

多焦距多通道全息光学元件*

周 革 张以谟

(天津大学现代光学仪器研究所, 天津 300072)

提 要

本文介绍了由不同焦距与不同衍射方向的全息透镜组合而成的一种新型全息元件。这种元件中的每个透镜具有相同的物方光轴和不同的象方光轴。它可以把物方空间沿光轴方向上的不同物距上的物面分别成像在对应的通道上, 从而把一个三维物场变为多个二维像进行显示。文中给出了应用此元件对三维粒子场进行检测的初步结果。

关键词: 全息元件, 多焦距, 多通道,

一、引 言

应用光学全息技术制作光学元件, 可以方便地将多个元件制作在全息记录材料的同一区域上。利用这个性质制作的多焦点全息透镜阵列已广泛用于模式识别的多重匹配滤波系统^[1]。用于匹配滤波的多焦点阵列中的每个透镜具有相同的焦距和象方衍射方向。本文将介绍的元件是由不同的焦距和不同的衍射方向的全息透镜所组成的, 它被称为多焦距多通道全息光学元件。

二、多焦距多通道全息光学元件的基本结构和制作

全息透镜对再现光波的成像功能取决于记录它的两束光波的位相函数^[2]。采用 Champagne^[3] 的符号定义方法, 全息图的成像公式为:

$$1/R_i = 1/R_o \pm \mu(1/R_0 - 1/R_r), \quad (1)$$

$$\sin \alpha_i = \sin \alpha_o \pm \mu(\sin \alpha_0 - \sin \alpha_r), \quad (2)$$

$$\cos \alpha_i \sin \beta_i = \cos \alpha_o \sin \beta_o \pm \mu(\cos \alpha_0 \sin \beta_0 - \cos \alpha_r \sin \beta_r), \quad (3)$$

式中 (R_i, α_i, β_i) 、 (R_o, α_o, β_o) 、 (R_0, α_0, β_0) 和 (R_r, α_r, β_r) 分别对应着像点, 再现点, 物点和参考光点。±号表示正负衍射级。由于只需要实像, 故取负号, 并在不改变波长的情况下析, 即 $\mu=1$ 。从(1)式中可以得到全息透镜的焦距 f 为:

$$1/f = 1/R_0 - 1/R_r. \quad (4)$$

制作多焦距多通道全息光学元件时, 选取不同的 R_0 和 R_r 值, 获得不同的焦距 f 。同时选取各透镜有相同 α_0 和 β_0 角, 并令 $\alpha_0 = \beta_0 = 0$, 而 α_r 和 β_r 是各不相同的。当再现光的入射角 $\alpha_o = \beta_o = 0$ 时, 由(2)和(3)式得到 $\alpha_i = \alpha_r$, $\beta_i = \beta_r$ 。因此, 记录全息透镜时, 有规律地选

收稿日期: 1989年11月1日; 收到修改稿日期: 1990年10月22日

* 国家自然科学基金资助的项目。

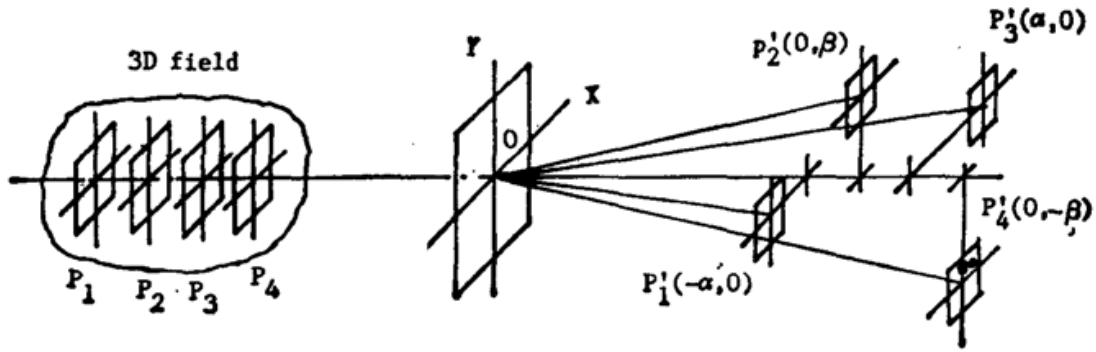


Fig. 1 Scheme of 3D field Measurement

P_1, P_2, P_3, P_4 —Sampled planes in 3D field, P'_1, P'_2, P'_3, P'_4 —Conjugate planes of P_1, P_2, P_3, P_4

