

文章编号: 0253-2239(2005)10-1401-5

基于 DVD 光头的双光子光致漂白三维光存储*

蔡建文¹ 沈兆龙¹ 江 兵¹ 唐火红¹ 邢 卉¹ 黄文浩¹ 夏安东^{1,2} 郭富全³ 张其锦³

1 中国科学技术大学 精密机械与精密仪器系, 合肥 230026
2 中国科学院化学研究所分子反应动力学国家重点实验室, 北京 100080
3 中国科学技术大学 高分子材料及工程系, 合肥 230026

摘要: 基于现有的 DVD 光头物镜与音圈电机, 根据光致漂白的双光子吸收三维光信息存储原理, 以钛蓝宝石飞秒脉冲激光进行双光子光信息写入和读出, 利用音圈电机进行选层, 在新型光致漂白材料二苯乙烯衍生物中进行光致漂白二进制编码信息的存储和读出实验研究; 实现了三层光信息存储, 信息点间距和信息层间距分别为 4 μm 和 15 μm ; 用 Matlab 软件读出信息的信号强度并对其进行了识别, 识别结果与写入的二进制编码信息完全一致。实验证明了用 DVD 光头进行双光子三维光数据存储的可行性, 表明双光子吸收光致漂白技术可以与现有 CD/DVD 兼容, 为实现多层高密度和超高密度光信息存储打下基础。

关键词: 光数据存储; 三维光存储; 双光子吸收; 光致漂白; DVD 光头

中图分类号: TQ591 文献标识码: A

Two-Photon Photobleaching Three-Dimensional Optical Storage with DVD Pickup Head

Cai Jianwen¹ Shen Zhaolong¹ Jiang Bing¹ Tang Huohong¹ Xing Hui¹ Huang Wenhao¹
Xia Andong^{1, 2} Guo Fuquan³ Zhang Qijin³

1 *Precise Machinery and Precise Instrument Department, University of Science and Technology of China, Hefei 230026*
2 *State Key Lab of Molecular Reaction Dynamics, Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*
3 *Department of Polymer Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026*

Abstract: Based on the objective lens and voice coil motor of the current DVD pickup head, according to photobleaching three-dimensional (3D) optical information storage's theory of two-photon absorption, the Ti:sapphire femtosecond pulse laser was used as written optical beam and reading optical beam of two-photon three-dimensional optical storage voice coil motor was carried through multiplayer choice, and the storage and readout experimental study of binary format code with two-photon photobleaching in the new photobleaching material consisting of stilbene derivant was conducted. Three layers optical data storage was realized, the two adjacent bits distance in each layer was 4 μm and the two adjacent layers interval was 15 μm . The signal intensity of the written information was readout and identified with Matlab software, and the identified result matchesd with the written binary format code. The experiment proved that proceeding two-photon three-dimensional optical data storage with DVD pickup head was feasible, which indicated that two-photon photobleaching technology combined with the current CD/DVD and provided a base for realization of high density and super high density optical data storage.

Key words: optical data storage; three-dimensional optical storage; two-photon absorption; photobleaching; DVD pickup head

* 国家自然科学基金(50275140, 50335050)资助课题。

作者简介: 蔡建文(1978~), 男, 江苏常州人, 中国科学技术大学博士研究生, 主要从事双光子三维光信息存储方面的研究。E-mail: caijw@mail.ustc.edu.cn

