

# EUUV掩模白板缺陷的反射近场模拟研究

白智成

长春理工大学物理学院, 吉林 长春

收稿日期: 2024年5月10日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月30日

## 摘要

极紫外光刻掩模白板是制造光刻图形的基础, 随着极紫外光刻技术的不断发展, 工艺要求逐渐向“零缺陷”掩模标准推进。在7 nm及以下节点, 缺陷对于极紫外掩模白板良率的影响不可忽视。本文采用时域有限差分(Finite-Difference Time-Domain, FDTD)方法仿真研究了反射近场强度分布的特征, 并仿真得到了不同尺寸的缺陷在多层膜的内部纵向深度对相位的影响。

## 关键词

极紫外光刻, 掩模白板, 时域有限差分, 相位缺陷

## Simulation Research on Reflective Near Field of EUUV Mask Blank Defects

Zhicheng Bai

School of Physics, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin

Received: May 10<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jun. 20<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the development of extreme ultra-violet lithography technology, the process requirement is gradually advancing to the standard of “Zero Defect” mask. The effect of the defect on the yield of EUUV mask blank can not be neglected at the nodes below 7 nm. In this paper, the Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method is used to simulate the near-field intensity distribution of the reflected, and the phase influence of defect size and position in the multilayers is obtained.

## Keywords

Extreme Ultraviolet Lithography, Mask Blank, Finite-Difference Time-Domain, Phase Defect



## 1. 引言

极紫外光刻技术是芯片制造产业中最尖端的技术，光刻掩模版则是光刻流程中最重要的元件之一。随着光刻技术的不断发展，面向 7 nm、5 nm 及以下工艺节点的制造技术需要依靠波长为 13.5 nm 的极紫外光进行光刻曝光。其中光刻掩模白板是在超光滑 Si 片上沉积 40 周期 Mo/Si 双层膜得到，在沉积过程中因水渍，有机物，灰尘，氧化等因素可能会引起多层膜结构的缺陷，以目前的技术水平无法避免这些缺陷的产生[1]。在实际制造中，缺陷对反射场的影响并不一定最终会影响成像，只有对空间像 CD 产生影响的缺陷才是掩模制造与检测关心的，应该被补偿或修复的缺陷。因此对缺陷对多层膜的影响展开研究，得到掩模版上的缺陷特征，从而了解掩模版上出现的缺陷对近场成像会产生什么影响，对于后续的缺陷补偿以及修复工作具有积极的意义。

从集成电路步入极紫外光刻生产方式起，计算光刻逐渐成为国内外研究者的关注重点，用实际掩模做缺陷检测造价昂贵，耗时耗力。随着计算机技术的发展，研究人员基于不同的原理对光刻过程进行数值仿真，来努力实现同实际实验相同的实验结果。国外对于极紫外光刻掩模缺陷模拟的研究起步较早，目前已经进行了含缺陷与不含缺陷掩模结构的模拟，以及对多层膜上部吸收层的建模与模拟[2] [3]。后续开发了基于波导法[4]，有限时域差分法[5]，单表面近似法[6]，光线追迹法[2] [7]的模拟。国内目前的研究有对缺陷位置，层数等因素对光刻掩模反射场的影响[8]。模拟方法开发了等效膜层法[9]，机器学习校正法[10]等等，计算光刻方面原理也实现了贯通[11]。但是目前，国内对于不同性质缺陷对近场反射场影响的研究较少，对于缺陷性质的了解还较为缺乏。虽然国际上对于光刻掩模的合格工艺尺寸已经发展到 3 nm 工艺节点[12] [13]，对于掩模白板缺陷的检测主要集中在检测缺陷对空间像的影响上，但对空间像进行检测所需设备造价较高，检测条件苛刻，所以可以着手于检测不同性质缺陷对光刻掩模的近场影响。

本文对极紫外光刻掩模版在沉积多层膜结构时产生的不同尺寸、不同形状、不同性质的缺陷进行模拟，得到凹陷型缺陷与凸起型缺陷的近场强度分布；进行缺陷在不同尺寸与位置的仿真模拟，获得缺陷尺寸、位置对相位影响规律。

