

亚甲蓝敏化的明胶全息图的实验研究*

赵建明 李敏谦 孙孟嘉

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

提要 从实验上研究了亚甲蓝敏化液浓度对明胶透射全息光栅的衍射效率的影响。在有氧环境下, 以 632.8 nm 的 He-Ne 激光束曝光并以简单工艺作后处理, 获得了高达 97% 的衍射效率。

关键词 亚甲蓝, 透射光栅, 衍射效率

1 引言

重铬酸盐明胶(DCG)作为全息记录介质具有高衍射效率、低噪声的特点^[1],被认为是一种最有使用价值的全息记录介质之一^[2,3],在理论上其衍射效率可达 100%,信噪比也可达到 100 的水平,然而 DCG 的感光波长小于 560 nm,限制了它的应用。若利用适当的染料[如亚甲蓝(MB)]作敏化剂,其感光波长可扩展到 700 nm^[4]。1982 年上海激光研究所曲志敏等人用亚甲蓝敏化重铬酸盐明胶干板(MB-DCG),用 He-Ne 激光拍摄了透射全息光栅,获得了 84% 的衍射效率^[5],但光敏性还不够高,最大衍射效率对应的能量密度为 2820 mJ/cm²。

用亚甲蓝敏化的明胶全息干板(MBG),也可用红光拍摄全息图,而且工艺比 MB-DCG 更简单。N. Caplolla 等人的实验结果是,只有在无氧环境下,才能获得比较高的衍射效率(> 80%)^[7]。若在无氧环境下曝光,操作不便,也给设备、工艺增加了复杂性。

我们在实验上证实,对于 MBG,在普通环境(有氧环境)下,以 632.8 nm 的 He-Ne 激光束曝光,并以简单工艺作后处理,制备的透射全息光栅衍射效率可达 97%,接近理论极限,并有较好的光敏性。

2 实验与结果

MBG 板的制备及后处理过程如下。

2.1 明胶板的制备

- (1) 在 100 g 蒸馏水中溶解 8 g 化学纯明胶,缓慢加热到 70 °C,使明胶完全溶解。
- (2) 当明胶溶液的温度降到 45 °C 时,将其均匀地涂布在洗净的玻璃板上。
- (3) 在干燥箱中干燥 24 h,其温度约为 22 °C。

* 山西省自然科学基金和山西省教委归国留学人员科研基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 1 月 2 日; 收到修改稿日期: 1995 年 2 月 27 日

