

文章编号: 1001-3806(2005)01-0050-02

动态自发光物体体视彩虹全息图的制作方法

金伟民, 王 辉

(浙江师范大学 信息光学研究所, 金华 321004)

摘要: 介绍了一种用连续激光制作动态自发光物体体视彩虹全息技术, 为火焰场的温度分布及气流的浓度分布等领域的研究提供了新的实验方法。先用自制的透镜线阵照相机拍摄动态自发光物体的初级体视图, 然后用连续激光照明初级体视图, 透镜线阵此时不仅起到成像作用, 而且起到了彩虹全息术中的狭缝作用。制作了动态自发光物体(蜡烛光)的体视彩虹全息图, 并给出了实验结果。实验结果表明该方法是可行的。

关键词: 体视彩虹全息; 动态自发光物体; 透镜线阵; 体视图

中图分类号: O438.1 **文献标识码:** A

The fabrication of stereo-rainbow holograms recording dynamic and spontaneous fluorescence objects

JN Weimin, WANG Hui

(Institute of Information Optics, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: A new technique of fabricating stereo-rainbow holograms is presented which can record dynamic and spontaneous fluorescence objects by continuous laser. The technique also provides a new way to study the temperature distribution in a flame field, the concentration distribution of gas-flow and so on. Firstly, we take the primary stereoscopic picture of a dynamic and spontaneous fluorescence object by the linear lens array camera made by ourselves. Then continuous laser illuminates the primary stereoscopic picture and the stereo-rainbow hologram is fabricated. Here the linear lens array not only has imaging capability, but also acts as the slits of rainbow holography. In our experiments we fabricate stereo-rainbow holograms of candle's flame. The results prove that the technique is feasible. The paper presents the principle of the proposed technique and the experimental result.

Key words: stereo-rainbow hologram; dynamic and spontaneous fluorescence objects; linear lens array; stereography

引 言

在拍摄全息图的过程中, 对于干涉条纹稳定性的要求非常高, 一般要求条纹的移动量小于条纹间隔的 $1/8$ ^[1]。所以用连续发光的激光器作光源, 只能拍摄静止物体的全息图; 用脉冲激光器作光源, 才可以拍摄动态物体的全息图。但是, 由于自发光物体(如蜡烛光、火焰等)的非相干光会照射全息记录底片, 并且得不到漫反射物光波, 用脉冲激光制作动态自发光物体的全息图在技术上有困难。而且脉冲激光器十分昂贵, 一般全息实验不具备, 难推广。如果先用普通照相机拍摄动态物体, 然后以该胶片作目标, 可以制作动态自发光物体的全息图, 但这种全息图的再现像是二维

的, 缺乏立体感。为了获得三维体视图像, 有人提出了体视全息^[2~4]和合成全息技术^[5,6], 可是这些方法只适合于静止物体, 对动态物体, 理论上虽可行, 但实际上很难实现。笔者曾在前人工作的基础上, 制作了透镜线阵照相机^[7]。本文中提出的方法是先用自制的透镜线阵照相机拍摄动态自发光物体, 获得初级体视图胶片, 然后将该体视图胶片放回原处, 获得物体的体视实像并作为拍摄目标, 结合彩虹全息技术, 制作了可白光再现的动态自发光物体(蜡烛光)的体视彩虹全息图。

1 原理和制作方法

1.1 初级体视图胶片的拍摄

如图 1 所示, O 是蜡烛, LR 是透镜线阵, 记录胶片 F 放置在蜡烛光经 LR 所成像处, 控制曝光时间, 经显影、定影等暗房处理, 即可得到记录有蜡烛光体视信息的照相负片。用拷贝机拷贝一次, 得到记录有蜡烛光体视信息的照相正片, 此正片为下一步制作体视彩虹全息图时提供物光所用。

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (M603212); 浙江省科技计划资助项目 (2004C31089)

