

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.02.009

大尺寸掩膜版显影工艺研究

张华超, 葛翔, 熊启龙

(合肥清溢光电有限公司, 合肥 230011)

摘要: 对大尺寸(520 mm×800 mm及以上)掩膜版生产过程中的连续喷雾显影液方式和狭缝液帘显影液方式进行对比分析,通过实验及生产过程的监控,得出了两种显影液方式的优缺点。综合对比得出,在掩膜版的生产过程中,选择狭缝液帘显影液方式最佳。

关键词: 大尺寸掩膜版;显影工艺;显影喷嘴;狭缝液帘;均匀性

中图分类号: TN305 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)02-0129-04

Study on Developing Process of Large-size Mask

ZHANG Huachao, GE Xiang, XIONG Qilong

(Hefei Qingyi Photomask Limited Company, Hefei 230011, CHN)

Abstract: The Spray development spray mode and Slit development spray mode in the production process of large-size mask were compared and analyzed. Through experiments and production process monitoring, the advantages and disadvantages of the two development spray modes were obtained. Through comprehensive comparison, it was concluded that Slit development spray mode was better in the production process of mask plate.

Key words: large-size mask; developing process; developing nozzle; slit liquid curtain; uniformity

引 言

随着平板显示行业的不断发展,图形的特征尺寸(Critical Dimension, CD)不断缩小,精度要求不断提高。应用于平板显示行业的大尺寸掩膜版的精度要求也随之提高。

掩膜版上图形的主要制作流程有:光刻→显影→蚀刻→脱膜→检查、测量等,其中光刻及显影是决定产品精度的重要环节^[1]。显影是将正性光刻胶

的曝光区或负性光刻胶的非曝光区的光刻胶在显影液中溶解,从而在版面形成图形的过程,如图1所示。正性光刻胶被曝光后,分子键断裂,易溶解于显影液,负性光刻胶与之相反。曝光区的光刻胶被显影液溶解后,下方的铬层显露出来,为后面的蚀刻工艺做准备。在掩膜版行业,一般使用正性光刻胶,使用碱性显影剂,最常用的显影剂是TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydride),浓度1.83%。

显影喷嘴是显影工艺中的关键部件,显影工艺

收稿日期:2021-12-28

作者简介:张华超(1992—),男,工程师,从事掩膜版显影、蚀刻工艺方面的工作;(E-mail:792181583@qq.com)

葛翔(1997—),男,工程师,从事掩膜版显影、蚀刻工艺方面的工作;

熊启龙(1972—),男,从事掩膜版制造工艺的研究。

* 通讯作者

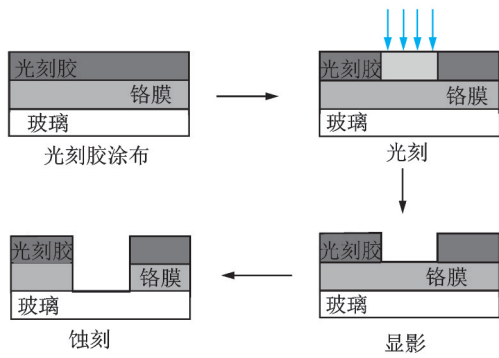


图1 正性光刻胶显影成像流程图

Fig.1 Development and imaging flow chart of positive photoresist

的发展伴随着显影喷嘴的优化。掩膜版的图形是通过显影后显现,显影过程中对特征尺寸值产生影响的原因有很多种,主要的因素有显影液的温度、显影液的流量大小、显影喷液方式及显影时间等。显影液的喷洒方式与显影喷嘴有关,显影喷嘴可分为:1)扫描式,如图所示,显影喷嘴底部有一个狭长的缝,显影臂在掩膜版上方移动,显影液从喷嘴底部的狭缝中流出,同时掩膜版匀速旋转,从而使得显影液快速地覆盖整个版面。2)多个喷嘴动态喷洒,如图2(b)所示,显影手臂底部有多个小喷嘴,显影臂移动到版中心后开始喷洒显影液,或从中心到边缘往复运动,同时掩膜版匀速转动,将显影液覆盖整个版面。3)单一喷嘴,如图2(c)所示,显影臂移动到版中心位置,喷嘴喷洒显影液,同时掩膜版匀速旋转,在离心力的作用下,使显影液覆盖整个版面。

