

# 一种新的真彩色彩虹全息术\*

范 诚 江朝川 郭履容

(四川大学信息光学研究所, 成都, 610064)

## 提 要

本文提出了一种新的真彩色彩虹全息术称为三维物体的色编码重现技术, 其特点是: 利用单波长激光对三原色激光所记录的三维漫反射物体的菲涅耳全息图进行编码, 从而可用单波长激光器在同一种记录介质上一次曝光记录三维物体的真彩色彩虹全息图。

关键词: 真彩色全息术, 彩虹全息术, 真彩色彩虹全息术。

## 一、引 言

彩虹全息术可用于记录真彩色全息图以消除普通彩色全息术所面临的色串扰<sup>[1]</sup>。现有的真彩色彩虹全息术<sup>[2~20]</sup>, 无论是二步法, 还是一步法, 在最终形成彩虹全息图时都需使用三原色激光进行三次曝光。这样所带来的问题是: (1)若使用全色干板记录, 则多次曝光必然导致衍射效率的降低, 且目前国内尚没有全色全息干板出售。(2)若采用夹层全息法, 用不同型号的干板分别记录三原色像, 然后重迭在一起, 则不可能直接制作出浮雕全息母板, 不利于批量复制。除了用三原色激光直接记录真彩色彩虹全息图外, 也有不少文献<sup>[3~6]</sup>对单波长激光编码真彩色彩虹全息图进行了讨论, 然而这些方法都只适用于二维透明片, 迄今为止还未见其用于三维物体的报道。

在现有真彩色彩虹全息术的基础上, 本文提出了一种新的真彩色彩虹全息术, 称之为三维漫反射物体的色编码重现技术。其记录过程分为两步: (1)用三原色激光对三维漫反射物体进行色分离, 分别记录物体红、绿、蓝三原色的条形菲涅耳全息图; (2)用单波长激光同时再现三张菲涅耳全息图使其像重合在一起记录彩虹全息图。若记录参数合理, 则白光再现彩虹全息图时, 便可在三原色狭缝像的重迭处观察到与原物色彩相同的全息再现像。由于在第二步记录时只采用了单色激光, 从而只需一种记录介质一次曝光便能记录上物体的真彩色信息。若采用光致抗蚀剂作记录介质, 便能有效地制作真彩色模压全息母板。

## 二、基本 原 理

除了利用单波长激光编码真彩色外, 采用本文方法所制作的真彩色彩虹全息图在色模糊、分辨率及色保真度方面与其它真彩色彩虹全息术并无两样。为了简明扼要, 本文只对单波长编码真彩色的基本原理进行论述。

如图1所示, 用波长为 $\lambda_r$ 、 $\lambda_g$ 、 $\lambda_b$ 的三原色激光, 按同一光路, 在同一位置分别记录三维

收稿日期: 1990年8月27日; 收到修改稿日期: 1990年12月10日

\*本项目得到国家教委博士点基金的资助。

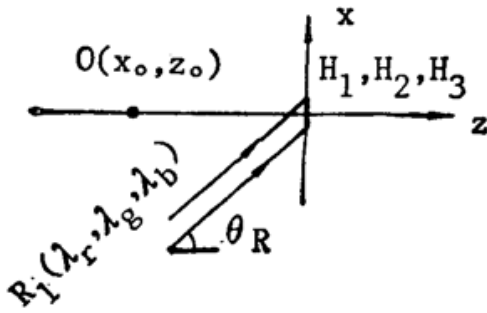


Fig. 1 Recording three slit Fresnel hologram  $H_1, H_2, H_3$  with three primary color lasers

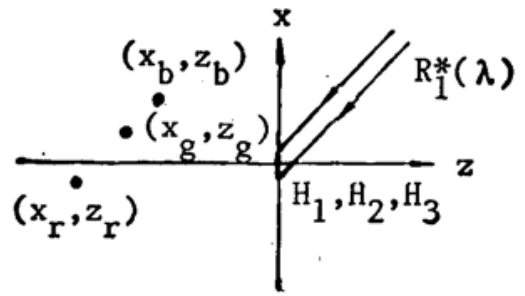


Fig. 2 Reconstruction of  $H_1, H_2, H_3$  with a single color laser which wavelength is  $\lambda$ , here  $\lambda_r > \lambda > \lambda_g > \lambda_b$

