

光刻机浸没单元结构参数对流动状态的影响*

赵金余, 陈 晖, 傅 新*

(浙江大学 流体传动与控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 不同的浸没单元结构会影响缝隙流场的流动状态, 为了研究浸没单元结构参数对缝隙流场流动的影响规律, 通过计算流体动力学(CFD)仿真, 对浸没流场的流动进行了数值模拟, 开展了不同的浸没单元的注液口形状和流场高度所形成的缝隙流场的流动状态分析。研究表明: $90^\circ \sim 150^\circ$ 的注液口和 $0.7 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 的缝隙高度为理想的结构参数。

关键词: 浸没式光刻; 浸没单元; 缝隙流场; 流动仿真; 计算流体动力学

中图分类号: TH137

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)05-0545-03

Impact on fluid flow state by different structural parameters of immersion lithography unit

ZHAO Jin-yu, CHEN Hui, FU Xin

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The different structures of immersion unit should affect the flow state of gap flow field. In order to study the influences on the flow state, the computational fluid dynamics(CFD) simulations with different structures of the immersion unit were established. The analysis of different injection shapes and the height of the gap flow was carried out. The research results show that the injection angle with $90^\circ \sim 150^\circ$ and the gap height with $0.7 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ are the optimize structural parameters.

Key words: immersion lithography; immersion unit; gap flow field; flow simulation; computational fluid dynamics(CFD)

0 引 言

随着国际微电子产业的高速发展, 目前半导体芯片的特征线宽已经达到 45 nm ^[1]。浸没式光刻机是制造当代超大规模集成电路的核心设备, 它是在光刻物镜与硅片之间填充折射率大于 1 的浸没液体, 以获得大数值孔径, 来提高光刻系统分辨率^[2-3]。随着浸没式光刻中各技术难点被逐个攻克, 从国际微电子制造技术的发展趋势来看, 采用浸没式 ArF 光刻技术有望把光刻分辨率拓展到 22 nm 技术节点^[4-5]。

浸没式光刻技术由于浸没液体的引入, 也带来了一系列的问题, 如浸没液体的供给与回收方式、液体的流动对物镜的压应力和剪应力、曝光热效应对局部液

体温升的影响、光刻胶对液体造成的化学污染等^[6-10]。从浸没式光刻技术的研究现状来看, 浸没液体传送及控制系统是实现其过程的一项关键技术, 而浸没单元作为其核心部件, 它的结构参数决定了浸没液体的流动状态。

本研究通过计算流体动力学(CFD)仿真对浸没流场的流动进行了数值模拟。

1 浸没单元的工作原理

浸没装置的工作原理如图 1 所示, 浸没单元提供和回收浸没液体, 它的下表面和硅片上表面之间的缝隙便形成了圆形的浸没流场, 它的缝隙高度在毫米级。

浸没单元一般采用单侧注液、四周回收和单侧注

收稿日期: 2010-11-29

基金项目: 国际科技合作计划资助项目(2008DFR70410); 浙江省自然科学基金资助项目(R105008, D1080038)

作者简介: 赵金余(1986-), 男, 江苏南通人, 主要从事浸没式光刻流场检测与控制技术方面的研究。E-mail: goldfish1986610@zju.edu.cn

通信联系人: 傅 新, 男, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: xfu@zju.edu.cn

液、单侧回收的结构,后者如图 1 所示。不同的结构参数(如注液口形状和流场缝隙高度)将影响着液体流动的形态。为了优化浸没单元的结构,采用 FLUENT 软件对不同结构参数的浸没单元所形成流场的流动状态进行了数值模拟。

