

一种基于微透镜列阵三维成像的防伪技术

郭书基^{1,2} 曹阿秀¹ 史立芳^{1*} 邓启凌¹ 吴向东²

¹ 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209

² 西南交通大学机械工程学院机械电子工程系, 四川 成都 610000

摘要 提出了一种基于微透镜列阵三维成像的防伪标签设计及制备方法。建立了基于微透镜列阵的三维成像模型,开展了三维成像系统关键部件—微结构图像阵列和高精度微透镜阵列的生成及制备技术的研究。针对所要获取的三维立体影像,利用 3DMAX 软件对三维成像结构进行设计,采用微细加工技术对三维成像结构中所需的微结构及高精度微透镜列阵进行制备。最终成功制备了高分辨率防伪标签。

关键词 成像系统;三维成像;微透镜列阵;防伪

中图分类号 O436 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201535.s111001

An Anti-Counterfeiting Technique Based on Three-Dimensional Imaging Employing Micro-Lens Array

Guo Shuji^{1,2} Cao Axiu¹ Shi Lifang¹ Deng Qiling¹ Wu Xiangdong²

¹ Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Science, Chengdu, Sichuan 610209, China

² Mechanical Electronic Engineering Department, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610000, China

Abstract A new method of designing and manufacturing of anti-counterfeiting labels, which based on the three-dimensional imaging technique employing micro-lens array has been proposed. The three-dimensional imaging model is scientifically built. The structure designing and fabrication of the three-dimensional imaging key elements, the sub-image and micro-lens array, are carried out. According to the three-dimensional image, the three-dimensional imaging structure is designed with 3DMAX, after all of that, the micro structure and high precision micro-lens array of the three-dimensional structure are fabricated by micro machining technology. Finally, the high resolution anti-counterfeiting label is obtained.

Key words imaging systems; three-dimensional imaging; micro-lens array; anti-counterfeiting

OCIS codes 100.6890; 230.3990

1 引 言

假冒伪劣是一个世界性难题,它已经成为“仅次于贩毒的世界第二大公害”。据不完全统计,当前世界贸易交易额中有 5%~6%是假冒伪劣商品交易所得,其非法金额每年超过 3500 亿美元,且还在增长。同样的,假冒伪劣产品也给我国人民的经济和生命安全造成了相当严重的损失,据统计假冒伪劣产品每年至少造成 2000 亿人民币的损失,致残超过 150 万人。那么如何解决这个世界性难题呢?必须要有有力的防伪技术和手段来区分商品的真假,从而保证消费者的利益,这就使得防伪技术和手段成为一个亟待解决和提升的问题。国内外各大厂商也逐渐意识到了防伪的重要性:五粮液在 2013 年度防伪上面的费用达到 2 亿人民币;茅台在 2013 年度防伪技术上面的费用也超过 1 亿人民币;其他各厂家在产品防伪上面也是不遗余力,不惜重金。

收稿日期: 2015-02-15; **收到修改稿日期:** 2015-03-15

基金项目: 国家自然科学基金(11174281)

作者简介: 郭书基(1989—),男,硕士研究生,主要从事光机电一体化方面的研究。E-mail: 347662345@qq.com

导师简介: 吴向东(1966—),男,硕士,副教授,主要从事流体传动与控制方面的研究。E-mail: wxd99@sina.com

* **通信联系人.** E-mail: shilifang@ioe.ac.cn

防伪技术是指为了达到防伪目的而采取的措施,它具有不易被仿制和复制的特点,在一定范围内易于准确鉴别真伪,同时又必须具有小型化、单片式、易于与产品集成等特征。目前常用的防伪技术主要有团花地纹等版纹防伪、材料防伪和微缩文字、激光全息技术等。

其中版纹防伪技术,其基本原理是利用极细小的线和点构成规则或不规则的线型图案和底纹、团花、浮雕图案,构成安全版纹,以达到防拷贝、防复制的目的^[1-2]。这种技术随着数字照相、扫描和复印等技术的发展,容易通过数字照相、扫描、复印等设备复制和仿造。

