

文章编号: 0258-7025(2004)04-0457-04

光致变色俘精酸酐用于可擦写 全息图像存储的研究

王英利, 姚保利*, 郑 媛, 门克内木乐, 雷 铭, 陈国夫

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068)

陈 懿, 樊美公, 闫起强, 韩 勇, 孟宪娟

(中国科学院物理化学技术研究所, 北京 100101)

摘要 对一种新型可擦重写有机光致变色材料——俘精酸酐/聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)薄膜的光致变色双稳态吸收光谱进行了测量,呈色态的吸收峰在 513 nm,无色态的吸收峰在 370 nm。利用该双稳态特性,在 10 μm 俘精酸酐/PMMA 薄膜上进行全息图像光存储。实验用氩离子激光器 514.5 nm 波长作为记录光源,测量了衍射效率与曝光量的关系,最大衍射效率约为 1%,最佳曝光量约 1 J/cm²。获得了存储于样品上的全息干涉条纹和参考光再现的衍射像,分析了影响衍射图像像质的因素。记录在样品上的全息图在室温下黑暗处可以保存一年以上,用紫外光可以擦除记录的全息图,进行多次记录、读出和擦除操作。结果表明,俘精酸酐可以作为一种性能优良的可擦写全息光存储材料。

关键词 信息光学;俘精酸酐;光致变色;全息光存储

中图分类号 TQ 597.92;O 438.1 **文献标识码** A

Study of Holographic Image Storage in Rewritable Photochromic Fulgide Material

WANG Ying-li¹, YAO Bao-li¹, ZHENG Yuan¹, MENKE Nei-mu-le¹, LEI Ming¹,
CHEN Guo-fu¹, CHEN Yi², FAN Mei-gong², YAN Qi-qiang², HAN Yong², MENG Xian-juan²

¹State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics
and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710068, China
²Technical Institute of Physics and Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract A new type of organic photochromic material—fulgide/PMMA film was investigated as a rewritable holographic recording medium. The bistable absorption spectra of the fulgide/PMMA film were measured. The maximum absorption of the colored state was centered at 513 nm, the peak absorption of the bleached state was at 370 nm. Based on the bistable states of the photochromic fulgide, holographic images were stored on the 10 μm film. Argon laser (514.5 nm) was used as recording light. The relation between the diffraction efficiency and the exposure was measured, which showed that the maximal diffraction efficiency was about 1% under the exposure 1 J/cm² or so. Holographic gratings recorded on the film and diffraction images recovered by the reference beam were obtained. Factors influencing the recovery image's quality were analyzed. The holographic gratings recorded on the film can be kept for over one year in darkness at room temperature, which can be erased by UV light. The sample can be written, read and erased in many times. The experimental results show that the fulgide can be used as a good rewritable holographic storage material.

Key words information optics; fulgide; photochromism; holographic storage

收稿日期: 2002-12-09; 收到修改稿日期: 2003-02-24

基金项目: 国家自然科学基金(60007009, 60278026), 国家“973”重点研究计划(G1999033004)和中国科学院创新方向性研究(40001043)资助项目。

作者简介: 王英利(1973—), 女, 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室助理研究员, 博士研究生, 主要从事有机光致变色材料在光存储中的应用研究。

* 通信联系人。E-mail: yaobl@opt.ac.cn

1 引 言

目前,光存储向着高密度大容量和高存取速率的方向发展。其中全息光存储因具有高存储容量和高数据读取速率而成为未来光存储的发展方向之一^[1]。全息存储材料是关键因素之一。全息光记录介质有银盐、重铬酸盐明胶、光致聚合物、光折变晶体、光致变色材料等。其中有机光致变色材料是可擦写记录介质,它利用光驱动双稳态转换,记录过程简单,无需显影、定影等后处理,单位信息位成本低、分子结构可调控,从而具有显著的优势^[2]。对于有机光致变色材料—俘精酸酐, Yokoyama^[3]认为其光、热稳定性好,存储寿命长,抗疲劳性好,是一种优良的可擦重写光存储材料。于联合等^[4]将吡咯取代俘精酸酐应用于光存储,制作出了光盘样盘。廖宁放等^[5]报道了用俘精酸酐体系材料实现了单光束双光子光存储。但对俘精酸酐材料在全息存储方面的报道很少^[6]。我们曾对吡咯取代俘精酸酐的图像光存储特性进行过研究^[7]。本文在建立的全息图像存储光路上,实现了在俘精酸酐/PMMA 薄膜上存储全息图像。用 CCD 拍摄到了存储于样品上的全息干涉条纹和参考光再现的衍射像。该全息图在室温下黑暗处可以保存一年以上,可以进行多次写读擦操作。

