

用波导全息照明器实现三维漫反射 物体全息图的白光再现

黄奇忠 杜惊雷 郭永康 王科太

(四川大学物理系 成都 610064)

提要 提出了一种利用波导全息照明器实现三维漫反射物体全息图的白光再现新方法。利用反射全息图的波长选择性和波导全息照明器对菲涅耳全息图的色散补偿,用白光照明获得了清晰的准单色再现像。

关键词 波导全息照明器, 三维漫反射全息图, 波长选择性, 色散补偿

1 引 言

用白光实现全息图的再现,在全息显示中有着极其重要的地位和实用价值。有多种方法可以实现全息图的白光再现,如反射全息图、彩虹全息图、合成全息图等。这些方法各有特色,并且已得到应用,但它们也存在着一些问题和限制,如反射全息图对记录材料、光源以及环境稳定性有较高的要求;合成全息图的制作过程太复杂;而彩虹全息图则有光能量利用率低、丢失一维体视感等缺点。本文提出了一种全息图的白光再现新方法,它用波导全息图作为照明器照明三维漫反射物体全息图,利用反射全息图的波长选择性和波导全息照明器对菲涅耳全息图的色散补偿,用白光照明获得了清晰的准单色再现像。三维漫反射物体全息图是用普通方法记录的,因而对记录材料、光源、光路以及环境稳定性均无特殊要求。整个装置极为紧凑,易于实现。获得的再现像明亮清晰,无相干噪声并具有很强的三维体视感。

2 原 理

2.1 波导全息照明器原理

波导全息图是一种记录时用的参考光和再现时用的照明光由波导入的全息图,利用波导全息图可以制作出各种用途的结构紧凑的波导全息照明器^[1]。它的记录和再现原理如图 1 所示。

记录时平行物光垂直照射全息干版,参考光则通过波导的边缘照明引入,两者干涉叠加。将处理好的波导全息图复位,由原参考光边缘照明,则再现出原平行物光。此时,波导全息图实际上已成为一种边缘照明的平行光照明器。由波导全息照明器的记录、再现原理可以看出它有两个明显的优点:(1) 照明结构紧凑,可边缘离轴照明;(2) 可以提供各种形式的照明光波,如

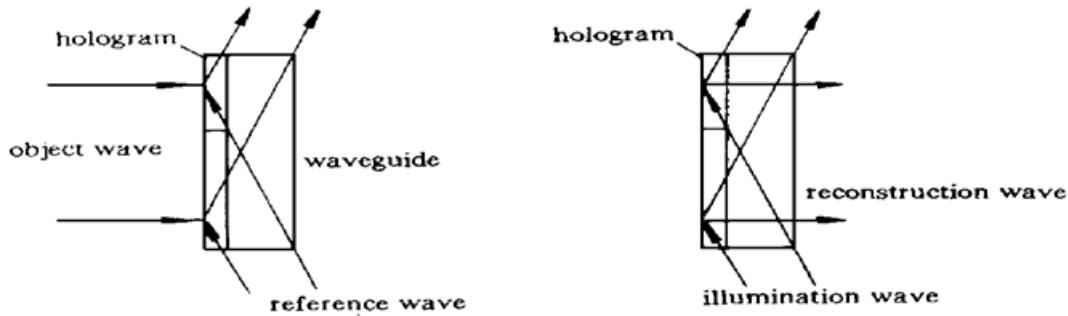


图 1 波导全息照明器的记录和再现

Fig. 1 Recording and reconstruction of the waveguided holography illuminator

平行光波、点光源等, 并且改变非常灵活。

2.2 波导全息照明器实现全息图白光再现的原理

普通的三维漫反射物体的菲涅耳全息图不能由白光实现再现, 是由于全息图对不同波长的光存在着色散作用而使再现像产生了色模糊。所以要实现普通全息图的白光再现, 应设法减小色模糊。可从两方面考虑: 一是减小再现照明光的带宽, 二是设法对全息图的色模糊进行补偿^[2,3]。利用波导全息照明器照明, 可同时兼有这两个方面的特性。

