

文章编号: 0258-7025(2001)06-0530-03

# 128 × 128 凹型 GaAs 微透镜阵列器件的制作研究\*

何 苗 易新建 程祖海 陈四海 程志军

(华中科技大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

**提要** 提出了一种制作 128 × 128 球冠型 GaAs 凹折射微透镜阵列新的方法——曲率倒易法。扫描电子显微镜 (SEM) 显示微透镜阵列为表面轮廓清晰的凹球冠面阵列, 表面探针测试结果显示阵列表面光滑、单元重复性好, 其凹深为 1.268  $\mu\text{m}$ , 焦距为 -352.04  $\mu\text{m}$ 。

**关键词** GaAs, 凹微透镜阵列, 氩离子束刻蚀

**中图分类号** TN 215 **文献标识码** A

## Research on Fabrication of 128 × 128 Element GaAs Concave Microlenses Array Device

HE Miao YI Xin-jian CHENG Zu-hai CHEN Si-hai CHENG Zhi-jun

(The State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** 128 × 128 element GaAs microlenses array is fabricated by a new method, named curvature inversion method. Scanning electron microscope (SEM) shows that microlenses have distinct spherical and concave contour, and surface stylus measurement shows that the concave microlenses array has smooth surface and its elements are of same size. For the concave microlenses array, the depth of concave spherical surface is 1.268  $\mu\text{m}$ , the focal length is -352.04  $\mu\text{m}$ .

**Key words** GaAs, concave microlenses array, Ar ion beam milling

近年来, 微小光学器件广泛应用于光通信、自动控制、图像处理、数据储存、光计算及光互联等方面, 因此它的制作工艺和方法得到了日益深入的研究<sup>[1~4]</sup>。其中光刻热熔法具有工艺简单、成本低廉、工艺参数易于控制及环境污染小等优点, 本文在光刻热熔法的基础上提出了曲率倒易法, 制作出 128 × 128 凹微透镜阵列。由于 GaAs 材料在 8 ~ 14  $\mu\text{m}$  大气窗口的特殊作用, 我们采用 GaAs 材料制作微透镜阵列器件。

### 1 曲率倒易法

图 1 所示为用曲率倒易法在 GaAs 基片上制作

凹微透镜阵列的工艺流程, 它分为两个阶段:

(1) 先用常规光刻/热熔成形/氩离子束刻蚀法制作一个凸微透镜阵列。在经清洗的 GaAs 基片上用旋转离心法涂布光刻胶薄膜, 实验中采用国产 BP212 紫外正型光刻胶, 烘干后再将光刻胶膜通过铬板在紫外线下接触曝光, 掩模版结构如图 2 所示, 经显影和冲洗后得到光致抗蚀剂圆柱体阵列。后置于加热炉中在氮气氛下加热至光刻胶的玻璃态转变温度(180℃左右), 圆柱体状的光致抗蚀剂图形在加热熔融的过程中由于表面张力的作用转变为球冠形图形, 冷却后通过离子束刻蚀将球冠形光致抗蚀剂图形转移到 GaAs 衬底上。氩离子束刻蚀在国产的 LD-3 型离子束刻蚀机上进行, 采用 Kaufman 离子源, 真空工作室的本底真空度为  $6.0 \times 10^{-4}$  Pa, 工作物质为 Ar, 工作气压为  $4.0 \times 10^{-2}$  Pa, 氩离子能量为 550 eV, 氩离子束流为 50 mA, 氩离子入射角度选为 80°。图 3 为氩离子束刻蚀的速率与氩离子束的入

\* 国防科技重点实验室基金资助项目(99JS11.2.0JW0505)。

收稿日期 2000-04-20; 收到修改稿日期 2000-11-20

射角度的关系,从图中可以看出,在这样的刻蚀条件下,光致抗蚀剂与 GaAs 衬底材料有着相等的刻蚀速率。

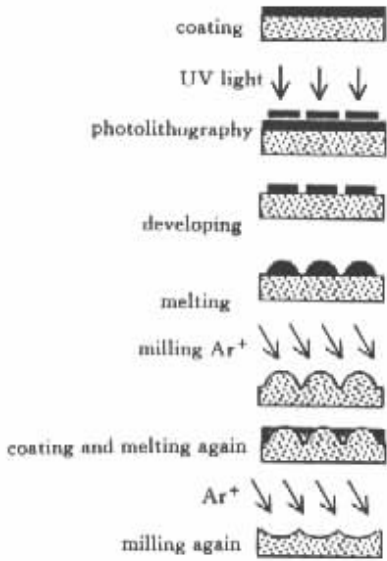


图 1 128 × 128 元 GaAs 凹折射微透镜阵列的制备工艺流程

Fig.1 Schematic diagram of fabrication of 128 × 128 GaAs concave refractive microlens array

