

## TFT-LCD一种绿Mura机理分析和改善

蒋迁, 耿晨曦, 刁义林, 周鹏, 路朝华

引用本文:

蒋迁, 耿晨曦, 刁义林, 等. TFT-LCD一种绿Mura机理分析和改善[J]. 液晶与显示, 2021, 36(8): 1136–1143.

JIANG Qian, GENG Chen-xi, DIAO Yi-lin, et al. Mechanism analysis and improvement of TFT-LCD green Mura[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(8): 1136–1143.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0337>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### TFT-LCD光致发绿不良改善、机理分析及研究

Improvement, mechanism analysis and research of TFT-LCD light-caused green Mura

液晶与显示. 2019, 34(1): 1–6 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0001>

### TFT-LCD一种黑Mura机理分析及工艺验证改善

Process validation solution of TFT-LCD black Mura

液晶与显示. 2020, 35(9): 927–932 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203509.0927>

### TFT-LCD制程中 Sand Mura 的失效模式分析及改善研究

Research and improvement of Sand Mura failure mode in TFT-LCD array process

液晶与显示. 2015(2): 257–262 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153002.0257>

### TFT-LCD工艺中角落白Mura的成因机理研究与改善

Research and improvement of corner white Mura in TFT-LCD

液晶与显示. 2018, 33(7): 583–589 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183307.0583>

### PCI结构TFT-LCD产品竖Mura不良机理分析及改善研究

Research and improvement of vertical Mura on TFT-LCD with double notched PCI structure

液晶与显示. 2018, 33(5): 397–404 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0397>

文章编号:1007-2780(2021)08-1136-08

# TFT-LCD 一种绿 Mura 机理分析和改善

蒋 迁\*, 耿晨曦, 刁义林, 周 鹏, 路朝华

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

**摘要:** 色斑不良(Mura)是薄膜晶体管液晶显示器常见的显示缺陷,严重影响产品质量。色斑不良表现形式多样,原因也各不相同。本文针对 8.5 世代线发生于 81.28 cm(32 in)产品上的一种固定位置发绿条状 Mura,通过实物解析、设备排查和不同工艺条件试验,对不良机理进行研究。实验结果表明,81.28 cm(32 in)产品彩膜绿像素使用的 G-1 型光刻胶受光照后性质发生变化是导致该不良的直接原因。进一步确认不良的根本原因为 G-1 型光刻胶中颜料分子锌酞菁化合物在 600~700 nm 光波处存在吸收峰,被光照后吸收光子生成自由载流子,形成附加电场,导致该区域液晶偏转异常,显示出宏观绿 Mura。从阻隔光照和减少光生载流子产生数量两个方向入手,通过添加高敏感度光起始剂和使用颜色浓度更高的颜料分子,形成两种改善材料,量产导入后,均成功将不良发生率由约 20%降低为 0,有效提升了产品质量。

**关键词:** TFT-LCD; 绿 Mura; 光照; 光刻胶; 附加电场

**中图分类号:** TN141.9    **文献标识码:** A    **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0337

## Mechanism analysis and improvement of TFT-LCD green Mura

JIANG Qian\*, GENG Chen-xi, DIAO Yi-lin, ZHOU Peng, LU Chao-hua

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

**Abstract:** Mura is a common defect of thin-film transistor liquid crystal display, which seriously affect the quality of the product. Generally, the performances and root causes of Mura are different and require specific analysis. This paper focuses on a fixed position green stripe Mura on a 81.28 cm(32 in) inch product in 8.5 generation line, and studies the defect mechanism through physical analysis, equipment investigation and testing of different producing conditions. The experimental results show that the change of the properties of the G-1 type photoresist used in the green pixel of color filter is the direct cause of the defect. Furthermore, the root cause is confirmed that the zinc phthalocyanine compounds in the G-1 type photoresist have a strong absorption peaks at 600~700 nm of light wave, so it will absorb photons and transform it to free carriers after illumination. The free carriers form additional electric fields, leading to abnormal liquid crystal deflection in this area, showing the macroscopic green Mura. From the two directions of blocking light and reducing the number of photo-generated carriers, two kinds of improved materials are formed by adding high sensitivity light starter and using pigment molecules with higher color concentration. Both material successfully reduce the incidence

收稿日期:2020-12-09;修订日期:2021-04-09.

