

文章编号:1007-2780(2015)05-0784-06

薄膜晶体管液晶显示器阵列工艺最终关键尺寸测试方法研究

刘 耀*, 陈 曦, 张小祥, 刘晓伟, 李梁梁, 丁向前, 郭总杰, 袁剑峰
(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:最终关键尺寸是评价薄膜晶体管液晶显示器产品性能的一项重要参数。本文研究了在光源照度变化的条件下得到准确的最终关键尺寸的方法。通过大量的实验测试、数据分析,并配合扫描电子显微镜(SEM)图片,确定最终关键尺寸合适的测试条件和方法。基于上述分析,选取测量值稳定的光照强度区间中心点的光照强度作为标准样品参照值,选取此时样品测试图片作为标准图片。测试结果与 SEM 结果进行对比,得到不同膜层测量值和真实值之间的补偿值。并通过不同尺寸产品的数据收集和分析来验证补偿值的可靠性。通过上述方法,可以极大地缩短最终关键尺寸测量的校正周期,并为今后新产品开发提供可靠的测试标准。

关 键 词:最终关键尺寸;测试方法;扫描电子显微镜;补偿值

中图分类号: TN307 **文献标识码:** A **doi:**10.3788/JYXS20153005.0784

Final critical dimension measuring method about TFT-LCD array process

LIU Yao, CHEN Xi, ZHANG Xiao-xiang, LIU Xiao-wei, LI Liang-liang,
DING Xiang-qian, GUO Zong-jie, YUAN Jian-feng

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

Abstract: Final inspection critical dimension (FICD) is an important parameter to evaluate the performance of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) products. The method to obtain an accurate FICD data was studied in this paper. By a large number of experimental data and the scanning electron microscope (SEM) images, test conditions and methods were determined. Based on the above analysis, the center of illumination intensity which could provide stable measuring results was selected as the reference value, and the image was collected as golden sample simultaneously. By contrasting the above results and SEM results, the compensation value of the different layers between measured value and true value were obtained. Also the reliability was proved by data analysis of different sizes of products. As a result, calibration period of FICD measurement could be reduced greatly, and reliable test standard was provided for future products.

Key words: final inspection critical dimension; measurement method; scanning electron microscope; compensation

收稿日期:2015-01-20; 修订日期:2015-02-06.

* 通信联系人, E-mail: liuyao_dt@boe.com.cn

1 引言

薄膜晶体管液晶显示器近十年来发展迅猛,形成了近千亿美元的巨大产业规模,应用领域覆盖广,技术发展更趋成熟,全球产业配套完成,在平板显示中占据了主导和主流地位。薄膜晶体管液晶显示器作为当今社会显示领域的主要技术,已经被非常广泛的应用在了交通、通讯、计算机、家电、工业、教育、医疗等领域^[1-3]。随着显示技术的发展和市场的需求,高分辨率(单位面积像素个数)显示器越来越受人们的青睐。实现高分辨率,就需要更细的线宽和更窄的间距^[4-5]。线宽越细,对线宽测量值的准确性要求越高。线宽(即最终关键尺寸)作为影响产品性能的一项重要参数,准确的线宽测量值才能反映产品的真实情况。实际生产过程中,一般都采用光学设备对线宽进行测试。金属层的反光效果明显,对光照强度的变化很敏感。同时,透明膜层测量边界的获取也受光照强度的影响。本轮文主要研究了如何在光照强度变化的情况下,在不增加其他校正手段的情况下,保证最终关键尺寸测量的准确性。

2 测试误差原理分析^[6-9]

如图 1 所示,金属层和非金属层在完成刻蚀工艺之后,边界都是有坡度存在的形貌。关键尺寸测试设备在工作过程中,使用衍生边检测器,利用衍生阈值和迟滞阈值的不同来区分边界。 E_{Mag} 作为边界强度。如果 E_{Mag} 小于衍生阈值,则该像素被看作是弱的边界分隔点;如果 E_{Mag} 在衍生阈值和衍生阈值与迟滞阈值总和之间,则该边界像素被看作是候选边界分隔点;如果 E_{Mag} 比衍生阈值和迟滞阈值的总和大,则该点就是强的边界分隔点,适合用来进行边界分析。在使用过程中,一般选择边界强度最大的点作为边界分隔点进行数据分析。这样测量值会小于样品的实际值,原理如图 2 所示。关键尺寸测试设备在使用透射光工作时,由于测试光源是从下往上透过产品再传至镜头,这样镜头所接收的影像是阴影的部分,造成测量值会比实际值偏大的影响。但是使用落射光时,镜

