

卤化银明胶全息图的空间频率响应

汪国平

(武汉大学物理系, 武汉 430072)

朱建华 郭履容

(四川联合大学信息光学研究所, 成都 610064)

提要 对用国产(天津 I 型)卤化银全息干板制作明胶全息图时的空间频率响应特性进行了实验研究。当空间频率在 500~800 lines/mm 之间时, 获得了峰值衍射效率大于 70% 的明胶全息图。此外, 将通常的三步脱水法简化为一步脱水, 同样可获得高衍射效率的明胶全息图。给出了这种全息图的制作过程及实验结果, 并从微观机制上说明了一次性脱水的理由。

关键词 卤化银, 明胶全息图, 空间频率响应

1 引言

全息记录材料的空间频率响应(SFR), 是影响制作高衍射效率(DE)、低噪声全息光学元件(HOE)的重要因素。重铬酸盐明胶(DCG)在高空间频率(SF)下, 仍可达到很高的 DE, 因而是制作 HOE 的良好全息材料^[1]。但该材料通常只对蓝-绿光敏感, 灵敏度也较低($\sim 150 \text{ mJ/cm}^2$)。这就需要价格昂贵、使用寿命短的高功率 Ar^+ 激光器和稳定性良好的全息照相系统。通过光谱增感(如添加亚甲基蓝等染料)可使 DCG 的光谱响应范围扩展到红光区, 因而可用 He-Ne 激光器发出的 632.8 nm 的光记录 HOE^[2]。但制作过程复杂, 环境条件难以控制, 重复性差。同时, 感光灵敏度也进一步降低。用红敏卤化银全息干板制作明胶全息图(SHGH)则完全克服了以上缺点, 它不仅具有极高的感光灵敏度、宽的光谱相应范围, 而且同样具有 DCG 全息图的高 DE、低吸收等优点, 因而被广泛研究和应用^[3~5]。文献[6, 7]对这种 SHGH 的 SFR 进行了深入系统的研究, 但所用材料都是国外产品(Kodak 649F 干板和 Agfa 8E75 板)。本文研究对象则为国产(天津 I 型)卤化银干板, 对国内产品制作 SHGH 时的 SFR 进行研究考察, 以适应国内科研和生产的需要。

实验中, 我们还对全息图的后处理工艺进行了简化改进, 将通常的三步脱水(简称三步法)简化为一次性快速脱水(一步法)。众所周知, 脱水过程对能否获得高 DE 的明胶全息图具有决定性的作用。但三步法繁琐费时。实验表明, 一步法既简化了操作步骤, 节省了时间, 同样也可获得高 DE 的明胶全息图。本文给出了两种处理方法的比较结果, 并从全息图脱水过程的微观机制出发, 对只需一次性快速脱水的理由作出了说明。

2 实验

本文通过测量不同 SF 的非倾斜全息透射光栅的最大 DE, 来考察国产干板制作 SHGH 时

的 SFR 特性。SHGH 的记录装置如图 1 所示。由 He-Ne 激光器发出的 632.8 nm 的光经分束器 BS 分成等光强的两束光，分别经透镜 L_1, L_2 准直后，相干叠加在全息干板 H 上形成全息光栅，干板的法线方向平分二准直平行光之间的夹角 θ 。改变 θ 角，便可获得不同 SF 的 SHGH。本文中各光栅的 SF 范围选择在 300~1300 lines/mm 之间。

曝光记录后的全息光栅按表 1 中所述各步进行后处理，即显影、漂白、定影、脱水。以 He-Ne 激光器发出的光测量其最大 DE。其中 DE 定义为全息光栅的 +1 级衍射光强与 0 级和 ±1 级衍射光强之和的百分比。测量时，改变读出光入射角，以光功率计检测到的 +1 级衍射光强的最大值作为计算 DE 的测量值。

Table 1 Post-processing procedure of silver halide gelatin holograms (SHGH)

Steps	Temp. (°C)	Time (min)
1 Develop in D-19	40	2
2 Rinse in flowing water	40	0.5
3 Bleach in R-10	40	4
4 Rinse in flowing water	40	1
5 Fix in F-5	40	5
6 Wash in flowing water	40	5
7 Dehydrate in 100% isopropanol	70	1~3
7* Dehydrate in 50% isopropanol	20	3
Dehydrate in 90% isopropanol	20	3
Dehydrate in 100% isopropanol	20	3
8 Dry with heat wind		

7* This processing method is used in Ref. [7]