\* 通信联系人, E-mail:jiangqian@boe.com.cn

ratio of the green Mura defect from about 20% to 0, effectively improving the quality of products.

**Key words:** TFT-LCD; green Mura; light irradiation; photoresist; additional electric field

## 1 引言

薄膜晶体管液晶显示器(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD)具有质量轻、功耗低、寿命长等优点,在手机、显示器、电视等传统显示行业和车载、穿戴、智能家居等新兴显示行业均得到了广泛应用<sup>[1-3]</sup>。随着产品逐渐普及,消费者对显示器件的画面品质要求越来越高,生产商也越来越重视画面品质不良的改善。

色斑(Mura)作为最常见的画质不均缺陷,长期阻碍显示屏品质的提升。Mura 是指在灰阶画面下,人眼感受到画面明暗或色彩不均一的现象。造成 Mura 的直接原因是显示器局部区域透过率的差异,而根本原因则各不相同,背光源、TFT 阵列、配像膜、液晶、彩膜基板等都有可能造成视觉 Mura,这也是 Mura 不良难以根除的原因<sup>[4-9]</sup>。

本文针对 8.5 代线工厂发生于 81.28 cm(32 in)产品上的一种新发生的固定位置的条状发绿 Mura,从电学、光学、物理结构等多方面进行分析,结合工艺验证方案和结果,最终明确了不良的根本原因因为该产品使用的新型绿像素光刻胶(此前未在其他产品上导入)光照不耐受所致,并提出了切实有效的改善措施,对于新材料的引进和评价具有参考意义。

## 2 不良分析

### 2.1 不良现象

将产品加背光与信号点亮,点亮之初无不良,约 20~60 s 后在屏幕固定位置出现一条宽约 10 mm 的竖向发绿条状 Mura,使用 20 倍放大镜观察 Mura 区,可见绿像素靠近红像素侧长边发亮,继续点灯,约 10~15 min 后不良消失。

### 2.2 不良位置匹配分析

绿 Mura 不良现象如图 1 所示。该不良发生在屏幕上位置固定,怀疑是切割工艺后与某设备干涉相关,排查全产线该位置的设备进行匹配,发现模组自动光学检测机(Automatic Optical In-

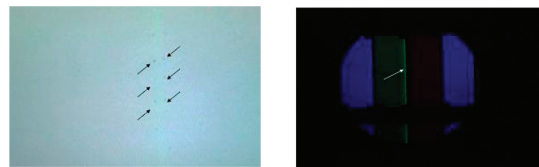


图 1 绿 Mura 不良现象。(a)宏观观察;(b)微观观察。

Fig.1 Phenomenon of green Mura defect. (a) Macro observation; (b) Micro observation.

spection, AOI)灯条与不良位置匹配,如图 2 所示,怀疑该不良与受光照有关,根本原因仍需进一步分析。

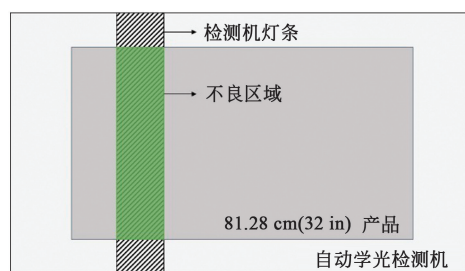
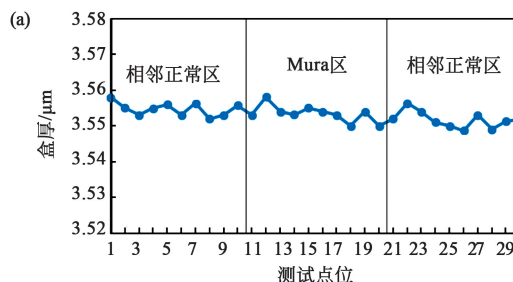


