

用光刻胶作记录材料的全息图象拍摄*

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

摘要: 光刻胶常用作模压全息母版拍摄的记录材料。本文在叙述了它本身和模压工艺的特点后, 指出要拍摄出质量好的光刻胶母版应当注意到的问题。诸如拍摄参数的选择应同时考虑到衍射效率和信噪比, 照明的均匀性问题, 必须用逆共轭光再现的问题, 以及消偏振, 相干长度, 外界振动对拍摄的影响问题。最后分析说明拍摄的主要矛盾在于, 只有用相干性好的大功率激光束, 才能提高拍摄的信噪比, 获得高质量的全息图片。本文是在大量的实验和检测的基础上写成的。

关键词: 逆共轭光再现 光栅刻蚀深度的均匀化 提高信噪比

How to take holograms by use of photoresist as recording materials

Zhong Liyun, Zhang Wenbi, Gong Ailing, Yang Qimin, Xiong Binghen
(Institute of Laser, Yunnan Polytechnic University)

Abstract: The photoresist is used as recording materials to take the master of embossing hologram. This paper gives some illustration about embossing holograms and points out how to take good photoresist master including the choice of taking parameters with high diffraction efficiency and signal to noise ratio, the well distribution of illumination light, the reconstruction of inverse conjugate light, eliminating polarization, coherent length and the influence of external vibration. This paper also presents the higher power laser with good coherence is the key to gain good quality hologram. This paper is written by a lot of experiments and inspecting.

Key words: reconstruction of inverse conjugate light well distribution of etching depth of grating signal to noise ratio

一、引言

由于光刻胶所记录的全息干涉条纹是浮雕型相位光栅。所以它被用来作为模压全息的母版拍摄。就材料本身来讲, 它的灵敏度低, 分辨率不高。而且用稀碱溶液显影的过程, 仅只是一种刻蚀作用, 曝光的地方比没有曝过光的地方, 腐蚀得更利害一些罢了。这里没有银盐版显影时的那种通过化学反应加速银粒子还原的作用。若用银盐记录材料的术语来说, 它是一种对比度低, 而灰雾度高的材料^[1]。正是由于这些特点, 使拍摄带来大量困难。但目前还未找到其它更好的浮雕型相位记录材料。

就模压全息来讲, 拍好的光刻胶版, 还得经电铸, 模压工艺得到最后产品 PET 的模压片。在此过程中光栅刻蚀深度的转移是非线性的, 即深度浅的地方, 最后结果将更浅, 甚至丢失^[2]。这告诉我们在模压全息母版的拍摄中, 应高度重视相位光栅刻蚀深度的均匀化问题。

目前模压全息主要被用于生产全息防伪标志。在拍摄的每一版上记录着大量相同的图案。我们要求最后的产品应当做到, 所有图案标志个个质量都相同。否则失去了防伪的意义。

* 云南省教委基金资助。

就拍摄质量来讲,我们希望全息图片有高的亮度,大的观察视角,高信噪比,单色性好。要作到以上几点,除了选择好拍摄参数外,还有许多问题需要注意。我们在大量拍摄,电铸,模压的工艺基础上,并作了大量检测,写出本文。

二、拍摄时物光和参考光的均匀性问题

在拍摄全息标记时,要保证每一个标志的质量个个相同。那么就得做到物光和参考光在整个版面上,都必须非常均匀。由于激光束是高斯光束,其分布是中间强,边缘弱,加之物光都加有狭缝,故在拍摄大尺寸干版时,必然加剧了这种中间强,边缘弱的分布趋势。我们采取的补救措施是用短焦距透镜做发散镜,并选用小直径针孔滤波(例如: $\times 40$ 倍显微物镜做扩束镜, $110\mu\text{m}$ 针孔滤波)。并适当衰减光束中部的的光强。当然,也有其它改变光束分布的办法,甚至可以加强干版边缘的光强^[3]。

拍摄时物光和参考光的夹角,应在 $30^\circ \sim 35^\circ$ 之间,使其空间频率不要超过光刻胶的鉴别率所允许的空间频率。

三、再现光对观察视角,亮度和单色性的影响

对于模压全息图片,我们必须记住,它的最终产品是 PET 模压片。观察时我们是看它的反射光一级衍射象。再现光必须是参考光的逆共轭光,才能保证狭缝的实象刚好出现在全息图片的正前面,以方便观察者观察^[4]。这时就好象通过一个狭缝去看整个亮的图片,所以视角大。又因为狭缝实象是会聚光形成的,故其亮度高,如附图 a 所示。

