

文章编号:1007-2780(2019)02-0160-09

TFT-LCD 制程对低频横纹色差的影响及研究

顾小祥*, 杨 丽, 曾 龙

(昆山龙腾光电有限公司, 江苏 昆山 215301)

摘要: LC 配向的均一性在 LCD 中是必不可少的, 光配向制程是通过施加紫外偏振光照射在 IPS(In-Plane Switch) LCD 中形成液晶配向沟槽的一种技术, 然而紫外光照射的同时会损伤 TFT 器件, 使非晶硅层产生光生载流子, 电子发生迁移, 导致 TFT 漏电流从而影响图像品质, 产生横纹色差。在低频时, 栅极开关时间延长, 相邻扫描线之间容易发生混充电现象, 部分充电截止的像素重新充电, 从而使横纹色差变严重。本文从制程和电性调整方面对低频横纹色差进行了研究, 结果表明: (1) 紫外光照射后进行烘烤, 可以有效降低漏电流, 高温 (240 °C) + 长时间 (4 200 s) 改善低频横纹色差效果佳 (比例: 0.00 %); (2) 延长 Out Enable (4.8 μ s) + 降低 V_{gh} (18 V) + 提高 GOA (Gate On Array) 电路中电压 V_{ss_Q} (-7.5 V), 改善低频横纹色差效果佳 (比例: 0.00 %).

关键词: 光配向; 低频横纹色差; 漏电流

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193402.0160

Influence and research of TFT-LCD process on low frequency striped Mura

GU Xiao-xiang*, YANG Li, ZENG Long

(InfoVision Optoelectronics (Kunshan) Co., Ltd., Kunshan 215301, China)

Abstract: Uniform LC alignment is indispensable in LCD, and photo-alignment process is one technology to form liquid crystal alignment grooves in IPS (In-Plane Switch) LCD by applying polarized UV irradiation. However, UV exposure treatment will simultaneously damage TFT device that produces photo generated electrons and electronic migration on amorphous silicon layer. The TFT leakage current will lead to poor image quality. At low frequency, mixed-charge phenomenon is easily occurred between neighboring scan line due to longer gate switching time, parts of off-pixels re-charged then enhance striped Mura appearance. In this paper, we discuss the impacts on low frequency Mura from process and electrical property. The results show that: (1) Applying thermal treatment after UV irradiation can effectively reduce the leakage current, high temperature (240 °C) + long time (4 200 s) can improve low frequency Mura (Ratio: 0.00 %); (2) Extending the out enable time (4.8 μ s) + reducing V_{gh} (18 V) + increasing GOA circuit static operating point voltage V_{ss_Q} (-7.5 V) can improve low frequency Mura (Ratio: 0.00 %).

Key words: photo-alignment; low frequency striped Mura; leakage current

收稿日期: 2018-04-05; 修订日期: 2018-12-20.

* 通信联系人, E-mail: coolgu@ivo.com.cn; gxx87520@126.com

1 引言

液晶配向是 TFT-LCD 显示的关键技术,目前应用较多的有两种方式:摩擦配向(Rubbing)和光配向(Photo-Alignment)。与摩擦配向相比,光配向不需要和配向膜接触,利用紫外光敏聚合物在光化学反应下产生各向异性,从而形成具有配向能力的聚合物膜,以实现液晶分子取向的控制,能够解决摩擦造成的粉尘和颗粒污染、静电残留、刷痕等问题,有效提高产品良率^[1]。最常用的光配向技术是线性偏振紫外光(LPUV)裂解技术,与紫外光偏振方向相同的分子链在 UV 照射下发生光裂解反应。另外,光配向的预倾角接近 0° ,应用于 IPS 显示模式能获得较高的对比度。因此,随着应用品质的提升,光配向技术越来越多地应用于 TFT-LCD 中^[2]。

