

文章编号:1007-2780(2019)12-1166-06

氮化硅膜层对 TFT 白点色度均匀性的影响及其改善

操彬彬*, 叶成枝, 安 晖, 马 力, 刘广东, 吕艳明, 彭俊林, 杨增乾,
栗芳芳, 陆相晚, 黄正峰, 刘增利, 廖伟经, 李恒滨
(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘要:基于相同点位分别测试了 TFT 白点色度均匀性(WCU)和各层氮化硅(SiN_x)膜厚,并分析了二者的关联性,发现 TFT WCU 与栅极绝缘层(GI)和第二绝缘层(PVX2)两层的相关性较大,而与厚度最薄,折射率最大的第一绝缘层(PVX1)最不相关;提出了降低 GI 层剩余厚度避免低速沉积 GI(GL)的残留和降低 PVX2 膜层厚度以提升面内均一性的改善方案,最终使得产品的 TFT WCU 均值降低约 0.000 7;最大值由改善前的 0.007 0 降至改善后的 0.005 2,满足了最大值 $\leq 0.005 5$ 的目标值,改善效果明显。

关键词:薄膜晶体管;氮化硅薄膜;白点色度均匀性;折射率

中图分类号:O439 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193412.1166

Research and improvement of TFT white color uniformity based on SiN_x film

CAO Bin-bin*, YE Cheng-zhi, AN Hui, MA Li, LIU Guang-dong,
LYU Yan-ming, PENG Jun-lin, YANG Zeng-qian, LI Fang-fang, LU Xiang-wan,
HUANG Zheng-feng, LIU Zeng-li, LIAO Wei-jing, LI Heng-bin

(Hefei Xinsheng Optoelectronics Technology CO., LTD., Hefei 230001, China)

Abstract: TFT White Color Uniformity (WCU) and SiN_x film thickness of each layer were tested based on the same test points and the correlation between them is analyzed. It is found that TFT WCU has a great correlation with GI and PVX2 layers rather than PVX1 layer with the thinnest THK and largest n value. On this basis, an improvement scheme to reduce the center value of GI Remain THK (to avoid the residue of GL layer) and PVX2 THK (to improve the uniformity in panel) at the same time is proposed, which can reduce the mean value of TFT WCU by about 0.000 7. After improvement, the maximum value can be decreased from 0.007 0 to 0.005 2 to satisfy the specification (maximum value $\leq 0.005 5$). The effect of improvement is obvious.

Key words: TFT; SiN_x film; white color uniformity; refractive index

收稿日期:2019-05-30;修订日期:2019-09-27.

* 通信联系人, E-mail: caobinbin@boe.com.cn

1 引言

随着人们对显示屏画质的要求不断提高,对显示屏的色度均匀性的要求也越来越高,通常显示屏的色度均匀性采用测量白点色度均匀性(White Color Uniformity, WCU)的方法来监控,因此 WCU 成为 TFT-LCD 产品一项新的光学检测项目。之所以选择白点,是因为白点是 RGB 色空间的靶心,它的色坐标会影响显示屏绝大部分颜色的表现,RGB 三原色的三刺激值共同决定白点色度坐标^[1],故白点色度均匀性可以间接反应其他色彩色度均匀性。目前 WCU 检测设备主要利用 CCD 光电转换器拍摄显示屏白画面,再经视频卡采集,把图像的 RGB 三基色值存入计算机,经过计算机软件处理,最终输出白点色度偏差 $\Delta u'v'$ 值,当 $\Delta u'v'$ 超出规格则会判为不良品^[2-3]。

目前针对 TFT-LCD 产品 WCU 改善研究中,除了背光色块、偏光片、盒厚、配向膜、彩膜等常规研究对象外,理论上 TFT 光学水平也会对白点色度坐标产生影响,但是现有文献极少涉及。TFT 光学透过率主要是受开口区的膜层结构影响,如栅极绝缘层、钝化绝缘层、透明导电膜(ITO)等等,本文重点研究了 SiN_x 的绝缘膜层(包含 GI, PVX1 和 PVX2)对 WCU 的影响,依据 1931 CIE-XYZ 表色系和 1976 CIE 均等色度表色系^[4-7],将 TFT 基板开口区透过率数据拟合得到白点色度坐标,通过测量 TFT 阵列基板内大量均匀分布点位 SiN_x 膜厚(SiN_x THK),建立其余 u' 、 v' 和 $\Delta u'v'$ 的匹配关系,分析总结各层 SiN_x 对 TFT WCU 的影响并制定相应的改善措施以期优化 TFT WCU 的整体水平。

