

用 CHF_3/Ar 为工作气体刻蚀融石英

周明宝¹ 崔 铮² Prewett D P²

(1 中国科学院光电技术研究所, 微细加工光学技术国家重点实验室 成都 610209)

(2 英国卢瑟福国家实验室微结构中心)

摘要 报道了用氟利昂 CHF_3 和氩气 Ar 作工作气体的反应离子刻蚀融石英的技术。研究了气体流速、腔压和射频等离子体功率对刻蚀速度的影响, 并分析了刻蚀工艺对样品表面的污染, 同时也考察了刻蚀工艺的均匀性和重复性。为了优化刻蚀工艺, 采用 Rs1/Discover 软件工具设计优化实验。实验中射频等离子体功率范围在 $120 \sim 160\text{W}$, 氩气和氟利昂流速分别在 $15 \sim 35\text{sccm}$ ($1\text{cm}^3/\text{min}$ standard cubic centimeter/minute) 和 $20 \sim 50\text{sccm}$ 范围, 腔压在 $13 \sim 19\text{p}_a$ 范围, 相应的刻蚀速度为 $15 \sim 25\text{nm}/\text{min}$ 。

关键词 石英 反应离子刻蚀 多层位相结构

1 引 言

衍射光学是随着计算机辅助光学设计和微细加工技术的发展而迅速发展起来的。衍射光学元件利用其波长量级的连续或台阶状表面微结构来实现对波面的调制和变换。在传统光学系统中, 石英是一种理想的光学材料, 其透过的光谱范围从深紫外延伸到远红外。由于石英优良的光学特性, 现在也被广泛地用于制作各种类型的衍射光学元件。石英具有稳定的化学特性, 在室温下一般不溶于各种酸、碱溶液中, 因此要获得可靠的湿法刻蚀工艺是非常困难的。一般情况, 石英都是通过干法刻蚀工艺刻蚀成形的。

用 CF_2Cl_2 和 Ar 作工作气体反应离子刻蚀石英可获得 $10 \sim 20\text{nm}/\text{min}$ 的刻蚀速度^[1]。G. Dahm 等人^[2]也报道了用 CF_4/SF_6 和氧气 O_2 作为工作气体的石英干法刻蚀工艺并用于制作相移掩模。在本文中, 我们报道了用氟利昂 CHF_3 和氩气 Ar 作为工作气体的融石英的反应离子刻蚀工艺, 研究了气体流速、腔压及射频功率对刻蚀速度的影响。考察了刻蚀过程中反应

离子刻蚀工艺对样品表面的污染,同时也考察了刻蚀深度均匀性和刻蚀工艺的重复性。为了优化刻蚀工艺,采用了 Rs1/ Discover 软件来设计实验。Rs1/ Discover 软件可对实验结果进行分析,并可给出各参数之间的关系。

2 实 验

在融石英上涂敷一层正性光致抗蚀剂并光刻成形用作反应离子刻蚀掩模。为了增强抗蚀剂的抗蚀性,可适当烘烤已成形的抗蚀剂图形。所有实验都在等离子体刻蚀机 RIE- 80 上进行,所用的工作气体是氟利昂 CHF_3 和氩气 Ar 的混合气体。为了优化刻蚀工艺、寻求最佳工艺参数,探索各参数对工艺的影响,利用实验设计软件 Rs1/ discover 精心设计实验。在这些实验中,气体流速、腔压和射频功率是可变受控参数,刻蚀速度是受测并作为评价参数,对各种不同参数组合进行了 27 次实验。

Table 1 Optimised experiment worksheet

agron (sccm)	freon (sccm)	pressure (Pa)	power (W)	rate (nm/min)
25	35	13.33	120	18
25	35	16.00	140	19
25	20	16.00	120	16
25	20	13.33	140	20
25	50	16.00	120	18
15	35	13.33	140	22
35	50	16.00	140	20
25	35	18.67	120	17
25	35	16.00	140	21
15	35	18.67	140	23
25	20	16.00	160	21
25	50	16.00	160	23
35	20	16.00	140	21
35	35	13.33	140	22
25	20	18.67	140	25
25	50	13.33	140	18
25	35	16.00	140	20
35	35	16.00	160	24
15	20	16.00	140	18
25	35	13.33	160	25
35	35	16.00	120	15
25	50	18.67	140	20
25	35	18.67	160	23
15	35	16.00	160	24
15	50	16.00	140	20
35	35	18.67	140	19
15	35	16.00	120	19

表 1 是实验参数组合和对应的刻蚀速度。射频功率取值范围在 120~160W, 氩气流速 15~35 sccm , 氟利昂流速是 20~50 sccm , 腔压在 13~19 Pa 范围内变化。刻蚀过程结束后, 用丙酮或氧等离子气体刻蚀清洗石英样品, 然后用轮廓仪测量刻蚀出的轮廓深度。

我们在实验中尝试了多种光致抗蚀剂, 如 AZ5214E、AZ1350J 和 AZ4562。我们发现它们的抗蚀能力基本相同。由于 AZ4562 具有较好的光刻特性以及容易涂敷出较厚的膜层在优化实验中选用了 AZ4562 作光致抗蚀剂。

