

文章编号:1007-2780(2018)02-0123-06

基于 DOE 的 TFT-LCD 切换残影不良改善研究

陶 雄*, 王云志, 李 莹, 杨德波, 何云川

(重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400714)

摘要:为降低 TFT-LCD 生产过程中切换残影不良的发生率,在考虑残影的主要影响因素基础上,采用实验设计(DOE)中的部分因子实验设计筛选该不良的显著因子,结合生产实际开展切换残影的改善研究工作。研究结果表明:DOE 方法能有效辨别残影不良的显著因子有覆盖层(Over coater, OC)、重叠部分(ITO-Vcom Overlay, OL)和摩擦扭转力(Rubbing Torque),在实际生产的不良改善过程中,彩膜玻璃(Color Filter, CF)增加 OC、加大 OL 和提高 Rubbing Torque 值均能有效降低残影不良发生率;研究结果为切换残影和改善 TFT-LCD 生产过程中其他不良提供了新思路。

关键词:切换残影;实验设计;覆盖层;重叠层;摩擦扭转力

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183302.0123

Improvement of TFT-LCD image-retention based on DOE

TAO Xiong*, WANG Yun-zhi, LI Ying, YANG De-bo, HE Yun-chuan

(Chongqing BOE Optoelectronic Technology CO., LTD, Chongqing 400714, China)

Abstract: To reduce the occurrence of TFT-LCD image-retention, several key factors were approved with fractional factorial design adopting the design of experiment (DOE). Through the practical production, we solved the problem about the image-retention. The results showed that the prominent factors of image-retention, including OC, OL and Rubbing Torque, can be effectively distinguished by DOE method. Moreover, by adding OC on CF, enlarging and ITO-Vcom Overlay, or increasing Rubbing Torque value, the incidence of image-retention during improvement can be effectively reduced. This study provided a new idea for other defect researches in image-retention and TFT-LCD production process.

Key words: image-retention; design of experiment; over coater; overlay; rubbing torque

1 引言

TFT-LCD 显示器已广泛运用于 TV、Notebook、Monitor、Mobile 等领域^[1],随着显示科技

的进步,人们对显示性能、画面品质也提出了越来越高的要求,对 Mura^[2]和切换残影^[3]类不良规格要求也越来越苛刻。而切换残影,作为 TN 型 TFT-LCD 产品常见的共性顽固不良,对产品良率提升和公司收益增长带来较大影响,解决该类

收稿日期:2017-06-26;修订日期:2017-10-27.

* 通信联系人, E-mail: taoxiong@boe.com.cn

顽固性不良一直是 TFT-LCD 行业共同的奋斗目标。

切换残影不良现象为从亮态(L255)切换至黑态(L0)时,局部画面出现碎亮点,且消失缓慢^[4],宏观上直接影响画面品质,其影响因素主要可分为两大类:(1)边缘电场;(2)摩擦弱区。边缘电场主要受 TFT 像素上 ITO-Vcom Overlay 程度影响,Overlay 过小会加强像素边缘的横向电场,影响像素周边液晶分子偏转从而产生不良,而摩擦弱区的影响因素较多,主要的有:CF 膜层段差、摩擦强度、配向膜厚度等。残影的改善方向就是通过优化以上的影响因素来完成,如 CF 膜层表面增加 OC、增加摩擦强度等。

实验设计(DOE)是在统计学的基础上发展起来的一门学科,结合数学理论与实践所形成的一种综合性技术方法,能够为实验人员提供所需的信息资料,已广泛运用于各个生产领域^[5-7]。其种类可分为全因子实验、部分因子实验、响应曲线实验、田口设计实验和 PB 实验^[8]。全因子实验考虑所有主效应和交互作用,所需实验次数多耗时长,而部分因子实验则是筛选重要因子,考虑重要因子效应和交互作用,具有实验次数少、耗时短、成本低等优点。本论文基于 DOE 方法的部分因子实验筛选影响切换残影的重要因子,并进行进一步实验验证,有效地降低切换残影不良发生率。

2 不良解析及机理研究

2.1 不良现象确认

TFT-LCD 在点灯画面下由亮态(L255)切换至黑态(L0)时,局部画面出现碎亮点,且消失缓慢,目镜下可见像素长边漏光,漏光从两端向中间逐渐消失,绿色像素严重,红蓝像素均可见,如图 1 所示。

2.2 残影不良机理研究

残影发生机理为像素长边出现液晶分子配向异常导致漏光,主要影响因素有边缘电场和摩擦弱区:(1)边缘电场,ITO 边缘与 Vcom Overlay 会产生边缘电场,Overlay 过小会加强像素区边缘的横向电场,影响像素周边液晶分子偏转从而

