

文章编号:1007-2780(2022)04-0467-08

氮化硅膜层对侧视角白画面色偏的影响及 发红改善

叶成枝*, 操彬彬, 吕艳明, 马 力, 安 晖, 彭俊林,
冯耀耀, 杨增乾, 栗芳芳, 陆相晚, 李恒滨
(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘要:研究了 TFT 基板中氮化硅膜层对 TFT-LCD 终端产品侧视角白画面色偏的影响, 填补了 TFT 膜层与 TFT-LCD 侧视角白画面色偏的研究欠缺, 为类似的光学色度不良改善提供了有益的参考。通过大量的实验测试和仿真模拟, 探索了氧化硅膜层厚度对侧视角白画面色偏的影响规律。结果表明, 氮化硅膜层是一个影响色偏量和色偏方向的关键因素, 其中栅极绝缘层(GI)和第一钝化绝缘层(PVX1)对色偏的影响较大, 而第二钝化绝缘层(PVX2)对色偏的影响较小, 氮化硅厚度与白画面侧视角色偏程度呈非线性相关。以某款 HADS 产品为例, 其中氮化硅膜层包括栅极绝缘层(320 nm)、第一钝化绝缘层(100 nm)和第二钝化绝缘层(200 nm)。基于单因子实验结果和模拟结果, 综合考虑电学特性和产能影响, 采用 PVX1 140 nm 作为改善条件, 对侧视角白画面发红改善有效, 即宏观观察无发红现象且实测数据都满足产品规格。

关 键 词:薄膜晶体管液晶显示器; 氮化硅膜层; 光学色度; 侧视角色偏; 全白画面

中图分类号: TN141. 9; O439 **doi:**10. 37188/CJLCD. 2021-0284

Influence of SiN_x film on off-angle color shift of white screen and reddish improvement

YE Cheng-zhi*, CAO Bin-bin, LYU Yan-ming, MA Li, AN Hui, PENG Jun-lin, FENG Yao-yao,
YANG Zeng-qian, LI Fang-fang, LU Xiang-wan, LI Heng-bin

(Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology Co., Ltd., Hefei 230001, China)

Abstract: Research on the relationship of SiN_x film to off-angle color shift on white screen is carried out. The research in this paper fills in the lack of research of correlation between TFT film and off-angle color shift of TFT-LCD, and provides a useful reference for the improvement of similar optical chromaticity defects in other products. Through experimental measurement and software simulation, the influence of the thickness of the silicon nitride film on the color shift coordinates is explored. Experimental results show that the silicon nitride film layer is a key factor affecting the color shift, GI and PVX1 have a greater impact on color shift, while PVX2 has a little impact on color shift, and the thickness of the SiN_x is nonlinearly related to off-angle color shift on white screen. Taking a HADS product for example, the SiN_x film layer includes gate insulating layer (320 nm), 1st passivation insulator layer (100 nm), 2nd passivation insulator layer (200 nm). Based on single-factor experimental and simulation results, comprehensively considering

收稿日期:2021-11-11;修订日期:2022-02-17.

*通信联系人, E-mail: yechengzhi@boe.com.cn

the electrical characteristics and production capacity, the reddish on white screen from the viewing angle is improved effectively when PVX1 140 nm is used as the condition. That means there is no reddish by macroscopic observation and the measured data meets product specifications.

Key words: thin film transistor liquid crystal display; SiN_x film; optical chromaticity; off-angle color shift; white display

1 引言

薄膜晶体管液晶显示技术 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 是目前平板显示市场主流的显示技术之一^[1]。TFT-LCD 器件因其轻薄、轻质、功耗低等特点,广泛地应用于各种中大尺寸的终端显示设备^[2]。随着高端显示技术的发展,消费者对液晶显示屏的画质要求越发严格,因此液晶显示屏不同视角下显示的色偏 (Off-Angle Color shift, OAC shift) 成为评价面板性能的重要指标,特别是采用了 DCI-P3 材料的高色域产品,随观察视角增大更容易出现发红等色偏现象^[3]。理论上影响 TFT-LCD 产品的色度的关键因子有很多,如背光源 (BLU)、偏光片 (POL)、液晶 (LC)、彩膜 (CF) 以及阵列 (Array) 基板等^[4-6]。现有文献对于前 4 个方面的研究较多,比如背光源类型不同、光源色度不同直接影响色度曲线的起始位置,偏光片类型对色度影响较小,液晶类型不同、折射率不同但是只影响色度曲线的延伸长度,彩膜厚度不同主要影响色度曲线的延伸长度。以上因素都没有涉及到对色度曲线形态的影响,因此,对阵列的研究成为突破口。

