

重铬酸盐明胶反射全息图的波长调节新技术研究*

董光兴^{1,2} 朱建华¹ 郭小伟¹ 万磊¹

(1 四川大学物理科学与技术学院信息光学研究所, 成都 610064)

(2 河西学院物理系, 甘肃 张掖 734000)

摘要 介绍了一种采用有机预膨胀剂调节李普曼反射全息图再现波长的新方法. 将水溶性的有机试剂丙稀酰胺作为预膨胀剂均匀加入亚甲基蓝敏化的重铬酸盐明胶(MBDCG)溶液中来制作全息干板, 预膨胀剂在反射全息图的后处理阶段溶于水, 明胶层发生均匀收缩, 从而使再现波长向短波方向移动. 通过控制丙稀酰胺浓度, 可在整个可见光区大范围定量控制再现波长.

关键词 李普曼全息图; 亚甲基蓝敏化的重铬酸盐明胶; 预膨胀剂; 再现波长

中图分类号 O438.1 **文献标识码** A

0 引言

常用的感光记录材料, 根据成像物质的种类不同, 可以分为银盐和非银盐体系两大类. 作为非银盐类感光材料的重铬酸盐明胶(DCG), 具有高分辨率、高衍射效率、高信噪比、低吸收等优良特性^[1-3], 已经在全息显示、全息光学元件、信息处理及存储等方面^[2,4-6]获得了较好的应用.

一般情况下, 我们希望再现波长能严格的和记录波长相等, 正确的反映记录波长的信息. 但在一些特殊场合往往希望再现波长偏离记录波长(甚至希望有较大的偏移量), 如用单光束记录彩色反射全息图、任意中心波长的全息滤波器制作等, 这些应用均希望能在较大范围控制或调节再现波长. 通常影响再现波长漂移的因素主要包括感光剂的浓度、明胶膜的硬度、有效曝光量、处理温度和后烘步骤等, 已有文献报道了一些通过改变上述因素来调节再现波长的方法^[7-12], 但这些方法或者缺乏可重复性和稳定性, 或者需要复杂的处理过程, 并且其波长调节范围也往往相对较小(一般在几个纳米至几十纳米).

本文提出一种可大范围(两百纳米以上)调节李普曼反射全息图再现波长的新方法. 利用此方法研究了预膨胀剂浓度与波长漂移的对应关系, 给出了定量的对应关系曲线.

1 波长调节原理

反射全息图的记录光路采用通常的李普曼单光束照明方式, 如图 1 所示. 直接投射在 MBDCG 干板上的光束为参考光, 透过干板的光照射在物体上,

再经物体表面散射或反射后, 照射在干板上作为物光. 参考光和物光自两侧投射到干板上, 产生相干叠加, 在明胶层内部形成周期性重复出现、彼此平行的一系列干涉条纹面. 在对称记录光路的情形(图 2(a))有 $\theta_R = 180^\circ - \theta_0$, $B = 90^\circ - \varphi_R$. 条纹面平行

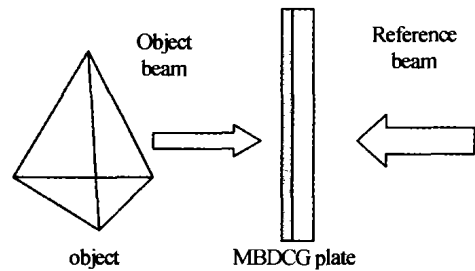


图 1 反射全息图记录光路
Fig. 1 Reflective hologram recording layout

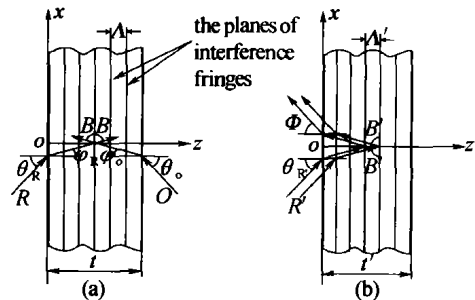


图 2 对称记录(a)和再现(b)的反射全息图
Fig. 2 The geometry of (a) recording and (b) reconstruction of volume reflection hologram

于记录介质表面, 间距 Λ 满足^[13]

$$\Lambda = \frac{\lambda_D}{2 \sin B} = \frac{\lambda_0}{2 n_D \sin B} = \frac{\lambda_0}{2 \sqrt{n_D^2 - \sin^2 \theta_R}} \quad (1)$$

式中 λ_0, λ_D 是光束在空气和记录介质中的波长, n_D 是感光层的折射率, θ_0 和 θ_R 是物光和参考光束的入射角, φ_0 和 φ_R 是物光和参考光进入感光层的折射角.