2 材料和方法

俘精酸酐采用Stobbe缩合反应合成,合成方法

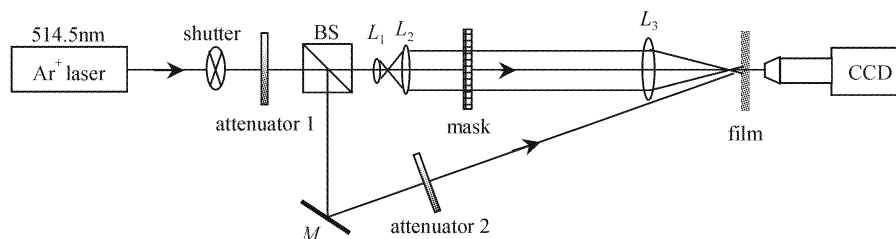


图 2 全息图像光存储实验光路

Fig. 2 Experimental setup for holographic image storage

全息图像存储实验光路如图 2 所示。光源为氩离子激光器,波长 514.5 nm,功率 40 mW,光束直径 1 mm。该激光束经透镜 L_1 , L_2 组成的扩束准直器后,形成直径为 5 mm 的平行光照射于透射式鉴别率板上,然后经过透镜 L_3 汇聚,在 L_3 的焦点后与参考光相交,作用于样品薄膜上。在样品后用 CCD 和其配接的显微镜组成显微成像系统,以观察干

和步骤参见文献[4]。取 3 mg 的俘精酸酐样品溶解于 0.1 ml 10% (重量比) 的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 环己酮溶液中。将溶液均匀涂布于 $\phi 25$ mm 的 K9 光学玻璃表面,在空气中晾干后,制成厚度约为 10 μm 的俘精酸酐/PMMA 透明薄膜。

样品呈色前略显淡黄色(无色体),在紫外灯照射下,逐渐变为橙色(呈色体)。呈色体在氩离子激光(514.5 nm)照射下可以重新返回无色体。无色体和呈色体在室温下都是稳定的。图 1 是在岛津 UV-3101PC 型紫外-可见-红外分光光度计上测量的无色体和呈色体的吸收光谱。呈色体的吸收峰为 513 nm,无色体的吸收峰为 370 nm。做全息实验时,首先使样品在紫外灯下照射变为呈色体,然后用氩离子激光使部分呈色体变为无色体在其上记录全息条纹。

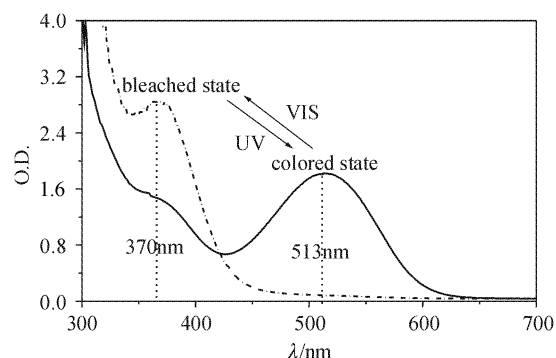


图 1 俘精酸酐/PMMA 薄膜呈色体和无色体的吸收光谱

Fig. 1 Absorption spectra of the colored state and the bleached state of fulgide/PMMA film

涉条纹、物像及再现衍射像。

在记录全息图像之前,先用 40 \times 显微镜观察物光和参考光的干涉条纹,进行光路调节,同时调节参考光的光强以使干涉条纹调制度最大。最佳物光光强为 96 mW/cm^2 ,参考光光强为 83 mW/cm^2 。物光和参考光的夹角约 7 $^\circ$ 。用 CCD 拍摄物像及再现衍射像时,使用 3 \times 显微镜。

表 1 衍射效率随曝光量的变化关系

Table 1 Dependence of diffraction efficiency on exposure

Exposure/(mJ/cm ²)	358(2 s)	716(4 s)	895(5 s)	1074(6 s)	1790(10 s)	3580(20 s)
Diffraction efficiency/%	0.12	0.71	0.88	0.98	0.73	0.34