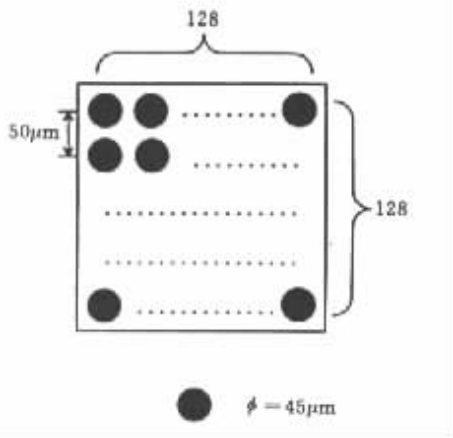


图 2 光刻掩模版结构图

Fig.2 Structural diagrams of photolithography master pattern

(2)再用曲率倒易法制作凹微透镜阵列。以上述常规方法制成的微透镜阵列为基础,在其上再涂敷足够厚度的光刻胶,完全淹没凸起的微镜图形,然后加热固化成形,最后再次进行氩离子束刻蚀,氩离子入射角度选为 40°,其余参数保持不变,从图 3 可以看出,在这样的刻蚀条件下,硅的刻蚀速率约为光致抗蚀剂的两倍,这样的原图形交界处(再次涂胶

前)的上方的胶层被刻蚀完毕时,原图形凸起处(再次涂胶前)的刻蚀长度是前者胶层的两倍,因此原图形凸起处反而成为新图形表面的凹陷处,原图形凹陷处则成为新图形表面的凸起处,于是原图形表面轮廓以曲率倒易的方式转移至 GaAs 衬底上。

## 2 测量结果

图 4 所示为利用日本 JSM 扫描电子显微镜 (SEM) 拍摄的 128 × 128 元 GaAs 凹微透镜阵列 SEM 照片,它显示出微透镜阵列为轮廓清晰的凹球冠形阵列。图 5 所示为用英国 Detak- II A 型轮廓仪测量的微透镜阵列表面微观形貌的表面探针曲线,曲线显示 GaAs 微透镜阵列表面光滑、重复性好,且凹微透镜阵列的平均凹深  $h = 1.268 \mu\text{m}$ ,单元微透镜的口径  $a = 45 \mu\text{m}$ 。

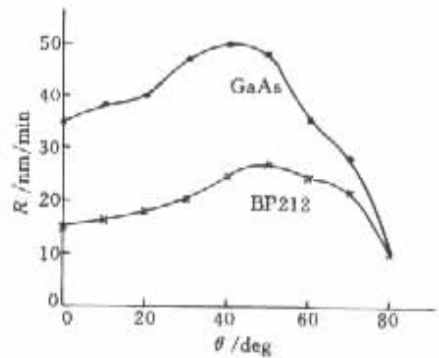


图 3 GaAs 和 BP212 光致抗蚀剂的氩离子束刻蚀速率  
Fig.3 Rate of Ar ion beam milling for GaAs and BP212 photoresist

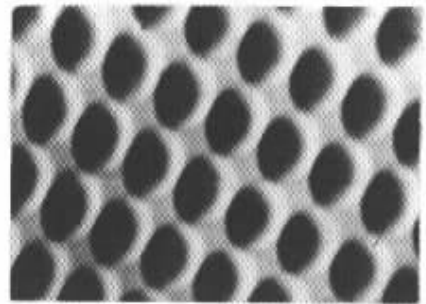


图 4 128 × 128 元 GaAs 凹球冠形微透镜阵列的 SEM 照片(430 ×)

Fig.4 SEM photograph(430 ×) of 128 × 128 GaAs spherical concave microlens arrays

图 6 显示了第二次刻蚀的前后衬底材料表面轮

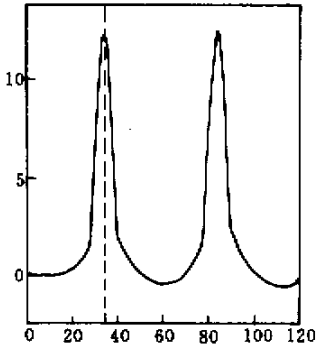


图 5 用表面探针测量的 128 × 128 元 GaAs 凹球冠形微透镜表面轮廓(单位: μm)