择 R_0 和 R_r , α_r 和 β_r 便可以使元件含有多个焦距和多个衍射通道。图 1 给出了具有四个透镜的多焦距多通道全息光学元件的像面排布方式和它的成像原理。图中三维场的四个截面分别被四个透镜成像在四个衍射方向上。为了保证各透镜有相同的成像倍率, 各像面分布在不同的截面上。另外, 各透镜的衍射光轴与入射光轴有相同的夹角, 这样可以使各透镜有同样的象质评价条件。

在制作多焦距多通道全息元件中的每一个透镜时, 本文利用了一个中间全息图将具有较好成像效果的位相函数和满足布拉格衍射条件的位相函数结合在一起, 形成一个既可以对有限距离的物体成像又可以对垂直入射的平行光产生均匀像面照度的全息元件。制作过程如图 2 所示。首先用图 2(a) 制作适合于有限距离物体成像的元件 H_1 , 它的位相函数 Φ_H^1 为:

$$\Phi_H^1 = \phi_0^1 - \phi_R^1 \quad (5)$$

然后将 H_1 放在图 2(b) 中, 用 H_1 被再现出的像光束作中间全息图 H_{int} 的物光, $\phi_0^{int} = \phi_i^1$ 。 H_{int} 的位相函数 Φ_H^{int} 为:

$$\Phi_H^{int} = \phi_0^{int} - \phi_R^{int} = \phi_i^1 - \phi_R^{int} = \phi_C^1 - \Phi_H^1 - \phi_R^{int} \quad (6)$$

令 H_1 的再现光为垂直入射的平面波, 它在 H_1 上的位相取为 $\phi_C^1 = 0$ 。则(6)式变为:

$$\Phi_H^{int} = -\Phi_H^1 - \phi_R^{int} \quad (7)$$

中间全息图将被制作多个, 它们将具有不同的焦距和空间衍射方向。产生中间全息图之后, 将它放回原处, 见图 2(c), 在原来放 H_1 的位置上记录最后所需要的元件 H_f 。用 ϕ_R^{int} 的共轭光 $\phi_C^{int} = -\phi_R^{int}$ 再现 H_{int} , 用 H_{int} 的像光波 ϕ_i^{int} 作 H_f 的物光 $\phi_0^f = \phi_i^{int} = \phi_C^{int} - \Phi_H^{int}$ 。 H_{int} 的参考光采用垂直入射的平面波, 它的位相 $\phi_R^f = 0$ 。故最后得到 H_f 的位相函数 Φ_H^f :

