

# 放大/缩小自聚焦透镜列阵的研制

黄伟同 杨瀛海 郭园月 罗祖宁 俞本立

(安徽大学物理系, 合肥 230039)

## 提 要

本文讨论了放大/缩小自聚焦透镜列阵成像原理. 根据设计方程, 确定了列阵的主要参数, 制成了列阵样品, 并对样品的参数进行测量.

关键词 放大/缩小自聚焦透镜列阵, 共轭距离, 调制传递函数.

## 1 引 言

放大/缩小自聚透镜列阵(E/R SLA)可采用两种型式, 一种是列阵的二端面成弧形, 它们的每一个自聚焦透镜端面与其轴线倾斜, 易于加工, 但像质稍逊; 另一种是各自聚焦透镜与其轴线垂直, 难于加工, 但像质较好. 虽然在研究分析(放大/缩小自聚焦透镜列阵)方面有许多报道, 但至今仅限于实样品阶段, 尚未能商品化. 本文报道了作者利用理玻璃自聚焦透镜制成(E/R SLA)方法以及样品的特性参数.

## 2 放大/缩小自聚焦透镜列阵成像原理

### 2.1 单位放大率的自聚焦透镜列阵

单位放大率自聚焦透镜列阵是一些轴线互相平行的透镜密堆积叠放而成. 各透镜端面与轴线垂直. 要使每个单透镜所成的像叠加后成原物的像, 则要求物距等于像距, 放大率为 1. 成像叠加原理如图 1 所示.

### 2.2 放大/缩小自聚焦透镜列阵

要获得放大/缩小的像, 则 SLA 成像的物距和像距不可能相等. 设若列阵的物距与像距不相等而各单根自聚焦透镜的轴线仍保持平行, 那么, 它们各自产生的像叠加起来后并不能获得原物的像, 如图 2

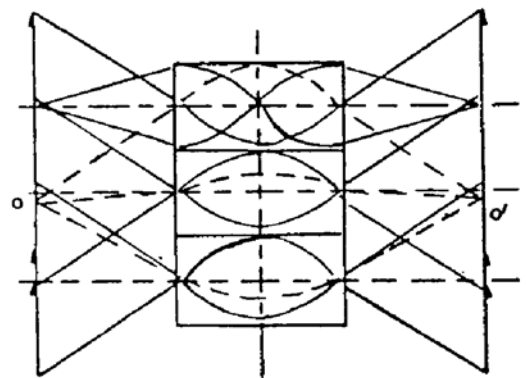


Fig. 1 Image formation by the SLA with unit magnification

(a)所示. 当两透镜轴线成某一确定角度时, 则他们所成的重叠像可为原物的像, 如图 2(b)所示. 据此原理推广, 即可制成一(放大/缩小自聚焦透镜列阵). 这种列阵的特点是: 1) 列阵是由

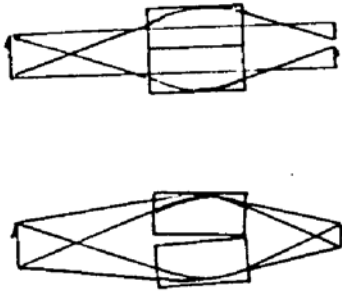


Fig. 2 Representation of SLA making reduced images  
(a) Two reduced images without overlapping properly  
(b) The images overlapping properly

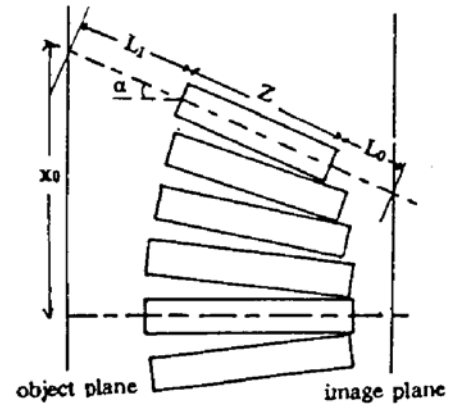


Fig. 3 Geometry of reolution SLA  
(untilted endfaces)

扇状排列的透镜组成,相对于物像平面而言,列阵中央一个透镜垂直于物像平面.从中央到边缘,左右对称的透镜逐渐倾斜.2)由于各单透镜的物距和像距不相等,因此它们的长度并不相等而是从中央到边缘逐渐变短.3)列阵的端面微曲而非平行平面.列阵的基本结构如图3所示.

