

# 菲涅耳微透镜列阵衍射效率的测试\*

罗风光 曹明翠 赵向军 李洪谱 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**提要** 提出了一种测试菲涅耳微透镜列阵衍射效率的有效方法, 采用 He-Ne 激光器作为测试光源, 利用计算机辅助测试构成了一个衍射效率测试光路系统, 对测试原理进行了分析, 该方法具有简便易行的特点, 适于测试具有微小单元尺寸、周期密排的二元微光学元件的衍射效率。

**关键词** 衍射效率, 菲涅耳微透镜, 二元光学

## 1 引言

二元光学元件是近年来迅速发展起来的一种新型衍射光学元件, 其典型的代表是菲涅耳衍射微透镜列阵<sup>[1,2]</sup>。由于它采用 VLSI 制作工艺和离子束刻蚀技术, 因而具有单元周期尺寸小, 排列整齐, 易于与其它有源器件列阵(如半导体激光器列阵、光电探测器列阵等)对准的特点, 在光计算、光互连、光通信、图像处理等领域具有广泛的应用前景<sup>[3]</sup>。菲涅耳衍射微透镜列阵的衍射效率是一项重要的性能参数, 由于它的单元周期尺寸可小到  $10^2 \mu\text{m}$  量级, 排列密集, 因而给实际测试带来了困难。本文提出了一种测试衍射效率的有效方法, 为评价菲涅耳衍射微透镜列阵的性能参数提供了一个依据。

## 2 菲涅耳衍射微透镜列阵的结构和衍射效率

菲涅耳微透镜的工作机制是基于菲涅耳波带片的近场衍射理论。它是一种二元振幅调制型光学元件, 其图形由一系列同心圆环所组成。当一束平面波照射到菲涅耳波带片 FZP 上时,

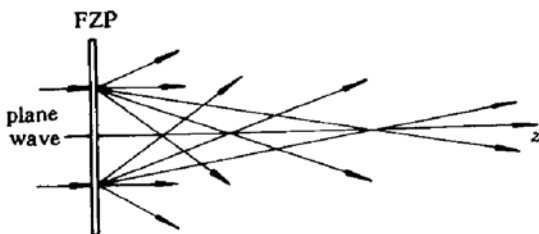


Fig. 1 Diffraction of a plane wave at Fresnel Zone Plate

在 FZP 后会产生会聚和发散的球面波, 每一球面波是 FZP 的一个衍射波, 如图 1 所示。实际制作中一般采用具有分立位相级的多位相结构, 位相型菲涅耳微透镜的衍射效率  $\eta$  即等于 -1 级衍射子波的强度  $|A_{-1}|^2$ <sup>[4]</sup>

$$\eta = |A_{-1}|^2 = \text{sinc}^2(1/m) = \left[ \frac{\sin(\pi/m)}{\pi/m} \right]^2 \quad (1)$$

其中  $m$  为位相级数。

\* “863”高技术计划、国家自然科学基金资助项目。

对于具有不同位相级数的菲涅耳微透镜,其衍射效率也不同,表 1 列出了几种不同位相数的菲涅耳衍射微透镜的衍射效率与位相级数的关系。

Table 1 Relation between  $\eta$  and phase stages  $m$

$m$	2	4	6	8	10	12	14	16
$\eta(\%)$	41	81	91	96	97	98	98	99

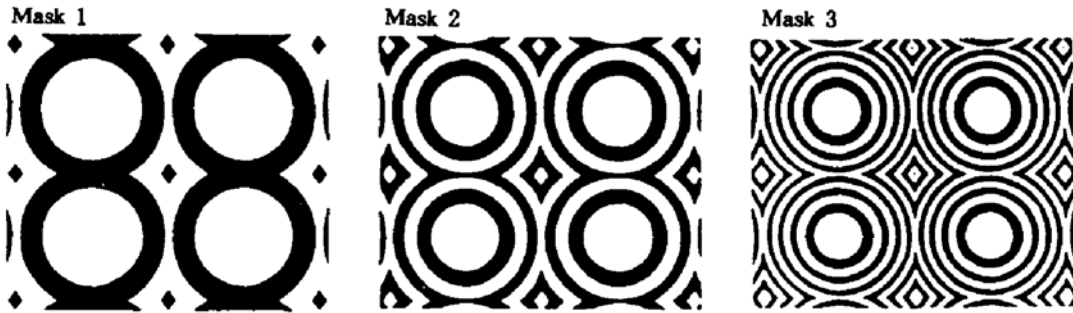


Fig. 2 Fresnel microlens mask patterns for an eight-level array

从表 1 可见,衍射效率随位相级数的增加而迅速增加,但工艺难度也随之加大。对于  $n(n = 2^k, k$  为正整数) 位相的菲涅耳微透镜,需要进行  $k$  次光刻和台阶刻蚀工艺,图 2 给出了制作八位相菲涅耳衍射微透镜列阵的三块掩膜图形结构。其制作过程如图 3 所示,图 3(a)、(b)、(c) 分别为相应三次光刻和反应离子刻蚀过程。在实际应用中,可根据不同使用条件的要求,结合器件制作工艺条件,选择制作具有合适位相级数的菲涅耳衍射微透镜列阵。

