

全息记录介质的评价方法及特性研究

马春荣 袁宁

(北京工业学院四系)

提 要

本文在综合前人工作的基础上,提出了一套评价全息记录介质的方法。测量和研究了重铬酸盐明胶和卤化银介质的某些特性。

关键词: 全息照相术, 记录介质。

一、引 言

全息记录介质是全息技术的基础。目前,全息技术日新月异的发展大大促进了全息记录介质的开发工作。新的记录介质不断出现。但就发表的文献^[4~6],只对个别介质的个别特性有所报道。因此,建立一套能全面评价全息记录介质的方法是很有必要的。

本文所提出的评价方法,不仅适用于振幅型记录介质,而且也适用于位相型记录介质。实验说明,应用这套评价方法,不仅能对各种全息记录介质进行较全面的定量评价,还能利用它了解和掌握各种记录、处理因素对全息图光学特性的影响,并能研究和寻找最佳处理工艺。同时,这套评价方法对新全息记录介质的鉴定和其它全息光学元件的特性测量也有一定的指导意义。

二、衍射效率

光栅的衍射效率定义为:在布喇格角入射下,一级衍射光强与照明光强之比。全息光学元件的本质在于光的衍射。无论对于哪一种介质,衍射效率始终是人们所关心的问题。影响衍射效率的因素,除了介质本身固有因素外,还与介质的处理方法有直接联系。测量和研究介质的衍射效率,不仅是评价记录介质的一个重要指标,还是了解如何改进介质处理工艺的一个基本途径。

测量衍射效率仪器的基本原理是,将光束一分为二,由两个性能完全一致的光电接

受装置同时接收这两束光。调整两个放大器的电压放大倍数,使输出电压读数完全一致,如图1所示。在光路中放入被测件——例如全息光栅 H (如图1中虚线框),此时的两电压表

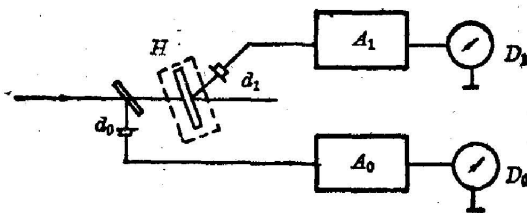


Fig. 1 Block diagram

d_0, d_1 : Photoelectric element, H : Grating,
 A_0, A_1 : Amplifier, D_0, D_1 : Voltmeter

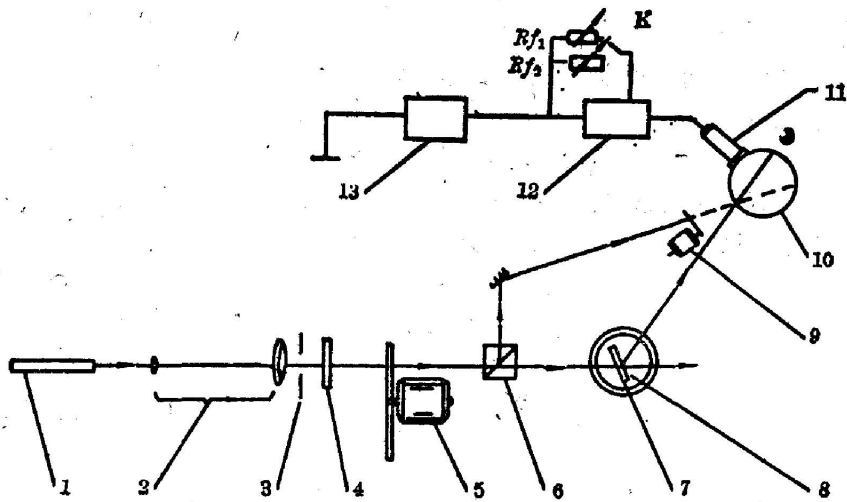


Fig. 2 Diffraction efficiency detector

- 1—Laser, 2—Spread beam system, 3—Shutter, 4—Polarizing plate, 5—Chopper, 6—Cubic prism, 7—Sample, 8—Holder, 9—Beam selected switch, 10—Integrating sphere detector, 11—Photomultiplier, 12—Alternating amplifier, 13—Voltmeter

读数之比即为全息光栅的衍射效率,即

$$\eta = (D_1/D_0), \quad (1)$$

图 2 是实际测量装置示意图。 R_{f1} , R_{f2} 是放大器的负反馈电阻,调节它的阻值可以改变放大器的电压放大倍数。拨动选择开关 K 时,光束选择开关上的直流电机两端电压极性反相。这样,同一放大器对两束光分别具有不同的放大倍数。拨动开关 K 前后电压表上读数之比即为所测衍射效率之值。