TFT 的半导体层可以使用非晶硅、微晶硅或者多晶硅,目前绝大部分产品是采用氢化非晶硅(Amorphous silicon, a-Si:H)制成^[3-4]。对于非晶硅(SiN_x) + 欧姆层(n^+)结构的有源层来说,光配向制程中紫外光照射到非晶硅层时会导致该层中产生光生载流子,电子发生迁移,导致漏电流变大,从而影响薄膜晶体管的电学特性,进而导致串扰等问题的发生,影响液晶面板的显示质量^[5],因此研究光配向对于非晶硅层电学特性的影响具有重要意义。本文以 IPS 型产品为研究平台,研究了制程和电性调整对 TFT-LCD 漏电流的影响,对优化光配向制程工艺具有一定的指导作用。

2 实验

2.1 横纹色差现象

330 mm(13.0 in)IPS 产品使用光配向制程,完成模组工艺后,在 48 Hz 下出现横纹色差现象(图 1),降低频率至 30 Hz 时横纹色差恶化(图 2)。

2.2 横纹色差初步分析

如表 1 所示,摩擦配向模组成品频率 30/48 Hz 测试横纹色差比例均为 0.00%,光配向模组成品频率 30 Hz 测试横纹色差比例为 100.00%,频率 48 Hz 测试横纹色差比例为 60.00%。光配向模组成品在低频状态下,横纹色差会变严重,而摩擦配向模组成品低频状态下无此现象,初步确



图 1 横纹色差

Fig.1 Striped Mura

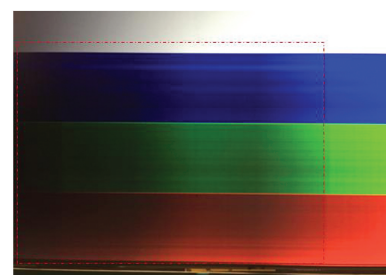


图 2 低频横纹色差

Fig.2 Low frequency striped Mura

定光配向制程是造成横纹色差的原因。

光配向制程相比摩擦配向制程主要差异在于配向方式不同:光配向通过紫外光照射达到配向效果,摩擦配向通过布毛接触达到配向效果。紫外光会对 TFT 非晶硅层电学特性产生影响^[5],IPS 产品中非晶硅层主要集中在 AA(Active Area)区和 GOA 区。此光配向制程选用光裂解方式,经过紫外光照射后,会裂解产生小分子,需进行高温烘烤制程去除,摩擦配向无烘烤制程,光配向后烘烤对 TFT 漏电流是否有影响,需要研究确认。

表 1 不同配向方式横纹色差比例

Tab.1 Striped Mura ratio with different alignment methods

Alignment method	Photo-alignment		Rubbing	
频率/Hz	30	48	30	48
横纹色差比例	100.00%	60.00%	0.00%	0.00%

2.3 实验条件

实验样品选用 330 mm(13.0 in) IPS 产品 TFT 作为平台。图 3 为 TFT 基板的光配向配向

膜制作流程^[6]。将 PI 液涂布在 TFT 基板上,PI 在一定的温度和时间下进行 Pre-bake 和 Post-bake,形成配向膜,实验设置不同紫外光功率及累积光量、After-bake 温度及时间(表 2)。光配向制程结束后,通过测量电学特性,确认不同紫外光功率及累积光量、After-bake 温度及时间对 TFT

电学特性的影响。

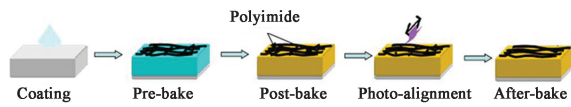


图 3 配向膜制作流程

Fig.3 Manufacturing flow of alignment film

表 2 实验方案

Tab.2 Experimental scheme

条件	Lamp Power/(W · cm ⁻¹)	Dosage/(mJ · cm ⁻²)	After-Bake Temp./℃	After-bake time/s
1	By pass	By pass	235	1 800
2	100	600	235	1 800
3	150	600	235	1 800
4	200	600	235	1 800
5	150	300	235	1 800
6	150	600	235	1 800
7	150	600	By pass	By pass
8	150	600	230	1 800
9	150	600	235	1 800
10	150	600	240	1 800
11	150	600	240	3 000
12	150	600	240	4 200

2.4 测试与表征

采用电性量测机台(Probe station,是德科技有限公司,型号 4156C)进行测试,电学特征表征参数有 4 项:

