

文章编号:1007-1180(2010)12-0140-05

# 全息光栅的可擦除存储性能研究

宋 静<sup>1</sup>, 李文萃<sup>2,3</sup>, 邓舒鹏<sup>2,3</sup>

(1. 长春理工大学 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130022;

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

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 本文制备了高衍射效率的全息光栅, 并对其进行了图像的可擦除存储性能研究。选用五官能度的二季戊四醇羟基五丙烯酸酯、二官能度的邻苯二甲酸二甘醇二丙烯酸酯以及向列相液晶 TE30A 作为存储材料, 将其置于全息干涉场中记录图像; 采用 He-Ne 激光器实现图像的再现, 并通过对全息光栅施加电场来改变光栅内液晶分子的取向, 降低光栅的折射率调制度, 从而使图像消失; 最终得到了衍射效率为 85.6% 的全息光栅, 通过 He-Ne 激光器实现了图像的再现, 并在外加电场为 50 V 时使图像基本消失, 实现了图像的可擦除存储功能。

**关键词:** 全息光栅; 衍射效率; 图像存储; 图像擦除

**中图分类号:** O436.1      **文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/OMEI 20102712.0140

## Research on Image Erasable Storage based on Holographic Gratings

SONG Jing<sup>1</sup>, LI Wen-cui<sup>2,3</sup>, DENG Shupeng<sup>2,3</sup>(1. Changchun University of Science and Technology, School of Materials Science and Engineering,  
Changchun 130022, China;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 Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Holographic grating with high diffraction efficiency was fabricated in this paper, and its erasable storage properties were investigated. Penta-functional dipentaerythritol hydroxyl pentaacrylate, di-functional phthalic diglycol

\*基金项目: 国家自然科学基金 (No.60277033, 50473040, 19974046, 59973020); 吉林省科委基金 (No.20020603)

diacrylate and nematic liquid crystal TEB30A were chosen as storage materials, which could store image when put into the interference field. Image reconstruction was realized when He-Ne laser incident on the grating with Bragg angle. The image could disappear when a certain electric field was applied on the holographic grating because the refractive index of the liquid crystal field was changed. The experimental results indicated that the image could be stored using holographic grating of which diffraction efficiency could reach 85.6%. And the image could be reconstructed through He-Ne laser and also basically disappeared when 50 V electric field was applied on the holographic grating.

**Keywords:** holographic polymer dispersed liquid crystal(HPDLC); diffraction efficiency; image storage; image erasing

## 1 引言

现代信息技术是以计算机与通信技术为核心,对各种信息进行收集、存储、处理、传递和显示的高技术群。当前信息技术正在向数字化、网络化、高速化、大容量化、集成化和智能化方向发展。为了适应这种发展,急需研发各种新型高速、高密度信息存储材料。在众多的信息存储技术中,全息存储具有独特的优点,其存储容量大、数据传输速率高、寻址时间短等,比其他任何一种同时具有这些优点的信息存储技术更接近实用化,因此成为近几年研究的热点。全息术的思想最早是由英国科学家 Gabor 在 1948 年提出并实现的<sup>[1]</sup>,但在当时的条件下光源的相干性很低,全息图的清晰度较差,因此全息技术并没有获得足够的重视。直到 1960 年,随着激光这种高相干度光源的出现,推动全息光学技术向前大大迈进了一步。利用全息技术来制备光栅则是该项技术的又一重大应用。相对于传统的刻划光栅,全息光栅具有精度高、像差小、制备简易经济、光栅衍射效率高等特点,因此,全息光栅具有非常广泛的研究及应用价值。1993 年,美国空军研究院的 Sutherland 等人提出了利用全息的方法<sup>[2]</sup>,以液晶和有机光敏单体的混合物为记录材料,在该材料表面记录全息光栅的思想。以一定波长的激光作为记录光源,在样品表面产生明暗交替的干涉条纹,使单体在干涉加强区域发生光聚合。液晶在单体聚合的同

时被析出,并由于化学位(或浓度)梯度的作用向干涉相消区域定向扩散,最终形成液晶层/聚合物层交替排列的光栅结构,即全息光栅,又称全息聚合物分散液晶光栅(Holographic polymer dispersed liquid Crystal,简称 HPDLC)。全息法简单易行,光栅衍射效率理论上可达 100%,同时光栅体积小、质量轻、易于集成,制备不依赖于掩模版,通过干涉可以形成周期为亚微米量级的细微结构,由于液晶的介入又实现了衍射效率的电场调谐。因此,这种制备思想一经提出就受到了研究界的广泛关注。本文制备了具有良好光学特性的全息光栅,并在此基础上进一步进行了可擦除图像的存储性能研究。