3 实验结果分析

图 1 显示了用反应离子抗蚀工艺制作的微结构的扫描电子显微图。在制作工艺中, 所用的射频功率为 170W, 腔压为 8 Pa , 氟利昂和氩气的流速分别为 10 sccm 和 40 sccm 。从图中可看出, 刻蚀表面光滑, 微结构边墙陡直。

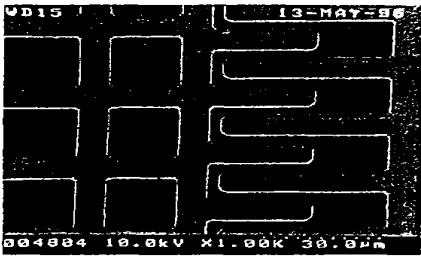


Fig. 1 A micrograph of the microstructure by reactive ion etching of quartz

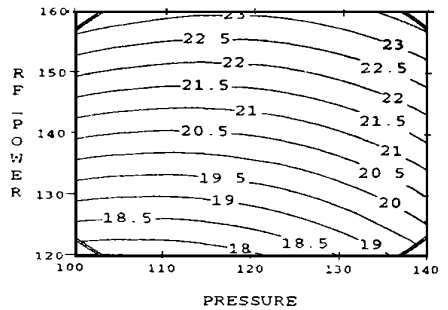


Fig. 2 Etch rate vs. rf power and pressure (freon flow rate: 19.5 sccm , argon flow rate: 35.5 sccm)

图 2、图 3 和图 4 是 Rs1/discover 软件对优化实验数据进行分析的结果。图 2 显示了其它工艺参数保持不变时, 射频功率和腔压关于刻蚀速度的等高图。如图 2 所示, 刻蚀速度随着射频功率的增大线性增加。这是因为随着射频功率的增加, 基团分解系数提高了, 出现了更多的反应基团, 这导致更高的抗蚀速度。从这张实验曲线图也可看出腔压对刻蚀速度的影响。腔压较低时, 随着腔压的提高, 刻蚀速度缓慢增加; 当腔压增加到一阈值后, 随着腔压的进一步提高, 刻蚀速度反而下降。

图 3 是刻蚀速度关于射频功率和氟利昂流速的等高图。同腔压对刻蚀速度的影响类似, 起始阶段, 随着流速的增加, 刻蚀速度增加; 但是当流速增加到某一阈值后, 随着流速的进一步提高, 刻蚀速度下降了。

图 4 是刻蚀速度关于射频功率和氩气流速的等高图。可以看出, 随着氩气流速的提高, 刻蚀速度只是稍微有些变化。在反应离子刻蚀工作气体中引入氩气, 主要是为了稳定等离子体的放电, 对刻蚀速度影响不大。

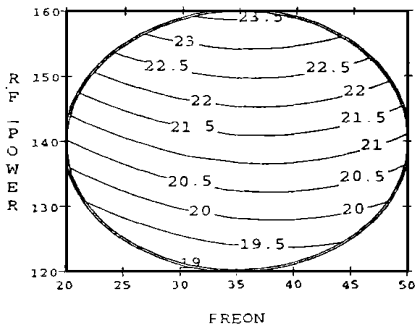


Fig. 3 Etch rate vs. rf power and freon
(pressure: 18.20Pa, argon flow rate: 19.5 sccm)

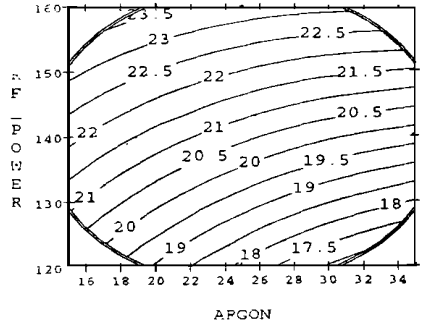


Fig. 4 Etch rate vs. rf power and argon
(pressure: 18.20 Pa, freon flow rate: 35.5 sccm)

在早先的实验中,光致抗蚀剂是直接涂敷在石英基片上的,但是我们在刻蚀中当氟利昂流速高于氩气流速时,可能是多聚物的一层薄膜将出现在清洁后的石英基片上,这层薄膜难以去除,从而使样品受到污染。为了解决这个问题,我们提出的办法是在石英表面和抗蚀层之间淀积一层铬薄膜,此外铬层也能改善刻蚀出的图形轮廓的质量。

4 刻蚀工艺精度分析

对刻蚀工艺而言,在整个样品表面上刻蚀深度的均匀性是一个重要参数。在工艺中,刻蚀深度的均匀性受多个因素的影响,如被刻蚀样品的尺寸、样品在载台上的位置、样品表面洁净度、线条宽度、刻蚀机工作状态等等,这些因素都直接或间接地影响着刻蚀深度的均匀性。其中样品在刻蚀腔中的位置和样品表面洁净度粗糙度尤为重要。为此,样品在刻蚀前,应保证样品上待刻蚀区域彻底清洗干净,最好用氧等离子刻蚀的方法清洗几秒到几分钟。另外刻蚀时样品应置于腔中中心位置,以达到最佳均匀性。