在我们的实验中, 将一种水溶性的有机溶剂丙稀酰胺在制板阶段均匀加入感光层, 作为预膨胀剂, 该预膨胀剂在曝光过程中不会和其他试剂发生反应, 在后处理过程中将溶于水, 经过异丙醇溶液的脱水处理, 明胶层会发生较大的均匀收缩, 与之相对应干涉

*国家自然科学基金资助项目(60007002)

Tel: 028-85255499 Email: zhujh123@hotmail.com

收稿日期: 2003-11-10

条纹面的间距 Λ' 也将均匀减小(如图 2(b)所示)。

再现时,为获得明亮的像,要求照明光经各干涉平面反射后能同相位叠加,因此,只有满足布喇格条件的某种波长的光能被反射回来形成单色图像。即干涉条纹面间隔 Λ' 和再现波长 λ' 满足

$$2\Lambda' \sin B' = \lambda' / n_D \quad (2)$$

由于这种全息图对波长具有很高的选择性,因此可以用白光照明再现出单色像。照明白光中其余波长的光不满足布喇格条件,只能透过胶层或部分吸收。实验中,采用平行光束垂直于全息干板入射,透过感光层后,经其后平面镜反射形成物光,两束光从相反方向入射产生干涉,形成反射光栅。对应的物光和参考光的入射角 θ_o, θ_r 为 180° 和 0° 。再现时,若照射光的入射角 $\theta_{R'} = \theta_R = 0^\circ$, 则 $B' = B = 90^\circ$, 此种情况下,比较式(1)和(2),可得

$$\lambda' = \frac{\sin B'}{\sin B} \frac{\Lambda'}{\Lambda} \lambda_0 = \frac{\Lambda'}{\Lambda} \lambda_0 \quad (3)$$

由式(3)可知,干涉条纹面间隔 Λ' 减小,相应的再现波长 λ' 将线性减小。因此在制板时,通过控制所添加的预膨胀剂的浓度,即可线性的对再现波长进行大范围调节和量化控制。

2 MBDCG 干板的制作及处理

2.1 干板的制作

实验中采用经过优化的 MBDCG 配方^[14], 亚甲基蓝(MB)作为光敏剂,四甲基胍(TMG)作为增感助剂,铬酸钾作为交联剂。具体步骤是:1)将法国惰性明胶加入到去离子水中,制备 5% 重量比的明胶水溶液;2)加入一定量的 0.5% 铬酸钾溶液;3)加入一定量的 25% 的四甲基胍溶液;4)用醋酸溶液或 TMG 溶液调节 PH 值至 9.18;5)在蓝色安全灯下加入一定量的 0.4% 的 MB 溶液;6)加入预膨胀剂丙稀酰胺(按照不同实验目的加不同浓度);7)搅拌混合溶液 5 min;8)将混合溶液均匀涂布在 $8 \times 24 \text{ cm}^2$ 水平放置的光学玻璃板上,在室温、无尘、无震动的黑暗环境自然干燥 24 h。用黑纸包装保存,MBDCG 干板制作完成。

2.2 后处理过程

1)在 F_5 定影液中浸泡 1 min;2)流水中冲洗 30 s;3)在温水中浸泡 1.5 min;4)在 60% 的异丙醇中浸泡 1 min;5)在 90% 的异丙醇中浸泡 1 min;6)在 100% 的异丙醇中浸泡 2 min;7)取出干板,将残余异丙醇用热风迅速吹干。

3 结果及数据分析

3.1 记录光源的选择

在实验中测定了干板的光谱吸收曲线(图 3),从图可知 MBDCG 干板的光谱响应主要集中在红光区域,可选用 He-Ne 激光(632.8 nm), Kr^+ 激光(647.1 nm),红宝石(Cr^+)激光(694.3 nm)作为记录光源。

