

# 利用硅上倾斜 V 形槽结构制作闪耀光栅

黄信凡 李联珠 高文琦 叶权书  
(南京大学, 物理系)

## 提 要

以偏离<100>面 25.24° 的硅<113>晶面为基底, 采用氧化、光刻等平面工艺, 在其上制成光栅常数为 36 μm 的二氧化硅光栅图形作掩模, 用常规的硅各向异性腐蚀, 在硅上形成连续倾斜的 V 形槽结构, 制成槽距为 36 μm 波长 6328 Å 时衍射效率达 69% 的闪耀光栅, 进一步缩小槽距, 可望获得实用的闪耀光栅。

关键词: 闪耀光栅; 各向异性腐蚀。

## 一、引 言

不少工作试图制备特殊槽面的高衍射效率闪耀光栅<sup>[1,2]</sup>, 往往需要特殊的昂贵设备。本工作试图用半导体平面工艺, 利用硅晶体<100>面和<111>面的各向异性腐蚀<sup>[3]</sup>, 在<113>面硅晶体上形成倾斜的 V 形槽结构, 制造闪耀光栅。实验结果表明, 槽面的质量是可以保证的, 波长 6328 Å 的衍射效率可达 69%, 随着微电子技术的发展, 此种工艺可望成为制作价廉质高的闪耀光栅的一个很有希望的方法。

## 二、实验原理

### 1. 闪耀光栅工作原理

在图 1 中, 当平行光束以 α 角入射时, 衍射角为 β。根据一般光栅方程式, 在闪耀条件时, 槽面满足下列条件

$$\alpha - \phi = \beta + \phi, \quad (1)$$

即

$$\phi = \frac{\alpha - \beta}{2} \quad (2)$$

可得极大光强, 式中 φ 为闪耀角。

### 2. <100>面硅晶体上 V 形槽结构的形成

常规采用的硅晶体各向异性腐蚀液为 KOH 溶液, 即 250 gm 氢氧化钾, 200 cm<sup>3</sup> 异丙基乙醇和 800 cm<sup>3</sup> 去离子水配制而成, 由于该溶液对二氧化硅的腐蚀速率远小于对硅晶体的腐蚀速率, 本实验采用热生长二氧化硅作保护掩蔽层进行定域腐蚀, 如果我们使用<100>面硅晶体作基底, 由于它具有<110>滑移向, 选取腐蚀图样或平行或垂直于滑移向, 那么 V 形槽的腐蚀剖面图具有梯形或三角形的形状, 图 2 给出二种情况的示意图,

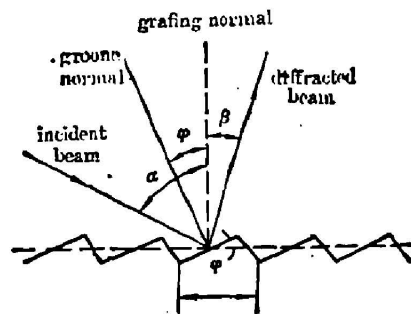


Fig. 1 Blazed grating

<100>面硅晶体在腐蚀开始及以后的一段时间内,剖面呈梯形形状,两腰所在的面由<111>面

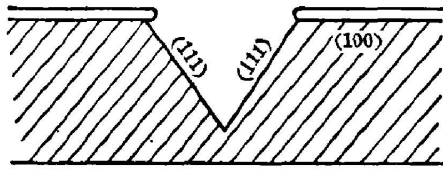
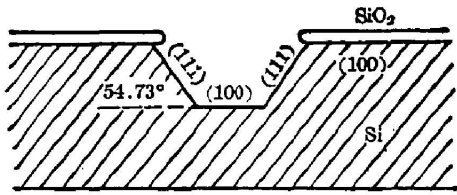


Fig. 3 Photographs of <100> surface of silicon after anisotropic etching: a) trapezium b) triangle

构成,底面由<100>面构成,随着腐蚀时间的加长,由于对<111>面的腐蚀速率远小于对<100>面的腐蚀速率,<100>面消失,只留下<111>面作为剖面呈三角形的两个边墙,这时自动停止腐蚀。