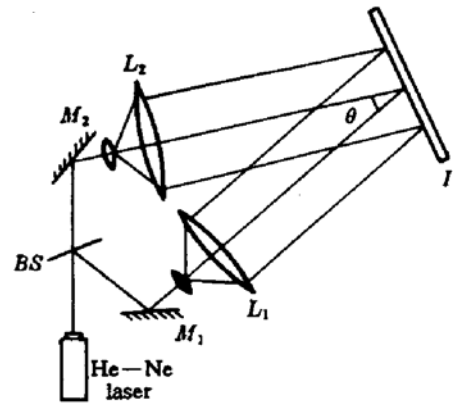


Fig. 1 Diagram of recording SHGH

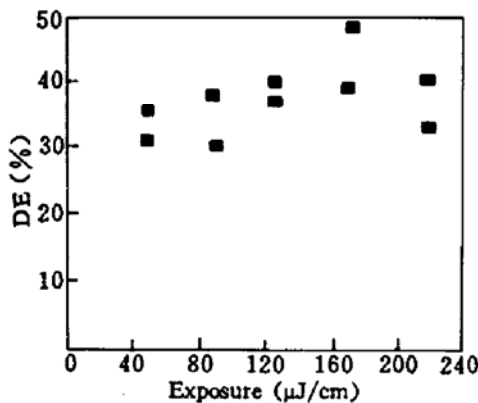


Fig. 2 Diffraction efficiency as a function of exposure for holographic transmission gratings at a spatial frequency of 300 lines/mm

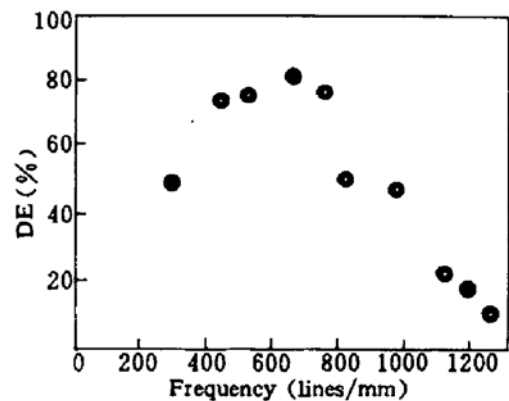


Fig. 3 Maximum diffraction efficiency as a function of spatial frequency for holographic transmission gratings

3 结果及讨论

图 2 所示为 SF 为 300 lines/mm 的 SHGH 在不同曝光量条件下的 DE 值的变化。当曝光量为 $\sim 175 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 时，DE 可得最高值 48.3%。该曝光量是用该材料记录卤化银全息图时的曝光量 $30 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ^[8] 的近 6 倍。图 3 为确定曝光量为 $175 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ，SHGH 的 SF 与 DE 之间的关系曲线。由图可见，当全息图的 SF 在 500~800 lines/mm 之间变化时，DE 可达 70% 以上。在 $\theta = 24^\circ$ ，相应的 SF 约为 657 lines/mm 时，其峰值 DE 为 82.8%。而当 θ 增大，SF 增高时，全息图的

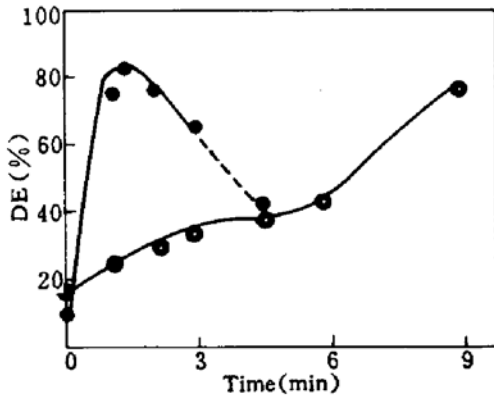


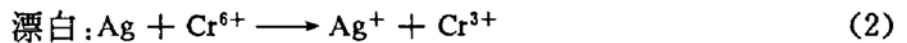
Fig. 4 DE as a function of dehydration time for holographic transmission gratings

- : dehydration in 100% isopropanol at 70°C;
- : dehydration respectively, in 50%, 90%, and 100% isopropanol at 20°C

DE 因噪声增大而下降。当 $\theta = 30^\circ$ 和 35° ，相应的 SF 为 818 和 977 lines/mm 时，全息图的 DE 分别为 50.8% 和 49.1%，全息图上出现很明显的乳白色灰雾。图 4 为 SF 为 657 lines/mm 的 SHGH 分别经三步法和一步法脱水时，其 DE 与脱水时间之间的关系比较曲线。其中，一步法为 100% 的异丙醇在 70 °C 下高温脱水，三步法为文献[7]的方法，即在 20 °C 条件下，将定影后的 SHGH 依次经 50%，90% 和 100% 的异丙醇脱水。由图可见，与三步法一样，一步法可得高 DE 的 SHGH。但和前者相比，一步法达到峰值 DE 所需时间只是三步法的五分之一左右，从而大大提高了处理速度。

