

文章编号:1007-2780(2019)03-0261-06

## TFT-LCD HADS 显示模式下黑白 Mura 机理研究及设计优化

郑箫逸\*, 袁 帅, 崔晓鹏, 林鸿涛, 陈维涛, 薛海林, 邵喜斌

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

**摘要:**随着高分辨率 TFT-LCD HADS 产品的开发,一种与像素 ITO 图形密切相关、有明暗(黑白)亮度差异、不同视角观察下存在黑白反转现象的 Mura 不良高发。经过对不良产品的参数测量和模拟分析,确定发生该不良的原因是在邻近区域内,像素开口区内的像素电极 ITO(1ITO)图形和公共电极 ITO(2ITO)图形发生了不同程度的相对偏移,电场分布存在差异,因此亮度发生明显差异;而且由于图形间的相对偏移导致电极间的电场发生偏移,形成像素左右两侧的一侧为强电场,一侧为弱电场,因而会出现从一侧观察发亮而从另一侧观察发暗、左右视角观察的黑白反转现象。Mura 区与相邻 OK 区 1ITO↔2ITO 对位差异为 0.5  $\mu\text{m}$ 。通过 1ITO 和 2ITO 的线宽设计优化,可提高产品对此偏移不均一的容忍度。最终采用最佳 1ITO、2ITO 线宽条件生产,配合 1ITO 和 2ITO 共用设备及 TP 非线性补偿等条件并举,此不良由高发时的 14.2%降至 0.2%以下。本文研究成果对于高分辨率 HADS 产品的设计和性能改善,有着重要的指导和参考意义。

**关键词:**黑白 Mura;对位偏移;氧化铟锡膜;电场;均一

**中图分类号:** TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193403.0261

## Mechanism research and design optimization of black and white Mura in TFT-LCD HADS display mode

ZHENG Xiao-yi\*, YUAN shuai, CUI Xiao-peng, LIN Hong-tao,

CHEN Wei-tao, XUE Hai-lin, SHAO Xi-bin

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

**Abstract:** With the development of high resolution TFT-LCD HADS products, a kind of Mura which is closely related to the pattern of ITO, occurred frequently. The Mura has bright and dark (black and white) brightness differences, and there is a black and white reversal phenomenon in different viewing angles. After measuring and simulating the parameters of the unaccepted products, the reason is concluded that the pixel electrode ITO (1ITO) pattern and the common electrode ITO (2ITO) figure in the pixel open area have different relative shift in the adjacent area, and the distribution of the electric field different, so the brightness difference is obviously different. Because of the relative shift between the patterns, the electric field between the electrodes is offset, which results in the strong electric field on one side of the pixel and the weak electric field on the other side. Therefore, the black and white reversal phenomenon is observed from opposite sides. The overlay's difference of 1ITO to 2ITO

收稿日期:2018-08-11;修订日期:2018-09-24.

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

between Mura and OK areas is  $0.5\ \mu\text{m}$ . Through the optimization of dimension design of 1ITO and 2ITO, the tolerance of the product to offset can be improved. Finally, using the best 1ITO, 2ITO dimension design, as well as combined with 1ITO and 2ITO common equipment and TP nonlinear correction and other conditions, the ratio of Mura occurrence is decreased from 14.2% to less than 0.2%. The research achievement in this paper has the important guidance and reference significance for the design and performance improvement of high resolution HADS products.

**Key words:** black and white Mura; overlay; ITO; electric field; uniformity

## 1 引言

显示器作为人机交流的界面,承载着大量的信息传递的功能。LCD 在中小尺寸的市场已经确立了不可动摇的地位,近几年随着平板电脑的发展,小巧、轻便、快捷等优点使得它迅速占领市场,得到广泛应用。以触摸屏作为基本的输入设备,对画面品质提出了更高的要求,以高开口率高级超维场转换技术(High aperture advanced super dimensional switching, HADS)为代表的 TFT-LCD 产品,具有高开口率、高分辨率、高透过率、宽视角可达  $178^\circ$  的优势特点,已被广泛地应用在高端产品<sup>[1-3]</sup>。