## 2. 理论模型

### 2.1. 含缺陷掩模模型与近场反射场的仿真

极紫外光刻掩模由基底，多层膜结构，保护层，吸收层等结构组成[14]，其中，基底和多层膜结构共同构成掩模白板。在掩模的制备过程中极易产生缺陷，例如掩模白板在受到 C、Au 粒子污染时容易成为高斯型或圆型缺陷[15]，多层膜上方吸收层产生的碎屑容易形成方型缺陷。当缺陷出现在基底材料上时，在后续掩模白板制备的多层膜沉积过程中缺陷会使缺陷附近区域的多层膜发生形变，使掩模白板反射近场的均匀性及反射光的相位产生扰动，同时，由多层膜覆盖导致的平滑效应会使缺陷的形貌在多层膜中传递过程中发生改变。其中，尺寸较小的缺陷多会在多层膜的平滑作用下呈高斯型形貌；尺寸较大的缺陷，虽然无法在多层膜表面将缺陷平滑为高斯型形貌，但缺陷边缘处会呈现较为平缓的高斯型形貌。

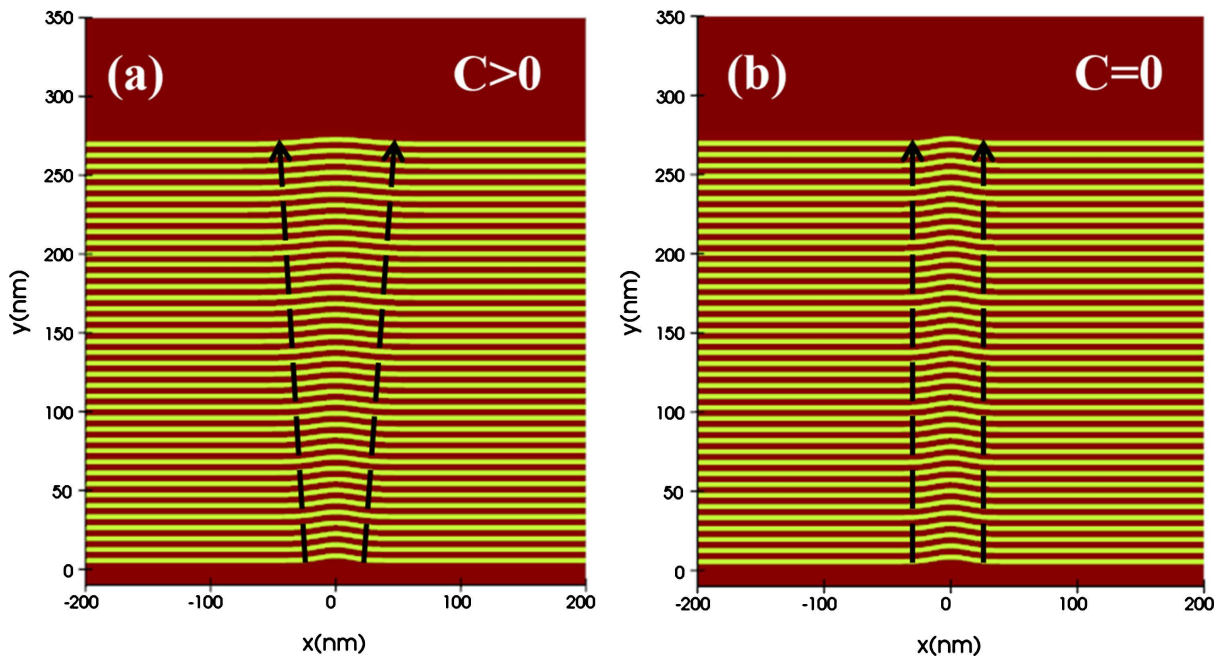
尺寸较小的缺陷所引起的多层膜形变可以由高斯函数来表征：

$$z = h \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2 \cdot \omega^2}\right) + d \quad (1)$$

式中： $h$  为高斯型缺陷的高度； $\omega$  为高斯型缺陷的半峰全宽(FWHM)系数； $d$  为第  $n$  层多层膜与缺陷初始表面的距离。当缺陷为凸起型缺陷时，缺陷高度  $h$  为正；当缺陷为凹陷型缺陷时，缺陷高度  $h$  为负。此时，缺陷在多层膜内传递的过程中，半峰全宽和在每一膜层引起的高度变化  $h$  均不发生变化，即多层膜的沉积未引起平滑作用。当多层膜沉积过程中引入平滑作用时，缺陷形貌在由多层膜底部向多层膜表面传递过程中高斯形貌的半峰全宽会逐渐增大，高度会逐渐降低，其半峰全宽系数  $\omega$  可表达为