收稿日期: 2004-12-31; 收到修改稿日期: 2005-03-21

1 引 言

随着信息技术,特别是多媒体技术的发展,需要处理和存储的数据量大幅度增加。目前普遍使用的 CD 系列(780 nm)和 DVD 系列(记录波长 630 nm/650 nm)的存储密度分别为 38.75 MB/cm² 和 310.00 MB/cm²。目前有一些方法可以提高存储容量,如减小记录光波长和提高物镜数值孔径以缩小记录斑点尺寸等;同时为了提高光存储性能,对存储材料的研究也越来越受到人们的关注^[1~4]。二维光存储在衍射效应的制约下,光存储点的尺寸大约只能降低到光波波长的一半,已接近瑞利分辨的极限;数值孔径的增大是以焦深的减小和由于偏心率而引起的失真的加大为代价,所以采用减少记录光波长和增大数值孔径来提高存储密度是十分有限的。1989 年,Rentzepis 等提出利用某些无机或有机分子材料的双光子非线性吸收特性,以实现高速及高密度的三维光信息存储,存储密度可达 10⁶ MB/cm³^[5]。因此基于双光子吸收过程的三维光存储是一个比较有前途的方法,已经成为这个领域的研究热点^[6~15]。由于双光子吸收是非线性吸收,双光子吸收几率与作用光强的平方成正比,使得只有位于光强度很高的焦点周围极小的区域内 λ^3 (λ 为写入激光的波长)的存储介质受到激发,光束途经的其它部分几乎不受影响,因此能够将信息写到某一焦平面层而不会严重干扰光束途经邻近层,可以将存储密度提高几个数量级,从而实现了双光子吸收的三维光存储。为了实现与现有 CD/DVD 兼容,达到高密度和超高密度光信息存储,本文介绍了一种基于 DVD 光头的双光子三维信息存储的方法,该方法以现有 DVD 光头作为物镜,利用双光子吸收原理,用双光子 800 nm 脉冲光对二苯乙烯衍生物光致漂白材料进行二进制码写入,对写入信息采用 800 nm 双光子读出;对于读出的信息,利用 Matlab 读出信息层的荧光强度分布,并且准确地识别出写入的二进制码信息。

2 光致漂白的双光子吸收三维光存储原理

掺杂荧光染料的聚合物,在紫外光的激发下会辐射荧光。在低强度的光激发下,辐射的荧光强度与入射光强度的平方成正比。在高强度光激发下,激发点的染料会被漂白,得到一个漂白点,漂白点不再辐射荧光。因此,漂白点和未漂白点可用来记录数据,这种三维光存储方式采用的记录光(强光)和

读出光(弱光)具有相同的波长。

双光子光致漂白反应是记录态吸收两个光子,转变为读出态,两个光子既可以是等能量的光子,也可以是不等能量的光子。任何一个光子都可以穿透存储介质(记录态)而不被吸收,只有当两个光子聚焦于一点,双光子能量共振叠加时才会导致光致漂白反应发生(转变为读出态),从而将信息存储在聚焦点处。读出时使用较弱强度的双光子激光对存储介质进行扫描,被记录信息的分子在激光的照射下不会发出荧光,而未被记录的分子则会发出荧光,因此通过检测读出光照射下介质的荧光效应就可以读出被存储的信息。

3 实验系统及材料

单光束双光子三维光存储及读取系统如图 1 所示。二极管固体激光器输出 532 nm 的连续光作为掺钛蓝宝石(Ti:sapphire)激光器的抽运源,掺钛蓝宝石激光器作为双光子写入和读出光源,其中心波长为 800 nm,脉宽为 80 fs,重复频率为 80 MHz^[16]。当系统进行存储实验时,800 nm 脉冲激光经过滤色、衰减和准直扩束后,由 DVD 光头(数值孔径为 0.60)聚焦在存储介质上,写入光功率为 17.4 mW,压电陶瓷(PZT)扫描台在计算机的控制下,使存储介质在 xy 平面进行扫描式移动,DVD 光头在音圈电机控制下在 z 向移动,实现双光子三维光信息存储。当系统进行读取实验时,800 nm 脉冲激光经过滤色、衰减和准直扩束后,通过二向色镜由物镜聚焦于存储介质上进行扫描,读出光功率为 2.4 mW,来自存储点的荧光返回扫描光学系统,经分色镜,小孔光阑进入光电倍增管,光电倍增管信号经计算机采样处理后提供灰度值可在监视器上逐点产生图像。

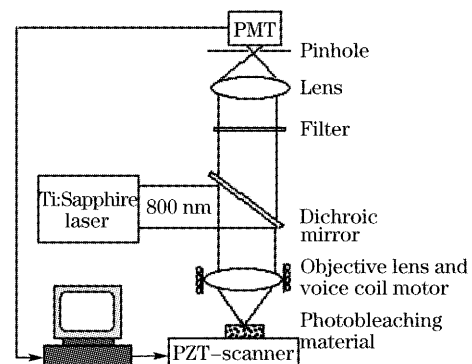


图 1 双光子三维存储与读取系统

Fig. 1 Optical setup for the writing and readout of two-photon three-dimensional bit information