2.2.1 波导全息照明器的波长选择性

为了减小波导全息照明器的带宽, 采用反射光路来记录波导全息照明器, 反射全息图有很高的波长选择性, 其波长选择性由下式决定^[3]

$$\delta\lambda = 3.5 \frac{8\pi n |C_I|}{k_F^2 \cdot \delta} \quad (1)$$

其中, δ 为记录介质的厚度, n 为记录材料折射率, k_F 为光栅的传播矢量, $k_F = \frac{2\pi}{\Lambda}$ 。 Λ 为光栅间距, $\Lambda = \frac{\lambda}{2n\sin(\theta/2)}$, λ 为记录波长, θ 为记录时物光与参考光的夹角。对非对称记录, $C_I = \cos\varphi - \frac{\lambda}{\Lambda} \cos\phi$, 其中 φ, ϕ 分别为再现照明光, k_F 和光轴之间的夹角, 故(1)式可以写成

$$\delta\lambda = \frac{1.75[\cos\varphi - 2n\sin(\theta/2)\cos\phi]\lambda^2}{\pi n \delta \sin^2(\theta/2)} \quad (2)$$

实验中采用自制的红敏重铬酸明胶全息干版^[4]在图1的光路条件下记录波导全息照明器, 可用上式近似估计照明器的带宽, 此时 $\delta = 15 \mu\text{m}$, $n = 1.52$, $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ 。 $\theta = 110^\circ$, $\varphi = 70^\circ$, $\phi = 35^\circ$, 则由式(2)求出 $\delta\lambda$ 为 $0.0247 \mu\text{m} = 24.7 \text{ nm}$, 可见, 波导全息照明器有相当高的波长选择性。

2.2.2 波导全息照明器对全息图的色散补偿

利用上面的窄带光照明普通全息图, 再现像仍将有相当的色模糊, 为了进一步减小全息图在白光再现时的色模糊, 可以设法对全息图的色散进行补偿。由于波导全息照明器在本质上是一种衍射元件, 由照明器发出的光本身就有一定的色散, 用这样的光照明全息图时, 若它的色散和全息图的色散大小相等、方向相反, 则波导全息照明器本身的色散在很大程度上可以补偿全息图的色散, 减小再现像的色模糊, 获得较为清晰的像。下面讨论波导全息照明器照明全息图时消色散的条件。

对于波导全息照明器, 其色散率可由它的一级衍射方程对波长的微分得到

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{d\cos\theta} \quad (3)$$

其中, θ 为衍射角, d 为光栅常数:

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta_1 + \sin\theta_2} = \frac{\lambda}{\cos\theta_3} \quad (4)$$

其中 θ_1, θ_2 分别为记录时物光和参考光与干版平面法线方向的夹角, θ_3 为参考光与干版面之间的夹角, 且 $\theta_1 = 0, \theta_2 = \theta_3 + 90^\circ$, 故波导全息照明器的色散率为

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{1}{d} = \frac{\cos\theta_3}{\lambda} \quad (5)$$

参考光和照明光为平行光的菲涅耳全息图的物像关系为^[5]

$$\sin\theta_l = \sin\theta_c \pm \frac{\lambda}{\lambda_0}(\sin\theta_o - \sin\theta_r) \quad (6)$$

其中 $\theta_o, \theta_l, \theta_r$ 分别为物、像、参考光与光轴的夹角, θ_c 为照明再现光与光轴的夹角, λ_0, λ 分别代表记录和再现光的波长, θ_l 对波长微分可求出像的垂轴色散率

$$\frac{d\theta_l}{d\lambda} = \frac{(\sin\theta_o - \sin\theta_r)}{\lambda_0\cos\theta_l} \quad (7)$$

为方便起见, 参考光垂直照明, 上式中 $\theta_r = 0$ 。用波导全息照明器照明菲涅耳全息图, $\theta_c = 0$; 为了尽量减小色模糊, 应使二者色散率大小相等、方向相反。故有