图 2 不良位置与自动光学检测机灯条匹配

Fig.2 Position of abnormal match with the lamp of AOI

### 2.3 液晶盒内特性分析

跨过 Mura 区域及相邻正常区域连续测量液晶盒内特性,结果如图 3 所示。图 3(a)显示 Mura 区与正常区液晶盒厚均在  $3.45 \sim 3.65 \mu\text{m}$  之间;图 3(b)显示 Mura 区与正常区液晶扭转角由  $0.2^\circ$  逐渐增加至  $0.8^\circ$ ,无突变;图 3(c)显示 Mura 区与正常区液晶预倾角均在  $2.20^\circ \sim 2.40^\circ$  之间。3 项特性 Mura 区与正常区均无明显差异,说明该不良非液晶盒厚或配向异常导致。



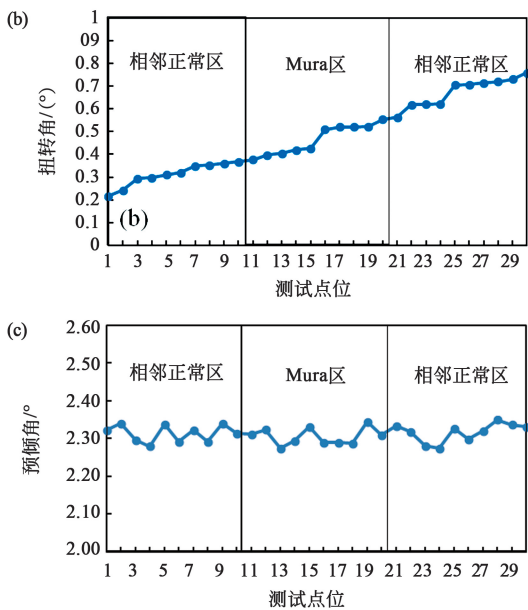


图 3 Mura 区与正常区液晶盒内特性对比。(a) 盒厚;(b)扭转角;(c)预倾角。  
Fig.3 Cell characteristics comparison of Mura area against normal area. (a) Cell gap; (b) Twist angle; (c) Pre-tilt angle.

2.4 光学分析

对 Mura 区域和相邻正常区域分别测量开机后色坐标  $W_y$  变化趋势,结果如图 4 所示。正常区域  $W_y$  稳定在 0.325 左右,Mura 区域  $W_y$  呈现先增大后减小的趋势,开机时  $W_y$  为 0.326, 20 s 后增大至 0.330,不良出现,3 min 后增大至最大值 0.340 后开始降低,10 min 后降低至 0.329,不良消失。从上述曲线可知, $W_y$  变化趋势与不良出现和消失时间规律吻合。

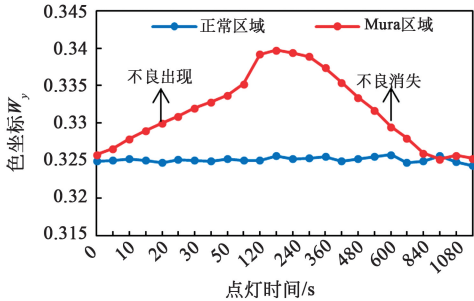


图 4 Mura 区与正常区色坐标  $W_y$  随点灯时间变化对比  
Fig.4 Comparison of the change of color coordinate  $W_y$  with lighting time of Mura area against normal area

2.5 电学分析

正常产品使用  $V_{gl}$  为  $-8\text{ V}$ 。将  $V_{gl}$  外接,开机后 L0 画面下将  $V_{gl}$  从  $-4\text{ V}$  到  $-12\text{ V}$  变化,结果如表 1 所示,不良程度用 Level 0~4 说明,Level 0 为不可见,数字越大不良越严重。随着  $V_{gl}$  降低,不良加重,说明该不良受像素两侧压差影响较大。

