

对常见的几种模压全息母版拍摄方法的评价*

官爱玲 张文碧 钟丽云 杨齐民 熊秉衡
(云南工业大学激光研究所, 昆明, 650051)

摘要: 本文对用光刻胶作记录材料拍摄模压母版全息图片常用的几种方法作了评价介绍。指出其中以一步成象法拍摄效果最佳, 实验操作也容易, 但拍摄投资太大。一步直接法, 必须要有高分辨率, 高对比度和低噪声的二维模板, 否则必然导致失败。由于它对拍摄设备要求不高, 故投资较小。一步投影法的拍摄效果较差, 且拍摄对象受到不少限制, 故只有在没有条件采用其它办法的时候才用之。二步法由于母全息图的成象差问题, 以及对光能的利用率太低, 最好作为一步直接法的辅助方法。

关键词: 一步直接法 一步成象法 二步法 一步投影法

Evaluation to some making methods of embossing holographic master

Gong Ailing, Zhang Wembi, Zhong Liyun, Yang Qimin, Xiong Bingheng
(Institute of Laser, Yunnan Polytechnic University, Kunming, 650051)

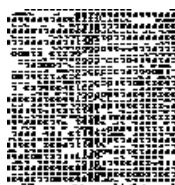
Abstract: This paper compared several methods of making the photoresist embossing holographic master and gave out the evaluation. The one-step imaging process provide the functions of the better effect and simple process, but the method needs huge investment. For one-step direct method, it is essential to have a two-dimension pattern plate with high resolution, high contrast and low noise. Otherwise than one-step imaging process, the one-step direct method needn't high quality equipments, so the investment is lower. The one-step projection method can not provide better effect and is seriously restricted by the operating condition, so the method is used only when others can not be used. Owing to the aberration of master and lower utilization ratio of light energy, the two-step method is used only as an auxiliary means of one-step direct method.

Key words: one-step direct method one-step image method two-step method one-step project method

一、用一步直接法拍摄模压全息图母版

由于模压全息的兴起, 二维物体彩虹全息图的拍摄(用光刻胶作记录材料), 受到普遍地重视和发展。但是许多实验室(或生产厂家)由于资金的限制, 没有进口功率足够大的激光器, 例

* 本项目是云南省教委基金支持项目。



作者简介: 邓罗根, 男, 1961 年 2 月出生。博士, 副研究员, 研究室副主任。主要从事激光应用和自适应光学等的研究工作。国际光学工程学会 SPIE 会员。

收稿日期: 1996-03-29

如通常只有 5W 的氩离子激光器, 其 0.4579 μm 线的输出功率, 仅为一两百毫瓦。为了减少光能的损耗, 常采用较简单的一步法拍摄, 我们把它称为直接法。

其光路如图 1 所示。把要拍摄的图案或文字, 事先用高对比度的银盐板制作成二维模板 M。拍摄时将二维模板 M 紧贴着放在记录干版 H 的前面, 物光 O 通过一柱面透镜 Z 后, 在毛玻璃 B 上形成一条状照明带(它就充当夹缝)。通过毛玻璃后的散射光, 到达记录干版 H(光刻胶), 与作为参考光 C 的平行光相干涉。这样就记录下了二维物体的彩虹全息图。

直接法拍摄的最大特点是, 对激光器的输出功率和相干长度都要求不高, 拍摄图片的视角和单色性都不错。但其衍射效率和信噪比常常很低, 甚至完全失败。我们通过显微镜对这类全息图片作了大量观察分析, 发现这完全是由于二维模板的噪声所造成的, 其理由如下。

在拍摄全息时, 设到达记录干版的物光和参考光光强为^[1]

$$I = I_0 + I_R + 2\sqrt{I_0 I_R} \cos \theta_{x,y} \quad (1)$$

设曝光时间为 t , 则曝光量为 $\Phi = \varphi_0 + \gamma M \varphi_0 \cos \theta_{x,y} \quad (2)$

$$\varphi_0 = \int (I_0 + I_R) dt \quad (3)$$

$$M = [2\sqrt{B/(1+B)}] |\gamma_{12}| \quad B = I_R/I_0 \quad (4)$$

式中, φ_0 是平均曝光量, M 为干涉条纹的反衬度, B 为参物比, $\theta_{x,y}$ 为干版上某一点 (x, y) 处的参考光和物光的相位差。

在直接法拍摄中, 如果我们制作二维模板所使用的银盐干板不是高分辨率的, 那么它本身就带有大量的粒散噪声^[2]。现在由于它紧贴在记录干版上, 所以物光和参考光所形成的干涉条纹, 将受到粒散噪声的调制, 故(2)式应改写为

$$\Phi = (\varphi_0 + \gamma M \varphi_0 \cos \theta_{x,y}) K \quad (5)$$

式中, K 的大小取决于粒散噪声的调制度大小。这种调制几乎同时包含了振幅和相位两种类型。它们几乎使干涉条纹完全遭到破坏。故所得到的全息图片必然是低衍射效率和低信噪比的, 甚至完全失败。这就像用低分辨率的普通胶卷去拍摄全息照片一样, 只会遭到失败。故在用直接法拍摄时, 制作二维模板所使用的银盐干板必需是高分辨率, 高对比度和低噪声的。目前这类高质量的干板还大多依赖进口。

