

全息干板漂白乳胶折射率变化特性的 研究及相位滤波器的制备

王玉堂 郑师海

(中国科学院物理所)

提要: 本文研究了全息干板漂白乳胶折射率变化的某些特性, 并给出了制备相位滤波器的方法。

Study on the refractive index characteristics of holographic emulsion due to bleaching effect and the preparation of phase filters

Wang Yutang, Zheng Shihai

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: In this paper some characteristics for holographic emulsion caused by bleaching processing are considered and the method for preparing the phase filter is given.

一、引 言

我们在文献[1]中,对全息干板漂白乳胶厚度起伏的某些特性进行了研究。从文中给出的起伏量 Δl 与密度 D 的关系曲线可以看出,利用干板的上述性质,实现对光波进行 2π 的相位调制则需要很高的密度值,对于乳胶膜较薄的干板甚至是困难的。另外我们在狭缝为 100 微米时发现“马鞍形”,即从无起伏的平面到产生起伏的平面的过渡区域较宽。另一类漂白技术即产生乳胶折射率变化的漂白处理具有许多特点,上述缺点可以得到明显改进。

我们在制备相位滤波器的过程中,对全

息干板漂白乳胶折射率变化进行了定量的研究。对几种不同的配方进行了比较。并给出了实验结果。

二、全息干板漂白乳胶 折射率变化的特性

设干板乳胶膜厚为 d , 折射率变化为 Δn , 则对入射光波所产生的相位调制为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \Delta n \quad (1)$$

但是,不管那种配方,在产生折射率变化的同时也伴随产生较小的厚度变化。这样

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \Delta n + \Delta\varphi_{\Delta d} \quad (2)$$

收稿日期: 1981年11月27日。

或

$$\Delta\varphi - \Delta\varphi_{da} = \frac{2\pi}{\lambda} d \Delta n \quad (3)$$

而 $\Delta\varphi_{da} = \frac{2\pi}{\lambda} (n-1) \Delta d$, Δd 为厚度起伏。

由厚度变化所产生的对相位调制量的影响可利用“液门技术”来消除^[2]。其 $\Delta\varphi_{da}$ 的数值可用反射干涉显微镜进行测量。

图1是 Agfa 8E56 全息干板经三种不同的漂白配方处理得到的折射率变化量 Δn 与光密度 D 的曲线。其中曲线(1)利用铁氰化钾漂液, 处理8分钟^[3]。曲线(2)利用 KodakR-10 漂液, 处理6分钟^[4]。曲线(3)利用溴化铜漂液, 处理7分钟。这里 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\varphi_{da}$ 分别用马赫-陈德尔干涉仪和干涉显微镜测量, Δn 由(3)计算得到。显然(1)所产生的 Δn 大些, 但是漂白后干板的透明度不好。再加上对于药品毒性的考虑, 在实际中后两种配方应用更多些。在计算修正项 $\Delta\varphi_{da}$ 时, 假设 $n=1.50$, 以及厚度起伏 Δd 较小、测量不准确都会给计算带来误差。

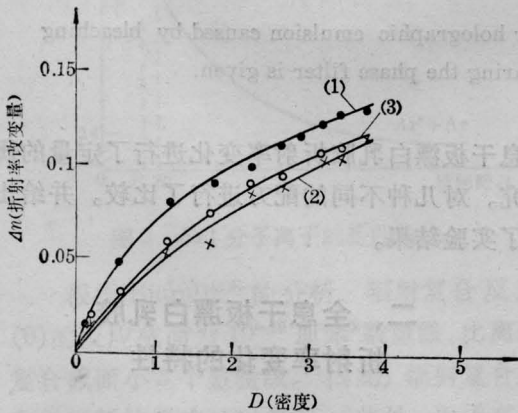


图1 Agfa 8E56 全息干板经三种不同漂白液处理后 $\Delta n \sim D$ 曲线

图2是利用同一种溴化铜漂液处理两种干板, 对所产生的相位调制量进行比较。 ΔN 是在干涉仪中所观察到的干涉条纹弯曲量。从 $\Delta N \sim D$ 曲线可以看出, 天津全息 III 型的 ΔN 较大。这是由于它的乳胶膜较厚造成的。

