

文章编号 : 0258-7025(2002)08-0748-03

# 一种新型绿光敏感高密度全息光聚物的记录特性研究

黄明举<sup>1,2</sup>, 姚华文<sup>1</sup>, 陈仲裕<sup>1</sup>, 侯立松<sup>1</sup>, 干福熹<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院上海光学精密机械研究所光存储研究室, 上海 201800; <sup>2</sup> 河南大学物理系, 河南开封 475001)

**提要** 报道了一种对绿光敏感的具有较高衍射效率( ~ 60% )和折射率调制度的新型高密度全息存储光致聚合物(光聚物)材料的全息特性, 从实验上研究了材料衍射效率随曝光量、记录光强和记录光强分光比的变化规律, 较详细地分析了过曝光对衍射效率的影响。指出了过曝光技术不利于提高信息存储的密度。

**关键词** 光致聚合物, 高密度全息存储, 感光灵敏度

**中图分类号** TQ 591 **文献标识码** A

## Study of High-density Holographic Characteristics of a Novel Green-sensitive Photopolymer

HUANG Ming-ju<sup>1,2</sup>, YAO Hua-wen<sup>1</sup>, CHEN Zhong-yu<sup>1</sup>, HOU Li-song<sup>1</sup>, GAN Fu-xi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)  
(<sup>2</sup> Department of Physics, Henan University, Kaifeng 475001)

**Abstract** The holographic characteristics of a novel greenlight-sensitive photopolymer with high diffraction efficiency and refractive index modulation are discussed. The influence of the exposure, recording intensity, intensity ratio of reference and object wave on the diffraction efficiency are studied. The shortage to the high-density recording of over exposure is displayed.

**Key words** photopolymer, high-density holographic recording, exposure sensitivity

## 1 引言

信息技术的发展要求研制超高速、超大容量的存储设备, 在现有的存储方法接近物理极限仍不能满足要求的情况下, 人们开始对在容量和速度均具有极大应用潜力的光学全息存储技术产生了极大的兴趣<sup>[1,2]</sup>。但这方面的研究主要依靠理想的高密度全息存储材料, 其中光致聚合物(光聚物)材料由于具有成本低廉、制作方便、动态范围大、分辨率高、容易实现短波长记录等特点而倍受人们的青睐, 近年来许多国家均进行了这方面的研究工作<sup>[3,4]</sup>, 但在我国, 将光聚物作为高密度全息存储的研究工作还鲜见报道, 我们合成了一种对绿光敏感的光聚物全

息材料, 衍射效率接近 60%, 折射率调制度在  $10^{-3}$  数量级, 感光灵敏度在  $0.003 \sim 0.01 \text{ cm}^2/\text{mJ}$  之间, 有望在蓝绿光高密度全息存储方面获得应用。

## 2 材料的合成和实验设置

实验所用材料是利用丙烯酰胺及亚甲基双丙烯酰胺作单体, 三乙醇胺作引发剂, 藻红作光敏剂, PVA 作预聚物的光聚物, 按一定比例将上述化学药品做成水样溶液然后涂在干净的玻璃上面, 可以通过改变溶液的浓度和涂量控制样品的厚度, 样品在暗室中自然干燥 48 h 后可以使用。

测量材料全息记录性能的实验装置如图 1 所

收稿日期 2001-06-13; 收到修改稿日期 2001-09-14

基金项目: 中国科学院上海光学精密机械研究所创新工程新增长点资金资助项目。

作者简介: 黄明举(1965—), 男, 河南大学物理系副教授, 在读博士, 主要从事高密度全息存储技术的研究。E-mail: hmingju

示,采用  $90^\circ$  记录非倾斜光栅,由于染料藻红吸收波长在  $500 \sim 550 \text{ nm}$  之间,所以记录光用氩离子激光的  $514 \text{ nm}$  波长,用半导体激光读出,波长  $650 \text{ nm}$ ,图中  $R$  和  $S$  分别为记录的参考光和物光, $R'$  为读出光, $S'$  为读出时的衍射光,衍射效率定义为  $S'$  的光强  $I_s$  和  $R'$  的光强  $I_r$  比的百分数。

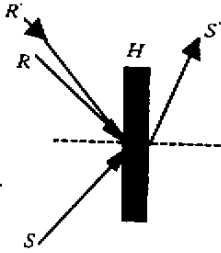


图1 测量光路设置

Fig.1 Experimental setup

### 3 实验结果及分析

#### 3.1 记录特性曲线

全息材料的记录特性曲线即衍射效率  $\eta$  随曝光量  $E$  的变化曲线,该曲线由实验所测得的衍射效率  $\eta$  与记录时间  $t$  关系曲线变换得到,由这两条曲线可以计算材料的曝光时间常数、折射率调制度、灵敏度等光聚物高密度全息存储所需的几乎所有的常数。实验用的参考光和物光的分光比为  $1:1$ 。

