

文章编号:1007-2780(2016)11-1017-06

取向层厚度及介电常数对 TN-LCD 影响的研究

郭玉强,王翼飞,刘建龙,王 森,马红梅,孙玉宝*

(河北工业大学 应用物理系,天津 300401)

摘要:在具有高驱动电压的液晶显示器中,为了对液晶器件起到保护作用,以采用增加取向层厚度的方法来解决某些显示器件由于驱动电压过高导致的问题。当取向层厚度不可忽略时,随着取向层厚度增加会导致器件驱动电压升高。本文利用扭曲向列相液晶显示器结构,通过模拟和实验分析了取向层厚度对 LCD 的影响以及不同介电常数的取向层对 LCD 的影响。结果表明:当取向层的介电常数大于 20 时,能够有效降低 TN-LCD 驱动电压。当其介电常数大于 500 时,其厚度变化对驱动电压的影响变得很小。本文结果对降低高驱动电压液晶器件的驱动电压有重要的指导性意义。

关键词:液晶显示器;取向层;介电常数;驱动电压

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163111.1017

Effect of thickness and dielectric constant of alignment layer on the TN-LCD

GUO Yu-qiang, Wang Yi-fei, LIU Jian-Long,
WANG Sen, MA Hong-mei, SUN Yu-bao*

(Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In order to protect the LC and devices with high operating voltage, the thicker thickness of the alignment layer is used. When the thickness of the alignment layer can not be neglected, the increasing of the alignment layer's thickness leads to the increasing of the operating voltage. The influences of the thickness and dielectric constant of the alignment layer on LCD are researched in simulation and experiment based on twist nematic liquid crystal display (TN-LCD). The results show that the operating voltage can be reduced effectively when the dielectric constant of the alignment layer is larger than 20, a little effect of the various thickness on the operating voltage can be seen when the dielectric constant is larger than 500. The result has an important significance for reducing the operating voltage of liquid crystal device with high operating voltage.

Key words: LCD; alignment layer; dielectric constant; operating voltage

收稿日期:2016-07-07;修订日期:2016-08-15.

基金项目:国家自然科学基金(No. 11304074, 61475042, 11274088);河北省自然科学基金(No.A2015202320);河北高校重点学科建设项目(No.GCC2014048)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 11304074, 61475042, 11274088); Natural Science Foundation of Hebei Province (No.A2015202320); Key Subject Construction Project of Hebei Province University (No.GCC2014048)

* 通信联系人, E-mail: yubao_sun@hebut.edu.cn

1 引言

扭曲向列相液晶显示器件(TN-LCD: Twist Nematic Liquid Crystal Display)中的液晶分子指向矢是 90°均匀扭曲的。实现这种扭曲需要将两片带有取向层的导电玻璃通过摩擦工艺实现正交取向,这样紧贴上下基板的正性棒状液晶分子的指向矢能够实现 90°取向差,中间层液晶分子指向矢由于分子间相互作用而呈现 90°均匀扭曲^[1]。而且在共面转换模式^[2](IPS: In Plane Switching)、边缘场模式^[3](FFS: Fringe Field Switching)器件中,也需要取向层对表面液晶分子取向。虽然蓝相液晶显示器(BP-LCD: Blue Phase-LCD)从显示原理上来说不需要定向层,可 BP-LCD 驱动电压较高,为了保护聚合物蓝相液晶分子,通常也需要绝缘层。

取向层在 LCD 中能够起到:(1)对表面液晶分子指向矢取向;(2)隔离导电氧化铟锡与液晶材料,防止液晶材料变质;(3)隔离导电结构等作用。通常聚合物分散液晶(PDLC: Polymer Dispersed Liquid Crystal)器件、蓝相液晶显示器(BP-LCD)的驱动电压比较高。这时,增加取向层的厚度是防止器件电击穿的一个简单方法。田园等人的研究表明:当液晶层厚度一定而且取向层厚度又不可忽略时,取向层厚度对液晶显示器件中电场分布有影响。这是由于取向层中存在电场从而影响液晶盒整体的电场分布,这就直接影响了 LCD 的电光特性^[4]。

高相对介电常数(后文统称为:介电常数)材料具有良好的储能和均匀电场的作用,在电气、电子特别是电容器、电机、储能元件等领域有着重要的应用潜能^[5-8]。由于高介电常数材料可以明显

