

极紫外光刻动态气体锁抑制率的仿真研究

陈进新^{1,2}, 王宇¹, 谢婉露^{1,2}

¹中国科学院光电研究院, 北京 100094;

²北京市准分子激光工程技术研究中心, 北京 100094

摘要 以清洁气体种类和流量以及污染气体放气率为变量,进行了单组分清洁气体的动态气体锁(DGL)流场仿真,并以混合清洁气体的体积比为变量进行了多组分清洁气体 DGL 流场仿真。仿真结果表明,DGL 抑制率随清洁气体流量和分子量的增加而增加,但与污染气体放气率的变化无关。对于多组分清洁气体,当大分子量清洁气体的体积分数增加时,DGL 抑制率近似不变。在实际工程中建议以氢气和氩气的混合气体作为 DGL 的清洁气体。当清洁气体流量为 $6.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 时,约 25% 的清洁气体流入硅片室,DGL 抑制率约为 75%。该仿真结果为研制极紫外光刻机 DGL 提供了依据。

关键词 X 射线光学; 极紫外光刻; 动态气体锁; 抑制率

中图分类号 TN23;O439 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.023401

Simulation Investigation on Suppression Ratio of Dynamic Gas Lock in Extreme Ultraviolet Lithography

Chen Jinxin^{1,2}, Wang Yu¹, Xie Wanlu^{1,2}

¹Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

²Beijing Excimer Laser Technology and Engineering Center, Beijing 100094, China

Abstract The flow-field of dynamic gas lock (DGL) of single-component purge gas is simulated with the type and flux of purge gas and the outgassing rate of dirty gases as variables, and that of multi-component purge gas is also simulated with the volume ratio of mixed purge gases as variable. The simulation results indicate that, for single-component purge gas, the suppression ratio of DGL increases with the increment of gas flux and molecular weight, but has no relation to the outgassing rate of dirty gas. As for the multi-component purge gas, the suppression ratio of DGL approximately remains constant with the increment of volume fraction of the purge gas with large molecular weight. As for the practical application in engineering, it is recommended to use argon-hydrogen mixture as the purge gas in DGL. When the purge gas flux reaches $6.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, nearly 25% of the purge gas flows into wafer-stage chamber and the suppression ratio of DGL is more or less 75%. This simulation result provides a basis for the development of DGL in extreme ultraviolet lithography.

Key words X-ray optics; extreme ultraviolet lithography; dynamic gas lock; suppression ratio

OCIS codes 340.7480; 350.4600; 120.4640; 000.2170

1 引言

伴随集成电路的发展,极紫外(EUV)光刻技术已经是当今的研究热点,且有望成为 16 nm 及其以下分辨率节点的商用投影光刻技术^[1-2]。投影物镜系统是 EUV 光刻机的重要组成部分^[3],内含多个光学元件,工作环境为超清洁真空(ECV)环境,该环境可维持极低的特定气体分压力(水分压力为 1×10^{-5} Pa;分子量为 45~100 的大分子的分压力为 9.8×10^{-9} Pa;分子量为 100~200 的大分子的分压力为 4.8×10^{-9} Pa)^[4]。在硅片曝光过程中,光致抗蚀剂在 EUV 辐照作用下会发生光化学反应,产生对光学元件有害的污染气体,

收稿日期: 2016-10-08; **收到修改稿日期:** 2016-10-12

基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX02702007)

作者简介: 陈进新(1982—),男,博士,高级工程师,主要从事极紫外系统设计、激光器结构设计方面的研究。

E-mail: ashion@aoe.ac.cn

因而需要通过动态气体锁(DGL)来抑制污染气体从硅片台向投影物镜系统的扩散。自2000年DGL原理被提出以来,已取得了许多研究成果^[5-10]。本课题组对EUV光刻机的DGL展开了研究,提出了两种新型DGL结构^[11-12],并提出了DGL抑制率的概念以量化评价DGL的隔离效能^[13],进一步完善了DGL抑制率的理论研究体系^[14]。本文对DGL抑制率进行了仿真研究,为EUV光刻机DGL的研制提供了依据。

