

聚合物墙表面组成的调控及其对聚合物墙液晶器件光电性能的影响

夏祥, 陆红波, 马超, 刘雪连, 邱龙臻, 徐苗, 朱俊, 张国兵

引用本文:

夏祥, 陆红波, 马超, 等. 聚合物墙表面组成的调控及其对聚合物墙液晶器件光电性能的影响[J]. *液晶与显示*, 2021, 36(9): 1247–1254.

XIA Xiang, LU Hong-bo, MA Chao, et al. Modulation of surface composition of polymer walls and its effect on optoelectronic properties of polymer wall liquid crystal device[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(9): 1247–1254.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0068>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

聚合物分散型液晶结构紫外光稳定性分析

Ultraviolet light stability of polymer structure based on polymer dispersed liquid crystal

液晶与显示. 2016, 31(2): 125–130 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163102.0125>

聚氧乙烯脱水山梨醇单油酸酯对聚合物网络液晶电光特性的影响

Effect of polyoxyethylene sorbitan monooleate surfactant on polymer-network liquid crystal display

液晶与显示. 2018, 33(5): 381–388 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0381>

螺旋扭曲力常数对常黑聚合物稳定胆甾相液晶光电性能的影响

Influence of helical twisting power on electro-optical properties of normal-mode polymer-stabilized cholesteric texture

液晶与显示. 2016, 31(4): 358–362 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163104.0358>

紫外光强对聚合物分散液晶电光特性的影响

Effect of UV intensities on electro-optic properties of polymer dispersed liquid crystal

液晶与显示. 2018, 33(8): 631–637 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183308.0631>

改变直流电场方向调控聚合物稳定胆甾相液晶的反射带隙

Modulation of reflection band in polymer-stabilized cholesteric liquid crystals by changing DC electric field direction

液晶与显示. 2021, 36(8): 1075–1083 <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2021-0061>

文章编号:1007-2780(2021)09-1247-08

聚合物墙表面组成的调控及其对 聚合物墙液晶器件光电性能的影响

夏 祥^{1,2}, 陆红波^{1*}, 马 超^{1,3}, 刘雪连^{1,2}, 邱龙臻¹, 徐 苗¹, 朱 俊¹, 张国兵¹

(1. 特种显示技术国家工程实验室, 现代显示技术省部共建国家重点实验室培育基地,

合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009;

2. 安徽省先进功能材料与器件重点实验室, 合肥工业大学 化学与化工学院, 安徽 合肥 230009;

3. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 本文探究了单体与液晶的相容性对聚合物墙表面组成的影响和表面组成对聚合物墙液晶器件光电性能的影响及其调控方法。选取与液晶相容性相差较大但表面能相近的单体, 通过表面引发聚合形成与液晶分层的聚合物薄膜, 洗去液晶后用反应离子刻蚀在聚合物表面刻蚀出不同深度。通过衰减全反射红外光谱和 X 射线光电子能谱仪表征不同深度的组分。最后利用掩模版制备聚合物墙液晶器件, 并探究聚合墙表面组成对其光电性能的影响。实验结果表明: 在聚合物-液晶界面处富集与液晶相容性高的聚合物组分, 并且聚合光强越低, 这种组分偏析效果越明显, 当聚合光强较低时, 聚合物表面组成中的 PTFEMA 组分占比为 68.5%, 比高光强时的多出 10.6%。聚合物墙的表面组成对液晶器件的光电性能有一定的影响, 当光强为 10 mW/cm² 时器件的阈值电压为 0.879 V, 而在 70 mW/cm² 光强时升高到 1.172 V。可以利用单体与液晶的相容性差异以及光强调控聚合物墙表面组成, 进而影响液晶器件的光电性能。

关键词: 表面组成; 表面引发; 聚合物墙; 光电性能**中图分类号:** O753⁺.2; TB324 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2021-0068

Modulation of surface composition of polymer walls and its effect on optoelectronic properties of polymer wall liquid crystal device

XIA Xiang^{1,2}, LU Hong-bo^{1*}, MA Chao^{1,3}, LIU Xue-lian^{1,2}, QIU Long-zhen¹,XU Miao¹, ZHU Jun¹, ZHANG Guo-bing¹(1. *National Engineering Laboratory of Special Display Technology,**National Key Laboratory of Advanced Display Technology,**Academy of Opto-Electronic Technology, Hefei University of Technology,**Hefei 230009, China;*2. *Anhui Province Key Laboratory of Advanced Functional Materials and Devices,**School of Chemistry and Chemical Engineering, Hefei University of Technology,***收稿日期:** 2021-03-12; **修订日期:** 2021-03-26.**基金项目:** 安徽省自然科学基金(No.1708085MF150)

Supported by Natural Science Foundation of Anhui Province(No.1708085MF150)

