

光记录有机薄膜的扫描隧道显微镜研究

顾冬红 陈启婴 唐晓东 于福熹

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

沈淑引 刘 恺 许慧君

徐 磊 李民乾

(中国科学院感光化学研究所, 北京 100101)

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

提要 运用扫描隧道显微镜(STM)观察了光记录有机薄膜的微观结构。从微观结构的形貌可以看出光记录后酞菁薄膜上产生了鼓泡。不同能量的激光脉冲产生具有不同细微结构的鼓泡,光盘的性能与鼓泡的尺寸密切相关。研究结果说明 STM 是研究光盘微观结构的有力工具。

关键词 有机薄膜,光记录,形貌

1 引言

作为信息存储的一个重要领域,光存储技术具有一系列显著的优点,如高存储密度、存储寿命长、载噪比高、信息位价格低等。其中,光存储介质是发展光盘存储技术的关键和核心^[1]。很多研究着重于一次写入多次读出介质。由于光存储中信息的存储和读出通过激光束照射记录层而完成,记录材料的抗腐蚀和抗氧化稳定性显得格外重要。最初商品化的一次写入光盘采用碲作为记录材料,但碲金属层在潮湿环境中易氧化而导致存储信息的消失。虽然通过采用多层膜结构等方法来提高其性能,却引起了成本的升高。近来,有机材料在一次写入多次读出(WORM),特别是在可录光盘(CD-R)上的应用显出了良好的前景并引起了极大的兴趣^[2]。通常选用的染料有菁染料^[3]、方喹染料^[4,5]、酞菁染料^[6,7]等。与其它材料相比,染料的选用通常有以下几方面的优点:(1)它们的低热导率、低熔点及低分解温度所带来的高记录灵敏度和密度;(2)在空气及潮湿环境中的高化学稳定性;(3)通过分子结构的改变可以调节其光学性质与激光波长相匹配;(4)用现有可靠的制膜技术,特别是甩胶法,可以获得较低的制备成本。

虽然对光存储的记录和重放系统的原理已有较多的描述^[8~10],但对记录介质与激光束间相互作用的阐述较少。由于光存储性质与记录介质的结构密切相关,对记录层在激光辐照前后微观结构变化的了解显得十分重要。作为一种传统的微观结构研究工具,光学显微镜(OM)由于不能分辨比光波长更短的细节而限制了它的进一步应用。后来发展起来的一些研究工具,例如,扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)和电子衍射(ED),在研究薄膜时也有各自的优缺点。新近出现的研究方法中,扫描隧道显微镜(STM)已成为具有纳米级分辨率研究薄膜结构的有力技术^[11]。与透射电子显微镜(TEM)相比,STM具有可在空气中操作、极少的样品处

理及近于无损探测的优点。

本文运用 STM 研究了光存储酞菁薄膜的微观结构,发现激光辐照后鼓泡的产生,比较了不同记录功率下薄膜的形貌,并分析了记录机理。

2 实验

本文论及的一次写入多次读出光盘的多层膜结构示于图 1 中。为便于 STM 观察,所制备的光盘免去了保护层,有机记录层位于基片和金属银反射层之间。记录层和反射层是通过连续的真空气膜法(真空度 2.7×10^{-3} Pa)在室温下(20 °C)制备于 5.25" 的聚碳酸酯基片上,膜厚分别大约为 40 和 35 nm。聚碳酸酯基片符合 5.25" 光盘的 ISO 标准,带有预刻槽,轨道间距为 $1.6 \mu\text{m}$,如图 2 所示。