2 DGL 仿真模型

DGL位于EUV光刻机的投影物镜系统和硅片台腔室之间,为了确保EUV辐射经过投影物镜系统后顺利传播至硅片表面,DGL的中心通光孔尺寸需要略大于EUV光束截面尺寸。DGL短边方向和长边方向的截面如图1、2所示,其中 θ 为硅片光斑上成像光线的半顶角, $d_1=0.5\text{ mm}$, $d_2=10\text{ mm}$ 。系统数值孔径 $NA = \sin \theta = 0.2$,这里取近似 $\sin \theta = \tan \theta$ 。清洁气体由DGL短边两侧的狭缝流入通光孔。

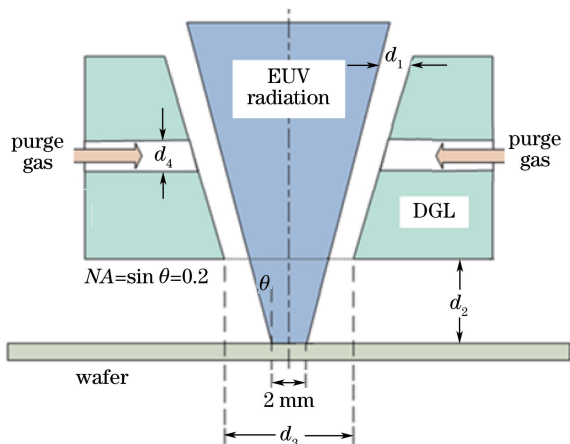


图1 DGL短边方向截面图

Fig. 1 Cross-section of DGL along short-side direction

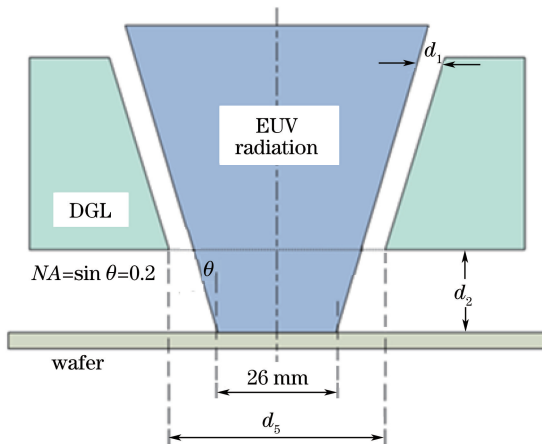


图2 DGL长边方向截面图

Fig. 2 Cross-section of DGL along long-side direction

由图1可知,在DGL短边方向,其窄口端长度 d_3 为7 mm。设窄口端到宽口端的距离为20 mm,则由系统 $NA=0.2$ 可知其宽口端长度为15 mm;设DGL清洁气体入口通道的宽度 d_4 为3 mm,且处在窄口端到宽口端的中心位置。由图2可知,在DGL长边方向,其窄口端长度 d_5 为31 mm,其宽口端长度为39 mm。

DGL仿真模型如图3所示,其中硅片台腔室处于清洁真空(CV)环境中,投影物镜腔室处于ECV环境中。CV室和ECV室腔体都是直径为1000 mm、高为1000 mm的圆柱体;CV室中放置直径为100 mm的