实际生产过程中,Mura 类不良对显示品质有很大影响。Mura 主要表现为有效显示区域内亮度或者颜色显示不均匀。关于 Mura 的产生原因,大致可以分为电学性和光学性两种。其中,光学性 Mura 是指由液晶分子排布、液晶分子纯度、液晶盒厚或彩色滤光片颜料纯度、比例及树脂材料和厚度等等光学因素导致的显示画面灰度不均匀造成各种痕迹的现象;而电学性 Mura 是指在显示区域中,局部位置亚像素的电压与同期正常位置上亚像素的电压存在明显差异导致的灰度不均匀<sup>[4-6]</sup>。

TFT-LCD HADS 显示模式,1<sup>st</sup> ITO 作为像素电极(以下简称 1ITO),2<sup>nd</sup> ITO 作为公共电极(以下简称 2ITO),两层 ITO 之间形成电场,液晶在电场力作用下发生相应程度的偏转,从而显示为不同的灰阶。若像素开口区电场是均一的,面板画面显示就是亮暗均一的;若开口区电场不均一、或者不同像素的开口区电场分布不一致,就会导致不同显示区域的亮度不同,形成 Mura<sup>[7-8]</sup>。

本文讨论的黑白 Mura 即为一种由于 1ITO 小范围区域内对位偏移程度出现跳变导致的电学性 Mura 类不良。本文通过研究 Mura 宏观现象

不同表现,测量大量的扫描电镜(SEM)微观数据,从微观到宏观进行机理分析,确定此不良与产品工艺设计、生产工艺条件均相关<sup>[9]</sup>,最终通过建立模型,进行模拟验证,并给出最优化的设计参数,同时导入优化的工艺参数,对黑白 Mura 有明显的改善效果,同时为今后产品开发提供了有效设计依据。

## 2 不良现象描述

本文所述黑白 Mura 宏观现象表现为黑白不均,主要特征包括:(1)高灰阶可见,L64 以下几乎不可见;(2)位置不固定,形状不规则,条状、斑块状均有;(3)正视不明显,侧视明显,且表现为左右视角黑白反转。

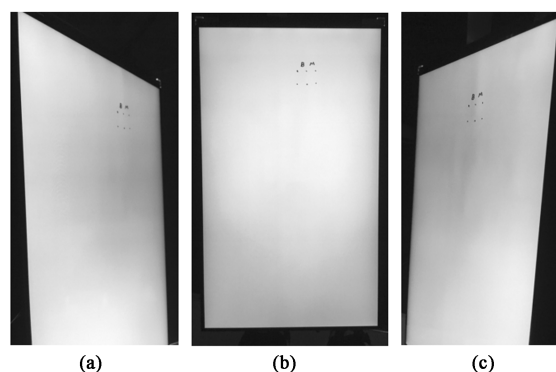


图 1 黑白 Mura 宏观现象示意图。(a)左视角;(b)正视角;(c)右视角。

Fig.1 Schematic of black and white Mura. (a) Left viewing angle; (b) Center viewing angle; (c) Right viewing angle.

对现象进行进一步直流确认及电学确认,直流条件下同样可见;像素电压与  $V_{\text{com}}$  电压正负反转,未出现黑白反转。仅点亮背光源不加电条件下,通过转动偏振片,将画面显示为高灰阶,现象不可见。

### 3 黑白 Mura 产生原因分析及机理解释

#### 3.1 不良分析

仅点亮背光源不加电条件下,通过转动偏振片,将画面显示为高灰阶,发现现象不可见。由此可大致判断此不良属电学 Mura 可能性较大。

电路方面对反转方式、扫描方式、驱动能力、频率变化等进行调整,均未发现明显现象变化,因此将重点聚焦在阵列基板各层膜厚及 CD(critical dimension),针对 1ITO、2ITO、数据线线宽及彼此之间相对位置关系进行扫描电镜(SEM)测试。由于此不良左右视角黑白存在反转,因此本文以下所说黑、白均代表印刷电路板(PCB)在上,右侧视角观察所呈现的现象。经过 SEM 制样、扫描、数据量测、数据分析发现,黑/白区域存在较大差异,右视角发黑区域较发白区域 1ITO 存在明显的偏移跳变。