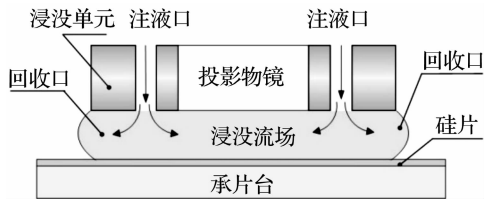


图 1 浸没装置原理示意图

2 注液口形状对流动状态的影响

2.1 仿真模型的建立

为了研究注液口形状对流场流动状态的影响,浸没单元采用单侧注液、四周回收的液体控制方式,仿真模型采用了 6 组不同形状的环形注液口 α ,如图 2 所示。

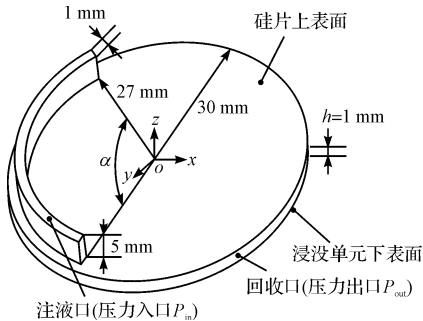


图 2 不同注液口形状的浸没单元仿真模型

浸没液体为纯水,密度为 998.2 kg/m^3 ,粘度为 0.001 003 kg/ms ,系统的注液压力 p_{in} 为 200 Pa ,回收压力 p_{out} 为 0 ,流场高度 h 为 1 mm 。仿真模型基于层流假设,划分网格时对注液口附近的网格进行了加密处理,在流场的近壁处设置了边界层,生成的网格数为 $5 \times 10^6 \sim 8 \times 10^6$ 。

2.2 仿真结果

本研究调整注液口形状从 $30^\circ \sim 180^\circ$,所得到的流场中心截面($z=0.5h$)的速度 v 分布如图 3 所示。

从图 3 可知,随着注液口角度 α 的增加,流场内部区域的平均速度变大,液体填充越来越完整,而且注液口周围旋涡变小。当注液角度 α 等于 150° 和 180° 时,注液口内侧出现了低速区,该区域的存在将可能抑制注液口的供液,导致注液口中心区域供液趋缓。

