

# 新型双染料敏化的宽带光聚物全息特性研究\*

王爱荣<sup>1</sup> 翟凤潇<sup>1</sup> 王素莲<sup>1</sup> 黄明举<sup>1,2\*\*</sup>

(1 河南大学物理与信息光电子学院, 开封 475001)

(2 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 报道了一种新型、两种染料共同敏化的宽带响应光聚物材料. 该材料使用孟加拉玫瑰红和亚甲基蓝作为联合光敏剂, 由于混合染料的加入, 使材料的感光光谱范围大大加宽. 用四种波长的光对样品进行曝光, 衍射效率均大于 40%, 最高可达 80%, 适合于多波长存储, 分别用不同波长的激光在样品同一位置存储了四幅不同的图像, 其再现图像效果良好, 表明该材料是一种较理想的多波长全息存储材料.

**关键词** 数字化全息存储; 光致聚合物; 衍射效率; 多波长存储

**中图分类号** O438.1; TP333 **文献标识码** A

## 0 引言

随着信息科学的迅速发展, 需要存储和处理的数据越来越多, 因此人们急需具有超高信息存储密度和超快存取能力的存储器. 目前, 在接近物理极限的条件下, 现有的磁存储和光盘存储仍然难以满足人们的需要. 光全息存储技术以其固有的优点自然倍受人们关注<sup>[1~3]</sup>. 全息存储技术在很大程度上取决于材料的性能, 在众多的全息材料中, 高分子光聚物因其优异的性能而成为近几年研究的焦点<sup>[4~6]</sup>. 理论和实验均表明, 对于厚度有限的聚合物材料, 仅使用一种波长读写很难达到理想的记录密度和容量<sup>[7]</sup>, 因此需要对多波长敏感的光聚物材料. 由于常用的单种染料敏化的光聚物吸收带通常较窄, 所以使用沉吨染料孟加拉玫瑰红和噻嗪染料亚甲基蓝两种染料来共同敏化光聚物, 拓宽材料的感光光谱范围, 使材料可以对多种波长的光敏感, 适用于多波长全息存储.

## 1 实验

### 1.1 样品的制备

在暗室中, 40~60% 的相对湿度和 20~25℃ 的温度下. 将 2 g 的聚乙烯醇(PVA,  $M_r=1750$ )加入蒸馏水并加热到 80℃, 搅拌使其完全溶解, 最后得到 10% (质量百分比) 的聚乙烯醇溶液. 把 0.6 g 的单体丙稀酰胺(AA)和 0.2 g 的单体双丙稀酰胺(BAA)溶解于一定量的蒸馏水中, 并且加热到 30℃ 使之完全溶解, 然后再加入一定量的三乙醇胺

(TEA)水溶液, 搅拌均匀. 使孟加拉玫瑰红(RB)和亚甲基蓝(MB)两种染料晶体分别溶解于一定量的蒸馏水, 配制成一定浓度的染料溶液, 然后把两种染料溶液 2:1 (摩尔比) 混合在一起, 搅匀. 将上述单体混合溶液和一定量的染料混合溶液分别加入聚乙烯醇溶液, 搅匀, 最后得到约 25 mL 的聚合物溶液. 取适量的聚合物溶液滴涂到干净的 6 cm×6 cm 的玻璃基片上, 室温下干燥 24~48 h 即形成光聚物干膜. 经测量, 膜厚约为 240 μm.

### 1.2 实验装置图

实验所用光路如图 1, 采用 90° 光路记录非倾斜光栅. 图中 Ar<sup>+</sup> Laser 和 He-Ne laser 是激光器; M 是反射镜; BS 是渐变分束器; SH 是快门, 快门 SH<sub>1</sub> 和 SH<sub>2</sub> 可以控制曝光时间和选择曝光波长; L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 是扩束透镜; O 是物; L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub> 是焦距为  $f=10$  cm 的傅里叶透镜, 组成 4f 系统; H 是样品; PM 为激光功率计(EMP2000, 美国相干公司); CCD(640×480, Pixera 公司)为电荷耦合器件摄像机.