### 3 放大/缩小自聚焦透镜列阵的设计

放大/缩小自聚焦透镜列阵的设计是确定列阵中每个透镜的排列位置,确定每个透镜位置的几何参量,从图3可见共有五个,顶像距 $L_0$ ,顶物距 $L_1$ ,子透镜长度 $z$ ,透镜轴线的倾角 $\alpha$ ,某一倾斜透镜轴线延长线与像平面的交点到中心透镜轴线交点之间的距离 $x_0$ .当自聚焦透镜参数:中心折率射率 $n_0$ ,折射率分布常数 $\sqrt{A}$ ,透镜半径 $R$ 等已确定,并设计了列阵的参数为:列阵放大率 $m$ ,物、像共轭距离 $TC$ ,列阵空间参量 $b$ 后,即可按下述方程确定各透镜的几何位置.

1)  $L_0$  的确定:按透镜成像公式:

$$L_0 = \frac{m - \cos(\sqrt{A}z)}{-n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A}z)} \quad (1)$$

2)  $L_1$  的确定:按透镜成像公式:

$$L_1 = \frac{1/m - \cos(\sqrt{A}z)}{-n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A}z)} \quad (2)$$

3)  $x_0$  的确定:按定义

$$x_0 = N \cdot b \cdot (2R) \quad (3)$$

式中 $N$ 为该透镜在列阵中排列序号,中心透镜取零号,列阵两侧各依次为1,2,3…….

4)  $\alpha$  与  $z$  的确定:讨论一对应于 $x_0$ 的透镜, $\alpha$ 和 $z$ 的选取要使像点落在 $x_1$ 处,且 $x_1 = mx_0$ ,故

$$TC = (L_0 + z + L_1) \cos \alpha \quad (4)$$

$$x_1 = mx_0 = x_0(L_0 + z + L_1) \sin \alpha \quad (5)$$

由(4)式和(5)式计算出

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{x_0(1-m)}{TC} \right] \quad (6)$$

(1)式,(2)式和(4)~(6)式组成放大/缩小自聚焦透镜列阵的设计方程组,解此方程组,即可求

出各单透镜的几何位置,并确定了此放大/缩小自聚焦透镜列阵的参数.

## 4 放大/缩小自聚焦透镜列阵的制造

### 4.1 单个自聚焦透镜参数的测量

在使用设计方程组计算有关列阵参数时,必须先确定单个自聚焦透镜的主要参数.使用 SLA 参数测试仪测定了所用的锂玻璃自聚焦透镜参数为  $\sqrt{A} = 0.180 \text{ mm}^{-1}$ ,  $n_0 = 1.545$ ,  $R = 0.526 \text{ mm}$ .

### 4.2 各单个自聚焦透镜的设计参数

首先确定放大/缩小自聚焦透镜列阵的基本参数:放大率  $m = 0.707(1.414)$  共轭距离  $TC = 45 \text{ mm}$ ,列阵空间常数  $b = 1.725(1.22)$ .按设计方程计算出各参数值见表 1.

