

文章编号: 1007-2780(2012)03-0292-05

# IPS 液晶取向膜表面光学各向异性 $D\Delta$ 的研究

于 涛, 陈 晟, 储培鸣, 郑永亮, 申剑锋

(中国科学院 上海高等研究院 新型显示技术研究中心, 上海中科联显示技术有限公司,  
上海 201203, E-mail yutao516@gmail.com)

**摘 要:** 针对共面转换 IPS(In-Plane-Switching)液晶显示模式取向膜, 利用反射椭圆消光法测量了取向膜表面的光学各向异性  $D\Delta$  值。研究了在不同摩擦条件和亚胺化温度条件下, 取向膜表面光学各向异性值  $D\Delta$  值的变化。研究表明, 随着亚胺化温度升高,  $D\Delta$  值呈现下降趋势。在摩擦强度各因子中, 压入量和转速对于  $D\Delta$  值影响较大。 $D\Delta$  值可作为一种量化评价取向膜取向状态的方法, 并可作为生产过程中对于液晶稳定性取向的管控方法使用。

**关 键 词:** 共面转换; 液晶; 取向膜; 光学各向异性; 摩擦; 反射椭圆

**中图分类号:** TN104.3

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/YJYXS20122703.0292

## Optic Anisotropy $D\Delta$ of Rubbed Polyimide Film for IPS Liquid Crystal Alignment

YU Tao, CHEN Shen, CHU Pei-ming, ZHENG Yong-liang, SHEN Jian-feng

(New Display Technology Research Center, Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Casail Display Technology Co. Ltd., Shanghai 201203, China, E-mail yutao516@gmail.com)

**Abstract:** The anisotropy  $D\Delta$  of rubbed polyimide film for In-Plane-Switching (IPS) liquid crystal alignment was measured by reflection ellipsometry under the varied conditions of rubbing and imide temperature. It is showed that  $D\Delta$  decreases with increasing imide temperature under the same rubbing condition. The penetration depth and the roll rotation speed play a key role in  $D\Delta$  value. Therefore,  $D\Delta$  value not only can be used as a quantitative evaluation method for rubbed film, but as a process control method for stable orientation of liquid crystal.

**Key words:** IPS; liquid crystal; polyimide film; optical anisotropy; rubbing; reflective ellipsometry

## 1 引 言

随着液晶显示技术不断发展成熟, 如今 TFT-LCD 已经取代 CRT 成为显示终端市场的主流。伴随各种液晶显示模式的应用<sup>[1-4]</sup>, 也不断满足了市场各方面的需求。由于共面转换 (IPS) 显示模式可视角度大, 延展接近全视角, 在动态画

面和灰阶场景下, 较其他显示技术, 色彩饱和度和还原度更为真实准确, 所以高端用途的液晶显示器大多采用 IPS 显示模式, 例如医疗诊断、印刷设计等用途。但是, 目前 IPS 液晶的取向技术仍采用传统的摩擦取向技术, 相比 TN (twist nematic) 模式, IPS 对取向膜材料和摩擦工艺要求更为严格。取向膜材料大多是聚酰亚胺类材料, 取向膜

收稿日期: 2012-02-29; 修订日期: 2012-04-05

基金项目: 上海市科委科研项目 (No. 10dz1100300)

作者简介: 于涛 (1975-), 男, 内蒙古包头人, 博士, 高级工程师, 主要从事液晶显示器件设计和工艺技术开发方面的工作。

要具有耐磨擦性,较少的摩擦碎屑。摩擦后的取向膜,液晶分子预倾角控制在  $1^\circ$  以下,有时甚至要在  $0.5^\circ$  以下。此外,取向膜要具有均匀的取向性,不能有摩擦划伤,所以取向膜的取向状态直接影响到 IPS 产品的良率。目前对于液晶分子的取向机理还没有明确的定论,大多认为是由于液晶分子和取向膜表面分子链段之间的分子间作用力。无论是摩擦作用、还是光控诱导<sup>[5-6]</sup>,导致聚酰亚胺膜表面分子出现各向异性分布,从而诱导液晶分子定向排列<sup>[7-8]</sup>。对于取向膜表面各向异性的研究,常采用以下表征手段:(1)表面形貌法,用 SEM 或 AFM 对取向膜表面形貌进行观测;(2)偏振红外吸收,根据不同方位角的基团红外吸收强度,确定分子的取向<sup>[9-10]</sup>;(3)反射椭偏消光法,通过测量取向膜表面反射光 S 和 P 光的位相延迟,表征表面分子的光学异性<sup>[11]</sup>;(4)X 射线表面掠射散射分析<sup>[12]</sup>;(5)光延迟法测试等<sup>[13]</sup>。考虑到生产中的适用性,本文采用反射椭偏消光法测量取向膜表面的光学各向异性  $D\Delta$  值,为 IPS 取向膜评价和取向膜取向能力量化管理提供参考方向。