* 通信联系人, E-mail: bozhilu@hfut.edu.cn

Hefei 230009, China;

3. School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering,
Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The effect of the compatibility of monomer and liquid crystal on the surface composition of the polymer wall was explored, and the effect of the surface composition on the optoelectronic properties of polymer wall liquid crystal devices and its control method were investigated. Monomers with a large difference in compatibility with liquid crystals but similar surface energy are selected. Polymer films delaminated with liquid crystals are formed by surface initiation, and the polymer are etched to different depths by reactive ion etching after washing away the liquid crystals. The components of the polymer layer with different etching depths were characterized by Attenuated Total Reflection and X-ray photoelectron spectrometer. Polymer wall liquid crystal devices were prepared and the effect of polymer surface composition on their optoelectronic properties was investigated. The experimental results indicate that polymer components with high compatibility with liquid crystals are enriched at the polymer-liquid crystal interface, and the lower the polymerization light intensity, the more pronounced the bias effect of such components. When the polymerization light intensity is low, PTFE-MA component in the polymer surface composition is 68.5%, which is 10.6% more than that at high light intensity. This resulted in a difference in the optoelectronic properties of the polymer wall liquid crystal devices prepared at different polymerization light intensities, with a threshold voltage of 0.879 V at a light intensity of 10 mW/cm² and an increase to 1.172 V at 70 mW/cm² light intensity. Polymer wall surface composition can be regulated by the compatibility difference between the monomer and the liquid crystal and the light intensity, which could influence the photoelectric performance of the liquid crystal device.

Key words: surface composition; surface initiation; polymer wall; optoelectronic properties

1 引言

近年来,柔性显示在现代信息网络社会中备受关注,并且应用范围越来越广,各种柔性显示方案层出不穷^[1]。液晶显示器(LCD)因其更薄、重量更轻,可承受更为恶劣的使用环境而受到人们的关注。这些特点使液晶柔性显示成为研究热点。新型柔性轻量化液晶显示器将传统显示器的应用范围扩大。例如,随着显示器尺寸的增加,可卷屏电视显示器具有极好的便携性和可存储性。柔性液晶显示器作为一种非发光型器件,也广泛适用于室内和室外各种照明环境中,并具备带/不带背光的透射和反射模式。然而,柔性液晶显示器会由于变形而存在一些问题。一般来说,使用塑料作为基底的柔性液晶显示器在弯曲时液晶层会发生厚度变化。由于液晶层的折射率和厚度决定了液晶层出射光的延迟,导致液晶层厚度分布

不均匀将会导致图像质量变差^[2]。因此,在液晶层中的粘接上下基板的间隔结构起着重要的作用。在已经报道的技术中,聚合物墙液晶器件具有低阈值、高对比度的优点。

在液晶层内形成聚合物墙的方法已经有诸多报道。例如,通过将ITO电极图案化形成不均匀电场而促使相分离形成聚合物墙结构^[3];在基板内层表面旋涂一层CYTOP,并刻蚀图案化,利用亲疏水的特性实现相分离而形成墙结构^[4]。光掩膜法是目下较为广泛应用和研究的方法,仅通过光掩膜版进行紫外曝光即可形成较为规整的聚合物墙^[5-6]。形成聚合物墙的技术在近些年来被广泛关注,但是很少有报道关于聚合物墙液晶器件中聚合物-液晶界面的问题。聚合物液晶复合器件的光电性能很大程度上受到聚合物锚固力的影响,因此,液晶中聚合物表面组成就显得尤为重要。

在液晶环境下,聚合物墙表面组成的偏析作

用使得锚固力发生变化,器件的光电性能也会随之改变。本文选取了与液晶相容性相差较大的两种单体,通过表面引发的方法使得单体在液晶环境中生长,与液晶发生相分离并形成膜。通过反应离子刻蚀(RIE)刻蚀聚合物层表面,方便探究不同深度的组分变化。经过衰减全反射红外光谱(ATR)和X射线光电子能谱仪(XPS)分析发现,聚合物中与液晶相容性较好的组分会富集在表面处,同时偏析效应在低光强下更加明显。由于这种组分偏析现象,聚合物墙液晶器件的阈值电压与响应时间都有所降低。

2 实 验

2.1 试剂与仪器

实验用的材料包括:正性向列相液晶 Y07 (在 25 °C, $\Delta n = 0.158$, $\Delta \epsilon = 22.3$)、光引发剂苯偶氮甲醚(BME; TCI, 日本),二向色性染料 RL-014 ($\alpha_{//} = 31 \mu\text{m}^{-1}$, $\alpha_{\perp} = 3.1 \mu\text{m}^{-1}$; 江苏和成新材料有限公司);可聚合单体甲基丙烯酸乙酰乙酸乙二醇双酯(AAEM; 长兴化学材料有限公司)、甲基丙烯酸三氟乙酯(TFEMA; 长兴化学材料有限公司)。聚苯乙烯(PS)购自阿拉丁。所有材料均直接使用,无需进一步纯化。AAEM 和 TFEMA 单体的化学结构如图 1 所示。

