

衰减相移掩模及其编码制作方法研究*

周崇喜 冯伯儒 侯德胜 张 锦

(中国科学院光电技术研究所微细加工光学技术国家重点实验室, 成都 610209)

摘 要 在霍普金斯(Hopkins)理论的基础上,对方孔的传统透射掩模、衰减相移掩模以及加入光学邻近效应校正的衰减相移掩模在硅片表面光强分布的计算表明,衰减相移掩模有提高光刻分辨率的显著功能。提出一种制作衰减相移掩模的编码方法,理论计算表明,该编码方法能够达到预定的衰减参数。

关键词 衰减相移掩模, 光学邻近效应校正, 编码。

1 引 言

在大规模集成电路光刻中,提高投影曝光物镜的数值孔径,缩短曝光波长,提高工件台的定位精度,已使光刻技术推进到亚半微米阶段。但是,增大数值孔径和缩短曝光波长,一方面导致镜头的设计、制作更加困难;另一方面将使系统的焦深进一步缩小乃至不能实用。因此目前世界上很多国家开展的离轴照明(OAI)、相移掩模(PSM)、光学邻近效应校正(OPC)、光瞳滤波(AF)等波前工程技术,都是为了在亚半微米光刻机上实现深亚微米的光刻图形^[1],而不增加系统的设计、制作难度和减小焦深。

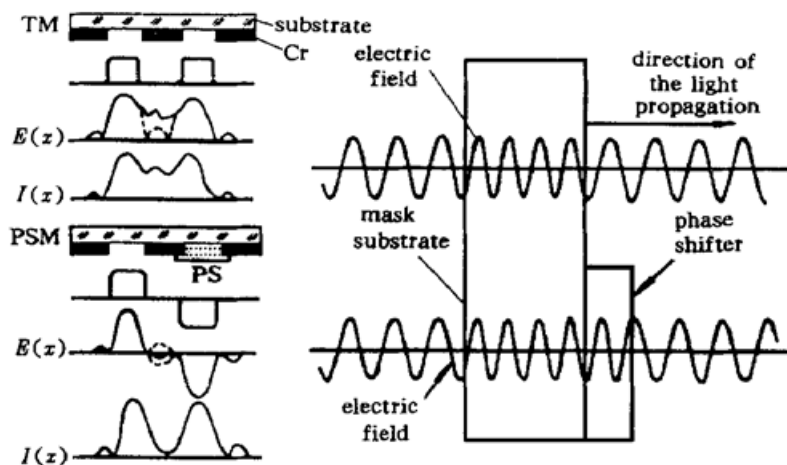


Fig. 1 Principle of the phase shifting mask

因此光刻专家认为,上述方法的结合是实现深亚微米的必由之路。本文主要讨论相移掩模技术。其基本原理是在传统的二元铬透射掩模(TM)的适当透光区内增加一相移层,使透过该相移区和无相移区的光在相位上相差 180° ,从而改变掩模图形的傅里叶谱分布,使衍射波中的某些级次之间产生相消干涉,减弱暗区的光强度,从而提高光强对比度或增大图形光强分布的斜率^[2],如图1所示。从图中可以明显地看出,相移掩模主要针对空频较高(衍射极限附近)的微细线条才有意义。

* 中国科学院“九·五”应用研究与发展重大项目。

收稿日期:1998-09-29; 收到修改稿日期:1999-01-11

2 基本理论

光刻成像是—个部分相干成像过程。根据霍普金斯理论, 像面上的光强分布可表示为^[3]

$$I'(u', v') = \iint \mathcal{Y}(x_0, y_0) |\Phi(x_0, y_0; u', v')|^2 dx_0 dy_0 \tag{1}$$

$\mathcal{Y}(x_0, y_0)$ 是聚光镜的照明参数, $\Phi(x_0, y_0; u', v')$ 为点光源 (x_0, y_0) 在像面上所形成的复振幅分布, 它可进一步表示如下

$$\Phi(x_0, y_0; u', v') = \frac{1}{2\pi} \iint f(x, y) \alpha(x - x_0, y - y_0) \exp [i(u'x + v'y)] dx dy \tag{2}$$

$f(x, y)$ 为瞳函数, $\alpha(x - x_0, y - y_0)$ 为成像系统入瞳处的复振幅分布, 可表示为

$$\alpha(x - x_0, y - y_0) = \frac{1}{2\pi} \iint A(u, v) \exp \{-i[u(x - x_0) + v(y - y_0)]\} dudv \tag{3}$$