Fig.5 Profile of spherical concave GaAs microlens arrays measured by the surface stylus (unit: μm)

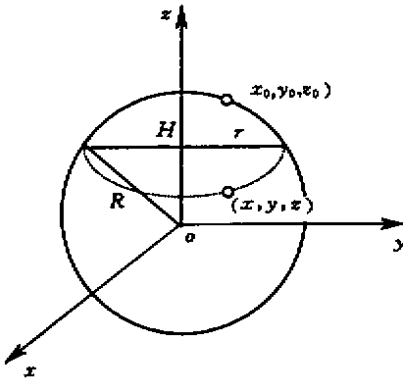


图 6 第二次刻蚀前后衬底材料的表面轮廓

Fig.6 Surface contour of underlying before and after the second Ar ion beam milling

廓的变化情况,由于第一次刻蚀选择的参数使得光致抗蚀剂与 GaAs 衬底材料的刻蚀速率相等,于是球冠形的光致抗蚀剂图形不失真地转移至衬底。下式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  为第一次刻蚀后凸起的球冠面上的任意点,  $(x, y, z)$  则是点  $(x_0, y_0, z_0)$  经第二次刻蚀后的位置,  $v_1$  和  $v_2$  分别为 GaAs 衬底材料和光致抗蚀剂的刻蚀速率,  $R$  代表第一次刻蚀完成后凸微透镜的曲率半径。从几何上可推导出

$$\begin{cases} R = \frac{r^2 + H^2}{2H} \\ x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = R^2 \\ x = x_0 \\ y = y_0 \\ z = (1 - v_1/v_2)z_0 + (R - H)v_1/v_2 \end{cases} \quad (1)$$

由上式得

$$x^2 + y^2 + \frac{[z - (R - H)v_1/v_2]^2}{(1 - v_1/v_2)^2} = \left(\frac{r^2 + H^2}{2H}\right)^2 \quad (2)$$

可以看出,第二次刻蚀后的球冠图形变为绕  $z$  轴旋转的凹旋转椭球面,当  $v_1 = 2v_2$  时,式(2)简化为

$$x^2 + y^2 + [z - (R - H)]^2 = \left(\frac{r^2 + H^2}{2H}\right)^2 \quad (3)$$

为一曲率半径仍为  $R$  的凹球冠面,它与凸微透镜阵列关于平面反演对称,球冠底面为其反演面,因此凹球冠面的凹深  $h$  与凸微透镜阵列的冠高  $H$  相等,则凹微透镜阵列的焦距为

$$f = -\frac{R}{n - 1} \quad (4)$$

式中 GaAs 微透镜材料的折射率  $n = 3.27(8 \sim 14 \mu\text{m}$  大气窗口),用以上公式可计算出:微透镜阵列的曲率半径  $R$  为  $799.14 \mu\text{m}$ ,焦距为  $-352.04 \mu\text{m}$ 。

### 3 讨论

(1) 曲率倒易法是制作凹微透镜阵列的有效方法,通过离子束刻蚀参数的选择,可制作出形状各异、凹深可调的凹微透镜阵列。(2) 如果凹微透镜阵列的表面溅射一层折射率与 GaAs 不同的红外材料,其表面凹槽将被填满而形成一个小集成光学系统,它具有会聚、色散、色差调整及像差调整等多种功能。(3) 凹微透镜阵列可与凸微透镜阵列组成一个光束灵巧扫描器,对宽光束进行大角度扫描。(4) 在凸微透镜阵列器件的背面用曲率倒易法进行套刻制作一个凹微透镜阵列,可大幅增加其焦距,为长焦距微透镜阵列的制作提供了一个新的途径。

### 参 考 文 献

- 1 M. Severi, P. Motter. Etching selectivity control during resist pattern transfer into silicon for the fabrication of microlenses with reduced spherical aberration. *Opt. Eng.*, 1999, **38**(1):146 ~ 150
- 2 M. B. Stern, T. R. Jay. Dry etching for coherent refractive microlens arrays. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(11):3547 ~ 3552
- 3 T. R. Jay, M. B. Stern, R. E. Knowlden. Effect of refractive microlens array fabrication parameters on optical quality. *SPIE*, 1992, **1751**:236 ~ 245
- 4 B. P. Keyworth, D. J. Corazza, J. N. McMallin et al.. Single-step fabrication of refractive microlens arrays. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(10):2198 ~ 2201