测量精度主要受光源输出功率波动的影响。如果光源光强波动系数为 $\Delta P/P$, 则测量结果的绝对误差为

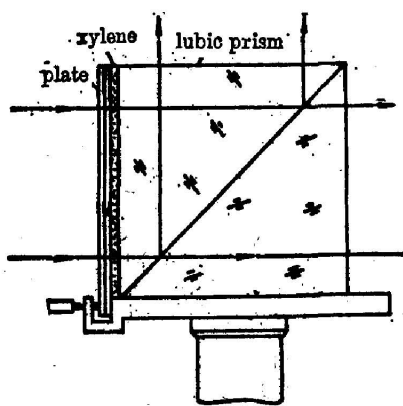


Fig. 3 Antireflecting device

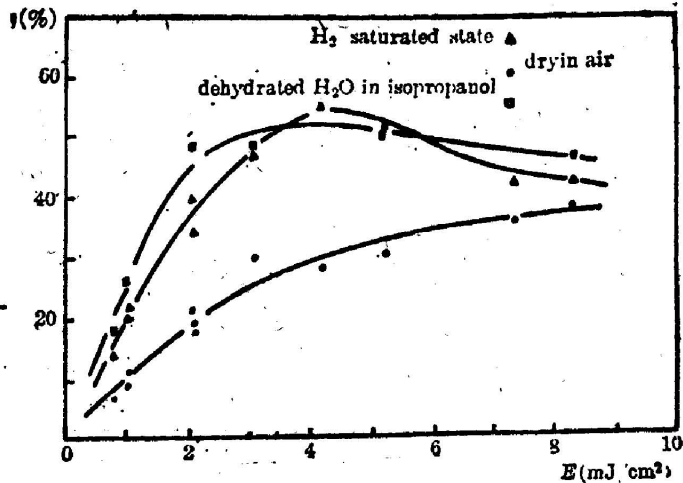


Fig. 4 $\eta \sim E$ curve for Triring GYT-I plate, ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $\xi = 1000 \text{ cyc/mm}$, $K = 1:3.7$)

$$|\Delta\eta| = \eta \cdot \frac{|\Delta P|}{P} \quad (2)$$

在实验中,通过对衍射效率进行测量和研究,证实了 N_6 显影液^[1],异丙醇脱水能提高漂白银盐介质衍射效率。

在记录光栅时,为消除反射光的影响,实验中采用了图3所示的消反光装置。图4是 Triring GYT-I 板(三环牌 I 型高衍射效率干板——天津感光胶片厂最新产品)的衍射效率测量结果。从中可以看到干板处理工艺对衍射效率的影响。

三、感光特性曲线

两束均匀光波 $O(x, y) = O_0 \exp[i\phi(x, y)]$, $R(x, y) = R_0 \exp[i\phi(x, y)]$ 干涉的光强分布为^[2]

$$I(x, y) = O_0^2 + R_0^2 + O_0 R_0 \{ \exp[i\phi(x, y)] \exp[-i\psi(x, y)] + \exp[i\psi(x, y)] \exp[-i\phi(x, y)] \}, \quad (3)$$

若记录介质线性记录,并以原参考光照明再现,则再现原始像为

$$i(x, y) = k R_0^2 O_0 \exp[i\phi(x, y)] = S V E \exp[i\phi(x, y)], \quad (4)$$

为曝光时间; $S = (k/2t)$ 为常数; $V = 2R_0 O_0 / (R_0^2 + O_0^2)$ 为干涉条纹对比度,它与光束比 k 有关; $E = (R_0^2 + O_0^2) \cdot t$ 为平均曝光量。再现像的衍射效率为

$$\eta = \frac{|i(x, y)|^2}{|R(x, y)|^2}, \quad (5)$$

则

$$\sqrt{\eta} = S \cdot V \cdot E. \quad (6)$$

(6)式所描述的是一条过坐标原点的直线。由于 V , E , $\sqrt{\eta}$ 都是实际可测的物理量,所以,通过实验手段可以给出介质的 $\sqrt{\eta} \sim E$ (V 为参数) 曲线。我们把这条曲线族定义为介质的

