

吡啶俘精酰胺的偏振全息图像光存储实验研究^{*}

王英利¹⁾ 姚保利^{1)†} 陈 懿²⁾ 樊美公²⁾ 郑 媛¹⁾ 门克内木乐¹⁾
雷 铭¹⁾ 陈国夫¹⁾ 韩 勇²⁾ 闫起强²⁾ 孟宪娟²⁾

¹⁾ (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, 西安 710068)

²⁾ (中国科学院物理化学技术研究所, 北京 100101)

(2002 年 12 月 24 日收到, 2003 年 4 月 10 日收到修改稿)

在吡啶俘精酰胺/PMMA 薄膜上记录了同偏振全息和正交偏振全息图, 获得了它们的再现衍射像. 实验结果表明, 吡啶俘精酰胺具有光致各向异性, 可以进行正交偏振全息记录. 在偏振全息中, 衍射光的偏振方向依赖于物光和再现光的偏振方向, 衍射像的噪声主要来源于再现光照射到样品上引起的散射. 正交偏振全息可以得到比同偏振全息更高信噪比的衍射像. 存储于样品上的全息图在室温下黑暗处至少可以保存五个月而衍射效率无明显下降. 结果表明, 吡啶俘精酰胺是一种可用于偏振全息的可擦重写记录介质.

关键词: 偏振全息, 光致各向异性, 俘精酸酐, 光致变色

PACC: 4240, 4270J, 4280T, 4225J

1. 引 言

自从上世纪 70 年代出现偏振全息的概念后, 有关偏振全息的理论和应用研究得到了不断的发展和完善^[1-3]. 这种方法与普通全息通过强度调制来记录和再现物光波的相位信息不同的是, 它通过偏振态的调制来记录和再现物光波的相位信息. 当两束偏振态相互垂直的相干光叠加时, 合成光场的光强不发生调制(为常数), 但其偏振态是空间调制的. 如果记录介质具有光诱导各向异性(光致双折射或光致二向色性), 介质对于偏振光的吸收系数或折射率在合成光场照射下将发生调制变化, 从而可以记录下偏振光栅. 当用偏振光照明记录介质时, 便会再现出与其偏振态正交的物光波. 实现偏振全息的必要条件是记录介质具有光诱导各向异性. 目前这种材料主要有各向异性色心的碱卤化物晶体、光色玻璃、具有光致各向异性的银和氯化银明胶^[4]、染料聚合物体系^[5-7]及光致变色材料^[8,9]等. 其中光致变色材料是可擦写全息记录介质, 它利用光驱动双稳态转换, 具有分子结构可调控, 成本低, 记录过程简单, 无

需显影定影后处理等明显优点. 其中有机光致变色材料——俘精酸酐及其衍生物具有热稳定性好, 双稳态在室温下均可以稳定存在, 抗疲劳性好等优点, 是一种优良的可擦重写光存储材料^[10]. Yokoyama^[11]和樊美公^[12]等人分别用不同取代基的俘精酸酐研制成功了光致变色光盘样盘. 廖宁放等人^[13]用俘精酸酐材料验证了单光束双光子三维光存储. 笔者在以前的文章中用吡啶俘精酸酐材料进行了图像光存储^[14]. 本文研究了吡啶俘精酰胺的偏振全息图像存储特性, 证明了该类材料具有光诱导各向异性, 获得了存储于样品上的同偏振和正交偏振全息光栅的再现衍射像, 讨论了偏振全息中衍射像与再现光偏振方向之间的关系以及衍射像的噪声来源. 利用正交偏振全息记录可以得到高信噪比的再现衍射像.

2. 材料和方法

实验材料为吡啶俘精酰胺, 采用 Stobbe 缩合反应合成, 合成方法和步骤参见文献^[12]. 取 1.5 mg 的吡啶俘精酰胺样品溶解于 0.1 ml 10% (重量比) 的 PMMA 环己酮溶液中. 将溶液均匀涂布于 $\phi 25$ mm

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 60007009, 60278026), 国家重点研究计划(批准号: 973) (批准号: G1999033004), 中国科学院创新方向性研究(批准号: 40001043)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: yaobl@opt.ac.cn

的 K_9 光学玻璃表面,在空气中晾干后,制成厚度约为 $10 \mu\text{m}$ 的吡啶俘精酰胺/PMMA 透明薄膜.

样品呈色前略显淡黄色(无色体),将样品放在紫外灯下照射数分钟逐渐变为蓝色的呈色体.呈色体又可被 He-Ne 激光激发到无色体.无色体和呈色体在室温下都是稳定的.呈色体的吸收峰为 573 nm ,无色体吸收峰为 366 nm .在日本岛津 UV-3101PC 型紫外-可见-红外分光光度计上测量无色体和呈色

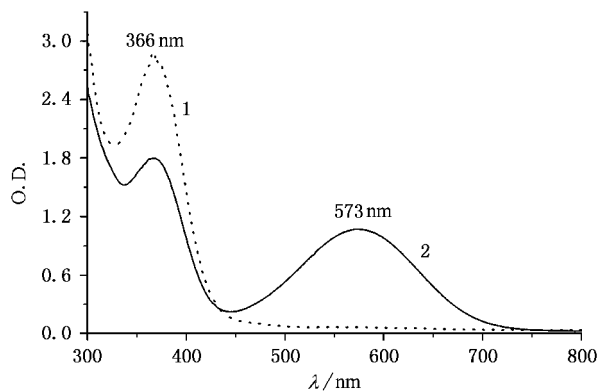


图1 吡啶俘精酰胺/PMMA 薄膜呈色体和无色体的吸收光谱
(曲线1为无色体,曲线2为呈色体)

体的特征吸收光谱如图1所示.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 He-Ne 激光使部分呈色体变为无色体在其上记录全息光栅.