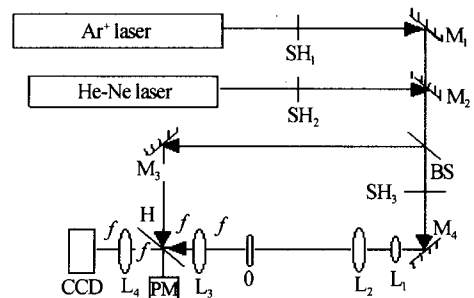


图 1 实验装置  
Fig. 1 Experimental setup

## 2 结果和讨论

### 2.1 光聚物的吸收光谱

图 2 中的曲线 J-RB+MB、RB 和 MB 分别是光聚物膜和两种染料水溶液的吸收光谱. 从图 2 可以

\*上海市基础研究重点项目(03JC14073)、河南省青年骨干教师项目和河南大学科研项目(02158)资助

\*\* Tel:0378-2866489 Email:hmingju@163.com

收稿日期:2004-12-13

看出,光聚物膜的吸收光谱除了吸收峰位比单种染料水溶液的吸收峰位略有红移外(约 1~17 nm),基本上是两种染料吸收光谱的叠加,范围由原来单种染料吸收光谱的宽度 100 nm 左右增加到 200 nm 左右;并且没有新的吸收峰出现,表明两种染料之间没有过多的相互作用而生成新的物质;在波长为 488.0 nm、496.5 nm、514.5 nm 和 632.8 nm 处均有一定程度的吸收,并且波长越大吸收程度越大,表明此光聚物材料对红、绿波段的光敏感。

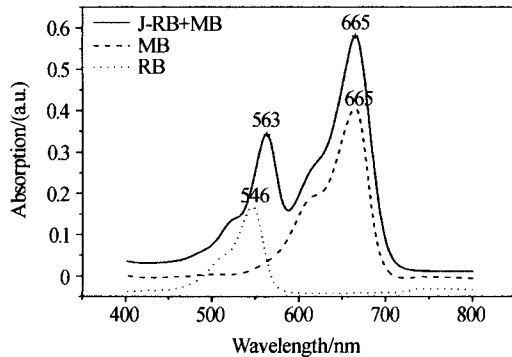


图 2 光聚物膜 J-RB+MB 和两种染料水溶液 RB 和 MB 的吸收光谱

Fig. 2 Absorption spectra of the photopolymer film J-RB+MB and the aqueous solutions of RB and MB

## 2.2 样品的衍射效率

用图 1 中的实验光路测量样品的衍射效率,衍射效率的测试和计算方法为

$$\eta = I_d / (I_i - I_r)$$

式中  $I_i$  为读出时入射光强度、 $I_r$  为读出时样品表面的反射光强度、 $I_d$  为一级衍射光强度,物光和参考光的强度均为  $10.6 \text{ mW/cm}^2$ 。测得衍射效率随曝光时间变化的关系曲线如图 3。在各种波长处的最大衍射效率均大于 40%,最高可达 80%。在曝光最初阶段,光聚物膜的衍射效率随着曝光时间的增加而增加,原因是随着曝光量的增加,单体逐渐聚合,浓度减小,折射率调制度增加,故衍射效率增加;但当曝光时间达到一定程度,样品中单体几乎全部聚

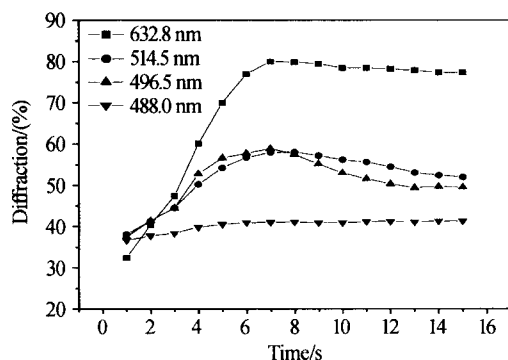


图 3 衍射效率与曝光时间的关系曲线

Fig. 3 Diffraction efficiency versus exposure time for different wavelengths

合,折射率调制度达到最大,故衍射效率最大;再增加曝光时间,衍射效率略有下降,但总的趋势变化不大,而后趋于稳定;原因可能是曝光过程中的散射光使暗条纹区剩余的少量单体聚合,降低了折射率调制度,所以衍射效率稍有下降;当所有单体聚合完毕后,折射率稳定,衍射效率不再随时间发生变化。从图 3 还可以看出,在相同的曝光时间和曝光能量条件下,随着波长大小的增加,其最大衍射效率逐渐增加,这与材料对各种波长的光的吸收程度和折射率调制度相关。