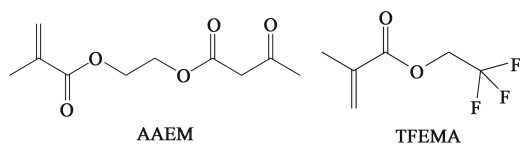


图 1 单体 AAEM 和 TFEMA 的结构

Fig.1 Structure of the monomers for AAEM and TFEMA

由金相显微镜观察聚合物墙的结构(Leica DM2500 M)。用接触角测量仪(SCA20)测量接触角。通过 AAEM 和 TFEMA 的核磁共振谱(VNMRS600, 美国)特征峰面积的积分可以计算单体消耗率,使用扩展的 K-T 法计算反应率。利用傅里叶红外光谱仪(FTIR)的衰减全反射(ATR)组件和 X 射线光电子能谱仪(XPS)(Nicolet, 美国; ESCALAB250Xi, 美国)对聚合物表面组分进行分析。

2.2 实验

PS/BME 溶液 ($\omega(\text{PS}) : \omega(\text{BME}) = 50 : 1$) 在

玻璃载玻片上以 1 000 r/min 的转速旋涂 50 s。将液晶和单体混合物 ($\omega(\text{Y07}) : \omega(\text{HFMA}) : \omega(\text{PHEMA}) = 8 : 1 : 1$) 滴在 PS/BME 涂层上,在 18 °C 下,从载玻片下方以 5 mW/cm² 的紫外光强聚合 0.5 h。然后,将样品放置在正己烷中浸泡 5 h 以洗去液晶。将聚合物膜置于反应室中进行反应离子蚀刻(射频功率 200 W, O₂ 10 Pa),持续 5 min。

制备聚合物墙液晶器件的材料配比为 $\omega(\text{Y07}) : \omega(\text{PHEMA}) : \omega(\text{HFMA}) : \omega(\text{BME}) : \omega(\text{RL-014}) = 40 : 5 : 5 : 2 : 1$ 。利用毛细作用将上述 LCs 混合物注入液晶盒(反平行取向)中。液晶盒盒厚由 5 μm 间隔子控制。灌满液晶盒后将光掩模版放置在液晶盒的顶部,在 10 mW/cm² (365 nm) 的紫外光下曝光 1 h。光掩模版的图案为边长 200 μm 的正方形,相互间隔 30 μm ,间隔部分透光,其余部分不透光。

3 结果与讨论

3.1 相容性对表面组分的影响

为探究单体与向列相液晶 Y07 间的相容性对聚合物表面组成的影响,本文采用 Teas 参数表征相容性^[7-8]。一般情况下,单体分子与液晶分子间的相容性随两者 Teas 参数间的差值(Δf)的增加而降低。AAEM 和 TFEMA 分子与 Y07 分子间的 Δf 值分别为 0.187 和 0.046。这说明 TFEMA 单体与液晶分子的相容性更好。为了排除其他因素的影响,AAEM 和 TFEMA 的聚合动力学和与单体聚合后的聚合物的表面能(即 PAAEM 和 PTFEMA)应近似。通过接触角测量仪测出 PAAEM 和 PTFEMA 的 H₂O 和 CH₂I₂ 的接触角并通过二元法计算其表面能,结果发现 PAAEM 和 PTFEMA 的表面能分别为 28.2 mJ/m² 和 27.6 mJ/m²,说明二者的表面能十分接近^[9]。利用核磁共振谱图计算发现 AAEM 和 TFEMA 的单体消耗率非常接近。用扩展的 K-T 法计算二者之间的竞聚率分别为 0.92 和 1.04,同样十分相似^[10-12]。

由于聚合物墙结构不利于探究表面组成,因此本文采用表面引发的方法,形成与液晶分层的聚合物膜,并且为了可以探究聚合物不同深度的

成分组成信息,将表面引发得到的样品进行反应离子刻蚀^[13-16]。分两步刻蚀,每步刻蚀 5 min,将不同深度表面分别命名为 R0、R5 和 R10,如图 2 所示。

