

# 248 nm KrF 准分子激光零级抑制石英 相位掩模器的研制\*

陈根祥 程美乔\*\* 葛 璜\*\* 简水生 王 圩\*\*

(北方交通大学光波技术研究所 北京 100044 \*\* 中国科学院半导体所国家光电子工艺中心 北京 100083)

**提要** 实验研制了针对波长 248 nm KrF 准分子激光的零级抑制石英相位掩模器。用双层掩蔽和图形转移技术,在双面抛光的石英基片上以  $\text{CHF}_3/\text{O}_2$  为反应气体,用反应离子刻蚀技术制作了具有良好完整性、周期  $1.085 \mu\text{m}$  的石英相位掩模器。实际测量表明其零级衍射效率被抑制到 5.97%。

**关键词** 相位掩模,反应离子刻蚀,光栅

## 1 引 言

自相干相位掩模技术对于半导体 DFB、DBR 激光器的光栅图形产生<sup>[1]</sup>和光纤光栅紫外写入技术<sup>[2,3]</sup>具有非常重要的意义。尤其是在光纤 Bragg 光栅的制作方面,相位掩模技术具有很多独特的优点,它可以用来批量生产具有相同结构的光纤光栅并且对光源的相干性基本上没有要求。通过适当设计掩模光栅并采用扫描曝光技术还可以实现对光纤光栅光学特性的控制。此外,相位掩模技术是目前制作较长光纤光栅最为合适的方法,而且在使用上非常方便并具有很高的可靠性。因此对高性能石英相位掩模光栅的光学特性和制作技术的研究近年来在国际上非常活跃<sup>[4-6]</sup>。

当光束垂直于掩模器表面入射时,采用零级抑制相位掩模器可以在掩模器后面获得周期为掩模器周期一半的近场全息自干涉立体光栅图形。本文报道了用反应离子刻蚀技术在高纯紫外石英基片上制作 248 nm KrF 准分子激光零级抑制相位掩模器的实验及其结果,其零级衍射效率被抑制到 5.97%。理论分析表明,这种掩模器已具备生成光栅图形的能力。

## 2 石英相位掩模光栅的制作

图 1 为制作石英相位掩模光栅的主要工艺过程。衬底为厚度 1.6 mm,面积  $30 \times 30$  (mm) 的双面抛光高纯石英基片。其中的金属掩蔽层由 VS-24C 溅射系统在基片上淀积而成。光刻胶为 AZ1350 正型胶。首先用 325 nm He-Cd 激光对光刻胶进行全息曝光,显影后在光刻胶上形成周期为  $1.085 \mu\text{m}$  的光栅图形。在  $120^\circ\text{C}$  下硬烘 30 min 后,在光刻胶的掩蔽下对金属层进行

\* 国家自然科学基金、863 计划和国家博士点基金资助项目。

收稿日期: 1996—05—20; 收到修改稿日期: 1996—09—17

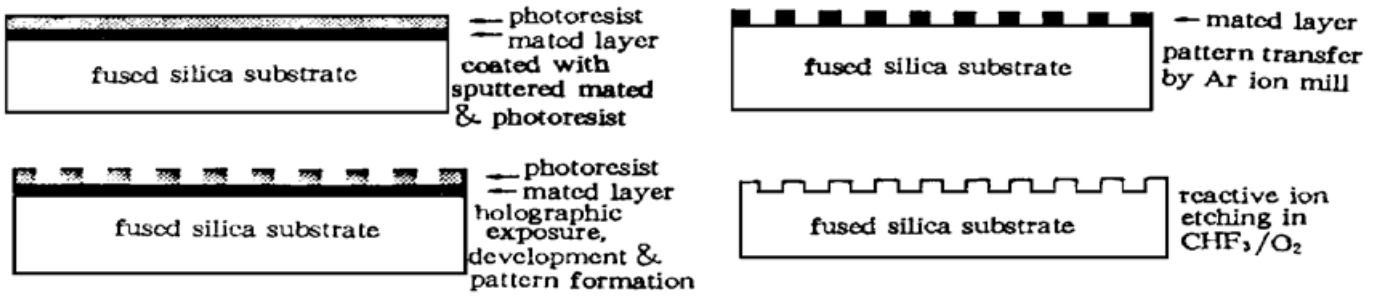


图 1 石英相位掩模光栅的制作

Fig. 1 Schematic diagram of the fabrication of silica phase mask gratings

Ar<sup>+</sup> 离子铣刻蚀。由于 Ar<sup>+</sup> 离子铣对金属具有很快的刻蚀速度, 而对光刻胶则基本上不腐蚀, 因此光刻胶上的图形被完好地转移到金属掩蔽层上。

