

# 全息透镜用于彩色胶片全息高密度存储\*

张静方 于美文 王民草

(北京理工大学, 北京 100081)

## 提 要

本文提出一种利用全息透镜实现彩色胶片全息高密度存储的方法。用红、绿、蓝三基色激光分别记录三个焦距相同的全息透镜, 用三个全息透镜依次用三基色波长记录胶片的傅氏全息图, 用原参考光照明再现, 可合成彩色像。

关键词: 全息存储, 全息透镜。

## 一、引 言

彩色胶片的全息高密度存储有两方面的意义: 一是用傅里叶变换全息图作点存储, 高度的压缩了信息载体所占用的空间; 二是用黑白胶片存储, 解决了彩色胶片的褪色问题。大大地延长了彩色像的保存寿命。在近期报道的一些彩色胶片存储技术中, 如文献[1]的光栅编码法, 文献[2]的三基色傅里叶变换全息图直接存储法, 在一定程度上解决了彩色胶片的存储问题。本文提出的方法原理上与文献[2]相似, 但在解决色串扰的问题上不是使用光栅, 而是采用三个等焦距的全息透镜。全息透镜按一般离轴全息图的方式记录, 但是用三基色激光波长进行曝光。使用时全息透镜与彩色胶片很靠近的放置, 但不要接触。依次用三种波长照明三个全息透镜, 胶片的位置保持不变, 三个透镜沿垂直于光轴方向彼此有一横向位移, 使三个焦点的位置分离开。存储光路中的参考光用光栅分光, 焦点分开的大小要与三个参考光点对应。采用原参考光照明再现, 可在原放置胶片的位置观察到彩色虚像, 也可以用复消色差透镜使虚像在共轭面上形成实像, 实像的放大倍率可通过全息透镜和复消色差透镜的焦距大小进行调节。

## 二、全息透镜的制作

全息透镜的制作光路如图1所示, 用  $Ar^+-Kr^+$  白激光器作光源, 它可同时输出红(647.1 nm)、绿(514.5 nm)、蓝(488 nm)三种波长。用发散球面波正入射在全息干板上作为物光, 平行光斜入射在全息干板上作为参考光, 参、物光夹角约  $45^\circ$ , 这样全息透镜的焦距等于扩束镜  $L_2$  的焦点到干板的距离。光路不变, 依次用红、绿、蓝三种波长记录三个全息透镜。记录介质可以采用银盐干板或其他相位记录介质。这样制作的全息透镜就是一种全息傅里叶变换透镜, 使用时用与记录时相同波长的激光, 逆参考光方向照明, 可再现一会聚球

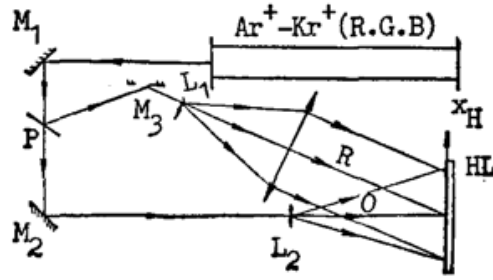


Fig. 1 Schematic of recording three holographic lenses with red, green and blue laser beams

面波。会聚点是全息透镜的焦点，自焦点到全息透镜的距离就是它的焦距  $f_H$ 。

### 三、三基色傅里叶变换全息图的记录与再现

三基色傅里叶变换全息图的记录光路如图 2 所示，被存储的彩色胶片  $O$  靠近全息透镜  $HL$  放置在双干板架上。这样便于更换全息透镜时保持胶片位置不变。这一点很重要，因为这是保证三色图象重合的条件，如果用三基色记录时，图像位置不变，这样用原参考光照明再现时，就可以保证三个图像位置重合。因为用逆参考光方向的平行光照明全息透镜，注意全息透镜的乳胶面背向照明光，参考光用细激光束经棱镜光栅  $G$  分光后投射在记录介质上，光点之间的最小距离略大于全息图的尺寸，在依次记录三色全息图时，要相应地更换全息透镜，全息透镜焦点相对于记录介质原点  $O$  的位移  $\Delta x_i$  与三个参考光点相对当 ( $i$  表示  $R, G, B$  三种波长)。