由于<111>面和<100>面的夹角为  $54.73^\circ$ ,那么构成V形槽的两个相对的<111>面的夹角为  $70.54^\circ$ ,当把上述V形槽技术应用于制作光栅时,遇到两个困难:一是  $\phi$  角较大,即  $54.73^\circ$ ,闪耀条件下,限制了入射角的方向,使V形槽边墙受光区较小,二是由于二氧化硅层的保护,使相邻的V形槽不连续,除去二氧化硅后暴露出的<100>面对入射光束的反射使衍射效率降低,为此我们提出一种倾斜的V形槽结构。

3. <100>面硅晶体上倾斜的V形槽结构的形成

图3(a)是立方晶格某些特定晶面的示意图由AFE和FBE组成的两个晶面(标记为①)是<111>面,由FED组成的晶面(标记为③)是<100>面,由FEG组成的晶面(标记为②)是<113>面。取截面ABCD,如图3(b)所示,它代表的晶面是<110>面,可以计算出两个①面的夹角为  $70.54^\circ$ ,③和②面的夹角为  $25.24^\circ$ ,因此①和②面的夹角为  $29.49^\circ$  或  $100.03^\circ$ ,如果把②面作为硅晶体表面,那么,各向异性腐蚀液将腐蚀出截面如图3(b)中黑粗线所示的结构,我们称它为倾斜的V形槽结构。

图4给出单个倾斜的V形槽图形和剖面图,倾斜的V形槽仍以<111>面为两个边墙,当倾斜的V形槽连续形成时,可制成闪耀光栅。

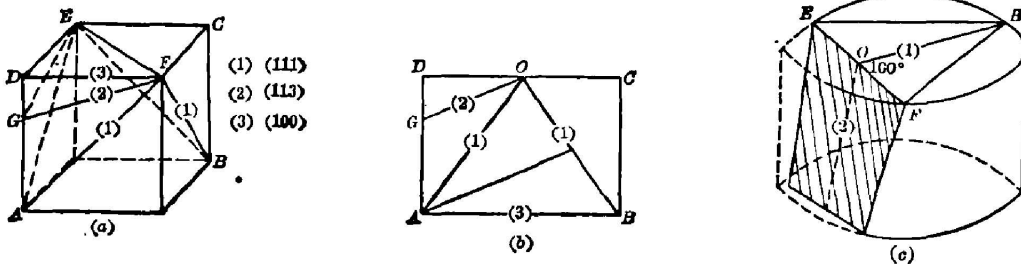


Fig. 3

(a) Crystallography of silicon substrate orientations (cubic crystal) (b) Schematic of ABCD plane (c) Silicon crystal bar with the <111> plane is cut to be that with the <113> plane

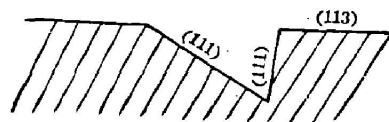


Fig. 4 A V-shaped groove

### 三、实验结果

取一段 $\langle 111 \rangle$ 面硅单晶锭,找出其三个棱,即  $E$ 、 $F$ 、 $B$ ,过  $B$  点作  $EF$  垂线,与  $EF$  相交于  $O$  点,按图 3(c)所示的角度切出的用斜线标记的面便是 $\langle 11\bar{3} \rangle$ 面。切出的硅晶片厚度为  $400\ \mu\text{m}$  左右,经研磨,抛光后待用。

把已抛光好的 $\langle 11\bar{3} \rangle$ 面硅晶片清洗后进行高温氧化,生长厚度为  $1\ \mu\text{m}$  的二氧化硅层,然后用光栅常数为  $36\ \mu\text{m}$  的光栅模板作掩模,在二氧化硅上沿晶片 $\langle 110 \rangle$ 方向光刻出光栅图形。把样品放入  $\text{KOH}$  各向异性腐蚀液中进行定域腐蚀,腐蚀液温度为  $70^\circ\text{C}$ ,每隔  $5\ \text{min}$ ,超声振动一次,每次  $1\ \text{min}$ ,以除去槽内反应后生成的气泡,图 5 给出腐蚀时间为  $1.5\ \text{hr}$  的样品经解离后的剖面光学显微照片,可以看出获得和图 4 相吻合的图形,为比较起见,图 6 给出 $\langle 100 \rangle$ 面硅晶片经  $1.5\ \text{hr}$  腐蚀后的剖面光学显微照片,是典型的 V 形槽结构。

