

文章编号:1007-2780(2019)03-0254-07

RGBW 彩色滤光片技术开发与应用

姜晶晶*, 万冀豫, 汪 栋, 郭杨辰, 宋勇志,
张国华, 肖 晖, 王琳琳, 齐鹏煜
(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:为了扩大公司产品布局,尽快将 RGBW 产品推入市场,本文对该类产品关键的 RGBW 彩色滤光片(Color filter, CF)技术进行开发,并结合公司产线特点,对 RGBW CF 技术应用能力提升进行研究。首先通过产线测试,从高平坦保护膜(Over coating, OC)材料特性、OC 厚度设计、OC 工艺条件等角度出发,对该技术的关键特征参数 RGB-W 段差进行优化,建立像素尺寸、OC 厚度与段差关系的数据模型,并进行产品验证。接着,建立段差与液晶盒厚、色温、透过率的关系,对 OC Mura 的影响因素进行分析及优化,降低新技术应用可能造成的产品品质风险。最后,针对产线特点造成的 OC 异物高发问题,通过异物检查机、SEM、显微镜等分析设备对异物发生率及发生原理进行分析,从材料、工艺参数、设备参数及设备状态等角度制定改善对策,提升产品良率。最终实现 RGB-W 段差 $0.6\ \mu\text{m}$ 以下,CF 良率 99.5% 以上。该技术满足产品品质及量产稳定性要求。

关 键 词:RGB-W 段差优化;产能提升;良率提升;设计优化

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193403.0254

RGBW CF technology development and productivity improvement

JIANG Jing-jing*, WAN Ji-yu, WANG Dong, GUO Yang-chen, SONG Yong-zhi,
ZHANG Guo-hua, XIAO Hui, WANG Lin-lin, QI Peng-yu

(Beijing BOE Display Technology Co. Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: In order to increase the production categories of our company and to put RGBW product into market as soon as possible, the key RGBW CF technology was researched. Firstly, through factory verification tests, the key process parameter differences of RGB-W thickness were decreased from the over coating (OC) material characteristics, OC thickness designations, and OC process conditions, etc. the data models of pixel pitch/OC thickness and differences of RGB-W thickness was established. Secondly, the connections among RGB-W thickness differences, cell gap, CCT and transmittance was figured out. The influential factors of OC Mura were analyzed and optimized to reduce quality risks of new technology's application. Finally, the analytical equipment like AOI, SEM, microscope, etc. were used to analyze the occurrence rate and the reason of foreign body to work out solutions based on material, process parameters and equipment parameters. The results show that the difference of RGB-W thickness is below $0.6\ \mu\text{m}$, and the CF yield is above 99.5%. This technology can meet the require-

收稿日期:2018-08-09;修订日期:2018-09-16.

* 通信联系人, E-mail:jiangjingjing@boe.com.cn

ments of the product quality and the stability of mass production.

Key words: RGB-W thickness difference optimization; capacity up; yield up; design optimization

1 引言

薄膜晶体管液晶显示(TFT-LCD)技术日益成熟,已成为目前显示市场的主流产品,因其显示品质卓越,外形轻巧,寿命周期长,广泛应用于移动设备、电脑、电视、医疗、车载,及户外显示等领域^[1]。随着对显示设备高亮度、低功耗和准确显示颜色的不断追求,以及高分辨率显示面板的快速发展,RGBW 显示产品成为近年来的热门产品。

RGBW 技术是在原有的 RGB 三原色上增加白色(W)子像素,为四色像素设计,可大幅度提高液晶面板的透光率,将超大尺寸、超高分辨率与绿色低功耗实现完美结合^[2]。彩色滤光片(CF)作为薄膜晶体管液晶显示(TFT-LCD)技术的重要元器件之一,是 RGBW 技术实现的关键。

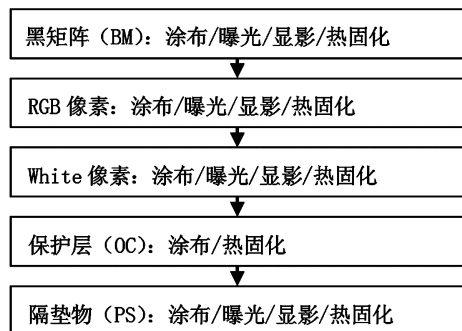
本文通过材料开发,工艺条件优化,设备参数优化,设备清洁管理等方法,完成 RGBW CF 技术开发,并结合公司产线特点,对该技术的量产性能提升进行研究。最终,该技术应用于多款产品,满足产品品质及量产稳定性要求。