## 2 实 验

### 2.1 实验原理

1996 年 Hirose<sup>[14]</sup> 提出测量取向膜表面位相差表征摩擦后聚酰亚胺膜表面的各向异性,由于这种测量方法精度高且简便迅速,成为评价取向膜表面状态的常用检测方法。这种方法采用的原理是:摩擦引起取向膜表面分子再排列,入射光分解成振动矢量在入射面内和垂直于入射面的 P 光、S 光。P 光、S 光在反射界面处呈现不同的复反射率,因此 P 光、S 光在反射界面处产生位相差,并且具有不同的反射强度。令 P 光、S 光的复反射率分别为  $\tilde{R}_P$  和  $\tilde{R}_S$ 、二者在界面处产生的位相差为  $\Delta$ ,其复反射率的比为:

$$\frac{\tilde{R}_P}{\tilde{R}_S} = \frac{|R_P|}{|R_S|} \exp(i\Delta) \quad (1)$$

令  $\left| \frac{R_P}{R_S} \right| = \tan\phi$ , 利用 P 光、S 光在界面处的位相差和反射强度比,以及偏光系统中的消光条件,可以获得两个方程:

$$\tan\phi = -\tan A_\theta \quad (2)$$

$$\Delta = -2\left(P_\theta - \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

其中  $A_\theta$  和  $P_\theta$  分别为检偏器与起偏器的光轴角度,是可测量值。

表层分子从之前的各向同性变成各向异性,不同方位角表面分子的折射率变化引起反射光位相差的各向异性,通过测定位相差的各向异性就可以表征出取向膜表面分子的取向状态。引起的光学异性采用反射椭偏消光法原理测量,测量仪器为 PI checker(日本东阳技术株式会社),光源采用 He-Ne 激光(632.8 nm),功率为 0.8 mW,入射角为  $50^\circ$ ,测试原理如图 1 所示。

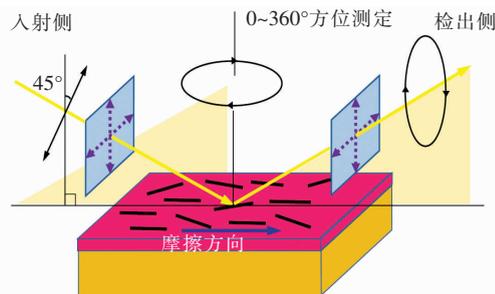


图 1 测试原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of measurement principle

样品旋转后,就可以获得不同方位角  $\phi$  的位相差,采用曲线中位相差峰谷最大值  $D\Delta$  来表征取向膜表面各向异性的大小,如图 2 所示。

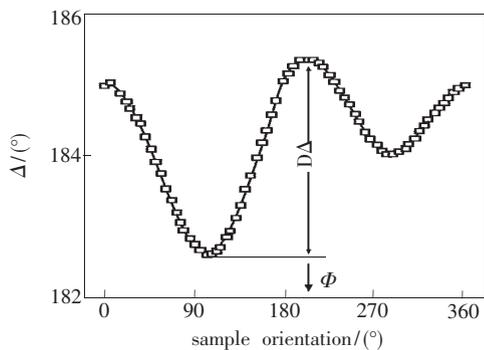


图 2  $D\Delta$  值示意图

Fig. 2 Schematic diagram of  $D\Delta$  value

### 2.2 样品制备

样品采用素玻璃基板,取向膜采用 IPS 量产用 PI-5370(Chisso),通过配向版转印至玻璃基板表面,烧成后 PI 膜厚为  $(120 \pm 12)$  nm,烧成时间设定为 20 min,烧成温度分别设定为 210, 230, 250  $^\circ\text{C}$ 。样品尺寸为 5 mm  $\times$  5 mm,摩擦工艺中,摩擦 Roller 转速、基台速度、压入量作为不同工