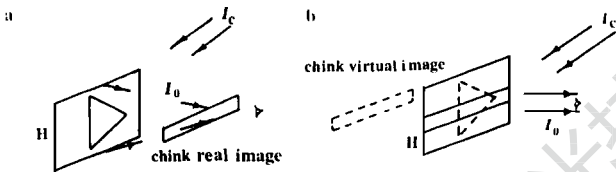


Fig. a—when reconstructing, the real image of narrow chink appears in front of PET
b—when reconstructing, the virtual image of narrow chink appears behind PET

由于不同颜色的光形成不同的狭缝,通过该狭缝只能看到该颜色的图象,故单色性好^[5]。如果拍摄时光路没有选择好,再现光成了参考光,这时狭缝象以虚象形式出现在 PET 的正后面。这时只有被狭缝照亮的图象才能

被看到,故其观察视角特别小(这是因为狭缝虚象是平面的,这与三维物体的虚象不同)。再由于虚象是发散光,故观察到的图象,亮度低,单色性差。如附图 b 所示。

光刻胶作为记录材料来讲,它是一种低对比度,高“灰雾度”的记录材料。不过它的线性期还比较长,即宽容度较大。但仍需掌握好曝光量,以免发生过调制或过曝光。所谓过调制,指的是光栅刻蚀深度太深,使得相位调制度太大(即 $\theta > 1.85$),造成光栅一级衍射效率 $|J_1(\theta)|^2$ 超过了最大值,反而下降的情况。所谓过曝光是指曝光量太大,而进入曝光曲线的非线性区,严重时甚至将光刻胶烧坏。表现为光刻胶翻白色,失去了茶黄色。在拍摄散射物体时,由于散斑的存在,常采用高的参物比^[6]。只要选择好参数,过调制的可能性不大,但过曝光是可能存在的。

由于物光都加有狭缝,故在干版上记录的是它的菲涅尔谱,即条形散斑。散斑的光强分布是高度不均匀的。记录是采取物光和参考光干涉的办法。故只要采取高的参物比,就可以淡化这种不均匀性。这对模压全息很重要,若不事先淡化这种不均匀性,在后续的电铸和模压工

艺过程中,将会进一步扩大这种不均匀性。

通过大量实验,我们观察到在参物比较小时,全息模压片的衍射效率和信噪比都低。模压时使用的温度和压力都较大,模压用的镍版使用寿命短。在显微镜下观察到的条形散斑稀少,干涉条纹仅在条形散斑中能观察到。随着参物比的增加,条形散斑逐渐加密,最后连成一片,干涉条纹清晰可见,全息模压片的衍射效率和信噪比都随之增大。模压时温度和压力降低,模压镍版寿命增长。当参物比再增加时,全息模压片的衍射效率降低,但信噪比会更高,条形散斑已不明显,但干涉条纹很清楚,模压时的情况也很好。若再进一步提高参物比,衍射效率和信噪比都将下降,走向反面。

在参物比增加时,要随着增加曝光量,一般情况下只有增加曝光时间,这就增加了对全息系统的稳定性要求。这在很多情况下是越来越困难的。上述表明在光刻胶拍摄时,参物比和曝光量的选择是至关重要的。而对它的显影过程是没有更多的潜力可挖。

五、消偏振,时间相干性和防振要求

光刻胶的平均刻蚀深度和相位最大刻蚀深度(指振幅)分别为

$$\begin{aligned} h_0 &= \gamma \varphi_0 \\ h_1 &= \gamma M \varphi_0 - \Delta h \end{aligned} \quad (1)$$

式中, γ 为曝光特性曲线线性区的斜率, Δh 为没有曝光,仅由于显影作用而引起的刻蚀深度。

$$\varphi_0 = \int (I_O + I_R) dt \quad (2)$$

是平均曝光量。

$$M = 2 \sqrt{B/(1+B)} |\gamma_{12}| \alpha^\beta, \quad B = I_O/I_R \quad (3)$$

M 是干涉条纹反衬度, B 就是参物比, $|\gamma_{12}|$ 称为归一化相干系数。在保证空间相干性的情况下,物光和参考光等光程时它等于 1,光程差超过激光器的相干长度时为零,其它情况取中间值。 α 与物光和参考光的偏振情况有关,当两个都是偏振光,且偏振方向相同时 α 为 1,方向垂直时 α 为 0。在消偏振的情况下取中间值。

由(3)式看出,在拍摄散射物体时,由于采用高的参物比,已经降低了干涉条纹反衬度,所以我们不希望再出现时间相干性的降低和消偏振的情况。这将导致干涉条纹反衬度的进一步降低,进而使衍射效率降低。

