

文章编号: 0258-7025(2003)02-0145-04

## 利用固体浸没透镜的近场光学存储研究

鲁拥华<sup>1</sup>, 王沛<sup>1</sup>, 章江英<sup>1</sup>, 明海<sup>1</sup>, 谢建平<sup>1</sup>, 张其锦<sup>2</sup>

(中国科学技术大学<sup>1</sup> 物理系,<sup>2</sup> 高分子材料科学与工程系, 安徽 合肥 230026)

**摘要** 固体浸没透镜的近场光学存储是一种有效的超高密度光存储方法。在自建的实验装置上利用固体浸没透镜(SIL)在偶氮聚合物液晶(P-CN)上进行近场光存储实验,存储点的尺寸小于0.5 μm(激光波长为532 nm)。并且研究了不同聚焦深度及入射激光强度对记录效果的影响。

**关键词** 信息光学;光存储;固体浸没透镜;偶氮聚合物液晶

**中图分类号** TP 333.4 **文献标识码** A

## Investigation on Near-field Optical Data Storage Using Solid Immersion Lens

LU Yong-hua<sup>1</sup>, WANG Pei<sup>1</sup>, ZHANG Jiang-ying<sup>1</sup>,

MING Hai<sup>1</sup>, XIE Jian-ping<sup>1</sup>, ZHANG Qi-jing<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Department of Physics, <sup>2</sup>Department of Polymer Science and Engineering,  
University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China)

**Abstract** Near-field optical data storage using solid immersion lens is an effective ways to pursue super high storage density. In this paper, a homemade experimental setup is used to execute near-field optical storage experiment on azobenzene polymer (P-CN) with solid immersion lens (SIL), and achieve 0.5 μm storage bit (with laser wavelength of 532 nm). Further more, the effects of different focus position and incident laser power are investigated.

**Key words** information optics; optical storage; solid immersion lens (SIL); azobenzene polymer (P-CN)

### 1 引言

超高密度光存储因其良好的应用前景以及在信息化过程中的重要作用而引起了众多研究者的兴趣。但传统的光盘存储技术受衍射分辨极限( $\frac{\lambda}{2NA}$ ,  $NA$  为光盘头的数值孔径)的限制,无法满足社会对超大容量信息存储的需求。在现有光源的基础上,通过提高光盘头的有效数值孔径将是一条提高光存储密度的有效方法。在光学显微成像方面,油浸物镜是一种常用的提高数值孔径的方法;但应用在光存储领域,油浸因不便于扫描而并不适用。所幸的是,固体浸没透镜(SIL)可以替代油浸方案达到提高光学头的有效数值孔径的作用<sup>[1]</sup>。所谓固

体浸没透镜,通常是一个半球透镜或高度为  $h = (1 + \frac{1}{n})r$  的超半球透镜<sup>[2]</sup>( $n$  为 SIL 的材料折射率),它们分别可以将光学头的有效数值孔径提高  $n$  倍<sup>[3]</sup> 或  $n^2$  倍<sup>[4]</sup>。为获得较大的有效数值孔径,通常使用大折射率的光学材料来制作 SIL,这将在 SIL 的底面上导致全反射。因为激光会聚在 SIL 的下底面,为让激光充分耦合到记录介质中和获得最大的有效数值孔径,SIL 应和记录样品尽量靠近(间距为激光波长量级或更小),所以 SIL 光存储方法应归为近场光存储方法的一种。SIL 光存储方面的早期工作是 B. D. Terris 等在 1994 年报道的,他们用 780 nm 激光通过固体浸没透镜在磁光介质上记录

收稿日期:2001-11-19;收到修改稿日期:2002-01-11

基金项目:国家重点基础研究发展规划(No. 973(G1999033002))资助项目。

作者简介:鲁拥华(1976—),男,中国科学技术大学物理系,博士生,主要研究领域包括:近场光学衍射;高密度光存储技术。E-mail: yhlu@mail.ustc.edu.cn

