

文章编号:1007-2780(2018)09-0743-07

负性液晶材料电压保持率的研究

陈 潇

(默克光电材料(上海)有限公司, 上海 201206)

摘要:电压保持率(VHR)是表征液晶材料信赖性特性的重要参数之一,液晶材料的线残像特性与 VHR 相关。本文着重探讨了负性液晶材料在搭配不同 PI 材料,在不同电压、不同温度时 VHR 的表现。通过使用由不同 PI 材料制备的测试盒测量液晶材料在不同电压和温度下的 VHR,从而得出负性液晶材料在不同条件下 VHR 的变化趋势。实验结果表明,测试盒的 VHR 值受到液晶材料和 PI 材料的共同影响。 $|\Delta\epsilon|$ 较大的液晶材料 VHR 相对较低。在常温时,伴随充电电压升高,测试盒 VHR 呈下降趋势;而在高温时趋势相反,伴随充电电压升高,VHR 呈上升趋势。 $|\Delta\epsilon|$ 较高的液晶材料含有较多极性成分,易出现相对较低的 VHR。常温时,离子运动较慢,伴随充电电压升高测试盒离子析出持续增加,离子析出增加会使测试盒 VHR 呈下降趋势。而高温时,离子活性较强,测试盒会析出大量离子,而大量离子不纯物的存在会使液晶盒在充电放时产生直流电残留,伴随充电电压升高,直流电残留电会更加严重,因此导致测试盒伴随 VHR 呈上升趋势。

关键词:负性液晶;电压保持率;配相膜;电压;温度

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183309.0743

VHR study in negative dielectric anisotropy liquid crystal mixture

CHEN Xiao

(Merck Display Materials (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Voltage holding ratio is one important reliability property of liquid crystal mixture, especially relatively higher VHR value can generally relate to better line image sticking performance. In this paper, we focus on studying the effect of alignment material, charging voltage and temperature on LC mixture's VHR dependency. The experiment is based on test cell measurement result. We use test cell which is made by different PI material for measuring VHR of negative $\Delta\epsilon$ LC mixture in various voltage and temperature conditions. Experimental results indicate that test cell's VHR can be influenced by both LC material and PI material. First, the LC mixture with large $|\Delta\epsilon|$ has related low VHR. In room temperature measurement result, VHR goes down with charging voltage increasing. In high temperature, we have a reversed trend, VHR goes up with charging voltage increasing. Mixture with large $|\Delta\epsilon|$ has more polar component which may cause a related low VHR. In room temperature case, higher charging voltage generates more ionic impurity and the increasing of ionic impurity causes

收稿日期:2018-04-10;修订日期:2018-05-11.

* 通信联系人, E-mail: chenxiaolll@163.com

VHR drop. In high temperature case, test cell has much more ionic impurity naturally than room temperature and it causes a residual DC during test cell charge-release cycle. With the increasing of charging voltage, test cell shows VHR goes up and test cell's residual DC becomes much worse.

Key words: negative liquid crystal mixture; VHR; PI; voltage; temperature

1 引言

液晶显示器(LCD)因其体积小、重量轻、低辐射、功耗低且显示质量优异而获得了飞速发展,特别在便携式电子信息产品中获得广泛的应用。

伴随着液晶显示技术的日趋成熟,人们对 LCD 显示图像品质的要求也越来越高,而这一需求也促生了诸如高亮度、高对比度、快速响应、广视角、HDR 等技术不断问世,LCD 显示器画面显示品质也因此得到了长足的改善。特别需指出的是,在 LCD 分辨率日趋提升的同时像素尺寸进一步缩小,开口率降低,使得提升穿透率成为亟需解决的问题。为了改善这一状况大多选择使用负性液晶代替原有的正性液晶^[1-2]。而相对正性液晶,负性液晶在 FFS 模式下对穿透度提升有较大的帮助^[3],在色偏以及受垂直电场影响方面表现也较为出色^[1-2]。使用负性液晶的 FFS 技术也成为 LCD 显示技术新的创新点。