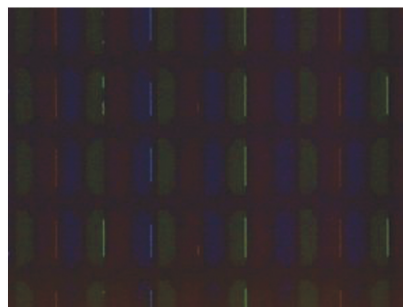


图 1 残影点灯现象

Fig.1 Phenomenon of image-retention

产生不良,如图 2 所示。(2)摩擦弱区同时存在于 TFT 和 CF 侧,CF 侧主要受彩膜像素与黑矩阵之间的段差影响,段差增加使摩擦弱区增大,减弱液晶配向能力从而导致漏光;TFT 摩擦弱区受各层膜厚段差、坡度角等影响,除 CF 和 TFT 结构之外,配向膜厚度和摩擦强度均会直接影响摩擦弱区。

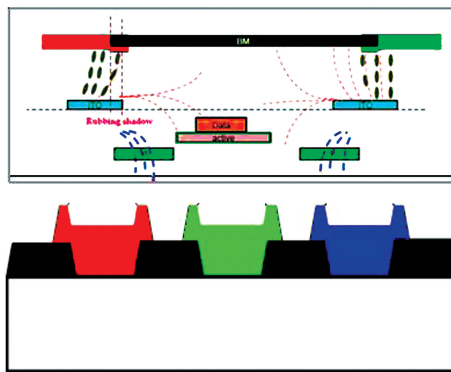


图 2 ITO 与 Vcom Overlay 产生边缘电场和像素段差示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the electric Field induced by the Overlay between ITO and Vcom and pixel altitude variance

3 不良影响因素的显著性研究

3.1 残影不良影响因素实验方案设计

根据残影不良发生机理可知,其主要的影响因素有:CF 段差、边缘电场、Rubbing Torque,而 CF 段差可通过增加覆盖层(OC)进行改善,摩擦弱区可通过摩擦强度(Rubbing Torque 值)、生产过程的延迟时间(Delay Time)、液晶配向膜膜厚(PI THK)等进行优化。本文通过实验设计找出

影响残影不良的显著因子与非显著因子,上述几个影响因子受限于生产过程的实际情况,故其变化时存在各自的范围,如 OL(ITO-Vcom)一般不小于 $3\text{ }\mu\text{m}$,而 OC 有无用 1 和 0 表示,基于以上考虑,本次实验的主要影响因子水平值设置见表 1 所示。

表 1 DOE 部分因子实验表头

Tab.1 Fractional factorial experiment

参数名称	单位	参数下限	参数上限
OC	—	0	1
OL(ITO-Vcom)	μm	3	4
Rubbing Torque	—	8	12
Delay Time	h	12	24
PI THK	A	1 000	1 200

以上实验因子共计 5 个,采用 $2^{5-1/4}$ 部分因子实验设计,共进行 8 次实验,具体实验方案见表 2。

表 2 DOE 部分因子实验设计

Tab.2 Design off ractional factorial experiment

标 准 序 序	运 行 序 序	OC (—)	OL(ITO- Vcom) (μm)	Rubbing Torque (—)	Delay Time (h)	PI THK (A)
1	1	0	3	12	24	1 000
6	2	1	3	12	12	1 200
4	3	1	4	8	24	1 000
8	4	1	4	12	24	1 200
7	5	0	4	8	12	1 200
2	6	1	3	8	12	1 000
5	7	0	3	8	24	1 200
3	8	0	4	12	12	1 000

部分因子实验实施应遵循 DOE 三个基本原则(随机化、重复性、区组化),制定好实验方案后,应按照运行序而不是标准序进行实验。实验的随机化有助于减少因实验人员的主观因素所造成的影响,从而保证实验误差的合理性。

根据以上设计进行实验验证,得到以下实验数据处理结果(表 3)。

表 3 实验数据处理结果表

Tab.3 Result of experiment

运 行 序	影响因子					响 应 残 影 发 生 率(%)
	OC (—)	OL(ITO- Vcom) (μm)	Rubbing Torque (—)	Delay Time (h)	PI THK (A)	
1	0	3	12	24	1 000	22.34
2	1	3	12	12	1 200	0.53
3	1	4	8	24	1 000	0.11
4	1	4	12	24	1 200	0.67
5	0	4	8	12	1 200	0.53
6	1	3	8	12	1 000	0.89
7	0	3	8	24	1 200	18.21
8	0	4	12	12	1 000	0.89

