

文章编号 : 0258-7025(2001)01-0052-03

利用微透镜阵列产生多重像

廖 军 王海东 丁剑平 高文琦

(南京大学物理系 南京 210093)

摘要 采用自制的二阶位相型 Gabor 透镜阵列(3×4)在信息处理光路中,经过多次傅里叶变换,最后得到多重像。实验结果显示用此种方法是可行的,得到的多重像是清晰的。

关键词 二元光学元件,微透镜阵列,Gabor 波带板,多重像

中图分类号:TN 911.74 文献标识码:A

Multiple Image Produced by Micro-lenses Array

LIAO Jun WANG Hai-dong DING Jian-ping GAO Wen-qi

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract By using the binary phase Gabor micro-lenses array elements in an information processing setup, a multiple images are produced after several times Fourier transformations. Results show that this method is feasible and the produced multiple images are clear.

Key words BOE(binary optical element), micro-lenses array, Gabor zone plate, multiple images

1 引 言

用二元光学方法制作的高密度、高质量的衍射微透镜阵列,在光通信、光计算、光学信息处理、光存储和激光束扫描等许多领域有重要的应用^[1,2]。具有多阶位相浮雕结构的菲涅耳波带板,因其衍射效率高而成为当前研究较多的一种二元衍射透镜。但采用现有的加工工艺成品时间长,造价亦较高。在某些对衍射效率要求不甚高的应用场合,可用其他较为简易的二元衍射透镜替代。本文采用具有正弦透过率的 Gabor 衍射透镜阵列,它制作工艺方便(只要一次刻蚀),衍射效率高于相同工艺的二元菲涅耳元件,具有较高的性能价格比,聚焦后的点阵也较为满意。

产生多重像有多种办法^[3,4],都需要先得到亮度均匀的点阵。用二维衍射光栅产生的点阵,要精确调节光栅参数(空占比、深度等),才能得到特定间距的均匀点阵。而用微透镜阵列,能产生与微透镜阵列相同阵列分布的多重像。而微透镜可以作成任意的位置分布,甚至可以不成阵列,有不同焦距,因而这种方法具有较大的灵活性。

2 原 理

2.1 Gabor 波带板

振幅型 Gabor 波带板^[5]的振幅透过率函数为

$$t(r^2) = 1/\sqrt{1 + \cos(2\pi r^2/\alpha r_1^2)} \quad (1)$$

(其中 $\alpha = 1, 2, 3, \dots$)

r_1 为第一环带半径。将其制成二阶位相型,这时的透过率函数

$$g(r^2) = 1/\sqrt{1 + \cos(2\pi r^2/\alpha r_1^2)} + 1/\sqrt{1 - \cos(2\pi r^2/\alpha r_1^2)} \exp(i\pi) \quad (2)$$

设平行光在波带板处振幅为 A ,光波长为 λ ,根据衍射公式^[6],位相型波带板轴上距板 z 处的复振幅为

$$U(z) = (A\pi/i2\lambda z) \exp(-ikz) \cdot \left[\delta\left(\frac{1}{\alpha r_1^2} - \frac{1}{2\lambda z}\right) + \delta\left(\frac{1}{\alpha r_1^2} + \frac{1}{2\lambda z}\right) \right] \quad (3)$$

可知,焦点位置 $z = \pm \alpha r_1^2/2\lambda$,只存在虚、实两个焦点,衍射效率为 50%。

2.2 产生多重像的光路

用两片二阶位相型 Gabor 微透镜阵列元件,采用如图 1 所示的光路。图中微透镜的焦距均为 f_1 ,透镜 L_1, L_2 的焦距为 f_2 。平行光入射,微透镜阵列 1 后焦面上得到的聚焦点阵可以表示为

$$f(x_0, y_0) = C_1 \sum_{m,n} \delta\left(\frac{x_0}{a} - m, \frac{y_0}{a} - n\right) \quad (5)$$

C_1 为常数, m, n 分别为微透镜在阵列中的序号, a 为微透镜的尺寸, 这里微透镜限制在一边长为 a 的正方形中。在 L_1 后焦面放置会产生多重像的物, 由于透镜前焦面和后焦面存在严格的傅里叶变换关系^[7] 这样, 经过物平面后的复振幅为 $f(x_0, y_0)$ 的频谱与物函数 $h(x_1, y_1)$ 相乘。

$$u_1(x_1, y_1) = \frac{1}{i\lambda f_2} \mathcal{R}\{f(x_0, y_0)\} \mathcal{H}(x_1, y_1) \quad (6)$$

