

卷对卷制备微透镜阵列防伪膜

黄校军¹, 陈广学^{1,2}, 罗世永³

(1.深圳市裕同包装科技股份有限公司, 深圳 518108;

2.华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广州 510640; 3.北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: 目的 制备一种高线数(200线以上)的微透镜阵列防伪膜, 改变国内印刷包装行业对微透镜阵列防伪膜的制备停留在200线以下的圆点微透镜阵列防伪膜的现状。方法 采用卷到卷、圆压圆的制备工艺, 以聚碳酸酯为原料, 采用激光微刻技术制备模具, 压印温度设置为139℃, 转移速度设置为5m/min。结果 制得一种正六角形半球状微透镜阵列防伪膜, 微透镜边长为32μm, 栅距为48μm, 膜厚为121μm, 根据微透镜阵列结构参数关系折算后光栅线数为529线。结论 实现了高线数、高填充系数的微透镜阵列防伪膜的制备, 提供了一种工艺简单、适于批量生产的微透镜阵列防伪膜制备方法。

关键词: 卷对卷; 微透镜阵列; 立体显示; 防伪膜; 光栅; 聚碳酸酯

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0022-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.005

Roll-to-roll Fabrication of Micro-lens Array Anti-counterfeiting Film

HUANG Xiao-jun¹, CHEN Guang-xue^{1,2}, LUO Shi-yong³

(1.Shenzhen YUTO Packaging Technology Co., Ltd., Shenzhen 518108, China;

2.State Key Laboratory of Pulp and Paper, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3.Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to fabricate a micro-lens array anti-counterfeiting film with a high number of lines (more than 200 lines) to break through the situation that the micro-lens array anti-counterfeiting film fabricated in the domestic printing and packaging industry is the dot domestic printing and packaging industry with less than 200 lines. With polycarbonate as raw material, the laser micro-engraving technology was used to fabricate the mold through the roll-to-roll and rotary fabrication process. The embossing temperature was 139 °C and the speed was 5 m/min. A positive hexagonal hemispherical micro-lens array structure anti-counterfeiting film was fabricated. The side length of the micro-lens was 32 μm, the pitch was 48 μm and the film thickness was 121 μm. According to the relationship between the micro-lens array structure parameters, the converted grating lines were 529 lines. The fabrication of micro-lens array anti-counterfeiting film with a high number of lines and high filling factor is achieved. A method for the fabrication of micro-lens array anti-counterfeiting film is provided, which is simple and suitable for mass production.

KEY WORDS: roll-to-roll; micro-lens array; stereoscopic display; anti-counterfeiting film; grating; Polycarbonate

随着数字印刷技术的快速发展, 微透镜阵列3D成像技术在印刷包装领域引发了广泛关注, 成为研究的热门课题。微透镜阵列3D成像技术将相同结构的微小凸透镜组合排列在同一平面上能有效地记录全真图像, 它的光学性质是单个微透镜成像功能的

合成^[1-4]。基于表面微透镜阵列结构的光栅防伪膜比现有的柱透镜光栅膜^[5]拥有更多优点, 即在薄膜表面微加工形成微透镜阵列结构, 同时在薄膜背面覆盖与微透镜阵列相对应的微图文阵列, 微图文阵列信息经过微透镜阵列成像作用, 形成强烈的3D、动态、互

收稿日期: 2017-11-23

基金项目: 深圳3D印刷技术工程实验室提升项目(深发改〔2017〕1235号)

作者简介: 黄校军(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为立体印刷及防伪材料。

变等效果, 还包括放大、上浮、下沉、平行运动、正交运动、多通道等特征^[6~8]。可以呈现360°全方位3D显示效果, 观察角度无限制, 观看者不需要任何额外辅助的观看设备就可以在肉眼下看到3D显示图文, 且成像微图文信息无法用一般的扫描、复印等复制手段获得, 防伪性能极佳^[9]。Visual Physics, Kurz, Crane, G&D等国际知名公司都投入大量成本对其再现工艺进行研发^[10]。