通过方差分析处理以上实验数据,如图 3 所示,可得出不同因子的效应大小及相互间交互作用,关于残影不良的效应和系数的估计可见表 4;各因子实验的方差分析结果见表 5。

表 4 残影不良因子实验效应估计描述

Tab.4 Description of effect estimate of factorial experiment

因子	效应估计	系数	T	P
常量		5.481	10.86	0.008
OC	—9.871	—4.936	—9.78	0.01
OL(ITO-Vcom)	—10.012	—5.006	—9.92	0.01
Rubbing Torque	—9.703	—4.851	—9.62	0.011

R-Sq = 98.52% R-Sq(预测) = 94.09% R-Sq(调整) = 97.42%

表 5 残影不良因子实验方差分析

Tab.5 Analysis of fractional factorial experiment

来源分析	自由度	平方和	均方	F	P
主效应	3	583.71	194.57	88.97	0.017
OC	1	194.933	194.933	89.13	0.01
OL(ITO-Vcom)	1	200.5	200.5	91.68	0.01
Rubbing Torque	1	188.277	188.277	86.09	0.01
残差误差	4	8.748	2.187	—	—
合计	7	592.458	—	—	—

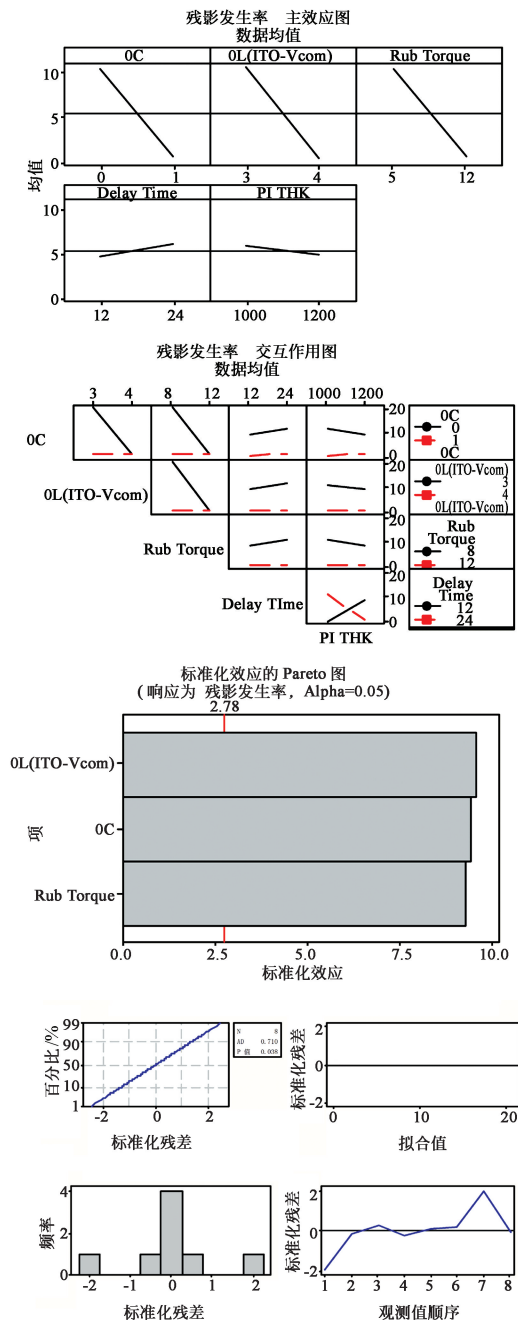


图 3 残影不良因子的主效应、交互作用、Pareto 及四合一图

Fig.3 Main effect plots, interaction plots, Pareto plots and four in one diagram of defect factor

由上述实验因子的主效应图、交互作用图和方差分析结果可知,4 个实验因子中,有无 OC、OL(ITO-Vcom)及 Rubbing Torque 值的效应很显著,而 Delay Time 与 PI THK 属于非显著性影响因子,但对于残影发生率具有一定的影响。基于方差分析的模型 R-Sq 统计量、预测模型 R-Sq 统计量和已调整的模型 R-Sq 统计量分别为

98.52%、94.09%、97.42%。因子实验的显著性分析见图 3,由图可以看出,因子 OC 与 OL(ITO-Vcom)以及 Rubbing Torque 值为显著影响因子(正态分布图中 P-Value=0.038<0.05,数据未完全符合正态分布是由于实际生产过程中实验数据相对较少),这与上述的因子主效应图及交互作用图包含的信息一致。

