

文章编号:1007-2780(2009)06-0827-04

# 一次曝光法制备二维可调谐液晶光栅

宋 静<sup>1</sup>, 郑致刚<sup>2,3</sup>, 刘永刚<sup>2</sup>, 宣 丽<sup>2</sup>

(1. 长春理工大学 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130022, E-mail: songjing1202@sina.com;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学实验室, 吉林 长春 130033;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 设计了全息光路, 采用一次曝光方法制备了基于聚合物分散液晶材料体系的二维可调谐液晶光栅。采用偏光显微镜和原子力显微镜对光栅的形貌进行检测, 并利用 He-Ne 激光器对光栅的电光特性进行测定。结果表明, 该光栅具有清晰的二维结构, 衍射图样为空间点阵, 衍射效率具有电场可调谐性。实验表明, 改进的光路设计可制备多种形式的可调谐液晶器件。

**关 键 词:** 液晶; 全息聚合物分散液晶; 二维光栅

**中图分类号:** O753<sup>+</sup>.2; TP211.6 **文献标识码:** A

## 1 引 言

自 1993 年 Sutherland 提出聚合物分散液晶光栅以来, 全息聚合物分散液晶光栅作为一种主动光学元件成为液晶光学领域研究的热点<sup>[1,2]</sup>。目前, 多数研究采用紫外曝光或两束相干光引发光聚合的方法制备一维光栅。在此基础上, 为进一步拓宽光栅的应用范围, 国内外的研究人员采用多光束一次曝光法制备了具有两个光栅周期的一维反射式光栅<sup>[1,2]</sup>; 利用掩模板, 采用紫外曝光法或利用两束相干光, 采用二次非等时曝光法制备了二维聚合物分散液晶光栅<sup>[3,4]</sup>。二维光栅的形成是依靠光敏单体在两个方向上的聚合实现的, 聚合物和液晶在二维空间上成周期性分布, 一束入射光经过二维光栅后被分为多束衍射光, 其衍射图样为空间点阵且衍射效率电场可调, 可作为光互联中的分束器、调制器和耦合器件使用<sup>[5-7]</sup>。

本文通过改进光路, 采用多束相干光、一次曝光法简便快捷地制备了二维全息聚合物分散液晶光栅, 并对二维光栅的衍射特性进行了分析。

## 2 实 验

实验所选用的预聚物材料是由具有双官能度

的新戊二酸二丙烯酸酯(NPGDA)和具有 5 官能度的二季戊四醇羟基五丙烯酸酯(DPHPA)以一定比例混合构成, 平均官能度为 3.5, 质量分数为 57.5%; 液晶材料 TEB30A( $n_0 = 1.522$ ,  $\Delta n = 0.1703$ )由石家庄实力克公司提供, 清亮点为 61.2℃, 质量分数为 40%; 光引发剂 RB、共引发剂 NPG 的质量分数分别为 0.5% 和 2%。向上述材料中添加占总量百分含量为 4% 的甲基丙烯酸十二氟庚酯(Actyflon-G04, 哈尔滨雪佳氟硅化学有限公司提供, 纯化), 将混合好的材料注入液晶盒中, 控制液晶盒厚度为 5  $\mu\text{m}$ 。制备好的样品放置在实验光路中。

实验光路如图 1 所示: 激光波长为 532 nm, PBS<sub>1</sub>、PBS<sub>2</sub>、PBS<sub>3</sub> 为分束镜, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub> 为反射镜。K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 为两束相干光, 夹角为 3°; L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 为两束相干光, 夹角与 K 光相同。确保 K 光与 L 光相干性很弱。K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 形成的干涉条纹与 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 所形成的干涉条纹相互垂直。调节两组相干光在同一位置产生干涉, 此处为放置样品的位置。此光路所形成的二维光场结构如图 2 所示。由于光束 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub> 的夹角与 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 的夹角相同, 因此光栅在 X 轴方向上的周期与 Y 轴方向上的相同, 即图 2 中 a 与 b 相等。将制作好的样品放置在此二维

