

文章编号:1007-2780(2016)01-0067-07

湿法刻蚀 FI CD 均一性的影响因素及 提高刻蚀均一性的研究

范学丽*, 靖瑞宽, 翁超, 陈启省, 王晏酪, 肖红玺, 刘还平
(北京京东方光电科技有限公司, 北京 100176)

摘要:随着高分辨率产品导入, TFT-LCD 阵列段各项参数范围越来越小, 工艺要求更为严格, 为了更好地管控湿法刻蚀各项参数, 本文以湿法刻蚀 FI CD(Final Inspection Critical Dimension)均一性的影响因素及如何提高 FI CD 均一性为目的进行研究。首先, 通过对湿法刻蚀设备参数(主要包括刻蚀液温度、流量、压力、浓度、Nozzle Sliding、Oscillation Speed、刻蚀时间等)进行试验, 验证各项参数对 FI CD 均一性的影响。其次, 对沉积工序、曝光工序以及产品设计等进行试验, 获悉影响因素并进行改善。通过对湿法刻蚀设备自身参数的调整, 如减少设备温度、流量、压力波动, 使参数保持相对稳定状态, 可有效改善湿法刻蚀 FI CD 均一性, FI CD 的均一性可从 1.0 降低至 0.5。通过对湿法刻蚀设备参数进行试验并做相应调整, 湿法刻蚀 FI CD 均一性改善效果显著。

关键词: TFT-LCD; 湿法刻蚀; FI CD; 均一性

中图分类号: 文献标识码: A **doi:**10.3788/YJYXS20163101.0067

Improvement of etching uniformity and influence factors of wet etching of FI CD uniformity

FAN Xue-li*, JING Rui-kuan, WENG Chao, CHEN Qi-xing,
WANG Yan-ming, XIAO Hong-xi, LIU Huan-ping

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

Abstract: With the gradual introduction of high resolution products, the process parameter margin of TFT-LCD array is getting stricter. In order to control the wet etching parameters better, the influence factors of wet etching FI CD uniformity and how to improve the uniformity of wet etching are studied. Firstly, we study and testify the influence of parameters of wet etching equipment on uniformity, including the etching temperature, flowrate, pressure, concentration, Nozzle Sliding, Oscillation Speed, etching time, etc. Secondly, we study how the deposition process, exposure procedure and product design may affect the uniformity and try to improve them. Research result shows that a stable parameter can significantly help the etch uniformity. By stabilizing the parameters of temperature, flowrate and pressure, the uniformity of FICD has decrease from 1.0 to 0.5. Testing and adjusting the parameters of wet etching equipment accordingly can effectively improve the etching

收稿日期:2015-06-05; 修订日期:2015-07-22.

* 通信联系人, E-mail: fanxueli820409@163.com

uniformity and improve the effect significantly.

Key words: TFT-LCD; wet etching; FI CD; uniformity

1 引言

在 TFT-LCD 阵列制作工艺中,湿法刻蚀工艺因所使用的刻蚀液价格低廉,各向同性等优点被广泛应用。目前,在 TFT-LCD 行业中,湿法刻蚀主要使用的刻蚀液有 AL 刻蚀液和 ITO 刻蚀液。刻蚀液的作用是将适当浓度的刻蚀液与未被 PR 胶保护的金属膜层发生相关的化学反应,去除未被 PR 胶保护的金属膜层,之后利用 Strip 工艺去除金属膜层上面的 PR 胶来得到最终所需要的金属 Pattern。而想要玻璃基板上形成稳定的金属 Pattern,一个重要的因素在于保障湿法刻蚀的均一性^[1],特别是随着高分辨率产品逐渐导入,TFT-LCD 阵列段各项参数 Margin 越来越小^[2],工艺要求更为严格,为了更好的管控湿法刻蚀各项参数,研究湿法刻蚀均一性的影响因素及找到相应的改善措施极为重要。刻蚀均一性通过金属 Pattern 的 FICD 的均一性(即 3Sigma)进行反馈。在阵列工艺中,FICD 是指刻蚀后最终形成的金属 Pattern 线宽宽度^[3],利用 FICD 的均一性实现监控湿法刻蚀均一性。本文通过进行湿法刻蚀设备参数调整的实验,获悉与 FICD 均一性相关的设备因素,并研究刻蚀液浓度变化、前工序变化对湿法刻蚀均一性的影响。提出在设备参数优化及产品设计方面提高 FICD 的均一性。

