

实现边缘照明全息术的新途径

陈 铮 翟大海 郑 兵

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

摘 要 报道了实现抗干扰能力特别高的边缘照明全息术的新途径。采用这一途径可以得到再现时不受强光环境干扰的全息片, 并实现了白光再现, 作出了与再现光源平面一体化的边缘白光再现全息片。这一技术可望在工业和日常生活中得到广泛应用。

关键词 边缘照明全息术, 全反射, 像面全息。

1 引 言

边缘照明全息^[1,2]源于波导全息术。波导全息术^[3]于 1976 年正式出现以后, 许多人试图把它应用到光计算、光通讯、光存储等领域, 并得到了一些有意义的结果^[4,5]。在显示技术领域, 由于波导全息术中波导本身的尺寸及消逝场的一些特点^[6,7], 难于用波导全息术作出大面积的全息记录片。近年来, 人们将波导全息中的导波光(参考光)改为从边缘直接入射, 发展成为今天的边缘照明全息。在边缘照明全息术中, 物光与普通全息术中的物光没有不同; 而参考光则是从全息干版边缘入射, 与干版夹角很小。所以边缘照明全息片能够做到平面一体化, 这一点是普通全息所无法做到的。由于再现光也是从边缘入射, 不会出现观察者面对再现光源(透射全息)或观察者遮挡再现光源(反射全息)这类情况。而且环境光也不会对再现图像产生影响。加之边缘照明全息独特的较高的衍射效率^[8], 使它的再现图像具有很高的对比度, 对周围环境也没有特殊要求。这样的一些特点, 使边缘照明全息成为一种应用前景很宽的新技术。在八十年代末九十年代初, 全息领域国际著名的学者 Juris Upatineke 申请了多项以边缘照明全息为基础的应用专利^[2,9,10], 更引起人们的关注^[11]。

本文对报道的边缘照明全息记录和再现技术做了分析、比较和实验研究, 实现了采用普遍全息术的方法制备边缘照明全息片的新途径, 得到了具有很高对比度且平面一体化的边缘白光再现全息片。

2 已报道的技术及其局限性

2.1 边缘照明全息片的制备

通常用玻璃衬底和用油浸没槽两种方案来制备边缘照明全息片^[2,12,13]。

2.1.1 玻璃衬底方案

实验装置如图 1 所示。在图 1(a) 中参考光 R 由单模光纤引入，通过抛光的玻璃衬底的边侧 AB，以较小的角度射到玻璃衬底的底面上。在感光胶膜与玻璃衬底之间有一薄层折射率匹配液。感光胶膜后面的黑玻璃，起到吸收光的作用，防止发生干涉的光在干版-空气界面发生全反射后，返回与自身再次发生干涉，影响全息干涉图像质量。图 1(b) 的参考光 R 直接入射到玻璃衬底的侧边。

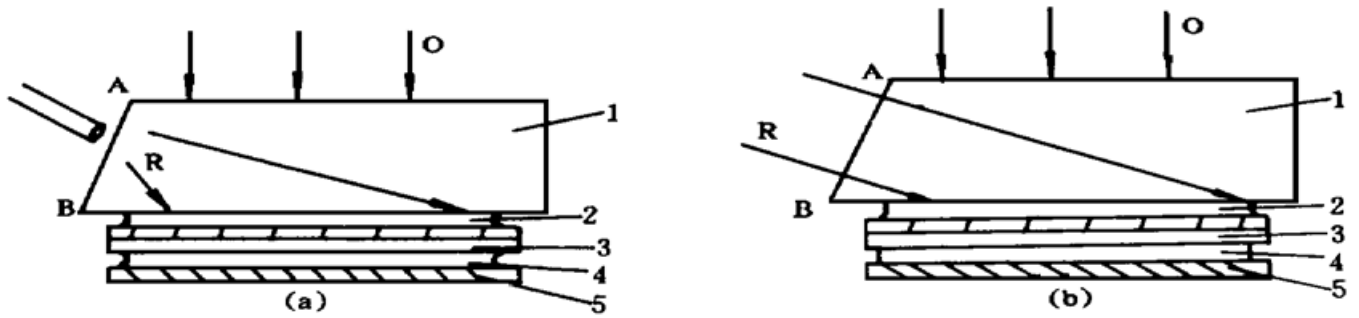


Fig. 1 Recording arrangements with glass coverplate

(a): reference beam from single mode optical fiber; (b) direct incident reference beam