所谓“负性液晶”和“正性液晶”是指使用液晶材料介电常数差的“正”/“负”来对液晶材料分类。

液晶材料的介电具有平行于指向矢方向的 $\epsilon_{\parallel}$ 和垂直于指向矢方向的 $\epsilon_{\perp}$,介电常数差 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ 。负性液晶材料即指液晶材料的介电常数差为负数。 $\Delta\epsilon$ 取决于液晶分子本身以及指向矢的取向有序度。当液晶分子结构中不含永久偶极矩时,液晶介电各向异性主要决定于分子的极化度,其数值通常是比较小的,该类液晶的 $\epsilon_{\parallel}$, $\epsilon_{\perp}$ 和 $\Delta\epsilon$ 值都比较小。而具有比较大的介电各向异性的液晶分子在沿分子轴向含有强偶极矩。当液晶分子含有两个以上偶极矩时,其 $\Delta\epsilon$ 决定于分子永久偶极矩的矢量和,同向时, $\Delta\epsilon$ 值增大,反向时, $\Delta\epsilon$ 值减小。液晶分子中偶极矩和分子长轴的夹角是决定液晶分子呈现正介电各向异性还是负介电各向异性的关键数值。液晶分子在电场中的取向行为取决于液晶材料的介电各向异性值,当 $\Delta\epsilon$ 为正值时,液晶分子沿电场方向取向,当 $\Delta\epsilon$ 为负值时,液晶分子在电场中垂直于电场取向。^[4]

在 LCD 显示品质持续提升的同时,终端客户针对 LCD 信赖性的要求也变得更为严苛。LCD 信赖性测试有很多项目,而“残像(Image Sticking)”测试是 LCD 信赖性测试中极为重要的测试项目之一。

残像是指切换显示画面时,由于长时间的驱动导致液晶分子的转动无法准确地反应驱动电场的变化,具体的现象则表现为,当显示画面切换后,LCD 上仍留下以前那个图像的浅浅可见的画面,故称之为残像^[5]。残像测试有很多种方式,比较常见的残像测试方法当推黑白棋盘格残像测试。一般会在 LCD 上加载一段时间的黑白棋盘格显示画面,然后切换至中间灰阶(例如 128 灰阶)确认显示品质^[5]。面板生产厂会依据经验为面板残像制定规格。

残像测试时,外加的驱动电场会引起液晶盒内离子定向迁移^[6-7];也有可能使液晶分子在 PI 表面形成的预倾角发生变化^[5]。液晶材料为极性介质,在外加电场的作用下,液晶材料的极性分子都有沿电场方向取向的趋势,使电介质整体出现沿电场方向的宏观偶极矩,即产生宏观极化^[8]。介质电极化一般分为 3 个基本过程:(1)原子核外电子云的畸变极化。(2)分子中正、负离子的相对位移极化。(3)分子固有电矩的取向极化。固有电矩的取向极化只存在于极性介质当中。由于受到分子热运动的无序化作用、电场的有序化作用及极性分子间的长程作用,取向极化的建立需要较长的时间(约为 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ s,甚至更长),属于慢极化方式^[8]。长时间的电场驱动会使液晶分子产生不可恢复的极化,这种极化的效果可能还会影响液晶材料在盒内沿 Z 轴方向上的上部或下部的液晶分子的取向^[5]。而上述的液晶盒内离子定向迁移,液晶分子的预倾角变化,液晶材料的极化都会最终导致液晶盒的光电特性发生变化,从而使 LCD 产生残像。

残像测试可以使用不同的老化时间,例如短期残像,长期残像;也可以搭配不同的老化条件,例如高温残像,室温残像。残像也有很多种不同

的分类,例如线残像,面残像。真实 LCD 面板中残像产生的原因则较为复杂,需要针对每一个案例具体分析。例如外围材料的污染会为 LCD 带来线残像的风险;而经过长期残像测试后 LCD 中液晶分子预倾角的变化则有可能表现为面残像。一方面,液晶材料作为 LCD 显示器的基本材料,会影响 LCD 的残像特性;另一方面,LCD 显示驱动电路设计和调试同样也会影响面板的残像特性^[6-7]。