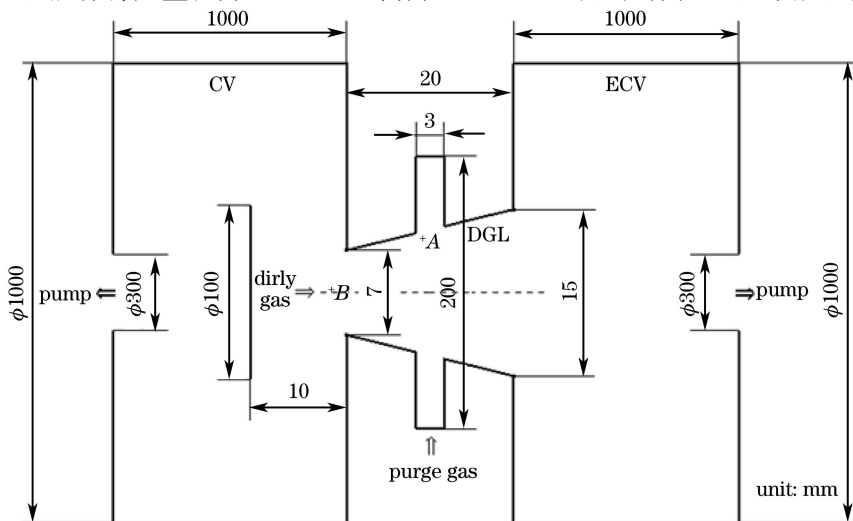


图3 DGL仿真模型

Fig. 3 Simulation model of DGL

硅片, CV室和 ECV室的抽气泵组轴线与 DGL 轴线对齐, 泵口直径为 300 mm; 入口气体、壁面及硅片温度设定为 20 °C。由于模型具有对称性, 仅取 1/4 模型来划分网格并对其进行仿真计算。

CV室中硅片释放的污染物主要是水蒸气和碳氢化合物, 实际 EUV 光刻机对大分子量的碳氢化合物的分压力要求比水的高很多^[4]。为简化仿真过程, 假设硅片挥发面释放出的污染气体为最常见的单一的乙醇。仿真过程中相同污染气体的放气率均取 $4.5 \times 10^{15} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[15]。

稀薄气体流动可分为滑流、过渡流和自由分子流。现在常见的流场分析商用软件只能模拟滑流(克努森数 $f_{\text{kn}} < 0.1$)领域的稀薄气体。采用直接蒙特卡罗算法的 RGS3D 模块可对流动物理进行直接概率模拟, 适用于自由分子流($f_{\text{kn}} > 10$)和过渡流($0.1 < f_{\text{kn}} < 10$)的流场仿真。DGL 涉及的复杂流场为过渡流^[14]。首先对 DGL 结构进行三维建模与非结构化网格划分, 再自定义初始条件, 使用优化的碰撞模型进行并行分析, 实现气体分子的采样计算。

3 单组分清洁气体 DGL 流场仿真结果

3.1 清洁气体种类相同但流量不同, 污染气体放气率相同

由于同等条件下氢气对 EUV 辐射的透射率最大^[13], 因此设定清洁气体种类为氢气。分别设氢气分子数流量为 $4 \times 10^{17}, 4 \times 10^{18}, 8 \times 10^{18}, 4 \times 10^{19}, 8 \times 10^{19}, 4 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$ 。

在 DGL 内部清洁气体管道喷口处取一点 A, 在 CV室与 DGL 连接界面处取一点 B, 如图 3 所示。在不同氢气流量条件下的仿真结果如表 1 所示。

根据单组分清洁气体 DGL 抑制率的相关理论^[14], 结合图 1、2 中的特征尺寸, 求得等截面和变截面条件下乙醇在氢气中的扩散系数(D_d)和 DGL 抑制率(R_s), 如表 1 所示。

表 1 不同氢气流量条件下的 DGL 流场仿真和计算结果

Table 1 Simulation and calculation results of flow fields of DGL under different molecule flux of H_2

