

利用氯化银强光分解银提高 全息图衍射效率

张静方 王民草 哈流柱
(北京工业学院)

提 要

本文提出将银盐振幅型全息图先漂白成氯化银全息图,再经强光照射转变为银微粒位相型全息图的光分解银方法。用天津 I 型全息干版,衍射效率可达 28%,并对光照稳定。电子显微镜照片显示出光解银的线度为 $0.01 \mu\text{m}$ 数量级,从而解释了本方法提高衍射效率的原因。

一、引 言

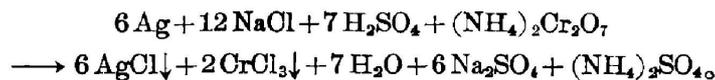
用银盐乳胶及普通显影、定影方法得到的平面振幅型透射全息图,理论上最大衍射效率为 6.25%,矩型为 10.1%。为了提高衍射效率,常用漂白方法,将不透明的银用化学方法转变为透明的银盐,使全息图由振幅型变为位相型。位相型全息图理论最大衍射效率正弦型为 33.9%,矩型为 40.4%。但是漂白的方法,通常会降低全息图的信噪比,并且对光不稳定。

本文介绍的银微粒位相型全息图,不仅衍射效率高,而且对光稳定,可以长久保存。

使银成为透明体,一种途径是用自制特殊干版配合适当的稀释显影的方法^[1,2]。本文提出的用强光使漂白后形成的氯化银光解为透明的银颗粒是另一种途径。

二、光分解的方法

将振幅型全息图由柯达 R₁₀(NaCl)漂白液漂白成透明的氯化银,其化学反应式为^[3]:



在北京地区、晴天、室外,自然干燥后将氯化银乳胶正对太阳辐照,春、秋天约 10 分钟,夏天约 2 分钟。然后定影,成为黄色的银微粒全息图。定影前、后的全息图分别用 HR 和 HY 代表。由于先转变为氯化银位相全息图,故在第一步做振幅全息图时光密度 D 一般大于 1。最后得到的全息图光密度是和波长相应的,故本文指的光密度是对再现光波长而言。

实验用 50 mW He-Ne 激光器,光束比 1:1,以不同光束夹角做全息光栅。当参数 $Q \geq 10^{[4]}$ 时,制作的光栅可视为体积型。当 $Q \leq 1$ 时,可视为平面型。

$$Q = 2\pi\lambda_0 T / nd^2, \quad (1)$$

其中 λ_0 ——记录激光波长, T ——乳胶层厚度, n ——明胶折射率, d ——光栅间距。所用天

津全息 I 型干版, $T=6\mu\text{m}$ 。将 $\lambda_0=0.633\mu\text{m}$, $n=1.52$, $Q=1$ 和 10 分别代入上式。得 $d=3.962\mu\text{m}$ 和 $1.253\mu\text{m}$ 。

由 $d=\lambda_0/2\sin(\theta/2)$, 得光束夹角 $\theta=9.2^\circ$ 和 29° 。即对该干版, 在空气中夹角小于 10° 时, 所制光栅为平面型, 大于 30° 时为体积型。引言中介绍的特制干版乳胶层厚约 $10\sim 15\mu\text{m}$, 体积效应强, 故两者在同样角度下的实验结果不好比较。

三、实验结果

(1) $D-\log E$ 曲线。图 1(a) 是由分光光度计测定的光谱透过率曲线, 由公式 $D=-\log T$ 得到该片时再现光 (6328\AA) 的光密度 D 。图中 HB 为原始振幅型黑白全息图, 它的光密度为 1.3, 处理成 HR 和 HY 片后光密度分别为 0.17 和 0.13。