$u_1(x_1, y_1)$ 经过透镜 L_2 的再一次傅里叶变换, 根据卷积定理, 在 L_2 后焦面得到物的频谱与微透镜焦点阵列的卷积。

$$u_2(x_2, y_2) = C_2 \sum_{m,n} \delta\left(\frac{x_2}{a} - m, \frac{y_2}{a} - n\right) \cdot \mathcal{R}\{h(x_1, y_1)\} =$$

$$C_2 \sum_{m,n} H\left(\frac{x_2 - ma}{\lambda f_2 a}, \frac{y_2 - ma}{\lambda f_2 a}\right) \quad (7)$$

$H\left(\frac{x_2}{\lambda f_2}, \frac{y_2}{\lambda f_2}\right)$ 是 $h(x_1, y_1)$ 的傅里叶变换, 即物的频谱, C_2 为常数。可以看出, $u_2(x_2, y_2)$ 为呈阵列分布的多重物谱, 当微透镜阵列 2 的前焦面上的焦点阵列与这些物谱中心对准时, 每个透镜对物谱分别作傅里叶变换, 在微透镜阵列 2 的后焦面上得到物的多重像。

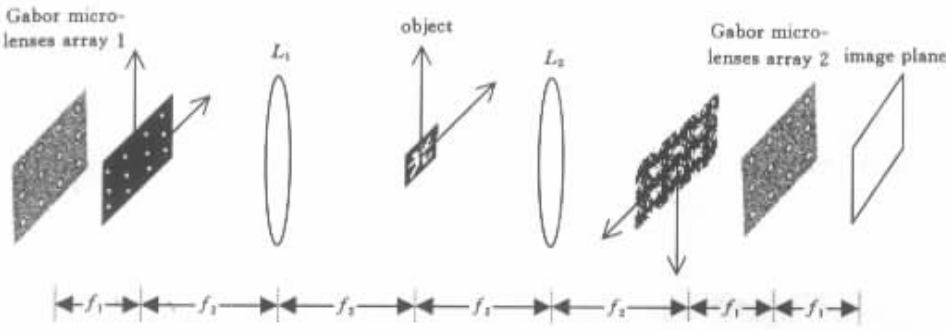


图 1 产生多重像的光路

Fig.1 Setup for producing multiple images

3 实验

实验时在 (1) 式中取 $\alpha = 1$, 并采用面积编码的方式来近似 Gabor 波带板的二维透过率函数, 具体方法如下:

将圆等分为 N 份, 在每一份的半径为 r_j 处透光部分对原点的张角 Φ_j 满足关系

$$t(r_j^2) = (\Phi_j/2\pi)N = 1/2 [1 - \cos(2\pi r_j^2/r_1^2)] \quad (10)$$

实际编码中 $N = 32$ 。用 C 语言编制模板设计程序, 我们设计的是 3×4 微透镜阵列, 各个子透镜焦距为 9 cm, 其大小为 $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 。激光打印机输出模板如图 2。

然后对模板用超微粒干板为底片进行缩微, 先制成振幅型元件, 进一步采用微电子技术, 把元件由振幅型转变为位相型, 工艺流程如图 3。

刻蚀深度 $d = \lambda [(\chi_n - 1)]$, $n = 1.46$ 为石英基片的折射率, λ 为氦氖激光波长 (633 nm), 深度 $d = 688 \text{ nm}$ 。由于微缩倍数并不精确, 经测量, 制成的位相型微透镜阵列的实际焦距(即图 1 中的 f_1)

为 8.7 cm。而两个透镜 L_1, L_2 焦距均为 32 cm。

由式 (7) 可知, 要得到好的成像效果, 微透镜阵列焦平面上的聚焦点应尽可能小。我们用 CCD 接收微透镜阵列元件焦平面上的光强分布, 所得微透镜阵列的聚焦点阵如图 4, 基本达到要求。

用图 2 所示光路产生多重像, 实验中采用的物是“光”字, 如图 5(a)。因为成的多重像较小, 实验中在像平面后又加了一个透镜再次成像。多重像放大以后的照片如图 5(b)。