目前国内市场主要是柱透镜光栅立体印刷^[11]应用较多, 对于微透镜防伪印刷应用范围很小, 且应用的微透镜阵列防伪膜线数一般比较低, 基本上在200线以下, 极大地影响了微透镜阵列3D防伪技术在国内的发展与推广。极少数企业推出200线以上的高线数微透镜阵列防伪产品其膜材也是从国外进口而来。市面上所见到的表面微透镜阵列结构一般为圆点形微透镜, 填充系数相对较低, 对于成像效果有一定影响。基于这些原因, 文中拟对高线数、高填充系数的六角形半球状微透镜阵列结构防伪膜的制备进行研发, 并对实现高线数微透镜阵列与微图文阵列的有效

复合进行探讨, 旨在为印刷包装企业实现高线数微透镜动态3D显示印刷技术提供参考。

1 实验制备

1.1 原材料与设备

研究主要用到的原材料和设备: 聚碳酸酯(PC)薄膜为成型原材料, 其厚度为125 μm; 激光微刻加工的激光器Ti:sapphire, 其最小光束斑为200 nm。

1.2 过程

研究主要通过以下几个步骤制备微透镜阵列膜。

1) 原薄膜基材选择。4种膜材的性能对比见表1, 可以看出PC薄膜基材的成型收缩率比较低, 密度较小, 热变形温度最高, 作为薄膜基材不容易变形, 而且折射率、光透过率也比较高。另外, PC还具有耐候性好, 对光稳定, 耐酸、碱溶剂等优点, 适合压印、热成型等微加工以及印刷、涂覆等。综合来看, PC是一种比较理想的光栅薄膜基材。

表1 膜材性能对比
Tab.1 Film performance comparison

薄膜基材	光透过率/%	折射率/%	热变形温度/℃	密度/(g·cm ⁻³)	成型收缩率/%
PC(聚碳酸酯)	87~90	1.59	138~140	1.18~1.22	0.5~0.8
PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)	90	1.65	80~120	1.33~1.38	2.0~2.5
PVC(聚氯乙烯)	89	1.54	80~130	1.15~1.35	0.6~1.5
PS(聚苯乙烯)	80~90	1.59	91~116	1.06	0.1~0.6

2) 六角形半球状微透镜阵列模版的制备。如图1所示, 微透镜阵列结构单元微透镜之间的间距为3 μm, 利用几何参数关系计算出微透镜球冠高度、栅距宽度等进行印版加工, 采用激光微刻加工方式进行开模, 模版材料为镍。

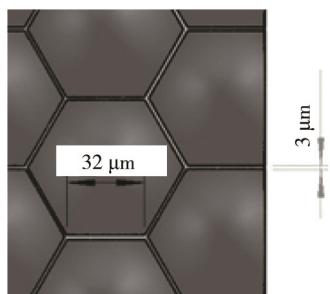


图1 六角形微透镜阵列
Fig.1 Hexagonal micro-lens array

3) 六角形微透镜阵列结构压印转移。研究采用了2种压印方式进行六角形微透镜阵列结构转移, 一种为圆压平的压印方式, 见图2a; 另一种为圆压圆的压印方式, 见图2b。采用卷对卷的制备工艺, 以PC为

