

文章编号: 0253-2239(2004)03-369-4

# 新型聚合物分散液晶相位光栅的制备\*

阮圣平<sup>1,2</sup> 马 骥<sup>1</sup> 刘永刚<sup>1</sup> 于 涛<sup>1</sup> 任洪文<sup>1</sup> 宣 丽<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所液晶物理组, 长春 130021)  
(<sup>2</sup> 吉林大学电子科学与工程学院, 长春 130023)

**摘要:** 把具有光敏特性的预聚物与向列相液晶按一定比例混合, 注入表面经过取向处理的液晶盒中。以紫外灯为光源, 通过光掩膜法, 使混合物在光场的引发下发生相分离, 形成液晶/聚合物相位光栅。由于相分离后液晶在取向膜的作用下沿液晶盒面方向旋转 180°, 克服了传统液晶光栅器件对入射光偏振方向的依赖, 提高了光的有效利用率。采用光学显微镜和 He-Ne 激光器进行测试, 结果表明所制样品具有较好的栅结构, 其衍射效率不受入射光偏振方向的影响且具有电场可调性。该光栅制作方法简便, 驱动电压低, 在光通信器件、衍射光学、投影显示、光开关等领域有广泛的应用前景。

**关键词:** 物理光学; 光栅; 聚合物分散液晶; 相分离  
中图分类号: O433 文献标识码: A

## Preparation of Novel Polymer Dispersed Liquid Crystal Grating

Ruan Shengping<sup>1,2</sup> Ma Ji<sup>1</sup> Liu Yonggang<sup>1</sup> Yu Tao<sup>1</sup> Ren Hongwen<sup>1</sup> Xuan Li<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics & Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)  
(<sup>2</sup> Institute of Electronic Sciences & Engineering, Jilin University, Changchun 130023)

(Received 25 November 2002; revised 11 April 2003)

**Abstract:** Photosensitive pre-polymer monomers are mixed together with nematic liquid crystal in certain ratio. Then the mixture is injected into the cells for liquid crystal. The surfaces of the cells are coated with alignment films and rubbed for anti-paralleled alignment. Phase separation between liquid crystal and pre-polymer monomers takes place when ultraviolet light is applied with the shielding plate covering on the cells, which results in the formation of liquid crystal/polymer phase grating. Since the liquid crystal rotates 180° along the cell surfaces with the effect of alignment films, the disadvantage of traditional liquid crystal grating depending on the polarizing direction of incident light is overcome, and the utilization efficiency of light is improved. The samples are checked up by optical microscope and He-Ne laser. The results indicate that the samples have clear grating structure, their diffraction efficiencies do not change with the polarizing directions of the incident lights and can be modulated by electric field. The PDLC gratings with low driving voltage could be fabricated easily. They show numerous potential applications including optical communication devices, diffractive optical elements, projection displays and light valve.

**Key words:** physical optics; grating; polymer dispersed liquid crystal (PDLC); phase separation

## 1 引 言

自从液晶材料在显示器件中得到应用后, 人们就开始普遍地关注用液晶材料制作光栅器件<sup>[1~3]</sup>。由于液晶是有光学各向异性和介电各向异性的材料, 因此, 液晶光栅在电、磁等外场的作用下, 其光学

\* 国家自然科学基金(60277033、19974046、59973020)、吉林省科委基金(20010579)资助课题。

E-mail: xbk@mail.jlu.edu.cn

收稿日期: 2002-11-25; 收到修改稿日期: 2003-04-11

特性可被调节。液晶光栅的这一电光特性在光学计算处理、衍射光学、三维图像显示、光电开关等许多领域具有广泛的应用前景<sup>[4~6]</sup>。

从液晶取向处理上,常规液晶光栅都是把液晶取向成均匀排列,这种光栅器件在工作时依赖入射光的偏振方向,这意味着光栅与线性偏振片的结合使入射光的有效利用率低于 50%。同时传统方法制备光栅,需采用腐蚀、光刻等技术,工艺复杂,效率低下。本文采用聚合物分散液晶(Polymer dispersed liquid crystal 简称 PDLC)技术,通过光掩膜法控制液晶与预聚物的混合物在表面经过取向处理的液晶盒中的相分离。这种光栅制作工艺简单,只需一步即可完成,光栅的使用不依赖入射光的偏振方向,驱动电压低,具有很高的衍射效率。