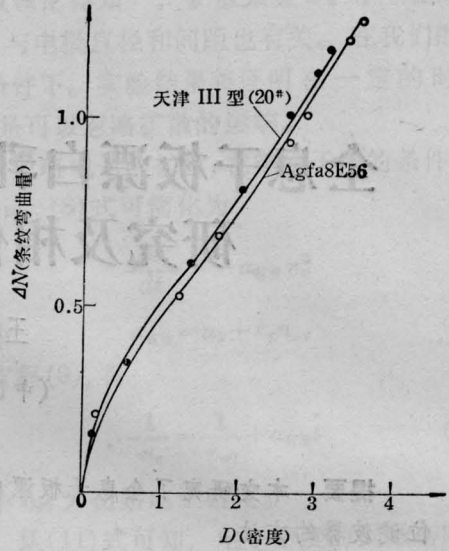


图2 溴化铜漂液处理, 天津 III 型及 Agfa 8E56 得到的 ΔN 与 D 的关系曲线

与乳胶厚度起伏型的漂白处理相比较, 折射率变化漂白处理的空间频率响应极限较高。在理论上讲, 仅仅受银粒子的大小所限。另外, 要达到 2π 相位调制所需曝光密度值, 后者比前者小得多。图3是 Agfa 8E56 干板经两类不同漂白处理的比较。曲线(1)是溴化铜漂液, 处理7分钟。在 $D=2.6$ 时, 条纹弯曲量 $\Delta N=1$, 即产生 2π 的相位调制。曲线(2)是硫酸铜漂液处理1分钟产生的厚度起伏。在 $D=2.6$ 时, $\Delta N=0.4$, 要小得多。所需要的曝光密度小, 特别是处于 $H-D$ 曲线的直线部分, 曝光量易于控制将给相位滤波器的制备带来很大方便。

产生折射率变化的漂白技术存在的问题是不能用二次定影增加透明度。在相位调制量比较大的曝光部分透过率下降, 从而产生透过光强不均匀的问题。因此这种漂白技术的应用范围有一定的限制。而经厚度起伏漂白处理的片子, 用 1:4 稀释的 F_5 定影液进行二次定影(漂白处理后再进行一次定影)。定影时间不超过1分钟, 则任何密度值的片子都可以达到充分透明, 而厚度起伏量并不受严重影响。

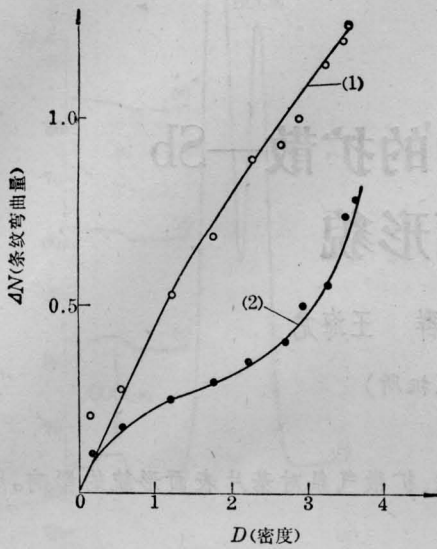


图3 两种漂白液处理 Agfa 8E56 得到的 $\Delta N \sim D$ 曲线

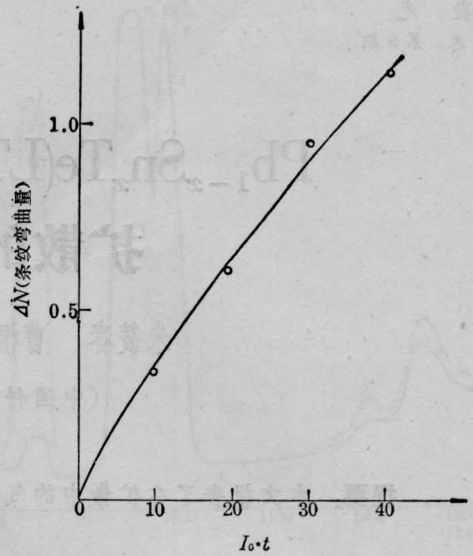


图4 $\Delta N \sim I_0t$ 曲线

三、相位滤波器的制备

利用全息干板漂白技术来制备相位滤波器的方法对上述两种类型的漂白处理大体相同。通常是先制一个放大的底图，缩小后再进行漂白处理。在取样周期足够大的情况下，采用直接曝光的方法可以省略制备底图的中间过程。具体步骤如下：

1. 测量折射率变化量 Δn 与光密度 D 的关系曲线

$\Delta\varphi$ 的大小通常是由观察干涉条纹的弯曲量 ΔN 来计算，所以 $\Delta n \sim D$ 曲线的测定实际上是 $\Delta N \sim D$ 曲线的测定。在实验中 D 的控制往往又是固定光强 I_0 、改变曝光时间 t 来实现的。因此 D 便不需要测量而直接测量 $\Delta N \sim I_0t$ 曲线。图4是利用溴化铜漂白液处理 Agfa 8E56 所得的 $\Delta N \sim I_0t$ 曲线。