如果进一步探究残像测试的本质,无外乎评价同一液晶盒在经过不同时间(短期或长期),不同电压(棋盘格画面的黑区和白区),不同老化条件(高温或常温)的加速老化后显示特性变化的差异。一般认为,液晶材料的电压保持率(VHR)是表征液晶材料信赖性特性的重要参数,同时与显示面板的残像特性(特别是线残像)有较强相关性。

本文主要探讨不同温度不同电压下负性液晶材料 VHR 的差异。

2 实验设计

2.1 实验测试方法及原理

显示器所使用的最小显示单元为子像素,可将每一个子像素等效为电阻和电容并联网路。VHR 是衡量在一个充电周期内,该 RC 网络对电荷的保持能力。LCD 子像素结构及 VHR 测试原理有较多论文阐述,本文不再赘述。唯一需指出的是与传统电容使用的电介质相比,液晶材料的介电特性呈各项异性即存在介电常数差,这一特性使得 LCD 子像素中由液晶材料构成的 RC 网络与传统电阻电容构成的 RC 网络有较大差异。

若不考虑外围材料(例如 PI,框胶)的影响,液晶盒等效 RC 的变异来源于液晶盒等效电容的变化。在施加电场时,液晶分子会随电场方向旋转,电场强度和液晶分子旋转角度存在对应关系^[4]。当液晶指向矢与电场方向存在夹角时,等效介电常数(ϵ_{effect})受液晶分子旋转角度的影响如式(1)所示,不同电压下液晶材料的等效电容存在差异,从式(2)中不难发现液晶测试盒的 VHR 与液晶材料 $R \times C$ 有较强相关性。当然在实际实验中,液晶盒的等效 RC 会受到外围材

料的影响,例如在搭配不同 PI 材料时,相同液晶材料的 VHR 会有不同表现,而外围材料带来的离子类不纯物也会对液晶盒的 VHR 有很大影响。

$$\epsilon_{\text{effect}} = \epsilon_{\parallel} \cos^2 \theta(z, t) + \epsilon_{\perp} \sin^2 \theta(z, t), \quad (1)^{[9]}$$

其中: $\theta(z, t)$ 为指向矢与 Z 轴夹角。

VHR 值表示方法一般有两种,即电压比法和面积比法。两种表示方法测试方法相同,只是 VHR 取值的计算方法略有差异。电压比法是通过计算液晶盒充放电前后某个时间点的电压峰值比得出 VHR 即 $VHR = (V_1/V_2) \times 100\%$ 。而面积比法则是通过积分计算整个放电过程中放电曲线所包含的面积与理想充电方波的面积比得出 VHR 值。式(2)为 VHR 面积比(VHR_{area})的计算公式^[10],本文 VHR 取值采用面积比法。

$$VHR_{\text{area}} (\%) = \frac{\int_0^T v_o \times e^{\frac{t}{C(t) \times R(t)}} dt}{\int_0^T V_o dt}, \quad (2)^{[10]}$$

液晶盒 VHR 测试值为百分比,与传统物理量不同,VHR 绝对值的参考价值较为有限,通常认为比较同次实验中的各测试样品的 VHR 的相对趋势较为适宜。

图 1 为本文所用量测 VHR 的测试波形。分为充电和释放(测试)两个阶段。VHR 面积法即为计算图 1 中虚线方波与阴影部分面积比。^[10] 本文如无特殊说明 VHR 测试频率为 60 Hz。

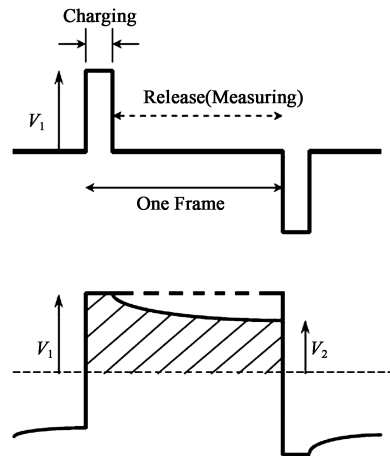


图 1 VHR 测试波形图^[10]