对于薄膜晶体管阵列而言,一方面其与侧视角白画面色偏的研究十分欠缺,可参考经验较

少;另一方面像素开口区内的透光膜层复杂,界面较多,光经过不同界面时会发生干涉作用,理论上会影响色度^[7]。因此本文以像素开口区内的氮化硅绝缘层作为突破口,研究氮化硅膜层厚度对 TFT-LCD 产品侧视角白画面色偏的影响,并建立薄膜晶体管阵列与 OAC shift 的关联模型,进而指导高色域面板色偏改善。

2 实验方法

2.1 侧视角白画面色偏测试

本次实验样品制备基于合肥鑫晟光电 8.5 G TFT-LCD 生产线生产的色域为 DCI-P3 99.5% 的某尺寸 HADS 有机膜产品,其 TFT 膜层结构示意图如图 1 所示。透光膜层包括氮化硅材质的栅极绝缘层 (Gate Insulator, GI) 和钝化绝缘层 (Passivat, PVX1, PVX2)、树脂材质的有机绝缘层 (Organic Resin)、氧化铟锡材质的公共电极层 (1st ITO) 和像素电极层 (2nd ITO),其中氮化硅膜厚参考值分别为:GI (320 nm)、PVX1 (100 nm) 和 PVX2 (200 nm)。

本文使用 F-STAR 光学特性自动测量设备 (型号 PR 730),待测显示屏搭配同一块背光在白画面 (L255) 下进行 4 个方位不同视角下色度测试,如图 2 所示。测试的光斑位于显示屏中心,测

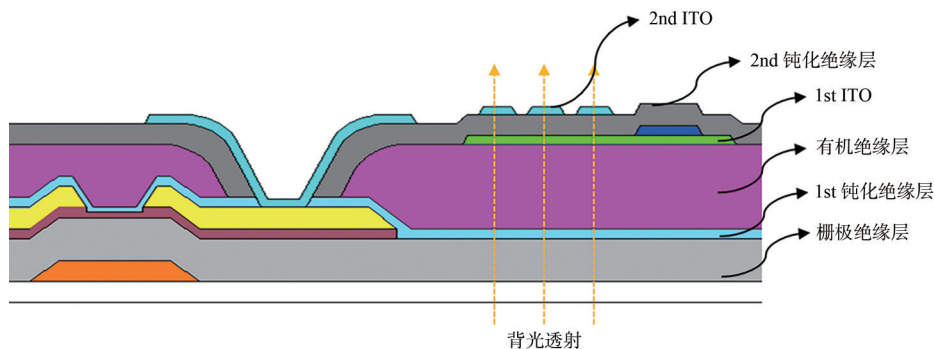


图 1 TFT 结构示意图

Fig. 1 TFT structure schematic

试视角区间为 $[-60^\circ, 60^\circ]$,设置 5° 为一个测试台阶,测试结果为垂直和水平方向不同角度下白点色度坐标为 (u'_i, v'_i) , $i = -60^\circ, -55^\circ, \dots, 50^\circ, 60^\circ$ 。

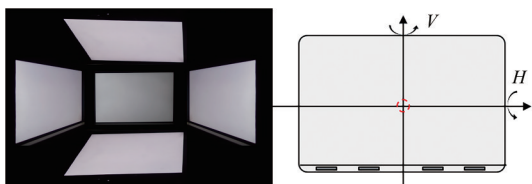


图2 四方位的侧视角色偏测试示意图

Fig. 2 OAC shift test schematic of four directions

2.2 侧视角白画面色偏的表征

目前行业内常用的色偏量化分析方法,是基于CIE-1976 $u'v'$ 色坐标系统,分别计算出不同视角的坐标 (u'_i, v'_i) 与正视视角下坐标 (u'_0, v'_0) 的偏移,偏移量计算如公式(1)所示。但是这个偏移量无法直观地表达人眼感知的颜色信息,判断显示屏偏向哪种颜色还需要通过人眼主观判定。

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_i - u'_0)^2 + (v'_i - v'_0)^2} \quad (i = -60^\circ, -55^\circ, \dots, 55^\circ, 60^\circ). \quad (1)$$