头所接收到的影响的焦点是同一焦点,不管自动对焦的误差如何,落射光所量测出来的关键尺寸线宽都是相当稳定的,原理如图 3 所示。

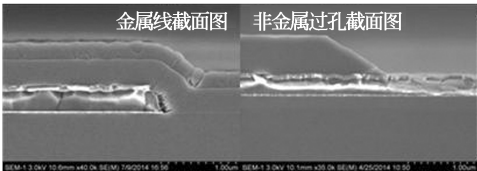


图 1 测试样品边界截面图

Fig. 1 Boundary section of test samples

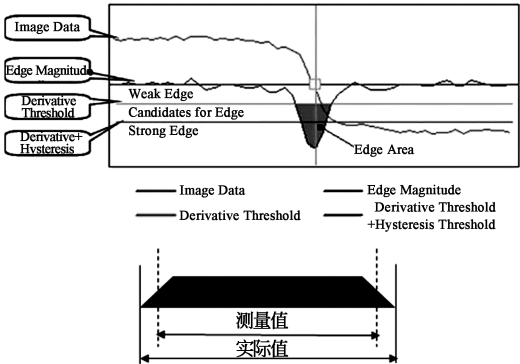


图 2 落射光测试原理示意图^[1]

Fig. 2 Measuring principle diagram of reflected light

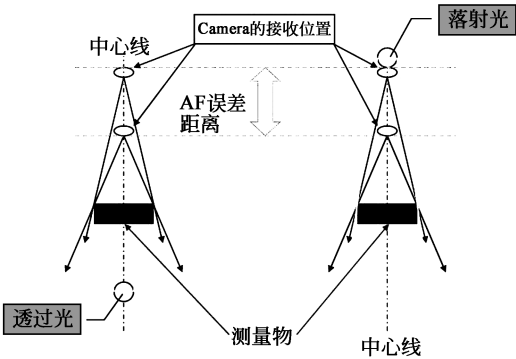


图 3 光学成像原理图

Fig. 3 Schematic diagram of optical imaging

3 实验方法

制备不同膜层的测试样品时,测试设备和测试镜头之间的数据收集必须要保证同一样品中相同的测试点位。分别收集 5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% 亮度条

件下样品的最终关键尺寸。可以根据测试膜层条件的不同,适当地增加测试光照强度。对比不同设备、不同镜头之间的测试结果,选取灯头当前条件下样品测量值稳定的光照强度区间,然后对其进行再次确认,获取标准测试图片。将测试过的样品制作成 SEM 测试样品(针对关键尺寸测量过的点位),SEM 样品数量不少于 20 个。设备测试所得到的数据取平均值和 SEM 测试所得到的数据取平均值进行对比,得到补偿值。选取至少 3 款其他尺寸样品,以标准测试图片的光照强度为基准进行关键尺寸测试和 SEM 校正,获取补偿值,验证补偿值的准确性和可靠性。栅极金属线采用透射光模式进行测量,其余各层采用落射光模式进行测量。

4 数据分析

图 4 是同一样品、同一镜头,不同测试模式下的关键尺寸测量结果。从图中我们可以看出,透射光模式下,测量结果受光照强度影响很小,尽可能选取透射光模式进行最终关键尺寸的测量。但是氧化铜锡层是半透明膜质;4Mask 条件下,数据线号线受有源层拖尾影响;钝化层过孔做在数据线号层金属上。因此氧化铜锡层、数据信号线和钝化层过孔都不能用透射光模式。而栅极金属线直接做在玻璃基板上,不受其他层影响,可以采用透射光模式进行测量。透射光的测试结果会大于落射光的测试结果,原因可见测试误差原理分析。