对石英基片的刻蚀是在金属层上光栅图形的掩蔽下, 用反应离子刻蚀的方法进行的, 反应气体为 CHF<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>。通过适当控制射频功率和气体配比, 对石英可以获得 16 nm/min 的腐蚀速度。刻蚀深度用大图形陪片进行监控。

长时间刻蚀表明, CHF<sub>3</sub> 对金属掩蔽层基本上不腐蚀。在反应气体中添加适量 O<sub>2</sub> 有助于在刻蚀过程中光栅槽底部反应淀积物的清除。光栅的占空比可以通过适当控制曝光和显影时间进行调节。

图 2 为刻蚀完毕去掉金属掩蔽层后所得到的石英相位掩模器的 SEM 照片。用大图形陪片获得的刻蚀深度约为 280 nm。光栅周期为 1085 nm。由图可以看出, 光栅槽底部无反应淀积物。

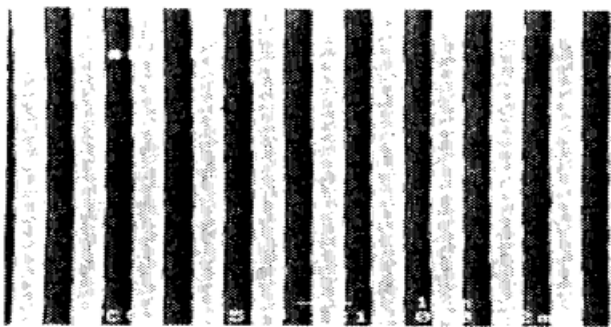


图 2 石英相位掩模光栅的 SEM 照片

Fig. 2 SEM photograph of the phase mask fabricated by CHF<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> RIE etching

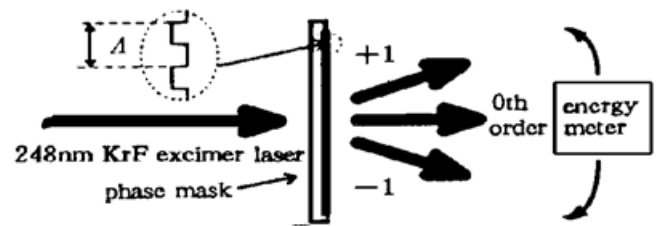


图 3 相位掩模器衍射效率的测量

Fig. 3 Experimental setup for measuring the diffraction efficiency

### 3 衍射效率测试结果及其讨论

图 3 为对石英相位掩模器各级衍射效率进行测量的实验设置图。首先将掩模仔细调节到与入射光垂直, 并用适当的光阑选择出光斑中较为均匀的部分。在掩模器后面用能量计对各级衍射的脉冲能量进行测量, 测量过程中始终保持能量计探测表面与所探测的光束垂直。为保证测量的准确性, 减少准分子激光脉冲能量波动对测量结果的影响, 对入射能量和各级衍射能量的测量均取八次测量的平均值作为测量结果。表 1 列出了对零级、+ 1 级和- 1 级衍射的测量结果。其中零级衍射的效率为 5.97%。

从表中的测量结果来看,光栅的+ 1 级和- 1 级衍射能量之间存在一定的差异,这可能是由多方面的原因造成的。首先是 325 nm 的 He-Cd 激光经空间滤波和扩束准直后的光斑存在一定的不均匀性,这种不均匀性导致了光刻胶上所形成的图形的占空比存在某种的不对称性。当基片的面积比较大时,常常发生这种情况。另一个可能的原因是反应离子刻蚀在光栅槽底部形成的微小起伏对激光的衍射作用。此外,在各级衍射效率的测量过程中,准分子激光与掩模版之间的微小非正交性也可能造成+ 1 级和- 1 级衍射能量之间的不对称。