本研究取缝隙流场的中心为原点,建立 xoy 坐标系,流场中心的速度沿 x 和 y 方向分布如图 4、图 5 所示。

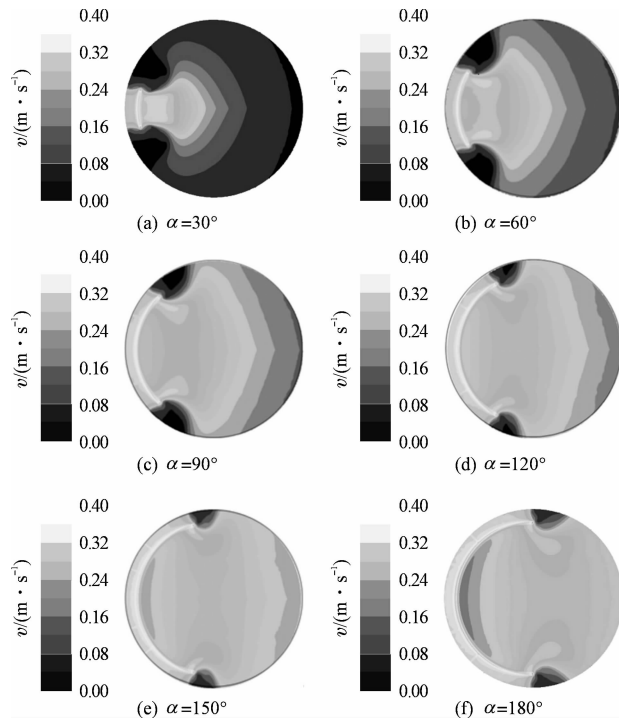


图 3 流场中心截面速度分布

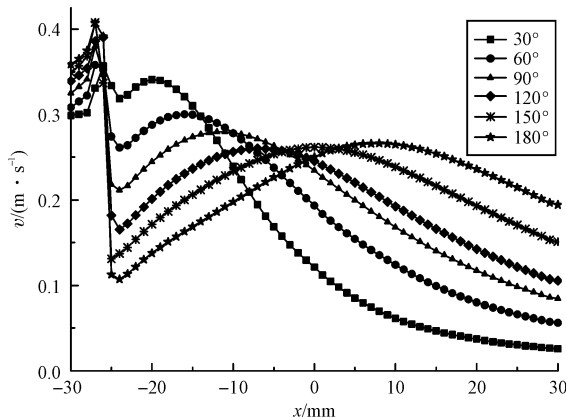


图 4 沿 x 方向流场中心的速度分布

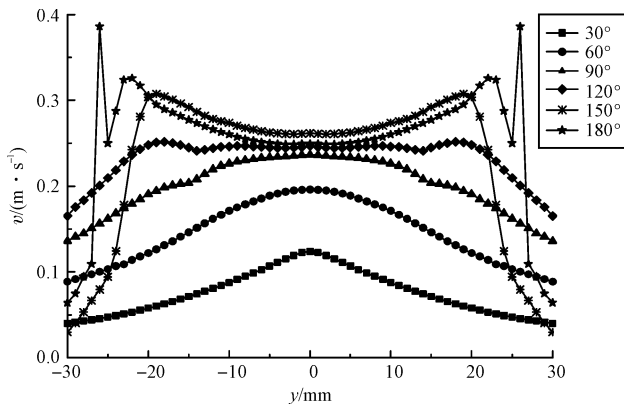


图 5 沿 y 方向流场中心的速度分布

由图 4 可知,随着注液口角度 α 的增加,注液口内侧($x = -25 \text{ mm}$)液体流动的速度从 0.32 m/s 减小到 0.1 m/s ;在远离注液口的另一侧($x = 10 \text{ mm}$),液体流

动的速度从 0.05 m/s 增加到 0.25 m/s。以上结论说明较大的注液口 α 会抑制注液口的供液,而较小的注液口使流场内液体的流动速度减慢。

由图 5 可知,当注液口角度 α 从 $30^\circ \sim 180^\circ$ 变化时, y 方向液体流动的速度增加,但注液口为 180° 时,方向液体流动的速度反而较 150° 时减小。

综上所述,采用单侧注液、四周回收的浸没单元结构时,当环形注液口 α 为 $90^\circ \sim 150^\circ$ 时,液体的平均流动速度较大,液体填充完整,能形成均一稳定的流场分布,是理想的注液口的形状。

3 缝隙高度对流动状态的影响

3.1 仿真模型的建立

为了研究不同缝隙高度对流场流动状态的影响,浸没单元采用单侧注液、单侧回收的液体控制方式,如图 6 所示。其中,注液口角度 α 取为 120° ,缝隙高度 h 的取值为 $0.1 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$,其他仿真参数同上。

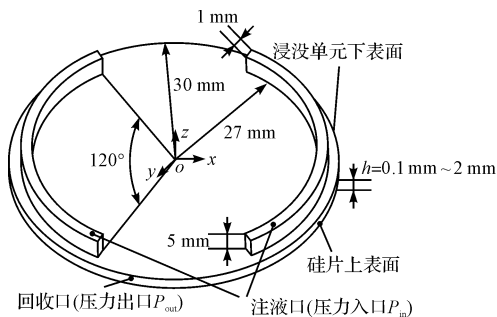


图 6 不同缝隙高度的浸没单元仿真模型

3.2 仿真结果

取缝隙流场的中心为原点,建立 xoy 坐标系,从 $0.1 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$ 改变缝隙高度时,沿 x 和 y 方向流场中心的速度分布如图 7、图 8 所示。

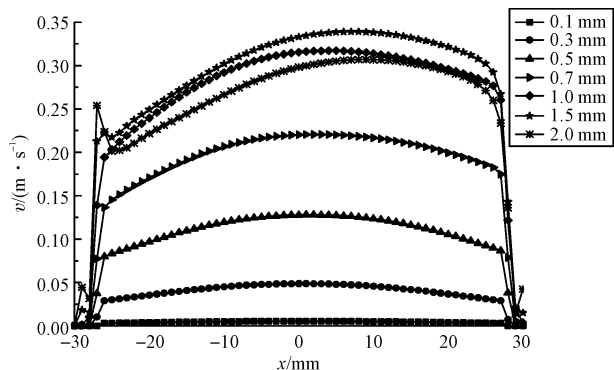


图 7 沿 x 方向流场中心的速度分布

由图 7 和图 8 可知,当缝隙高度从 0.1 mm 增加到 1.5 mm 时, x 和 y 方向的速度均增加,但 y 方向的

速度均匀区变小;当缝隙高度为 2 mm 时, x 和 y 方向的速度均比 1.5 mm 时减小,同时 y 方向的速度均匀区进一步减小。经分析认为,中心速度值的减小是由于缝隙高度增加而使注液口处局部压力损失过大造成的。此外,缝隙高度增加也会使注液口内部出现旋涡低速区,容易产生气泡且不利于液体的完整填充。为了获得较大的液体流动速度以及较大范围内均匀稳定的速度场,采用 $0.7 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 的缝隙较为合适。