## 2 实验部分

把掺有手性剂 CM-33 的向列相液晶 E70 ( $n_o=1.533, \Delta n=0.187$ , E. Merck 公司提供)与光敏预聚物甲基丙烯酸丁酯(日本 Meisei 公司提供,折射率 1.49)以 1:1 的重量比混合并搅拌均匀,注入液晶盒中。液晶盒内表面的氧化铟锡(ITO)电极上涂有聚酰亚胺取向层,取向层被反向平行摩擦处理,液晶盒厚度为 15  $\mu\text{m}$ 。在液晶中掺杂 CM-33 及控制盒厚 15  $\mu\text{m}$  是为了使分离后的液晶能呈 180° 扭曲。在液晶盒上表面贴一光栅掩模板,用紫外光照射样品,使混合物中的预聚物在被光照射处聚合为高分子并与液晶产生相分离,如图 1 所示。其中掩模板的光栅常量为 100  $\mu\text{m}$ , 缝隙宽 50  $\mu\text{m}$ 。紫外光强 0.4  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , 照射时间 7 min, 环境温度 27  $^{\circ}\text{C}$ 。

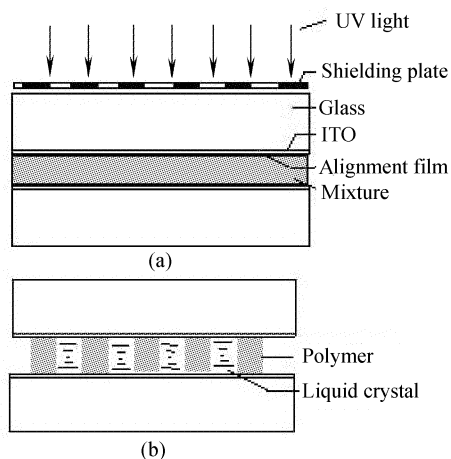


Fig. 1 Fabrication of PDLC grating (a) and the structure of ideal grating (b). ITO: indium tin oxide

## 3 结果与讨论

聚合物分散液晶相位光栅是由液晶与预聚物单体组成的均匀混合物通过光化学反应产生相分离而形成的<sup>[7,8]</sup>。根据化学反应的能量平衡原理,在光照处预聚物发生交联反应形成聚合物后化学势降低,而此处液晶的化学势由于受光照射而增加,因此,被遮掩部分的预聚物单体将向光照处漂移并发生光聚合,光照处的液晶将向暗处漂移,经过相分离,最后形成如图 1(b)所示的膜结构。在这种膜结构中,被照射的条状区域形成富聚合物相,呈光学各向同性。而挡光的条状区域形成富液晶相,且被取向后的液晶相的折射率不同于聚合物相的折射率,这样便形成了聚合物和液晶交替的光栅结构。

以具有一定偏振方向的偏振光为光源,用光学显微镜观察样品的相分离结构,其结果如图 2 所示,可以看到分离的聚合物栅条(亮态区)与液晶栅条(暗态区)具有分明的栅结构。在显微镜下旋转样品,即改变入射到样品的光的偏振状态,视场亮度基本不变,说明富液晶相对光的折射不随入射光的偏振状态改变。这主要是由于富液晶相被夹在两富聚合物相之间,其内部液晶的取向受到相邻聚合物相表面及液晶相中少量残余聚合物的影响,因此液晶的旋光作用减弱,对入射光主要起折射作用。同时又由于液晶成 180° 扭曲排列,在液晶盒内上下基板之间液晶分子长轴在各方向的分布是均匀的,因此对于任意方向偏振的垂直入射光,液晶将呈现相同的有效折射率,样品的光学特性不随入射光的偏振状态改变。

