

文章编号:1007-2780(2016)07-0667-08

手性剂对 TN 显示模式的影响研究

乔云霞*, 徐 凯, 丰景义, 李 锐, 崔 青, 李正强
(石家庄诚志永华显示材料有限公司, 河北 石家庄 050091)

摘要:向列相液晶中手性剂的含量对 TN 显示模式的显示效果起着至关重要的作用。通过对两种不同体系的液晶中加入不同含量的手性剂进行实验测定得出:添加手性剂对液晶分子的排列取向有序具有一定的作用;手性剂的含量不同,液晶的阈值电压也有所不同,手性剂含量增多则阈值电压增大,液晶的陡度值增大;手性剂含量不同,面板中的对比度有所不同,手性剂含量增多则对比度下降。通过从微观角度对液晶分子在面板中的排列状态进行理论分析,对以上实验结果的成因机理进行了解释,手性剂的合理添加能更好地使液晶与面板 IC 驱动相匹配,达到更高的对比度,改善液晶面板中出现的碎亮点显示不良,使液晶面板显示画面更鲜明、细腻、逼真。

关 键 词: TN-LC; 螺距; 手性剂; K 值

中图分类号: TN104.3; TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/JYXS20163107.0667

Effect of Chiral dopant on LC in TN display mode

QIAO Yun-xia*, XU Kai, FENG Jing-yi, LI Rui, CUI Qing, LI Zheng-qiang

(Shijiazhuang Chengzhiyonghua Display Materials Co., Ltd, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Chiral dopant plays an important role in TN model. To investigate how chiral dopant adjusts performance of TN model, two liquid crystal mixtures which were made of different liquid crystal system were chosen as hosts, and then two series of chiral-nematic liquid crystal mixtures which contain different concentration of chiral dopant were obtained. The alignment of LCs in cells was investigated and explained theoretically from the view of elastic constants K . It indicates that chiral dopant affect the alignment behavior of LCs. The concentration of chiral dopant is proportional to threshold voltage and steepness. However, the concentration of chiral dopant is inversely proportional to contrast ratio. The research of chiral dopant could make the LCs match the integrated circuit (IC) better, which contribute to a higher contrast ratio and make the display more clear, detailed and realistic.

Key words: TN-LC; pitch; chiral dopant; elastic constants K

1 引 言

近几年,液晶显示技术获得了快速发展,各种以液晶为显示材料的器件应用终端因为具有动态画面显示鲜明快捷、静态图像色彩细腻逼真、产品

轻巧便携等诸多优点,越来越受到用户的青睐。但随着液晶器件应用产业链的不断丰富扩大,不同行业需求方对液晶显示材料的品质要求不断提高,这就需要从微观角度对各种液晶分子在面板中的排列规律进行充分的基础研究,以掌握不同螺距值对液晶各种参数值的影响,从而在液晶混

配开发过程中,快速调整合适的液晶螺距值,保证混合液晶材料与器件模组 IC 驱动的优异搭配,实现对宏观显示参数的控制。

在各种液晶材料中,TN 模式应用液晶材料(TN-LC)是一种常用混合液晶材料,主要由向列相液晶和胆甾相液晶(手性剂)组合而成,其中手性剂的加入量值(混配比)决定着液晶的螺距值,螺距值不同,会对液晶的多种性能指标产生不同的影响,如液晶在面板中陡度(P)、液晶在面板中阈值电压、液晶在面板中的对比度、液晶分子在面板中的排列取向等,这些指标直接决定着 TN-LC 填充入面板后的宏观显示指标。目前,中小液晶材料生产企业往往缺乏相关昂贵的实验设备,科研人员在进行 TN 模式应用液晶材料配方开发时,由于不掌握完整的规律指标数据,螺距值(手性剂加入量的控制指标值)一般根据开发者的经验进行尝试性设计,显示指标最终需由下游器件用户将混晶材料填充面板后进行测试确认,反馈的指标数据不确定性很大。基于这个原因,利用我司的 DMS501 专用设备,进行了手性剂添加实验研究,通过观测混晶在液晶盒中的数值表现,确定手性剂的加入对液晶面板的作用,为相关技术人员在 TN-LC 配方研发中提供参考,也为类似液晶材料的显示特性基础研究提供了较完整的实验方案参考。

