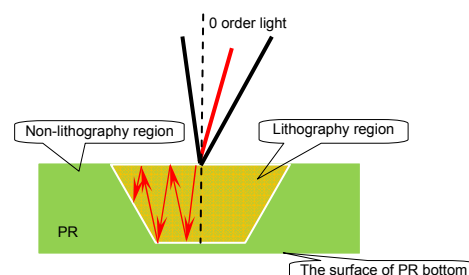


DOI: 10.12086/oe.2019.180679

## TFT 光刻平面倾斜对光刻图形的影响及改善

张玉虎\*, 李亚文, 罗传文, 李力, 曹少波, 马小辉

合肥京东方光电科技有限公司, 安徽 合肥 230012



**摘要:** 薄膜晶体管光刻制程中, 光刻胶光刻平面位置是决定光刻图形质量的关键因素。为了在光刻机最小分辨率条件下改善光刻图形质量, 本文从光刻胶内反射光线的反射特点出发, 以减小光刻胶内反射光线对非光刻区域的光刻光强及增加光刻区域的光刻胶底部光刻光强为基础, 推导出光刻光线倾斜入射光刻胶平面时, 光刻胶光刻平面位置调整量的计算公式, 并以该公式计算出的调整量对光刻胶光刻平面进行调整。结果表明: 对于最小分辨率为  $3.0\ \mu\text{m}$  的投影光刻机, 进行线间距为  $2.2\ \mu\text{m}$  的产品光刻时, 以该公式计算出的调整量对光刻胶光刻平面调整后, 较未调整前, 光刻图形坡度角提升了 13.3%, 光刻胶线宽或线间距宽度(DICD)均一性改善了 14.7%, 光刻图形光刻胶残留得到解决。

**关键词:** 光刻机; 分辨率; 倾斜入射; 光刻平面; 坡度角; 光刻图形

**中图分类号:** TN305.7

**文献标志码:** A

**引用格式:** 张玉虎, 李亚文, 罗传文, 等. TFT 光刻平面倾斜对光刻图形的影响及改善[J]. 光电工程, 2019, 46(10): 180679

## The effect of TFT lithography plane inclination on lithography pattern and improvement

Zhang Yuhu\*, Li Yawen, Luo Chuanwen, Li Li, Cao Shaobo, Ma Xiaohui

Hefei BOE Optoelectronics Technology Co. Ltd, Hefei, Anhui 230012, China

**Abstract:** In the lithography process of thin film transistor, the lithography plane position of photoresist is the key factor that determine the quality of lithography pattern. In order to improve the quality of lithography pattern under the minimum resolution of lithography machine, the reflection characteristic of the light in the photoresist is studied in this paper, based on reducing the intensity of the reflected light in the photoresist on the non-lithography region and increasing the intensity of the photoresist at the bottom on the lithography region, the computational formula for the lithography plane position adjustment of the photoresist is deduced under the oblique incidence. The adjustment amount is calculated by the formula and the lithography plane is adjusted by the adjustment. The results show that for the projection lithography machine with the minimum resolution of  $3.0\ \mu\text{m}$ , and for the product with the line space of  $2.2\ \mu\text{m}$ , after adjusting the lithography plane of photoresist with this adjustment, the slope angle of the lithography pattern is increased by 13.3%, and the uniformity of the DICD (development inspection critical dimension) is improved by 14.7%. the photoresist remain of the lithography pattern is resolved.

**Keywords:** lithography machine; resolution; oblique incidence; lithography plane; slope angle; lithography pattern

**Citation:** Zhang Y H, Li Y W, Luo C W, *et al.* The effect of TFT lithography plane inclination on lithography pattern and improvement[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(10): 180679

收稿日期: 2018-12-22; 收到修改稿日期: 2019-03-29

作者简介: 张玉虎(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事光刻设备维护及工艺改善工作。E-mail: zhangyuhu@boe.com.cn

## 1 引言

薄膜晶体管(Thin film transistor, TFT)器件的线宽尺寸影响着 TFT 的器件特性<sup>[1]</sup>, 是决定薄膜晶体管液晶显示器(thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD)分辨率及 TFT 驱动良率的关键因素<sup>[2-3]</sup>。随着 TFT-LCD 的不断发展, 人们对高分辨率显示器的需求不断提高, 而高分辨率显示器必然要求 TFT 具有更细的线宽和更窄的线间距<sup>[4]</sup>, 这就决定了光刻工艺后形成的光刻胶线宽或线间距宽度(develop inspection critical dimension, DICD)同样越来越小, 必然会导致光刻机逐渐趋于其在最小分辨率条件下进行 TFT 光刻。提升光刻机最小分辨率条件下的光刻能力, 目前主要有两方面措施, 一是通过光刻波前工程技术(如相移掩膜、离轴照明、光学临近修正等)与降低光刻波长<sup>[5]</sup>等方式来提升光刻机分辨率, 二是基于光刻机光刻平面的调焦调平整系统<sup>[6]</sup>进行补偿优化, 使得光刻机分辨能力达到最大化。前者由于使用成本较高及存在自身缺陷(光强降低、工艺复杂等), 实际生产中在短期内难以完全导入, 后者是根据光刻机本身的设备参数对光刻胶(photo resist, PR)的光刻平面进行调整, 使得调整后 PR 的光刻平面将趋于光刻系统的焦点上, 从而达到最小分辨率成像的目的。该方式在实际生产中, 由于经过不断的补偿, 实际调整空间较小, 改善效果有限, 并且由于该调整主要是通过倾斜 PR 平面进行补偿的, 因此光刻光线不再垂直入射 PR 平面, 从而出现由于光刻平面的调整, 导致光刻光线倾斜入射 PR 面的情况, 进而产生了 PR 内反射光线对非光刻区域光刻光强增强, PR 底部表面光刻光强减弱的不良影响, 进一步减小了光刻机在其最小分辨率下的细线化光刻能力。

