

文章编号: 0258-7025(2009)11-2869-04

一种新型聚合物微透镜阵列的制造技术

王 伟^{1,2} 周常河¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 提出了一种利用软模压印制备微透镜阵列的技术。采用传统的光刻胶热熔方法制备微透镜阵列母板, 利用复制模具的方法在聚二甲基硅氧烷(PDMS)上得到一个和母板表面图形相反的模具, 最后通过压印的方法把 PDMS 模具上的图形转移到涂有紫外固化胶的玻璃基片上, 待紫外胶完全固化后可得到和母板一致的微透镜阵列。经过测试微透镜阵列的焦点图像和表面形貌可发现最后制备的微透镜阵列表面形貌均匀、聚焦性能良好、光强均匀。

关键词 光学制造; 微透镜阵列; 光刻胶热熔法; 软刻蚀; 压印技术

中图分类号 O435; TN205 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093611.2869

New Technology for Fabrication of Polymer Microlens Arrays

Wang Wei^{1,2} Zhou Changhe¹

¹ *Laboratory for Information Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*
² *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*

Abstract A method for fabrication of microlens arrays using soft lithography is reported. The master of the microlens array is fabricated by traditional thermal reflow technology. The microlens array is first transferred on an elastomeric mold using replica molding method, and then the elastomeric mold with microlens structure on its surface is imprinted on the glass substrate with ultraviolet (UV) curable polymer on it. After the UV glue was fully solidified, the final microlens array is formed on the UV curable polymer of glass substrate. The microlens array is tested and it is found that it has uniform focusing function. This technology has great potential application for fabrication of polymer microlens array with low cost and high throughput.

Key words optical fabrication; microlens array; thermal reflow; soft lithography; imprint technology

1 引 言

微透镜阵列是一系列口径在几个微米到几百个毫米的微型透镜按一定排列组成的阵列, 被广泛地应用于光学信息处理、光束整形、光学器件互连、三维成像等领域。微透镜阵列常用的制造方法包括光刻胶热熔法^[1]、灰度掩模光刻法^[2]、各向异性刻蚀法^[3]、激光直写^[4]和软模或硬模压印法^[5~8]。在这些方法中, 热熔法被认为是一种成本低, 可以大批量制造的方法, 但是光刻胶有一定的颜色, 工艺过程需

要花费较长的时间并且难以精确控制微透镜的形状和高度。各向异性刻蚀方法中, 由于光刻胶和玻璃的刻蚀速率不一样, 光刻胶的微透镜很难精确地转移到玻璃上。激光直写技术很难提供高的精度和批量生产, 热模压技术需要高的温度和压力导致图像转移精度不高。

压印技术是由 Xia 等^[9,10]提出并发展起来用于制造微米到纳米量级微结构的一种方法, 它可以高精度地将模具上的图形转移到热塑性材料或光敏材

收稿日期: 2008-11-12; 收到修改稿日期: 2009-03-24

基金项目: 国家自然科学基金(60878035)和国家 973 计划(2006CB80600)资助课题。

作者简介: 王 伟(1978—), 男, 博士研究生, 主要从事衍射光学和微光学方面的研究。E-mail: csdww@163.com

导师简介: 周常河(1965—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事微光学与飞秒信息处理技术等方面的研究。

E-mail: chazhou@mail.shcna.ac.cn

料上,该技术具有工艺简单、成本低、适合大批量生产等优点。聚二甲基硅氧烷(PDMS)由于具有低的表面自由能和良好的柔韧性等优点被广泛应用于制作软模具材料。软模压印方法已经被用于制造光栅滤波器^[11]、环形光学共振器^[12]、三维微结构^[13]和微结构光栅^[14~16]等光电子器件。本文提出一种将传统的光刻胶热熔法和压印方法结合起来制作微透镜阵列的方法。首先利用传统的光刻胶热熔法制作微透镜阵列作为母板,然后利用复制模具的方法得到一个和母板图形相反的 PDMS 模具,最后将 PDMS 模具压印在涂有紫外胶的玻璃基板上,完全固化紫外胶后移去模具即可得到和母板图像一致的微透镜阵列。该方法具有工艺简单、成本低、可以大批量生产等优点,而且由于紫外胶没有颜色,消除了光刻胶颜色对成像的影响。

2 制造工艺

制造工艺可以分为两步:微透镜阵列母板的制备和微透镜阵列图形的复制转移。微透镜阵列母板的制备采用传统的光刻胶热熔法,图 1 是制备工艺流程图^[17,18]。首先在干净的玻璃基片表面旋涂一层光刻胶(Shipley 1818),经过曝光和显影在基片上形成光刻胶的圆柱形结构,把光刻胶加热到其玻璃态转化温度以上,由于表面张力的作用,圆柱形的光刻胶结构就会收缩成球面结构,冷却后就得到微透镜阵列,精确控制热熔温度和时间就可得到表面形貌较好的微透镜阵列。

