

3D 印刷技术研究进展及其在防伪领域中的应用

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.06.012

黄校军¹ 陈广学^{1,2} 俞朝晖¹
李敏¹ 郭蕊¹

1. 深圳市裕同

包装科技股份有限公司

广东 深圳 518108

2. 华南理工大学

制浆造纸工程国家重点实验室

广东 广州 510640

摘要: 综述了柱透镜光栅印刷技术和微透镜光栅印刷技术在国内外的研究现状及其在防伪领域中的应用, 指出 3D 印刷技术未来的发展趋势为 3D 微透镜光栅动态成像技术、高线数光栅印刷技术、纸基 3D 直印光栅技术, 这 3 种印刷技术均面临其发展瓶颈, 如何解决其发展瓶颈将是未来研究的重点。

关键词: 3D 印刷技术; 柱透镜光栅印刷; 微透镜光栅印刷; 防伪印刷

中图分类号: TS805

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2017)06-0084-07

1 研究背景

传统立体印刷一般是指柱透镜 3D 印刷, 是平面印刷图文与柱透镜光栅复合在平面图像上呈现立体效果的技术, 其缺点为立体效果仅限于水平观察方向。随着数字印刷技术的发展, 立体印刷的定义发生了变化, 即平面印刷图文与光栅材料复合从而呈现三维效果的印刷复制技术。一直以来, 3D 印刷以其能够更加真实地表现现实三维世界而倍受关注, 因而被广泛应用于证卡行业、商业印刷、包装装潢、广告装饰等众多领域。

3D 印刷技术的原理为: 人的两眼间存在距离, 人眼能够调整聚焦角度, 再经大脑融合, 产生立体视觉即视差。如果是柱透镜光栅印刷, 柱透镜光栅具有折射分像的作用, 即柱透镜光栅可将平面上位置错开的左右眼图像光线分开, 使观看者不用佩戴辅助设备, 也能左眼看到左眼图、右眼看到右眼图, 从而实现立体显示效果^[1-2] (见图 1); 如果是微透镜光栅印刷, 则相同的微小凸透镜按一定的周期和形状排列在基材上, 构成微透镜阵列, 从而有效地记录全真图像, 其光学性质就是单个微透镜功能的合成(见图 2)。

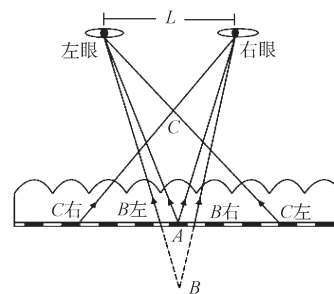


图 1 柱透镜成像原理示意图

Fig. 1 Lenticular imaging principle schematic diagram

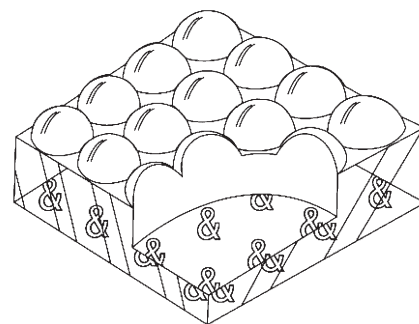


图 2 半球形微透镜成像结构示意图

Fig. 2 Hemispherical microlens imaging principle schematic diagram

收稿日期: 2017-09-11

基金项目: 深圳市发展和改革委员会文化创意产业发展基金资助项目(深发改[2017]1235)

作者简介: 黄校军(1989-), 男, 湖南泸溪人, 深圳市裕同包装科技股份有限公司研发工程师, 硕士, 主要研究方向为立体印刷及防伪材料, E-mail: huangxiaojun008@163.com

通信作者: 陈广学(1963-), 男, 河南杞县人, 华南理工大学教授, 博士生导师, 主要从事 3D 印刷与显示, 印刷包装新材料, 数字印刷及信息可视化方面的教学与研究, E-mail: chengx@scut.eud.cn