本文从光刻光线在 PR 内的反射特点出发, 推导出在光刻光线倾斜入射 PR 面的情况下, PR 内反射光线对非光刻区域光刻光强减弱, PR 底部表面光刻光强增强时, PR 面调整量的计算公式, 并在现有光刻条件下, 以该公式计算的调整量对光刻区域 PR 的光刻平面进行调整, 从而达到提升光刻机在其最小分辨率条件下的细线化光刻能力的目的。

## 2 光刻平面倾斜对光刻图形的影响

光刻机进行 TFT 光刻时, 使用的掩膜版(mask)等同于光刻光栅, 光刻开始前, 光刻系统以光刻基板(plate)上 PR 顶部平面为基准进行调焦确认<sup>[7]</sup>, 即光刻

时 PR 的顶部表面(后文均以 PR 面称)为光刻时的焦平面。光刻开始时, 光刻光线垂直入射 mask, mask 上透明区域的入射光线经光刻机成像系统(lens)汇聚于 lens 焦点上, 同时保证 plate 上的 PR 面处于 lens 的焦点位置上(图 1), 通过对 mask 进行光线扫描来实现 mask 上图形向 plate 上的转移。

实际光刻时, 由于 lens 系统的焦平面不能完全处于一水平面, 为保证 PR 面均能够处于 lens 系统的焦平面上, 光刻机会对 PR 面进行倾斜调整。因此, 光刻时具有 PR 面处于光刻焦点位置及光刻光线倾斜入射 PR 面的特点。由于光刻机 lens 系统对衍射光线的汇聚作用, 处于汇聚光线中心区域的 0 级衍射光最强, 因此光刻基板倾斜必然会引起 0 级衍射光倾斜入射 PR 顶部表面。由于光刻光线在 PR 面会进行多次的反射与折射, 因此 0 级衍射光倾斜入射必然会引起更多的非光刻区域 PR 发生光刻, 从而 0 级衍射光到达 PR 底部表面时光强减小, PR 底部表面光刻不足, 产生光刻 PR 残留(remain)缺陷(图 2)。

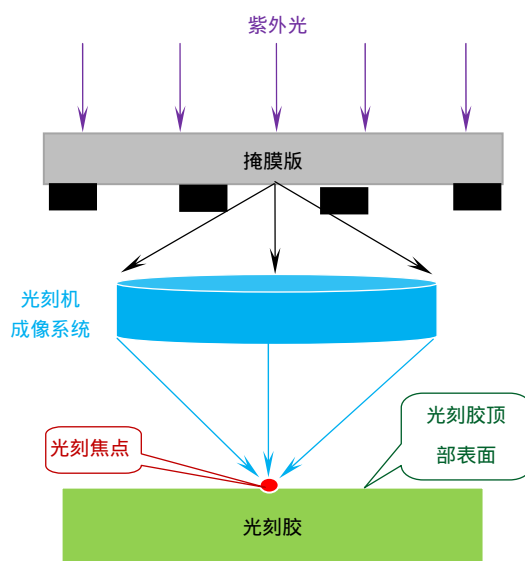


图 1 投影光刻示意图

Fig. 1 The diagram of projection lithography

## 3 改善原理

### 3.1 PR 面上调

光刻机光刻过程中, 当 PR 面处于光刻系统焦点以下时, PR 内的反射光线是向着非光刻区域呈发散状态反射传播。当 PR 面处于光刻系统焦点以上时, PR

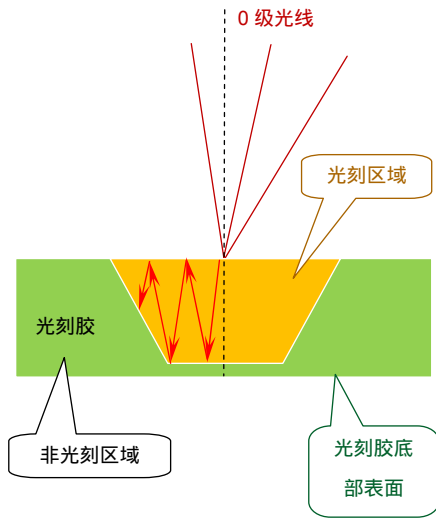


图2 倾斜入射时 PR 内反射光线  
Fig. 2 The reflected light in PR at oblique incidence

内的反射光线首先是向着光刻中心区域呈汇聚状态反射传播,然后向着非光刻区域呈发散状态反射传播(图3、图4)。由于光线进入 PR 后将进行多次反射、折射,振幅和强度被一次次的分割,直至强度趋于零,相对 PR 面处于光刻系统焦点以下,当 PR 面处于光刻系统焦点以上位置时,PR 内反射光线的光程更长,反射光强到达非光刻区域时更弱,即 PR 内反射光强对非光刻区域影响更小。同时可以看出,PR 面处于光刻系统焦点以上位置时,光刻中心区域两侧的反射光线均参与对 PR 底部表面中心区域的光刻作用,从而使得 PR

底部表面的光刻光强增大,有利于改善 PR 底部表面 PR 残留缺陷(图2)。

### 3.2 PR 面上调量计算

由上述分析知,PR 面向 lens 焦点以上位置调整,一方面可减小倾斜入射光线对非光刻区域 PR 的光刻程度,另一方面可增加 PR 底部的光刻光强。

当光刻光线垂直入射 PR 面时,PR 面位于 lens 焦点位置,设 PR 厚度为  $h$ ,一任意光刻光线(经光刻机 lens 系统汇聚后的衍射光线,包括 0 级、 $\pm 1$  级、 $\pm 2$  级...,后文均以此称)入射 PR 面的入射角为  $\theta$ ,其在 PR 内的折射光线 AC 的折射角为  $\varphi$ ,在 PR 面和 PR 底部的折射角分别为  $\beta$ 、 $\alpha$ ,PR、空气、PR 基底的折射率分别为  $n_{PR}$ 、 $n_{空}$ 、 $n_{底}$ 。该任意光刻光线入射光强的 P 分量为  $I_{\lambda-P}$ ,其在 PR 内的折射光线(AC)光强的 P 分量为  $I_{AC-P}$ 。 $I_{AC-P}$  在 PR 内经过  $N$  次不断反射后最终光强为  $I_P$ ,光刻区域中心与非光刻区域的距离为  $D$ (图5)。