了 317 nm 的记录点<sup>[4]</sup>。近年来,在 SIL 制作及 SIL 光学头制作等方面也有不少相关的报道<sup>[5, 6]</sup>。

本文将利用半球形的 SIL 在偶氮聚合物液晶(P-CN)薄膜上进行光存储实验,并研究记录激光的强度、对焦准确度等对光存储效果的影响。

## 2 材料的记录特性及样品制备

实验中所用的记录材料是侧链型偶氮聚合物液晶,名称为聚甲基丙烯酸(对-氰基偶氮苯氧基)乙基酯(poly[2-(4-(4-cyanophenyl) diazenyl phenyloxy) ethoxyl methacrylate]),简称 P-CN,其中偶氮苯基团柔性联接到聚合物的主链上(结构式见图 1)。P-CN 在偶氮苯的两端(4 和 4' 位置上)分别连有的推电子和吸电子基团分别为氧原子和氰基,属于弱推拉(pull-push)型偶氮聚合物。其在 110~166℃ 之间呈向列相液晶态,110℃ 以下为玻璃态。偶氮苯基团具有顺式(cis)和反式(tran)两种异构体。cis 型偶氮苯分子呈香蕉状弯曲,轴径比较小,不能作为介晶基元;而 tran 型偶氮苯分子是轴径比较大的短棒状分子,可以作为介晶基元形成液晶相。通常条件下,cis 型偶氮苯分子不稳定,偶氮苯分子主要以 tans 态存在。而且,在光照或热作用下,偶氮苯可以在 cis 态和 trans 态之间进行异构反应。如果用 532 nm 的线偏光照射,偶氮聚合物液晶会通过 trans-cis-trans 的异构化循环而从玻璃态转变成液晶态,

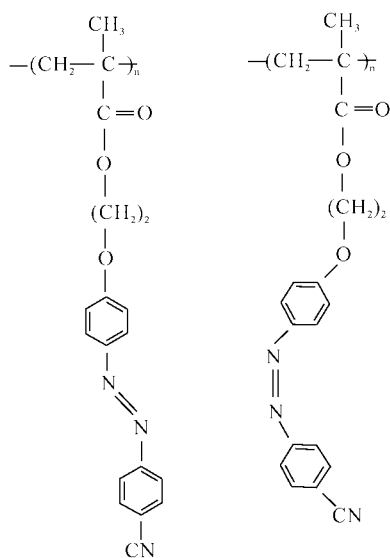


图 1 偶氮聚合物液晶的结构式

其中左边为反式结构(trans),右边是顺式结构(cis)

Fig. 1 Structure of the azobenzene polymer liquid crystal

The left is trans and the right is cis

从而产生双折射效应。这时在偏光显微镜下(即将样品置于一对正交的偏振片之间)观察,可以看到被照射过的区域因双折射效应而呈亮区,未被照射的区域则是不透光的暗区<sup>[7]</sup>。据此可以进行光信号的记录和读取。

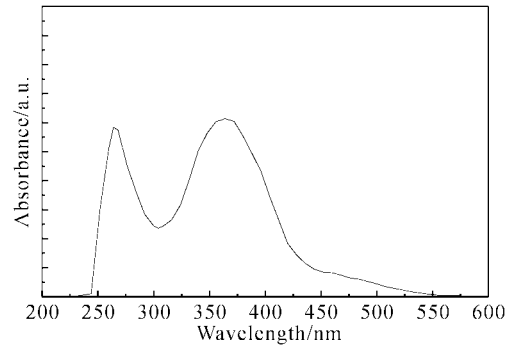


图 2 P-CN 的 UV-VIS 吸收谱

Fig. 2 UV-VIS absorption spectrum of polymer azobenzene (P-CN) film

实验中所用的薄膜样品的制作如下:首先将 P-CN 溶于四氢呋喃(THF),配成 1% 浓度的溶液,然后滴在清洁的玻璃基片上,自然干燥后形成厚度约为 1 μm 的固体薄膜样片。在 1000 倍的光学显微镜下观察表明样品表面均匀、平整。在室温下,采用 Shimadzu, UV-365UV/VIS/NIR 分光光度计测量的 P-CN 样品的紫外-可见吸收谱如图 2 所示。其中 266 nm 吸收峰对应于偶氮苯 trans 态异构化为 cis 态的吸收,实验中利用 532 nm 的双光子吸收同样可以实现这一异构化过程<sup>[7]</sup>。

