

文章编号: 0258-7025(2002)09-0829-03

球基面反射型彩虹全息的设计和制作

吴建宏, 胡祖元

(苏州大学信息光学工程研究所, 江苏苏州 215006)

提要 球基面反射型彩虹全息的记录参数与平基面相比有所区别, 通过计算位相函数得出球基面反射衍射像的物像关系, 以此为基础给出球基面彩虹全息的光路参数设计方法, 最后进行了实验验证。

关键词 彩虹全息, 球基面, 位相函数, 物像关系

中图分类号 O 438.1 文献标识码 A

Design and Fabricating for Reflective Rainbow Hologram on Spherical Surface

WU Jian-hong, HU Zu-yuan

(Institute of Information Optical Engineering, Suzhou University, Suzhou, Jiangsu 215006)

Abstract The recording structure of reflective rainbow hologram on a spherical surface is different from the structure on a plane. In this paper, the relation between objects and reflective diffraction images of spherical surface is derived by calculating phase functions on spherical surface. The design method of recording structure of rainbow hologram of spherical surface is proposed, and the experiments are given.

Key words rainbow hologram, spherical surface, phase function, relation between objects and images

1 引 言

近十年来, 模压全息技术日益成熟, 成为目前少数商品化的全息技术之一, 彩虹全息的制作已有了许多实用技术^[1~4]。到目前为止, 彩虹全息通常都制作在平基面上, 但随着许多新技术的出现, 对彩虹全息提出了曲面基面的要求。如最近出现的全息注塑复制, 即通过注塑工艺将全息图表面的浮雕型条纹复制在塑料表面, 全息注塑件表面常有曲面出现。此外, 彩虹全息也应用于干涉计量^[5], 被测表面通常也会出现曲面。本文将对球基面的情况提出球基面彩虹全息的设计和制作方法。

注塑复制彩虹全息与模压彩虹全息一样, 均是以反射方式观察的透射全息图, 以往对彩虹全息的讨论均以透射形式为主, 以反射方式观察的彩虹全息的物像关系、狭缝特性等都由透射的情况类推。

图 1 是以一会聚点 O 为物的全息图的记录与再现, 如果全息图以光刻胶作为记录材料, 那么透射

光的位相由于受浮雕条纹的调制发生衍射, 但入射光也会被浮雕条纹反射, 反射光位相同样也被调制, 这一被调制的反射光就形成反射衍射像, 透射像和反射像分别为 I 和 I' 。 I' 的位置可用两种方法计算: 一种是认为 I' 的位置与用共轭光再现的共轭像的位置相同, 成像位置计算可由透射成像关系中取共轭项得到; 第二种认为它与以图 1(b) 中的 C' 为再现光的原始像位置相同, 可以证明, 如果图 1(b) 中的 C' 与原参考光呈镜面对称, C' 的再现也是一种原始再现。如果从反射像角度理解, 以上两种观点等价, 为反射像可以看作是透射像经记录材料表面反射后的镜面反射像, 或看成是以再现光的镜面像点为再现光的原始再现像。显然, 这两种看法对平基面的记录材料是等价的, 但如果基面是球基面, 这两种看法的结果是不同的。

本文将通过计算位相函数得出反射衍射像的物像关系, 结合具体的全息注塑模具实例设计全息记录参数, 并给出相应的实验结果。

收稿日期 2001-07-10; 收到修改稿日期 2001-09-10

作者简介: 吴建宏 (1960—), 男, 研究员, 硕士, 主要从事全息学、光信息处理、衍射光学元件等方面的研究。E-mail: jhwu@suda.edu.cn

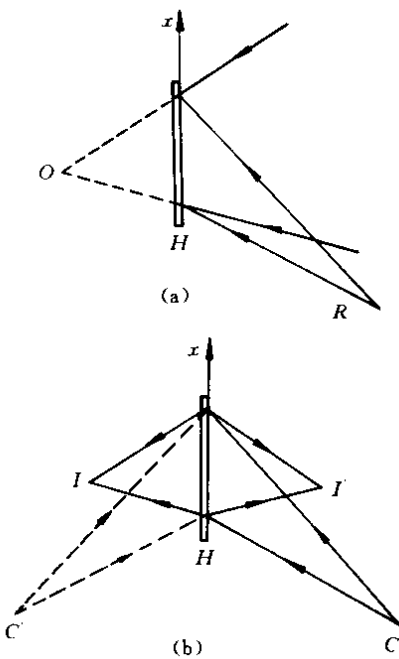


图 1 全息图的记录与再现

(a)全息图记录, O :物光, R :参考光 (b)全息图再现, C, C' :原始再现光, I :原始像, I' :反射衍射像, 它的像特性计算可以看作是原始像 I 的镜面反射像或者是 C' 的再现透射像