表 1  $V_{gl}$  变化对不良程度的影响

Tab.1 Effect of  $V_{gl}$  change on the abnormal levels

| $V_{gl}/\text{V}$ | 不良程度    | 说明   |
|-------------------|---------|------|
| -4                | Level 0 | 不可见  |
| -6                | Level 1 | 轻微可见 |
| -8                | Level 2 | 明显可见 |
| -10               | Level 3 | 明显可见 |
| -12               | Level 4 | 明显可见 |

2.6 膜面微观特性分析

拆屏后点直流,将 TFT 与彩膜基板微微错开,不良随彩膜基板移动,判断不良位于彩膜侧。去除液晶与配像膜,在宏观检测机下观察彩膜侧基板,Mura 区域未见异常。使用分光机和关键尺寸(Critical Dimension,CD)测量仪分别测量彩膜侧红(R)、绿(G)、蓝(B)3 种子像素的色坐标和尺寸,结果如表 2 所示,Mura 区和正常区 RGB 各项特性均无明显差异。

表 2 Mura 区与正常区 RGB 色坐标与关键尺寸分析

Tab.2 Analysis of RGB color coordinate and CD of Mura area against normal area

| 特性                        | Mura 区 | 正常区    |
|---------------------------|--------|--------|
| $R_x$                     | 0.662  | 0.662  |
| $R_y$                     | 0.318  | 0.319  |
| $R_Y$                     | 16.914 | 16.934 |
| $G_x$                     | 0.263  | 0.263  |
| $G_y$                     | 0.583  | 0.583  |
| $G_Y$                     | 57.028 | 57.041 |
| $B_x$                     | 0.138  | 0.138  |
| $B_y$                     | 0.098  | 0.098  |
| $B_Y$                     | 11.122 | 11.098 |
| $R\text{ CD}/\mu\text{m}$ | 92.32  | 92.26  |
| $G\text{ CD}/\mu\text{m}$ | 92.91  | 92.13  |
| $B\text{ CD}/\mu\text{m}$ | 91.96  | 92.24  |

使用扫描电子显微镜分析彩膜基板 RGB 截面形貌,如图 5~6 所示,各项特性测量结果如表

3 所示。RGB 膜厚 Mura 区与正常区均在  $2.35 \sim 2.55 \mu\text{m}$  内,无明显差异,与色坐标测试结果符合。

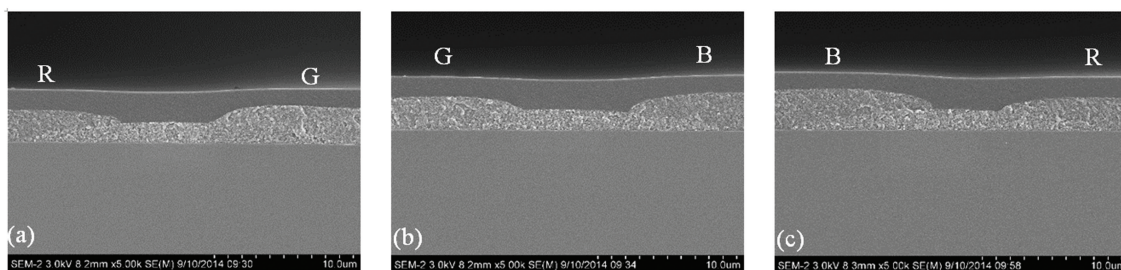


图 5 Mura 区 RGB 形貌。(a) R-G;(b) G-B;(c) B-R。

Fig.5 Profile of Mura area. (a) R-G; (b) G-B; (c) B-R.