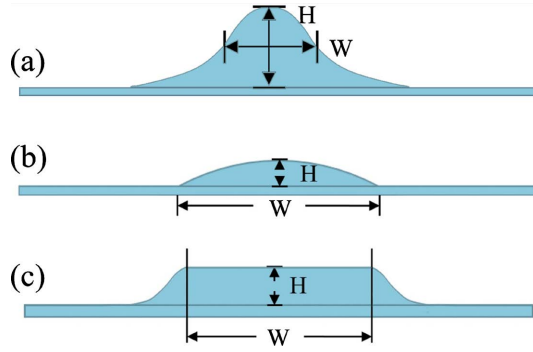
$$\omega = \frac{W}{2\sqrt{2 \cdot \log 2}} + c \cdot d \quad (2)$$

式中， $c$  为平滑系数， $W$  为缺陷的半峰全宽(FWHM)。如图 1 所示， $c > 0$  时，含缺陷多层膜的高斯形变半峰全宽会随着沉积过程逐渐增加，代表多层膜的沉积平滑效应； $c = 0$  时，含缺陷多层膜的高斯形变半峰全宽不会改变。

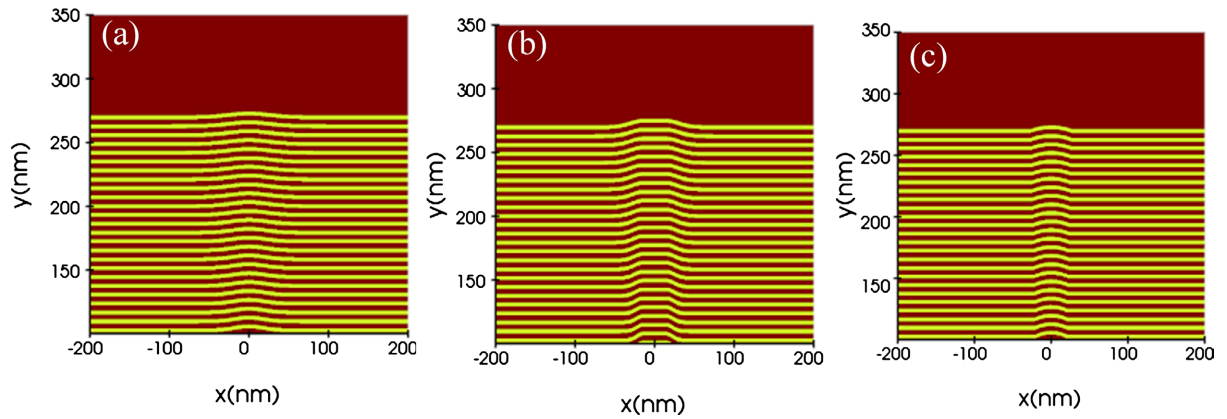


**Figure 1.** Growth structure of multilayer films under different smoothing coefficients (a)  $c > 0$  bigger; (b)  $c = 0$  no change  
**图 1.** 不同平滑系数下的多层膜生长结构(a)  $c > 0$  加宽; (b)  $c = 0$  保持

极紫外光刻掩模白板缺陷根据其形状不同可以分为高斯型缺陷、球型缺陷、方型缺陷等[12] [16]。例如掩模白板在受到 C、Au 粒子污染时容易成为高斯型或球型缺陷，多层膜上方吸收层产生的碎屑容易形成方型缺陷。当缺陷尺寸在一定程度以上时，多层膜的沉积无法有效的平滑，会产生周围近似高斯型的方型形状或部分球型[17] [18] [19]。如图 2 所示，在球形缺陷中，多层膜的形变采用圆弧的弦长作为缺陷宽度  $W$ ，并随着缺陷的大小逐渐增加来表征平滑效应，采用圆弧相对无形变多层膜平面的最大垂直距离作为缺陷高度  $H$ 。在方型缺陷中，采用三部分拼接的方法建模，膜层左侧和右侧分别是高斯型形貌，周围高斯型半高宽设置为 30 nm，宽度生长系数为 0.1，中间部分使用平整的多层膜作为连接，模拟多层膜沉积在方形缺陷上的平滑效果，球型缺陷的生长系数为  $r + 2i$ ， $r$  为球型形状的半径， $i$  为多层膜的层数。图 3 为使用软件建模含有不同形状形变的 EUV 掩模多层膜截面图，缺陷位于掩模多层膜基底中心位置，多层膜由 40 周期交替沉积的 Mo/Si 双层膜组成，共 80 层。



**Figure 2.** Schematic diagram of deformation structural parameters of multilayer films with defects (a) Gaussian; (b) Square; (c) Sphere  
**图 2.** 含缺陷多层膜形变结构参数示意图(a) 高斯型; (b) 球型; (c) 方型



**Figure 3.** Multilayer film structures with phase defects of different shapes (a) Gaussian; (b) Square; (c) Sphere  
**图 3.** 含不同形状相位缺陷的多层膜结构(a) 高斯型; (b) 方型; (c) 球型