偏振全息实验光路如图2所示. He-Ne 激光为非偏振光,功率 4.2 mW ,光斑直径 2 mm .经 1:1 消偏振分光棱镜(BS)分束后分为物光和参考光.物光和参考光的偏振方向分别由偏振片 P_1 和 P_2 来调节.调节光路使物光和参考光相交于样品上.在样品后插入检偏器 P_3 以确定衍射光的偏振方向,其后由 CCD 和配接的显微物镜组成显微成像系统,以观察物像和衍射像.通过连续可调衰减器 A_2 调节参考光的光强以使干涉条纹调制度最大.最佳物光和参考光光强都约为 6 mW/cm^2 .物光和参考光的夹角约 7° .

同偏振全息记录时, P_1, P_2 同为水平偏振方向.正交偏振全息记录时, P_1 为水平偏振方向, P_2 为竖直偏振方向.曝光记录完成后,挡住物光,用参考光再现.用配接 $4\times$ 显微物镜的 CCD 拍摄两种偏振全息所得到的衍射像.在偏振全息再现过程中,转动 P_2 以改变参考光的偏振方向,通过 CCD 观察衍射像,并转动 P_3 以探测衍射像偏振方向与再现光偏振方向的关系.

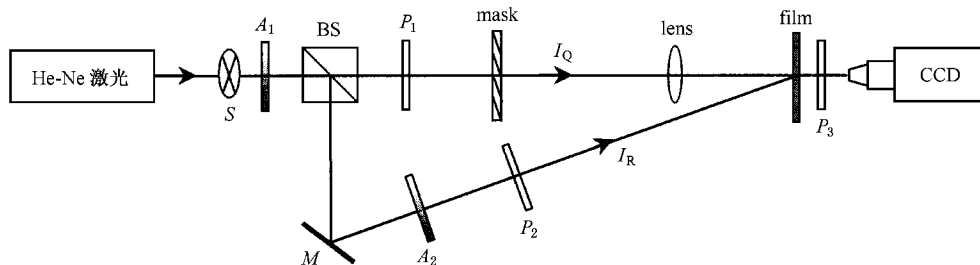


图2 偏振全息实验光路图

3. 结果与讨论

实验发现,样品的衍射效率随曝光量的增加不是线性增加关系,首先随着曝光量的增加而增加,达到某一值时(最佳曝光量),随着曝光量的增加逐渐减小.因此要想获得最大衍射效率和最佳衍射像,需控制曝光量.对于同偏振全息记录,最佳曝光量为 720 mJ/cm^2 ,此时的最大衍射效率为 2% ;对于正交偏振全息记录,最佳曝光量为 1560 mJ/cm^2 ,最大衍射效率为 0.8% .正交偏振全息记录的最佳曝光量

约为同偏振全息记录的二倍,而最大衍射效率约为同偏振的二分之一.因为对于同偏振全息记录来说,记录的是光强调制信息,包括相位型和振幅型光栅;而对于正交偏振全息记录来说,记录的是偏振态空间调制信息,属于纯相位型光栅.

在同偏振全息记录中,物光和参考光同为水平偏振方向,参考光再现的衍射像如图3所示.在这种记录方式下,衍射光的偏振方向始终与再现光的偏振方向一致.由于再现光照射到样品上引起的散射噪声也为水平偏振,因此检偏器 P_3 无法滤掉噪声.

在正交偏振全息记录中,物光为水平偏振方向,

参考光为竖直偏振方向.用参考光再现时,衍射光的偏振方向始终与再现光的偏振方向垂直,而再现光照射到样品上引起的散射噪声的偏振方向与再现光的偏振方向相同.因此通过转动检偏器 P_3 ,使其偏振方向与 P_2 正交时,即可以滤掉噪声,获得最佳信噪比的衍射像,如图 4 所示.比较图 3 和图 4 可以看到,正交偏振全息的再现像明显好于同偏振全息的再现像,具有更高的信噪比.表 1 列出了同偏振全息和正交偏振全息记录和再现时,物光、参考光、再现



图 3 同偏振全息记录的再现衍射像

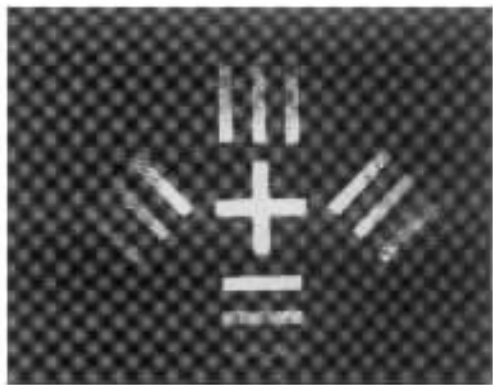


图 4 正交偏振全息记录的再现衍射像

光、衍射光以及散射光的偏振状态.上述实验说明吡啶俘精酰胺这种材料不仅具有光致变色特性,可以进行普通全息记录,而且具有光致各向异性,可以进行正交偏振全息记录.

