

自聚焦透镜列阵重叠度的研究

黄伟同 杨瀛海 罗祖宁 俞本立
(安徽大学物理系, 合肥 230039)

提 要

本文讨论了自聚焦透镜列阵重叠度,分析了重叠度对分辨率及照度分布的影响,并对一系列单根自聚焦透镜和两列自聚焦透镜列阵作了测量,得到了制造自聚焦透镜列阵的一个重要依据. 实验中总结出照度分布不均匀规律的经验公式.

关键词 自聚焦透镜列阵, 重叠度, 照度不均匀度, 分辨率.

1 引 言

复印机中广泛使用的自聚焦透镜列阵像面上的照度是由列阵中单根自聚焦透镜照度分布的叠加而成. 因此,自聚焦透镜列阵像面上的照度不均匀,此不均匀程度对成像质量有很大影响. 对一确定参数的自聚焦透镜,重叠度不同而造成像面上照度分布的变化,可用一经验公式表示. 本文报道;对一系列单根自聚焦透镜和自聚焦透镜列阵 m 值的测量,得到与各 m 值对应的分辨率和不均匀度,并总结出像面照度变化的经验公式,从而提供了制造自聚焦透镜列阵时 m 值的选择范围.

2 自聚焦透镜的重叠度

2.1 重叠度的定义

自聚焦透镜的重叠度 m 的定义为:

$$m = k/D \quad (1)$$

式中 D 为自聚焦透镜列阵的直径, k 为场高,它是物面光源单位放大率成像时像面上光斑直径的一半.

$$k = -R \sec(\sqrt{A}L/2) \quad (2)$$

式中 L 和 R 分别为自聚焦透镜的长度和半径, \sqrt{A} 为其折射率分布常数. 所以重叠度是自聚焦透镜在放大率为 1 的条件下,像面上光斑的半径与自聚焦透镜直径之比. 对两列自聚焦透镜列阵而言. 从其几何结构可推导出:

$$k = X - \sqrt{3}R/2 \quad (3)$$

式中 X 为自聚焦透镜列阵的半传像宽. 因此测定 X 值后即可用(3)式计算出 m 值.

2.2 重叠度的测量

由(2)式知,重叠度与自聚焦透镜长度的关系为:

$$m = -1/2 \cos(\sqrt{AL}/2) \quad \pi < \sqrt{AL} < 2\pi \quad (4)$$

取一确定参数的自聚焦透镜,截取长度为 L ,两端面经研磨抛光,确定单位放大率正像时像面的位置,测定此时像面上光斑的直径,直径的一半即为场高 k . 由(1)式可得出对应于此 L 长的 m 值. 当使用的自聚焦透镜参数为 $\sqrt{A} = 0.1799 \text{ mm}^{-1}$, $D = 1.085 \text{ mm}$, $n_0 = 1.535$ 时,获得 L - m 关系曲线如图 1 所示. 测量所得曲线与理论曲线基本相符.

自聚焦透镜列阵重叠度的测量方法基本相似. 但在确定了单位放大率成像位置后,先测出像面上自聚焦透镜列阵的传像宽 $2X$,代入(3)式求出 k ,再由(1)式计算 m 值. 所测的各自聚焦透镜列阵是用上述参数的自聚焦透镜制成. 测试结果与图 1 基本一致. 实际上考虑到在每根自聚焦透镜列阵中,各透镜之间的距离以及测量 $2X$ 时视觉误差,因而此二组曲线应稍有不同. 显然,单根自聚焦透镜测出的 L - m 关系将较为准确.

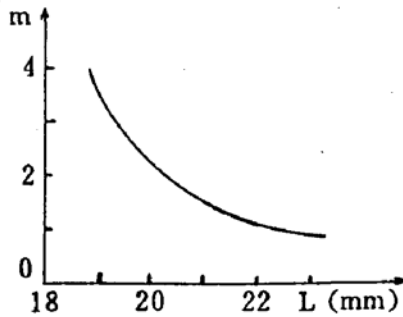


Fig. 1

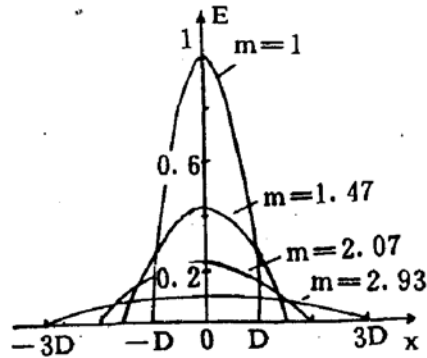


Fig. 2

3 重叠度与像面照度分布的关系

3.1 自聚焦透镜的重叠度与像面照度分布的关系

单根自聚焦透镜像面上照度为一椭球分布. 虽然照度分布不均匀,但不存在变化的起伏. 像面是照度分布在场扫描情况下为^[2]

$$E(x) = (\pi E_0 k/2)[1 - (k/K)^2] \quad \text{或} \quad E(x) = (\pi H_0/2m^2)[1 - (x/mD)^2] \quad (5)$$

式中 E_0 为像面上对应于自聚焦透镜轴线点的照度最大值, $E(x)$ 为像面上 x 位置的照度值, H_0 为 $E_0(m = 1)$ 时的值. 测量表明,当自聚焦透镜减短即 m 和 k 增大,像面上光斑直径也增大,中心部分照度迅速下降. 图 2 为单根自聚焦透镜的 x - E 关系曲线. 对自聚焦透镜列阵,因 m 增大时重叠范围也增大,因此像面上照度减弱较慢.

