

# 表面摩擦处理对全息聚合物分散液晶 光栅电光特性的影响\*

李文萃<sup>1)2)†</sup> 刘永刚<sup>1)</sup> 宣 丽<sup>1)</sup>

1) (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, 长春 130033)

2) (中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2010年2月3日收到; 2010年7月16日收到修改稿)

为了提高全息聚合物分散液晶光栅的衍射效率并降低其驱动电压, 改善光栅的电光特性, 研究了表面平行摩擦取向对全息聚合物分散液晶光栅电光特性的影响. 理论分析认为, 改善相分离结构和降低液晶微滴之间的有序度差异是优化光栅电光特性的根本所在. 由于进行表面取向处理后的液晶和单体之间达到扩散匹配, 使得相分离的程度大幅提高, 在衍射能力增强的同时驱动电压也实现了大幅下降, 而且, 表面取向作用也使光栅内的液晶分子均匀排列, 降低了液晶微滴之间的有序度差异, 从而减少了光栅的散射损失. 实验结果表明: 进行取向处理后的光栅其衍射效率由传统光栅的 75.6% 提高到了 98.1%, 驱动电压也由  $9.2 \text{ V}/\mu\text{m}$  降到了  $4.8 \text{ V}/\mu\text{m}$ , 而且只有在表面摩擦强度适中的条件下, 形成的全息聚合物分散液晶光栅才具有高衍射效率、低驱动电压等良好的电光特性.

**关键词:** 全息聚合物分散液晶, 衍射效率, 驱动电压

**PACS:** 61.30.Pq, 61.30.Gd, 61.30.Hn

## 1. 引言

全息聚合物分散液晶 (holographic polymer dispersed liquid crystal, HPDLC 膜), 通常指的是向列相液晶微滴均匀分散在聚合物基质中形成的薄膜<sup>[1-2]</sup>, 是一种新型功能性光学器件, 相对于传统的光栅而言<sup>[3-5]</sup>, HPDLC 光栅的衍射效率具有电场调谐性, 因为液晶微滴在聚合物中是随机分布的, 它的有效折射率和聚合物的折射率不匹配, 入射光入射到 HPDLC 膜上呈散射态; 当在 HPDLC 膜上施加电场时, 微滴中的液晶分子沿电场方向排列, 如果选用液晶的折射率与聚合物的折射率近似相等, 入射光将全部透射过, 因此 HPDLC 的光透过率具有电场可调性, 所以被广泛应用于反射式平板显示、变焦透镜、滤波器、光信息存储以及光通讯等诸多领域<sup>[6-10]</sup>.

尽管 HPDLC 应用广泛, 但在实际应用时必须要求其低驱动、低损耗, 所以较低的衍射效率和驱

动电压的居高不下一直制约着它的应用. 因此研究如何提高衍射效率, 降低驱动电压是非常急切且有意义的. 为了解决上述问题, 国内外很多研究者都做出了相关的研究, 2001 年 Wu 等人<sup>[11]</sup>在材料中添加了高介电各向异性化合物氨基氮二苯乙炔 HRL410, 它的引入薄化了聚合物层厚度, 降低了聚合物的电阻率, 增加了液晶微滴的尺寸从而在一定程度上降低了驱动电压; 2004 年 Roper 等人进行了材料中添加硫醇单体的实验, 研究结果证明硫醇单体的添加能略微提高单体双键转化率, 提高了光栅的衍射效率, 但也会带来较多的副反应<sup>[12,13]</sup>. 在国内, 宋静等人<sup>[14]</sup>通过在材料中添加含氟单体降低聚合物界面的表面张力, 在一定程度上降低了光栅的驱动电压; 除了上述材料的添加外, White 等人也试图在材料中添加 N-vinyl-pyrrolidone (NVP) 来改善聚合物交联密度, 增加相分离程度, 但整体效果却并不明显<sup>[15]</sup>. 前人都是通过材料体系方面的改变, 降低驱动电压, 提高衍射效率; 本文着重研究了表面取向处理对 HPDLC 光栅相分离结构的影响以及

\* 国家自然科学基金 (批准号: 60277033, 50473040, 19974046, 59973020) 和吉林省科委基金 (批准号: 20020603) 资助的课题.

† E-mail: el8650@yahoo.cn

富液晶区域内液晶分子排列状态的改变对驱动电压的影响,并对器件的衍射效率、驱动电压进行了测试分析,得到了电场强度  $4.8 \text{ V}/\mu\text{m}$ , 衍射效率 98.1% 的较好结果,大大改善了 HPDLC 光栅的电光特性.

## 2. 实 验

实验所选用预聚物材料是由具有双官能度的邻苯二甲酸二甘醇二丙烯酸酯 (PDDA) 和具有五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 3.5; 液晶材料 TEB30A ( $n_o = 1.522, \Delta n = 0.170$ ) 由石家庄实力克公司提供,清亮点为  $61.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 质量百分含量为 30%; 同时在体系中添加少量的光引发剂 RB (rose bengal from Aldrich), 共引发剂 NPG (N-苯基甘氨酸 N-phenylglycine from Aldrich), 质量百分含量分别为 0.5%, 2%. 将混合材料在  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  下搅拌 24 h.

