

# 激光诱导液晶定向研究

蔡邦维 何玉萼\* 秘国江 王占奇\* 肖俊 杨春林

(四川大学激光物理与化学研究所 成都 610064)

**提要** 报道了一种新的激光诱导液晶定向技术。用偏振激光辐照两块涂有聚乙烯醇(PVA)和甲基橙(MO)混合物薄膜的玻璃基片,再按激发光偏振态相互垂直的方向组装为液晶(LC)盒,用光诱导法获得盒内液晶分子的扭曲向列排列,该盒可使入射线偏振光旋转 $90^\circ$ 。用 $1\text{ GW}/\text{cm}^2$ 强激光辐照后,盒内 LC 分子取向不变,因而可望用于制备强激光系统中偏光控制器以改善光束质量。

**关键词** 液晶,激光诱导定向,偏光控制器,强激光

## 1 引言

液晶作为一种各向异性的光电材料,在显示和信息处理系统中,如普通的字符显示到彩色大屏幕显示器、实时光学数据处理、光学非相干和相干光转换等方面已获得越来越广泛的应用。其主要原理是利用液晶分子在某种外加场的作用下呈特殊的排列状态。这种分子排列状态伴随着液晶的双折射性、旋光性等光学性质的变化,进一步被转化为视觉变化加以利用。液晶器件中最常见的工作模式是液晶分子的扭曲向列排列。当液晶盒内液晶呈薄膜状态时,其分子的排列由基片的表面状态加以控制<sup>[1]</sup>,因此,对基片进行处理是控制液晶定向制备光电器件的关键技术之一。

迄今为止,电控液晶(LC)显示器件常规的定向方法是对涂有定向膜的基片进行摩擦以诱导液晶分子取向。但该法难以避免产生机械划痕、污染或静电,这不仅影响 LC 分子取向的均匀性,也使器件的显示对比度和抗光损伤能力下降,对制备用于激光束整形均匀化列阵 LC 偏振光控制器不适用,因而应寻求一种新的非接触式基片定向处理技术。本文对激光诱导 LC 定向新技术进行了实验研究,并对其定向机理进行了分析,该技术提供了制备强激光列阵式靶面均匀照明光学系统中均匀整形用 $90^\circ$ 偏光控制器的可能性<sup>[2]</sup>。

## 2 实验

试剂采用:(1) 聚乙烯醇(PVA),其聚合度为 $1750 \pm 50$ ,醇解度为 95%;(2) 甲基橙(MO);(3) 液晶为向列型 210(瑞士, F. Hoffmann-La Roche 公司)。

仪器采用:(1) 光诱导用 He-Cd 激光器,  $\lambda = 442\text{ nm}$ , 输出功率为 100 mW; CW Nd:YAG

\* 四川大学化学系。

倍频激光器,  $\lambda = 530\text{nm}$ ; (2) 抗光损伤试验用调  $Q$  脉冲 Nd·YAG 激光器,  $\lambda = 1060\text{nm}$ , 峰值功率密度约为  $1\text{GW}/\text{cm}^2$ 。

液晶盒的制备:

将严格清洁的玻璃基片 ( $d = 1.0 \pm 0.1\text{mm}$ ) 高速旋转均匀涂上 PVA+MO 混合物膜, 在  $150^\circ\text{C}$  下烘干  $30\text{min}$ 。用偏振激光辐照使能量密度达一定值。按偏振光相互垂直的方向组装基片成盒, 嵌隔玻璃丝控制盒厚度为  $50 \pm 10\ \mu\text{m}$ 。在一定的温度条件下灌注液晶, 严格控制液晶冷却速度不超过  $0.5^\circ/\text{min}$ , 最后用硅橡胶封口。