- (1)漏电流(I_{off}):选定为栅极电压 V_{gl} 的漏极电流;
- (2)开启电压(V_{th}):TFT 打开所需栅极最小电压;
- (3)工作电流(I_{on}):TFT 开态电流,选定为栅极电压 V_{th} 的漏极电流;
- (4)迁移率(μ):载流子在栅极电压为 V_{th} 时

的电子迁移速率。

3 结果与讨论

3.1 TFT 电学特性实验

3.1.1 紫外光功率对 TFT 电学特性的影响

使用不同紫外光功率照射 TFT 基板前后 4 项电学特性变化见表 3、图 4 所示。TFT 不进行紫外光照射,仅进行烘烤, I_{off} 漏电流变化幅度小;紫外光功率越大, I_{off} 漏电流变化幅度越大; $V_{\text{th}}/I_{\text{on}}/\mu$ 无明显变化。

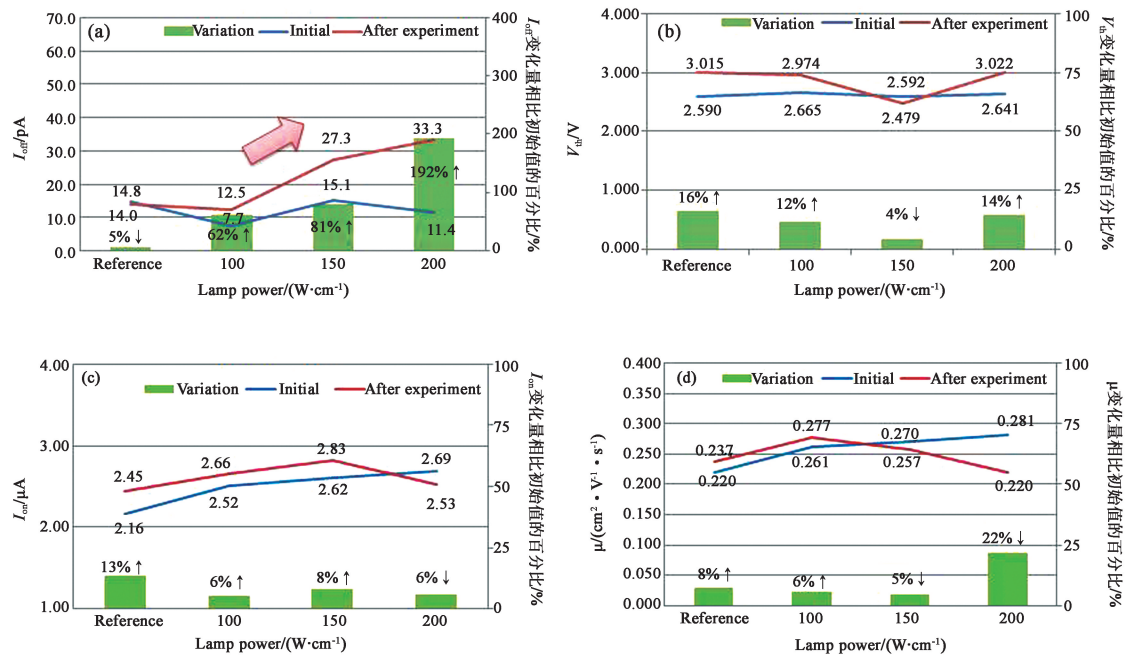
表 3 不同紫外光(UV)功率下的 TFT 电性变化趋势

Tab.3 TFT electrical properties trend under different UV power

	Lamp Power/(W · cm ⁻¹)							
	Ref		100		150		200	
	Initial	By pass UV	Initial	After PA	Initial	After PA	Initial	After PA
I_{off}/pA	14.8	14.0	7.7	12.5	15.1	27.3	11.4	33.3
V_{th}/V	2.590	3.015	2.665	2.974	2.592	2.479	2.641	3.022

续 表

	Lamp Power/(W · cm ⁻¹)							
	Ref		100		150		200	
	Initial	By pass UV	Initial	After PA	Initial	After PA	Initial	After PA
$I_{on}/\mu A$	2.16	2.45	2.52	2.66	2.62	2.83	2.69	2.53
$\mu/(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.220	0.237	0.261	0.277	0.270	0.257	0.281	0.220

图4 不同紫外光(UV)功率下的 TFT 电性变化量。(a) I_{off} ; (b) V_{th} ; (c) I_{on} ; (d) μ 。Fig.4 TFT electrical properties under different UV power. (a) I_{off} . (b) V_{th} . (c) I_{on} . (d) μ .

