

单波长激光实现三维真彩色彩虹全息图的记录*

刘 艺* 王仕璠

(电子科技大学应用物理系 成都 610054)

【摘要】 提出一种新的利用单波长激光记录三维物体的真彩色彩虹全息图的方法,此方法仅需用一般彩虹全息的光学元件,从物体的多波长真彩色彩虹全息图出发,利用光路可逆,自动解决了真彩色全息图单波长记录时三原色像的准确对位问题。此方法简单经济,在三维真彩色全息印刷上有良好的实用前景,实验获得了满意的结果。

关键词 单波长; 真彩色; 彩虹全息术
中图分类号 TB877.1; TN26

与一般的彩虹全息图相比,三维真彩色全息图具有更加美观的艺术魅力、更强的防伪能力,在模压全息工业上具有广阔的实用前景。由于模压全息应用的光刻胶版都是蓝敏的,要得到可模压的真彩色全息图,需要使用单波长的激光进行记录。这个问题近来已提出了一些制作方法^[1,2]。文献[1]提出的色编码重现技术,需要人工将物体的三原色主全息图在单波长再现时进行精密对位,引起制作上的困难;文献[2]提出的技术无需三原色像严格对准,但在光路中需要使用大口径的消色差透镜,器件较为昂贵,同时三色狭缝像长度、物体的像差和全息图的视场角等也将受透镜口径的限制。

我们进行了三维真彩色彩虹全息图的制作,深感单波长记录时三原色像对位的困难。本文提出一种无需将三原色像进行对位的单波长记录真彩色彩虹全息图的方法,方法不必使用特别的仪器设备。由于巧妙地利用了光路可逆性,相应的光路并不复杂。

1 单波长记录真彩色彩虹全息图的原理及分析

利用三原色原理实现高质量的多波长三维真彩色全息图制作,是非常成熟的技术,但只有利用单波长记录,才能获得物体的光刻胶版全息图。

图 1 是用二步法记录多波长真彩色全息图的一般过程, θ 为物参光夹角。第一步,物体 O 分别由波长为 λ_i ($i=r, g, b$) 的红、绿、蓝三种激光照明后,再与对应波长的参考光 $R_1(\lambda_i)$ 干涉记录,获得物体的三原色主全息图 H_i ($i=r, g, b$), 如图 1a 所示; 第二步, 如图 1b 所示, 经过狭缝 S 限制, H_i 由原参考光的共轭光 $R_1^*(\lambda_i)$ 再现, 得到波长为 λ_i 的物像 $O^*(\lambda_i)$, 并且在物体的像面处与 $R_2(\lambda_i)$ 干涉记录, 即记录物体的多波长真彩色全息图 H 。

从图 1 可以看到, H 上同时记录了物体的红、绿、蓝三原色彩虹像 $O^*(\lambda_i)$, $i=r, g, b$ 。由于记录时 λ_i 不同, $O^*(\lambda_i)$ 的干涉条纹的间距是不同的。因此, 当用波长为 λ_k 的激光沿 H 的共轭参考光方向 R_2^* 再现时, 三原色光相应的狭缝像 H_i 将在空间位置上产生分离, 如图 2a 所示, 此时用 $R_k(\lambda_k)$ 将 H_i 记录为一张编码全息图 H_k 。