2 实验设计

本次实验样品制备基于合肥鑫晟光电 G8.5 TFT-LCD 生产线进行某款 HADS 有机膜笔记本(NB)产品,其 TFT 像素区膜层结构示意图如图 1 所示。为匹配各层 SiN_x THK 和 TFT WCU 的关系,二者需采用相同的坐标点位分别进行测试,测试点位图见图 2,即单个面板分别测试 12 点的 SiN_x 膜厚和 TFT WCU,整个 TFT 基板 80 片面板共计 960 个测试点,为进一步提升 WCU

测试的准确性,面板内四周的点位均选择在近乎于 AA 区的最边缘。

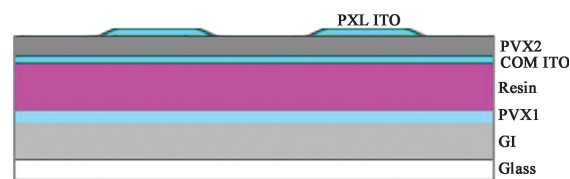


图 1 TFT 像素区膜层结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of TFT film structure in pixel area

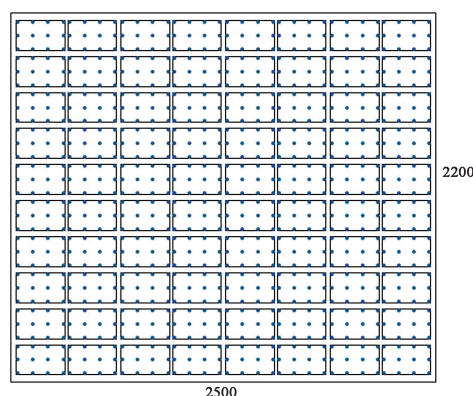


图 2 测试点位分布图

Fig.2 Distribution map of test points

2.1 TFT WCU 的测量及其计算

完成全部 TFT 工艺的基板使用 Otsuka LCF-8000 型 MCPD 设备测试像素区各点位的全波段透过率光谱,测试点位均聚焦于像素 ITO 条状电极正上方。为排除对盒工艺、彩膜 RGB、偏光片以及背光色块波动等对白点色度的影响,将最理想状态下背光色块光通量、CF RGB 光谱带入模拟,根据公式(1)(2)计算出 LCD 面板白点色度坐标 u' 、 v' 值;单个 TFT 面板内测试若干个点位的白点色度坐标,根据公式(3)计算任意两点之间的白点坐标色度偏差 $\Delta u'v'(i, j)$,以差异最大两点的 $\Delta u'v'(i, j)$ 表征 TFT 的 WCU,即 $\Delta u'v' = \text{Max}\{\Delta u'v'(i, j)\}$ 。

$$u' = 4X / (X + 15Y + 3Z), \quad (1)$$

$$v' = 9Y / (X + 15Y + 3Z), \quad (2)$$

$$\Delta u'v'(1, 2) = \sqrt{(u_1' - u_2')^2 + (v_1' - v_2')^2}. \quad (3)$$

2.2 SiN_x 各层膜厚的测量

采用 K-Mac 膜厚测量设备分别测试栅极绝缘层(GI),第一绝缘层(PVX1)和第二绝缘层

(PVX2)层的 960 点膜厚;GI 膜厚在源漏(SD)层工艺完成后测试像素区的剩余厚度即可,测试结果为 GI 层剩余厚度(GI remain THK),而考虑后续膜层堆叠对膜厚测试的影响,PVX1 和 PVX2 的膜厚测试样品为白玻璃上 PECVD 沉积的单膜,测试结果分别简称为 PVX1 THK 和 PVX2 THK。为保证测试的准确性,膜厚测试的样品成膜条件、所用的设备和腔室均与 2.1 章节所述的基板逐层保持一致。

