

边缘照明周视彩虹全息术及其像质分析

黄奇忠 杜惊雷 王科大 郭永康
(四川大学物理系, 成都, 610064)

摘要: 提出了一种用波导全息光栅作照明器的边缘照明周视彩虹全息图, 这种全息图兼有波导全息图和周视彩虹全息图的优点。使平板周视彩虹全息图的再现结构极为紧凑, 其观察方便、灵活。讨论了边缘照明周视彩虹全息图的色模糊。

关键词: 边缘照明 周视彩虹全息图 波导全息图

Edge-lit circular viewing rainbow hologram

Huang Qizhong, Du Jinglei, Wang Ketai, Guo Yongkang

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract: A new kind of edge-lit circular viewing rainbow hologram is presented in this paper, which uses a wave guided grating as illuminator. It has advantages of both wave guided hologram and circular viewing rainbow holograms and make the reconstruction structure more compact. It can be viewed very conveniently and flexibility.

Key words: edge-lit circular rainbow hologram wave guided holograms

引 言

平板周视彩虹全息图是一种观察者可以从它的上方 360° 的范围内看到物体再现像的全息图, 它大大扩展了彩虹全息图的观察范围, 是一种重要的全息显示技术。但是它的再现方式和普通彩虹全息图不同, 照明较为特殊, 从而在实际应用中受到了一定的限制。波导全息是一种在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, 由于它有再现光路结构紧凑、再现像对比度高、光能利用率高等特点, 在近年受到广泛的重视而且在全息的许多领域得到实际应用。我们提出用波导全息光栅作为周视彩虹全息图的再现照明器, 制作了一种再现结构紧凑的边缘照明周视彩虹全息图, 它的再现结构与普通的周视全息图相比已大为简化。为了提高照明器的衍射效率, 采用了一种新型红敏明胶作为记录材料。本文中详细讨论了照明光的色散对边缘照明周视彩虹全息图再现像的色模糊的影响。

一、原 理

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。记录时物光垂直照射全息干板, 参考光则通过波导的边缘照明引入, 二者干涉迭加。将处理好的波导全

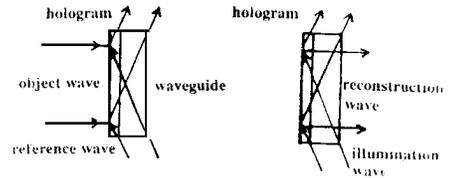


Fig. 1 Recording and reconstruction of waveguided holography illuminator

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,可以边缘离轴照明。(2)可以提供各种形式的照明光波,如平行光波、点光源等。这些优点使照明器具有很大的灵活性,大大降低了空间尺寸,而这正是普通平板周视彩虹全息图在实际应用中所需要的。

2. 边缘照明周视彩虹全息图原理

(1) 平板周视彩虹全息图原理 实现周视彩虹全息图有很多方法,我们采用文献[2]中提出的二步合成平板周视彩虹全息术。其基本原理是:将物体的360°的光波前分成几个等分,通过转动物体,将它们分别记录在同一张干板的不同区域,得到几幅条形菲涅耳主全息图;再利用这些主全息图的共轭再现像合成可以周视平板彩虹全息图。图2是它的记录和再现原理图,

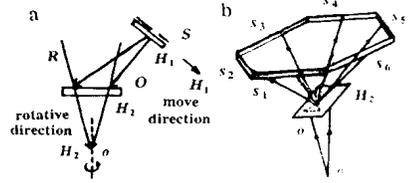


Fig. 2 Recording and reconstruction of circular viewing rainbow hologram

O 是来自菲涅耳主全息的再现光,所用参考光 R 为一会聚光,再现时所用的照明光为 R 的共轭光 R^* ,即在 o 处的一点光源。这在普通周视彩虹全息图的再现中即为一真实的白光点光源。

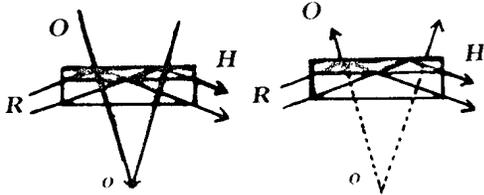


Fig. 3 Recording and reconstruction of point light resource WGH illumination hologram