本文将使用 FDTD Solutions 严格电磁场仿真软件进行建模模拟，模拟参数以及所设置的多层膜结构参数如表 1、表 2 所示：

**Table 1.** FDTD simulation settings  
**表 1.** FDTD 模拟设置

模拟设置	模拟参数
波长	13.5 nm
极化方向	TE 极化
入射角	6°
FDTD 网格精度	0.95 nm (三维模拟), 0.25 nm (二维模拟)
边界条件	Bloch (x、z 方向), PML (y 方向)

**Table 2.** FDTD structure settings  
**表 2.** FDTD 结构设置

结构设置	结构参数
多层膜层数	80 层(Mo/Si 各 40 层)
Mo 层厚度	2.78 nm

续表

Si 层厚度	4.17 nm
Si 基底厚度	30 nm
多层膜高斯形状平滑系数	0.1
多层膜方型形状平滑系数	0.1
多层膜球型形状平滑系数	2
Mo 材料折射率	0.923~0.00622j
Si 材料折射率	0.999~0.00182j
TaN 材料折射率	0.948~0.032j

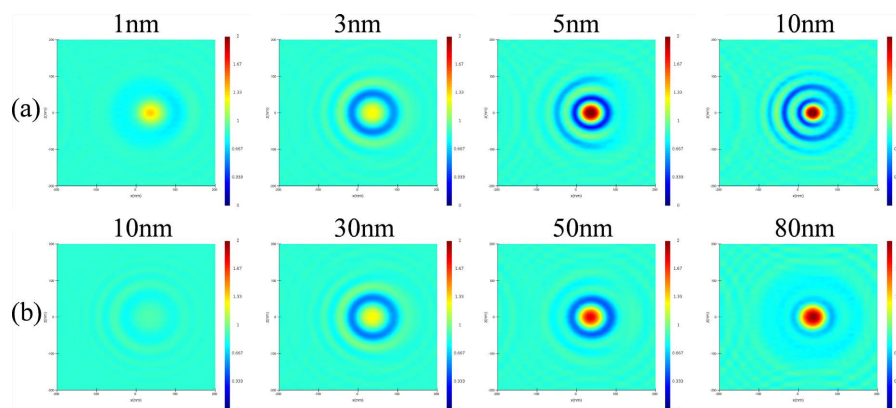
### 3. 仿真结果与分析

#### 3.1. 凹凸缺陷的反射近场特征的模拟

通常，多层膜沉积过程中出现杂质或材料碎屑，被多层膜覆盖后会引引起多层膜的凸起形状变化，形成凸起型缺陷；基底或沉积过程中的多层膜表面出现缺损或碰撞挤压，则多层膜表面出现凹坑，形成凹陷型缺陷。

采用 FDTD solutions 仿真软件，仿真计算了不同几何参数的凸起型和凹陷型高斯缺陷对掩模白板反射近场的影响情况，仿真参数如表 1、表 2 所示。设置缺陷位于基底表面，高斯型缺陷高度变化范围为 1~10 nm，缺陷宽度变化范围为 10~80 nm，多层膜平滑作用的平滑系数  $c$  为 0.1。图 5 为凹陷型高斯缺陷在的反射近场强度分布图，其中，图 4(a)的缺陷宽度为 30 nm，高度在 1~10 nm 之间；图 4(b)的缺陷高度为 3 nm，宽度在 10~80 nm 之间。由于光源斜入射，不同几何参数的凹陷缺陷引起的反射场强度降低位置距离缺陷中心位置向右偏移，且凹陷型缺陷中心位置反射近场的强度出现显著的增强，其强度高于无缺陷多层膜区域的反射近场强度。随着缺陷高度(如图 4(a)所示)和宽度(如图 4(b)所示)的增大，中心位置强度也随之增大。这是因为凹陷型高斯缺陷的结构在形状上近似一个凹面镜，能够将照射在其上的光向中心汇聚，并在近场的等效焦点位置出现比无缺陷部分多层膜反射场强度高光斑。