单体 AAEM 和 TFEMA 在组成上的区别在于 AAEM 具有较多的羰基($C=O$),而 TFEMA

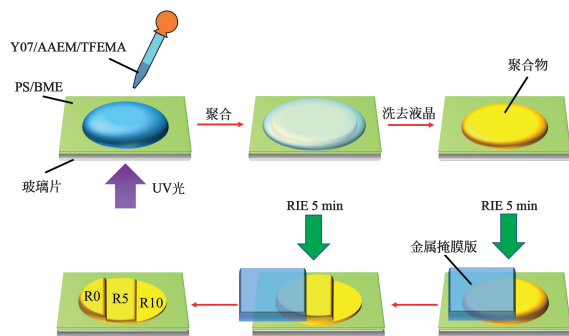


图 2 表面引发以及 RIE 过程

Fig.2 Surface initiation and RIE process

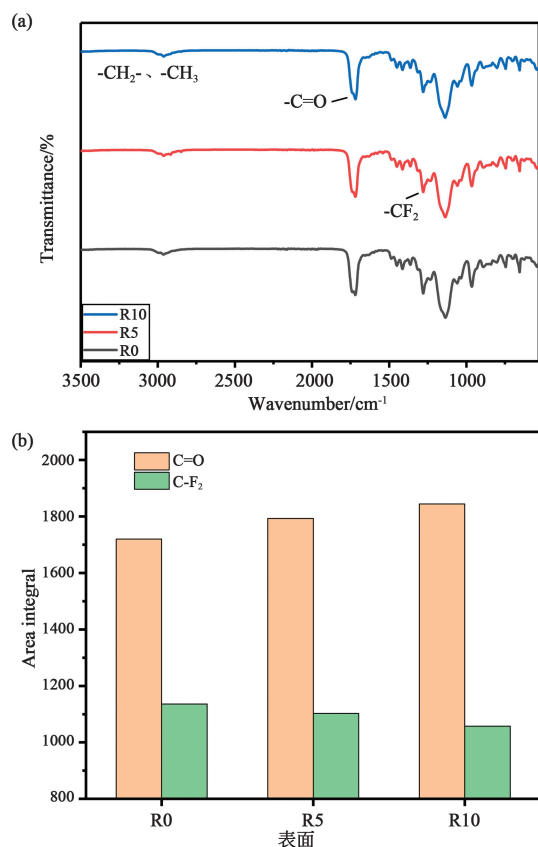


图 3 R0、R5 和 R10 的 ATR 图谱(a)以及 AAEM 和 TFEMA 的特征峰面积积分(b)。

Fig.3 ATR spectra of R0, R5 and R10 (a), and the characteristic peak area integrals of AAEM and TFEMA (b).

特有氟元素(F),可以针对这些特征官能团进行组分的探究。在反应离子刻蚀后的样品中,R0、R5 和 R10 代表了不同深度的表面,对其进行红外分析,在 $C=O$ 和 $C-F_x$ 处分析并得出成分组成的信息。如图 3(a),R0、R5、R10 的曲线在 $1100\sim 1400\text{ cm}^{-1}$ 之间呈现出非常宽的波段,这对应于 $-C-F_x$ 基团。在 $2854\sim 2941\text{ cm}^{-1}$ 和 1456 cm^{-1} 处的是 CH_2 和 CH_3 的拉伸和弯曲吸收峰。AAEM 和 TFEMA 中都存在醚键($C-O-C$),位置处于 1106 cm^{-1} 左右^[17-18]。羰基位于 1730 cm^{-1} ,这是 AAEM 特征吸收峰,并且从 R0 到 R10 该特征峰峰强逐渐增加。 $1176\text{ cm}^{-1}\sim 1169\text{ cm}^{-1}$ 是 $-C-F_2$ 的吸收带,是 TFEMA 的特征官能团之一,这部分峰的峰强从 R0 到 R10 呈现下降的趋势。为了进一步了解表面组分信息,对 $C=O$ 和 $-C-F_2$ 处的特征峰进行积分并对比,如图 3(b)。可以看出,随着 RIE 时间的增加, $C=O$ 含量逐渐增加,也就是说 PAAEM 组分在聚合物-液晶界面处含量比远离界面处的含量低。相反, $-C-F_2$ 的积分面积随着 RIE 时间的增加而降低,说明 PTFEMA 组分在界面处富集。这种组分的不均一以及 PTFEMA 在界面处的偏析,说明与液晶相容性好的组分会更容易在聚合物-液晶的界面处聚集。

3.2 聚合光强对表面组分的影响

上述说明了单体与液晶的相容性会影响聚合物墙表面的组分构成,一方面可以通过选取相容性相差较大的单体对聚合物表面组分进行调控,另一方面也可以通过控制聚合-相分离过程影响表面组成。在聚合物分散液晶器件中,改变聚合光强会使得聚合物形貌和相分离程度发生变化。因此,在不同光强下进行表面引发,探究光强对聚合物墙在与液晶的界面处组分的影响。AAEM 和 TFEMA 两个单体中,AAEM 含有更多的碳元素(C),而仅有 TFEMA 含 F 元素,通过 XPS 对 F 和 C 的含量进行分析可以推断出聚合物墙表面组成。