3 实验结果及讨论

3.1 SiN_x 膜厚对 u' 的影响

图 3 为 u' 与各层 SiN_x THK 的散点分布图,从大体趋势上看, u' 与 PVX1 THK 无明显的分布关联性,与 PVX2 THK 和 GI 剩余厚度有一定的线性关系,而在图 3(a)中还看到, u' 随着 GI 剩余厚度的增加分布变的愈加发散,尤其是在 >350 nm 的区间。由此可见,GI,PVX1 和 PVX2 虽然同为 SiN_x 材质,但 THK- u' 的趋势上看,三者还是存在很大的区别的。

为确保 TFT 特性的需求,各层 SiN_x 沉积的条件和需要的规格存在很大的差异^[8],表 1 列举了 GI,PVX1 和 PVX2 成膜参数和物理参数(ϵ 介电常数, n 折射率, T 透过率)的对比,其中 GI 由高速沉积的和低速沉积两部分膜层组成(以下分别简称为 GH 和 GL)。结合数据可看到 PVX1 的膜厚最薄、 n 值最大,但其趋势性最不明显,区间内各 THK 下 u' 分布的上限和下限差异不大;而 n 值较小的 GI 和 PVX2 两层对应的 SiN_x THK 和 u' 可见一定的线性关系,其中 PVX2 THK 趋势性最为明显,而 GI 剩余厚度的趋势性弱于 PVX2 THK 的主要原因推测是 GH 和 GL 存在一定的光学差异:在 TFT SD 层制作过程中,通常 GI 剩余厚度集中在 320~370 nm 区间,而沉积的 GH 厚度为 350 nm,即当 GI 剩余厚度大于 350 nm 时,此时的 GI 剩余厚度很可能是 GH 和 GL 的复合膜。由于 GH 和 GL 的光学特性本身就存在差异,因此二者在不同厚度组合的下整体光学差异更为明显和不可控^[9-10],这也能解释为何 GI 剩余厚度越大, u' 分布越发散,并且在 350 nm 后愈发明显。

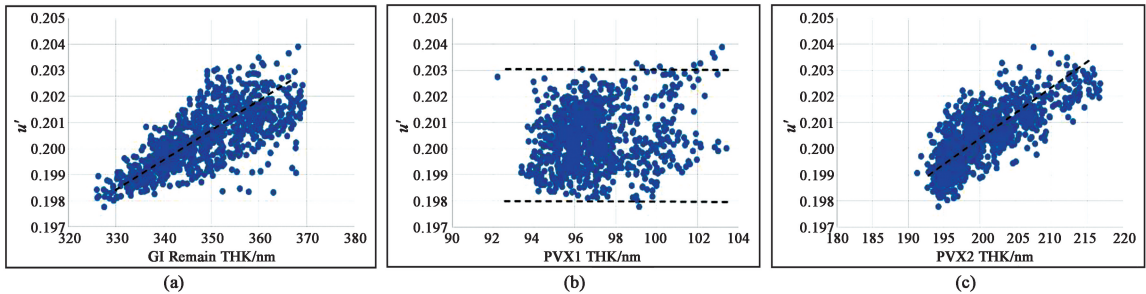


图 3 u' 与各层 SiN_x THK 的散点图。(a) GI 剩余厚度;(b)PVX1 THK;(c)PVX2 THK。
Fig.3 Scatter diagram of u' and SiN_x THK of each layer. (a) GI remain THK; (b) PVX1 THK; (c) PVX2 THK.

