

用红光增感的重铬酸盐明胶 记录李普曼全息图

曲志敏 蔡雪强 徐英明 李美月

(上海市激光技术研究所)

提要: 用亚甲基蓝作为敏化剂实现了重铬酸盐明胶的红光增感, 描述了敏化明胶板的制备、处理的实验方法, 用 He-Ne 激光器的红光拍摄了全息光栅, 获得了 84% 的衍射效率, 并制作了可用台灯再现的李普曼全息图。

Lippmann hologram recorded in dye sensitized dichromated gelatin with red light

Qu Zhiming, Cai Xueqiang, Xu Yinming, Li Meiyue

(Shanghai Institute of Laser Technology)

Abstract: Spectral sensitization of dichromated gelatin to red light has been carried out using methylene blue as sensitizer. The experimental methods of preparing and processing of sensitized gelatin plate are described. The holographic grating was recorded with the red light from He-Ne laser, and diffraction efficiency of 84% was obtained. Lippmann hologram reconstructed by white light has been recorded.

一、引 言

由于重铬酸盐明胶有着甚高的衍射效率、颇低的噪音以及极好的空间分辨能力, 因此, 作为优良的全息记录材料已为众所公认, 用它作为光学元件或者作为立体显示的记录介质亦已获得十分满意的结果。可惜这种材料的感光范围在可见光区域比较狭窄, 随着波长的增加, 其光谱灵敏度则迅速下降, 在大约 5800 \AA 的波长处降低到零, 因此对于 He-Ne 激光器输出的波长为 6328 \AA 的红光, 就不能用这种材料进行全息记录了。

彩色立体显示的一个重要途径就是用李普曼全息术记录彩色全息图, 用白光进行再现。但目前已用来记录李普曼彩色全息图的材料还基本上限于银盐照相乳剂, 这种材料虽然灵敏度较高, 但噪音及衍射效率均大大劣于重铬酸盐明胶, 因此象质和亮度均大大逊于后者。遗憾的是重铬酸盐明胶不感红光, 故难以制作彩色李普曼全息图。

本文报导了用染料增感的方法, 将重铬酸盐明胶的光谱灵敏范围扩展到红光区域的一些实验结果。

收稿日期: 1981年3月9日。

二、重铬酸盐明胶的红光增感

作为重铬酸盐明胶的红光增感染料应该满足下述几个条件^[2]: (1) 能溶解于水; (2) 具有光致还原作用; (3) 能吸收红光; (4) 能与重铬酸盐离子相容。据此来挑选所需要的增感染料, M. Akagi^[1]使用了亚甲基蓝和还原剂作为敏化剂, A. Graube 则为了提高染料的溶解度使用了亚甲基绿^[2]。

用亚甲基蓝敏化的重铬酸盐明胶吸收光谱如图 1 所示。从图可以看出, 在接近 4000 Å 处的吸收带显然是由重铬酸铵的吸收所致, 而在 6200 Å 和 6700 Å 处的两个吸收峰则是由于染料吸收的缘故。

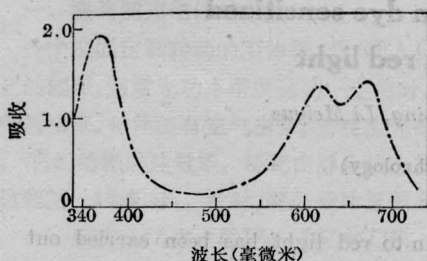


图 1 用亚甲基蓝敏化的重铬酸盐明胶的吸收光谱

亚甲基绿和重铬酸铵的吸收光谱示于图 2。从图可知, 亚甲基绿的吸收与亚甲基蓝的吸收带十分接近, 只是在长波长一侧, 差异稍大, 因此两种染料均可有效地用作敏化剂。

在我们的实验中主要使用亚甲基蓝作为

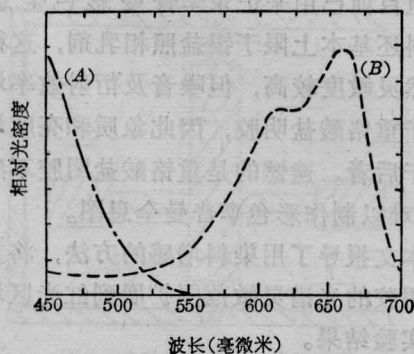


图 2 重铬酸盐离子(A)和亚甲基绿染料(B)的相对吸收光谱

敏化剂。考虑到在重铬酸盐溶液中, 对于亚甲基蓝染料来说, 溶解度甚小, 因此很易沉淀, 故不能直接作为敏化剂, 但是在碱性条件下, 亚甲基蓝在重铬酸铵溶液中的溶解度会大大增加。实际上, 在重铬酸铵溶液中加入氨水就能提高溶液的碱性, 使 pH 值大于 9, 染料的沉淀现象就会明显改善。在敏化之后干燥的过程中, 随着氨水的蒸发, pH 值也随之下降, 于是重铬酸铵和亚甲基蓝便会重新析出。因此将敏化好的重铬酸盐明胶板放入置有氨水和干燥剂的密封容器中, 令其缓慢干燥是必要的。