## 2 全息存储原理

全息光栅是由光敏单体和液晶的混合物在两束相干激光的照射下形成的。在干涉区域的亮条纹区,预聚材料(单体分子)发生自由基反应,光聚合作用使该区域单体的浓度减少,浓度梯度的变化导致暗条纹处的单体向亮条纹处扩散,同时液晶分子反方向扩散到暗条纹区域,形成交替的富聚合物层和富液晶层,即全息光栅。在聚合反应引发相分离的过程中,伴随着单体和液晶分子的扩散过程,相应地发生液晶成核和聚合物凝胶过程。分析图 1 可知,在理想的情况下,最希望发生的是在预聚单体从干涉场的暗区扩散到光场的亮区的同时,液晶分子从光场的亮区到暗区的反扩散。要想获得比较理想的

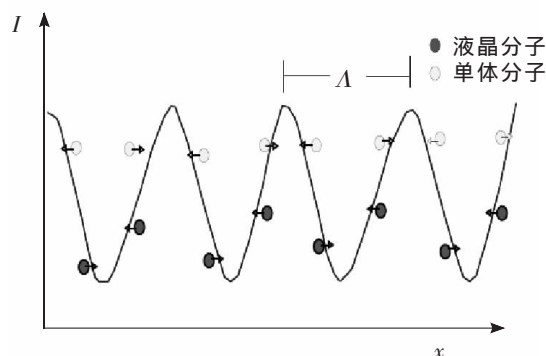


图1 在光强变化方向上的单体分子与液晶分子的运动

光栅, 单体和液晶分子发生扩散的长度为光栅周期的一半 ( $\Lambda/2$ ) 为最佳。

以时间为轴, 光栅形成的微观过程如图 2 所示。如果扩散、成核和凝胶能够按照 A 情况发生: 当单体和液晶扩散到半个周期的时间远小于液晶成核的时间, 而液晶成核的时间又远小于聚合物凝胶的时间, 则形成的光栅比较理想。但是, 如果单体和液晶扩散到半周期的时间虽然远小于液晶成核时间, 但成核形成时间和凝胶的时间大约相等, 则会出现 B 情况, 此时形成的光栅形成聚合物层和液晶层不够致密。当扩散的时间需要较长, 如 C、D 两种情况, 当液晶和单体未能扩散到相应的半周期位置就发生成核及凝胶现象, 则形成光栅的情况会非常不理想, 甚至不能够形成聚合物和液晶交替的层结构。因此, 通过选择材料、调节配比及其他参数等使 3 个过程达到最佳状态, 才能形成比较理想的全息光栅。

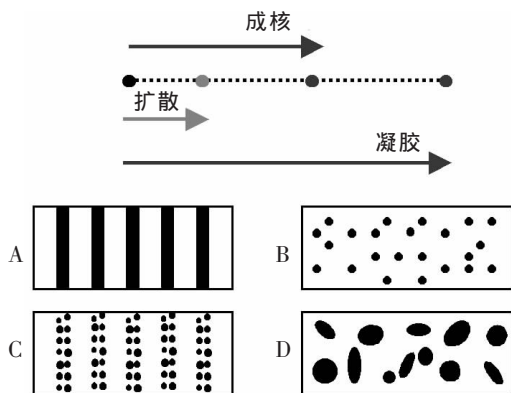


图2 伴随着单体和液晶分子的扩散过程, 相应地发生液晶成核和聚合物凝胶过程及可能存在的4种情况。

全息光栅是由亚微米量级尺寸的液晶微滴分散在聚合物基体中形成的, 液晶/聚合物层面垂直于玻璃基板表面, 上下玻璃基板的内表面镀有 ITO 透明电极。当不施加电场时, 如图 3(a), 微滴中的液晶分子沿液晶微滴的极轴方向排列取向, 每一层的液晶微滴由于随机分布, 因此液晶区域呈现有效折射率  $n_{\text{eff}}$  与相邻的聚合物层折射率  $n_p$  不相等, 当入射光照射光栅时产生衍射。在外加电场的作用下, 所有液晶微滴中的液晶分子均沿电场方向取向, 如图 3(b)所示。如果选择液晶的折射率  $n_o$  与聚合物的折射率  $n_p$  相同, 则垂直入射的光全部透过, 器件的光栅作用消失, 不再发生衍射现象。从而实现光栅的电场可调谐性。

