

天津全息 I 型干板的漂白

王雅黎 李小北

为了提高全息元件的衍射效率，往往把振幅型全息图转变为位相型，这就是漂白。本文叙述了采用溴化铜 (CuBr_2) 漂液对天津全息 I 型干板进行漂白的实验，做出了衍射效率 η 随密度 D 的变化曲线，从而得出了最佳的密度值。和国外类似工作^{[1]、[2]} 相比，由于我们做出了 $\eta-D$ 曲线，因而对最佳 D 值的问题提出了不同看法。

我们用 CuBr_2 漂液漂白的结果得到最大的衍射效率为 60%。

文中分析了漂白原理，给出了详细漂白工艺，并对实验结果进行了分析讨论。

一、原 理

把银盐干板记录下的振幅型全息图，通过化学方法变为位相型全息图，这就是漂白。

这个过程电学方程是



从反应方程可以知道，漂白剂应是一种氧化剂。

漂白的过程可以解释为：不透明的 Ag 原子与氧化剂反应而得到 Ag^+ ，它与某种阴离子 x^- 结合而生成透明的电介质 $\text{Ag}_m x$ 。由于 $\text{Ag}_m x$ 与明胶的折射率不同，从而达到了折射率调制的目的。干板上 Ag 多的 (D 值大) 地方位相变化 $\Delta\phi$ 也大。文献 [1] 给出了衍射效率和 $\Delta\phi$ 之间的关系如下：

对于薄正弦型光栅

$$\eta = J^2(\Delta\phi) \quad (2)$$

对于厚正弦型光栅

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (3)$$

当 $\Delta\phi < 0.6 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) 0.1 \lambda$ 时，(2)、(3) 式都可写为

$$\eta = \frac{1}{4}(\Delta\phi)^2 \quad (4)$$

也有人认为银盐干板漂白后得到的是浮雕型位相全息图 [2]。为此我们做了如下的实验。把经过漂白的全息光栅在加和不加匹配折射率油的两种情况下测量其衍射效率，得到表 1 的如下实验结果。

表 1

D	1.66	2.10	2.36
η 未加匹配油	30%	60%	46%
η 加匹配油	29%	53%	37%

这个结果表明，漂白后的位相全息图基本上不是浮雕型的，也就是说漂白全息图基本上是属于折射率调制。但也含有一少部分浮雕，这可由 $\eta_{未匹配油} > \eta_{匹配油}$ 看出（我们认为可能是由定影造成的）。

基于以上看法，我们认为对于漂白剂来讲，它应使生成物 $Ag_m x$ ：

1. $d\phi/dD$ 尽量大，而由文献 [1] 知

$$d\phi/dD = 8.7 \frac{1}{a} k \cdot q \cdot \alpha_s \quad (5)$$

其中： ϕ 是位相， D 是未漂白时的密度， a 是相对于 Ag 的密度， $k \frac{2\pi}{\lambda}$ 是波数， q 是一个 Ag 原子形成的 $Ag_m x$ 个数， α_s 是在明胶中 $Ag_m x$ 的极化率。在某种条件下， $Ag_m x$ 与明胶折射率之差越大越好。

由文献 [1] 我们知道各种 $Ag_m x$ 的数据如表 2。

表 2

	n	q	$\alpha_s (10^{-30} m^3)$	$\eta(\Delta D_0)$ 相对
AgCl	2.07	1	5.3	1
AgBr	2.25	1	6.6	1.6
$Ag_4Fe(CN)_6$	1.56	1/4	35.9	2.9
AgI	2.20	1	9.2	3.0
$AgHgCl_2$	1.82	1	12.4	5.5

通过我们以前做过的一些实验及文献 [3] 报导的结果，得知从噪音等因素出发，只有 $AgCl$ 和 $AgBr$ 较好。

2. $Ag_m x$ 应具有很好的光稳定性。

二、用 $CuBr_2$ 漂白天津 I 型干板的实验

用 $CuBr_2$ (5% 的浓度) 漂白天津 I 型干板，其工艺流程如下：

- (1) 曝光 控制曝光量，对 1:1 的光路把 D 控制在 $D_{最佳值}$ (见图 2)。
- (2) 显影 在 D_{19} 显影液中显影 4 分钟。
- (3) 停显 1.35% 的冰醋酸中 30 秒。
- (4) 定影 F_5 定影液中定影 2 ~ 4 分钟。
- (5) 冲洗 去离子水中冲洗 10 ~ 15 分钟。
- (6) 坚膜 在 10% 的铝钾矾中 5 ~ 10 分钟。
- (7) 漂白 5% 的 $CuBr$ 溶液中 7 ~ 10 分钟。