用亚甲基蓝敏化的重铬酸盐明胶板的制备方法如下:

A. 方法之一,

1. 明胶板的制备:

a) 在 30 cc 的蒸馏水中加入 2 克明胶, 于 43°C 的温度下搅拌半小时。

b) 加入 0.5% 的重铬酸铵(与明胶的重量比)。

c) 将明胶涂布在玻璃板上, 于室温下干燥。

d) 在 150°C 的真空烘箱中烘烤两小时即可备用。

2. 配制敏化溶液:

a) 在 0.015% 的亚甲基蓝 200 cc 的溶液中加入 2 克重铬酸铵。然后再加入 28% 的氨水, 使溶液的 pH 值上升至 10。

b) 用抽滤瓶过滤敏化溶液。

3. 敏化:

将要敏化的明胶板浸入 20°C 的敏化液中 15 分钟。

4. 干燥:

将敏化后的干板放在有氨水与干燥剂的密封容器中干燥 4~6 小时后, 即可使用。如此敏化的干板在氨气中可较长时间地保存, 而不损失其灵敏度。

B. 方法之二:

1. 在 30 cc 的蒸馏水中加入明胶 2 克,

并于 43°C 下搅拌 30 分钟。

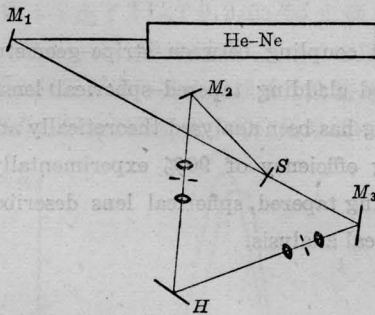
2. 依次将重铬酸铵 0.2 克, 亚甲基蓝 50 毫克, DMF 1.5 毫升和 2N 氢氧化氨 5 毫升加入继续搅拌半小时。

3. 搅拌后将明胶小心地涂布在玻璃衬底上。

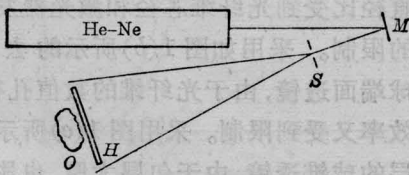
4. 在氨气氛中干燥 4~6 小时。

三、全息图的制作与实验结果

我们分别用(A)法和(B)法制作的两种敏化干板拍摄了全息光栅和李普曼全息图。光路如图 3(a)、(b)所示。图 3(a)为记录光栅的光路, 两束平行光是等强度的, 其夹角为 60 度。由于衍射效率与处理方法有着密切的关系, 而处理的最佳条件需由实验给出, 我们所用的方法, 很难说是最佳处理。在全息图按下述方法处理后, 测量各种曝光量下的衍射效率, 用波长为 6328 Å 的 He-Ne 激光作为光源, 用硅光电池作为探测器, 其照明角度由最大衍射效率确定。处理的方法如下:



(a) 全息光栅



(b) 李普曼全息图

图 3 拍摄全息图的光路

1) 按不同的曝光量分档曝光。

2) 在竖膜定影液中定影半分钟(20°C)。

3) 在 43°C 的热水中浸洗 5 分钟。

4) 在 70% 的异丙醇中浸泡 3 分钟。

5) 在 100% 的异丙醇中浸泡 2 分钟。

6) 用热风吹干。

测得的衍射效率与曝光量之间的关系曲线如图 4 所示。图中的两条曲线为同一批敏化干板在不同的处理条件下得到的, 图中实线的定影时间为 1 分钟, 水洗温度为 43°C, 衍射效率高达 84%, 相应的曝光量为 2820 毫焦耳/厘米², 虚线的定影时间为半分钟, 水洗温度为 30°C, 衍射效率最高只有 77%, 但相应的曝光量只有 564 毫焦耳/厘米²。可见, 处理条件不同, 所得的结果是十分悬殊的, 因此需要相当仔细地寻找最佳处理条件, 以便在衍射效率和噪音之间求得折衷。