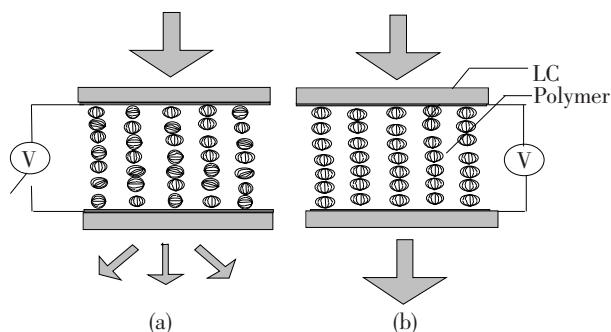


图3 全息光栅的器件结构: (a)衍射态; (b)透射态。

### 3 实 验

实验选用的存储材料为五官能度的二季戊四醇羟基五丙烯酸酯 (DPHPA 由 Aldrich 公司提供) 和邻苯二甲酸二甘醇二丙烯酸酯 (PDDA 由北京东方亚利化工科技有限公司提供), 添加适量的光引发剂 RB (Rose Bengal from Aldrich) 和协引发剂 NPG (N-苯基甘氨酸 N-phenylglycine from Aldrich), 质量百分含量分别为 0.5%, 2%。混合材料在 50 °C 下搅拌 24 h, 搅拌之后分别加入向列相液晶 TE30A ( $n_o=1.522$ ,  $\Delta n=0.170$ , 由石家庄实力克公司提供, 清亮点为 61.8 °C), 并保持液晶浓度为 30%, 继续在暗室中 60 °C 下搅拌 24 h; 将上述材料体系灌注到液晶盒内, 控制液晶盒厚度 12  $\mu\text{m}$ 。为了避免材料在液晶盒内的缓慢流动对定域相分离造成的影响, 将灌注

好的液晶盒静止放置在暗室中几分钟, 然后再将样品放置于干涉光场下曝光 2 min, 曝光波长为 532 nm, 单束光功率为  $3.6 \text{ mW/cm}^2$ , 光栅的制备光路如图 4 所示。当进行图像存储时, 将打印有黑色图案的半透明塑料薄片(薄片透明部分的光透过率为 70.1%, 黑色部分透过率为 12.3%)放置于图 4 所标记的位置, 保持光路垂直入射到薄片表面, 作为物光; 另外一束不被薄片遮挡的光作为参考光。

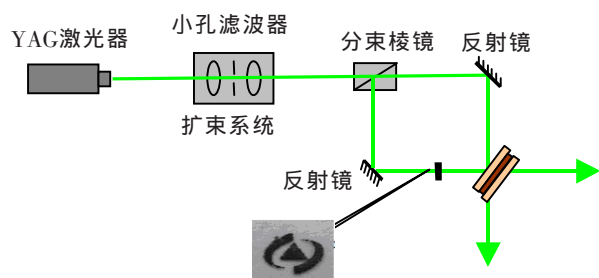


图4 光栅的制备光路示意图

## 4 结果与讨论

使用 CCD 探测器在实时条件下测试了在相分离过程中光栅衍射效率随曝光时间的变化, 如图 5 所示为 CCD 所探测的结果。从图中可以看出, 在曝光开始后的 60 s 内, 光栅相分离速率非常快, 大约在曝光后的 1 min, 光栅衍射效率达到峰值, 然而, 光栅在衍射效率达到峰值之后出现了一个明显的下降趋势, 一直到曝光 150 s 时才达到平稳, Bunning 将这种现象解释为光栅内部散射的增强对衍射效率产生的破坏。虽然如此, 光栅的衍射效率依然高达 85.6%。