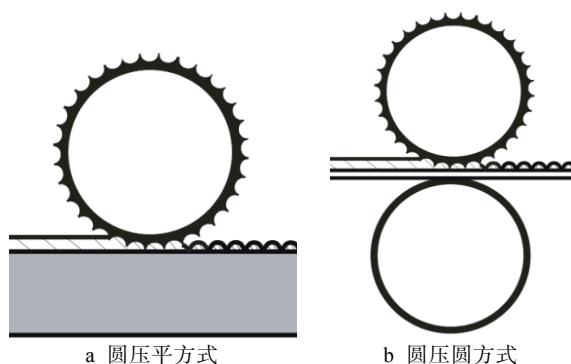


图2 压印方式
Fig.2 Imprinting methods

成型原材料, 原料从前端输出, 经过压印、冷却, 由后端接收成型膜, 压印转移速度为5 m/min。

2 结果与讨论

研究制得的六角形半球状微透镜阵列防伪膜成品外观见图3, 根据压印方式的不同, 在激光共聚焦显微镜下制得的2种微透镜阵列防伪成品膜见图4。



图3 压印并模切后的成品
Fig.3 Die-cut after the finished product

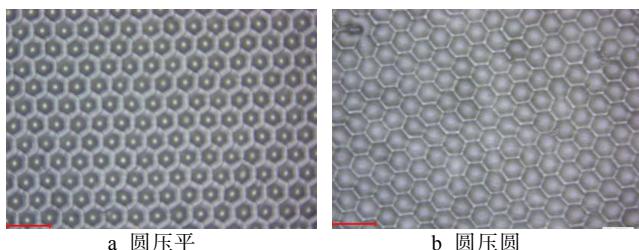


图4 微透镜阵列膜
Fig.4 Micro-lens array film

2.1 微透镜形状分析

通常微透镜阵列形状有三角形、正方形、圆形和六角形这4种，其中以六角形微透镜阵列结构的填充率最大，在理想状况下能够达到90.7%^[12]，所以研究采用正六角形半球状作为微透镜阵列结构。如图5所示，单元微透镜结构为正六角形半球状，并按照一定周期排列组成阵列。图5中a为正六角形边长，b为相邻正六角形中心距，单元微透镜之间的间隔为3 μm。

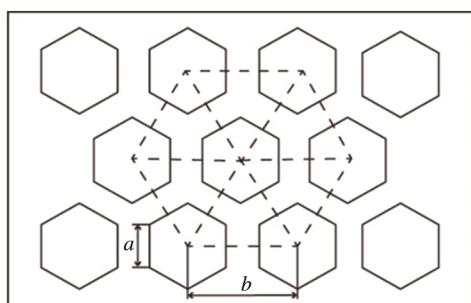


图5 六角形微透镜阵列排列
Fig.5 Hexagonal micro-lens array layout

2.2 制得的微透镜阵列防伪膜线数计算

微透镜阵列成像涉及到微图文的制作，而微图文的制作是根据微透镜阵列参数确定的，所以微透镜阵列参数确定很重要。正六角形微透镜阵列结构正面见图6，单元微透镜对边距为A、边长为B和对角距为C，其中A为55.4 μm，B为32.0 μm，C为64.0 μm。利用几何参数关系可以算出正六角形微透镜阵列栅距D为48.0 μm。

根据正六角形微透镜阵列结构之间的几何参数关系，并结合单元微透镜底边尺寸可以算出：研究正六

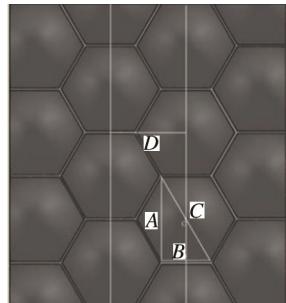


图6 六角形微透镜阵列正面
Fig.6 Front view of hexagonal micro-lens array

角形微透镜阵列线数为529线，微透镜球冠高度为17.0 μm，成像的厚度为64.9 μm，从而算出膜材厚度为81.9 μm（理论值）。

2.3 模具加工方式分析

传统制备微透镜阵列模具一般采用光刻胶热熔法^[13—14]，这种制备工艺过程较复杂，对掩模结构要求较高。虽然其分辨率很高，但加热升温过程很难把握，光刻胶表面张力对微透镜形状影响大，而且光刻胶本身有一定的颜色，对微透镜成像效果有一定的影响^[15—16]。

激光微刻加工技术在剥蚀过程中不会引起加工表面烧灼现象，加工表面和边缘光滑平整^[12]。传统的激光加工和光胶热熔等需要曝光、显影、刻蚀等中间步骤，而激光微加工是一种快速成型技术，不需要这些中间步骤，能避免因中间步骤带来的系列问题，且激光微加工不受加工材料形状和大小限制^[17]。其次，从加工的方便性、可操作性方面考虑，激光微刻加工圆筒模具比光刻胶热熔更合适研究微透镜阵列开模。

