

文章编号:1007-2780(2010)04-0588-05

取向层厚度对液晶层分压的影响

田 园¹, 张亚星^{1, 2}, 孙玉宝¹

(1. 河北工业大学 应用物理系, 天津 300401, E-mail: hmtj450@vip. sina. com;
2. 成都天马微电子有限公司, 四川 成都 611730)

摘 要: 在液晶显示器或硅基液晶显示器中,取向层或彩色滤色膜对驱动电压的分压效应是不能忽视的。文章应用电容模型,理论上给出了液晶层的分压公式和液晶层的等效介电常数公式,并通过模拟计算了取向层厚度、液晶层厚度对液晶层分压的影响。研究结果对液晶显示器的结构设计有一定的参考意义。

关 键 词: 取向层;液晶显示器;分压

中图分类号: O753⁺. 2 **文献标识码:** A

Effect of Polyimide Thickness on Voltage Grading of Liquid Crystal Layer

TIAN Yuan¹, ZHANG Ya-xing^{1, 2}, SUN Yu-bao¹

(1. *Department of Applied Physics, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China, E-mail: hmtj450@vip. sina. com;*
2. *Chengdu Tianma Micro-Electronics Corporation, Chengdu 611730, China*)

Abstract: The voltage grading of polyimide or color filter is not ignored in the normal liquid crystal displays or liquid crystal on silicon mode. This paper derived the voltage grading equation for the liquid crystal layer and equivalent dielectric constant of liquid crystal layer using the capacitance model. The effects of thickness of polyimide and liquid crystal layer on the voltage grading of liquid crystal layer were numerical simulated. The results should show a significant help on designing the configuration of liquid crystal display.

Key words: polyimide; liquid crystal displays; voltage grading

1 引 言

响应时间是衡量液晶显示器好坏的重要指标。所谓响应时间就是液晶像素由暗转亮或者是由亮转暗的变化时间,是上升时间和下降时间两者之和。影响响应时间的因素有液晶层厚度、液晶材料参数(转动黏滞系数和弹性常数)以及驱动电压。减小液晶材料的黏滞系数、减小液晶层厚度、增加弹性常数,均可加快液晶反应速度。其

中,因为响应时间与液晶层厚度的 2 次方成正比关系,所以减小液晶层厚度是最有效的方法,实际生产中也常用该方法来减小响应时间^[1]。在液晶显示器结构中,靠近液晶的薄膜层为聚酰亚胺(Polyimide)取向层,通常厚度小于 0.1 μm ,因为其固化后为软固体,所以在没有小直径衬垫料(Spacer)的情况下,可采用增大取向层厚度来获得较小的液晶层厚度;另外,在硅基液晶(LCoS)中,因为是反射模式并且要提高开口率,所以彩色

收稿日期: 2009-12-15; 修订日期: 2010-01-13
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 10974042, No. 10704022)
作者简介: 田园(1988—), 女, 河北沧州人, 大学本科, 目前从事液晶显示器件研究。

滤色膜做在了反射铝电极上面,即在两个驱动电极之间^[2-3],液晶层厚度也不能认为是电极间距。增厚的取向层和彩色滤色膜在液晶显示器驱动过程有一定的分压作用,也就是加在电极上的电压并不能完全加在液晶层上,因此液晶显示器的电光特性曲线就与经典显示器模型(忽略取向层厚度)不同。

Jiao 博士研究了固定厚度的取向层在薄的液晶盒中的影响,给出了液晶层厚度对电光曲线的影响^[4]。考虑到取向层和彩色滤色膜的介电常数均为 3~4,而且电阻率都远大于液晶的电阻率,因此可以认为是一种介质。而在较大频率的驱动中,取向层和彩膜的电阻分压效应可完全忽略不计,仅有介电分压作用。本文将液晶盒模型化,推导得到了液晶层上的有效电压与电极上电压之间的关系。通过模拟计算得到液晶层中液晶指向矢的分布,得到液晶层的等效介电常数,进而得到液晶层上的有效电压值,详细研究了取向层厚度对液晶显示器的分压作用。