## 3 实验装置

根据上述的偶氮聚合物液晶(P-CN)薄膜的存储原理,在 P-CN 薄膜上进行存储实验要用线偏光记录,通过一对正交偏振片读出,所以围绕偏光显微镜(XP-201)搭建了一套存储实验装置(如图 3 所示,图中的虚线框内是一个偏光显微镜)。为便于对样品进行精确地移动和定位,将三维精密扫描平台(NIS-70 Nanonics)固定在偏光显微镜的载物台上。样品及固体浸没透镜(SIL)置于扫描平台的样品托上。扫描平台由计算机控制可以作纳米级的精确移动和定位。记录光源(532 nm 的 Nd:YVO<sub>3</sub> 激光)和自准直对焦光源(He-Ne 激光器)都通过半反镜引入到偏光显微镜中,图中的玻片是作自准直对焦用的,合束器对 632.8 nm 激光反射,对 532 nm 激光

透射。记录后的样品可用图中的偏光显微镜和 CCD 进行显微读出。实验所用的物镜是  $100\times/0.8$  (LMPlanF1, Olympus), 自制的 SIL 的材料是 SF6 玻璃, 折射率为 1.828 (在波长为  $0.4861\ \mu\text{m}$  处测量)。快门用于控制记录样品的曝光时间, 本文中没有任何特殊说明的情况下所用的曝光时间均为 10 ms。

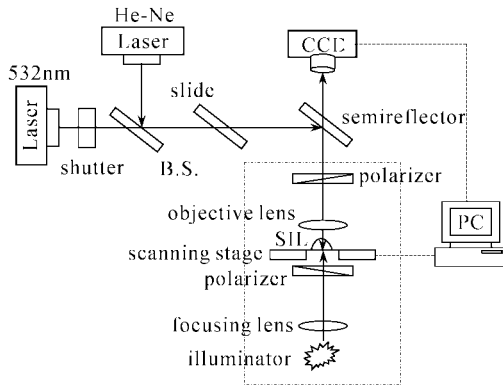


图 3 固体浸没透镜进行近场光存储及显微读出的实验装置图

Fig. 3 Experimental setup for near-field recording using SIL, it was also used to pick up the recording picture under microscope

在进行记录实验之前, 先用 He-Ne 激光进行自准直对焦<sup>[8]</sup>, 使物镜的焦点正好落在 SIL 的下平面上。然后就可以移动样品用 532 nm 激光进行记录。根据 P-CN 的光致双折射特性, 读出之前将样品台旋转  $45^\circ$ , 再通过偏光显微镜由 CCD 显微读出, 可以获得最好对比的读出图像<sup>[7]</sup>。

#### 4 实验结果及讨论

利用上述实验装置, 用线偏振的 532 nm 激光在偶氮聚合物液晶 (P-CN) 薄膜上进行了近场存储实验。首先研究了不同入射激光功率对记录结果的影响。入射激光的功率由大到小依次设为 0.35 mW, 0.22 mW, 0.12 mW, 0.08 mW 和 0.04 mW 时所获得的记录结果如图 4 所示。激光功率越低记录点的尺寸越小, 图 4(b) 给出了激光功率分别为 0.35 mW 和 0.22 mW 时的记录点系列的信号曲线。但同时, 记录信号的对比度也会降低, 图 4 中, 当激光功率小于 0.1 mW 时记录信号已很难分辨出来。因此, 写入激光的功率通常权衡信号的强度和记录点的大小而有一个最佳的范围。在我们的实验中, 写入激光的功率在 0.1~0.2 mW 是比较合适