2.4 2种方式制得的膜材分析

文中通过2种压印方式转移正六角形微透镜阵列结构，圆压平压印方式转移制得的正六角形微透镜阵列防伪膜见图7a，图7a也是激光共聚焦下正六角形微透镜阵列膜的显微图。从图7a可以看出，微透镜阵列表面微结构不规整，整体向一侧倾斜，单元微透镜结构发生形变。圆压圆的压印方式转移制得的正六角形微透镜阵列防伪膜见图7b，也是激光共聚焦下正六角形微透镜阵列膜的显微图。从图7b可以看出，单元

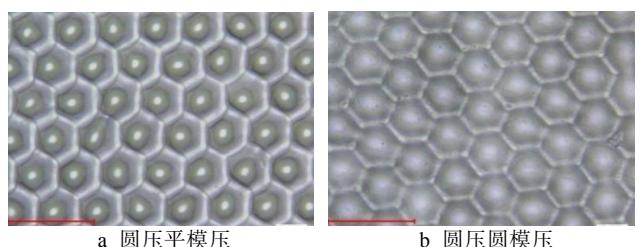


图7 2种压印方式的微透镜阵列膜
Fig.7 Micro-lens array film with 2 imprinting ways

微透镜边缘均匀凸起, 没有发生形变, 单元微透镜与单元微透镜之间过渡完整, 微透镜阵列结构比图 7a 中的微透镜阵列结构规整, 没有位移倾斜现象, 因此, 圆压圆的压印方式更适合微透镜阵列结构的转移。

2.5 压印温度分析

从图 8 中 PC 的差示扫描量热 (DSC) 曲线可以看出, PC 膜材的形变温度在 139~154 °C 之间。当 PC 膜材刚要发生形变时, 再加上圆筒模具压力而达到最合适的条件, 能有效避免后期冷却时发生变形。如果选择温度过高, 在冷却过程中微透镜的形状不好控制, 因此压印温度采用 139 °C。

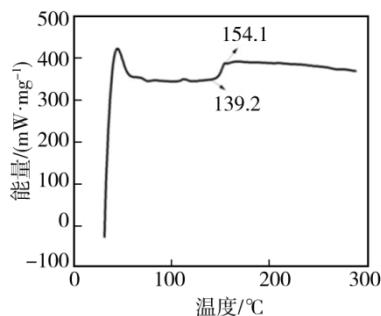


图 8 PC 的 DSC 分析曲线
Fig.8 PC's DSC analytical curve

2.6 卷对卷制备工艺分析

传统的压印方式一般采用单张压印, 印张在压印之前完成裁切, 而卷对卷的制备工艺省去了压印前的裁切工序, 更适合批量生产, 后期可根据需求量精确裁切, 还可减少浪费, 见图 9。

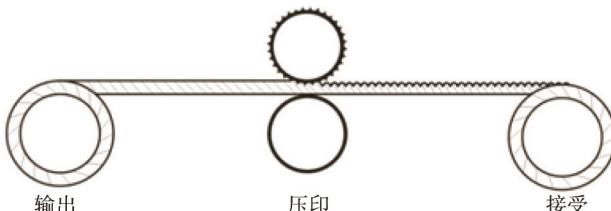


图 9 卷对卷制备工艺
Fig.9 Roll-to-roll preparation process

2.7 微透镜阵列膜选择分析

研究压印制备的正六角形半球状微透镜阵列膜有 2 种, 其中一种背面光滑 (见图 10b), 另一种背面微粗糙 (见图 10d)。三维视频显微镜测试下的正六角形半球状微透镜阵列膜的正面和光滑的背面见图 10a, b, 从图 10a 中可以看出, 光滑的背面对应压印出来的正六角形半球状微透镜阵列不规整, 形状也不规则, 其原因是圆压平的压印方式引起压印过程中出现位移。相同检测设备下的正六角形半球状微透镜阵列膜的正面和粗糙的背面见图 10c, d。从图 10c 可知, 圆

