

# 热辅助磁盘探针存储的研究

章 黎<sup>†</sup> 祖小涛

(电子科技大学应用物理系, 成都 610054)

(2006 年 1 月 4 日收到, 2006 年 4 月 3 日收到修改稿)

描述了一种热辅助磁盘存储技术, 该技术可应用于未来的高密度磁盘存储. 记录介质是一种 CoNi/Pt 多层膜, 它可用作垂直模式的磁记录介质. 使用扫描隧道显微镜 (STM) 产生的隧道电流作为热源对磁膜进行局部加热. 隧道电流随着加在 STM 针尖与磁膜之间的脉冲电压幅值的增大而增大. 实验结果显示了圆形记录点在磁膜上生成, 记录点尺寸与电压值相关. 阈值电压为 4 V 左右. 当电压高于阈值时, 记录点尺寸随着电压的增大而增大, 平均尺寸为 170 nm, 当电压低于阈值时, 未发现记录点. 一个简单的模型解释了以上实验现象.

关键词: 扫描隧道显微镜, 热辅助磁盘存储技术, 高密度磁盘存储

PACC: 7550S, 0779

## 1. 引 言

计算机数据存储技术研究和开发的核心目标是提高存储密度, 相当于减小每个单元记录点的尺寸. 在目前应用的记录介质中, 磁性材料是应用最广泛的, 比如磁带、软盘和硬盘等. 随着硬盘记录密度的增加, 单元记录点尺寸的减小, 超顺磁效应<sup>[1]</sup>的影响已显现出来, 它将导致热退磁、记录数据的丢失. 为了避免超顺磁效应对记录单元的破坏, 硬盘材料的矫顽力和各向异性性能必须得到加强, 研究者进一步开发出垂直存储模式<sup>[2-5]</sup>来取代当前的平行存储模式. 但是, 这种硬磁介质很难被应用于现在的硬盘存储系统中, 因为很难找到一种简易的磁头材料可以产生如此强的磁场来记录信号. 为了克服这个困难, 热辅助磁盘存储技术<sup>[6]</sup>被提上日程. 该技术通常使用激光作为热源, 但是并不局限于这种加热方式.

本文探讨了热辅助磁盘存储技术的另外一种模式——采用扫描隧道显微镜 (STM) 的电流作为热源来局部加热磁膜. STM 具备很高的空间分辨率<sup>[7-11]</sup>, 能够实现薄膜表面原子级别的成像. 由此, STM 电流的局部加热范围有可能达到纳米量级. 这一加热尺寸要明显小于激光, 因为可见光的波长  $\lambda \approx 400$ —

770 nm, 而激光光斑的最小加热半径约为  $\frac{1}{4}\lambda$  左右.

本文验证了 STM 探针模式在 CoNi/Pt 垂直磁膜的记录过程, 并且就实验结果给出定性解释.

## 2. 实 验

图 1 显示了热辅助磁盘存储技术的基本原理: 在做记录点之前, 一个垂直薄膜被均匀磁化, 磁化强度方向垂直于膜的平面; 把 STM 电流引入磁膜, 电能将转化为焦耳热, 使磁膜靠近针尖的部位局部加热, 直到该区域温度高过居里点, 磁性消失; 此后撤掉热源, 样品冷却, 周围退磁场作用于加热点, 反向磁畴形成. 在本文的工作中没有外加磁场参与记录, 是因为加热温度足够高, 记录点相互之间的距离比较大, 使得周围的退磁场足够反转中心部分的磁畴. 在实际应用中, 为了避免加热温度过高并提高信息记录的密度, 必须采用外加磁场来辅助记录工作.