2 RGBW CF 工艺

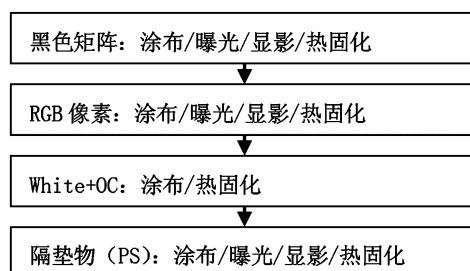
RGBW CF 目前有 3 种实现工艺:

(1)图形化白像素(Pattern white, PW)

使用透明材料,经过涂布、曝光、显影、热固化等工艺,制作 W 像素图形,与 RGB 产品 CF 工艺相比,需增加一条产线对应 W 像素的制作。CF 工艺流程如下:

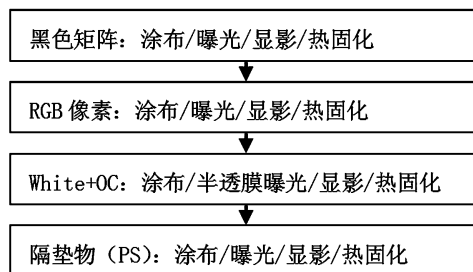


(2)涂布白像素(Coating white, CW):采用高平坦 OC(Over Coating)材料替代常规 OC 材料,经过一次 OC 涂布,实现 CF 表面平坦化。该工艺流程与 RGB 产品 CF 工艺相同,无需增加产线设备投资,但该工艺实现的 CF 完成品表面平坦性低于 RGB 产品。其 CF 工艺流程如下:



(3) 光固化 OC(UV-OC)

使用感光 OC 材料+Half Tone Mask 工艺,一次完成 W 像素+OC 保护层的制作,可实现与 RGB 产品一样的 CF 表面平坦性水平,但该工艺需进行全新材料的开发,并需要改造 OC 产线,增加曝光机及显影设备。其 CF 工艺流程如下:



3 种工艺 W 像素制作流程如表 1 所示。

3 种工艺优劣势分析如表 2 所示,综合分析了产能影响情况、材料开发风险、品质风险以及开发日程等因素。其中 PW 技术不需要进行新材料开发,可实现的 CF 表面平坦性最好($<0.15 \mu\text{m}$,同常规 RGB 产品),风险小,但产能损失高达 30%,严重影响盈利能力的提升。UV-OC 材料开发目前尚不成熟,影响产能且产品风险不可预期。综合考量,以 CW 作为 RGBW 技术开发的重点方向,着重开发高平坦 OC 材料,通过材料及工艺调整,优化 CF 表面平坦性,确保产品品质,提高该技术的量产实用性。下面就 CW 技术开发过程和结果做出论述。

表 1 3 种 W 工艺制作流程

Tab.1 Three kinds of W process flow

工艺	PW	CW	UV-OC
—			
涂布			
曝光-显影			
热固化			

表 2 3 种白像素制作工艺优劣势分析

Tab.2 Analysis of advantages and disadvantages of three white process

ITEM		PW	CW	UV-OC
CFCapa		↓ 0.3K/1K	0	↓ 0.175K/1K
Material	Material	低平坦 OC	高平坦 OC	UV-OC 材料
	OC 厚度	1.5 μm(同量产)	2.0~2.5 μm	2.0~2.5 μm
Product Quality	RGB-W 段差	<0.15 μm	<0.6 μm	<0.2 μm
	LC Margin	OK	OK(LC 与 CG 调整)	OK
	Optical	OK	CG 调整	OK
	PCT/Peel Off	OK	工艺优化	OK
	I/S,Reliability	OK	OK	OK
	Merit	RGB-W 段差小 PI 涂布/品质风险小 无需新材料开发	Capa 影响最小 Mask 无需增加	RGB-W 段差小 PI 涂布/品质风险小
总结				
Demerit		Capa 影响最大 Mask 增加 1	RGB-W 段差大 PI 涂布/产品风险大 高平坦 OC 材料开发日程长	Capa 影响较大 Mask 增加 1 需进行 HTM Tr 验证 UV-OC 材料无实绩