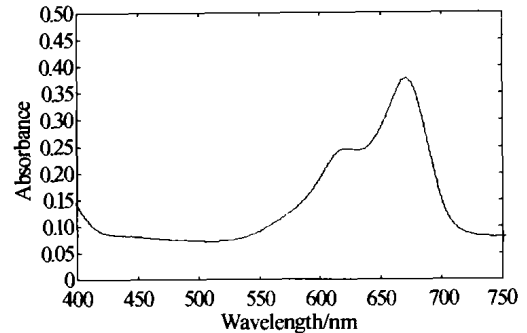


图 3 MBDCG 干板的光谱吸收曲线

Fig. 3 The spectral absorbance curve of optimum MBDCG photosensitive layer

3.2 再现波长的对比

实验中采用价格低廉的 He-Ne 激光器(632.8 nm)作为记录光源,记录了添加和未添加丙稀酰胺的 MBDCG 反射全息图,其波长选择性曲线如图 4 和 5 所示。发现未添加预膨胀剂的 MBDCG 反射光栅的再现波长变为 612.7 nm,即向短波方向漂移了大约 20.1 nm(图 4)。其原因是在实际脱水过程中,乳胶会发生收缩,干涉条纹面间距离要减小,因而再现像的色彩会向短波方向移动。同时,加预膨胀剂(AM 的浓度为 10 mg/ml)的再现波长为 524.8 nm,即向短波方向漂移了大约 108 nm(图 5)。比较图 5 和图

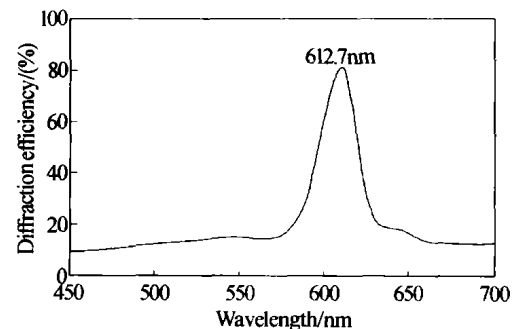


图 4 未加预膨胀剂时 MBDCG 的光谱选择性曲线

Fig. 4 Spectral selectivity curve of reflection grating recorded in MBDCG without preswelling reagent

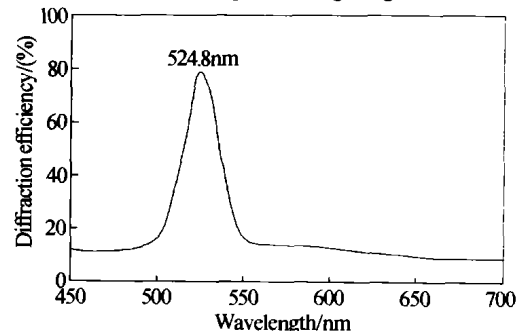


图 5 添加预膨胀剂时 MBDCG 的光谱选择性曲线

Fig. 5 Spectral selectivity curve of reflection grating recorded in MBDCG with preswelling reagent

4 可以发现,添加预膨胀剂后波长漂移十分明显,且反射光栅仍可以保持很高的衍射效率及较小的带宽,这是其他波长调节方法不具备的优点.

3.3 预膨胀剂浓度与再现波长的量化曲线

将不同浓度预膨胀剂加入 MBDCG 制成干板,采用 He-Ne 激光制作反射全息光栅,测定其光谱选择曲线,得到波长漂移量和预膨胀剂浓度的关系曲线(图 6). 该实验结果与公式(3)的理论分析相一致,表现出很好的线性调制特性,预期可以通过控制预膨胀剂的浓度,来线性控制再现波长的漂移. 由于我们的记录波长为 632.8 nm,位于可见光区的上端,随着丙稀酰胺预膨胀剂浓度的增加,反射全息图将显示出不同的颜色,从红到黄、绿、蓝,几乎覆盖整个可见光区.

