

# 1:1 分步亚微米光刻镜头

王之江 孙保定 路敦武 江建忠  
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文介绍一个数值孔径0.4、视场 $10 \times 10 \text{ mm}^2$ 可用于1:1分步投影光刻机的镜头的光学设计及其模型实验结果。光学设计在Wynne-Dyson的1:1折反式系统的基础上,对该系统作了某些改变。实验结果表明,该镜头具有亚微米的光刻分辨率。

关键词: 光学光刻, 亚微米光刻, 镜头, 分辨率, 焦深。

## 一、前 言

集成电路的发展趋势是线宽愈来愈窄而芯片尺寸愈来愈大。随着1M DRAM的生产和4M DRAM的研制,提出了亚微米光刻的要求。过去通常认为,光学方法不可能实现亚微米光刻,主要应发展电子束、X光、离子束等技术,这一看法已被近年来光学光刻的进展所否定。在研制亚微米光刻光学系统中,人们的努力集中在加大孔径和缩短波长,并已取得一些成果,目前在邻近微米的区域,已制成可用于生产的亚微米光刻镜头,也报道过 $0.5 \mu\text{m}$ 光刻镜头的实验结果。

## 二、光 学 设 计

现有光刻机的投影光学系统有三类:(1)缩小倍率折射式光学系统;(2)1:1反射式光学系统;(3)1:1折反式光学系统。

Wynne-Dyson的1:1折反式光学系统<sup>[1,2]</sup>,既可达到较大数值孔径(0.3或更大)又适用于远紫外波长,结合了折射系统和反射系统的优点,是对亚微米光刻有良好发展前景的光学系统。

我们在Wynne-Dyson系统的基础上,作了某些改变,设计了一个可用于1:1分步投影光刻机的亚微米光刻镜头,其主要设计指标如下:

放大倍率	1:1	最小工作线宽	$0.8 \mu\text{m}$
数值孔径	0.4	瑞利焦深	$\pm 1.3 \mu\text{m}$
视场	$10 \times 10 \text{ mm}^2 \sim 7 \times 21 \text{ mm}^2$	校正波段	365~436 nm

设计的光学系统如图1所示,像差校正的结果,在18 mm的视场半径内,象质可达到衍射极限。并在365~436 nm波段内的色差得到校正,凹反射镜的通光直径为160 mm,整个

镜头的光轴长度为 308 mm。掩模和硅片与棱镜的距离为 2 mm，对光轴倾斜  $16^\circ$ ，图 2 为镜头的象散校正曲线。

棱镜展开时视场的布置如图 3 所示。允许的最大正方面积为  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ，也可取  $7 \times 21 \text{ mm}^2$  的长方形面积，或者两者之间的不同曝光面积。