为了能找到一种不需要人眼判定,并且可以直观地表征显示屏偏向哪种颜色的方法,利用公式(2)计算显示屏不同视角下色度偏差坐标:

$$\Delta u'_i = u'_i - u'_0; \Delta v'_i = v'_i - v'_0. \quad (2)$$

图3是基于偏移量和感官判断建立的色偏坐标系,色度偏差坐标 $(\Delta u', \Delta v')$ 在该坐标系的位置决定了显示屏实际显示颜色的表现^[8]。红色椭圆线代表OAC shift的规格(人眼对绿色和红色

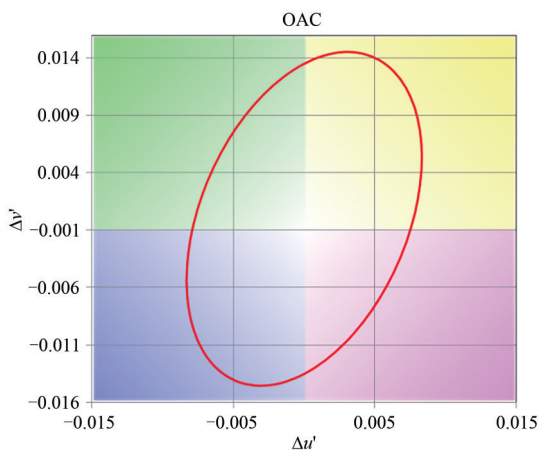


图3 色偏坐标系

Fig. 3 OAC shift coordinate system

更敏感,对应规格更严格),椭圆大小由短半轴 a 、长半轴 b 和倾斜角 θ 三个参数定义,椭圆面积越小,规格越严格。不同的客户或者不同产品限定的规格存在差异。规定角度范围的色度偏差坐标都落在椭圆内表示满足规格,反之有一个点以上落在椭圆外表示超出规格,色偏坐标离椭圆零点距离越远代表色偏越严重。

3 实验结果及分析

3.1 SiN_x 膜厚对OAC shift的影响

薄膜晶体管阵列膜层结构相对复杂,沉积了多层膜层(开口区主要包括 SiN_x 、有机膜层(Resin)、ITO等),因此会形成更多界面,光线透过开口区膜层,在不同界面都会发生光的干涉作用^[9]。根据折射定律可以推导出光程差与膜厚的关系式,参考公式(3),其中参数 d 为膜层厚度, n_1 为膜层折射率, Ψ 为入射角度。因此膜厚不同光程差不同,当光程差为某波长的整数倍时该波长处相干叠加,当光程差为某波长的半整数倍时该波长处相干减少^[10]。所以透光膜层膜厚变化导致薄膜晶体管阵列整体膜层干涉效应的变化,引起各波段透过率的变化,因此理论上 SiN_x 厚度变化对色度会产生直接的影响。

$$\Delta S = 2d \sqrt{n_1^2 - (\sin \Psi)^2}. \quad (3)$$

为验证上述理论分析,实验使用某尺寸HADS产品,选择阵列膜层中不同作用的 SiN_x 作为单一变量,开口区 SiN_x 膜厚参考值分别为:GI(320 nm)、PVX1(100 nm)和PVX2(200 nm),改变GI/PVX1/PVX2厚度(设计范围考虑量产性),其他条件保持不变,不同条件的样品制作完成无背光的显示屏待测试,具体实验设计如表1所示。

不同条件的样品搭配同一块背光进行白画面(L255)下不同视角下的OAC shift测试(水平方位下 $-60^\circ \sim 60^\circ$),对比上述样品色偏量变化曲线,以样品1#为参考基准,如图4所示。由图4可以看出,所有样品的 $\Delta u'v'$ 值随着侧视角增大而增大。

由图4(a)可以看出,相比样品1#,样品3#的 $\Delta u'v'$ 值整体都有所下降,其中在 60° 视角下从0.015降到0.010;样品2#和样品3#整体水平相当,在 60° 视角下从0.010微升到0.012;样品4#