压圆方式对应压印出来的正六角形微透镜形状比较规则、阵列整齐, 相对于前者基本未发生位移倾斜现象, 因此, 文中最终选择表面结构形状规则和背面微粗糙的正六角形半球状微透镜阵列防伪膜作为最终成品, 即图 10c, d。

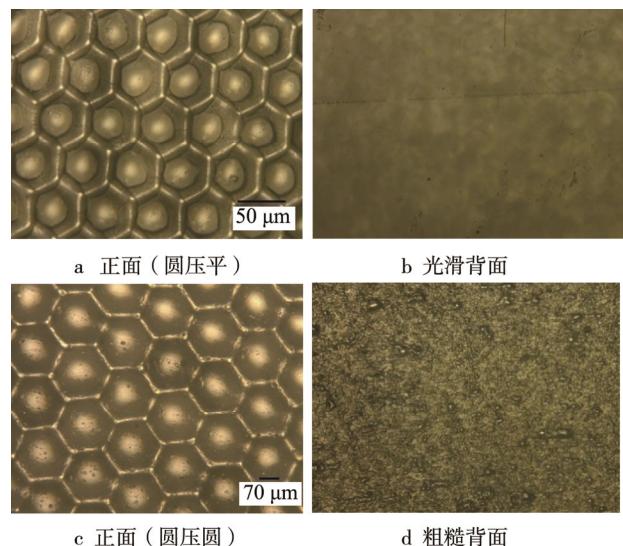


图 10 2 种微透镜阵列膜
Fig.10 Two types of micro-lens array films

3 性能表征

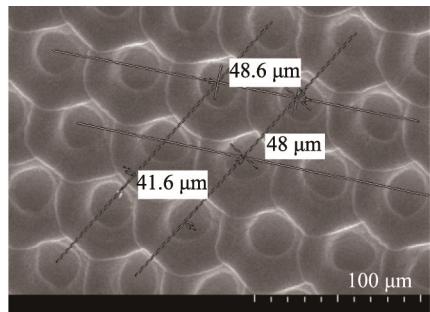
根据最终选择的正六角形半球状微透镜阵列膜成品, 对其阵列的均匀性、形貌、光透过率影响成像性能的特征进行表征。

3.1 阵列均匀性

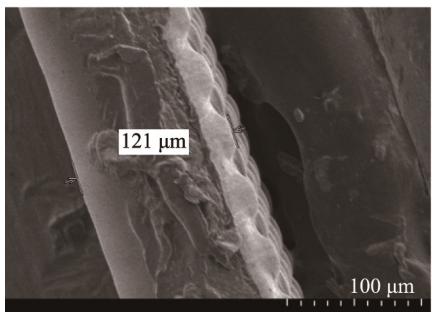
主要从 2 个方面判断正六角形微透镜阵列结构的均匀性: 正六角形微透镜阵列纵向和横向的尺寸差; 正六角形微透镜阵列防伪膜的实际厚度与理论厚度的差值大小。制得的正六角形微透镜阵列防伪膜在 SEM (扫描电子显微镜) 下的显微图像见图 11a, 通过 SEM 测试单元微透镜在纵横 2 个方向上相邻单元微透镜之间中心距, 从图 11a 中可以看出纵横单元微透镜之间中心距均为 48 μm, 从而判断正六角形微透镜阵列在纵向和横向均匀排列。另外, SEM 下正六角形微透镜阵列防伪膜实际厚度测试见图 11b。从图 11b 中得出其实际厚度为 121 μm, 与理论计算的厚度 81.9 μm 的正六角形微透镜阵列膜相差 1/3, 但不影响它的均匀性, 因此, 研究所制得的正六角形半球状微透镜阵列防伪膜阵列性基本均匀。