### 3 衍射效率的测试方法和分析

衍射效率是衡量菲涅耳衍射微透镜列阵的一项主要性能指标,它等于 -1 级衍射光能量与输入平面光能量的比值。实际测试中采用计算机辅助测试,其测试光路如图 4 所示。

在图 4 光路中,采用 He-Ne 激光器作为测试光源,输出光束经准直后分别由  $x$  方向和  $y$  方向的狭缝来限制其照射的面积,由 CCD 摄像系统监控使之刚好照射在一个菲涅耳衍射微透镜单元尺寸大小上,待测试的菲涅耳衍射微透镜列阵是我们自己研制的四位相菲涅耳衍射微透镜列阵,单元尺寸为  $400 \times 400 \mu\text{m}^2$  的方形结构,占空比为 100%,如图 5 所示。入射到一个菲涅耳衍射微透镜上的光束通过一个  $4f$  成像系统使菲涅耳衍射微透镜的后焦面刚好落在后面的 CCD 摄像机的成像面上,摄入菲涅耳衍射微透镜的焦点光强分布,并由计算机图像处理系统对输入的信号数据进行分析处理,得出其背景噪声的平均光强  $I_b$ ,然后去掉菲涅耳衍射微透镜列阵,直接测出 He-Ne 激光束的光强  $I$ ,其测试原理如图 6 所示。

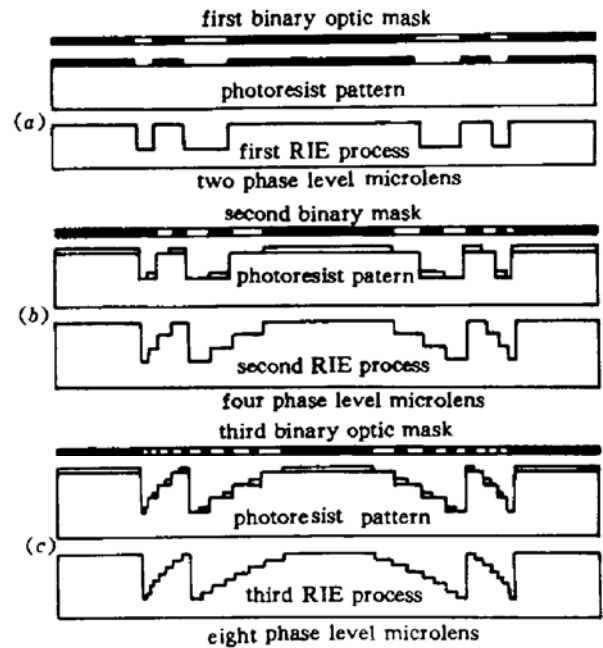


Fig. 3 Fabrication processing cycles of an eight-level Fresnel microlens

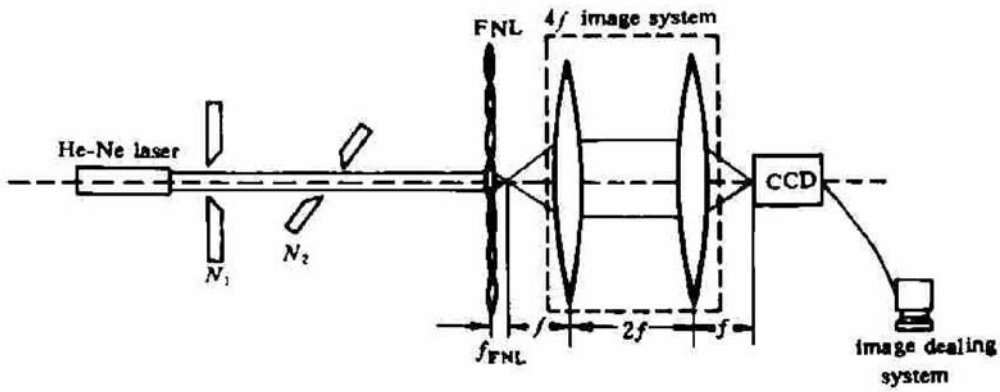


Fig. 4 Light circuit of diffractive efficiency measurement

FNL, Fresnel microlens arrays;  $N_1$ , slit at  $x$ -direction and;  $N_2$ , slit at  $y$ -direction