XPS 结果如图 4(a)~(d)所示,C1s、O1s 和 F1s 的峰位置分别在 284.6 eV 、 531.6 eV 和 684.9 eV ^[19-21]。由于 RIE 用的是 O_2 ,这会导致表面氧元素含量略有变化,所以不考虑氧元素。对比碳和氟元素的峰强可以看出,在聚合光强不同时表面元素发生了较大程度的变化,而且随着光强从 5 mW/cm^2

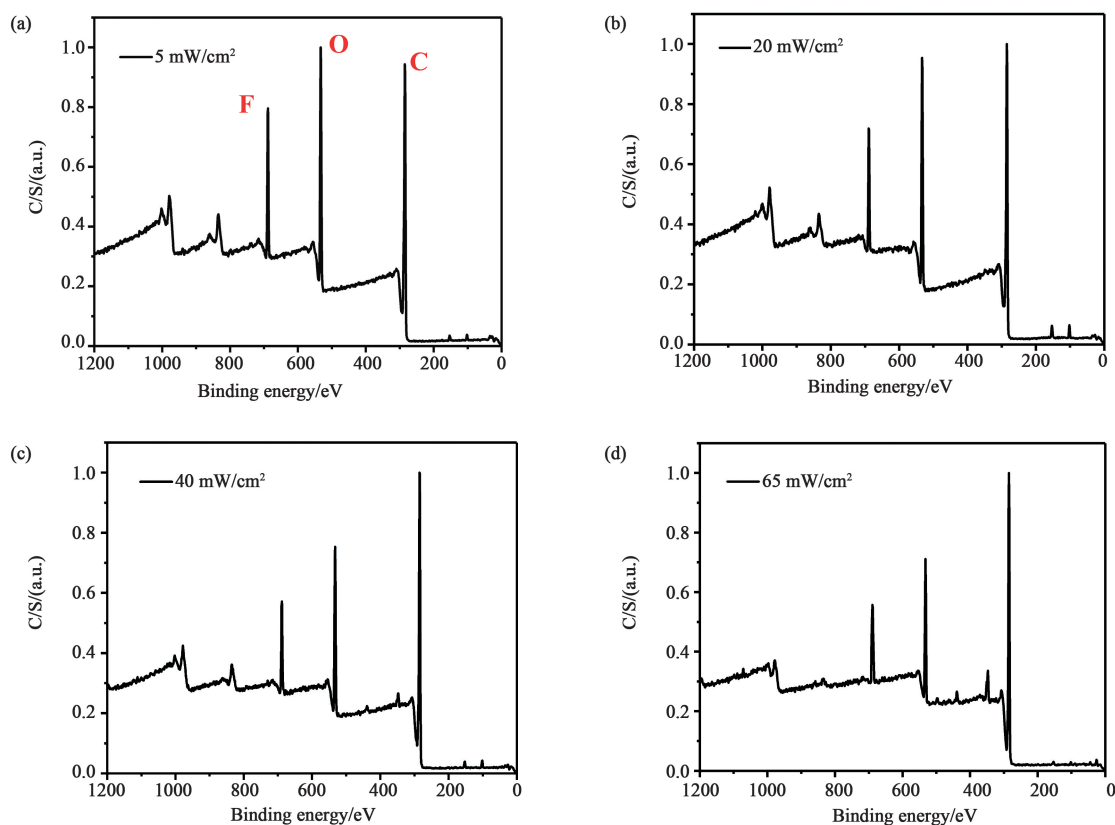


图4 分别在 10 mW/cm^2 (a)、 20 mW/cm^2 (b)、 45 mW/cm^2 (c) 和 70 mW/cm^2 (d) 的紫外光强下制备样品的 XPS 谱图。
Fig.4 XPS spectra of samples prepared under 10 mW/cm^2 (a), 20 mW/cm^2 (b), 45 mW/cm^2 (c) and 70 mW/cm^2 (d) UV intensities.

增加到 65 mW/cm^2 , 样品表面的 C 含量逐渐增加, 而 F 含量呈现下降的趋势。也就是说, 在低光强下聚合时, 样品表面中的 PAAEM 含量比在高光强下的少, 而 PTFEMA 的含量变化相反, 在低光强下的含量更高。具体的元素含量以及通过该数据计算出的表面组成占比列于表 1。

在表 1 中, 理论计算值为质量比为 1:1 均匀混合时 AAEM 和 TFEMA 的元素与聚合物摩尔占比, 实际测量值为 XPS 所测得的数值, 并以此计算出聚合物占比。随着聚合光强增加, C 的摩