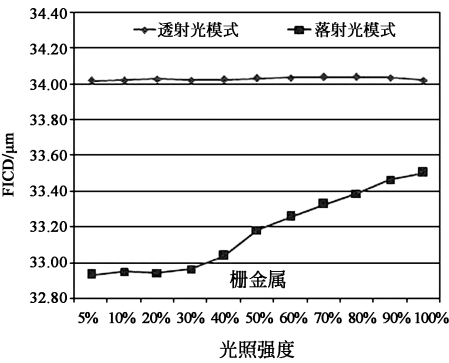


图 4 不同测量模式栅极金属层的关键尺寸测试结果

Fig. 4 Critical dimension results of metal layer under different measurement model

图 5 是 46 in 样品不同光照强度下关键尺寸测试结果。其中 01/02/03 代表不同设备编号, H1/H2 代表同一台设备不同测试探头。每一个光照强度下的数值都是 48 个测试点位测量数值的平均值。落射光模式下,关键尺寸测量结果会随着测试光照强度的变化发生改变。由于金属对光线的反射效果,数据信号线和钝化层过孔在光照强度达到一定的程度后,关键尺寸测试设备就无法进行正常测量。透射光模式下,关键尺寸测试结果受光照强度的变化影响不大。不同测试镜头之间的差异主要是由灯头光源强度不同引起的。基于测量结果稳定性和测试误差($\leq 0.1 \mu\text{m}$)的考虑,光照强度区间选择在表 1 中给出。

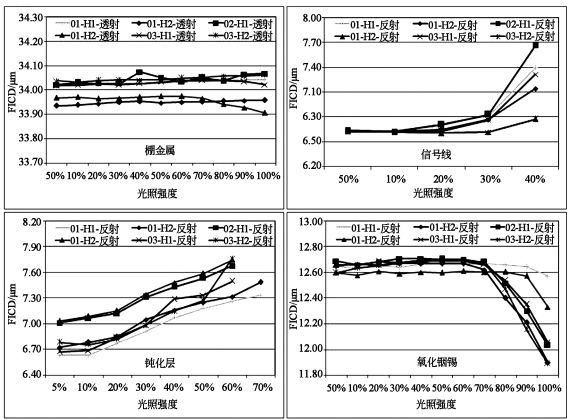


图 5 不同光照条件下各膜层下关键尺寸测试结果
Fig. 5 Critical dimension results of total layers under different lighting conditions

表 1 测试结果稳定的光照范围	
Tab. 1 Lighting range of stable measuring tests	
膜层	氧化铜锡 栅极金属 信号线 钝化层
光照区间	30%~50%30%~50%10%~20%10%~20%
测量模式	落射光 透射光 落射光 落射光

图 6 是 46 in 样品测试结果稳定的光照区间初始测试和再次确认的关键尺寸测试结果。从测试结果可以看出,在选定的测试区间内测试结果比较稳定,误差也在可接受的范围内。此光源条件下,各层光照强度的选择:氧化铜锡层选择 40%,栅极金属线选择 40%,数据信号线选择 15%,钝化层过孔选择 15%。表 2 给出了标准亮度测试图片、测试条件、相应的测试结果及偏差(SEM-线宽)。综合考虑,氧化铜锡层选

取 $-0.1\text{ }\mu\text{m}$,栅极金属线选取 $-0.3\text{ }\mu\text{m}$,数据信号线选取 $0.6\text{ }\mu\text{m}$,钝化层过孔选取 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 作为补偿值。

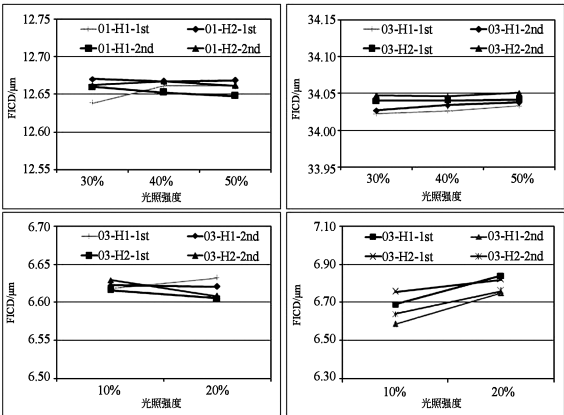


图 6 稳定光照区间下关键尺寸两次测试结果
Fig. 6 Critical dimension double results under stable lighting range

