

方形自聚焦透镜元阵列及其成像^{*}韩艳玲^{1,2}, 刘德森², 蒋小平²

(1 西南科技大学 理学院, 四川绵阳 621010)

(2 西南大学 物理学院, 重庆 400715)

摘要:采用两步法研制方形自聚焦透镜元阵列(简称 SSLA),即先制成方形自聚焦透镜,并对其光学特性进行测试,然后再按一定规则排成阵列,从而成功研制出 SSLA,并针对它的成像情况进行了研究. SSLA 的成像方式有两种:多重像和综合像. 由于 SSLA 的综合成像应用范围比较广,尤其在光复印机和传真机中得到了很好的应用,进而重点研究其综合像. 通过研究表明:SSLA 不但成像质量理想,在一定程度上也能解决提高填充系数(定义为有效受光面积与总面积之比)这一难题.

关键词:微透镜阵列;方形自聚焦透镜元阵列;多重像;综合像

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2007)02-0221-3

0 引言

随着科技的发展,光学元件的微型化势必使分离元件向阵列元件发展,目前制作的微透镜阵列,其透镜元多是圆柱形或半球形,虽像差较小,但存在最大的问题是填充系数小. 其典型排列方式有两种,一是采用正方形排列^[1]. 有效受光面积的理论极限为 78.8%,这就是说,至少有 21% 的光信息不能到达接收器,而是被透镜元间的空隙漏失掉,从而使传像分辨率下降,传输的光信息失真. 二是采用六角紧密排列. 采用这种排列方式制作的微透镜阵列,填充系数有所提高,理论极限值为 90.7%,但仍存在 9.3% 的光信息漏失. 总之,这两种排列方式,均因不能很好消除透镜元间的空隙对光信息的漏失,而不可能从根本上解决提高受光面积、减少光信息漏失的问题. 为了解决这一问题,本文研制了 SSLA,由于它较好的消除了透镜间的三角孔,预计它的有效受光面积将达到 93% 以上.

1 方形自聚焦透镜元阵列的研制

1.1 制作工艺

采用两步法制取,其一为方形自聚焦透镜(简称 SSL)的制作,其二是 SSLA 的制作

1.1.1 方形自聚焦透镜的制作

通过玻璃棒的加工、离子交换、研磨等一系列的工序,研制出 SSL,并对其的部分光学特性进行测试,数据如表 1.

表 1 方形自聚焦透镜的部分光学特性测量值

$\sqrt{A}$	周期 P/mm	数值孔径/NA	畸变/D
0.376	16.738	0.407	11.28%

折射率分布情况由下面的干涉图像给出,从图

1 中可知,方形自聚焦透镜的折射率^[2]已非旋转对称,而是与方向角和半径均有关,且满足在水平与对角线所夹的 45°角内周期性变化.

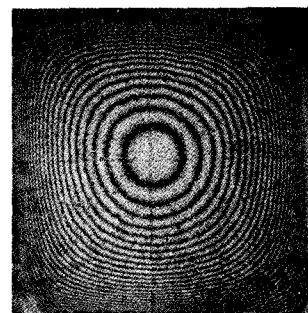


图 1 方形自聚焦透镜的干涉像片

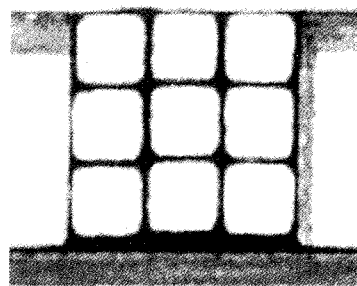
Fig. 1 SSL interference photograph

1.1.2 方形自聚焦透镜元阵列的制作

选择尺寸大体一致的多根 SSL 按一定的规则排成阵列,再进行端面研磨抛光,即得到 SSLA,图 2 给出了它的实物图像.



(a) One Line



(b) 3×3

图 2 SSLA 的实物图象

Fig. 2 Object image of SSLA

1.2 关键工艺措施

为了保证所制作的 SSLA 满足良好的光学性能

^{*} 国家自然科学基金(60578005)资助

Tel: 023-68254607 Email: yling@swu.edu.cn

收稿日期: 2005-09-30

要求,并且具有良好的像质,应在各工序实施过程中加以控制和监测,尤其要在关键工艺采取相应的措施,主要包括:

1) 方形变折射率棒透镜(简称棒透镜)实现

为获得折射率具有规律分布的变折射率透镜,必须对离子交换进行更好的控制.由于所选用的玻璃棒是含有电子极化率高、扩散系数大的 Tl^{+} 离子,因而在高温状态下,必须放在含有电子极化率小的 K^{+} 离子熔融盐浴中进行离子交换^[3].