2 影响湿法刻蚀均一性的因素

2.1 设备参数波动的影响

2.1.1 温度、流量、压力对 FICD 均一性的影响

(a)温度影响:以 AL 刻蚀液为例,AL 刻蚀液成份为 HNO_3 、 CH_3COOH 、 H_3PO_4 及添加剂的混合酸,有较强的挥发性。刻蚀液长时间使用后,刻蚀液挥发量及玻璃基板表面携带量较多,致使 Tank 中刻蚀液越来越少,设备会自动进行 Small Supply(小量补给),Small Supply 刻蚀液温度是常温,低于 Tank 中温度,补给后导致设备温度发生波动,设备温度波动会影响 FI

CD 均一性^[4]。各个区间温度变化与 FI CD 均一性如图 1 所示。

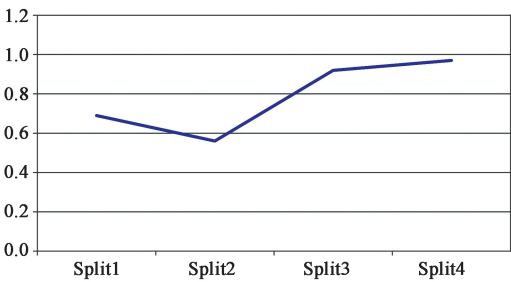


图 1 FI CD 均一性随刻蚀液温度变化趋势
Fig. 1 FI CD uniformity change with liquid temperature trend

(b)流量、压力的影响:设备所喷淋药液全部经过过滤器过滤掉杂质颗粒,而后进行刻蚀,所以过滤器的寿命是一定的,需要定时更换。设备所喷淋药液的流量、压力随着过滤器的寿命会逐渐降低。进行流量、压力测试时,在保障 Nozzle 喷淋状态为圆锥状时(圆锥状态下不产生 Mura),调大刻蚀区间流量、压力,FI CD 均一性有明显改善。为保障 FI CD 均一性,需要保持刻蚀区流量、压力稳定,减少波动,如图 2 所示。

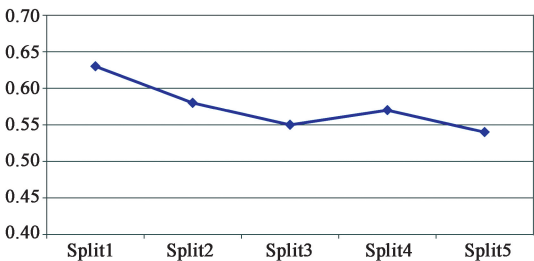


图 2 FI CD 均一性随压力、流量变化趋势
Fig. 2 FI CD uniform change with the pressure, flowrate changes trend

2.1.2 Nozzle Sliding、Oscillation Speed 对 FICD 均一性的影响

TFT-LCD 阵列工艺湿法刻蚀中,为满足金属图案 FI CD 需求,玻璃基板在每个刻蚀区间需要停留一定时间进行刻蚀才能得到相应的金属图案 FI CD。为了加快刻蚀速率及药液与金属反应速度,玻璃基板在每个刻蚀区间并不是静

止停留,而是通过传送齿轮前后摇摆的速度 (Oscillation Speed)影响刻蚀速率。同时,每个刻蚀区间喷淋药液的喷嘴并非固定不动,而是通过左右摇摆速度 (Nozzle Sliding)影响刻蚀速率。在 Nozzle Sliding 和 Oscillation 共同作用下影响刻蚀速率,即对金属 Pattern FI CD 均一性有一定影响,