全息条纹在样品上记录完成后,挡住物光,将参考光减弱作为再现读出光。用 40× 显微镜观察存储于样品上的干涉条纹,用 3× 显微镜观察参考光再现的衍射像。

3 结果与讨论

实验发现,样品记录干涉条纹的衍射效率随曝光量的增加首先增大,达到某一值后,继续增加曝光量反而会使衍射效率逐渐减小,因此存在最佳曝光量。表 1 是用功率计测量某一点的衍射效率随曝光量的变化关系。

在记录全息图像时,如果曝光不足,存储于样品上的干涉条纹调制度低,衍射像弱。而当曝光过度时(曝光时间 60 s),衍射像会从中心开始逐渐变黑,直到最后整个衍射像都变黑,只有图像的边缘是亮的,如图 3 所示。产生这种现象的原因是,样品位于透镜 L_3 的焦点附近,相当于在傅里叶变换频谱面附近。此时图像的低频信息位于中间位置,而周围是高频信息。我们使用的激光为高斯光斑,其中间光强大而周围光强小,因此图像的低频成分曝光量远大于高频成分的曝光量。当低频信息首先曝光被记

录上时,高频信息还没有被记录上,此时图像边缘不清晰。但随着曝光时间的增加,低频信息逐渐曝光过度,使图像低频信息丢失,图像逐渐变黑,而此时高频信息被逐渐记录上,因此图像的边缘变得很清晰。利用这种效应可以达到图像边缘增强的作用。实验中,物光光强为 96 mW/cm²,参考光光强为 83 mW/cm²,为了得到最佳再现衍射像,曝光时间为 6 s 最好,与此对应的最佳曝光量为 1074 mJ/cm²,这与表 1 测量的最佳曝光量是一致的。

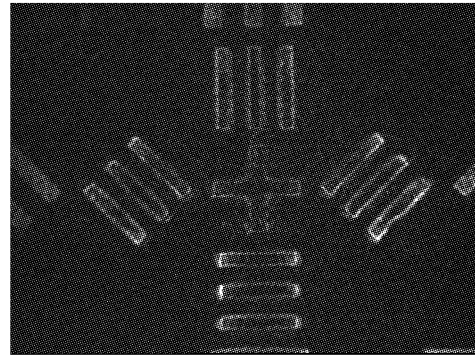


图 3 曝光过度时产生的边缘增强的再现衍射像
Fig. 3 Edge enhanced reconstruction diffraction image due to over exposure

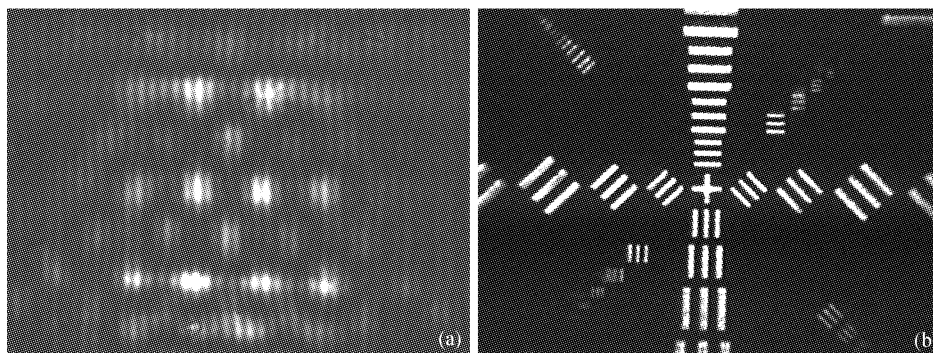


图 4 全息记录前物光和参考光的干涉条纹(a)和物像(b)

Fig. 4 Interference pattern of object and reference beams (a) and the object image (b)

全息图像记录前,用 CCD 拍摄的物光和参考光的干涉条纹如图 4(a)所示。挡住参考光,在物光路中拍摄的物像如图 4(b)所示。同时打开物光和参考光使样品曝光至最佳曝光量。挡住物光,减弱参考光,用 CCD 读取存储于样品上的全息干涉条纹和

再现衍射像,分别如图 5(a)和 5(b)所示。比较原物像(图 4(b))和再现衍射像(图 5(b))可看出,再现的衍射像存在轻微的畸变,并且信噪比降低。分析噪声来源发现,样品上有颗粒性杂质(如图 5(a)),这些物质的存在使在记录过程中样品上存储了错误的