改变空间电场分布,所以高介电常数材料在场致液晶显示器件中也有着很好的应用前景。孙玉宝等人通过在 IPS-BP-LCD 的电极上方制作高介电常数材料层,使得液晶层中的电场分布得到明显改善,从而有效地降低了其驱动电压^[9]。

Dang Z M 等人基于渗流理论向聚酰亚胺中添加导电银颗粒。当银的体积比例是 12.5%时,复合材料的相对介电常数大于 200(1 kHz)。同时,向聚酰亚胺中添加钛酸锶钡、钛酸钡、碳纳米管、聚苯胺等介电或导电材料均可以提升复合材料的介电常数^[5]。Zhang Q M 等人制备的聚苯胺(PANI: Poly aniline)-偏氟乙烯/三氟乙烯/三氟氯乙烯(PVDF-TiFE-CTFE)复合材料的介电常数能够超过 7 000 (100 Hz)^[5-6]。Huang C 等人将 PANI 与基底 PVDF-TiFE-CTFE 共混制备了复合材料。室温下,PANI 的质量比例是 12.7%的 PANI-PVDF-TiFE-CTFE 共聚物的介电常数比基底聚合物提高了约 10 倍,并且 PANI 质量比例是 23%的共聚物的介电常数接近 2 000(100 Hz)^[8]。

本文以 TN-LCD 为模型,基于渗流理论制备 PANI-PVDF-PI 复合材料,将复合材料应用于 LCD 的取向层中。通过模拟和实验的方法,从取向层厚度、取向层介电常数入手,研究取向层参数对 LCD 的影响。

2 模拟

2.1 软件模拟

采用 TechWiz 3D(Sanayi System Co., Ltd., Korea)软件模拟该液晶显示器中的指向矢分布,使用琼斯矩阵方法模拟光学特性,其中各个结构的材料参数如表 1,LCD 的结构如图 1。图 1 中:

表 1 LCD 中各结构的特性参数
Tab.1 Parameter of Structures in LCD

Item	N		ϵ		K (pN)	d (μm)
	n_e	n_o	$\epsilon_{//}$	$\epsilon_{\perp}$		
LC	1.576 3	1.479 4	19.7	6.7	$K_{11}=6.4$ $K_{22}=3.0$ $K_{33}=10.0$	5.0
P/A	$1.5+0.001929i$		/	/	/	230.0
ITO	1.7		/	/	/	0.1
Glass	1.5		4.5	/	/	0.1

(a)为不加电压时,液晶分子指向矢分布示意图,(b)为关态电压下指向矢分布示意图。模拟采用 E 模式常白 LCD,上下偏光片的透光轴垂直,中间液晶分子均匀扭曲 90° (左旋),预倾角为 3° 。

软件模拟的流程如下:

首先,由被加在两侧电极的电压以及电极间距,解拉普拉斯方程:

$$\nabla(\epsilon \cdot \nabla\Phi) = 0 \quad (1)$$

通过解拉普拉斯方程,可以得到器件中电势分布,再通过电势与电场的关系:

$$E = -\nabla\Phi, \quad (2)$$

得到器件中的电场分布,再由电场力矩和分子力矩的平衡关系得到指向矢分布和相位延迟,然后得到器件的电光特性。

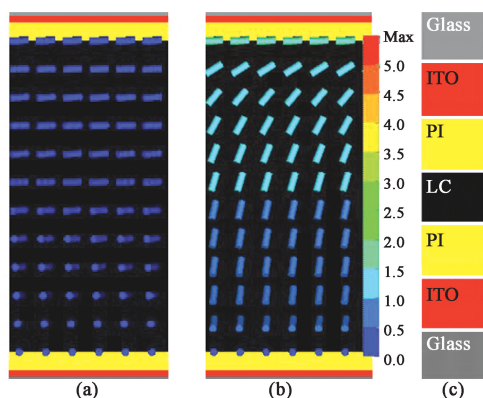


图 1 (a)开态 LCD 结构;(b)关态 LCD 结构;(c)a,b 中各层颜色所对应的结构名称

Fig.1 Structures of (a) on-state TN-LCD, (b) off-state TN-LCD; (c) Explanatory text of (a) & (b).