的。

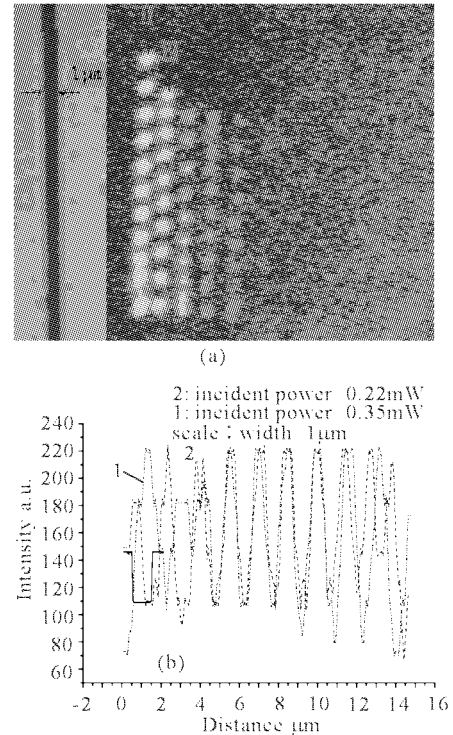


图 4 (a) 不同激光功率下存储的光学图样, 激光功率从左向右依次为 0.35 mW, 0.22 mW, 0.12 mW, 0.08 mW 和 0.04 mW。左边第 1, 2 列的信号图示于 (b) 中, (b) 中实线曲线为 (a) 中左侧标尺的扫描信号

Fig. 4 (a) The optical recording pattern at different incident laser power; the laser power is 0.35 mW, 0.22 mW, 0.12 mW, 0.08 mW, and 0.04 mW from left to right. (b) shows the signals of the first and second recording serial marked in (a). Solid line in (b) is the scale of  $1\ \mu\text{m}$  width

下面进一步研究聚焦偏差对记录结果的影响。固定激光的功率为 0.11 mW (在合束器后测量), 快门的曝光时间为 10 ms。从自聚焦对焦的位置开始, 一边使样品靠近物镜一边进行记录, 每次移动的距离为  $1\ \mu\text{m}$ 。图 5 中每一列对应一个样品和物镜的距离, 最左边的一列对应于自聚焦对焦的位置。从图中可以看出, 在一定范围之内 (图 5 中约为  $\Delta z < 5\ \mu\text{m}$ ), 记录点的大小及信号的对比度基本不变; 超出此范围后, 记录信号的对比度迅速变坏。对比于透镜的焦深:  $\pm \frac{n\lambda}{(NA)^2} = \pm 0.455\ \mu\text{m}$ , 该装置对焦误差的容忍度为物镜焦深的 4~5 倍。这可作为制作 SIL 存储光学头时的参考。

根据以上的讨论, 选择合适的记录条件后进行

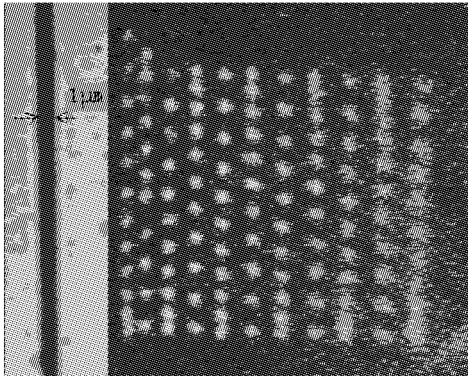
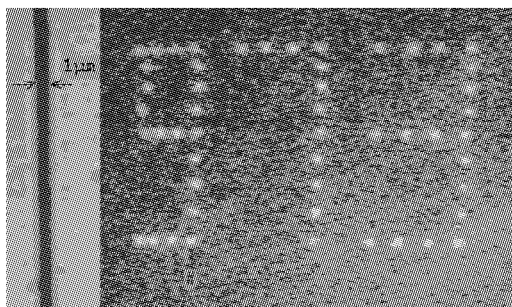


