

# 聚合物网络稳定液晶的电光偏振片\*

任洪文 凌志华 朱希玲 黄锡珉

(中国科学院长春物理研究所, 北方液晶工程研究开发中心, 长春130021)

**摘 要** 制备了一种散射偏振片。它是由非晶态单体形成的聚合物网络、向列液晶和涂有聚酰亚胺的ITO玻璃基板组成。聚酰亚胺被反向平行摩擦, 液晶分子则沿摩擦方向取向, 并被单体形成的网络所稳定。根据聚合物网络液晶的电光特性可知, 入射偏振光束被散射或透射相应地取决于其偏振方向平行还是垂直于基板的摩擦方向。平行时, 光的散射强度通过电场可被强烈地调节; 垂直时, 光的透过率很高, 几乎不依赖施加的电场。这种偏振器件具有低的驱动电压, 它和一个常规的线性偏振片相结合, 可获得高对比度的显示效果。本文给出了样品的制作过程及电光测试结果, 并对结果进行了分析讨论。

**关键词** 向列液晶, 聚合物网络液晶, 光散射, 偏振片。

## 1 引 言

聚合物网络稳定液晶(PNSLC)是由可紫外光反应的单体以低浓度溶解在液晶中, 经紫外光作用, 在液晶中聚合为网络状结构形成的。近年来, 使用网络稳定液晶技术不仅可显著地改善液晶显示的性能<sup>[1, 2]</sup>, 而且还可用来制作各种新的光学器件, 如聚合物/胆甾相液晶光阀<sup>[3]</sup>、聚合物网络液晶透镜<sup>[4]</sup>、胶体光偏振器件<sup>[5]</sup>等。其中, 胶体的光偏振器件使人尤感兴趣。Hikmet首次对这种器件进行了研究。他采用可交联的液晶性丙烯酸单体作为稳定液晶的网络结构, 即通过使液晶性单体及液晶分子均沿摩擦沟槽取向, 然后使排列的单体形成定向取向的网络再稳定液晶取向的方法获得了各向异性的胶体。以在液晶中掺杂质量分数为5%的单体为例, 由于采用这种配比量制作的器件通常具有很高的饱和驱动电压及低陡度的电光曲线, 因此失去了液晶器件的优越性而没能得到应用。后虽改用其它的液晶单体材料<sup>[6]</sup>, 但这些问题也没有得到较好地解决。低陡度曲线及高驱动电压说明液晶与网络的相互作用很强。另外, 在改善聚合物分散液晶滞后效应的研究中, Shimada和Uchida<sup>[7]</sup>用双丙烯酸酯单体作为聚合物网络, 采用类似宾主效应的方法也获得了呈各向异性取向的聚合物网络。然而, 在一定电压范围内, 它对外来光散射的强度随电压的增加而减小。这与Hikmet的随电压增加而增加的结果正相反, 显然它们的工作模式不同。尽管这种样品的饱和驱动电压很低(3V), 但调光的能力很差。为改善这种偏光器件的电光特性, 本实验选用非晶态的单体材料作为聚合物网络, 采用与Shimada等相似的方法制备聚合物网络稳定液晶样品。实验结果表明,

\* 中国科学院留学经费择优支持回国工作基金资助项目。

收稿日期: 1998-07-16; 收到修改稿日期: 1998-12-18

用非晶态单体作为分散在液晶中的网络既能稳定液晶的排列取向, 又能减小液晶与网络的相互作用。在电场的作用下, 该样品只具有 Hikmet 的工作模式, 且样品还具有偏振性可调、工作对比度高、驱动电压低、曲线陡度大、响应速度快等优点。本文给出了样品的制作过程及测试结果, 并对结果进行了分析讨论。

## 2 实 验

### 2.1 材料和样品的制备

实验选用的材料有: 1) 非晶态单体双酚 A 二甲基丙烯酸酯(吉林大学化学系提供), 分子结构如图1所示; 2) 纯向列液晶 PN-001 ( $n_0 = 1.525$ ,  $\Delta n = 0.253$ ,  $\Delta\epsilon = 15.6$ , 清亮点 $68^\circ\text{C}$ , 日本 Lodic 公司提供); 3) 光引发剂 IRG-184(日本 Kayaku 公司提供)。

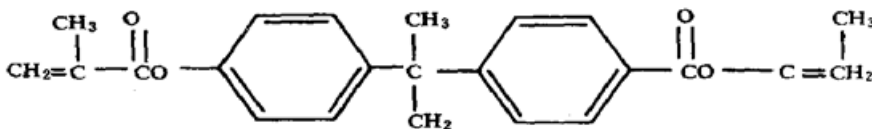


Fig. 1 Molecular structure of the monomer

把单体与液晶以质量比为5:95混合, 并在混合物中再加入质量分数为1%的光引发剂。混合物经充分搅拌后在各向同性态下注入到涂有聚酰亚胺取向层的带ITO电极的空玻璃盒中, 取向层已被反向摩擦处理, 盒的间隙用 $7.5\ \mu\text{m}$ 的玻璃粉控制。慢慢冷却此玻璃盒, 当温度降至室温时, 用8只功率为20 W的紫外灯(主波长为365 nm)照射样品, 时间为10 min。