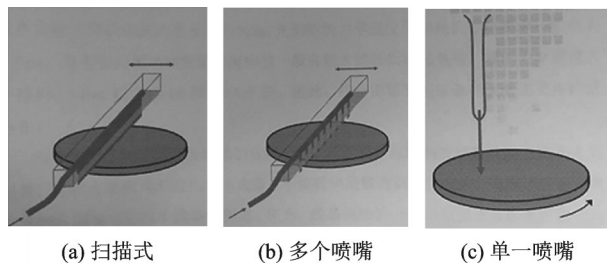


图2 显影喷液示意图

Fig.2 Schematic of developing spray

1 持续喷雾喷液方式

当前常用的显影方式为持续喷雾喷液方式,该种喷液方式使用的喷嘴为H型喷嘴,如图3(a)所示。选用喷嘴时的关键参数有喷射的角度和流量,一般情况下喷嘴的流量是固定的,所以在选用喷嘴时主要考虑喷嘴的喷射角度,如图3(b)。喷射角度是指喷嘴喷射

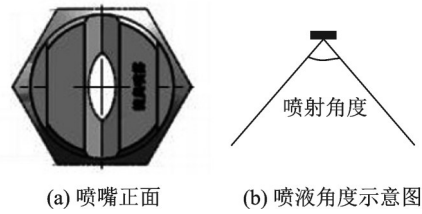


图3 H型喷嘴

Fig.3 H-type nozzle

出的扇形液面的角度,如果喷射角度过大,会造成喷到版面的液膜过薄,导致显影不完全;如果喷射角度过小,会造成喷到版面的液膜过厚,导致显影液不能充分反应,产生浪费。目前常用的喷嘴角度为110度。

正常工作时,喷嘴喷出的液应该是均匀的雾状,这是工艺稳定的前提。为了喷嘴能正常的喷液,就需要达到一定的流量和压力。如果液体的流量或压力较小,喷雾就会变的不均匀,甚至会出现滴液的现象。所以,在供液时就需要对存放液体的罐体内部进行加压,使液体达到一定的压力,确保喷液均匀。目前常用的加压方式是充高纯氮气加压,一是因为氮气是惰性气体,不会与显影液发生化学反应;二是因为高纯氮不含杂质及颗粒物,不会造成喷嘴堵塞。

持续喷雾显影喷液方式喷液冲击力大,易造成缺陷;显影时喷液情况受多个因素的影响(喷射角度、压力、手臂高度等),调整难度较大,工艺宽容性较低;工艺维护时,不确定因素较多,不利于工艺的稳定。

2 狭缝液帘喷液方式

新设备的显影方式采用狭缝液帘喷液方式,如图4所示。狭缝液帘喷液方式是狭缝液帘喷液方式。喷液

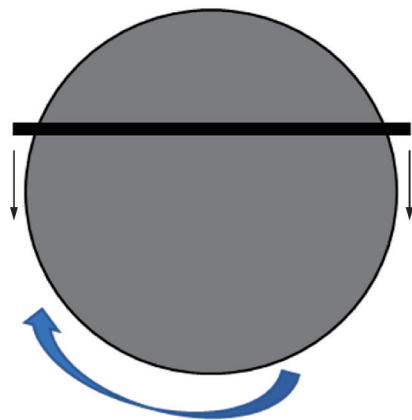


图4 狭缝液帘显影示意图

Fig.4 Schematic of Slit development

手臂长度与载台直径相当,可在载台上方前后往复移动,喷液手臂的出液口是一条宽度0.2 mm的缝,出液口上方均匀排列若干出液管,每个出液管都单独由一个阀门控制开合,喷液时各个出液管同时喷出药液,通过狭缝形成液帘,喷到版面,喷嘴分布见图5。根据版的尺寸大小,通过选择出液管开合的数量来调节液帘的长度,保证液帘能够完全覆盖整个版面。狭缝内部设有回吸阀,喷液结束后,防止药液滴落在版面形成缺陷。喷液和喷去离子水使用的是同一个喷嘴,这样喷嘴经过大量的去离子水冲洗,不会有药液残留,也就没有产生结晶的风险。待机时喷嘴浸入到溢流槽内,溢流槽内的水一直流动循环,可防止喷嘴遭到污染或堵塞。