2) 棒透镜光学特性一致性保证措施

SSLA 有十几根,甚至是几十根、几百根棒透镜排列而成.为保证 SSLA 在整个阵列范围内光学特性一致,必须使这么多根的棒透镜性能一致.因此,在工艺中应采取一系列均匀化措施,主要有:

玻璃棒的尺寸均匀性;玻璃的光学均匀性;离子交换工艺的均匀性(盐浴浓度、温度、时间等).

3) 阵列规则排列措施

为了减小多根棒透镜间的间隙,要严格控制单根棒透镜的尺寸和形状,并让多根棒透镜按一定的规则排列.

2 方形自聚焦透镜元阵列的成像

透镜阵列成像^[4]方式有两种:一种是多重成像,另一种是综合成像.阵列的综合成像应用范围比较广,尤其在光复印机和传真机中得到了很好的应用,在此重点研究综合像.

2.1 SSLA 的多重像

对于物面上的一个物分布,经过由 N 个透镜元组成的透镜阵列后,一般可以得到 N 个分立的像,

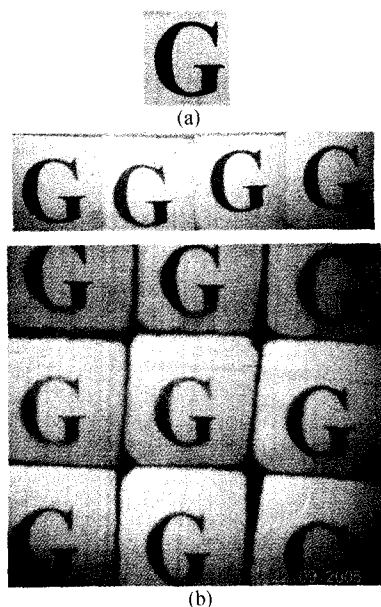


图 3 (a)物,(b)多重像
Fig. 3 (a)Object, (b)Multiple image

这 N 个像可以是共面的,也可以是不共面的.这与透镜的组成结构和透镜元的性质有关.这种一个物可形成 N 个像的现象称为透镜阵列的多重成像.产生多重成像有多种方法^[5-6],都需要先得到亮度均匀的点阵,SSLA 即能产生与其相同阵列分布的多重像.图 3 即为其产生的多重像.

2.2 SSLA 的综合像

2.2.1 成综合像的条件

在一定条件下,对于分立的 N 个像,只有当透镜阵列结构和透镜元的性能满足特定的简并条件,并且简并度为 N 时,各透镜的像才可能共面,并发生分立像的重叠,形成一个综合像.

从自聚焦透镜的光线轨迹矩阵出发,如

$$\begin{pmatrix} r \\ p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_0 \\ p_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$A = \cos(\sqrt{A}z) \quad B = \frac{1}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A}z)$$

$$C = -\sqrt{A} \sin(\sqrt{A}z) \quad D = \cos(\sqrt{A}z)$$

当初始条件为 $r_1, p_1 = 0$ 时,代入式(1)可得到 a 光线在变折射率透镜中的轨迹是

$$r_a = -\frac{r_1}{n(0)\sqrt{A}l_1} \sin(\sqrt{A}z) \quad (2)$$

$$p_a = -\frac{r_1}{n(0)l_1} \cos(\sqrt{A}z)$$

经过变换可得出由物点到像点的实际路线方程为

$$r_2 + n(0)r_1 \sin(\sqrt{A}z)l_2 - r_1 \cos(\sqrt{A}z) = 0 \quad (3)$$

当初始条件为 $r_1 = 0, p_1 = -\frac{r_1}{l_1}$ 时,同理可得出 b 光线在变折射率透镜中的轨迹是

$$r_2 + \frac{r_1}{l_1} n(0) \cos(\sqrt{A}z)l_2 + \frac{r_1}{n(0)\sqrt{A}l_1} \sin(\sqrt{A}z) = 0 \quad (4)$$

l_1 和 l_2 分别是 SSL 成像的物距和像距, r_1 和 r_2 是其物高和像高, $\sqrt{A}$ 是聚焦常量, $n(0)$ 中心轴上的折射率.联立式(3)和(4),线性放大率 M 即为

$$M = \frac{r_2}{r_1} = -\frac{1}{n(0)l_1 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A}z) - \cos(\sqrt{A}z)} \quad (5)$$