Fig.1 Recording and reconstructing holograms

(a) recording a hologram : O is object light ; R is reference light ; (b) reconstructing a hologram : C and C' are original reconstructing light ; I is an original image ; and I' is a reflective image which can be considered as a reflective image of I or an original image reconstructed by C'

2 球基面反射型彩虹全息的设计

我们以计算反射位相函数的方法研究球基面反射衍射像的物像关系。采用图 2 表示的光路分析记录光波和再现光波的位相函数。某一球面波在球基面上的位相分布函数可以写成

$$\varphi_j = k \left[(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 \right]^{1/2} - (x_j^2 + y_j^2 + z_j^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中下标 j 分别代表 O, R, C, I , 为物光、参考光、再现光和成像衍射光, 令

$$x_j^2 + y_j^2 + z_j^2 = l_j^2$$

(1)式重新写成

$$\varphi_j = k \left\{ l_j \left[1 + \frac{(x^2 + y^2 + z^2) - 2(x x_j + y y_j + z z_j)}{l_j^2} \right]^{1/2} - l_j \right\} \quad (2)$$

其中 x, y 和 z 满足球面方程

$$x^2 + y^2 + (z + r)^2 = r^2 \quad (3)$$

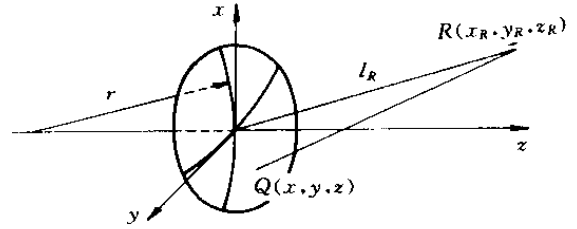


图 2 全息图记录和再现的坐标系统

Fig.2 Coordinate system for recording and reconstructing

式中 r 为球面半径, 当 j 为 O, R, C 时, r 取正值, 当 j 取 I 时, 由于我们考虑的是反射成像, r 取负值。考虑到 $l_j, r \gg x, y, z$ 和 x_j, y_j , 且 $l_j \approx z_j$, 将 (3) 式代入 (2) 式, 并对含有 $1/2$ 次幂的项展开, 忽略 $1/l_j^3$ 及其以上项, 得到

$$\varphi_j = k \left\{ \frac{1}{2l_j} [x^2 + y^2 - 2(x x_j + y y_j)] + p \frac{x^2 + y^2}{2r} \right\} \quad (4)$$

在上式推导过程中, 据符号法则, 在忽略 $1/l_j^3$ 及其以上项条件下, 利用了 $l_j = -z_j$ 与平基面的位相函数相比 (4) 式仅多一由于球基面带来的因子 $p(x^2 + y^2)/2r$, 其中 j 为 I 时 $p = 1$, 其余 $p = -1$ 。我们知道全息图再现时有位相关系

$$\varphi_I = \varphi_C + \varphi_O - \varphi_R \quad (5)$$

利用 (4) 式, 我们得到

$$\varphi_I = k_C \left\{ \frac{1}{2l_I} [x^2 + y^2 - 2(x x_I + y y_I)] + \frac{x^2 + y^2}{2r} \right\} \quad (6)$$

$$\varphi_C + \varphi_O - \varphi_R =$$

$$k_C \left\{ \frac{1}{2l_C} [x^2 + y^2 - 2(x x_C + y y_C)] - \frac{x^2 + y^2}{2r} \right\} +$$

$$k_O \left\{ \frac{1}{2l_O} [x^2 + y^2 - 2(x x_O + y y_O)] - \frac{x^2 + y^2}{2r} \right\} -$$

$$k_R \left\{ \frac{1}{2l_R} [x^2 + y^2 - 2(x x_R + y y_R)] - \frac{x^2 + y^2}{2r} \right\} \quad (7)$$