表 1 SiN_x膜厚对侧视角白画面色偏的影响

Tab. 1 Effect of SiN_x THK on OAC shift

Sample	GI THK /nm	PVX1 THK/nm	PVX2 THK/nm	$\Delta u'v'$ (60°)
样品 1# (参考)	320	100	200	0.015
样品 2#	240	100	200	0.012
样品 3#	280	100	200	0.010
样品 4#	360	100	200	0.003
样品 5#	400	100	200	0.007
样品 6#	320	120	200	0.012
样品 7#	320	140	200	0.005
样品 8#	320	160	200	0.008
样品 9#	320	100	180	0.015
样品 10#	320	100	220	0.012
样品 11#	320	100	240	0.012
样品 12#	320	100	260	0.012

的 $\Delta u'v'$ 值整体明显下降,其中在 60°视角下从 0.015 大幅降到 0.003;样品 5# 的 $\Delta u'v'$ 值整体反弹回升,在 60°视角下从 0.003 回升到 0.007。总体看,GI 厚度增加对 $\Delta u'v'$ 值影响较大,GI 厚度减薄对 $\Delta u'v'$ 值影响较小,但都是非线性变化的。

由图 4(b)可以看出,相比样品 1#,样品 6# 的 $\Delta u'v'$ 值整体都有所下降,其中在 60°视角下从 0.015 降到 0.012;样品 7# 的 $\Delta u'v'$ 值整体明显下降,在 60°视角下从 0.012 大幅降到 0.005;样品 8# 的 $\Delta u'v'$ 值整体反弹回升,在 60°视角下从 0.005 回升到 0.008。总体看,PVX1 厚度增加对 $\Delta u'v'$ 值影响较大,且是非线性变化的。

由图 4(c)可以看出,相比样品 1#,样品 9# 的 $\Delta u'v'$ 值整体变化不大,其中在 60°视角下 $\Delta u'v'$ 值也无明显差异;样品 10#~12# 整体水平相当, $\Delta u'v'$ 值相对样品 1# 稍有降低,在 60°视角下从 0.015 降到 0.012。总体看,PVX2 厚度的变化对 $\Delta u'v'$ 值影响较小。

以上基于色偏量 $\Delta u'v'$ 值分析无法直观表征显示屏偏向哪种颜色,下面利用“色偏坐标系”处理得到如图 5 所示结果。由图 5 可以看出,所有样品的 $(\Delta u', \Delta v')$ 随着侧视角增大而远离原点。

由图 5(a)可以看出,相比样品 1#,样品 3# 在

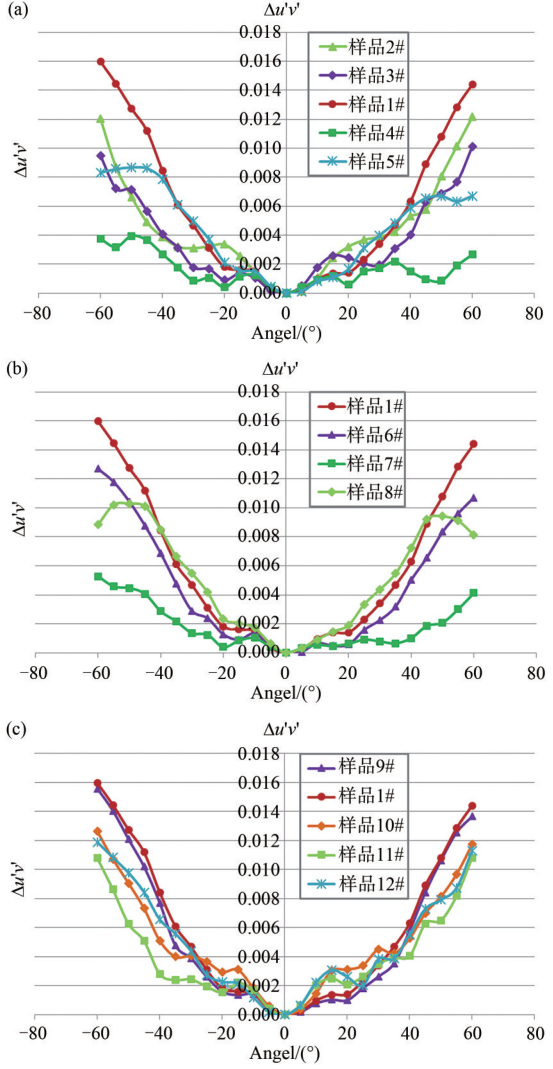


图 4 (a)不同 GI THK 色偏量变化曲线;(b)不同 PVX1 THK 色偏量变化曲线;(c) 不同 PVX2 THK 色偏量变化曲线。

Fig. 4 (a) $\Delta u'v'$ curve changed with GI THK; (b) $\Delta u'v'$ curve changed with PVX1 THK; (c) $\Delta u'v'$ curve changed with PVX2 THK.