这种读出方式是反射式共焦扫描读出方式,具有简单的光学系统和高的轴向分辨率,能够减少存储层间的串扰和消除由存储介质和衬底的不均匀性带来的背景影响。

DVD 光头上的音圈电机位移—电压特性曲线如图 2 所示,DVD 光头上的物镜 z 向控制距离较大,在 $+1.1\text{mm}$ 至 -0.7mm 之间,而且曲线在零

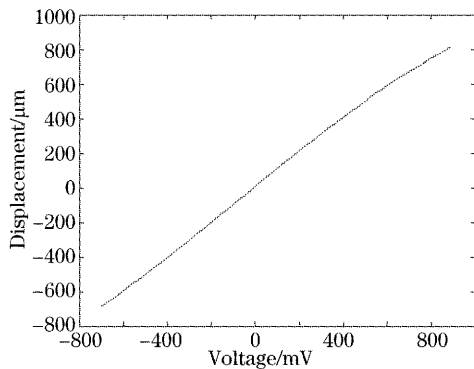


图 2 音圈电机特性曲线

Fig. 2 Performance curve of voice coil motor

附近(-0.3mm 至 0.3mm 之间)有线性段,电压改变 1mV ,物镜在 z 向移动 $1\mu\text{m}$,可以很好地满足音圈电机对 DVD 光头在 z 向的控制。

实验使用中国科学技术大学高分子材料及工程系制备的光致漂白材料二苯乙烯衍生物,分子结构式如图 3 (a)所示。在实验中,将二苯乙烯衍生物溶于 Polymethyl methacrylate 即 PMMA 溶液中(质量比为 $1:50$),通过涂膜方式制备成厚度为 $120\mu\text{m}$ 左右的透明薄膜作为存储介质。二苯乙烯衍生物(记录态)在 400nm 紫外光照射下(单光子吸收)转变为闭环体。图 3(b)为存储介质受紫外光激发前(记录态)和激发后(读出态)的吸收光谱,从图中可以看出:存储介质(记录态)对 400nm 波长的紫外光有吸收,而对 800nm 波长的红外光没有吸收,可以用 800nm 激光作为写入光源进行双光子吸收三维光存储。图 3(c)为存储介质受紫外光激发前和激发后的荧光光谱,从图中可以看出存储介质在紫外光照射前后荧光强度具有较大的对比度,便于存储信息的读出。