由折射定率公式:

$$n_{空} \cdot \sin\theta = n_{PR} \cdot \sin\varphi \quad (1)$$

当  $\theta$  很小时,可得:

$$\varphi \approx \sin\varphi = \frac{n_{空}}{n_{PR}} \cdot \sin\theta \approx \frac{\theta}{n_{PR}}, n_{空} = 1 \quad (2)$$

同理:

$$\alpha \approx \sin\alpha = \frac{n_{PR}}{n_{底}} \cdot \sin\varphi = \frac{\theta}{n_{底}}, \beta = \theta \quad (3)$$

对于 AC 光线,当  $\theta$  很小时,由菲涅耳折射反射

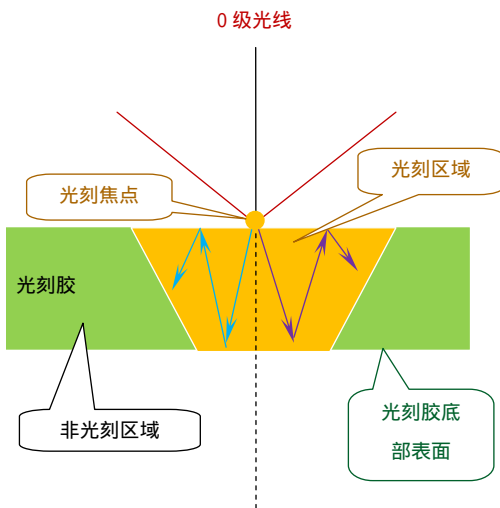


图3 PR 面处于光刻焦点下方时 PR 内反射光线  
Fig. 3 The reflected light in the PR when the PR surface is under the lithography focus

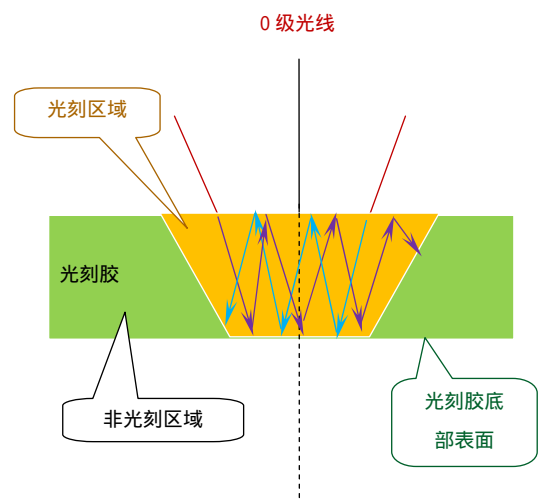


图4 PR 面处于光刻焦点上方时 PR 内反射光线  
Fig. 4 The reflected light in the PR when the PR surface is above the lithography focus

公式<sup>[8]</sup>可得：

$$\begin{aligned}
 I_{AC-P} &= T_P \cdot I_{\lambda-P} = \frac{n_{PR}}{n_{空}} \cdot |t_P|^2 \cdot I_{\lambda-P} \\
 &= n_{PR} \cdot \left( \frac{2n_{空} \cdot \cos\theta}{n_{PR} \cos\theta + n_{空} \cdot \cos\varphi} \right)^2 \cdot I_{\lambda-P} \\
 &\approx \frac{4n_{PR} \cdot I_{\lambda-P}}{(n_{PR} + 1)^2}, \\
 n_{空} &= 1。 \tag{4}
 \end{aligned}$$

式中： $T_P$ 、 $t_P$ 分别为PR上表面的强度透射率与振幅透射率。

$$\begin{aligned}
 I_P &= I_{AC-P} \cdot R_{P1} \cdot R_{P2} \cdot R_{P1} \cdot R_{P2} \cdots \\
 &= I_{AC-P} \cdot |r_{P1}|^2 \cdot |r_{P2}|^2 \cdot |r_{P1}|^2 \cdot |r_{P2}|^2 \cdots \\
 &= I_{AC-P} \cdot |r_{P1}|^N \cdot |r_{P2}|^N \\
 &= I_{AC-P} \cdot \left[ \frac{\tan(\varphi - \alpha)}{\tan(\varphi + \alpha)} \right]^N \cdot \left[ \frac{\tan(\varphi - \beta)}{\tan(\varphi + \beta)} \right]^N \\
 &\approx I_{AC-P} \cdot \left( \frac{\varphi - \alpha}{\varphi + \alpha} \right)^N \cdot \left( \frac{\varphi - \beta}{\varphi + \beta} \right)^N \\
 &= I_{AC-P} \cdot \left( 1 - \frac{2\alpha}{\varphi + \alpha} \right)^N \cdot \left( 1 - \frac{2\beta}{\varphi + \beta} \right)^N, \tag{5}
 \end{aligned}$$

式中： $R_{P1}$ 、 $R_{P2}$ 、 $r_{P1}$ 、 $r_{P2}$ 表示PR下、上表面的P分量的强度反射率与振幅反射率。

将式(2)、式(3)、式(4)代入式(5)可得：

$$\begin{aligned}
 I_P &= \frac{4 \cdot n_{PR} \cdot I_{\lambda-P}}{(n_{PR} + 1)^2} \times \left( 1 - \frac{2n_{PR}}{n_{底} + n_{PR}} \right)^N \\
 &\times \left( 1 - \frac{2n_{PR}}{1 + n_{PR}} \right)^N。 \tag{6}
 \end{aligned}$$