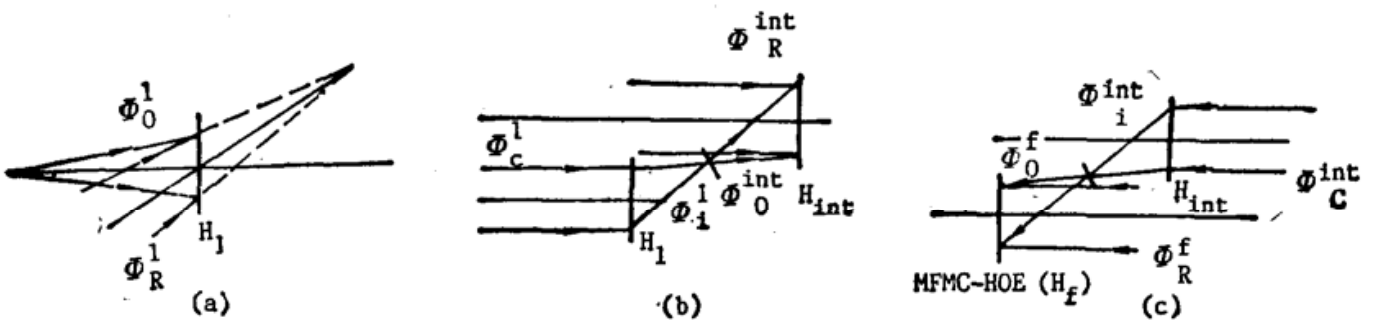


Fig. 2 Scheme for manufacturing MFMC—HOE by recursive design technique

$$\Phi'_H = \phi'_0 = \phi_C^{\text{int}} - \Phi_H^{\text{int}} \quad (8)$$

将 $\phi_C^{\text{int}} = -\phi_R^{\text{int}}$ 和 (7) 式代入 (8) 式, 得:

$$\Phi'_H = \Phi_H^1 \quad (9)$$

由于 H_1 是由垂直入射的平面波作参考光, 同时又具有 (9) 式给出的位相函数, 所以它能够对平行光照射的物体成背景亮度均匀且像质良好的像。这保证了元件中多透镜对同轴物场同时成像的要求。

在 H_1 上产生一个透镜之后, 用其它的中间全息图和同样的方法, 在 H_1 上记录不同焦距和不同衍射角的其它全息透镜, 形成一个多焦距多通道的全息光学元件。

三、应用多焦距多通道全息光学元件对三维粒子场采样

应用多焦距多通道全息光学元件对三维粒子场采样的原理光路如图 3 所示。图 3 中的全息元件由两个透镜 L_A 和 L_B 组成。平面 A 与 A' , B 与 B' 为 L_A 和 L_B 的共轭面。位于 A 面上的粒子将入射光散射, 散射光被 L_A 汇聚在 A' 面上, 故在 A' 面上获得粒子清晰像。由于此粒子的散射光在 B 面上是一个弥散斑, 因而在 B' 面上获得的是粒子的弥散像。同理, 位于 B 面上的粒子只是在 B' 面上成清晰像。在测量中, 根据粒子在不同像面上的清晰程度便可反演出粒子在空间的位置。按照 Thompson 等人的结论^[4], 粒子在相对于光照明下的景深范围为 $0.2d^2/\lambda$, 式中 d 为粒径, λ 为波长。因此只要 A 、 B 面的间隔 $\Delta L > 0.2d^2/\lambda$, 粒子在 A' 和 B' 上的清晰程度就可以明显地区分开。

实验中, 用粒子板沿光轴移动代替粒子场的不同截面, 对多焦距多通道全息元件的采样效果进行了测试。测试结果由图 4, 图 5 给出。所用的全息元件由重铬酸明胶片制成。 L_A 的焦距 $f_A = 90 \text{ mm}$, L_B 的焦距 $f_B = 120 \text{ mm}$ 。