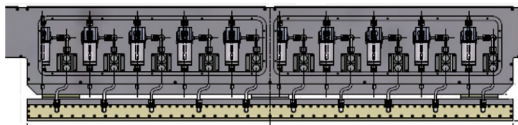


图5 狭缝液帘喷嘴示意图
Fig.5 Diagram of Slit nozzle

狭缝液帘的供液由泵将药液从存放罐内抽出,打到喷嘴末端。泵的频率固定,出液量固定,喷液流量稳定,一般稳定在20 lpm。这种喷液方式压力小,对版面的冲击力较小^[3],做小线缝的图形时不会担心光刻胶倒塌。在喷液手臂移动的同时,载台进行匀速旋转,能在更短的时间内使药液均匀覆盖整个版面,做出的图形的CD分布更加均匀,Range(极差)更小,精度更高。

狭缝液帘喷液方式具有喷液稳定、冲击力小、药液覆盖速度快等优点。但也由于喷液冲击力小,显影后光刻胶颗粒残留的风险增加,导致小黑点缺陷产生的几率增加。狭缝液帘的喷嘴是喷液和喷DI水共用的,显影工艺中,喷完药液后,会喷大量的DI水进行冲洗,这样狭缝液帘喷嘴内部就不会有药液的残留,也不会有结晶产生。狭缝液帘液帘的稳定性主要依靠流量的稳定性,流量的稳定性主要依靠供液泵频率的稳定性,所以只要定期(半年或一年)对供液泵进行点检及维护,确保其能正常、稳定地运行,就能保证工艺的稳定。所以狭缝液帘喷液方式维护项目较少,维护频率较低,因素(频率)确定,利于工艺的稳定。

3 两种显影方式产品数据对比

3.1 CD精度对比

选取6张相同材料的版(尺寸700 mm×800 mm),同一供应商、同一批次,光刻胶类型均为

GRX7650,使用同一台光刻机(迈康尼P8-HT)进行光刻,光刻DOSE(能量)均为3 100,图形设计相同,整版分布。对6张测试版进行编号:#1、#2、#3、#4、#5、#6。#1、#2、#3片使用持续喷雾喷液方式进行显影,#4、#5、#6片使用狭缝液帘喷液方式进行显影。然后用相同工艺进行蚀刻、去胶^[4]。

测试之前,对两台设备进行工艺维护,确保测试时的工艺稳定。经过一系列的调试,两台显影设备的工艺参数:显影时间、转速、手臂移动的速度、进气和排气频率等均达到各自最佳的状态。

测量时,使用同一台测量设备进行图形CD的测量,目前生产使用的测量CD设备是日本V-Tech公司的Venus1416AT-HCD,自动测量模式下,它的测量重复性误差不超过10 nm($3\sigma \leq 0.01 \mu\text{m}$)。测量前,使用金版进行设备校准。测量方法:从图形边缘开始,等间距选取100个点(10×10)进行测量,如图6所示。每个点各自测量CD,最后得出最大值、最小值和平均值。由于整版图形中有多种不同大小的线缝,为确保数据的可靠性,在选取测量点时,每个测量点位的图形设计值都相同。CD测量的图形类型大致分为四种:线、缝、线缝之和及孔。本次实验中,测量点位的图形为设计值2 μm 的横缝。

测量结果如表1~2所示。

将两组数据进行对比,如图7所示,可以看出:持续喷雾喷液方式显影的版,CD Range(极差)为0.120 μm 左右,CD MTT(偏差)为0.100 μm 左右;狭

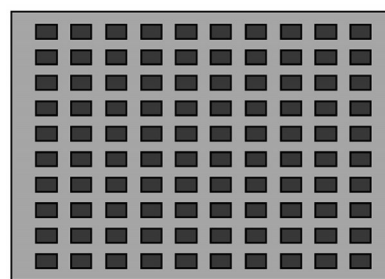


图6 CD测量点位分布图

Fig.6 Distribution map of CD measurement points

表1 持续喷雾喷液方式CD数据

Tab.1 The CD data of Spray development

单位/ μm	#1	#2	#3
目标值	2	2	2
平均值	2.086 4	2.099 3	2.106 8
最大值	2.142 8	2.155 0	2.170 9
最小值	2.022 8	2.031 0	2.058 3
极差	0.119 9	0.124 0	0.112 6
偏差	0.086 4	0.099 3	0.106 8

表 2 狭缝液帘喷液方式 CD 值

Tab.2 The CD data of Slit development

单位/ μm	#4	#5	#6
目标值	2	2	2
平均值	2.049 2	2.062 3	2.035 7
最大值	2.099 3	2.104 7	2.085 7
最小值	2.025 4	2.019 6	2.002 1
极差	0.073 9	0.085 1	0.836
偏差	0.049 2	0.062 3	0.035 7