表 1 各级衍射效率的测量结果

Table 1 Results of the diffraction efficiency measurement

Number of pulses	1	2	3	4	5	6	7	8	Mean value	Diffraction efficiency
+ 1st order (mJ)	15.7	15.4	16.0	16.0	15.7	15.6	15.8	16.5	15.8	23.6%
0th order (mJ)	4.3	4.2	3.6	4.4	3.8	3.9	4.1	4.2	4.0	5.97%
- 1st order (mJ)	20.0	19.7	19.6	19.8	20.4	20.1	20.5	19.7	19.9	29.7%

对相位掩模光栅的理论分析表明,当光栅的刻蚀深度为 269 nm,光栅占空比严格地为 1:1 时,光栅对 248 nm 的零级衍射将完全得到抑制。同时,其+ 1 级和- 1 级衍射效率达到最大。由于在实际制作过程中总存在一些微小的不完善性,从而使得上述设计目标很难达到。 $\pm 1$  级衍射的进一步提高可以通过在石英的刻蚀过程中采用多个陪片对刻蚀深度进行多次监控测量从而使光栅的刻蚀深度较准确地接近 269 nm 来实现。

## 4 结 论

本文报道了一种针对 248 nm KrF 准分子激光的零级抑制石英相位掩模光栅制作方法。通过大量的实验研究发现,采用双层掩模和适当的图形转移技术,以  $\text{CHF}_3/\text{O}_2$  为反应气体,用反应离子刻蚀技术可以在石英基片上刻制出槽底部无反应淀积物的亚微米线条高质量相位光栅。其零级抑制达 6% 以下。此掩模器可以用来生成近场全息光栅图形和光纤光栅的制作。

**致谢** 作者衷心感谢国家光电子工艺中心的李 力、祝亚琴、周 帆、李秉成以及中国原子能科学研究所的王孝君、汤秀章等同志在实验过程中所给予的大力帮助。

## 参 考 文 献

- 1 G. Pakulski, R. Moore, C. Marttan *et al.*. Fused silica masks for printing uniform and phase adjusted gratings for distributed feedback lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(3): 222
- 2 K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau *et al.*. Bragg gratings fabricated in monomode photosensitivity optical fiber by UV exposure through a phase mask. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(10): 1035
- 3 D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. Erdogan *et al.*. Production of in-fiber gratings using a diffractive optical element. *Electr. Lett.*, 1993, **29**(6): 566
- 4 D. M. Tennant, T. L. Koch, P. P. Mulgrew *et al.*. Characterization of near-field holography grating masks for optoelectronics fabricated by electron beam lithography. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 1992, **10**(6): 2530
- 5 P. E. Dyer, R. J. Farley, R. Giedl *et al.*. Study and analysis of submicron-period grating formation on polymers ablated using a KrF laser irradiated phase mask. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(25): 3389
- 6 P. A. Krug, T. Stephens, G. Yoffe *et al.*. 270 km transmission at 10 Gbit/s in non-dispersion-shifted fiber using an adjustably chirped 120 mm fiber Bragg grating dispersion compensator. 1995, OFC'95, PD-27, San Jose, CA

## Fabrication of Zero-order Nulled Silica Phase Masks for 248 nm KrF Excimer Laser

Chen Genxiang Cheng Meiqiao\* Ge Huang\* Jian Shuisheng Wang Wei\*

(*Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing, 100044*

*\* National Research Center for Optoelectronics, Beijing 100083)*

**Abstract** A method for fabricating zero-order nulled silica grating phase masks for 248 nm KrF excimer laser is described. Perfect silica mask gratings with the period of  $1.085 \mu\text{m}$  have been produced using bilayer resist and proper techniques for pattern transfer. Experimental measurements show that the zero order diffraction efficiency is less than 6%. Etch of silica substrates is performed by reactive ion etching in  $\text{CHF}_3/\text{O}_2$ . Theoretical analysis shows that these phase masks can be used for producing grating pattern by self-interference and for fabricating UV written fiber Bragg gratings.

**Key words** phase mask, reactive ion etching, grating