作者简介: 金伟民 (1965-), 男, 副教授, 主要从事信息光学和全息术方面的研究工作。

E-mail: jhjinwm@163.com

收稿日期: 2003-12-31; 收到修改稿日期: 2004-03-23

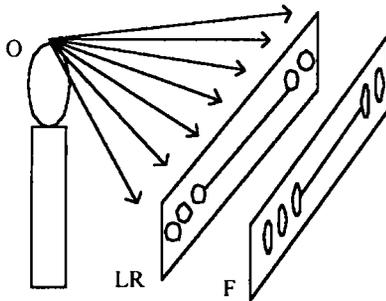


Fig 1 Optical arrangement for taking the primary stereography

1.2 体视彩虹全息图的合成

将已记录有蜡烛光体视信息的胶片 F (初级体视图)放回原处,用漫射相干光照明 (如图 2 所示)。

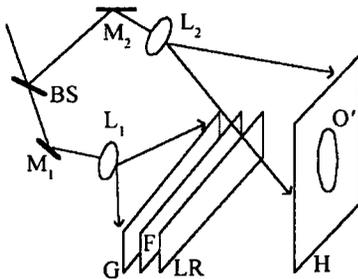


Fig 2 Optical arrangement for taking the stereo-rainbow hologram

设 (x_0, y_0, z_0) , (x_i, y_i, z_i) , (x_0', y_0', z_0') 分别为蜡烛光中的某一物点、初级体视图像点、体视彩虹全息图合成像点的坐标。则根据王辉等人^[7]的分析,当初级体视图胶片 F 精确复位 (即 $dx_i = 0, dy_i = 0, dz_i = 0$) 时,有:

$$\begin{cases} x_0' = x_0 \\ y_0' = y_0 \\ z_0' = z_0 \end{cases} \quad (1)$$

即在原来放置物体的地方综合出蜡烛光的像。从透镜线阵中将出射一扁平光束,这非常类似彩虹全息术,透镜线阵此时不仅起到成像作用,而且起到了彩虹全息术中的狭缝作用。 L_1 是柱透镜,将细光束扩展为扁平光束照明,可充分利用光能。 G 是毛玻璃,将直射光变为散射光。 F 是初级体视图, LR 是透镜线阵。在综合出的像视像附近放置全息干板 H ,并引入参考光,即可记录像视像的体视彩虹全息图。

1.3 再现

用自然光或室内照明光沿参考光的共轭方向照射体视彩虹全息图。根据全息原理,再现出蜡烛光虚像的同时,在原放置透镜线阵的位置,将再现其实像。该实像类似于普通彩虹全息的狭缝实像,人眼在此附近可观察到按彩虹排列的单色像。

2 实验

作者研制的透镜线阵照相机共排列了 24 个小透镜,透镜的选择满足成像质量、分辨率大小、视场和视角大小的要求^[7]。透镜相邻的两侧经磨边,每个透镜

的宽度约为 8mm,透镜线阵的长度为 200mm。按图 1 布置光路,蜡烛光至透镜线阵的距离为 175mm,记录底片用 135 黑白胶卷,曝光时间为 $\frac{1}{30}$ s,并翻拍为正片。图 3 是蜡烛光的初级体视图照片。



Fig 3 The primary stereography

合成彩虹体视全息图时,将图 3 所示正片装于相机中,并按图 2 所示光路布置各元件,用 He-Ne 激光器作光源,全息记录材料用天津 I 型全息干版,全息干版置于蜡烛光实像附近。曝光后,经显影、定影等化学处理,即得到体视彩虹全息图。用白炽灯照明全息图,观察到明亮清晰的全息图再现像,水平视角约有 60°,眼睛从左到右移动时,分别看到蜡烛光的各个侧面像,立体感非常强。图 4a 是蜡烛光照片,图 4b~图 4f 依次为视角 -30°, -15°, 0°, 15°, 30° 的体视彩虹全息图再现像照片。

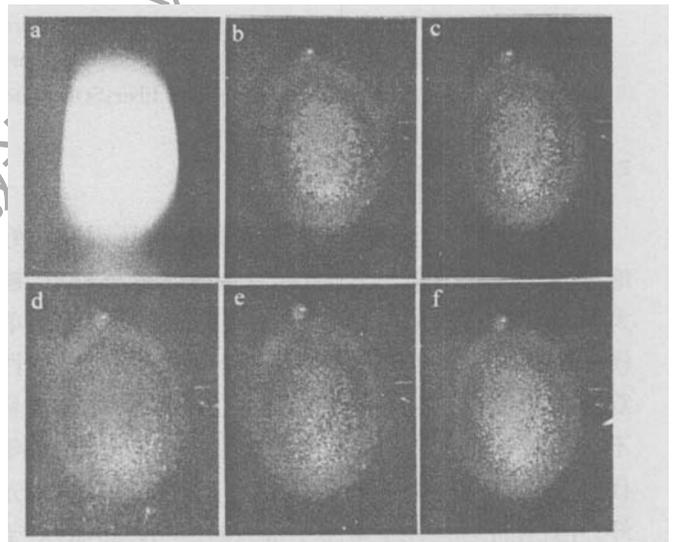


Fig 4 a—the photograph of candle b~f—the reconstruction photographs of stereo-rainbow hologram