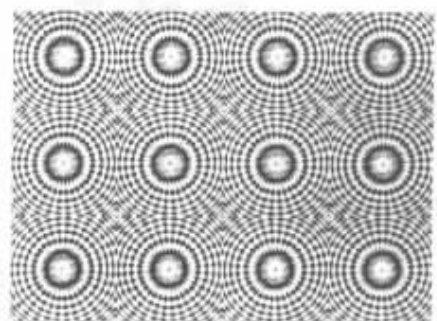


图 2 Gabor 微透镜阵列模板

Fig.2 Mask of Gabor micro-lenses array

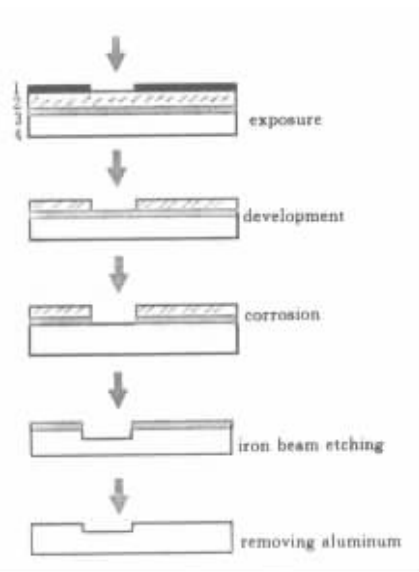


图3 光刻及离子刻蚀流程

1 模板 2 光刻胶 3 铝 4 石英

Fig.3 Process of photolithography and iron beam etching

1 : mask ; 2 : emulsion ; 3 : aluminum ; 4 : quartz

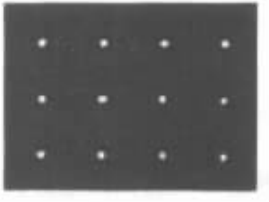


图4 Gabor 微透镜阵列后焦面上的光强分布

Fig.4 Light intensity distribution on the back focal

plane of phase type Gabor micro-lenses array

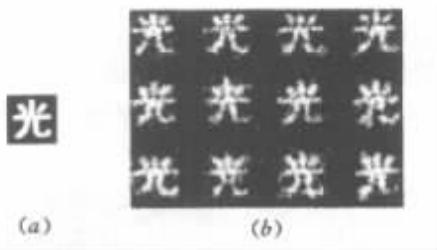


图5 (a)物 (b)多重像

Fig.5 (a) object ; (b) multiple images

4 误差分析及讨论

实验中的误差主要来自以下几个方面:首先,模板制作过程中,激光打印机精度和存储空间的影响,

不能画出理想中的精确模板。由关系式 $r_k = \sqrt{kr}$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) 知道,当 r 满足 r_k 条件时,透过率函数 t 取值为 0, 实验中的程序设计 r 变化取固定步长为 0.05 mm, 这样有可能跳过某些 t 为 0 的点, 使输出的模板不完全符合设计时的透过率函数。其次, 缩微和刻蚀过程中也存在误差。最后, 成像光路中微透镜元件 2 的前焦面上的焦点与成阵列分布的物谱中心需完全对准, 对调节有较高的要求。而且由于激光出射的高斯光束强度分布不均匀, 会影响多重像的强度分布。此外, 在成像光路中主要考虑的是微透镜阵列的实焦点, 由于虚焦点的存在, 这部分衍射光会形成一定的噪音干扰。

其他产生多重像的方法^[3,4]处理上主要是使点阵的频谱与物的频谱相乘(本文是用点阵的谱与物相乘)后再作一次傅里叶变换, 得到多重像, 光路显得简单, 但要获得一定大小的点阵的频谱也要花相当的代价。

5 结论

实验研究表明, 用二元光学方法制作的 Gabor 微透镜阵列有较高的衍射效率, 且其制作方便, 造价低廉, 成品时间短, 在现代光学中的不同场合能够替代菲涅耳透镜, 获得较高的性能价格比。用 Gabor 微透镜阵列能产生清晰的多重像, 且较其他方法具有较大的灵活性。

参考文献

- 1 A. W. Lohmann. Array illuminators and complexity theory. *Opt. Commun.*, 1992, **89**(2,3,4):167~172
- 2 W. Goltsov, M. Holz. Binary micro optics: an application to beam steering. *SPIE*, 1989, **1052**:131141
- 3 Zhou Jin, Tan Suqing, Gao Wenqi. A combined phase type optical element for realizing multiple images. *Opt. Rev.*, 1997, **4**(3):408~410
- 4 Gao Wenqi, Ye Quanshu. Production of fly's-eye holograms by using redundancy. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1984, **11**(8):494~499 (in Chinese)
- 5 T. D. Beynon, I. Kirk, T. R. Mathews. Gabor zone plate with binary transmittance values. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(7):544~546
- 6 Arnold Roy Sholman. *Optical Data Processing*. John Wiley & Sons Inc, 1970. 398
- 7 J. W. Goodman. *Introduction to Fourier Optics*. New York: McGraw-Hill, 1968. 97~98