

0.35 μm 分步重复投影光刻物镜设计

林妩媚 王效才

(中国科学院光电技术研究所, 成都 610209)

摘 要 介绍 0.35 μm 分步重复投影光刻物镜的设计要点, 包括数值孔径、结构型式的确定、材料的选择。介绍了光刻物镜设计的难点、创新点及设计结果。

关键词 光刻物镜, 分步重复投影, 衍射极限。

1 引 言

大规模集成电路的关键专用设备——分步重复投影光刻机的不断更新换代, 使得其核心部件光刻物镜的设计、加工和装配等技术难度都很大。光刻分辨率的提高, 导致光刻物镜数值孔径增大, 从 80 年代初的 0.3 左右到现在的 0.6 以上; 使用的波长越来越短, 从 g 线、h 线发展到目前广泛应用的 i 线, 更进一步的研究则向深紫外、X 射线发展。另外, 设计中可供选择的材料种类受到限制, 这些都给光刻物镜的设计带来很大困难。

2 设计要点及难点

2.1 数值孔径与分辨率的关系

光刻物镜要求成像质量达到衍射极限, 全视场内的成像质量要尽量保持一致。在波长一定的情况下, 提高镜头分辨率采用的常规方法是增大数值孔径。然而, 数值孔径的增大会给设计、加工和装配等带来相应的难度, 权衡各方面的利弊, 在保证分辨率能实现的情况下, 选择合适的数值孔径尤为重要。根据两个瑞利公式计算,

$$R = \frac{k_1 \lambda}{\text{NA}}, \quad D_f = \frac{k_2 \lambda}{\text{NA}^2}, \quad (1)$$

式中 R 为实用分辨率, D_f 为焦深, λ 为波长, NA 为像方数值孔径, k_1 和 k_2 为工艺因子, 对典型 i 线光刻工艺, $k_1 = 0.7$, $k_2 = 0.8$ 。要求实用分辨率为 0.35 μm , 由(1)式得 $\text{NA} = 0.73$, $D_f = 0.548 \mu\text{m}$ 。这样大的数值孔径和短的焦深, 由于制造工艺等各种因素, 在当今的分步重复投影光刻机研制中是不可能实现的。从可实现的工艺角度考虑, 焦深 $D_f = 0.8 \mu\text{m}$ 时, 按(1)式求得数值孔径 $\text{NA} = 0.63$, 从而可求得实用分辨率 $R = 0.41 \mu\text{m}$ 。虽然达不到 0.35 μm 的线宽要求, 但是可以采用部分相干照明或引入移相掩模技术辅助以提高分辨率, 最终满足线宽要求。

2.2 材料的选择

i 线光刻物镜的视场较大, 数值孔径 NA 达到 0.63, 使得整个光学系统中的透镜口径大多在 $\varnothing 120 \sim \varnothing 240$ 之间, 口径增大导致厚度增加, 也意味着光程增加, 所以对材料的均匀性和应力的要求都很高。在材料的选择上, 既要保证对 i 光谱线有高的透过率, 又要考虑到材料本身的一些物理性能, 如抗腐蚀、均匀性、易加工等。整个设计中可供选择的玻璃种类受限, 给设计带来一定的难度。考虑到以上因素, 设计的最后结果采用了三种玻璃。

2.3 结构型式的确定

图形投影成像多次曝光光刻中, 在保证曝光质量的前提下, 还要求有高的套刻精度, 所以镜头结构形式的选择最为关键。根据双远心结构原理(如图 1 所示), 光阑位于前透镜组 G_1 的后焦点 F'_1 和后透镜组 G_2 的前焦点 F_2 处, 出瞳和入瞳均位于无穷远, 光学系统的入射主光线和出射主光线均平行于光轴。采用这种结构, 物、像面有位移时, 光学系统的倍率可以保持不变。但这种结构都由正透镜组成, 像面弯曲无法校正。

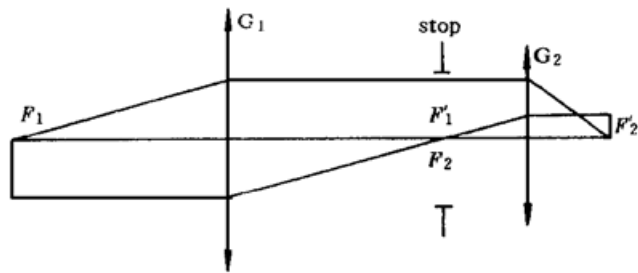


Fig. 1 Sketch of double telecentric lens principle

为校正场曲, 在系统中加入负透镜组, 虽使系统复杂化, 但仍保持双远心。这样既使系统的畸变很小, 又能满足高精度的套刻要求。最后采用的结构如图 2 所示。此系统为国内最为复杂的光学系统之一。