图 5 为凸起型高斯缺陷在的反射近场强度分布图，相应地，图 5(a)的缺陷宽度为 30 nm，高度在 1~10

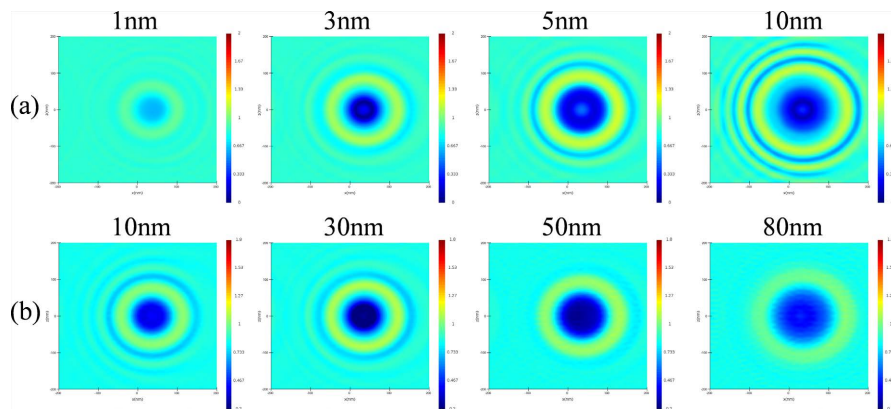


**Figure 4.** The near-field intensity distribution of reflection of pit Gaussian defects (a) with width invariant height increase and (b) with height invariant width increase

**图 4.** 凹陷型高斯缺陷的反射近场强度分布(a) 宽度不变高度增加和(b) 高度不变宽度增加



nm 之间；图 5(b)的缺陷高度为 3 nm，宽度在 10~80 nm 之间。凸起型缺陷引起的反射场强度降低位置也距离缺陷中心位置向右偏移，但与凹陷型缺陷不同，当缺陷的宽度为 30 nm 时，波动中心强度随缺陷高度的增加而出现小幅度的增加(如图 5(a)所示)，但其强度不高于无缺陷多层膜区域的反射近场强度，同时，受缺陷影响的反射近场范围随缺陷高度的增加而逐渐扩大。当缺陷的高度为 3 nm 时，波动中心强度随缺陷宽度的增加无显著变化(如图 5(b)所示)。这是因为凸起型高斯缺陷的结构近似一个凸面镜，会将光向两侧反射，造成中心位置处光强下降；当缺陷宽度较大时，缺陷顶端多层膜表面的形变较小，近似于平面，因此呈现反射近场中心强度与无缺陷多层膜接近的亮斑。此外，当缺陷的高度不变时，反射近场波动范围随缺陷高度的增加而增加，这是由于缺陷高度的增加使缺陷侧壁陡峭程度的增加，对入射光的反射角度也有所增加。



**Figure 5.** The near-field intensity distribution of reflection of bump Gaussian defects (a) with width invariant height increase and (b) with height invariant width increase

**图 5.** 凸起型高斯缺陷的反射近场强度分布(a) 宽度不变高度增加和(b) 高度不变宽度增加

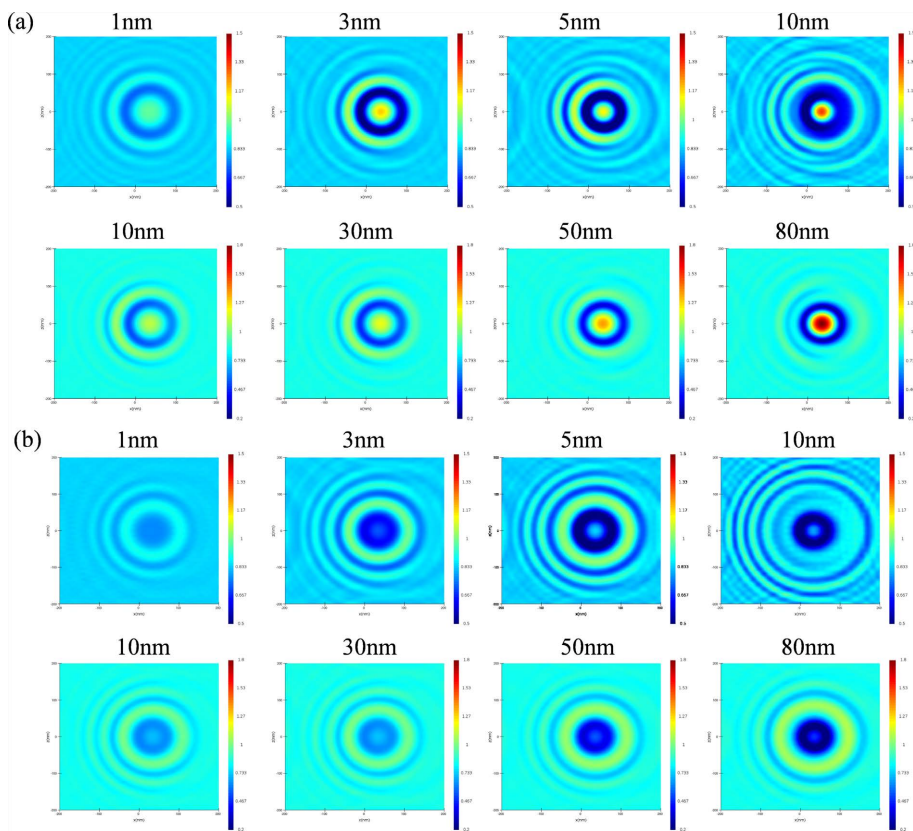
图 6 为球型凹陷型缺陷和凸起型缺陷在相同高度不同宽度和相同宽度不同高度下的近场正面强度分布。与高斯型不同的是，球型凸起缺陷的中心强度也出现了一定程度的增大。这是因为球型缺陷中心变化率较低，导致入射光在缺陷中心附近处偏转效果不强，导致反射光强度较周围有增强现象。

