

## 显示全息图像的噪声和衍射效率\*

钟丽云 杨齐民 张文碧

(昆明理工大学激光研究所, 昆明, 650051)

**摘要:** 较全面地讨论了全息噪声产生的各种来源和抑制办法。指出在拍摄全息时, 一般总希望提高衍射效率。但应依据拍摄对象来选择参物比, 以求得总的衍射效率和整体效果最佳。在考虑到外部环境的影响时, 拍摄时间不宜过长。在一定的条件下, 为了获得最佳的效果, 存在着一个最佳曝光时间的问题。还报道了在电镜观察下, 记录材料的分辨率不够时, 干涉条纹的信息将破坏, 并讨论了与此有关的问题。

**关键词:** 噪声来源 衍射效率 最佳曝光时间 分辨率

### The noise and diffraction efficiency of display hologram

Zhong Liyun, Yang Qimin, Zhang Wenbi

(Institute of Laser, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650051)

**Abstract:** The origins of various holographic noises and methods for restricting noises are discussed in the paper. While making hologram, the contrast of interference fringes is supposed to be increased in order to increase the diffraction. In order to obtain optimum diffraction efficiency and whole result, the ration of reference light and object light is chosen different with objects. In consideration of external environment, the exposure time should not be too long. In a certain condition, there is an optimum exposure time. Under the observation of electronic micrograph, it is shown that the information of interference fringes will be destroyed if the resolution of the recording materials is not high enough. Finally, some related problems are discussed.

**Key words:** the origin of noises diffraction efficiency optical exposure time resolution

## 引 言

一张好的显示全息图片, 其再现图像不但要衍射效率高, 而且也需要有高的信噪比。要控制噪声, 必须要知道它产生的根源。我们从拍摄到再现的各过程, 来分析噪声产生的各种机理。同样, 要提高衍射效率必须知道影响它的主要因素, 在一定条件下, 许多因素是互相制约的, 所以, 只能寻求总体效果最佳, 而不能追求某一单纯指标最高。我们将从理论到实践对上述问题进行讨论。

### 1 记录材料本身的噪声

把一银盐干版, 经过曝光和化学处理(显影、定影和漂白)后, 再用一细激光束来照射它, 这时的银盐干版相当于一个具有一定浓度和颗粒大小的散射物体(颗粒大小与干版性质, 曝光量和化学处理过程有关)。在干版后距离为  $l_0$  处放一观察屏, 用

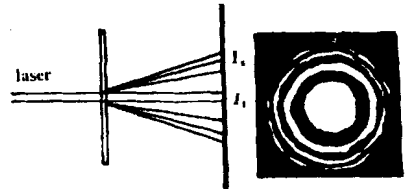


Fig. 1 The noise of a holographic plate

\* 云南省教委基金资助。

它来观察透过干版后的光强,如图1所示。

穿过干版后的光强有两部分,一是透射光在屏上看到的就是激光束的光斑,其次是散射光,表现为环绕透射光斑的光晕,光晕常出现有规则的分布。这种散射可以看做是无规则分布的无数多个小颗粒的衍射光分布<sup>[1]</sup>,颗粒的尺寸很小时,可以把它们看作圆形的,此时衍射光的光强分布与单个圆形颗粒的衍射光分布相同,其中心圆盘的直径  $d$  与颗粒的平均尺寸  $d_s$ ,

$$d \approx 1.22 \lambda d_s \quad (1)$$

而其光强与颗粒总数成正比。

另外,在衍射光场中还分布着散斑,散斑的平均尺寸  $D$  为<sup>[2]</sup>:  $D \approx 1.22 \lambda D_s$  (2) 式中,  $D_s$  为干版上被光束照射的尺寸。显然,用宽光束照射比用细光束照射时的散斑尺寸要小得多。在散斑尺寸较小时,肉眼不易观察到,看起来只是光场的亮度有所减弱而已。

当用激光再现全息图片时,上述散射光盘和散斑都将对再现像进行干扰,它们就是记录材料本身带来的不可避免的噪声(当用白光再现时,散射光依然存在,但散斑消失)。在用激光再现时这种噪声较为明显,就好像在全息像上蒙了一层纱一样。特别是在曝光过强时蒙纱感更严重。化学处理过后干版的透射率,对全息的某些应用(例如全息元件)也极为重要。

此外,记录材料本身的透过率和折射率的不均匀,将对再现光的振幅和相位产生调制,因而带来噪声。这在某些低质量的记录材料,例如,低质量的模压塑料薄膜 PZT 就常可见到。