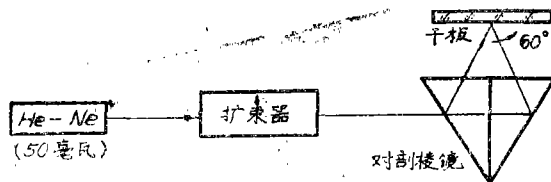


图 1 光栅制备光路

(8) 冲洗 去离子水中冲洗 1~2 分钟。

(9) 酸洗、稳定 浓度各为 3~5% 的 $H_2SO_4 + KBr$ 水溶液中 2 分钟左右。

光栅制备所用的光路如图 1。

衍射效率的测量

定义衍射效率 $\eta = \frac{I_1}{I_0}$ ，其中 I_1 为一级衍射光强， I_0 为通过空白板的出射光强。接收器是光电池。

三、实验结果

1. $\eta - D$ 曲线

用上面的工艺，对各种 D 值的全息光栅进行漂白，作出 $\eta - D$ 曲线，实验结果见表 3、4 和 5。

表 3 实验 1

D	1.06	1.12	1.19	1.34	1.36	1.48	1.56	1.76
$\eta(\%)$	20	20	28	20	14	16	32	38
1.88	1.97	2.19	2.44	2.54	2.55	2.64	3.00	3.50
40	36	24	38	36	32	28	48	44

表 4 实验 2

D	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.4
$\eta(\%)$	20	32	36	24	26	37

表 5 实验 3

D	1.35	1.60	1.66	1.73	2.10	2.36	2.57
$\eta(\%)$	12	12	30	46	12	60	12

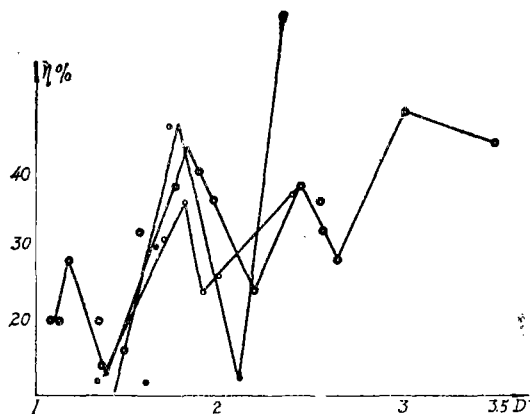


图 2 衍射效率随漂白前密度变化的曲线

2. 最佳密度分布

由 $\eta - D$ 曲线可以看出 η 峰值出现于： $D = 1.2, 1.8, 2.4, 3.0$ 附近。

这个结果和文献 [1][3] 报导的结果不同，他们认为 D 的最佳值在 $D = 2.5 \sim 3$ 的一个连续范围。我们认为是周期性出现的，在每一个峰值附近 D 的波动也不允许太大，太大了 η 就很快下降。最大值出现的周期在我们的实验中是 $D \approx 0.6$ ，就对实验提出了严格的要求。

3. 本实验所达到的最大衍射效率

用此方法，反复实验，我们得到最大的衍

射效率为60%，实验数据如下表。

表 6

D	2.36	3.00
$\eta(\%)$	60	60

四、分析和讨论

1. $\eta \sim D$ 曲线, η 峰值的周期性出现可由下面的分析给以解释。

$$D = -\lg \tau$$

$$\tau = e^{-K_1 N}$$

$$\therefore D = K_2 N$$

$$\text{又 } \Delta\phi = K_3 N$$

$$\therefore D = K_2 / K_3 \Delta\phi = K \Delta\phi \quad (6)$$

其中 N 是光通路上遇到的 Ag 分子数, K_1, K_2, K_3, K 是物质常数。 $K_2 = K_1 \lg e, K = k_2 / k_3$ 。

把 (6) 代入 (3) 则有

$$\eta = \sin^2(D/2K) \quad (7)$$

(7) 表明 $\eta - D$ 曲线是周期的。

2. 我们的实验是在光强比 $I_1 : I_2 = 1 : 1$ 的情况下做的, 如果 $I_1 : I_2 \neq 1 : 1$, 则峰值的位置会发生改变, 但周期性变化不大。

3. 漂白后全息图对光的稳定性问题

漂白存在的问题是漂白后的位相全息图对光是敏感的, 所以衍射效率 η 被光照后随之就要下降。

实验中, 对衍射效率为60%的全息图用35毫瓦的 He-Ne 激光器 (不经扩束), 照几分钟后就会出现一个暗褐色点, 衍射效率下降如下:

表 7

t 光照时间	2 分钟	4 分钟	7 分钟	10 分钟
η	56%	52%	50%	50%

这个问题使它的使用受到限制, 但是我们认为把它用于经扩束器后的光路中 (实际上是) 光强下降, 这样还是可以使用的。

为了进一步改善稳定性, 可以参考 [4]—[6]。

参 考 文 献

- [1] H.M.Smith, "Topics in Applied physics" New York, 1977, 59—66.
- [2] 弗朗松, 《光学—像的形成和处理》, 科学出版社, 1979, 101—102.
- [3] M.Lehmann, et al., Appl. Opt., 1970, 9, . 8, 1948.
- [4] Jurs Upatnieks, Carl Leonard, Appl. Opt., 1969, 8, . 1, 85.
- [5] R.L.Jamberts, C.N.Kartz, Appl. Opt., 1971, 10, 6, 1342.
- [6] F.P.Laming, et al., Appl. Opt., 1971, 10, 6, 1181.