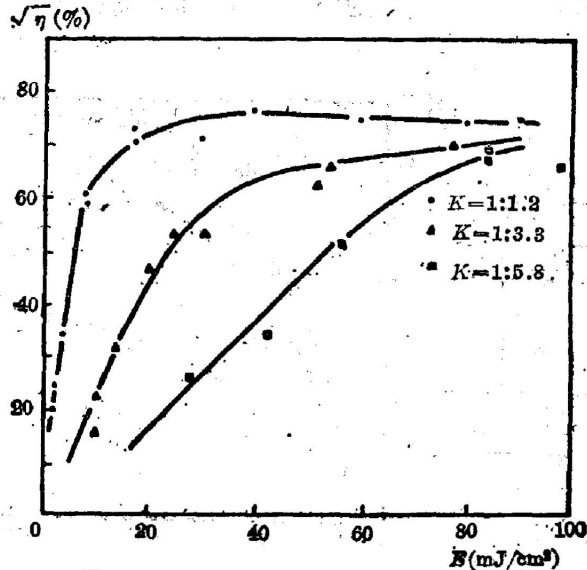


Fig. 5 $\sqrt{\eta} \sim E$ characteristics for dichromated gelatin plate.
($\lambda_1 = 4880 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 6328 \text{ \AA}$, $\xi = 1500 \text{ cyc/mm}$)

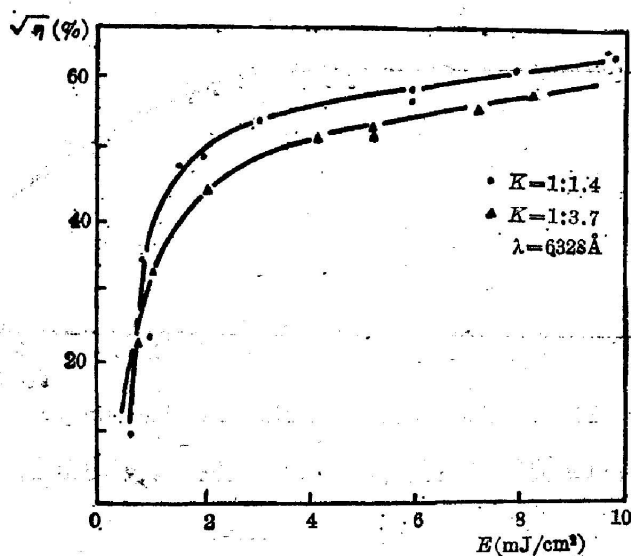


Fig. 6 $\sqrt{\eta} \sim E$ characteristics for Triring GYT-I plate ($\xi = 1000$ cyc/mm)

感光特性曲线。这一定义不考虑介质感光后的物理化学响应如何，只抓住了介质曝光量与衍射效率之间的内在联系。所以这种感光特性曲线适用于任何类型的全息记录介质和全息图。我们把 $V=1$ 时 (光束比为 1) $\sqrt{\eta} \sim E$ 曲线上升到最大值所需要的最小曝光量定义为记录介质的感光灵敏度。图 5、图 6 是重铬酸盐明胶 (由无银明胶干版敏化制成) 和卤化银介质的感光特性曲线。

四、调制传递函数

全息记录介质调制传递函数又称空间频率响应函数，它是描述介质衍射效率与条纹空间频率关系的一个物理量。我们把归化了的介质点脉冲响应的傅里叶变换定义为介质的调制传递函数。介质中的某种散射中心使光发生散射，像点被扩散成一小光斑，该处的曝光量分布即为介质的点脉冲响应。在一维情况下，线脉冲响应函数具有对称性。所以，定义式可写成

$$\text{MTF}(\xi) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} L(x) \cos 2\pi\xi x \, dx}{\int_{-\infty}^{\infty} L(x) \, dx} \quad (7)$$

式中 $L(x)$ 为线脉冲响应函数。为两束平面光波记录全息光栅时，输入曝光量为

$$E_i = (1/2) (1 + \cos 2\pi\xi x)。$$

介质感光后的有效曝光量为

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} E_i(x-t) L(t) \, dt。 \quad (8)$$

