

# 用扫描曝光法制作相息图

王玉堂 郑师海 高伟\*  
(中国科学院物理研究所)

## 提 要

用扫描曝光法制作相息图与抽样曝光法相比具有可以连续取样和设备简单的优点。本文提出了一种扫描曝光的方案,其扫描 mask 的开孔长度不受成象系统的限制。它适用于可以进行变量分离的 Kinoform 型元件。

## 一、引 言

与全息图相比,相息图具有许多优点<sup>[1,2]</sup>。由于现在还没有直接实现相位匹配的方法,通常采用控制曝光密度法来达到相位调制的目的,这一点对一个取样点较多的相息图来说,要实现精确移动光点,并严格控制曝光密度是困难的。六十年代末出现的自动曝光仪,用一个小孔按抽样点逐点曝光,即抽样曝光及多个曝光灰阶来控制密度,其结构复杂、造价较高,使这一技术的发展受到了一定的限制。文献[3]提出了一种用旋转照相法制作相息图,它使设备大为简化,可适用于制作球面和非球面旋转对称的 Kinoform 型光学元件。然而,对于那些可以进行变量分离的元件,用一维方向曝光分别制作就更简单。本文提出了一种扫描曝光的方案,在这个系统中,扫描 mask 的开孔长度直接取决于曝光密度的大小,而不受光学系统成象倍数的限制。文中给出了柱面镜相息图的设计、制作方法及实验结果。

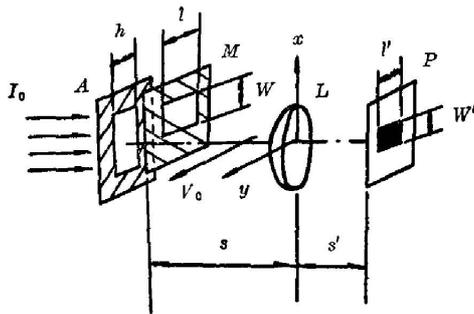


图1 扫描曝光原理图

Fig. 1 Schematic diagram of scanning-exposure principle

## 二、原 理

对于任何可以进行变量分离的相息图,其相位分布都可以用“和函数”表示

$$\varphi(x, y) = \varphi(x) + \varphi(y), \quad (1)$$

这样可以在  $x, y$  两个方向分别进行曝光。图1给出了一种扫描曝光的原理图。其中  $A$  为孔径光阑;  $M$  为扫描 mask;  $L$  为成象透镜;  $P$  为记录平面。一束平行光以强度  $I_0$  照明光阑  $A$ , 透镜  $L$  把沿  $y$  轴扫描的 mask 成象在记录平面

$P$  上。如果光阑  $A$  的孔径为  $h \times h$ , mask 的开孔形状为  $l \times w$ , 扫描曝光后在  $P$  上的曝光

收稿日期: 1982年10月25日; 收到修改稿日期: 1983年6月14日

\* 山东大学1983年毕业生。

区域为  $l' \times w' = [(s'/s) \times h] \times [(s'/s) \times w]$ 。这里  $s'$  和  $s$  分别是透镜  $L$  成象的象距和物距, 取  $s' < s$  即记录缩小的象。显然, 曝光区域的大小分别由光阑  $A$  的长度  $h$  和掩模的开孔宽度  $w$  决定。

如果采用全息干板作记录介质, 并且掩模的扫描速度为  $v_0$ , 那么扫描曝光的时间  $= l/v_0$ , 则曝光密度为

$$D = \gamma \log l - D_0, \quad (2)$$

其中  $-D_0 = \gamma \log(I_0/v_0) - D_0$ , 当  $I_0$ 、 $v_0$  确定后,  $D_0$  为常数。因此曝光密度  $D$  直接由 mask 的开孔长度  $l$  决定。这样, 如果沿  $x$  方向有一个开孔长度的分布  $l(x)$ , 则沿  $y$  轴方向扫描曝光后, 将得到一个密度分布  $D(x)$ 。因此, 扫描曝光实际上起到把长度分布转换成密度分布的作用。

扫描掩模可以根据所用全息干板漂白乳胶的厚度起伏或折射率变化的特性<sup>[4,5]</sup> 进行设计, 用绘图或刻红膜的方法制作。

### 三、柱面镜相息图的设计与制作

柱面镜的振幅透过率为

$$t(x) = \exp[i\varphi(x)] = \exp[-i\pi/\lambda f x^2]. \quad (3)$$

我们在每个相位周期中计算 20 个点来制作, 即

$$\varphi(x) = m(2\pi/20),$$

式中 ( $m = -1, -2, \dots, -N$ ),

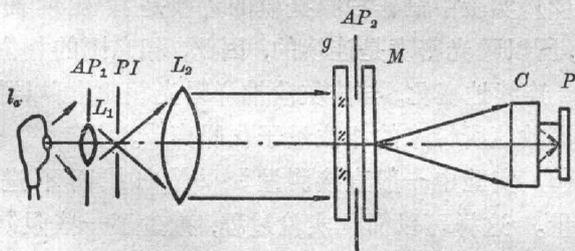


图 2 扫描曝光装置光路图

Fig. 2 Optical arrangement of scanning-exposure system

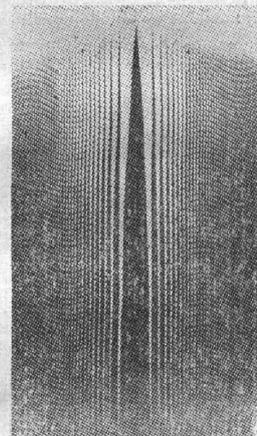


图 3 扫描掩模(负片)

