

偏晶向(111)硅片闪耀光栅的制作*

鞠 挥 张 平 王淑荣 吴一辉

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

摘 要 硅光栅的制作可以利用湿法腐蚀体硅工艺. 湿法腐蚀利用硅的各向异性, 由硅的晶面形成光栅工作凹槽, 利用湿法工艺可以制作在不同光谱波段内工作的闪耀光栅. 设计了一种利用偏晶向(111)硅片制作闪耀光栅的方法, 使用这种方法可以批量制作闪耀角度较小的光栅. 利用扫描电子显微镜(SEM)进行了光栅表面形貌测试, 试验结果表明, 制作的硅光栅样片具有良好光学特性的反射表面和光栅槽形. 硅闪耀光栅可以被用来制作微型光谱仪、滤光器等微型仪器或器件.

关键词 (111)硅片; 闪耀光栅; 体硅技术; 湿法腐蚀

中图分类号 TN305.7 **文献标识码** A

0 引言

硅光栅的加工主要采用体硅加工技术和表面微加工技术. 体硅加工技术^[1]通常是按设计图形在硅片上有选择地去除一部分硅材料, 形成设计的微型三维结构, 它包括干法和湿法两种刻蚀技术. 单晶硅片由于其特殊的晶体结构, 在腐蚀液中沿不同的晶向其腐蚀速率有很大差别, 因此又可以分为各向同性腐蚀和各向异性腐蚀, 对于硅片(100)面的刻蚀速率可以比它的(111)面的刻蚀速率高100倍, 也可以采用重掺杂法和电化学止停刻蚀法进行有选择性的刻蚀, 湿法腐蚀可以利用晶体内部不同的晶面来设计制作微结构.

干法刻蚀主要采用物理法(溅射、离子刻蚀)和化学等离子刻蚀(反应离子刻蚀、电感耦合等离子刻蚀)等, 适用于各向同性和各向异性刻蚀. 表面硅加工技术是以硅片作基片, 通过淀积与光刻形成多层薄膜图形, 再把下面的牺牲层经刻蚀去除, 保留上面结构图形的加工方法. 面硅加工技术^[2]与体硅加工技术的主要区别是它不直接对硅片本身进行加工, 而是对硅片上淀积的薄膜(通常是多晶硅、氧化硅和氮化硅等)进行加工, 有选择地保留或去除部分薄膜材料以形成所需的图形.

由于高功率激光器的发展, 也可以用激光直写制作硅表面光栅^[3]. 可以通过干涉仪控制曝光干涉条纹的周期, 通过激光功率的输入控制槽深. 这种方法与全息光栅的制作方法类似, 只不过衬底材料

不同, 一个是玻璃衬底另一个是硅衬底. 还有采用电子束^[4]或CO₂激光束曝光^[5], 然后再用湿法腐蚀得到硅光栅. 加州大学 Berkeley 传感器与执行器研究中心利用表面硅加工技术制作了矩形和闪耀光栅^[6], 首先腐蚀硅得到的光栅模板, 然后用 LPCVD 沉积多晶硅得到光栅结构.

1 光栅闪耀角的形成与设计

利用(100)硅片制作光栅, 凹槽侧壁是由晶体内的{111}晶面决定, 与(100)面成54.74°角. 这实际上限制了作为光栅的闪耀角度的大小, 不同闪耀角光栅可通过使用偏晶向的硅片制作, 如果要求得到闪耀角较小的光栅, 需要将(100)硅片偏转几十度^[7], 硅片制作难度较大, 而且浪费严重. 利用将(110)硅片偏转一个角度切片的办法, 并与玻璃衬底粘附在一起, 再经过 KOH 腐蚀也可以制作闪耀光栅^[8], 但是该方法工艺复杂, 在腐蚀过程中对不同深度凹槽的控制也很困难.

我们设计了一种利用偏晶向(111)硅片制作闪耀角度较小的硅光栅的方法. 使晶向[111]偏向[001]晶向一个角度 φ (此角度即为闪耀角, 可根据需要进行设计), 光栅的凹槽由单晶体内部的(111)晶面和(11 $\bar{1}$)晶面相交构成, 二者的夹角为109.48°, 不带有二氧化硅掩蔽层的硅表面将在 KOH 溶液中向下腐蚀, 并在(111)晶面和(11 $\bar{1}$)晶面相交处自停止, 这样就得到了设计闪耀角的衍射光栅.

光栅的闪耀角可以由入射光角度、光栅周期和波长决定, 如图1所示, 由公式表示如下

$$\begin{cases} \alpha + \varphi = \beta - \varphi \\ d(\sin \alpha - \sin \beta) = m\lambda \end{cases} \quad (1)$$

式中 m 表示衍射级次, λ 是波长, d 是光栅周期, φ 是闪耀角.