3 技术开发测试结果分析

3.1 RGB-W 段差影响因素分析

3.1.1 OC 材料

对业内现有成熟的高平坦 OC 材料进行调研,其平坦化原理分为两类,如图 1 所示。图 1 (a)的开发理念是提高材料本身的热熔流动性,在

热固化阶段达到更高的平坦度(A 类);图 1(b)的开发理念是在热固化之前即达到很好的平坦度,采用耐热特性优秀的材料,在热固化阶段收缩量最小化,以维持较高的平坦性(B 类)。

选取一款低平坦 OC 和 4 款高平坦 OC 材料(低平坦 OC 命名为 Ref,A 公司两款高平坦 OC 分别命名为 A-1/A-2,B 公司两款高平坦 OC 分别命名为 B-1/B-2),以 43UHD RGBW 产品为平

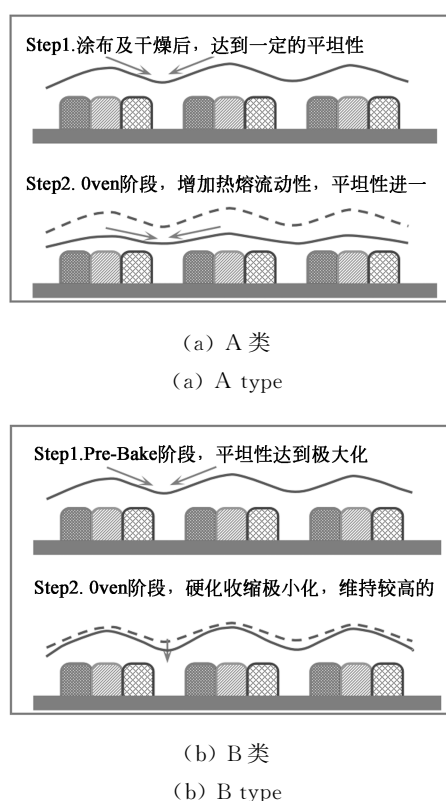


图1 平坦化原理

Fig.1 Principle of planarization

台进行测试。该产品在 OC 工艺前,RGB-W 段差为 $2.7\mu\text{m}$,高平坦 OC 工艺后,段差均降低至 $0.5\mu\text{m}$ 以下,高平坦 OC 材料的抚平性能远优于低平坦 OC 材料。结果显示,新材料的开发及应用是实现 CW 技术的关键。而在相近的 OC 厚度下($2.70\mu\text{m}$),A 公司的平坦性能要略优于 B 公司,这与两类材料的平坦化实现原理有关,热熔流动性强的 OC 材料,可以实现更高的平坦性。详细数据见表 3。

表3 OC 材料对 CF 表面平坦度的影响

Tab.3 Effect of OC material on CF flatness

材料代码	Ref	A-1	A-2	B-1	B-2
OC 厚度/ μm	2.65	2.70	2.70	2.70	2.30
RGB-W 段差/ μm	1.43	0.36	0.36	0.40	0.50

3.1.2 OC 厚度

选取一款高平坦 OC 材料,在两款 RGBW 产品上分别制作不同的 OC 厚度($1.9\sim 2.8\mu\text{m}$),测量 OC 后的 RGB-W 段差,并对数据进行处理分析。两款产品的测试结果均显示,在 OC 厚度较

薄的情况下,膜厚增加,RGB-W 段差显著降低,平坦性提高;而当 OC 膜厚增大到一定程度以后,段差变化不再明显。OC 膜厚与段差的拟合曲线会出现一个拐点,如图 2 所示。综合考虑产品品质、材料成本及工艺稳定性,新产品开发以拟合曲线的拐点作为 OC 厚度规格。

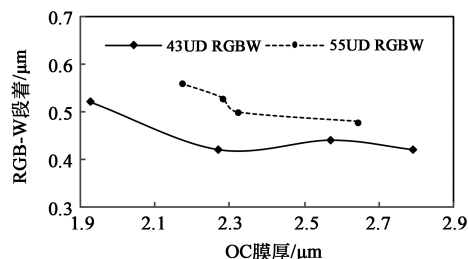


图2 OC 膜厚对 RGB-W 段差的影响

Fig.2 Effect of OC thickness on RGB-W difference

3.1.3 像素尺寸

测试像素尺寸(Pixel pitch)分别为 $81.7\mu\text{m}$ / $82.75\mu\text{m}$ / $105\mu\text{m}$ / $127.25\mu\text{m}$ 的 4 款产品在不同 OC 厚度下达到的 CF 表面平坦情况,具体数据见图 3。像素尺寸是影响 CF 表面平坦性的主要因素,当间距增大到 $120\mu\text{m}$ 以上时,OC 材料的平坦能力大幅度下降,OC 厚度达到 $2.6\mu\text{m}$ 时,段差仍在 $0.7\mu\text{m}$ 以上。CF 表面高段差会影响后工序 PI 膜厚度均一性及液晶取向,影响显示品质。而 OC 厚度过高,会造成 OC 膜层与玻璃间的附着力下降,进而影响产品信赖性。因此,建议像素尺寸在 $120\mu\text{m}$ 以下时,使用 CW 技术;对于像素尺寸大于 $120\mu\text{m}$ 的产品,使用 PW 技术。