2. 确定相位滤波器各取样点的相位值对应的曝光量

根据公式(1)，如果 $\lambda = \lambda_0$ ，即在检测滤波器时与使用滤波器的光学系统为相同的激

光源时则：

$$\Delta N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \quad (4)$$

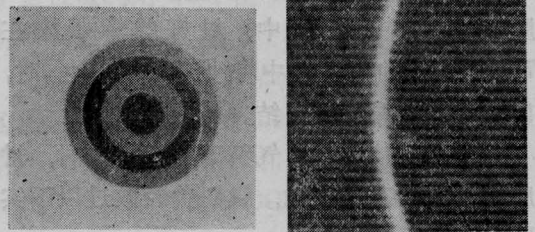
根据所设计的相位滤波器各取样点所需要控制的相位值 $\Delta\varphi$ ，由(4)式计算出条纹的弯曲量 ΔN ，然后在 $\Delta N \sim I_0t$ 曲线上查找出与 ΔN 对应的 I_0t ，即可得出各取样点的曝光时间。

3. 滤波器的具体制备

采用在1.中所固定的实验条件，根据2.中所确定的曝光时间 t 进行曝光、漂白处理。实验所采用的过程见附录。

图5是我们采用溴化铜漂白液制备的、用于图象处理的相位滤波器。实际尺寸为4.26毫米。

在整个制备过程中，影响相位控制精度



(a) 整个滤波器结构的照片

(b) 两个圆环的交接处在干涉仪中的照片

图5

(下转第593页)

系数 $K=0$, 可获得最大扩束比; $K=\pm 1$, 出射激光束束腰位于距 F'_2 最远距离处。

四、几点意见

(1) 望远镜对激光束的变换规律完全不同于对单一平面波的变换, 用几何光学方法分析激光扩束望远镜是不正确的。

(2) 望远镜的调整对其扩束性能影响很大。工程实践中望远镜扩束性能常劣于设计值的原因在很大程度上可能源于此。但是失

调能够作为在一定范围内改变出射激光束参数的手段。

(3) 文中的分析仅对理想光学系统是正确的, 实际光学系统在激光束变换中引入的畸变是值得进一步考虑的问题。

参 考 文 献

- [1] H. Kogelnik; Selected Papers on Laser Resonators, 1975, 1, 217.
- [2] A. Yariv; Introduction to Optical Electronics, 1976.
- [3] H. Kogelnik; Selected Papers on Laser Resonators, 1975, 1, 2.

(上接第 605 页)

的因素较多。例如干板乳胶膜厚的不均匀性、曝光量、处理过程中的温度控制等。因此在制备过程中即使严格按上述步骤进行也还会存在误差。我们在实验时发现, 在 $\Delta N \sim I_0 t$ 曲线制备以后, 按干板乳胶涂布方向切取离制备曲线的干板越近的部分, 制备滤波器的成功率越高。因此在切干板时要心中有数并可以适当多制备一些参考曲线。这一点对取样点较多的滤波器尤为重要。我们在实验中经干涉仪检查, 挑选相位的控制精度可达 $1/10$ 波长以上。

附 录

1. 处理过程

- 1) 显影 D_{19} 显影液, 温度 20°C , 显影 3 分钟;
- 2) 停显 冰醋酸停显液, 时间 30 秒钟;
- 3) 水洗 流动自来水, 冲洗 2 分钟;
- 4) 定影 F_5 定影液, 时间 3 分钟;
- 5) 水洗 同 3);
- 6) 漂白 溴化铜漂液, 处理 7 分钟, 配方见附录 2;

7) 水洗 同 3);

8) 去污 在 Kodak S-13A 去污液中浸泡 1 分钟, 配方见附录 3;

9) 水洗 同 3)

10) 清洁 在 Kodak S-13B 清洁液中浸泡 1 分钟, 配方见附录 4;

11) 水洗 在流动自来水中冲洗 5~10 分钟。

12) 干燥 室温下自然干燥。

2. 漂白液配方

溴化铜 50 克, 加蒸馏水至 1000 毫升。

3. Kodak S-13A

高锰酸钾 2.5 克;

浓硫酸 8 毫升, 加水至 1000 毫升。

4. Kodak S-13B

亚硫酸钠 10 克, 加蒸馏水至 1000 毫升。

参 考 文 献

- [1] 王玉堂等;《激光》, 1981, 8, No. 1, 30.
- [2] J. W. 顾德门;“傅里叶光学导论”, 科学出版社出版, 1976 年, 176.
- [3] L. B. Burekhardt, E. T. Doherty; *Appl. Opt.*, 1969, 8, 2479.
- [4] J. Uputnieks, C. Leonard; *Appl. Opt.*, 1969, 8, 85.