

# 全息照片观察视角的讨论<sup>\*</sup>

张文碧 杨齐民 钟丽云 熊秉衡

(云南工学院激光研究所, 昆明, 650051)

**摘要:** 显示全息照片的观察视角是一个重要的质量指标。我们给它一个确切的定义, 并指出它所依赖的主要参量。本文给出各类全息照象的观察视角的计算方法。还对拍摄中的一些实际问题, 进行了一定程度的探讨。

**关键词:** 观察视角 色散角 数值孔径

## Discuss on viewing angle of hologram

Zhang Winbi, Yang Jimin, Zhong Liyun, Xiong Binghen

(Institute of Laser, Yunnan Institute of Technology)

**Abstract:** Viewing angle is an important characteristic in holographic stereoscopic showing. In this paper, the precise definition of viewing angle and related parameters have been given, and some expressions for calculating the viewing angle have been obtained. Finally, discussing of some practical problems has been made.

**Key words:** viewing angle dispersion angle numerical aperture

### 一、观察视角的定义

用于全息显示的全息照片(例如离轴全息), 我们常常是利用它的+1级衍射象, 这时再现象是虚象。为了保证再现象的质量, 需使再现用的照明光尽可能与原来记录时的参考光相一致。这时照明光通过全息照片所产生的+1级衍射光, 几乎准确再现原来的物光。我们观察此再现象, 必须通过全息照片本身。如图 1 所示:  $H$  为全息照片,  $I_c$  为再现光,  $o$  为再现象的中心位置。我们定义  $\theta_{//} = \angle aob$  为物象的水平观察视角,  $\theta_{\perp} = \angle eod$  为物象的垂直观察视角,  $ab$  为全息照片的水平尺寸(长度),  $ed$  为全息照片的垂直尺寸(高度)。

显然, 按照定义全息照片尺寸越大, 物象越靠近照片, 则其观察视角也越大。严格说来, 定义仅是针对物象中心点而言的, 但可推而广之, 物象的其它点也可作类似定义。

在全息照象时, 每一个物点发出的球面波和参考光波互相干涉, 其干涉条纹被记录在全息干版上。它们可以被看作一个菲涅耳透镜, 其焦距为<sup>[1]</sup>:

\* 本项目系云南省教委基金资助。

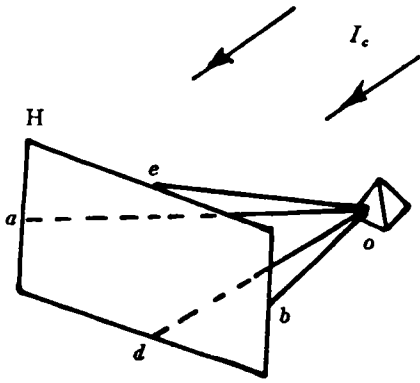


Fig. 1 Sketch of viewing angle of off-axis hologram

$$1/f' = \pm \mu(1/l_o - 1/l_r) \quad (1)$$

$$\mu = \lambda/\lambda_0$$

式中,  $\lambda_0$  和  $\lambda$  分别为参考光和再现光波长,  $l_o$  和  $l_r$  分别为物光和参考光到干版中心距离。再现物象到干版中心距离  $l_r$ , 再现光到干版距离  $l_c$  和  $f'$  之间, 满足如下物象关系:

$$1/l_r = 1/l_c + 1/f' \quad (2)$$

我们定义全息照片的水平数值孔径为

$$NA_{\parallel} = D_{\parallel} / f' \quad (3)$$

垂直数值孔径为

$$NA_{\perp} = D_{\perp} / f' \quad (4)$$

$D_{\parallel}$  和  $D_{\perp}$  分别为全息照片的水平和垂直尺寸。

由(1)和(2)式可知, 当再现光和参考光相同, 且都是平行光时, 不难得到  $l_r = f'$ 。也就是说, 只要知道了  $NA_{\parallel}, NA_{\perp}$  就可以计算出  $\theta_{\parallel}, \theta_{\perp}$ 。而且数值孔径越大, 观察视角也越大。