对于材料防伪^[3],近年来人们研究出了多种不同类型的变色油墨,如温变型、光变型和荧光型等,这类防伪技术一定要在外界施加一定条件,例如光照、加热、光谱检测等,油墨才会发生色彩变化从而实现防伪。

缩微文字技术是把只能在放大镜下看到的极其微小的文字印在产品上^[4],以达到防伪的效果。但是近年来,随着国内外科学技术的普及发展,许多不法分子也逐渐掌握了各种防伪技术,并且将其应用于有价商品的仿造。以人民币来说,目前市面上出现高仿伪钞已经屡见不鲜。因此提出并研究可应用于人民币、邮票、烟酒等有价证券的新一代防伪技术已经迫在眉睫。

激光全息技术依据全息成像原理及色彩斑斓的闪光、动态效果引起了人们的普遍关注,在一段时间内被公认为是最先进和经济的防伪技术^[5-6]。然而,随着科技的发展,激光全息的原理和制备已经不是什么秘密,目前其已经被很多中小型厂家、单位甚至不法分子掌握,再加上生产防伪标签的厂家不遵守职业道德,法律意识不健全,对防伪技术和防伪产品管理不善,从而使激光全息防伪技术陷入了危机。随着防伪所面对的愈发严峻的形势,人们需要谋求一种新的更有效果的防伪方法,以适应不断发展的商品经济市场对防伪技术和防伪产品的要求。

本文研究了一种基于微透镜列阵三维立体成像的防伪技术,并通过该技术研制具备身份唯一性的防伪标签,该标签可以实现三维立体影像的重现。

2 原 理

图1为本防伪技术中三维成像的原理示意图。该三维成像结构中包含两层结构,即微透镜列阵层和二维微结构图形层。针对所要获取的三维立体影像,利用微透镜列阵的物像关系对其进行编码,获得非周期的二维微结构图形,通过微透镜列阵与该微结构图形之间的作用,即可在标签上方实现三维立体影像的获取和重现。

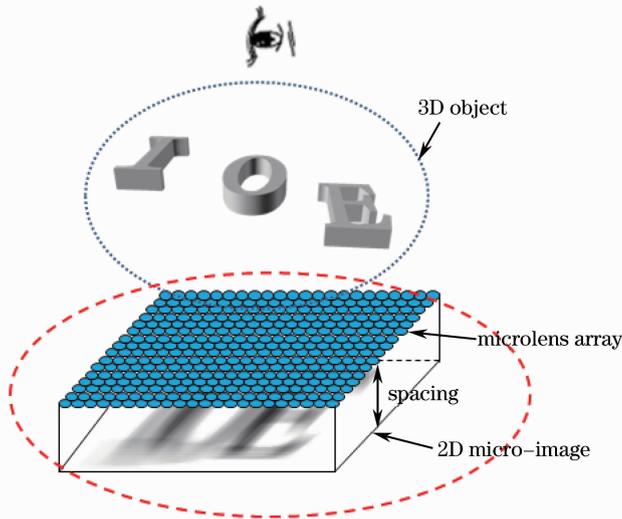


图1 微透镜列阵三维成像原理示意图

Fig. 1 Schematic of three-dimensional imaging of micro-lens array

在该结构中,由于其中的二维微结构图形是由多个微图像组成,而每个微图像为目标三维影像不同视角的对应的数字图像编码,因此每个单元微图像之间均存在着差异,使得其难以被仿造;同时该结构中的微透镜列阵结构需要专业技术和生产装置才能加工制备,而国内具备该制备技术的单位屈指可数,这些身份特征

都极大地保障了该标识的身份唯一性,使其仿造难度极大,增大了防伪力度。

3 结构设计

在该防伪标签中,有两个关键的结构,即微透镜列阵和二维微结构,其结构参数的确定及其之间的参数的匹配需要被分析和讨论。

3.1 模型建立

为了对其设计方法进行说明,建立其成像模型如图 2 所示,该模型中包含二维微结构及微透镜列阵两部分。利用微透镜列阵对目标影像进行成像,微透镜列阵中每一个微透镜都分别对目标影像成像,获得一系列对应的二维结构,将所有的二维结构进行组合,即可获得目标影像所对应的二维结构^[7]。利用微透镜列阵对该二维结构进行成像,即将二维微结构放置于微透镜列阵的焦平面附近,那么根据光路可逆原理,即可以在远离微透镜列阵的上方看到三维影像,如图 2 所示。