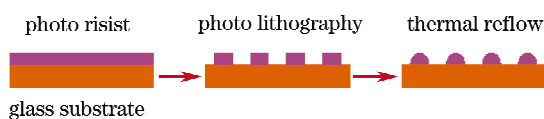


图 1 微透镜母板制备流程图

Fig. 1 Fabrication process of microlens array master

微透镜阵列图形转移采用压印方法,图 2 是图形转移工艺流程图。首先制备 PDMS 模具,将 PDMS(sylgard 184, DOW Corning)的主剂和固化剂按照体积比或重量比 10:1 混合,搅拌均匀后用抽真空的方法去除气泡,然后浇铸在微透镜阵列母板表面,在 65 °C 下固化 4 h。PDMS 完全固化后将 PDMS 和微透镜阵列母板分离即可得到一个和母板图形相反的模具。在干净的玻璃基片上滴一滴紫外固化胶(NO A61, Norland),NO A61 是一种无色透明的液体,对于可见光和红外光有良好的透过率,固化后在可见光波段的折射率为 1.56。将 PDMS 模

具轻压在紫外胶上,由于毛细效应,这种低粘度系数的紫外胶会很快地填满模具的空腔,然后放在紫外光下固化,完全固化后将模具分离,即在紫外胶上得到微透镜阵列图形。

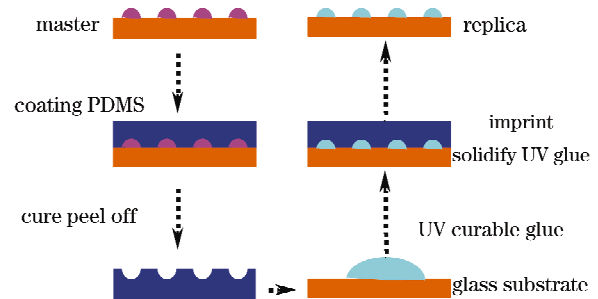


图 2 微透镜图形复制转移工艺流程图

Fig. 2 Schematic diagram of replication of microlens array

3 实验结果

微透镜阵列的焦点图形和焦距测试装置示意图如图 3 所示。由氦氖激光器发出的 632.7 nm 光经过准直扩束系统照射到微透镜阵列上,然后经过一个显微物镜成像到 CCD 相机上。测试焦距长度时移动微透镜阵列使得微透镜阵列底部和聚焦光斑分别成像到 CCD 相机上,移动的距离就是微透镜的焦距长度。

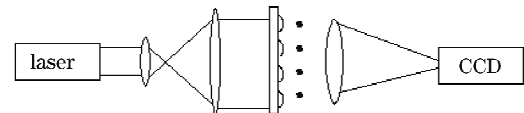


图 3 微透镜阵列测试装置图

Fig. 3 Experimental setup for testing the microlens array

微透镜阵列母板的表面形貌用 Taylor-Hobson 台阶仪测试的结果如图 4 所示。热熔前圆柱形结构

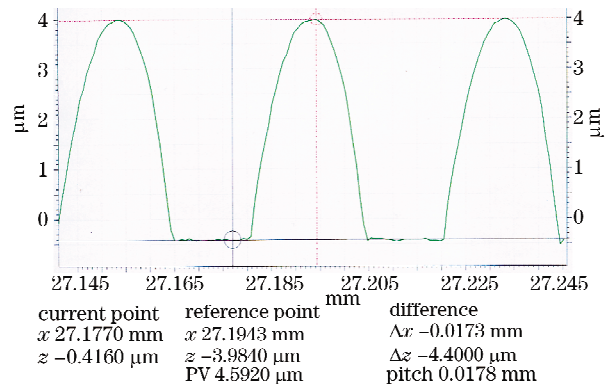


图 4 微透镜阵列母板表面形貌图

Fig. 4 Surface profile of the microlens array master

的直径为 $20\ \mu\text{m}$, 周期为 $40\ \mu\text{m}$, 高度为 $3.2\ \mu\text{m}$ 。光刻胶热熔后, 微透镜的底面直径为 $23\ \mu\text{m}$, 球冠高度为 $4.4\ \mu\text{m}$, 周期为 $40\ \mu\text{m}$ 。微透镜阵列母板表面的扫描电镜(SEM)图像如图 5 所示。用图 3 所示的装置测试微透镜阵列母板的焦点图像, 测试结构如图 6(a)所示, 图 6(b)是其中一个微透镜的强度灰度分布图。从 SEM 图和焦点图像中可以看出, 微透镜阵列母板的表面图形均匀, 聚焦点分布均匀, 微透镜阵列的聚焦效果较好。

