

# 侧墙铬衰减型新结构移相掩模的应用\*

谢常青<sup>†</sup> 刘 明 陈宝钦 叶甜春

(中国科学院微电子研究所 纳米加工与新器件集成技术实验室, 北京 100029)

**摘要:** 提出了一种全新的移相掩模——侧墙铬衰减型移相掩模(SCAPSM), 相对于通常的衰减型移相掩模, 其制造工艺仅多两步, 却可以较大幅度提高光刻分辨率. 采用 PROLITH 光学光刻模拟软件, 参考 ArF 步进扫描投影光刻机 TWINSCAN XT:1400E 的曝光参数, 对侧墙铬衰减型移相掩模的工艺进行了研究, 证明 SCAPSM + 离轴照明的方案可以将干式 193nm 光学光刻的分辨率提高到 50nm.

**关键词:** 193nm 光学光刻; 衰减型移相掩模; 离轴照明; 数值孔径; PROLITH

EEACC: 2570; 2250G

中图分类号: TN305.7

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0340-03

## 1 引言

移相掩模(phase-shift mask, PSM)的基本原理是, 在高集成度的光掩模中所有相邻的透明区, 相间地增加(或减薄)一层透明介质(称移相器), 使透过这些移相器层的光的相位与相邻透明区透过的相位差  $180^\circ$ , 通过控制光学曝光过程中的光位相参数, 产生光的干涉效应, 部分抵消了限制光学系统分辨率的衍射扩展效应, 从而改变了空间光强分布, 以提高光学曝光系统实用分辨率. PSM 技术自 1982 年 Levenson 等人提出之后, 20 世纪 90 年代初期以来得到了突飞猛进的发展, 有些 PSM 已经得到应用<sup>[1,2]</sup>. 国内 PSM 技术研究也在 20 世纪 90 年代初期起步, 进而又对波前工程光刻技术开展了系统、全面而深入的研究<sup>[3,4]</sup>.

移相光学掩模的种类很多, 典型的方法包括交替型移相掩模、无铬型移相掩模、衰减型移相掩模、边缘增强型和混合移相掩模五种. 一般认为, 对于 65nm 节点及以下分辨率的解决方案通常有两种, 一种是交替型 PSM + 高相干度常规照明, 另一种是衰减型移相掩模 + 离轴照明, 近年来也有研究者提出了采用二极照明 + 掩模水平和垂直两层分解的技术方案, 并且初步取得了较好的结果.

本文提出了一种全新的移相掩模——侧墙铬衰减型移相掩模(SCAPSM), 相对于通常的衰减型移相掩模, 其制造工艺仅多两步, 却可以较大幅度提高光刻分辨率. 采用 PROLITH 光学光刻模拟软件, 参考 ArF 步进扫描投影光刻机 TWINSCAN XT:

1400E 的曝光参数, 对侧墙铬衰减型移相掩模的工艺进行了研究, 证明 SCAPSM + 离轴照明的方案可以将干式 193nm 光刻的分辨率提高到 50nm.

## 2 侧墙铬衰减型新结构移相掩模原理

图 1 给出了几种应用于 193nm 光学光刻的 PSM 的截面示意图. 其中图 1(a)表示的是常规光学掩模, 掩模衬基是透过率大于  $99.5\% @ 193\text{nm}$  的熔石英, 其尺寸一般为  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 6.25\text{mm}$ , 吸收体材料为铬, 对于光密度 OD3 标准, 铬薄膜厚度一般大于 65nm. 图 1(b)表示的是衰减型 PSM. 一般来说, MoSi, CrF, CrOF, MoSiON, CrONF 这些 248nm 波段下的移相材料都不能应用于 193nm 波段. 一方面是因为这些材料本身的物理特性使它们对检测光的透过率不够, 更重要的是这些材料对 193nm 光源的辐射稳定性不好. 通常需要采用 SiTiN 超晶格多层光学膜, 其原因是它的光学特性可裁剪(通过控制各层膜厚及膜的化学成分即可); 膜的制备工艺有较大的工艺宽容度; 靶材简单, 普通的金属元素靶即可; 膜层较薄, 对于控制膜成分的一致性较为有利; 稳定性好, TiN 层的存在减小了膜的反射, 起到了抗反射涂层的作用. 通常采用的 SiTiN 超晶格多层光学膜的透过率有 6%, 9% 和 18% 三种, 其中 6% SiTiN 超晶格多层光学膜的制作技术最为成熟. 图 1(c)表示的是交替型 PSM, 其吸收体材料也是铬. 图 1(d)表示的是我们所提出的新概念 PSM——侧墙铬衰减型移相掩模(sidewall chrome attenuated phase-shift mask, SCAPSM), 其原理是

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60376020)

<sup>†</sup> 通信作者, Email: xiechangqing@ime.ac.cn

2005-10-11 收到, 2005-12-29 定稿

在衰减型 PSM 移相层的两侧添加一定宽度的铬,以起到压制 193nm 光学光刻中的光学旁瓣,从而有效

消除衍射效应,起到比衰减型 PSM 更为有效的分辨率增强功能.