1: glass coverplate; 2: index-match liquid layer; 3: emulsion plate; 4: index-match liquid layer; 5: black glass; O: object light; R: reference light

实验发现，单模光纤在实验中难以耦合，且单模光纤的偏振态和光波相位对环境的变化极为敏感，常给实验带来意想不到的困难。应特别注意：在这一方案中，玻璃内部的应力造成的双折射效应，影响了物光和参考光的干涉效果；要制作大尺寸的边缘照明全息片，需要大面积的且厚又无严重内应力的玻璃板，这是非常困难的事。

2. 1. 2 油浸没槽方案

实验装置如图 2 所示。感光干版被直接浸没在油槽内的匹配液中。基本原理同前一种方案类似。实验中发现，这种方案的优点是容易得到较大尺寸的边缘照明全息片。但是由于要将全息干版全部浸入到槽内的匹配液中，对匹配液的物化性质有相当苛刻的要求。况且，在实际的操作中，也难以对参考光的入射角和强度进行监测和控制，给实验带来诸多不便。

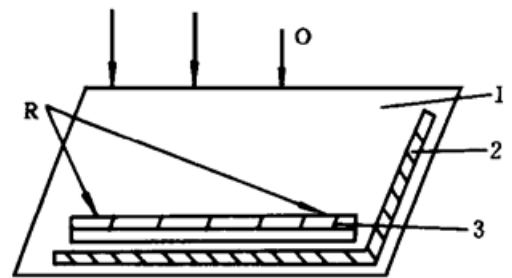


Fig. 2 Recording arrangements with immersion tank

1: index-match liquid; 2: black glass; 3: emulsion plate; O: object light; R: reference light

2. 2 边缘照明全息片的再现

再现装置如图 3(a) 所示：从边缘引入参考光即可。这里要指出一点，用光纤引入再现光，使光源和全息片能够做成平面一体化的显示全息版。目前，这是唯一能够做成平面一体化的全息片的技术方案。显然，采用激光器作光源，用光纤输入作再现光这一技术方案极不经济，不可能被广泛采用。

如图 3(b) 所示，在边缘照明全息片实施再现时，未参与成像的光线 AA' 在全息版后玻璃与空气界面处发生全反射后，光线 BB' 重新穿过胶膜(此时光线不满足布拉格条件，无法成像)。光线 BB' 在玻璃衬底的另一面与空气的界面处发生全反射后，光线 CC' 再次返回，通过胶膜，衍射成像。这样，未发生衍射成像的光束将通过多次全反射，参与成像，提高了光的利用率，而又不会增加背景亮度，从而很容易获得对比度很高的图像。这正是边缘照明全息术

的最大优点。

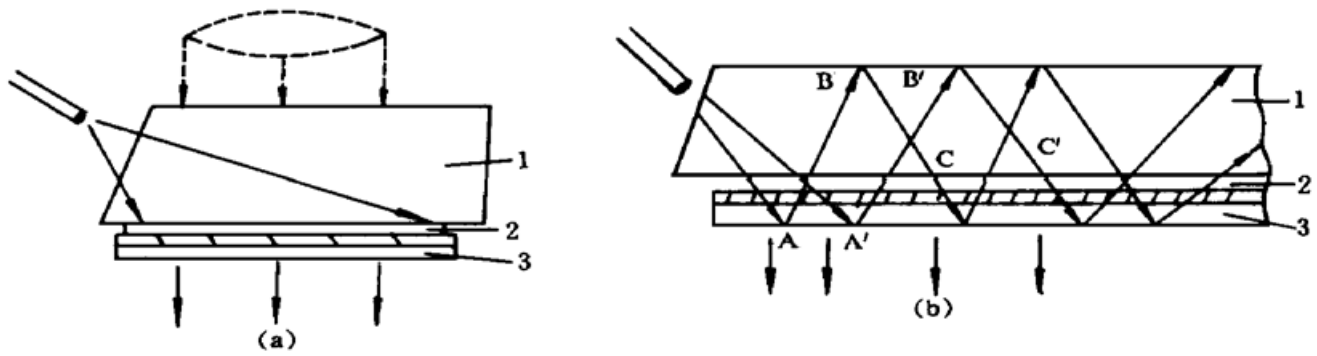


Fig. 3 Reconstruction

(a) reconstruction; (b) multiple utilization of the illumination beam

1: glass coverplate; 2: index-match liquid layer; 3: emulsion plate; O: object light; R: reference light