如图 3 所示。通过提高左右摇摆速度及玻璃基板在刻蚀区间前后摇摆速度,玻璃基板刻蚀速率增快,同时 FICD 均一性会有所改善。当设置 Nozzle Sliding Speed 15 cycle/min 与 Oscillation Speed 25 mm/min 以上时,FI CD 均一性趋于稳定。考虑到硬件 Nozzle Sliding Motor 及 Oscillation Support 的磨损情况,将 Nozzle Sliding Speed 设置为 13 cycle/min,Oscillation Speed 设置为 25 mm/min,既能延缓硬件的磨损又能改善 FI CD 均一性。

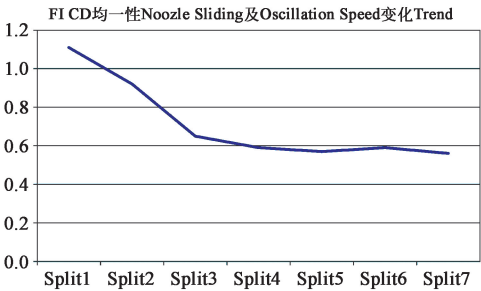


图 3 FI CD 均一性随 Nozzle Sliding、Oscillation Speed 变化趋势

Fig. 3 FI CD uniform change with Nozzle Sliding, Oscillation Speed changes trend

2.1.3 水区间 Pre Wet 对 FICD 均一性的影响

玻璃基板在药液区间反应完成后进入水区间进行冲洗,主要是通过水将玻璃基板表面的刻蚀液及反应物等冲洗掉,第一个水区间的水刀 (Pre Wet)最先接触有刻蚀液的玻璃基板,在玻璃基板表面酸水接触瞬间会加快刻蚀速率,所以 Pre Wet 喷淋状态至关重要 (Pre Wet 流量、压力、刀口缝隙、角度、有无分叉等)。若水区间 Pre Wet 状态存在问题 (流量、压力较小、刀口缝隙小、存在分叉等),Gate/SD Line 在水区间受 Pre Wet 影响下容易产生宏观 Mura^[5]/Top Mo Shrink/Gate/SD Line Small 等不良。通过水区间

Pre Wet 的调整能够有效减少 Top Mo Shrink/Gate/SD Line Small 的发生,不良如图 4 所示。Gate Line 粗细不均匀,FICD 均一性较差。

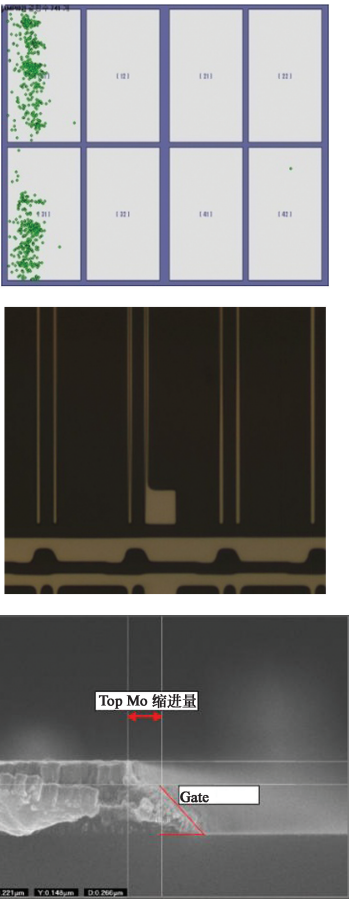


图 4 Gate Line 粗细不均匀图像

Fig. 4 Gate Line image of uneven thickness

例如,通过对 Pre Wet 流量进行测试,FI CD 均一性随 Pre Wet 流量增加改善明显,且当流量控制在一定范围时,FI CD 均一性趋于稳定状态,如图 5 所示。