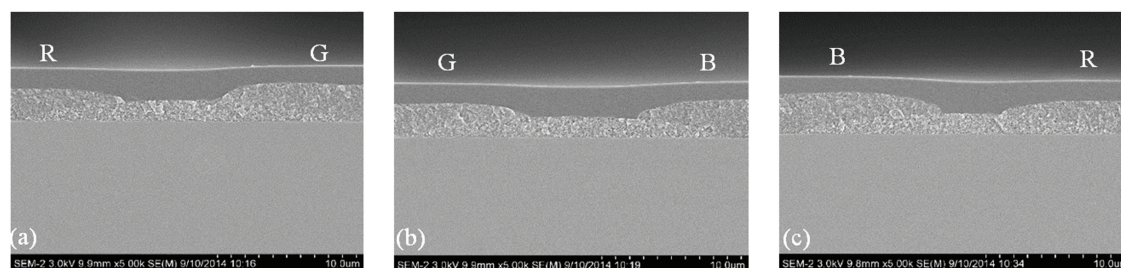


图 6 正常区 RGB 形貌。(a) R-G;(b) G-B;(c) B-R。

Fig.6 Profile of normal area. (a) R-G; (b) G-B; (c) B-R.

表 3 Mura 区与正常区 RGB 形貌对比

Tab.3 Contrast of RGB profile of Mura area against normal area

| 特性                       | Mura 区 | 正常区  |
|--------------------------|--------|------|
| R 膜厚/ $\mu\text{m}$      | 2.34   | 2.36 |
| G 膜厚/ $\mu\text{m}$      | 2.44   | 2.41 |
| B 膜厚/ $\mu\text{m}$      | 2.50   | 2.51 |
| R 搭接宽度(左)/ $\mu\text{m}$ | 8.62   | 8.47 |
| R 搭接宽度(右)/ $\mu\text{m}$ | 6.52   | 6.33 |
| G 搭接宽度(左)/ $\mu\text{m}$ | 7.11   | 7.33 |
| G 搭接宽度(右)/ $\mu\text{m}$ | 7.89   | 7.38 |
| B 搭接宽度(左)/ $\mu\text{m}$ | 7.27   | 6.88 |
| B 搭接宽度(右)/ $\mu\text{m}$ | 7.68   | 6.93 |
| R 牛角段差(左)/ $\mu\text{m}$ | 0.21   | 0.26 |
| R 牛角段差(右)/ $\mu\text{m}$ | 0.09   | 0.11 |
| G 牛角段差(左)/ $\mu\text{m}$ | 0.62   | 0.59 |
| G 牛角段差(右)/ $\mu\text{m}$ | 0.22   | 0.25 |
| B 牛角段差(左)/ $\mu\text{m}$ | 0.25   | 0.29 |
| B 牛角段差(右)/ $\mu\text{m}$ | 0.31   | 0.32 |

RGB 与黑矩阵搭接处搭接宽度以及各子像素牛角段差,Mura 区和正常区未见明显差异。

综合上述分析,怀疑该不良是彩膜侧受光照后产生的电学性不良,光照是引起不良的直接原因,根本原因应与彩膜使用的光刻胶自身特性相关,且由于该不良为绿 Mura,应为绿像素光刻胶异常导致。以上推论需要结合工艺验证进一步明确,再进行针对性改善。

### 3 实验与结果

#### 3.1 自动光学检测机光照对不良的影响

将 400 片切割后的屏幕分为两组投入模组,分别采用自动光学检测机光源开启和关闭两个条件制作,进行对比验证,结果如表 4 所示。自动光学检测机灯源开启时,200 片屏幕中有 39 片发生了固定位置绿 Mura 不良,不良率为 19.5%,而对照组自动光学检测机灯源关闭条件下,没有一片屏幕发生不良,进一步明确自动光学检测机光源照射是产生不良的直接原因。为对应生产,首先将模组自动光学检测机光源关闭导入量产条件。

表 4 自动光学检测机光源对不良的影响

Tab.4 Effect of automatic optical inspection lamp on the defect

| 条件        | 不良数    | 不良率   |
|-----------|--------|-------|
| 自动光学检测机开启 | 39/200 | 19.5% |
| 自动光学检测机关闭 | 0      | 0     |

3.2 G 像素材料对不良的影响

分析 81.28 cm(32 in)各型号产品工艺和材料,发现发生不良的产品 A 与无不良产品 B 仅 G 像素使用的光刻胶型号不同,暂且将发生不良的材料称之为 G-1,无不良的材料称之为 G-2。