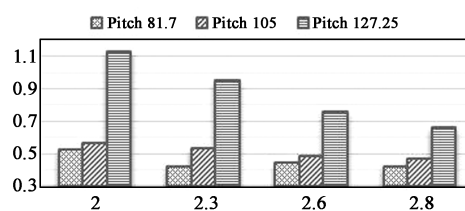


图3 像素尺寸对段差的影响

Fig.3 Effect of pixel pitch on RGB-W difference

3.2 段差对盒厚的影响

CW 工艺由于 W 像素与其它像素存在高度差,盒厚测试结果与 PW 工艺存在差异,需要重新建立盒厚与色温及显示屏透过率的关联性^[2],结果如图 4 所示。

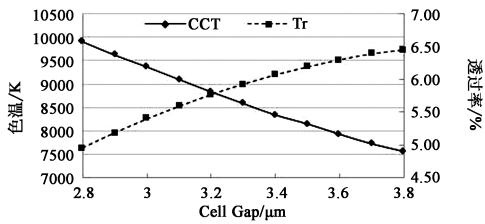


图 4 液晶盒厚与色温/透过率的关联性
Fig.4 Relevance of Cell gap and CCT/Tr

3.3 支撑点 Mura 改善

8.5G 玻璃尺寸为 2 200 mm $\times$ 2 500 mm,CF 制程中,很多设备设计有支撑点用于承载玻璃基板,这些支撑点易引起附近的膜厚异常,严重的可

表现为宏观可见的 Pin Mura。其中干燥设备(Hot plate,HP)及热固化设备(Oven)为加热设备,支撑点的温度与设备内的空气温度有差异,更易造成 OC 膜厚异常。

为实现 RGBW 产品 CF 表面的高平坦性,要求 OC 材料热熔流动性强,且使用的 OC 膜厚更高(RGBW 产品 OC 厚度 2.0~2.5 μm ,RGB 产品 OC 厚度 1.2~1.6 μm),在 OC 制作过程中易发生干燥设备支撑点 Mura 和热固化设备支撑点 Mura,本次技术开发设计多种对比测试,从 OC 材料、OC 膜厚度、干燥设备温度 & 时间等角度对支撑点 Mura 进行改善。具体测试条件及结果见表 4 所示。

表 4 支撑点 Mura 改善测试结果
Tab.4 Improvement results of pin Mura

OC 材料	OC 厚度 / μm	HP 温度 / $^{\circ}\text{C}$	HP 时间 /s	Mura 发生情况
A	2.70	100	90	1.HP Pin:时间延长,轻微改善,不明显
	2.70	90	60	2.Oven Pin:HP 100 $^{\circ}\text{C}$ /90~130 s,不同厚度,无 Mura HP 90 $^{\circ}\text{C}$,Mura 轻微
	2.10~2.50	100	90	1.HP Pin:厚度 2.10 μm ,OK,厚度 2.30,2.50 μm ,Mura 轻微
				2.Oven Pin:THK 2.10 μm ,OK;厚度 2.30,2.50 μm ,Mura 轻微
	2.30	90	60	1.HP Pin:非常轻微
B	2.30	90	90	2.Oven Pin:有发生,很轻微;
	2.30	100	110	HP 工艺调整无差异(90 $^{\circ}\text{C}$ /60~90 s,100 $^{\circ}\text{C}$ /110 s) 厚度 2.57~2.30 μm ,Mura 轻微
	2.15~2.65	90	90	1.HP Pin:厚度 2.15 μm ,无;厚度 2.30~2.55 μm ,轻微发生;厚度 2.65 μm ,Mura 加重
	2.15~2.65	90	60	2.Oven Pin:厚度 2.15~2.65 μm ,玻璃两侧轻微发生; 厚度 2.65 μm ,基本不可见;
				HP 90 s/60 s,差异不明显