在带有透明电极 ITO 膜的玻璃基板上均匀地涂上一层平行取向剂 PIA-2720-10F (Chisso corporation), 对其进行平行摩擦制成反平行盒如图 1 所示(上下基板摩擦方向相反), 控制盒厚为  $12 \mu\text{m}$ . 将搅拌均匀的材料注入液晶盒内, 置于干涉光场下曝光 20 min, 曝光波长为  $532 \text{ nm}$ , 单束光功率为  $3.6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ . 实验光路如图 2 所示, 全息干涉光场引发单体发生定域光聚合反应, 产生具有富聚合物区和富液晶区层状交替周期性排列的光栅结构.

以 He-Ne 激光器作为探测光源(输出波长为  $632 \text{ nm}$ ), 对样品进行衍射效率和驱动电压的测定. 然后将样品浸泡入乙醇中 12 h, 使光栅内部的液晶

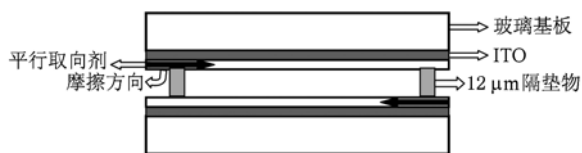


图1 液晶盒的制备

被充分去除, 除去液晶的聚合物薄膜用高纯氮吹干, 表面溅射镀金  $10 \text{ nm}$ , 采用 Hitachi S-4800 型 SEM 进行表面观察.

## 3. 理论分析

### 3.1. 衍射效率

对于光栅衍射能力的测量, 通常的计算公式为

$$\xi = \frac{I_1}{I_0 + I_1} \times 100\%, \quad (1)$$

其中,  $I_0$  和  $I_1$  分别表示液晶/聚合物 HPDLC 光栅的 0 级透过光强和 1 级衍射光强, 这也是现今国内外研究者通常采用的计算方法, 但是这种方法并没有考虑到光栅内部本身的散射损失, 所以本文采用计入散射损失在内的衍射效率(区别于衍射能力)来表征 HPDLC 光栅的光学特性, 而光栅衍射效率 ( $\eta$ ) 和散射损失 ( $\delta$ ) 分别用下式来计算:

$$\eta = \frac{I_1}{I_{in} - I_{abs}} \times 100\%, \quad (2)$$

$$\delta = \frac{I_{in} - I_{abs} - I_0 - I_1}{I_{in} - I_{abs}} \times 100\%, \quad (3)$$

$$\eta = \xi - \delta, \quad (4)$$

其中, (2) 和 (3) 式中的  $I_{in}$  和  $I_{abs}$  分别为入射到液晶

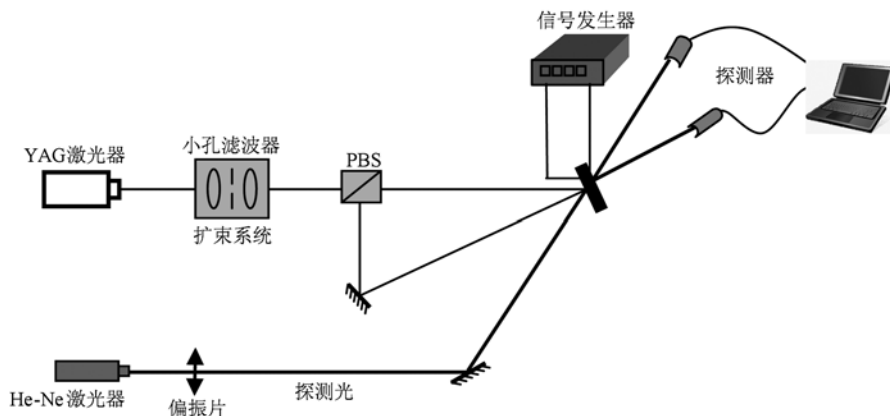


图2 光栅的制备与探测光路

盒表面的光强和液晶盒本身的吸收光强. 可以看出, 光栅的衍射效率值是由其衍射能力值减去散射损失值得出的.

所以要想提高光栅整体的衍射效率  $\eta$ , 一方面要提高光栅的衍射能力  $\xi$ , 同时也要降低光栅的散射损失  $\delta$ .

首先, 从理论上分析, HPDLC 光栅的衍射能力 ( $\xi$ ) 表达式为<sup>[16]</sup>

$$\xi = \sin^2 \left( \frac{\pi d \Delta n}{\lambda (\cos \theta_s \cos \theta_p)^{1/2}} \right) e^{-2\chi d}, \quad (5)$$

$$\Delta n = \frac{(\bar{n}_{\text{LC-Rich}} - \bar{n}_{\text{P-Rich}})}{2}, \quad (6)$$