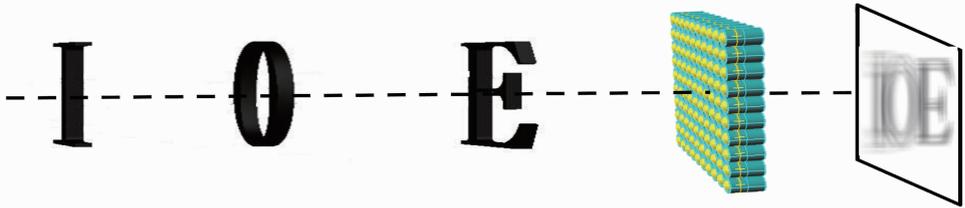


图 2 微透镜及二维微结构关系示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the relation between micro-lens and two-dimensional micro-structure

3.2 信息采集

采用 3DMAX 软件设置该信息采集模型。如图 3 所示,为在 3DMAX 软件中设置的距离相机阵列不同距离处的三个字母“I”、“O”、“E”,相机阵列的个数为 250×250 个,相机之间的间隔为 $100 \mu\text{m}$,呈四边形阵列排布,相机的视场角为 5° 。

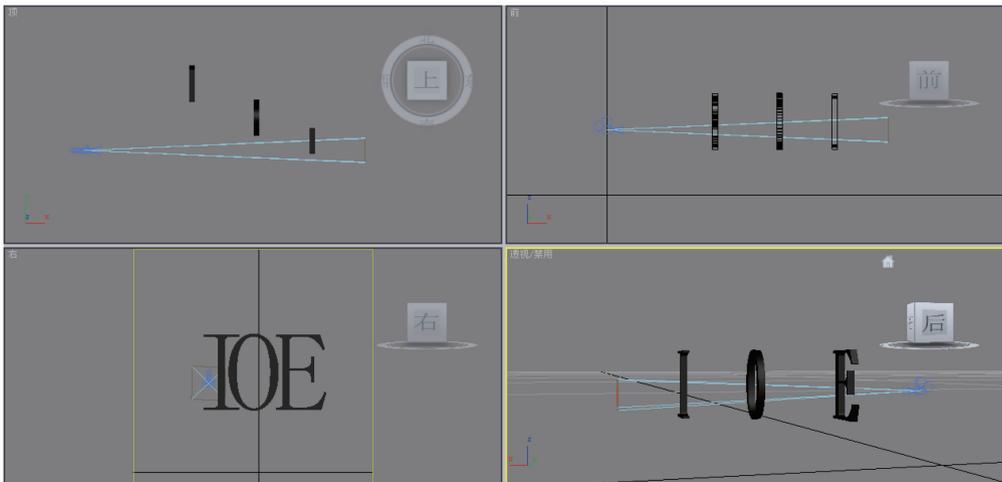


图 3 3DMAX 所设置的拍照模型

Fig. 3 Photo model configured in 3DMAX

那么拍照完成之后,将会获得 62500 幅二维微结构的图像,利用 Matlab 软件编写算法将其组合在一起,获得总的二维微结构图像,如图 4(a)所示;图 4(b)为其结构放大图,其周期为 $100 \mu\text{m}$,从图中可以看出每个周期中结构的形状都是不同的。

通过分析时序提供格式(GDSII),通用影像传输格式(CIF)等格式的数据存储方式,进而利用编程软件对微图像阵列图形进行边缘轮廓提取、选择性填充、数据编码等主要手段,从而成功将标签图像文件格式(tif),位图格式(bmp)等格式的标量图数据转换成光刻制版设备可读取的 GDSII,CIF 等格式数据,如图 4(c)所示,其局部放大图如图 4(d)所示。