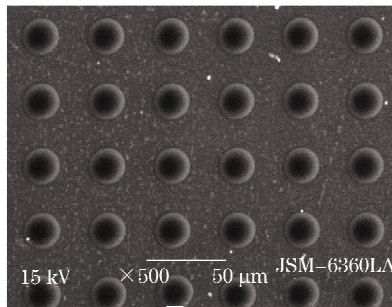


图 5 微透镜阵列母板表面 SEM 图

Fig. 5 SEM image of the microlens array master

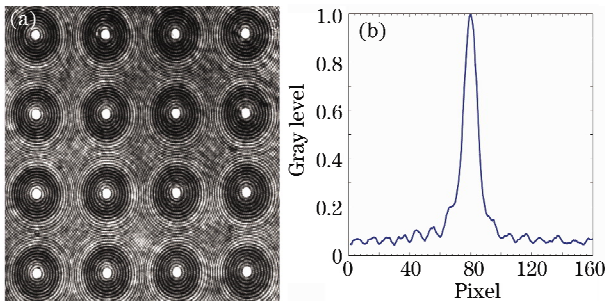


图 6 微透镜阵列母板焦点图像。(a)焦点图像;(b)一个微透镜的强度分布

Fig. 6 Focal points produced by the microlens array master.

(a) Focal points; (b) intensity profile of a microlens

为了分析压印过程中的图形转移精度, PDMS 模具和复制微透镜阵列的表面形貌都应该被测试。由于 PDMS 材料和紫外胶都比较软, 利用 Taylor-Hobson 台阶仪测试时会发生形变, 不能用台阶仪来测试得到其表面参数值, 但是可以用复制品和母板的聚焦特性来分析复制品的性能。根据几何光学知识, 微透镜的曲率半径 (R)、焦距 (f)、数值孔径 (d_{NA}) 可以计算得出

$$R = \frac{D^2 + 4h^2}{8h}, \quad (1)$$

$$f = \frac{R}{n-1}, \quad (2)$$

$$d_{\text{NA}} = \frac{D}{2f}, \quad (3)$$

其中 D , h 和 n 分别是微透镜底面直径、球冠高度和微透镜材料的折射率。紫外胶的折射率为 1.56, 可以计算得出, 微透镜的曲率半径为 $17.2\ \mu\text{m}$, 焦距为 $30.7\ \mu\text{m}$, 数值孔径为 0.37。

分别测试了复制微透镜阵列的表面 SEM 图、焦点图形和焦距长度。图 7 为复制微透镜阵列的表面 SEM 图像, 图 8(a)和(b)分别是其焦点图形和光强灰度分布图。经过测试得出复制微透镜的焦距长度为 $36\ \mu\text{m}$ 。从表面形貌 SEM 图中可以看到复制微透镜阵列图形分布均匀, 和微透镜母板图形基本吻合。由于图形转移过程中, PDMS 模具和紫外胶会有轻微的收缩^[19~21], 所以复制微透镜阵列图形会和母板有微小的差异, 导致焦距长度和理论计算值略有差异, 但是测量值和理论值差异较小, 并不影响微透镜阵列的使用。

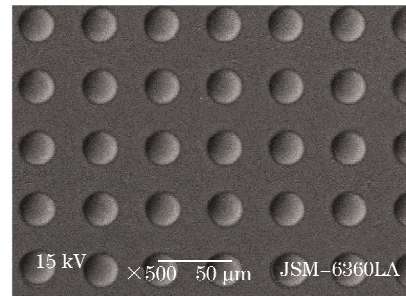


图 7 复制微透镜阵列表面 SEM 图

Fig. 7 SEM image of a microlens array replica

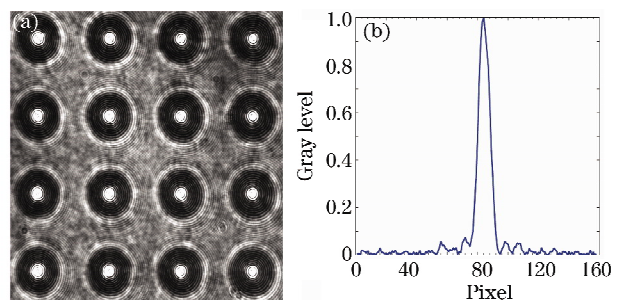


图 8 复制微透镜阵列焦点图像。(a)焦点图像;(b)一个微透镜的强度分布

Fig. 8 Focal points produced by the microlens array replica.