### 2.2 样品的电光特性测试

把制得的样品放在偏振片处于正交的偏光显微镜下, 连续旋转样品, 观察其光学特性。

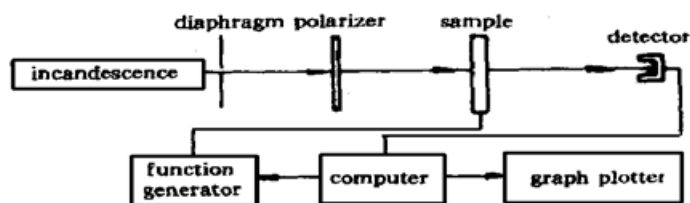


Fig. 2 Schematic of setup used to measure the electro-optical properties of the sample

再用图2所示的实验装置测量样品的电光特性曲线。具体的测试方法是: 从钨灯发出的光经光阑后, 通过起偏器成为偏振光, 将其垂直照射在样品上; 施加在样品上的电压由计算机输出控制; 用光电探测器接收从样品透射出来的光, 使之转变成电信号送入计算机处理, 再把处理的结果用绘图仪输出。

## 3 结果和讨论

把样品放在显微镜下连续旋转, 则可以看到亮度呈强弱交替变化的视场, 即当样品的摩擦方向与下偏振片的偏振方向分别处于垂直和平行状态时, 其视场相应地呈现出暗态和亮态。此结果表明, 样品在关态下其聚合物网络稳定液晶层取向呈各向异性。为了研究这种偏振的稳定性, 给样品加热到液晶的清亮点以上, 再迅速降温, 反复数次, 然后再用显微镜观察, 结果发现样品的这种取向异性仍然存在。说明受热冲击后, 样品中液晶和网络的最初结构状态没有发生变化。

图3为用图2所示的实验装置(不用起偏器)测量所得到的样品的电光特性曲线。可以看出, 随着驱动电压的增加, 光透过率降低。当电压达到饱和值时, 大约有50%的光透过样品, 另有约50%的光被截止掉, 这与常规偏振片的滤光结果是相似的。从电光响应的曲线中还可以看出, 其开关的响应时间大约是  $T_{\text{on}} = 2\ \text{ms}$ ,  $T_{\text{off}} = 35\ \text{ms}$  [ $T_{\text{on}}$ ( $T_{\text{off}}$ )的定义分别为透过率

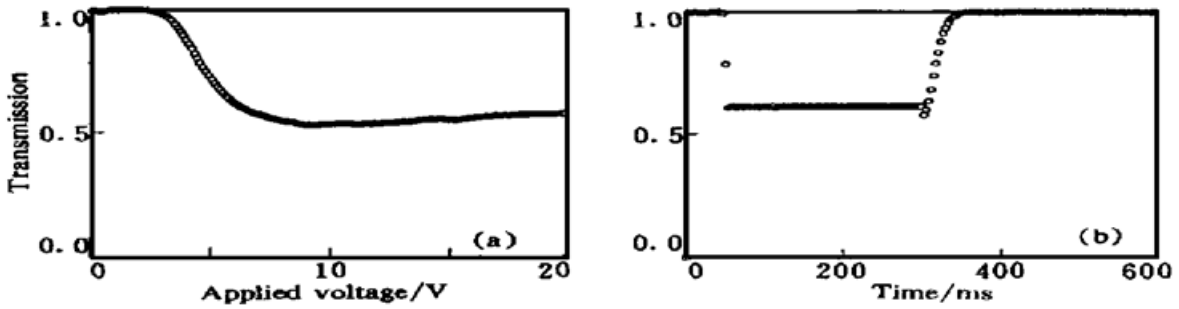


Fig. 3 Electro-optical property (a) and switching time (b) of PNSLC

由其最大透过率的 10% (90%) 上升(下降) 到其最大透过率的 90% (10%) 时所需要的时间]。

图 4 为用图 2 的装置测量得到的当偏振片的偏振方向与样品的摩擦方向分别成 0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°角时电光特性曲线的结果。可以看出, 在没有电压作用时, 不同的夹角对应的透过率并不完全相同。这是聚合物网络稳定液晶层取向异向性造成的。当有电压作用, 且偏振片的偏振方向与样品的摩擦方向平行时, 其光透过率随电压的增加将迅速地减小。随着两方向夹角的增加, 样品对光的调节能力减小。在夹角为 90°时, 样品的透过率受外电压的影响很小。在夹角为 0°时, 样品的饱和驱动电压为 5.68 V, 与阈值电压的差值只有 2.68 V (阈值电压约为 3 V)。从结果中可以看出, 当施加的电压进一步增加时, 每一曲线对应的透过率将缓慢地上升。