艺水准。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 有无摩擦对 $D\Delta$ 的影响

图 3 为摩擦前后 IPS 取向膜表面  $D\Delta$  值的变化,从图中看出,未摩擦的取向膜表面位相差均匀分布,这说明表面分子排列分布为各向同性, $D\Delta$  接近 0。经过摩擦后,膜表面的位相差出现周期性波动,有明显的波峰、波谷出现,取向膜表面出现明显的各向异性分布。该 IPS 取向材料液晶预倾角在  $0.5^\circ$  以下,峰谷位置发生在入射方位角  $90^\circ$  和  $270^\circ$ ,与摩擦方向有的强相关性,在一定程度上说明,摩擦作用聚酰亚胺分子链段沿摩擦方向有序分布。而波谷峰值差异也说明聚酰亚胺分子链段方向上的排列差异性。按照 Hirosawa 的模型,摩擦后的 PI 膜可以看作是双层结构,表层分子定向排布,近似单轴光学介质处理,表层以下分子随机分布排列,近似各向同性介质。实验结果一定程度也证实了模型的合理性。分子摩擦后,PI 表层分子的光学异性  $D\Delta$  值量化描述摩擦带来的实际效果。

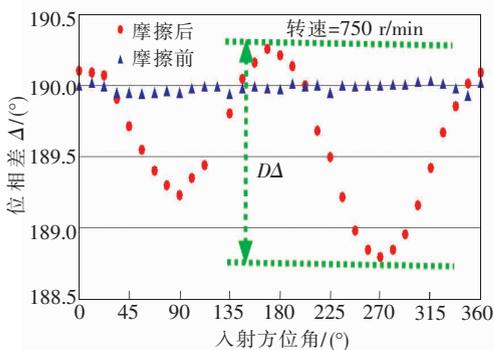


图 3 有无摩擦  $D\Delta$  的变化

Fig. 3  $D\Delta$  changes on unrubbed and rubbed films

#### 3.2 亚胺化温度对 $D\Delta$ 值的影响

对于 IPS 显示模式用的取向材料来说,不仅需要良好的涂覆均一性,还需要耐摩擦和低预倾角。耐摩擦性越好,产生 PI 碎屑就越少,对显示品质的提升有大的帮助。低预倾角,可以获得更宽的视野角。为获得更好的耐摩擦性,就需提升取向膜的亚胺化率,但同时要考虑摩擦后取向膜表面的取向性。取向性的好坏,我们通过  $D\Delta$  值的大小来表征。图 4 为亚胺化温度和  $D\Delta$  的关系图,摩擦条件设定为量产条件。图中可以看出,随

着亚胺化温度的升高, $D\Delta$  值明显降低,表面各向异性降低。降低直接原因与 PI 材料特性有关,对于 IPS 显示用的取向膜材料,一般采用主链型聚酰胺酸材料,温度越高聚酰胺酸的亚胺化程度越高,表面硬度增加,在相同摩擦强度下,取向膜表面分子链沿摩擦方向的延伸困难,导致  $D\Delta$  值降低。