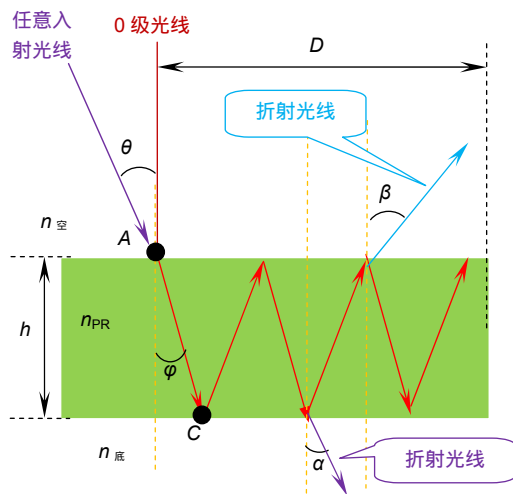


图5 任意入射光线垂直入射时PR内的反射光线  
Fig. 5 The reflection light in PR when incident light is vertical incidence

由式(6)知,当入射角 $\theta$ 很小,入射光强一定, $n_{PR}$ 、 $n_{底}$ 一定时,PR内的反射光强( $I_P$ )与入射角度无关,只与在PR内的反射次数 $N$ 有关,且 $N$ 越大, $I_P$ 越小。同理,若由PR内AC光线光强的S分量计算也可得到同样结论,同时也说明了PR面位于焦点以上时, $I_P$ 更小。同时由图5知,任意一衍射光线在PR内的折射光线AC到达非光刻区域的反射次数 $N$ 为

$$N = \frac{D}{h \cdot \tan\varphi} \approx \frac{D}{h \cdot \varphi} = \frac{D \cdot n_{PR}}{h \cdot \theta}。 \tag{7}$$

当光刻光线倾斜入射PR面时,设任意一光刻光线倾斜 $i$ 后的入射角为 $\theta+i$ ,其在PR内的折射角为 $\gamma$ ,折射光线为EF。PR面在lens焦点上方位置,PR厚度为 $h$ ,PR、空气的折射率分别为 $n_{PR}$ 、 $n_{空}$ ,光刻区域中心与非光刻区域的距离为 $D$ (图6)。当 $\theta$ 、 $i$ 很小时,PR内EF光线反射1次时,其横向距离 $c$ 为

$$c = h \cdot \tan\gamma \approx h \cdot \gamma。 \tag{8}$$

由折射定律得：

$$\begin{aligned}
 \gamma \approx \sin\gamma &= \frac{n_{空} \cdot \sin(\theta+i)}{n_{PR}} \approx \frac{\theta+i}{n_{PR}}, \\
 n_{空} &= 1。 \tag{9}
 \end{aligned}$$

由式(8)、式(9)得：

$$c = \frac{h(\theta+i)}{n_{PR}}。 \tag{10}$$

式(10)即为任意一入射角为 $\theta$ 的衍射光线倾斜 $i$ 后,在PR内反射1次时的横向距离,较未倾斜时,在PR内反射1次时的横向距离差值 $\delta$ 为

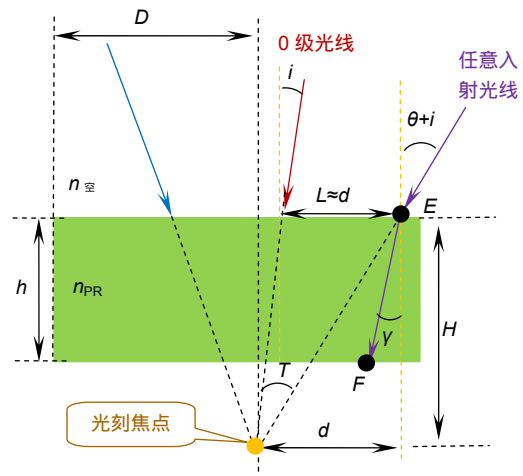


图6 任意入射光线倾斜入射时PR内的反射光线  
Fig. 6 The reflection light in PR when incident light is oblique incidence

$$\delta = \frac{h \cdot (\theta + i)}{n_{PR}} - \frac{h \cdot \theta}{n_{PR}} = \frac{i}{n_{PR}} \quad (11)$$

由式(6)知,要使得任意衍射光线倾斜与非倾斜时,在 PR 内的最终反射光强相等,需要二者在保证入射光强相同的同时,二者反射次数也相同,当  $i$  较小时可认为入射光线倾斜时入射光强与非倾斜时入射光强相等,再由式(7)、式(11)及图 6 可得:

$$d = N \cdot \delta = \frac{D \cdot i}{h \cdot \theta} \quad (12)$$

式中: $\theta$ 为垂直入射时的任意衍射光线的入射角度, $i$ 为该衍射光线经光刻机倾斜补偿后增加的倾斜角度, $D$ 为光刻区域中心与非光刻区域的距离(当 DICD 测试为线间距  $b$  时, $D=0.5 \cdot b$ ), $h$ 光刻 PR 膜厚。

由式(12)可知, $N$ 越大则  $d$ 越大,同时由式(7)知, $\theta$ 越小,则  $N$ 越大。 $\theta$ 可近似取为光刻光线通过 mask 后的衍射角度  $w$ ,由光栅衍射公式可计算出垂直入射时,任意衍射光线的入射角度  $\theta$ (式(13))。可见除 0 级光线外, $\theta$ 均为度级,同时光刻机对 PR 面进行倾斜调整时,其调整量为秒级(以 Canon 732 系列投影光刻机为例,最大倾斜调整量要求小于  $0.5''$ ),即  $\theta > i$ ,由式(7)、式(12),对于非 0 级光线,当近似取  $\theta=i$  时,可得最大  $N$ 和最大  $d$ 值,对于 0 级光线,由于  $i$ 较小,同样近似取  $\theta=i$ 处理。

$$\theta \approx w \approx \sin w = \frac{K \cdot \lambda}{P}, K=0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (13)$$

式中: $w$ 为光刻光线通过 mask 后的衍射角度, $K$ 为衍射光线级数, $P$ 为 mask 光刻光栅常数, $\lambda$ 为光刻波长。

当  $\theta=i$  时,对于式(12)可得:

$$d = \frac{D}{h} \quad (14)$$

设光刻机 lens 系统的数值孔径为  $NA$ ,最大汇聚角度为  $T$ ,由光刻机数值孔径公式:

$$NA = n \cdot \sin T \quad (15)$$

可得:

$$\begin{aligned} \tan T \approx \sin T &= \frac{NA}{n_{\text{空}}} = NA, \\ n_{\text{空}} &= 1 \end{aligned} \quad (16)$$