Molecule flux of $\text{H}_2 / \text{s}^{-1}$	Molecule concentration / m^{-3}			Pressure / Pa			Volume fraction of $\text{H}_2 / \%$		Diffusion coefficient $D_d / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$		Suppression ratio $R_s / \%$	
	H_2	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	H_2	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Uniform section	Variable section	Uniform section	Variable section	Uniform section	Variable section
	@A	@A	@B	@A	@A	@B						
4×10^{17}	6.15967	1.18858	2.59355	2.20921	3.51383	1.02646	61.53	11.97	60.26	15.54	82.37	28.42
	$\times 10^{17}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-6}$						
4×10^{18}	5.88080	1.22144	2.63343	2.12817	3.64424	1.04417	61.98	11.54	64.00	15.80	82.36	27.20
	$\times 10^{18}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-6}$						
8×10^{18}	1.11361	1.12217	2.60905	3.96449	3.15786	1.02673	58.85	13.79	59.41	18.46	82.30	34.21
	$\times 10^{19}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-6}$						
4×10^{19}	5.25475	1.01136	2.54379	1.85992	2.82392	1.00130	59.52	16.41	58.58	21.41	83.91	41.03
	$\times 10^{19}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-6}$						
8×10^{19}	1.04472	8.95637	2.46125	3.72473	2.48730	9.63744	60.81	19.09	54.53	22.70	85.74	47.77
	$\times 10^{20}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-1}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-7}$						
4×10^{20}	4.82752	3.50230	1.78313	1.75953	9.05388	7.27715	58.14	26.57	34.27	20.77	91.78	74.41
	$\times 10^{20}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-7}$						

由表 1 可知, 当氢气流量显著增加时, 清洁气体出口处(A 点)氢气的分子浓度和压力也显著增加, 其增长率与氢气流量增长率相近; 在清洁气体出口处(A 点)和 DGL 窄口端(B 点), 乙醇的分子浓度和分压力都呈缓慢减小的趋势, 且 A、B 点之间的浓度差和压力差近似不变; 等截面条件下, 求得的氢气体积分数 $f = (60 \pm 2) \%$, 与实际变截面条件下求得的体积分数相差较大; 变截面条件下流向 CV室的氢气体积分数随氢气总流量的增加而增加, 且 $f < 50 \%$, 说明绝大部分氢气都流入了 ECV室。

同时, 由清洁气体流量和仿真时输入的氢气分子数流量的对应关系^[13], 可计算得到 D_d 、 R_s 与清洁气体流量的关系, 如图 4 所示。

由图 4 可知, 随清洁气体流量的增加, 在等截面条件下, D_d 先近似稳定于 $60 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 再逐步减小; 在变截面条件下, D_d 先小幅增加, 再近似稳定于 $20 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; 在等截面与变截面条件下, DGL 抑制率均随清洁气

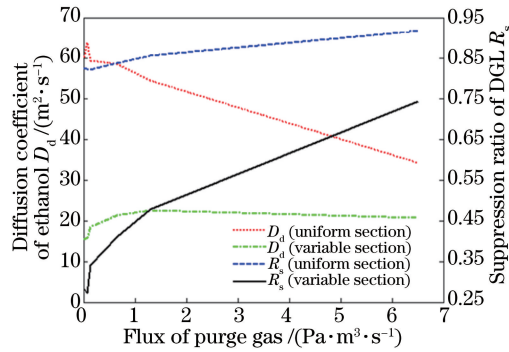


图4 乙醇的扩散系数、DGL抑制率和清洁气体流量的关系

Fig. 4 Relationship between diffusion coefficient of ethanol or suppression ratio of DGL and purge gas flux

体总流量的增加而增加;当清洁气体流量为 $6.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 时,等截面条件下的 DGL 抑制率达到 91.78%,变截面条件下的 DGL 抑制率为 74.41%。

3.2 清洁气体种类不同但流量相同,污染气体放气率相同

由表 1 可知,等截面和变截面条件下分别计算得到的清洁气体体积分数、扩散系数和 DGL 抑制率差别均较大,等截面假设带来了较大的计算误差。以下如无特殊说明,不同边界条件下的仿真均在实际变截面条件下进行。由表 1 还可以看出,当氢气流量为 $4\times 10^{20} \text{ s}^{-1}$ (对应的清洁气体流量为 $6.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) 时,变截面条件下计算得到的 DGL 抑制率达到 74.41%,能够提供良好的 EUV 真空环境。当污染气体(乙醇)的放气率为 $4.5\times 10^{15} / (\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,设清洁气体种类分别为氢气、氦气、氩气和氮气,仿真和计算结果如表 2 所示,其中扩散系数、DGL 抑制率与清洁气体分子量(对应不同清洁气体种类)的关系如图 5 所示。