其中,  $\Delta n$  为折射率调制度,  $d$  为介质厚度,  $\lambda$  为探测光波长,  $\chi$  为介质吸收系数,  $\theta_s, \theta_p$  表示光栅矢量与 S 波, P 波能量传播方向的夹角, 满足  $\cos \theta_s = \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}_s, \cos \theta_p = \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}_p, \cos \theta_p = \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}_p; \bar{n}_{\text{LC-Rich}}$  为光栅富液晶区域的折射率,  $\bar{n}_{\text{P-Rich}}$  为光栅富聚合物区域的折射率. 从(5), (6)式中可以看出, 当入射波长和入射角度一定的情况下, 提高介质的折射率调制度  $\Delta n$  可以提高衍射效率, 而提高  $\Delta n$ , 就是要提高富液晶区域和富聚合物区域的折射率差值. 我们知道, 在理想情况下, 光栅是由聚合物区和液晶区层状交替周期性排列而成, 这时  $\bar{n}_{\text{P-Rich}} = \bar{n}_p, \bar{n}_{\text{LC-Rich}} = \bar{n}_{\text{LC}}$ . 而在实际实验中, 相分离过程不可能完全彻底, 聚合物区就会残留还没有来得及扩散出去的液晶, 而液晶区域也会残留没来得及扩散出去的单体, 单体发生光聚合反应形成聚合物遗留在液晶区域, 此时的光栅就是则是由富聚合物区和富液晶区层状交替周期性排列而成. 因此, 提高相分离程度, 减少富聚合物区域的液晶, 同时减少富液晶区域的单体能够提高光栅折射率调制度, 从而提高光栅的衍射能力.

另一方面, 对于光栅的散射损失 ( $\delta$ ) 问题, Sutherland 曾做过理论研究, 他认为造成器件散射的主要原因在于两个方面: 一是光栅内部液晶微滴所造成的瑞利散射; 另一个是由于界面锚定作用的不同造成光栅内部的液晶微滴之间有序度差异从而形成的折射率差异所产生的光散射. 若假设液晶微滴为球体, 瑞利散射可以通过以下方程来表述<sup>[17]</sup>:

$$I_s = \frac{8\pi^4 N r^6}{d^2 \lambda^4} \left( \frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right)^2 (1 + \cos^2 \phi) I_0$$

$$m = n_1 / n_0, \quad (7)$$

其中,  $N$  为微滴个数,  $r$  为微滴半径,  $d$  是光强探测器与样品之间的距离,  $\lambda$  为入射光波长,  $\phi$  为入射光与

液晶微滴之间的入射角,  $I_0$  表示入射光强,  $m$  为体系内任意两个液晶微滴之间的折射率 ( $n_0, n_1$ ) 的比值.

由(7)式可知, 在其他条件都一定的情况下, 散射强度与液晶微滴的大小成正比, 微滴越大, 散射越强烈. 此外, 液晶微滴之间的有序度差异造成微滴之间折射率差异增大, 结合(7)式中第二式, 这种关系可以通过以下方程表述出来:

$$m = \sqrt{1 + \frac{\Delta S}{\frac{6n_i^2}{n_e^2 - n_o^2} + S}}, \quad (8)$$

其中,  $n_i$  为各向同性态液晶的折射率,  $n_e$  和  $n_o$  分别为液晶分子的非常光折射率和寻常光折射率,  $\Delta S$  为分子排列有序度差异. 当  $\Delta S$  增加时,  $m$  增加, 因而造成散射强度的增加. 结合(7), (8)式可知, 若将  $\Delta S$  减小至零, 则无论液晶微滴多大, 由于液晶微滴而造成的散射损失均为零. 因此改善光栅散射损失的有效途径是尽量使液晶微滴之间的有序度差异  $\Delta S$  降低.

### 3.2. 驱动电压

Wu 等人<sup>[18]</sup>推导出 HPDLC 器件的驱动阈值电压  $V_{th}$  可用下式估算:

$$V_{th} = \frac{d}{3a} \left( \frac{\sigma_{\text{LC}}}{\sigma_p} + 2 \right) \left( \frac{K(l^2 - 1)}{\epsilon_0 \Delta \epsilon} \right)^{1/2}, \quad (9)$$

其中  $a$  为液晶微滴的长半轴,  $b$  为液晶微滴的短半轴,  $d$  为膜的厚度,  $K$  为弹性常数,  $\sigma_{\text{LC}}$  和  $\sigma_p$  分别为液晶和聚合物的电导率,  $l = a/b$  为液晶微滴的长半轴和短半轴之比,  $\Delta \epsilon$  为介电各向异性值.

由(9)式可以看出, 驱动电压的大小受材料体系本身电导率比值、介电各向异性值, 器件盒厚、分散液晶微滴尺寸、界面锚定强度的影响. 特别是驱动电压与液晶微滴尺寸成反比, 对 HPDLC 驱动电压的影响更是非常突出. 根据 Veltri 等人的理论模型, 过快的光反应速率和过慢的单体扩散速率导致 HPDLC 光栅内形成较小的液晶微滴, 被聚合物基体紧紧包裹, 相分离界面也不清晰, 液晶微滴与聚合物的表面相互作用, 即表面锚定能很大, 因此需要更高的电压才可以使液晶分子运动. 所以要想降低驱动电压, 根本上还是要改善 HPDLC 的相分离结构从而增大液晶微滴的体积.

由 3.1, 3.2 节可以得出以下结论: 要想提高 HPDLC 光栅的衍射效率, 必须提高其衍射能力同时

也要减少其散射损失,而改善相分离结构既可以增大折射率调制度  $\Delta n$  从而提高衍射能力  $\xi$ , 而同时也可以增大液晶微滴的体积从而降低驱动电压  $V_{in}$ , 而另一方面降低液晶微滴之间的有序度差异  $\Delta S$  则可以减小光栅的散射损失  $\delta$ . 总而言之, 要提高 HPDLC 光栅的光学性能和驱动特性, 必须从两个方面着手, 一是改善相分离结构, 二是降低液晶微滴的有序度差异. 本文采取的表面摩擦取向处理在有效地改善相分离结构的同时也会降低液晶微滴的有序度差异, 详见下节的结果与讨论.