由此得到结论, 全息照片要有大的观察视角, 必须采用大尺寸的干版并有小的焦距。小的焦距意味着尽可能地把物体靠近干版。

## 二、反射体积全息图的观察视角

由于反射体积全息图可用白光再现。故它是目前显示全息中, 被普遍应用的一种全息图片。特别是在显示要求较高的场合, 如文物、艺术品展示和贵重商品的广告中。

在拍摄时, 只要物体的反射率足够高(某些物体可采用喷玻璃微粒的办法, 来提高表面反射率), 就可以把物体紧靠着干版来进行拍摄, 如图 2 所示, 这时物光和参考光夹角很小, 且物参比不能调节。

由于物体距干版距离很小, 故再现时其观察视角很大。几乎和真实物体一样, 与干版尺寸大小也没有关系。这可由(3)和(4)式不难看出, 因为  $f'$  大小, 已接近于零了。许多小的工艺品就是这样拍摄的。

但在大多数场合, 为了有更加迷人的艺术效果和便于拍摄, 采用透镜成像的办法, 如图 3 所示。被记录的是物体的实象。应当注意的是被记录下来的, 同时还有成像透镜 L 本身。故再现时 L 也被再现于物体前面。而且只有通过 L 才能看到干版附近的物象。这时的视角取决于 L 的孔径尺寸和它到物象的距离  $l_r$ 。要观察视角大, 必须选择大孔径的成像透镜, 焦距还不能太长, 象差不能太大, 这似乎是非常困难的。虽然理论上用场镜可以增大视角, 但要找到很恰当的场镜也同样困难。故可以采用两步法, 情况会更好一些。

两步法是先拍摄一张母全息图 H' (普通离轴全息), 干板尺寸尽可能大, 物体距干版要近。然后利用 H' 的再现实象作物光, 被体积全息干版 H 所记录, 同时被记录的还有母版 H' 本身。故再现时 H' 也被再现于 H 之前。且再现物象只能通过它才能被观察到。这与用透镜成像的情况相类似。但 H' 的数值孔径容易做大, 而透镜的则难于做大, 这就是两步法的优点。如图 4 所

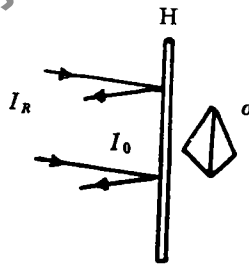


Fig. 2 Reflection holography while a object is near to the plate

示。

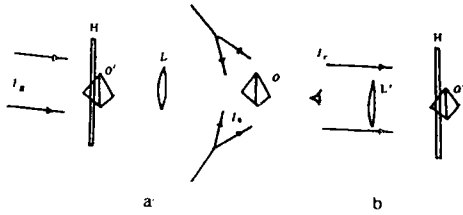


Fig. 3 Sketches of volume reflection holography with lens imaging and reshewing a—recording b—reshewing

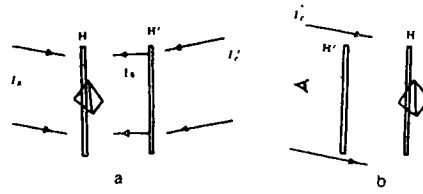


Fig. 4 Two-step volume reflection holography by using a master plate H' a—recording b—reshewing

### 三、彩虹全息图的观察视角

由于彩虹全息能够制版大量印刷,所以,它是目前显示全息中应用得最为广泛的一种。由于它已进入工业生产,故其技术发展也最快。它的拍摄方法也是采用的透镜成象和用母版成象两种方法,这和前面提到的体积反射全息有类似之处。所不同的是,在拍摄彩虹全息片时,要在透镜L或母版H'上,加上一条狭缝作光栏。故再现时仅是狭缝被再现于H的前边,而不是透镜或母版H'被再现。且再现物象只有通过狭缝才能被观察到。这是它的第一个特点<sup>[3]</sup>。