图 5 给出了在室内拍摄的样品显示实例, 此样品的背面贴一偏振方向与样品的摩擦方向平行的反射偏振片, 样品四周边缘的 ITO 电极均被刻蚀掉, 以便于同聚合物网络稳定液晶层中有电极部分的显示进行对比。给样品施加 5 V、50 Hz 的驱动电压, 可以看到, 在反射显示的情况下, 驱动和没被驱动的开关对比度约为 3 : 1。由于器件是依靠散射效应来工作的, 因此环境越亮则显示的对对比度越高。如图 4 中在夹角为 0°的情况下, 借助于入射光, 其对比度可达 14 : 1。

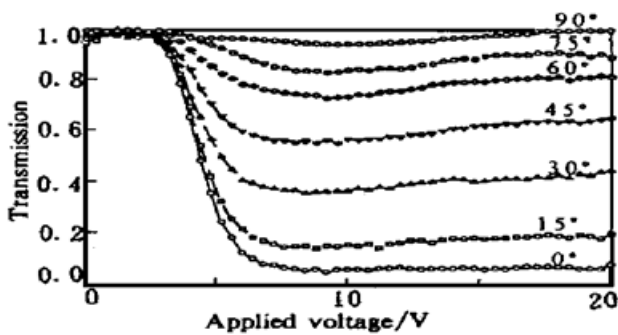


Fig. 4 Electro-optical properties of PNSLC with different angles between polarization directions of the polarizer and rubbing of the sample

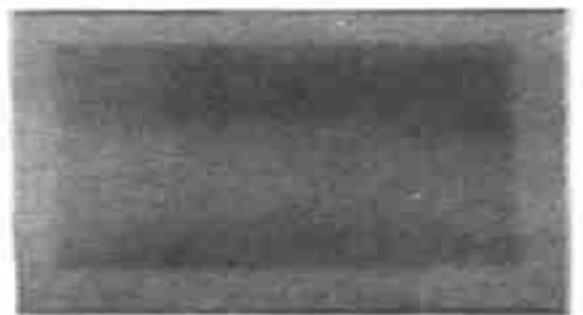


Fig. 5 A photograph of one sample in its on and off state with a reflective polarizer adhered on its backside. The rubbing direction and polarization direction of the polarizer is parallel

对于器件具有的光偏振可调性, 可用如图 6 所示的网畴结构模型来解释。图中只给出了一个网络畴中液晶分子的排列状态。在未加电压时[如图 6(a)], 液晶分子均沿摩擦形成的沟槽方向取向(如图中的 x 轴)。处于这一取向的能量是最低的, 并被单体形成的网络所稳定。当一束自然光线垂直入射样品的表面时, 对平行于 x 轴方向的入射光来说, 有一小部分光由

于液晶的非常折射率与网络的折射率不匹配而被散射掉, 绝大部分将从样品中透射。对垂直于  $x$  轴方向偏振的光来说, 由于液晶的寻常折射率与网络的折射率相匹配而全部透射。尽管透射样品的光束具有自然光的性质, 但在显微镜下, 入射光的偏振方向在平行和垂直于  $x$  轴方向所透过的强度差别是可以肉眼区别的, 这一区别就可用来确定网络取向的各向异性。当给样品施加适度的电压时, 网畴中心处的液晶分子先倾向于电场方向取向, 而靠近网络边缘处的液晶分子由于受网络的强锚定作用而不能被驱动, 如图 6(b) 所示。

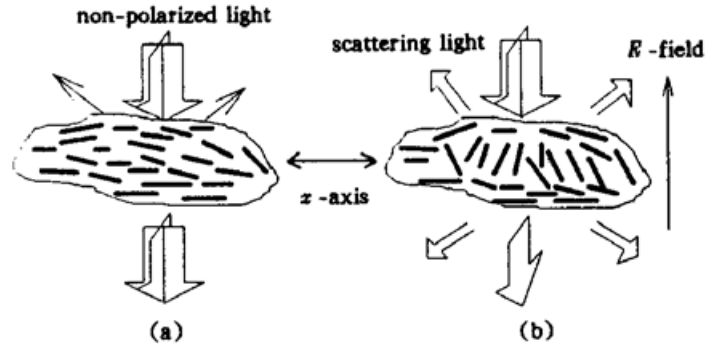


Fig. 6 Orientation properties of liquid crystal molecules in a network mesh with (a) no voltage and (b) saturated voltage applied