本文使用的垂直磁记录薄膜是一种 CoNi/Pt 多层膜. 磁膜为 20 层的  $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$  (0.55 nm)/Pt (0.87 nm) 结构, 总厚度为 28 nm. 使用磁控溅射仪将该多层膜生长在一片纯硅的衬底上, 膜与衬底之间是一层 23 nm 厚的 Pt 子层. 使用振动样品磁强计 (VSM) 测量磁膜的垂直各向异性性能、矫顽力和饱和磁化强度, 分别为  $K_u = 2.5 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ ,  $H_c = 8.0 \times 10^4 \text{ A/m}$  和  $M_s =$

<sup>†</sup> E-mail: zhangli\_emu2005@yahoo.com.cn

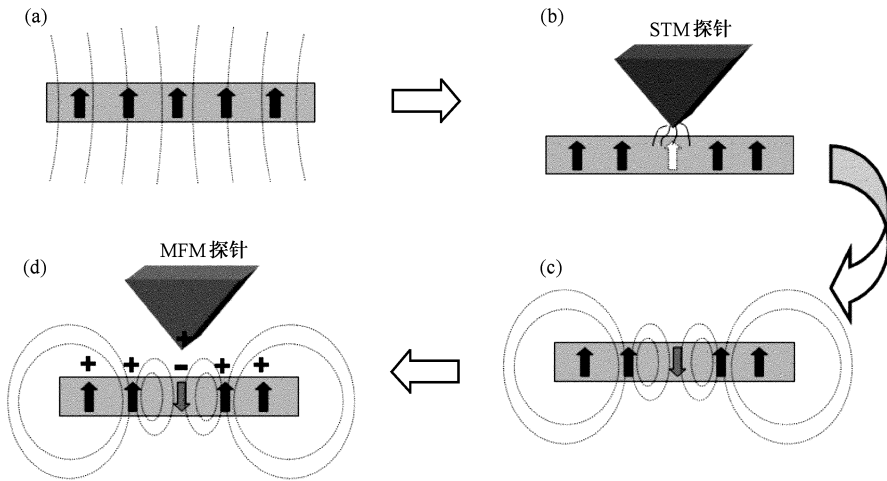


图1 热辅助磁盘探针存储的基本原理图 (a)均匀磁化的垂直膜 (b)STM 电流引入磁膜,局部加热直到该区域温度高过居里点,磁性消失 (c)样品冷却,周围退磁场作用于加热点,反向磁畴形成 (d)使用 MFM 扫描生成的记录点

$3.4 \times 10^5$  A/m. 图2显示了该样品在常温下的磁滞回线. 从图2中可以发现,磁化强度  $M$  随外场  $H$  变化的斜率  $\frac{dM}{dH}$  在矫顽力  $H_c$  附近非常陡峭而不是缓慢变化. 这表明该磁膜属于强耦合类型,不同磁畴之间存在明显的畴壁结构<sup>[12-15]</sup>. 该样品的居里温度  $T_c = 250$  °C.

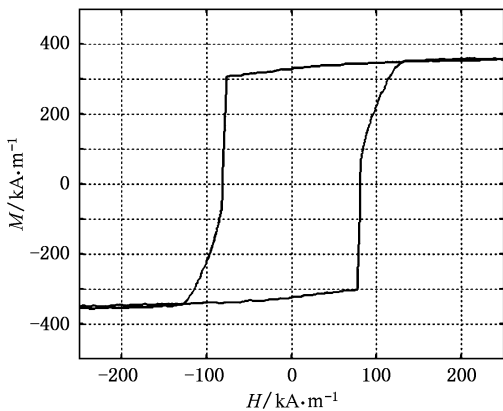


图2 CoNi/Pt 磁膜的常温磁滞回线

本工作使用的主要仪器设备为 Digital Instruments Dimension 3000 型扫描探针显微镜 (SPM), 它包含原子力显微镜 (AFM)、磁力显微镜 (MFM) 和 STM 三种扫描模式. 它们的主要功能是: 使用 AFM 扫描磁膜表面的形貌结构变化, 使用 MFM 扫描磁畴结构, 使用 STM 局部加热磁膜. 本来 STM 也可以被用来扫描膜表面的形貌结构变化, 但是由于该仪器是在空