Fig.1 Schematic diagram of VHR measurement^[10]

2.2 实验样品

影响测试盒 VHR 值的因素较多,VHR 测试时的测试温度,PI 材料的电阻率,液晶材料的差异都会影响测试盒的 VHR 值。实验中使用液晶基本参数如表 1 所示。

实验 1 主要讨论在不同温度与不同 PI 材料下,液晶材料 VHR 的表现。实验 1 使用液晶 n-LC-1。

实验 2 主要讨论液晶材料 $\Delta\epsilon$ 变化时,不同电压/温度对 VHR 的影响,测试盒选用垂直配相 PI。实验 2 使用液晶 n-LC2/3/4,实验 2 中的液晶材料澄清点温度与折射率均取相似值仅在介电常数上存在差异。

表 1 液晶基本特性参数
Tab.1 Parameters of LC

Item	n-LC-1	n-LC-2	n-LC-3	n-LC-4
Δn	0.1100	0.1100	0.1098	0.1097
$\epsilon_{\parallel}$	3.5	3.1	3.5	3.9
$\epsilon_{\perp}$	7.0	4.7	6.6	8.6
$\Delta\epsilon$	-3.5	-1.6	-3.1	-4.7
$T_{ni}(^{\circ}\text{C})$	80.0	79.6	80.0	80.3

实验中使用的测试盒电极垂直电场,而使用的 PI 材料分为两种,一种为水平摩擦配相 PI,一种为垂直配相 PI。

3 实验结果与讨论

3.1 实验 1 结果及分析

实验 1 使用液晶 n-LC-1,搭配无 PI 材料的测试盒,水平配相 PI 测试盒和垂直配相 PI 测试盒,测试电压为 1 V,测试结果如图 2 所示。无 PI 测试盒的 VHR 值略高于使用 PI 材料的测试盒,在搭配不同的 PI 材料时,使用水平配相 PI 测试盒的 VHR 值高于搭配垂直配相 PI。出现这种差异的原因与 PI 材料本身的电阻率以及 PI 制程有较强的关性,搭配低电阻率的 PI 材料的测试盒会有相对低的 VHR。而低于液晶偏转阈值电压时,负性液晶水平配相的 ϵ_{effect} 与 $\epsilon_{\perp}$ 相同,而 $\epsilon_{\perp}$ 大于 $\epsilon_{\parallel}$,因此水平配相测试盒电容较大, $R \times C$ 取值较大也会得到较高的 VHR 值。

与常温测试结果相比,液晶材料在高温下的 VHR 普遍会低于常温,测试结果一方面可以反应出在高温下分子热运动较强,液晶强取向序参数变小, ϵ_{effect} 变小导致 $R \times C$ 值变小,另一方面高温下测试盒中会析出更多离子,导致充电完成后,电荷释放较快。

