

文章编号:1007-2780(2016)10-0929-07

TFT 光刻 DICD 均一性改善优化

张玉虎*, 岳 浩, 王军帽, 李亚文

(合肥京东方光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要: 为了对 TFT(Thin Film Transistor)光刻 DICD(Develop Inspection Critical Dimension)均一性进行改善,分析了光刻 DICD 存在差异性的原因,并建立了改善循环流程。对循环流程改善原理及方法进行说明。首先,根据处于光刻系统最佳焦平面位置光刻胶吸收光强最大, DICD 最小($DICD_{min}$)原则,提出了调整光刻平面,使其与系统最佳焦平面趋势一致,可减小 DICD 差异性。接着,计算出各光刻区域与最佳焦平面位置处的 DICD 差值($DICD-DICD_{min}$),并通过结合光刻区域台板平坦度,判断 $DICD-DICD_{min}$ 各差值的正负性。然后,采用最小二乘法对光刻区域 $DICD-DICD_{min}$ 进行平面方程拟合,该平面即为光刻趋势平面,并反映了光刻平面与光刻系统最佳焦平面的差异。最后,以此平面方程作为光刻机台板高度调整平面方程,并对光刻区域台板高度进行调整,从而使得实际光刻平面趋于系统最佳焦平面。结果表明:该方法连续实验 3 次, DICD 均一性可改善 30% 以上。

关键词: DICD; 最佳焦平面; 平坦度; 均一性; 最小二乘法

中图分类号: TN305.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163110.0929

Improvement of uniformity of TFT lithography DICD

ZHANG Yu-hu*, YUE-Hao, WANG Jun-mao, LI Ya-wen

(Hefei BOE Optoelectronics Technology Co. Ltd, Hefei 230012, China)

Abstract: In order to improve the uniformity of TFT lithography DICD, the reason for the difference of the DICD is analyzed, and a cycle improvement process is established. Its principle and method is illustrated. First, based on the principle that the photo resist absorbs the maximum light intensity on the best focal plane of the lithography system, and the DICD value is also minimum. Therefore, if the lithography plane is adjusted and the lithography plane trend is consistent with the best focal plane trend, the difference of DICD will be minimum. Then the difference of the DICD between the lithography area and the best focal plane area($DICD-DICD_{min}$) is calculated, and the sign of $DICD-DICD_{min}$ is judged by combining the stage flatness of the lithography area. Then the plane equation of $DICD-DICD_{min}$ is fitted by the least square method, and the plane is just the lithography trend plane, which also reflects the difference between the lithography plane and the best focal plane. Finally, the plane equation is used to adjust the stage height of the lithography machine, and by adjusting the height of the stage in the lithography area, the lithography plane trend is consistent with the best focal plane trend.

收稿日期:2016-06-16; 修订日期:2016-07-22.

* 通信联系人, E-mail: zhangyuhu@boe.com.cn

The results show that the uniformity of DICD can be improved by more than 30% by doing the experiment three times.

Key words: develop inspection critical dimension; the best focal plane; flatness; uniformity; the least square method

1 引言

随着对薄膜晶体管-液晶显示器(TFT-LCD)分辨率要求的不断提高,薄膜晶体管(Thin Film Transistor, 以下简称 TFT)器件的线宽和间距趋于更细、更窄^[1],经光刻工艺后形成的光刻胶线宽宽度(Develop Inspection Critical Dimension, DICD)的工艺窗口也越来越小^[2],TFT DICD 管控要求越来越高。若产品 DICD 偏离控制目标值,将直接影响刻蚀后最终形成的 TFT 器件线宽宽度(Final Inspection Critical Dimension, 简称 FICD)^[3],从而影响 TFT 产品的光学电学性能^[4]。因此,DICD 是光刻工艺重要管控参数之一,而 DICD 的均一性是其管控的主要指标之一。