气里操作, 而不是 STM 研究中所常用的真空环境, 气流和水雾会影响扫描精度, 所以实验中不用它扫描膜表面的形貌结构. STM 的针尖由 Pt/Ir 合金制成. 隧道电流在针尖与样品之间流动, 根据其计算公式<sup>[16]</sup>, 当扫描电压在 100 mV、额定电流为 2 nA 时, STM 针尖与样品表面间的距离约为 0.7 nm. 实验表明, 普通的扫描电压 (10—1000 mV) 不足以把磁膜局部加热到居里温度  $T_c$  以上, 必须另加能量. 图3为探针电流加热原理示意图. 由图3可知, 一个信号发生器被置于 STM 台面与地线之间作为插入信号源, STM 针尖接地, STM 台面由金属导电材料制成, 磁膜被银漆粘在台面上, 它与台面为导电连接. 由此, 在 STM 针尖与磁膜之间加上了脉冲电压信号. 该信号为一系列脉冲电压, 信号的幅值为 2—10 V, 上升沿和下降沿时间均为 100 ns, 脉冲宽度为 500 ns.

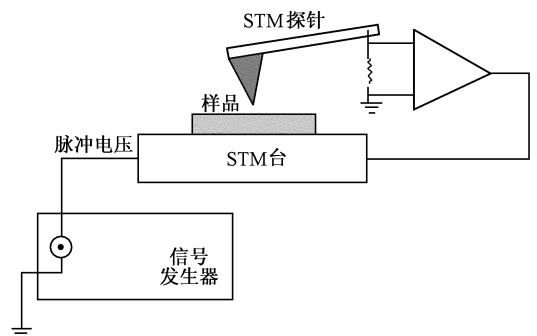


图3 探针电流加热原理示意图

### 3. 结果及讨论

图 4 为记录点的 AFM 和 MFM 图像. 它们由不同的脉冲电压记录而成. 从图 4 可以看出, AFM 图像显示了磁膜层的表面结构变化, 尤其是在某些记录点位置形成了一些小包, 这可以被解释成 STM 针尖与磁膜层之间的物质运输<sup>[17]</sup>. MFM 图像描述了记录点与介质非记录部分不同的磁畴, 表明被加热点的磁畴发生了某些变化. 但是这种变化不一定表明磁畴发生了反转, 也有可能是磁性遭到了破坏, 比如过度加热导致的破坏. 通常 MFM 图像只是记录了磁力线的变化<sup>[18]</sup>. 为了证明这些记录点的磁性没有被破坏而仅仅是发生反转, 我们把磁膜置于均匀的强磁场下 ( $\mu_0 H = 1.6 \text{ T}$ , 使用 VSM 来实现), 磁场垂直于薄膜平面, 然后再使用 AFM 和 MFM 扫描这些记录点. 图 5 为原记录点经过强磁场消磁以后的 AFM 和 MFM 图像. 在 MFM 图像中所有的记录点已彻底消失(除了个别噪声白点以外). 在这里 AFM 图像作

为参照, 用于确定记录点的位置所在, 因为磁膜层的一些表面结构不会因为外加强磁场而发生变化. 这表明图 4 (b) 中的记录点的确是磁性的, 该记录过程可以重复. 以上所述验证了热辅助磁盘探针技术在垂直磁膜上的运用是可行的.