设 PR 面的调整量为  $H$ 则由图 6 及式(14)、式(16)可得 PR 面调整量  $H$ 为

$$H \approx \frac{L}{\tan T} \approx \frac{d}{\tan T} = \frac{D}{h \cdot NA} \quad (17)$$

式中: $H$ 即为入射光线倾斜入射 PR 面时 PR 面的调整量。

## 4 改善流程

减小光刻基板倾斜对光刻图形的影响,首先要确认 PR 膜厚( $h$ )、光刻机数值孔径( $NA$ )、光刻产品的光刻区域线间距的  $1/2$  宽度( $D$ ),然后根据式(17)计算 PR 面的补偿量并进行补偿,最后对改善结果进行确认。

为验证上述计算结果对光刻机在最小分辨率条件下的光刻图形质量改善情况,实验分别选取外围区域(fanout 区域)线间距为  $2.2 \mu\text{m}$ ( $D=1.1 \mu\text{m}$ )的某型号正常产品与线间距为  $1.6 \mu\text{m}$ ( $D=0.8 \mu\text{m}$ )的单层光刻产品,进行源漏极(source drain layer, SD)层光刻,使用相移掩膜版(phase shift mask, PSM, 其中线间距为  $1.6 \mu\text{m}$ 的 PSM mask 为 test mask,仅用于测试),光刻机型号为 Canon E732 光刻机系列投影光刻机(分辨率 $\geq 3.0 \mu\text{m}$ ,焦深  $DOF=\pm 20 \mu\text{m}$ ,使用 i、g、h 紫外光线,波长( $\lambda$ )约  $0.4 \mu\text{m}$ ,光刻条件及 PR 面补偿量相关参数见表 1。

## 5 结果与分析

对于正常光刻产品:根据上述计算的 PR 面补偿量,对 PR 面调整  $8.8 \mu\text{m}$ ,并与 PR 面未调整( $0 \mu\text{m}$ )时 SD fanout 区域的光刻图形进行了比较(图 8、图 9)。可见:

1) PR 面未调整时(图 8,正常光刻条件),由于光刻光线倾斜入射 PR 面,PR 内反射光线对左右非光刻区域的光刻程度不对称,光刻图形左右坡度角相差较大( $5.1^\circ$ ),PR 面调整  $8.8 \mu\text{m}$ 后(图 9),PR 内反射光线对左右非光刻区域的光刻程度大幅度减弱,左右非光刻区域光刻程度差异减小,光刻图形左右坡度角相差较小( $2.1^\circ$ );

表 1 光刻条件及 PR 面补偿量

Table 1 The lithography conditions and the compensation of PR plane

测试产品	正性光刻 胶膜厚 $h/\mu\text{m}$	光刻波长 $\lambda/\mu\text{m}$	NA	$D/\mu\text{m}$	PR 面补偿量 $H/\mu\text{m}$
正常产品(Fanout 线间距: $2.2 \mu\text{m}$ )	1.5	0.4	0.083	1.1	8.83534
单层产品(Fanout 线间距: $1.6 \mu\text{m}$ )	1.5	0.4	0.083	0.8	6.425703

2) PR 面调整  $8.8\ \mu\text{m}$  较未调整, PR 坡度角增加了约  $6.4^\circ$ (提升约 13.3%), PR 残留(图 8 坡度角 2 处附近处 PR 残留)消失。这是因为 PR 面调整  $8.8\ \mu\text{m}$  是基于减小光刻胶内反射光线对非光刻区域的光刻光强及增加光刻区域光刻胶底部的光刻光强为基础而推导计算的结果;

3) 由图 7~10(PR 面分别调整  $-8.8\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m}$ 、 $8.8\ \mu\text{m}$ 、 $18\ \mu\text{m}$ )可以看出, PR 面调整  $-8.8\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m}$  时, 出现光刻 PR 残留, 且 PR 面调整  $-8.8\ \mu\text{m}$  时的 PR 残留更严重, 二者左右非光刻区域光刻程度差异大(光刻图形左右坡度角相差较大)。PR 面调整  $18\ \mu\text{m}$  时, 左右非光刻区域光刻程度差异减小, 光刻图形左右坡度角相差较小, 但由于该光刻产品的线间距已处于光刻系统的极限分辨率, 且光刻时又处于光刻系统 DOF 边

缘, 故光刻后同样出现了部分 PR 残留, 且 PR 残留程度与 PR 面调整  $0\ \mu\text{m}$  时相当, 这也说明了最佳光刻位置应位于  $0\sim 18\ \mu\text{m}$  区间(最佳光刻平面位置可由  $(0+18)/2=9\ \mu\text{m}$  近似计算得出), 这与公式推导计算的  $8.8\ \mu\text{m}$  结果相符合。

对于单层光刻产品: 根据 PR 面的补偿量计算结果, 对 PR 面调整  $6.4\ \mu\text{m}$ (图 13), 并通过对比 PR 面调整  $-6.4\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m}$ 、 $15\ \mu\text{m}$ (图 11、图 12、图 14)光刻结果, 可以得到与正常光刻产品相同的结论: PR 面调整  $6.4\ \mu\text{m}$  后, 光刻图形左右非光刻区域的光刻程度差异减小, 光刻图形左右坡度角相差较小, 光刻图形 PR 残留得到改善, 最佳光刻平面位于  $0\sim 15\ \mu\text{m}$  区间, 即实验结果不受下层图形结构的影响, 并与前文推导计算结果相符合。