2 3D 印刷技术发展现状

2.1 柱透镜光栅印刷技术

目前, 3D 印刷应用最为广泛的是柱透镜光栅印刷。国内柱透镜 3D 立体印刷始于 20 世纪 90 年代, 早期由于技术不成熟, 其应用范围较小, 仅限于小商品(如玩具、文具等)的装饰, 实现的功能也比较简单, 只限单纯的立体景深效果。随着数字印刷产业的快速发展, 柱透镜光栅立体印刷技术相关研究不断深入, 应用范围也迅速扩大, 尤其是 2010 年 3D 电影《阿凡达》的上映, 极大地推动了人们对立体显示产品的关注。例如, 于瀛洁等^[3]通过几何方法推导了柱透镜光栅成像系统各参数之间的关系, 对提升柱透镜光栅立体成像效果具有一定的指导意义, 但对于柱透镜光栅水平与垂直分辨率不平衡的问题也未提出有效的解决方案; 周立权^[4]、张昌印^[5]通过实际案例, 从原稿获取、图像处理、图像制版、光栅印刷等几个方面对柱透镜光栅立体印刷工艺进行了研究, 为印刷包装行业进一步实现柱透镜光栅立体印刷工艺提供了参考。桑凤仙^[6]、秦睿睿等^[7]对立体印刷用光栅材料及成型工艺进行了研究, 其研究采用 UV 光油制作光栅成型材料, 实现了局部立体印刷, 打破了传统印刷中只能整体光栅印刷的局限。朱志伟^[8]从观察角度分析了柱透镜光栅成像效果, 并提出了立体图像质量评价方法, 对光栅立体印刷工艺的应用及批量化生产提供了一定的参考。付艳艳等^[9]采用 Photoshop CS5 图像处理软件进行分层设置, 再利用专业立体制图软件 3D MAGIC V2 制作光栅图像, 最终制得效果较好的柱透镜光栅印刷品, 这是利用专业 3D 制图软件制作完成的光栅印刷品。尹志虹等^[10]利用 3D MAX 制作立体光栅图文, 开发专用 SPS 软件合成, 将柱透镜 3D 印刷成像技术应用于云烟产品“云端”“脸谱”烟标上, 其应用虽然摆脱了对专业立体制图软件的依赖, 但制作过程比较复杂。国外对于柱透镜光栅 3D 成像技术的应用程度远超国内, 如加拿大专利 CA2344102A1 中完整地描述了如何利用双重柱镜立体成像增强多色效果及其制备方法^[11], 美国专利 US005712731A 中描述了一种应用于证卡票券安全领域的方形透镜光栅成像技术^[12]。Masahiro Furukaw 等^[13]提出一种使用柱透镜光栅的光学流路标来引导行人行走, 并以设计的基本视觉刺激和评价原则证明其可行性, 该应用具有创意性, 解决了一般

行人在获取方向信号从认知到行动之间的时间延迟问题, 但研究未给出柱透镜光栅成像串图、模糊等问题的解决方法。在国外, 3D 成像技术具有代表性的应用是美国 HP 公司在打印机硒鼓外包装上采用的柱透镜立体成像动态显示标签, 其光栅线数约为 200 线, 兼具随角异图、3D 动态显示效果。另外, 国外的一些商家(如 LG、Philips、3M 等)还将柱透镜光栅应用于显示屏或光学薄膜上。

柱透镜光栅 3D 印刷技术的应用同样面临着一定的问题, 如亮度不高、图像模糊等。由于柱透镜光栅立体印刷整个过程涉及立体制图、制版、印刷等, 各个环节紧密相联, 稍有差错就会造成最终的效果不理想, 往往会出现串图、图像不清晰等。周磊等^[14]采用光追迹方法代替光学软件计算柱面光栅参数, 计算结果更加准确, 但该方法过于复杂, 不利于工艺化; 李小方等^[15]提出通过纠正平面显示屏上合成图像子像素的亮度值, 来消除柱透镜光栅显示器相邻视点间显示图像的串扰, 但是纠正合成图像亮度值并不能改变图像光线的传播路径; Wang Qionghua 等^[16-17]提出利用由单透镜和额外透明层组合而成的透镜, 能有效避免透镜变形和串扰, 但是额外透明层存在一定的折射率, 对图像光线的传播会产生一定影响。