因此，仅采用高斯型缺陷的高度和宽度来表征缺陷对掩模白板反射近场的影响是不全面的，缺陷侧壁的陡峭程度对掩模白板反射近场的电场强度分布有显著影响。

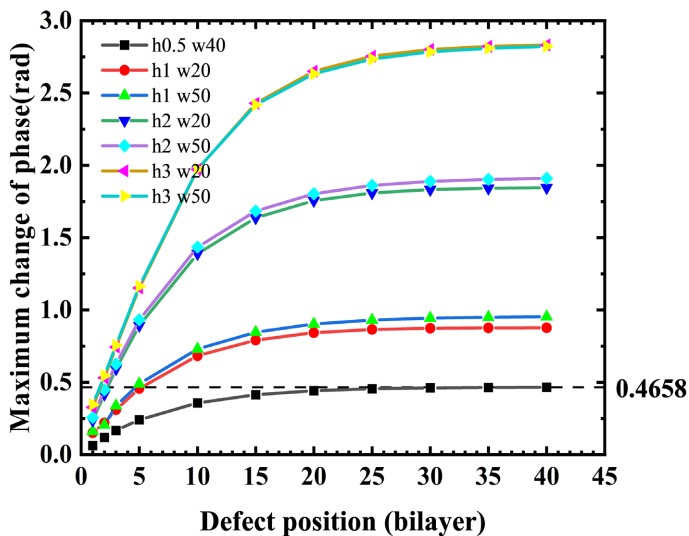
### 3.2. 缺陷对反射光相位的影响

相位缺陷一般是指在多层膜内部，引起多层膜形状变化，并对反射场产生强度和相位上的影响的缺陷。相位改变会使缺陷的可复制性在不同聚焦位置产生不同的影响，例如凸起缺陷所造成的相位突变在负焦位置会造成空间像图案加深，导致线路桥接造成短路，在零焦和正焦位置会导致空间像图案变窄，造成断路，凹陷缺陷与其相反[20] [21]。Clifford 等[22]指出，如果缺陷沉积在距多层膜顶表面相近的层数内，那么缺陷本身对反射场的影响也不能忽视，需要更严格的模拟。针对这种情况，在该部分模拟中，采用了可以使用更高精度的二维模拟。由于缺陷的高度直接影响反射光的光程差，对反射场相位具有主要的影响，所以多层膜形变的高度不使用生长模型，可以突出形变高度的影响，更节省计算资源的同时更方便分析。

本文仿真计算了 TaN 球形缺陷被不同层数多层膜覆盖时引起的反射场相位变化，其中，缺陷直径范围为 1~3 nm，缺陷引起多层膜高斯型的形变，膜层高斯型形变高度与 TaN 球相同为 1~3 nm，高斯型形变宽度设置为 20 nm 与 50 nm，平滑系数为 0.1。



**Figure 6.** Near field frontal strength distribution of spherical pit (a) and bump (b) defects  
**图 6.** 球型凹陷(a)和凸起(b)缺陷的近场正面强度分布



**Figure 7.** The maximum phase change in the reflection field of defects of different sizes deposited on different layers  
**图 7.** 不同尺寸缺陷沉积在不同层数处的反射场相位变化最大值

如图 7 所示为高度分别为 1 nm、2 nm 和 3 nm 的三组缺陷位于多层膜内部不同位置时引起的相位变化曲线。当缺陷高度相同时，宽度分别为 20 nm 和 50 nm 的缺陷引起的相位变化基本相同；当缺陷的宽度相同时，高度分别为 1 nm，2 nm 和 3 nm 的缺陷引起的相位变化则随缺陷高度的增加而增加。在掩模