## 4. 结果与讨论

### 4.1. 相分离结构的改善

实验中所用液晶材料 TEB30A 的主要成分为向列相液晶 5CB, 由于 5CB 的扩散系数为  $8.9 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , 而单体材料 DHPHA 的扩散系数为  $7.8 \times 10^{-11} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  [19], 比液晶材料低三个数量级, 因此体系中 DHPHA 的存在会增加体系黏度, 降低单体的扩散速率. 所以在传统光栅的制备过程中, 单体扩散的要慢, 致使一部分单体还没有来得及扩散就被

困在了液晶区, 而由于单体的折射率较小, 致使液晶区域的平均折射率变小, 由(6)式可知, 折射率调制度也会相应的减小, 致使光栅的衍射效率降低. 然而, 在表面进行取向摩擦处理后, 表面取向层主要对液晶分子起到一定的锚定作用(具体的锚定作用强度见 4.3 节讨论), 这样就减少了两者的扩散系数的差值, 使得扩散达到一定程度的匹配, 最终致使相分离更加彻底. 整个相分离过程缓慢而均匀的进行, 最终大大提高了相分离程度, 改善了其相分离结构, 如图 3 所示, (a), (b) 分别传统(无取向处理)光栅以及进行取向处理后光栅的 SEM 图, 致密区域为光栅的聚合物层, 含有大量孔洞的区域为液晶区, 其孔洞是液晶微滴被溶解后留下的. 对比两图可以看出: 无取向和表面取向条件下所形成的光栅形貌存在明显的差别, 无论从液晶区域的连续程度还是宽度上都有较大的改变, 如图 3 (a) 所示, 无取向条件下光栅液晶区域的液晶微滴大小很不均匀且尺寸较小从几十纳米到一百纳米不等, 分散且不连续, 液晶区域宽度很较窄只有 200 nm 左右; 而进行取向了的光栅, 如图 3 (b), 孔洞直径较大, 液晶微滴尺寸在 200 nm 左右, 而且孔洞也很密集均匀, 基本连成沟状, 液晶区域的宽度也增

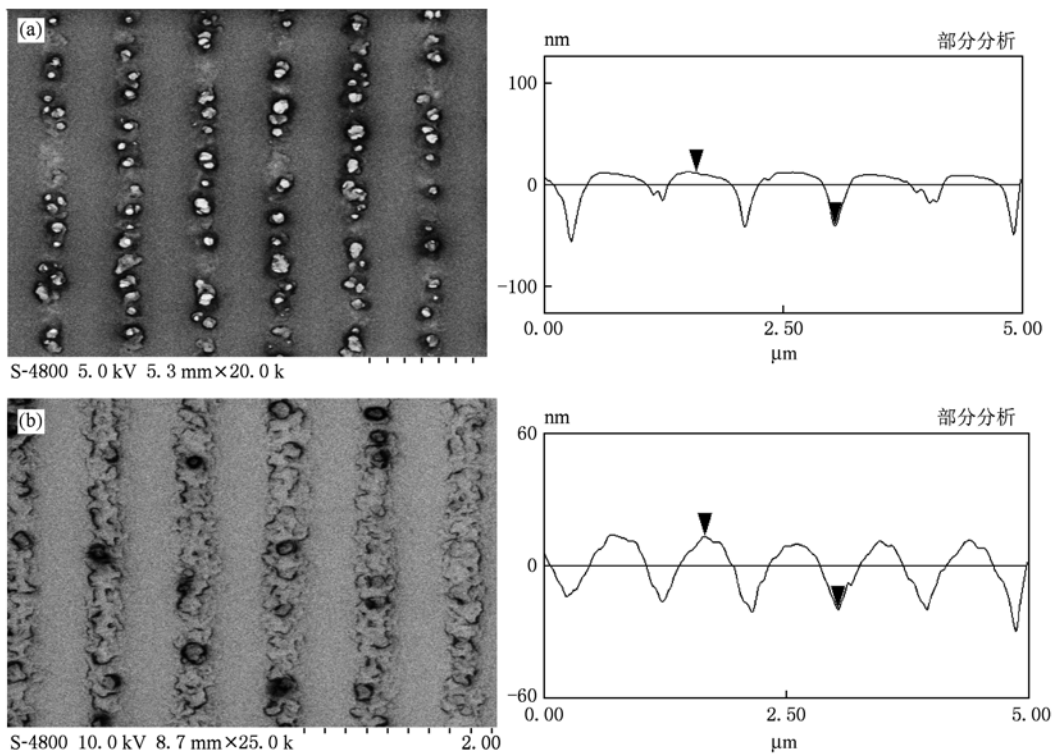


图3 光栅的 SEM 形貌 (a) 传统的光栅; (b) 取向处理后的光栅

加到 350—400 nm. 相分离结构的改善致使留在液晶区域的单体就很少了,液晶区域的平均折射率变大,折射率调制也会相应的增大,从而光栅的衍射效率得到了提高,采用 He-Ne 激光器进行光栅衍射能力的探测,结果表明:进行取向处理后的衍射能力达到了 98.4%,而传统的光栅衍射能力只有 87.8%.