3.2 DOE 结果

实验分析的结果可以得到以下两点结论:

(1) OC 与 OL(ITO-Vcom)以及 Rubbing Torque 值为显著影响因子,有无 OC、OL(ITO-Vcom)及 Rubbing Torque 值对残影发生率影响很大;

(2) Delay Time 与 PI THK 属于非显著性影响因子,但对与残影发生率具有一定的影响;

(3) 切换残影与显著因子的关系: $Y=69.718-9.873 * OC-10.013 * OL-2.426 * Rub Torque$ 。

4 切换残影不良的改善研究

以上不良因子显著性研究结果可知:残影的显著因子为 OC 与 OL(ITO-Vcom)以及 Rubbing Torque 值,因此只要 DOE 结果对 3 个因子进行优化,并管控好其他因子,残影不良就可进行有效管控。

4.1 CF 玻璃增加覆盖层(OC)

增加 OC 即在 CF 侧表面增加一层覆盖层,降低 CF 侧色阻和黑矩阵间段差,使 CF 侧表面平坦化减小膜层段差对后段摩擦工艺的影响,即摩擦弱区减小,从而减低残影不良发生率,如图 4 所示。

增加覆盖层前后残影不良的发生率如图 5 所示,可证明在彩膜侧增加覆盖层可使残影发生率大大降低,实际生产过程中增加 OC 不仅增加生产成本,同时增加彩膜玻璃的制作工序和时间,降低工厂稼动率从而影响收益。

4.2 增加 ITO 和 Vcom Overlay 程度

用软件模拟 OL 与残影不良的关系,保持其他软件模拟参数不变,模拟不同 Overlay 程度在 L255 电压切换 L0 电压时,透过率随时间的变化关系,如图 6 所示,透过率降低越慢,漏光严重,残影发生率高;Overlay 越大,透过率降低越快,即残影现象越轻,改善效果越好。

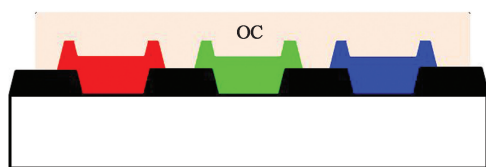


图4 增加覆盖层示意图

Fig.4 Schematic diagram of color film with over coater

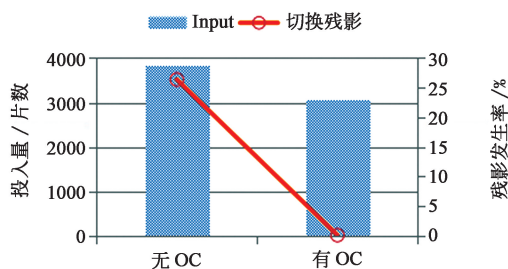


图5 增加覆盖层前后残影不良发生率对比

Fig.5 Defect ratio of color film with or without over-coater

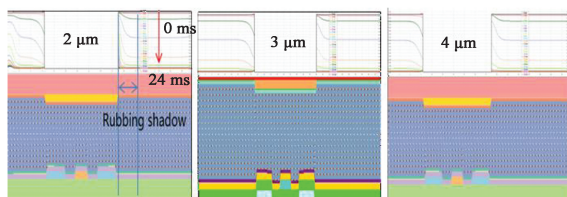


图6 透过率与Overlay程度关系

Fig.6 Relationship between transmission and overlay

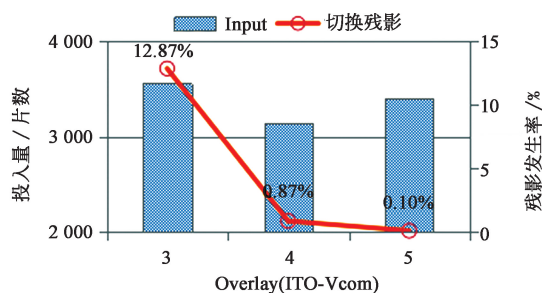


图7 残影发生率与Overlay程度变化关系

Fig.7 Relationship between overlay and defect

Overlay从 $3\mu\text{m}\rightarrow 4\mu\text{m}\rightarrow 5\mu\text{m}$ 后,残影发生率 $10\%\rightarrow 0.8\%\rightarrow 0.1\%$,如图7所示,不良明显降低,但Overlay程度越高,面板透过率降低,影响光学特性,同时随着技术革新,实际生产过程中