尔占比从 77.9% 增加到 81.5%, 而理论值最高, 占比为 82.2%。相反地, F 的元素占比从 22.1% 下降到 18.5%, 理论计算值最低, 占比为 17.8%。通过计算得出的聚合物占比和元素占比的规律一致, 与液晶相容性较好的 PTFEMA 在 5 mW/cm^2 低光强下的含量为 68.5%, 要比理论值多出 12.4%, 而在 65 mW/cm^2 高光强下的含量降低到 57.9%, 与理论计算值接近。而与液晶相容性较差的 PAAEM 组分含量随聚合光强的增加从 31.5% 增加到 42.1%。

表 1 在不同紫外光强下制备样品的元素和聚合物占比

Tab.1 Proportion of elements and polymers in the samples prepared under different UV intensities

元素	理论计算值	组分摩尔百分比/%			
		实际测量值/($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)			
		5	20	40	65
C	82.2	77.9	80.6	81.3	81.5
F	17.8	22.1	19.4	18.7	18.5
PAAEM	43.9	31.5	39.3	41.5	42.1
PTFEMA	56.1	68.5	60.7	58.5	57.9

总结来说,在低光强下,与液晶相容性好的组分会偏析到聚合物-液晶的界面处,并且随着聚合光强的增加,这种偏析现象逐渐减弱直至与均匀混合时的占比接近。这可能与聚合速度有联系,在一般的光聚合中,聚合速度与光强成正相关。低聚合光强时,聚合速度慢,与液晶相容性较好的单体和低聚物有充分的时间在热力学(相容性差异)的推动下进行迁移,偏析到界面处。

3.3 聚合光强对聚合物墙液晶器件光电性能的影响

聚合物表面组成会受到聚合光强的影响,因此可以控制聚合光强以改变聚合物墙表面组成,实现对聚合物墙液晶器件性能的调控。本文采取光掩膜法,在 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下分别用 $10, 20, 45, 70\text{ mW/cm}^2$ 的紫外光强进行聚合物墙液晶器件的制备。将制备好的器件放置在正交偏光显微镜下观察。如图 5 所示,由于 AAEM 和 TFEMA 单体的结构不规则且刚性较大,其聚合物很难结晶,所以在正交偏光下无法有光透过,聚合物墙呈现黑色。液晶具有双折射性,可以在正交偏振偏光显微镜下观察到亮态。从图中可以看出液晶呈现边长约为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 的正方形,被厚度约为 $30\text{ }\mu\text{m}$ 的聚合物墙隔开。制备器件时的聚合光强不同,但形成

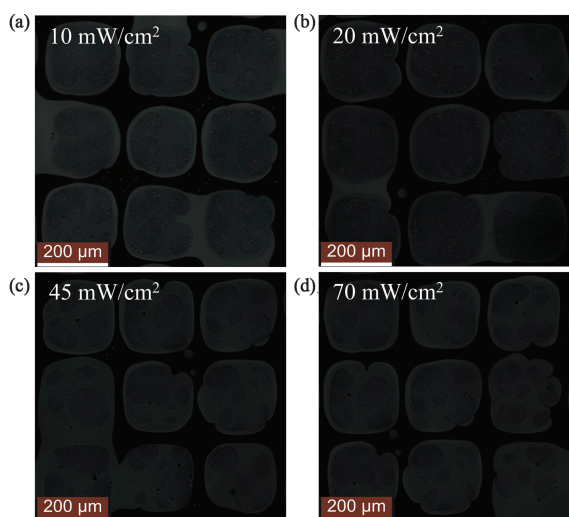


图 5 分别在 10 mW/cm^2 (a)、 20 mW/cm^2 (b)、 45 mW/cm^2 (c) 和 70 mW/cm^2 (d) 的紫外光强下制备聚合物墙的偏振光显微镜图像。

Fig.5 Polarized microscopy images of polymer wall films prepared under 10 mW/cm^2 (a)、 20 mW/cm^2 (b)、 45 mW/cm^2 (c) and 70 mW/cm^2 (d) UV intensities.

的聚合物墙的结构和液晶的排列状态均相似,这样不会因为聚合物墙的形状而对器件性能产生影响,干扰到实验结果的分析。

聚合物墙液晶器件是由 $5\text{ }\mu\text{m}$ 反平行取向的液晶盒制备的。如图 6(a) 所示,在液晶中掺入了蓝色二色性染料,由于宾主效应,未加电压时二色性染料随液晶平行取向,吸收一定波长的光,从而通过器件观察到蓝色。加上 5 V 电压后染料随液晶垂直取向,其吸收的光较少,呈现透明状态。在不同紫外光强下聚合制备了聚合物墙液晶器件,其 V - T 变化如图 6(b) 所示,由于形成的聚合物墙结构相似,所以其初始透过率基本一致,同时加电后的透过率也基本相同。但是,各器件的阈值电压略有差别,随着聚合光强的增加而增加,而饱和电压相近。具体的阈值电压和饱和电压数值列于表 2,同时测量了各器件的响应时间和弛豫时间。