2 实验总体设计

2.1 实验准备

(1)调配两支不同体系的向列相混合液晶 LC-1(液晶组分及单体代码见表 1)和 LC-2(液晶组分及单体代码见表 2)。LC-1 混合液晶性能特点是介电常数大、清亮点高,主要应用于宽温车载、仪器仪表显示器件中;LC-2 混合液晶性能特点为介电常数小、清亮点低,主要应用于笔记本电脑、桌上型显示器件中。TN 模式应用液晶材料配方的开发主要围绕两种体系的混晶展开。

(2)首先将 LC-1 和 LC-2 分别按表 1、表 2 的配方组成分别在烧杯中进行称量并混合均匀;其次将混合均匀的液晶分别添加 1%的手性剂并搅拌均匀,然后测试其各自的 HTP 值(扭曲能力),通过公式手性剂含量与螺距的关系($C\%=1/P\times\text{HTP}$),计算出不同螺距下手性剂的质量百分含量,螺距值分别设为 25、30、40、50、60、70、80、90、100、110 μm ,手性剂加入量(浓度值)与螺距值的对应关系见表 3;将调配好的液晶分别填充到不同的液晶盒中进行测试。

(3)测试手性剂在 TN-LC 中的作用,测试项目包括液晶盒中液晶分子的排列取向、阈值电压、陡度、对比度;确认在 TN 显示模式中手性剂对液晶面板的作用。

表 1 LC-1 液晶组成
Tab. 1 Composition of LC-1

单体代码	结构式	质量分数/%
CCV		6.0
PGP		1.5
CCPOCF3		28.0
CPW		13.0
PUQUF		20.0
PCCV		1.5

续表		
单体代码	结构式	质量分数/%
CCW		19
CPUF		8.0
CCEPC		3.0

表 2 LC-2 液晶组成
Tab. 2 Composition of LC-2

单体代码	结构式	质量分数/%
CCV		49.0
CGUF		11.0
PGP		6.5
CCPUF		9.5
PUQUF		16.0
PPGUF		2
CCGUF		6.0

表 3 两款液晶螺距值与手性剂浓度值对应表

Tab. 3 Pitch and chiral dopant concentration look-up table of the two kinds of liquid crystal mixture

螺距(25℃) / μm	LC-1+X% 手性剂浓度	LC-2+Y% 手性剂浓度	螺距(25℃) / μm	LC-1+X% 手性剂浓度	LC-2+Y% 手性剂浓度
25	0.406	0.333	70	0.145	0.119
30	0.338	0.277	80	0.127	0.104
40	0.254	0.208	80	0.113	0.092 4
50	0.203	0.166	100	0.102	0.086 2
60	0.169	0.139	110	0.092 3	0.075 6

2.2 实验项目和步骤

(1)两款实验用液晶 LC-1 和 LC-2 进行常规参数测试,确认实验用液晶的品质。测试仪器和方法如下:

Clearing Point(清亮点):DSC 定量测试法;
Viscosity(体积粘度):LVDV-I+ VISCOM-ETER;

Rotational Viscosity(旋转粘度):不添加手性剂,平行盒,25 ℃;INTEC:ALCT-IR1 测试。

Δn (折射率):ZWA-J 型阿贝计(量程 1.3~1.7);

$\Delta\epsilon$ (介电各向异性)和 $\epsilon_{\perp}$ (垂直介电常数):不添加手性剂,平行盒,(25±2)℃;INTEC:ALCT-IR1;

V_{90} (饱和电压)和 V_{10} (阈值电压):添加手性剂,4.0 μm 左旋 TN 液晶盒,(25±2)℃,DMS-501 综合测试仪;