表 2 不同种类清洁气体下的 DGL 流场仿真和计算结果

Table 2 Simulation and calculation results of flow fields of DGL under different types of purge gases

Purge gas	Molecule concentration / m^{-3}			Pressure / Pa			Volume fraction of purge gas / %	Diffusion coefficient $D_d / (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$	Suppression ratio $R_s / \%$
	Purge gas @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ @B	Purge gas @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ @B			
H_2	4.82752	3.50230	1.78313	1.75953	9.05388	7.27715	26.57	20.77	74.41
	$\times 10^{20}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$		$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-7}$			
He	7.14953	2.60934	1.45689	2.58796	7.16045	6.24761	27.79	13.98	77.05
	$\times 10^{20}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$		$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-7}$			
N_2	1.82653	1.38873	1.04503	6.60429	3.60351	5.19661	24.15	4.06	82.12
	$\times 10^{21}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$		$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-7}$			
Ar	2.20079	1.72446	1.15926	8.05031	4.10684	5.35872	23.15	3.38	79.72
	$\times 10^{21}$	$\times 10^{13}$	$\times 10^{14}$		$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-7}$			

由表 2 可知,当清洁气体总流量相同时,随着清洁气体分子量的增加,清洁气体出口处(A 点)清洁气体的分子浓度和压力均增加;在清洁气体出口处(A 点)和 DGL 窄口端(B 点),乙醇的分子浓度和压力都呈缓

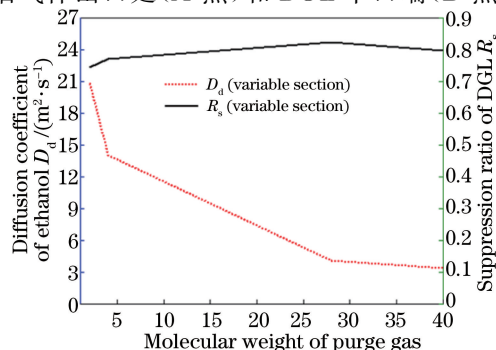


图5 乙醇的扩散系数、DGL抑制率与清洁气体分子量的关系

Fig. 5 Relationship between diffusion coefficient of ethanol or suppression ratio of DGL and molecular weight of purge gas

慢减小的趋势,且 A 点和 B 点的浓度差和压力差近似不变;流向 CV 室的清洁气体的体积分数的变化范围为 $(25 \pm 3)\%$,且呈减小趋势。说明大部分清洁气体都流入 ECV 室,仅有约 1/4 的清洁气体流入 CV 室。

由图 5 可知,随着清洁气体分子量的增加,污染气体乙醇在清洁气体中的扩散系数逐渐减小,DGL 抑制率缓慢增加。综合考虑不同气体对 EUV 辐射的透射率^[13],针对单组分气体,清洁气体首选氩气;当氩气流量为 $6.5 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 时,DGL 抑制率近似达到 80%,能够提供良好的 EUV 真空环境。

3.3 清洁气体种类相同、流量相同,污染气体放气率不同

取清洁气体为氩气,流量为 $4 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$,不同乙醇放气率条件下的仿真结果如表 3 所示,其中乙醇扩散系数、DGL 抑制率与污染气体放气率的关系如图 6 所示。

表 3 不同污染气体放气率下的 DGL 流场仿真和计算结果

Table 3 Simulation and calculation results of flow fields of DGL under different outgassing rates of dirty gases

