

微透镜阵列的离子束溅射刻蚀研究

张新宇 易新建 赵兴荣 麦志洪 何苗

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

刘鲁勤

(航天部二院 25 所, 北京 100584)

摘要 利用扫描电子显微镜(SEM)和表面探针测试,分析了采用离子束溅射刻蚀技术制作的石英微透镜阵列器件的表面微观形貌,讨论了引起微透镜表面缺陷的原因及所采取的改善表面形貌的措施,研究了采用不同层次的光致抗蚀剂微透镜图形的固化技术后,经离子束溅射刻蚀制作出的微透镜阵列器件的表面形貌差异,定性给出了表面探针测试的适用范围,此外还介绍了对所制样品所做的几项主要的处理操作。

关键词: 离子束刻蚀; 石英微透镜阵列; 微观形貌分析

1 概 述

离子束溅射刻蚀是近年来发展较快的一种离子束剥离技术。该技术主要利用了携带能量的离子轰击靶材料所产生的物理溅射刻蚀效应,具有刻蚀分辨率及刻蚀速率高、无侧向钻蚀、图形边缘清晰、工艺参数可控、费用低廉、可刻蚀的材料种类繁多、环境污染小等优点。目前该技术已成功地应用于微电子器件、微光学器件和微光电子器件的研制和生产过程中。与此同时,人们对离子束的产生及引出技术、掩蔽技术、光刻图形的形貌处理技术及溅射刻蚀机理等也进行了较为深入的研究^[1-6]。可以预见,此项技术将会广泛地应用于光刻模板的修理,多层立体电路的剖面观察,集成光电子器件及与之配套的集成微光学元件的精细加工等领域。特别是由于它具有刻蚀图形的极限分辨率可达纳米量级这一特点,因此较适合于微米、亚微米级的集成电路器件、集成微光学元件和集成光电子器件的刻蚀制作。

对于与集成光电子器件匹配的集成微光学元件来说,除了微细度的要求更高外,还有侧壁垂直度、腐蚀面的光滑平整性、镜面腐蚀、倾角腐蚀、多样化的选择腐蚀、无损伤的表面腐蚀等项要求。研究表明,采用离子束溅射刻蚀技术可以制作出能较好地满足上述各项要求的集成微

光学元件^[7-10]。本文主要介绍了利用离子束溅射刻蚀的方法进行长方状拱形石英微透镜阵列制作的研究。实验结果表明,所制出的集成微光学元件达到了预定的各项参数指标的要求。

2 实 验

制作石英微透镜阵列的基本工艺过程如下:

基片材料的准备(选材、研磨及抛光) 清洗 烘焙 涂布光刻胶(多重) 再烘焙 光致抗蚀剂微透镜图形的熔融成形 固化 装入高真空工作室 离子束轰击 取出样品 去残留光刻胶等。

基片材料准备的好坏(选材、研磨及抛光)对所制的光致抗蚀剂掩模图形所需满足的整齐、均匀、完整和清洁等项要求有很大影响。清洗过程是否充分直接关系到所涂布的光刻胶膜的质量的高低,如光刻胶膜的致密度、有效使用面积、厚度、与基片材料结合的牢固程度和表面微观形貌等。

在涂布光刻胶的过程中,石英基片应经预烘焙,每次涂胶后的再烘焙及最后的快速加热烘干等项基本操作。每次涂胶后的烘焙温度应适当,所用的时间应合理把握,以避免可能产生的光刻胶膜开裂或未凝固从而降低其表面吸附力等现象。实验发现,最后的烘干温度一般不应超过 200[°]。实验中所使用的为国产BP212 紫外正型光刻胶。

通过加热使长方体状的光致抗蚀剂掩模图形转变成长方状拱形光致抗蚀剂微透镜图形的温度不应过高或过低,否则会导致热处理过程结束后,长方状拱形图形未形成或长方状拱形的冠高未达到预定指标等现象。对光致抗蚀剂微透镜图形的固化处理分为弱固化、一般固化和强固化等三个层次。不管采用何种程度的固化方式,实验发现,光致抗蚀剂微透镜图形的冠高在实验中均无明显变化。