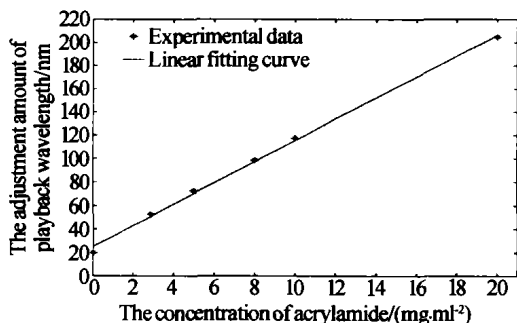


图 6 再现波长漂移量和丙稀酰胺浓度的关系曲线

Fig. 6 The adjustment amount of playback wavelength as a function of the concentration of acrylamide

4 结论

本文针对 MBDCG 记录的李普曼全息图,提出了一种控制其再现波长的新方法. 通过控制丙稀酰胺的浓度,可以大范围、定量的调节再现波长. 这种方法有较好的可靠性和重复性,在彩色全息显示、全息光学元件、光学防伪、光通信等方面有较好的应用价值.

参考文献

1 Chang B J, Leonard C D. Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements. *Appl Opt*, 1979, 18(14):2407~2417

2 Chang B J. Dichromated gelatin holograms and their applications. *Opt Eng*, 1980, 19(5):642~648

3 Wang Ketai, Guo Lurong, Zhu Jianhua, et al. Methylene blue sensitized dichromated gelatin holograms with antihumidity polymer coatings. *Appl Opt*, 1997, 36(14):3116~3119

4 Magarinos J R, Coleman D J. Holographic mirrors. *Opt Eng*, 1985, 24(5):769~780

5 Duncan S S, McQuoid J A, McCartney D J. Holographic filters in dichromated gelatin position tuned over the near-infrared region. *Opt Eng*, 1985, 24(5):781~785

6 Tikhomirov A Y, Mchay T J. Design of low-haze holographic notch filters. *Appl Opt*, 1999, 38(21):4528~4532

7 McGrew S P. Color control in dichromated gelatin reflection holograms. *Proc SPIE*, 1980, 215:24~32

8 Coleman D J, Magarinos J. Controlled shifting of the spectral response of reflection holograms. *Appl Opt*, 1981, 20(15):2600~2601

9 Kubota T. Recording of high quality color holograms. *Appl Opt*, 1986, 25(22):4141~4145

10 Kubota T. Control of the reconstruction wavelength of Lippmann holograms recorded in dichromated gelatin. *Appl Opt*, 1989, 28(10):1845~1849

11 Tikhomirov A Y, Mckay T J. Design of low-haze holographic notch filters. *Appl Opt*, 1999, 38(21):4528~4532

12 王金城, 刘鹏, 郭欢庆. DCG 窄带反射滤光片再现波长和带宽的控制方法. *激光杂志*, 2000, 21(4):18~20

Wang J C, Liu P, Guo H Q. *Laser Journal*, 2000, 21(4):18~20

13 于美文, 张进方. 光全息术. 北京:北京教育出版社, 1994. 87~90

Yu M W, Zhang J F. Beijing: Educational Press of Beijing, 1994. 87~90

14 朱建华, 王长涛, 王科太, 等. 红敏明胶全息记录材料的配方优化及成像机理研究. *四川大学学报(自然科学版)*, 2000, 37(5):705~709

Zhu J H, Wang Ch T, Wang K T, et al. *Journal of Sichuan University(Natural Science Edition)*, 2000, 37(5):705~709

Research on a New Adjustment Technique of Playback Wavelength of MBDCG Lippmann Hologram

Dong Guangxing^{1,2}, Zhu Jianhua¹, Guo Xiaowei¹, Wan Lei¹

¹ Institute of Information Optics, Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064

² Department of Physics, Hexi University, Zhangye Gansu 734000

Received date: 2003-11-10

Abstract A new technique was presented for adjusting the playback wavelength of Lippmann holograms recorded in methylene-blue sensitized dichromated gelatin (MBDCG). The main feature of this technique is introducing a water-soluble organic reagent into MBDCG photosensitive layer as preswelling reagent and wavelength adjuster. This method has wide wavelength adjustment range (up to 200 nm) and high signal-to-noise ratio, can be applied to quantitatively adjust the playback wavelength of reflection hologram by changing the concentration of preswelling reagent. Its possible applications include color image display, holographic optical elements, and optical anti-counterfeiting.

Keywords Lippmann hologram; Methylene-blue sensitized dichromated; Preswelling reagent; Playback wavelength

Dong Guangxing was born in 1971, in Gansu Province. He graduated from Physics Department of Northwest Normal University in 1994. Now he is studying for his master degree in Institute of Information Optics, College of Physical Science and Technology, Sichuan University. His research fields include holographic recording materials, optoelectronic signal processing.

