

光栅产生带状谱的彩虹消色全息术

王取泉 答孝义

(武汉大学物理系, 武汉 430072)

提要 本文提出利用光栅产生类似多狭缝形式的带状谱获得消色像的全息记录方法, 讨论了获得消色像的条件, 并给出了实验结果。

关键词 消色全息, 彩虹全息

Rainbow achromatic image holography of strip-distribution generated by grating

Wang Ququan, Da Xiaoyi

(Department of Physics, Wuhan University, Wuhan 430072)

Abstract Rainbow achromatic image holography of multi-slitlike strip distribution generated by grating is proposed, and the achromatic condition is also discussed. Experimental results are presented which coincide with the analysis.

Key words achromatic holography, rainbow holography

本文提出利用光栅产生类似多狭缝形式的带状谱获得彩虹消色像, 这种彩虹消色像的方法适用于二维透明片, 通过在 $2D$ 透明片的前面和后面分别加入水平散射屏和垂直光栅而在其空间频谱面上直接形成多狭缝形式的频谱分布, 适当选择光栅的垂直衍射角度来调整多狭缝的间距以获得彩虹消色像。此记录方法比较简便, 光能利用率非常高。

1 原理分析

对于普通的二维透明片(如风景照片、人像等), 其空间频谱绝大部分都集中在低频附近, 在图1中, 如果去掉透明片 O 前后的水平散射屏 D 和垂直衍射光栅 G , 则在透镜的后焦平面上可以观察到透明片 O 的空间频谱分布, 其绝大部分光能都集中在 $(0, 0)$ 附近的范围。当透明片 O 前面加入一个水平散射屏 D (例如条形散斑屏或者水平衍射光栅), 使得通过透明片后的光波的空间频谱在水平方向上得到扩展, 而其垂直方向上的空间频谱却保持不变或者变化很小, 此时在频谱面上将得到一个水平方向上类似狭缝形式的光强分布, 这正是利用一维散射屏记录一步无狭缝彩虹全息的基本依据^[1,2]。再在透明片后面加入一个垂直衍射光栅, 使得物光波在

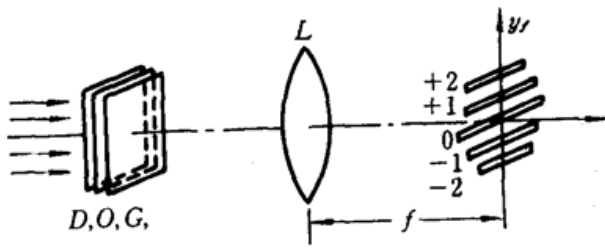


Fig. 1 Multi-slitlike strip distribution

D - Longitudinal diffuse screen; *O* - Object transparency;
G - Vertical diffraction grating; *L* - imaging lens; *f* - focal length

垂直方向上的空间频谱也得到扩展, 由于光栅衍射的特性使得垂直频谱分布是间断的。可见, 水平散射屏和垂直衍射光栅的联合作用使得频谱面上的光强呈现为类似多个平行的水平狭缝的分布形式, 适当选择光栅的结构常数, 调节不同衍射级带状谱之间的距离, 在白光再现下将获得彩虹消色像。

2 消色条件

当用白光再现彩虹全息图, 不同波长所再现的似狭缝带状谱像的位置不同, 如图 2 所示,

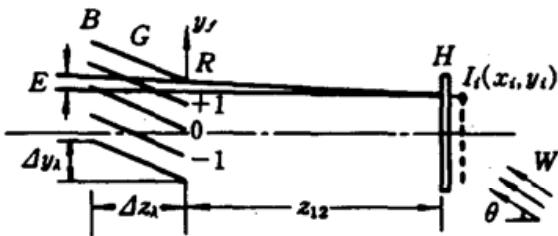


Fig. 2 Reconstruction of multi-slit rainbow hologram by white source (*W*)

用 *R*、*G*、*B* 分别表示红、绿、蓝色似狭缝像的位置。当用 He-Ne 632.8 nm 激光记录全息图时, 则共轭再现后似狭缝的红色窗口位于原来频谱面的位置上。似狭缝的像随波长变化的色散关系式为

$$\Delta y_{\lambda} = \Delta \lambda Z_{12} \sin(\theta / \lambda_0) \quad (1)$$

$$\Delta z_{\lambda} = \Delta \lambda Z_{12} / \lambda_0 \quad (2)$$

式中 λ_0 为全息图的记录波长, $\Delta \lambda$ 为再现光源波长的变化量。在图 2 中的 *E* 处 (*E* 同时表示人眼光瞳直径), 将同时观察到像点 I_i 的 0 级似狭缝带状谱的蓝色窗口 (*B*) 的全息像, +1 级似狭缝带状谱的绿色窗口 (*G*) 的全息像和 +2 级似狭缝带状谱的红色窗口 (*R*) 的全息像, 三种色彩的彩虹全息像的迭加将产生消色像。由图 2 中可得到消色像的条件为