白板的多层膜结构中,当缺陷上方覆盖的双层膜周期数为 0~15 周期时,缺陷引起的相位变化随多层膜周期数的增加而显著增加,且缺陷的高度越高,引起的相位变化越显著;缺陷上方覆盖的双层膜周期数进一步由 15 周期增加至 25 周期时,缺陷引起的相位变化逐渐减缓,并趋于饱和;当缺陷上方沉积多层膜的周期数进一步增加,缺陷逐渐接近基底材料表面时(被 40 周期双层膜覆盖),缺陷所引起的相位变化最大。2009 年, Sungmin Huh 团队[23]指出在 32 nm 以下节点,需要关心的可以造成空间像图案改变的最小相位缺陷尺寸为高度大于 0.5 nm,宽度大于 40 nm。由仿真计算可知,当高度为 0.5 nm,宽度为 40 nm 的高斯型位于衬底表面时将引起约 0.46 (rad)的相位改变,如图 10 中表示为黑色虚线所示,即当多层膜引起的相位变化大于 0.46 (rad)时,将在掩模白板上形成可能具备复制性的缺陷。图 10 中仿真模拟结果可得,当缺陷的高度为 1 nm 时,沉积在 5 层双层膜以下将使其可能具有复制性;当缺陷高度为 2 nm 时,则只需沉积在 2 对双层膜以下即可能使其具备复制性;而高度在 3 nm 以上的缺陷即便只沉积在 1 对双层膜以下也会对反射近场相位产生明显影响,使其可能具有复制性。

#### 4. 结论

极紫外光刻掩模白板缺陷是制约极紫外光刻技术发展的主要因素之一。本文在考虑多层膜模沉积过程中产生的平滑作用前提下,建立了位于多层膜内部的采用 FDTD solutions 仿真软件模拟计算了不同形状、几何参数的多层膜相位缺陷的反射近场强度分布情况,并获得其分布特征,模拟结果可知,缺陷侧壁的陡峭程度对掩模白板反射近场的电场强度分布有显著影响。进一步,通过仿真模拟得到了在不同层数的缺陷对多层膜近场反射场相位的影响规律,当缺陷的高度为 1 nm 时,沉积在 5 层双层膜以下将使其可能具有复制性;当缺陷高度为 2 nm 时,则只需沉积在 2 对双层膜以下即可能使其具备复制性;而高度在 3 nm 以上的缺陷即便只沉积在 1 对双层膜以下也会对反射近场相位产生明显影响,使其可能具有复制性。从近场揭示了多层膜相位缺陷对掩模白板反射场的影响,为掩模白板缺陷的修复与补偿提供支持。

#### 参考文献

- [1] Stearns, D.G., Mirkarimi, P.B. and Spiller, E. (2004) Localized Defects in Multilayer Coatings. *Thin Solid Films*, **446**, 37-49. [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(03\)01285-9](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(03)01285-9)
- [2] Clifford, C.H. and Neureuther, A.R. (2007) Fast Simulation of Buried EUV Mask Defect Interaction with Absorber Features. *SPIE Proceedings*, **6517**, Article ID: 65170A. <https://doi.org/10.1117/12.711173>
- [3] Kim, S.K. (2016) Extreme Ultraviolet Multilayer Defect Compensation in Computational Lithography. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **16**, 5415-5419.
- [4] Evanschitzky, P. and Erdmann, A. (2007) Fast near Field Simulation of Optical and EUV Masks Using the Waveguide Method. *23rd European Mask and Lithography Conference*, Grenoble, 22-25 January 2007, 1-12. <https://doi.org/10.1117/12.736978>
- [5] Sambale, C., Schmoeller, T., Erdmann, A., Evanschitzky, P. and Kalus, C.K. (2003) Rigorous Simulation of Defective EUV Multilayer Masks. *SPIE Proceedings*, **5256**, 1239-1248. <https://doi.org/10.1117/12.518049>
- [6] Gullikson, E.M., Cerjan, C., Stearns, D.G., Mirkarimi, P.B. and Sweeney, D.W. (2002) Practical Approach for Modeling Extreme Ultraviolet Lithography Mask Defects. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, **20**, 81-86. <https://doi.org/10.1116/1.1428269>
- [7] Lam, M.C. and Neureuther, A.R. (2006) Modeling Methodologies and Defect Printability Maps for Buried Defects in EUV Mask Blanks. *SPIE Proceedings*, **6165**, 100-111. <https://doi.org/10.1117/12.656744>
- [8] 李冠楠, 刘立拓, 周维虎, 等. 缺陷对极紫外掩模多层结构反射场的扰动研究[J]. 半导体光电, 2020, 41(2): 217-222. <https://doi.org/10.16818/j.issn1001-5868.2020.02.014>
- [9] 刘晓雷, 李思坤, 王向朝. 基于等效膜层法的极紫外光刻含缺陷掩模多层膜仿真模型[J]. 光学学报, 2015, 36(6): 263-271. <https://doi.org/10.3788/AOS201535.0622005>
- [10] 张恒, 李思坤, 王向朝, 等. 基于机器学习校正的极紫外光刻含缺陷掩模仿真方法[J]. 光学学报, 2018, 38(12): 295-302. <https://doi.org/10.3788/AOS201838.1222002>