与此同时,由于取向后的液晶微滴尺寸比传统光栅的增大 3—4 倍,而且液晶微滴也很密集均匀,基本连成沟状,这样液晶分子与聚合物的接触面积就相应减少了,聚合物对液晶分子的锚定作用也会在一定程度上减小,所以进行取向处理后光栅的驱动电压要比传统光栅的驱动电压低.对器件的电光特性进行测试,使用信号发生器输出频率 50 Hz 的正弦交流信号.测试结果如图 4 所示,进行取向处理后光栅的驱动电压为 4.8 V/μm,而传统情况下的液晶/聚合物光栅的驱动电压为 9.2 V/μm.

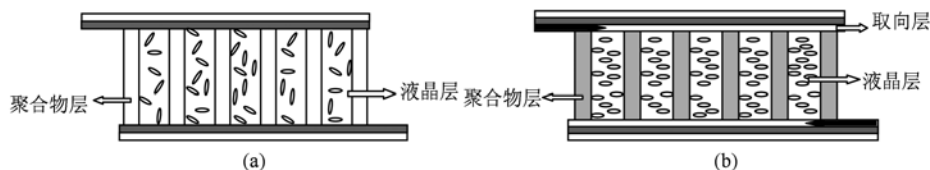


图 5 光栅内液晶分子的排列示意图 (a) 传统的光栅; (b) 取向处理后的光栅

使用 CCD 探测器在实时条件下测试了在以上两种情况下,相分离过程中光栅衍射效率随曝光时间的变化,并比较了曝光末态时两种光栅的衍射效率,如图 6 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,取向处理后和传统的光栅相分离速率非常接近,大约在曝光后的 1 min,光栅衍射效率达到峰值.随后两种情况下光栅的衍射特性出现非常明显的差别,对于表面没有取向的传统的光栅,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.而表面取向处理后光栅的衍射效率在曝光 60 s 达到峰值之后就一直处于平稳状态,因此,从这一点上也说明表面取向处理的确对光栅的散射损失产生了非常明显的抑制作用,散射损失由 12.2% 降低到 0.3%.

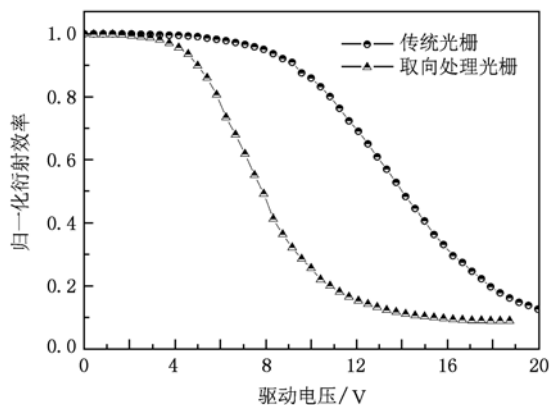


图 4 传统光栅和进行取向处理光栅的电光特性

#### 4.2. 液晶微滴有序度差异的降低

在本文工作中,制备光栅之前将液晶盒内表面进行反平行摩擦取向处理,如图 5 所示通过表面取向作用使光栅内的液晶分子均一排列,由此来降低微滴之间的有序度差异.

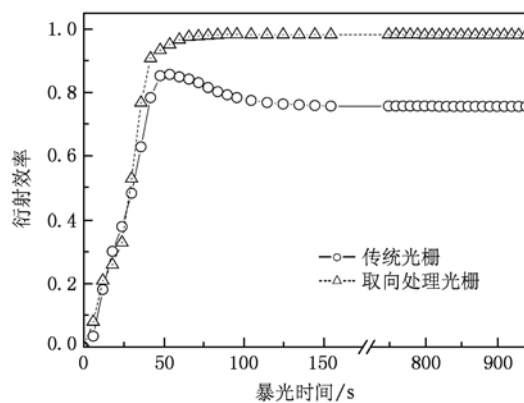


图 6 传统光栅和进行取向处理光栅衍射效率的实时曲线

综合 4.2 节可以得出,传统光栅(无取向处理)的衍射能力、散射损失以及衍射效率为

$$\xi = 87.8\%, \delta = 12.2\%, \eta = \xi - \delta = 75.6\%.$$

而进行取向处理后光栅的衍射能力、散射损失

以及衍射效率为(如图7所示)

$$\xi' = 98.4\%, \delta' = 0.3\%, \eta' = \xi' - \delta' = 98.1\% .$$

进行表面取向处理后光栅的衍射效率比传统光栅提高了22.5%,图8给出了对液晶/聚合物光栅施加电场前后光栅的衍射态照片,可见施加电场之后,光栅的衍射特性基本消失,衍射强度非常弱.

### 4.3. 不同表面取向摩擦强度

为了进一步探讨表面取向处理对液晶/聚合物光栅的影响,制备了五种不同不同取向条件的液晶盒:样品1 玻璃基板内表面没有进行任何取向处理,样品2—5 玻璃基板内表面都进行了反平行摩擦取向,且摩擦强度依次增强,即表面锚定作用依次增

强;在上述六种不同表面处理情况下,进行了光栅的制备,分别对其进行了衍射效率和驱动电压的测定,并使用SEM 比较了相分离形貌.