表 1 不同 SiN_x 成膜参数和物理参数的对比

Tab.1 Comparison of each SiN_x layer with deposition parameter and physical parameter

Film	Depo. Temp/℃	Depo.THK/nm	ϵ	$n@550\text{ nm}$	Trans,@550 nm/%
GI(GH)	340/360	350	6.4	1.882	89.2
GI(GL)	340/360	50	6.7	1.887	89.2
PVX1	280/290	100	6.1	1.932	83.5
PVX2	230/240	200	6.1	1.880	83.3

3.2 SiN_x 膜厚对 v' 的影响

图 4 为 v' 与各层 SiN_x THK 的散点分布图,从图中的分布趋势看, v' 与各层 SiN_x THK 未见有较强相关性,各个 SiN_x THK 下, v' 分

布的上下限都没有太大的变化,因此我们认为 v' 与 SiN_x THK 没有太大的关联性,针对膜层对 TFT WCU 影响可能更多的是集中在 u' 参数上。

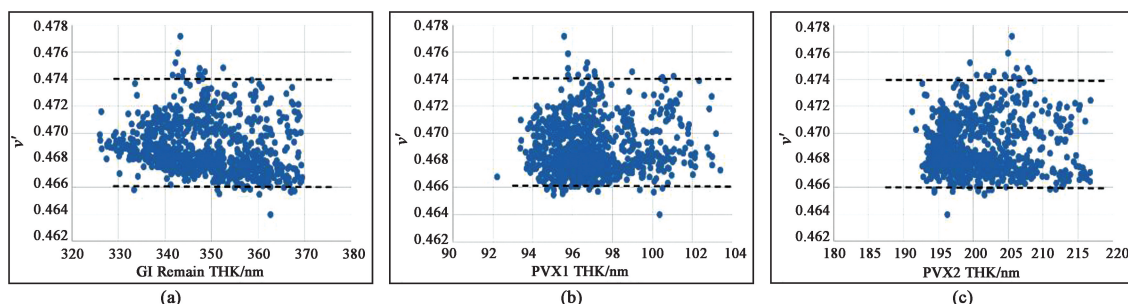


图 4 v' 与各层 SiN_x THK 的散点图。(a) GI 剩余 THK; (b) PVX1 THK; (c) PVX2 THK。

Fig.4 Scatter diagram of v' and SiN_x THK of each layer. (a) GI remain THK; (b) PVX1 THK; (c) PVX2 THK.

3.3 面内 SiN_x 膜厚差异对 $\Delta u'v'$ 的影响

单个面板内 12 个点位的 $\text{THK}_{[\max]}$ 与 $\text{THK}_{[\min]}$ 的差值为各层的 ΔTHK ,从中可以得到 $\Delta u'v'$ (即 TFT WCU) 与各层 $\text{SiN}_x \Delta\text{THK}$ 的散点分布图,如图 5 可以看出, PVX2 ΔTHK 与 $\Delta u'v'$ 的线性趋势最为明显,其对 TFT WCU 的影响表现的最为直接,即面内 PVX2 ΔTHK 越小,相应的 TFT WCU 的结果越佳。从 u' 和 v' 与 SiN_x THK 的趋势看,GI 剩余厚度和 PVX2 THK 二者都是相似的,但从 ΔTHK 与 $\Delta u'v'$ 的关系看,二者差异较大,推测还是由于 GI 剩余厚度大于 350 nm 时可能

存在 GL 层造成的,即考虑到基板内均一性的工艺波动,对应 350 nm 左右的 GI 剩余厚度下,既有可能是 GH 的单膜,也有可能是各组厚度组合的 GH 和 GL 复合膜,光学特性差异大,最终造成 $\Delta u'v'$ 的离散和不可控,而 PVX2 一直是单层膜结构,特定厚度下光学特性稳定,整体上看呈现出较好的 $\Delta\text{THK}-\Delta u'v'$ 线性关系。PVX1 同样为单层膜结构,但其整体厚度只有 100 nm,且最大 ΔTHK 不到 6 nm,面内厚度均一性明显优于 GI 和 PVX2,因此 PVX1 THK 层对 WCU 的影响相对最不明显, u' 、 v' 和 $\Delta u'v'$ 均无明显趋势性。