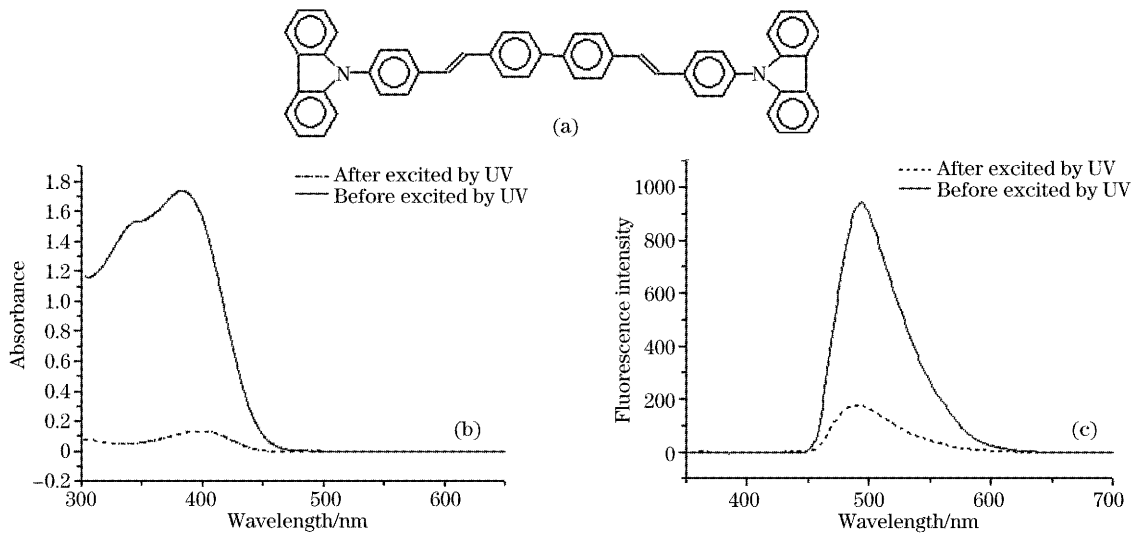


图 3 (a)存储介质的分子结构,(b)存储介质紫外光照射前后的吸收光谱,(c)存储介质紫外光照射前后的荧光光谱

Fig. 3 (a) Molecular structures of storage medium, (b) absorption spectra of the film before and after by UV,

(c) two-photon-induced fluorescence spectra of the film before and after by UV

4 实验结果及讨论

图 4 为二苯乙烯衍生物光致漂白材料在三维存储和读取系统中所读出的 3 层数据结果。点间距为 $4\mu\text{m}$,层间距为 $15\mu\text{m}$ 。数据点采用二进制方式写入,每层中存储 32 个数据点,用来表示 8 个 4 位二进制数。图中在 x 向和 y 向分别有一行作为标定行,用于读取识别时的定位。

第一层数据代表汉字:“中国”,对应的区位码

为:5448,2590,相应的二进制码为:0101,0100,0100,1000,0010,0101,1001,0000。

第二层数据代表汉字:“科技”,对应的区位码为:3138,2828,相应的二进制码为:0011,0001,0011,1000,0010,1000,0010,1000。

第三层数据代表汉字:“大学”,对应的区位码为:2083,4907,相应的二进制码为:0010,0000,1000,0011,0100,1001,0000,0111。

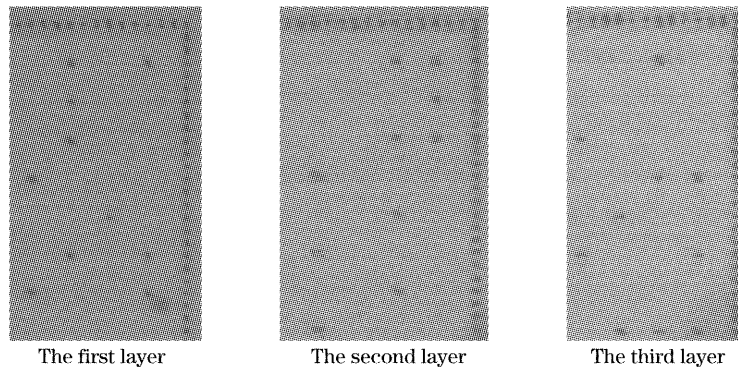


图 4 三维多层存储数据读出,点间距为 $4 \mu\text{m}$,层间距为 $15 \mu\text{m}$

Fig. 4 Readout of three-dimensional bit information written in different layers. The bit interval is $4 \mu\text{m}$, the spacing of neighboring recording layers is $15 \mu\text{m}$

二苯乙烯衍生物光致漂白材料在双光子激发前的荧光强度比激发后强,图 5 表示三层数据的荧光强度反向分布。图 6(a)和图 6(b)分别为第一层数据标定行的荧光强度分布和第二层数据第一行的荧光强度分布,标定行和数据行通过 Matlab 分析获

得,其中行荧光强度均值最小的为标定行,并且通过相关系数方面的算法可以获得数据行的具体信息。从图 6 中可以看出,有信息写入点的地方与没有信息写入点的地方有很强的对比度,数据写入点的荧光强度比没有写入点的荧光强度弱。