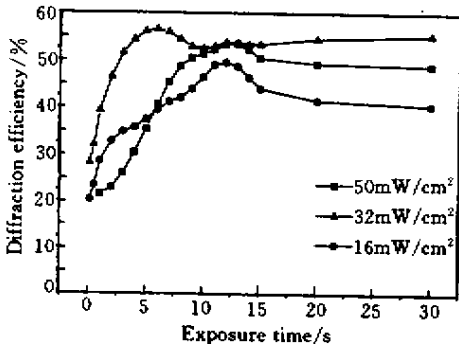


图2 衍射效率随记录时间的变化曲线

Fig.2 Diffraction efficiency vs exposure time with different exposure intensity

图2和图3中画出了曝光强度分别为  $16 \text{ mW/cm}^2$ 、 $32 \text{ mW/cm}^2$  和  $50 \text{ mW/cm}^2$  的三条实验曲线。从图2可以看出,不管曝光强度如何,材料的衍射效率均随着记录时间的增加而增加,表明材料中的单体在逐渐地聚合,浓度在减小,而聚合物的浓度在增加,因此由记录在材料中形成的亮暗条纹调制区域的折射率调制度也在增加,但当记录达到一定时间

时,衍射效率达到最大值,表明此时折射率调制度达到了最大值。在以后的记录时间里,衍射效率不但没有增加反而下降了近  $10\%$ ,这在参考文献中也有类似的现象<sup>[5]</sup>,只是程度有些不同,我们认为原因可能是达到最大衍射效率之后的过曝光所致。由于材料的均匀性不够理想等因素,记录光在材料中产生散射的噪声光在暗区引发残存的极少量单体发生了聚合,这种现象在开始时由于噪声光很弱不足以引起单体的聚合,此时随时间的增加,亮区的聚合基本饱和,而暗区的噪声光累积结果使之成为一个不可忽视的量,从而引发了残存单体的聚合,因此亮暗区域折射率调制度的相对值反而减小了,故衍射效率有所下降;当再延长记录时间时,所有的单体全部耗尽,亮暗区域折射率调制度的相对值不再发生变化,记录光栅强度固定,所以衍射效率稳定。

为了实现对全息光栅的固定,通常采用过曝光技术来耗尽记录残余的单体,以达到稳定存储的目的<sup>[6]</sup>。显然由以上实验结果可知,过曝光技术不利于有效地利用材料的动态范围。

根据耦合波理论<sup>[7]</sup>对于非倾斜相位型光栅,衍射效率与记录条件之间的关系如下

$$\eta = \sin^2(\pi \Delta n d / \lambda \cos \theta)$$

其中  $d$  为材料的厚度,  $\Delta n$  为材料的折射率调制度,  $\lambda$  为记录波长,  $\theta$  为记录时参考光和物光夹角的一半,按照我们的实验数据,材料的厚度为  $90 \mu\text{m}$ ,根据图2中最大衍射效率  $57.89\%$ ,可以计算得到材料的最大折射率调制度  $\Delta n = 1.02 \times 10^{-3}$ ,这样的折射率调制度要比光折变晶体的折射率调制度高近一个数量级。根据光信息存储的理论,体全息存储密度的上限为  $1/\lambda^3$ ,可以估算这种绿光敏感的光聚物材料在用  $514 \text{ nm}$  波长记录时,其记录密度可以达到  $100 \text{ Gb/cm}^3$  以上。

从图2还可以看出,在不同的记录强度下,达到最大衍射效率所用的时间也不同,显然,记录强度增加,达到最大衍射效率所用时间则减少,表明全息记录的时间常数也在减小,这与光聚物材料的曝光灵敏度特性有关。根据全息材料感光灵敏度值的定义,达到或接近最大衍射效率时曝光量的倒数,单位是  $\text{cm}^2/\text{mJ}$ 。从图3可以看出三种记录光强下材料达到最大衍射效率时的曝光量是不同的,对应  $16 \text{ mW/cm}^2$ 、 $32 \text{ mW/cm}^2$  和  $50 \text{ mW/cm}^2$  的曝光强度,曝光量分别为  $100 \text{ mJ/cm}^2$ 、 $200 \text{ mJ/cm}^2$  和  $300 \text{ mJ/cm}^2$ ,则三种情况下材料的感光灵敏度分别为  $0.01 \text{ cm}^2/\text{mJ}$ 、 $0.005 \text{ cm}^2/\text{mJ}$  和  $0.003 \text{ cm}^2/\text{mJ}$ ;可见随着曝光强