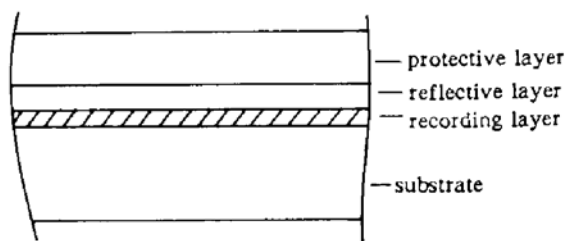


Fig. 1 Typical structure of an optical disc

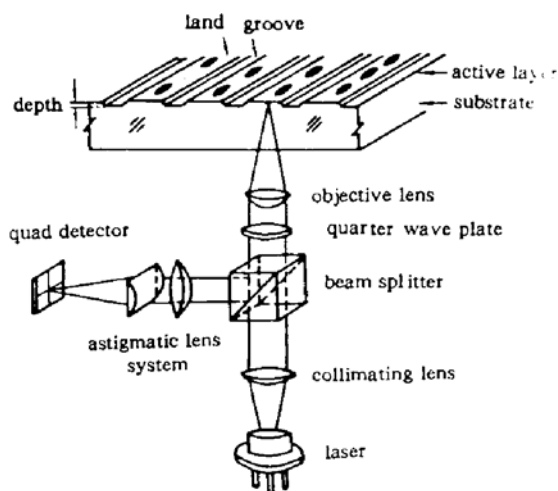


Fig. 2 A simplified schematic of an optical head

写入过程通过一个光学头完成,光学头通过光学、机械和电子元件的协调完成聚焦、跟踪及信息的存储和读出等基本功能。为保证可靠的信息处理及高速数据传输,聚焦激光束光斑应该达到衍射极限并且伺服信号在运行过程中保持稳定。光学头的示意图如图 2 所示。一束波长为 830 nm,光强高斯分布的半导体激光经过一个准直透镜后到达一个偏振分束器,偏振分束器选出主要的偏振方向,随后通过一个 $\lambda/4$ 波片将线偏振光转化为圆偏振光。光束经聚焦照射光盘,反射后圆偏振光的旋向与入射光相反。该反射光经过 $\lambda/4$ 波片又成为线偏振光,但其偏振方向与原入射光的偏振方向正交。由于偏振方向的变化,分束器将反射光通过一个像散透镜系统传至光电探测器。

准直及聚焦光学元件保证了到达盘面的激光功率大于 10 mW,并且是衍射极限光斑。写入时,激光照射区域由于物理或化学变化产生一个记录点。读出时,一束低功率激光扫描介质,遇到记录点时产生反射光强度的变化,随后经光电探测器转化为电信号。

本文研究中所用的 STM 为 STAR-1 STM(上海纳米高技术公司)。STM 工作在等电流模式,成像偏置电压 0.4 V,隧道电流 $0.5 \sim 1.0 \text{ nA}$ ^[12]。STM 针尖通过电化学腐蚀钨丝而获得。微观结构的观察沿着反射层至基片方向进行。测试均在室温及空气中进行。

3 结果和讨论

STM 观察到的未记录光盘区域的形貌如图 3(a) 所示,图中的扫描区域为 $4.0 \mu\text{m} \times 4.0 \mu\text{m}$ 。灰度代表了样品的高度,其中浅色部分代表了高度数值较大区域。沿垂直于沟槽方向所作高度剖面线的结果示于图 3(b)。由图可以看出,基片的平台及沟槽的宽度分别约为 $1.0 \mu\text{m}$ 和

