

等离子体蚀刻衍射光学元件*

张晓春 郭永康 郭履容

(四川大学信息光学研究所, 成都 610064)

提要 本文研究了将光致抗蚀剂衍射光学元件的连续沟槽蚀刻到基底层上的技术。实验分析了基底层沟槽与原版沟槽的形状和深度之间的关系。

关键词 衍射光学元件, 等离子体蚀刻, 连续沟槽, 沟槽形状

A technology of plasma etched diffractive optical elements

ZHANG Xiaochun, GUO Yongkang, GUO Lirong

(Information Optics Institute of Sichuan University, Chengdu 610064)

Abstract The paper investigates the technology to etch photoresist diffractive optical elements with sinuous grooves into its base layer, emphasizing upon the analysis of the relationship between both groove profiles and depths of the base layer and the photoresist layer based on experiments.

Key words diffractive optical element, plasma etch, sinuous grooves, profile of groove

1 引言

目前,二元光学因具有广阔的应用前景,正在蓬勃发展^[1]。但是,利用二元光学技术制作衍射光学元件时,因为需要使多个图形实现精确的对准和套刻^[2,3],所以只能用于制作低槽密度的衍射光学元件。而且在制作中需用昂贵的设备以实现复杂的工艺。

为了提高蚀刻衍射光学元件的空间槽密度,我们根据二元等离子体蚀刻反应的基本原理,提出了制作连续沟槽光刻全息图的蚀刻反应条件^[4]。在此基础上,本文对该技术进一步地研究和改进。通过蚀刻前后对沟槽的精确测量,实验研究了各种蚀刻条件下,基底层沟槽的形状、深度与原版光致抗蚀剂层沟槽的形状和深度之间的关系。

2 原理及工艺的改进

收稿日期: 1992年7月14日;收到修改稿日期: 1992年10月5日。

* 本课题得到国家教委博士学科点基金的资助。

2.1 基本原理

文献[4]基于增加模压全息母板沟槽深度的思想,将蚀刻在基底层上的全息图称为“光刻全息图”。因而,在上文关于基本原理的论述在文献[4]所指的条件下,即在一种向下均匀的蚀刻反应条件下,对于光致抗蚀剂层中任何沟槽的深度分布 $d_p(x,y)$,经一定的蚀刻时间以后,可以得到基底层中沟槽的深度分布具有同样的关系,即

$$d_s(x,y) = (V_s/V_p) \cdot d_p(x,y) \quad (1)$$

此处 d_s 为基底层沟槽的深度分布, V_s, V_p 分别为等离子体蚀刻反应对基底层和光致抗蚀剂层的蚀刻速率。这时,最大沟槽深度 D_s 和 D_p 将满足下式

$$D_s = (V_s/V_p)D_p \quad (2)$$

(1),(2) 两式表明:(1) 基底层中沟槽形状与光致抗蚀剂层中沟槽形状的函数形式一致;(2) 基底层中沟槽深度可以通过控制蚀刻反应的速率比 V_s/V_p 来控制。当 $V_s/V_p > 1$ 时,沟槽会加深。

2.2 工艺的改进

在实验中我们观察到,采用常规的 VLSI 工艺中光致抗蚀剂图形的坚膜条件(120 °C, 30 min),常会产生一层很薄的难以被氧等离子体蚀掉的膜层。为了解决这个问题,可采用显影后只在 60 °C 的温度下坚膜光致抗蚀剂 15 min 的办法。另一个使反应速率不均匀的因素是温度的变化。等离子体蚀刻反应在达到平衡时,温度可达 100 °C 或更高^[5]。如果放入待蚀片后直接对其进行蚀刻,那么蚀刻速率将从零缓慢地(>1 min)增加到稳定值。为了尽量缩短这个过程,可以在蚀刻前用对光致抗蚀剂层无腐蚀作用的 N_2 放电等离子体在 150 W 的功率下对待蚀片处理 1 min。这样,样片和反应腔的温度得到升高,蚀刻反应可以尽快地达到稳态。实验测出, N_2 等离子体对待蚀片无损伤,蚀刻时在 10 s 内可以达到稳定的蚀刻速率。

