

深亚微米激光光刻研究*

路敦武 黄惠杰 鄢 雨 杜龙龙 高瑞昌

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 报道用远紫外准分子激光进行亚微米光刻的实验结果。以波长为 248.3 nm 的 KrF 准分子激光为光源, 以光管均匀器为主构成照明系统, 采用带有平行平板为像差校正板的 1:1 折反射式投影光刻物镜, 在两种光刻胶上分别获得了 0.6 μm 和 0.5 μm 的光刻分辨率。

关键词 准分子激光, 激光光刻, 亚微米光刻, 光刻物镜。

1 引 言

提高集成度能改善半导体器件的性能和降低造价, 而提高集成度的关键是缩小半导体器件图形的特征尺寸。因此, 缩小半导体器件图形的特征尺寸一直是半导体技术发展的一个主要目标, 而其中不断突破分辨率极限的光学光刻技术是支撑半导体工业发展的关键技术。光学光刻技术之所以在微细加工技术中受到青睐, 其原因在于: (1) 光学光刻技术的生产成本最低; (2) 光学光刻技术已是生产线上传统的成熟技术, 在器件换代更新制造技术和设备时, 采用新的光学光刻技术所需的费用最低; (3) 八十年代出现的远紫外准分子激光光刻, 既可以提高光刻分辨率, 又对在光刻工艺中极为重要的焦深影响不大, 使人们原来认为的亚微米、亚半微米以下范围无能为力的光学光刻技术依然可占主导地位; 而相移掩模和离轴照明等技术的出现和逐步使用, 使得远紫外准分子激光光刻设备将成为 64 Mb、256 Mb 乃至 1 Gb 动态随机存储器 (DRAM) 器件的主要生产设备^[1]。因此, 准分子激光光刻技术已成为各半导体器件生产厂家竞相研究的技术。本文将介绍一种用 KrF 准分子激光进行深亚微米光刻的情况。

2 实验装置

实验采用如图 1 所示的实验装置进行深亚微米准分子激光光刻研究。该装置主要由 KrF 准分子激光器、照明系统和投影光刻物镜组成。下面较详细地介绍各部分的设计情况。

2.1 KrF 准分子激光器

用于本光刻实验的中心波长为 248.3 nm 的 KrF 准分子激光器基本上代表了我国该类器件的水平^[2]。本台激光器采用闸流管作开关元件、切向风机快速循环工作气体、LC 快放电回

* 中科院“八五”重大研究项目, 编号 KY85-18-04。

收稿日期: 1995年12月25日; 收到修改稿日期: 1996年1月25日

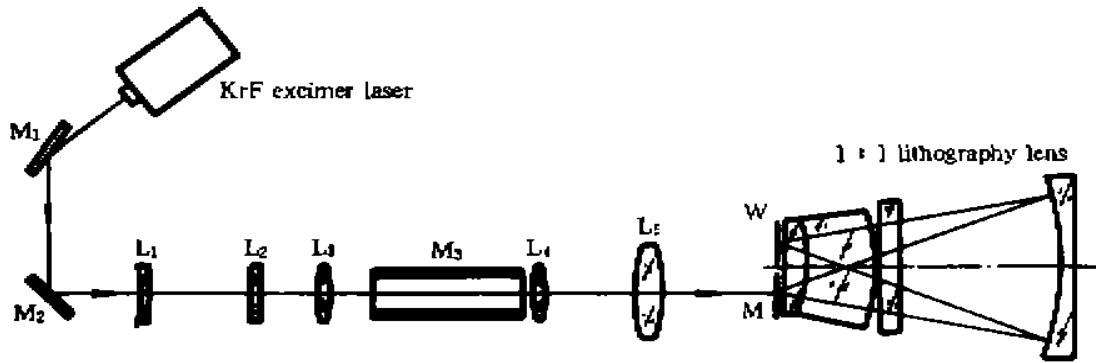


Fig. 1 Schematic illustration of laser lithography

路和紫外光火花预电离，主放电通道置于聚四氟乙烯材料腔内，从而使放电噪声小；此外，采用 CaF_2 光学窗口和镀铝紫外全反射镜构成谐振腔，达到了反射率高和破坏阈值高的良好结果。该激光器的主要性能参数如表 1 所列。