## 2.3 样品的透过率

利用图 1 的实验装置,关闭  $\text{SH}_3$ ,用单束激光垂直于样品表面曝光,测得透过率随时间变化关系如图 4。在波长为 632.8 nm 的曝光条件下,样品透过率逐渐增大,最初变化很快,随后趋于稳定,其原因可能是由于光聚物膜在曝光开始阶段染料被漂白,大量染料分子吸收光子,使透过率较低;随着曝光时间的增加,剩余染料越来越少,对光的吸收下降,所以透过率逐渐增加,直到最后染料被完全漂白,透过率达到最大并趋于饱和。在波长为 514.5 nm、496.5 nm 和 488.0 nm 的曝光条件下,样品透过率在最初几秒的曝光时间内变化不大,然后急剧下降并逐渐趋于稳定,而且随着波长的减小,这种下降速度增加,最终的透过率也在减小。对于这种现象认为:起初透过率的上升是因为材料的光致漂白作用;而后的下降可能是由于光散射造成的,因为图 2 中样品的吸收随着曝光波长的降低而降低,这种透过率的减小最可能的解释即为光的散射,这不仅与相关文献<sup>[8,9]</sup>报道的结果相似,而且也符合光散射的一般规律,即随着波长的减小光的散射越来越强。

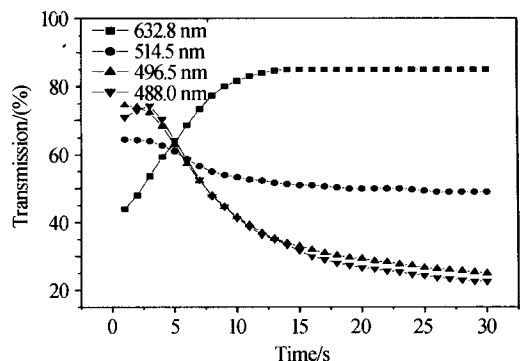


图 4 样品透过率随时间的变化关系

Fig. 4 Variation in transmittance as a function of time

## 2.4 存储图像

分别采用四种波长的激光和四幅模板(Q 字、F 字、E 字和五角星)在光聚物膜中同一位置进行全息存储,实验过程中物光和参考光的方向(角度)均不改变,只改变波长,各全息图的曝光时间为 6 s,曝光

光强为  $10.6 \text{ mW/cm}^2$ . 再现图像由 CCD 摄像机捕获, 其结果如图 5. 从图 5 可以看出多波长存储的再现图像质量还是比较高的, 各图像之间看不到串扰, 这是因为使用的波长间隔远远大于体全息存储中波

长复用技术所要求的波长选择性, 显然这种材料是适合用于从绿光到红光波段的多波长存储. 使用多种波长的激光进行图像存储, 与使用单种染料相比, 能够大大增加数字化全息存储的密度和容量.

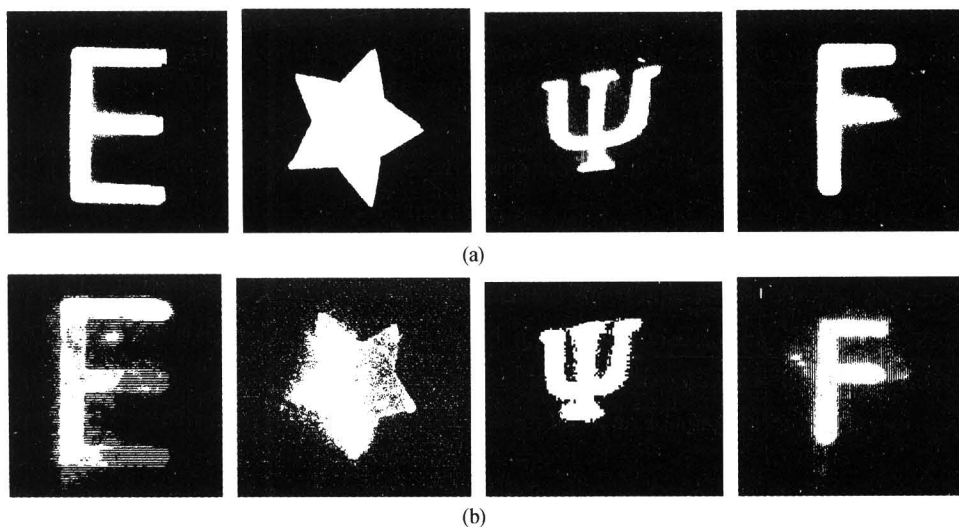


图 5 (a) 原始图像; (b) 再现图像: 四幅图像所用波长依次为 488.0 nm、496.5 nm、514.5 nm 和 632.8 nm  
Fig. 5 (a) Original images; (b) Reconstructed images from the holograms with different wavelengths: 488.0 nm, 496.5 nm, 514.5 nm and 632.8 nm