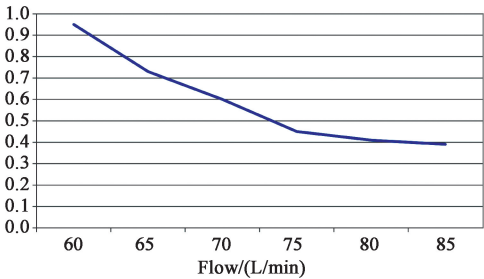


图 5 FI CD 均一性随 Pre Wet 流量变化趋势

Fig. 5 FI CD uniform change with Pre Wet flow changes trend

2.1.4 Etchant 使用时间延长即浓度变化对 FICD 均一性的影响

如 ITO 刻蚀^[6]使用 Etchant 为混合酸(H_2SO_4 、 HNO_3 、 CH_3COOH 、添加剂等),各成份浓度在一定范围内波动,在没有成份添加系统进行成份添加时,Etchant 各成份浓度会随着时间的延长发生相应变化,如图 6 所示。 HNO_3 、 H_2SO_4 浓

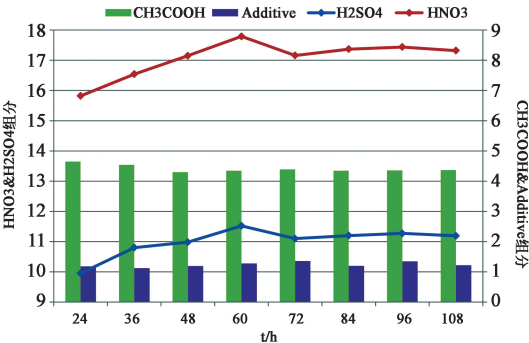


图 6 Etchant 各成分随使用时间变化趋势
Fig. 6 Etchant components change with time trend

度升高, CH_3COOH 浓度降低, 添加剂浓度变化较小。随 Etchant 使用时间延长, 刻蚀速率会在一定时间内保持稳定状态, 当持续一定时间后(60 h), Etchant 如果被继续使用, 刻蚀速率会明显加快, CD BIAS 出现线性变化趋势, 刻蚀速率已经不在稳定状态, 同时 FICD 均一性随之变差。若此时继续使用, 将会影响产品品质, 需要更换新的 Etchant 以确保 CD Bias 及 FI CD 均一性, 如图 7 所示。

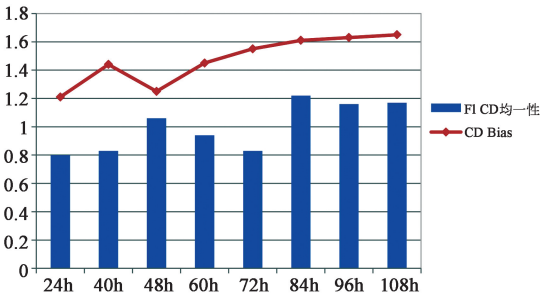


图 7 FI CD 均一性及 CD Bias 随 Etchant 使用时间变化趋势
Fig. 7 Etchant components change with time and CD Bias

注: $\text{CD Bias}(\text{CD Bias} = |\text{DICD} - \text{FICD}|)$, 此实验在保证 DI CD 不变更的情况下进行, FI CD 变化趋势同 CD Bias 变化趋势)。

2.1.5 刻蚀时间对 FI CD 均一性的影响

刻蚀时间即 Glass 基板在每个刻蚀区间的停留时间, 为使刻蚀 Pattern 满足相应的 FI CD 及 CD Bias 要求, 玻璃基板在刻蚀区间停留时间都需要经过严格测试, 停留时间过长会导致 CD Bias 变大, 停留时间过短会引起金属层残留^[7]。经过测试, 在确保无金属层残留前提下, 适当减少刻蚀时间会改善 FI CD 均一性, 同时 CD Bias 会随之减小, 如图 8 所示。

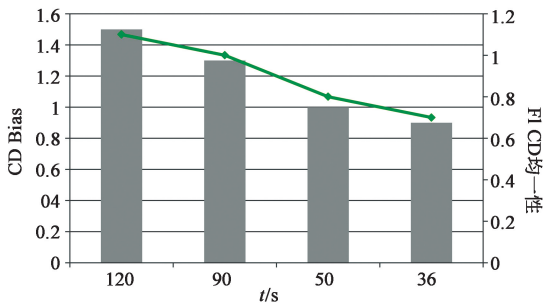


图 8 FI CD 均一性随刻蚀时间变化趋势
Fig. 8 FI CD changes with the uniformity of etching time trend