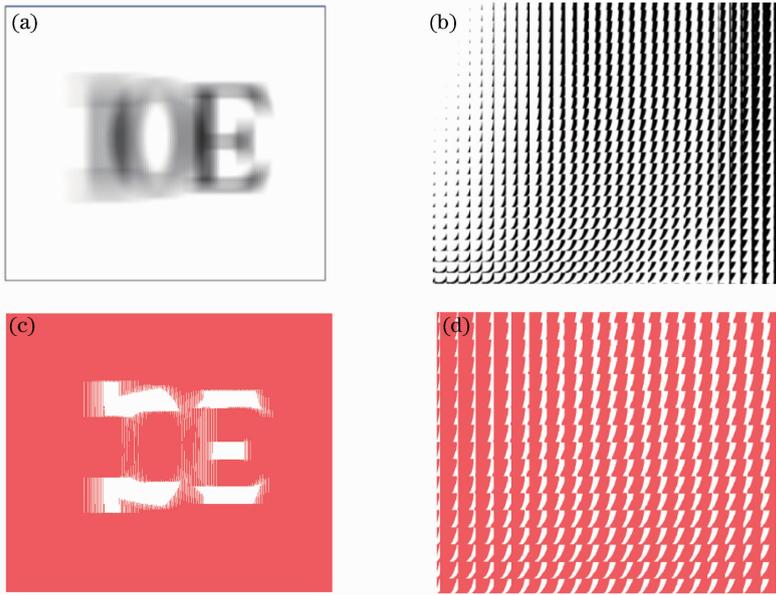


图 4 (a) 所获得的二维微结构图像；(b) (a)的放大图；(c) 格式转换图；(d) (c)的局部放大图

Fig. 4 (a) Image of obtained two-dimensional micro-structure; (b) enlarged view of (a); (c) picture with format transformed; (d) partially enlarged view of (c)

4 结构制备

在该防伪结构中,有两个结构需要进行制备。对于二维微结构来说,采用激光直接将如图 4(c)所示的掩模图形制备形成掩模板结构,利用该掩模板结构进行光刻即可获得所需要的高分辨率的二维微结构图形。

由于本结构中利用微透镜列阵结构作为相机列阵结构,因此微透镜列阵结构的成型质量对其成像效果影响较大,这也对微透镜列阵的精确成型提出了很高的要求。针对微透镜列阵的结构特点,需要发展不同的微加工技术来进行微透镜列阵的制备。本课题组经过十余年的研究,在该方面积累了丰富的经验^[8-9]。

4.1 热熔法制备微透镜列阵

利用激光直写技术进行掩模结构的制备,然后利用热熔法实现平面微透镜列阵结构的制备,该制备过程如图 5 所示。首先对基片进行清洗,利用甩胶机将光刻胶旋涂到基片表面,光刻胶的厚度通过旋涂时间和旋转速度来控制。旋涂完毕之后,对光刻胶进行烘烤使其中的溶剂充分挥发。然后利用制备好的掩模结构对光刻胶进行曝光,如图 5(a)所示。曝光完毕之后,在光刻胶层上形成圆柱形阵列结构,如图 5(b)所示。将该圆柱形阵列结构在高温下进行烘烤,圆柱形光刻胶结构融化,形成球形微透镜结构,如图 5(c)所示。该制备方法的优点是可制备大矢高、小口径(低至 $5\mu\text{m}$)的微透镜,缺点是微透镜列阵的占空比不高,最高只能达到