应当指出，全息图的尺寸与被存储的胶片尺寸有关，如胶片在  $x_H$  方向的尺寸为  $L_o$ ，红、蓝基色存储点的中心距离  $l_o$  则全息元件的尺寸  $H_o$  应稍大于  $L_o + l_o$ 。至于被存储的胶片的

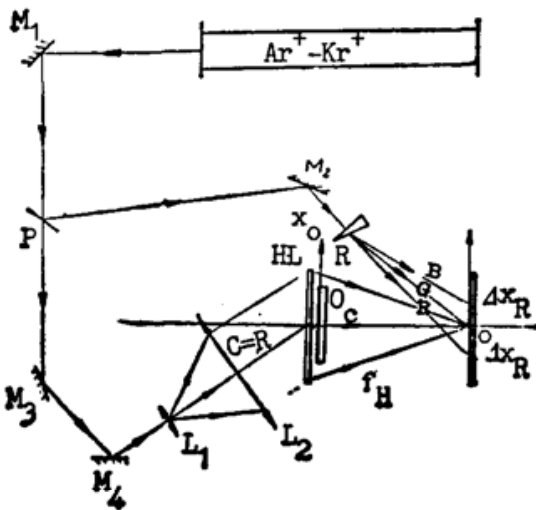


Fig. 2 Schematic of recording three quasi-fourier transform holograms with red, green and blue laser beams

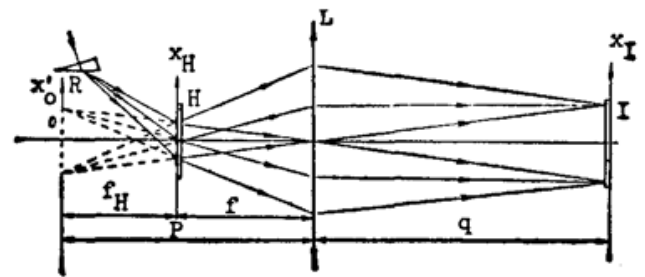


Fig. 3 Generation of a virtual image of color film using the original reference beams to illuminate holograms and the arrangement for forming a real images

分辨率则与全息图的尺寸  $D_H$  有关, 一般情况是  $D_H = 2f\lambda/\varepsilon = 2f'\lambda\xi_{0M}$ , 式中  $\varepsilon$  为胶片图像的最小分辨距离,  $\xi_{0M}$  是它的最高频谱分量。

全息图读出时用原记录光路, 可再现胶片的虚像(原始像), 然后用消色差透镜形成实像, 如图 3 所示。这样, 便于根据需要, 选用合适的焦距, 得到所要求的彩色像的放大率, 图 3 是再现原始像并形成实像的光路。

## 四、理 论

理论工作主要分析在全息图平面上物光波的性质, 以及按三基色分别记录的傅里叶变换全息图, 其再现像是否能合成原彩色胶片像。

设胶片的透射函数为  $O_i(x_0, y_0)$ ; 全息透镜再现的会聚球面波振幅为 1, 写成:

$$\exp\left\{-j \frac{\pi}{\lambda_i f_H} [(x_0^2 + y_0^2) - 2x_0 \Delta x_i]\right\},$$

其中  $\Delta x_i$  表示全息透镜  $HL_i$  的焦点位置相对于全息图平面坐标  $(x_H, y_H)$  原点的距离, 即焦点的坐标。这样, 胶片的透射函数为:

$$t_i(x_0, y_0) = O_i(x_0, y_0) \exp\left[-j \frac{\pi}{\lambda_i f_H} (x_0^2 + y_0^2 - 2x_0 \Delta x_i)\right]. \quad (1)$$