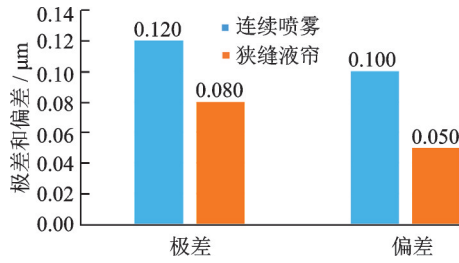


图 7 CD 数据比较

Fig.7 Comparison of CD data

缝液帘喷液方式显影的版, CD Range 为 $0.080 \mu\text{m}$, CD MTT 为 $0.050 \mu\text{m}$ 左右。CD Range 更小, 说明整版的 CD 分布更加均匀, 精度更高, 工艺更稳定。

3.2 缺陷密度对比

通过收集两种显影方式生产的订单的缺陷数据, 对比其中同一台光刻设备光刻、相同版材和图层的数据可得: 两种显影方式的平均缺陷密度相当, 均在 0.005 dpsc (每平方米内的缺陷数量) 左右, 如图 8 所示。但是, 持续喷雾喷液方式显影的版, 出现了冲击类的缺陷, 如图 9(a) 所示, 主要是因为持续喷雾喷液冲击力较大, 小线缝处的光刻胶倒塌形成混合类的缺陷; 然而, 喷液冲击力较大也有一定的好处, 显影后的光刻胶颗粒冲洗的更加干净, 小黑点类的缺陷较少。狭缝液帘喷液方式显影的版, 未出现混合类的缺陷, 缺陷主要以小黑点为主, 如图 9(b) 所示, 主要是因为狭缝液帘喷液冲击力小, 光刻胶颗粒冲洗的不彻底, 残留在版面的光刻胶颗粒会阻碍蚀刻的进行, 形成小黑点缺陷。不过小黑点缺陷容易修补, 不会占用太多机时, 而且可以通过提高显影后冲 DI 水时的转速和时间来改善。

根据以上研究, 两种显影喷液方式各有优缺点, 具体对比如表 3 所示。

4 结 语

在显影过程中, 显影液涂布的过程最为关键, 调整显影参数的作用是有限的, 除此之外显影的喷嘴

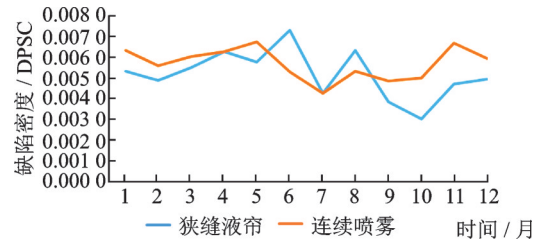
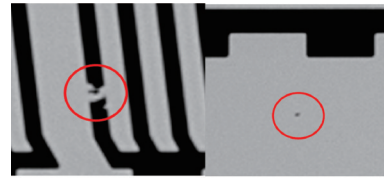


图 8 缺陷密度对比

Fig.8 Comparison of defect density



(a) 冲击类缺陷 (b) 小黑点

图 9 缺陷图片

Fig.9 Defect pictures

表 3 两种显影喷液方式优缺点对比

Tab.3 Comparison between advantages and disadvantages of two developing spraying methods

喷液方式	连续喷雾	狭缝液帘
优点	药液消耗量小	冲击力小
		工艺维护便利
		工艺稳定性高
缺点	冲击力大 影响因素较多 工艺维护繁琐 工艺宽容性低	药液覆盖迅速
		CD 分布更加均匀
		药液消耗量较大

功能有直接影响。显影工艺不断改进的过程与显影喷嘴的改进息息相关, 现在显影喷嘴的改进目标是同时满足显影的均匀性、低冲击性和低耗时。为此, 显影喷嘴正向着大流量、低速出流、快速扫描的方向发展。因此选择更均匀、更稳定、低冲击的狭缝液帘显影方式作为大尺寸掩模版的显影方式是更优的选择。

参 考 文 献

[1] 吴 敏. $0.18 \mu\text{m}$ 光刻制程中显影工艺的优化[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
 [2] 郭 聪, 张怀东. 显影工艺及显影喷嘴的应用[J]. 中国高科技, 2018, 20: 21-22.
 [3] 刘学平, 朱 柯. 半导体制造领域显影工艺及显影喷嘴的发展[J]. 机械工程与自动化, 2017, 5: 219-220.
 [4] 张海平, 尤 春, 周家万, 等. 孤立接触孔掩模显影工艺优化[J]. 电子工业专用设备, 2012, 5: 25-26.