Table 1. Key parameters of KrF excimer laser

wavelength (nm)	248.3
spectral width (nm)	1
beam size (mm^2)	8×24
energy per pulse (mJ)	>100
average output power (W)	>5
pulse width (FWHM, ns)	~ 25
repetition rate (Hz)	$0.5 \sim 100$
pulse to pulse energy stability	$< \pm 5\%$
output power stability	$< \pm 5\%$
single gas-fill lifetime (pulses)	$> 5 \times 10^6$
efficiency	$1 \sim 2\%$

2.2 照明系统

KrF 准分子激光经由反射镜 M_1 和 M_2 后进入照明系统。 M_1 和 M_2 的作用是使激光器与照明系统和投影物镜的对接方便灵活。照明系统中的柱面透镜 L_1 和 L_2 组成 $2.5 \times$ 的一维扩束器，把激光器输出的 $8 \times 24 \text{ mm}^2$ 的矩形光斑变换成方形光斑。聚焦透镜 L_3 把整形后的光束聚焦到光管均匀器 M_3 内， M_3 的作用是使光束在其中经过多次反射混合后到达输出端面时成为一个具有一定均匀性的正方形光斑^[3]。场镜 L_4 的作用是压低光管出射端光束的发散角，以减小成像镜 L_5 的口径。 L_5 将光管出射端(即均匀化面)成像到投影物镜的物面(即掩模面 M) 上。

为充分利用光能并得到最佳的照明相干度，可以取照明系统的数值孔径为 0.25。实测表明，掩模处的照明均匀性达 $\pm 2\%$ ，这满足了深亚微米光刻对照明均匀性的严格要求^[4]。

2.3 投影光刻物镜

所设计的宽带 KrF 准分子激光 1:1 投影光刻物镜的光学系统结构如图 1 所示，此结构由在 1:1 Wynne-Dyson 物镜中加入一块校正像差的平行平板而构成^[5]。物镜的主要技术参数如表 2 所列。图 2 给出了物镜的波像差曲线，各视场的像质几乎相同，且波像差均小于 0.1λ 。图 3 是物镜中心视场的调制传递函数。

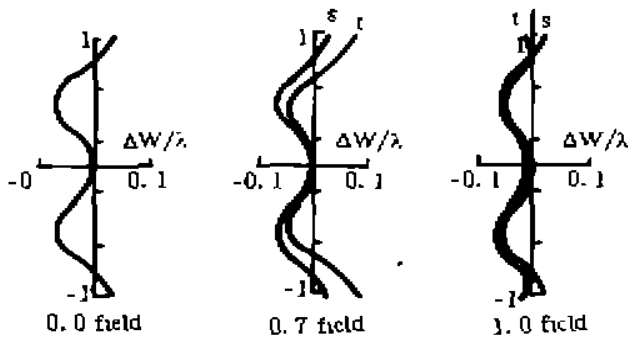
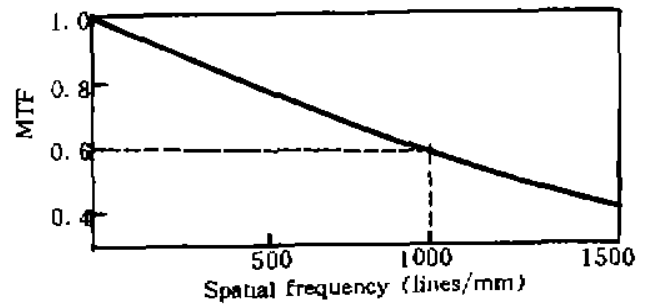
Fig. 2 Wave aberration curve ($\lambda = 248.3 \text{ nm}$)

Fig. 3 MTF of central field

Table 2. Parameters of lithography lens

magnification	1:1
wavelength (nm)	248.3
bandwidth (nm)	6
numerical aperture	0.4
resolution (μm)	0.5
depth of focus (μm)	1.55
field size (mm^2)	10×10
refractive materials	fused silica, CaF_2

本物镜与文献[5]报道的 XeCl 准分子激光光刻物镜的不同之处，主要在于其中的两块折射透镜之间不用硅油作胶合剂，而是改用光胶。这样就克服了硅油经长时间曝光后发生变质对成像质量的影响，但同时又大大提高了两个胶合面的加工精度及其一致性。在加工过程中，为使两个胶合面达到良好的光胶效果，直接用硬度较高的已达到加工要求的熔石英透镜的胶合面作样板，来检验 CaF_2 透镜的胶合面。再通过观测光胶后胶合面的牛顿环，以判别加工质量。

3 光刻实验与结果

由于本光刻物镜的物像共面且物像距固定不可调，所以改变折射镜组与反射镜之间的间隔是本实验的关键。实验中，作者用精密微位移器微调折射镜组与反射镜之间的间隔，每移动 $1 \mu\text{m}$ 试刻一次，直到试刻结果达到设计分辨率，即认为已找到最佳像质和最佳焦面位置。