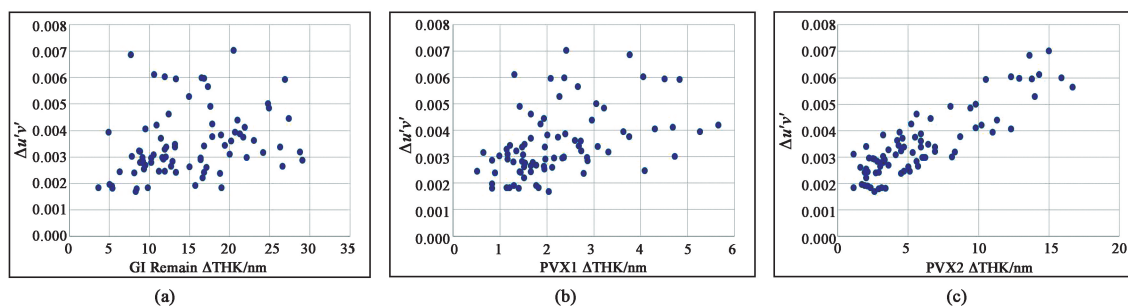


图 5 $\Delta u'v'$ 与各层 $\text{SiN}_x \Delta\text{THK}$ 的散点图。(a) GI 剩余 ΔTHK ; (b) PVX1 ΔTHK (c) PVX2 ΔTHK 。

Fig.5 Scatter diagram of $\Delta u'v'$ and $\text{SiN}_x \Delta\text{THK}$ of each layer. (a) GI remain ΔTHK ; (b) PVX1 ΔTHK ; (c) PVX2 ΔTHK .

3.4 TFT WCU 的改善

综合前文所述,PVX1 THK 与 u' 、 v' 和 $\Delta u'v'$ 关系均不明显;对于 GI 剩余厚度,若其过厚,由于 GH 和 GL 膜层间的差异会导致 u' 和 $\Delta u'v'$ 的

离散。PVX2 THK 与 u' 的线性关系明显,且面板内 PVX2 ΔTHK 越小,相应的 $\Delta u'v'$ 的数值就越低。因此,对于 GI 层改善的方案为增加干法刻蚀的刻蚀量,降低整体 GI 剩余厚度,以避免像

素区 GL 层的存在,即增加有源层刻蚀和 N+ 层刻蚀的干法刻蚀时间使得 GI 层多被刻蚀约 25 nm,最终的 GI 剩余厚度的最大值小于 350 nm,中心值在 325 nm 的水平;对于 PVX2 层,需要尽量减少面板内厚度的差异,相应的改善方案膜厚降低,即在满足设计需求的前提下(如充电率, C_{st} 等),根据 PVX2 成膜速率折算并降低 PECVD 的沉积时间,使得厚度中心值由 200 nm 降低至 150 nm。

图 6 为改善前后基板内 80 片面板的 TFT WCU 分布图,为取得更佳的效果,我们的改善措施综合了前述的两项改善方案,从中可以看出,通

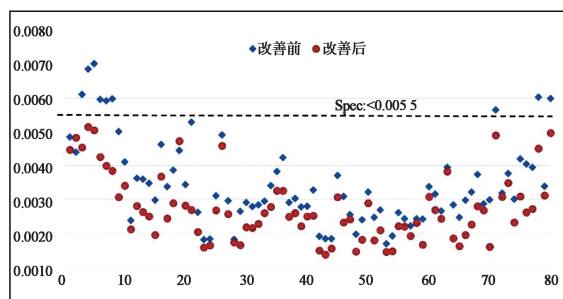


图 6 改善前后 TFT WCU 数值对比

Fig.6 TFT WCU value comparison of before and after improvement

过同时降低 GI 剩余厚度和 PVX2 THK 的中心值分别至 325 nm 和 150 nm, TFT WCU 整体均值可降低约 0.000 7,基板内各面板的分布更加均匀,最大值由改善前的 0.007 0 降至改善后的 0.005 2,从而满足了最大值 $\leq 0.005 5$ 的管控规格,改善效果明显。