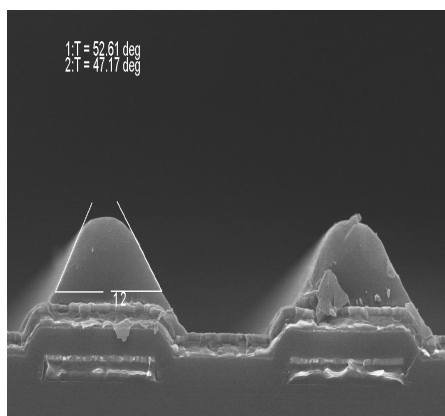


图 7 PR 面补偿  $-8.8\ \mu\text{m}$  时正常产品光刻图形 SEM 照片

Fig. 7 The SEM picture of lithography pattern of normal product after PR surface offset  $-8.8\ \mu\text{m}$

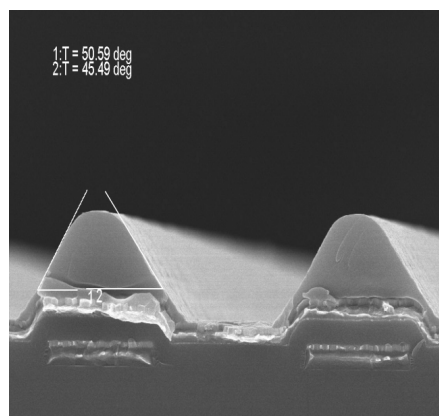


图 8 PR 面补偿  $0\ \mu\text{m}$  时正常产品光刻图形 SEM 照片

Fig. 8 The SEM picture of lithography pattern of normal product after PR surface offset  $0\ \mu\text{m}$

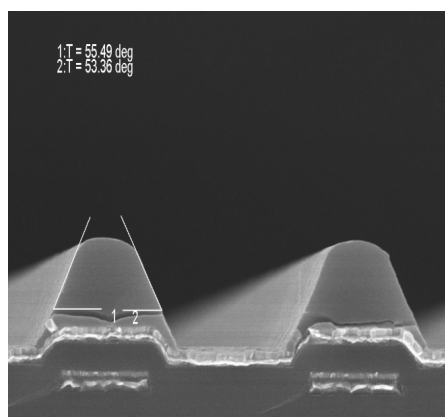


图 9 PR 面补偿  $8.8\ \mu\text{m}$  时正常产品光刻图形 SEM 照片

Fig. 9 The SEM picture of lithography pattern of normal product after PR surface offset  $8.8\ \mu\text{m}$

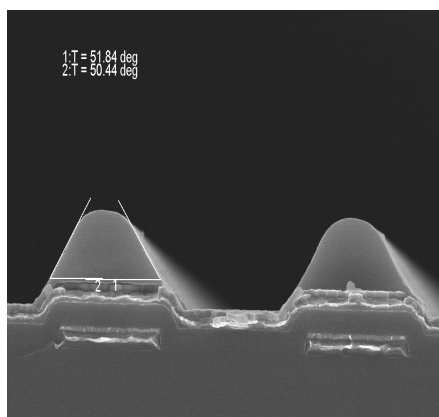


图 10 PR 面补偿  $18\ \mu\text{m}$  时正常产品光刻图形 SEM 照片

Fig. 10 The SEM picture of lithography pattern of normal product after PR surface offset  $18\ \mu\text{m}$

图 15、图 16 分别为正常光刻产品与单层光刻产品,在不同的 PR 面调整量下的 DICD 均值与均一性结果(DICD 测试位置为像素区域的线宽;正常光刻产品管控值  $(3.7\pm 0.5)\mu\text{m}$ ,单层光刻产品管控值  $(3.4\pm 0.5)\mu\text{m}$ ),可以看出,对于正常光刻产品:

1) PR 面+8.8  $\mu\text{m}$  时,由于 PR 底部光刻光强加强,故 DICD 较 PR 面未补偿时偏小,同时由于 PR 面补偿后,PR 面仍处于光刻机焦深(DOF= $\pm 20\mu\text{m}$ )范围内,光强变化量较小,故 DICD 偏移量较小;

2) 由于减小了 PR 内的反射光线对非光刻区域 PR 的不稳定光刻影响,故较 PR 面未补偿时,PR 面补偿 8.8  $\mu\text{m}$  后 DICD 均一性得到改善(DICD 均一性改善 14.7%);

3) PR 面补偿 8.8  $\mu\text{m}$  时,相较-8.8  $\mu\text{m}$ ,DICD 均值偏小,DICD 均一性明显较好,这同样主要是由于 PR 内反射光对非光刻区域 PR 光刻的不稳定影响削弱及 PR 底部光刻光强增加所引起的结果,这也进一步说明了光刻时,PR 面位于光刻焦点以上的条件更优;

4) 从 PR 面分别调整-8.8  $\mu\text{m}$ 、0  $\mu\text{m}$ 、8.8  $\mu\text{m}$ 、18  $\mu\text{m}$  的 DICD 结果可以看出,PR 面调整 8.8  $\mu\text{m}$  时,DICD 最小,DICD 均一性最好,这也说明了前文推导计算出 PR 面补偿结果的正确性。

对于单层光刻产品,DICD 均值与均一性随 PR 面调整量的变化趋势,与正常光刻产品所呈现的结果趋于一致。这也同样说明了本文推导计算结果的正确性与可靠性。

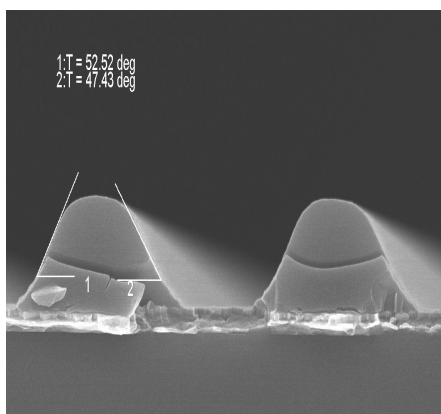


图 11 PR 面补偿-6.4  $\mu\text{m}$  时单层光刻图形 SEM 照片

Fig. 11 The SEM picture of lithography pattern of single layer after PR surface offset -6.4  $\mu\text{m}$