值得一提的是 $\langle 100 \rangle$ 面硅晶片样品在腐蚀过程中二氧化硅始终存在,被二氧化硅保护的区域不受腐蚀,因此获得的 V 形槽是不连续的。而 $\langle 11\bar{3} \rangle$ 面硅晶片经受  $1\ \text{hr}$  腐蚀时(见图 7),二氧化硅保护作用还存在,随着腐蚀时间加长, $\langle 111 \rangle$ 侧墙不断受腐蚀,这种横向腐蚀使形成倾斜的 V 形槽是连续的,从而达到作为闪耀光栅使用的目的。

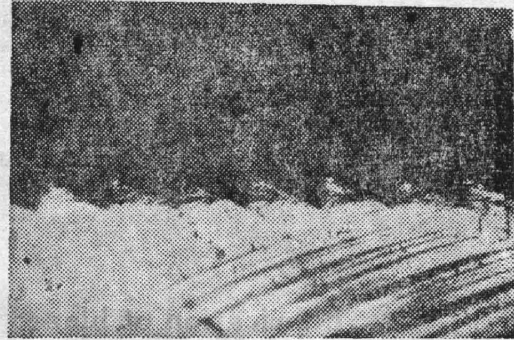


Fig. 5 Photograph of  $\langle 11\bar{3} \rangle$  surface after 1.5 hours anisotropic etching protected by  $\text{SiO}_2$  grating film

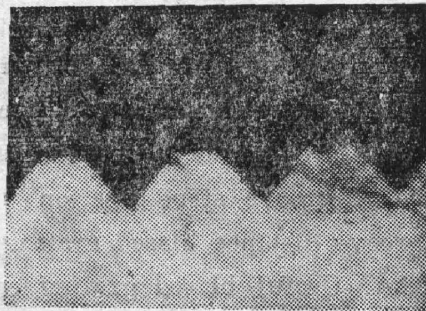


Fig. 6 Photograph of  $\langle 100 \rangle$  surface after 1.5 hours anisotropic etching protected by  $\text{SiO}_2$  grating film



Fig. 7 Photograph of  $\langle 11\bar{3} \rangle$  surface after one hour anisotropic etching protected by  $\text{SiO}_2$  grating film

上述倾斜的 V 形槽结构经镀铝后作闪耀光栅使用时,用氦氛激光器作光源,对于波长为  $6328\ \text{\AA}$  的衍射效率实测得  $69\%$ 。

### 四、结 论

我们利用常规的氧化,光刻等平面工艺技术及硅晶体各向异性腐蚀形成 V 形槽技术在

$\langle 11\bar{3} \rangle$ 面硅晶体上制成连续倾斜的 V 形槽结构, 为制作闪耀光栅提供了简便易行的制作方法, 减小模板光栅的光栅常数, 可以获得槽距在微米量级的闪耀光栅, 制备时的腐蚀时间也相应缩短。如果增大所使用的硅基底晶面对 $\langle 100 \rangle$ 晶面的偏离角度, 还可进一步减小闪耀角。

$\langle 11\bar{3} \rangle$ 面硅晶片的切割得到蒋小平同志的帮助, 光栅的制作得到李德宽同志的帮助, 曹为民、刘毅同志参加了部分工作, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] M. C. Hutley; "Diffraction Grating", p. 71.
- [ 2 ] 傅新定等;《光学学报》, 1985, 5, No. 1 (Jan), 43~48.
- [ 3 ] S. Srirani and F. P. Superzi; "Appl. Opt.", 1985, 24, No. 12 (June), 1784.

## Fabrication of blazed grating by sloping V-groove structures on silicon

HUANG XINFAN, LI LIANGZHU, GAO WENQI AND YE QUANSHU

(Department of Physics, Nanjing University)

(Received 9 December 1986; revised 3 April 1987)

### Abstract

$\langle 11\bar{3} \rangle$  oriented silicon is used as substrate and the  $\langle 11\bar{3} \rangle$  surface is at an angle of  $25.24^\circ$  with  $\langle 111 \rangle$  planes. A  $36\mu\text{m}$  period diffraction grating as a mark during the anisotropic etching of silicon was generated on  $\langle 11\bar{3} \rangle$  Si by thermal oxidation and photo-etching technology. Subsequently silicon wafers are etched in the conventional anisotropic etching solution. Continuously slanted V-groove structures on silicon have been fabricated which is used for a  $36\mu\text{m}$  groove distance blazed grating with 69% diffraction efficiency at wavelength of  $6328\text{\AA}$ . Useful blazed grating can be obtained by further reducing the groove distance.

**Key words:** blazed grating; anisotropic etching.