要使 SSLA 成综合像,就要求单个 SSL 所成之像必须是放大倍率为 $M=1$ 的正立实像.因在其它情况下,都无法得到综合像.把 $M=1$ 代入式(5)化简得

$$l_1 = -\frac{1}{n(0)\sqrt{A}} \tan\left(\frac{1}{2}\sqrt{A}z_0\right) \quad (6)$$

$$\frac{P}{2} < z_0 < P$$

这里, P 为方形自聚焦透镜的周期, z_0 为该透镜的长度,此时物距和像距相等.由式(6)可知,要得到

综合像,必须使 SSL 的长度在半个周期至 1 个周期之间. 可以根据实际需要,在这个范围内选取不同的长度,就可以得到不同的物距和共轭长度($TC = 2l_1 + z_0$)的 SSLA.

2.2.2 所成综合像

按照成综合像的条件制成的阵列如图 4,下图即为在显微镜下所拍物与综合像的像片.



图 4 (a)物,(b)综合像

Fig. 4 (a)Object,(b)Comprehensive image

3 结论

通过对 SSLA 成像情况的研究,可知它不仅成像质量好,而且能进一步增大受光面积,预计填充系数在 93%以上. 这样不仅能较好地消除透镜元间的空隙对光信息的漏失,减小传输的光信息失真,同时也使传像分辨率提高. 由此可知,SSLA 的研制成功,会

使光学元器件的成像质量得到进一步的提高.

参考文献

- [1] BAR J, BRENNER K H. Realization of refractive continuous phase elements with high design freedom mask structured ion exchange[C]. *SPIE*, 2001, **4437**: 50-59.
- [2] LANG Xian-li, LIU De-sen, LÜ Tao, *et al.* Improvement of index distributions for GRIN lens by two-step ion-exchanging method[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8): 1141-1144.
朗贤礼,刘德森,吕涛,等. 二次离子交换法改进自聚焦透镜折射率分布[J]. *光子学报*, 2005, **34**(8): 1141-1144.
- [3] GONG Zhi-bing. Self-focusing lens array and its application [J]. *Applied Optics*, 2000, **21**(1): 28-31.
龚智炳. 自聚焦透镜阵列及其应用[J]. *应用光学*, 2000, **21**(1): 28-31.
- [4] ZHOU Jin, TAN Su-qing, GAO Wen-qi, *et al.* A combined phase type optical element for realizing multiple images[J]. *Opt Rev*, 1997, **4**(3): 408-410.
- [5] GAO Wen-qi, YE Quan-shu. Production of fly's-eye holograms by using redundancy[J]. *Chinese Laser*, 1981, **11**(8): 494-499.
- [6] LANG Xian-li, LIU De-sen, ZHU Shao-li, *et al.* Imaging and fourier transform properties of GRIN rod lens [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(7): 987-992.
郎贤礼,刘德森,朱少丽,等. 自聚焦透镜的傅里叶变换性质及成像性质[J]. *光子学报*, 2005, **34**(7): 987-992.

Square Self-focusing Lens Array and Its Image

HAN Yan-ling^{1,2}, LIU De-sen², JIANG Xiao-ping²

(1 College science, Southwest China University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010, China)

(2 School of Physics, Southwest China University, Chongqing 400715, China)

Received date: 2005-09-30

Abstract: Using two steps to develop square self-focusing lens array, also be called SSLA. First make the square shape self-focusing lens stick, and test its optics characteristic, then arrange array regularly. So successfully develop SSLA, and research its imagery situation. The SSLA imagery way has two kinds: multiple image and comprehensive image. Because comprehensive image of the SSLA is applied greatly, especially in the copycat and the facsimile machine obtains the very big application. Here study its comprehensive image mostly. The research indicates that not only the imagery quality of SSLA is ideal, also SSLA can solve the difficult problem that to enhance space factor in the certain degree (defined as ratio of effectively light area and the total area).

Keywords: Micro-lens array; Square self-focusing lens array; Multiple image; Comprehensive image



HAN Yan-ling: was born in 1979 in Shandong Province, China. She graduated from physics department of Yantai Normal University in 2003. Now she is working for the M. S degree in Southwest Normal University. Her research interests include square self-focusing lens and its array.