2 理论和计算结果

液晶层与电极之间隔着液晶取向层。电极通常为金属材料,并且含有大量带电粒子(或自由电子),如果液晶和电极相连接,则自由电子会进入液晶层,从而使液晶中出现电流,电化学反应会破坏液晶分子结构,而电流也会影响液晶的排列取向^[5]。取向层隔开液晶和电极,减少了进入液晶的自由电子,从而消除了电流电效应,仅利用电场效应来驱动液晶。液晶采用交流驱动而非直流,因为取向层(或者彩色滤色膜)的电阻率远高于液晶的电阻率,取向层厚度一般高于液晶层厚度的 1/100,因此直流驱动时,取向层的分压过高,从而使得加在液晶层的电压过低而不能正常工作;而交流驱动下的电容的阻抗可以远低于电阻值,因此液晶盒的驱动都是采用交流驱动,频率通常高于 100 Hz,甚至到 1 kHz,在这么高的频率下液晶层和取向层(或彩色滤色膜)的自身电阻不能表现,而表现为电容阻抗^[4, 6]。在电容模型下,电极之间的取向层和液晶层的机构如图 1 所示,取向层电容和液晶电容串联起来,在电极之间的电容阻抗可以表示为 $R=2R_{AL}+R_{LC}$,对于电容阻抗来说 $R_{AL}=\frac{1}{2\pi fC_{AL}}$ 或者 $R_{LC}=\frac{1}{2\pi fC_{LC}}$ (其中 f 为驱

动频率, C_{LC} 和 C_{AL} 为液晶层和取向层的电容),因此液晶层上的电压分量为 $U_{LC}=UR_{LC}/R$ (其中 U 为电极之间的电压),而液晶层和取向层的电容分别为: $C_{LC}=\epsilon_0\epsilon_{LC}S/d_{LC}$, $C_{AL}=\epsilon_0\epsilon_{AL}S/d_{AL}$ (其中 ϵ_0 为真空的介电常数, S 为电极面积, ϵ_{LC} 和 ϵ_{AL} 为液晶和取向层的相对介电常数, d_{LC} 和 d_{AL} 为液晶和取向层的厚度)。经过以上步骤,可以得到液晶层的分压为:

$$U_{LC} = \frac{U}{1 + \frac{2\epsilon_{LC}d_{AL}}{\epsilon_{AL}d_{LC}}} \tag{1}$$

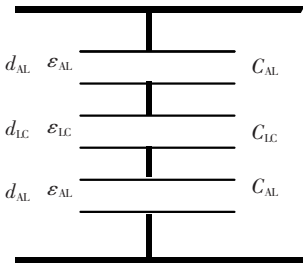


图 1 液晶盒的电容模型

Fig. 1 Model of liquid crystal display

若在一侧基板上的电极和取向层之间有彩色滤色膜,假设彩色滤色膜的介电常数和取向层相等,则通过理论计算,仅需要将式(1)中的 $2d_{AL}$ 换为 $2d_{AL}+d_{CF}$ 即可, d_{CF} 为彩色滤色膜的厚度。

液晶层的介电常数与液晶层中的分子取向相关,而液晶层中的液晶分子取向与驱动电压相关,因此液晶层的介电常数也与驱动电压相关。所以式(1)中的 ϵ_{LC} 为液晶层的等效介电常数,该等效介电常数等于液晶层中的液晶介电常数的平均值。在电场作用下,液晶分子中的电荷产生重新分布,如图 2 所示,从而产生电偶极矩^[6]。

在两个平行电极上加上电压,会在平行电极之间产生电场 E ,假设液晶层中某处的液晶分子

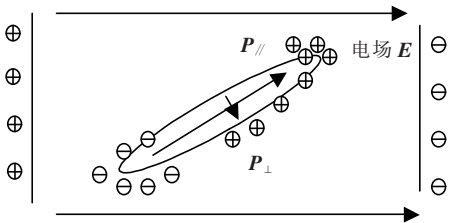


图 2 电场作用下液晶分子中的电荷分布

Fig. 2 Dispersion of charge in liquid crystal molecule under electric field

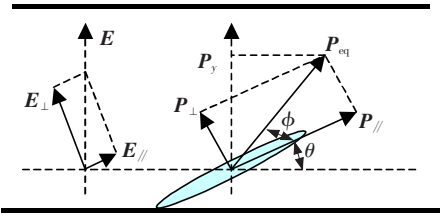


图 3 等效介电系数

Fig. 3 Equivalent dielectric constant

长轴与平行电极间成一角度 θ , 如图 3 所示, 可以将电场分成 $|E_{\perp}|$ 和 $|E_{\parallel}|$ 两个分量, 进而在液晶分子的长短轴上, 各引起了电偶极矩 $|P_{\perp}|$ 和 $|P_{\parallel}|$ 。这两个电偶极矩再合成为等效的电偶极矩 P_{eq} :