60°视角下 $(\Delta u', \Delta v')$ 由 (0.011, -0.010) 降到 (0.009, 0.003),侧视角下色度由偏红转向偏黄;样品 2# 在 60°视角下 $(\Delta u', \Delta v')$ 由 (0.009, 0.003) 变到 (0.006, 0.010),侧视角下色度偏黄加重;样品 4# 在 60°视角下 $(\Delta u', \Delta v')$ 明显下降,由 (0.011, -0.010) 降到 (0.002, -0.001),侧视角下色度偏红明显减弱;样品 5# 在 60°视角下 $(\Delta u', \Delta v')$ 升高,由 (0.002, -0.001) 回到 (0.005, -0.005),侧视角下色度偏红加重。总体上看,GI 厚度减薄对偏移量影响较小,主要是

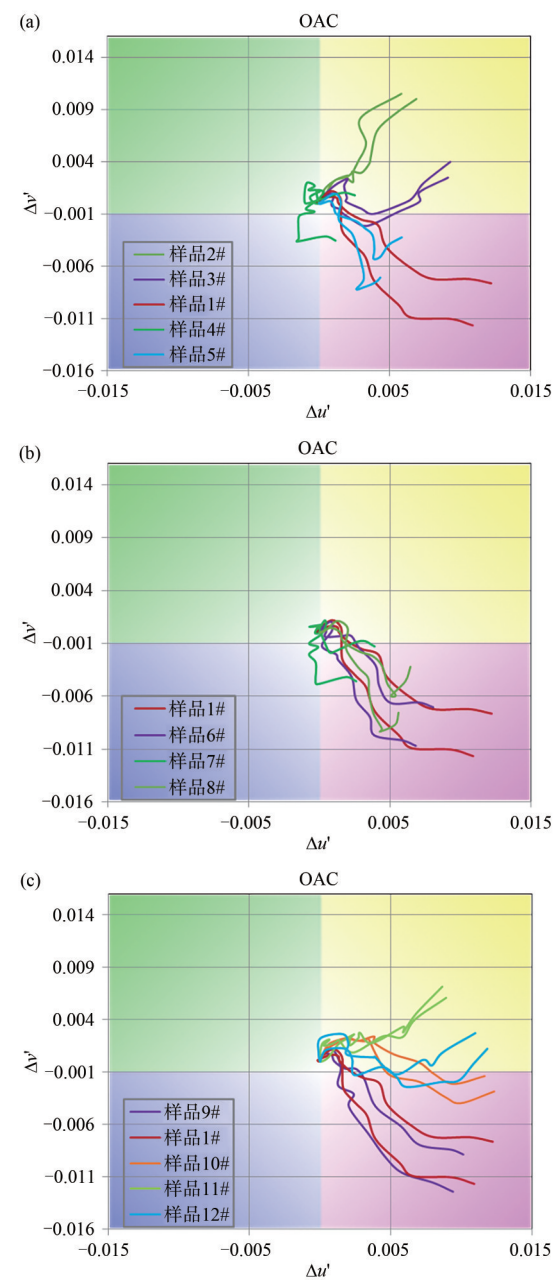


图5 (a)不同GI THK色偏坐标变化曲线;(b)不同PVX1 THK色偏坐标变化曲线;(c)不同PVX2 THK色偏坐标变化曲线。

Fig. 5 (a) OAC shift curve changed with GI THK; (b) OAC shift curve changed with PVX1 THK; (c) OAC shift curve changed with PVX2 THK.