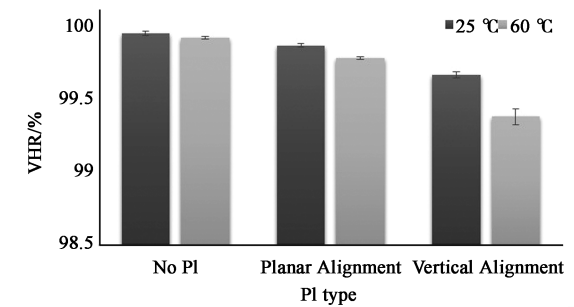


图 2 不同 PI 和温度下 VHR 测试结果

Fig.2 Bar chart of VHR measurement result in different PI and temperature

3.2 实验 2 结果及分析

3.2.1 实验 2 测试结果

实验 2 中使用的液晶材料为 n-LC-2,n-LC-3,n-LC-4。液晶材料主要在 $\Delta\epsilon$ 上存在差异。图 3 可以看出,伴随 $|\Delta\epsilon|$ 增大,液晶材料的 V-T 曲线左移。实验 2 中 VHR 测量选择不同电压表征不同的灰阶,即低于液晶旋转阈值电压(1 V),50%穿透度下的电压,高灰阶电压(5 V/7 V),以及白态(10 V)。具体测试电压与测试样品对应关系如下表 2 所示。低于 V_{th} 电压表征显示黑态,50%穿透度下的电压表征中间灰阶,5 V/7 V 表征高灰阶,穿透度最大值的电压表征显示白态以及模拟高电压老化。

表 2 VHR 量测条件
Tab.2 VHR measurement condition

Item	$< V_{th}$	Tr~50%	Gray1	Gray2	MaxTr%
n-LC-2	1 V	4.5 V	5 V	7 V	10 V
n-LC-3	1 V	3.5 V	5 V	7 V	10 V
n-LC-4	1 V	2.9 V	5 V	7 V	10 V

图 4 为依照公式(1)计算得出不同旋转角度下液晶材料的 ϵ_{effect} 值,如前文所述,在垂直配相 PI 下,液晶初始预倾角为 90° ,外加驱动电压后,液晶分子旋转,倾角减小。液晶分子指向矢方向

趋于与电场方向平行。

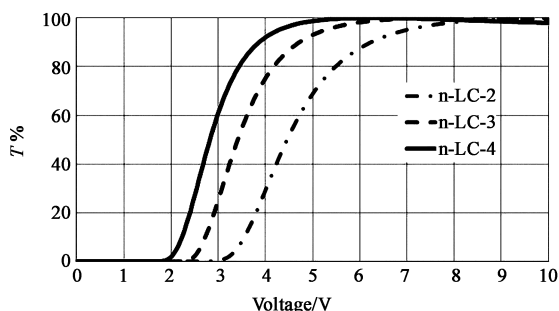


图3 实验2液晶材料V-T曲线

Fig.3 V-T curve of LC materials

实验2使用不同温度用以评估不同温度下液晶材料VHR的表现。25℃表征常温下液晶材料的表现;60℃表征LCD正常使用时由于背光模组发热导致的升温现象时液晶材料的表现;100℃表征高于液晶澄清点时液晶材料的表现。图4为液晶材料 $\epsilon_{\perp}$ 与 $\epsilon_{\parallel}$ 在不同温度下的变化趋势。可以看出,伴随温度上升 $\epsilon_{\perp}$ 持续下降, $\epsilon_{\parallel}$ 略微上升, $|\Delta\epsilon|$ 持续变小,温度高于液晶澄清点后,介电各项异性消失,变为各向同性介质。

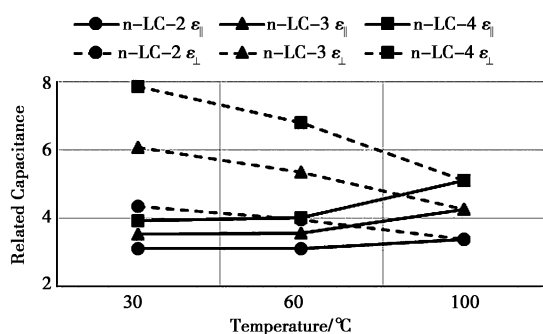


图4 $\epsilon_{\perp}$ 与 $\epsilon_{\parallel}$ 随温度变化曲线

Fig.4 Chart of ϵ -parallel and ϵ -perpendicular vs. Temperature

图5为依照公式(1)计算得出不同驱动电压下 ϵ_{effect} 变化曲线。可以看出在垂直排列时(0),负性液晶 ϵ_{effect} 较小,而伴随旋转角度增加, ϵ_{effect} 持续增大,在水平排列时($\pi/2$), ϵ_{effect} 取值出现最大值。

图6为25℃下VHR测试结果。可以看出在相同测试电压下,伴随 $|\Delta\epsilon|$ 上升液晶材料的VHR呈下降趋势,这是由于高 $|\Delta\epsilon|$ 液晶含有较