在全息图平面上的物光分布为胶片透射函数在该平面上的菲涅耳衍射积分, 当忽略常数因子时, 写成:

$$O_i(x_H, y_H) = \iint_{-\infty}^{\infty} t_i(x_0, y_0) \exp\left\{j \frac{\pi}{\lambda_i f_H} [(x_H - x_0)^2 + (y_H - y_0)^2]\right\} dx_0 dy_0. \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)中, 经推导求得

$$O_i(x_H, y_H) = \exp\left[j \frac{\pi}{\lambda_i f_H} (x_H^2 + y_H^2)\right] O_i(\xi - \Delta \xi_i, \eta), \quad (3)$$

式中有  $O_i(\xi - \Delta \xi_i, \eta) = \mathcal{F}[e^{j2\pi x_0 \Delta x_i} O_i(x_0, y_0)]$ ,

和  $\xi = x_H/\lambda_i f_H, \eta = y_H/\lambda_i f_H, \Delta \xi_i = \Delta x_i/\lambda_i f_H$ 。

可见在记录平面上的光分布为带有二次球面位相因子和按波长有频移的胶片透射函数的频谱。

设三基色参考光的入射角为  $O_i$ , 则参考光波在全息图平面上的光分布为

$$R_i(x_H, y_H) = \exp[-jk_i(x_H - \Delta x_i) \sin \theta_i]. \quad (4)$$

按照一般的全息理论, 全息图的曝光强度为:

$$I = |O_i(x_H, y_H) + R_i(x_H, y_H)|^2 = \sum_{i=1}^3 (O_i^2 + R_i^2 + O_i R_i^* + O_i^* R_i). \quad (5)$$

当用原参考光  $R_i$  照明再现时, 原始像对应上式中的第三项, 即再现原始像的像光波在全息图的右边与  $O_i(x_H, y_H)$  成比例。

按照光程可逆定理, 在菲涅耳近似的条件下, 求得虚像像面处的光分布为:

$$O_i(x'_0, y'_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} O_i(x_H, y_H) \exp\left\{-j \frac{\pi}{\lambda_i f_H} [(x_0 - x_H)^2 + (y_0 - y_H)^2]\right\} d\xi d\eta$$

$$= \exp\left[-\theta \frac{\pi}{\lambda_i f_H} (x_0, y_0)\right] \exp[j 2\pi \Delta \xi_i x_0] O_i(x_0, y_0) \quad (6)$$

像的光强分布为

$$I' = O_i(x'_0, y'_0) O_i^*(x'_0, y'_0) = |O_i(x_0, y_0)|^2 \quad (7)$$

如果要形成实像可在全息图右边放置一物镜，物镜的前焦面要与全息图平面重合。这样，按照应用光学中的牛顿放大率公式易知形成实像的放大率为：

$$M = -f/f_H。$$

负号表示成倒象， $f$  是物镜的焦距。

## 五、实 验

实验用图 1 所示的光路制作全息透镜，全息干板用天津 I 型和 III 型。分别用 He-Ne 激光器的 632.8 nm 和 Ar<sup>+</sup>-Kr<sup>+</sup> 激光器的 514.5 nm 两种波长制作了焦距为 60 mm 的两个全息透镜。存储时用图 2 所示的光路，存储的彩色胶片为一张生物切片的假彩色编码正片，存储介质用 Agfa 8 E 75 干板。参考光利用棱镜分光，光点的大小约为 2 mm，离焦记录，在记录面上两光点的距离为 5 mm，用原参考光照明再现。用  $f = 100$  mm 的透镜，按图 3 的光路形成实像，放大率  $M = -1.67$ 。图 4 是用黑白胶片拍的再现像。在图 4 中 (a) 是用红光记录的再现像；(b) 是用绿光记录的再现像，(c) 是两色合成的再现像。(注意，在照片的左上角有一色标，可较明显地看出照片的色彩差别) 通过实验可以认为此方法是可行的。