## 2 物光和参考光带来的噪声

物光和参考光,在其光路上常会遇上一些小灰尘或其它缺陷,因而被衍射形成圆环或其它衍射花样。其中以参考光的影响最为严重,通常采用低通滤波(针孔滤波)器来消除它们。

此外,在物光和参考光的光路上,常常插入各种通光的光学元件,它们常有前后两个反射面,由于没有镀增透膜,故光束会因先后界面的反射而形成重影,在有曲面镜的情况下,还会被放大,或被聚焦为一个光斑。

抑制这类噪声的方法,是要注意光学元件的放置方法。模板的乳胶面(即有图案的一面),应正对记录材料,毛玻璃的毛面要正对记录材料面。平凸透镜(无增透膜的),其凸面也应正对记录材料面。从记录干版向物光光源方向看去,在毛玻璃以后的(即更靠近物光源)的光学元件,可以不考虑这些影响。

记录干版前后两平面的不平整度会引出木纹噪声<sup>[3]</sup>,也可归于这一类噪声,抑制办法可在记录干版背面涂防晕层来解决,在拍体积反射全息时可利用偏振的特殊光路来解决。

当再现时没有严格采用参考光或它的逆共轭光再现时,将会出现波像差<sup>[4]</sup>。严格说来这是再现时的波形畸变所引起的,也可归结为一种噪声。这在两步法拍摄时,常常会遇到。抑制办法就是在设计拍摄光路时,必需做到用参考光的逆共轭光做母全息图的再现光。

在拍摄散射物体的全息图时,物光本身就是一个散斑场,被记录在全息干版上。它就是物体全方位的信息,再现时,它将再现物体的图像。我们常常需要通过干版去观察或拍摄再现的全息像。这时干版上的散斑场会像一层细纱一样,挡在再现像的前面,至少也是减低了像的亮度。其影响在全息干涉计量中表现得特别明显。

## 3 非线性噪声

在全息拍摄时由于曝光量或化学处理不当,进入曝光曲线的非线性区,得到非线性光

栅,再现时将会出现高级衍射,高级衍射的再现像是靠各衍射级光束的传播方向不同,来分离开的(空间方向滤波)。但相位调制的滤波总是不彻底的,特别是在全息光栅的空间频率不高时,将会出现高级再现像的干扰,这就是非线性噪声<sup>[5]</sup>。其实,所有的相位光栅都会出现高级衍射,也就是它们都存在着非线性噪声干扰的可能性。

#### 4 干涉条纹反衬度与衍射效率

全息干涉条纹的反衬度通常写为<sup>[6]</sup> 
$$M = 2\sqrt{B} | \gamma_{12} | \alpha / (1 + B) \quad (3)$$

式中,  $B$  为参物比,  $| \gamma_{12} |$  称为规一化时间相关系数。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 0,其它情况取中间值。 $\alpha$  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  $\alpha$  为 1,方向垂直时  $\alpha$  为 0。在消偏振的情况下取中间值。

通常情况下,我们希望获得高的条纹反衬度,这常常对应着大的调制度,也意味着可能获得高的衍射效率。由(3)式看出,当  $B = 1$  时条纹反衬度最高。在物光和参考光都是平面波和球面波(有理想波阵面),而且光强分布均匀时才能达到。否则只能选择  $B$  略高于 1,以求得图像整体的衍射效率和综合效果最佳。

在拍摄散射物体时,物光本身就是一个散斑场,它与参考光相干涉后,每一个散斑都形成一张基元全息图<sup>[7]</sup>。由于散斑的光强分布具有高度的不均匀性,不得不采用更高的参物比,以求得图像整体的衍射效率高和综合效果最佳。这就使得散射物体的全息图片的衍射效率,在最佳的情况下,也总是低于全息光栅的。

拍摄全息图时,大多使用线偏振的激光束,故在拍摄光路中,应尽量避免使用消偏振的光学元件,使干涉条纹反衬度降低,而降低衍射效率。许多高分子材料和纸都可能是消偏振的,应尽量避免使用。在拍摄全息时,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,这些地区由于调制度降低,而逐渐发暗甚至变黑。

此外,由于外界温度或其它因素的变化,会导致激光器腔长的变化,使得激光束的频率发生漂移。造成频谱增宽,时间相干性下降。在拍摄光路不是等光程的情况下,将导致条纹反衬度的进一步降低。而且这种时间相干性下降是与时间成正比的(类似于随机行走),即拍摄时间越长时间相干性下降也越严重。因而长时间的曝光,未见得就能提高衍射效率,这提醒我们注意:在一定的条件下,为了获得最佳的效果,存在着一个最佳曝光时间的问题。