0.6 μm , 周期约为 1.6 μm 。薄膜覆盖后, 沟槽的深度约为 45 nm。

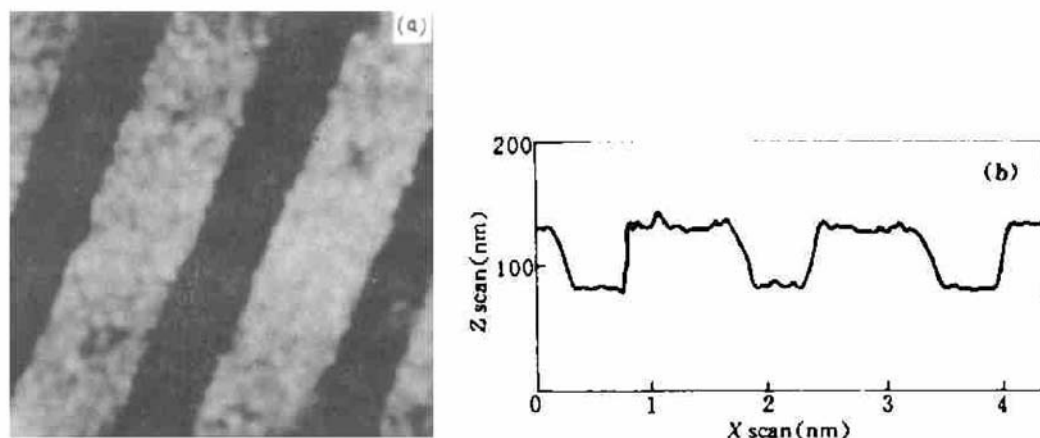


Fig. 3 Morphology of an unrecorded disc area

(a) STM images; (b) a line scan perpendicular to the groove direction

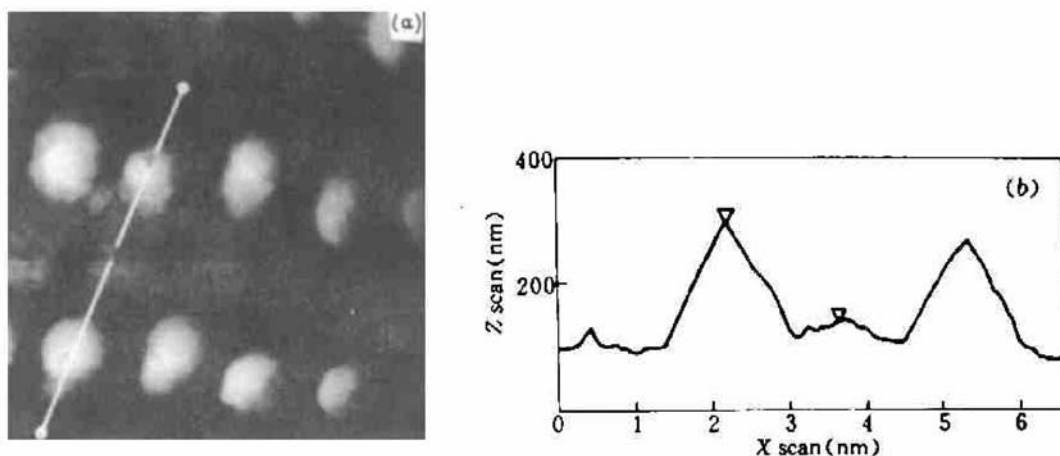


Fig. 4 STM images of the recorded areas at an 8.86 m/s linear disc velocity and 8.0 mW laser power

(a) STM images; (b) a line scan across the bubble

图 4 (a) 给出了一些写入区域的 STM 图像, 图中的扫描区域为 $7.0 \mu\text{m} \times 7.0 \mu\text{m}$ 。从光盘中心至聚焦激光束的距离为 4.70 cm, 光盘转速为 1800 r/min。在光盘记录区域的线速度为 8.86 m/s。光学头中半导体激光器的波长为 830 nm, 功率为 8.0 mW, 脉宽 500 ns。显然, 激光辐照薄膜处产生了跃出薄膜平整表面的半椭球形的鼓泡, 而鼓泡附近的薄膜表面未发生明显的形变。从对应的高度剖面线图 4(b) 可以看出, 鼓泡高度约为 177 nm。由于写入过程中盘片转动的缘故, 鼓泡呈椭圆形, 在长、短轴方向上的半高全宽分别约为 1.0 和 0.9 μm 。

图 5 给出了另一个记录点的 STM 图像。图中的扫描区域为 $2.25 \mu\text{m} \times 2.25 \mu\text{m}$ 。从光盘中心至聚焦激光束的距离为 4.75 cm, 光盘转速为 1800 r/min。在光盘记录区域的线速度为 8.95 m/s。写入激光的功率和脉宽分别为 10.0 mW 和 500 ns。与图 4 (a) 相比, 虽然激光辐照后记录层同样产生了鼓泡, 但鼓泡中央出现了一个凹陷。从对应的高度剖面线图 5(b) 可以看出, 鼓泡的高度为 200 nm, 凹陷的高度为 134 nm。

从上面的实验结果可以知道: (1) 激光辐照后的记录层上产生了鼓泡。这一现象主要来源于有机薄膜的热过程。有机薄膜从激光脉冲中吸收能量, 随后发生溶解、气化, 产生的气体被反

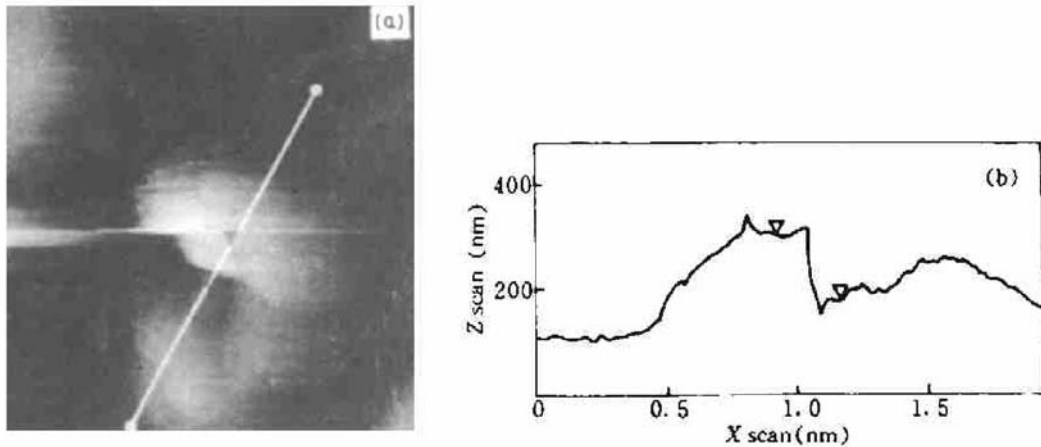


Fig. 5 STM images of the recorded areas at 8.95 m/s linear disc velocity and 10.0 mW laser power