2.2 微透镜光栅印刷技术

由于柱透镜光栅印刷只能在水平观察方向显示 3D 效果, 对用户体验会造成很大障碍, 因此人们开始寻找一种不受观察角度限制的立体印刷成像技术, 即微透镜光栅印刷技术。微透镜是指微小透镜, 通常其直径为 1~1 000 μm , 将微小透镜在基材上按一定形状和周期排列形成的阵列叫做微透镜阵列, 也称为微透镜光栅。微透镜阵列立体显示成像早期主要应用于光电器件领域, 随着立体印刷技术的快速发展, 微透镜阵列动态 3D 成像技术的应用延伸至印刷包装领域, 并成为印刷包装行业研发的热点。例如, 李同海^[18]利用自制微喷打印装置制备了微透镜阵列, 并阐述了透镜各个参数的测试方法, 但该方法不易控制透镜液滴的形状, 且只能单个打印, 速度较慢, 成本较高。王伟等^[19]提出一种利用软模压印制备微透镜阵列的技术, 这是一种将传统的光刻胶热熔法和压印方法相结合以制作微透镜阵列的方法, 该方法避免了单独使用光刻胶存在颜色干扰而影响成像效果的问题。范新磊等^[20]提出一种采用紫外光刻工艺与压印相结合的方法快速制造平面微透镜阵列的新技术, 倒模过程中

采用低黏度系数和高黏度系数的 SU-8 胶分别填充模具,减少倒模气泡的产生,但是该工艺的热熔时间有待进一步研究确定。夏泽华^[21]采用水辅助飞秒激光直写技术,在玻璃材料内部制备了一种锥形微透镜阵列,此方法突破了以往在基材外部制作微透镜阵列再转移到内部制作的工艺,但是微柱形阵列在玻璃材料内部转化为锥形阵列结构不易控制。赵志芳^[22]采用光刻离子交换技术,制作了六角形孔径平面微透镜阵列,通过参数优化进一步增强了平面微透镜阵列的光学特性,并在理论上对单层平面微透镜阵列以及双层平面微透镜阵列的光学特性及成像特性进行了分析。徐晶^[23]、杨福桂^[24]对微透镜阵列集成成像以及在液晶显示屏中双向成像显示性能、影响因素、评估测试等进行了研究,提出了多种显示与成像互不影响的双向成像显示方案。朱咸昌^[25]分析了不同类型的微透镜阵列加工工艺和成像特性,初步构建了一套完整的微透镜阵列焦距及其一致性检测体系,但是这一检测体系只适用于特定检测范围。

国外对微透镜阵列制备和成像技术的研究也较多。例如, J. Albero 等^[26]基于热流法在柱状微腔内制备了微透镜阵列结构,微透镜结构尺寸由微腔大小调控,但是该制备过程较为复杂,需先在硅材料内刻蚀微腔结构,然后在电烤箱中升温,玻璃材料在重力和表面张力作用下往微腔内部凹陷,形成凸形结构,最后还需剖光磨平。日本株式会社日立制作所基于圆形微透镜阵列,开发了圆形微透镜阵列液晶显示器(liquid crystal display, LCD)屏,该 LCD 屏可上下左右全方面显示^[27]。Chang L. 等^[28]利用电湿润法,在聚合物内制备了微米级微透镜结构,实现了结构尺寸可调,并测试了阵列成像性能。M. Aymerich 等^[29]结合泰伯效应,利用激光直写技术在材料表面制备了微透镜阵列结构,该方法类似光刻胶热熔法,通过激光制备微柱形掩模板结构,然后进行加热退火处理,得到微透镜阵列结构。M. S. Moghaddam 等^[30]也利用电湿润法在聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)中制备了微透镜结构,但是制作的微透镜阵列厚度较大,其直径为毫米级。D. Nieto 等^[31]利用激光直写和热回流技术在碱石灰玻璃表面制备了微透镜阵列,并对不同温度下微透镜形状的变化进行了表征,制备的微透镜直径为微米级。

从国内外相关研究现状可得知,微透镜阵列的研究集中于微透镜阵列的制备技术以及成像特性,对

于微透镜阵列在 3D 印刷中的研究较少见到,国内对于这方面的研究相对先行一步。例如,黄校军^[32]从防伪的角度研究了微透镜阵列在立体印刷中的应用,并分析了微透镜阵列立体印刷工艺,通过卷对卷压印的方式制备了 540 线的蜂窝形微透镜阵列防伪膜,但是未能成功通过印刷方式实现蜂窝形微透镜阵列防伪膜 3D 成像显示。李梦宇^[33]分析了微透镜光栅立体印刷的成像机理,改进了立体图像原稿的制作方法,并成功制作了基于 UV 胶印方式的半球形微透镜 3D 印刷样品,但是其半球形微透镜阵列膜材是采用日本 Grapac Japan Co. Inc. 生产的薄膜。