2.2 Mask 工序对湿法刻蚀 FICD 均一性的影响

湿法刻蚀具有各向同性的特点, 在金属膜层上方保护的 PR 胶的种类、PR 粘附性、PR 厚度、PR Hard Bake(烘烤)时间及温度等对 DI CD、FICD 的均一性都有着较大的影响。且 FI CD 均一性随 DI CD 均一性变化趋势明显, 如图 9 所示。对 PR 种类及 PR Hard Bake 时间进行测试, DJ PR 胶 FI CD 均一性明显优于 AZ PR 胶, 如图 10 所示。同种 PR 胶在 Har Bake 温度相同时, FI CD 均一性随 Hard Bake 时间提升有明显改善, 如图 11 所示。

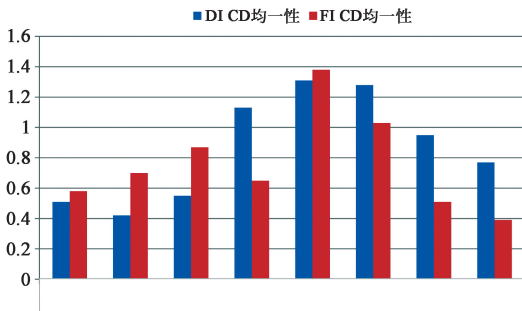


图 9 FI CD 均一性随 DI CD 均一性变化趋势
Fig. 9 Trend of FI CD with DI CD uniformity variation

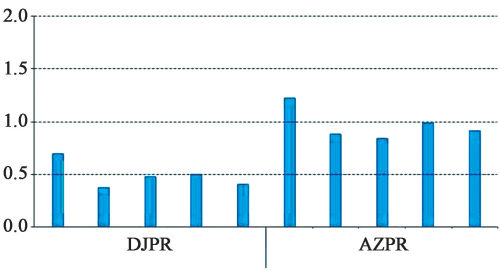


图 10 FI CD 均一性随 PR 胶种类变化趋势
Fig. 10 FI CD uniform change with PR glue type trend

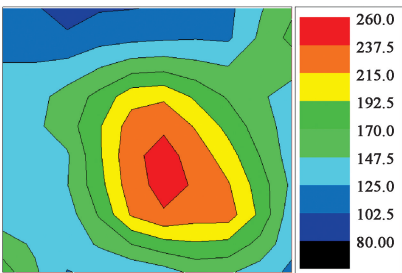


图 13 FICD 变化趋势
Fig. 13 FICD change trend

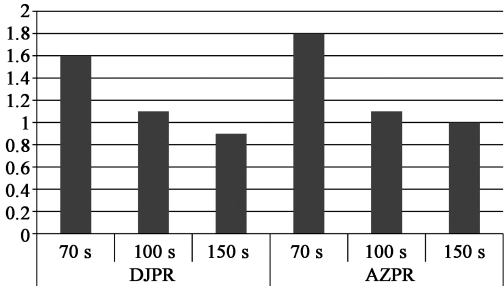


图 11 FI CD 均一性随 Hard Bark 时间变化趋势
Fig. 11 FI CD Hard Bark uniform change with time trend

2.3 金属镀膜工序对湿法刻蚀 FICD 均一性的影响

金属膜层的薄厚均一性影响着钻刻的程度^[8],即影响着 FICD 的均一性,膜层的薄厚均一性可以通过测试膜层的 RS(膜层电阻)进行反馈,所以成膜后 RS 测量变得尤为重要,且需通过 RS 严格控制成膜均一性。

以 ITO 层镀膜和刻蚀进行研究,通过图 12 可知,玻璃基板边缘位置 RS 较小,中间位置 RS 较大,通过此图可知玻璃基板中间位置膜层较边缘位置薄。通过图 13 可知,玻璃基板边缘位置 ITO FI CD 较小(即刻蚀速率较慢),中间位置 FI