顺便指出，原则上，一步法的脱水温度越高，其全息图达到脱水的效果越好。但如果温度太高，会对明胶的全息性能产生不良的影响。因此，我们实验选择了异丙醇的沸点温度(70 °C)作为一步法的脱水温度。

SHGH 在曝光记录和后处理过程中的主要化学反应过程可表示为^[3]



曝光记录时，乳剂层中的卤化银还原成金属银(Ag)形成潜象，并构成显影中心。显影后，显影中心周围的大量卤化银被还原成金属银，从而形成振幅型卤化银全息图。漂白该全息图时，漂白液中重铬酸盐所提供的六价铬离子(Cr^{6+})将曝光区中的 Ag 重新氧化成银离子(Ag^+)，并以卤化银的形式存在于乳剂层中，同时， Cr^{6+} 还原成 Cr^{3+} 。 Cr^{3+} 则与明胶长链分子上的配位基团(如羟基—OH，氨基— NH_2 等)交联结合，形成具有三维网状结构的聚合物。定影后，所有卤化银被溶解，乳剂层中便只有交联和未交联的明胶，二者形成了一定的位相(折射率和浮雕)调制，从而形成可见的 SHGH。

由于 SHGH 的形成过程是通过卤化银全息图转化成明胶全息图的，因此，影响其空间分辨能力的因素主要有两个。其一是卤化银颗粒度，其二是明胶的硬度(在乳剂层厚度确定的条件下)。一般来说，卤化银颗粒越大，全息图的分辨能力越低；反之，颗粒度越小，则分辨能力越高。因为颗粒的大小决定了曝光记录时，散射光强弱的程度。颗粒越大，散射越严重。这必然导致未曝光区部分卤化银的还原，最终导致未曝光区明胶的部分交联，从而使全息图的调制度降低，DE 下降，噪声增大，因此，分辨率降低。此外，明胶的硬度对全息图的分辨本领也会产生一定的影响，明胶越硬，分辨能力越低；反之，明胶越软，分辨能力会越高^[9]。由于实验中所用的显影液(D-19)、漂白液(R-10)和定影液(F-5)中分别含有鞣化明胶作用的硬化剂，如对苯二酚，重铬酸盐和铝钾矾等，因此，可能会使制作的 SHGH 的空间分辨本领降低。改用不含硬化剂的非鞣化显影液(如 PMMA, MAA-3)和定影液(如 F-24)^[10]等，可望使其分辨能力得到一定程度的提高。但总的来说，由于天津 I 型干板中卤化银颗粒度较大，明胶的偏置硬度也较高，因此，由此材料制作的 SHGH 的空间分辨本领不可能很高。

此外,由于水分子的不均匀作用具有破坏 Cr^{3+} 与明胶分子链之间的交联结构,改变已形成的折射率调制面的倾角,降低折射率调制度和降低全息图 DE 的作用^[11]。因此,缓慢的干燥过程不可能得到高 DE 的明胶全息图。异丙醇脱水的目的就是为了快速置换出明胶中的水分子,保证明胶中最初形成的交联结构不被破坏,获得最大的折射率调制度和最高 DE 的全息图。由此可见,与三步法相比,一步法具有两个最明显的优点:其一,异丙醇中不含(或含极微量的)水分子。因此,明胶中的水分子被置换的速度加快;其二,由于异丙醇具有较高的温度(70℃),导致了明胶中水分子和异丙醇的快速逃逸(蒸发),因而有利于达到快速脱水的目的。但由于该温度超过了明胶的溶解温度(~45℃),因此,过度的脱水会增大 JHGH 的噪声,降低全息图的 DE(见图 4)。

4 结 论

4.1 用国产(天津 I 型)卤化银全息干板制作明胶全息图时,为获得较高衍射效率和较好的全息性能,其空间频率不能太高,适于在 800 lines/mm 以下。

4.2 为快速、有效地获得高衍射效率的明胶(重铬酸盐明胶和卤化银明胶)全息图,用 100% 的异丙醇在其沸点温度(70℃)下一次性快速脱水,可获得令人满意的结果。