- [11] 韦亚一. 计算光刻与版图优化[J]. 中国信息化, 2021(1): 封 3.
- [12] Chang, C., Chang, V.S., Pan, K.H., Lai, K.T., Lu, J.H., Ng, J.A., *et al.* (2022) Critical Process Features Enabling Aggressive Contacted Gate Pitch Scaling for 3nm CMOS Technology and Beyond. 2022 *International Electron Devices Meeting (IEDM)*, San Francisco, 3-7 December 2022, 27.1.1-27.1.4. <https://doi.org/10.1109/iedm45625.2022.10019565>
- [13] Wu, S., Chang, C.H., Chiang, M.C., Lin, C.Y., Liaw, J.J., Cheng, J.Y., *et al.* (2022) A 3nm CMOS Finflex™ Platform Technology with Enhanced Power Efficiency and Performance for Mobile Soc and High Performance Computing Applications. 2022 *International Electron Devices Meeting (IEDM)*, San Francisco, 3-7 December 2022, 27.5.1-27.5.4. <https://doi.org/10.1109/iedm45625.2022.10019498>
- [14] Vernon, S.P., Kearney, P.A., Tong, W.M., Prisbrey, S.T., Larson, C.C., Moore, C.E., *et al.* (1998) Masks for Extreme Ultraviolet Lithography. *18th Annual BACUS Symposium on Photomask Technology and Management*, 1 September 1998, Redwood City, CA, 184-193. <https://doi.org/10.1117/12.332826>
- [15] Pistor, T., Deng, Y. and Neureuther, A. (2000) Extreme Ultraviolet Mask Defect Simulation: Low-Profile Defects. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, **18**, 2926-2929. <https://doi.org/10.1116/1.1324616>
- [16] Brukman, M.J., Deng, Y. and Neureuther, A.R. (2000) Simulation of EUV Multilayer Mirror Buried Defects. *SPIE Proceedings*, **3997**, 799-806. <https://doi.org/10.1117/12.390121>
- [17] Deng, Y., La Fontaine, B. and Neureuther, A.R. (2002) Performance of Repaired Defects and Attpsm in EUV Multilayer Masks. *22nd Annual BACUS Symposium on Photomask Technology*, Monterey, CA, United States, 27 December 2002, 418-425. <https://doi.org/10.1117/12.467896>
- [18] Ito, M., Ogawa, T., Otaki, K., Nishiyama, I., Okazaki, S. and Terasawa, T. (2001) Simulation of Multilayer Defects in Extreme Ultraviolet Masks. *Japanese Journal of Applied Physics*, **40**, Article No. 2549. <https://doi.org/10.1143/jjap.40.2549>
- [19] Besacier, M., Schiavone, P., Farys, V. and Smaali, R. (2005) Modeling of the Influence of the Defect Position on the Reflected Intensity in EUV Mask. *SPIE Proceedings*, **5751**, 629-639. <https://doi.org/10.1117/12.598415>
- [20] Erdmann, A. (2021) Optical and EUV Lithography: A Modeling Perspective. *SPIE*. <https://doi.org/10.1117/3.2576902>
- [21] Erdmann, A., Evanschitzky, P., Bret, T. and Jonckheere, R. (2012) Analysis of EUV Mask Multilayer Defect Printing Characteristics. *Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography III*, San Jose, California, 20 March 2008. <https://doi.org/10.1117/12.916411>
- [22] Clifford, C.H. and Neureuther, A.R. (2008) Smoothing Based Fast Model for Images of Isolated Buried EUV Multilayer Defects. *Emerging Lithographic Technologies XII*, 20 March 2008. <https://doi.org/10.1117/12.771530>
- [23] Huh, S., Kearney, P., Wurm, S., Goodwin, F., Han, H., Goldberg, K., *et al.* (2009) EUV Actinic Defect Inspection and Defect Printability at the Sub-32-nm Half-Pitch. *25th European Mask and Lithography Conference*, Dresden, 12-15 January 2009. <https://doi.org/10.1117/12.835196>