K_{11} (展曲弹性值)和 K_{33} (弯曲弹性值):不添加手性剂,平行盒,25 ℃;INTEC:ALCT-IR1 测试。

HTP 值(扭曲能力)和 P 值(螺距值):楔形盒;读数显微镜(25±2)℃。

测试结果见表 4。

表 4 LC-1~LC-2 常规参数
Tab.4 Parameter of LC-1~LC-2

Mixture	LC-1	LC-2
Clearing Point(℃)	92	73
Viscosity(mPa·s,25 ℃)	18	10
Rotational Viscosity (mPa·s,25 ℃)	117.4	57.5
Δn (589 nm,25 ℃)	0.110	0.112
n_e (589 nm,25 ℃)	1.595	1.601
$\Delta\epsilon$ (1 KHz,25 ℃)	10.4	8.0
$\epsilon_{\perp}$ (1 KHz,25 ℃)	3.9	3.4
$\Delta\epsilon/\epsilon_{\perp}$	2.7	2.4
K_{11} (pN,25 ℃)	11.2	11.2
K_{33} (pN,25 ℃)	18.4	13.2

(2)液晶盒中液晶分子取向测试。将 LC-1、LC-1+0.203%手性剂、LC-2、LC-2+0.166%手

性剂共 4 支液晶分别灌入 4.0 μm 左旋 TN 液晶盒中,目测观察灌满液晶的液晶盒。

(3)V-T 曲线测试。V-T 曲线是指对液晶显示器件加电压时,光透过率随着电压变化的曲线。

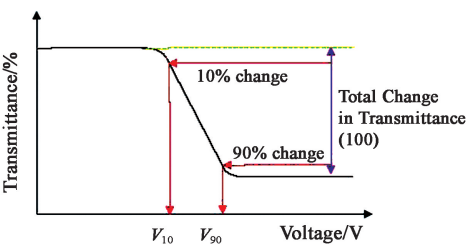


图 1 常白模式光电曲线图
Fig.1 Normal white mode VT curve

V_{10} ……阈值电压(透过率变化 10%时的电压)

V_{90} ……饱和电压(透过率变化 90%时的电压)

陡度(Steepness)=($V_{90}/V_{10}-1$)×100%

将两款不同螺距值的 20 支液晶分别灌入 4.0 μm 左旋 TN 液晶盒中,且每支液晶灌取一个液晶盒,使用封口胶封口;在液晶盒的两玻璃基板表面贴 45°偏光片,使上下两偏光片的偏光轴呈 90°,即液晶盒贴成常白模式;将液晶盒放入 DMS-501 综合测试仪的暗箱中,加方波 128 Hz 电压测试,控温在 25 ℃。

(4)对比度测试。对比度(Cr)是指在恒定的照明条件下,液晶显示器显示部分的亮态与暗态亮度之比。液晶显示器在非选择段(亮态)透过率与选择段(暗态)透过率之比。

将两款不同螺距的 20 支液晶分别灌入 4.0 μm 左旋 TN 液晶盒中,将液晶盒放入 DMS-501 综合测试仪的暗箱中,加方波 128 Hz 电压测试,控温在 25 ℃。

3 实验结果与理论分析

3.1 液晶盒中液晶分子取向测试结果与分析

图 2 中 LC-1、LC-2 为向列相液晶分别灌入 TN4.0 μm 左旋空盒中时,目测液晶盒的图片;LC-1+Chiral、LC-2+Chiral 为加入手性剂的液晶分别灌入空盒中时,目测液晶盒的图片,从图片可以看出:向列相液晶与加入手性剂的液晶

在液晶盒中表现是不同的,向列相液晶在液晶盒中出现了显示不均一的不良特征;加入手性剂的液晶在液晶盒中具有显示均一的特征。理论分析认为:造成此现象的主要原因是液晶分子在液晶盒中的排列取向不同导致,向列相液晶自身表现特征为短程有序,长程无序,当向列相液晶被灌入 TN4.0 μm 左旋 TN 液晶盒内时,接近上下基板部分的液晶分子受到 PI 锚定的作用,存在一定取向排列有序,中间层受 PI 锚定力弱,液晶分子排列取向发生一定紊乱,所以最终导致了如图 2 所示 LC-1 液晶盒、LC-2 液晶盒的不良显示。当向列相液晶中加入手性剂后,液晶分子在手性剂的作用力下,防止液晶分子发生反扭,整体液晶分子的排列趋势与上下基板 PI 锚定为基础且取向排列有序,所以显示均一,即如图 2 所示 LC-1+Chiral 液晶盒、LC-2+Chiral 液晶盒显示的效果。