3 3D 印刷技术在防伪领域中的应用

3D 印刷技术之所以得以应用于现代防伪领域,其主要原因有:1)光栅 3D 印刷品图文信息不可被扫描、复印等手段复制;2)光栅 3D 印刷品具有裸眼、立体、动态、变换等成像特点,容易被识别,且防伪特征较强;3)高线数的光栅 3D 印刷防伪产品制作成本较高、技术难度较大,特别是微透镜阵列光栅印刷防伪产品,故其防伪性能极好。根据光栅材料的不同,3D 印刷防伪技术可分为柱透镜光栅 3D 印刷防伪技术和微透镜光栅 3D 印刷防伪技术。

目前,立体印刷防伪技术在市场上应用较多的是柱透镜光栅 3D 印刷防伪技术。例如,美国 HP 公司前期在打印硒鼓墨盒外包装上就采用了柱透镜光栅 3D 防伪标签。北京印刷学院防伪技术与材料研究所也通过印刷的方式制备了 3 种兼备动态、立体、变图、开窗等多功能于一体的柱透镜 3D 防伪膜^[32]。为解决柱透镜光栅成像观察角度受限的问题,360 度全方位成像的微透镜光栅 3D 印刷防伪技术应运而生并成为主要发展趋势。例如,2006 版 1000 瑞典克朗的开窗安全线首先将微透镜防伪技术应用于钞票防伪领域,2010 年美国发行的新版 100 美元同样在安全线上采用了微透镜防伪技术,并提升为双通道形式,倾斜转动钞票时能看到数字“100”和图像“自由钟”相互变换,具有强烈的视觉动感。美国 HP 公司也紧跟技术更新的步伐,更换打印硒鼓墨盒外包装上的柱透镜光栅 3D 防伪标签,转而采用微透镜光栅 3D 防伪标签。日本 Grapac Japan Co., Inc. 在微透镜光栅膜材制备领域拥有完整的生产线,能生产不同形状结构的高线数微透镜阵列片材,并拥有多项专利技术。尹韶云等^[34]研发的动态立体效果防伪安全薄膜也是

利用微透镜阵列改进而得。熊建等^[35]研发了一种上下对应的双层微透镜阵列薄膜,该膜能够实现 360° 观看立体效果。微透镜阵列成像技术以其裸眼观看、角度自由的优势而成为超越传统光变图像的理想公众防伪技术。微透镜阵列防伪膜同时具有水平视差和垂直视差,观察角度自由,观察者无需借助任何特殊的观察设备或技巧就可以看到立体图文;同时,以该技术制作的微图文无法用传统复制、复印方法获得,防伪效果较好。

可以预见,未来 3D 印刷动态显示技术在防伪领域中的应用会越来越广泛。国际知名公司如 Visual Physics、Crane、G & D、Kurz 等也都将该技术作为未来主要的防伪技术而高度重视,投入大量的成本对其制作工艺和再现效果进行研发。

4 3D 印刷技术的发展趋势

传统 3D 印刷技术大多采用半圆柱状透镜光栅作为成像材料,柱透镜光栅成像景深较大,立体效果较好,但存在观看角度受限的缺陷,只能在柱透镜排列的水平方向上看到 3D 或动态效果图像,在其垂直方向上则无法看到该效果^[36-40]。因此,研制一种观看角度不受限制、利用柱透镜光栅的 3D 或动态成像效果的光栅材料,是传统 3D 印刷技术发展的一个主要趋势,即 3D 微透镜光栅动态成像技术。其发展瓶颈在于如何实现高线数的微透镜光栅片材的生产,以及微图文与微透镜之间如何精准复合实现 3D 动态成像。