光刻过程中,通过改变涂胶、光刻、显影及前烘、后烘等条件,可对 DICD 均一性进行改善,但改善量有限^[5],原因在于没有对光刻过程中 DICD 差异的根本原因进行有针对性的改善。DICD 大小主要受光刻胶(photoresist, PR)吸收光照的能量大小决定,PR 吸收光照能量大小取决于光刻平面是否处于光刻系统最佳焦平面上,PR 光刻平面处于光刻系统最佳焦平面上,PR 吸收光照能量最大,产品线宽 DICD 最小(以正性 PR 为例),PR 光刻平面不在系统最佳焦平面上,吸收光照能量变小,DICD 变大。因此,要改善 DICD 均一性,最有效的方法是保证 PR 光刻平面均处于光刻系统最佳焦平面上。目前,虽然主流光刻机均采用了调焦调平技术^[6],但仍然难以保证 PR 的光刻平面完全处于光刻系统最佳焦平面上。本文以 PR 光刻 DICD 值最小值($DICD_{min}$)区域为最接近光刻系统最佳焦平面所在区域,并以此对 PR 光刻平面进行调平,结果表明可明显改善 DICD 均一性。

2 DICD 差异性原因及改善原理

2.1 DICD 差异性原因

在 PR 厚度及均一性一定时,DICD 均一性差异主要是由于处于光刻区域的 PR 吸收光照能量不同所致。图 1、图 2 为同一光刻区域内,某型号产品有源层(Source-Drain, 以下简称 SD)光刻后不同 DICD 区域的扫描电子显微镜(SEM)照片(其中位置 1 为 DICD 测量位置,位置 2 为 PR 膜厚,位置 3、4 分别为 PR 下层左右坡度角),可见:若把 PR 分为上下两层(接触 SD 薄膜层部分为下层,接触空气部分为上层),DICD 较小区域处,由于 PR 吸收光照能量较大,导致 PR 下层光刻较充分,坡度角大,DICD 测量值小。同样,DICD 较大区域,由于 PR 吸收光照能量小,PR 下层光刻不充分,坡度角较小,DICD 测量值大。

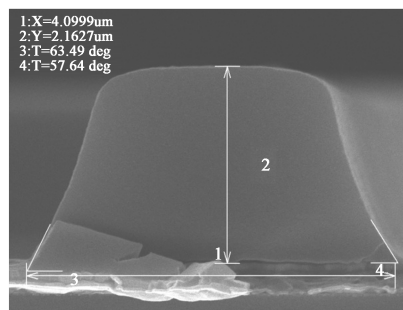


图 1 DICD 较小位置处 SEM 照片

Fig.1 SEM picture of smaller DICD

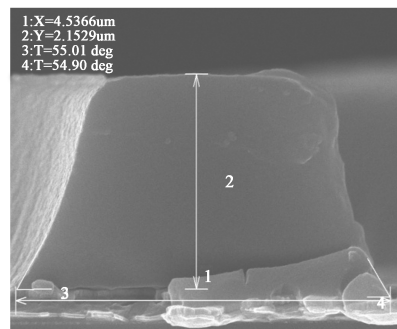


图 2 DICD 较大位置处 SEM 照片

Fig.2 SEM picture of bigger DICD

2.2 改善原理

光刻机光刻流程如图 3,为保证涂覆有 PR 的玻璃基板(plate)处于光刻系统焦平面上,在光刻开始前,光刻机会进行 plate 的调焦调平,通过光刻机 Z 方向的光电传感器,测量涂覆有 PR 的 plate 相对于已知系统最佳焦平面(光刻机系统测量的焦平面)的距离和倾斜度,并进行补偿,之后开始光刻。



图 3 光刻流程

Fig.3 Lithography process

然而由于设备补偿误差的存在,导致涂覆有 PR 的 plate 的实际光刻平面与系统最佳焦平面趋势不一致(如图 4),接近系统最佳焦平面位置,PR 吸收光照能量最大,DICD 最小,远离系统最佳焦平面位置,PR 吸收光照能量较小,DICD 较大。因此要改善 DICD 均一性,需保证光刻平面重合或平行于系统最佳焦平面(如图 5),从而可使得 plate 上各区域 PR 接受到的光照能量相同,DICD 差异性减小。