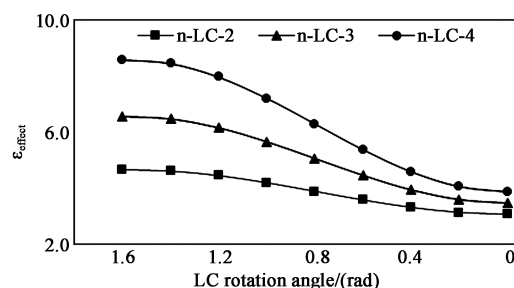


图5 实验2液晶材料 ϵ_{effect} 计算值 vs. 偏转角度

Fig.5 Curve of LC material ϵ_{effect} Calculation value vs. Rotation angle

多极性成分,因此会出现相对较低的VHR。

搭配不同电压时,VHR伴随测试电压上升呈轻微下降趋势,其中n-LC-2/3下降趋势比n-LC-4明显。

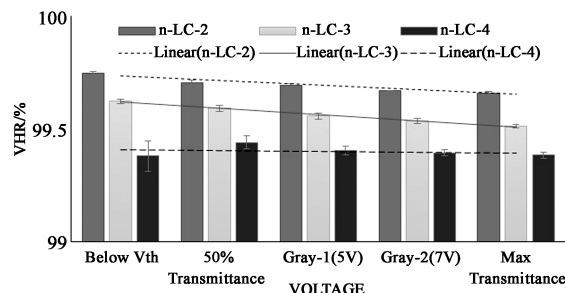


图6 25℃时不同电压下液晶材料VHR表现

Fig.6 Bar chart of VHR result in different Voltage at 25 °C

图7为60℃下VHR测试结果,温度升高后,n-LC2的VHR值在不同电压下变化较小,呈恒定趋势。而n-LC-3和n-LC-4在不同电压下VHR值呈现上升趋势,其中n-LC-4的VHR上升趋势比n-LC-3更为明显,这与n-LC-3/4在25℃下不同电压下VHR变化趋势相反。

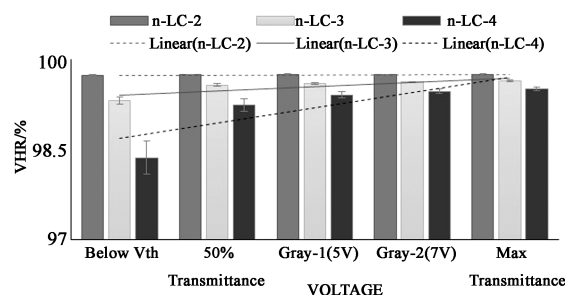


图7 60℃时不同电压下液晶材料VHR表现

Fig.7 Bar chart of VHR result in different Voltage at 60 °C

图 8 为 100 °C 下 VHR 测试结果,温度升高超过澄清点后,n-LC-2 在不同电压下的 VHR 值依然趋于稳定,而 n-LC-3/4 在不同电压下的 VHR 变化趋势趋于相同,均为上升趋势。

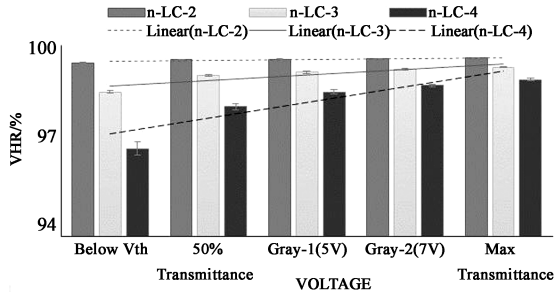


图 8 100 °C 时不同电压下液晶材料 VHR 表现

Fig.8 Bar chart of VHR result in different voltage at 100 °C

3.2.2 实验 2 结果分析

由前文公式(2)可知,液晶盒 VHR 值与液晶盒中 $R \times C$ 的值有较大的相关性。当 $R \times C$ 值较小时,VHR 值较低($<90\%$ 时),VHR 曲线变化斜率较大;当 $R \times C$ 取值较大时,VHR 值较高($>95\%$ 时),曲线斜率较小,VHR 值变化趋于平缓。本次实验中测试盒的 VHR 值均较大,处于 VHR 曲线斜率变化平缓区域, $R \times C$ 变化带来的 VHR 值变化不明显。