物体  $O$  的三张菲涅耳全息图  $H_1, H_2, H_3$ 。若参考光  $R_1$  为平行光, 入射角为  $\theta_R$ , 则根据全息学基本成像公式<sup>[1]</sup>, 当用波长为  $\lambda$  的共轭参考光再现时, 三张菲涅耳全息图的再现像位置如图 2 所示分别为:

$$\left. \begin{aligned} z_r &= \frac{\lambda_r}{\lambda} z_0, & x_r &= x_0 + \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_R, \\ z_g &= \frac{\lambda_g}{\lambda} z_0, & x_g &= x_0 + \left(\frac{\lambda_g}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_R, \\ z_b &= \frac{\lambda_b}{\lambda} z_0, & x_b &= x_0 + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_{R_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中  $(x_0, z_0), (x_r, z_r), (x_g, z_g), (x_b, z_b)$  分别为物点坐标及  $H_1, H_2, H_3$  所对应的再现像坐标。

调整  $H_1, H_2, H_3$  的位置, 使其对应的三个像重合, 平移坐标系, 使新坐标的原点与像上某一对准点重合, 则在新坐标系中,  $H_1, H_2, H_3$  的位置如图 3 所示分别为:

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= -z_r = -\frac{\lambda_r}{\lambda} z_0, & x_1 &= -x_r = -\left[x_0 + \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_R\right], \\ z_2 &= -z_g = -\frac{\lambda_g}{\lambda} z_0, & x_2 &= -x_g = -\left[x_0 + \left(\frac{\lambda_g}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_R\right], \\ z_3 &= -z_b = -\frac{\lambda_b}{\lambda} z_0, & x_3 &= -x_b = -\left[x_0 + \left(\frac{\lambda_b}{\lambda} - 1\right) z_0 \operatorname{tg} \theta_{R_0}\right] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $(x_1, z_1), (x_2, z_2), (x_3, z_3)$  分别为全息图  $H_1, H_2, H_3$  的坐标。

把全息干板  $H$  置于新坐标系的  $xy$  平面, 并同样以入射角为  $\theta_R$  的平面波  $R_2$  作参考光记录彩虹全息图。当用白光共轭再现时, 对应于波长  $\lambda_r, \lambda_g, \lambda_b$ , 三个狭缝(条形全息图)  $H_1,$

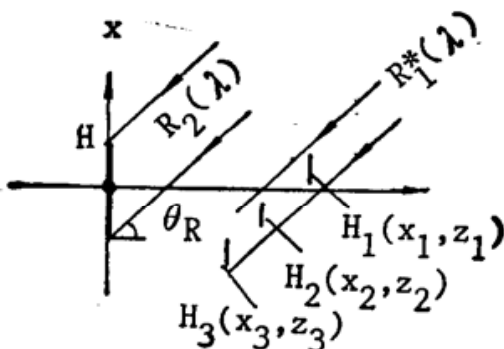


Fig. 3 Recording of rainbow hologram

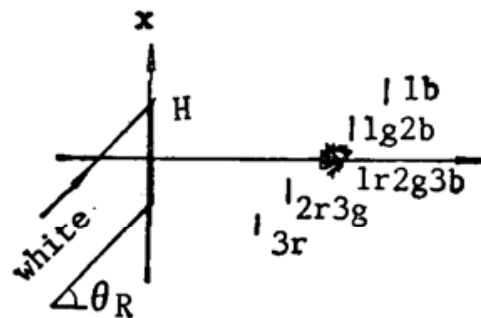


Fig. 4 Reconstruction of rainbow hologram with white light

$H_2, H_3$  的再现像位置为:

$$\left. \begin{aligned} z_{1r} &= \frac{\lambda}{\lambda_r} z_1, & x_{1r} &= x_1 + \left( \frac{\lambda}{\lambda_r} - 1 \right) z_1 \operatorname{tg} \theta_{R_1}, \\ z_{2g} &= \frac{\lambda}{\lambda_g} z_2, & x_{2g} &= x_2 + \left( \frac{\lambda}{\lambda_g} - 1 \right) z_2 \operatorname{tg} \theta_{R_2}, \\ z_{3b} &= \frac{\lambda}{\lambda_b} z_3, & x_{3b} &= x_3 + \left( \frac{\lambda}{\lambda_b} - 1 \right) z_3 \operatorname{tg} \theta_{R_3} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $(x_{1r}, z_{1r}), (x_{2g}, z_{2g}), (x_{3b}, z_{3b})$  分别为  $H_1, H_2, H_3$  的三原色像在新坐标系中的坐标。