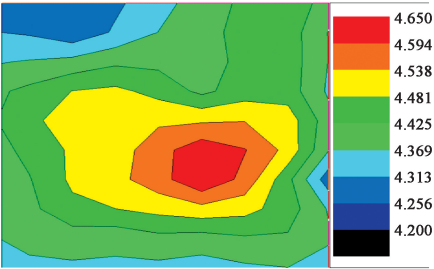


图 12 ITO 层 Rs 变化趋势
Fig. 12 ITO layer Rs trend

ITO FI CD 均一性与 ITO 膜层均一性相匹配,即玻璃基板边缘位置 ITO 膜层较厚,刻蚀速率较慢导致 FI CD 较小,中间位置 ITO 膜层较薄,刻蚀速率较快导致 FI CD 较大。

3 提高刻蚀均一性的方法

3.1 湿法刻蚀设备方向

3.1.1 减少因温度、流量、压力对刻蚀速率的影响

温度的波动常因为少量刻蚀液补给所致,可调整 Level Sensor 高度,减少每次补给的量,从而减少因药液添加引起的温度波动。同时优化温控^[9]系统 PID 参数,减小 P 参数,增大 I 参数,严格精确控制温度波动范围,尽量避免加温及冷却的影响。从表 1 可以看出,调整 P/I 参数,温度均一性改善明显,从而减小因温度波动影响 FI CD 均一性。

表 1 PID 参数对温度影响趋势						
Tab. 1 Trend of PID parameters to temperature						
PID控制Item	TEMP AVG (℃)			Temp均一性		
24h数据	ETCH1	ETCH2	ETCH3	ETCH1	ETCH2	ETCH3
$P=5.7; I=763$	43.96	43.77	43.82	5.52	5.53	4.78
$P=4.9; I=1000$	43.95	43.79	43.83	3.22	4.08	2.41

流量、压力取决于 Filter 的寿命,程序上设定报警对流量压力的监控,当流量、压力有波动时禁止玻璃进行湿法刻蚀,定期对 Filter 进行更换。

3.1.2 Nozzle 喷淋状态的检查

日常安排人员对 Nozzle 喷淋状态进行监控,避免因 Nozzle 堵塞造成玻璃基板局部刻蚀不

均匀。

3.1.3 定期 PM 进行传送检查

Gear 磨损、Oring 腐蚀磨损、Sensor 灵敏度都会引起刻蚀时间变长,造成刻蚀不均匀,定期 PM 对 Sensor、Gear、Oring 的更换变得尤为重要。

3.1.4 Shower 区间流量与喷淋状态的检查

玻璃从刻蚀区间进入 Shower 区间,表面会残留刻蚀药液,需要在 Shower 区间清洗后才能去除,Shower 区间流量的减小会造成基板表面局部刻蚀时间的延长,导致刻蚀均一性差,同时还需关注 Prewet 喷淋状态是否有分叉,流量是否大于 75 L/min,在上文中提及 Prewet 造成的 Top Mo Shrink,以下为解决该刻蚀不均一性的一个方法,如图 14 所示。

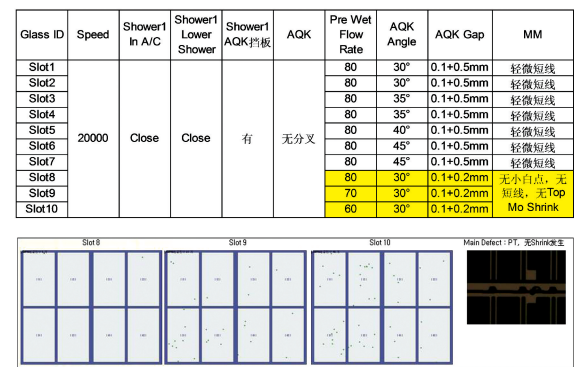


图 14 Top Mo Shrink 调整方法
Fig. 14 Top Mo Shrink adjustment method

3.1.5 Etchant 各成份质量比的监控

通过采购自动分析添加药液系统设备,对 Etchant 各成份质量比进行监控并时时进行成份补给,同时日常进行 CD Trend 与 OMS Trend 的整理。

3.1.6 刻蚀区间停留时间的设定

新型号设定每个刻蚀区间的停留时间时^[10],在保证产品品质的前提下尽量减小停留时间,以便控制 FI CD 均一性。量产型号在 CD Bias 有波动情况下,通过调整 DI CD 满足 FI CD 要求,避免调整刻蚀停留时间引起 FI CD 均一性波动。