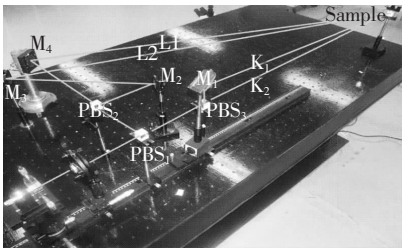


图 1 实验光路图

Fig. 1 Optical sketch map of experiment

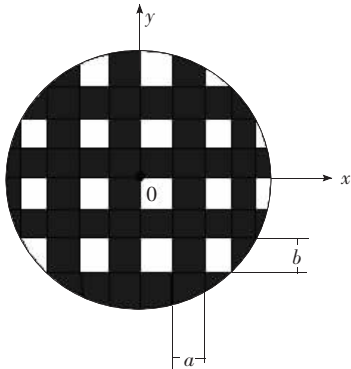


图 2 干涉光场示意图

Fig. 2 Schematic diagram of 2D optical field

光场中进行曝光,控制曝光时间为 2 min。

3 结果与讨论

所制备光栅的偏光显微镜和原子力显微镜照片如图 3 所示。图 3(a)中,亮区是聚合物,暗区是液晶。该光栅呈格子结构。实验中由于两组相干光的不均匀性,造成所得到的光栅的格子结构不均匀。将光栅样品打开后,用甲醇浸泡 24 h,将光栅薄膜中的液晶抽走,所剩聚合物膜烘干后进行原子力扫描,结构如图 3(b)所示。图中凸起部分对应的是图 3(a)中亮条纹相交的区域所形成的聚合物,由于该处光场强度高,因此聚合物浓度高,密度大;图中凹陷部分是液晶被甲醇溶解抽走后留下的,其对应的是图 3(b)中的暗区。图 3 表明在样品中聚合物呈网格状分布,液晶微滴聚集在网格的空隙中。

利用 He-Ne 激光器作为入射光源,对该二维光栅的衍射效率进行测试。该光栅在电压作用下的衍射图样如图 4 所示。未施加电压时,光栅的衍射图样如 4(a)所示,衍射光斑呈空间点阵形式。当施加在样品上的驱动电压逐渐增加时,除中心区域的 0 级衍射光强逐渐增加外,其余衍射

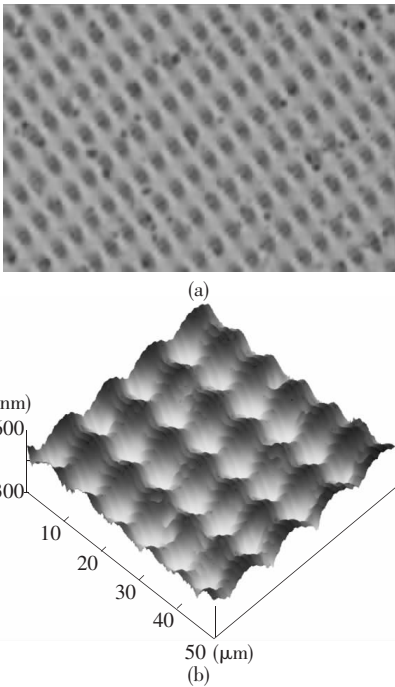


图 3 二维光栅的偏光显微镜及原子力显微镜图片。(a) 偏光显微镜照片;(b)原子力显微镜图片。

Fig. 3 Photograph of the two-dimensional grating. (a) POM; (b) AFM.