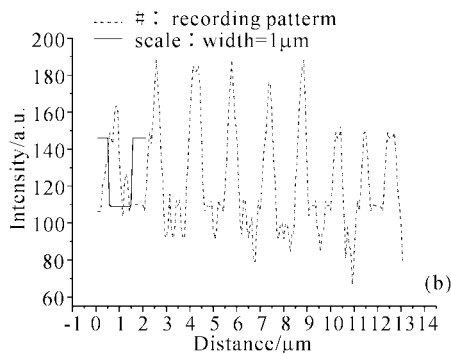
图5 固体浸没透镜近场光存储的记录点随聚焦位置的变化  
左边第一列对应于自聚焦对焦的位置,向右样品和物镜的  
距离每减小 $1\mu\text{m}$ 记录一列

Fig. 5 Recording patterns using solid immersion lens  
change with focus position

The first left line is corresponding to the position of the self-collimation, to right, the distance between the sample and lens decreases  $1\mu\text{m}$  line by line



(a)



(b)

图6 (a) 固体浸没透镜近场光存储的示例图样。激光功率为 $0.11\text{ mW}$ ,快门时间为 $10\text{ ms}$ ,记录点的直径约为 $0.5\mu\text{m}$ 。(b)是沿(a)中#号指示位置的信号图,其中曲线为(a)中左侧标尺的扫描信号

Fig. 6 (a) An example-recording pattern with well-selected condition; incident laser power is  $0.11\text{ mW}$ ; shutter time is  $10\text{ ms}$ . Size of the recording bit is little than  $0.5\mu\text{m}$ . (b) shows the signal of the recording serial marked with “#” in (a). Solid line in (b) is the scale of  $1\mu\text{m}$  width

了光存储的示例(如图6)。入射激光的功率选为 $0.11\text{ mW}$ ,快门时间设为 $10\text{ ms}$ ,并通过自聚焦方法仔细对焦。从图6(b)的信号图可知记录点的尺寸小于 $0.5\mu\text{m}$ ,明显好于没有浸没透镜时的情况,约为未加固体浸没透镜时的 $2/3$ ,符合理论的预期。如果实验样品做得更加均匀,表面更加平滑的话,记录点的大小有望减小到 $0.3\mu\text{m}$ 左右。

## 5 结 论

详细讨论了固体浸没透镜在偶氮聚合物液晶薄膜上进行近场光存储的实验过程,并在自建的实验装置上进行光存储实验,存储点的尺寸小于 $0.5\mu\text{m}$ (激光波长为 $532\text{ nm}$ )。详细研究了写入激光功率及系统对焦误差对存储效果的影响,实验表明,SIL存储光学头的对焦误差要受透镜的焦深约束,应小于物镜焦深的 $4\sim 5$ 倍。如果是超半球型SIL,允许的范围可能更小。

## 参 考 文 献

- 1 S. M. Mansfield, G. S. Kino. Solid immersion microscope [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(24):2615~2616
- 2 G. S. Kino. Fields associated with the solid immersion lens [C]. *SPIE*, 1998, **3467**:128~137
- 3 S. M. Mansfield, W. R. Studenmund, G. S. Kino *et al.*. High-numerical-aperture lens system for optical storage [J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(4):305~307
- 4 B. D. Terris, H. J. Mamin, D. Rugar *et al.*. Near-field optical data storage using a solid immersion lens [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(4):388~390
- 5 B. D. Terris, H. J. Mamin, D. Rugar. Near-field optical data storage [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(2):141~143
- 6 K. Hirota, T. D. Milster, K. Shimura *et al.*. Near-field phase change optical recording using a GaP hemispherical lens [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, **39**(Part 1, 2B):968~972
- 7 Zhang Jiangying, Liang Zhongcheng, Ming Hai *et al.*. Two-photon bit data storage in azobenzene polymer liquid crystal using low-power CW laser [C]. *SPIE*, 2000, **4085**:167~170
- 8 Xie Jianping, Lu Yonghua, Wang Chao *et al.*. Self-collimation method for measuring the geometric parameters of solid immersion lens [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics* (量子电子学报), 2001, **18**(3):221~223 (in Chinese)