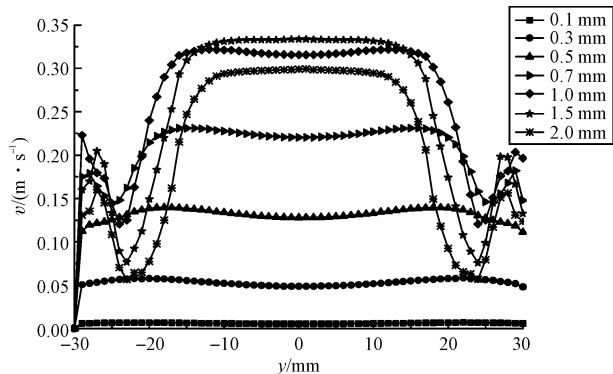


图 8 沿 y 方向流场中心的速度分布

4 结束语

本研究运用 FLUENT 软件对浸没流场的流动状态进行了数值模拟,分析了不同浸没单元结构参数对缝隙流动的影响,得到了以下几点规律:

(1) 采用单侧注液、四周回收的液体控制方式时,较大的注液口会抑制注液口的供液,较小的注液口会使流场内液体的流动速度减慢。当环形注液口 α 为 $90^\circ \sim 150^\circ$ 时,液体的平均流动速度较大,流场中心速度场分布均匀稳定,是理想的注液口形状。

(2) 采用单侧注液、单侧回收的液体控制方式时,采用 $0.7 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 的缝隙可以获得较大的液体流动速度以及较大范围内均匀稳定的速度场。同时,通过选择稍小的缝隙高度可以抑制注液口内部出现旋涡低速区以及气泡的产生,并有利于液体的完整填充。

参考文献 (References):

[1] BRATTON D, YANG D, DAI J Y, et al. Recent progress in high resolution lithography[J]. **Polymers for Advanced Technologies**, 2006, 17(2): 94-103.

[2] 傅新,陈晖,陈文昱,等.光刻机浸没液体控制系统的研究现状及进展[J]. **机械工程学报**, 2010, 46(10): 170-175.

[3] BRUECK R J, BISWAS A M. Extension of 193 nm immersion optical lithography to the 22 nm half-pitch node[C]// **Proceedings of SPIE**, 2004: 1315-1322.

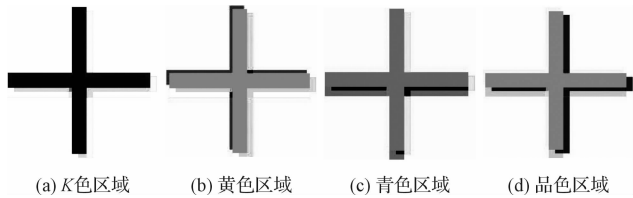


图 3 对十字线标记进行分色

本研究对 1 000 张印刷品进行检测实验,并随机抽取 5 张进行数据分析,得到的套印偏差数据如表 2 所示。(横向偏差: Δx ,纵向偏差 Δy)

表 2 5 组样品的套印偏差

偏差	青-黑	品红-黑	黄-黑
样品 1	Δx 23(0.096 5 mm)	36(0.151 2 mm)	47(0.197 4 mm)
	Δy 21(0.088 2 mm)	-22(-0.092 4 mm)	32(0.134 4 mm)
样品 2	Δx 20(0.084 0 mm)	18(0.075 6 mm)	34(0.142 8 mm)
	Δy 25(0.105 0 mm)	21(0.082 0 mm)	41(0.172 2 mm)
样品 3	Δx 15(0.063 0 mm)	16(0.067 2 mm)	11(0.046 0 mm)
	Δy 12(0.050 4 mm)	15(0.063 0 mm)	14(0.058 8 mm)
样品 4	Δx 11(0.046 0 mm)	11(0.046 0 mm)	15(0.063 0 mm)
	Δy 22(0.092 4 mm)	18(0.075 6 mm)	14(0.058 8 mm)
样品 5	Δx 12(0.050 4 mm)	13(0.054 5 mm)	12(0.050 4 mm)
	Δy 14(0.058 8 mm)	21(0.088 2 mm)	14(0.058 8 mm)