影响色偏方向,由偏红转为偏黄;GI厚度增加对色偏方向无影响,对偏移量影响较大,但呈非线性变化,GI 360 nm条件对侧视角偏红改善明显。

由图 5(b)可以看出,相比样品 1#,样品 6#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)下降到(0.007,−0.009),色度偏红减弱;样品 7#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)下降

到(0.003,−0.003),色度偏红大幅度减弱;样品 8#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)回到(0.006,−0.005),色度偏红反转加重。总体来看,PVX1厚度的增加对色偏方向无影响,对偏移量影响较大,但呈非线性变化,PVX1 140 nm条件对侧视角偏红改善明显。

由图 5(c)可以看出,相比样品 1#,样品 9#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)无变化;样品 10#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)下降到(0.012,−0.002),侧视角下色偏方向改变,但是仍偏红;样品 11#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)下降到(0.009,0.007),侧视角下色偏方向改变,由偏红转向偏黄;样品 12#在 60°视角下($\Delta u'$, $\Delta v'$)变到(0.011,0.002),侧视角下色偏方向改变较小,仍偏黄。总体来看,PVX2厚度的增加对偏移量影响较小,对色偏方向有一定影响,有偏红向偏黄转换趋势,但存在波动性,规律不明显。

综上所述,GI和PVX1对色偏的影响较大,PVX2对色偏的影响较小,膜层位置不同影响有差异,位于有机膜下面的SiN_x(GI)厚度降低对色偏量影响较小,但对色偏方向有影响;位于有机膜层下面的SiN_x(GI&PVX1)厚度增加色偏量先减小后增加,呈现非线性影响,符合光干涉规律;而位于有机膜和1stITO层上面的SiN_x(PVX2)厚度增加对色偏量影响较小,但是对色偏方向有一定影响。

3.2 SiN_x膜厚对 OAC shift影响的模拟

为了从理论上佐证上述单因子实验结果,本文基于上述实验结果选择GI+PVX1厚度为420 nm和460 nm作为模拟条件,利用Matlab软件建立光学模型对OAC shift进行仿真模拟,模拟条件为白画面下水方位−60°~60°,模拟方案如表2所示。

图6为OAC shift模拟结果,其中红色椭圆线代表OAC shift的规格线,椭圆短半轴 $a=0.015$,长半轴 $b=0.0075$,倾斜角 $\theta=16^\circ$ 。图6(a)OAC结

表 2 SiN _x 膜厚对 OAC shift 的模拟			
Tab. 2 Simulation of OAC shift by SiN _x THK			
Case	GI+PVX1 THK/nm	Sample count	Result
Case1(ref.)	420±42	N=5x	NG
Case2	460±46	N=5x	OK

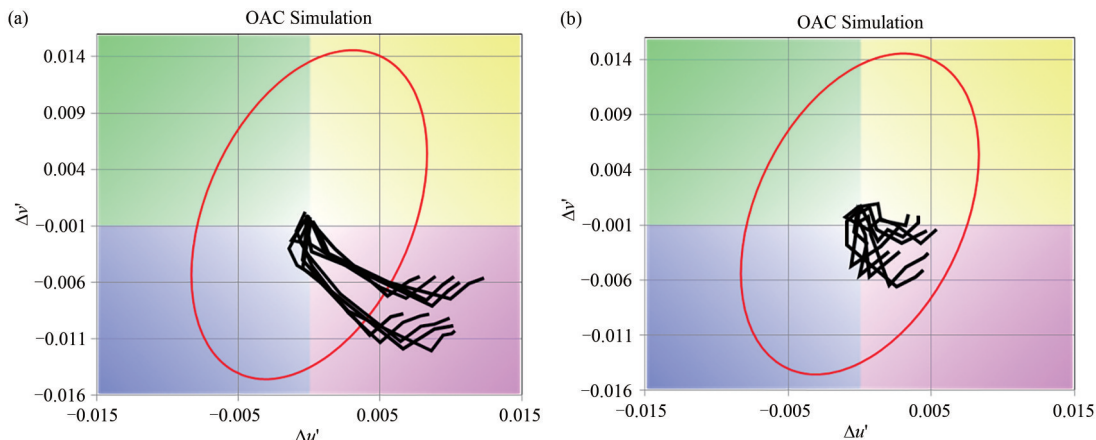


图 6 (a) OAC shift 模拟曲线 1; (b) OAC shift 模拟曲线 2。

Fig. 6 (a) OAC shift simulation curve of case1; (b) OAC shift simulation curve of case2.