参 考 文 献

- 1 B. J. Chang, C. D. Leonard. Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements. *Appl. Opt.*, 1979, 18(14):2407~2417
- 2 R. Changkakoti, S. V. Pappu. Methylene blue sensitized dichromated gelatin holograms; a study of their storage life and reprocessibility. *Appl. Opt.*, 1989, 28(2):340~344
- 3 W. R. Graver, J. W. Gladden, J. W. Eastes. Phase holograms formed by silver halide (sensitized) gelatin processing. *Appl. Opt.*, 1980, 19(9):1529~1536
- 4 D. K. Angell. Improved diffraction efficiency of silver halide (sensitized) gelatin. *Appl. Opt.*, 1987, 26(21):4692~4702
- 5 P. Hariharan. Silver halide sensitized gelatin holograms; mechanism of hologram formation. *Appl. Opt.*, 1986, 25(13):2040~2042
- 6 R. A. Ferrante. Silver halide gelatin spatial frequency response. *Appl. Opt.*, 1984, 23(23):4180~4181
- 7 A. Fimia, I. Pascual, A. Belendez. Optimized spatial frequency response in silver halide sensitized gelatin. *Appl. Opt.*, 1992, 31(20):4625~4627
- 8 于美文. 光学全息及信息处理. 北京:国防工业出版社, 1984. 123
- 9 H. I. Bjelkhagen, D. Vukicevic. Surface relief hologram recording in silver halide gelatin emulsion. *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, 1992, 1732:137~148
- 10 H. J. Caulfield. Handbook of Optical Holography. New York: Academic Press, 1979. 357~358
- 11 H. M. Smith. 全息记录材料(中译本). 北京:科学出版社, 1984. 105~110

Spatial Frequency Response of Silver Halide Gelatin Holograms

Wang Guoping

(Department of Physics, Wuhan University, Wuhan 430072)

Zhu Jianhua Guo Lurong

(Information Optical Institute of Sichuan United University, Chengdu 610064)

Abstract A study on spatial frequency response of silver halide gelatin holograms derived

from Tianjin-I plate of China is carried out experimentally. When the frequency is limited within 500 ~ 800 lines/mm, the holograms with higher than 70% peak diffraction efficiency are obtained. In addition, with one-step dehydration of the gelatin holograms instead of the three-step used usually, the holograms with high diffraction efficiency can also be obtained. In this paper, the making procedure and the experimental results of the holograms are presented, and the reason that only one-step dehydration is necessary is explained.

Key words silver halide, gelatin hologram, spatial frequency response



风冷氩离子激光器

本公司系美国离子激光技术公司(ILT)与上海激光技术研究所等中方单位共同投资创办的高技术企业。公司从美国全套引进当代世界一流的离子激光器生产设备,并全部采用进口零件生产,销售各种小型风冷氩离子激光器及有关激光应用整机。产品投放国内市场近两年来,因其价格合理,质量稳定,使用方便而受到国内广大用户的赞誉。本公司将一如继往奉行用户是上帝、质量是生命的宗旨为您提供下列产品和服务。

一、5000 系列风冷氩离子激光器(配置小型高效激光开关电源)

(1) 输出功率从 5~500 mW 不等,稳光或稳流输出;(2) 多谱线、单谱线、单纵模、谱线可调(457.9~514.5 nm)、多线/单线互换等多种选择输出方式;(3) 钥匙开关、自动触发、过热保护,锈钢谐振腔、耐振动;(4) 设计寿命大于 10000 小时;保用两年或 5000 小时。

二、彩色激光广告/娱乐表演机系列

1. 可选配置:(1) 各种功率,各种颜色(蓝、绿、黄、红)激光发生器;(2) 转镜系列或光笔(振镜)系列激光图形发生器;(3) PC 机、单片机或电子逻辑激光图形发生控制器。

2. 可选功能:(1) 产生各种几何/衍射激光图形,图形声控及变换;(2) 激光文字和图形的即时输入、存储、编辑和投放;(3) 文字和图形的放大、缩小、旋转和翻滚。

三、工程及服务

1. 承接各种激光广告、娱乐表演系统的现场光路及效果设计,激光广告或表演系统的现场设备安装及调试;
2. 承接各种进口风冷氩离子激光器,进口氩离子激光应用整机(如:电子分色机、氩离子激光细胞分类仪、激光测速仪、激光粒子分析仪、氩离子激光眼科治疗仪等)的激光管和激光电源的维修业务。

中美合资上海埃恩激光技术有限公司

联系人: 陆雪标 王纯尧 胡晓青

电 话: (021) 4304207 传 真: (021) 4304208

地 址: 上海闵行文井路 247 号 邮 编: 200240