$$\Delta y_{\lambda} \approx 2D \quad (3)$$

式中 *D* 为相邻似狭缝带状谱的间距。由图 1 可得到 0 级与 +1 级似狭缝带状谱之间的间距 *D* 与光栅 1 级衍射角 α_1 的关系为

$$D = f \tan \alpha_1 \quad (4)$$

3 实验结果及其分析

实验采用 He-Ne 激光作记录光源, GS-I 型全息干板作记录介质, 拍摄对象为武汉大学徽标图案的黑白透明片, 记录光路如图 3 所示。实验光路中采用水平衍射光栅 G_1 作水平散射屏 (其光栅结构常数 $d_1 = 1/25$ mm), G_1 将透明片 *O* 的频谱扩展成为水平方向上的带状谱, 其带状谱的特点是呈间断分布, 如图 4(a), 这并不影响本文对消色像的讨论。经空间滤波器扩束后的发散光直接照射 G_1 (此时 (4) 式不成立)。 G_2 为垂直衍射光栅 (其光栅结构常数 $d_2 = 1/50$ nm), 使得 G_1 产生的一个水平带状谱扩展为多个平行的带状谱分布, 见图 4(b)。测量得到相邻带状谱的间距 $D = 3$ mm, 其它实验参数为: $\lambda_0 = 632.8$ nm, $\theta \approx 30^\circ$, $Z_{12} = 14$ cm, $\Delta \lambda \approx 220$ nm, 全息曝光时间 4s。为了改进消色效果, 还采用了连续带状谱分布的散射屏 (见图 4(c))。将曝光显影后的全息图置于白炽灯下观察, 得到了清晰分明的消色全息像。

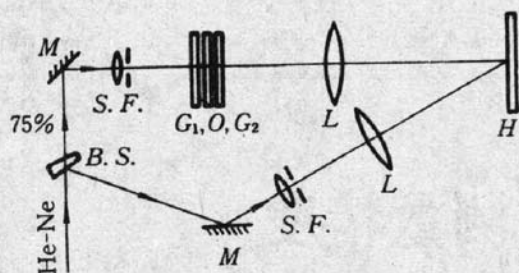


Fig. 3 Optical arrangement of the recording setup

B. S. — beam splitter; S. F. — space-filter;
 G_1 — longitudinal diffraction grating; O — object transparency;
 G_2 — vertical diffraction grating

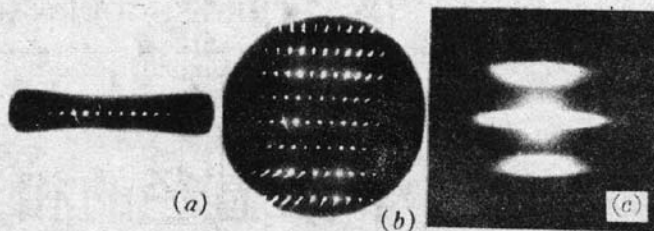


Fig. 4 Photographs of the strip distribution

4 讨 论

4.1 缓慢改变垂直方向上的观察视角,再现全息像的颜色依次呈现为淡蓝色、黑白消色和浅红色,出现彩虹像的原因是多个似狭缝带状谱的上下边缘区域得不到消色,这也是利用彩虹全息术获得消色像的共同之处。

4.2 光栅产生的类似多狭缝光强分布与二次曝光合成多狭缝分布在形式上并不完全相同,因此其消色条件也不一样。合成多狭缝的振幅分布呈余弦函数调制的形式,其亮纹宽,暗区非常窄,当横向色散的距离等于亮纹极大值之间的间距时,就有可能获得消色像,因此其消色条件为: $\Delta y_\lambda \geq D$ 。而光栅产生的多个带状谱的暗区较宽,亮纹的宽度比较窄,当 $\Delta y_\lambda = D$ 时无法获得消色像,此时的消色条件为 $\Delta y_\lambda \approx 2D$ 。

4.3 光栅产生带状谱的彩虹消色像全息的拍摄记录只需一次曝光,因此这种方法比较简便;由于在记录光路中并没有引入实物狭缝,因此其光能利用率非常高。

参 考 文 献

- 1 于美文, 光学学报, 6(3), 207(1986)
- 2 Da Xiaoyi, Wang Ququan, *Appl. Opt.*, 30(35), 5143(1991)