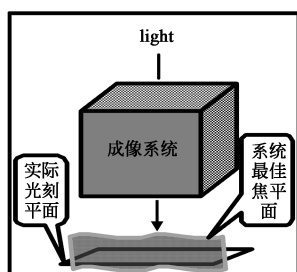


图 4 光刻平面趋势异于系统焦平面

Fig.4 Trend of lithography plane is different from the focal plane of the system

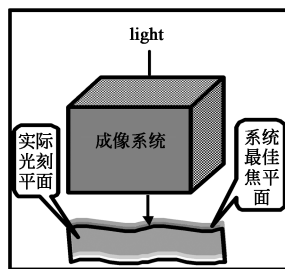


图 5 光刻平面趋势同于系统焦平面

Fig.5 Trend of lithography plane is similar with the focal plane of the system

由于光刻过程中具有:(1)PR 处于光刻系统最佳焦平面区域时,PR 吸收的光照能量最大,线宽 DICD(以正性 PR 为例)最小。反之,远离光刻系统最佳焦平面区域时,DICD 变大。(2)PR 涂覆在 plate 上,plate 位于光刻机台板(stage)上,故可通过调整 stage 位置高度使得 PR 处于光刻系统的最佳焦平面上。(3) $DICD-DICD_{min}$ 可反映 DICD 区域 PR 偏离系统最佳焦平面程度的大小。基于以上三点,可将空间一点 $P(x, y, DICD-DICD_{min})$ (x, y 为 DICD 测试区域坐标)所在的平面(或该平面以 $z=0$ 为对称面的对称平面)作为系统光刻时的光刻平面,要使得 PR 处于光刻系统最佳焦平面上,可通过调平该平面来实现(调平该平面后,由于光刻机的调焦系统,可使得该平面处于光刻最佳焦平面上)。调平该平面,可将该平面作为 stage 高度位置趋势平面,通过调整 stage 位置高度来实现,从而达到改善 DICD 均一性的目的。

3 改善流程

本文以 canon E732 光刻机为例,按改善循环流程(图 6),实现对 DICD 均一性的改善。

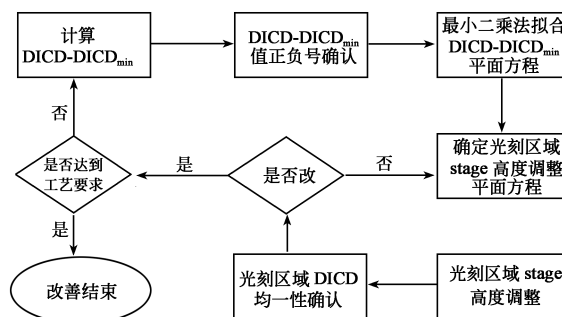


图 6 改善流程示意图

Fig.6 Diagram of improvement process

3.1 $DICD-DICD_{min}$ 的计算

表 1 为某一型号产品 SD 层在一次光刻区域内的 DICD 及 $DICD-DICD_{min}$,表 2 为光刻机在该区域内的 stage 平坦度状况。由表 1,2 可以判断出 DICD 各测试区域内的 stage 位置高度情况(stage 平坦度测量间隔可根据需要进行调整,DICD 各测试区域内的 stage 位置高度可由 stage 平坦度附近区域的 stage 位置高度进行判断)。由于光刻区域内,若 stage 某处位置较高,则位置较高处会对光刻平面正方向偏离光刻系统最佳焦

平面做贡献,反之则对负方向偏离光刻系统最佳焦平面做贡献,故以 $DICD_{min}$ 区域 stage 高度为基准,若其他测试区域 stage 高度高于 $DICD_{min}$ 区

域,则 $DICD-DICD_{min}$ 取正值,反之取负值。由于表 1 中其他 $DICD$ 测试区域 stage 高度均高于 $DICD_{min}$ 处,故 $DICD-DICD_{min}$ 均取正值。