### 3 结论

通过使用两种染料作为光敏剂, 使光聚物的感光光谱范围增加到了 200 nm. 利用四种波长的激光, 对光聚物膜的全息特性进行了研究, 结果表明在各种波长处的最大衍射效率均大于 40%, 最高可达 80%; 对图 3 和图 4 的分析说明散射在全息记录过程中有着较大的影响. 采用多波长存储技术在光聚物膜的同一位置存储了四幅图像, 其再现图像质量良好. 因此使用两种染料共同敏化光聚物是拓宽光聚物材料光谱响应范围的一种有效手段, 如果使多波长存储技术和角度复用、空间复用等其它复用技术相结合, 便会使高密度数字化全息存储材料的存储容量成倍增加, 这一特点使这种材料更具有吸引力, 有更美好的应用前景.

#### 参考文献

- 1 干福熹. 信息材料. 天津: 天津大学出版社, 2000, 12  
Gan F X. Information Material. Tianjing: Tianjing University Press, 2000. 12
- 2 贺锋涛, 冯晓强, 白永林, 等. 绿光光存储实验研究. 光子学报, 2004, **33**(6): 761~764  
He F T, Feng X Q, Bai Y L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 761~764
- 3 胡迪青, 谢长生. 体全息存储中二维交错编码技术的研究及实现. 光子学报, 2003, **32**(7): 823~825

Hu D Q, Xie C S. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(7): 823~825

- 4 黄明举, 姚华文, 陈仲裕, 等. 厚度对光聚物高密度全息存储记录参量的影响. 光子学报, 2002, **31**(2): 246~249  
Huang M J, Yao H W, Chen Z Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(2): 246~249
- 5 黄明举, 姚华文, 陈仲裕, 等. 导致光聚物全息存储布喇格偏移因素的研究. 光子学报, 2002, **31**(7): 855~859  
Huang M J, Yao H W, Chen Z Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(7): 855~859
- 6 Blaya S, Mallavia R, Garretero L, et al. Highly sensitive photopolymerisable dry film for use in real time holography. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(12): 1628~1630
- 7 Huang Mingju, Chen Zhongyu, Gan Fuxi. Optical setup and analysis of disk-type photopolymer holographic storage. *Opt Eng*, 2002, **41**(9): 2315-2320
- 8 Belendez A, Fimia A, Garretero L, et al. Self-induced phase gratings due to the inhomogeneous structure of acrylamide photopolymer systems used as holographic recording materials. *Appl Phys Lett*, 1995, **67**(26): 3856~3858
- 9 Carretero L, Blaya S, Mallavia R, et al. A theoretical model for noise gratings recorded in acrylamide photopolymer materials used in real-time holography. *J Mod Optics*, 1998, **45**(11): 2345~2354

## Study of Holographic Character of a Novel Photopolymer

Wang Airong<sup>1</sup>, Zhai Fengxiao<sup>1</sup>, Wang Sulian<sup>1</sup>, Huang Mingju<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Physics and Information Optoelectronics School of Henan University, Kaifeng 475001

<sup>2</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Science, Shanghai 201800

Received date: 2004-12-13

**Abstract** A novel wide band sensitive holographic recording materials co-sensitized by two dyes is presented. The sensitive spectrum of the polymer is dramatically extended from 50 nm to 200 nm. The maximum diffraction efficiencies are more than 40% and up to 80% in different exposure wavelengths. Four different images are stored in the same location of the photopolymer film by the multi-wavelength holographic storage method, and these images can be reconstructed with high quality. It is said that this material is suitable for multi-wavelength holographic storage.

**Keywords** Data holographic storage; Photopolymer; Diffraction efficiency; Multi-wavelength holographic storage



**Wang Airong** was born in Shangqiu, Henan Province on April 18, 1976. She received the B. S. degree in physics from Henan normal University in 1998. Now she is studying for her Postgraduate Degree in Henan University. Her research field is high density data holographic storage.