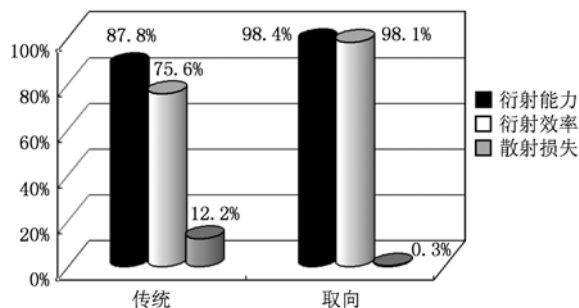


图7 传统光栅和表面取向处理后光栅的衍射、散射特性

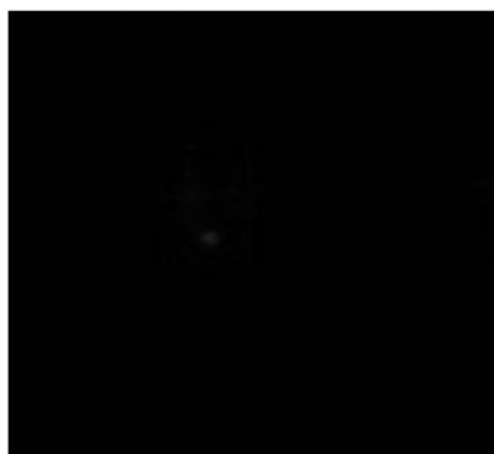


图8 表面取向处理后电调谐前后光栅衍射光斑照片

表1 不同边界条件下的衍射效率和驱动电压

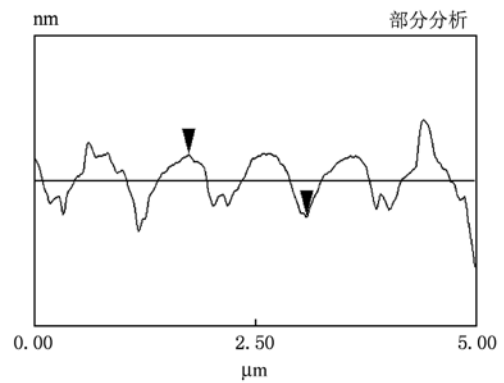
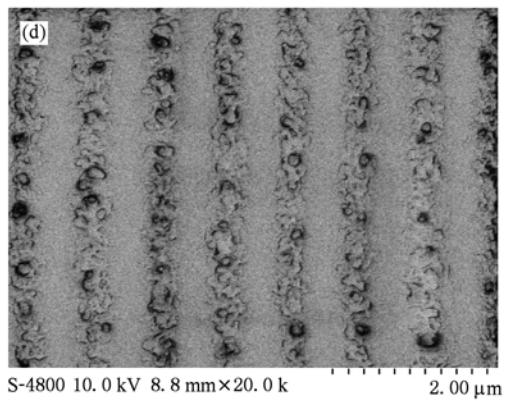
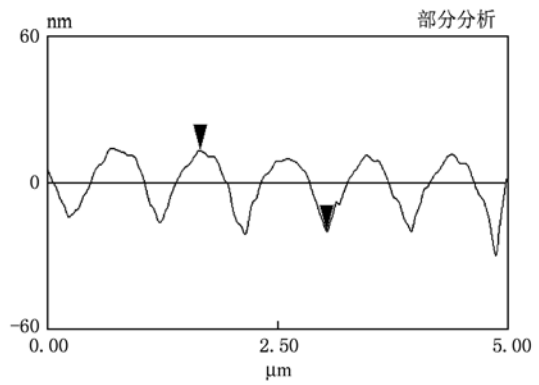
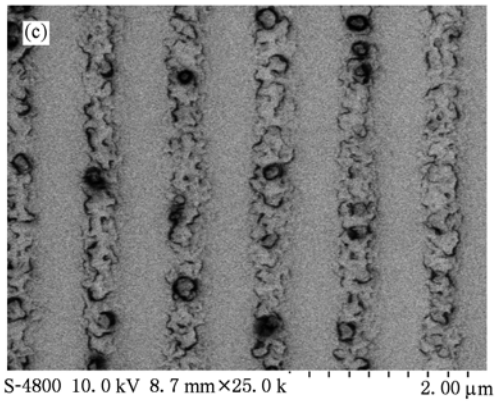
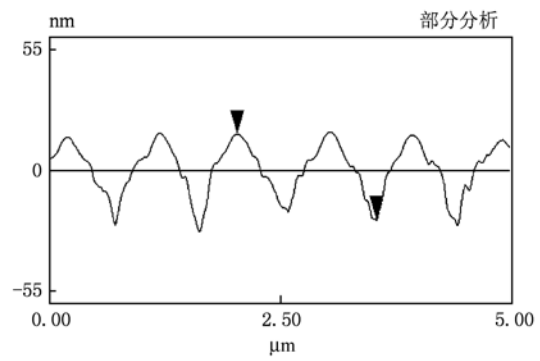
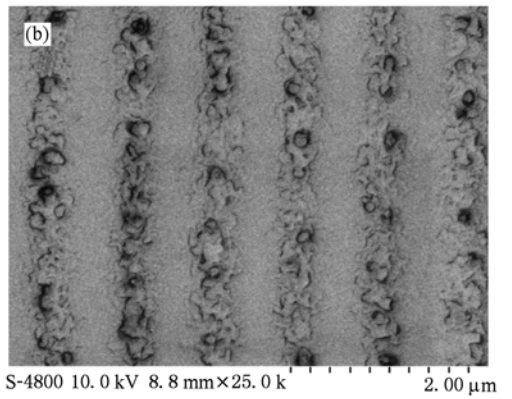
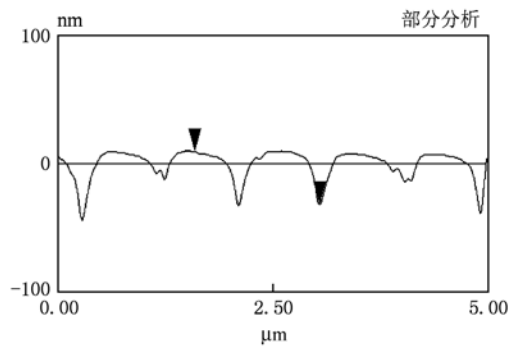
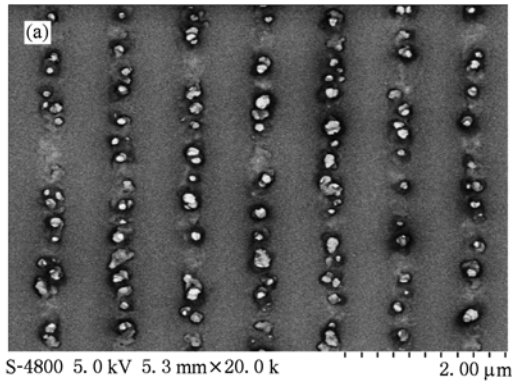
样品编号	1	2	3	4	5
衍射效率/%	75.6	82.7	98.1	81.0	65.2
驱动电压/(V/μm)	9.2	5.3	4.8	6.8	3.8