3.2 前工序方向

3.2.1 成膜

金属膜层镀膜过程中,采用单磁条控制方式进行镀膜,膜层均一性优于多磁条控制方式,为改善

膜厚均一性,可选择单磁条控制方式进行,FI CD 均一性会随膜层均一性改善而相应得到改善。

3.2.2 涂胶

Mask 工艺中,膜层上方的 PR 胶厚度同样影响着刻蚀速率,PR 胶厚度均一性越好,刻蚀均一性越好。PR 胶膜层厚的位置,刻蚀速率较慢,膜层薄的位置,刻蚀速率较快。Hard Bake 温度、时间对刻蚀速率同样有着影响,Hard Bake 温度越高、时间越长,PR 胶与膜层的粘附性越紧密,刻蚀速率越慢,均一性越好。反之 Hard Bake 温度越低、时间越短,刻蚀速率越快,均一性越差。所以对 Mask PR 胶厚度均一性的控制、Hard Bake 温度、时间稳定的控制,对刻蚀 FICD 均一性有很大影响。

3.3 产品设计方向

CD Bias 是一个重要的设计参数,CD Bias (Critical Dimension) = |DICD-FICD|,如图 15 所示,类型 1:FI CD= DI CD+CD Bias,类型 2: FI CD=DI CD-CD Bias。公式的成立意味着 FI CD 均一程度,由 DI CD 与 CD Bias 的均一程度共同作用。想要保持 FI CD 均一性较好,在 DI CD 曝光精度无法再提高的情况下,应该更多考虑的是减小 CD Bias 之间的差异,使 FI CD 的均一性近似于 DI CD 的均一性。以上述论文中提过刻蚀程度受 PR 胶厚度、PR 胶 Hard Bake 温度、时间以及膜层均一性的影响,即 CD Bias^[10]越大(钻刻的越深),受各种因素影响的程度越大,CD Bias 越小 FI CD 均一性越好。CD Bias 的减小,可通过刻蚀时间的减少或是使用刻蚀速率较慢的 Etchant 来实现。从而达到 FI CD 均一性近似于 DI CD 均一性的效果,比如 Mask 在开发时设计为 DI CD=FI CD±0.5 μm(较小的 Bias)。

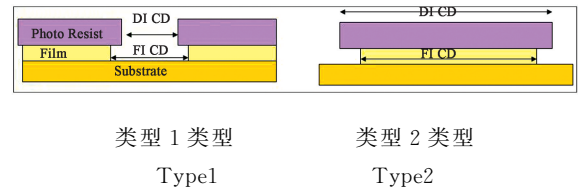


图 15 FI CD 与 DI CD 相关性
Fig. 15 Relationship between FI CD and DI CD

在产品设计时,综合考虑玻璃基板的利用率,各尺寸的 Gate 布线方向不尽相同,但在湿法刻蚀时,Gate 布线不同 FI CD 均一性也将不同,Gate

布线延着 1300 方向 FI CD 均一性优于延着 1100 方向,如图 16 所示。

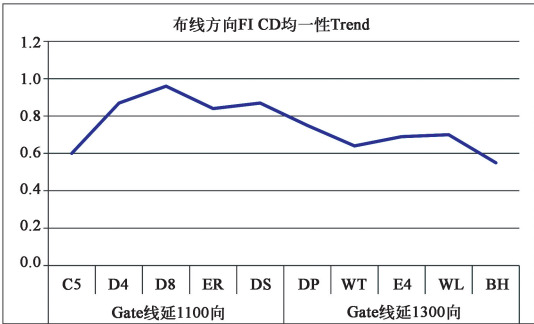


图 16 FI CD 随 Gate 线布线方向变化趋势
Fig. 16 FI CD with Gate wiring direction change trend