$A(u, v)$ 为物体的复透射函数, 它可写成振幅和相位的函数, $A(u, v) = t(u, v) \exp [i\mathcal{Q}(u, v)]$, $t(u, v)$ 为振幅透过率, $\mathcal{Q}(u, v)$ 为相位透过率。对于传统的透射掩模, $t(u, v) = 1.0$, $\mathcal{Q}(u, v) = 0$, 掩模透光区的复透射函数 $A(u, v) = 1$; 对于相移掩模, $t(u, v) = 1.0$, $\mathcal{Q}(u, v) = \pi$, 这样使掩模透光区的复透射函数 $A(u, v) = -1$; 对于衰减型相移掩模, $0 \leq t(u, v) \leq 1$, $\mathcal{Q}(u, v) = \pi$, 因而 $-1 \leq A(u, v) < 0$ 。加入衰减相移掩模, 使相位相反的衰减暗区有一定的光场分布, 促使光强分布的边缘斜率增加, 从而提高光刻分辨率。

3 衰减相移掩模典型实例——接触方孔计算模拟结果

较典型的相移掩模有 Levenson 交替型相移掩模、无铬相移掩模、边缘相移掩模、部分边缘相移掩模、辅助相移掩模、连续色调相移掩模和衰减相移掩模^[4]。

针对 $0.35 \mu\text{m}$ 特征线宽, 作者计算模拟了一 $0.35 \mu\text{m}$ 方孔的衰减相移掩模在不同透射率情况下像面上的光强分布, 其镜头参数为: 数值孔径 $NA = 0.63$, 曝光波长 $\lambda = 0.365 \mu\text{m}$, 部分相干系数 $\sigma = 0.6$, 离焦量 $F_{\text{DOF}} = 0$ 。图 2(a) 为衰减相移掩模, 图 2(b) 为透过率分别在 5%、8%、10% 和 15% 等情况下像面沿 x -轴方向的光强分布, 最佳透过率为 10% 左右。

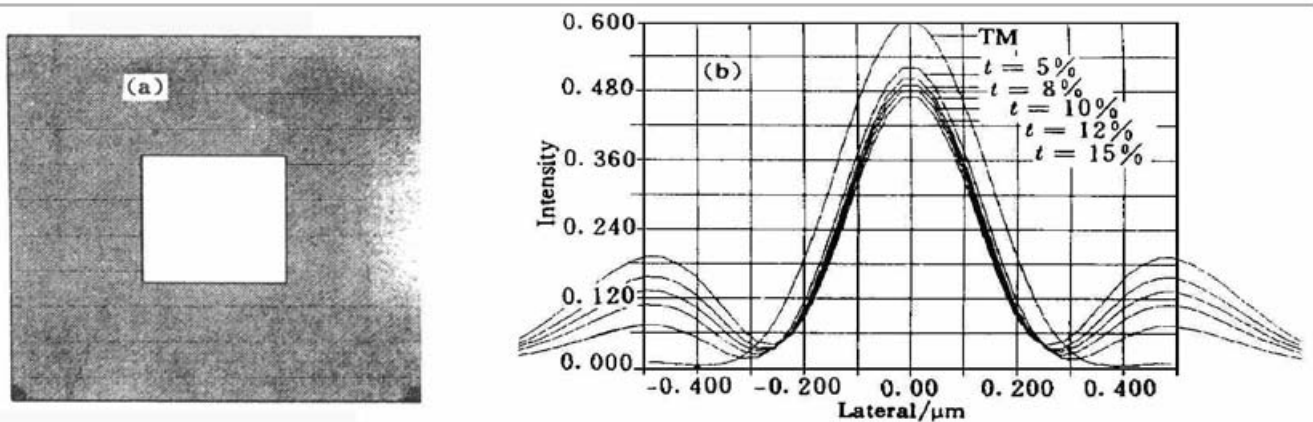


Fig. 2 Attenuated phase shifting mask and the image intensity along x -axis

为了进一步校正图形的畸变, 在衰减相移掩模的基础上提出加入光学邻近效应校正, 如图 3(a) 所示。图 3(b) 分别是透过率为 10% 情况下不同边长衬线时像面上的光强分布, 最佳衬线宽度为特征线宽的 $0.35 \sim 0.40$ 倍。图 4 分别为传统透射掩模(TM)、10% 的衰减相移掩模和加入光学邻近效应校正后的衰减相移掩模在最大光强值 $1/3$ 和 $2/3$ 处的轮廓分布。从图