#### 5 外界振动对衍射效率的影响

全息拍摄光路中的物光和参考光,相当于双光束干涉光路,故只要任何一路的光程有所变化,就会造成干涉条纹的移动,而导致全息图片的衍射效率下降,严重时使拍摄完全失败。所以,减低外界振动对全息拍摄的影响是至关重要的。

外界振动就好像在全息光路中,加上了一个周期性的相位调制,表现为干涉条纹的来回移动,拍摄一定时间后,就相当于记录了无数多张全息图叠加在一起,也就是时间平均全息。故在用参考光再现时,其原始像的光强分布还应受到下述振动光强分布的调制<sup>[8]</sup>。计算表明,当平均振幅达  $1/8$  波长时,衍射效率下降到没有振动时的 0.7257。平均振幅达  $0.3827 \lambda$  时,衍射效率下降至 0,也就是出现暗区。所以,为确保全息再现像的衍射效率不受太大的影响,

被拍摄物体上任意一点的振幅必需限制在  $1/8$  波长之内。若能将振幅限制在更小的范围内,再现像的衍射效率将会更高。所以,在全息拍摄时采取恰当的减振措施非常必要。

由于这种影响是与时间的平均有关,故曝光时间越长,影响也就越大。延长曝光时间未见得能提高衍射效率。这和前边的讨论一样,在一定条件下,为了获得最佳的衍射效率,存在着一个最佳曝光时间的问题。在选择拍摄参数时,要综合全面的考虑问题,特别是在拍摄条件较差时。只要取得该条件下的最佳效果,也就达到目的了,不可盲目追高,而违反客观规律。

我们在实践中发现,若遇到拍摄参数以及化学处理条件都和以往相同,但衍射效率比以往特别低的情况时,首先应想到的就是外界振动的问题。这时应检查防震平台的情况或光路上各种元件及干版架的稳定情况。当再现像局部(特别是边缘)地区出现暗条纹时,则拍摄受外界振动影响的情况就更加明显了。

## 6 记录材料和模板的分辨率问题

全息记录材料的分辨率是指它所能记录的单位长度内的最大条纹数(即每毫米内多少条纹)。当所记录的条纹密度超过材料的分辨率后,全息图像的衍射效率很快下降。我们曾用电镜大量观察过分辨率不够的全息图片,发现全息图片中经曝光和化学处理后形成的颗粒较大,其大小已能和干涉条纹的间距相比较,故条纹的信息全给它们破坏掉了,造成衍射效率的严重降低。所以,我们认为这些颗粒的大小,至少要比所要记录的条纹间距小一个量级才行。这些颗粒的大小可利用细激光束的办法来测量<sup>[9]</sup>。

在拍摄二维物体的全息图片时,总是先把二维图案通过曝光,显影制作在模板上,模板是胶片和玻璃干版。拍摄全息时,直接把模板紧贴着记录干版,这时所使用的模板,必须是高分辨率,高对比度和低灰雾度的,否则将造成毁灭性的后果,因为此时模板上的全部颗粒都会转移到全息干版上,破坏全息干涉条纹的信息。这种现象也同样在电镜下被我们大量观察到。

如果模板不是紧贴着记录干版,而是远离一段距离,这时的模板和普通的散射物体没有两样,到达记录干版的物光是一个散斑场,它自身的那些颗粒不可能转移到记录干版上,就没有必要对模板的分辨率提出过高的要求。

### 参 考 文 献

- 1 弗朗松 M. 衍射光学中的相干性. 北京: 科学出版社. 1974; 42~ 43
- 2 弗朗松 M. 光学像的形成和处理. 北京: 科学出版社. 1979; 32~ 33
- 3 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 激光杂志, 1995; 16(4): 151
- 4 杨齐民, 张文碧, 钟丽云. 内蒙古工业大学学报, 1998; 17(4): 63~ 66
- 5 史密斯 H M. 全息记录材料. 北京: 科学出版社, 1984: 27
- 6 于美文. 光学全息及信息处理. 北京: 国防工业出版社. 1988: 100
- 7 张文碧, 钟丽云, 宫爱玲. 激光杂志, 1997; 18(2): 32~ 38
- 8 杨齐民, 钟丽云, 张文碧. 激光杂志, 1999; 20(3): 36
- 9 张文碧, 杨齐民, 钟丽云. 激光杂志, 1999; 20(4): 17

\*

\*

\*

作者简介: 钟丽云, 女, 1968 年出生。教授。主要从事激光全息和光电检测方面的研究工作。

收稿日期: 2000-03-22 收到修改稿日期: 2000-05-29