4 结 论

研究了湿法刻蚀 FI CD 均一性的影响因素,主要受刻蚀液温度、流量、压力、浓度、刻蚀区间 Nozzle Sliding/Oscillation Speed、水区间 Pre Wet 流量、压力、及 Mask 工序等影响,FI CD 均一性会存在明显波动,通过对各影响因素进行调整,可使 FI CD 均一性改善明显,从 1.0 降低至 0.5。

从刻蚀前工序成膜和涂胶工序进行工艺改善也会提高 FI CD 均一性,同时开发产品时,将 CD Bias 减小以及 Gate 布线方向延着 1300 方向进行设计,以便提高 FI CD 均一性。

参 考 文 献:

[1] 张定涛,李文彬,姚立红,等. 大尺寸 TFT-LCD ECCP 刻蚀工艺低耗整合[J]. 液晶与显示,2014,29(1):7-14.
ZHANG D T, LI W B, YAO L H, et al. Low consumption combination of large-sized TFT-LCD ECCP etch process [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2014, 29(1): 7-14. (in Chinese)

[2] 曲连杰,郭建,史大为,等. 高分辨率显示用小孔设计技术[J]. 液晶与显示,2015,30(2):246-250.
QU L J, GUO J, SHI D W, et al. Tiny hole design for high resolution display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2015, 30(2): 246-250. (in Chinese)

[3] 谷至华. 薄膜晶体管(TFT)阵列制造技术[M]. 上海:复旦大学出版社,2007.
GU Z H. *Thin Film Transistor (TFT) Array Manufacturing Technology*[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007. (in Chinese)

[4] 王伟,向东,杨为,等. 湿法刻蚀腔室结构数值优化[J]. 人工晶体学报,2014,43(5):1110-1114.
WANG W, XIANG D, YANG W, et al. Numerical optimization of a chamber structure design for the wet etching [J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 2014, 43(5): 1110-1114. (in Chinese)

[5] 毕昕. 面向 TFT-LCD 制程的 Mura 缺陷机器视觉检测方法研究[D]. 上海:上海交通大学,2009.
BI X. Study on the methods of machine vision inspection for the mura defect of TFT-LCD process[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese)

[6] 翟莲娜,周化岚,李小慧,等. 氧化铜锡透明导电电极的刻蚀研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2014,26(1):41-44.
ZHAI L N, ZHOU H L, LI X H, et al. Etching of transparent and conductive indium tin oxide films[J]. *Corrosion Science and Protection Technology*, 2014, 26(1): 41-44. (in Chinese)

[7] 荀本鹤. 大尺寸面板液晶显示屏阵列工艺中的金属钼刻蚀研究[D]. 成都:电子科技大学,2007.
XUN B H. Large size liquid crystal display panel array of molybdenum metal etching research[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2007. (in Chinese)

[8] 于斌斌,袁军堂,汪振华,等. 多层等离子体蚀刻技术的研究[J]. 真空科学与技术学报,2013,33(3):262-266.
YU B B, YUAN J T, WANG Z H, et al. Novel technique for multi-partitioned plasma etching [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2013, 33(3): 262-266. (in Chinese)

[9] 孙敏,张金凤,郑佳晶. 遗传算法在湿法刻蚀设备温度 PID 控制中的应用[J]. 电子工业专用设备,2014(1):36-39.
SUN M, ZHANG J F, ZHENG J J. Genetic algorithm in the wet etching equipment temperature control [J]. *Equipment for Electronic Products Manufacturing*, 2014(1): 31-34. (in Chinese)

[10]李玉胜. 湿法刻蚀与清洗中晶圆缺陷问题的研究[D]. 天津:天津大学,2013.
LI Y S. Wafer defects issue study in wet etch and wet clean [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013. (in Chinese)