把(2)式代入(3)式可求出:

$$\left. \begin{aligned} z_{1r} &= z_{2g} = z_{3b} = -z_0 \\ x_{1r} &= x_{2g} = x_{3b} = -x_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$(x_0, z_0)$  代表物上某一点, 也可代表物体外空间某一点, 然而不管是哪一点, 只要按照以上步骤记录, 用白光再现时, 从(4)式可以看出三原色狭缝像都能准确重迭, 从而在三原色狭缝像重合的地方便能观察到真彩色全息像, 如图4所示。实际上  $(x_0, z_0)$  的选择决定了最终再现像相对于全息图的位置。

### 三、全息放大率对成像质量的影响

以上就一物点讨论了三维漫反射物体色编码重现技术的基本原理。这里还要说明当记录一真实三维物体时, 各原色再现像并不会因单波长编码而比例失调不能重合。

当用波长为  $\lambda$  的单波长激光再现  $H_1, H_2, H_3$  记录彩虹全息图时, 从公式(1)可以看出, 各全息图的横向放大率为:

$$M_{x_r} = M_{x_g} = M_{x_b} = \frac{\Delta x_r}{\Delta x_0} = \frac{\Delta x_g}{\Delta x_0} = \frac{\Delta x_b}{\Delta x_0} = 1. \quad (5)$$

这就是说, 当用平行光作参考光记录, 并以其共轭光再现全息图时, 全息图的横向放大率始终为1, 与记录和再现的波长无关, 从而  $H_1, H_2, H_3$  的再现像在横向总是一样大的, 可以完全重合。

全息图的纵向放大率为:

$$M'_{z_r} = \frac{\Delta z_r}{\Delta z_0} = \frac{\lambda_r}{\lambda}, \quad M'_{z_g} = \frac{\Delta z_g}{\Delta z_0} = \frac{\lambda_g}{\lambda}, \quad M'_{z_b} = \frac{\Delta z_b}{\Delta z_0} = \frac{\lambda_b}{\lambda}. \quad (6)$$

也就是说, 在用单色光再现主全息图记录彩虹全息图时, 各再现像的纵向放大率并不相同, 因而三个像在纵向并不重合。

然而, 当用白光再现彩虹全息图时, 同理可得红、绿、蓝三原色像的纵向放大率为:

$$M''_{z_r} = \frac{\lambda}{\lambda_r}, \quad M''_{z_g} = \frac{\lambda}{\lambda_g}, \quad M''_{z_b} = \frac{\lambda}{\lambda_b}. \quad (7)$$

从而整个记录和再现过程的总放大率为:

$$M_{z_r} = M'_{z_r} \cdot M''_{z_r} = 1, \quad M_{z_g} = M'_{z_g} \cdot M''_{z_g} = 1, \quad M_{z_b} = M'_{z_b} \cdot M''_{z_b} = 1. \quad (8)$$

因此, 尽管在记录彩虹全息图时三个像在纵向并不重合, 但只要对某一相同像面聚焦且在横向对准, 则白光再现时, 由于再现和记录过程的总放大率为1, 三原色像仍然不会因单波长编码而比例失调, 且能够严格重叠在一起。

## 四、实 验

图 5 是记录菲涅耳全息图进行色分离的实验光路。实验中采用 He-Ne 和 Ar<sup>+</sup> 激光器记录全息图,三原色波长为  $\lambda_r=632.8\text{ nm}$ ,  $\lambda_g=514.5\text{ nm}$ ,  $\lambda_b=488.0\text{ nm}$ ; 物体与干板的距离为  $z_0=300\text{ mm}$ , 参考光的入射角为  $\theta_R=45^\circ$ ; 对红光及绿、蓝光分别采用天津 I 型, 和天津 III 型干板记录; 为了提高色饱和度并不至于使分辨率降低, 条型全息图的宽度与人眼瞳孔相当为  $3\text{ mm}$ 。