故在拍摄光路中,应尽量避免使用消偏振的光学元件。许多高分子材料都可能是消偏振的,应尽量避免使用。还应使物光和参考光尽可能做到等光程。遗憾的是在拍摄版面较大时,很难做到此点,特别是边缘地区。在激光器相干长度不够时,这些地区由于干涉条纹反衬度降低,逐渐发暗甚至变黑。

当我们用分束镜把激光束分为物光和参考光后,两束光在相遇前,它们的相位遭受到任何随机相位调制(例如:平台的随机振动,空气的随机流动,温度变化等),都会造成干涉条纹的随机移动。干版在记录干涉信息时,是对光强的时间积分,所以记录时间越短,这种噪声干扰就越小。但在用光刻胶作记录材料,拍摄大版面的散射物体的彩虹全息图时,这种噪声干扰就严重了。所以干涉条纹的漂移应限制在多大范围内恰当,应视实际情况而定。

随机相位漂移总是存在的,对它的影响我们建议可以给出如下定量的评价。在(3)式中再乘上一个因子 β ,在条纹绝对不漂移时 β 为 1,其它情况下 β 小于 1,实际上它与物光和参考光

的互相关系数有关。

在用一步法拍摄时,常使用模板把图案转移到光刻胶上,对模板质量必须有较高的要求,否则由于它的噪声将会带来灾难性的后果,关于此点,我们另行专门讨论。

六、激光器的输出功率是主要矛盾

从上面的讨论中,不难发现在用光刻胶作拍摄记录材料,拍摄大版面的散射物体的彩虹全息图时,在拍摄的每一步过程中,不可避免的都会引入各种干扰噪声,严重时将会使信息(图象)干扰到无法接受的地步。为了提高信噪比,在拍摄光路和方法的选择上,不得不丢失大量的光能。所以最后的矛盾被集中到激光器的输出功率上。没有大功率和相干长度较长的激光器,要拍摄出高质量模压全息图片,是非常困难的,甚至是不可能的。

当然,在拍摄的方法和光路的选择上,都应认真考虑如何提高信噪比,也会取得一定结果。但是光能利用效率的降低,又会导致曝光时间的增长,使得外界振动引起的干扰变得严重起来。若采用条纹稳定器会得到一定程度的改善。但是激光器的相干长度也会随曝光时间的增长而变坏^[7],最后导致衍射效率和信噪比都同时下降。所以在激光功率太弱时,仅依靠单纯的增加曝光时间是得不到好的拍摄效果的。当然,可以采取把大版面分为几个小的,然后再逐一拍摄的办法。但终因不方便,效果有限,并要引入新的贵重设备,也很难推广。最遗憾的是许多高信噪比的拍摄方法,在激光功率弱的情况下,就无法使用^[8]。

还应当注意到,光刻胶的灵敏度与温度有关,温度高时灵敏度较高,可以在拍摄前用加温的办法来提高它的灵敏度。若拍摄时间长,应建立恒温室。但遗憾的是当空调机开动时,室内的空气流动,造成对干涉条纹的严重干扰,使得无法进行全息拍摄。只有等空调机停止运行,室内温度平衡建立起来后,再进行拍摄。时间长了温度又会下降。

总而言之,这种全息图片的拍摄或制作,与微弱物理量的测量有相似之处。问题的关键在于如何战胜噪声,提高信噪比,获得高质量的信息(图象)。当然,我们也可以丢掉传统的全息拍摄方法,利用计算机控制一台小型氦镭激光器,逐点扫描的进行刻蚀。这里所说的“点”,实际上是一个不同颜色(空间频率不同)的元光栅。用这些元光栅可以组成我们所需要的任何图案和文字,这就是新一代的印刷全息图片,在国外已经出现,但只仅仅是开始,新的方法还会被发展起来。

参 考 文 献

- 1 史密斯 H M. 全息记录材料. 北京: 科学出版社, 1984: 269
- 2 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 模压全息衍射效率分析. 光子学报, 1996: 2(7), (1996年7月刊出)
- 3 张静芳. 光学技术, 1995: (2): 2
- 4 于美文. 光学全息及信息处理. 北京: 国防工业出版社, 1984: 67
- 5 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 激光技术, 1994: 18(5): 264
- 6 杨齐民, 张文碧, 钟丽云 *et al.* 光电子·激光, 1996: 7(2): 89
- 7 杨齐民, 张文碧, 吕晓旭 *et al.* 激光杂志, 1994: 15(2): 49
- 8 于美文. 光全息术. 北京: 北京教育出版社, 1995: 116

* * *

作者简介: 钟丽云, 女, 1968年2月出生。硕士, 副教授。主要从事激光技术、激光光谱、激光全息和光电检测方面的科研工作。