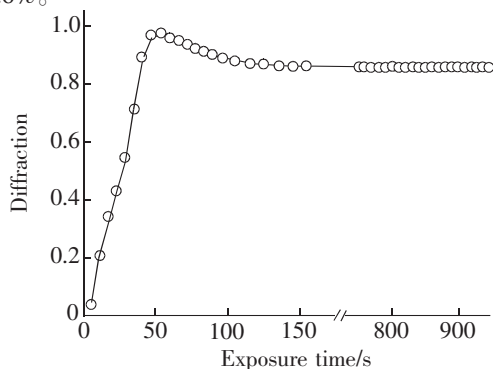


图5 光栅衍射效率随时间变化的曲线

图像的再现与擦除借助图 6 所示平台可以实现。以 He-Ne 激光作为图像再现光, 以布拉格角入射到光栅表面, 并对透射光和衍射光进行 CCD 探测。

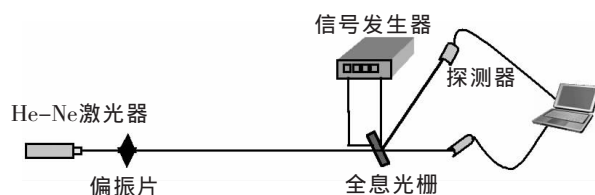


图6 图像的再现和擦除光路示意图

图 7(a)为 He-Ne 激光的再现图像, 运用信号发生器对样品施加电压, 在施加一定幅度的电压之后, 液晶分子的指向逐渐平行于外加电场的方向, 液晶区域折射率由原来的  $n_{\text{eff}}$  慢慢变为  $n_o$ , 与聚合物区域的折射效率  $n_p$  接近, 使得光栅的直射率调制度慢慢降低, 图像逐渐变模糊, 最后被擦除, 从而实现图像的电擦除特性。图 7(b)是施加 50 V 电压之后图像的视觉效果, 从图片上可以看出, 相比于图 7(a), 图 7(b)的像面照度下降了很多, 图像边缘逐渐变模糊, 施加电压前后像面对比度约为 10, 从而实现了全息光栅图像存储的电可擦除特性。

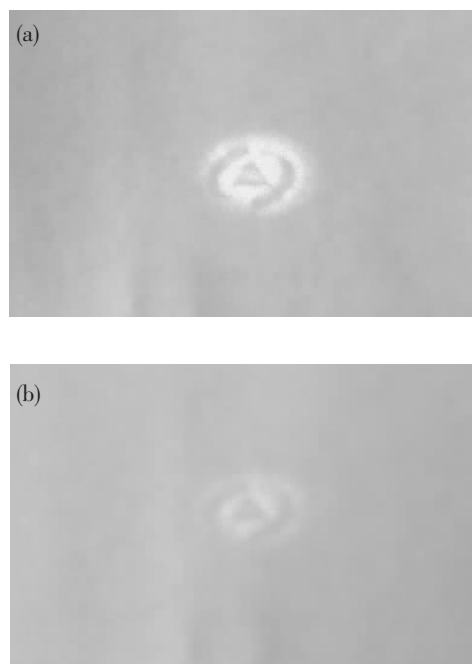


图7 使用He-Ne激光进行图像再现(a)及图像的电擦除(b)

## 5 结 论

全息光栅是由光敏单体和液晶的混合物在两束相干激光的照射下形成的,只有当单体和液晶分子的扩散速率、液晶的成核速率以及聚合物的凝胶时间相匹配时,才能获得理想的全息光栅。实验选用五官能度的二季戊四醇羟基五丙烯酸酯、二官能度的邻苯二甲酸二甘醇二丙烯酸酯以及向列相液晶作

为存储材料,将其置于全息干涉场中记录图像;然后通过 He-Ne 激光器进行图像的再现,并通过对全息光栅施加电场来改变光栅内液晶分子的取向,降低光栅的折射率调制度,从而实现图像的擦除功能。本文最终获得了衍射效率为 85.6%的全息光栅,通过 He-Ne 激光器实现了图像的再现,并在外加电场为 50 V 时使图像基本消失,实现了全息光栅的图像可擦除存储功能。

## 参考文献

- [1] 苏显渝,李继陶.信息光学[M].北京:科学出版社,2003:111-112.
- [2] Sutherland R L, Todiglia V P, Natarajan L V, *et al.* Bragg gratings in an acrylate polymer consisting of periodic polymer-dispersed liquid crystal planes[J]. *Chem. Mater.*, 1993, 5: 1533-1538.
- [3] Lin J C, Taylor P L. Polymerization-induced phase separation of a liquid crystal-polymer mixture[J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1993, 237: 25-31.
- [4] Bunning T J, Natarajan L V, Tondiglia V P, *et al.* The effects of eliminating the chain extender and varying the grating periodicity on the morphology of holographically written bragg gratings[J]. *SPIE*, 1996, 2651: 44-55.

作者简介:宋静(1977-),女,陕西宝鸡人,博士,讲师,2007年于中科院长春光机所获得博士学位,主要从事液晶材料及器件等方面的研究。E-mail: songjing1202@sina.com.cn