为验证 G 材料相关性,将 81.28 cm(32 in)产品 A 和 B 使用的 G 材料互换,其余工艺均无变化,各生产 5 张基板并进行模组制作,使用 AOI 光照后点灯验证不良是否发生,结果如表 5 所示。结果表明,原来发生于产品 A 上的不良随之转移到产品 B 上,验证了材料 G-1 是导致不良的主要原因。

表 5 G 像素材料对不良的影响

Tab.5 Effect of different green materials on the defect

| 产品 | G-1 | G-2 |
|----|-----|-----|
| A  | 有不良 | 无不良 |
| B  | 有不良 | 无不良 |

4 机理分析与改善

4.1 机理分析

通过上述实验和分析,基本明确了 G-1 型光刻胶受自动光学检测机照射后性质发生变化是导致该不良的直接原因。结合 G-1 光刻胶材料成分,不良机理为:

(1)G-1 型光刻胶所使用的颜料为锌酞菁化合物,分子结构如图 7 所示,其在 600~700 nm 的可见光区域存在强吸收峰<sup>[10-13]</sup>。锌酞菁化合物吸收光子后,在膜层内产生激子,随后生成自由载流子,电导特性发生变化。点灯之初,被光照射过的绿像素区域由于载流子形成附加电场,在 L0 画面下附加电场使液晶偏转异常,光能透过绿像素,显示出宏观的绿 Mura;而未受到光照的正常

区域液晶排列正常,无绿光通过,显示灰阶画面,如图 8 所示。

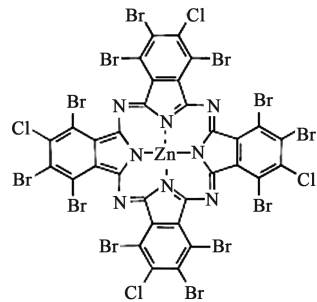


图 7 锌酞菁化合物分子结构

Fig.7 Molecular structure of zinc phthalocyanine compounds



图 8 不良机理示意图

Fig.8 Schematic diagram of abnormal mechanism

(2)随着点灯时间延长,TFT 开关不断充放电,光生载流子逐渐释放,Mura 区域膜层电场恢复到正常状态,不良消失。

(3)不良区域微观显微镜下所见的绿像素长边发亮与摩擦弱区相关<sup>[14-15]</sup>。81.28 cm(32 in)产品 A 的摩擦工艺如图 9 所示,摩擦辊在 G 像素靠近 B 侧牛角为上坡区,在 G 像素靠近 R 侧牛角为下坡区。相比于上坡区,下坡区得到摩擦布摩擦的力度较小,该区域配向膜配向度较差,液晶排布相对无序,比起正常区域配列有序的液晶分子,更容易受到绿像素附加电场驱动,透光量更大,显现出绿像素边缘亮线<sup>[12-13]</sup>。

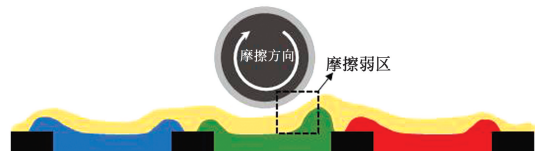


图 9 摩擦工艺及配向弱区

Fig.9 Rubbing process and rubbing shadow area

4.2 不良改善

要改善光照导致绿 Mura 问题,必须从源头截断或减少光生载流子产生,我们从材料方面进

行了以下两种改善:

(1)阻隔光照穿透来减少光生载流子产生。具体改善方式为:在原材料 G-1 中添加高敏感度光起始剂,将 G-1 材料改善为 G-1A 材料。高敏感光起始剂能加速曝光过程中的交联反应,使单体聚合反应更加完全,生成致密度更高的膜层,有效阻隔光照。

(2)降低颜料分子含量来减少光生载流子产生。具体改善方式为:使用颜色浓度更高的颜料分子替代原颜料,将原材料 G-1 改善为 G-1B。原材料来料数据表明,达到相同色度要求时,原材料 G-1 中颜料含量为 1.4%,新材料 G-1B 颜料含量仅为 0.6%。

