

二维二元位相光栅的化学蚀刻制作方法*

许胜虎

汤一新

(杭州广播电视大学)

(浙江师大物理系)

摘 要

采用组合位相光栅技术,制作光强分布均匀、衍射效率较高的多光束分光元件。本文介绍用化学蚀刻的方法制作二维二元位相光栅。

关键词:二维二元位相光栅;化学蚀刻;分光元件

0 引言

在 70 年代末和 80 年代初就提出了应用于多重成像的多光束分光技术, H · Dammanm 等人又提出了将多光束分光技术应用于集成电路掩模板的制造。^[1]近年来,人们又开发了应用于光盘存储技术^[2]和光通讯领域^[3]的多光束分光技术。随着光计算研究的深入,在一些光学逻辑和光学运算系统中,以及光学数据总线系统中常常要实现多光束分光或要求得到一强度均匀的点阵与逻辑单元相匹配,这就大大地开阔了多光束分光元件的应用范围。常规的分光元件的制作方法有光学全息法,计算全息图的延拓法^[4],波导型透镜阵列,位相光栅等等。由于全息法产生的点阵衍射效率低(即使进行漂白处理后也只能达到 30%),再现点阵为离轴成象,信噪比差;用计算全息延拓法制造的分光器件可以得到象质很好的点阵分光元件,但是衍射效率只有 10%左右,无法满足实用的要求。波导型透镜阵列存在点阵尺寸或间距不可调,使用不灵活和信噪比差的不足。普通位相光栅的衍效也较低,仅在 40%左右,而且也存在着点阵强度的均匀性与衍效之间的矛盾。

为了解决这一矛盾,我们采用组合位相光栅技术,实现在一定级次内的光强均匀性,又大大地提高了衍射效率,并用化学蚀刻的方法成功地制作了这种元件。

1 基本原理

普通光栅的结构及其衍射谱如图 1 所示:

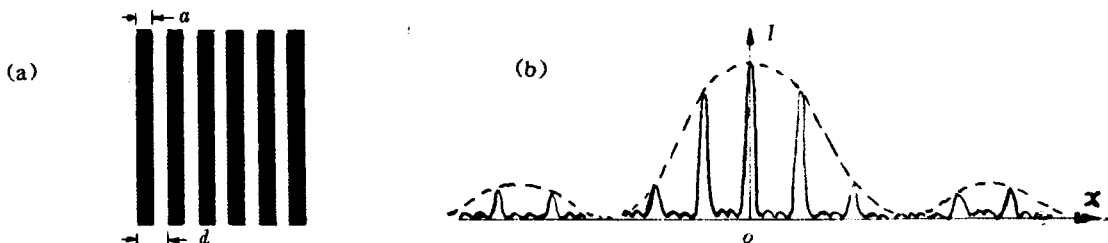


图 1 一维振幅型光栅的结构(a)与衍射强度分布(b)

* 本文于 1996 年 3 月 11 日收到。

$$\text{光栅谱分布为: } \text{sinc}(\pi \times b) \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(x - k \frac{c}{a}) \quad (1)$$

式中 c 为坐标变换参量, 决定光栅谱分布特征的参量为光栅周期 a 和占宽比 b/a , 若要得到较大的点阵或中央较为均匀的点阵, 则 b/a 应取小, 否则衍射效率就低。

我们设计的组合位相光栅, 就是基于计算全息图的原理和二元光学^[5]器件的生产工艺, 即用计算机设计, 图形发生器产生二元光学元件图形, 利用超大规模集成电路制造设备和工艺制作若干个二元位相光栅, 对它们的占宽比进行适当的调整形成了一种奇异光栅。

本文主要介绍用化学蚀刻制作二维二元位相光栅的方法, 光栅结构的设计原理与计算参数将另行撰文介绍。

2 二元光栅的制作工艺

近年来, 由于超大规模集成电路制作工艺的逐步成熟, 为高效率、高分辨率的衍射光学元件的制作提供了一条有效的途径。用蚀刻的方法制作二元位相元件主要包括两个工艺过程: 制作光刻掩模板; 蚀刻二元位相光栅。