3D 印刷作为高端印刷技术在国内应用的成功案例较少,其原因之一在于柱镜光栅片材的厚度在实际应用中难以达到需求。其一是国内印刷设备精度达不到要求,当柱镜光栅线数超过 200 线后,栅格化 3D 图像与光栅位置很难对准;其二是柱镜光栅片材变薄后,图像 3D 效果变差。因此,3D 印刷技术的另一发展趋势是采用高线数光栅印刷,即高线数光栅印刷技术。其发展瓶颈在于如何提升国内印刷设备精度,以及如何降低柱镜光栅片材的厚度且能充分体现其 3D 效果。

传统 3D 印刷有两种工艺方式:一种是在承印物表面印刷 3D 栅格化图像,然后与柱镜光栅胶片进行复合,得到 3D 图像或多幅画面的动态图像;另一种是在柱镜光栅胶片的背面直接进行 UV 印刷 3D 栅格化图像,从而得到 3D 立体图像。无论是哪一种 3D

印刷工艺,都离不开以光栅胶片为基材,这两种工艺占据着目前裸眼 3D 印刷技术市场的主导。但 3D 印刷技术在印刷市场特别是包装印刷市场的应用拓展较慢,其原因在于塑料胶片材质不具有环保性、应用成本偏高和包装应用性较差等。基于这些关键影响因素,塑料胶片型光栅 3D 显示在包装印刷领域无法与纸类包装相媲美。因此,3D 印刷技术的又一发展趋势是将 3D 栅格化图像直接在纸基材料上印刷,充分发挥纸基材料可进行精美工艺加工的优势,即纸基 3D 直印光栅技术。其发展瓶颈在于如何实现在线设备的改造、纸基直印特殊光油和特殊印版的制备,以及如何保证其稳定性能。

3D 印刷技术已成为高端印刷领域中的重要技术力量,其发展潜力较大,特别是在国内印刷包装领域、防伪领域等具有较大的发展和提升空间。如上所述,3D 印刷技术未来的三大发展趋势为 3D 微透镜光栅动态成像技术、高线数光栅印刷技术、纸基 3D 直印光栅技术,如能解决其面临的瓶颈问题,3D 印刷技术将会得到更加广泛的应用。同时,3D 印刷技术所具有的动态、裸眼、立体显示以及不可被扫描复制的特点使其在防伪领域拥有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 卢军,田靓.光栅立体印刷图像的处理方法[J].印刷技术,2008(13):49-50.
LU Jun, TIAN Liang. The Processing Method of Grating Stereoscopic Printing Image[J]. Printing Technology, 2008(13): 49-50.
- [2] 史瑞芝.光栅立体印刷技术综述[J].中国印刷与包装研究,2009,5(1):1-9.
SHI Ruizhi. Summary of Grating Stereoscopic Printing Technology[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 5(1): 1-9.
- [3] 于瀛洁,蔡明义,张之江.柱透镜光栅自由立体显示中几何参数间关系分析[J].光电子技术,2010,30(1):10-15.
YU Yingjie, CAI Mingyi, ZHANG Zhijiang. Analysis for Geometric Parameter Relation of Lenticular Sheet Based Autostereoscopic[J]. Optoelectronic Technology, 2010, 30(1): 10-15.
- [4] 周立权.光栅立体印刷图像处理技术研究[J].包装工程,2010,31(3):107-110.
ZHOU Liqun. Research on Image-Processing