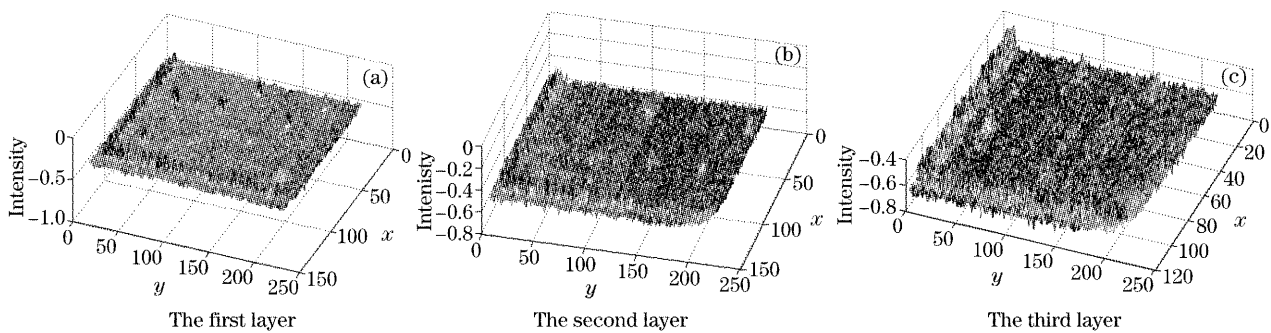


图 5 三层数据的荧光强度反向分布

Fig. 5 Fluorescence intensity reverse distribution of three layers information

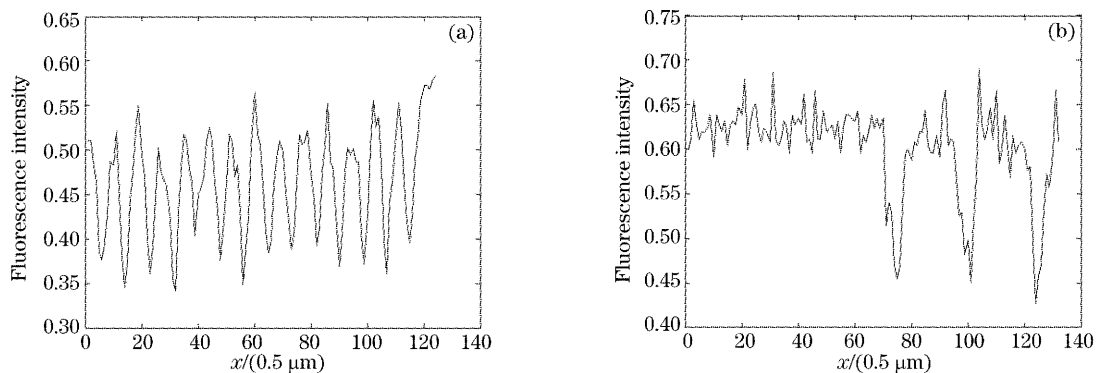


图 6 (a) 标定行荧光强度分布, (b) 数据行荧光强度分布

Fig. 6 (a) Fluorescence intensity distribution of scaling line, (b) fluorescence intensity distribution of data line