2.1 掩模板制作

按分辨率的高低可分为电子束曝光, 图形发生器产生图形及刻红膜缩板等三种方法。我们采用计算机设计、刻红膜缩板方法制作光刻掩模板。图 2 表示这种二维二元位相光栅光刻掩模板一个周期内的结构, 其突变点数 $M=7$, 位相突变 $\phi_0=\pi$, 突变点坐标如表 1 所示。一个 11×11 束分光光栅掩模板上包含了 10×10 个如图 2 所示的结构, 周期数的增加可以提高点阵间的信噪比。但蚀刻过程中均匀光束的范围限制了光栅总面积的大小, 蚀刻面过大, 影响光束边缘光强的均匀性, 也将影响蚀刻深度的不均匀, 从而影响光栅质量。

表 1 光栅突变点坐标

次序	突变点坐标
1	0.06856
2	0.20853
3	0.44455
4	0.52938
5	0.72177
6	0.72859
7	0.86398

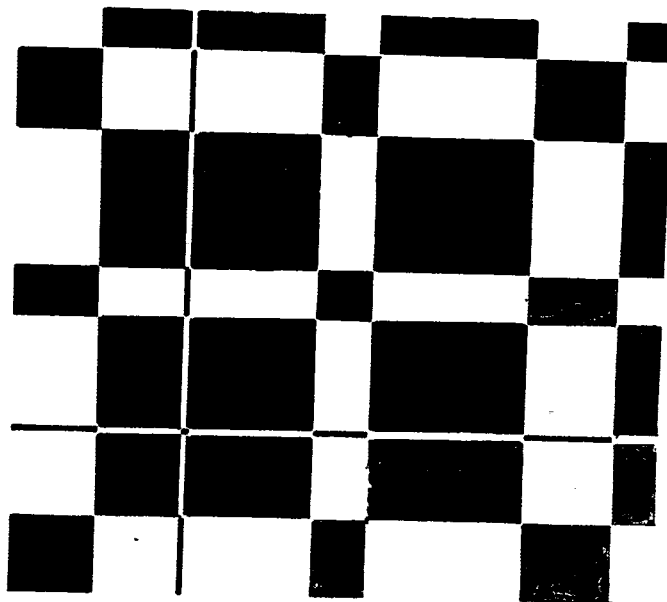


图 2 二维二元位相光栅结构图

2.2 蚀刻

刻蚀方法主要有离子束蚀刻和化学蚀刻,而离子蚀刻又有离子束轰击蚀刻和反应离子蚀刻两种。离子束轰击蚀刻是利用离子束轰击固体表面的溅射效应,对几何图形进行剥离加工。离子束蚀刻设备包括离子源、真空系统、水冷工作台、流量控制系统和电源。设备昂贵,技术复杂。

我们采用刻红膜缩板制作掩膜、化学蚀刻的工艺,设备简单而低廉,操作比较方便,效果比较满意。

利用化学蚀刻,产生凹凸槽形,对于延迟位相为 π 的沟槽形轮廓位相延迟量可以由两种方法来实现。

1、用介质膜层的厚度来保证。如图3所示。

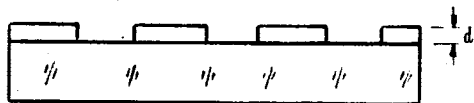


图3 用介质膜厚产生位相延迟

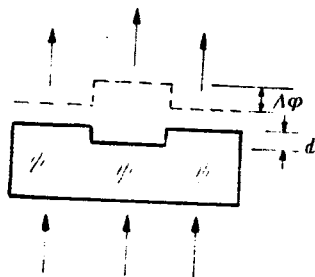


图4 用沟槽深度产生位相延迟

2、基片表面的沟槽深度产生相位延迟。如图4所示。

相比之下,前者对光刻胶牢固度和膜层牢固度及膜层材料的折射率有苛刻的要求,以保证加工过程中膜层不脱落。后者易在工艺上实现,并由于沟槽产生于基片材料,易于保存,不易变形。