实验中，采用两种光刻胶获得了两种不同的分辨率，如图 4 所示。一是 AZ1350 光刻胶，胶厚为 $0.6 \mu\text{m}$ ，曝光剂量为 300 mJ/cm^2 ，所得光刻分辨率为 $0.6 \mu\text{m}$ ；二是 PMMA 光刻胶，

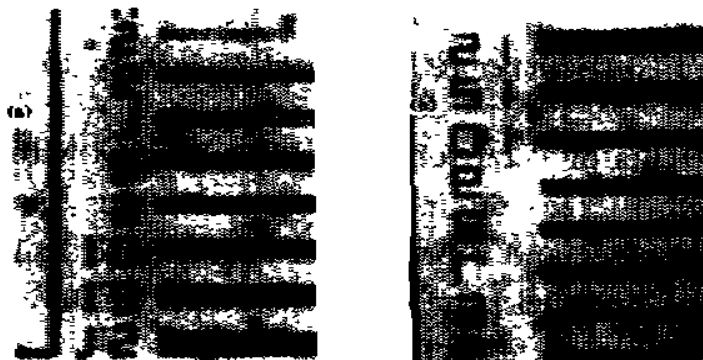


Fig. 4 Photographs of resolution patterns in two resists (line/space=1)

(a) $0.6 \mu\text{m}$ L/S in AZ1350 resist, (b) $0.5 \mu\text{m}$ L/S in PMMA resist

胶厚 $0.3 \mu\text{m}$ ，曝光剂量为 5 J/cm^2 ，所得光刻分辨率为 $0.5 \mu\text{m}$ 。

4 结论与讨论

1) 从实验结果来看，本投影光刻物镜的设计是成功的，且较之以硅油作胶合剂的投影光刻物镜又前进了一步。这不仅不会因为长时间曝光导致硅油变质对成像质量的影响，而且没有经常更换硅油带来的生产率的降低。

2) 由于本投影光刻物镜的物像共面且调整很不方便，所以当折射镜组和反射镜装调达到要求后，最佳像质和最佳焦面只能靠微量移动折射镜组以改变折射镜组和反射镜之间的间隔来完成。这要求间隔微调机构的调整精度相当高，理论计算值为微米级，因此手动调整是很难达到要求的。因此在实用化研究中，除保留胶合面的光胶优点外，物像面还是用棱镜或其它元件分开为好。

3) PMMA 光刻胶具有较高的光刻分辨率，只是所需曝光剂量太高，不适合实际生产。因此，研制适用于工业大生产的高分辨率高灵敏度的光刻胶是高性能半导体器件发展的另一个重要课题。

王之江院士对本实验给予了指导，邹海兴、于澍生、杨良民、沈蓓军等参加了本实验的部分工作，电子部十三所的江泽流为本实验提供了石英掩模板，中国科学院安徽光机所的赵震声等在 KrF 准分子激光器的研制中给予了大力支持，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] H. J. Jeong, D. A. Markle, The future of optical lithography. *Solid State Tech.*, 1994, 37(4): 39~47
- [2] 谷怀民, 赵震声, 贺龙海等, 用于光刻的 KrF 准分子激光器. *应用激光*, 1995, 15(1): 22~25
- [3] 严琪华, 鄢雨, 邹海兴等, 用空间滤波器改善光管式光学均匀器的性能. *光学学报*, 1993, 13(11): 1052~1054
- [4] 王之江, 邹海兴, 投影光刻机光学系统的总体设计. *光学学报*, 1987, 7(2): 159~164
- [5] 张雨东, 邹海兴, 王之江, 宽带折反射式紫外光刻物镜的设计. *光学学报*, 1992, 12(4): 359~364

Deep Submicron Excimer Laser Lithography

Lu Dunwu Huang Huijie Yan Yu

Du Longlong Gao Ruichang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 25 December 1995; revised 25 January 1996)

Abstract Experimental results of deep submicron lithography with a excimer laser are reported in this paper. With a free-running KrF excimer laser, an illumination system including a light pipe uniformizer and a broadband catadioptric 1:1 projection lens with an aberration correcting planoparallel plate, the resolutions of $0.6 \mu\text{m}$ and $0.5 \mu\text{m}$ L/S patterns are produced on two resists respectively.

Key words excimer laser, laser lithography, submicron lithography, lithography lens