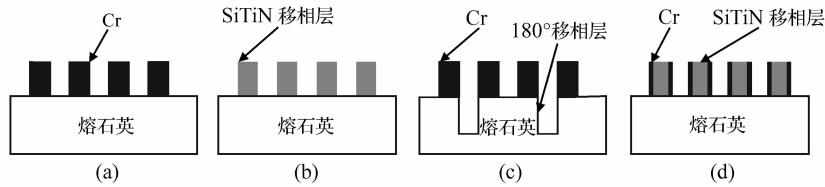


图 1 几种应用于 193nm 光学光刻的 PSM 截面示意图 (a)常规掩模;(b)衰减型 PSM;(c)交替型 PSM;(d)侧墙铬衰减型 PSM

Fig.1 Cross-section schematic diagram of some phase shift mask for 193nm optical lithography (a) Conventional mask;(b) Attenuated PSM;(c) Alt-PSM;(d) SCAPSM

相比于交替型 PSM,SCAPSM 的制作工艺是比较简单的,当衰减型 PSM 制作完毕后,在衰减型 PSM 正面电子束蒸发 10nm 左右厚度的铬,再各向异性大面积刻蚀铬即可完成,其制作难度与衰减型 PSM 相当,只是多了两步常规工艺.

### 3 模拟条件及结果

模拟条件完全参考 ASML 公司 ArF 步进扫描投影主力光刻机 TWINSCAN XT:1400E 的曝光参数,离轴照明方式为环形照明,外相干因子为 0.96,离轴照明内相干因子为 0.76,数值孔径为 0.93,采用著名的光学光刻模拟软件 PROLITH 进行模拟研究.

图 2 示出了 65nm 节点分辨率不同透过率的衰减型移相掩模(attPSM)、侧墙铬衰减型移相掩模(SCAPSM)的光刻胶表面光强分布.从图 2 可以看到,采用 SCAPSM 比采用 attPSM 具有更大的光学调制传输函数,随着透过率的增大,光学调制传输函

数相应增大,表明同等曝光条件下 SCAPSM 比 attPSM 具有更强的分辨率增强能力.

选用 Sumitomo PAR700 光刻胶,胶厚 150nm,衬底材料是硅,前烘温度为 95℃,时间为 60s,后烘温度为 120℃,时间为 60s,显影时间为 60s.我们分别研究了不同的底层抗反射层(BARC)类型和厚度  $t$  对驻波效应的影响,如图 3 所示,其中第一代 BARC 的介电常数  $n = 1.470 - 42i$ ,第二代 BARC 的介电常数  $n = 1.82 - 0.34i$ .

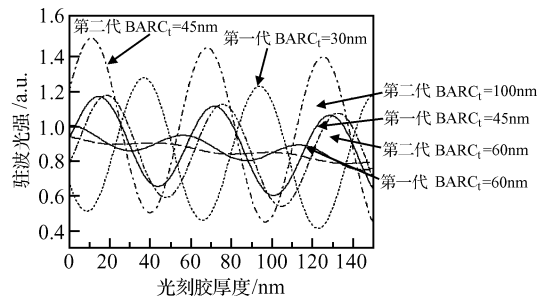


图 3 不同的底层抗反射层(BARC)类型和厚度  $t$  对驻波效应的影响

Fig.3 Standing wave effect dependence on different bottom anti-reflected coating types and thicknesses

由图 3 可见,不同的 BARC 类型和厚度对驻波效应的影响很大,选用第二代 BARC,厚度为 60nm 时最适宜于 SCAPSM 的使用.

图 4 给出了对于 18% 透过率 SCAPSM,数值孔径为 0.93,离轴照明方式为环形照明,外相干因子为 0.96,离轴照明内相干因子为 0.76,50nm 节点光刻分辨率时的光刻胶线宽与离焦量的关系.从图 4 可以看到,采用我们提出的 SCAPSM 完全可以满足 50nm 节点光刻分辨率的要求,而采用通常的衰减型移相掩模 + 离轴照明却不能满足 50nm 节点光刻分辨率的要求.