(4) 在 F-5a 定影液中浸泡 5 min 坚膜,之后用清水冲洗 2 min。

2.2 敏化液的配制及敏化过程

(1) 在 200 ml 蒸馏水中溶解 0.1 g 亚甲蓝,配制成浓度为 0.05% 的溶液。

(2) 较低浓度的敏化液可利用(1)中的溶液进一步稀释得到。

(3) 将坚膜后的板在敏化液中浸泡 5 min,取出后放在黑暗处室温下干燥。

2.3 后处理过程

(1) 将曝光后的干板在 5% 的重铬酸铵水溶液中浸泡 5 min。

(2) 在黑暗中放置约 15 h。

(3) 在 40 °C 的水溶液中进行膨化(在水中滴几滴甲醛),直到完全洗掉明胶层中多余的亚甲蓝。

(4) 先后在 70%、90% 的异丙醇中各浸泡 2 min。

(5) 在 100% 的异丙醇中浸泡 3 min。

(6) 热风吹干。

我们利用岛津 260 型分光光度计测量了自制的 MBG 板的吸收光谱,结果如图 1。MBG 的吸收波长处在红光段。

利用图 2 所示的曝光光路,拍摄了透射全息光栅。

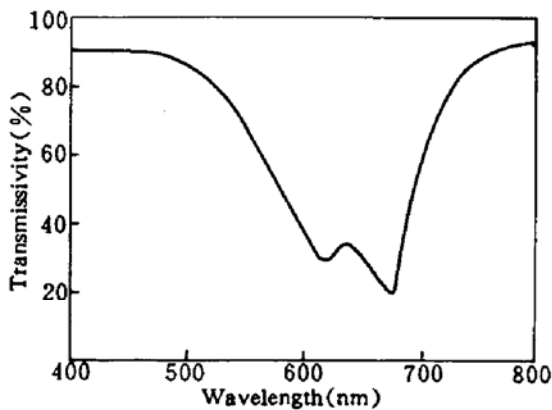


Fig. 1 Absorption spectrum of MBG hologram plate from 400 nm to 800 nm

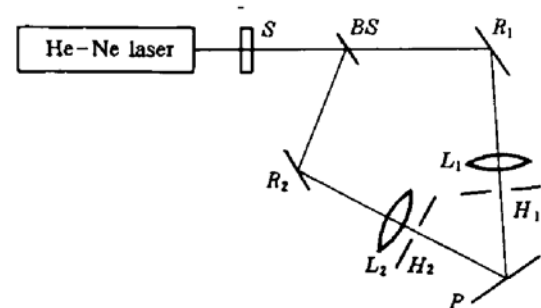


Fig. 2 Experimental setup

S : timer controlled shutter; BS : beam splitter (50-50%);
 R_1 , R_2 : reflectors; L_1 , L_2 : beam spreading lenses;
 H_1 , H_2 : pin holes; P : MBG hologram plate

与全息图制作有关的参数有,明胶膜层厚度约 20 μm ,记录波长为 632.8 nm,最佳曝光量约为 130 mJ/cm^2 ,全息图面积为 15 cm^2 ,空间频率约 1070 条/mm,相对湿度为 50%,温度为 22 °C。

透射全息光栅的衍射效率可通过测量一级衍射光强 I_1 和总的透射光强 I_t ,并用 $\eta = I_1/I_t$ 求得^[8]。实验得到的透射全息光栅衍射效率和亚甲蓝敏化液的浓度的关系曲线如图 3 所示。可以看出,当敏化液浓度约为 0.009% 时,其衍射效率大于 90%。在曝光能量密度约为 130 mJ/cm^2 时,得到的最大衍射效率为 97%,接近理论极限。在该浓度下,实验得到的衍射效率与曝光能量密度的关系如图 4,衍射效率呈现周期性振荡。

即使将吸收及散射等因素考虑在内,采用 $\eta' = I_1/I_0$ 的定义方法(I_0 为入射光强),即光栅衍射的光能利用率,实验中最高也可达到 87%。

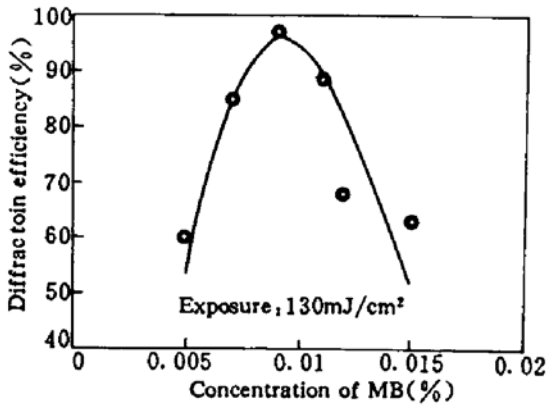


Fig. 3 Variation of diffraction efficiency versus concentration of MB

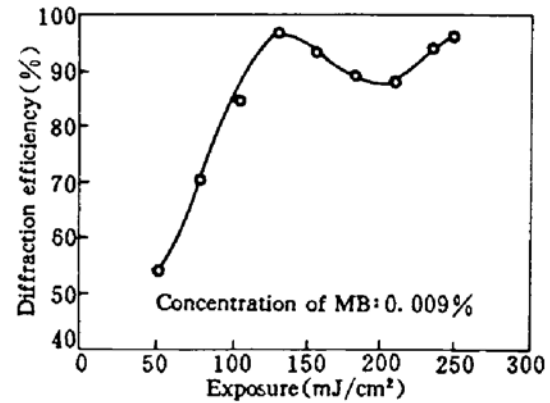
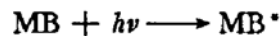