离子束溅射刻蚀在国产LD-3型离子束镀膜刻蚀机上进行,选用与石英材料有较好匹配特性的电离后的氩作刻蚀离子,采用考夫曼型 $\Phi 10\text{ cm}$ 宽束离子源,束流40~70 mA,束能在500~1000 eV范围内可调。高真空工作室的本底真空度为 10^{-4} Pa 量级,在刻蚀过程中高真空工作室的真空度始终保持在 10^{-2} Pa 量级。离子束经中和器灯丝发射的热电子中和,这样处理后,在强固化的条件下,可以避免离子束轰击靶面时,在靶面上可能产生的电荷积累效应所带来的对靶面上的光致抗蚀剂微透镜图形的表面形貌的破坏。实验发现,离子束对靶面的热效应使靶面始终处在较高的温度状态(约高于120[°])。离子束溅射刻蚀完成后,将样品从高真空工作室中取出作后处理。其具体的过程如下:热浓硫酸浸泡后作超声处理以去掉残留的光刻胶,经蒸馏水冲洗后再用丙酮浸泡,最后用酒精脱水,热风吹干。上述过程完成后,即可制成具有良好的光学质量、均匀性和完整性的石英微透镜阵列器件。

3 石英微透镜阵列的表面形貌分析

表面形貌分析是对所制石英微透镜阵列器件作微观测试的主要内容之一,用以鉴定所制石英微透镜阵列器件的表面质量,如表面粗糙度等,直观地观察到不平整区域的范围、尺度及

分布等。本文给出了利用日本 JSM 扫描电子显微镜 (SEM) 和英国 Detak-IIA 型轮廓仪对所制微透镜阵列器件所进行的微观形貌观察的综合分析结果, 主要目的是比较在不同的固化条件下石英微透镜的表面形态, 如表面的光滑程度, 表面缺陷的范围、尺度及分布情况等。

实验发现, 对光致抗蚀剂微透镜图形采用不同程度的固化操作处理对最终成品质量的影响极为明显, 对石英衬底所作预处理操作的好坏直接关系到光致抗蚀剂透镜图形质量的优劣。在实验中观察到, 经良好预处理操作后的石英基片的表面光滑平整, 无气孔、裂纹和微小颗粒杂质等的分布。在此基片上所制成的光致抗蚀剂微透镜图形的表面清晰完整, 无缺陷分布, 其横剖面的圆弧形轮廓线光滑平整, 完全达到了预定的各项参数指标的要求, 如图 1 所示。

在通过离子束刻蚀实现掩模图形向衬底转移的过程中, 我们首先进行了未作固化处理器件的实验。由图 2 并结合扫描电镜测试的结果发现, 石英微透镜的表面已粗糙不平, 凹陷和凸起等缺陷分布在整个石英微透镜上, 陷坑的平均半径为 $5 \mu\text{m}$ 左右 (近似成圆形)。产生这些缺陷的原因可能在于, 在离子束对所制样品作溅射刻蚀的过程中, 工作转盘的温度过高 (约大于 120°C), 从而导致抗蚀剂微透镜图形始终处在较高温度的环境下, 造成其硬度降低, 表面软化, 部分剩余的入射离子 (大部份离子已经中和器中和后转变成中性粒子) 在局部区域沉积起来, 促使光致抗蚀剂微透镜图形的表面附近剩余的入射离子束的分布状态发生变化, 由均匀变为随机, 造成最终所制成的石英图形产生严重的畸变现象。

考虑到以上所述的石英图形已严重失真 (与光致抗蚀剂微透镜图形的圆弧形轮廓线比较) 的情况, 我们对光致抗蚀剂微透镜图形作了弱固化操作。实验效果是明显的, 如图 3 所示。由此可见, 石英图形的表面状态有明显改善, 结合扫描电镜测试的结果发现微透镜表面处陷坑的