3.2 自聚焦透镜列阵的重叠度与像面照度的分布

自聚焦透镜列阵像面上的照度是单根自聚焦透镜在像面上照度的叠加. 因此,照度分布是不均匀的. 引入不均匀度说明照度变化的情况. 定义不均匀度 ΔI 为

$$\Delta I = (I_{\max} - I_{\min})/I_{\min}, \quad (6)$$

式中 I_{\max} 和 I_{\min} 分别为像面上照度的最大值和最小值. 文献[1]中对此作了计算. 本试验中测量了两列自聚焦透镜列阵的 ΔI 与 m 的关系如图 3 所示. 根据理论计算和实验结果,可总结出 ΔI

有极值时 m 具何值的经验公式

$$m = \begin{cases} (4 + s)/4 & \Delta I \text{ 有极大值} \\ (4.5 + s)/4 & \Delta I \text{ 有极小值} \end{cases} \quad s = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

因受仪器测试精度限制, 实验曲线在 $m > 2.7$ 以后检测不出极值.

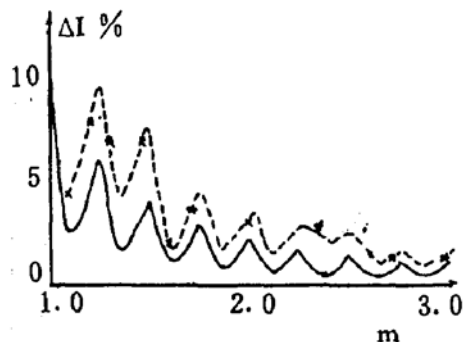


Fig. 3

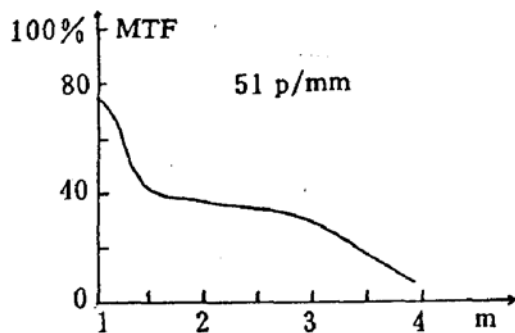


Fig. 4

4 分辨率与重叠度的关系

自聚焦透镜和自聚焦透镜列阵的分辨率是采用调制传递函数来评价, 这样可避免通常使用分辨率板测定分辨率带来主观的误差. 调制传递函数定义为

$$M = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}), \quad (8)$$

对于不同的空间频率所得调制传递函数值不同. 理论计算对空间频率为 6.3 lp/mm 的矩形光栅, m 值在 90% 以上. 实际测试值则远较此为低. 分辨率与有效数值孔径有关^[3], 而孔径角 α 满足

$$\sin \alpha = n_0 \sqrt{AR/2m} \quad (9)$$

因此当 m 增大时分辨率下降. 实际曲线如图 4 所示. 曲线可分为三段: 第一段在 $m < 1.2$ 区, 这里调制传递函数明显地大, 但照度不均匀. 在光斑重叠区分辨率低且成像变形. 此段标出的调制传递函数值是在光斑不重叠区测得. 第二段在 $1.2 < m < 2.8$ 范围, 在此区间调制传递函数虽有随 m 增大的趋势, 但变化不大, 分辨率高且均匀, 图像没有明显变形. 第三段在 $m > 2.8$, 此时成像分辨率迅速下降. 值得指出的是自聚焦透镜列阵的重叠度越大, 它的最大视场角也大, 因而自聚焦透镜列阵的焦深变小. 当 $\theta \approx 6^\circ$ 时, 焦深 $\Delta L \approx \pm 1 \text{ mm}$, 当 $\theta \approx 9^\circ$ 时, $\Delta L \approx \pm 0.5 \text{ mm}$. 在复印机使用中, 为了使物像距有一较大的可调范围, m 的值不宜太大. 然而从材料的节省则要求自聚焦透镜列阵的 L 短些即 m 大些.

综上所述, 作者认为在自聚焦透镜列阵制造中, m 值宜取在 $1.8 \sim 2.5$ 范围, 同时还需注意 m 值与 ΔI 之间的极值关系.

参 考 文 献

- [1] 黄伟同, 杨瀛海, 俞本立等, 自聚焦透镜列阵的设计与制造. 光学学报, 1993, 13(4):366~370
- [2] Kazuo Matsushita *et al.*, Unevenness of illuminance caused by gradient-index fiber-arrays. *Appl. Opt.*, 1980, 19(7):1070~1075
- [3] William Lama, Optical properties of GRIN fiber lens arrays; dependence on fiber length. *Appl. Opt.*, 1982, 21(15):2739~2746

Study of the overlapping ratio of selfoc lens arrays

HUANG Weitong YANG Yinghai LUO Zuning YU Benli

(*Department of Physics, Anhui University, Hefei 230039*)

(Received 21 June 1992; revised 7 September 1992)

Abstract

The overlapping rate of selfoc lens arrays is discussed and its influence on resolution and illuminance distribution is analyzed in this paper. An important criterion is obtained for the manufacture of selfoc lens arrays after a series of measurement of single selfoc lens and lens arrays. The empirical formula concerning the unevenness of illuminance is derived from experimental data.

Key words selfoc lens array, overlapping rate, unevenness of illuminance, resolution.