Outgassing rate of $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} / (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	Molecule concentration / m^{-3}			Pressure / Pa			Volume fraction of Ar / %	Diffusion coefficient of $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	Suppression ratio of DGL $R_s / \%$
	Ar @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} @A$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} @B$	Ar @A	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} @A$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} @B$			
1×10^{16}	1.21733 $\times 10^{21}$	7.20409 $\times 10^{13}$	3.2288 $\times 10^{14}$	3.76832	1.60946 $\times 10^{-7}$	1.2509 $\times 10^{-6}$	22.54	8.9248	69.34
1×10^{17}	1.21485 $\times 10^{21}$	7.08630 $\times 10^{14}$	3.2412 $\times 10^{15}$	3.75122	1.60792 $\times 10^{-6}$	1.2974 $\times 10^{-5}$	22.32	8.7624	69.87
1×10^{18}	1.19883 $\times 10^{21}$	7.03087 $\times 10^{15}$	3.2688 $\times 10^{16}$	3.61818	1.68854 $\times 10^{-5}$	1.2781 $\times 10^{-4}$	24.67	9.9316	71.25
1×10^{19}	1.20793 $\times 10^{21}$	7.54732 $\times 10^{16}$	3.1101 $\times 10^{17}$	3.70351	1.83423 $\times 10^{-4}$	1.2107 $\times 10^{-3}$	23.62	10.0807	67.11
1×10^{20}	1.19669 $\times 10^{21}$	7.11423 $\times 10^{17}$	3.2021 $\times 10^{18}$	3.66428	1.62263 $\times 10^{-3}$	1.2162 $\times 10^{-2}$	23.66	9.6097	69.91
1×10^{21}	1.21814 $\times 10^{21}$	6.65950 $\times 10^{18}$	3.1395 $\times 10^{19}$	3.66160	1.51596 $\times 10^{-2}$	1.2190 $\times 10^{-1}$	23.54	9.2796	71.22

由表 3 可知,当氩气总流量相同时,随着乙醇放气率的增加,清洁气体出口处(A 点)的氩气分子浓度和压力近似不变;在清洁气体出口处(A 点)和 DGL 窄口端(B 点),乙醇的分子浓度和压力均增加,其增长率与放气率的增长率一致;流向 CV 室的氩气体积分数近似不变,为 $(25 \pm 3)\%$,说明大部分氩气都流入 ECV 室,仅有约 1/4 的氩气流入 CV 室;扩散系数和抑制率均近似不变,扩散系数约为 $9.5 \text{ m}^2/\text{s}$ (误差为 $\pm 6\%$),抑制率约为 70%(误差为 $\pm 4\%$)。

由图 6 可知,当清洁气体种类和总流量相同时,扩散系数和抑制率不随污染气体放气率的变化而变化。

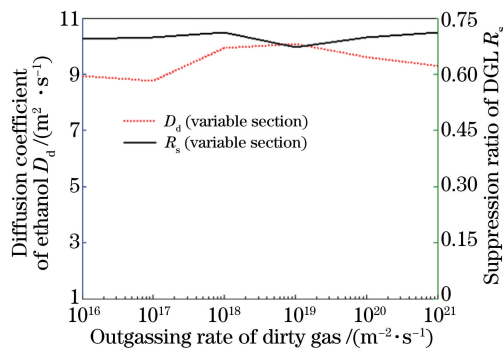


图 6 乙醇的扩散系数、DGL 抑制率与放气率的关系

Fig. 6 Relationship between diffusion coefficient of ethanol or suppression ratio of DGL and outgassing rate

4 多组分清洁气体 DGL 流场仿真结果

由图 5 可知,DGL 抑制率随清洁气体分子量的增加而缓慢增加,故清洁气体首选氩气。考虑到同等条件下

氢气对 EUV 辐射的透射率最大^[13],所以在多组分清洁气体 DGL 仿真中选取氩气和氢气的混合气体作为清洁气体。取氩气和氢气的混合气体流量为 4×10^{20} s, 污染气体(乙醇)的放气率为 $4.5 \times 10^{15}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 氩气/氢气按不同体积比(4:1、3:2、2:3和 1:4)混合, DGL 流场仿真结果如表 4 所示, 其中乙醇扩散系数、DGL 抑制率 R_s 与混合清洁气体中氩气/氢气体积比的关系如图 7 所示。