所占空间大,而且再现时照明光利用率太低。利用波导全息图可以克服这一困难,上面所需要的点光源可由波导全息照明器提供,下面由图3来说明波导全息点光源照明器的原理。

当用原参考光照明波导全息照明器时,将再现出原物光 O ,即相当于在 o 处有一点光源。若我们记录在波导全息图上的物光和再现周视彩虹全息图所需的照明光相同,当我们将波导全息图和普通周视彩虹全息图按图4的方式合成起来,由波导全息图再现出的光就成为周视彩虹全息图的再现照明光,而它正好是记录周视彩虹全息图时所用的参考光的共轭光,从而可以再现出无畸变的再现像。

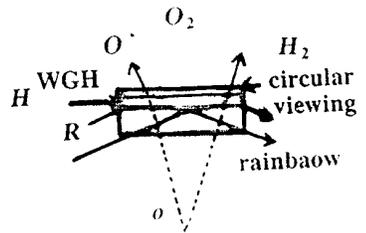


Fig. 4 Combination of illuminator and circular viewing rainbow

二、实验、结果和分析

1. 实验和结果

实验的第一步先采用文献[2]中的方法,首先记录一张普通周视彩虹全息图。但在本实验中,将周视彩虹全息图记录的第二步中所用的会聚参考光改为平行光。用会聚光记录,这在普通周视彩虹全息图是必须的,因为这样可以用白光点光源实现再现。在波导全息图中则由于全息记录和再现的灵活性而不再有此限制。这样可以进一步降低记录时对透镜口径的要求,

这也提高了周视彩虹全息图再现时的光能利用率。

第二步记录波导全息照明器。波导全息照明器在本质上为一全息光栅,其记录原理如图 1 所示。其中物光垂直照射干板,参考光则由波导边缘导入。为了提高波导全息照明器的衍射效率,我们采用了自制的红敏明胶全息干板^[3]来记录波导全息照明器,这种材料在记录普通全息光栅时衍射效率可达 90%,在记录波导全息光栅时衍射效率有所下降,约为 60%,完全能满足实验的要求。

最后,我们将波导全息照明器的周视彩虹全息图合成边缘照明周视彩虹全息图,由白光实现再现。再现的光路结构如图 4 所示。实验中拍摄的物体为一玩具火箭车,图 5 是从不同方位拍摄的周视彩虹全息图再现像的实验结果照片。实验所用白光为一 5W 的白光点光源经准直后的平行光,我们完全可以进一步改进使用白光点光源并将它和波导全息图集成于一体,从而使整个周视彩虹全息图的再现结构更加紧凑。



Fig. 5 Photos of reconstructed images

2. 结果分析

由于这种边缘照明周视彩虹全息图是由波导全息照明器提供照明,照明光是一种衍射光,本身存在着一定的色散,因此,它将对彩虹全息图的再现像的像质将有一定的影响。色模糊是分析彩虹全息图再现像像质的重要参数。下面讨论照明光的色散对彩虹全息图再现像的色模糊的影响。

对于彩虹全息图,色模糊主要存在于垂直狭缝方向(设为 y 轴方向)。此时,周视彩虹全息图的某一方向上的物像关系由下式给出^[3]:

$$\cos \beta_i = \cos \beta_c + (\mathcal{N} \lambda_0) (\cos \beta_0 - \cos \beta_R) \quad (1)$$

式中, β_i 是各光对 y 轴的方向余弦。照明器的色散和彩虹全息图的色散在一个方向上,上式对波长 λ 求微分,并且考虑记录光路的特点 $\beta_R = \beta_C = 90^\circ$, $\cos \beta_R = 0$, 得

$$\partial \beta_i \sin \beta_i = \partial \beta_c \sin \beta_c - (\partial \mathcal{N} \lambda_0) \cos \beta_0 + (\mathcal{N} \lambda_0) \partial \beta_0 \sin \beta_0 \quad (2)$$

式中, $\partial \beta_i \approx D/Z_E$, $\partial \beta_0 \approx -a/Z_S$, $\partial \beta_c = d\beta/d\lambda \cdot \partial \lambda$ D 是眼睛瞳孔的直径, Z_E 是眼睛到全息图的距离, a 是狭缝的宽度, Z_S 是狭缝到全息图的距离, $d\beta/d\lambda$ 是波导全息照明器的色散率,它可由波导全息照明器的光栅方程微分得到, $d\beta/d\lambda = 1/(d \cdot \cos \theta) = 1/d$ 。其正负由二者的色散方向决定,相同时取正,相反时取负,它反映出照明光的色散对彩虹全息图再现像色模糊的影响。 d 为波导光栅的光栅常数, $d = \mathcal{N} \sin \theta_1$, θ_1 为记录波导光栅时参考光和全息图法线之间的夹角。由此可得全息图再现像的单色性为

$$\partial \mathcal{N} \lambda = (D \cdot \sin \beta_i + a \cdot \sin \beta_0) / [(\pm \sin \theta_1 - \cos \beta_0) \cdot Z_E] \quad (3)$$