经理论推导后，光栅的衍射效率 η 与 $\text{MTF}(\xi)$ 的平方成正比，即

$$\eta \propto [\text{MTF}(\xi)]^2。 \quad (9)$$

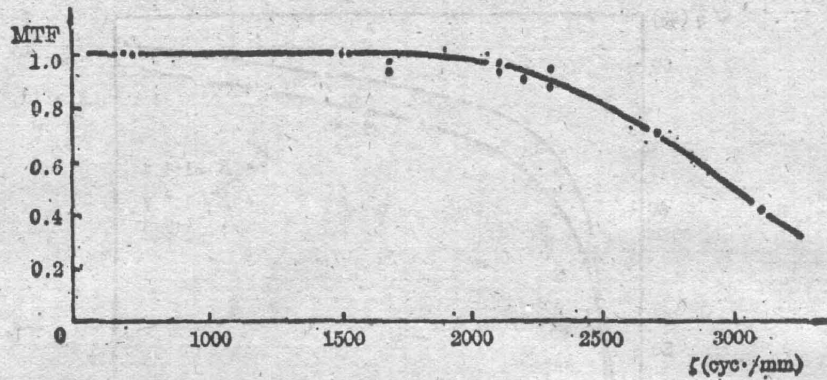


Fig. 7 $\sqrt{\eta} \sim E$ curve for dichromated gelatin plate

为获得某种介质的 MTF 曲线, 需要制做一系列不同空间频率的光栅, 并测量其衍射效率。最后令

$$\text{MTF} = \sqrt{\eta_s / \eta_M}, \quad (10)$$

式中 η_M 为低频时的 η 。然后作出相应的曲线, 并定义曲线接近零时所对应的空间频率(即 MTF 的截止频率)为介质用作透射全息元件的分辨率。图 7 是重铬酸盐明胶介质的 MTF 曲线。

全息图在再现过程中, 不可避免地伴有噪声出现。在介质正确使用条件下, 所产生的噪声一般具有随机散斑的性质。所以, 我们将全息图再现像的噪声当作随机散斑来处理。信噪比通常被定义为

$$\frac{S}{N} = \frac{I_S}{\langle I_N \rangle}, \quad (11)$$

式中 I_S 是信号光强, $\langle I_N \rangle$ 是噪声平均光强。在相干光路中, 信号光波与噪声光波具有相干性。所以, 噪声 N 定义为合成光强起伏的均方值较为合理^[3]。

$$N = \sqrt{\langle (I - \langle I \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}, \quad (12)$$

经理论推导后

$$\frac{S}{N} = \frac{\langle I_S / \langle I_N \rangle \rangle}{\sqrt{1 + (2I_S / \langle I_N \rangle)}}. \quad (13)$$

测量 (S/N) 时, 先记录一个明暗相间的多狭缝目标物。然后测量其再现实像的明暗光强之比, 得到 $\langle I_S / \langle I_N \rangle \rangle$, 再由公式 (13) 求得 (S/N) 。图 8 是天津高衍射 I 型干板在 N_6 显影液中, 显影到光密度 $D=0.4$ 时, 再由 $K_3Fe(CN)_6$ 漂白后的全息再现实像。测量结果为: $\langle I_S / \langle I_N \rangle \rangle = 25:1$, $(S/N) = 3.5:1$ 。

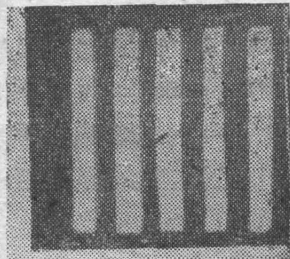


Fig. 8 Image reconstruction
($I_S / \langle I_N \rangle = 25:1$, $S/N = 3.5:1$)

五、干板膜厚及相应光栅的角度选择性

一般来说, 介质膜层较厚时, 衍射效率和角度选择性都要有所提高。但膜厚变化对角度选择性影响更大。在全息透镜 HOE 的设计中, 膜层角度选择性将决定 HOE 的视场大小。

因此,设计HOE时,要在兼顾衍射效率和视场的前提下,合理选择膜层的厚度。从这一点说,测量介质的膜厚和相应光栅的角度选择性是十分必要的。

膜厚测量采用了直接测量和间接测量两种方法。直接测量法是将剥落下来的介质膜层放在测量仪上直接测量;间接测量法是通过整个干板厚度与片基厚度之差来确定介质膜厚。

角度选择性测量是在衍射效率测量仪上进行的。测量时,旋转载物台记下不同入射角下的光栅衍射光强,并以布喇格角衍射光强进行规化处理。图9是重铬酸盐明胶干板的实际测量结果。

参 考 文 献

- [1] N. J. Phillips *et al.*; *Photographic Science and Engineering*, 1980, 24, No. 2 (Mar/Apr), 120~121.
- [2] L. H. Lin; *JOSA*, 1971, 61, No. 2 (Feb), 204~206.
- [3] R. L. Lamberts; *Applied Optics*, 1972, 11, No. 1 (Jan), 36~38.
- [4] R. J. 科利尔;《光全息学》, (机械工业出版社,北京,1983), 252~262。
- [5] M. Quintanilla *et al.*; *Applied Optics*, 1984, 23, No. 2 (Jan), 214~217.

Evaluation method and characteristics study of holographic recording materials

MA CHUNRONG AND YUAN NING
(Beijing Institute of Technology)

(Received 25 September 1985; revised 14 April 1986)

Abstract

Based on synthesizing the previous studies, a materials are suggested in this paper. Some characteristics of DCG and silver halide plate has been measured and studied.

Key Words: Holography; Holographic recording material