3.2 形貌检测

利用形貌检测对制备的微透镜阵列防伪膜形貌特征进行评价。激光共聚焦下正六角形半球状微透镜阵列防伪膜的表面形貌见图 12a, 从图 12a 中可以



a 纵横尺寸



b 厚度

图 11 SEM 测试
Fig.11 The SEM test chart

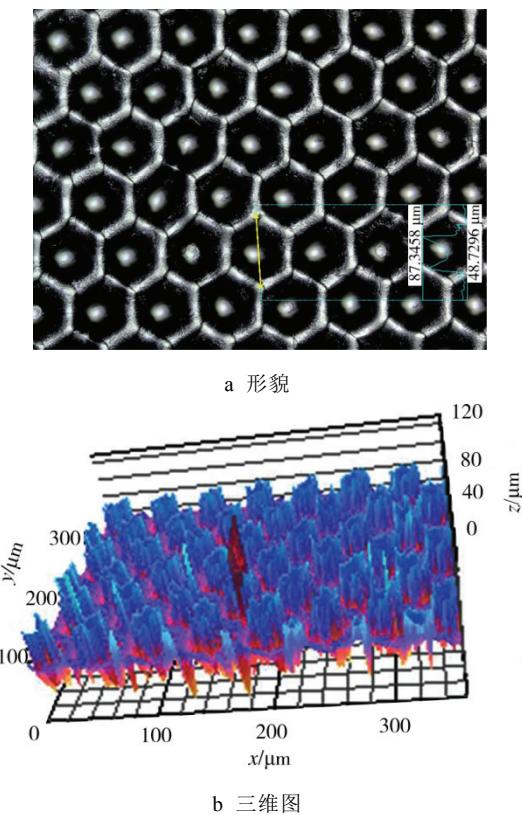


图 12 激光共聚焦显微镜检测
Fig.12 Laser confocal microscope test

看出微透镜形状规则、表面规整。激光共聚焦下正六角形半球状微透镜阵列防伪膜的三维形貌见图 12b, 从图 12b 中可以看出正六角形微透镜阵列防伪膜的整体高度约为 128 μm, 与 SEM 测试的 121 μm 基本相符。

3.3 透光率

微透镜阵列防伪膜的透光率是指在可见光照射条件下光线透过微透镜阵列膜的程度。透光率是影响微透镜阵列膜成像的关键指标, 透镜率越高成像越清晰。透光率低表示有更多的光线无法透过微透镜阵列膜, 或更多的光线被反射回去, 从而影响成像清晰度。制得的微透镜阵列防伪膜的光透过率和反射率测试结果见表 2, 通过表 2 的光透过率和反射率比较得出, 背面微粗糙的微透镜阵列膜(圆压圆方式制得)无论是透光率还是反射率都比背面光滑的微透镜阵列膜(圆压平方式制得)要好。

表 2 光透率和反射率比较
Tab.2 Light transmittance and reflectance comparison

序号	成品特征	正面透射率/%	反面透射率/%	正面反射率/%
1	表面规则, 背面 微粗糙	13.66	13.86	8.235
2	表面位移, 背面 光滑	10.64	9.76	5.966
3	表面位移, 背面 光滑, 光洁度比 2 号好	9.375	9.833	6.029

通过对最终制得的 2 种正六角形半球状微透镜阵列防伪膜分别在阵列性、表面形貌和透光率这 3 个性能指标上综合分析比较得知, 背面微粗糙的微透镜阵列膜(圆压圆方式制得)的透镜形状规则、表面规整、透光率高, 基本符合研究制备要求。

4 结语

在印刷包装及立体防伪领域中, 国内对于高线数微透镜阵列防伪膜的制备仍处于研发状态, 距离广泛应用还有很大差距。将基于微透镜阵列的立体动态显示成像技术应用到印刷包装及防伪领域是一种创新应用, 具有可观的市场应用潜力。文中采用卷到卷、圆压圆的工艺成型方式, 以 PC 为成型原材料, 利用激光微刻技术制备印版, 其中压印温度为 139 °C, 转移速度为 5 m/min, 制备了一种正六角形半球状微透镜阵列结构防伪膜。膜厚为 121 μm, 微透镜阵列栅距为 48 μm, 单元微透镜边长为 32 μm, 根据微透镜阵列结构几何参数关系折算后得出光栅线数为 529 线。文中实现了高线数、高填充率的微透镜阵列防伪膜的制备, 对于微透镜阵列 3D 动态显示成像技术在国内印刷包装领域或立体防伪领域的应用具有一定的促进作用, 并提供了一种工艺简单、适于批量生产的微透镜阵列膜材制备方法, 为印刷包装及防伪等相关行业提供了参考。