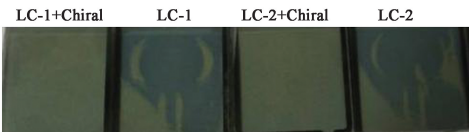


图 2 液晶盒中液晶分子取向图
Fig.2 Picture of LC alignment in cell

3.2 阈值电压、陡度结果与分析

从图 3、图 4 及表 5、表 6 中,不同螺距的 LC-1 和 LC-2 的阈值电压及陡度的测试数据可看出:随着螺距的减小,液晶的阈值电压、饱和电压不断增大,同时液晶的陡度也随之增大,且两款不同体系的液晶表现相同。理论分析认为:(1)造成此现象的根本原因在于手性剂的作用,手性剂作为一种胆甾相液晶材料,具有旋光性,同时在一定程度上会影响液晶分子指向矢的方向,手性剂对液晶分子具有一定的诱导作用,它使液晶分子的排列取向具有一定的有序性,这样也就使液晶分子平均取向的指向矢的空间分布产生应变,在外力作用下一旦产生某种应变,也必然会在液晶中产生使该应变消除的力。液晶弹性的定义为消除使液晶中产生应变的力,所以在一定程度上,手性剂的加入是增加了液晶分子的弹性。液晶弹性系数为展曲 K_{11} 、扭曲 K_{22} 、弯曲 K_{33} , K 有效与三者关系见式(3),弹性增加则 K 有效增大。通过式(2)可以

看到阈值电压与 K 成正比, K 增大,则阈值电压增大。(2)从取向膜表面处的扭曲平衡分析,由式(1)和图 5 可以得出螺距值、 K 、表面锚定强度之间的关系,螺距值减小,则液晶盒玻璃基板内部表面锚定强度增大,液晶弹性 K 增大,所以随着螺距的降低则阈值电压、饱和电压不断增大。

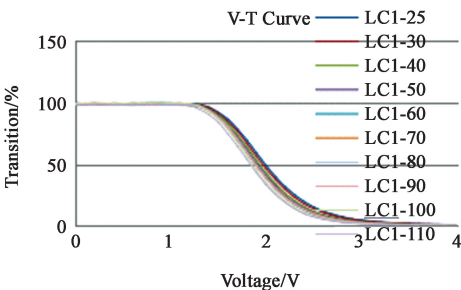


图 3 LC-1 液晶不同螺距值下 V-T 曲线
Fig.3 LC-1 V-T curves of mixture differ in pitches

表 5 LC-1 液晶不同螺距值下的阈值电压及陡度

Tab.5 Threshold voltage and steepness of mixtures which differ in pitches, which made from hostLC-1

Mixture	V_{10}	V_{90}	P
LC1-25	1.55	2.66	71.6
LC1-30	1.52	2.62	72.4
LC1-40	1.51	2.55	68.9
LC1-50	1.49	2.51	68.5
LC1-60	1.48	2.49	68.2
LC1-70	1.47	2.47	68.0
LC1-80	1.47	2.46	67.3
LC1-90	1.46	2.44	67.1
LC1-100	1.45	2.41	66.2
LC1-110	1.44	2.39	66.0

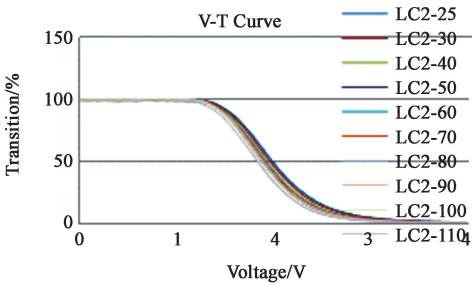


图 4 LC-2 液晶不同螺距值的 V-T 曲线
Fig.4 LC-2 V-T curves of mixtures with different pitches

表 6 LC-2 液晶不同螺距值的阈值电压及陡度

Tab. 6 Threshold voltage and steepness of mixtures which differ in pitches, which made from host LC-2

Mixture	V_{10}	V_{90}	P
LC2-25	1.64	2.74	67.1
LC2-30	1.62	2.7	66.7
LC2-40	1.59	2.53	59.1
LC2-50	1.58	2.51	58.9
LC2-60	1.57	2.49	58.6
LC2-70	1.55	2.45	58.1
LC2-80	1.54	2.43	57.8
LC2-90	1.53	2.41	57.5
LC2-100	1.52	2.39	57.2
LC2-110	1.51	2.37	57.0