测试示意图如图 2 所示,SEM 测试选取连续的一段区域,贯穿 OK 区、黑区、白区、OK 区,每个区域拍摄 SEM 图,测试 1ITO、2ITO、数据线线

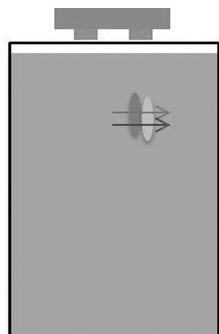


图 2 SEM 制样示意图

Fig.2 Schematic of SEM sampling

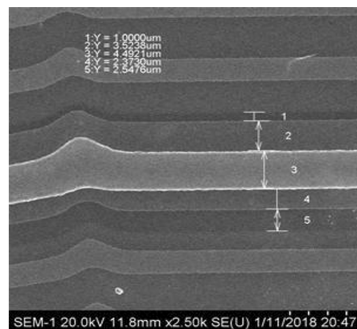


图 3 SEM 测量位置

Fig.3 Schematic of SEM measurement

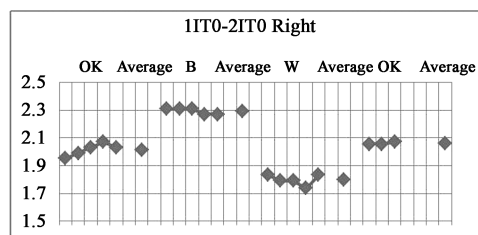
及宽相对位置关系,如图 3 所示,测量数据见表 1。

表 1 图 3 中各数字所代表的距离

Tab.1 Representative distance of the number in Fig.3

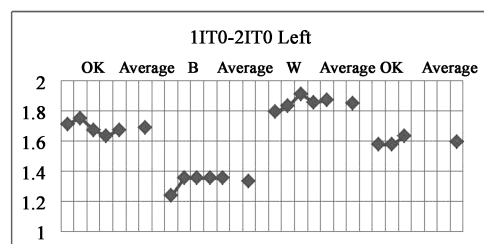
|   |              |
|---|--------------|
| 1 | 1ITO↔2ITO(右) |
| 2 | 2ITO↔数据线(右)  |
| 3 | 数据线线宽        |
| 4 | 2ITO↔数据线(左)  |
| 5 | 1ITO↔2ITO(左) |

通过对 OK 区-黑区(B)-白区(W)-OK 区 4 个区域的数据分析发现,表 1 所示 1~5 组数据,黑区、白区对比可知,1ITO 与 2ITO 相对位移关系存在较大差异(表 1 中 1、5),其余 CD 值均未见明显差异。



(a) 右侧

(a)Right



(b) 左侧

(b)Left

图 4 1ITO 与 2ITO 相对偏移数据图

Fig.4 Overlay of 1ITO and 2ITO

由图 4 数据可知,黑区与白区相比较,1ITO ↔2ITO(右)偏大 0.5  $\mu\text{m}$ ,1ITO ↔2ITO(左)偏小 0.5  $\mu\text{m}$ ,1~5 数据相加,总和为相邻像素间 1ITO 间距,因此可判断,1ITO 本身 CD 无异常,而是小范围区域内出现了偏移跳变。为了更加直观地理解此跳变,将黑、白区 SEM 图拼接在一起观察,如图 5 所示。