越来越追求显示器窄边框,因此需要配合其他影响因素进行改善。

4.3 Rubbing Torque 值对残影的影响

摩擦工程(Rub)是利用摩擦布表面绒毛对配向膜表面进行梳理,其表面按照一定方向有序排列,使液晶分子沿摩擦方向排列。由于TFT和CF玻璃均存在不同程度的段差,从而导致摩擦过程中难免有弱区,从而表现出相应的不良,降低摩擦弱区有效的方法之一就是增加Rubbing Torque值(为摩擦工艺中滚轮所产生的扭矩),其大小影响摩擦强度,Torque增加时,摩擦强度增加,摩擦效果好,摩擦弱区减小。

Rubbing Torque值与残影不良发生率关系如图8所示,当Torque值在 $8\sim 11$ 时,残影发生率平均为 10% ,而其值大于 11 时,不良发生率平均为 0.26% ,因此增加摩擦强度可有效改善残影不良,但是摩擦强度增加时,Rubbing Mura也会随着相应增加,需要生产过程中优化参数,找出最优条件进行。

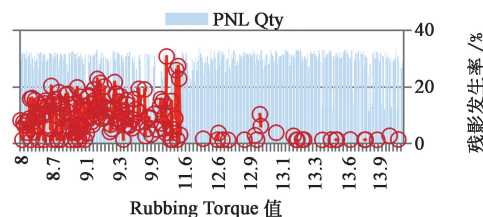


图8 Rubbing Torque值与残影不良关系图

Fig. 8 Relationship between defect ratio and Rubbing Torque

5 结果与讨论

通过DOE部分因子实验设计分析得出:残影不良的显著因子有OC与OL(ITO-Vcom)以及Rubbing Torque值,并运用于实际生产的不良改善过程中,CF玻璃增加OC、OL及提高Rubbing Torque值均能有效降低残影不良发生率;增加OC工序会增加生产成本,降低工厂产能,从而影响收益;OL程度越高,面板透过率降低,影响光学特性,同时无法满足高PPI产品和窄边框显示器的要求;摩擦强度增加时,摩擦相关Mura也会随着相应增加,因此在实际生产中需根据不同产品进行实验,以最优条件进行生产投入。

6 结 论

残影不良影响因素比较多,改善方法和方向也很多,本文通过 DOE 中的部分因子实验设计

筛选该不良的显著因子:有无 OC、OL(ITO-Vcom Overlay)以及 Rubbing Torque 值,并运用于实际生产中的不良改善验证,可以快速有效降低残影发生率,该实验方法为改善其他不良和同行提供新的改善研究方向。

参 考 文 献:

- [1] 王新久.液晶光学和液晶显示[M].北京:科学出版社,2006.
WANG X J. *Liquid Photology and Liquid Display* [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [2] HUH L, CHU L W, KUO P S, *et al.* Algorithm for regional Mura reduction by using gamma - curve transformation in LCD panels [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2015, 46(1): 1312-1315.
- [3] 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).
- [4] 范恒亮,汤展峰,刘利萍,等.TFT-LCD 残影不良的研究与改善[J].液晶与显示,2016,31(3):270-275.
FAN H L, TANG Z F, LIU L P, *et al.* Research and improvement of TFT-LCD image-retention [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(3): 270-275. (in Chinese)
- [5] 雷刚,王希杰,张攀.基于 DOE 的汽车碰撞优化分析[J].重庆理工大学学报:自然科学,2011,25(2):8-12.
LEI G, WANG X J, ZHANG P. Optimal analysis of vehicle crash based on DOE [J]. *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 2015, 25(2): 8-12. (in Chinese)
- [6] 胡守超,崔凯,李广利,等.基于实验设计方法的高超声速飞机前缘型线优化分析[J].力学学报,2016,48(2): 290-299.
HU S C, CUI K, LI G L, *et al.* Optimization and analysis of the leading edge shape for hypersonic airplanes based on DOE methods [J]. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016, 48(2): 290-299. (in Chinese)
- [7] 钟文慧.DOE 技术在水泥助磨剂配方设计中的应用[J].鄂州大学学报,2016,23(3):94-96.
ZHONG W H. Application of DOE technology in the formulation of cement grinding aids[J]. *Journal of Ezhou University*, 2016, 15(3):13-15. (in Chinese)
- [8] 王昌明.基于 DOE 的雾化控制系统设计[D].广州:华南理工大学,2015.
WANG C M. The design of atomizing dose control system based on DOE [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015. (in Chinese)

作者简介:陶雄(1989—),男,云南丘北人,硕士研究生,主要从事液晶显示面板的新产品导入和不良解析相关工作。E-mail:taoxiong@boe.com.cn