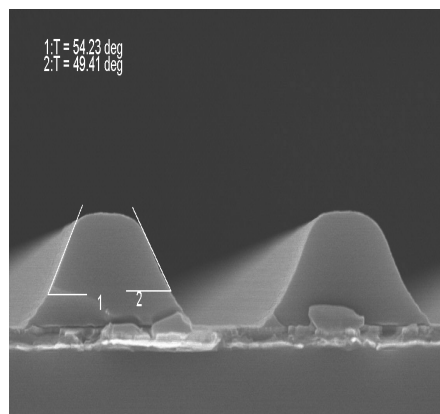


图 12 PR 面补偿 0  $\mu\text{m}$  时单层光刻图形 SEM 照片

Fig. 12 The SEM picture of lithography pattern of single layer after PR surface offset 0  $\mu\text{m}$

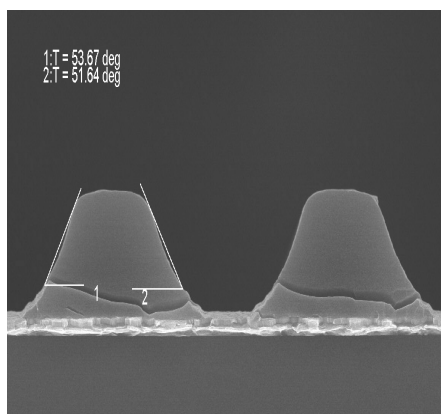


图 13 PR 面补偿 6.4  $\mu\text{m}$  时单层光刻图形 SEM 照片

Fig. 13 The SEM picture of lithography pattern of single layer after PR surface offset 6.4  $\mu\text{m}$

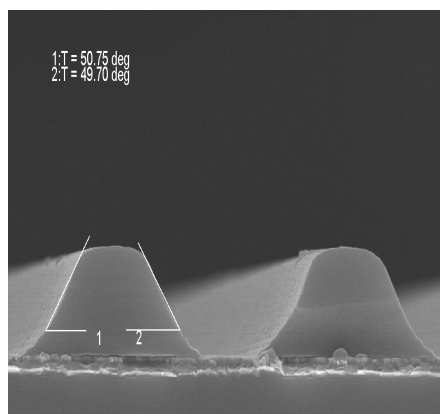


图 14 PR 面补偿 15  $\mu\text{m}$  时单层光刻图形 SEM 照片

Fig. 14 The SEM picture of lithography pattern of single layer after PR surface offset 15  $\mu\text{m}$

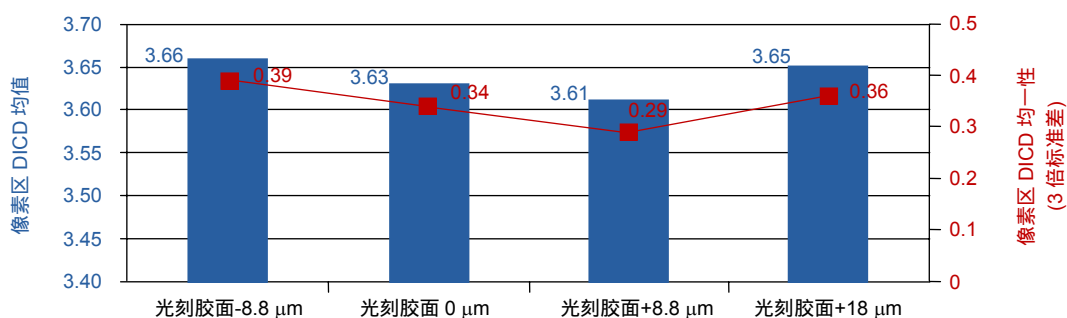


图 15 正常产品不同补偿量下 DICD

Fig. 15 The DICD of different offset of normal product

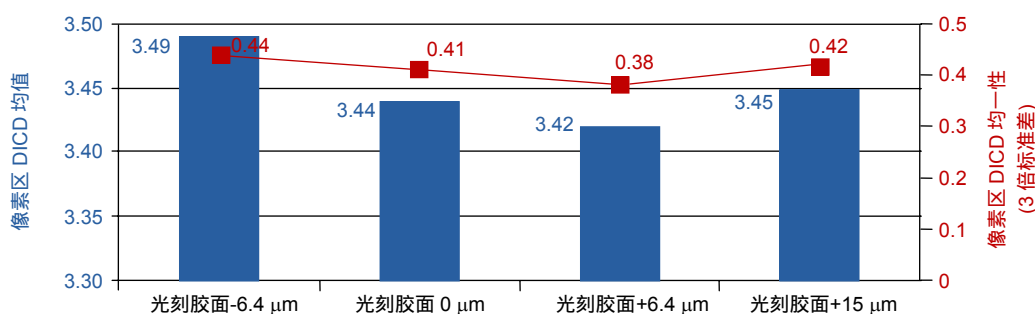


图 16 单层光刻时不同补偿量下 DICD

Fig. 16 The DICD of different offset of single layer

## 6 结论

TFT 光刻时,光刻机调焦补偿是基于基板上的 PR 面进行的,调焦补偿会引起 PR 面的倾斜,从而导致光刻光线倾斜入射 PR 面,光线倾斜入射 PR 面会导致 PR 内反射光线对非光刻区域光刻光强加强,PR 底部表面光刻光强减弱的结果,从而会出现光刻图形 PR 残留缺陷。本文从光刻光线在 PR 内的反射特点出发,推导出光刻光线倾斜入射 PR 的情况下,PR 内反射光线对非光刻区域光刻光强减弱,光刻区域内 PR 底部表面光刻光强增强时,PR 面调整量的计算公式。结果表明,以推导公式计算出的调整量对 PR 面进行补偿后,相对 PR 面不补偿时,正常光刻产品的光刻图形坡度角提高 13.3%,PR 残留消失,DICD 均值少量减少的同时,DICD 均一性提高 14.7%。

## 参考文献

[1] Xiao W J. A research on crosstalk in TFT-LCDs[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014: 1-4.  
肖文俊. 薄膜晶体管液晶显示器的串扰研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014: 1-4.