3 讨论

本文中提出的方法使得用连续激光拍摄动态自发光物体体视彩虹全息图成为现实,推进了光全息制作技术的发展,并为火焰场的温度分布及气流的浓度分布等领域的研究^[8~11]提供了新的实验方法,具有实际意义。当然,实验也存在不足之处,主要是透镜线阵不够长,导致最终水平观察视角不够大;初级体视图胶片复位有偏差,使得再现像有些模糊,在今后的工作中还有待改进。

参考文献

[1] 于美文. 光全息与信息处理 [M]. 北京:国防工业出版社, 1984 285
 [2] MU G G, CHANG C K, LIU H K White-light stereoprojection through Fourier spectrum polarization [J]. Opt Lett, 1981, 6 (6): 263~265.

(下转第 100 页)

求得 $\angle ACB = \angle EBF = 2\Delta\alpha$ 。由于屏上光点移动距离 Δd 远小于反射光程 L , 可以将 Δd 视为半径 L 的一段弧, 从而有:

$$\angle EBF = \Delta d/L = 2\Delta\alpha, \Delta\alpha = \Delta d/2L \quad (3)$$

$$R = \Delta s/\Delta\alpha = \Delta x/\Delta\alpha = 2L \cdot \Delta x/\Delta d \quad (4)$$

$$\sigma = [E/12(1-\nu)] \cdot (t_s^2/t_f) \cdot (\Delta d/L\Delta x) \quad (5)$$

根据(5)式, 在衬底及薄膜确定后, 移动样品一段距离 Δx , 测得对应的光点位移 Δd , 即可求得薄膜应力。

另外一种利用光学方法测量弯曲变形来间接测量应力的实验方法, 如图4所示^[10], 原理同上, 也是通过测量 x 的变化量来求 R 的变化量, 进而求出应力值。

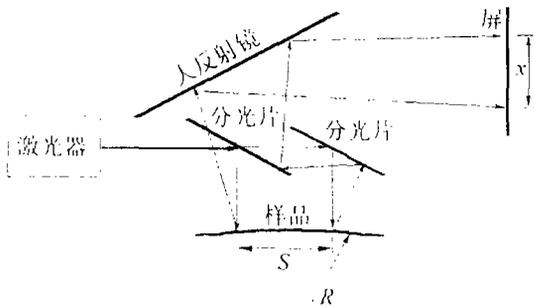


图4 弯曲测量装置图

装置的测量灵敏度取决于可检出的最小光点位移 Δd_{\min} , 其实际数值为 1.5mm 。衬底材料为 K9, $E = 8.132 \times 10^{10} \text{Pa}$, $\nu = 0.209$; 衬底厚度 $t_s = 0.5\text{mm}$, 薄膜厚度 $t_f = 0.275\mu\text{m}$, 反射光程 $L = 10\text{m}$, 样品移动距离 $\Delta x = 50\text{mm}$, 则:

$$\sigma_{\min} = \frac{E}{12(1-\nu)} \cdot \frac{t_s^2}{t_f} \cdot \frac{1}{L\Delta x} \cdot \Delta d_{\min} = 25.5\text{MPa} \quad (6)$$

测量精度由(5)式中各被测量的精度决定。根据它们的测量方法, 有 $\Delta t_s = 1\mu\text{m}$, $\Delta t_f = 2\text{nm}$, $\Delta L = 0.01\text{m}$, $\Delta(\Delta x) = 0.05\text{mm}$, $\Delta(\Delta d) = 0.1\text{mm}$, 取 $\Delta d = 50\text{mm}$ 。由误差传递公式:

$$E_{\sigma} = 2 \cdot \Delta t_s/t_s + \Delta t_f/t_f + \Delta L/L + \Delta(\Delta x)/\Delta x + \Delta(\Delta d)/\Delta d = 2.12\% \quad (7)$$