图 6 是记录彩虹全息图的实验光路, 用 He-Ne 激光器准直后同时再现  $H_1, H_2, H_3$ , 调整  $H_1, H_2, H_3$  的相对位置使三个像的某一对应像面重合并在横向对准; 全息干板  $H$  置于三个像的重合面; 参考光的入射角仍是  $\theta_R=45^\circ$ 。这样记录的彩虹全息图便能在三原色狭缝像重合的地方观察到真彩色全息像。图 7 (请见彩色插页 No. 18 图) 为实验结果, 再现像的颜色与原物相似, 正面色彩不鲜明是由物体镜面反射所导致。

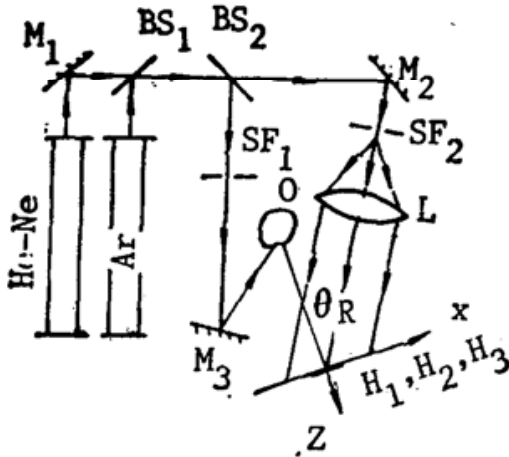


Fig. 5 Optical set-up of recording Fresnel holograms

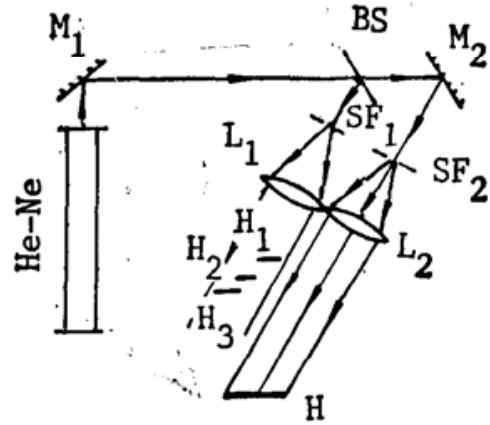


Fig. 6 Optical set-up of recording rainbow hologram. (Fig. 7: See inset No. 18)

## 五、结 论

本文所提出的三维漫反射物体色编码重现技术可用单波长激光在同一记录介质上一次曝光记录三维物体的真彩色彩虹全息图。与传统真彩色彩虹全息术相比, 这种新方法更适用于制作高质量压模全息母板, 为制作真彩色模压全息图, 填补国内空白, 提供了可靠途径。

## 参 考 文 献

- [1] 于美文, 张静方; 《全息显示技术》, (科学出版社, 北京, 1989), 132.
- [2] P. Hariharan; 《Color Holography, Progress in Optics XX》, (North-Holl and Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1983), 265.
- [3] M. T. Gale, K. Knop, *Appl. Opt.*, 1978, **15**, No. 9 (May), 2189.
- [4] Kazuhiko Ohnuma, Fujio Iwata; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 18 (Sep), 3859.
- [5] R. Rodriguez-Vera *et al.*; *Opt. Engng.*, 1989, **28**, No. 2 (Feb), 191.
- [6] Fan Cheng, Jiang Chaochuan *et al.*; *Proc. SPIE*, 1990, Vol. 1316, 453.

## A new true color rainbow holography

FAN CHENG, JIANG CHAOCHUAN AND GUO LURONG

(*Information Optics Institute, Sichuan University, Chendu 610064*)

(Received 27 August 1990; revised 10 December 1990)

### Abstract

A new method of true color rainbow holography called color coding reproduction of 3D diffused object is presented. By means of a single-wave length laser to encode three Fresnel holograms recorded with three primary color lasers, a true color rainbow hologram of 3D object is produced on only the same type of recording material with one shot of a single wave length laser.

**Key words:** true color holography, rainbow holography, true color rainbow holography.