二、用一步透镜成象法拍摄模压全息图母版

利用成象透镜一步法拍摄彩虹全息图是一个传统的办法^[3], 我们把它简称为透镜成象法。其拍摄光路如图 2 所示。

这时, 带有图象和文字的二维模板 M 与毛玻璃 B 重合在一起。放在远离记录干版 H 的物光路 O 上。通过成象透镜 T, 把二维图象和文字成象在记录干版 H 上。参考光 C 仍用平行光, 现在二维模板 M 中的各种颗粒(主要是银盐中的), 为毛玻璃 B 的散射颗粒所掩盖。物光 O 通过散射体到达记录干版 H 的过程, 实际上是菲涅尔衍射过程。故到达记录干版的物光是被二维图象和文字所调制的散射体的菲涅尔频谱^[4](其实, 它们就是被二维图象和文字的透

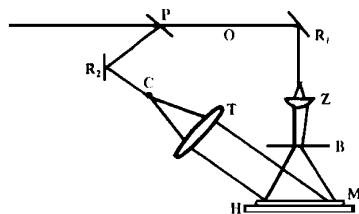


Fig. 1 The schematic of the experimental set-up on making photoresist embossing holographic master by one step direct method

镜成像,所调制的条形散斑)。它们与参考光 C 相干涉,形成全息干涉条纹。散斑既带有物体的信息,也带有噪声。这称之为散斑噪声^[5],它与前述的粒散噪声是完全不同的。散斑噪声是可以通过拍摄参数的合理选择,使其被控制在一个合理的水平之下。而模板的粒散噪声几乎完全取决于模板的质量本身。好在目前二维模板远离记录干版,所以它的粒散噪声对记录干版上的全息干涉条纹没有直接调制作用。只有记录干版本身的粒散噪声才会对全息干涉条纹有调制作用,不过所有的生产记录干版的厂家,都保证了它们的产品是高分辨率的,粒散噪声的影响是被限制在可以接受的范围之内的。

透镜成像法可以拍摄出高质量的 2D-3D 彩虹全息图,但要求要有高质量的成像透镜,所有象差基本上得于消除。还得有高的分辨率,大的孔径和短的焦距对节约光能有利,也便于拍摄光路的设计。缺点是对于这样的透镜所要的投资实在太高。

三、用一步投影法拍摄模压全息图母版

如果全息工作者一时找不到高分辨率、低噪声和高对比度的银盐板来拍摄二维模板,又没有大孔径短焦距的成像透镜,我们设计了一种拍摄方案,暂时称它为投影法。可以称之为穷人的拍摄方法。其光路如图 3 所示。

它实际上是上述两种方案的综合变通。为了避免二维模板银盐乳剂的粒散噪声,我们把二维模板 M 移到参考光路 C 上(注意!这时它上边不再加毛玻璃),平行光通过它后,把它上边的图案和文字,直接投影到记录干版 H 上。目前,信息是加在参考光上,但它仍然保持着平行光特点,故仍然可把它当作参考光。至于物光这时与直接法中完全一样,物光 O 通过一柱面透镜 Z 后,在毛玻璃 B 上形成一条状照明带(它就充当夹缝)。通过毛玻璃 B 后的散射光,到达记录干版 H (光刻胶),与作为参考光 O 的平行光相干涉,这样就记录下了二维物体的彩虹全息图。

当参考光通过二维模板上的图案时,不可避免的要受到衍射的干扰,这也是一种噪声。为了减小它,应把二维模板 M 放置在离记录干版 H 不太远的地方。所用的准直透镜 T_1 也应有一定质量要求,以确保参考光的波阵面不会有太大的畸变。所拍摄的图案和文字,应避免太细或太小的笔划,因为衍射会使它们变得模糊起来。文字最好采用黑体字,避免使用六号以下的字体,不宜使用照片作图案。

这的最大优点是对激光器的输出功率和相干长度都要求不高,又避开了二维模板银盐乳剂的粒散噪声。当然它的拍摄对象受到了很大的限制,但是它是在设备最差,投资最少的情况下,不得不采用的办法。