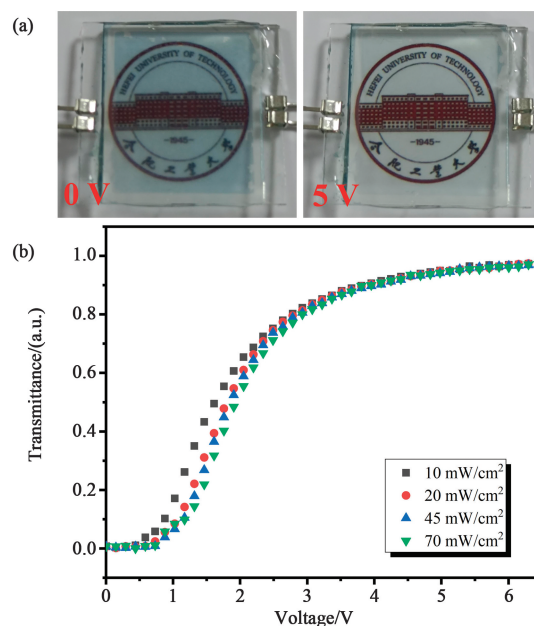


图 6 在 0 V 和 5 V 电压下聚合物墙液晶器件的透过率变化(a)以及不同光强下制备器件的 V - T 图(b)。

Fig.6 Variation of transmittance of polymer wall liquid crystal devices at 0 V and 5 V (a) and V - T plots of devices prepared at different light intensities (b).

从表 2 可以看出,聚合光强从 10 mW/cm^2 到 70 mW/cm^2 ,阈值电压从 0.879 V 增加到 1.172 V ,增长了 17.2% 。饱和电压同样呈现增长的趋势,但仅仅增长了 3.4% 。这种增长可能是

因为聚合物表面 PTFEMA 的富集。由于 TFEMA 与液晶的相容性比 AAEM 的高,在低光强聚合时,PTFEMA 迁移到聚合物墙-液晶处,这使得液晶所受到的锚固力主要来自 PTFEMA。PTFEMA 中含氟元素,其表面能比 PAAEM 的略低,造成对液晶的锚固力降低,液晶更易在电场

的驱动下偏转,阈值电压与饱和电压也随之降低。同理,由于低光强下聚合物墙表面具有较低的锚固能,而随着聚合光强的增加,组分偏析效应减弱,聚合物对液晶的锚固能有所增长,响应时间略有增加,撤去电场后液晶的回复速度也更慢,弛豫时间从 67.8 ms 降低到 57.5 ms。

表 2 在不同紫外光强下制备器件的光电参数
Tab.2 Electro-optical properties of device prepared under different UV intensities

聚合光强/(mW · cm ⁻²)	阈值电压/V	饱和电压/V	响应时间/ms	弛豫时间/ms
10	0.879	3.851	20.6	67.8
20	1.069	3.880	23.4	63.9
45	1.157	3.969	27.2	58.4
70	1.172	3.983	28.3	57.5

4 结 论

本文根据现代液晶显示技术对柔性的需求,探究了聚合物墙液晶器件中界面组成的影响。通过表面引发的方法制备了与液晶分层的聚合物膜,并以此探究了单体与液晶的相容性对聚合物墙表面组成的影响,并进一步探究了聚合光强对表面组分的调控。以此为基础,提出了对聚合物墙液晶器件光电性能的调控方法。通过研究发

现,与液晶相容性好的组分会偏析到聚合物墙-液晶的界面处,而且随着聚合光强的减弱,这种组分偏析效应越明显。在低聚合光强时表面 PTFEMA 组分的含量比均匀混合时的理论计算值高 12.4%。利用这种光强调控表面组分的方法,对聚合物墙液晶器件的光电性能进行调控优化。在低聚合光强下制备器件的阈值电压、饱和电压和响应时间均有所降低,其中阈值电压降低了 0.293 V,响应时间减少了 7.7 ms。这对聚合物墙液晶柔性显示提出了新的改善方法。

参 考 文 献:

[1] 张天翼,许军,董佳垚.胆甾型液晶显示技术和产业发展[J].液晶与显示,2011,26(6):741-745.
ZHANG T Y, XU J, DONG J Y. Overview of technology and industry for cholesteric liquid crystal display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(6): 741-745. (in Chinese)

[2] KAWAMORITA S, SHIBATA Y, ISHINABE T, *et al.* Formation of polymer wall structure on plastic substrate by transfer method of fluororesin for flexible liquid crystal displays [J]. *IEICE Transactions on Electronics*, 2018, E101.C(11): 888-891.