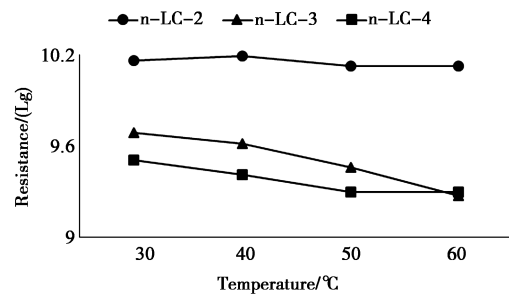
在实验 2 中,测试盒的 PI 材料,测试盒盒厚及电极面积基本相同,因此由不同 PI 材料带来的 VHR 差异可以忽略,VHR 值与液晶材料的电阻及有效电容相关。即 $VHR \propto R_{\text{effect}} \times C_{\text{effect}}$ 。

在实验 2 中,25 °C 下测试结果显示伴随测试电压上升,测试盒 VHR 呈轻微下降趋势,其原因来源于在施加不同电压时,不同强度的电场对液晶及 PI 材料中的离子析出的数量及离子的移动速度的影响存在差异。高电压带来的强电场会产生较多的离子,导致测试盒阻抗下降;但与此同时,高电压时液晶材料 ϵ_{effect} 较大,液晶盒的 C_{effect} 会趋向增大,但 C_{effect} 的增大不足以弥补阻抗下降带来的影响,因此 VHR 的测试结果总体表现为在施加电场增强时 VHR 呈下降趋势。

在 60 °C 下的测试结果显示伴随测试电压升高 VHR 呈上升趋势,在 n-LC-4 上表现尤为明显。此时测试温度虽低于液晶澄清点,但高温会使液晶材料各项异性降低,其中液晶材料旋转粘

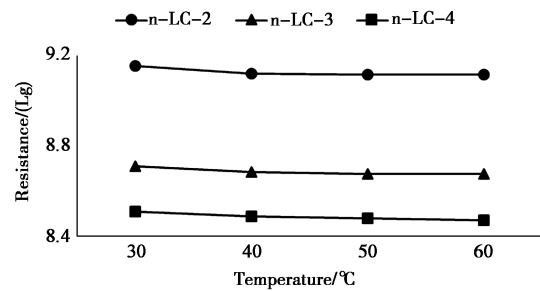
度将远小于常温,液晶旋转均较快。具体表现为在充电周期液晶会很快达到电压对应的偏转角;而释放(测量)周期时,液晶也会很容易恢复到初始位置,液晶材料特性趋向于各向同性介质。与此同时,高温会使测试盒中析出更多离子,而离子在液晶中的迁移率也会随温度升高而加快。相比低温时,在高温下对测试盒施加相同电场时,离子较易移动至 PI 表面从而产生较难释放的电荷残留。伴随电压升高,产生的 DC 残留也随之增加,因此会出现伴随电压上升出现 VHR 增大的趋势。而在 100 °C 时,液晶各项异性消失,液晶盒中离子数量及迁移率进一步升高,出现伴随电压升高 VHR 上升的原因与 60 °C 时相同,DC 残留是造成 VHR 上升的原因,且较 60 °C 时趋势更为明显。