$$|P_{eq}| = (|P_{\perp}|^2 + |P_{\parallel}|^2)^{\frac{1}{2}} =$$

$$\epsilon_0 \{ [\chi_{\perp} \cos(\theta)]^2 + [\chi_{\parallel} \sin(\theta)]^2 \}^{\frac{1}{2}} E \quad (2)$$

其中的 $\chi_{\perp}$ 和 $\chi_{\parallel}$ 分别为垂直和平行于液晶长轴的极化率, 与介电常数的关系为: $\chi_{\perp} = \epsilon_{\perp} - \epsilon_0$, $\chi_{\parallel} = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_0$ 。因为 $\epsilon_{\parallel}$ 不等于 $\epsilon_{\perp}$, 电偶极矩与电场 E 并不平行, 如图 3 中所示, 电偶极矩 P_{eq} 与液晶分子长轴成一角度 ϕ :

$$\begin{aligned} \tan(\phi) &= |P_{\perp}| / |P_{\parallel}| = \\ &= [\epsilon_0 \chi_{\perp} E \cos(\theta)] / [\epsilon_0 \chi_{\parallel} E \sin(\theta)] = \\ &= (\chi_{\perp} / \chi_{\parallel}) \cot(\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

由 $|P_{\perp}| = |\epsilon_0 \chi_{\perp} E_{\perp}| = \epsilon_0 \chi_{\perp} E \sin(\theta)$, $|P_{\parallel}| = |\epsilon_0 \chi_{\parallel} E_{\parallel}| = \epsilon_0 \chi_{\parallel} \cos(\theta)$, 可求得等效电极化率 χ_{eq} :

$$\chi_{eq} = P_{eq} / \epsilon_0 E =$$

$$\{ [\chi_{\perp} \cos(\theta)]^2 + [\chi_{\parallel} \sin(\theta)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

最后, 由电极化率 χ_{eq} 在与电场 E 平行方向上的分量 χ_y 可求得该处液晶的等效介电系数 ϵ_y :

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= 1 + \chi_y = 1 + \chi_{eq} \sin(\theta + \varphi) = \\ &= 1 + \{ [\chi_{\perp} \cos(\theta)]^2 + [\chi_{\parallel} \sin(\theta)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \times \\ &\quad \sin\{\theta + \tan^{-1}[(\chi_{\perp} / \chi_{\parallel}) \cot(\theta)]\} \end{aligned} \quad (5)$$

整个液晶层的等效介电常数为:

$$\epsilon_{LC} = \frac{1}{d_{LC}} \int_0^{d_{LC}} \epsilon_y dy \quad (6)$$

液晶盒设为传统的 90° 扭曲(TN)显示模式, 表面为强锚定边界条件并且预倾角为 2° 。液晶材料的介电常数和介电各向异性为: $\epsilon_{\perp} = 10.0$, $\epsilon_{\parallel} = 4.0$, $\Delta\epsilon = 6.0$; 液晶材料的 3 个弹性常数分别为: $K_{11} = 15.0$ pN, $K_{22} = 7.0$ pN, $K_{33} = 18.0$ pN; 取向层厚度变化范围为 $0.1 \sim 0.9 \mu\text{m}$; 液晶层厚度

变化范围为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 。计算中, 先通过液晶平衡态方程计算出液晶层的指向矢分布(即倾角和方位角度的分布), 再利用式(6)计算液晶层的等效介电常数, 然后利用式(1)计算出液晶层的分压(考虑取向层厚度), 再利用此分压计算液晶指向矢分布、液晶层等效介电常数和液晶层的分压。如此循环直到得出稳定的指向矢分布和分压, 该结果即为液晶层在考虑取向层分压效应后的指向矢分布和分压结果。下面给出考虑取向层厚度后, 液晶层分压和电极驱动电压之间关系的计算结果。