中可以看出, 衰减相移掩模比透射掩模对提高光强宽容度有较为明显的改善, 加入光学邻近效应校正后的衰减相移掩模尽管轮廓比纯衰减相移掩模变平滑了一些, 但畸变减小了。

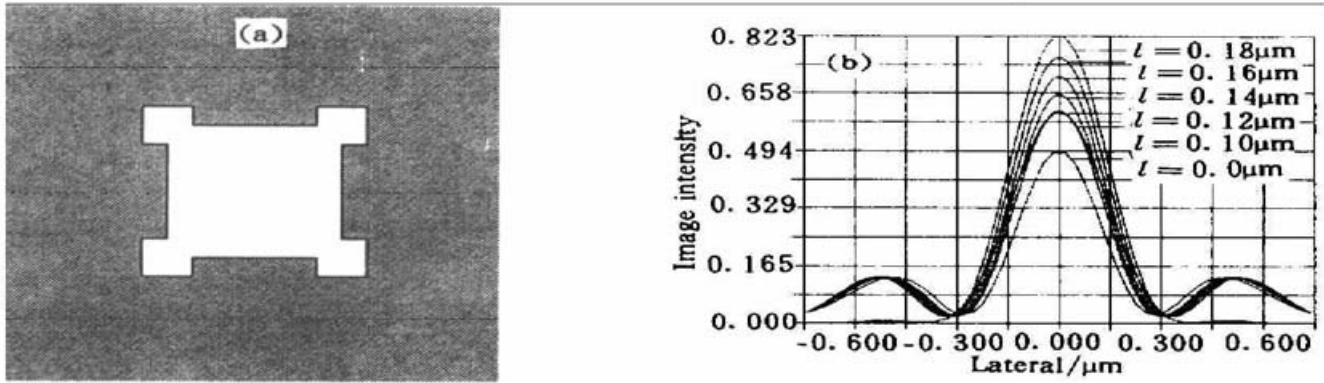


Fig. 3 Attenuated PSM with OPC and the image intensity

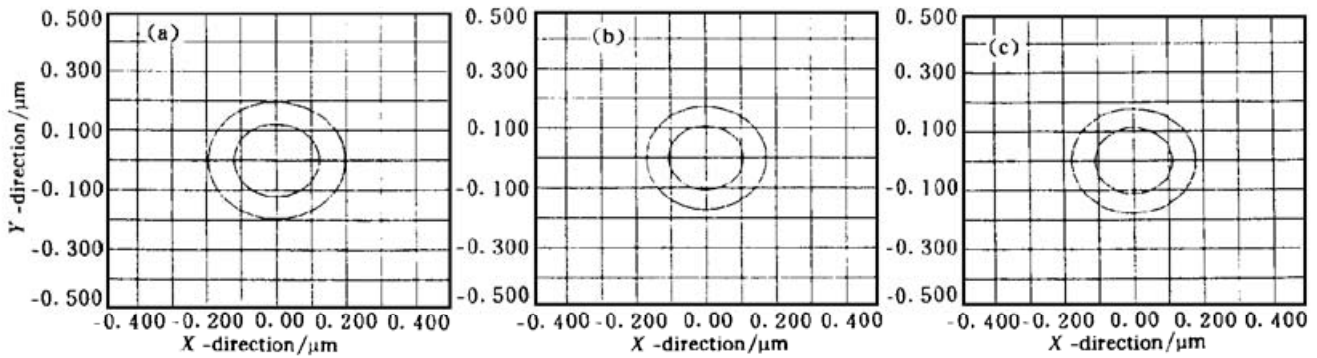


Fig. 4 Intensity profile distribution of three masks. (a) TM, (b) Attenuated PSM, (c) Attenuated PSM with OPC

4 衰减相移掩模的编码制作方法研究

衰减相移掩模的制作方法有多种, 如薄膜淀积法等。这里提出一种新的编码制作方法。其原理是根据掩模透射部分的疏密, 来编码不同的透过率。编码的原则是: 衰减区透过率部分的尺寸必须处于投影光刻机的亚分辨范围, 但也不是越小越好, 因为尺寸的减小意味着电子束直写时的数据量的增加, 因此实际设计时应综合平衡。所设计的编码型衰减相移掩模如图 5 所示, 图 5(a) 是透过率为 10% 的编码型衰减相移掩模, 图 5(b) 为编码型衰减相移掩模在像面上的光强分布轮廓, 从图可看出, 它和传统衰减相移掩模得到的轮廓图 4(b) 基本一