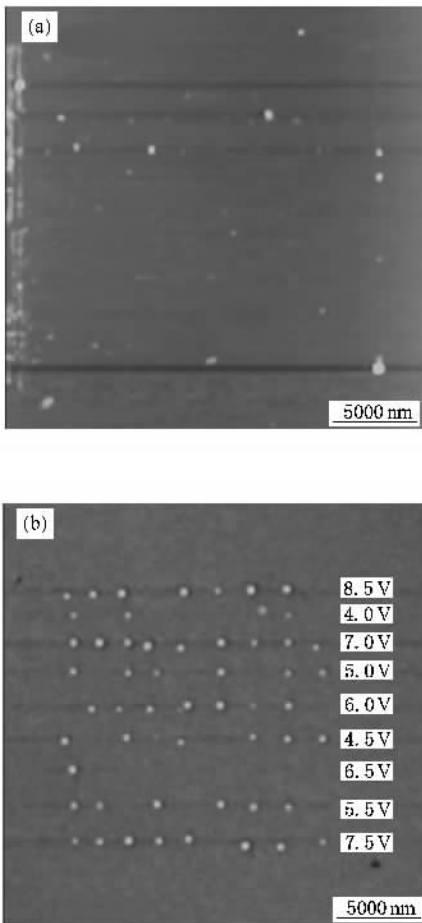


图 4 记录点的 AFM 和 MFM 图 (a)AFM 图 (b)MFM 图

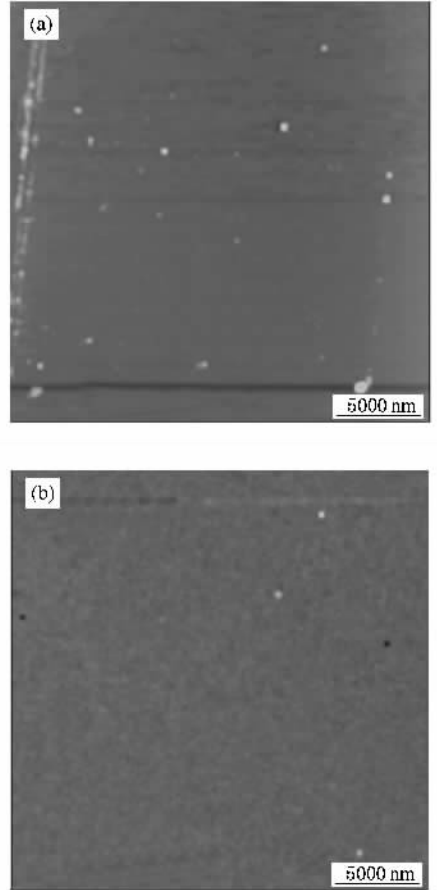


图 5 原记录点经过强磁场消磁后的 AFM 和 MFM 图 (a)AFM 图 (b)MFM 图

从图 4 (b) 显示的记录点中, 我们发现了记录点尺寸随着不同的脉冲电压幅值而变化. 在垂直记录

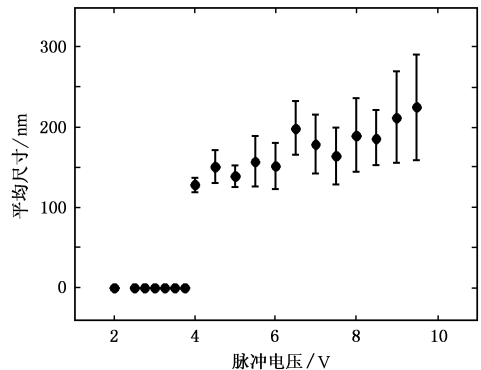


图 6 记录点平均尺寸随脉冲电压的变化曲线

模式中,磁记录点的尺寸由 MFM 信号的半高宽决定<sup>[18]</sup>.我们对由不同电压写成的记录点尺寸做了细致测量,将记录点平均尺寸随脉冲电压的变化曲线示于图 6.从图 6 中发现存在一个 4 V 左右的阈值电压,当脉冲电压幅值低于 4 V 时没有记录点生成,反之记录点尺寸随着电压增大而缓慢增加,记录点尺寸的平均值为 170 nm.我们知道,STM 电流随着电压增大而呈指数增加,所以当电压过低时电能很小,被加热区域升温不足,远远低于材料的居里点.这样,周围的退磁场不足以将该区域的磁畴反转.随着电压增大电流的能量也随之增加,被加热区域温度升高并超过居里点,这样就有利于磁畴反转.但是,记录点尺寸并不随着电压增加而显著增加.这是因为磁膜本身的导热性不好,它的多层超薄膜结构大大降低了材料的热导率<sup>[19-21]</sup>,使得热量在薄膜平面的横向扩散不显著,导致记录点尺寸增加不明显.

## 4. 结 论

本文研究了以 STM 为基础的热辅助磁盘存储技术在 CoNi/Pt 垂直磁膜的应用.实验结果表明该技术成功可行,在磁膜上获得了大量圆形记录点.有一个 4 V 左右的阈值电压.当电压高于阈值时,记录点尺寸随着电压的增大而增大,平均值为 170 nm;当电压低于阈值时,没有记录点出现.以一个简单的模型解释了实验现象.未来的研究方向是深入探讨记录点尺寸与各种实验参数之间的关系,以期得到更小的记录点,进一步提高磁盘存储密度.