3.1.2 紫外光累积光量对 TFT 电学特性的影响

使用不同紫外光累积光量照射 TFT 基板前后 4 项电学特性变化见表 4、图 5 所示。随着紫

外光累积光量变大, I_{off} 漏电流有明显变大的趋势, 说明紫外光照射是造成 I_{off} 漏电流变大的主要因子; $V_{th}/I_{on}/\mu$ 无明显变化。

表 4 不同紫外光(UV)累积光量下的 TFT 电性变化趋势

Tab.4 TFT electrical properties trend under different UV dosage

	Dosage/(mJ · cm ⁻²)					
	Reference		300		600	
	Initial	By pass UV	Initial	After PA	Initial	After PA
I_{off}/pA	14.8	14.0	9.6	16.3	15.1	27.3
V_{th}/V	2.590	3.015	2.825	3.143	2.592	2.479
$I_{on}/\mu A$	2.16	2.45	2.48	2.49	2.62	2.83
$\mu/(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.220	0.237	0.263	0.230	0.270	0.257

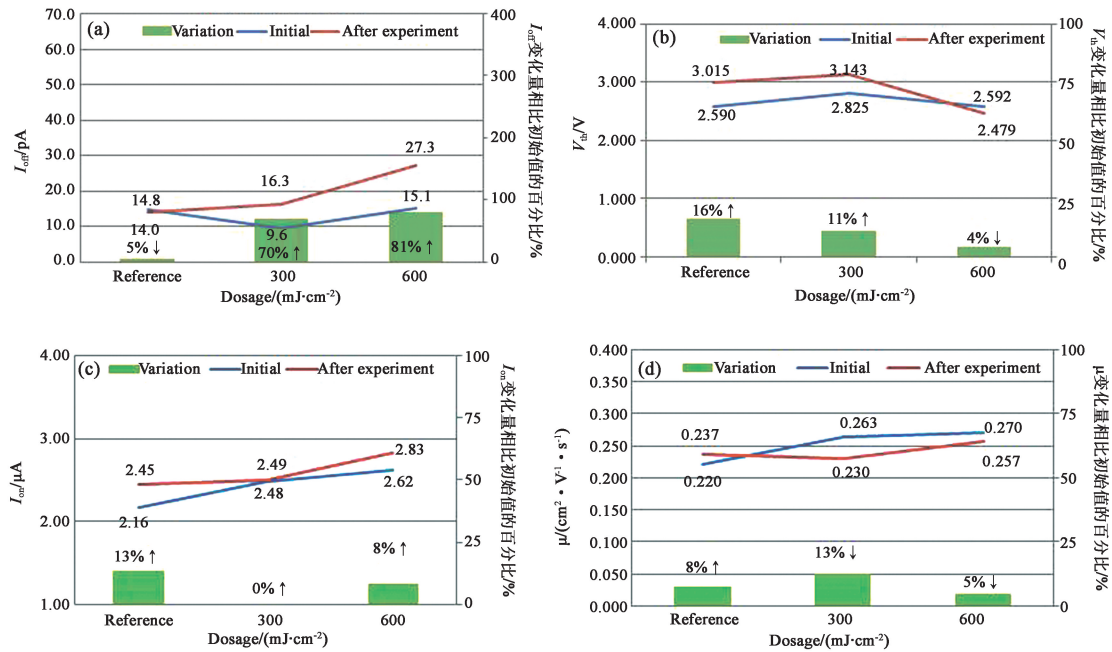


图 5 不同紫外光(UV)累积光量下的 TFT 电性变化量。(a) I_{off} ; (b) V_{th} ; (c) I_{on} ; (d) μ 。

Fig.5 TFT electrical properties of different UV dosage. (a) I_{off} . (b) V_{th} . (c) I_{on} . (d) μ .