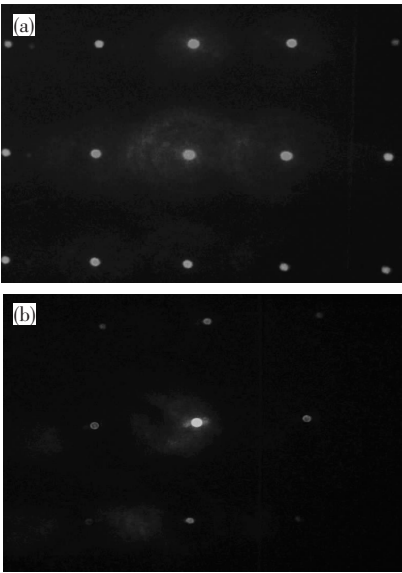


图 4 不同驱动电场下的衍射图样。(a) 0 V/μm; (b) 10 V/μm。

Fig. 4 Diffraction patterns of sample at different electric field. (a)0 V/μm; (b)10 V/μm.

级次的光强都逐渐减弱。图 4(b)给出饱和电场为 10 V/μm 时的衍射光栅图样。实验结果表明该二维光栅衍射效率具有电场可调谐性。该光栅衍射效率与驱动电压的对应关系如表 1 所示,其

中一级衍射效率随驱动电压的增加由原来的 22.1% 降低到 4.83%。

通过一维光栅扩散动力学方程的分析,建立

表 1 驱动电场与衍射效率数据

Table 1 1st order diffraction efficiency testing under “OFF” and “ON” states

| 电场(V/ $\mu\text{m}$ ) | $I_0$ (mW/ $\text{cm}^2$ ) | $I_1$ (mW/ $\text{cm}^2$ ) | $\eta = I_1/I_m$ |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| 0                     | 0.68                       | 0.32                       | 22.1%            |
| 10                    | 1.34                       | 0.07                       | 4.83%            |

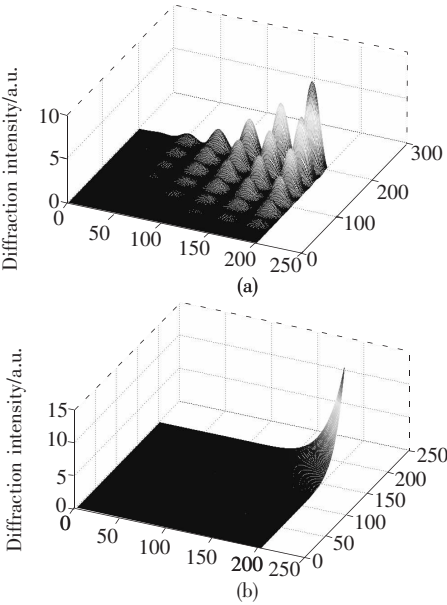


图 5 模拟衍射光强分布. (a) 0 V/ $\mu\text{m}$ ; (b) 10 V/ $\mu\text{m}$ .  
Fig. 5 Intensity distribution of diffraction beams. (a) 0 V/ $\mu\text{m}$ ; (b) 10 V/ $\mu\text{m}$ .

参 考 文 献:

[ 1 ] Bowley C C, Crawford G P. Reflection from dual-domains in a holographically-formed polymer-dispersed liquid crystal material [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999,74(21):3096-3098.

[ 2 ] Bowley C C, Fontecchio A K, Crawford G P. Multiple gratings simultaneously formed in holographic polymer-dispersed liquid crystal displays [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000,76(5):523-525.

[ 3 ] Wu Shing-Trong, Fuh Andy Ying-Guey. Two-dimensional diffraction grating based on polymer-dispersed liquid crystal[J]. *Appl. Phys.*, 2004,43(10):7077-7082.

[ 4 ] 马骥,刘永刚,于涛,等. 全息法制备二维电调谐聚合物/液晶光栅[J]. *液晶与显示*,2005,20(2): 115-118.

[ 5 ] Kossyrev P, Sousa M E, Crawford P G. One- and two- dimensional structured polymer networks in liquid crystals for switchable diffractive optical applications[J]. *Adv. Funct. Mater.*, 2004,14(12):1227-1232.

[ 6 ] Jakubiak R, Tondiglia V P, Natarajan L V, et al. Dynamic lasing from all-organic two-dimensional photonic crystals[J]. *Adv. Mater.*, 2005,17(23):2807-2811.