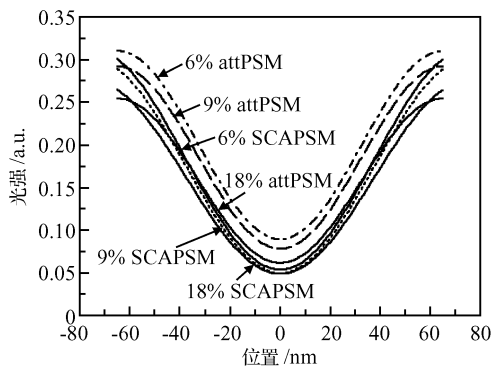


图 2 65nm 节点分辨率不同透过率的衰减型移相掩模(attPSM)、侧墙铬衰减型移相掩模(SCAPSM)的光刻胶表面光强分布

Fig.2 Intensity distributions on the resist surface dependence on different transmission of attenuated PSM and SCAPSM at 65nm node

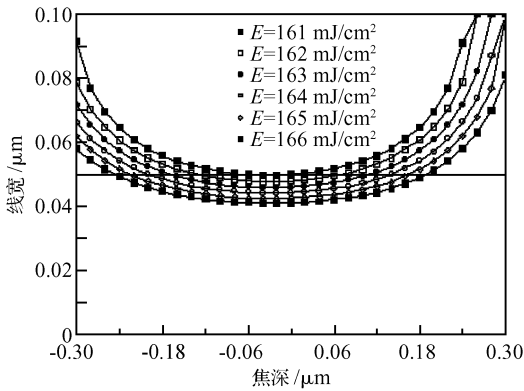


图4 18%透过率 SCAPSM 50nm 节点光刻分辨率时的光刻胶线宽与离焦量关系

Fig.4 Relation between resist linewidth and defocus for 18% transmission SCAPSM at 50nm node lithography resolution

## 4 结束语

本文提出了一种全新的移相掩模——侧墙铬衰减型移相掩模(SCAPSM),相对于通常的衰减型移相掩模,其制造工艺仅多两步,却可以较大幅度提高

光刻分辨率.采用 PROLITH 光学光刻模拟软件,参考 ArF 步进扫描投影光刻机 TWINSCAN XT:1400E 的曝光参数,对侧墙铬衰减型移相掩模的工艺进行了研究,证明 SCAPSM + 离轴照明的方案可以将干式 193nm 光学光刻的分辨率提高到 50nm.

## 参考文献

- [1] Lin B J. Phase-shifting and other challenges in optical mask technology. Proceedings of the SPIE, 1990, 1496:13
- [2] Liebmann L W, Newman T H, Ferguson R A. A comprehensive evaluation of major phase shift mask technologies for isolated gate structures in logic designs. Proceedings of the SPIE, 1994, 2197:612
- [3] Chen Baoqin, Liang Junhou, Zhang Weihong. Vacuum science application on phase shift mask fabrication technology. 10th National Vacuum Society Conference on Electronic Material and Devices, Shenzhen, 1994:16 (in Chinese) [陈宝钦, 梁俊厚, 张卫红. 真空科学在移相掩模制作技术中的应用. 第十届中国真空学会电子材料与器件学术会议论文集, 深圳, 1994:16]
- [4] Feng Boru, Chen Baoqin. Study on phase shift mask. Microfabrication Technology, 1995, 3:34 (in Chinese) [冯伯儒, 陈宝钦. 相移掩模技术研究. 微细加工技术, 1995, 3:34]

## Application on Sidewall Chrome Attenuated New Structure Phase Shift Mask\*

Xie Changqing<sup>†</sup>, Liu Ming, Chen Baoqin, and Ye Tianchun

(Key Laboratory of Nano-Fabrication and Novel Devices Integrated Technology, Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** A new type phase shift mask—sidewall chrome attenuated phase shift mask(SCAPSM) is presented. Compared to conventional attenuated phase shift mask, only two process steps are added, but its lithography resolution can be improved greatly. With reference to exposure parameters of ArF scanner TWINSCAN XT:1400E, the SCAPSM exposure process is studied using optical lithography simulation software PROLITH. The resolution of dry 193nm optical lithography can be improved to 50nm when using SCAPSM + OAI.

**Key words:** 193nm optical lithography; attenuated phase shift mask; off-axis illumination; numerical aperture; PROLITH  
**EEACC:** 2570; 2250G

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0340-03

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 60376020)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: xiechangqing@ime.ac.cn

Received 11 October 2005, revised manuscript received 29 December 2005