(a) STM images, (b) a line scan across the bubble

射层所包围,即产生了鼓泡。当有机薄膜从较大功率和脉宽的激光脉冲中吸收了足够的能量,在激光辐照区域中心的染料也许会消融。随着记录后该区域的冷却,反射层的塌陷导致鼓泡上凹陷的产生;(2)对于利用半导体激光实现写入和读出的光记录而言,记录层经激光辐照后产生了热致物理变化,即反射率变化。因而,两种不同的物理状态可用来进行数字信息存储并且可用较低功率的激光读出。

在光记录中,载噪比(CNR)是评价光盘的性能、可用性和寿命的一个非常重要的参数。载噪比主要来自写入区域的读出信号决定。读出过程遵从干涉原理,通过一个复杂的光学系统完成。由于入射光和反射光的干涉作用,基片入射光通过高度为 $\lambda/4$ (λ 是入射光在介质中的波长)的鼓泡,其反射率将得到增强。对于波长为 830 nm 的半导体激光,干涉增强发生时的鼓泡高度约为 140 nm。实验中发现,对于图 4 和图 5 的情形,测得的载噪比分别为 30.5 dB 和 5.9 dB。不同的鼓泡高度产生不同的光程,从而导致不同的干涉效应及光记录特性。当鼓泡高度偏离最佳数值时,载噪比将下降。与制盘过程密切相关的盘片的不平整会引起反射激光束的散射,产生介质噪音。

4 结 论

本文利用扫描隧道显微镜观察了光记录酞菁薄膜的记录区域,发现了激光辐照后记录区域的鼓泡产生,并发现不同能量的激光脉冲产生具有不同尺寸和结构的鼓泡。不同的鼓泡高度产生不同的光程,从而导致不同的干涉效应及光记录特性。当鼓泡高度偏离最佳数值时,载噪比将下降。与制盘过程密切相关的盘片的不平整会引起反射激光束的散射,产生介质噪音。这些现象说明记录介质通过激光辐照所产生的热致物理变化实现信息的记录。这些薄膜形貌的观察对于分析记录机理,完善制盘工艺,提高光盘性能具有非常重要的意义。

参 考 文 献

- 1 千福熹主编. 数字光盘和光存储材料,上海科学技术出版社,1992
- 2 B. J. Bartholomeusz. Thermal Modeling Studies of Organic Compact Disk-writable Media. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(7):909~918
- 3 H. Oba, M. Abe, M. Umehara *et al.*. Organic Dye Materials for Optical Recording Medium. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(22):4023~4026

- 4 V. B. Jipson, C. R. Jones. Infrared Dyes for Optical Storage. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1981, **18**(1):105~109
- 5 A. H. Sporer. Laser Marking Process in an Oriented Dye Film. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(6):2738~2743
- 6 A. Bloom, W. J. Burke. Ablative Optical Recording Medium. *U. S. Patent*, 4241355 1980
- 7 顾冬红, 陈启婴, 舒菊坪 等. 一种用于光存储的酞菁薄膜. *中国激光*, 1994, **A21**(5):66~68
- 8 G. Bouwhuis, J. Bratt, A. Huijser *et al.*. Principles of Optical Disk Systems, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston, 1985
- 9 Martin Clifford. The Complete Compact Disk Player, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1987
- 10 Jordan Isailovic. Video Disk and Optical Memory Systems, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1985
- 11 白春礼 编著. 扫描隧道显微术及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1992
- 12 Xiaowei Yao, Lei Xu, Lanping Zhang *et al.*. Piezoelectric Sliding-pushing Micropositioner in a Scanning Tunneling Microscope. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **12**(3):1646~1647

Scanning Tunneling Microscopy Studies of Organic Films in Optical Recording

Gu Donghong Chen Qiyang Tang Xiaodong Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Shen Shuyin Liu Kai Xu Huijun

(Institute of Photographic Chemistry, Academia Sinica, Beijing 100101)

Xu Lei Li Minqian

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, scanning tunneling microscopy (STM) is used to investigate the microstructure of organic films in optical recording. Bubbles are found for phthalocyanine thin films after laser irradiation. Laser pulses of different energies produce bubbles of various minute structures. The disc performance closely correlates with the sizes of the bubbles. It is demonstrated that STM is a powerful tool to investigate the microstructure of the optical disc.

Key words organic thin film, optical recording, morphology