- Technology of Stereoscopic Printing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 107-110.
- [5] 张昌印. 光栅立体印刷工艺详解[J]. 今日印刷, 2010(10): 67-70.
ZHANG Changyin. Detailed Explanation of Grating Stereoscopic Printing Process[J]. Today Printing, 2010(10): 67-70.
- [6] 桑凤仙. 立体印刷用光栅材料及成型工艺的研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2008.
SANG Fengxian. Study on the Grating Material and Molding Process in Three Dimensional Printing[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2008.
- [7] 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 Ruirui, XU Wencai, LUO Shiyong. The Exploration of Stereoscopic Printing Technology[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2012, 20(2): 22-25.
- [8] 朱志伟. 数字图像处理在立体印刷中的技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
ZHU Zhiwei. Technology Research of Digital Image Processing in Three-Dimensional Printing[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [9] 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 Yanyan, CHENG Li. Cylindrical Lens Grating Three-Dimensional Printing[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(3): 123-128.
- [10] 尹志甄, 李 辉, 田 然, 等. 3D技术在云烟产品上的运用研究[J]. 科技资讯, 2016(18): 70-71.
YIN Zhizhen, LI Hui, TIAN Ran, et al. Application Research of 3D Technology for YUNYAN Products[J]. Science & Technology Information, 2016(18): 70-71.
- [11] PARROTTA Michael A, PETERSON Zane R, FLOWERS Robert L. Enhanced Moire and Iridescent Effects Created Using Dual Lenticular Lens Imaging: CA2344102A1[P]. 2000-04-17.
- [12] DRINKWATER Kenneth J, HUDSON Philip M G. Security Device for Security Documents Such as Bank Notes and Credit Cards: US005712731A [P]. 1998-06-27.
- [13] FURUKAWA M, YOSHIKAWA H, HACHISU T, et al. "Vection Field" for Pedestrian Traffic Control[J]. Augmented Human International Conference, 2011: 1-8. doi: 10.1145/1959826.1959845.
- [14] 周 磊, 王琼华, 陶宇虹, 等. 自由立体显示用柱面透镜光栅的优化设计[J]. 光学学报, 2009, 29(12): 3506-3510.
ZHOU Lei, WANG Qionghua, TAO Yuhong, et al. Optimum Design of Lenticular Lens for Auto-Stereoscopic Display[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(12): 3506-3510.
- [15] 李小方, 王琼华, 李大海, 等. 一种消除柱透镜光栅自由立体显示图像串扰的方法[J]. 四川大学学报(工程科学报), 2011, 43(6): 115-118.
LI Xiaofang, WANG Qionghua, LI Dahai, et al. A Method of Eliminate Image Crosstalk in Autostereoscopic Display Based on Lenticular Sheet[J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition), 2011, 43(6): 115-118.
- [16] WANG Qionghua, WANG Aihong, ZHAO Wuxiang, et al. Autostereoscopic Display Based on Multi-Layer Lenticular Lens[J]. Internation Journal of Light and Electron Optics, 2011, 122(15): 1326-1328.
- [17] WANG Aihong, Wang Qionghua, LI Xiaofang, et al. Combined Lenticular Lens for Autostereoscopic Three Dimensional Display[J]. Internation Journal of Light and Electron Optics, 2012, 123(9): 827-830.
- [18] 李同海. 聚合物微透镜及其阵列的研究[D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2006.
LI Tonghai. The Research to Polymer Microlens and Arrays[D]. Xi' an: Xi' an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [19] 王 伟, 周常河. 一种新型聚合物微透镜阵列的制备技术[J]. 中国激光, 2009, 36(11): 2869-2872.
WANG Wei, ZHOU Changhe. New Technology for Fabrication of Polymer Microlens Arrays[J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(11): 2869-2872.
- [20] 范新磊, 张斌珍, 李向红, 等. 基于SU-8的高质量平面微透镜阵列压印新方法[J]. 微纳电子技术, 2013, 50(4): 242-247.
FAN Xinlei, ZHANG Binzhen, LI Xianghong, et al. New Method of Imprinting High Performance Plane Microlens Arrays Based on SU-8[J]. Processing, Measurement and Equipment, 2013, 50(4): 242-247.
- [21] 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 Zehua. Fabrication of Compound Microlens Arrays and Imaging Research[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [22] 赵志芳. 六角形孔径平面微透镜阵列的折射率分布及成像特性分析 [D]. 重庆: 西南大学, 2012.
ZHAO Zhifang. Distribution-Index and Image Properties of Hexagon-Aperture Microlens Arrays[D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [23] 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.
- [24] 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 Fugui. Research on Bi-Directional Imaging and Display by Lensarray and Related Techniques[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2012.
- [25] 朱咸昌. 微透镜阵列焦距及其一致性检测技术研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
ZHU Xianchang. Research on Focal Length and Consistency Measurement of Microlens-Array[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [26] ALBERO J, PERRIN S, BARGIEL S, et al. Dense Arrays of Millimeter-Sized Glass Lenses Fabricated at Wafer-Level[J]. Optics Express, 2015, 23(9): 11702-11712.
- [27] 谢俊国, 周永明, 于丙涛. 基于微透镜阵列实现全真立体显示技术的研究 [J]. 中国电视学与图像分析, 2008, 13(1): 42-46.
XIE Junguo, ZHOU Yongming, YU Bingtao. Research on a Technology of Realizing in Tegral 3D Vision Based on Microlens Array[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2008, 13(1): 42-46.
- [28] CHANG L, DIJKSTRA M, ISMAIL N, et al. Waveguide-Coupled Micro-Ball Lens Array Suitable for Mass Fabrication[J]. Optics Express, 2015, 23(17): 22414-22423.
- [29] AYMERICH M, NIETO D, FLORES-ARIAS M T. Laser-Based Surface Multistructuring Using Optical Elements and the Talbot Effect[J]. Optics Express, 2015, 23(19): 24369-24382.
- [30] MOGHADDAM M S, LATIFI H, SHAHRAKI H, et al. Simulation, Fabrication, and Characterization of a Tunable Electrowetting-Based Lens with a Wedge-Shaped PDMS Dielectric Layer[J]. Applied Optics, 2015, 54(10): 3010-3017.
- [31] NIETO D, ARINES J, GOMEZ-REINC C, et al. Fabrication and Characterization of Microlens Arrays on Soda-Lime Glass Using a Combination of Laser Direct-Write and Thermal Reflow Techniques[J]. Journal of Applied Physics, 2011, 110(2): 023108.
- [32] 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, 2014.
HUANG Xiaojun. Preparation of an Anti-Counterfeiting Film with Stereoscopic Display Different Graphics at Different Viewing Angles on the Basis of Surface Micro Lens Array[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphics Communication, 2014.
- [33] 李梦宇. 基于微透镜阵列的立体图像再现研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
LI Mengyu. Research on Stereo Image Rendering Based on Microlens Array[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [34] 尹韶云, 张裕坤, 吴 鹏, 等. 基于集成成像原理并具有动态立体效果的防伪安全薄膜: CN103236222A[P]. 2013-08-07.
YI Shaoyun, ZHANG Yukui, WU Peng, et al. Based on Integrated Imaging Principle of Anti-Counterfeiting Security Film with Dynamic Stereoscopic Effect: CN103236222A [P]. 2013-08-07.
- [35] 熊 建, 周立权, 邹耀邦. 能够实现 360 度观看裸眼 3D 图像的制品及其制造方法: CN103529555A[P]. 2014-01-22.
XIONG Jian, ZHOU Liquan, ZOU Yaobang. A Product and its Manufacturing Method Achieved 3D Imaging of 360-Degree Viewing with Naked-Eye: CN103529555A[P]. 2014-01-22.
- [36] 王 梓. 集成成像 3D 显示技术研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
WANG Zi. Studies on Integral Imaging 3D Display[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2017.
- [37] 郭 南. 用于裸眼三维显示的内容生成方法研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.
GUO Nan. Research on Content Generation on Method for the Naked-Eye Three-Dimensional Display[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.