* 1998 年 9 月 17 日收稿

* 男 25 岁 硕士 助教

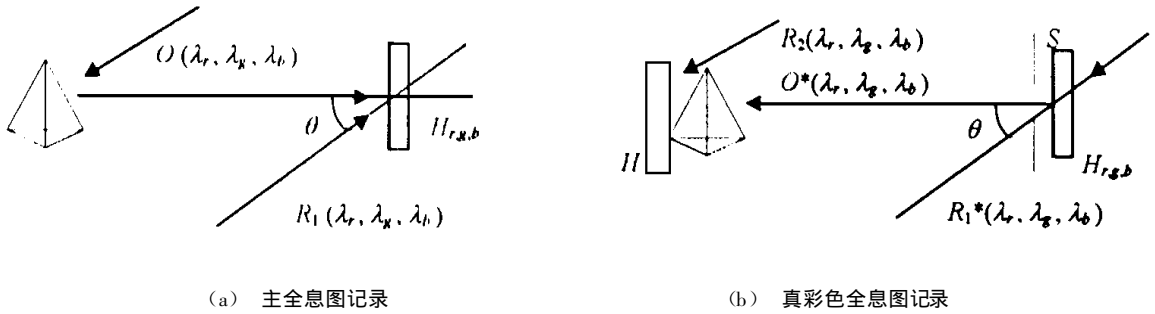


图 1 多波长真彩色彩虹全息图的记录过程

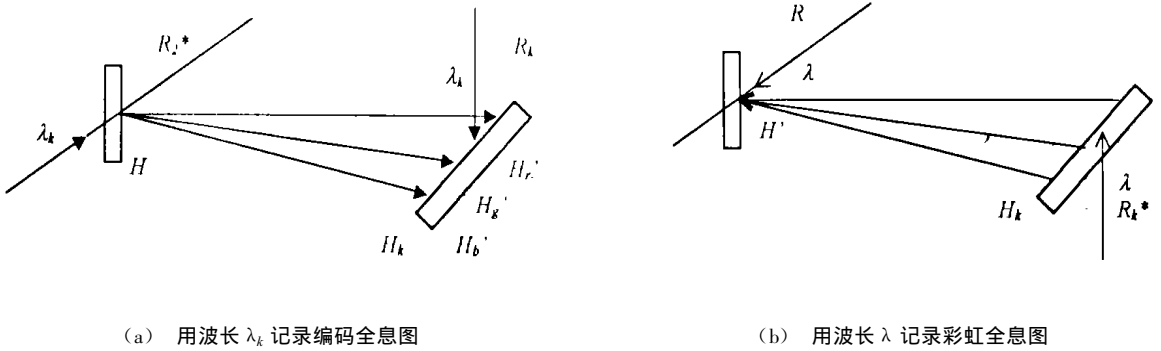


图 2 用单波长记录真彩色彩虹全息图

此后,用波长为 λ 的激光 $R_k^*(\lambda)$ 再现 H_k ,并用相同波长的参考光 $R(\lambda)$ 记录得到全息图 H' ,如图 2b 所示, H' 即为用单波长 λ 记录的物体的真彩色彩虹全息图。根据光路可逆,物体的三原色全息像将自然对准。由全息学基本成像公式可知, H_i 的空间位置为

$$\begin{cases} z_r = (\lambda_r / \lambda_k) z_0 \\ z_g = (\lambda_g / \lambda_k) z_0 \\ z_b = (\lambda_b / \lambda_k) z_0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_r = x_0 + (\lambda_r / \lambda_k - 1) z_0 \operatorname{tg} \theta \\ x_g = x_0 + (\lambda_g / \lambda_k - 1) z_0 \operatorname{tg} \theta \\ x_b = x_0 + (\lambda_b / \lambda_k - 1) z_0 \operatorname{tg} \theta \end{cases} \quad (1)$$

从式(1)可知

$$(x_r - x_g) / (z_r - z_g) = (x_g - x_b) / (z_g - z_b) = (x_b - x_r) / (z_b - z_r) \quad (2)$$

式(2)表明, H_i 处于同一平面上,这对 H_i 记录为编码全息图 H_k 带来极大的方便。因为各个 H_i 在物光强度上能够与分别的色度达成有效匹配, H_k 上的物参光束比也可以比较均匀,从而能不失真地得到高效的 H_k 。

通常真彩色全息图记录时,红、绿、蓝激光的波长分别为 $\lambda_r = 632.8 \text{ nm}$ 、 $\lambda_g = 514.5 \text{ nm}$ 、 $\lambda_b = 488.0 \text{ nm}$;若取 $z_0 = 300 \text{ mm}$, $\theta = 45^\circ$,用 $\lambda_k = 632.8 \text{ nm}$ 的 He-Ne 激光再现 H ,则 H_i 的最大间距为

$$[(x_r - x_b)^2 + (z_r - z_b)^2]^{1/2} = 97.1 \text{ mm}$$

一般的全息干版尺寸可以有 $240 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$,因此,即使再考虑三个狭缝的宽度, H 再现的 H_i 也可以得到完整的记录。