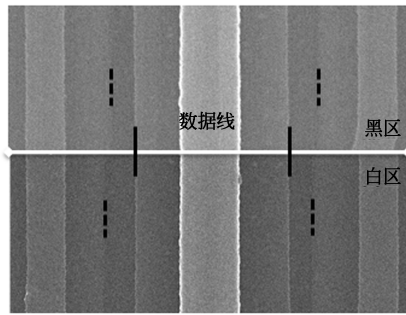


图 5 黑区与白区对比图

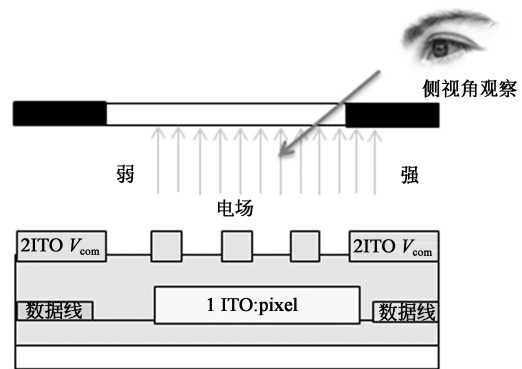
Fig.5 Contrast diagram of black area and white area

从图 5 可以看出,黑区与白区对比,数据线左右两侧标齐,2ITO 左、右边界(实线标记)同样标齐,1ITO(虚线标记)左、右边界均有所偏移,即 1ITO 与 2ITO 间相对位移有所偏差,白区较黑区右侧偏小(对应表 1 中数据 1),左侧偏大(对应表 1 中数据 5),偏移绝对值相当。

### 3.2 机理解释

通过前面的分析数据可知,黑区、白区的差异是由于相邻两个区域 1ITO 与 2ITO 之间相对偏移量不同导致,下面我们建立模型进行分析。

如图 6 所示,1ITO 正常的样品,开口区电场是均衡的,左右两边是完全对称的,边缘电场均



(c)侧视角观察

(c) Side viewing angle

图 6 机理分析图

Fig.6 Mechanism analysis diagram

一。若 1ITO 出现偏移(图中示例为向右偏移),则开口区左侧电场减弱,右侧电场加强,因此开口区整体亮度会减弱。右侧视角观察时,强电场被黑矩阵遮挡部分有效区域,弱电场区域被进一步放大,因此亮度更低,现象加重。左侧视角观察,情况相反,强电场被放大,弱电场被遮挡,因此会出现黑白反转。如果不同像素的偏移程度不同,则即使从同一角度观察,亮度也存在差异,可以看到黑白 Mura。

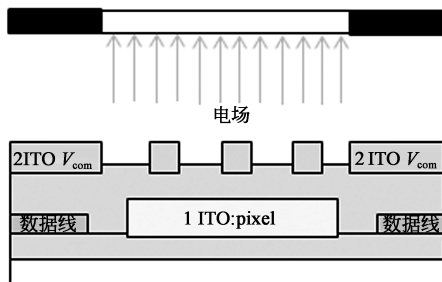
## 4 模 拟

改善此不良有两个方向,一是针对此相对偏移不均一进行改善,加强曝光设备管控,整体提升设备对位偏移(Overlay)管控能力,提升 ITO OL 均一度;二是提升设计能力,对 1ITO、2ITO 设计进行调整,提升产品对 ITO OL 不均一的容忍度,从而降低不良发生率。下面针对 1ITO、2ITO 设计进行模拟分析。

### 4.1 1ITO 设计优化

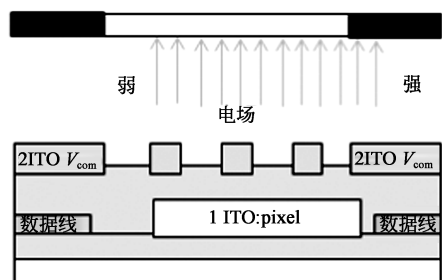
图 7 所示为像素结构截面图,调整 1ITO 与数据线之间距离,在 5.0、5.2、5.4  $\mu\text{m}$  3 种不同距离条件下,模拟 1ITO 向右偏移 0.5  $\mu\text{m}$ ,黑矩阵左右两侧开口区透过率差异,模拟区域如图 8 所示,①、②分别代表黑矩阵左、右两侧区域。