Fig. 3 Scanning mask

$$\therefore x = \pm (\lambda f/10)^{1/2} (-m)^{1/2}. \quad (4)$$

实验中取  $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ ,  $f = 1.0 \times 10^6 \mu\text{m}$ 。用电子计算机算出对称 40 个周期中的  $x$  值。利用 1:10 硫酸铜漂白液及 Agfa 10E75 全息干板记录, 其光路如图 2 所示。其中,  $l_0$  为电影放映灯泡;  $AP_1$ ,  $AP_2$  为光阑;  $PI$  为滤波小孔;  $L_1$ ,  $L_2$  为透镜;  $g$  为毛玻璃;  $M$  为扫描掩模; 为照相机;  $P$  为记录平面。用图 2 的装置测出  $D \sim l$  曲线。并测出曝光密度  $D$  与干涉条纹弯曲量  $\Delta N$  的关系曲线, 查出各点对应的开孔长度, 用刻红膜的方法连续刻膜制得的掩模, 其形状如图 3 所示。实际尺寸为  $52.9 \times 31.3 \text{mm}^2$ 。

## 四、实验结果

扫描曝光后制得相息图的底片其密度分布如图 4 所示。用一束平行光照射漂白处理后的相息图可以观察到良好的聚焦效果,如图 5 所示。焦距与设计参数基本相符。

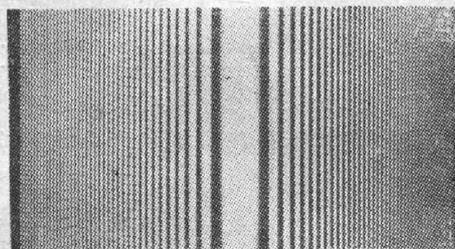


图 4 相息图底片的密度分布

Fig. 4 Density distribution of cylindric kinoform without bleaching

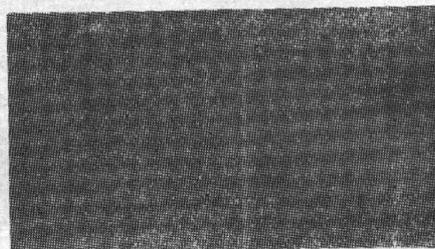


图 5 距相息图 1 m 处的聚焦象

Fig. 5 Focusing image of cylindric kinoform (one metre from kinoform)

## 五、讨 论

(1) 用沿直线扫描曝光法制作的相息图是一维的相息图,但是,根据  $x$ 、 $y$  两个方向的相位分布,分别制备的一维相息图相互垂直放置,便成二维相息图。图 6 是将两个柱面镜相息图相互垂直放置得到的聚焦光点。这种变量分离的 Kinoform 型元件,可以用来制作实现 walsh 及 mellin 变换元件。

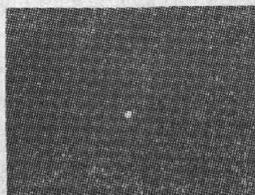


图 6 两个垂直放置的柱面镜相息图的聚焦效果  
Fig. 6 Focusing image of two crossed cylindric kinoform

(2) 实验中制作扫描掩模的刻膜是按连续曲线进行的,所以曝光密度是连续的,因此,相息图的相位是从  $0 \sim 2\pi$  连续地变化。与按灰阶抽样曝光相比,可以避免相位取离散值所带来的相位量子化噪声<sup>[6]</sup>。

(3) 实验中一般直接测量  $l \sim \Delta N$  曲线而不进行  $D$  的测量。这样可以简化实验过程,减少了一些限制和误差。利用剪切干涉显微镜或具有成象系统的马赫-陈德干涉仪进行测量,其精度可达  $\lambda/20$ 。

(4) 从图 5 和图 6 可以看出,在聚焦象周围有噪声存在。这是由于在扫描过程中的调焦误差、扫描速度、照明光源的不均匀性以及记录干板存在乳胶起伏的过渡带等多种因素造成的<sup>[7]</sup>。

(5) 一般制作相息图的过程是先制作一个放大的底图然后缩小。这一过程也适用于扫描曝光法。

## 参 考 文 献

- [1] L. B. Lesem, D. M. Hirsch *et al.*; *IBM J. Res. & Develop.*, 1969, 13, No. 2 (Nov), 150.
- [2] 陈岩松,王玉堂等;《激光》,1979, 6, No. 10 (Oct), 28.
- [3] 陈岩松等;《光学学报》,1981, 1, No. 5 (Nov), 411.

- [4] 王玉堂等;《激光》, 1981, **8**, No. 1 (Jan), 30.  
[5] 王玉堂, 郑师海;《激光》, 1982, **9**, No. 9 (Sep), 603.  
[6] N. C. Gallagher, B. Liu; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 10 (Oct), 2328.  
[7] 陈岩松等;《物理学报》, 1980, **29**, No. 10 (Oct), 1307.

## Making up kinoform by the method of scanning-exposure

WANG YUTANG ZHENG SHIHAI AND GOU WEI

*(Institute of Physics, Academia Sinica)*

(Received 25 October 1982, revised 14 June 1983)

### Abstract

A method of scanning-exposure to make up kinoform has the following advantages: continuous sampling and simple device compared with the method of sample-exposure. A schema for scanning-exposure was not affected by the imaging system. This schema can be applied to kinoform with separable variable.