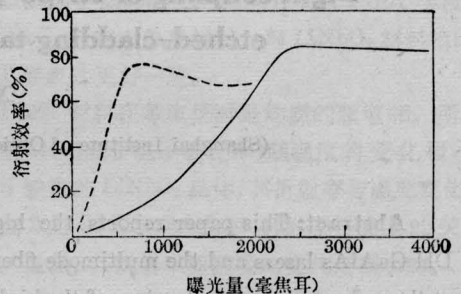


图 4 衍射效率与曝光量的关系曲线

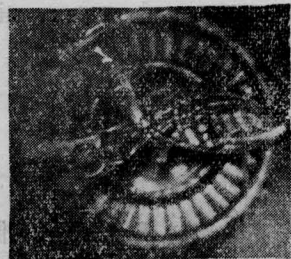


图 5 用红光摄得的李普曼全息图之白光再现象

图 5 示出了用 A 法敏化的干板, 按图 3(b) 所示的光路摄得的李普曼全息图之白光再现象, 可用台灯清楚地观看, 象呈红

(下转第 11 页)

$$I = -\frac{\gamma_0^2 k'}{V_1 V_2} \left(x^2 - \left(\frac{\Omega^2 (V_1 - V_2)^2}{4\gamma_0^2 V_1 V_2} - 1 \right) \frac{1}{k'} \right) \quad (38)$$

再做变量变换, 令:

$$x = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\gamma_0^2 k'}{V_1 V_2} \right)^{-\frac{1}{4}} y \quad (39)$$

则(36)式便变成

$$4 \frac{d^2 u}{dy^2} - \left[y^2 - 2 \left(\frac{\gamma_0^2}{k' V_1 V_2} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{\Omega^2 (V_1 - V_2)^2}{4\gamma_0^2 V_1 V_2} - 1 \right) \right] u = 0 \quad (40)$$

令

$$b = -2 \left(\frac{\gamma_0^2}{k' V_1 V_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Omega^2 (V_1 - V_2)^2}{4\gamma_0^2 V_1 V_2} - 1 \right) \\ = -2(2m+1) \quad (41)$$

$m=0, 1, 2, \dots$ 自然数

于是(41)式便变成韦伯方程^[3], 其解为:

$$u = 2^{-\frac{1}{2}m} e^{-\frac{1}{4}y^2} H_m \left(\frac{y}{\sqrt{2}} \right) \quad (42)$$

式中 H_m 为厄米特多项式; m 为其阶数。由

(41)式容易解出:

$$\Omega = \frac{2\gamma_0 (V_1 V_2)^{\frac{1}{2}}}{V_1 - V_2} \left[(2m+1) \frac{(k' V_1 V_2)^{\frac{1}{2}}}{\gamma_0} + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (43)$$

可以看出凡符合如下条件(43)的绝对值即为波的增率表示式:

$$\gamma_0 < 0, V_2 > V_1 \\ (2m+1) \frac{(k' V_1 V_2)^{\frac{1}{2}}}{|\gamma_0|} > 1 \quad (44)$$

由(42)及(35)式知, 不稳定波的振幅由厄米特多项式所描述, 虽然由(43)知, 阶数愈高, 增率亦愈大; 然而由(42)知 $e^{-\frac{1}{2}m}$ 因子存在初始扰动幅度将随阶数高而按指数下降。另外如果

$$\frac{(k' V_1 V_2)^{\frac{1}{2}}}{|\gamma_0|} < 1,$$

则将在某一特定 m_0 阶以上的不稳定的扰动波模式才会存在, 显然:

$$m_0 \geq \frac{|\gamma_0|}{2(k' V_1 V_2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{2} \quad (45)$$

参 考 文 献

- [1] Marshall N. Rosenbluth; *Phys. Rev. Lett.*, 1972, **29**, 565.
- [2] D. Pesme et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1974, **31**, 203.
- [3] E. 卡姆克编, 张鸿林译; 《常微分方程手册》, 科学出版社出版, 1977年, p.488.

(上接第 19 页)

色, 用 60 瓦台灯照明, 以 1/30 秒和 5.6 的光圈数, 在 21° 胶卷上摄得的。

四、结 论

通过我们的实验表明亚甲基蓝染料是一种有效的敏化剂, 用这种染料可以将重铬酸盐明胶的感光范围扩展到红光区域, 我们获

得了 84% 的光栅效率, 并制作了满意的可用白光再现的李普曼全息图。

参 考 文 献

- [1] M. Akagi; *Photogr. Sci. Eng.*, 1974, **18**, No. 3, 248.
- [2] A. Graube; *Photogr. Sci. Eng.*, 1978, **22**, No. 1, 37.