液晶陡度值随着螺距值的降低在不断增大,当驱动电压加在液晶盒上,液晶分子会发生旋转。随着电压增加,液晶分子会从水平位置旋转到竖直位置,转到不同的位置时,液晶分子对光进行一定调制,即在电场作用下液晶分子对光的一个作用,同时是电场对液晶分子作用力的一个表面表现,而决定表面表现是其内在作用,即液晶的 K_{11} 、 K_{22} 、 K_{33} 。 K_{33}/K_{11} 值决定了液晶陡度, K_{11} 为展曲、 K_{33} 为弯曲, K_{11} 是决定液晶阈值电压的主要作用力,即液晶分子从水平位置到刚刚将要竖起位置,此阶段主要表为展曲作用力; K_{33} 是决定液晶饱和电压的主要作用力, K_{33} 作用力越小,则液晶分子的饱和电压越小,即 K_{33}/K_{11} 值越小陡度值越小;液晶饱和电压即液晶分子旋转到使透过率变化 90%的位置,接近于使液晶分子的竖直位置,此阶段液晶分子的旋转作用力 K_{33} 起主要作用,胆甾相液晶在非基板表面附近时,对液晶 K_{33} 影响最大,即 K_{33} 增大的最突出,因此随着螺距的降低, K_{33} 增大的越多, K_{33}/K_{11} 值越大,进而造成陡度变大。

表面 anchoring 强度:
$$A=\frac{4K_{22}\left(\frac{\pi}{p}-\frac{\phi_s}{d}\right)}{\sin 2\phi_s},\tag{1}$$

$$V_{th}=\pi\times\sqrt{\frac{K}{\epsilon_0\Delta\epsilon}},\tag{2}$$

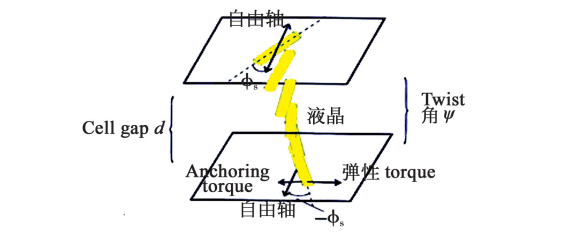


图 5 取向膜表面处的扭曲平衡

Fig. 5 Twisted equilibrium at alignment film surface

$$K=K_{11}+\frac{K_{33}-2K_{22}}{4}.\tag{3}$$

3.3 对比度结果与分析

从表 7 的 LC-1 液晶和 LC-2 液晶不同螺距下液晶盒对比度数据可以看出:液晶螺距不同则液晶盒对比度不同,随螺距的增大,对比度增大。对比度即亮态与暗态的比值,亮态为非选态下的值,暗态为选态下的值,亮态时的大小与液晶的光延迟直接相关,在同一液晶母体下,光延迟相同,其影响对比度的主要因素为暗态的数值,螺距降低则手性剂的添加量增多。由图 5 以及式(1)可看出:液晶螺距小,则液晶盒玻璃基板内部表面锚定强度增大,在对液晶盒加电的正常状态下,玻璃基板附近的液晶分子受 PI 的强锚定作用,不会完全竖起,由于随螺距减小,锚定强度增大,故液晶盒玻璃基板附近的液晶分子水平排列在一定程度上增加。由于液晶分子水平排列的增多,导致暗

表 7 LC-1、LC-2 液晶不同螺距下液晶面板对比度

Tab. 7 Contrast of LC-1, LC-2 with different pitches

Pitch/ μm	CR/%	
	LC-1	LC-2
25	182.65	182.75
30	182.87	182.86
40	184.07	185.08
50	186.20	187.89
60	187.10	188.21
70	193.45	194.58
80	195.24	196.15
90	198.35	199.33
100	199.67	200.32
110	201.10	201.61