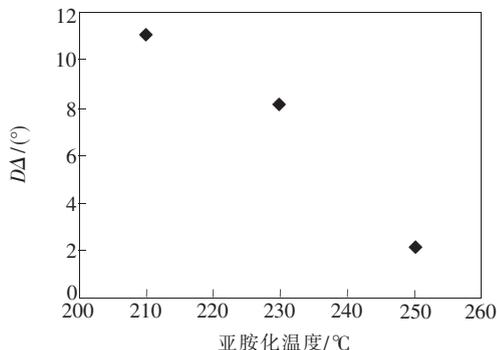


图 4 亚胺化温度对于  $D\Delta$  的影响

Fig. 4 Effect of imide temperature on  $D\Delta$

#### 3.3 摩擦强度对于 $D\Delta$ 的影响

按照 Uchida 对于摩擦强度定义<sup>[15]</sup>,影响摩擦强度的参数主要包括:Roller 的转速、Roller 的压入量以及基台的移动速度。在本实验中,摩擦布采用 YA-18(日本吉川化工)。图 5 是压入量对于  $D\Delta$  值的影响,随着压入量的增加, $D\Delta$  值增加。从增加的幅度趋势来看,增加幅度从小变大,当压入量超过  $0.45$  mm, $D\Delta$  值增加幅度放缓。随着压入量的增加,取向膜表面的光学各向异性增加,分子链段分布的有序性增加。与 TN 用的取向膜材的  $D\Delta$  值相比,我们也发现 IPS 所用的取向膜  $D\Delta$  值更大。

图 6 是  $D\Delta$  值随 Roller 转速的变化图,随着

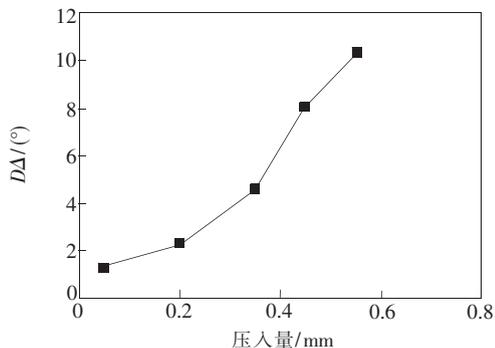
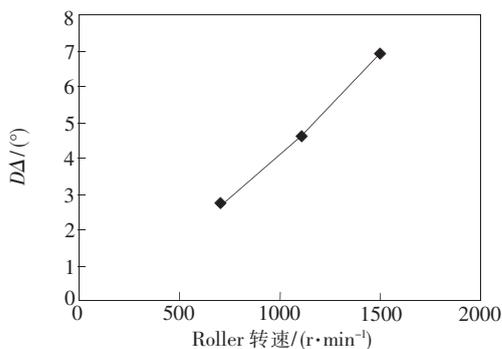
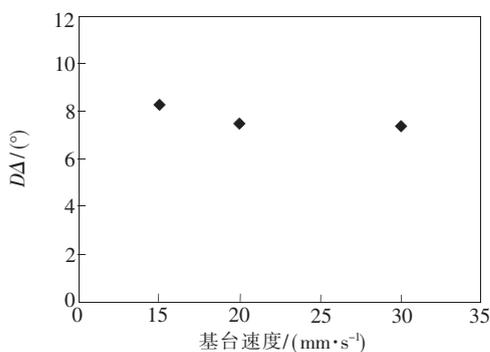


图 5 压入量对于  $D\Delta$  的影响

Fig. 5 Effect of penetration depth on  $D\Delta$

图 6 Roller 转速对  $D\Delta$  的影响Fig. 6 Effect of Roller rotation speed on  $D\Delta$ 图 7 基台速度对于  $D\Delta$  的影响Fig. 7 Effect of stage speed on  $D\Delta$ 

转速增加,  $D\Delta$  值接近线性增长。转速增加, 摩擦强度增加, 取向膜表面分子分布的各向异性增加, 影响程度可从  $D\Delta$  测试结果得到量化。

图 7 是基台速度对  $D\Delta$  值的影响, 压入量和转速设定为量产条件。从图中可以看到, 随着基台速度的增加,  $D\Delta$  值略微降低, 原因是摩擦密度降低, 导致摩擦强度有所降低。从数据可以看出, 基台移动速度对  $D\Delta$  值影响不大。从对  $D\Delta$  值的影响显著程度看, 压入量和 Roller 转速因子更为显著。

## 4 结 论

考虑到 IPS-LCD 生产中, 对于取向膜取向能力的控制至关重要, 本文采用测试取向膜表面光学各向异性  $D\Delta$  的方法, 更直接、量化地表征取向膜的取向情况。在利用  $D\Delta$  值表征时, 需考虑取向膜的材料种类、摩擦工艺条件。本文采用已量产用的取向材料研究发现, 随着取向膜亚胺化温度升高, 会导致  $D\Delta$  值降低。摩擦强度会影响到对于液晶分子的锚定能力, 实验发现压入量和转速对于  $D\Delta$  值影响显著。通过  $D\Delta$  量化评价取向膜的取向状态, 为生产过程中提供一种量化管控的方法。