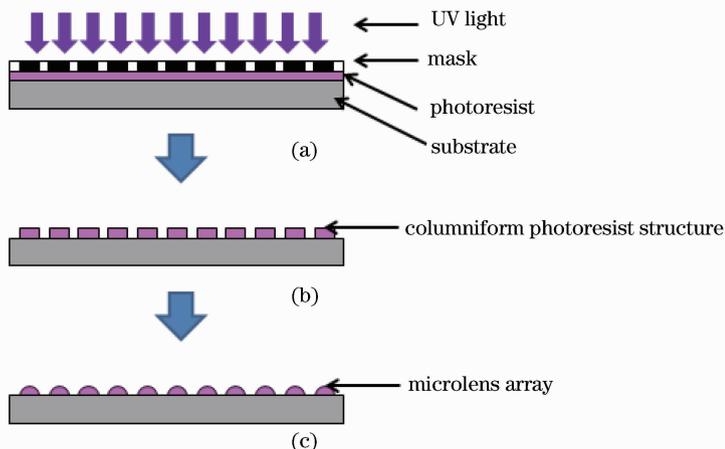


图 5 热熔法制备平面微透镜列阵结构

Fig. 5 Plane micro-lens array structure manufactured by hot-melt method

78.5%，利用其成像时存在死区。

图 6(a)为利用该方法制备所得的周期为 $50\ \mu\text{m}$ 的六边形排布微透镜电镜照片；图 6(b)为利用该方法制备所得的周期为 $5\ \mu\text{m}$ 的四边形排布微透镜列阵的电镜照片。

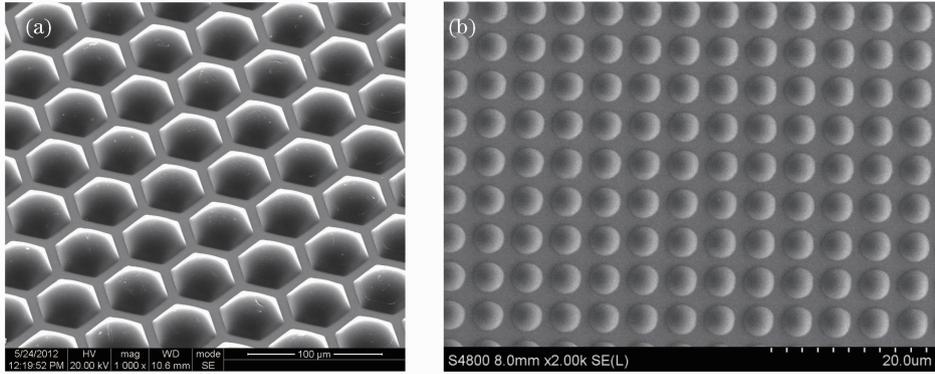


图 6 热熔透镜电镜照片。(a)周期 $50\ \mu\text{m}$ 六边形排布微透镜；(b)周期 $5\ \mu\text{m}$ 四边形排布微透镜

Fig. 6 Photo of hot-melt lens electron microscope. (a) Micro-lens arranged in $50\ \mu\text{m}$ hexagon; (b) micro-lens arranged in $5\ \mu\text{m}$ quadrilateral

4.2 移动灰阶法制备微透镜列阵

为了实现任意形状任意面形微透镜列阵的制备，本课题组发展了移动灰阶法，该方法原理示意图如图 7 所示。首先采用某抽样间隔将目标面形在某一方向上量化成一系列等间隔的条形子区域。然后将每个子区域等比例投影到某位置处的抽样间隔内，作为每个子区域的子掩模。最后将所有的子掩模进行组合，得到总掩模结构。利用该掩模结构进行移动曝光，来进行曝光光强的调制，移动距离等于抽样间隔，形成所需的曝光光强分布。经过后续的显影、刻蚀等步骤，获得所需的微透镜列阵图形。比如利用图 7 中的掩模结构进行制备，最终可获得六边形排布的微透镜列阵。该制备方法的优点是可制备任意面形的微透镜列阵，但是其设计过程中数据量大，在 30 M 以上，数据处理复杂。图 8 为利用该方法制备获得的微透镜列阵三维轮廓仪测试图片。