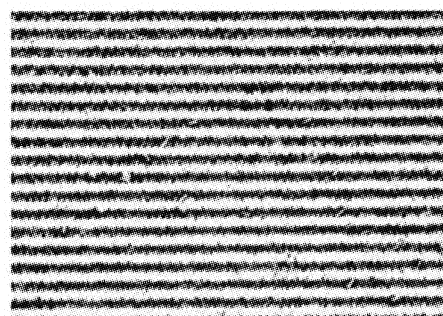


Fig. 2 Structure of PDLC gratings observed by polarizing microscope

图 3 给出样品在不施加和施加 30 V 交流电压时所拍摄的可见衍射级次,所用的光源为 He-Ne 激光器(波长 633 nm),功率 10 mW。可以看到,在不施加电压时,能得到多个衍射级次。当给样品施加电压并逐渐增强时,可见衍射级次逐渐减少。施加

30 V 时只看到零级衍射和两个很弱的一级衍射,说明增加驱动电压将减弱器件的光栅作用。这主要是由于增加驱动电压可迫使更多的液晶分子沿电场方向取向,这时液晶对光的折射率趋于减小变为寻常折射率  $n_o$ ,由于液晶的寻常折射率与聚合物的折射率相接近,导致聚合物层和液晶层的折射率差减小,光栅作用减弱<sup>[9,10]</sup>。可以预见,如果液晶的寻常折射率与聚合物的折射率相等,则随着外加电压的增大,当液晶分子完全沿电场方向取向时,器件的光栅作用将消失。

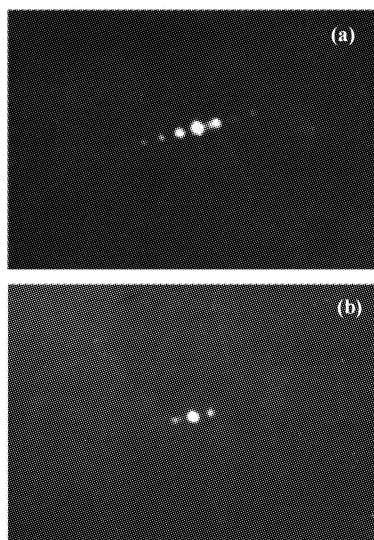


Fig. 3 Diffraction patterns of sample at different electric field (a) 0 V, (b) 30 V

图 4 为测试器件衍射效率的实验装置,其测试方法是用光电探测器测量在不同电压驱动下各衍射级次的光强,再用测得的光强除以入射光的光强。在不加电场条件下,改变入射光偏振方向时,测得光栅的各级衍射效率如表 1 所示。由实验结果可以看出所制光栅对光的衍射效率基本不受入射光偏振方向的影响,其对光的调制与入射光的偏振态无关。

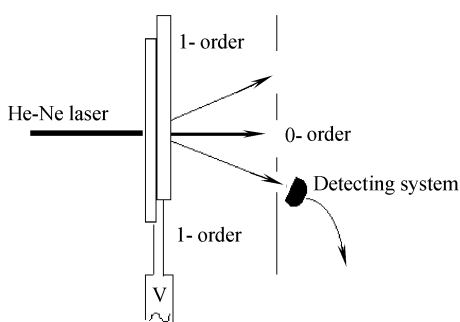


Fig. 4 Experimental setup for checking up the diffraction efficiency

Table 1 Influence of polarizing directions on the diffraction efficiencies

	0°	30°	45°	60°	90°
0-order / %	25.4	25.6	25.3	25.6	25.4
1-order / %	4.2	4.2	4.4	4.3	4.4