从而可得彩虹全息图的色模糊为:

$$\Delta I_\lambda = l_l \cdot (d\beta/d\lambda) \cdot \partial \lambda = (\partial \mathcal{N} \lambda) \cdot (\cos \beta_0 / \sin \beta_i) \cdot l_l \quad (4)$$

式中, l_l 是再现像到全息图的距离。对于我们的实验, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, $D = a = 3 \text{ mm}$, $Z_E = 300 \text{ mm}$, $\beta_0 = \beta_i = 45^\circ$, $l_l = 10 \text{ mm}$, $\theta_1 = 73^\circ$ 。

将以上数值代入(4)式,若 $d\beta_c/d\lambda$ 取正,则:

$$\Delta I_\lambda = (3 \sin 45^\circ + 3 \sin 45^\circ) / [(\sin 73^\circ - \cos 45^\circ) \cdot 300] \cdot \cos 45^\circ \cdot l_l / \sin 45^\circ = 0.4 \text{ mm}$$

若 $d\beta_c/d\lambda$ 取负,同理可得 $\Delta I_\lambda = 0.06 \text{ mm}$ 。

若用普通光源照明, $d\beta_C/d\lambda = 0$, $\Delta l_\lambda = 0.2\text{mm}$ 。

从上面的讨论可以得出这样的结论, 虽然照明器的色散对周视彩虹全息图的色模糊产生一定的影响, 使不同方向上的再现像的色模糊有一定的差别。然而, 由于各个方向的色模糊都在实际观察的允许范围内, 对实际观察并不会带来真正的不利影响。

对于周视全息图其它方向的再现像, 其色散和照明器的色散不在一个方向, 并不迭加。因此, 也不会对实际观察带来更大的影响。

另外, 由于照明光的色散, 使彩虹全息图再现时各种颜色的狭缝之间的距离发生变化。因此, 从某一确定的方向观察时, 会感到再现像所包含的颜色成分有所减少。但观察角度沿 360° 环形狭缝改变时, 再现像的颜色也在变化, 所以总体观察效果还是满意的。

应当指出的是, 严格的周视彩虹全息图色模糊表达式应从非旁轴成像理论出发推导。然而, 如文献[4]所指出的, 周视彩虹全息图色模糊表达式在非旁轴成像理论和旁轴成像理论中并无明显的区别, 所以, 我们用旁轴成像理论近似分析周视彩虹全息图色模糊是合理的, 可行的。

三、结 论

1. 我们拍摄了一种边缘照明周视彩虹全息图, 使周视彩虹全息图的再现光路结构变得极为紧凑, 整个装置为一平面结构, 并可进一步集成为一个整体, 从而使周视彩虹全息图的观察十分方便和灵活。

2. 由于采用波导全息照明器作为周视彩虹全息图的光源, 因此, 记录时可采用平行光作为参考光, 这种改变可以降低对透镜口径的要求, 同时也能提高周视彩虹全息图再现时的光能利用率。

3. 采用红敏明胶材料, 提高了波导全息照明器的衍射效率。

4. 讨论了边缘照明周视彩虹全息图的色模糊。认为照明器的色散对周视彩虹全息图的实际应用不产生明显的影响。

参 考 文 献

- 1 Upatnics. Appl Opt, 1992, 31(8): 1048
- 2 张晓春, 郭永康, 郭履睿 *et al* 光学学报, 1994; 14(2): 179
- 3 Wang K T. Appl Opt, 1997; 36(14): 3116
- 4 蔡履中. 光学学报, 1994; 14(2): 135~ 139

作者简介: 黄奇忠, 男, 1966年8月出生。硕士, 现在四川大学物理系攻读光学专业博士学位。研究方向为信息光学和微光学。

收稿日期: 1997-10-21 收到修改稿日期: 1998-03-04

• 简 讯 •

一种新型激光告警器通过设计定型审查

由西南技术物理研究所研制成功的一种新型激光告警器最近通过设计定型审查。这种新型激光告警器可以对 $1.06\mu\text{m}$ 和 $1.54\mu\text{m}$ 两种不同波段的激光进行告警, 具有声、光等告警功能, 并可辨别显示敌方激光射来的方向, 及时向我方人员告警。具有反应快、可靠性高的特点, 受到有关专家和使用单位的好评。

(本刊通讯员 供稿)