果显示色偏量较大(超出规格),且色度偏红严重,与图 5 中样品 1# 的 OAC 测试结果一致。图 6(b) OAC 结果显示色偏量较小(规格内),且色偏现象明显减轻,与图 5(b) 中样品 7# 的 OAC 测试结果接近。模拟结果与实验结果的匹配证明了前文的理论推断:透光膜层膜厚变化导致薄膜晶体管阵列整体膜层干涉效应的发生改变,进而引起各波段透过率的变化,最终导致色偏现象。

3.3 侧视角发红的改善

鉴于上述单因子实验结果和软件模拟结果,本文针对侧视角白画面发红提出改善措施。综合考虑电学特性和产能影响,改善条件采用

PVX1 140 nm 更为合理,按照客户规格(椭圆线)、斜视方位和角度、测试数量($N=15x$)以及实际显示屏点灯画面综合判定样品是否合格。

参考条件和改善条件分别随机取 15 片样品搭配同一块背光进行白画面下不同视角下的 OAC shift 测试(水平方位 $-60^{\circ} \sim 60^{\circ}$),样品 OAC shift 测试结果如图 7 所示。图 7(a) OAC shift 实测结果显示色偏量较大(超出规格),角度越大色度偏红越严重,与图 6(a) OAC shift 模拟结果一致。图 7(b) OAC shift 实测结果显示色偏量较小(规格内),且无明显色偏现象,与图 6(b) OAC shift 模拟结果对比无明显差异。

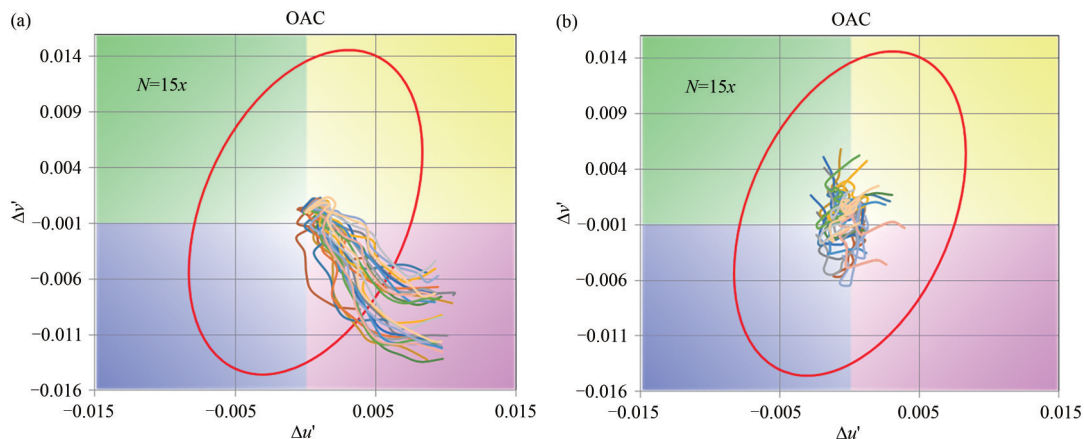


图 7 (a) 参考条件的色偏坐标变化曲线; (b) 改善条件的色偏坐标变化曲线。

Fig. 7 (a) OAC shift curve of reference; (b) OAC shift curve of improved condition.

上述参考样品和改善样品分别在水平和垂直方位 $\pm 60^{\circ}$ 视角下的白画面对比如图 8 所示。

通过宏观视角图对比,参考样品正视角下的白画面在 $\pm 60^{\circ}$ 斜视角下可见明显发红,而改善样品在

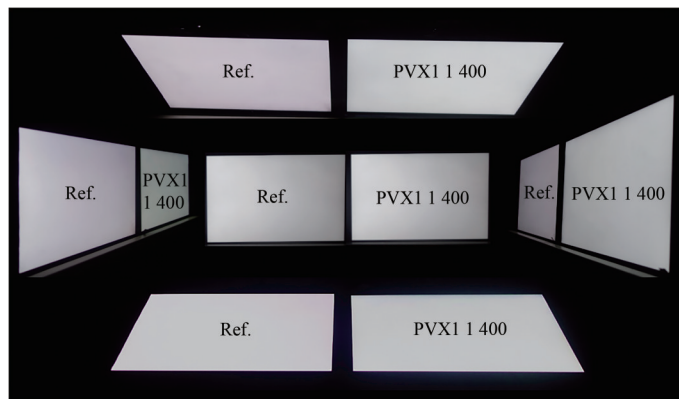


图8 参考样品和改善样品白画面四方位视角图对比

Fig. 8 Comparison of the reference sample and improved sample under L255 viewing angle

斜视角下无此现象,与图(7) OAC shift 曲线匹配。综合 OAC shift 曲线和实际画面判定, PVX1 140 nm 的条件针对侧视角发红的改善有效。