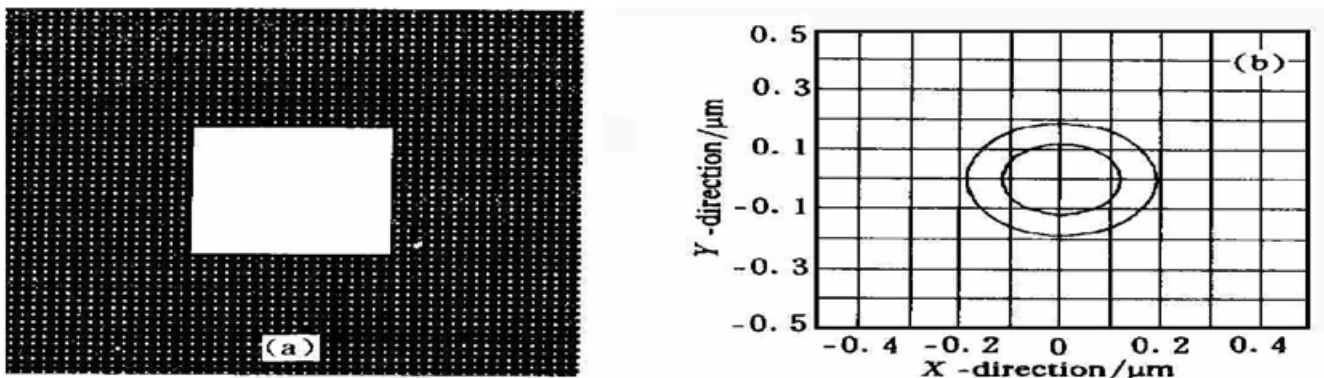


Fig. 5 Encoding attenuated phase shifting mask and the image intensity. (a) Encoding attenuated PSM ($t = 10\%$), (b) Image intensity

致。

制作编码型衰减相移掩模的过程分两步, 如图 6 所示。首先, 采用激光束或电子束在涂有铬和光致抗蚀剂的石英基片上对透光区进行曝光, 经显影、去铬和反应离子刻蚀后, 得到相位深度为 180° 的掩模。然后再对所得到的掩模进行去胶、清洗、甩胶、前烘等工艺后, 第二次采用电子束对衰减区进行曝光, 最后重复显影、去铬和去胶, 就得到编码型衰减相移掩模。

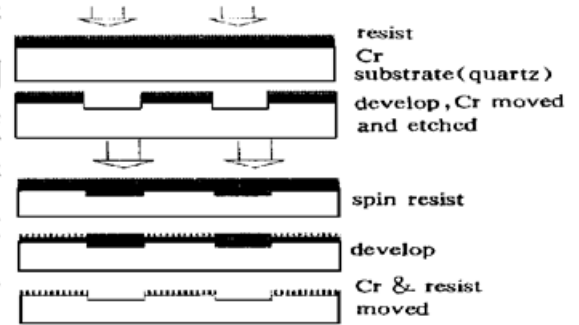


Fig. 6 Making process of encoding attenuated PSM

结 论 通过对 $0.35 \mu\text{m}$ 方孔在不同情况下相移掩模

的计算模拟表明, 衰减相移掩模对提高光刻分辨率的效果最明显, 加入光学邻近效应校正后的衰减相移掩模不仅提高了分辨率, 而且增加了峰值光强, 减小了图形的畸变。最后提出的衰减型相移掩模的新的编码制作方法, 理论计算结果表明, 它和传统衰减相移掩模的光强分布一致。

参 考 文 献

- [1] Rai-Choudhury P. *Handbook of Lithography*. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1997.
- [2] Levenson M D, Viswanathan N S, Simpson R A. Improving resolution in photolithography with a phase shifting mask. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1982, **ED-29**(12) : 1828~ 1836
- [3] Hopkins H H. On the diffraction theory of optical images. *Proc. Roy. Soc.*, 1953, **A217** : 408
- [4] 冯伯儒, 陈宝钦. 边缘相移掩模技术. *光电工程*, 1997, **24** 增刊 : 12~ 17

Research of Attenuated Phase-Shifting Mask and Its Encoding Making Method

Zhou Chongxi Feng Boru Hou Desheng Zhang Jin

(State Key Lab of Optical Technologies for Microfabrication, Institute of Optics and Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209)

(Received 29 September 1998; revised 11 January 1999)

Abstract Attenuated phase shifting mask (PSM) and that with optical proximity correction are adopted to improve resolution of photolithography based on some calculation results. And a new method of making attenuated PSM by encoding is proposed, and the theoretical calculation results are accordant to that of the conventional attenuated mask.

Key words attenuated phase shifting mask, optical proximity correction, encoding.