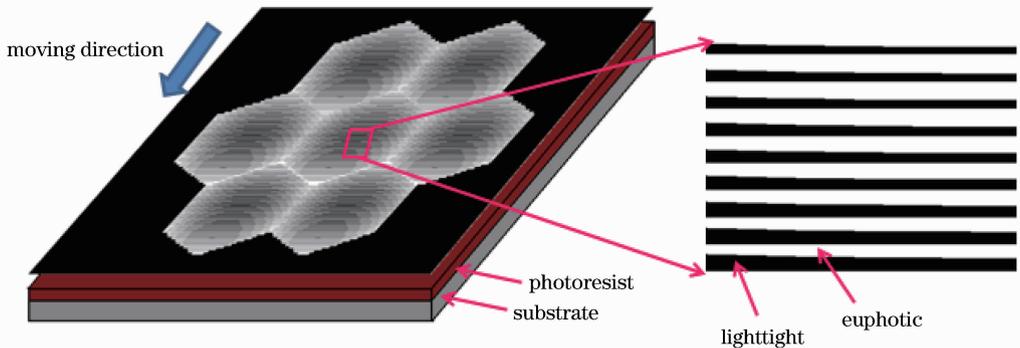


图 7 移动灰阶法进行微透镜列阵的制备

Fig. 7 Micro-lens array manufactured by moving grey-step method

4.3 移动掩模法制备微透镜列阵

移动掩模法为本研究组发展的一种用于制备四边形微透镜列阵的技术，该技术原理示意图如图 9 所示。首先根据微透镜列阵结构的目标面形设计并制备掩模结构，进而利用该掩模结构先在 x 方向上进行曝光，获得 x 方向上的柱透镜形状的曝光光强分布，然后再在 y 方向上进行曝光，获得 y 方向上的柱透镜形状的曝光光强分布；将两方向上的曝光光强分布进行叠加，再经过后续的显影、刻蚀等步骤，即可获得所需的微透镜列阵结构。该制备方法的优点是可制备大数值孔径的微透镜，占空比为 100%，需处理的数据量小，缺点是只能做四边形的微透镜列阵。

如图 10 为采用该技术制备得到的周期为 $100\ \mu\text{m}$ 的微透镜列阵结构，其焦距为 $1\ \text{mm}$ 。

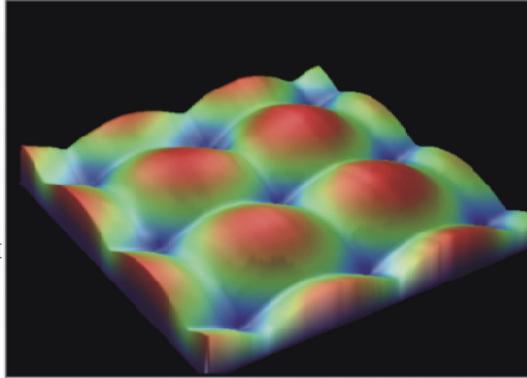


3-dimensional interactive display

date:
time:

surface stats:
Rx: 701.59 nm
Rq: 858.77 nm
Rl: 4.34 nm

measurement info:
magnification:
meastrement mode VSI
sampling: 40.40 nm
array size: 99×99



title:

图 8 周期 1 mm 微透镜列阵测试图

Fig. 8 Test pattern of micro-lens array with period of 1 mm

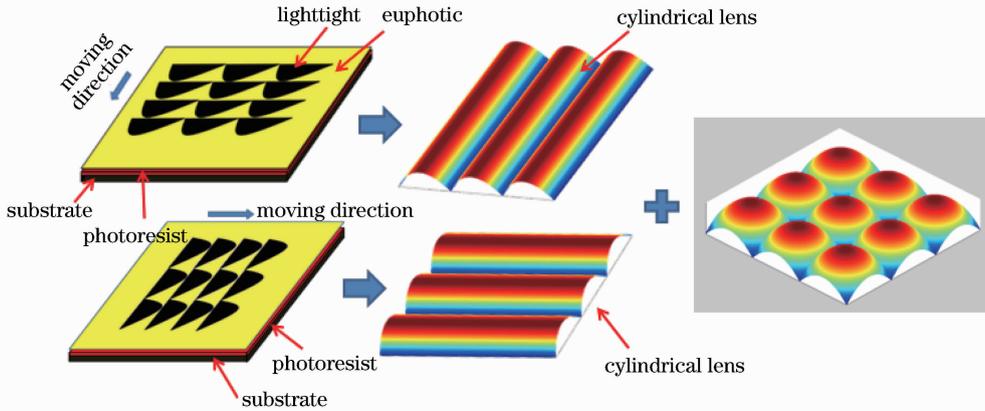


图 9 移动掩模法原理示意图

Fig. 9 Schematic of moving mask method

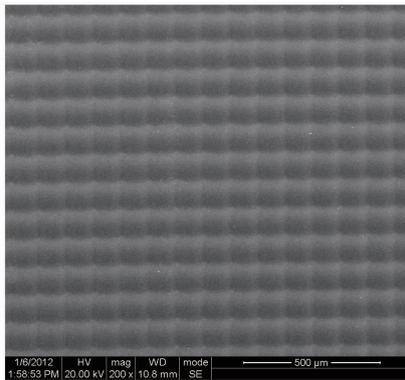


图 10 周期为 100 μm 微透镜列阵电镜照片

Fig. 10 Electron microscope photo of micro-lens array with period of 100 μm

4.4 微透镜与二维微结构的集成

利用如图 10 所示的周期为 100 μm 的微透镜列阵,进行了一片式防伪标签的制备,制备结果如图 11 所示,其中微透镜列阵基片厚度为 1 mm,与其焦距数值相等。制备所得的二维微结构图形紧贴在微透镜列阵结构的背面,即位于微透镜列阵的焦平面上。制备完成之后,在该标签前方,可以看出距离不同的“1”、“0”、“E”三个字母。

目前常用的防伪技术,如团花、地纹等是一种二维平面内的防伪技术,其观察效果差,容易通过数字照



图 11 所制备的防伪标签

Fig. 11 Manufactured anti-counterfeiting lable

相、扫描、复印等设备复制和仿造；而材料防伪和缩微文字技术需要通过外界施加一定条件，才能识别。基于微透镜列阵三维成像的防伪技术是由两片微结构组成，其中经过特殊编码处理的微结构图形以及与之匹配的微透镜列阵均不能通过扫描、复印设备进行复制和仿造，具有较高的防伪能力；同时其观察效果好，为三维立体图像，易于识别。

5 结 论

将三维成像技术与微纳光刻技术相结合，将微透镜三维成像技术应用于信息安全领域，提出了一种基于微透镜列阵的三维成像防伪技术，最终成功制备了防伪标签。该种防伪技术所采用的微图像阵列数据量极大，且微图像间差异极小，因此该种技术具有极强的三维信息加密性能。相对于其他信息安全技术，该种技术具有高质量的三维成像性能以及极强的信息安全力度。

参 考 文 献

- 1 Skeren M, Fiala P, Richter I. Synthetic diffractive elements for security applications realized on an enhanced integral dot-matrix system [J]. *Appl Opt*, 2006, 45(1): 27–32.
- 2 Jishu Zhang, Mingqiao Ge. A study of an anti-counterfeiting fiber with spectral fingerprint characteristics [J]. *Journal of The Textile Institute*, 2011, 102(9): 767–773.
- 3 Yoon B, Lee J, Park I S, *et al.*. Recent functional material based approaches to prevent and detect counterfeiting [J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2013, 1: 2388–2403.
- 4 Volakis J L, Sertel K. Slow wave structures for miniature antennas [C]. *2007 IEEE International Workshop on IEEE*, 2007: 5–8.
- 5 Cao Yulin. Machine readable systems for laser holographic anti-counterfeiting labels [J]. *Laser & Infrared*, 2000, 30(4): 214–219.
曹玉琳. 激光全息防伪标识的机器识别系统[J]. *激光与红外*, 2000, 30(4): 214–219.
- 6 He Jin, Liu Tiegen, Meng Zhuo. A high performance system for measuring the parameters of the holographic anti-counterfeiting labels [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2008, 6(2): 63–66.
何 瑾, 刘铁根, 孟 卓, 等. 高性能激光全息防伪标识特性参数测量系统[J]. *光学与光电技术*, 2008, 6(2): 63–66.
- 7 Min S W, Kim J, Lee B. New characteristic equation of three-dimensional integral imaging system and its applications [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2005, 44(2): L71–L74.
- 8 Yukun Zhang, Yan Liu, Hui Pang, *et al.*. Antireflective structures fabricated from silica nanoparticles with regular arrangement [C]. *SPIE*, 2012, 8564: 85641.
- 9 Shi L, Du C, Dong X, *et al.*. Effective formation method for anaspherical microlens array based on an aperiodic moving mask during exposure [J]. *Appl Opt*, 2007, 46(34): 8346–8350.

栏目编辑：韩 峰