[3] BÜYÜKTANIR E A, GHEORGHIU N, WEST J L, *et al.* Field-induced polymer wall formation in a bistable smectic-A liquid crystal display [J]. *Applied Physics Letters*, 2006, 89(3): 031101.

[4] KAWAMORITA S, SHIBATA Y, ISHINABE T, *et al.* Formation of polymer walls by monomer aggregation control utilizing substrate-surface wettability for flexible LCDs [J]. *IEICE Transactions on Electronics*, 2017, E100.C(11): 1005-1011.

[5] SATO H, FUJIKAKE H, IINO Y, *et al.* Flexible grayscale ferroelectric liquid crystal device containing polymer walls and networks [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2002, 41(8R): 5302-5306.

[6] JUNG J W, PARK S K, KWON S B, *et al.* Pixel-isolated liquid crystal mode for flexible display applications [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2004, 43(7R): 4269-4272.

- [7] 周梦怡, 陆红波, 谢学文, 等. 联萘偶氮苯环状手性剂的制备及其光异构化过程[J]. 液晶与显示, 2019, 34(5): 465-471.
- ZHOU M Y, LU H B, XIE X W, *et al.* Preparation and photoisomerization process of dinaphthalene azobenzene cyclic chiral dopant [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(5): 465-471. (in Chinese)
- [8] STEFANIS E, PANAYIOTOU C. Prediction of Hansen solubility parameters with a new group-contribution method [J]. *International Journal of Thermophysics*, 2008, 29(2): 568-585.
- [9] DESHMUKH R R, SHETTY A R. Comparison of surface energies using various approaches and their suitability [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 107(6): 3707-3717.
- [10] FINEMAN M, ROSS S D. Linear method for determining monomer reactivity ratios in copolymerization [J]. *Journal of Polymer Science*, 1950, 5(2): 259-262.
- [11] TÜDOS F, KELEN T, FÖLDES-BEREZSNICH T, *et al.* Analysis of linear methods for determining copolymerization reactivity ratios. III. Linear graphic method for evaluating data obtained at high conversion levels [J]. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 1976, 10(8): 1513-1540.
- [12] MAHDAVIAN A R, ABDOLLAHI M, MOKHTABAD L, *et al.* Kinetic study of radical polymerization. IV. Determination of reactivity ratio in copolymerization of styrene and itaconic acid by ^1H -NMR [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 101(3): 2062-2069.
- [13] RANJKESH A, YOON T H. Fabrication of a single-substrate flexible thermoresponsive cholesteric liquid-crystal film with wavelength tunability [J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, 11(29): 26314-26322.
- [14] CHEN X H, TOLBERT L M, HENDERSON C L, *et al.* Polymer pattern formation on SiO_2 surfaces using surface monolayer initiated polymerization [J]. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, 2001, 19(6): 2013-2019.
- [15] MIRONOVA A A, POPOV A M, ZANAVESKIN M L. Effect of reactive ion etching on the surface of polymethylmethacrylate [J]. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2015, 9(3): 457-461.
- [16] NABESAWA H, HITOBO T, WAKABAYASHI S, *et al.* Polymer surface morphology control by reactive ion etching for microfluidic devices [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 132(2): 637-643.
- [17] KIM D H, LEE Y H, PARK C C, *et al.* Synthesis and surface properties of self-crosslinking core-shell acrylic copolymer emulsions containing fluorine/silicone in the shell [J]. *Colloid and Polymer Science*, 2014, 292(1): 173-183.
- [18] CHEN J X, GARDELLA J A. Quantitative ATR FT-IR analysis of surface segregation of polymer blends of polystyrene/poly(dimethylsiloxane)co-polystyrene [J]. *Applied Spectroscopy*, 1998, 52(3): 361-366.
- [19] ZHANG Y, LIN R Q, SHI Y, *et al.* Synthesis and surface migration of polydimethylsiloxane and perfluorinated polyether in modified waterborne polyurethane [J]. *Polymer Bulletin*, 2019, 76(11): 5517-5535.
- [20] LUKÁŠ J, SODHI R N S, SEFTON M V. An XPS study of the surface reorientation of statistical methacrylate copolymers [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1995, 174(2): 421-427.
- [21] TON-THAT C, SHARD A G, TEARE D O H, *et al.* XPS and AFM surface studies of solvent-cast PS/PMMA blends [J]. *Polymer*, 2001, 42(3): 1121-1129.

作者简介:



夏 祥(1995—),男,安徽合肥人,硕士研究生,2017 年于华北科技学院获得学士学位,主要从事光电高分子材料方面的研究。E-mail: xiaxiang924@126.com



陆红波(1979—),男,安徽合肥人,博士,研究员,2006 年于中国科学技术大学获得博士学位,主要从事新型液晶材料及器件的研究。E-mail: bozhilu@hfut.edu.cn