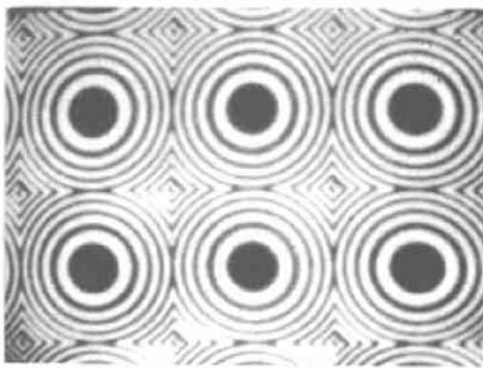


Fig. 5 The photograph of Fresnel microlens arrays

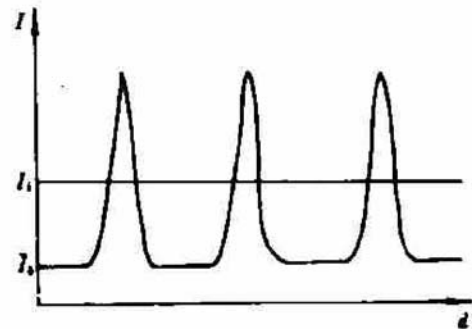


Fig. 6 The principle draft of diffractive efficiency measurement

$I_1$ , incident light intensity;  
 $I_0$ , average background light intensity

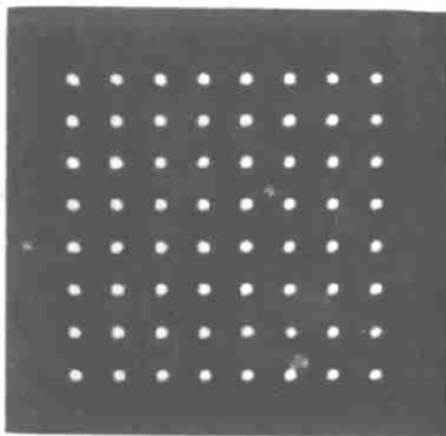


Fig. 7 The photo of the 8x8 spots arrays

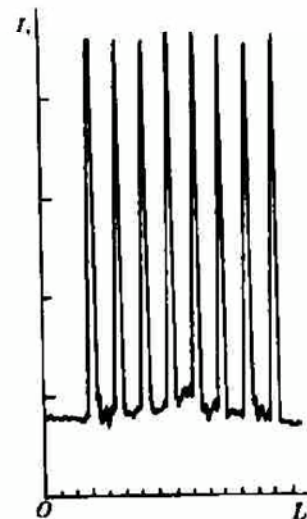


Fig. 8 Result of relative light intensities distribution of light spots

$I_r$ , the relative light intensities;  
 $L$ , the relative instance

设光照受测面积为  $S$ , 则由图 5 可知, 菲涅耳衍射微透镜的衍射光能量  $Q_d$  即等于入射光能量  $Q_i$  减去背景噪声光能量  $Q_0$ , 则衍射效率  $\eta$  表示为

$$\eta = \frac{Q_d}{Q_i} = \frac{Q_i - Q_b}{Q_i} = \frac{I_i \cdot S - \bar{I}_b \cdot S}{I_i \cdot S} = \frac{I_i - \bar{I}_b}{I_i} \quad (2)$$

因此,经过图 4 光学测试系统测出入射光束的光强  $I_i$  和菲涅耳衍射微透镜的背景噪声光强  $\bar{I}_b$ , 即可得到菲涅耳衍射微透镜的衍射效率。我们对自行研制的  $8 \times 8$  四位相菲涅耳衍射微透镜阵列进行了测试,图 7 为  $8 \times 8$  聚焦光点照片,图 8 为其中一列 8 个聚焦光点的光强相对分布测试结果。测试结果表明,四位相菲涅耳衍射微透镜的实际衍射效率可达 63%,不均匀性小于 5%。该微透镜阵列已用于我们设计的全交叉光互连微光学模块中,取得了满意的结果<sup>[5]</sup>。

在测试过程中,由于背景光强度呈波动状态,会给测试结果造成一些误差,为了减小误差,我们在对背景光强采样测试时,不是只测一点的光强,而是采集适当面积的背景光求出平均光强,从而提高了测试精度,测试误差小于 8%。

### 参 考 文 献

- 1 Kasra Rastani, A. Marrakchi, S. F. Habiby. Binary phase Fresnel lenses for generation of two-dimensional beam arrays. *Appl. Opt.*, 1991, 30(11): 1347~1354
- 2 M. Haruna, M. Takahashi, K. Wakabayashi *et al.*. Laser beam lithographed micro-Fresnel lenses. *Appl. Opt.*, 1990, 29(34): 5120~5126
- 3 罗风光,曹明翠,赵向军等. 光互连模块中位相型菲涅耳衍射微透镜阵列的研制与应用. *光电子·激光*, 1994, 5(2): 82~86
- 4 J. Jahns, S. J. Walker. Two-dimensional array of diffractive microlenses fabricated by thin film deposition. *Appl. Opt.*, 1990, 29(7): 931~936
- 5 Fengguang Luo, Mingcui Cao, Xiangjun Zhao *et al.*. Implementation of crossover optical interconnect network with phase Fresnel microlens arrays. Proceedings of optoelectronic science and engineering '94, *Proc. SPIE*, 1994, 2321: 674~676

## Measurement of Diffractive Efficiency for Fresnel Microlens Arrays

Luo Fengguang Cao Mingcui Zhao Xiangjun Li Hongpu Li Zhaiguang

(National Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** An efficient measurement method for diffractive efficiency of Fresnel microlens arrays is proposed. A He-Ne laser beam is used as light source of the measurement. The diffractive efficiency measuring system is computer aided. The principle of measurement is analyzed. This method has the features of simplicity and ease to realize. It is suitable for measuring the diffractive efficiency of binary micro-optical elements.

**Key words** diffractive efficiency, Fresnel microlens, binary optics