图 5 为此光栅器件的衍射效率与驱动电压的关系。可以看到,随驱动电压的增加,第 1 级次的衍射效率先增加,达到最大值后又开始减小。第 2 级次的衍射效率所占比重很小,对实验结果影响不大。

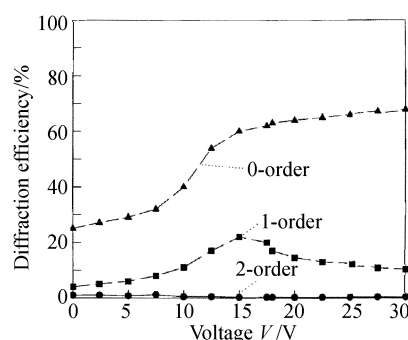


Fig. 5 Relationship between diffraction efficiency and drive voltage

从测试结果上看,在不加电压时样品的衍射效率比较低,这主要是由于在实际的预聚物/液晶混合物体系产生相分离后,分离的聚合物栅中仍含有少量液晶,液晶相中也含有少量的聚合物,其结果是形成很多液晶畴,由于液晶畴内液晶微滴的取向是随机的,对外来的入射光起到散射作用,降低了器件的衍射效率。当给样品施加一定电压后,在外加电场的诱导下,分散在聚合物中的液晶畴的随机取向减弱,减小了对光的散射,增加了聚合物/液晶两者的折射率差,提高了衍射效率。随着驱动电压的进一步增加,栅中的液晶分子更倾向于完全沿电场方向排列,由于液晶的寻常折射率与聚合物的折射率匹配,结果 0 级以上级次的衍射效率又开始降低。

**结论** 采用光掩膜法使聚合物/液晶产生相分离直接形成衍射效率电场可调的相位型光栅,简化了器件的制作过程。通过对基板表面进行取向处理,使分离后的液晶沿面旋转 180°,克服了传统液晶光栅器件对入射光偏振方向的依赖,因而避免了使用偏振片,提高了光的有效利用率。

#### 参 考 文 献

- 1 Sutherland R L, Tondiglia V P, Natarajan L V. Evolution of anisotropic reflection gratings formed in holographic polymer-dispersed liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*,

- 2001, **79**(10):1420~1422
- 2 Nicoletta F P, de Filpo G, Lanzo J *et al.*. A method to produce reverse-mode polymer-dispersed liquid-crystal shutters. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(26):3945~3947
- 3 Ren H W, Huang X M, Wang Z K *et al.*. Diffraction properties of a polymer dispersed liquid crystal grating. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(5):631~634 (in Chinese)
- 4 Kulishov M, Sarkisov S, Boiko Y *et al.*. Switchable optical element with Bragg mode diffraction. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(11):759~761
- 5 Andy Y G, Tsai M S, Huang L J *et al.*. Optically switchable gratings based on polymer-dispersed liquid crystal films doped with a guest-host dye. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(18):2572~2574
- 6 Ko Tsung-Chih, Fan Yun-Hsing, Shieh Ming-Feng *et al.*. Diffraction from polymer-stablelized cholesteric texture films. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(part 1, No. 4A): 2255~2258
- 7 Zheng Jihong, Chen Gang, Gu Jingjuan *et al.*. A novel electrically holographic polymer dispersed liquid crystal Bragg grating. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(4):491~495 (in Chinese)
- 8 Zheng Jihong, Chen Gang, Gu Jingjuan *et al.*. Analysis of the major factors affecting the efficiency of H-PDLC volume grating. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2003, **30**(6):524~528 (in Chinese)
- 9 Zhou Jie, Liu Xu, Li Haifeng *et al.*. Theoretical design method for improving the polarization performance of LCLV projection system. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(1):63~66 (in Chinese)
- 10 Tang Xionggui, Fu Kexiang, Wang Zhiheng *et al.*. Analysis of rigorous modal theory for arbitrary dielectric gratings made with anisotropic materials. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(7):774~779 (in Chinese)