2.2 模拟结果

一般地,LCD 的取向层厚度小于 $0.1 \mu\text{m}$ 。由于某些高驱动电压的器件可以采用增厚取向层的方法起到绝缘和取向的作用,同时为了使实验操作更简单、结论更清晰,本文将取向层模拟至几百纳米以说明其参数对 LCD 的影响。

2.2.1 取向层厚度对驱动电压的影响

图 2 是采用介电常数为 3.8 的取向层模拟的结果,其中取向层的厚度分别选取: $0.1 \sim 0.8 \mu\text{m}$,右上角为各个取向层厚度对应的驱动电压。当相对透过率为 10% 时,各个厚度对应的驱动电压分别是:1.45 V, 1.70 V, 1.90 V, 2.1 V, 2.3 V, 2.5 V, 2.7 V, 2.9 V。从中可以看出随着取向层厚度的增加,LCD 的驱动电压也随之增加。并且取向

层厚度与对应的驱动电压近似是线性变化的,这一点也可以在 2.2.3 章节说明。经过验证,TN-LCD 的驱动电压符合以下经验公式:

$$V_{\text{off}} = V_0 + A_{(K)} d \quad (3)$$

其中: V_{off} 是 LCD 变为暗态的驱动电压; V_0 是取向层厚度为零的极限条件下对应的驱动电压; $A_{(K)}$ 是与取向层介电常数和器件有关的变量,本模拟条件下,当介电常数为 3.8 时, $V_{\text{off}} = 1.24 \text{ V}$, $A_{(3.8)} = 2.06$; d 是取向层厚度。

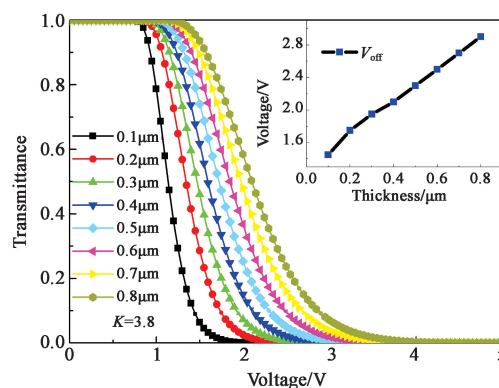
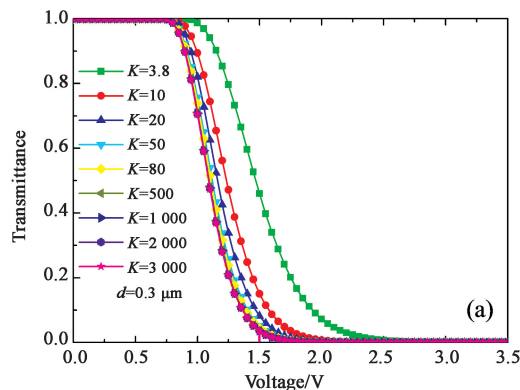


图 2 介电常数为 3.8,取向层厚度变化对应的电光特性曲线

Fig.2 Voltage dependent transmittance curves of different thickness of alignment layer, when $K = 3.8$

2.2.2 取向层介电常数对器件的影响

图 3 是取向层厚度为(a) $0.3 \mu\text{m}$;(b) $0.7 \mu\text{m}$ 时,不同介电常数对应的电光特性曲线图。由图 3(a)可知,当取向层厚度为 $0.3 \mu\text{m}$ 时,随着介电常数的增加(由 3.8 至 3 000) V_{off} 下降。当介电常数大于 20 时,区别已经不再明显。事实上,随着介电常数的增加 V_{off} 确实在下降,这一结论可以由图 3(b)中得出。



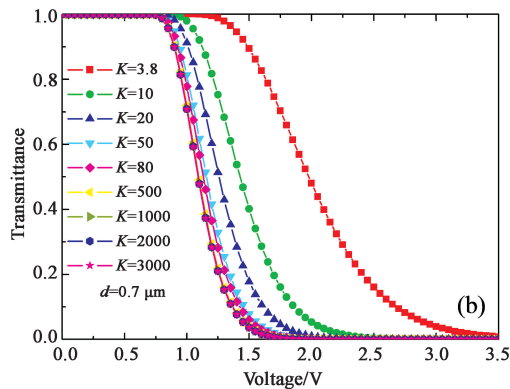


图 3 取向层厚度为(a)0.3 μm;(b)0.7 μm 时,不同介电常数对应的电光特性曲线

Fig.3 Voltage dependent transmittance curves of different K of alignment layer, when (a) thickness of alignment layer = 0.3 μm, (b) thickness of alignment layer = 0.7 μm