Table 1 E/R SLA parameters

	$x_0 \text{ mm}$	$L_0 \text{ mm}$	$z \text{ mm}$	$L_1 \text{ mm}$	$a$
0	0.000	14.391	20.758	9.851	0.000
± 1	1.813	14.393	20.757	9.853	1.18E-002
± 2	3.626	14.399	20.756	9.857	2.36E-002
± 3	5.439	14.409	20.754	9.865	3.54E-002
± 4	7.252	14.424	20.751	9.876	4.72E-002
± 5	9.065	14.443	20.746	9.889	5.89E-002
± 6	10.878	14.465	20.741	9.906	7.07E-002
± 7	12.691	14.492	20.735	9.925	8.24E-002
± 8	14.504	14.523	20.728	9.948	9.41E-002
± 9	16.317	14.559	20.721	9.974	1.05E-001
± 10	18.130	14.598	20.712	10.002	1.17E-001
± 11	19.943	14.641	20.703	10.034	1.29E-001
± 12	21.756	14.688	20.693	10.068	1.41E-001
± 13	23.569	14.739	20.682	10.106	1.52E-001
± 14	25.382	14.794	20.670	10.146	1.64E-001
± 15	27.195	14.853	20.658	10.189	1.75E-001

### 4.3 列阵的组装

在一黑色光滑有机玻璃表面,按设计参数要求,确定各单个自聚焦透镜的位置,仔细将自聚焦透镜按序排列,并用读数显微镜进行检查,然后用黑色环氧树脂固定封牢,再加上黑色有机玻璃制成的上盖板.该放大/缩小自聚焦透镜列阵是由 31 个单透镜按单层排列组成.

### 4.4 放大/缩小自聚焦透镜列阵的主要参数测量

#### 4.4.1 测量结果

利用光纤列阵参数测试仪测定了放大/缩小自聚焦透镜列阵的主要参数为:共轭距离  $TC = 45.5 \text{ mm}$ ,  $m_R = 0.72$ ,  $m_E = 1.39$ .

调制传递函数 (41 p/mm)	缩小状态		放大状态	
	中央	边缘	中央	边缘
	50%	30%	22%	15%

#### 4.4.2 结果分析

实测的  $TC$  值较设计值稍大, 这应属于视觉测量误差范围. 对于这种  $9^\circ$  型锂自聚焦透镜的焦深为  $\pm 0.5$  mm, 因此这种误差在测量中是允许的.

放大率的测量中  $m_R$  偏大, 而  $m_E$  偏小, 这应是透镜排列时角度的倾斜 ( $\alpha$ ) 较理论值稍小, 因而放大率有偏离.

分辨率调制传递函数的测量中央部分较边缘部分清晰, 这主要是在列阵中部物平面与单透镜光轴垂直而边缘部份透镜光轴与像面倾斜, 产生像差, 因而调制传递函数值下降.

## 5 结 论

按放大/缩小自聚焦透镜列阵成像原理, 根据设计方程组, 对确定参数的自聚焦透镜列阵先制成单根自聚焦透镜, 再依序排列, 得到  $TC = 45.5$  mm,  $m_E = 1.39$ ,  $m_R = 0.72$  的放大/缩小自聚焦透镜列阵. 在目前的工艺条件下测量值与设计值是较好地符合.

### 参 考 文 献

- [1] James D. Rees, William Lama, Enlargement/Reduction gradient-index lens array, *Appl. Opt.*, 1982, 21(6) : 1715~1724
- [2] William Lama, John Alam Durbin, Radiometric analysis of gradient-index lens arrays for reduction/enlargement, *Appl. Opt.*, 1985, 24(24) : 4349~4355

### Manufacture technique of selfoc lens arrays

Huang Weitong    Yang Yinghai    Guo Yuanyue,  
Luo Zuning    Yu Benli

(Department of Physics, Anhui University, Hefei 230039)

(Received 22 December 1992; Revised 9 March 1993)

### Abstract

In this paper we discuss the imaging principle of enlarge/reduction selfoc lens array (E/R SLA). The principal parameters of arrays are determined according to the designing equations. The samples of arrays has been produced and their parameters have been measured.

**Key words** enlargement/reduction selfoc lens arrays, conjugate distance, modulated transfer function (MTF).