我们对石英反应离子刻蚀工艺的均匀性进行了实验研究,测量结果示于表2中。实验中,射频功率是160W,腔压为8Pa,氟利昂和氩气流速分别为10sccm和40sccm,刻蚀时间是20min。被刻蚀的是4石英板,测量点9个,测量点之间的间距为30mm。结果表明在4的面积范围刻蚀深度均匀性优于 $\pm 6.5\%$ 。

Table 2 Etch uniformity(μm)

0.3947	0.3942	0.3930
0.3922	0.3973	0.3956
0.3933	0.3957	0.3924

工艺重复性是另一个重要参数,主要用于估价刻蚀的精度和批量生产上。工艺重复性对一个具体的刻蚀工艺而言,是一个难以保持稳定和控制的参数。仪器的维修、仪器工作时间的长短、仪器的工作状态等都会严重影响着工艺重复性。要取得高精度的刻蚀深度,一般在刻蚀前,

先实际测量出工艺重复精度和刻蚀速度,再根据要求的刻蚀深度确定刻蚀时间。表 3 列出了工艺重复性的测量结果。实验在一天时间重复进行,每两次实验之间间隔 1h,刻蚀时间为 20min。这些数据表明工艺重复性为 $\pm 10\%$ 。

Table 3 Repeatability experiment(μm)

1	2	3	4	5	6
0.4916	0.4879	0.4869	0.4851	0.4902	0.4811

5 应 用

利用二次套刻和反应离子刻蚀技术,我们开发了多台阶微细结构制作工艺并实际制作了光束分束器。涂敷在石英铬板上的光致抗蚀剂利用掩模对准机通过接触式曝光方式光刻成形,然后利用反应离子刻蚀将图形传递到石英基片上,最后用有机溶剂丙酮和铬刻蚀液依次去除光致抗蚀剂和铬层。这个过程重复进行三次,便能得到 8 台阶的位相结构。图 5 显示了用这套工艺制作的具有 8 个台阶位相的光束分束器的一个结构周期的扫描电子显微图。这分束器可将一束激光分成 4 束沿不同方向传输的光束。

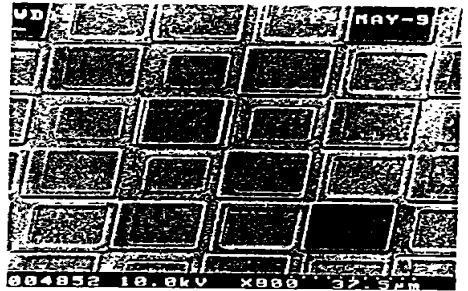


Fig. 5 SEM photograph of a basic cell of the 8-level phase beamsplitter

6 结 论

我们研究了优化的融石英反应离子刻蚀工艺,并示例了具有 8 个位相台阶的光束分束器及其他一些微结构的制作。研究了射频功率、流速、腔压这些工艺参数对刻蚀速度的影响规律。结果显示刻蚀速度随射频功率的增加线性增大,但对氩气流速的变化不太敏感。在石英表面和抗蚀层之间增加一层铬薄膜能改善样品的清洁度和刻蚀图形的质量。

参 考 文 献

- 1 Herman P, Lawes R A, Waring T. The manufacture of rim phase shifting reticles. *Microelectronic Engineering*, 1994, 23: 151
- 2 Dahm H, Rangelow I W, Hudek P, Kops H W P. Quartz etching for phase shifting masks. *Microelectronic Engineering*, 1995, 27: 263

Investigation of Reactive Ion Etching of Fused Quartz

ZHOU Ming-Bao¹, CUI Zheng², Prewett D P²

(¹*State Lab of Optical Technologies for Microfabrication,
Institute of Optics & Electronics P O Box 350, Shuangliu, Chengdu 610209*)

(² *Central Microstructure Facility,
Rutherford Appleton Laboratory Chilton, Didcot, Oxon OX11 0QW, UK*)

Abstract

In this paper we report the reactive ion etching (RIE) of quartz by using CHF_3 and argon. The effects of gas flow rate, chamber pressure, and rf (radio frequency) plasma power on the etch rate were investigated and the surface contamination due to RIE was examined. The quartz etch depth uniformity and repeatability was also examined. In order to optimise the etch process, the RS1/Discover software tool was used to design the experiments. The rf plasma power varied between 120 and 160 watts. Argon and CHF_3 flow rates were 15–35 sccm and 20–50 sccm respectively, and pressure was in the range of 13–19 Pa. The etch rate varied between 15 and 25 nm/min.

Key words: Fused quartz, Reactive ion etching, Multilevel phase structures

周明宝 男, 1965年12月生, 1986年毕业于浙江大学, 现为中国科学院光电所技术研究所博士研究生、副研究员。目前主要从事微机械、微光学、微电子单元技术研究。