3 实验结果与分析

实验中,在玻璃片基上淀积 800 nm 厚的 Si_3N_4 薄膜作为基底层。用两个途径在 Si_3N_4 膜上涂布的光致抗蚀剂层上产生两种形状的光栅沟槽:一是用全息干涉记录的近正弦形沟槽,二是用计算机掩膜产生的似锯齿形沟槽。光致抗蚀剂层的最大厚度约为 600 nm。按照文献[4]和 2.2 介绍的实验条件,制作两种槽形的 Si_3N_4 薄膜光栅。在蚀刻前后,用干涉显微镜分别测出光致抗蚀剂光栅和 Si_3N_4 薄膜光栅的深度分布^[4]。

3.1 蚀刻前后沟槽形状的一致性

图 1 (a), (b) 分别是用干涉显微镜拍下的光致抗蚀剂光栅近正弦槽形和对应 Si_3N_4 光栅槽形的照片(光栅周期是 10 μm)。

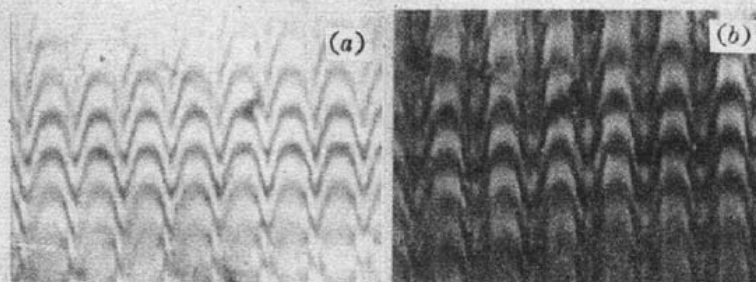


Fig. 1 Photographes of groove profile
(a) photoresist grooves (b) Si_3N_4 grooves

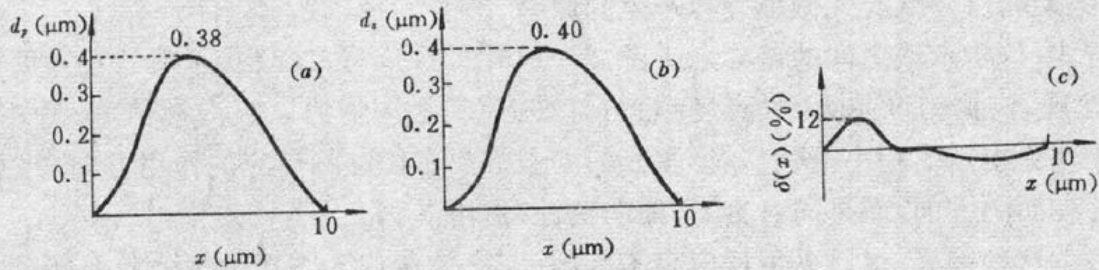


Fig. 2 Depth distribution and difference of grooves

(a) photoresist grooves; (b) Si₃N₄ grooves; (c) difference of grooves

图 2 (a), (b) 分别是测出的对应图 1(a), (b) 光栅沟槽的深度分布。(c) 图以 $\delta(x) = d_s(x)/D_s - d_p(x)/D_p$ 绘出, 表示两槽形之间的差异。 $\delta(x)$ 曲线与 x 轴包络面积、 $d_s(x)/D_s$ 曲线与 x 轴包络面积之比值为 6.4%, 可表示 Si₃N₄ 光栅槽形对原版槽形的“失真度”。图 3 是近正弦槽形的 Si₃N₄ 光栅的 SEM 照片。

图 4 (a), (b) 分别为测出的光致抗蚀剂光栅似锯齿沟槽和对应 Si₃N₄ 光栅沟槽的深度分布 (周期是 25 μm); (c) 是槽形差异的曲线。失真度为 2.6%; (d) 为 Si₃N₄ 光栅槽形的干涉显微镜照片。