3.1.3 紫外光后烘烤温度对 TFT 电学特性的影响

使用不同烘烤温度 TFT 基板前后 4 项电学特性变化如表 5、图 6 所示。只进行紫外光照射且不烘烤, I_{off} 漏电流变化最大; 紫外光照射后烘

烤, 因 TFT 沟道的界面层有缺陷, 有些空穴没有被填补, 载流子浓度不稳定, 通过高温烘烤可以填补一些缺陷和空位, 从而使 I_{off} 漏电流变小, 不同烘烤温度在固定时间内 (1 800s) 差异不大; $V_{th}/I_{on}/\mu$ 无明显变化。

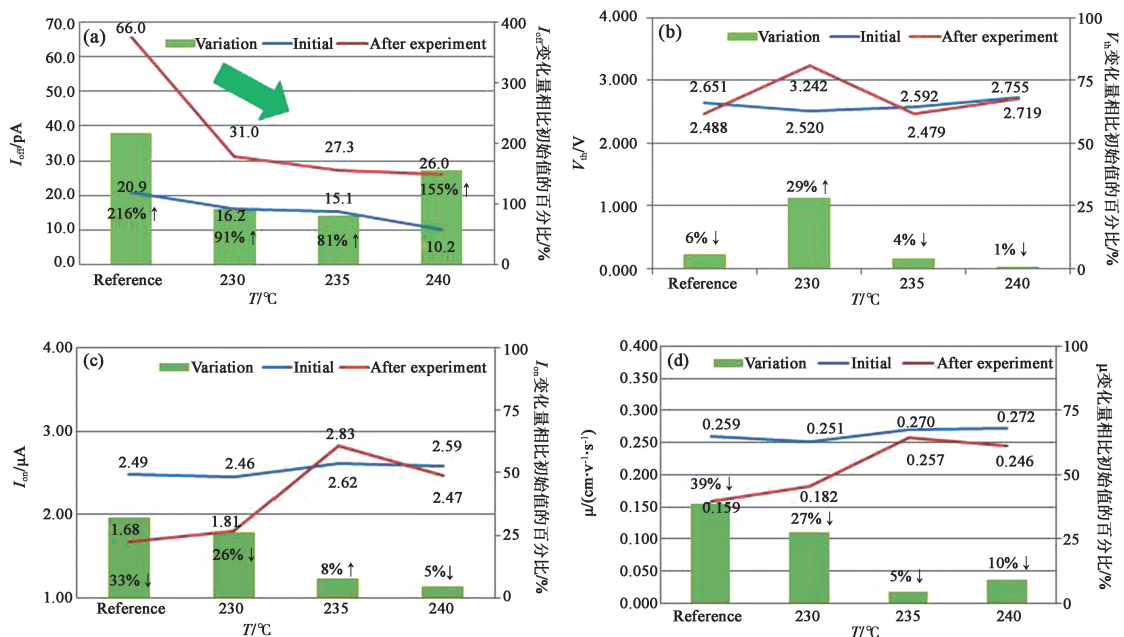


图 6 不同烘烤温度下的 TFT 电性变化量。(a) I_{off} ; (b) V_{th} ; (c) I_{on} ; (d) μ 。

Fig.6 TFT electrical properties under different bake temperature. (a) I_{off} . (b) V_{th} . (c) I_{on} . (d) μ .