为比较偏移前后的对应模拟区域电场强度的变化,用偏移前后对应模拟区域透过率进行比较,以①区为例,1ITO 与数据线距离为 5.4  $\mu\text{m}$  时,1ITO 向右偏移 0.5  $\mu\text{m}$ ,①区电场变强,与偏移之



(a)正常区

(a) OK area



(b)非正常区

(b) Mura area

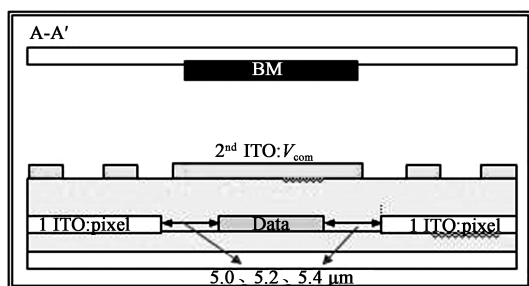


图7 像素结构截面图

Fig.7 Sectional diagram of pixel

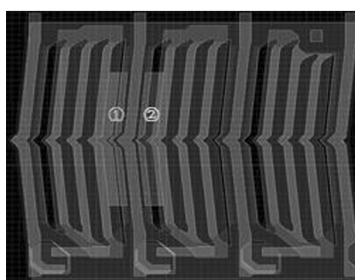


图8 模拟区域示意图

Fig.8 Schematic of simulation

前①区透过率相减,再求比值,即

透过率变化 = [透过率(偏移后) - 透过率(偏移前)] ÷ 透过率(偏移前)

按照上述公式,由模拟透过率计算得知,①区电场强度增强 18.9%;同理②区电场强度减弱 28.5%。

由于人眼对于相邻区域亮度差异较亮度自身明暗更为敏感,为便于更直观判断 1ITO 向右偏移后①、②区电场强弱的变化,可用 1ITO 向右偏移 0.5 μm 之后,①区透过率减去②区透过率,差值与①区透过率求比值,表征 1ITO 与数据线 3 种距离条件下,哪个条件①、②区电场强弱差异最小,即为对 ITO 不均一容忍度较高的条件,即

透过率差异 = [透过率(①区) - 透过率(②区)] ÷ 透过率(①区)

图 9 所示为 3 种条件模拟结果。结果显示:随着 1ITO 与数据线之间距离减小,偏移后,左右电场强度差异越小,对 ITO 不均一容忍度越高。

#### 4.2 2ITO 设计优化

按照 4.1 1ITO 同样的模拟原理,调整 2ITO W/S(W:2ITO 宽度;S:2ITO 间距宽度)比例,比较 1ITO 向右偏移 0.5 μm 时,①、②区透过率差异,表征电场强弱差异,结果显示(图 10):W+S

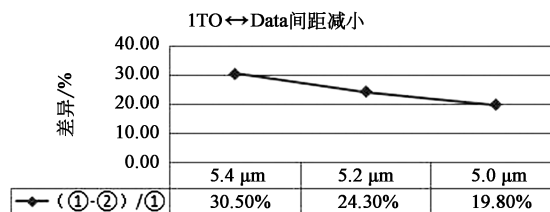


图9 对不均一容忍度随 1ITO ↔ 数据线间距关系图

Fig.9 Relational diagram of tolerance for nonuniformity and 1ITO ↔ Data

即总尺寸不变的前提下,随着 W 减小,S 增大,左右电场强弱差异减小,对 ITO 不均一容忍度提高。

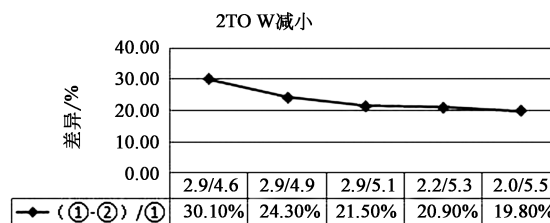


图10 对不均一容忍度随 2ITO W/S 关系图

Fig.10 Relational diagram of tolerance for nonuniformity and 2ITO W/S

## 5 结 论

本文通过一系列测试与模拟,得出以下结论:

(1) TFT-LCD HADS 显示模式下黑白 Mura 产生原因为黑区、白区 1ITO 偏移量存在偏差,导致临近的两区域边缘电场不一致,表现为黑白 Mura。

(2) 正视角左右强弱电场相互冲抵,现象不明显,侧视角观察,强弱电场一方被遮挡,一方被放大,因此视角转换,黑白反转。

(3) 为了提升产品对 1ITO、2ITO OL 不均一的容忍度,增加 1ITO CD,减小 1ITO ↔ 数据线间距,在相同的 1ITO 偏移量前提下,左右两侧边缘电场差异明显减小。

(4) 固定 1ITO 设计值,对 2ITO 建模验证,2ITO 尺寸(W+S)不变的条件下,减小 W,在相同的 1ITO 偏移量前提下,左右两侧边缘电场差异明显减小,可提升产品对此不均一容忍度。

经过大量的分析和测量,结合模拟给出的提升产品对不均一容忍度的改善方案,将 1ITO 与

数据线间距由  $5.4\ \mu\text{m}$  降为  $5.0\ \mu\text{m}$ , 2ITO W/S 由 2.9/4.6 改为 2.6/4.9, 加上图形的设计尺寸与真实尺寸的整体差异 (total pitch, TP) 非线性补正以求最佳对位数据, 1ITO 和 2ITO 同设备生产, 4 大条件并举, 最终黑白 Mura 不良比例由最高时的 14.2% 降为目前 0.2% 左右, A 级率提升

10% 以上, 提升客户满意度, 为产品盈利做出贡献。本文针对高 PPI 产品发生的 Mura 不良所提出的设计优化方法、以及模拟分析方法, 为以后的 TFT-LCD 的产品设计以及不良解析、性能改善, 均具有重要的指导意义。

## 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.  
MA Q G. *Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [2] 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, 2003. (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.* *Display Principle and Design of Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)
- [4] 焦峰, 王海宏. TFT-LCD 残像原理与分析 (基础篇) [J]. 现代显示, 2012, 23(4): 54-59.  
JIAO F, WANG H H. The theory and analysis of TFT-LCD image sticking (Basis) [J]. *Advanced Display*, 2012, 23(4): 54-59. (in Chinese)
- [5] 曾祥斌, SIN J K O, 徐重阳, 等. 多晶硅薄膜的表面处理工艺 [J]. 无机材料学报, 2001, 16(4): 693-696.  
ZENG X B, SIN J K O, XU Z Y, *et al.* Surface plasma passivation of the polycrystalline silicon thin films by using  $\text{NH}_3$  or  $\text{N}_2\text{O}$  gas [J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2001, 16(4): 693-696. (in Chinese)
- [6] 王新久. 液晶光学和液晶显示 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 313-331.  
WANG X J. *Liquid Photology and Liquid Display* [M]. Beijing: Science Press, 2006: 313-331. (in Chinese)
- [7] CEN Y G, ZHAO R Z, CEN L H, *et al.* Defect inspection for TFT-LCD images based on the low-rank matrix reconstruction [J]. *Neurocomputing*, 2015, 149: 1206-1215
- [8] WON M S, AMANOV A, KIM H J, *et al.* Evaluation of the mechanical and tribological properties of a TFT-LCD Panel [J]. *Tribology International*, 2014, 73: 95-100
- [9] 韩君奇, 刘利萍, 张南红, 等. Panel 污渍分析及改善探究 [J]. 液晶与显示, 2017, 32(3): 177-181  
HAN J Q, LIU L P, ZHANG N H, *et al.* Analysis and improvement of panel stain [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(3): 177-181. (in Chinese)

## 作者简介:



郑箫逸 (1986—), 女, 山东德州人, 硕士, 资深高级研究员, 2012 年于山东大学获得硕士学位, 主要从事 TFT-LCD 产品不良解析方面的研究。E-mail: zhengxiaoyi@boe.com.cn