参考文献：

- [1] IVES H E. Optical Properties of a Lippmann Lent-iculated Sheet[J]. Opt Soc Am, 1931, 21(3): 171—176.
- [2] 任智斌. 折射型微透镜及微透镜阵列光学性质与制作技术的研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.
- REN Zhi-bin. Study of The Optical Characteristics and The Fabrication Technology of Refractive Microlens and Microlens Arrays[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Academia of Sciences, 2004.
- [3] 徐晶. 基于微透镜阵列的集成成像和光场成像研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- XU Jing. Research on Integral Imaging and Light Field Imaging Based on Microlens Array[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2011.
- [4] 杨福桂. 基于透镜阵列的双向成像显示及相关技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2012.
- YANG Fu-gui. Research on Bi-directional Imaging and Display by Lensarray and Related Techniques[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2012.
- [5] 秦睿睿, 许文才, 罗世永. 立体印刷技术探究[J]. 北京印刷学院学报, 2012, 20(2): 22—25.
- QIN Rui-rui, XU Wen-cai, LUO Shi-yong. Stereoscopic Printing Technology Research[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2012, 20(2): 22—25.
- [6] RICHARD A S, MARK J H, GREGORY R J. Micro-optic Security And Image Presentation System Presenting a Synthetically Magnified Image that Appears to Lie Above a Given Plane: United States Patent, 8310760B2[P]. 2012-11-13.
- [7] RICHARD A S, MARK J H, GREGORY R J. Micro-optic Security And Image Presentation System Presenting a Synthetically Magnified Image that Appears to Lie Above a Given Plane: United States Patent, 20110209328A1[P]. 2011-09-01.
- [8] QUINN S W, LANNY S S, DANIEL R. Transprent Multi-view Mask for 3D Display Systems: United States Patent, 8525829B2[P]. 2013-9-3.
- [9] 王晓红. 立体显示防伪技术[J]. 印刷杂志, 2002(8): 112—116.
- WANG Xiao-hong. Stereoscopic Display Anti-counterfeiting Technology [J]. Printed Magazines, 2002(8): 112—116.
- [10] 张静芳, 刘立民, 叶中东, 等. 光学防伪技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- ZHANG Jing-fang, LIU Li-min, YE Zhong-dong, et al. Optical Anti-counterfeiting Technology and its Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.
- [11] 付艳艳, 成立. 柱透镜光栅立体印刷研究[J]. 包装工程, 2015, 36(3): 123—128.
- FU Yan-yan, CHENG Li. Cylindrical lens Grating Three-dimensional Printing[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 123—128.
- [12] 刘德森. 微小光学与微透镜阵列[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- LIU De-sen. Micro Optics and Micro-lens Arrays[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [13] POPOVIC Z D, SPRAGUE R A, NEVILLE C G A. Technique for Monolithic Fabrication of Microlens Arrays. Applied Optics, 1988, 27: 1281—1284.
- [14] 高应俊, 刘德森, 阎国安. 高质量光刻胶微小透镜阵列研究[J]. 光子学报, 1996, 25(10): 909.
- GAO Ying-jun, LIU De-sen, YAN Guo-an. Research for High Quality Photoresist Microlens Array[J]. Photons Journal, 1996, 25(10): 909.
- [15] 王伟, 周常河. 一种新型聚合物微透镜阵列的制造技术[J]. 中国激光, 2009, 36(11): 2869—2872.
- WANG Wei, ZHOU Chang-he. New Technology for Fabrication of Polymer Micro-lens Arrays[J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(11): 2869—2872.
- [16] 夏泽华. 复合微透镜阵列的制备及成像研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- XIA Ze-hua. Fabrication of Compound Micro-lens Array and Imaging Research[D]. Haerbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [17] 崔铮. 微纳米加工技术及其应用(第2版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- CUI Zheng. Micro Nano Processing Technology and Its Application (Second Edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.