表 5 不同烘烤温度下的 TFT 电性变化趋势

Tab.5 TFT electrical properties trend under different bake temp

	Temp./ $^{\circ}\text{C}$							
	Ref		230		235		240	
	Initial	By pass bake	Initial	After PA	Initial	After PA	Initial	After PA
I_{off}/pA	20.9	66.0	16.2	31.0	15.1	27.3	10.2	26.0
V_{th}/V	2.651	2.488	2.520	3.242	2.592	2.479	2.755	2.719
$I_{\text{on}}/\mu\text{A}$	2.49	1.68	2.46	1.81	2.62	2.83	2.59	2.47
$\mu/(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.259	0.159	0.251	0.182	0.270	0.257	0.272	0.246

3.1.4 紫外光后烘烤时间对 TFT 电学特性的影响

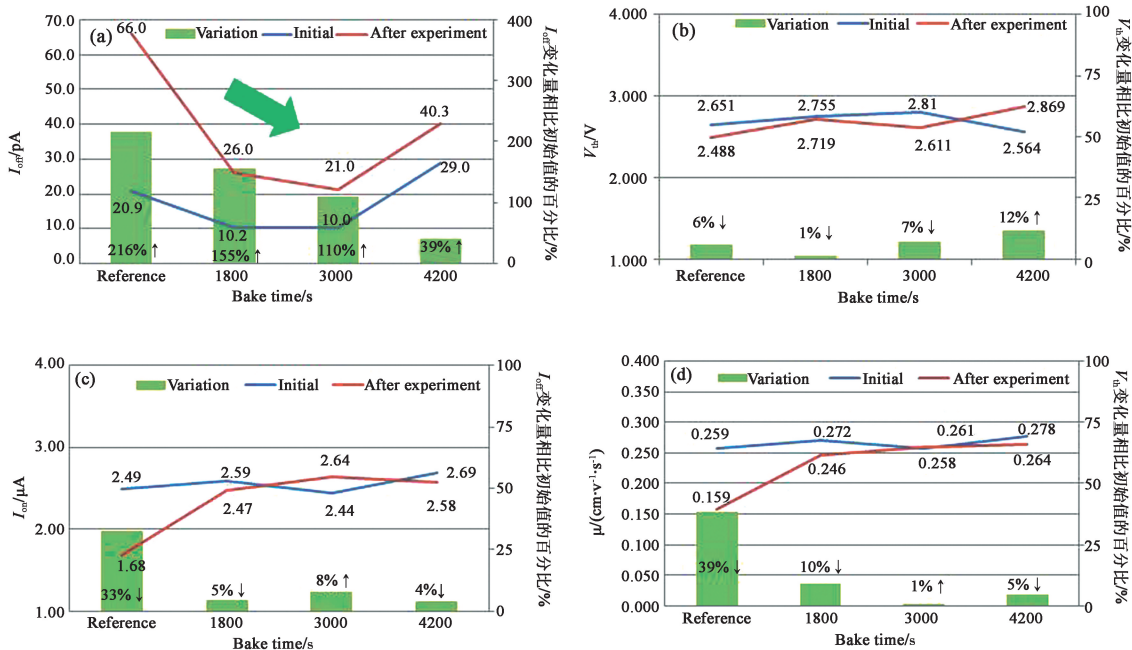
使用不同烘烤时间 TFT 基板前后 4 项电学特性变化如表 6、图 7 所示。长时间烘烤可

以有效降低因紫外光照射而造成的 I_{off} 漏电流变大的现象;对于降低 I_{off} 漏电流,烘烤时间相比烘烤温度效果更显著; $V_{\text{th}}/I_{\text{on}}/\mu$ 无明显变化。

表 6 不同烘烤时间下的 TFT 电性变化趋势

Tab.6 TFT electrical properties trend under different bake time

	Time/s							
	Ref		1800		3000		4200	
	Initial	By pass bake	Initial	After PA	Initial	After PA	Initial	After PA
I_{off}/pA	20.9	66.0	10.2	26.0	10.0	21.0	29.0	40.3
V_{th}/V	2.651	2.488	2.755	2.719	2.810	2.611	2.564	2.869
$I_{\text{on}}/\mu\text{A}$	2.49	1.68	2.59	2.47	2.44	2.64	2.69	2.58
$\mu/(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.259	0.159	0.272	0.246	0.258	0.261	0.278	0.264

图 7 不同烘烤时间下的 TFT 电性变化量。(a) I_{off} ; (b) V_{th} ; (c) I_{on} ; (d) μ 。Fig.7 TFT electrical properties under different bake time. (a) I_{off} . (b) V_{th} . (c) I_{on} . (d) μ .