化学蚀刻的步骤与一般蚀刻类似^[6]。沟槽深度与蚀刻时间与蚀刻时的温度成正比,位相延迟为

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(n-1)d = k \cdot t \quad (2)$$

式中 k 为化学蚀刻产生位相延迟的速度, t 为腐蚀时间。

3 实验结果与检测

再现光路及测量装置如图5所示

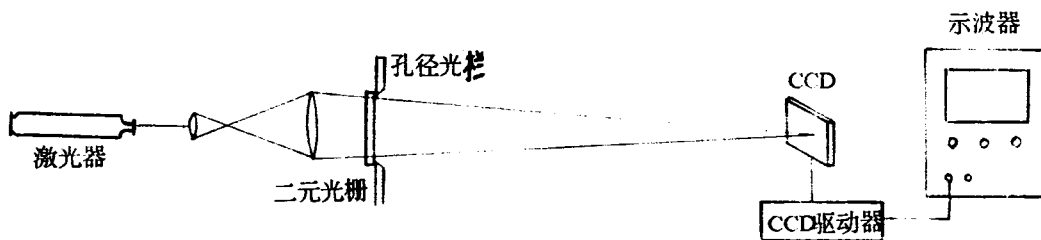


图5 光栅再现光路及检测装置

再现所得的点阵强度的均匀性由一线阵 CCD 探测器进行扫描测量,这样可以避免在测量

结果中附加激光器的功率漂移所带来的影响。衍射效率的测量是由功率计代替了 CCD 探测器,并用孔径光阑挡掉边缘级次的光,这样测得的点阵总强度与不加光栅时的光点强度值之比即为衍射效率。功率计测出的无光栅象面光点的强度为 16.89mW,加光栅测得中央 11×11 点阵总光强为 9.93mW,所得的衍射效率为:

$$\eta_{20} = \frac{9.93}{16.89} \approx 59.1\%$$

线阵 CCD 探测器扫描中央级第二行,在示波器上读出的象面各光点的强度与光栅的理论强度相比较见表 2。

表 2 光栅中央级次第二行象面光点强度测量值与理论值的比较

级次	理论分析	实验结果
2-0	0.0694	0.0689
2-1	0.0695	0.0674
2-2	0.0694	0.0703
2-3	0.0693	0.0674
2-4	0.0696	0.0660
2-5	0.0695	0.0660

在测量中可能引入的误差有 CCD 各单元灵敏度不均匀和仪器的热漂移等等,但从测量结果看,象面光点强度均匀性是能满足设计要求的。

参考文献

- 1 Dammann H, Gotler K. *Opi Comm*, 1971, 3(5):312
- 2 Reuo C W. *SPIE*, 1983, 421
- 3 Killat U, Rabe G, Rave W. *Fabrc and Interated Optics*, 1982, 4(2):159
- 4 高文琦,叶权书,曹为民.用计算全息方法产生多重成像.全国全息摄影技术第一次学术讨论会.
- 5 Wilfrid B. Velkap & Gray J Swanson. *SPIE*, 1983, 437:54
- 6 汤一新,王辉,蔡铁权等. *仪器仪表学报*, 1995, 16(1):361
- 7 Wai-Hon Lee. *Appl opt*, 1979, 18(13):2152

A Generated Method of 2-D Binary Phase Grating by Chemistry Etching

Xu Shenghu

(Hang Zhou University of Radio and Television)

Tang Yixin

(Department of physics)

ABSTRACT

A generated technique of balanced light intensity and high efficiency multiple beam splitting beams element using synthetical phase gratings. In this paper, a generated method of 2-D binary phase grating by chemistry etching is presented.

Key words: 2-D binary phase grating; chemistry etching; splitting beams element

(责任编辑 杜利民)