Fig. 4 Variation of diffraction efficiency versus exposure

3 机理的初步讨论

坚膜后的明胶板,经敏化、曝光后,形成的是折射率调制的全息光栅。在曝光过程中,亚甲蓝分子吸收了光子,由基态跃迁到激发态



激发态的 MB^* 转变为具有较长寿命的 MB' 。 MB' 从周围环境中得到一个电子被还原成无色 MB ,与明胶分子发生交联形成了网状结构;此外,在后处理过程中无色 MB 与六价铬离子反应形成的三价铬离子,进一步增强了与明胶分子的交联。由于不同的地方曝光量不同,所以交联的情况也不相同,从而形成了不同的网状结构。在异丙醇中脱水时,导致了胶膜折射率不同,形成了折射率调制的全息光栅。在水洗过程中,将没有曝光的 MB 冲洗掉,使其在以后曝光的情况下,也不会再发生化学反应。

图 3 的结果可以解释为,在一定的曝光量下,当 MB 浓度较小时,形成无色 MB 的分子较少,光栅衍射效率较小。而随着 MB 浓度的增加,形成的无色 MB 也增加,光栅的衍射效率随之增大;但当 MB 浓度超过一定的限度时, MBG 板的表面吸收较大,只在明胶层中较小的有效厚度内形成光栅,其衍射效率降低。

Kogelnik 的理论^[9]表明,透射光栅的衍射效率可表示为

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi t \cdot n}{\lambda \cos\theta}\right)$$

其中 n 表示明胶层中的折射率,当 n 随着曝光量变化时,衍射效率 η 将出现振荡。文献[7]中,全部的实验必须在无氧环境中进行,透射光栅才能得到较高衍射效率,透射光栅的衍射效率也才能出现振荡;在普通环境(有氧环境)下,其衍射效率则较低,且没有振荡现象。我们的实验结果则表明,在普通环境(有氧环境)下,当明胶层的厚度一定时,其衍射效率也呈现周期性振荡(图 4),且适当预硬化的 MBG 透射光栅的衍射效率可高达 97%。

我们认为,在自然条件下无色亚甲蓝的寿命与空气的相对湿度有关,当相对湿度在 $55 \pm 5\%$ 时,能够保持较长时间不被氧化;如果在曝光后将明胶板立即投入重铬酸铵溶液中,则能更好地固定所形成的光栅,从而也可以得到较高的衍射效率。

参 考 文 献

- 1 T. A. Shankoff. Phase holograms in dichromated gelatin. *Appl. Opt.* , 1968, 7:2101~2105
- 2 B. J. Chang. Dichromated gelatin holograms and their applications. *Opt. Eng.* , 1980, 19:642~648
- 3 G. M. Naik, A. Mathur, S. V. Pappu. Dichromated gelatin holograms; an investigation of their environmental stability. *Appl. Opt.* , 1990, 29:5292~5297
- 4 R. T. Kubota, T. Ose. Methods of increasing the sensitivity of methylene blue sensitized dichromated gelatin. *Appl. Opt.* , 1979, 8:2538~2539
- 5 T. Mizuno, T. Goto, M. Got *et al.* . Methylene blue sensitized dichromated gelatin holograms influence of the moisture on their exposure and diffraction efficiency. *Appl. Opt.* , 1990, 29:4757~4759
- 6 曲志敏, 蔡雪强, 徐英明 等. 用红光增感的重铬酸盐明胶记录李普曼全息图. *激光* , 1982, 9(1):17
- 7 N. Capolla, Roger A. Lessard. Processing of holograms recorded in methylene blue sensitized gelatin. *Appl. Opt.* , 1988, 27:3008~3012
- 8 N. J. Phillips, A. A. Ward, R. Cullen *et al.* . Advance in holographic bleaches. *Photogr. Sci. Eng.* , 1980, 24:120
- 9 H. Kogelnik. Coupled wave theory for thick hologram gratings. *Bell. Syst. Tech. J.* , 1969, 48:2909

Experimental Investigation of Methylene Blue Sensitized Gelatin Hologram

Zhao Jianming Li Minqian Sun Mengjia

(*Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006*)

Abstract The influence of methylene blue (MB) concentration on the diffraction efficiency of holographic transmission grating, in which the gelatin film is sensitized with MB(MBG), is investigated. A maximum diffraction efficiency of 97% is obtained in MBG exposed to a He-Ne laser (632.8 nm) and developed with a simple post-processing method under normal condition.

Key words MB, transmission grating, diffraction efficiency