从抽样检测的 5 张印刷品套印误差结果来看,准确率达到 100%,1 000 张印刷品检测统计结果的准确率可达 94.64%,因此,本研究可以对套印偏差进行有效地检测。

5 结束语

通过对 1 000 组套印标记的检测实验与分析表明:利用本研究中的方法检测印刷品,用时短、准确率高,可以满足标准精细印刷套印允许误差不超过 0.1 mm,普通彩色套印允许误差不得超过 0.2 mm 的

国家印刷标准的要求。其实用性强,适用于四色胶印的图像质量检测系统。该方法之所以产生检测误差,是由于进行彩色图像分割时,有些亚像素没有考虑到,还有相机同步精度不够高,以及很多系统触发脉冲,振动造成相机抖动等。因此需要进一步研究对精确度要求比较高的套印检测系统,尽量减少误差,以提高检测的准确性。

参考文献(References):

- [1] 高娟,段中兴.基于数学形态学的套印偏差自动检测算法[J].计算机应用,2010,30(2):437-440.
- [2] 于丽杰,李德胜,王跃宗.彩色套印偏差检测中的图像处理技术研究[J].计算机工程与应用,2010,46(11):190-192.
- [3] 蒋恩松,孙刘杰,张柯.图像匹配技术在套印误差自动检测中的应用[J].计算机测量与控制,2008,16(6):757-759.
- [4] 冯瑞乾.印刷原理及工艺[M].北京:印刷工业出版社,2005.
- [5] 廉玉生,王秀泽.5种不同颜色空间的均匀性研究[J].测绘科学技术学报,2007,24(2):104-106.
- [6] 刘武辉,胡更生,王琪.印刷色彩学[M].2版.北京:化学工业出版社,2009.
- [7] LIU Z W, ZHANG Y J. A comparative and analysis study of ten color feature-based image retrieval algorithms[J]. **Signal Processing**,2000,16(1):79-84.
- [8] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2006,10(1):1-10.
- [9] 张语涵,孙劲光,苗锡奎.基于改进的 ISODATA 算法彩色图像分割[J].计算机系统应用,2010,19(2):41-45.

[编辑:柴福莉]

(上接第 547 页)

- [4] SWITKES M, ROTHSCHILD M, KUNZ R, et al. Immersion lithography: beyond the 65 nm node with optics[J]. **Microlithography World**,2003,12(2):4.
- [5] SMITH B, KANG H, BOUROV A, et al. Water immersion optical lithography for the 45 nm node[C]//Proceedings of SPIE,2003:679-689.
- [6] NELLIS G F, EI-MORSI M S, PESKI C V, et al. Contamination transport in immersion lithography[J]. **Microlithography, Microfabrication, and Micro-systems**,2006,5(1):1-10.
- [7] WEI A C, NELLIS G F, ABDO A Y, et al. Preliminary micro-fluidic simulations for immersion lithography[C]//Pro-

ceedings of SPIE,2003:713-723.

- [8] WEI A, ABDO A. Modeling fluid thermomechanical response for immersion lithography scanning[J]. **Microelectronic Engineering**,2004(73-74):29-34.
- [9] BAEK S, WEI A. Simulation of the Coupled Thermal Optical Effects for Liquid Immersion Micro-nano-lithography [C]//Proceeding of SPIE Optical Microlithography. XVII. Bellingham: [s. n.],2004:415-427.
- [10] AKIHIRO Y. ArF immersion lithography for 45nm and beyond[C]. Proceedings of International Society for Optical Engineering. Bellingham: [s. n.],2007.

[编辑:张翔]