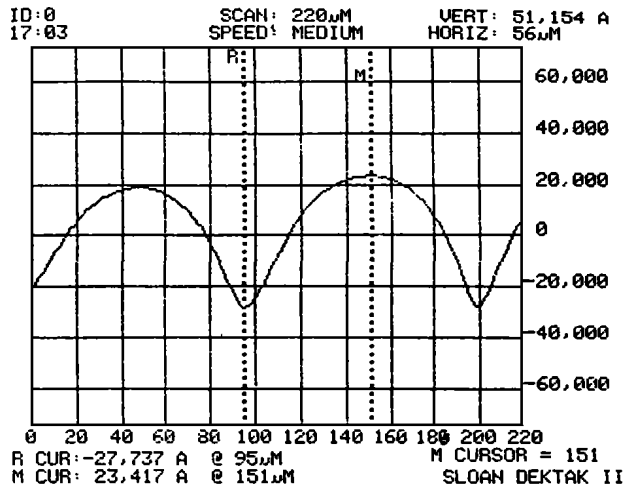


Fig 1 The curve of the surface stylus measurement of the photoresist microlens

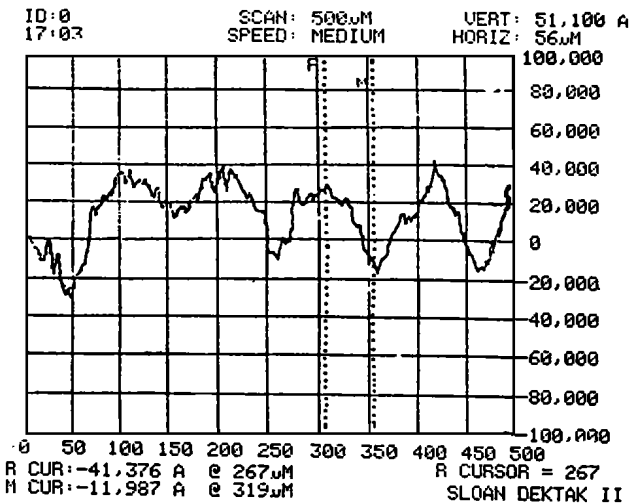


Fig 2 The curve of the surface stylus measurement of the rectangular arch quartz microlens array (1)

平均半径降为 $2.5 \mu\text{m}$ 左右。尽管如此,石英图形的表面处存在严重缺陷(按已定的指标衡量)的问题依然存在。

为了解决采用弱固化技术处理后仍未能解决问题,我们对光致抗蚀剂微透镜图形所作固化的强度作了进一步的提高(一般固化)。实验发现,所制成的石英图形的表面形貌较弱固化处理的器件又有明显改善,其表面处的陷坑的平均半径已降到 $1 \mu\text{m}$ 以下。由表面探针测试的曲线可见,尽管从 SEM 测试上可以反映出石英图形的表面缺陷的分布情况,但探针测试已失去意义,所做的该项测试已分辨不出石英的表面差异,如图 4 所示。

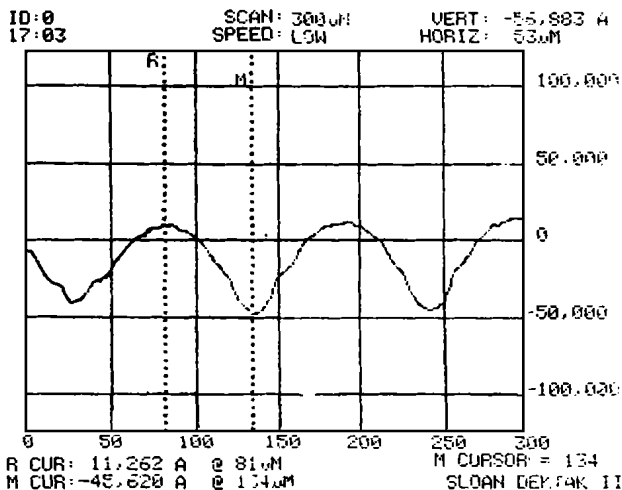


Fig 3 The curve of the surface stylus measurement of the rectangular arch quartz microlens array (2)

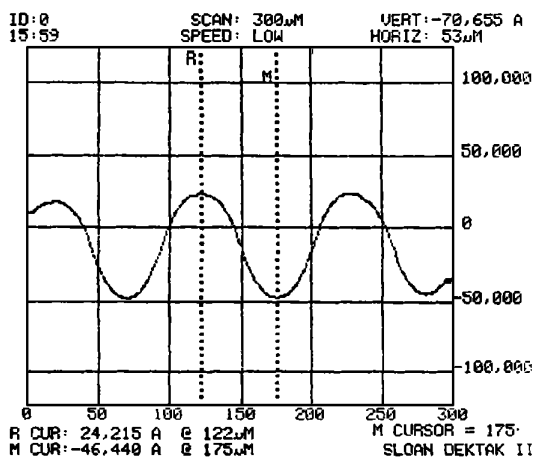


Fig 4 The curve of the surface stylus measurement of the rectangular arch quartz microlens array (3)

Fig 5 The SEM photograph of rectangular arch quartz microlens array

鉴于一般固化处理已显著改善了石英图形的表面形貌,我们进一步对光致抗蚀剂微透镜图形作了强固化处理,最终制成了表面光滑平整、轮廓清晰的石英微透镜阵列器件,如图 5 所示。

4 结果与讨论

根据上述的表面微观形貌分析, 可以得出以下结论:

1. 在离子束溅射刻蚀的过程中, 基片与旋转工作台之间的热传导状态对光致抗蚀剂微透镜图形的表面形貌有较大影响。热传导越好, 光致抗蚀剂微透镜图形形貌的变化越小; 热传导越差, 图形形貌的变化越大, 最终成品的缺陷越明显。

2. 是否采用光致抗蚀剂微透镜图形的固化技术直接影响到能否制作出可达到预定的各项参数指标, 具有良好的光学质量、均匀性和完整性的石英微透镜阵列器件。

3. 根据不同的使用要求, 可以选择不同层次的固化形式, 以降低费用, 节省工作时间。

4. 对样品作微观形貌分析时, 扫描电子显微镜和表面探针测试需配合使用, 以获得较全面的样品表面微观形貌的定量数据, 得到有说服力的实验结果。

5. 实验表明, 表面探针测试的适用范围有限, 对有较高测试要求的样品, 需采用其它测试手段配合扫描电子显微镜作定量测试。

6. 对样品所作的预处理应充分和完备, 以避免因此道工序处理不善而导致最终成品的表面形貌出现严重缺陷等问题。

离子束溅射刻蚀是目前在制作微透镜阵列器件方面有较强竞争力的技术手段之一, 在未来的高科技产品, 如高密度二元衍射光学阵列器件、大面阵微棱镜器件、大面阵微光阑器件、高集成度微传感器、高集成度微光学互联器件等的制作方面也有广泛的应用前景。该技术的进一步推广和深入发展, 最终取决于其本身的性能指标的提高和拓宽、与所制元件匹配特性的改善等。

参 考 文 献

- [1] 毕建华, 俞学东, 陆家和. 亚微米聚焦离子束溅射刻蚀的实验研究. 微细加工技术, 1996(2): 26~ 34
- [2] 李建中. 半导体器件工艺中干法刻蚀技术的进展. 微细加工技术, 1993(3): 43~ 51
- [3] 范玉殿. 电子束和离子束加工. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [4] Walker J F, Moore D F, Whitney J T. Focused Ion Beam Processing for Microscale Fabrication. Microelectron Eng (Netherlands), 1996, 30(1-4): 517~ 522
- [5] Schneidewind H, Schmidl F, Linzen S, Seidel P. The Possibilities and Limitations of Ion-beam Etching of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Thin Film and Microbridges. Physica C (Netherlands). 1995, 250(1-2): 191~ 201
- [6] Albert J, Bilodeau F, Johnson C D. Fabrication and Characterization of Submicron Gratings Written in Planar Silicon Glass with a Focused Ion Beam. Proc SPIE-Int Soc Opt Eng (USA), 1994, 2231: 78~ 88
- [7] Gordon N T, Jones C L, Purdy D J. Application of Microlens to Infrared Detector Arrays. Infrared Phys, 1991, 31(3): 599~ 604
- [8] 马志洪, 易新建, 赵兴荣. 硅微透镜阵列. SEMICONDUCTOR PHOTONICS AND TECHNOLOGY, 1996, 2(1): 61~ 65
- [9] 麦志洪, 易新建, 赵兴荣. 硅微透镜阵列. 半导体光电, 1996, 17(2): 137~ 140
- [10] 麦志洪, 易新建, 赵兴荣, 郝建华. 用于红外焦平面的微透镜单片制备技术. 华中理工大学学报, 1996, 24(7): 77~ 79

Study on Ion Beam Etching Fabrication for SiO_2 Microlens Array

Zhang Xinyu, Yi Xinjian, Zhao Xingrong, Mai Zhihong, He Miao

(Department of Optoelectronic Engineering Huazhong

University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Liu Luqin

(25th Institute, 2nd Academy China Aviation Industry Corporation, Beijing 100854)

Abstract

Using scanning electron microscopy (SEM) and surface style measurement We have investigated the surface microstructure and morphology of the rectangular arch quartz microlens array fabricated by Ar ion beam etching. The reason induced the surface defect of quartz microlens has been discussed. The methods improving surface microstructure and morphology have been analyzed, The surface morphology differences of the microlens devices fabricated by ion beam etching under the different conditions have been given. In addition, we also introduce several key operations to the quartz samples prepared. The process for preparing quartz microlens has been discussed.

Keywords: Ion beam etching, SiO_2 microlens array, Morphology analysis

张新宇 1986年毕业于长春光学精密机械学院红外技术专业, 1995年9月考入华中理工大学光子工程系物理电子学与光电子学专业攻读博士学位, 师从易新建教授开展二元光学与微透镜方面的研究。