态时液晶盒出现一定程度的漏光,所以最终会使液晶盒暗态值增大,从而导致液晶盒对比度下降。

4 结 论

以上的实验结果表明:在TN显示模式下,面板中的向列相液晶中需要加入一定量的手性剂,以此来使液晶分子排列取向有序,基于此可以从液晶角度改善液晶面板出现的碎亮点显示不良(此类不良是由于高PPI,以及边缘像素电场干扰造成)。在向列相液晶中加入手性剂,对液晶的光电性能有一定的影响,随着手性剂加入量增大,液晶的阈值电压、饱和电压不断增大,同时液晶的陡度值也随之增大,即光电曲线不同。TN显示模式下,液晶的光电曲线与液晶面板IC驱动直接相关,液晶的不同陡度值,对应液晶面板IC驱动下的不同灰阶显示,所以当液晶面板显示中的灰阶

和亮度曲线以及液晶光电曲线不匹配时,从液晶角度可以通过调整液晶的陡度值来实现液晶与面板IC驱动的匹配。在向列相液晶中加入手性剂,影响液晶螺距值,手性剂加入量增多,螺距值减小,螺距值不同则对比度不同,随螺距值的增大,对比度增大。所以在TN显示模式下,当液晶面板对比度偏低时,从液晶角度可以通过调整螺距的方法进行一定程度的改善。总体看,在TN显示模式下,手性剂的加入量增多有利于改善液晶面板出现的碎亮点显示不良,但同时会降低对比度;手性剂的加入会调整液晶光电曲线并使液晶面板IC驱动更合理匹配。根据以上实验以及长时间与面板厂的合作经验得出:TN显示模式的液晶螺距值选择在 $30\sim 70\text{ }\mu\text{m}$ 之间对液晶面板显示更有益,螺距值在此范围区间内,可以从液晶角度对面板出现的不良进行有效的控制,同时也能满足液晶面板对比度的要求,最终实现液晶面板显示画面的鲜明、细腻、逼真等效果。

参 考 文 献:

- [1] 史子谦,乔云霞,贵丽红,等.不同手性剂对超扭曲向列相液晶的影响[J].液晶与显示,2014,29(2):178-182.
SHI Z Q, QIAO Y X, GUI L H, *et al.* Effect of chiral dopants on performance of supper twisted nematic liquid crystal[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 178-182. (in Chinese)
- [2] 刘永智,杨开愚.液晶显示技术[M].成都:电子科技大学出版社,2000.
LIU Y Z, YANG K Y. *Liquid Crystal Display Technology* [M]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology Press, 2000. (in Chinese)
- [3] 田民波,叶锋.TFT液晶液晶显示原理与技术[M].北京:科学出版社,2010.
TIAN M B, YE F. *TFT LCD Principle and Technology* [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [4] 马群刚.TFT-LCD原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [5] 张宸,黎崇亮,张雪,等.手性基团对液晶有序排列的影响[J].高分子材料科学与工程,2014(12):1-5.
ZHANG C, LI C L, ZHANG X, *et al.* Influence of chiral groups on the liquid crystal ordered structure [J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2014(12): 1-5. (in Chinese)
- [6] 申智源.TFT-LCD技术—结构、原理及制造技术[M].北京:电子工业出版社,2012.
SHENZ Y. *TFT-LCD Technology—Structure, Principle and Manufacturing Technology* [M]. Beijing: Electronic Machinery Press, 2012. (in Chinese)
- [7] ZAKHAROV A V, DONG R Y. The flexoelectric effect in nematic liquid crystals: a statistical- mechanical approach [J]. *The European Physical Journal E*, 2001, 6(1): 3-6.
- [8] LEE D G, KIM I H, SOH H S, *et al.* P-33: a measurement and analysis method of image sticking in LCD[J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2002, 33(1): 324-327.
- [9] MA J, ZHENG Z G, LIU Y G, *et al.* Electro-optical properties of polymer stabilized cholesteric liquid crystal film [J]. *Chinese Physics B*, 2011, 20(2): 024212.
- [10] GUAN R H, YANG G C. First-order Fréedericksz transition at the threshold point for weak anchoring nematic

liquid crystal cell under external electric and magnetic fields[J]. *Chinese Physics*, 2003, 12(11): 1283-1290.

[11] BROWN C V, MOTTRAM N J. Influence of flexoelectricity above the nematicFréedericksz transition[J]. *Physical Review E*, 2003, 68(3): 031702.

作者简介: 乔云霞 (1980—), 女, 河北石家庄人, 工程师, 主要从事显示材料方面研究。E-mail: qiaoyx@slichem. com