## 参 考 文 献:

- [1] Oh-e M, Kondo K. Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1995, 67(26):3895-3897.
- [2] 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]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, 73(20):2881-2883.
- [3] Gwag J S, Lee Y J, Kim M E, et al. Viewing angle control mode using nematic bistability [J]. *Opt. Exp.*, 2008, 16(4):2663-2669.
- [4] Lee Y J, Kim Y K. Stabilization of the liquid crystal director in the patterned vertical alignment mode through formation of pretilt angle by reactive mesogen [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(26):261910-261912.
- [5] Yu T, Peng Z H, Ruan S P. Effect of the fluorinated groups on nematic liquid crystal alignment on monomer crosslinked film [J]. *Thin Solid Films.*, 2004, 466(1-2):326-330.
- [6] 刘剑, 王明乐, 李园园, 等. 偏振光照对偶氮苯侧链聚硅氧烷膜表面能的提高 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(5):577-581.
- [7] Geary J M, Goodby J W, Kmetz A R, et al. The mechanism of polymer alignment of liquid - crystal materials [J]. *J. Appl. Phys.*, 1987, 62(10):4100-4108.
- [8] Ishihara S, Wakamoto H, Nakazima, et al. The effect of rubbed polymer films on the liquid crystal alignment [J]. *Liq. Cryst.*, 1989, 4(6):669-675.
- [9] Sawa K, Sumiyoshi K, Hirai Y, et al. Molecular orientation of polyimide films for liquid crystal alignment studied by infrared dichroism [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1994, 33(11):6273-6276.
- [10] Sakamoto S, Arafune R, Ito N, et al. Molecular orientation of rubbed and unrubbed polyimide films determined by polarized infrared absorption [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1994, 33(9B):1323-1326.

- [11] Hirosawa I. Relation between molecular orientation and rubbing strength observed by reflection ellipsometry [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1997, 36(8):5192-5196.
- [12] Hirosawa I, Sasaki N, Kimura H. Characterization of molecular orientation of rubbed polyimide film by grazing incidence X-ray scattering [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1999, 38(5B): 583-585.
- [13] Han K Y, Vetter P, Uchida T. Determination of molecular inclination in rubbed polymer for liquid crystal alignment by measuring retardation [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1993, 32(9A):L1242-L1244.
- [14] Hirosawa I. Method of characterizing rubbed polyimide film for liquid crystal display devices using reflection ellipsometry [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, 35(11):5873-5875.
- [15] T. Uchida. Application and Device Modeling of Liquid Crystal Displays [J]. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1985, 123(1):15-55.

### 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	名称	符号	SI 导出单位
			用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面]角	弧度	rad	1 rad=1 m/m=1
立体角	球面度	sr	1 sr=1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> =1
频率	赫[兹]	Hz	1 Hz=1 S <sup>-1</sup>
力	牛[顿]	N	1 N=1 kg·m/S <sup>2</sup>
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	1 Pa=1 N/m <sup>2</sup>
能[量],功,热量	焦[耳]	J	1 J=1 N·m
功率,幅[射能]通量	瓦[特]	W	1 W=1 J/S
电荷[量]	库[仑]	C	1 C=1 A·S
电压,电动势,电位	伏[特]	V	1 V=1 W/A
电容	法[拉]	F	1 F=1 C/V
电阻	欧[姆]	Ω	1 Ω=1 V/A
电导	西[门子]	S	1 S=1 Ω <sup>-1</sup>
磁通[量]	韦[伯]	Wb	1 Wb=1 V·S
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	1 T=1 Wb/m <sup>2</sup>
电感	亨[利]	H	1 H=1 Wb/A
摄氏温度	摄氏度	℃	1 ℃=1 K
[光]通量	流[明]	lm	1 lm=1 cd·Sr
光照度	勒[克斯]	lx	1 lx=1 lm/m <sup>2</sup>
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	1 Bq=1 S <sup>-1</sup>
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	1 Gy=1 J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	1 Sv=1 J/kg