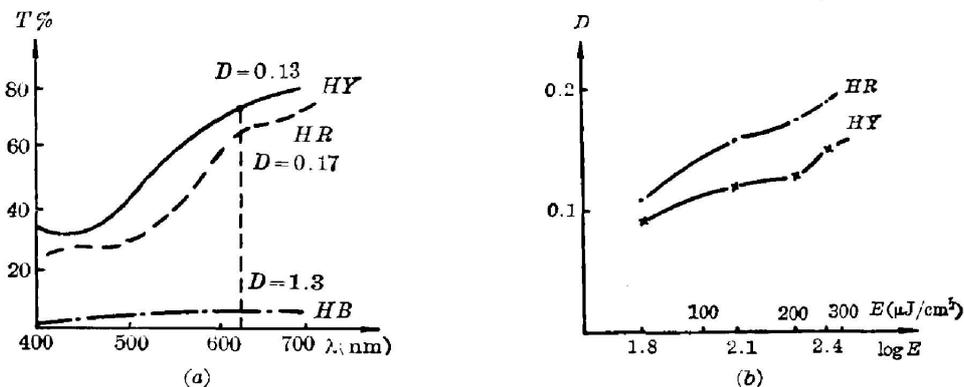


图 1

图 1(b) 为 HR 和 HY 的 $D-\log E$ 曲线, HR 的光密度略大于 HY 片, D 均随曝光量的增加而缓慢增大, 一般 $D<0.3$, 而全息 I 型黑白片 D 可达 4。

实验证明振幅型衍射率最高值发生在光密度 $D=0.6\sim 0.8$ 之间, 其透射率为 20% 左右, 而 HY 片对再现光的透射率为 70~80%, 故银微粒全息图可因折射率差形成位相型。

(2) 图 2(a) 为光束夹角等于 2.2° 时 HY 全息光栅的衍射光斑象。可见 1、2、3 级衍射光强超过零级, 其 $\eta=24\%$ 。

图 2(b) 为光束夹角等于 5° 时另一 D 值的 HY 全息光栅衍射光斑象, 其 2 级衍射光强超过 1 级, $\eta_2=14\%$ 。

正弦型平面位相全息图的透射系数为:

$$t(x) = K \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(a) i^n e^{-in\theta}, \quad (2)$$

其中 $J_n(a)$ 为第一类贝塞尔函数, 每个 $J_n(a)$ 是第 n 级衍射的振幅。当 $a=1.85$ 时, $J_1(a)$ 的最大值为 0.582, 故平面位相全息图的最大衍射效率: $\eta_{\max} = J_{1\max}^2(1.85) = 33.9\%$ 。 $J_0(a)$ 、 $J_1(a)$ 、 $J_2(a)$ 、 $J_3(a)$ 的曲线如图 3 所示。当 a 值在区域 I 范围内, 零级光炫耀到 1、2 级, 1 级最大; 当 a 在 II 范围内, 2 级超过 1 级; 当 a 在 III 范围内, 2、3 级超过 1 级。 $a=2O_0R_0$, 因此 a 值可通过改变物光 O_0 和参考光 R_0 的大小得到控制。

(3) 与此对照, 图 2 两张照片是典型的位相炫耀光栅衍射光斑象, 随着曝光量的不同,

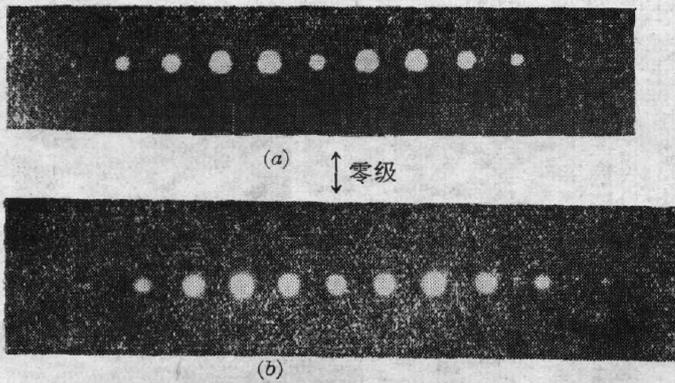


图 2

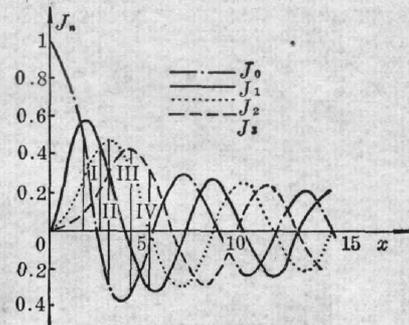


图 3

炫耀在不同的衍射级上。可利用非线性 HY 全息图的正、负高级衍射波构成所谓“纵向翻转剪切干涉”实现弱位相物体的高灵敏度干涉计量^[5]。由于生成物为金属银,全息图对光稳定,可长期保存。

