

用二元光学方法制作的高效率衍射光栅*

周进 高文琦 黄信凡

(南京大学物理系, 南京 210008)

陈伯荣 陈杰 陈文萍

(电子部14所, 南京 210003)

提要 用二元光学理论讨论高衍射效率的光栅的原理及其制作方法, 并用微电子工艺做出了二次量化四位相台阶的光栅, 实验测得一级衍射效率为68%。

关键词 二元光学, 光栅, 衍射效率

1 引言

光栅是一种常见的光学元件, 在光谱测量、光计算和光信息处理中都经常用到。常见的光栅有全息光栅、Ronchi光栅和闪耀光栅, 前两种光栅制作比较方便, 但效率较低, 振幅型全息光栅一级衍射效率为6%, 位相型全息光栅为34%, 振幅型Ronchi光栅为10%, 位相型Ronchi光栅为40%^[1]。闪耀光栅效率可以很高, 理论上为100%, 但闪耀光栅的母栅制作非常困难, 代价很高。80年代末, 国际上提出了一种将衍射光学与微电子工艺相结合的被称为二元光学的技术, 可以解决衍射效率的问题, 并可获得新的应用光学元件, 因而被称为90年代的光学技术^[2]。本文利用这种二元光学理论来讨论高衍射效率的光栅的原理和制作方法, 实际做出了二次量化四位相台阶的光栅, 实验测得一级衍射效率为68%。

2 基本原理

闪耀光栅之所以有高的衍射效率, 是因为每一周期单元的光到达衍射极大点的光程完全相同产生相长叠加。显然要获得连续变化的位相坡面〔图1(a)〕的结构制作上是困难的, 二元光学的主要着眼点就是采用量化的办法将坡面用台阶来逼近, 量化的次数将与光栅的衍射效率有关。这里借助菲涅尔波带理论的振动矢量曲线可以简单直观地分析位相量化次数和衍射效率之间的关系。

图1为几种光栅的结构与它们的一级衍射振动曲线。从振动曲线可以得到其效率(不考虑反射损失)。闪耀光栅: $\eta = 100\%$; 振幅型Ronchi光栅: $\eta = (2R/2\pi R)^2 = 1/\pi^2 = 10\%$; 一次位相量化光栅: $\eta = (4R/2\pi R)^2 = (2/\pi)^2 = 40\%$; 二次位相量化光栅: $\eta = (4 \times$

* 自然科学基金重点项目资助。

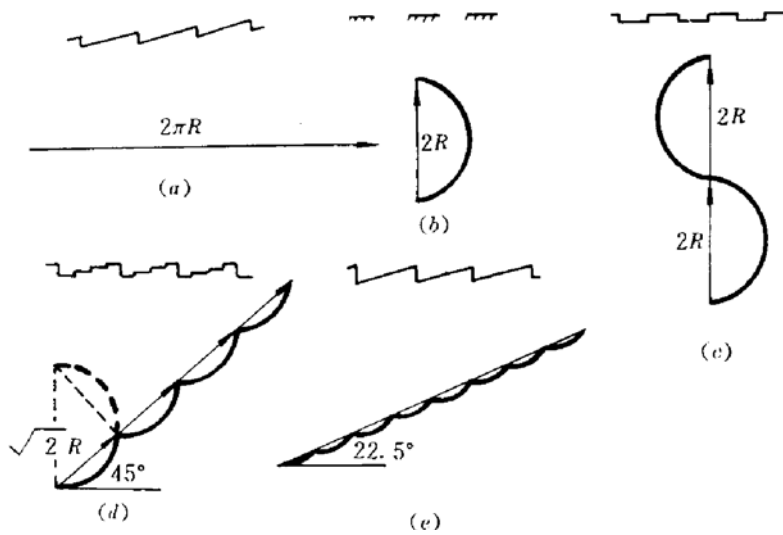


Fig. 1 Structures of gratings and their vibration curves

(a) blazed grating; (b) Ronchi grating; (c) two-level grating; (d) four-level grating; (e) eight-level grating

$2R\sin 45^\circ / 2\pi R)^2 = 81\%$; 三次位相量化光栅: $\eta = (8 \times 2R\sin 22.5^\circ / 2\pi R)^2 = 95\%$ 。由此可见量化次数越多,台阶越接近闪耀光栅的坡面,其效率越高,但在工艺制作上将越困难,从计算看出,二次量化已可达 80% 以上的衍射效率,在实际应用中基本可以满足需要。

3 制作的微电子工艺

获得多次量化位相结构的光栅可借助于现有的微电子制版、光刻、刻蚀等技术,其具体的工艺流程如图 2。

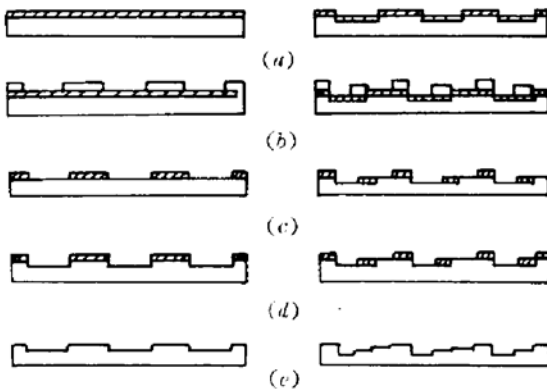


Fig. 2 Fabrication steps for binary optical elements
(a) evaporate Al; (b) photolithography; (c) move uncovered Al and photoresist; (d) ion etching; (e) move Al