*国家973-G1999033107以及中国科学院知识创新工程项目资助

Tel: 0431-6176919 Email: ccjuhui@sina.com

收稿日期: 2003-06-09

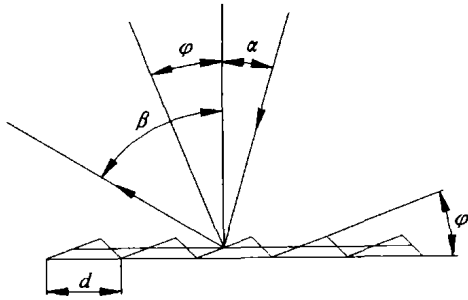


图1 强度定向衍射光栅的工作原理图
Fig.1 The principle of a blazed diffraction grating

2 硅闪耀光栅的制作及工艺

体硅刻蚀法制作光栅的工艺流程如图2所示,主要可以分为以下几个步骤:

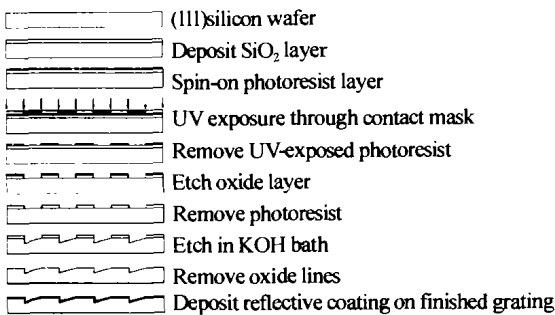


图2 体硅刻蚀法制作光栅的流程
Fig.2 Steps to fabricate gratings by bulk silicon etching method

- 1) 选用抛光的偏晶向(111)硅片作为衬底
- 2) 热氧化生长 SiO₂ 掩蔽层
- 3) 在掩蔽层的上涂一薄层光刻胶
- 4) 在 UV 光刻机下透过光栅掩模板进行接触曝光
- 5) 在显影液中使曝光的光刻胶显影
- 6) 在曝光图形上去除保护层,对于 SiO₂ 使用 HF 腐蚀
- 7) 再去除掩蔽层上的光刻胶
- 8) 以 SiO₂ 作掩蔽层,在氢氧化钾溶液中进行湿法腐蚀硅,得到 V 形凹槽
- 9) 再去除掩蔽层 SiO₂
- 10) 对于作为反射光栅使用的还要在 V 形凹槽的表面镀上一层增反膜

制作过程中,使用 AZ5214 薄胶工艺,要求胶膜分布均匀,转速一般在 4000 rpm 左右. 前烘保证热板温度在 120°以上,然后在 KarlSuss MA6 下曝光,热板 120°坚膜,显影液为 AZ300MIF. 图3所示为显影后放大 1000 倍的照片. 照片中呈现淡红色的条纹为光刻胶,绿色的条纹则为二氧化硅表面. 在腐蚀二氧化硅的时候,时间的控制非常重要,要求尽可能减小平台的尺寸. 利用 HF 腐蚀二氧化硅,获得硅表面的光栅图形后,就可以将硅片置于 KOH 腐蚀液中进行腐蚀得到硅闪耀光栅. 图4所示为开窗口

后的光栅放大 1000 倍照片,照片中呈现绿色的条纹为二氧化硅表面,灰白色的条纹为硅表面.

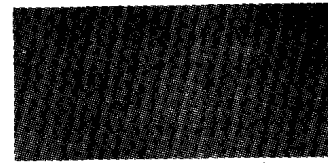


图3 显影后的光栅(×1000)
Fig.3 Grating after development (×1000)

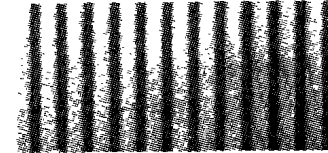


图4 腐蚀后光栅(×1000)
Fig.4 Grating after etching (×1000)

进行 KOH 腐蚀的时间不要过长,否则表面就会有大量瑕疵,会影响光栅的质量. 通常在腐蚀液中加入一定量的异丙醇,可以有助于获得光滑平整的腐蚀表面. 我们使用偏向(001)面 4°的(111)硅片制作了周期为 4 μm,闪耀角为 4°的闪耀光栅. 图5所示为光栅的断面照片,放大 1000 倍.