其次,反射体积全息图,用白光再现时,只有满足布拉格条件<sup>[4]</sup>

$$2\Delta\sin\theta_0 = \lambda/n_0$$

波长为 $\lambda$ 的再现光,才能通过衍射再现成象。而彩虹全息图,对所有波长的再现光波,都能再现一个物象和与它对应的一条狭缝。通过每一个狭缝,只能看到和自己同一颜色(波长)的物象。当观察方向沿y方向改变时,可通过其它颜色的狭缝看到其它颜色的物象,这就是彩虹全息的第二个特点,如图5所示。

由图5看出,彩虹全息的横向视角(x方向)由狭缝长度和狭缝到象的距离(为观察方便起见,通常设计为30cm)决定。故横向视角要大,只有使用长的狭缝。而纵向观察视角(y方向)实际是全息照片的色散角 $\angle eod$ 。它可以通过(2)和(5)式来计算<sup>[5]</sup>

$$y_I/l_I = y_c/l_c \pm \mu[(y_0/l_0) - (y_R/l_R)] \quad (5)$$

$$x_I/l_I = x_c/l_c \pm \mu[(x_0/l_0) - (x_R/l_R)] \quad (6)$$

先利用 $\lambda=0.72\mu\text{m}$ 计算出红光狭缝的位置 $y_I, l_I$ 。再利用 $\lambda=0.42\mu\text{m}$ 计算出紫光狭缝的 $l_I', y_I'$ 。由此可以进一步算出全息片的色散角。

在拍摄全息片时,我们应基本做到 $x_0=x_R=x_c=0$ (在平台上不难做到)。那么(6)式 $x_I=0$ ,故狭缝不会发生x方向的色散。这表明全息干涉条纹基本上是平行于x方向的。故再现光发生衍射色散,只可能在y方向。要色散角大,必须光栅密(即空间频率高)。这时得有大的物光和参考光夹角。空间频率可按式计算<sup>[6]</sup>

$$\nu = 2\sin(\theta/2)/\lambda$$

$\lambda$ 为参考光和物光波长, $\theta$ 为它们之间夹角。但条纹密度太大,将会超过记录材料的分辨率。而

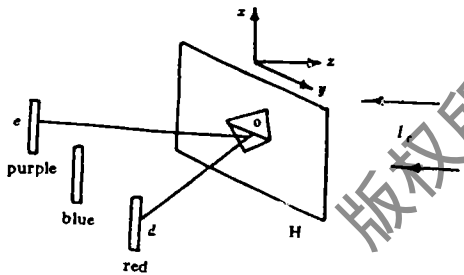


Fig. 5 Dispersion pattern of a rainbow hologram

使衍射效率降低并带来噪声。对国产光刻胶版来讲,最好不要超过  $1500\text{cy}/\text{mm}$ ,若用  $0.4579\mu\text{m}$  纸拍摄,物参夹角不得超过  $40^\circ$ 。

当使用较小的物参夹角拍摄时,为了提高纵向观察视角,可以使用两组狭缝<sup>[7]</sup>,使每一组缝的观察角相互衔接即可。这可通过事先计算再进行拍摄。

#### 四、2D 彩虹全息图的观察视角

2D 彩虹全息图指的是,拍摄对象仅是一个平面图案(包括文字)。扩大横向视角最简单的办法可以这样做,把要拍摄的平面图案,直接紧贴在记录干版上,并在物光光路上放一片贴有狭缝的毛玻璃(距干版 30cm 处)。参考光用平行光即可拍摄。如图 6 所示。这样可避免使用大口径成像透镜和大尺寸母版。

若要 2D 全息图片有大的横向观察视角,必须使用长的狭缝。但在实际拍摄中,为了有效利用拍摄激光的能量,可以用柱面镜会聚物光成条形光斑,照射在毛玻璃上来取代狭缝。为了加长光斑,可在毛玻璃两边加上两片反射镜<sup>[8]</sup>。不但起到了加长缝的作用,而且可以会聚光能,这对拍摄全息象是非常有利的。从实验结果看来,比采用条形散斑<sup>[9]</sup>和某些方法都更为有利。