表 4 氩气/氢气混合气体为清洁气体时的 DGL 流场仿真结果

Table 4 Simulation results of flow field of DGL when Ar-H₂ mixture used as purge gas

Volume ratio between Ar and H ₂	Molecule concentration / m ⁻³				Pressure / Pa				Volume fraction of purge gas / %	Diffusion coefficient of C ₂ H ₅ OH $D_d/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	Suppression ratio of DGL $R_s/\%$
	H ₂ @A	Ar @A	C ₂ H ₅ OH @A	C ₂ H ₅ OH @B	H ₂ @A	Ar @A	C ₂ H ₅ OH @A	C ₂ H ₅ OH @B			
4:1	7.70514 × 10 ¹⁹	1.31336 × 10 ²²	3.33961 × 10 ¹³	1.17924 × 10 ¹⁴	0.17 6960	38.6 123	4.62478 × 10 ⁻⁸	2.13492 × 10 ⁻⁷	27.38	1.2526	63.51
3:2	1.53940 × 10 ²⁰	9.75523 × 10 ²¹	2.97139 × 10 ¹³	1.17991 × 10 ¹⁴	0.36 2084	29.3 036	3.36100 × 10 ⁻⁸	1.97619 × 10 ⁻⁷	25.37	1.3885	66.66
2:3	2.22220 × 10 ²⁰	6.54704 × 10 ²¹	3.05612 × 10 ¹³	1.36358 × 10 ¹⁴	0.58 1872	19.6 770	4.62577 × 10 ⁻⁸	2.99049 × 10 ⁻⁷	27.72	2.0481	71.26
1:4	2.86495 × 10 ²⁰	3.22103 × 10 ²¹	3.13727 × 10 ¹³	1.34454 × 10 ¹⁴	0.77 7280	9.50 296	4.69007 × 10 ⁻⁸	2.78466 × 10 ⁻⁷	28.67	4.2901	70.47

由表 4 可知,随混合清洁气体中氢气体积分数的增加,清洁气体出口处(A 点)的氩气分子浓度和压力降低、氢气分子浓度和压力按同比例增加;在清洁气体出口处(A 点)和 DGL 窄口端(B 点),乙醇的分子浓度和压力均近似不变;流向 CV 室的混合清洁气体的加权体积分数 \bar{f} 近似不变,为 $(27 \pm 2)\%$,说明大部分清洁气体流入了 ECV 室。

由图 7 可知,随混合清洁气体中氩气体积分数的增加,污染气体乙醇在混合清洁气体中的扩散系数逐渐减小,DGL 抑制率近似不变。说明混合清洁气体中,分子量较大的氩气的体积分数的增加阻碍了污染气体向 ECV 室扩散。

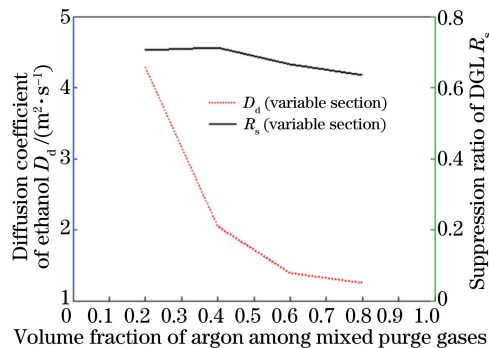


图 7 乙醇的扩散系数、DGL 抑制率与混合清洁气体中氩气的体积分数的关系

Fig. 7 Relationship between diffusion coefficient of ethanol or suppression ratio of DGL and volume fraction of argon among mixed purge gases

5 结 论

建立了 DGL 的流场仿真模型,利用 Pegasus 软件分别对单组分清洁气体和多组分清洁气体进行了 DGL 仿真。仿真结果表明:1) 由于在等截面条件下求得的 DGL 抑制率等参数与在实际变截面条件下求得的相差较大,因此应该以变截面的抑制率解析表达式来求解实际变截面问题;2) 流向 CV 室的清洁气体体积分数的增加而增加,随清洁气体分子量的增加而略有减小;3) 污染气体在清洁气体中的扩散系数随清洁气体流量的增加而略有增加,随清洁气体分子量的增加而减少;4) DGL 抑制率随清洁气体