[2] Lou J H, Jing S, Wu T Y, et al. Effect of threshold-voltage of Oxide-TFT on the reliability of LCD display[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2017, **39**(3): 383-387.  
楼均辉, 姜妹, 吴天一, 等. 金属氧化物 TFT 阈值对 LCD 显示屏

可靠性的影响[J]. *发光学报*, 2017, **39**(3): 383-387.

[3] Li L, Wen D Z, Li G, et al. Focused fabrication and characteristics of  $\alpha$ -Si: H TFTs based on silicon-on-insulator materials[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2015, **27**(2): 173-177.  
李蕾, 温殿忠, 李刚, 等. 基于 SOI 材料  $\alpha$ -Si: H TFTs 的制作和特性研究[J]. *强激光与粒子束*, 2015, **27**(2): 173-177.

[4] Liu D, Qin G, Cai W C, et al. Profile and critical dimension bias of Mo/Al/Mo electrode[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, **32**(11): 877-885.  
刘丹, 秦刚, 蔡卫超, 等. Mo/Al/Mo 结构电极的坡度角和关键尺寸差研究[J]. *液晶与显示*, 2017, **32**(11): 877-885.

[5] Chen C L, Di C L, Tang X P, et al. High-speed focusing technique for lithography based on line scan CCD[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, **44**(8): 2389-2394.  
陈昌龙, 邸成良, 唐小萍, 等. 基于线阵 CCD 的高速光刻检焦技术[J]. *红外与激光工程*, 2015, **44**(8): 2389-2394.

[6] Zhuang Y Z, Qi J C, Chen X J. Research on test method of focusing and leveling system based on scanning mirror modulation[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2017, **36**(10): 45-47.  
庄亚政, 齐景超, 陈小娟. 基于扫描反射镜调制的调焦调平系统测试方法研究[J]. *传感器与微系统*, 2017, **36**(10): 45-47.

[7] Zhang Y H, Li Y W, Liu X B, et al. Effect of segment difference of photoresist on lithography pattern and improvement[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, **33**(8): 653-660.  
张玉虎, 李亚文, 刘小波, 等. 光刻胶段差对光刻图形的影响与改善[J]. *液晶与显示*, 2018, **33**(8): 653-660.

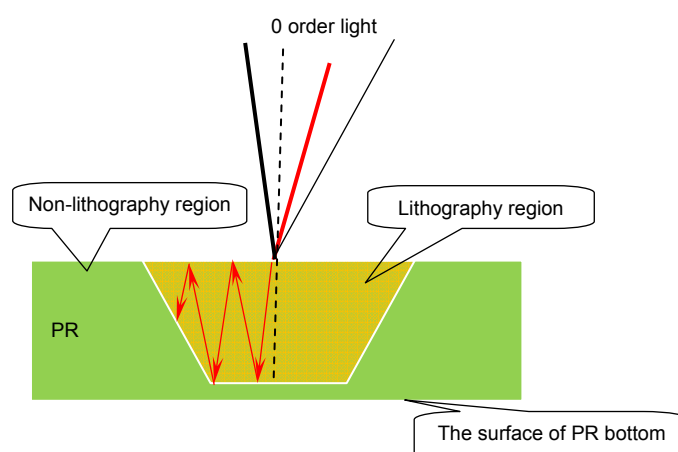
[8] Zhao K H. *Optics*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 277-280.  
赵凯华. *新概念物理教程-光学*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 277-280.



# The effect of TFT lithography plane inclination on lithography pattern and improvement

Zhang Yuhu\*, Li Yawen, Luo Chuanwen, Li Li, Cao Shaobo, Ma Xiaohui

Hefei BOE Optoelectronics Technology Co. Ltd, Hefei, Anhui 230012, China



The reflected light in PR at oblique incidence

**Overview:** In the lithography process of thin film transistor (TFT), the DICD (develop inspection critical dimension) of the TFT affects the characteristics of TFT device, which is the key factor to determine the resolution of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) and the yield of driving. With the development of TFT-LCD, people's demand for the high-resolution display is increasing, but the high-resolution display requires TFT to have the small line width and narrow line space, which also determines the DICD formed by photolithography process to become smaller and smaller, so it will make the lithography machine tend to its minimum resolution when the lithography machine carries on the lithography craft. In actual production, in order to improve the resolution of lithography machine, the way of compensating and adjusting the focusing and leveling system of lithography plane is used, which makes the lithography plane of PR tend to the focus plane of lithography system, so as to achieve the goal of minimum resolution imaging. However, in actual production, due to continuous compensation, the actual adjustment margin is small and the improvement effect is limited. The adjustment is mainly compensated by the PR plane inclining, and the lithography light is no longer incident perpendicularly to the PR plane. As a result, the lithography light is inclined to the PR plane, which will lead to the enhancement of the lithography intensity in the non-lithography region caused by the reflection of PR, and the weakness of the lithography intensity on the surface of PR bottom, which will reduce the lithography machine's ability of the fine-line lithography at minimum resolution. In order to improve the quality of lithography pattern under the minimum resolution of lithography machine, the reflection characteristics of light in the photoresist is studied in this paper, based on reducing the intensity of the reflected light in the photoresist on the non-lithography region and increasing the intensity of the photoresist at the bottom on the lithography region, the computational formula for the lithography plane position adjustment of the photoresist is deduced under the oblique incidence. The adjustment amount is calculated by the formula and the lithography plane is adjusted by the adjustment. The results show that for the projection lithography machine with the minimum resolution of  $3.0\ \mu\text{m}$  and the product with the line space of  $2.2\ \mu\text{m}$ , after adjusting the lithography plane of photoresist with this adjustment, the slope angle of the lithography pattern is increased by 13.3%, and the uniformity of the DICD is improved by 14.7%, the photoresist remain of the lithography pattern is resolved.

**Citation:** Zhang Y H, Li Y W, Luo C W, *et al.* The effect of TFT lithography plane inclination on lithography pattern and improvement[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, **46**(10): 180679

\* E-mail: zhangyuhu@boe.com.cn