3 实现边缘照明全息术的新方案

针对所报道的边缘照明全息片记录和再现方案的困难。经分析，作者找到了简便易行的技术途径。

作者从再现光路反演得出用普通全息方式记录边缘照明全息片，即只要保证记录时参考光束-全息干版胶膜面夹角与设定的再现光束一致，而光路的布局可以不同，完全可以不采用图 1、图 2 的光路安排来记录边缘照明全息片。为此，采用如图 4 所示的记录装置。边缘照明全息记录中，采用 25 mW 线偏振光输出的 He-Ne 激光器作光源，用天津 I 型全息干版记录；参考光 R 与物光 O 强比约为 3 : 1；图 4(a) 中，经物体散射的物光与参考光在全息干版感光胶膜面上发生干涉；理论上，参考光的入射角为： $41.14^\circ < \theta < 90^\circ$ 。因为，只要参考光的入射角大于光束在玻璃 ($n_g = 1.52$) 与空气 ($n_a = 1.0$) 界面的临界角 θ ：

$$\theta = \arcsin(n_a/n_g)$$

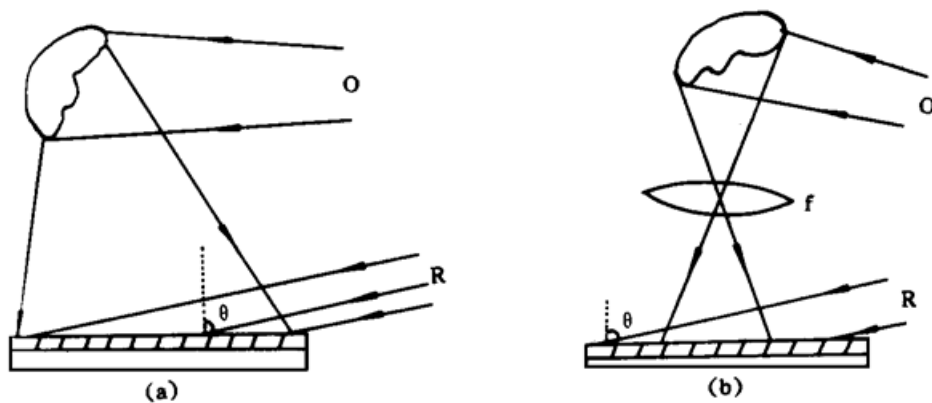


Fig. 4 Recording arrangements with new approach

(a) transparent hologram recording; (b) image plane hologram recording

f: image lens; O: object light; R: reference light

即可。这样，再现光只有通过玻璃衬底抛光的侧边进入才能满足再现条件；而任何入射角的外界自然光经菲涅耳折射进入玻璃衬底或油浸没槽后入射到胶膜面上无法满足再现条件。从实验中可知，参考光的入射角为 $65^\circ < \theta < 90^\circ$ 时实验效果良好。图 4(b) 所示为像面全息记录光路安排，采用成像透镜的方式将物体成像于感光胶膜面上。在曝光显影后，将全息版进行漂白处理。将全息片按图 3(b) 的结构进行装配。玻璃版为普通的 10 mm 的厚平板玻璃，一侧

边为斜面抛光, 抛光表面夹角为 75° , 因用发射角较大的白炽灯泡作光源, 对侧面倾斜角加工精度要求不高。此时选用的折射率匹配液采用无色透明的单组份的硅橡胶, 折射率为 $n = 1.406$ 左右, 其目的是硅橡胶固化之后不仅使全息版与玻璃板粘接成为一体, 而且由于硅橡胶质地柔软, 不至于破坏全息膜。从几何光学知, 除了从抛光的侧面边入射的光能再现图像外, 以任何角度通过玻璃板到达胶膜的光均不能达到记录时参考光的入射角。特别是用图 4(b) 方式记录的透射式像面全息片, 用小灯泡从边缘入射, 如图 5 照片所示, 实现了白光再现。