表 1 是振幅全息光栅用几种不同条件处理后的衍射效率 η 的对比(光束夹角 5°)。它的定义是正(或负) 1 级衍射光强与入射光强之比。由于工艺因素复杂,不一定均为各自的最佳值。处理前 $\eta_{\max} = 5\%$ 。

(4) 信噪比是用鉴别率目标做成全息存储点,然后处理成 AgCl 片和 HY 片,测出再现中亮、暗线条之光强比作为全息图的信噪比。它与目标对比度和物参比等条件有关。实验测得 AgCl 的信噪比为 6:1~15:1, HY 为 10:1~24:1。

表 1

处理方法	$K_3Fe(CN)_6$	$CuBr_2$	R10(NaCl)	R10(NaCl) 强光	R10(NaCl) 强光、定影
生成物	$Ag_4Fe(CN)_6$	AgBr	AgCl	Ag-AgCl	Ag
$\eta(\%)$	22	18	21	26.5	28

四、电子显微镜照片分析

图 4 是天津全息 I 型 D-19 显影(b), 天津无线电研究所 HP 633-P 型 D-76 显影和稀释显液, 两者原片(AgBr)和 R_{10} 漂白片(AgCl)强光照射, 均经定影后的电子显微镜照片* (照片未注明的均放大 8900 倍)。照片中黑影为切片时皱折引起的。由此可得出如下几点:

- (1) 处理后的银颗粒密度见表 2, 其中强自然光处理的各片子曝光量相同。
- (2) 氯化银强光分解银颗粒呈圆形, 线度为 $0.01 \mu m$ 数量级, 比显影出的银颗粒细(线度为 $0.1 \sim 0.2 \mu m$), 粒度均匀, 密度大。
- (3) D-76 显影出的银呈细丝状, 比 D-19 显影出的银形状规则、密度大。这是采用 D-76 作为稀释显影的原因。稀释显影的特点是曝光量加大(约为全息 I 型曝光量的 50~

* 电子显微镜照片由中国人民解放军军事医学科学院许澍翔, 王玉芝同志提供。

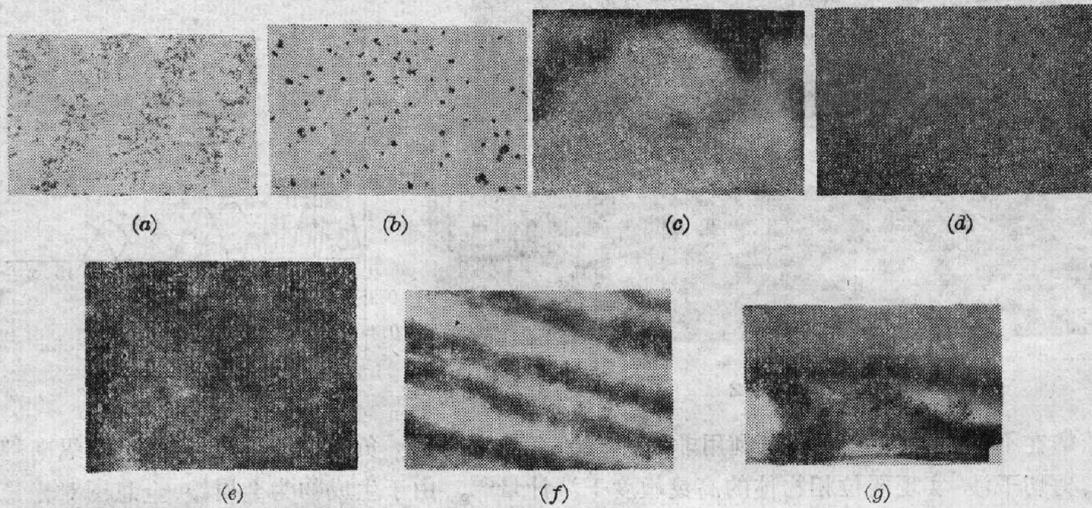


图 4

- (a) HP633-P D-76 显影(光栅); (b) 全息 I 型 D-19 显影 (11000 \times);
 (c) HP633-P 原片强光; (d) 全息 I 型 原片强光;
 (e) HP633-P 漂白片强光; (f) 全息 I 型 漂白片强光;
 (g) HP633-P D-76 稀释显液