液体分子取向的检测装置如图 1 所示。偏振器  $P_1, P_2$  透光轴相互垂直, 入射激光通过  $P_1$  后为平行偏振光, 在  $P_1, P_2$  间插入液晶盒, 若盒内 LC 分子取向与偏振方向平行, 出射偏振光偏振态不变, 光则不能通过  $P_2$ , 检测器中无信号输出。若盒内 LC 分子呈扭曲排列, 出射偏振光偏振态将旋转  $90^\circ$ , 在  $P_2$  后可观察到亮场, 检测器中有光电信号输出。

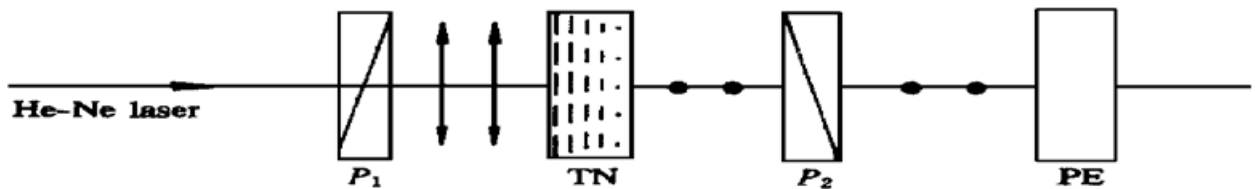


图 1 向列型液晶分子扭曲排列的检测

$P_1, P_2$ : 正交偏振片; TN: 扭曲向列结构的液晶盒; PE: 光电检测器

Fig. 1 Detection of twist nematic alignment of LC

$P_1, P_2$ : crossed polarizers; TN: LC cell with twist nematic structure; PE: photo-electric detector

### 3 结果和讨论

#### 3.1 基片上含一定染料浓度的均匀高聚物膜是光诱导 LC 定向的必要条件

改变 PVA+MO 水溶液浓度及基片旋转速度, 其结果表明, 若 PVA+MO 溶液浓度较大, 即使用高的转速 ( $2000\text{r}/\text{min}$ ) 也不易获得均匀的定向膜; 若用较稀溶液, 膜上染料浓度太低, 也不能获得预期的光诱导 LC 定向效果。为此应控制适当的 PVA+MO 溶液浓度和甩片速度。适宜的定向膜选择浓度为  $0.5\%$  (wt-%) 的 PVA+MO 水溶液, 其中 PVA·MO =  $2:1$  (质量比), 甩片速度为  $800 \sim 1000\text{r}/\text{min}$ 。配液时, 应先将 PVA 充分溶胀并在水浴中回流数小时, 再加入 MO 至全部溶解。使用前应滤去残留物。因溶液存放后 PVA 会析出, 故应随用随配。

#### 3.2 激发光能量的选择

保持激发光波长和功率不变, 选用不同的激发时间, 实验结果表明, 只要达到一定的光辐照时间均可产生 LC 光诱导效果, 并随时间增加其效果更好。若用功率密度较小的偏振激光, 增加光照时间 (或脉冲数) 可达同样的效果。由此可见, 基片上能量应积累到一定值后才能获得好的 LC 定向效果。液晶光诱导定向取决于基片上的能量密度。实验中分别使用连续 He-Cd 和 YAG 激光激发, 输出功率为  $70 \sim 100\text{mW}$ , 经扩束器后损耗  $20\%$ , 要达到一定能量密度所需激发电照射的时间由下式计算

$$\text{能量密度}(\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{\text{功率}(\text{mW}) \times \text{照明时间}(\text{s}) \times 0.8}{\text{光斑面积}(\text{cm}^2)}$$

按光斑面积为  $6.0\text{cm}^2$ , 能量密度为  $(5 \sim 6) \times 10^3\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$  计算, 照射时间控制在  $500 \sim 600\text{s}$ ,

即可获得效果。

### 3.3 激发光波长的选择

由涂有 PVA+MO 膜基片的 UV 光谱得到 MO 的特征吸收峰在 310 nm, 在保持其他条件一定的情况下, 分别用  $\lambda = 442 \text{ nm}$  和  $530 \text{ nm}$  的激光作光诱导实验, 均获得了 LC 光诱导定向效果。这表明与文献[3]不同, 激发光波长不一定在染料最大吸收峰处, 在离最大吸收波长不远处进行激光激发, 不仅可降低基片对光能的吸收, 而且通过高聚物定向膜的光强均匀性也得到了保证<sup>[4]</sup>。