目前拍摄 2D 全息图,多用光刻胶版作记录材料。这样得到的全息图都是位象全息图<sup>[10]</sup>,只要物参夹角不大,平均曝光量,物光和参考光比例恰当,掌握好化学处理过程,全息片再现时,均可出现效果还不错的二级衍射,这样就可把纵向视角大为扩张。但要避免过大的噪声和畸变,影响象质。

此外,再现光的  $-1$  级衍射(即虚实象),这时观察起来,其效果也同样不错。因为对平面物象来讲,其共轭象与物象之间是没有区别的。在图案有背景的情况下,共轭再现象的背景会浮到图案的前面来。这对观察效果,不但没有多大妨碍,反而增加了一些迷幻的感觉。在同时可以观察到  $\pm 1$  级和  $\pm 2$  级图象的情况下,纵向观察视角几乎已接近  $150^\circ$  以上了。

由于 2D 全息图大都用于全息防伪商标和小型工艺图片,它们在使用时,都可以用手执于近处观察。故笔者认为:只要保证 2D 全息片在有大的纵向视角的前题下,对横向视角不要作太大的要求。这样可以充分有效地利用激光能量,来拍摄高质量的 2D 全息图。

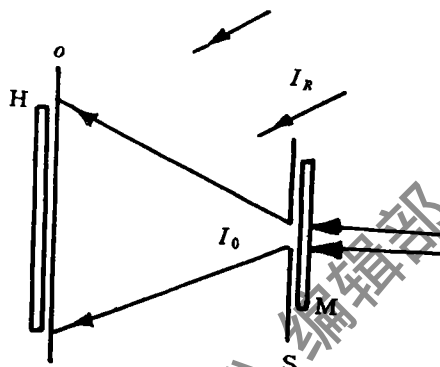


Fig. 6 A recording method of 2D rainbow hologram  
H - holographic plate o - two-dimensional-object  
(image and character) M - diffuser S - slit  $I_o$  -  
object beam  $I_r$  - reference beam

#### 参 考 文 献

- 1.5 于美文. 光学全息与信息处理. 北京: 国防工业出版社, 1988: 20
- 2 徐大雄. 实用全息摄影. 北京: 邮电学院出版社, 1989
- 3 于美文. 全息显示技术. 北京: 科学出版社, 1989: 97
- 4 王永昭. 光学全息. 北京: 机械工业出版社, 1981: 13
- 6 Smith M. 全息原理. 北京: 科学出版社, 1972: 103
- 7 谢敬辉. 光学学报, 1988, 8(5): 410~416

# 紫外波段高功率激光能量测量用 光吸收器的实验研究

王瑞华 杨 义

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

**摘要:** 研制了适合紫外波段高功率激光能量测量用的光吸收器。实验测定在  $0.19\mu\text{m}$  到  $0.35\mu\text{m}$  波长范围内响应平坦, 在  $0.248\mu\text{m}$  波长, 纳秒激光下承受  $5\text{J}/\text{cm}^2$  而不破坏。

**关键词:** 激光 能量测量 光吸收器

## Experimental research of an absorber for UV high power laser energy measurement

*Wang Ruihua, Yang Yi*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** The purpose of the article is to introduce an absorber used in measuring of UV high energy. The absorber has the features of the flat spectrum response from  $0.19\mu\text{m}$  to  $0.35\mu\text{m}$ , and the withstanding pulse energy density up to  $5\text{J}/\text{cm}^2$  at  $0.248\mu\text{m}$ .

**Key words:** laser energy measurement absorber

### 一、引 言

测量紫外波段高功率激光能量用的光吸收器, 目前国内仍为空白, 国外虽有定型产品但价格昂贵。为了满足国内紫外波段高功率激光能量测量的需要, 研制了适合紫外光用的光吸收

8 王典民. 应用激光, 1991; 11(1): 17

9 于秋芳. 中国激光, 1989; 17(12): 748,

10 考尔菲尔德 H J. 全息手册. 北京: 科学出版社, 1988; 178

\*

\*

\*

作者简介: 张文碧, 女, 1938年出生。副研究员。长期从事晶体生长, 激光技术和全息显示方面的科研工作。

收稿日期: 1993-11-15 收到修改稿日期: 1994-04-27