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = - \frac{d\theta_l}{d\lambda} \quad (8)$$

将式(4)和(5)代入上式, 则

$$\frac{\sin\theta_o}{\cos\theta_l} = - \cos\theta_3 \quad (9)$$

式(9)即是照明器的消色差条件, 可见只要合理地确定拍摄菲涅耳全息图时物体与光轴的夹角 θ_o 满足此式, 则菲涅耳全息图的垂轴色散可以由波导全息照明器的色散加以补偿, 从而减小了再现像的色模糊。

综上所述可以看出, 波导全息照明器能实现菲涅耳全息图白光再现的原因在于, 这种照明器同时具有了波长选择性和消色差的功能, 两者共同的作用使再现像的色模糊大为减小, 从而获得了满足观察要求的再现像。

3 实验和结果

实验的第一步按图1所示记录波导全息照明器。参考光从波导边缘入射, 入射角 $\theta_r = 17^\circ$ 。处理后的波导全息图衍射效率为 60%, 用平行白光照明, 衍射光由于波长选择性而主要呈红色。

第二步记录普通三维漫反射全息图, 参考光垂直入射, 物光与光轴的夹角由式(9)决定, $\theta_o = -43^\circ$ 。

最后, 用波导全息照明器照明菲涅耳全息图, 如图2所示。所用记录物体为一玩具小马。图3是三维漫反射全息图再现虚像的黑白照片。整个像以红色为主。和激光再现的像相比, 虽然它的分辨率有所下降, 但由于是非相干光照明, 无相干噪声, 所以实际观察的效果还是满意的。

这种波导全息照明器既可以和全息图合成一个紧凑的整体,用于全息图的三维显示,也可与全息图分开。这种情况下,照明器可以视作是一种准单色、消色差的光源,方便地实现用普通方法和普通材料拍摄的三维漫反射全息图的白光再现。

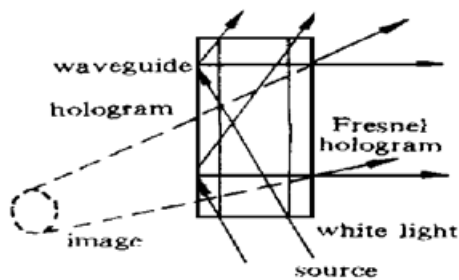


图 2 用波导照明器照明菲涅耳全息图

Fig. 2 Illuminating Fresnel hologram with the
WGH illuminator



图 3 再现结果照片

Fig. 3 Photography of a reconstruction image

参 考 文 献

- 1 J. Upatnieks. Edge-illuminated holograms. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(8): 1048~ 1052
- 2 D. J. De Bitette. White-light viewing of surface holograms by simple dispersion compensation. *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **9**(12): 417~ 418
- 3 Yu Meiwen. *Optical Holography and Its Applications*. Beijing: Publisher of Beijing Institute of Science and Technology, 1996. 178 (in Chinese)
- 4 Wang Ketai, Guo Lurong, Zhu Jianhua *et al.*. Methylene-blue-sensitized dichromated gelatin holograms with antihumidity polymer coatings. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(14): 3116~ 3119
- 5 Yu Meiwen, Zhang Jingfang. *Optical Holography*. Beijing: Publisher of Beijing, 1995. 52~ 54 (in Chinese)

White Light Reconstructing of Three-dimension Diffusion Fresnel Hologram with a Wave-guided Hologram (WGH) Illuminator

Huang Qizhong Du Jinglei Guo Yongkang Wang Ketai

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064)

Abstract A new method for reconstructing ordinary three-dimension diffusion holograms with a white light source is described. In the method, a wave-guided hologram (WGH) illuminator is used. It takes advantages of wavelength selection of the reflection holograms and the dispersion compensation of the WGH illuminator. A clear and quasi-monochromatic reconstruction image is obtained through white light illuminating.

Key words waveguided illuminator, 3D diffusion holograms, wavelength selection, dispersion compensation