图 4、图 5 给出了液晶层厚度固定, 取向层厚度变化对液晶层分压的影响, 图中横坐标为取向层厚度变化, 纵坐标为电极所加电压, 图中线条为液晶层的分压等值线。由图可以看出, 取向层厚度越大液晶层的分压就越小, 同时液晶层厚度越大, 液晶层的分压就越大。

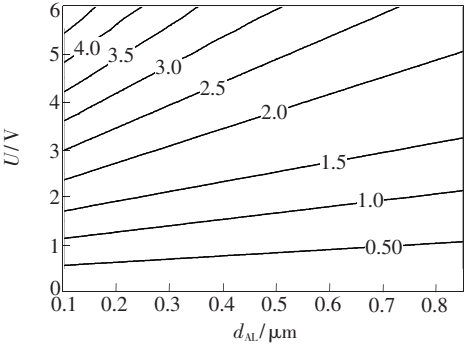


图 4 液晶层厚度为 $2 \mu\text{m}$ 时, 不同取向层厚度的液晶层分压等值图。

Fig. 4 Voltage grading of liquid crystal layer with various polyimide thickness for $d_{LC} = 2 \mu\text{m}$.

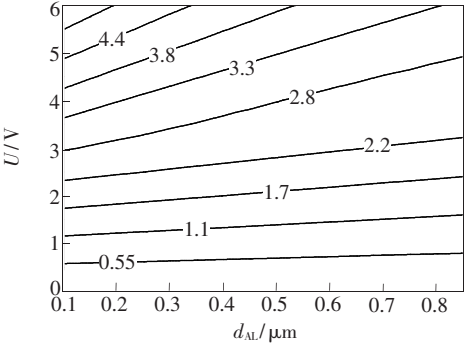


图 5 液晶层厚度为 $5 \mu\text{m}$ 时, 不同取向层厚度的液晶层分压等值图。

Fig. 5 Voltage grading of liquid crystal layer with various polyimide thickness for $d_{LC} = 5 \mu\text{m}$.

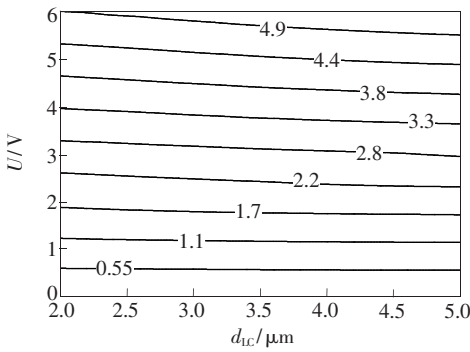


图 6 取向层厚度为 0.1 μm 时,不同液晶层厚度的液晶层分压等值图.

Fig. 6 Voltage grading of liquid crystal layer with various LC thickness for $d_{\text{LC}}=1\ \mu\text{m}$.

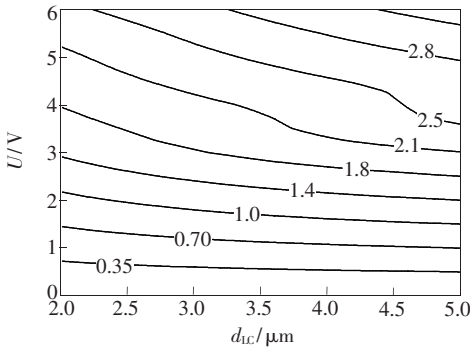


图 7 取向层厚度为 0.8 μm 时,不同液晶层厚度的液晶层分压等值图.

Fig. 7 Voltage grading of liquid crystal layer with various LC thickness for $d_{\text{LC}}=8\ \mu\text{m}$.