关于色还原问题，主要是要使不同波长存储的点全息图有相同的衍射效率，这靠记录时各全息图有相同的光束比来实现，若全息透镜的衍射效率不同，可适当地改变曝光量加以调整，实际上，记录时不同波长的光功率不同，干板的感光度也不同，必须用曝光时间加以控制。当用激光照明再现时由于各波长激光的功率不同，可采用文献 [2] 介绍的在分立的点全息图上加中性滤光片的方法进行色还原。

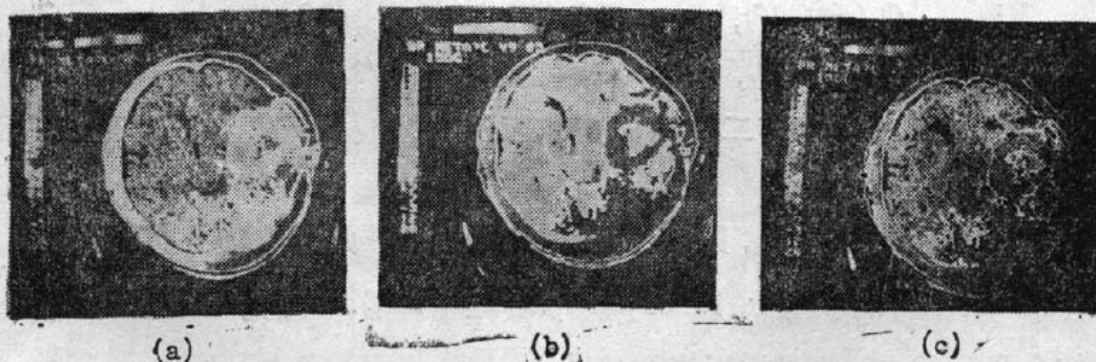


Fig. 4 Black and white photographs of images reconstructed by red (a), green (b), both red and green (c) light respectively

## 六、讨 论

本文的方法在解决色串扰的问题上与文献 [2] 的方法是相同的，即用三基色波长分别在频谱面上记录三个点全息图，再现时三个再现波长形成原来的彩色像。本方法较文献 [2] 的优点有三：第一使用全息透镜后在谱面上位置可任意调正，这样参考光的色散率将不受限！

制, 所以在本方法的记录系统中可以用任意一种分光元件; 而在文献[2]中参考光路和物光路中的色散元件的色散率必须相同或成比例。第二使用全息透镜后, 全息图中心的法线与再现系统中成像物镜同轴; 而在文献[2]中二者是有相当大的平移。第三全息透镜易于向大口径扩展, 这样可以直接存储大面积的彩色胶片。

关于全息透镜的改进, 可以用文献[3]的制作方法, 记录系统的发散球面波用小面积散射光代替, 将随机相移器与全息透镜合二为一。

另外, 如果用反射全息图进行存储, 利用反射全息图的波长灵敏性就可以用白光再现彩色像。

### 参 考 文 献

- [1] 杨振寰著;《光学信息处理》, (母国光等译; 南开大学出版社, 天津, 1986)。
- [2] 张静方, 王民草;《光学学报》, 1988, 8, No. 5 (May), 418~421。
- [3] 于美文, 郭春燕;《仪器仪表学报》, 1990, 11, No. 2 (May), 165~169。

## Holographic storage of color films by hololenses

ZHANG JINGFANG, YU MEIWEN AND WANG MINZAO

(*Beijing Institute of Technology, Beijing 100081*)

(Received 9 October 1990; revised 8 February 1991)

### Abstract

A new method to realize holographic storage of color films with high-density is presented in this paper. Three hololenses with the same focal-length using red, green, and blue laser beams are made respectively, then three fourier holograms are recorded in proper order using the said hololens by laser beams of three primary colors. A color image can be produced when using the original reference beams to illuminate the holograms.

**Key words:** storage, holographic storage; hololenses