4 结 论

通过分别测试相同点位下 SiN_x THK 与 TFT WCU 的数值,分析了 u' , v' 和 $\Delta u'v'$ 分别与 GI 剩余厚度, PVX1 THK 和 PVX2 THK 的匹配关系,明确了 TFT WCU 与各层 SiN_x THK 的关联性为 $\text{PVX2 THK} > \text{GI 剩余厚度} > \text{PVX1 THK}$ 。对于 TFT WCU 的优化方案,一方面可根据 3.3 章节中的 PVX2 ΔTHK 与 $\Delta u'v'$ 线性关系,降低 PVX2 整体膜厚, $\Delta u'v'$ 也相应降低;另一方面可根据 3.1 章节中的 GI 剩余厚度与 u' 散点图,增加 SD HT 工艺的过刻量,避免 GL 层的残留造成的 GI 膜层光学特性的波动。通过组合上述两个改善方案,使得基板内 80 面板的最大值降到了 $\leq 0.005 5$ 的规格范围内,成功优化了 TFT WCU 的整体水平,进一步提升了产品品质。

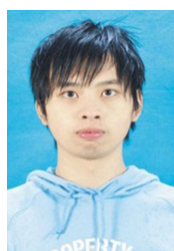
参 考 文 献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 24-25.
MA Q G. *The Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2011: 24-25. (In Chinese)
- [2] 吴文明, 叶关荣, 赵田冬. CCD 摄像相对光谱灵敏度的自动测试 [J]. 光学仪器, 1996, 18(2): 13-16.
WU W M, YE G R, ZHAO T D. The auto measurement for CCD video camera's relative spectrum sensibility [J]. *Optical Instruments*, 1996, 18(2): 13-16. (In Chinese)
- [3] 王明刚, 李志能. 一种显示屏色度均匀性快速精确测试方法 [J]. 光学工程, 2004, 31(10): 36-38.
WANG M G, LI Z N. A fast and precision test method for chrominance uniformity of display screen [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 31(10): 36-38. (in Chinese)
- [4] AREND L E. How much does illuminant color affect unattributed colors? [J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 1993, 10(10): 2134-2147.
- [5] ASANO T, KONDO T. White uniformity evaluation of electronic displays based on S-CIELAB color system [C]. Proceedings of the 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on Mechatronics (MECATRONICS)/13th Intl Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM). Paris, France: IEEE, 2012: 205-210.
- [6] 郑臻荣, 顾培夫. 液晶投影显示的色纯度和色均匀性 [J]. 光电工程, 2002, 29(5): 30-32.
ZHENG Z K, GU P F. Color purity and color uniformity of liquid crystal projection display [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2002, 29(5): 30-32. (in Chinese)
- [7] 李熹霖. LED 全彩色显示屏的白平衡和色均匀问题 [J]. 现代显示, 2004(2): 15-18.
LI X L. White balance and color uniform of full color LED display screen [J]. *Advanced Display*, 2004(2): 15-18.

(in Chinese)

- [8] 谢振宇,龙春平,邓朝勇.高速沉积氮化硅薄膜对其化学键及性能的影响[J].液晶与显示,2007(1):26-31.
XIE Z Y, LONG C P, DENG C Y. *et al.* Effect of high deposition rate on chemical bonds and properties of SiN film [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007(1): 26-31. (in Chinese)
- [9] 贺祥清,王平秋,刘琼.薄膜非均匀性及其对增透膜性能的影响[J].光学技术,2007:32-34.
HE X Q, WANG P Q, LIU Q, *et al.* Inhomogeneity of thin films and its influence on the spectral characteristics of antireflection coatings [J]. *Optical technique*, 2007, 33(S1): 32-34. (in Chinese)
- [10] 沈自才,宋永香,王英剑,等.非均匀性对增透膜增透特性的影响[J].光学技术,2005,31(1):107-113.
SHEN Z C, SONG Y X, WANG Y J, *et al.* Influence of inhomogeneities on the spectral characteristics of AR coatings [J]. *Optical Technique*, 2005, 31(1): 107-109, 113. (in Chinese)

作者简介:



操彬彬(1987—),男,安徽安庆人,硕士,2011 年于北京化工大学获得硕士学位,主要从事液晶显示器 TFT 工艺相关的技术研发工作。E-mail:caobinbin@boe.com.cn