表 1 光刻条件及 DICD

Tab.1 Lithography conditions and DICD value

光刻胶膜 厚/ μm	显影 时间/s	烘烤 温度/ $^{\circ}\text{C}$	测试点坐 x/mm	测试点坐 y/mm	DICD / μm	DICD-DICD _{min} / μm
2.2	60	前烘:110 后烘:135	-628.252 0	605.422 6	3.94	0.10
			-498.054 0	841.226 4	3.84	0.00
			-237.698 0	605.404 3	4.42	0.58
			-107.458 0	841.203 9	3.98	0.14
			-628.250 0	243.721 7	4.16	0.32
			-498.051 0	479.526 6	4.21	0.37
			-237.610 0	243.728 1	3.98	0.14
			-107.498 0	479.525 4	4.05	0.21

表 2 光刻区域 stage 平坦度

Tab.2 Stage flatness of the lithography area

stage y 方向 坐标/mm	stage x 方向坐标/mm							
	-730	-720	-600	-480	-360	-240	-120	0
905	-34.88	-33.03	-34.73	-33.04	-20.77	-18.03	-16.16	-6.63
810	-35.37	-33.79	-34.57	-30.71	-22.04	-19.54	-21.32	-10.93
708.75	-35.62	-32.86	-30.23	-27.38	-24.04	-20.64	-20.41	-12.07
607.5	-35.00	-33.11	-29.61	-26.19	-27.53	-23.26	-20.89	-12.48
506.25	-36.3	-34.47	-31.37	-24.89	-25.47	-23.09	-28.76	-18.58
405	-33.66	-31.82	-29.77	-23.46	-23.4	-21.42	-31.42	-21.79
303.75	-27.79	-25.92	-25.44	-24.27	-25.37	-22.58	-30.59	-21.24
202.5	-25.92	-23.49	-24.81	-27.55	-31.01	-27.34	-31.59	-20.85
stage 平坦度(μm)								

3.2 DICD-DICD_{min} 平面方程拟合

设平面方程为 $z = Ax + By + C$ ^[7],且满足表 1 中的空间一点 $P(x, y, DICD-DICD_{min})$ 到达该平面距离(式 1)最小。

$$P(x, y, DICD - DICD_{min}) = \sum_{i=1}^N [z_i - (Ax_i + By_i + C)]^2, \quad (1)$$

即 A, B, C 满足:

$$\frac{\partial P}{\partial A} = 0, \frac{\partial P}{\partial B} = 0, \frac{\partial P}{\partial C} = 0. \quad (2)$$

由式 1,2 可得方程组:

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i y_i + C \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i z_i \\ A \sum_{i=1}^N x_i y_i + B \sum_{i=1}^N y_i^2 + C \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N y_i z_i \\ A \sum_{i=1}^N x_i + B \sum_{i=1}^N y_i + CN = \sum_{i=1}^N z_i \end{cases}, \quad (3)$$

带入表 1 中 $x, y, DICD-DICD_{min}$ 值,可得 $A =$

0.000 002 583, $B = -0.000\ 003\ 129$, $C = 2.880$,
即拟合的平面方程为:

$$z = 0.000\ 002\ 583x - 0.000\ 003\ 129y + 2.880. \quad (4)$$

3.3 stage 高度调整量计算及 DICD 均一性改善确认

设光刻时 stage 高度调整平面方程是:

$$z = 0.000\ 002\ 583x - 0.000\ 003\ 129y + 2.880 + h, \quad (5)$$

或者是

$$z = -[0.000\ 002\ 583x - 0.000\ 003\ 129y + 2.880 + h], \quad (6)$$

(可由 DICD 均一性改善效果确认,若改善后 DICD 均一性恶化,则取式(6)平面方程)。其中 h 为任意实数。

通过式(5)(为方便计算,取 $h = 0$ 计)及表 2 中 stage 位置坐标(x, y),对光刻区域 stage 高度调整量进行计算(表 3)。以此高度调整量对 stage 进行调整(垂直、水平方向参数补偿),并在相同光刻条件下,测试 stage 补偿后产品的 DICD,进一步确认 DICD 均一性改善情况。