数据信号通过 Matlab 读出,首先得到标准行与标准列的数据,然后以它们为标准获得相应数据行的分布,最后通过对数据行信息进行分析,可以获得

与写入信息一致的结果。图 7 中所示为读出的数据信号通过算法识别出的三层数据显示的记录点阵,识别结果与写入信息完全一致。

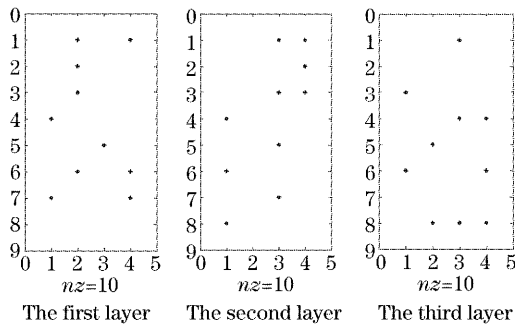


图 7 三层数据的记录点阵

Fig. 7 Written dot array of three layers digital information

致谢 感谢合肥工业大学陈叶金在测量音圈电机特性过程中提供的帮助。

参 考 文 献

- Gu Sipeng, Hou Lisong, Zhao Qitao *et al.*. Optical properties of Sn-doped $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ phase change thin films[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(6): 735~738 (in Chinese)
顾四朋, 侯立松, 赵启涛等. 掺 Sn 的 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 相变存储薄膜的光学性质[J]. *光学学报*, 2004, **24**(6): 735~738
- Wei Bin, Wu Yiqun, Gu Donghong *et al.*. Optical constants and absorption spectra of metal-azo complexes thin films[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(6): 739~742 (in Chinese)
魏斌, 吴谊群, 顾冬红等. 偶氮金属螯合物薄膜的光学常数和吸收光谱[J]. *光学学报*, 2004, **24**(6): 739~742
- Xu Xin'guang, Xu Guibao, Hu Dawei *et al.*. Photorefractive holographic storage properties in Ce:Fe-doped LiNbO_3 crystals [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(7): 947~952 (in Chinese)
许心光, 许贵宝, 胡大伟等. 掺 Ce, Fe 系列 LiNbO_3 晶体光折变效应光存储特性[J]. *光学学报*, 2004, **24**(7): 947~952
- Huang Wuqiao, Wu Yiqun, Gu Donghong *et al.*. Green-light optical storage properties of spin-coated thin film of AgTCNQ derivative[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1164~1168 (in Chinese)
黄伍桥, 吴谊群, 顾冬红等. AgTCNQ 衍生物旋涂膜绿光可擦重写光存储性质研究[J]. *光学学报*, 2004, **24**(9): 1164~1168
- D. A. Parthenopoulos, P. M. Rentzepis. Three-dimensional optical storage memory[J]. *Science*, 1989, **245**(4920): 843~845
- D. A. Parthenopoulos, P. M. Rentzepis. Two-photon volume information storage in doped polymer systems[J]. *J. Appl. Phys.*, 1990, **68**(11): 5814~5818
- M. M. Wang, S. C. Esener, F. B. McCormick *et al.*. Experimental characterization of a two-photon memory[J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(8): 558~560
- Haridas E. Pudavar, Mukesh P. Joshi, Paras N. Prasad *et al.*. High-density three-dimensional optical data storage in a stacked compact disk format with two-photon writing and single photon readout[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(9): 1338~1340
- Satoshi Kawata, Yoshimasa Kawata. Three-dimensional optical data storage using photochromical materials[J]. *Chem. Rev.*, 2000, **100**(5): 1777~1788
- Yi Zhang, Alexandr Dvornikov, Yoshi Taketomi *et al.*. Towards ultra high density multi-layer disk recording by two-photon absorption[J]. *Proc. SPIE*, 2004, **5362**: 1~9
- Zhou Yongjun, Tang Huohong, Jiang Zhongwei *et al.*. Confocal laser scanning fluorescence microscope for three-dimensional optical data storage and microfabrication[J]. *J. Chinese Electron Microscopy Society*, 2003, **22**(6): 551~552 (in Chinese)
周拥军, 唐火红, 蒋中伟等. 用于三维光学信息存储和微细加工研究的共焦激光扫描荧光显微镜[J]. *电子显微学报*, 2003, **22**(6): 551~552
- Tang Huohong, Zhou Yongjun, Jiang Zhongwei *et al.*. Experimental study on photochromic three-dimensional optical storage under two-photon absorption[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(1): 92~96 (in Chinese)
唐火红, 周拥军, 蒋中伟等. 双光子吸收光致变色三维光存储实验研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(1): 92~96
- Huohong Tang, Hongfang Jiu, Bing Jiang *et al.*. Three-dimensional optical storage recording by microexplosion in a doped PMMA polymer[J]. *Proc. SPIE*, 2005, **5643**: 258~263
- Satoshi Kawata, Hong-Bo Sun. Two-photon absorption for three-dimensional micro-nanofabrication and data storage [J]. *Proc. SPIE*, 2003, **4797**: 240~246
- Masaharu Nakano, Takaaki Kooriya, Takashi Kuragaito *et al.*. Three-dimensional patterned media for ultrahigh-density optical memory[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, **85**(2): 176~178
- Jiang Zhongwei, Yuan Dajun, Zhu Anding *et al.*. 2-photon 3-D microfabrication technology and its experimental system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2003, **11**(3): 234~238 (in Chinese)
蒋中伟, 袁大军, 祝安定等. 双光子三维微细加工技术及实验系统的开发[J]. *光学精密工程*, 2003, **11**(3): 234~238