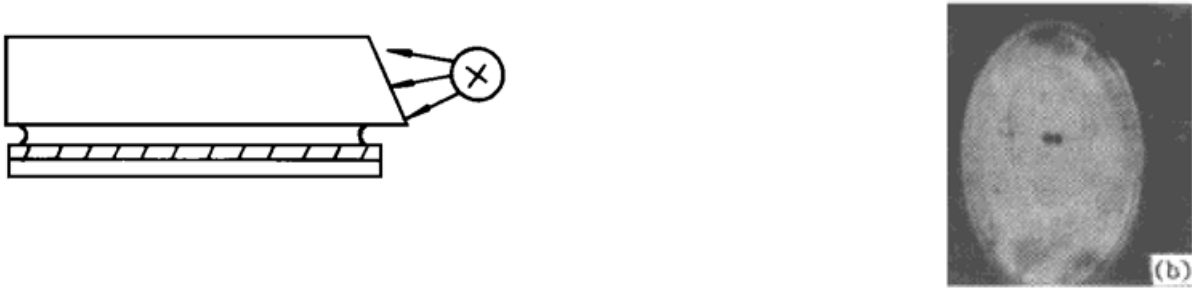


Fig. 5 Reconstruction image hologram with light bulbs

(a): arrangements; (b): a photo taken from (a)

采用成像透镜的方式记录透射式像面边缘全息片, 有望在仪表面版显示领域得到应用; 同样也可采用傅里叶变换光路获得像位于无穷远的边缘照明全息片, 这种全息片, 可望作成飞机驾驶员平视显示器和各种智能玻璃。

4 结 论

通过对文献报道的几种边缘照明全息术方案的比较、分析和实验研究, 作者认为在作边缘全息照明记录时:

- 1) 通过单模光纤引入参考光是理论上最佳而实施难度极大的技术途径;
- 2) 用厚玻璃块引入参考光照射感光胶膜易于实现, 但难于制作内应力极小的面积大且厚的玻璃块;
- 3) 使用油浸没槽可以得到高质量的全息片, 但槽液的选用受到苛刻的限制。

本文报道的采用普通全息方式制备边缘照明全息片, 用折射率匹配液粘于玻璃衬底, 以普通低压灯泡作白光再现光源, 构成平面一体化的全息片是目前为止最为简单、经济实用的开发边缘照明全息术的技术途径。在无再现光照明时, 全息版看上去为透明的玻版, 不影响透视外界景物, 接通再现光源可使全息图与视场重合, 这类全息版在工业领域可用作智能仪表面版, 在生活中可作新型的装饰物品。

参 考 文 献

- [1] Juris Upatnieks, Compact holographic sight. *Proc. SPIE*, 1988, **883**: 171~ 176
- [2] Jurie Ipatnieks, Method and apparatus for recording and displaying edge-illuminated holograms. *USA Patent*, 4, 643, 515; Date of Patent Feb 17, 1987
- [3] Toshiaki Suhara, Hiroshi Nishihara, Waveguide holograms: a new approach to hologram integration. *Opt. Commun.*, 1976, **19**(3): 353~ 358
- [4] A. S. Bablumyan, V. N. Morozov, Waveguide holograms in communication, storage, and information processing system. *Proceeding of the Lebedev Physics Institute*, Academy of Science of the USSR, 1987, **185**: 248~ 260
- [5] A. Wuthrich, W. Lukosz, Holography with guide optical waves. *Appl. Phys.*, 1980, **21**(1): 55~ 64
- [6] A. Wuthrich, W. Lukosz, Holography with guide optical waves. *Appl. Phys.*, 1980, **22**(2): 161~

170

- [7] Q. Huang, H. J. Caufield, Waveguide Holography and its applications. *Proc. SPIE*, 1991, **1461** : 303 ~ 312
- [8] Juris Upatnieks, Compact hologram display and method of making compact hologram. *USA Patent*, 5, 151, 800; Date of Patent Sep 29, 1992
- [9] Juris Upatnieks, Compact head-up display. *USA Patent*, 4, 711, 512; Date of Patent Dec 8, 1987
- [10] Michael Metz, Edge-lit holography strives for market acceptance. *Laser Focus World*, May, 1994 : 159~ 163
- [11] Juris Upatnieks, Edge-illuminated hologram. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(8) : 1048~ 1052
- [12] Stephen A. Benton, S. M. Birner, A. Shirakusa, Edge-lit rainbow holograms. *Proc. SPIE*, 1990, **1212** : 149~ 157

A New Approach to Edge-Lit Hologram

Chen Zheng Zhai Dahai Zheng Bing

(*Department of Opto-Electronic Technology, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054*)

(Received 11 December 1995; revised 2 April 1996)

Abstract A new simple approach to get high quality edge-lit hologram is presented. This kind of hologram can be displayed even in strong environment lights and can be integrated with light bulbs into planar compact samples. This new technology is expected to have a wide applications in industry and entertainment.

Key words edge-lit hologram, total reflection, image plane hologram.