表 3 光刻区域 stage 高度调整量

Tab.3 Height of stage adjustment in lithography area

stage y 方向 坐标(mm)	stage x 方向坐标(mm)							
	-730	-720	-600	-480	-360	-240	-120	0
905	2.875 283	2.875 309	2.875 618	2.875 928	2.876 238	2.876 548	2.876 858	2.877 168
810	2.877 473	2.877 473	2.877 473	2.877 473	2.877 473	2.877 473	2.877 473	2.877 473
708.75	2.877 790	2.877 790	2.877 790	2.877 790	2.877 790	2.877 790	2.877 790	2.877 790
607.5	2.878 107	2.878 107	2.878 107	2.878 107	2.878 107	2.878 107	2.878 107	2.878 107
506.25	2.878 423	2.878 423	2.878 423	2.878 423	2.878 423	2.878 423	2.878 423	2.878 423
405	2.878 740	2.878 740	2.878 740	2.878 740	2.878 740	2.878 740	2.878 740	2.878 740
303.75	2.879 057	2.879 057	2.879 057	2.879 057	2.879 057	2.879 057	2.879 057	2.879 057
202.5	2.879 374	2.879 374	2.879 374	2.879 374	2.879 374	2.879 374	2.879 374	2.879 374
stage 高度调整量(μm)								

4 改善结果与分析

4.1 改善结果

图 7、8 分别为改善前和进行一次改善后的 DICD 等高图。可见一次改善后, DICD 等高图趋势与改善前一致,改善后 DICD 最大最小值均低于改善前。

图 9 为相同光刻条件下,连续进行 3 次实验的 DICD 值及其均一性结果。可以看出:(1)试验后较实验前 DICD 均一性有明显改善,3 次实验后均一性可改善 30% 以上;(2) DICD 均一性改善量随实验次数的增加逐渐减小;(3) DICD 均一性

改善的同时 DICD 值变小, DICD 值变小程度趋势与均一性改善量趋势一致。

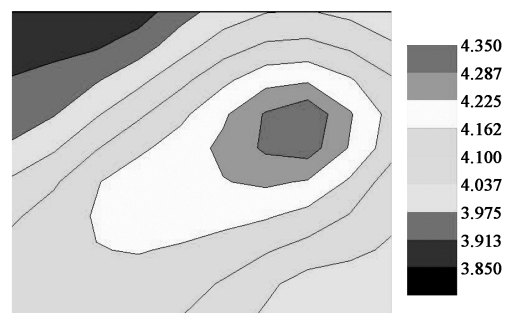


图 7 改善前 DICD 等高图

Fig.7 Contour map of DICD before improvement

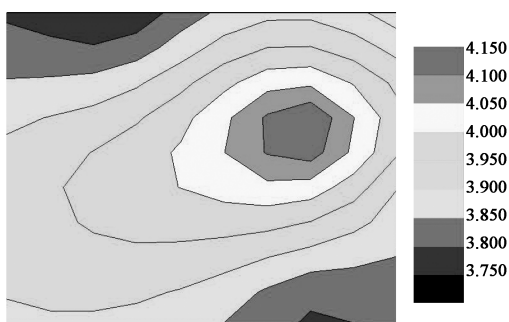


图 8 一次改善后 DICD 等高图

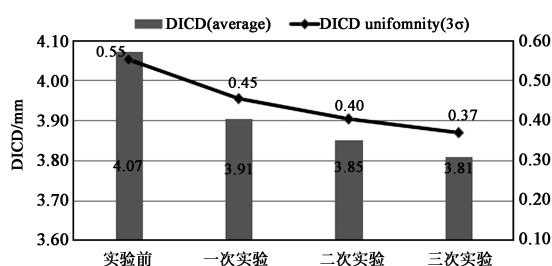
Fig.8 Contour map of DICD after 1st improvement