表 2 标准亮度测试图片和测试条件的选择
Tab. 2 Standard luminance test Images and the corresponding test conditions

膜层	光照强度	测试模式	测试结果/ μm			标准图片
			SEM	线宽	偏差	
Gate	40%	透射光	32.71	33.03	-0.32	
Data	40%	落射光	7.31	6.64	0.67	
VIA	15%	落射光	7.23	6.77	0.46	
ITO	15%	落射光	12.60	12.67	-0.07	

表 3 给出了标准亮度条件下,其他尺寸产品的栅极金属层最终关键尺寸测试结果。可接受的误差范围为 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。栅极金属层的最终关键尺寸在选用透射光测试时,补偿值选取 $-0.3\text{ }\mu\text{m}$,金属总膜厚在 $295\sim 465\text{ nm}$ 之间,真实值和测试值之间的偏差都在 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内,满足测试要求。

表 4 给出了标准亮度条件下,其他尺寸产品的数据信号线 最终关键尺寸测试结果。数据信

号线的最终关键尺寸在选用落射光测试时,补偿值选取 $0.6\text{ }\mu\text{m}$,金属总膜厚在 $320\sim 415\text{ nm}$ 之间,真实值和测试值之间的偏差都在 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内,满足测试要求。根据数据结果分析,可以得出一定的膜层厚度,坡度角对最终测量结果的影响不大。

表 3 标准亮度各尺寸产品栅极金属层 FICD 测试结果
Tab. 3 Gate FICD results of all sizes products under standard luminance

膜厚/nm	产品尺寸	测试结果/ μm		
		SEM	线宽	偏差
15/200/80	18.5	14.31	14.57	-0.26
15/300/80	21.5	11.50	11.83	-0.33
15/300/80	27	28.31	28.67	-0.36
15/330/100	48	44.07	44.46	-0.39
15/350/100	55	30.91	31.28	-0.37

表 4 标准亮度各尺寸产品数据信号线最终关键尺寸测试结果
Tab. 4 Data FICD results of all sizes products under standard luminance

膜厚/nm	产品尺寸	测试结果/ μm		
		SEM	线宽	偏差
15/225/80	11.6	3.07	2.50	0.56
15/250/80	18.5	4.49	3.92	0.57
15/300/80	27	4.62	3.93	0.69
15/300/100	48	7.65	7.10	0.55
15/300/100	55	5.90	5.36	0.54

表 5 给出了标准亮度条件下,其他尺寸产品的钝化层过孔 最终关键尺寸测试结果。钝化层过孔的最终关键尺寸在选用落射光测试时,补偿值选取 $0.4\text{ }\mu\text{m}$,钝化层膜厚在 $250\sim 400\text{ nm}$ 之间,真实值和测试值之间的偏差都在 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内,满足测试要求。

表 6 给出了标准亮度条件下,其他尺寸产品的氧化钢锡层最终关键尺寸测试结果。氧化钢锡层的最终关键尺寸在选用落射光测试时,补偿值选取 $-0.1\text{ }\mu\text{m}$,真实值和测试值之间的偏差都在 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内,满足测试要求。

表 5 标准亮度各尺寸产品钝化层过孔最终关键尺寸测试结果

Tab. 5 Via hole FICD results of all sizes products under standard luminance

膜厚/nm	产品尺寸	测试结果/ μm		
		SEM	线宽	偏差
250	11.6	6.88	6.54	0.35
250	18.5	7.76	7.29	0.47
400	27	8.09	7.73	0.36
400	48	11.81	11.34	0.47

表 6 标准亮度各尺寸产品氧化铟锡层最终关键尺寸测试结果

Tab. 6 ITO FICD results of all sizes products under standard luminance

膜厚/nm	产品尺寸	测试结果/ μm		
		SEM	线宽	偏差
40	28	12.60	12.67	-0.07
	32	7.76	10.56	-0.10

表 7 给出了标准亮度条件下,5Mask 产品的有源层最终关键尺寸测试结果。有源层层的关键尺寸在选用落射光测试时,补偿值选取 $0.6\mu\text{m}$,真实值和测试值之间的偏差都在 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 以内,满足测试要求。