2.2.3 利用电场分布分析取向层参数对器件的影响

前文已经通过模拟计算说明取向层厚度和介电常数对 LCD 的影响。现仍然采用 0.3 μm 以及 0.7 μm 的取向层为例,用内部电场随盒厚变化关系分析 V_{off} 降低的原因。

图 4 是取向层厚度为(a)0.3 μm;(b)0.7 μm 的 LCD 中电场强度随取向层介电常数的关系。为了说明取向层对器件中电场的影响,器件的被加电压选取为各自的驱动电压。

图 4(a)中两侧蓝色虚点以外为透明导电玻璃基板,由于电场在液晶盒内部分布,且导体内部不存在电场,所以两侧蓝色虚点以外不存在电场。虚点与虚线之间为取向层;两条虚线之间为液晶层。对于中间的液晶层来说,由于器件具有相同的透过率,则需要液晶层有相同的指向矢分布,所以液晶层中的电场强度近似相同。

由图 4(a)可知,当 TN-LCD 的被加电压为各自的驱动电压时,液晶层中电场分布相似。而不同介电常数取向层所带来的最大区别就在两侧蓝色虚点与虚线所夹范围,这两个范围分别对应上下两层取向层。当取向层的介电常数为 3.8 时,取向层中平均电场强度为 0.96 V/μm,而液晶层中平均场强为 0.27 V/μm,相差 3.56 倍。当取向层的介电常数为 500 以上时,取向层中电场强度近乎为零。所以取向层的介电常数会直接影响取

向层中的电场分布,但几乎不影响 TN-LCD 的电场分布。这就使得取向层有不同介电常数的 TN-LCD 的驱动电压也不同。

由于取向层材料是介电各向同性材料,所以取向层中的电场分布是均一的,如图 4。取向层中的电压降为:

$$U_{\text{AL}} = E_{\text{AL}} \cdot d_{\text{AL}}, \quad (4)$$

其中: E_{AL} 为取向层中电场强度, d_{AL} 为取向层的厚度。当 E_{AL} 为常数时,取向层中的电压降是随着取向层厚度线性变化的。

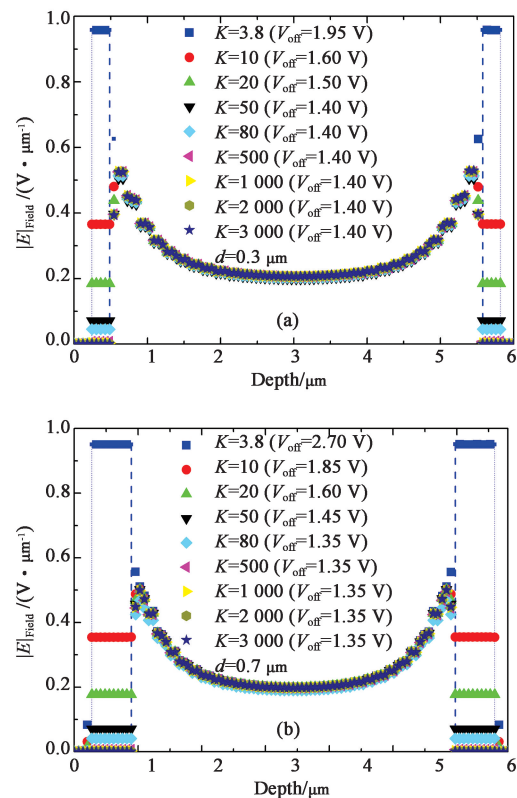


图 4 取向层厚度为(a)0.3 μm;(b)0.7 μm 时,器件内的电场强度分布

Fig.4 Curves of LCD depth dependent $|E|$ field, when (a) thickness of alignment layer is 0.3 μm, (b) thickness of alignment layer is 0.7 μm

由图 3、4 可知,当介电常数大于 500 时,取向层厚度变化对电场强度几乎没有影响。可是,工艺上获得高介电的材料是基于渗流理论。当掺杂材料比例增大时,材料的光学透过率急剧下降,而且相应的介电损耗也会增加。因此,获得介电常数在 20 左右的复合材料应用于 TN-