将 81.28 cm(32 in)产品 A 分别使用原材料 G-1、改善材料 G-1A 和 G-1B 生产彩膜,测量 3 种材料绿像素色坐标如表 6 所示,更换材料后色坐标未发生偏移,均可满足产品要求。

表 6 不同 G 像素材料色坐标对比

Tab.6 Contrast of different green materials

| 色坐标   | Spec   | G-1    | G-1A   | G-1B   |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| $G_x$ | 0.260  | 0.263  | 0.261  | 0.262  |
| $G_y$ | 0.580  | 0.583  | 0.581  | 0.579  |
| $G_Y$ | 57.000 | 57.028 | 57.052 | 57.102 |

3 种材料彩膜组成模组成品后进行光照测试,在模组自动光学检测机下光照不同时间后进行点灯,出现绿 Mura 用“√”表示,未出现绿 Mura 用“×”表示,结果如表 7 所示。原材料在自动光学检测机光照 10 s 后即出现绿 Mura 不良,改善材料 G-1A 和 G-1B 在自动光学检测机光照 10 min(正常检测时间为 30 s)情况下也无不良产生,说明两种方式均可成功消除不良。

表 7 使用不同材料的产品受自动光学检测机光照测试结果

Tab.7 Test result of products using different materials under automatic optical inspection lamping

| 产品                  | Green 材料 | 自动光学检测机照射时间 |      |      |      |       |       |       |       |        |
|---------------------|----------|-------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                     |          | 10 s        | 20 s | 30 s | 45 s | 1 min | 2 min | 3 min | 5 min | 10 min |
| 81.28 cm<br>(32 in) | G-1      | √           | √    | √    | √    | √     | √     | √     | √     | √      |
|                     | G-1A     | ×           | ×    | ×    | ×    | ×     | ×     | ×     | ×     | ×      |
| 产品 A                | G-1B     | ×           | ×    | ×    | ×    | ×     | ×     | ×     | ×     | ×      |

√:有 Mura    ×:无 Mura

## 5 结 论

本文针对 8.5 代线工厂 81.28 cm(32 in)产品上出现的固定位置发绿条状 Mura 进行研究分析和工艺改善验证,通过设备位置匹配、液晶盒内特性分析、膜面微观结构分析、光学和电学分析等手段,明确了该产品彩膜工艺使用的 G-1 型光刻胶受模组自动光学检测机光照后性质发生变化是导致该不良的直接原因。

进一步研究 G-1 型光刻胶材料成分,其所含颜料锌酞菁化合物,在 600~700 nm 的可见光区域存在强吸收峰,确认不良机理为:G-1 型光刻胶

被光照后,锌酞菁化合物吸收光子,在膜层内产生激子,随后生成自由载流子并形成附加电场,导致该区域液晶偏转异常,透过绿像素的光亮较正常区域大,显示出宏观的绿 Mura。

明确不良机理后,从阻隔光照和减少光生载流子产生数量两方面入手,通过添加高敏感度光起始剂和使用颜色浓度更高的颜料分子两种方法形成改善材料,均成功消除了不良,不良率由约 20%降低为 0。本文的研究内容对于彩膜制程的材料选择具有重要借鉴意义,尤其是选择新材料时,不仅应考虑材料的色度是否满足规格,更应该考虑材料的光、热稳定性并进行相关信赖性测试,测试通过后再引进量产。