Fig. 4 (a) HP633-P D-76 development (grating);
 (b) type I D-19 development (11000 \times);
 (c) HP633-P strong light;
 (d) type I strong light;
 (e) HP633-P bleached strong light;
 (f) type I bleached strong light;
 (g) HP633-P D-76 dilute development

表 2

干 板	全 息 I 型			HP633-P			
	原片	漂白片	原片	原片	漂白片	原片	原片
处理方法	D-19	强 光	强光	D-76	强 光	强光	D-76 稀释
密度(个/mm ²)	4×10^6	10^8	1.5×10^8	3×10^7	1.5×10^8	3×10^8	9×10^7

100 倍),使潜影中心增加;稀释后的显影过程缓慢,使银颗粒集聚缓慢。因此它显示出的银颗粒呈圆形,比 D-76 原液显影的密度大,颗粒细($0.03 \mu\text{m}$ 数量级),且均匀。

(4) HP633-P 型原片的光解银比全息 I 型原片的细和密。溴化银晶粒小,感光中心多是该型乳胶的特点。

D-19, D-76 原液显影后的银颗粒线度约为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。光通过全息图时,对明胶中银粒的散射为大颗粒散射。由于银的折射率不同于明胶,光在银颗粒表面反射和折射。且银颗粒分布不规则,散射光无确定方向,形成黑体型空腔吸收,透射率很低,故为振幅型全息图。

强光照射后银的线度为 $0.01 \mu\text{m} (\ll \lambda)$, 光通过全息图时, 对明胶中银颗粒的散射为小颗粒散射, 满足瑞利定律。即散射光的强度和波长的四次方成反比: $I \propto 1/\lambda^4$ 。可见光中紫蓝色光比红光的散射强 10 倍。故氯化银乳胶经强光照射后透射光呈红色, 对 He-Ne 激光波长透明。定影后呈黄色, 对再现光波长透射率更高(见图 1)。同时银颗粒细和密, 使曝光区(银)和非曝光区(明胶)的折射率差明显, 从而形成以位相型为主的银微粒全息图。

银盐全息干版是超微粒干版, 常规显影的银颗粒大小虽处于大颗粒散射范围, 但已接近小颗粒散射范围的过渡区域。通过稀释显影减缓显影过程中银颗粒的集聚, 使之线度处于小颗粒散射范围。与光解银同理, 稀释显影的方法可以提高衍射效率, 并和显影液稀释的倍数有关。HP633-P 型干版溴化银晶粒小, 感光中心多, 经稀释显影后, 银颗粒小, 密度大, 是衍射效率比一般全息干版高的根本原因。

综上所述, 稀释显影和氯化银强光分解银均为提高衍射效率的普通方法, 经它们处理后的银颗粒细, 均匀, 密度大是其共同的微观本质。不用特制干版, 仅用一般全息干版制的全息图, 漂白为氯化银全息图, 再经强光分解银就明显地提高衍射效率, 是本方法的优点。

感谢于美文、许澍翔同志的指导。

参 考 文 献

- [1] 袁维本;《激光》, 1981, 8, No. 1 (Jan), 39.
- [2] 赵霖等;《物理学报》, 1981, 30, No. 1 (Jan), 143.
- [3] J. Upatnieks, C. Leonard; *Appl. Opt.*, 1969, 8, No. 1 (Jan), 85.
- [4] R. J. Collier, C. B. Burckhardt *et al.*; *Optical Holography* (New York and London, Academic Press, 1971), 261.

A method of increasing diffraction efficiency of hologram

ZHANG JINGFANG WANG MINZAO AND HA LIUZHU
(Beijing Institute of Technology)

(Received 28 December 1981)

Abstract

In this paper a new approach so-called photolytic silver method is presented for getting a silver-particle phase hologram by bleaching an amplitude hologram into a silver-chloride hologram first and then exposing it to a beam of strong light. Using Tianjin type-I holographic plates, the maximum efficiency of 28% has been achieved and the hologram is photostable. The fact that the electron microscopic images show that the dimension of photolytic silver particle reaches a limit of $0.01 \mu\text{m}$ appears to explain the cause of increasing the diffraction efficiency.