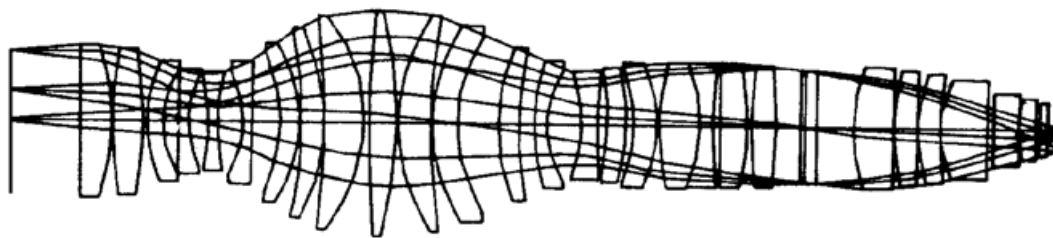


Fig. 2 Sketch of objective structure

2.4 设计结果

设计的 i 线投影光刻物镜, 结构上满足像方远心, 数值孔径 NA 为 0.48~0.63 连续可变, 倍率 $M = -1/5$, 整个物镜共有 29 片光学元件。为解决光学元件胶合的诸多技术难点, 物镜中没采用一组胶合件。结构上满足暗场同轴对准, 对提高光刻机套刻精度极为有利。

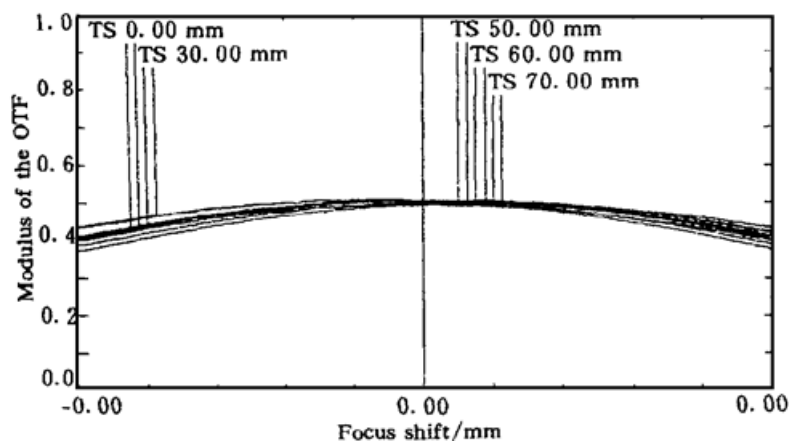


Fig. 3 Through focus MTF curves of objective

用光学设计软件 CODE-V 计算该镜头的光学成像质量。全视场内, 波差小于 $\lambda/4$; 色畸变小于 40 nm; 场曲小于 0.5 μm ; 归一化的 0.85 视场具有最大像散 0.5 μm ; 对于特征频率 1250 lp/mm , 在像面上传函 $\text{MTF} \geq 0.52$, 离焦 $\pm 0.4 \mu\text{m}$ 时, $\text{MTF} \geq 0.4$, 如图 3 所示。全视场内, 点的弥散均方根直径小于 0.33 μm , 中心点亮度大于 0.953, 如表 1 所示。所有这些设计指标都达到了世界上最高等级的投影光刻物镜水平。

Table 1. RMS diameter and strehl ratio of image point

field	RMS diameter/ μm	ratio of strehl
0	0.210	0.971
0.50	0.235	0.969
0.70	0.242	0.967
0.85	0.270	0.959
1.00	0.324	0.953

结束语 大数值孔径、大视场投影光刻物镜的设计虽然难度极大,但是只要初始结构型式、材料的选择得当,采用一体化优化设计方法,是可以满足成像质量达到衍射极限,并满足加工要求。设计的投影光刻物镜从结果看,可以满足刻划 $0.35\ \mu\text{m}$ 特征尺寸的要求。

参 考 文 献

- [1] 林大键. 工程光学系统设计. 北京: 机械工业出版社, 1987. 220240
 [2] 陈旭南, 王效才, 邢延文等. $0.8\ \mu\text{m}$ 投影光刻物镜研制. 光电工程, 1998, **25**(3): 5255
 [3] 冯伯儒, 姚汉民, 张 锦等. 深紫外和 X 射线光刻技术. 光电工程, 1997, **24**(增): 103110
 [4] 吴濯才, 陈旭南, 刘业异等. $0.81\ \mu\text{m}$ 分步重复投影光刻机研制. LSI 制造与测试, 1996, (6): 711

Design of $0.35\ \mu\text{m}$ Step-and-Repeat Projection Lithography Objective

Lin Wumei Wang Xiaocai

(*Institute of Optics and Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209*)

(Received 4 January 1999; revised 15 June 1999)

Abstract The main points of design of $0.35\ \mu\text{m}$ step-and-repeat projection lithography objective are introduced such as the determination of number aperture and structure model and the selection of material. The difficulties, novel design and a design result of lithography objective are discussed.

Key words photoetching objectives, step-and-repeat projection, diffraction limit.