由表1可以看出,随着表面锚定强度的增加,光栅的衍射效率先是整体增加,然后又下降,说明当表面的摩擦强度增加到一定程度之后,其表面锚定强度太大,使得液晶分子几乎都被锚定在玻璃基板上,致使亮区的液晶很难扩散到暗区,使得液晶和单体的扩散速度不匹配,相分离不够彻底,液晶分子还大量的残留在聚合物区域里,而液晶区域里也有相当多的聚合物网络,此时形成的光栅电光特性较差,从光栅的SEM 形貌图也得到了验证:图9(a)—(e)分别是样品1—6的光栅SEM 形貌,图9(c)即样品3的光栅形貌最好,液晶区域连成片并

且液晶区域很宽,相分离最彻底,对应其衍射效率也是最高,驱动电压相对较低,如图9,表1所示.由此可以得出结论:对液晶盒基板内表面只有进行某一特定强度的反平行摩擦取向处理,形成的全息聚合物分散液晶光栅才具有高衍射效率、低动电压等良好的电光特性,也就是说表面摩擦强度存在一个最佳值.

## 5. 结 论

本文研究了表面反平行摩擦取向对全息聚合物分散液晶光栅电光特性的影响.对于传统的光栅,由于其基板表面不能提供足够的锚定力而使液晶和单体的扩散不匹配,导致相分离不彻底,形成光栅中液晶微滴的大小非常不均匀,致使其驱动电压高、衍射效率低、散射损失大;当基板内表面进行



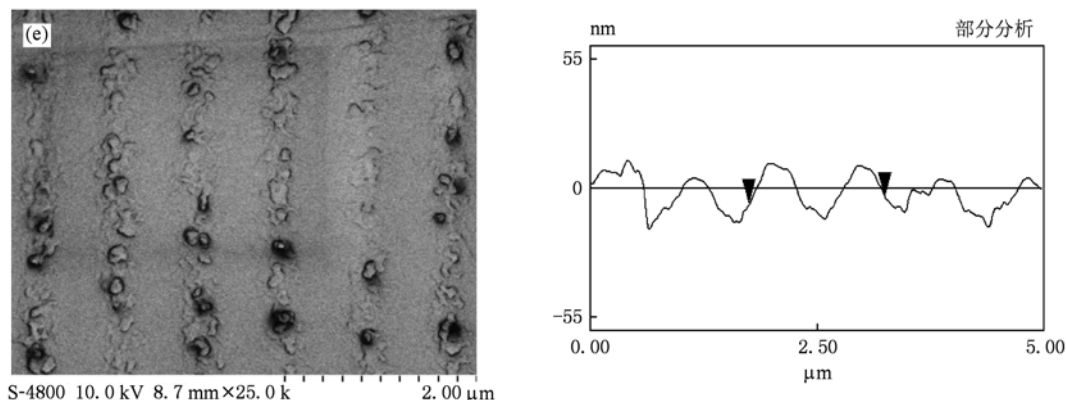


图9 (a)–(e)分别是样品1–5的光栅SEM形貌

摩擦取向处理之后,在一定的表面锚定强度下,液晶分子与单体分子之间达到了扩散的匹配,这样形成的液晶微滴尺寸大且均匀,同时也降低微滴之间的有序度差异,降低了光栅的散射损失,进而改善了光栅的电光特性,衍射效率由无取向处理情况下的75.6%提高到了98.1%,驱动电压也由9.2 V/ $\mu\text{m}$ 降到了4.8 V/ $\mu\text{m}$ .对比不同的边界条件,发现

随着表面锚定强度的增大,光栅的衍射效率也随着增加,但是当表面锚定强度过大的时候,光栅的衍射特性反而会大幅下降.实验结果表明:只有对液晶盒基板内表面进行一定强度的反平行摩擦取向处理,形成的液晶/聚合物光栅才具有高衍射效率、低驱动电压等良好的电光特性.