四、用二步法拍摄模压全息图母版

无论直接法和投影法都不能拍摄出有层次的三维立体感来,所以还得采用便利的两步

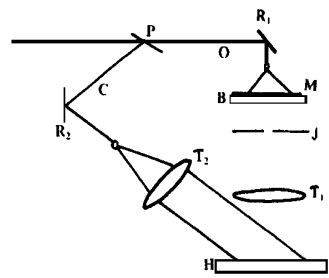


Fig. 2 The schematic of the experimental set-up on making photoresist embossing holographic master by one-step image method

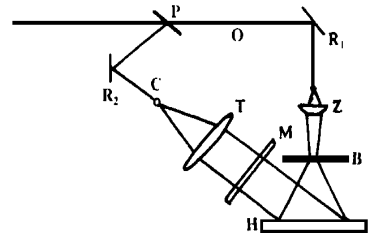


Fig. 3 The schematic of the experimental set-up on making photoresist embossing holographic master by one-step projection method

法^[6]来同它们相配合。两步法的特点是它不用大孔径、短焦距的成像透镜来成像,而是母全息图来成像。故需要用银盐板先拍摄一张二维物体(图案和文字)的普通离轴全息图,用它作为母全息图 H_1 。拍摄时用条状平行光束照射母全息图,再现二维图象到记录干版 H (光刻胶)上,这就是物光 O 。其光路如图 4 所示。柱面镜 Z_1 和 Z_2 是用来获得条状平行光束的。

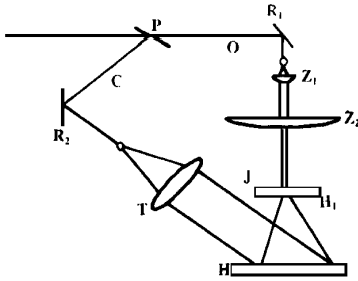


Fig. 4 The schematic of the experimental set-up on making photoresist embossing holographic master by two-step method

实际拍摄时,由于要照顾到全息图片的观察视角^[7],母全息图 H_1 到记录干版 H 的距离都不太远,这时母全息图成像的象差是比较大的。故全息图片的边缘地区出现畸变,某些细节也将模糊。所以它的成像质量不如高质量成像透镜的好。

此外二步法还有两个缺点:一是拍摄时它的光能利用率太低,这是因为母全息图的衍射效率不可能作得很高,还需要条形平行光束照明母全息图,在没有大口径柱面镜的情况下,光能浪费很大。其二是母全息图在记录干版上成像的光强分布不均匀。这可以用空间滤波器来补救^[8],但这是以牺牲光强为代价的。这对二步法来说,似乎有点雪上加霜了。

五、结 语

总的说来,在投资许可的情况下,采取透镜成像法为最佳,所得全息图片的图案清晰无畸变,高衍射效率,高信噪比和较大的观察视角,单色性和分色也较易得到保证。

如果条件不允许,在有高分辨率、高对比度和低噪声二维模板的情况下,可以采用直接法。可以保证版面图案有足够的清晰度和基本无畸变,也可作到高衍射效率、高信噪比和较大的观察视角,单色性也不错和分色实际作起来困难较大一些。分层次可以辅之以二步法,但其效果就远不如透镜成像法了。如果缩小拍摄版面,采用电铸拼版的办法,来电铸模压片(Shime),情况会更好一些。

在条件最差的情况下,不得不采用投影法,成像质量远不如前两种情况,而且拍摄对象也受到较大的限制。分层次可以辅之以二步法,但其效果就远不如透镜成像法了。

参 考 文 献

- 1 钟丽云,张文碧,宫爱玲 *et al.* 激光技术, 1996; 20(6): 342~ 345
- 2 史密斯 H M. 全息记录材料. 北京: 科学出版社, 1984: 23
- 3 于美文. 光学全息. 北京: 北京教育出版社, 1995: 122
- 4 杨齐民,张文碧,钟丽云 *et al.* 光电子·激光, 1996; (2): 89
- 5 张文碧,杨齐民,钟丽云 *et al.* 激光杂志, 1996; 17(2): 62~ 65
- 6 于美文. 光学全息及信息处理. 北京: 国防工业出版社, 1988: 158
- 7 张文碧,杨齐民,钟丽云 *et al.* 激光技术, 1994; 18(5): 26
- 8 张静方. 光学技术, 1995; (2): 2

* * *

作者简介: 宫爱玲,女,1965 年 5 月出生。讲师。主要从事激光技术、激光全息、光电检测、统计物理的科研和物理教学工作。

收稿日期: 1996-02-05

收到修改稿日期: 1996-09-28