- [38] 陈 铎. 基于密集视点的计算三维显示若干关键技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.
CHEN Duo. The Key Technology of Computational Three Dimensional Display with Dense Viewpoints[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.
- [39] 于迅博. 高分辨率、密集视点三维显示关键技术 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2016.
YU Xunbo. The Key Technology of the Three Dimensional Display with High Resolution and Dense Viewpoints[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2016.
- [40] 田 丰. 裸眼立体显示及数据获取的研究与实现 [D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
TIAN Feng. The Study and Implementation of Naked-Eye Three-Dimensional Display and Data Acquisition System[D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.

Study Progress of 3D Printing Technology and Its Application in Anti-Counterfeiting Area

HUANG Xiaojun¹, CHEN Guangxue^{1,2}, YU Zhaohui¹, LI Min¹, GUO Rui¹

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

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

Abstract: The research status at home and abroad of lenticular grating printing technology and microlens grating printing technology was summarized with the application in anti-counterfeiting area. It was pointed out that the future development trends of 3D printing technology would be in microlens grating 3D dynamic imaging technology, high lines grating printing technology and paper-based 3D directly printing grating technology which are faced with the issue of development bottleneck by far. The focus of future study would be on how to solve these development bottlenecks.

Keywords: 3D printing technology; lenticular grating printing; microlens grating printing; anti-counterfeiting printing