材料对比测试结果显示,B 公司产品 Mura 发生严重程度明显低于 A 公司。从材料的平坦化原理分析(图 1),B 公司材料热稳定性高,在加热时膜层变化小;而 A 公司材料,为达到高平坦度,热熔流动性高,造成支撑点 Mura 的风险也相应提高。

OC 膜层厚度对比测试结果:材料 A ,厚度 2.1 μm 无 Mura,2.30~2.50 μm 有轻微 Mura 发

生;材料 B,2.15 μm 时无 Mura,2.30~2.55 μm 时 Mura 轻微,2.65 μm 时 Mura 严重。OC 膜层减薄,有利于减轻支撑点 Mura。

干燥温度对比结果显示,A 公司材料在 100 $^{\circ}\text{C}$ 时无 Mura,90 $^{\circ}\text{C}$ 时有轻微 Mura。温度提高,有利于膜层的快速干燥,Mura 改善效果也较明显。

干燥时间从 90~130 s,Mura 无显著差异。

3.4 OC 工艺对 PCT 的影响

为了确保产品可以在高温高湿高压等特殊环境下正常工作,防止水汽从 OC 界面侵入面板内部,OC 工艺变更需要在 PCT 恶化条件下(121℃、2 大气压、100%湿度,12 h/24 h),对 OC 层的附着力进行测试。

表 5 OC 工艺对 PCT 的影响

Tab.5 Effect of OC process on PCT

PR	Oven 温度/℃	Oven 时间/ min	厚度/ μm	PCT@ 12 h	PCT@ 24 h
A	230	25	2.66	OK	OK
	230	25	2.95	OK	NG
	230	25	1.93	OK	OK
B	230	25	2.27	OK	NG
	240	60	2.27	OK	OK
Ref	230	25	2.61	OK	OK

本文从材料、OC 厚度、OC 固化工艺等方面进行对比测试,结果如表 5 所示。A 公司材料优于 B 公司,OC 膜厚度减薄,固化温度提高/时间延长,有利于 PCT 改善。

4 良率提升

技术开发过程中,发生 OC 异物高发问题。我们对异物的特性、状态进行分析,将异物分为两类,透明片状异物和非透明晕状异物^[3],如图 5 所示,针对两类异物分别进行设备状态排查和改善。

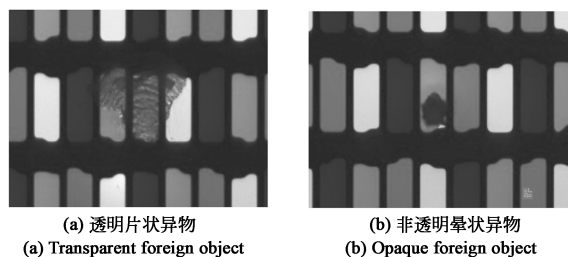


图 5 OC 异物

Fig.5 Foreign object

4.1 透明片状异物

第一次测试,该不良导致的 CF 良率损失高达 21%。该种异物硬度极高,强行修补会导致研

磨带断裂^[4]。调查发现,量产使用的低平坦 OC 易发生干燥结晶问题,导致 Coater Nozzle 堵塞。该异物的形态和硬度与 OC 结晶体类似,因此对 Coater 管道进行拆解,发现其中存在大量的结晶物,如图 6 所示。分析认为,在管路清洗及新 OC 材料切换过程中,破坏了原本稳定的结晶体,导致结晶随 PR 胶流出,残留在玻璃表面。对管道进行清洁后,该种异物的发生率几乎为 0,改善有效。



图 6 设备内结晶体

Fig.6 Crystallizer of OC tank

4.2 非透明晕状异物

该类不良现象与其它 RGB 量产品类似,为产线常规不良,主要是设备异物及 HP/Oven 升华物造成的,但是 RGBW 产品的发生率明显高于 RGB 产品。我们设计了两个实验,对低平坦 OC 和高平坦 OC 材料成膜后的特性进行对比分析。

实验一:在白玻璃上涂布 OC 材料,经过真空干燥和 HP 干燥处理后,在膜面散布粉末状异物,然后用气枪吹异物,最后通过显微镜观察 OC 表面状态。结果显示,低平坦 OC 样品表面无异物残留痕迹,而高平坦 OC 样品表面异物残留明显,如图 7 所示。这一结果说明,高平坦 OC 在 HP 后膜面的吸附性大,环境异物更容易附着。