### 3.4 液晶灌注方式

液晶盒厚度应控制在几十微米范围内, 可由在两基片间镶嵌玻璃丝加以控制。在清亮点以上灌注液晶, 为此应同时加热基片和液晶。在由各向同性液态向向列液晶相转变的温度段, 须严格控制冷却速度不超过  $0.5^\circ/\text{min}$ , 以保证 LC 沿基片定向方向均匀取向。若冷却速度不均匀或稍快, 将可能导致 LC 分子边流动边取向, 不可避免地形成所谓的“向错”, 影响光诱导定向效果。实验中还发现, 重复加热液晶盒至液相温度以上后再次降温, LC 可重新取向以“纠正”其不均匀性。

### 3.5 激光诱导 LC 定向机理的讨论

常规的摩擦基片诱导 LC 分子取向, 其机理是摩擦产生的剪切力使定向膜上长链状的高聚物分子沿摩擦方向取向, 排列相对有序的高聚物分子与 LC 分子间的相互作用进一步诱导 LC 分子取向<sup>[5]</sup>。由高分辨扫描探针技术获得的微观图像支持了这一机理。

LC 分子沿基片激发光偏振方向取向, 缘于二色性偶氮染料分子的反-顺-反式构像变化。当用偏振光照射涂有 PVA+MO 膜的基片时, 若染料分子长轴和偏振光偏振方向平行, 分子对光有较强吸收, 若相互垂直则吸收最弱。在热作用下, 染料分子通常呈稳定的反式构像, 吸收光能后激发-N=N-键旋转变为顺式构像。因基团的空间阻碍作用顺式构像不稳定, 将趋向于反式但取向为分子长轴与偏振光方向垂直的状态。由于染料分子对光吸收的各向异性, 足够的激发光能作用, 最终将使染料分子几乎全部成为反式的垂直取向。其构像变化如图 2 所示。

染料分子光激发取向将带动 PVA 分子的有序排列, PVA 分子与 LC 分子间范德华引力作用进而诱导液晶分子定向。基片光照前后红外光谱的测试结果表明, 羟基和烷基峰发生了弱的位移( $3476.3 \rightarrow 3493.7 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2914.0 \rightarrow 2872.0 \text{ cm}^{-1}$ )。我们认为, 这是由于 PVA 分子取向变

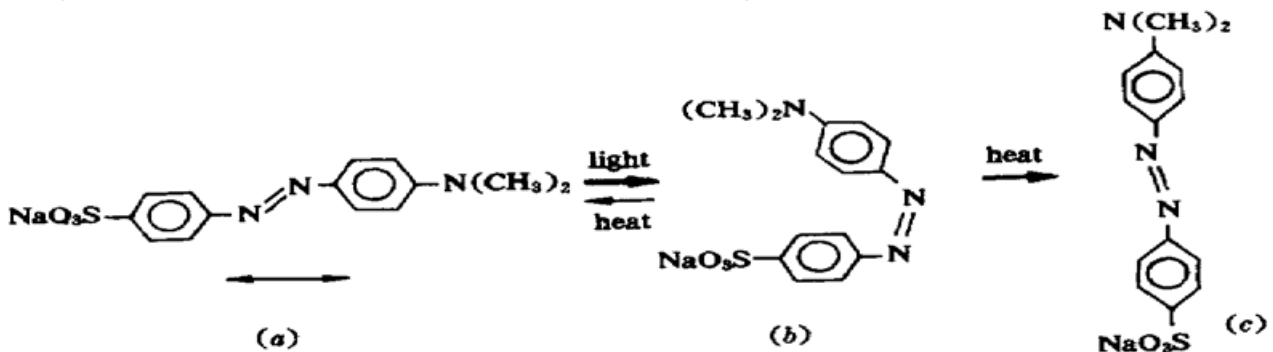


图 2 偶氮染料分子(甲基橙)的反-顺-反式异构变化示意

(a) 分子长轴平行于入射光偏振方向的反式构型; (b) 顺式构型; (c) 分子长轴与偏振方向垂直的反式构型

Fig. 2 Trans-cis-trans isomerization of an azo dye (MO) molecule

(a) trans form with optic axis parallel to the polarization direction of the incident light;