LCD 中时,既可以有效的降低器件的驱动电压,同时也可以避免高介电损耗对器件透过率的影响^[5-8]。图 5 是取向层介电常数为 20 时,取向层厚度变化对应的电光特性曲线。该条件下 V_{off} 的经验公式为:

$$V_{\text{off}} = V_0 + 0.36d, \quad (5)$$

其中: $V_0 = 1.372 \text{ V}$; $A_{(20)} = 0.36$, 该比例系数比 $A_{(3.8)}$ 小了一个数量级,因此高介电常数取向层的厚度变化对驱动电压影响较小。

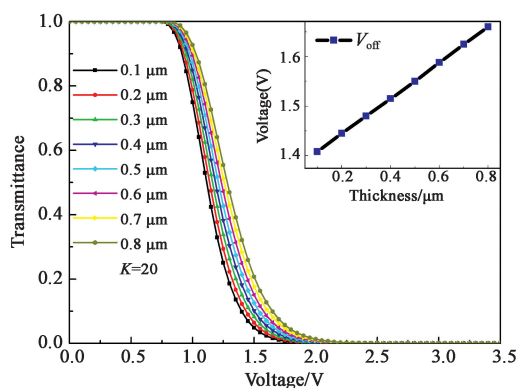


图 5 介电常数为 20,取向层厚度变化对应的电光特性曲线

Fig.5 Voltage dependent transmittance curves of different thickness of alignment layer, when $K = 20$

3 实 验

3.1 样品制备

LCD 的制备器材选用成都世纪中科仪器有限公司的系列产品; PANI 选用酷尔化学科技有限公司的 HP552954, 原始粒径小于 $30 \mu\text{m}$; PVDF 选用澳柯玛 721 ($K_{(100\text{Hz})} = 9.5$) 及 HSV900 ($K_{(100\text{Hz})} = 4.7$)。首先将 PANI 低温球磨 70 h, 然后将不同比例的 PANI、PVDF 添加至取向剂材料中。再通过磁力搅拌、超声分散、旋涂、预烘、坚膜、摩擦取向、喷洒间隔子、灌装液晶、封盒等工艺制备 LCD 样品, 同时预留待测复合材料以备测试。

3.2 性能测试

用 GW/INSTEK-LCR-6100 通过夹具测试预留复合材料的介电特性, 然后利用分光光度计测试复合材料和 TN-LCD 的光学特性。最后, 利用液晶综合参数测试仪测量器件的电光特性。

4 结果与讨论

室温下, 测试频率为 100 Hz 条件下测得 3 种复合材料的介电常数为 3.8 (PI), 4.5 (PI + PVDF_(HSV900)), 15.7 (PI + PVDF₍₇₂₁₎ + 3.96% PA-ND)。将复合材料应用到 TN-LCD 取向层中, 通过测试, 数据处理得到实验结果。

图 6(a) 是将浓度相同的介电常数为 3.8 的取向材料经过不同的旋涂次数制备成不同厚度的取向层的电光特性曲线; 图 6(b) 是将浓度相同、介电常数不同的取向材料经三次旋涂的电光特性曲线, 其中添加单次旋涂的结果用以参照。由图 6(a) 可知: 介电常数一定时, 取向层越厚对应的驱动电压越高。由图 6(b) 中 $K = 15.7$ 及 $K = 4.5$ 两条曲线可知: 取向层介电常数越大, 驱动电压越小。

图 7 是从上至下依次加上 4 种不同电压的 3

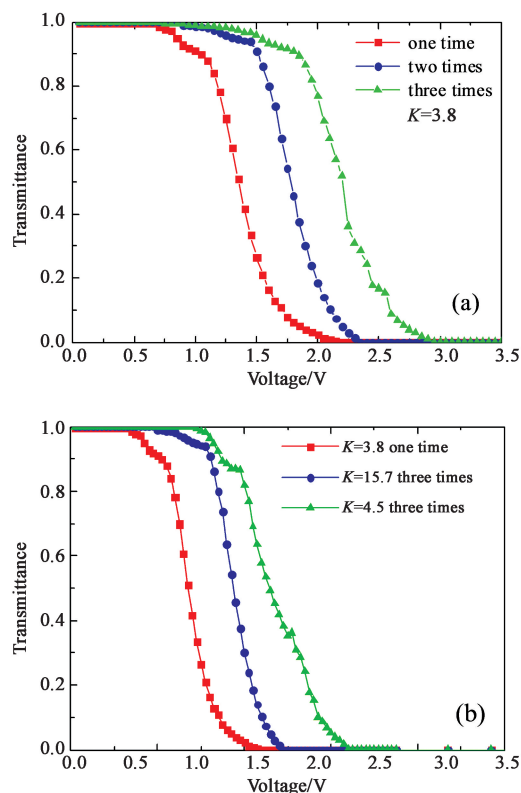


图 6 (a) 不同旋涂次数; (b) 不同介电常数取向层的电光特性曲线

Fig.6 Voltage dependent transmittance curves of different (a) time of spin coating, (b) dielectric constants