(a) Focal points; (b) intensity profile of a microlens

4 结 论

详细报道了一种可以低成本、大批量制造微透镜阵列的方法。该方法首先利用传统的光刻胶热熔法制备微透镜阵列母板, 然后利用复制模具的方法制备 PDMS 模具, 最后利用压印的方法把微透镜阵列图形转移到玻璃基底上的紫外胶上。这种方法制造的聚合物微透镜阵列图形分布均匀, 聚焦性能较

好,而且避免了光刻胶颜色对成像的影响,是一种工艺简单、低成本、可以大批量生产的方法。而且该方法还可用于各种阵列分布的微透镜制造。

参 考 文 献

- 1 Z. D. Popovic, R. A. Sprague, G. A. N. Connell. Technique for monolithic fabrication of microlens arrays[J]. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(7): 1281~1284
- 2 Weixing Yu, X.-C. Yuan. UV induced controllable volume growth in hybrid sol-gel glass for fabrication of a refractive microlens by use of a grayscale mask[J]. *Opt. Express*, 2003, **11**(18): 2253~2258
- 3 K. F. Chan, Z. Feng, R. Yang *et al.*. High-resolution maskless lithography[J]. *J. Microlithogr. Microfabrication Microsyst.*, 2003, **2**(4): 331~339
- 4 M. Fritze, M. B. Stern, P. W. Wyatt. Laser-fabricated glass microlens arrays[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(2): 141~143
- 5 M. V. Kunnavakkam, F. M. Houlihan, M. Schlax *et al.*. Low-cost, low-loss microlens arrays fabricated by soft-lithography replication process [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **82** (8): 1152~1154
- 6 Chih-Yuan Chang, Sen-Yeu Yang, Long-Sun Huang *et al.*. Fabrication of polymer microlens arrays using capillary forming with a soft mold of micro-holes array and UV-curable polymer [J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(13): 6253~6258
- 7 R. K. Dutta, J. A. van Kan, A. A. Bettiol *et al.*. Polymer microlens replication by nanoimprint lithography using proton beam fabricated Ni stamp[J]. *Nucl. Instrum. Meth. B*, 2007, **260**: 464~467
- 8 Can Peng, Xiaogan Liang, Zengli Fu *et al.*. High fidelity fabrication of microlens arrays by nanoimprint using conformal mold duplication and low-pressure liquid material curing[J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 2007, **25**(2): 410~414
- 9 Y. Xia, G. M. Whitesides. Soft lithography[J]. *Angew. Chem. Int. Edit.*, 1998, **37**: 550~575
- 10 S. R. Quake, A. Scherer. From micro-to nanofabrication with soft materials[J]. *Science*, 2000, **290**(5496): 1536~1540
- 11 A. Kocabas, A. Aydinli. Polymeric waveguide Bragg grating filter using soft lithography[J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(22): 10228~10232
- 12 Y. Huang, G. T. Paloczi, J. Scheuer *et al.*. Soft lithography replication of polymeric microring optical resonators [J]. *Opt. Express*, 2003, **11**(20): 2452~2458
- 13 Y. S. Kim, K. Y. Suh, Hong II. Lee. Fabrication of three-dimensional microstructure by soft molding [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **79**(14): 2285~2287
- 14 Wang Wei, Zhou Changhe. High-fidelity replication technology of polymer micro-structure diffraction gratings [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1363~1366
王 伟, 周常河. 高精度微结构聚合物光栅的复制技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(10): 1363~1366
- 15 Wei Wang, Changhe Zhou, Wei Jia. High-fidelity replication of Dammann gratings using soft lithography[J]. *Appl. Opt.*, 2008, **47**(10): 1427~1429
- 16 Zhang Liang, Li Chengfang. Polarization effect of 150 nm subwavelength aluminium wire grating in near infrared [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4): 467~471
张 亮, 李承芳. 150 nm 亚波长铝光栅的近红外偏振特性[J]. *中国激光*, 2006, **33**(4): 467~471
- 17 P. Nussbaum, R. Volkel, H. P. Herzig *et al.*. Design fabrication and testing of microlens arrays for sensors and microsystems[J]. *Pure Appl. Opt.*, 1997, **6**: 617~636
- 18 Ren Zhibin, Zhu Lisi, Zeng Hao *et al.*. Fabrication technology of microlens array by melting photoresist [J]. *J. Changchun University of Science and Technology*, 2006, **29**(4): 12~15
任智斌, 朱丽思, 曾 皓 等. 微透镜阵列的光刻胶热熔制作技术 [J]. *长春理工大学学报*, 2006, **29**(4): 12~15
- 19 J. A. Rogers, K. E. Paul, G. M. Whitesides. Quantifying distortions in soft lithography [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 1998, **16**(1): 88~97
- 20 M. Bender, U. Plachetka, J. Ran *et al.*. High resolution lithography with PDMS molds [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 2004, **22**(6): 3229~3232
- 21 Wei-Ching Chuang, Chi-Ting Ho, Wei-Chih Wang. Fabrication of a high-resolution periodical structure using a replication process [J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(18): 6685~6692