参 考 文 献:

[1] 杨晓萍. 京东方 TFT-LGD 竞争策略研究[D]. 北京:对外经济贸易大学,2012.
Yang X P. *Competition strategy research on the TFT-LCD industry of BOE* [D]. Beijing: University of International Business and Economics, 2012. (in Chinese)

[2] 吴凌剑. TFT-LCD 面板行业竞争策略研究—以 A 公司为例[D]. 苏州:苏州大学,2013.
Wu L J. *The developing strategy for TFT-LCD manufacturer—a case study for A company* [D]. Suzhou: Soochow University, 2013. (in Chinese)

[3] 李联益. TFT-LCD 液晶显示技术与应用[J]. 韶关学院学报,2012, 33(4):46-49.
Li L Y. TFT-LCD liquid crystal display technology and application [J]. *Journal of Shaoguan University*, 2014, 33 (4): 46-49. (in Chinese)

[4] 黎午升,惠官宝,崔承镇,等. 在镜像投影曝光机上使用相移掩膜提高解像力的初步研究[J]. 液晶与显示,2014, 29 (4):544-547.
Li W S, Hui G B, Cui C Z, *et al.* Preliminary study on improving resolution on mirror projection mask aligner with phase shift mask [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29 (4): 544-547. (in Chinese)

[5] Chun J, Kang Ch, Ahn S, *et al.* a-Si TFT-LCD mobile display with high pixel density using pentile RGBW™ algo-

表 7 标准亮度各尺寸产品有源层最终关键尺寸测试结果

Tab. 7 Active FICD results of all sizes products under standard luminance

膜厚/nm	产品尺寸	位置	测试结果/ μm			标准图片
			SEM	线宽	偏差	
170	8	短边	15.07	14.39	0.68	
		长边	17.61	16.95	0.66	
	9.6	短边	19.04	18.35	0.68	
		长边	24.13	23.47	0.65	
11.6	11.6	短边	15.43	14.90	0.53	
		长边	21.58	21.00	0.57	

5 结 论

最终关键尺寸在测量过程中,测量值会随着测试灯头光照强度的变化发生改变。通过数据分析,选择特定的亮度图片作为测试基准,同时选择合适的补偿值(栅极金属线层: $-0.3\mu\text{m}$,数据线号线层: $0.6\mu\text{m}$,钝化层过孔: $0.4\mu\text{m}$,氧化铟锡层: $-0.1\mu\text{m}$,有源层: $0.6\mu\text{m}$),可以保证测试结果接近测试样品的真实值,测试误差缩小在可接受范围内($\leq 0.1\mu\text{m}$)。这样可以为新产品开发提供可靠的测试标准,缩短新产品开发的周期。

- rithm [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, 21(5): 474-477.
- [6] Leea J H, Kim Y S, Kim S R, *et al.* Real-time application of critical dimension measurement of TFT-LCD Pattern using a newly proposed 2D image-processing algorithm [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2010, 46: 558-569.
- [7] Vassilios Co, Vijaya-Kumar M, Evangelos Go. Effects of image noise on contact edge roughnses and critical dimension uniformity measurement in synthesized scanning electron microscope images [J]. *Journal of micro/nanolithography, MEMS, and MOEMS: JM3*, 2013, 12(1): 5-13.
- [8] Vladimir U, Bill B. Review of reference metrology for nanotechnology: significance, challenges, and solutions [J]. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS: JM3*, 2012, 11(1): 10-11.
- [9] Sung-Hoon P, Tai-Wook K, Jeong-Ho L, *et al.* Real-time critical dimension measurement of thin film transistor liquid crystal display patterns using optical coherence tomography [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2014, 23(1): 1-13.

作者简介:刘耀(1985—),男,山东威海人,硕士,高级研究员,主要从事液晶面板研发和工艺改善工作。E-mail:liuyao_dt@boe.com.cn