通过上述分析可以看到,新方法在物体多波长激光记录的真彩色彩虹全息图 H 的基础上,用单波长激光 λ_k 进行共轭记录,获得物体单波长的编码全息图 H_k ,使单波长真彩色全息图 H 的记录简单化。 H_k 制作和使用都很方便,和普通主全息图的使用完全相同,所需费用也不大,在三维真彩色全息印刷上具有良好的实用前景。

另外,新方法在本质上是二步彩虹全息,具有与一般彩虹全息相同的视场角和观察范围;新方

法可以将编码全息图 H_k 的记录和光刻胶版的记录分开, 达成了光刻胶版三维真彩色全息图的记录; 新方法巧妙地解决了三原色主全息图再现像的对位问题, 同时避免了狭缝像、视场角等所受透镜口径的限制, 也没有使用特殊的光学器件, 简捷明了, 经济实用。至于记录 H_k 和 H 时, 波长变化是否引起狭缝和物体放大率变化的问题, 考虑到最终是用白光再现, 三原色像将仍然由三原色光波长读出, 记录和再现过程的总放大率容易证明都是恒定为 1 的。因此, 单波长记录的真彩色全息图 H' 和原全息图 H 的白光再现情况相同。

2 实验结果和方法评述

根据图 2 的记录过程, 我们用 He-Ne 激光和银盐干版摄制了单波长记录的真彩色全息图, 再现结果获得了满意的真彩色记录效果。

从三维的实物出发, 到单波长真彩色彩虹全息图 H' 的制作完成, 新方法 with 文献[1, 2] 相比, 多出三原色真彩色全息图 H 和编码全息图 H_k 的制作两个步骤。但在制作中我们发现, 新方法总体效果很好, 在制作上更简单方便。这是因为: 1) 新方法将三原色主全息图 H_i 和 H' 的制作分开, 使制作时能充分地考虑 H_i 衍射效率和相应色度的关系, 通过选择不同的曝光量, 获得色彩饱满的真彩色全息图。而文献[1, 2] 的方法将 H_i 和真彩色全息图 H' 制作直接联系, 必须同时精确控制各 H_i 的衍射效率, 以达到满意的色饱和度。这在通常不易得到, 因此, 新方法实用效果良好; 2) 新方法有利于将一般制作 H 时才放置的狭缝引入 H_i 的制作阶段, 有效地提高 H 的亮度^[3]; 在制作 H_k 时, 也可采用同样的思路, 将 H_k 前移或后移, 增大 H_i 在上面的投影, 使 H_k 的利用率更高; 这样, 最终获得的单波长真彩色全息图 H' 的亮度仍然是可观的; 3) 新方法 with 成熟的多波长真彩色全息图制作技术相结合, 从根本上避免了单波长记录时的三原色像对位问题, 且方法简单经济, 对于三维真彩色全息图的模压制作是非常适合的。

参 考 文 献

- 1 范 诚, 江朝川, 郭履容. 一种新的真彩色彩虹全息术. 光学学报, 1991, 11(11): 1 032~1 035
- 2 江朝川, 范 诚, 郭履容. 三维漫反射体单波长真彩色彩虹全息术. 光学学报, 1992, 12(11): 1 024~1 027
- 3 刘 艺, 王仕璠. 一种简单高效的高亮度二步彩虹主全息图制作方法. 中国激光, 1996, 23(4): 359~362

True-colour Rainbow Holography of 3D Object with Single-wavelength Laser

Liu Yi Wang Shifan

(Department of Applied Physics UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A new true-colour rainbow holography of 3D object with single-wavelength laser is presented in this paper. The technique needs only conventional optical system of rainbow holography. Based on the multiple-wavelength colour rainbow hologram of 3D object, and using the principle of reversibility of light, the question of automatically counterpoint of the three primary colours images is resolved. The method given in this paper has practical value for 3D true-colour embossing hologram. Satisfying experimental results are obtained in corresponding experiments.

Key words single-wavelength; true-colour; rainbow holography

编辑 徐培红