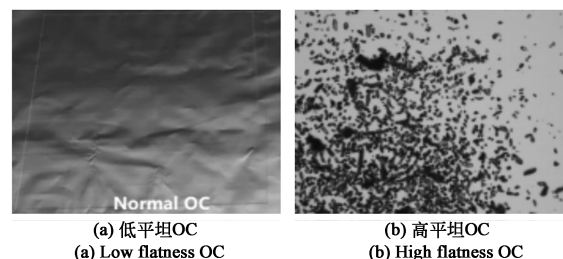


图 7 试验一

Fig.7 Experiment No.1

实验二:在白玻璃上涂布 OC 材料,经过真空干燥和 HP 干燥处理后,在膜面上散布直径为 25

μm 的球状异物,静置 10 min 后,通过 SEM 观察异物状态。实验结果如图 8 所示,低平坦 OC 样品,球状异物在 OC 膜的表面;而高平坦 OC 样品,球状异物沉降至 OC 膜内,并在周围产生圆晕。

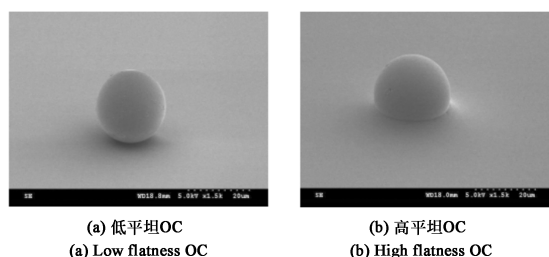


图 8 试验二

Fig.8 Experiment No.2

实际生产过程中还发现,异物周边产生的圆晕会导致微观异物检查机检出的不良尺寸大于异物本身的尺寸(图 9),实验二的结果与实际生产过程中出现的不良现象类似。这说明高平坦 OC 在 HP 后的膜硬度低,异物容易沉降到 OC 膜内,并产生圆晕,导致不良尺寸增大。

以上试验说明,非透明异物的高发与 HP 后 OC 膜面的状态和设备环境洁净度相关,因此制定改善对策如下:(1)更换设备备件,加强设备清

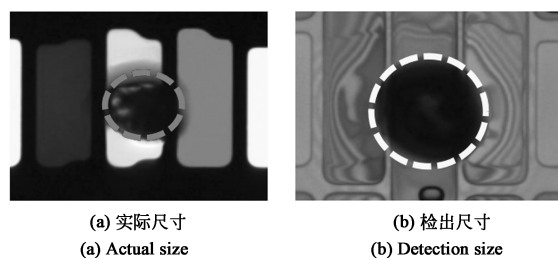


图 9 异物检出尺寸大于实际尺寸

Fig.9 Detection size of foreign object is bigger than actual size

洁频率;(2)延长 HP 时间,改善 HP 后膜面的粘性和硬度。通过以上改善措施,OC 良率提升明显,从量产初期的 97% 提升至目前的 99.5% 以上,达到与其它量产品一致的良率水平。

5 结 论

本文针对 RGBW 技术开发的测试结果做出详细分析论述,并结合产线现状对实际量产过程中出现的问题进行分析验证,最终实现量产性能提升。目前该技术已应用于多款 RGBW 两款产品中,满足产品品质要求及量产稳定性要求。

参 考 文 献:

- [1] 吕延晓.液晶显示器(LCD)产业的迭代演进[J].精细与专用化学品,2018,26(2):5-12.
LV Y X. Evolution of industry progress on liquid crystal displays (LCD) [J]. *Fine and Specialty Chemicals*, 2018, 26(2): 5-12.
- [2] KWON K J, KIM M B, HEO C, *et al.* Wide color gamut and high dynamic range displays using RGBW LCDs [J]. *Displays*, 2015, 40: 9-16.
- [3] 高欢,陈文智,姚晔,等.TFT-LCD 改善 Particle Gap 的研究[J].液晶与显示,2018,33(2):129-137.
GAO H, CHEN W Z, YAO Y, *et al.* Prevention of TFT-LCD's Particle Gap [J]. *Chinese Journal of Crystals and Displays*, 2018, 33(2): 129-137. (in Chinese)
- [4] 黄雅纹,陈再良.TFT-LCD 常见点缺陷的检测与修复[J].现代电子技术,2012,35(23):189-191.
HUANG Y W, CHENG Z L. Detection and repair of point defects in TFT LCD [J]. *Modern Electronics Technique*, 2012, 35(23): 189-191. (in Chinese)

作者简介:



姜晶晶(1985—),女,山东烟台人,硕士,高级工程师,2008 年于北京化工大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 工艺方面的研究。E-mail: jiangjingjing@boe.com.cn