图 6 和 7 给出了取向层厚度固定,液晶层厚度变化对液晶层分压的影响。从图中可以看出,当取向层厚度为 0.1 μm 时,液晶层厚度变化对分压的影响很小,也就是说取向层的分压效应并不明显;当取向层厚度为 0.8 μm 时,液晶层的分压发生了明显变化,这是因为取向层厚度过大,导致了不同液晶层厚度情况下,取向层分走的电压有较大变化。

图 8 和图 9 给出了电极驱动电压固定,取向层厚度和液晶层厚度对液晶层分压的影响。由图可以看到:取向层厚度越小,液晶层厚度越大,液晶层的分压就接近于驱动电压,液晶层的分压会随着取向层厚度的增加而迅速减小。

以上结果均可以用式(1)来解释,如果取向层厚度为零,则液晶层的分压即为电极电压;若液晶层厚度不变,取向层厚度的增加则增大了式(1)的

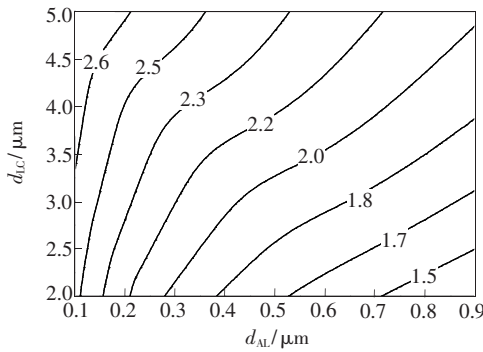


图 8 驱动电压为 3 V 时,取向层和液晶层厚度对液晶层分压的影响.

Fig. 8 Voltage grading of liquid crystal layer with various polyimide and LC thickness under $U=3\ \text{V}$.

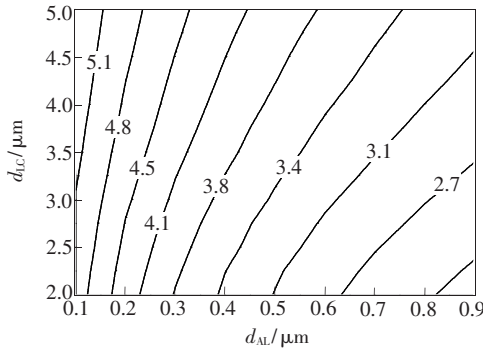


图 9 驱动电压为 6 V 时,取向层和液晶层厚度对液晶层分压的影响.

Fig. 9 Voltage grading of liquid crystal layer with various polyimide and LC thickness under $U=6\ \text{V}$.

分母,从而导致液晶层的分压变小;若取向层厚度不变,液晶层厚度的增加则减小了式(1)的分母,从而液晶层的分压增大;若两个厚度比值保持为常数,当液晶层中的液晶在电场作用发生了倾角的变化,则式(1)分母中的 ϵ_{LC} 也发生了变化,液晶层的分压也随之发生变化;若液晶层仅有扭曲形变,则液晶层的分压保持不变。

3 结 论

研究了取向层对液晶层分压的影响,通过理论得到了取向层影响液晶层分压的理论公式以及液晶层等效介电常数,从而可以计算液晶层的分压。取向层厚度越大,则液晶层分压就越小,所以在设计液晶显示器结构时,需要考虑取向层(或者彩色滤色膜)厚度的影响,因为液晶显示器的阈值电压和电光曲线都要受到其一定的影响。

参 考 文 献:

[1] 马红梅,王娜红,孙玉宝. 弱锚定垂面排列液晶显示器的响应时间 [J]. 液晶与显示,2008,23(1):26-29.

[2] [日]堀浩雄,铃木幸治. 彩色液晶显示 [M]. 北京:科学出版社,2003.

[3] 代永平. LCOS 微显示技术 [J]. 液晶与显示,2009,24(4):471-477.

[4] Jiao M, Ge Z, Song Q, *et al.* Alignment layer effects on thin liquid crystal cells [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92 (6):1102-1104.

[5] 谢毓章. 液晶物理学 [M]. 北京:科学出版社,1988.

[6] 郭硕鸿. 电动力学 [M]. 北京:高等教育出版社,1997.



科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年份,卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. 液晶与显示,2002,17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. 北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. 液晶与显示,2005,20(4):267-272. [2005-10-18]. http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp.

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第1版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第142委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及期彩色摄影术[M]//陈星旦. 光学与光学工程,北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. <http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm>(Big5).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国,ZL95241185.7[P]. 1997-08-09.

(下转 P597)