3.2 横纹色差实验

3.2.1 制程调整

3.2.1.1 光配向制程

通过以上 TFT 电学特性实验,TFT 非晶硅层经过紫外光照射后,会造成 I_{off} 变大,可以通过光配向后热烘烤处理,有效降低 I_{off} 。

3.2.1.2 增加 TFT OC 厚度

若将 TFT OC 厚度增大,可以使非晶硅(SiN_x) + 欧姆层(n^+)结构的有源层接受的累积光量更低(图 8),使漏电流变少。

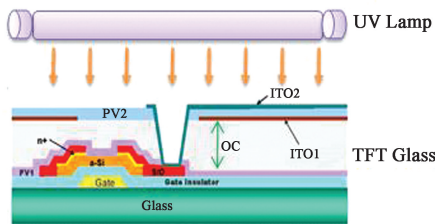


图 8 紫外光照射 TFT

Fig.8 UV light irradiation TFT

3.2.2 时序和驱动电压调整

3.2.2.1 延长 Out Enable

受紫外光照射影响,光线照射到非晶硅层时会导致该层中产生光生载流子,导致部分像素漏电流变大,此像素在充电时会充不饱和。人眼观察 LCD 样品时,LCD 样品上同时存在饱和像素和不饱和像素,画面会出现色差,造成横纹色差现象。若将 Out Enable(Gate 关闭至 Source 关闭时间差)延长,栅极电压相比之前提前打开同时源极信号输入维持不变,从而使像素充电更加饱和,最终可以有效降低横纹色差。

3.2.2.2 降低 V_{gh}

如图 9 所示,在同一画面中,存在充电饱和像素的电容 C_1 和不饱和的像素电容 C_2 ($C_1 > C_2$),降低 V_{gh} 可以使整面像素的电容充电更加均匀 ($(C_1 - C_2) > (C_3 - C_4)$),画面无明显色差,人眼



图 9 降低 V_{gh}

Fig.9 Reducing V_{gh}

不易观察到横纹色差。

3.2.2.3 提高 V_{ss_Q}

V_{ss_Q} :栅极驱动电路(GOA)中 Q(Q:静态工作点)的低电位。在 0 V 的情况下, $I-V$ 曲线仍有少部分漏电(如图 10),设置 V_{ss_Q} 使与 V_{gl} 的压差小于 0 V,从而使漏电流更小。

经过光配向前后, $I-V$ 曲线变化如图 10 所示:漏电流相比光配向之前变大, V_{ss_Q} 与 V_{gl} 的压差为 V_a ,漏电流为 α ,若提高 V_{ss_Q} 后, V_{ss_Q} 与 V_{gl} 的压差为 V_b ,漏电流为 β ($\alpha > \beta$),因此提高 V_{ss_Q} ,可以有效降低漏电流。

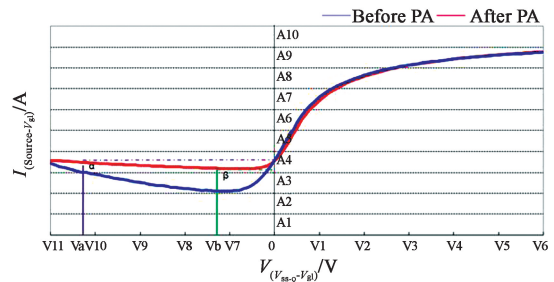


图 10 光配向前后 $I-V$ 曲线

Fig.10 $I-V$ curve before and after photo-alignment

3.2.3 实验结果

将制程调整(增加 TFT OC 厚度、光配向制程条件)、时序和驱动电压调整(延长 Out Enable/降低 V_{gh} /提高 V_{ss_Q})应用到 IPS 产品上,使用光配向制程,完成模组工艺。为确认对策改善效果,选取 330 mm(13.0 in) IPS 产品进行分析,结果如表 7 所示。

表 7 低频横纹色差比例对比

Tab.7 Low frequency Mura comparison

Condition	Reference	Process optimization		TFT driving adjustment	
		TFT OC layer	PA Condition	Out Enable	Out Enable + $V_{gh} + V_{ss_Q}$
Bake	235 °C, 1 800 s	235 °C, 1 800 s	240 °C, 4 200 s	235 °C, 1 800 s	235 °C, 1 800 s
OC thickness/ μm	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0