- [1] Natarajan L V, Sutherland R L, Tondiglia V P, Bunning T J, Adams W W 1994 *Appl. Phys. Lett.* **64** 1074
- [2] Sutherland R L, Natarajan LV, Tondiglia V P 1993 *Chem. Mater.* **5** 1533
- [3] Wu N, Zhang S W, Song K P, Bayin H X E, Qi X D, Gao J X 2009 *Optics and Precision Engineering* **17** 1497 (in Chinese) [吴娜、张善文、宋可平、巴音贺希格、齐向东、高键翔 2009 光学精密工程 **17** 1497]
- [4] Tan X, Liu Y, Xu X D, Hong Y L, Fu S J 2009 *Optics and Precision Engineering* **17** 33 (in Chinese) [谭鑫、刘颖、徐向东、洪义麟、付绍军 2009 光学精密工程 **17** 33]
- [5] Liu L H, Liu G, Xiong X Y, Huang X L, Chen J, Li W J, Tian J P, Tian Y C 2009 *Optics and Precision Engineering* **17** 72 (in Chinese) [柳龙华、刘刚、熊瑛、黄新龙、陈洁、李文杰、田金萍、田扬超 2009 光学精密工程 **17** 72]
- [6] Tanaka K, Kato K, Date M 1999 *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** 277
- [7] Popovich M, Sagan S 2000 *SID International Symposium Digest of Technical Papers* **31** 1060
- [8] Fiske T G, Silverstein L D, Colegrove J, Yuan H 2000 *SID International Symposium Digest of Technical Papers* **31** 1134
- [9] Domash L H, Crawford G P, Ashmead A C, Smith R T, Popovich M M, Storey J 2000 *SPIE* **4107** 46
- [10] Zheng Z G, Li W C, Liu Y G, Xuan L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7344 (in Chinese) [郑致刚、李文萃、刘永刚、宣丽 2008 物理学报 **57** 7344]
- [11] Wu S T, Mo T S, Guey A Y 2001 *Appl. Phys.* **40** 6441
- [12] Roper T M, Kwee T, Lee T Y, Guymon C A, Hoyle C E 2004 *Polymer* **45** 2921
- [13] Wofford J M, Natarajan L V, Tondiglia V P 2006 *SPIE* 63320Q
- [14] Song J, Zheng Z G, Liu Y G, Li J, Xuan L 2006 *Chinese Journal of Liquid Crystals and displays* **21** 443 (in Chinese) [宋静、郑致刚、刘永刚、李静、宣丽 2006 液晶与显示 **21** 443]
- [15] White T J, Liechty W B, Natarajan L V 2006 *Polymer* **47** 2289
- [16] Caputo G, Zgonik M 1997 *Phys. Rev. E* **55** 1035
- [17] Sutherland R L, Tondiglia V P, Natarajan L V 2006 *J. Appl. Phys.* **99** 123104
- [18] Wu B G, Erdmann J H, Doane J W 1989 *Liq. Cryst.* **5** 453
- [19] Zheng Z G, Ma J, Liu Y G, Xuan L 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 235302 10



## Effect of surface rubbing alignment on electro-optical properties of holographic polymer dispersed liquid-crystal gratings\*

Li Wen-Cui<sup>1)2)†</sup> Liu Yong-Gang<sup>1)</sup> Xuan Li<sup>1)</sup>

1) (State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

2) (Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(Received 3 February 2010; revised manuscript received 16 July 2010)

### Abstract

In order to obtain holographic polymer dispersed liquid crystal (HPDLC) grating with high diffraction efficiency and low threshold, the effect of parallel rubbing alignment on electro-optical properties of HPDLC grating is investigated. According to the theoretical analysis, the improvement of phase separation structure and the lower order difference of the liquid crystal droplets are essential for perfect electro-optical properties of the grating. The phase separation is significantly improved due to the diffusion match between monomers and liquid crystals in the case of parallel alignment treatment. So the diffraction capability is enhanced while the driven voltage is reduced obviously. Moreover, the order difference of liquid crystal droplets is reduced because of the uniform liquid crystal alignments and consequently the scattering loss is reduced greatly. Experimental results indicate that the diffraction efficiency of grating with rubbing alignment increases from 75.6% (traditional HPDLC grating) to 98.1% and the driving voltage is lowered from 9.2 V/ $\mu\text{m}$  to 4.8 V/ $\mu\text{m}$ . And also, only in the case of certain surface rubbing strength, the HPDLC with high diffraction efficiency and low threshold will be realized.

**Keywords:** holographic polymer dispersed liquid crystal, diffraction efficiency, drive voltage

**PACS:** 61.30.Pq, 61.30.Gd, 61.30.Hn

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60277033, 50473040, 19974046, 59973020), and by the Science Foundation of Jilin Province, China (Grant No. 20020603).

† E-mail: el8650@yahoo.cn