由于液晶分子的取向始终在垂直于  $x$  轴的平面内, 对于沿  $x$  方向偏振的光来说, 液晶分子长程取向出现涨落, 取向和没被取向的液晶分子的折射率相差约为  $\Delta n = 0.253$ , 因此这一方向的偏振光可被强烈地散射。又由于通常的聚合物网络稳定液晶层较厚, 层内包含的液晶畴很多, 因此这种散射是多重的, 结果导致沿  $x$  方向偏振的光几乎被全部散射。随着电场强度的增加, 沿电场取向的液晶分子数增多, 相应地对光的散射能力变弱, 光的透过率逐渐增加。这一结论与图 4 中的实验测试结果是一致的; 对于偏振方向与  $x$  轴垂直的入射光, 液晶分子始终保持与光的偏振方向垂直, 其各处的折射率均为液晶的寻常折射率, 因此此方向的偏振光透过样品而不受电场调节, 这就是器件具有光偏振特性的机理解释。

在本实验中, 尽管使用的材料、器件的制作方法 with Shimada 的相似, 但器件的工作机理并不与之相同。用实验选择的非晶态单体作为稳定液晶的网络及利用网络内液晶分子取向涨落的电场可调性工作模式能显著地降低器件的工作电压。尽管器件的膜厚 ( $7.5 \mu\text{m}$ ) 远小于普通偏振片的厚度, 但这种超薄型的聚合物网络稳定液晶膜仍具有很好的光偏振特性。而且, 如果以牺牲驱动电压为代价, 适当地增加膜的厚度或增加单体的配比量, 还可进一步提高器件的电光偏振特性。

**结 论** 用实验选择的非晶态单体作为稳定液晶呈单轴取向的聚合物网络, 获得了以液晶自身取向涨落变化引起折射率变化而导致光散射各向异性的工作模式。用非晶态单体作为稳定液晶的网络不仅可显著地降低驱动电压, 还能改善器件的开关响应。这种器件与常规的线性偏振片相结合可望在电控窗、光阀等方面得到应用。另外, 由于聚合物网络稳定液晶器件的光偏振性是依靠对光呈各向异性散射来实现的, 同利用吸光工作的线性偏振片相比, 它不会产生热, 避免了在强光照射下易遭受损坏, 因此作为一种新型的偏振器件, 在大型投影显示上很适用。

## 参 考 文 献

- [1] Bos P J, Rahamn J A, Doane J W. A low-threshold-voltage polymer network TN device. *Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers*, 1993, XXIV : 877~ 880
- [2] Nose T, Masuda S, Sato S. Effects of low polymer content in a liquid-crystal microlens. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(6) : 351~ 353
- [3] Yang D K, Chien L C, Doane J W. Cholesteric liquid crystal/polymer dispersion for haze-free light shutters. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**(25) : 3102~ 3104
- [4] Toshiaki N, Shin M, Susumu S *et al.*. Effects of low polymer content in a liquid-crystal microlens. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(6) : 351~ 353
- [5] Hikmet R A M. Electrically induced light scattering from anisotropic gels. *J. Appl. Phys.*, 1990, **68**(9) : 4406~ 4412
- [6] Hikmet R A M. From liquid crystalline molecules to anisotropic gels. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1991, **198** : 357~ 370
- [7] Shimada E, Uchida T. Improvement of hysteresis in polymer dispersed liquid crystal (PDLC) by control of polymer Orientation. *Japan Display*, 1992, 699~ 702

## An Optoelectric Polarizer by Polymer Network Stabilized Liquid Crystals

Ren Hongwen      Ling Zhihua      Zhu Xiling      Huang Ximin

(North Liquid Crystal Engineering Research and Development Center,

Changchun Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

(Received 16 July 1998; revised 18 December 1998)

**Abstract** A scattering polarizer is prepared by using polymer networks formed from an amorphous monomer, nematic liquid crystals and polyimide-coated ITO glass substrates. The polyimide layers are rubbed with anti-parallel directions, thus liquid crystal molecules with homogeneous alignment along the direction of rubbing can be obtained, and further stabilized by polymer networks. Due to electro-optical properties of polymer network liquid crystals, and impinging polarized beam is scattered or transmitted depending on its polarization direction parallel or perpendicular to that of rubbing, respectively. In the parallel case, light scattering intensity can be adjusted greatly under low electric field; in the perpendicular case, light transmission is very high and hardly adjusted electrically. This kind of device combining with a linear polarizer can be switched in a high contrast ratio and fast response. The detail fabrication process is presented, and the experimental results are given and discussed.

**Key words** nematic liquid crystal, polymer network liquid crystal, light scattering, polarizer.