续 表

Condition	Reference	Process optimization		TFT driving adjustment	
		TFT OC layer	PA Condition	Out Enable	Out Enable + $V_{gh} + V_{ss_Q}$
UV/(mJ · cm ⁻²)	600	600	600	600	600
Out Enable/ μ s	3.0	3.0	3.0	4.8	4.8
V_{gh} /V	21	21	21	21	18
V_{ss_Q} /V	-9	-9	-9	-9	-7.5
低频横纹色差@30 Hz	100.00%	68.00%	0.00% 	7.33%	0.00% 

(1)增加 TFT OC 厚度(OC 2.5 μ m):可以有效降低横纹色差(比例:68.00%),但无法完全改善;

(2)更改光配向制程条件(240 $^{\circ}$ C, 4 200 s):可以完全改善横纹色差(比例:0.00%);

(3)延长 Out Enable(4.8 V):可以大幅度降低横纹色差(比例:7.33%),但无法完全改善;

(4)延长 Out Enable(4.8 V)/降低 V_{gh} (18 V)/提高 V_{ss_Q} (-7.5 V):可以完全改善横纹色差(比例:0.00%)。

以上条件(2)可以在光配向制程中改善横纹色差,条件(4)可以在组成 Module 成品中通过优化驱动改善横纹色差。

4 结 论

本文以 IPS 产品为研究平台,探讨了低频横纹与光配向、摩擦配向的相关性,发现光配向制程中紫外光照射使 TFT AA 区和 GOA 区非晶硅层的漏电流变大,产生低频横纹色差现象从而影响图像品质。并对低频横纹色差进行了影响性研究,结果表明:

(1)紫外光照射后进行烘烤,可以有效降低漏电流,高温(240 $^{\circ}$ C)+长时间(4 200 s)改善低频横纹色差效果佳(比例:0.00%);

(2)延长 Out Enable (4.8 μ s) + 降低 V_{gh} (18V) + 提高 GOA 电路中电压 V_{ss_Q} (-7.5 V),改善低频横纹色差效果佳(比例:0.00%)。

参 考 文 献:

- [1] 王文根,李瑛,邵明,等.液晶显示器的快速响应技术[J].现代显示,2006(4):45-48.
WANG W G, LI Y, SHAO M, *et al.* Fast response technologies for LCD [J]. *Advanced Display*, 2006(4): 45-48. (in Chinese)
- [2] 周学芹,杨丽,刘政明,等.光配向 PI 固烤时间与曝光能量对 LCD 光学及残影的影响[J].液晶与显示,2017,32(8): 596-600.
ZHOU X Q, YANG L, LIU Z M, *et al.* Effects of PI post-bake time and UV dosage on LCD Optical performance and image sticking by photo-alignment [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(8): 596-600. (in Chinese)
- [3] KANICKI J. *Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices* [M]. Boston: Artech House, 1992.
- [4] 戴亚翔,田民波.TFT LCD 面板的驱动与设计[M].北京:清华大学出版社,2008.
DAI Y X, TIAN M B. *Design and Operation of TFT LCD Panels* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese)
- [5] 宋萍,李红敏,李小和,等.显示基板及显示面板的制作方法 [R].2015.
SONG P, LI H M, LI X H, *et al.* Manufacturing methods of display base plate and display panel [R]. 2015. (in Chinese)
- [6] 陈牡丹,杨丽,刘政明,等.光配向制程参数对预倾角及其光电性能的影响[J].液晶与显示,2017,32(9):708-713.

CHEN M D, YANG L, LIU Z M, *et al.* Effects of photo-alignment process parameters on pre-tilt angle and photo-electric properties [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(9): 708-713. (in Chinese)

作者简介:



顾小祥(1987—),男,江苏盐城人,学士,工程师,2009 年于扬州大学获得学士学位,主要从事 TFT-LCD 显示技术方面的研究。E-mail:Coolgu@ivo.com.cn,gxx87520@126.com