本研究工作主要是在美国 Carnegie Mellon 大学的数据存储中心完成的,磁膜由荷兰 Twente 大学材料工程研究中心提供,在此一并致谢.

- [ 1 ] Lu P L , Charap S H 1995 *IEEE Trans. Magn.* **31** 2767 ( in Chinese ) [ 时东霞、巴德纯、庞世谨等 2001 物理学报 **50** 990 ]
- [ 2 ] Feng J 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1841 ( in Chinese ) [ 冯 洁 2002 物理学报 **51** 1841 ]
- [ 3 ] Hwang P , Li B H , Yang T *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1841 ( in Chinese ) [ 黄 阔、李宝河、杨 涛等 2005 物理学报 **54** 1841 ]
- [ 4 ] Li B H , Hwang P , Yang T *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3867 ( in Chinese ) [ 李宝河、黄 阔、杨 涛等 2005 物理学报 **54** 3867 ]
- [ 5 ] Feng C , Li B H , Teng J *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4898 ( in Chinese ) [ 冯 春、李宝河、滕 蛟等 2005 物理学报 **54** 4898 ]
- [ 6 ] Ruigrok J J M , Coehoorn R , Cumpson S R *et al* 2000 *J. Appl. Phys.* **87** 5398
- [ 7 ] Binnig G , Rohrer H , Gerber C *et al* 1982 *Phys. Rev. Lett.* **49** 57
- [ 8 ] Binnig G , Rohrer H , Gerber C *et al* 1982 *Appl. Phys. Lett.* **40** 178
- [ 9 ] Binnig G , Rohrer H , Gerber C *et al* 1983 *Phys. Rev. Lett.* **50** 120
- [ 10 ] Shi D X , Ba D C , Pang S J *et al* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 990
- [ 11 ] Wang X P , Liu L , Hu H L *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1008 ( in Chinese ) [ 王晓平、刘 磊、胡海龙等 2004 物理学报 **53** 1008 ]
- [ 12 ] Thiele A A , Bobeck A H , Torre E D *et al* 1971 *Bell Sys. Tech. J.* **50** 711
- [ 13 ] Thiele A A 1971 *Bell Sys. Tech. J.* **50** 725
- [ 14 ] Mansuripur M , Connell G A N 1984 *J. Appl. Phys.* **55** 3049
- [ 15 ] Shieh H D , Kryder M H 1987 *J. Appl. Phys.* **61** 1108
- [ 16 ] Simmons J G 1963 *J. Appl. Phys.* **34** 1793
- [ 17 ] Guo C X 1992 *Ultramicroscopy* **42** 1452
- [ 18 ] Porthun S , Abelmann L , Lodder C 1998 *J. Magn. Magn. Mater.* **182** 238
- [ 19 ] Kumar S , Vradis G C 1994 *J. Heat Trans.* **116** 28
- [ 20 ] Chen G , Tien C L 1994 *J. Heat Trans.* **116** 311
- [ 21 ] Wong P Y , Hess C K , Miaoulis I N 1992 *Int. J. Heat Mass Trans.* **35** 3313

# Study of thermally assisted magnetic probe recording on perpendicular media

Zhang Li<sup>†</sup> Zu Xiao-Tao

( *Department of Applied Physics , University of Electronic Science and Technology of China , Chengdu 610054 , China* )

( Received 4 January 2006 ; revised manuscript received 3 April 2006 )

## Abstract

This paper demonstrates a technique on heat-assisted magnetic probe recording. The recording medium is a CoNi/Pt multilayered film , suitable for perpendicular recording. Scanning tunneling microscopy( STM ) current was introduced to heat the medium locally. Pulse voltages of 2—9 V , 500 ns in width and 100 ns in risetime were used to write marks. Marking was achieved at bias voltages higher than the threshold value 4 V in the shape of circular dots with an average size of 170 nm. Below the threshold , no marks were observed. A simple model qualitatively explains the experiment.

**Keywords** : scanning tunneling microscopy , heat assisted magnetic recording , ultra-high density recording

**PACC** : 7550S , 0779

---

<sup>†</sup> E-mail : zhangli\_cmu2005@yahoo.com.cn