利用基片弯曲变形测量应力的方法是一种宏观的间接应力测量方法, 其主要思想是利用弹性力学原理将薄膜应力表现为宏观的形变问题。在测出基片的弯曲的

基础上, 利用应力与应变的关系(1)式来计算出力。优点为不要求薄膜的特性; 迅速而且非破坏性。缺点为薄膜在厚的基片上; 变形前后要有比较。应力分辨率低, 对同种衬底和相同厚度薄膜激光干涉法的分辨率为 15.6MPa , 测量精度为 0.92% 。激光偏转法的为 25.5MPa ; 测量精度为 2.12% 。空间分辨率约为 $100\mu\text{m}$ 。

3 结论

分析了利用基片弯曲变形测量薄膜应力的基本原理和测量方法依据, 对宏观变形测量的两种方法进行了比较, 得出激光干涉法在精度上优于激光偏转法, 激光干涉法的精度可达 0.92% , 可测量的最小应力值为 15.7MPa 。激光束偏转法较低, 为 2.12% , 可测量的最小应力值为 25.5MPa , 空间分辨率低, 约为 $100\mu\text{m}$ 。

参考文献

- [1] DOERNER M F, NIX W D. Stresses and deformation processes in thin films on substrates [J]. CRC Critical Review in Solid State Science, 1988, 14(3): 225~268.
- [2] WINDSCHMANN H. Intrinsic stress scaling for polycrystalline thin films prepared by ion beam sputtering [J]. J A P, 1987, 62(5): 1800~1807.
- [3] PULKER H K 仲永安, 谢于深. 玻璃镀膜 [M]. 上海: 科学出版社, 1988. 315.
- [4] 田民波, 刘德令. 薄膜科学与技术手册(上册) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 144~146.
- [5] GLANG R, HOLMWOOD R A, LROSENFELD R. Determination of stress on single crystalline silicon substrates [J]. Rev Sci Instr, 1965, 36: 361~364.
- [6] 熊胜明, 张云洞, 唐晋发. 电子束反应蒸发氧化物薄膜的应力特性 [J]. 光电工程, 2001, 28(1): 13~15.
- [7] CHUEN L, CHENG Ch L, CHENG Ch J. The measurement of thin film stress using phase shifting interferometry [J]. Journal of Modern Optics, 2000, 47(5): 839~849.
- [8] HILL R, THOMAS M E R, HARTNETM P. The use of surface profilometers for the measurement of wafer curvature [J]. Vacuum Science and Technology, 1988, 6: 231~235.
- [9] 杨银堂, 付俊兴, 周端. 半导体基片上薄膜应力的测试装置 [J]. 仪器仪表学报, 1997, 18: 228~231.
- [10] PIEŃKOS T, GĄDYSZEWSKI L. Determination of strain and stress in thin films using curvature measurements [J]. Review of Scientific Instruments, 1998, 69(2): 460~462.

(上接第51页)

- [3] TRIMIM, RABAL H J, BOLOGNINI N *et al* Three-dimensional display through speckle stereograms [J]. Appl Opt, 1986, 25(20): 3776~3780.
- [4] 尚庆虎, 唐良桂, 于美文. 一种全息立体显示仪 [J]. 北京理工大学学报, 1989, 9(3): 43~47.
- [5] PRICKRYL I Holographic maps [J]. Appl Opt, 1982, 21(16): 2882~2885.
- [6] YAMAGUCHI M, OHYAMA N, HONDA T. Holographic three-dimensional printer: new method [J]. Appl Opt, 1992, 31(2): 217~222.

- [7] 王辉, 何旭, 金伟民. 体视全息照相的简化设计 [J]. 中国激光, 1995, A22(1): 60~64.
- [8] 是度芳, 钟志有, 王荣 *et al* 相移全息 CT 技术测量双烛火焰温度场 [J]. 光学学报, 1996, 16(6): 768~771.
- [9] 王瑞芳. 采用激光双曝光全息干涉技术研究相互耦合的柴油机压缩温度场与喷雾场 [J]. 应用激光, 2001, 21(5): 331~332.
- [10] 刘东红. 用于温度场研究的光折变全息干涉计量术 [J]. 光电工程, 2001, 28(2): 32~35.
- [11] 赵建林, 谭海蕴. 电子学全息干涉术用于温度场测量 [J]. 光学学报, 2002, 22(12): 1447~1451.