我们实际制作的二次量化四位相台阶的光栅过程如下:

先用电子束制成 100 line/mm 和 200 line/mm 的掩膜版两块,100 line/mm 为掩膜版 1200 line/mm 为掩膜版 2。

在清洗过的石英基片上蒸铝,铝的厚度以能抗住离子束刻蚀为限,经验表明第一次厚度约为 $0.9 \mu\text{m}$ 。

用掩膜 1 进行光刻,用铁氰化钾腐蚀光刻胶未遮盖的铝后并清洗光刻胶。

将基片置于 KLJ-3A 型离子束刻蚀机刻蚀,

对透射型光栅第一次刻蚀深度由下式决定

$$d_1 = \lambda / 2(n - 1)$$

λ 为光栅应用中心波长, n 为基片折射率。实验中 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, $n = 1.46$, $d_1 = 687.8 \text{ nm}$ 。

将刻好的石英基片去掉铝清洗后再重复上述步骤,第二次蒸铝厚度 $0.4 \mu\text{m}$ 左右,用掩膜 2 套刻,套刻深度 $d_2 = \lambda / 4(n - 1) = 343.9 \text{ nm}$ 。

清洗掉铝膜即得到二次量化的四位相台阶的光栅。

4 实验结果与讨论

实验制作的透射式光栅结构在显微镜下观察,结果如图 3。图 3(a) 为剖面图,图 3(b) 为正面图。在 He-Ne 激光的照射下,用 $x-y$ 函数记录仪对各级衍射点测得相对强度曲线如图 4。

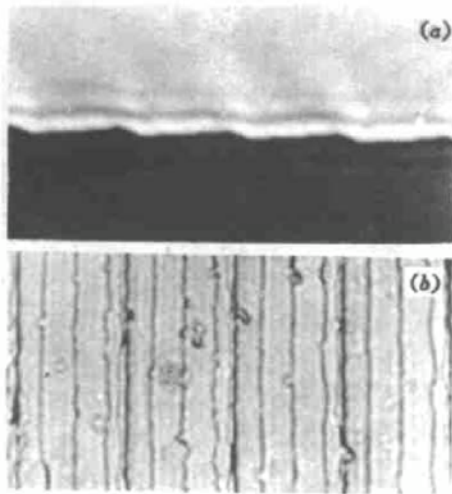


Fig. 3 Micrograph of a four-level staircase grating

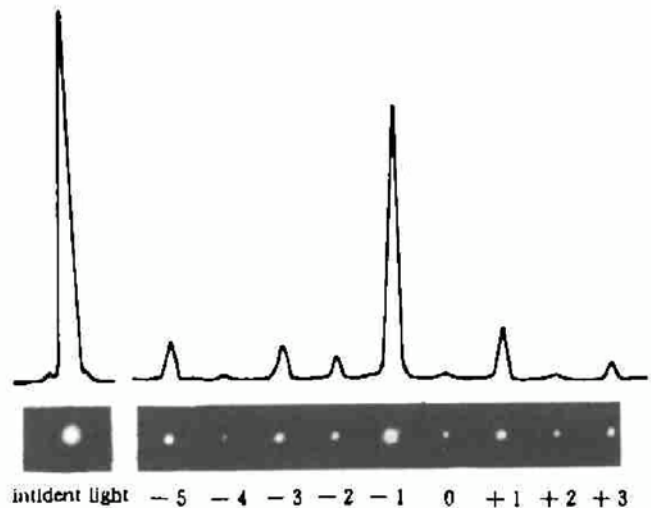


Fig. 4 Diffractive orders and their intensities

实验测得 -1 级衍射光与入射光强度之比(即衍射效率) $\eta = 68\%$ 。与理论值 81% 相比还有一定差距,其原因主要是限于目前微电子工艺水平,包括: 1) 制作光栅的掩膜板以及在向基片转移的过程中,光栅的空占比难以保持 $1:1$; 2) 两次光刻套准存在误差,形成的结构与理论有偏差; 3) 所镀铝还不能很好地抗离子刻蚀,造成栅条边缘起毛,引起光的散射。所有这些都影响到光栅的衍射效率,但总的说来,所制作的光栅效率的提高还是显著的,随着工艺设备和条件的改善,是可以达到更高的效率。

致谢 感谢李联珠同志在拍显微照片时给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 于美文. 光学全息及信息处理. 北京: 国防工业出版社, 1984. 98
- 2 W. B. Veldkamp. Binary optics; The optics technology of 1990's. CLEO Los Saglos USA, 1990. 21~25
- 3 高文琦 等编著. 光学. 南京: 南京大学出版社, 1994. 123

High Efficient Diffractive Grating Produced by Binary Optics

Zhou Jin Gao Wenqi Huang Xinfan

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

Chen Borong Chen Jie Chen Wenping

(The 14th Institute, Ministry of Electronics Industry, Nanjing 210003)

Abstract In this paper, the fundamental principle and fabrication method for obtaining high efficiency diffractive gratings are described. Experimental result shows that the first-order diffractive efficiency of a four-level staircase grating is 68% .

Key words binary optics, grating, diffraction efficiency