系统在物方和象方都是远心光路，从掩模上射入的平行于光轴的主光线，经过系统后仍平行地射向硅片，从而保证了共轭面位置的微小变化不会引起放大倍率的变化。

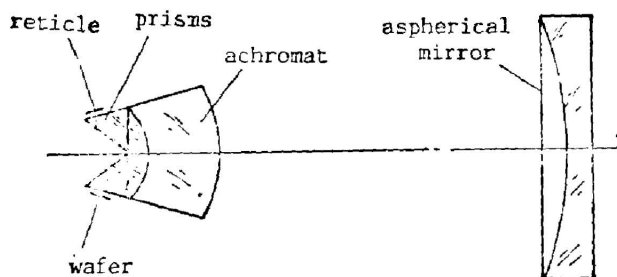


Fig. 1 Optical system of lens

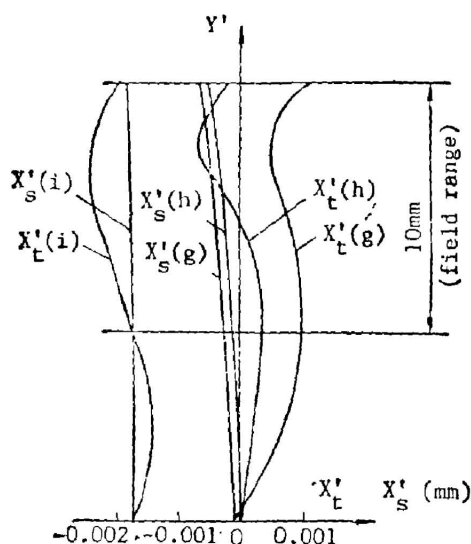


Fig. 2 Diagram of astigmatic correction

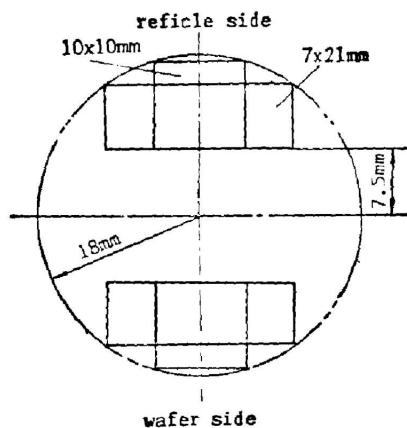


Fig. 3 Field layout

光刻投影物镜的最小工作线宽可用下式估计<sup>[2]</sup>：

$$R = \frac{0.8\lambda}{NA}, \quad (1)$$

式中  $\lambda$  为波长， $NA$  为数值孔径。当镜头的数值孔径为 0.4，使用波长为  $0.405 \mu\text{m}$  时，最小工作线宽为  $0.8 \mu\text{m}$ 。此值约为瑞利分辨率的三倍，故高质量系统的工作线宽会小于此值。

镜头的工艺要求严格。为减小因制造引起的畸变，棱镜反射面的精度为  $(\lambda/20)$  消色差透镜-棱镜组用透紫外光的环氧树脂胶胶合，棱镜的胶合位置应精确，以防止视场边缘阑光，凹反射镜镀膜加氟化镁保护膜，以获得宽带反射特性。棱镜的反射面镀膜而不镀介质膜，因为介质膜会引起较大的偏振和位相变化，使像质变坏。为减少杂光，所有的玻璃与空气界面均对  $405 \text{ nm}$  波长镀氟化镁增透膜。

### 三、实验模型

为了验证设计的光学系统, 建立了一个实验模型。它包括镜头、照明系统和电源三部分, 分立于隔震平台上。

#### 1. 硅片调焦机构

镜头的焦深仅  $2\sim 3\ \mu\text{m}$ , 为精确对焦和测定焦深, 硅片架必须有分辨率为  $0.1\ \mu\text{m}$  的平动调焦机构。我们将硅片架固定在两个平行圆片簧构成的平动导轨上, 用差动螺丝作为驱动机构, 达到了上述要求。调焦鼓轮格值为  $1\ \mu\text{m}$ , 调焦范围为  $\pm 0.3\ \text{mm}$ 。

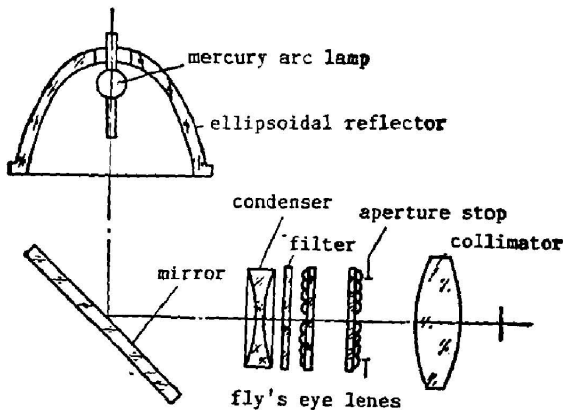


Fig. 4 Reticle illuminator

#### 2. 照明系统及电源

为了满足亚微米光刻对照明均匀性的严格要求, 设计了一个采用椭球镜和复眼透镜的掩模照明系统, 如图 4 所示。照明系统的最大数值孔径为 0.22, 可以调节, 以改变部分相干度。实测掩模面上的照明均匀性优于  $\pm 2\%$ 。

照明系统采用 250 W 直流球形汞灯作为光源。为了保证在同一设定值下曝光的稳定性和重复性, 设计了稳流恒光强汞灯电源。实测汞灯  $h$  线光强变化小于  $\pm 3\%$ 。

#### 3. 光学调整

- (1) 凹反射镜与消色差透镜同心: 用自准显微镜检测, 球心的横向偏离量小于  $2\ \mu\text{m}$ , 纵向偏离量小于  $0.02\ \text{mm}$ 。
- (2) 掩模定位面与球心重合且与棱镜入射面平行; 视场光阑与球心有一定相对位置: 调整方法是利用一块刻有视场范围和球心标记的分划板, 将其装于掩模位置, 用自准显微镜和自准平行光管检测。
- (3) 硅片定位面与棱镜出射面平行且处于最佳焦面上: 平行用自准平行光管检测; 最佳焦面则需在用读数显微镜初步定位后, 在不同聚焦位置曝光图形来判定, 线宽最小的位置为最佳焦面位置。
- (4) 照明系统与镜头对接: 当对接正确时, 在凹反射镜中心可看到清晰、对称的复眼透镜孔径光阑像。

### 四、实验结果

在实验模型上进行了光刻实验, 结果如下:

#### 1. 光刻分辨率板

采用线宽和间隔为  $0.6, 1, 1.5, 2, 3, 5\ \mu\text{m}$  的电子束阴板, 涂 AZ1350 胶的镀铬玻璃

基片, 胶厚  $6000 \text{ \AA}$ , 在全视场内获得  $0.6 \mu\text{m}$  线宽和间隔的分辨率。光刻胶上的分辨率图形照片如图 5 所示。

采用线宽为  $0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2 \mu\text{m}$  (间隔/线宽  $\approx 2$ ) 的电子束阴板和阳板, 胶和基片同上, 在全视场内获得  $0.5 \mu\text{m}$  线宽的分辨率。用阴板曝光并经腐蚀的分辨率图形如图 6 所示。从图上可见, 线条的挺直度和一致性都是比较令人满意的。

## 2. 光刻电路板

用实际电路板作了光刻实验, 其结果如图 7 所示。图中细线条的线宽为  $0.8 \mu\text{m}$ 。

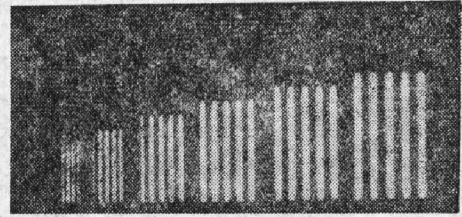


Fig. 5 Photograph of resolution pattern in resist (space/line=1)

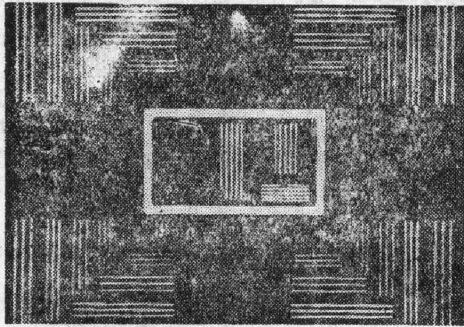


Fig. 6 Photograph of etched resolution pattern (space/line  $\approx 2$ ) linewidths of  $0.5, 0.75, 1 \mu\text{m}$  in center and  $0.75, 1, 1.25 \mu\text{m}$  in corners

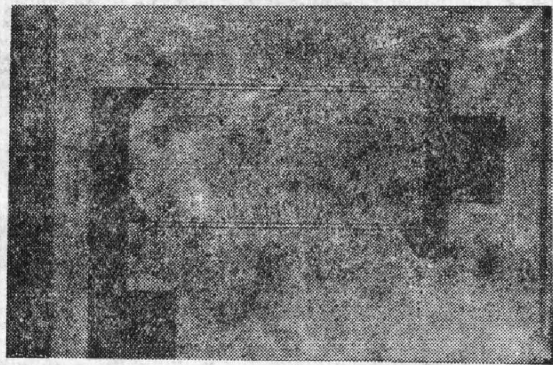


Fig. 7 Photograph of circuit pattern in resist

从以上实验结果判断, 镜头的分辨率达到了设计指标, 具有制作亚微米线宽的性能。

光刻分辨率可定义为在一定焦深内光刻线宽变化小于  $\pm 10\%$  的最小线宽<sup>[4]</sup>。这个定义与使用要求一致, 且便于定量地评定。但要采用这个评定方法, 必须在严格控制的工艺条件下, 在不同聚焦位置曝光, 然后用自动线宽测量设备测定视场各点不同线宽在不同离焦量下的光刻线宽, 再经数据处理作出评定。这项工作正在准备进行。

王世贵、杨良民和陈秋水同志承担了实验模型的机电设计, 谨此致谢。

## 参 考 文 献

- [1] G. G. Wynne; *Optical Instrument and Techniques*, (Oriel Press, London, 1970), 429.
- [2] R. Hershel; *Proc. SPIE*, 1980, **221**, 39~43.
- [3] A. Offner; *Opt. Eng.*, 1987, **26**, No. 4 (Apr), 294~299.
- [4] M. Nakase; *Opt. Eng.*, 1987, **26**, No. 4 (Apr), 319~324.

## **A submicron lithographic lens available to 1:1 stepper**

WANG ZHIJIANG, SUN BAODING, LU DENGWU AND JIANG JIANZHONG  
(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 28 December 1987)

### **Abstract**

The optical design and model experiment results of a lithographic lens available to 1:1 stepper with a numerical aperture of 0.4 and field size of  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  are described. The optical design is based on Wynne-Dyson's 1:1 catadioptric system and some modifications have been made. The experimental results have shown that the lens possesses submicron lithographic resolution.

**Key words:** optical microlithography; submicron lithography; lens; resolution; depth of focus.