图5 硅光栅断面(×1000)
Fig.5 Cross-section picture of silicon grating(×1000)

对光栅样片进行了扫描电子显微镜(SEM)和原子力显微镜(AFM)表面形貌测试,图6所示为

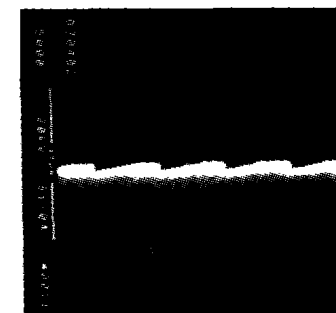


图6 光栅 SEM 照片(×5000)
Fig.6 SEM of silicon grating(×5000)

SEM 扫描图像,放大 5000 倍,光栅的凹槽和工作表面清晰可见. AFM 测试结果表明平均表面粗糙度为 50.8 nm,光栅周期 4.096 μm,凹槽深度 10.63 nm. 可以看出,制作的光栅样片的凹槽形状与设计的结果一致,闪耀角达到设计要求,由晶体的(111)面所确定的光栅工作面表面平整光滑,满足光栅工作要求. 如果在可见光波段应用需要在光栅表面溅射一层金属反射膜. 在样片制作中,使用磁控溅射机在硅光栅表面溅射一层铝反射膜,利用 He-Ne 激光器测试得到 1 级光衍射效率为 32.7%,在这里光栅的衍射效率受到了溅射金属反射膜质量的影响.

3 结论

硅光栅是实现微型光谱仪的一种重要的色散元件. 硅在近红外波段范围内具有非常好的光学特性(高折射率和低损耗),因此硅是制作近红外光栅的极好材料,再辅以其它加工手段,也可以直接在硅材料表面制作适用于可见光和近紫外波段的反射衍射光栅.

利用偏晶向(111)硅片可以制作闪耀光栅,测试的结果表明偏晶向(111)硅片制作的光栅具有良好光学特性的槽形和工作表面,凹槽由单晶硅内部的(111)晶面和(11 $\bar{1}$)晶面相交构成,因此表面质量由晶面来保证的. 用偏晶向(111)硅片制作的闪耀光栅,闪耀角度可以很小,在几度范围,这样可以满足在需要的设计波段内实现强度定向的作用. 这种方法可以批量制作应用在不同光谱波段范围的硅闪耀光栅,是实现微型光谱仪、滤光器等微型器件的关键技术.

感谢长春光学精密机械物理研究所陈今涌研究员对整个项目设计的帮助,同时感谢应光室裴舒先生使用原子力显微镜进行的测试.

参考文献

1 章吉良,杨春生. 微机电系统及相关技术. 上海:上海交通

大学出版社,2000

Zhang J L, Yang C S. MEMS and related technologies. Shanghai:Shanghai Jiaotong University Press,2000

2 黄庆安. 硅微机械加工技术. 北京:科学出版社,1996

Huang Q A. Silicon micromachining technology. Beijing: Science Press,1996

3 Chen C Y,Chao C Y,Gurtler S,*et al.* Silicon surface grating formation with high power UV laser. *Proceedings of SPIE*, 1999,**3862**:508~513

4 Ang T W,Reed G T,Vonsovici A,*et al.* Grating couplers using silicon-on-insulator. *SPIE*, 1999,**3620**:79~86

5 Darjushkin A, Karavanskii V, Korovin S,*et al.* Diffraction gratings formation on porous silicon using CO₂ laser. *SPIE*, 1996,**2777**:53~58

6 Nee J T,Lau K Y,Muller R S. Scanning blazed-gratings for high-resolution spectroscopy. 1998 Workshop on Solid State Sensors and Actuators, Late-News Poster Session, Hilton Head Island, SC, USA, June 8-11, 1998

7 Harada T,Sakuma H,Fuse M. Fabrication of blazed gratings and grisms utilizing anisotropic etching of silicon. *Proc of SPIE*, 1998,**3450**:11~16

8 Yang L J, Chang P, Lee C K, *et al.* A new method to fabricate diffractive blazed gratings by anisotropic etching on (110) silicon wafers. *Proceedings of SPIE*, 1997,**3242**:46~51

The Design of Blazed Silicon Grating by Deflecting Crystal Orientation (111) Silicon Wafer

Ju Hui, Zhang Ping, Wang Shurong, Wu Yihui

*The State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*

Received date:2003-06-09

Abstract The bulk silicon wet etching can be used to fabricate silicon grating. Wet etching depends on anisotropic property of silicon and the facets of gratings grooves can be formed by crystal surfaces of silicon. Blazed gratings for different spectral bands can be fabricated by this process. A method to fabricate blazed gratings by using deflecting crystal orientation (111) silicon wafer is designed. The topographies of silicon gratings have been measured by SEM, the experimental results indicate that the samples have good uniformity grooves and grating facets of excellent optical quality. Silicon blazed grating can be used to fabricate mini instruments or devices, such as micro spectrometer and filter etc.

Keywords (111) silicon wafer; Blazed grating; Bulk silicon technology; Wet etching



Ju Hui graduated from East China Institute of Chemical Engineering in July 1992. He left Tianjin United Chemical Ltd. to Changchun First Auto Group Corporation in 1994. In 1996, he began his master degree study in Jilin University of Technology and received his doctoral degree in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP) in 2002. Currently he is working as a research assistant with the National Key Laboratory of Applied Optics at CIOMP on the micro optics and integrated micro-electro-mechanical system.