology and its applications [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2004, 37: 123-141.
- [4] GUO L J. Nanoimprint lithography: methods and material requirements [J]. *Advanced Materials*, 2007, 19: 495-513.
- [5] CHOU S Y, KEIMEL C, GU J. Ultrafast and direct imprint of nanostructures in silicon [J]. *Nature*, 2002, 417: 835-837.
- [6] 刘红忠,丁玉成,卢秉恒,等. 纳米压印光刻中的多步定位研究[J]. 西安交通大学学报, 2006, 40(3): 261-264.
- [7] LIU H Z, DING Y C, LU B H, et al.. Research on multi-step positioning for nano imprinting lithography [J]. *J. Xi' An Jiaotong University*, 2006, 40 (3): 261-264. (in Chinese)
- [8] 刘红忠,丁玉成,卢秉恒,等. 压印工作台的纳米级自校准定位研究[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37 (5): 467-470.
- [9] LIU H Z, DING Y C, LU B H, et al.. Research on self-Alignment and position for imprinting stage in nanometer scale [J]. *J. Xi' An Jiaotong University*, 2003, 37(5): 467-470. (in Chinese)
- [10] 田会峰,刘文杰,梁林祖. 基于pmac控制器的直线电机性能研究[J]. 自动化博览, 2007(6): 52-54.
- [11] TIAN H F, LIU W J, LIANG L Z. A study of linear motor performance based on PMAC controller [J]. *Automation Panorama*, 2007 (6): 52-54. (in Chinese)
- [12] 冯晓国. 二元光学激光直写设备高精度传动系统的研究[J]. 仪器仪表学报, 2005. 26(3), 275-278.
- [13] FENG X G. Study of high precision drive system of laser direct writing equipment [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, 26(3): 275-278. (in Chinese)

作者简介:



申 溯(1979—),男,河南洛阳人,苏州大学信息光学工程研究所助理研究员。2001年于浙江大学获得学士学位,2006年于浙江大学获得博士学位,主要从事亚波长光学、微纳制造、微纳米压印技术等研究。E-mail: shen. su@gmail.com



周 雷(1980—),男,江苏淮阴人,苏州大学信息光学工程研究所研究生。2004年于淮阴师范学院获得学士学位,主要从事光学全息、衍射光学技术的研究。E-mail: zhzhlei@gmail.com



魏国军(1975—),江西南昌人,苏州大学信息光学工程研究所助理研究员,2004年于苏州大学获得硕士学位,主要从事激光直写、微纳光学制造技术的研究。E-mail: gjwei@holomaker.com



陈林森(1961—),江苏苏州人,苏州大学信息光学工程研究所博士生导师。1982年于苏州大学获得学士学位,1985年于苏州大学获得硕士学位,主要从事全息光学、微纳光学结构制造、激光直写等技术的研究。E-mail: lschen@suda.edu.cn

● 下期预告

多种群遗传算法的全景成像系统非球面设计

王丽萍^{1,2},张立超¹,何锋赞¹,金春水¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 1300332;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

提出了一种基于多种群遗传算法的折反射全景成像系统复杂非球面的设计方法。结合广义科丁顿公式及几何光学原理,推导出非球面两镜系统像散表达式。在此基础上,利用多种群遗传算法以像散作为非球面两镜系统像差评价参数,求解出满足消像散及指定透视投影关系的非球面面形方程。给出多种群遗传算法求解非球面面形的实现过程。并用遗传算法最小二乘混合优化算法得到了便于实现光线追迹和像差计算的非球面多项式。研制了一个焦距为 -1.2 mm , F 数为 2 ,视场为 $35^\circ\sim 90^\circ$ 的折反射全景成像系统,给出了实验图像,获得了较好的成像质量。