信息。另外当参考光再现时,照射到这些颗粒性杂质上的散射会引起杂散光。实验光路中的各光学元件调节也可能存在一定的误差,引起图像有轻微的畸变。因此,要想进一步提高再现衍射像的像质,需要在样品制作过程中避免样品不均匀和颗粒性物质的存在,同时光路调试中应尽量避免位相畸变和采

用高质量的成像透镜。

存储在俘精酸酐薄膜上的全息图,在室温下非常稳定,在黑暗处可以保存一年以上而保持衍射效率基本不变。需要擦除时,将样品放在紫外灯下照射几分钟至样品变为橙色即可。样品的可擦写次数可以达到几百次^[4]。

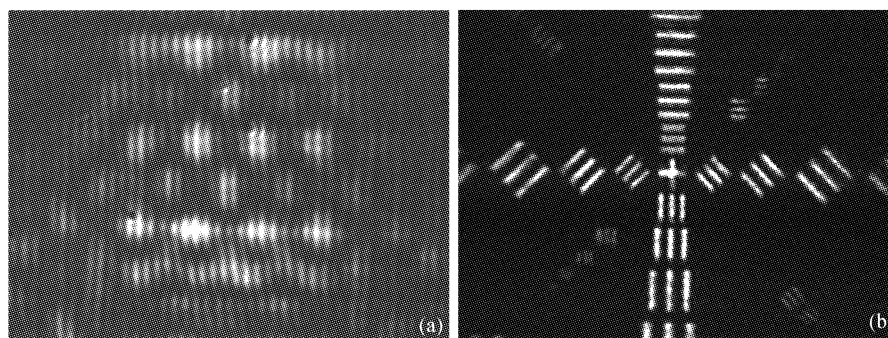


图 5 记录于样品上的全息条纹图(a)和参考光再现的目标衍射像(b)

Fig. 5 Hologram recorded on the sample (a) and reconstruction image readout by reference beam (b)

4 结 论

用俘精酸酐/PMMA 薄膜进行了图像全息光存储,获得了存储于样品上的全息干涉条纹和参考光再现的衍射像。实验结果证明光致变色俘精酸酐可以作为一种新型的可擦重写全息记录材料。由于样品表面的颗粒性杂质的存在使所得到的衍射像有轻微的畸变从而影响了衍射像的质量,因此要想获得好的全息再现图像,应制备出均匀的薄膜样品。同时光路中由于各光学元件如透镜调试可能存在误差也会引起像的畸变。要避免上述这些情况可采用共轭再现的方法,消除由于物光路失调或记录材料缺陷引起的物光波前相位畸变,从而提高全息记录再现像的像质。

参 考 文 献

1 Tao Shiquan. Recent advances in high density holographic optical storage technology [J]. *Physics*, 1997, **26**(2):79~85

陶世荃. 高密度全息光学存储技术的最新进展[J]. *物理*, 1997, **26**(2):79~85

2 M. Irie. Diarylethenes for memories and switches [J]. *Chem. Rev.*, 2000, **100**(5):1685~1716

3 Y. Yokoyama. Fulgides for memories and switches [J]. *Chem. Rev.*, 2000, **100**(5):1717~1739

4 Yu Lianhe, Fan Meigong, Ming Yangfu *et al.*. Synthesis and applications of photochromic fulgides in optical storage [J]. *Science in China (Series B)*, 1995, **25**(8):799~803

于联合,樊美公,明阳福等. 光致变色俘精酸酐的制备及其在光信息存储中的应用[J]. *中国科学(B辑)*, 1995, **25**(8):799~803

5 Liao Ningfang, Gong Mali, Xu Duanyi *et al.*. Single-beam two-photon three-dimensional optical storage in a pyrrol-substituted fulgide photochromic material [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**(16):1345~1348

廖宁放,巩马理,徐端颐等. 光致变色俘精酸酐体系的单光束双光子多层记录特性[J]. *科学通报*, 2001, **46**(16):1345~1348

6 R. Lessard, C. Lafond, F. Ghailane *et al.*. Photochromic material for holographic data storage [C]. *SPIE*, 1999, **3897**:46~55

7 Wang Yingli, Yao Baoli, Lei Ming *et al.*. Optical image storage using pyrrol fulgide [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5):616~618

王英利,姚保利,雷铭等. 吡咯俘精酸酐的图像光存储特性[J]. *光学学报*, 2003, **23**(5):616~618