[ 7 ] 王丽,张成,么周石,等. 液晶衍射光栅的理论分析[J]. *液晶与显示*,2006,21(2):113-119.

二维光栅的扩散动力学方程,模拟该二维光栅衍射效率随电压变化的情况。未施加电场时的衍射光斑如图 5(a)所示。在未施加电场时,液晶有效折射率与周围聚合物的折射率不匹配,入射光在折射率的调制下发生衍射。当给样品施加一定电压后,液晶分子沿电场方向排列,当液晶的寻常光折射率与聚合物折射率相等时,光栅的衍射作用消失,入射光全部透过,如图 5 (b)所示。

对比图 3 和图 5 可以看出实际光栅中衍射图样和模拟图具有较好的一致性。如果改进光路的均匀性,并适当调整液晶分子的寻常折射率  $n_o$  与聚合物的折射率  $n_p$  相等,该二维光栅将实现良好的二维格子结构,其衍射光斑均匀,当施加电压后,折射率调制作用消失,样品呈现均一的折射率,入射光全部通过样品,其电光特性将得到进一步提高。

4 结 论

全息法与液晶光栅的制造技术相结合,是一种很有前景的制备调谐光栅的方法。本文通过设计光路,采用一次曝光法制备了具有二维空间周期排列的聚合物分散液晶光栅,制备方法具有简便快捷的优点。所制得器件的衍射图案为点阵,并且衍射效率可调,作为多路光互连调谐器件具有较好的应用前景和研究价值。另外,该方法也说明通过改变光场、控制定域光聚合可以获得多种形式的可调谐光学器件。

Single-Step Exposure for Two-Dimensional Tunable Liquid Crystal Grating

SONG Jing<sup>1</sup>, ZHENG Zhi-gang<sup>2,3</sup>, LIU Yong-gang<sup>2</sup>, XUAN Li<sup>2</sup>

- (1. School of Materials Science and Engineering, Changchun University of Science and Technology,  
Changchun 130022, China, E-mail: smgjing1202@sina.com;
2. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
3. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract

An experiment setup with a single-step exposure to prepared 2D grating was designed. A 2D grating based on polymer dispersed liquid crystal (PDLC) with better electro-optical property was fabricated through single-step exposure setup. The sample was checked by POM, AFM and He-Ne laser. The results indicate the samples have clear 2D grating structure, and some fairly ordered lattices in the visual field, and the diffraction efficiencies can be modulated by electric field. All results in this work show that multiple types of electrically tuning liquid crystal devices could be made by design of optical sketch.

**Key words:** liquid crystal; holographic polymer dispersed liquid crystal; two-dimensional grating

作者简介:宋静(1977—),女,陕西宝鸡人,硕士,讲师,主要从事聚合物分散液晶器件和材料研究工作。

《液晶与显示》投稿指南

《液晶与显示》投稿方式为网上投稿。网上投稿便于您随时查询稿件的处理情况,方法为:登录本刊网站 <http://www.yjyxs.com>,进入“作者投稿”栏目,在线注册投稿。注册时“用户名”和“口令”由您设定,登录后按“提示”进行操作即可。稿件请用 Word 完成,采用通栏排版,以便专家网上审理。

《液晶与显示》稿件发表的正常周期为 3~6 个月,缩短论文发表周期是学术论文的社会效益尽早实现的重要条件,而满足《液晶与显示》征稿简则,特别是第 3 项中(1)~(7)的要求,是稿件可以尽早编辑加工的必要条件。因此,您若希望论文能够早日发表,请您务必按“简则”写稿。

若您的稿件附有同行专家评语及单位推荐信,则您的稿件将优先发表,也欢迎您推荐 2~3 名审稿专家;同时,本刊更欢迎国家各重大科技攻关项目和基金课题产出的自主创新性文章。

《液晶与显示》稿件发表含印刷版、电子版和网络版,对版权有特殊要求者,请事先声明。