## 参 考 文 献:

- [1] 田民波,叶锋.TFT 液晶显示原理与技术[M].北京:科学出版社,2010.  
TIAN M B, YE F. *Principle and Technology of TFT Liquid Display* [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 马群刚.TFT-LCD 原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.  
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [3] 廖燕平,宋勇志,邵喜斌,等.薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2016.  
LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B, *et al.* *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)
- [4] 艾雨,刘利萍,周纪登.面板显示不均分析及改善对策研究[J].液晶与显示,2015,30(2):202-207.  
AI Y, LIU L P, ZHOU J D. Analysis and improvement of panel display inconformity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(2): 202-207. (in Chinese)
- [5] 吴洪江,王威,龙春平.一种 TFT-LCD Vertical Block Mura 的研究与改善[J].液晶与显示,2007,22(4):433-439.  
WU H J, WANG W, LONG C P. Research and improvement about Vertical Block Mura in TFT-LCD process [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(4): 433-439. (in Chinese)
- [6] 焦峰,王海宏.TFT-LCD 残像原理与分析(基础篇)[J].现代显示,2012(4):54-59.  
JIAO F, WANG H H. The theory and analysis of TFT-LCD image sticking (basis) [J]. *Advanced Display*, 2012 (4): 54-59. (in Chinese)
- [7] 蒋迁,塔拉,薛凤明,等.高分辨率平板电脑产品中彩膜曝光基台色斑不良的改善[J].液晶与显示,2019,34(6):537-542.  
JIANG Q, TA L, XUE F M, *et al.* Improvement of stage Mura in high PPI TPC color filter products [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(6): 537-542. (in Chinese)
- [8] 王健,王超.TFT-LCD 重力 Mura 的影响因素[J].液晶与显示,2019,34(5):496-500.  
WANG J, WANG C. Influencing factors of TFT-LCD gravity Mura [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(5): 496-500. (in Chinese)
- [9] 徐伟,彭毅雯,雷有华,等.TFT-LCD 横向线状未确认 Mura 分析及改善研究[J].液晶与显示,2013,28(4):539-546.  
XU W, PENG Y W, LEI Y H, *et al.* Analysis and improvement of TFT-LCD horizontal line unknown Mura [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(4): 539-546. (in Chinese)
- [10] 张永霜.酞菁锌有机薄膜晶体管制备与光电特性分析[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2016:24-35.  
ZHANG Y S. The fabrication and photoelectric characteristics analysis of ZnPc organic thin film transistor [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2016: 24-35. (in Chinese)
- [11] 李双,胡学雷,姚楚笛,等.新型锌酞菁衍生物的合成及其光物理性质[J].合成化学,2020,28(8):696-700.  
LI S, HU X L, YAO C D, *et al.* Synthesis and photophysical properties of a novel zinc phthalocyanine derivative [J]. *Chinese Journal of Synthetic Chemistry*, 2020, 28(8): 697-700. (in Chinese)
- [12] 沈淑引,刘恺,丁西明,等.烷氧基取代金属酞菁的合成及其吸收光谱性质[J].应用化学,1997,14(5):43-46.  
SHEN S Y, LIU K, DING X M, *et al.* Synthesis and spectroscopic properties of metal phthalocyanine with alkoxy chains [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 1997, 14(5): 43-46. (in Chinese)
- [13] 刘颖,左霞,吴谊群,等.四溴-2,3-萘酞菁锌(II)的合成及非线性光限幅特性[J].应用化学,2000,17(5):569-571.  
LIU Y, ZUO X, WU Y Q, *et al.* Synthesis of tetrabromo-2,3-naphthophthalocyanine zinc(II) and its nonlinear optical limiting [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2000, 17(5): 569-571. (in Chinese)
- [14] 王昌银,胡璋,刘栋宏,等.Rubbing Mura 不良的研究与改善[J].电子世界,2019(16):8-10.  
WANG C Y, HU Z, LIU D H, *et al.* Research and improvement of rubbing Mura [J]. *Electronics World*, 2019 (16): 8-10. (in Chinese)
- [15] 杨德波,王云志,陶雄,等.Rubbing Mura 产生机理及改善研究[J].液晶与显示,2018,33(6):469-474.  
YANG D B, WANG Y Z, TAO X, *et al.* Principle and improvement research of rubbing Mura [J]. *Chinese Jour-*

---

*nal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(6): 469-474. (in Chinese)

作者简介:



蒋 迁(1989—),女,湖北孝感人,硕士研究生,高级工程师,2014 年于中国科学院宁波材料技术与工程研究所获得硕士学位,主要从事液晶面板中彩膜的生产和工艺改善相关工作。E-mail:jiangqian@boe.com.cn