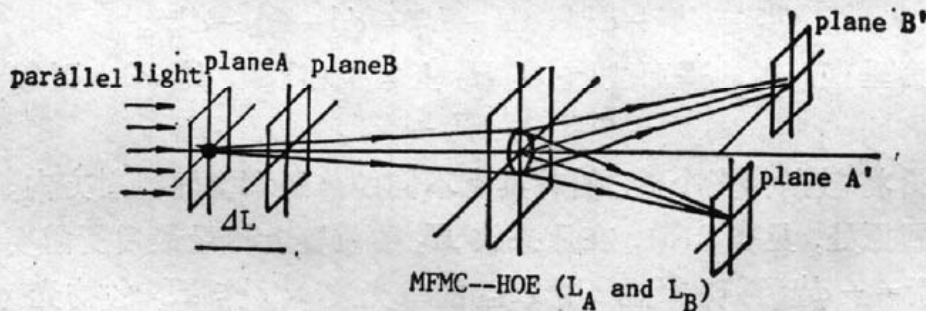


Fig. 3 Imaging principle of MFMC-HOE with two hololenses

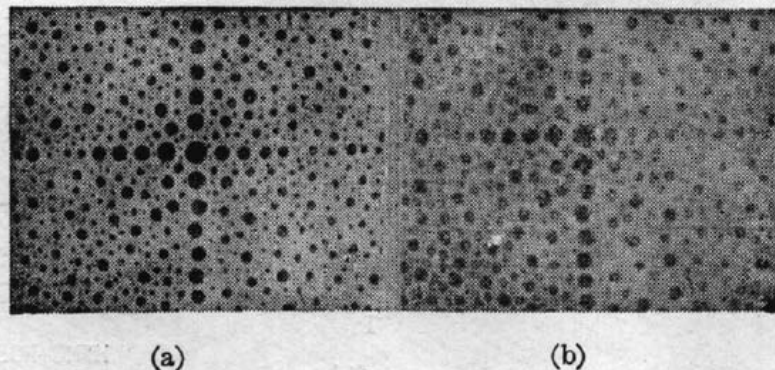


Fig. 4 Images of the particles at plane A
(a) Image of taking at A' ; (b) Image of taking at B'

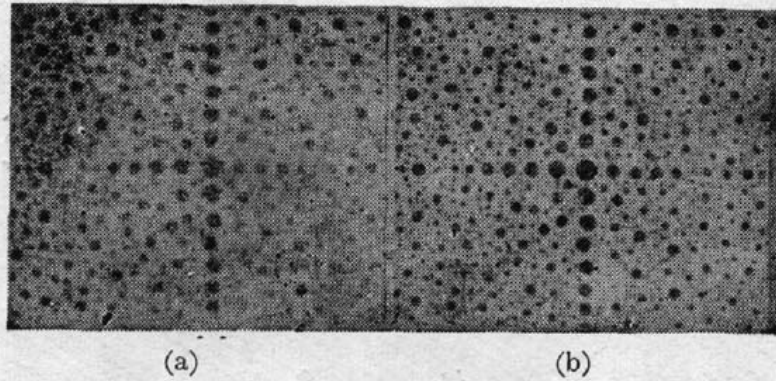


Fig. 5 Images of the particles at plane B
(a) Image of taking at A' ; (b) Image of taking at B'

四、结 论

采用全息法可以将不同焦距不同衍射方向的全息透镜迭加在一起, 制作出多焦距多通道全息光学元件。这种元件可以把物方空间沿光轴方向上不同物距的物面分别成像在对应的像面上, 从而把一个三维物场变为多个二维像进行显示。这种元件也可以逆方向应用, 即把放置在各个像面上的二维像合成一个三维场。

参 考 文 献

- [1] K. G. Leib *et al.*; *Opt Eng.* 1980, **19**, No. 3 (May/June), 414~420.
- [2] Y. Amital, A. A. Friesem; *J. O. S. A (A)*, 1988, **5**, No. 5 (May), 702~712.
- [3] E. B. Champagne; *J. O. S. A*, 1967, **57**, No. 1 (Jan), 51~55.
- [4] B. J. Thompson, P. H. Malyak; *Proc. SPIE*, 1985, Vol. 573, 12~20.

Multi-focal length and multi-channel holographic optical element

ZHOU GE AND ZHANG YIMO

(Institute of Contemporary Optical Instruments Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

(Received 1 November 1989; revised 22 October 1990)

Abstract

A new holographic optical element (HOE) consisting of the hololenses with different focal length and diffractive channel is described. The object space axes of all hololenses in the HOE are the same, while each optical axis in the image space is different. By the aid of such HOE, the object planes at different distance can be imaged into the corresponding channels. Therefore a 3-D object field may be displayed by many 2-D images. The primary experimental results for sampling 3-D particles field are presented.

Key words: holographic optical element, multi-focal length, multi-channel.