3.2 沟槽深度的控制

表 1 中列出了各种条件下获得的最大沟槽深度以及用公式(2)的计算深度值。两者之间略有差异。第 4 号光栅的空频是 500 lp/mm。

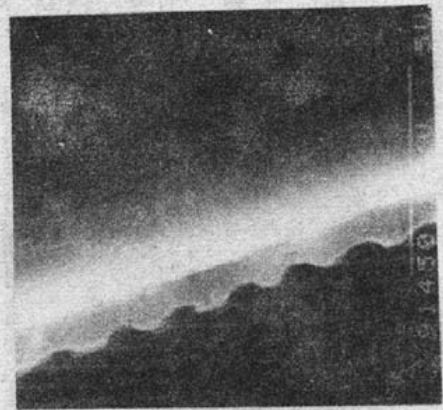


Fig. 3 SEM photograph of Si₃N₄ grating with period 2 μm

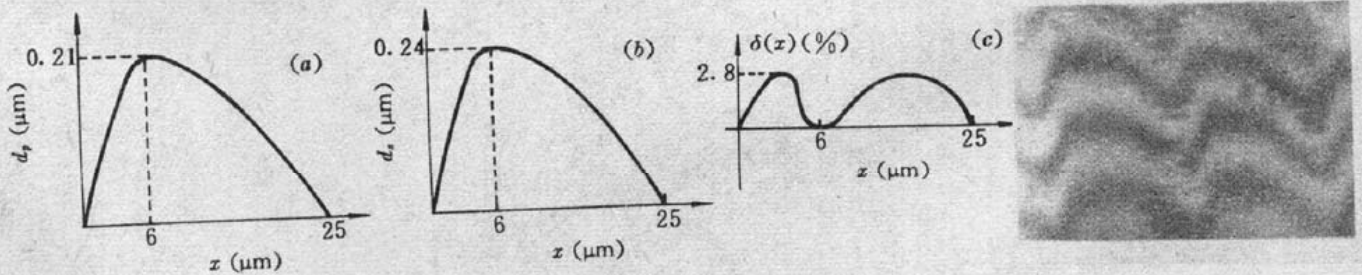


Fig. 4 Depth distribution and difference of like-swooth grooves

(a) photoresist grooves; (b) Si₃N₄ grooves; (c) difference of grooves; (d) photographs of Si₃N₄ grooves profile

Table 1

Number	Photoresist gratings		etch condition	Si ₃ N ₄ gratings		Comparing result	
	Depth of grooves			Depth of grooves		theoretical value	differences
	D_p (μm)	profile	V_s/V_p	D_s (μm)	profile		
1	0.23	Sine	1.73	0.37	Sine	0.39	+0.02
2	0.38	Sine	1.16	0.40	Sine	0.44	+0.04
3	0.35	Sine	0.70	0.23	Sine	0.24	+0.01
4	0.30	Sine	1.16	0.32	Sine	0.35	+0.03
5	0.21	Sawtooth	1.16	0.24	Sawtooth	0.24	+0.00

3.3 实验结果与(1)和(2)式微小差异产生的原因

结果与式(1)指示值之间的差异示于图 2(c)和图 4(c),与式(2)指示值的差异见表 1 中第 8 列。我们发现,沟槽密度越大,失真度越大,且 Si_3N_4 膜上沟槽比原版沟槽稍宽;另外,沟槽深度最大值比理论指示值稍小。这些差异主要归因于等离子体蚀刻反应的作用方向,并不是只沿垂直于元件表面的方向,而是同时具有“横向钻蚀”作用。

为了减少这种差异,可以采用反应离子蚀刻设备。它的二元图形蚀刻分辨率($0.1\ \mu\text{m}$)^[2]比本文中采用的等离子体蚀刻设备($0.1\ \mu\text{m}$)要高得多。这是因为它主要利用被电场加速的带电反应性离子产生蚀刻作用^[7],可大大降低横向钻蚀。

参 考 文 献

- 1 Jeff Hecht, *Laser & Optronics*, **10**, 16(1990)
- 2 G. J. Swanson, W. B. Veldkamp, *Opt. Eng.*, **28**(6), 105(1989)
- 3 Jürgen Jahas, Susan J. Walker, *Appl. Opt.*, **29**(7), 931(1990)
- 4 郭永康, 郭履容 *et al.*, *光学学报*, **12**(3), 252(1992)
- 5 (日)半导体研究振兴会编, 高存贞等译, 超大规模集成电路微调加工技术, 国防工业出版社, 1981(Apr)第一版, 第十章, 193
- 6 X. C. Zhang, Y. K. Guo *et al.*, *Proc. SPIE*, **1461**, 15(1991)
- 7 C. B. Zarowin, *Solid-State Science and Technology*, **130**(5), 1144(1983)