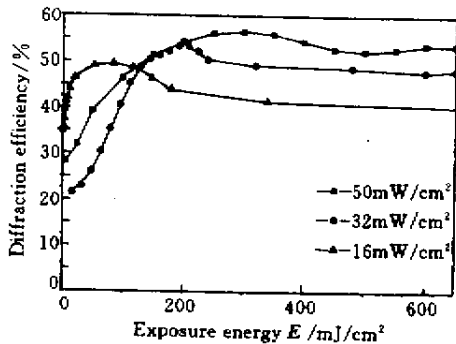


图 3 不同曝光强度下的曝光特性曲线

Fig.3 Exposure characteristic curves with different exposure intensity

度的增加,光聚物达到最大衍射效率所需的曝光量也增加,基本符合最大衍射效率对应的曝光量随记录光强增加成线性增加而感光灵敏度减小的理论<sup>[8]</sup>。显然这种材料的灵敏度还有待提高,需要通过改变配方的比例寻找最佳配方。

### 3.2 分光比对材料衍射效率的影响

为了寻找最佳的光学记录条件,我们分别用 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 和 2:1 的物光和参考光的光强比做上述实验,所得结果如图 4 所示。从图中可以看出记录光强比在 1:1 时材料所具有的衍射效率为最高,分光比越小,衍射效率也越低,所能达到的最大衍射效率也越小。这个实验结果同文献<sup>[9]</sup>的报道是一致的。

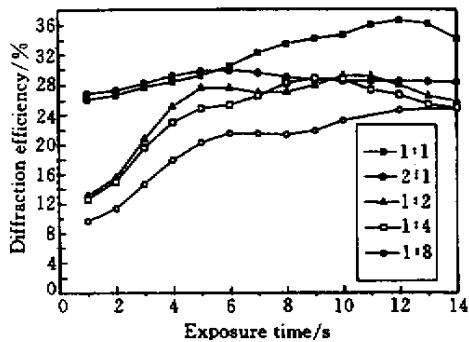


图 4 分光比对衍射效率的影响

Fig.4 Effect on diffraction efficiency of beam intensity ratio

## 4 结 论

从以上实验结果和分析可以得到如下结论:

1) 该种光聚物全息材料的衍射效率较高,接近 60% 折射率调制度在  $10^{-3}$  数量级,比常用的光折变晶体要高。

2) 记录过程中的过度曝光会使衍射效率有所下降,不利于充分利用材料的动态范围及增加高密度全息存储的密度和容量。因此要想很好地利用过曝光技术,必须提高材料的均匀性,尽可能减少记录过程中材料内的散射噪声对记录的影响。

3) 记录过程中使用较大的曝光强度,有利于增加材料的折射率调制度(或材料的动态范围)和衍射效率的提高,但材料的灵敏度会随之降低。

4) 记录时参考光与物光的分光比对衍射效率影响比较大,分光比越接近 1:1 衍射效率越大,当分光比为 1:1 时衍射效率最大,因此在高密度全息存储的记录过程中应尽可能使参考光与物光的光强比值接近 1:1。

5) 这种材料的灵敏度比较低,为了使其能在高密度全息存储中得以应用,必须调整聚合物中化学成分的比例,优化材料的曝光灵敏度特性。

## 参 考 文 献

- 1 GAN Fu-xi, He Hong, Shen Defang *et al.* ed. Digital Optical Disk Recording Technique [M]. Beijing: Scientific Publishing Company, 1998. 306 ~ 309 (in Chinese)
- 2 TAO Shi-quan, Wang Dayong, Jiang Zhuqing *et al.* ed. Optical Holographic Recording [M]. Beijing: Beijing university Publishing Company, 1998. 31 ~ 37 (in Chinese)
- 3 S. Blaya, R. Mallavia, L. Carretero *et al.*. Highly sensitive photopolymerizable dry film for use in real time holography [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(12):1628 ~ 1630
- 4 Allen Pu, Demetri Psaltis. High-density recording in photopolymer-based holographic three-dimensional disks [J]. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(14):2389 ~ 2398
- 5 Salvador Blaya, Luis Carretero, Ricardo Mallavia *et al.*. Optimization of an acrylamide-based dry film used for holographic recording [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(32):7604 ~ 7610
- 6 Uh-Sock Rhee, H. John Caulfield, Chandra S. Vikram *et al.*. Dynamics of hologram recording in DuPont photopolymer [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(5):846 ~ 853
- 7 Herwig Kogelnik. Coupled wave theory for thick hologram gratings [J]. *The Bell System Technical Journal*, 1969, **48**(9):2909 ~ 2947
- 8 A. Fimia, N. Lopez, F. Mateos *et al.*. New photopolymer used as a holographic recording material [J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(20):3706 ~ 3707
- 9 R. T. Ingwall, H. L. Fielding. Hologram recording with a new polaroid photopolymer system [C]. *SPIE*, 1985, **523**:306 ~ 312