图 9 实验前后 DICD 结果

Fig.9 Result of the experiment

4.2 结果分析

以光刻区域 $DICD - DICD_{min}$ 的值推算出光刻区域 stage 补偿量,光刻区域 stage 经补偿后,各 DICD 测试区域光刻平面均趋于光刻系统最佳焦平面,光刻区域 PR 接收到的光照能量得到均一

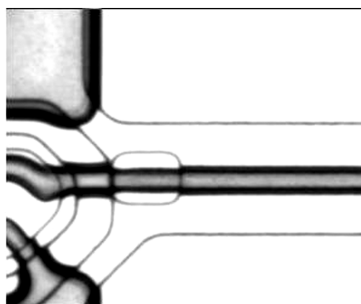


图 10 实验前光刻图案(线黑边严重)

Fig.10 Lithography pattern before experiment

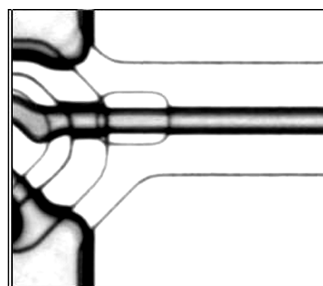


图 11 一次实验后光刻图案(线黑边不明显)

Fig.11 Lithography pattern after 1st experiment

化,从而 DICD 均一性得到改善。同时由于 stage 补偿后,光刻区域更加接近于光刻系统最佳焦平面,PR 失焦(defocus)区域(黑边)减小(图 10、11),DICD 测量值变小,DICD 均值变小(生产时可通过增加光刻剂量,使得产品 DICD 满足工艺要求)。随着连续实验次数的增加,PR 光刻平面逐渐逼近于最佳焦平面,DICD 均一性改善量逐渐减小。

5 结 论

TFT 产品性能逐步向高分辨率、高响应速度的主流化趋势转变,必然对 TFT 器件线宽均一性提出更高要求,光刻 DICD 均一性优劣直接影响着 TFT 器件线宽均一性。本文在对 TFT 光刻 DICD 存在差异性原因进行分析的基础上,以光刻区域 $DICD - DICD_{min}$ 为基准,通过最小二乘法对 $DICD - DICD_{min}$ 进行平面拟合,并以该平面方程作为光刻机 stage 高度调整方程,通过调整光刻区域 stage 高度,使得 PR 光刻平面趋于光刻系统最佳焦平面,从而光刻区域 PR 吸收光照能量趋于一致,最终达到 DICD 均一性改善的目的,实验结果表明,连续实验 3 次,DICD 均一性可改善 30% 以上,DICD 均一性改善的同时,光刻区域 DICD 值整体变小,可通过调整光刻剂量使 DICD 满足工艺要求。

参 考 文 献:

- [1] 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)

- [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 Displays*, 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] 缪小运.先进光刻系统中焦平面测量与控制的研究[D].上海:复旦大学,2006.
MIU X Y. The study on the advanced lithography system of the focal plane measurement and control [D]. Shanghai: *Fudan University*, 2006. (in Chinese)
- [5] 姜立娟,李响,唐拓.光刻线宽精度控制的研究[J].微机处理,2005(2):12-13.
JIANG L J, LI X, TANG T. The Research of photolithography line width precision control [J]. *Microprocessors*, 2005(2): 12-13. (in Chinese)
- [6] 李小平,陈飞彪.投影光刻机硅片调焦调平测量模型[J].光学学报,2007,27(11):1987-1991.
LI X P, CHEN F B. Measurement model of focusing and leveling measurement system for projection lithography tool [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(11): 1987-1991. (in Chinese)
- [7] 霍晓程,李小平.用最小二乘法拟合曲面方程[J].赤峰学院学报(自然科学版),2009,25(6):11-13.
HUO X C, LI X P. Fitting curved surface equation with least square method [J]. *Journal of Chifeng University (Natural Science Edition)*, 2009, 25(6): 11-13. (in Chinese)

作者简介:张玉虎(1983—),男,安徽霍邱人,硕士研究生,高级工程师,2010 年于合肥工业大学获得硕士学位,主要从事光刻设备维护及工艺改善工作。E-mail: zhangyuhu@boe.com.cn