流量和清洁气体分子量的增加而增加;5) 流向 CV 室的清洁气体的体积分数、污染气体在清洁气体中的扩散系数、DGL 抑制率均与污染气体放气率的变化无关;6) 对于多组分清洁气体,随大分子量清洁气体体积分数的增加,污染气体在清洁气体中的扩散系数减小,流向 CV 室的清洁气体加权体积分数和 DGL 抑制率近似不变;7) 在工程中选择清洁气体种类时,需权衡 DGL 抑制率和 EUV 透射率,建议以氢气和氩气的混合气体作为 DGL 的清洁气体;8) 当清洁气体为氩气/氢气混合气体且其流量为 $6.5 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 时,流向 CV 室的清洁气体体积分数(或加权体积分数)为 $(25\pm 5)\%$,即仅有约 1/4 的清洁气体流入 CV 室,DGL 抑制率为 $(75\pm 5)\%$,即 DGL 能隔离约 3/4 的污染气体。

参 考 文 献

- [1] Quirk M, Serda J. Semiconductor manufacturing technology[M]. Han Zhensheng, Transl. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015: 4-12.
夸 克, 瑟 达. 半导体制造技术[M]. 韩郑生, 译. 北京: 电子工业出版社, 2015: 4-12.
- [2] Bakshi V. EUV resource for lithography[C]. SPIE, 2006, PM149: 1-54.
- [3] van der Velden M H L. Radiation generated plasmas: A challenge in modern lithography[M]. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2008: 5-6, 165.
- [4] Harned N, Moors R, van Kampen M, *et al.* Strategy for minimizing EUV optics contamination during exposure[C]. EUVL Symposium, 2008.
- [5] Mertens B M, van der Zwan B, de Jager P W H, *et al.* Mitigation of surface contamination from resist outgassing in EUV lithography[J]. Microelectronic Engineering, 2000, 53(1-4): 659-662.
- [6] Jonkers J. EUV-transparent interface structure: US6683936B2[P]. 2002-10-24.
- [7] Roux S. Method for recycling gases used in a lithography tool: US7087911B2[P]. 2006-08-08.
- [8] Jacobs J H W, Banine V Y, Brewster B D, *et al.* Lithographic apparatus, device manufacturing method, and device manufactured thereby: US7502095B2[P]. 2010-03-10.
- [9] Srivastava A, Pereira S, Gaffney T. Sub-atmospheric gas purification for EUVL vacuum environment control[C]. SPIE, 2012, 8322: 83222U.
- [10] Banine V Y, Moors J H J. Lithographic apparatus and device manufacturing method: US8094288B2[P]. 2012-01-10.
- [11] 陈进新, 王魁波, 王 宇, 等. 一种动态气体锁: CN103399464A[P]. 2013-11-20.
- [12] 陈进新, 王 宇, 吴晓斌, 等. 一种螺旋气流动态气体锁: CN103365119A[P]. 2013-10-23.
- [13] Chen Jinxin, Wang Kuibo, Wang Yu. Simulation of flow-field in dynamic gas lock for extreme ultraviolet lithography [J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2015, 35(8): 940-946.
陈进新, 王魁波, 王 宇. 极紫外真空动态气体锁流场分析与研究[J]. 真空科学与技术学报, 2015, 35(8): 940-946.
- [14] Chen Jinxin, Wang Yu, Xie Wanlu. Theoretical investigation on suppression ratio of dynamic gas lock for extreme ultraviolet lithography[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(5): 053401.
陈进新, 王 宇, 谢婉露. 极紫外光刻动态气体锁抑制率的理论研究[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(5): 053401.
- [15] Dean K R, Nishiyama I, Oizumi H, *et al.* An analysis of EUV resist outgassing measurements[C]. SPIE, 2007, 6519: 65191P.