(b) cis form; (c) trans form with optic axis perpendicular to the polarization direction

化所导致的分子内或分子间氢键作用相应变化的表征。

### 3.6 激光诱导 LC 定向的稳定性

光诱导技术制备的液晶盒放置后经检测旋光性不变,用峰值功率密度约为  $1 \text{ GW/cm}^2$  的强激光脉冲连续冲击数十次后经检测旋光性仍不变。这表明不仅激发光取消后 LC 分子取向不变,并能抵抗强激光脉冲的作用。因光诱导技术制备的 LC 盒是非接触式的无电极的液晶器件,具有较强的抗光损伤能力,有可能在强激光系统中用作  $90^\circ$  偏光控制器均匀整形以提高光束质量<sup>[2]</sup>。

## 4 结 论

综上所述,液晶分子可通过对涂有高聚物和染料膜的基片激光诱导定向,定向效果不仅与染料、高聚物、液晶等的化学组成有关,还与高聚物和染料的比例、激光能量密度、液晶盒组装技术等因素有关。用适当比例的偶氮染料和长链高聚物定向液旋转涂片,经用偏振激光激发达一定能量密度后形成定向膜,可获得光诱导 LC 定向的效果。

**致谢** 本工作得到华东理工大学物理系张家全教授,我系陈楨培教授的热情支持和帮助,特此致谢。

### 参 考 文 献

- 1 D. W. Berreman. Solid surface shape and the alignment of an adjacent nematic liquid crystal. *Phys. Rev. Lett.*, 1972, **28**(26): 1683~ 1686
- 2 Liu Zhongyong, Lü Baida, Cai Bangwei *et al.*. Suppression of small scale nonuniformity in the line focussing system using polarization control and regular phase distribution. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(12): 1626~ 1632 (in Chinese)
- 3 W. M. Gibbons, P. J. Shannon, Shao-Tang Sun *et al.*. Surface-mediated alignment of nematic liquid crystals with polarized laser light. *Nature*, 1991, **351**(6321): 49~ 50
- 4 G. P. Bryan-Brown., I. C. Sage. Photoinduced ordering alignment properties of Polyvinylcinnamates. *Liquid Crystals*, 1996, **20**(6): 825~ 829
- 5 J. M. Geary, J. W. Goodby, A. R. Kmetz *et al.*. The mechanism of polymer alignment of liquid-crystal materials. *J. Appl. Phys.*, 1987, **62**(10): 4100~ 4108

## Studies of Laser Photoinduced Alignment of Liquid Crystals

Cai Bangwei He Yu'e Bi Guojiang Wang Zhanqi Xiao Jun Yang Chunlin  
(Institute of Laser Physics & Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064)

**Abstract** A new alignment technology was proposed here. Substrates coated with polyvinyl alcohol (PVA) and methyl orange (MO) layer were illuminated by a linearly polarized laser for certain time. Subsequently, a liquid crystal (LC) cell was assembled with the polarized direction of the illuminating light of both substrates mutually perpendicular, from which a twist nematic (TN) alignment of LC molecules has been got. When a beam of linearly polarized light transmits through the LC cell, the polarization direction will rotate  $90^\circ$ . After the laser illumination, the twist nematic structure of the LC cell keeps unchanged after a number of shots of high power laser pulses.

**Key words** liquid crystals, photoinduced alignment, polarization controller, high power laser