存储于样品上的全息图在室温下置于黑暗处保持 5 个月后,其衍射效率无明显变化(同偏振全息衍射效率 1.8%,正交偏振全息的衍射效率 0.7%).全息图的擦除采用紫外灯照射至样品变为蓝色即可重复使用.

表 1 同偏振和正交偏振全息记录和再现时各光束的偏振态

	同偏振全息		正交偏振全息	
物光偏振方向	↔		↔	
参考光偏振方向	↔		↕	
再现光偏振方向	↔	↕	↔	↕
衍射光偏振方向	↔	↕	↕	↔
散射光偏振方向	↔	↕	↔	↕

4. 结 论

吡啶俘精酰胺不仅具有光致变色特性,可以进行普通全息记录,而且具有光致各向异性,可以进行正交偏振全息记录.同偏振记录,由于衍射光的偏振方向始终与再现光偏振方向相同,因此再现图像的信噪比小.正交偏振记录,由于衍射光的偏振方向与再现光的偏振方向垂直,所以可以通过检偏器滤掉了由再现光引起的散射噪声,从而可以获得高信噪比的衍射图像.存储于样品上的全息图寿命至少有 5 个月.在紫外灯照射下可重新返回呈色态.因此,吡啶俘精酰胺是一种优良的可擦重写偏振全息光存储材料.

- [1] Kakichashvili Sh D 1991 *SPIE Proc.* **1731** 148
 [2] Yu M W and Zhang C L 1992 *Acta Phys. Sin.* **41** 764 (in Chinese)
 [于美文、张存林 1992 物理学报 **41** 764]
 [3] Okada-Shudo Y 2001 *SPIE Proc.* **4461** 140
 [4] Attia M *et al* 1983 *Opt. Commu.* **45** 235
 [5] Wang C *et al* 1999 *Opt. Commu.* **159** 58
 [6] Geminiano M P and Cristina S 2002 *Appl. Opt.* **41** 2122
 [7] Huang M J *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2536 (in Chinese) [黄明举等 2002 物理学报 **51** 2536]

- [8] Juchem T and Hamp N 2001 *Opt. Lett.* **26** 1702
 [9] Lessard R *et al* 1999 *SPIE Proc.* **3897** 46
 [10] Yokoyama Y 2000 *Chem. Rev.* **100** 1717
 [11] Matsui F *et al* 1994 *Chem. Lett.* **10** 1869
 [12] Yu L *et al* 1995 *Sci. Chin. (Ser. B)* **25** 799 (in Chinese) [于联合等 1995 中国科学(B 辑) **25** 799]
 [13] Liao N *et al* 2001 *Chin. Sci. Bul.* **46** 1856
 [14] Wang Y L *et al.* 2003 *Acta Opt. Sin.* **23** 616 (in Chinese) [王英利等 2003 光学学报 **23** 616]

Polarization holographic image storage with indolyfulgimide *

Wang Ying-Li¹⁾ Yao Bao-Li^{1)†} Chen Yi²⁾ Fan Mei-Gong²⁾ Zheng Yuan¹⁾ Menke Nei-Mu-Le¹⁾
Lei Ming¹⁾ Chen Guo-Fu¹⁾ Han Yong²⁾ Yan Qi-Qiang²⁾ Meng Xian-Juan²⁾

¹⁾ *State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China*

²⁾ *Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

(Received 24 December 2002 ; revised manuscript received 10 April 2003)

Abstract

Co-polarized and cross-polarized holographic gratings were respectively recorded on the indolyfulgimide/PMMA film and their diffracted images were obtained. The experiment indicates that the indolyfulgimide possesses the characteristic of photo-induced anisotropy, therefore it can be used for cross-polarized holographic recording. In polarization holography, the polarization of diffraction beam is dependent on the polarizations of reference beam and object beam. The noise of the diffraction image mainly comes from the diffusion of the readout beam on the sample. Cross-polarized holography can obtain higher signal-to-noise ratio of reconstructed image than that of co-polarized holography. Holographic gratings recorded on the film can be kept for at least five months in darkness at room temperature without decrease of diffraction efficiency. The results show that indolyfulgimide is an erase-rewritable optical storage material that can be used in polarization holography.

Keywords : polarization holography, photoinduced anisotropy, fulgide, photochromism

PACC : 4240, 4270J, 4280T, 4225J

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60007009, 60278026), the National Research Funding for Fundamental Key Project of China (Grant No. G1999033004) and the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (Grant No. 40001043).

† E-mail : yaobl@opt.ac.cn