4 结 论

针对 HADS 型 TFT-LCD 白画面侧视角发红现象研究了薄膜晶体管透光区不同氮化硅层对侧视角色偏的影响。其中有机膜层以下的氮化硅是影响侧视角色偏的关键因素之一,不仅会影响色偏量,也会影响到色偏方向。同步进行的软件模拟验证了单因子实验结果,最终综合考虑特性和产能影响选择最优的条件解决了大视角发红问题。

(1)位于有机膜层下面的 SiN_x (GI 和 PVX1) 对色偏的影响较大,色偏量随 SiN_x (GI+PVX1) 厚度增加先减小再增加,呈现非线性影响;位于有机膜下面的 SiN_x (GI) 厚度降低对色偏量影响

较小,但对色偏方向有影响;而位于有机膜和 ITO 层上面的 SiN_x (PVX2) 厚度对色偏量的影响较小,但是对色偏方向有一定影响,也是呈现非线性影响。

(2)选择 GI+PVX1 厚度 420 nm 和 460 nm 两个条件进行 OAC shift 仿真模拟,模拟结果与单因子实验结果匹配,从而证明了以下理论推断:透光膜层膜厚变化导致 TFT 基板整体膜层干涉效应的变化,引起各波段透过率的变化,最终导致色偏现象。

(3)结合单因子实验结果和模拟结果,综合考虑电学特性和产能影响,采用 PVX1 140 nm 作为改善条件, OAC shift 测试结果和宏观视角图综合判定对侧视角白画面发红的改善有效。

本文研究填补了薄膜晶体管阵列中氮化硅膜层与 TFT-LCD 白画面色偏的研究欠缺,为其他产品类似的光学色度不良改善提供了有益的参考。

参 考 文 献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2011:24-25.
MA Q G. *The Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2011: 24-25. (in Chinese)
- [2] 廖燕平,宋勇志,邵喜斌,等. 薄膜晶体管显示器显示原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2016:14-33.
LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B, *et al.* *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2016: 14-33. (in Chinese)
- [3] 万冀豫,冯贺,汪栋,等. 液晶显示器侧视角发红机理分析及改善[J]. 液晶与显示,2018,33(1):38-42.
WAN Y Y, FENG H, WANG D, *et al.* Mechanism analysis and improvement of reddish side-view on LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(1): 38-42. (in Chinese)
- [4] 王元庆. 机载液晶显示器的光学特性分析[J]. 现代显示,2002(1):48-52.
WANG Y Q. Analysis on the optical feature of cockpit LCD [J]. *Advanced Display*, 2002(1): 48-52. (In Chinese)
- [5] 段彬,刘伟永. LED 背光对 LCD 色彩的影响[J]. 电视技术,2012,36(9):55-58.

- DUAN B, LIU W Y. Influence of LED backlight on color performance of liquid crystal devices [J]. *Video Engineering*, 2012, 36(9): 55-58. (in Chinese)
- [6] AKAHANE K, SHIBATA Y, ISHINABE T, *et al.* Wide-viewing-angle band-pass reflective polarizer for wide-color-gamut LCDs [J]. *SID symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 988-991.
- [7] 荆其诚. 色度学[M]. 北京:科学出版社,1979:89-95.
JING Q C. *Colorimetry* [M]. Beijing: Publishing House of Science, 1979: 89-95. (in Chinese)
- [8] 丁沫沂,仲雪飞,程婷. 等. LCD视角的主观视觉感知评价方法[J]. 电子器件,2008,31(5):1425-1428.
DING S Y, ZHONG X F, CHENG T, *et al.* Perceptual evaluation method for the viewing angle of LCD [J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(5): 1425-1428. (in Chinese)
- [9] 陈煌彬. 高色域液晶显示的光谱优化技术研究[D]. 福州:福州大学,2016.
CHEN H B. Investigation on spectral optimization of high color gamut liquid crystal display [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2016. (in Chinese)
- [10] LU R B, WU S T, LEE S H. Reducing the color shift of a multidomain vertical alignment liquid crystal display using dual threshold voltages [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(5): 051114.

作者简介:



叶成枝(1986—),男,安徽无为,人,硕士,2012年于河北工业大学获得硕士学位,主要从事液晶显示器 TFT 工艺相关的技术研发工作。E-mail: yechengzhi@boe.com.cn