(6) 式和 (7) 式中的 k_C 和 k_O 分别为再现光和记录光的空间角频率。对 (6) 和 (7) 式按 x, y 的幂次进行系数比较, 得到

$$\frac{1}{l_I} = \frac{1}{l_C} - \frac{2}{r} + \frac{\lambda_C}{\lambda_O} \left(\frac{1}{l_O} - \frac{1}{l_R} \right) \quad (8)$$

$$\frac{x_I}{l_I} = \frac{x_C}{l_C} + \frac{\lambda_C}{\lambda_O} \left(\frac{x_O}{l_O} - \frac{x_R}{l_R} \right) \quad (9)$$

$$\frac{y_I}{l_I} = \frac{y_C}{l_C} + \frac{\lambda_C}{\lambda_O} \left(\frac{y_O}{l_O} - \frac{y_R}{l_R} \right) \quad (10)$$

将(8)式至(10)式与平基面的物像关系比较,球基面反射像的位置不再与透射像呈镜面对称,它的等价再现光位置相当于 l_c'

$$\frac{1}{l_c'} = \frac{1}{l_c} - \frac{2}{r} \quad (11)$$

(11)式表明等价再现光源是真实再现光源的球基面反射像,也就是反射衍射像可以由真实再现光的镜面向为再现光通过计算透射像得到。

从以上的讨论可知,平基面反射像和球基面反射像在全息记录设计时应考虑的差别是两者的成像位置不同,对彩虹全息而言,全息像在全息图表面, l_o 很小, l_l 也很小,球基面对全息像的位置影响不大,但对狭缝像的位置影响很大,狭缝像的位置可按(8)式计算。

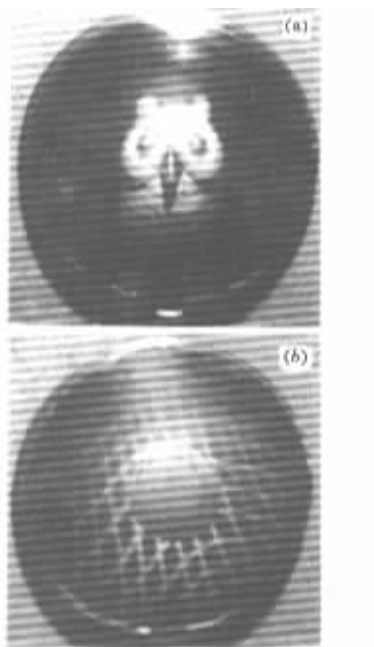


图3 制作在太阳眼镜镜片上的全息图

Fig. 3 Holograms on sunglasses

3 实验

以全息注塑太阳眼镜的球基面设计为例,我们制作了球基面的彩虹全息母板,经过电铸、模具镶嵌、注塑、镀膜等工艺过程,成功地制作出了球基面的太阳眼镜。球基面彩虹全息的设计要求如下:再现光为无穷远,白光入射角 -135° ,再现狭缝的位置距全息图300 mm,550 nm波长的衍射角为 0° ,球基面曲率半径为85 mm,记录波长为457.9 nm,由(8)式计算得到记录狭缝距球基面的距离为66.2 mm。全息图结合文献[1]和文献[3]的记录方法,采用二步法记录,记录介质为光致抗蚀剂。图3(a)和(b)分别显示了注塑成型后的全息太阳眼镜的照片,其中图3(a)的被记录物为有一三维模型,图3(b)的前景是三维物体,背景是距离表面有一定景深的二维物体,从实验结果看出全息图清晰完整。

参 考 文 献

- 1 Xie Jinghui, Zhao Yeling, Yu Meiwen. Traversing area partition technique and its application in 2D/3D embossed holograms [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1988, **8**(5):410~416 (in Chinese)
- 2 Cai Xueqiang, Ke Chonglai. Natural colour embossed hologram [J]. *Applied Laser* (应用激光), 1992, **12**(4):167~169 (in Chinese)
- 3 Wu Jianhong, Chen Linsen. A method of increasing energy utilization coefficient in recording multi-color rainbow holograms [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1994, **A21**(10):831~834 (in Chinese)
- 4 Ha Liuzhu, Ha Yonggang. A shine-style rainbow hologram [J]. *Optical Technology* (光学技术), 1998, (1):61~63 (in Chinese)
- 5 N. Metchkarov, V. Sainov, P. Boone. High-accuracy surface measurement using laser-diode phase-stepping interferometry [J]. *Vacuum*, 2000, **58**(2):464~469