图 9 为不同温度下测试盒阻抗测试结果,阻抗取 $\log_{10}$,测试盒为垂直配相 PI。测试电压为 0.3 V 和 20 V。



(a)0.3V 测试盒阻抗量测结果

(a) Test cell resistance measurement result at 0.3V



(b)20 V 测试盒阻抗量测结果

(b) Test cell resistance measurement result at 20 V

图 9 不同温度下测试盒阻抗

Fig.9 Chart of test cell's resistance in different temperature

从曲线中可以看出,测试盒阻抗随 $|\Delta\epsilon|$ 升高而降低。而伴随温度上升,测试盒中析出离子数

量增加,测试盒阻抗呈下降趋势,0.3 V 和 20 V 测试结果趋势相同。交叉比较 0.3 V 和 20 V 时测试盒阻抗测试结果可以发现,20 V 时测试盒阻抗低于 0.3 V,可以证实电压对测试盒离子析出的影响。

不同温度和电压下测试阻抗的测试结果与可以证实前文对 VHR 变化趋势的推测。

5 结 论

本文研究了负性液晶在搭配不同配相材料,

不同测试温度,不同测试电压时测试盒 VHR 值的变化。通过实验结果可以发现,液晶盒的 VHR 值伴随液晶材料的 $|\Delta\epsilon|$ 升高呈下降趋势,同时 ϵ_{effect} 会影响测试盒 VHR 值。

而不同温度和电压下负性液晶材料的 VHR 受测试盒离子析出及残留直流电荷的影响。在较低温度时,离子移动速度较慢,高电压会使测试盒析出更多离子,VHR 伴随电压升高而降低;而温度较高时,测试盒内析出离子较多,离子移动速度较快,VHR 受残留直流电的影响,随电压升高而升高。

参 考 文 献:

- [1] 张少楠,郭小军,崔宏青.正负液晶在 FFS 中的比较和研究[J].液晶与显示,2014,29(3):322-327.
ZHANG S N, GUO X J, GUI H Q. Study and comparison of positive and negative LC in FFS applications [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 322-327. (in Chinese)
- [2] AHN H J, HWANG H S, KIM D G, *et al.* Improvement of the long-term image sticking in an IPS-LCD by development of LCD cell materials [C]//*Proceedings of the 15th International Display Workshops*. Niigata, Japan: IDW, 2008: 1571-1572.
- [3] ENGEL M, BERNATZ G, GÖTZ A, *et al.* 43.1: Invited Paper: UB-FFS: new materials for advanced mobile applications [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 645-647.
- [4] 李宏,张家田.液晶显示器件应用技术[M].北京:机械工业出版社,2004.
LI H, ZHANG J T. *Liquid Crystal Display Application Technology* [M]. Beijing: China Machine Press, 2004. (in Chinese)
- [5] 童芬,郭小军.负性液晶在 FFS 模式下的残像研究[J].液晶与显示,2015,30(3):393-398.
TONG F, GUO X J. Image sticking study of negative LC for FFS mode [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 393-398. (in Chinese)
- [6] 许雅琴,苏子芳,钟德镇,等.基于使用负性液晶的边沿场切换模式的局部残影分析[J].液晶与显示,2015,30(3):399-403.
XU Y Q, SU Z F, ZHONG D Z, *et al.* Analysis of FFS image sticking with negative liquid crystal [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(3): 399-403. (in Chinese)
- [7] Liu C T, Wang A, Hong H J, *et al.* 60.1: Invited Paper: color and image enhancement for large-size TFT-LCD TVs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 1730-1733.
- [8] 肖冬萍,田强.电介质的极化机制与介电常量的分析[J].大学物理,2001,20(9):44-46.
XIAO D P, TIAN Q. Analysis of dielectric polarization mechanism and dielectric constant [J]. *College Physics*, 2001, 20(9): 44-46. (in Chinese)
- [9] 孙远.TFT 液晶平板显示离子效应的研究[D].南京:东南大学,2006.
SUN Y. The study of ions effect in TFT-LCD [D]. Nanjing: Southeast University, 2006. (in Chinese)
- [10] JACOB T, FINKENZELLER U. Physical properties of Liquid crystals: VIII Voltage holding ratio [R]. Merck, 1992.

作者简介:陈潇(1981—),男,湖北襄阳人,硕士,研发经理,主要从事 TFT-LCD 及液晶材料方面的研究。E-mail: chenxiaol111@163.com