个常白型 TN-LCD 的测试结果图。每行被加电压相同,从上至下被加电压依次为 0 V, 1.7 V, 2.3 V, 5 V, 从左至右依次是: 单次旋涂 $K=3.8$ 取向层的 TN-LCD; 3 次旋涂 $K=3.8$ 取向层的 TN-LCD; 3 次旋涂 $K=15.7$ 取向层的 TN-LCD。对比图 7 第二行, 左图已经看不清背面字迹, 而中图



图 7 不同样品测试结果图

Fig.7 Test results of different samples

依然是亮态,说明增加取向层厚度会使驱动电压增高。对比图 7 第三行,左、右两图已经看不到背面字迹,而中图依然是亮态,说明增加取向层的介电常数确实能够降低驱动电压。实验结果与前文理论模拟结论一致。

5 结 论

当取向层介电常数一定时,随着厚度的增加,器件的驱动电压升高,并满足经验公式(3)的形式。当取向层厚度一定时,提高介电常数会降低器件的驱动电压。以 TN-LCD 为例,当取向层的介电常数为 20 左右时,复合材料性能良好,能够有效降低器件的驱动电压。取向层介电常数大于 500 时,其厚度变化对驱动电压的影响不再明显。本研究对降低其它显示模式(如蓝相液晶显示器、聚合物分散液晶显示器等)驱动电压的课题有重要的指导意义。Zhang Q M 等人基于渗流阈值的方法制备了高介电常数的复合材料。当复合材料中材料比例增大时,复合材料的透过率会降低,介电损耗会上升,这限制了高介电常数材料在液晶显示器件中的应用。今后可以从降低渗流阈值,更换低吸光率材料等方面进行研究。

参 考 文 献:

- [1] SCHADT M, HELFRICH W. Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal [J]. *Applied Physics Letters*, 1971, 18(4): 127-128.
- [2] OH-E M, KONDO K. The in-plane switching of homogeneously aligned nematic liquid crystals [J]. *Liquid Crystals*, 1997, 22(4): 379-390.
- [3] LEE S H, LEE S L, KIM H Y. Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching [J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 73(20): 2881-2883.
- [4] 田园, 张亚星, 孙玉宝. 取向层厚度对液晶层分压的影响[J]. *液晶与显示*, 2010, 25(4): 588-592.
TIAN Y, ZHANG Y X, SUN Y B. Effect of polyimide thickness on voltage grading of liquid crystal layer [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(4): 588-592. (in Chinese)
- [5] DANG Z M, ZHOU T, YAO S H, et al. Advanced calcium copper titanate/polyimide functional hybrid films with high dielectric permittivity [J]. *Advanced Materials*, 2009, 21(20): 2077-2082.
- [6] ZHANG Q M, LI H F, POH M, et al. An all-organic composite actuator material with a high dielectric constant [J]. *Nature*, 2002, 419(6904): 284-287.
- [7] ZHANG Q M, BHARTI V, ZHAO X. Giant electrostriction and relaxor ferroelectric behavior in electron-irradiated Poly (vinylidene fluoride-trifluoroethylene) copolymer [J]. *Science*, 1998, 280(5372): 2101-2104.
- [8] HUANG C, ZHANG Q M. Enhanced dielectric and electromechanical responses in high dielectric constant all-polymer percolative composites [J]. *Advanced Functional Materials*, 2004, 14(5): 501-506.
- [9] 孙玉宝, 刘建龙, 马红梅. 一种蓝相液晶显示器装置: 中国, CN105137677A [P]. 2015-12-09.
SUN Y B, LIU J L, MA H M. Blue-phase liquid crystal display device: China, CN105137677A [P]. 2015-12-09. (in Chinese)

作者简介: 郭玉强(1992—), 男, 河北承德人, 硕士研究生, 从事液晶器件方面研究。E-mail: guoyuqiang361@163.com