

混合记录磁热效应

裴先登, 夏又新, 黄 浩, 谢长生, 王海卫

(武汉华中科技大学计算机学院外存储国家专业实验室, 湖北武汉 430074)

摘要: 在混合记录系统中, 记录材料矫顽力依赖于温度, 激光可用来降低矫顽力使得仅仅在激光加热的地方磁元反转, 本文对混合记录剩余磁场与温场的关系和记录介质热响应进行了研究, 结果证实采用高矫顽力的磁记录材料, 波导近场热辅助写的技术方案可以用来克服超顺磁极限的限制, 大大提高记录密度, 是一种很有潜力的技术方案。

关键词: 混合记录; 超顺磁极限; 磁头光头集成技术; 双梯度记录

中图分类号: TP333. 3 **文献标识码:** A **文章编号:** 03722112 (2003) 08124203

Study On Hybrid Recording Magneto2Heat Domino Effect

PEI Xian2deng, XIA You2xin, HUANG Hao, XIE Chang2sheng, WANG Hai2wei

(National Laboratory of Storage System, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: In a hybrid recording system, since the coercivity is dependent on temperature, an external laser may be used to locally reduce its value to a point where the field from the magnetic head is sufficient to switch the magnetization; In this paper the relation between the hybrid recording magnetic field and the thermal field, the recording media heat domino effect have been studied, the results indicate that the rectangle waveguide near field heating technology can break superparamagnetic limit and meet the demand of hybrid recording. This is a high potential method and can increase storage density consumedly.

Key words: hybrid recording; superparamagnetic limit; integration of magnetic head and optical head; dual2gradient recording

1 引言

近年来磁记录面密度以每年 100% 的速度提高, 而随着记录密度的不断提高, 磁微粒体积的减小必将受到超顺磁极限的限制。为解决超顺磁极限问题, IBM 公司等著名研究机构提出了采用双层记录密度技术方案, 即上层磁层为读写层, 下层磁层是为了克服超顺磁极限的限制而与读写层磁场方向完全相反但强度相对较小的磁层, 记录信息时, 上下两层记录的磁偏转方向相反, 但上层强, 下层弱, 读取时读的是上层记录, 上下两层之间的磁力可以克服超顺磁极限, 通过这种方法, 理论上记录密度可以提高 10 倍以上, 从介质的角度上解决了超顺磁极限问题, 但由于硬盘磁头结构上的原因, 道密度比位密度低一个数量级。过高的道密度要求磁头很窄, 使其在结构和工艺上都有很大的困难。采用什么方法能在保持或进一步提高硬盘高位密度的情况下, 同时大幅度提高道密度并突破超顺磁极限, 这是当今磁记录界所面临的共同问题。

近几年来, 由于近场光记录技术的兴起, 给解决这个问题带来了一种新的思路, 这就是发展中的磁、光混合记录技术^[1]。近场光、磁混合记录就是把成熟的磁记录技术和发展中的近场光存储技术结合起来, 利用近场光斑来加热一个极小的区域, 使具有较高矫顽力的磁记录介质能够使用具有较小

写入安匝数的磁头进行有效的写入, 为此我们提出了采用高矫顽力的磁记录材料, 波导近场热辅助写的技术方案, 如采用浮动技术和微电子集成技术, 充分利用磁记录位密度高而近场光斑基本不分散的特点, 采用波导面与磁道垂直形成近场光斑照射记录介质, 降低介质矫顽力, 在此光斑范围内, 利用磁头磁化翻转来记录数据。该方案道密度由近场光斑决定, 而位密度由磁头决定, 因而可以突破超顺磁极限, 同时提高道密度, 实现超高记录密度, 现有磁记录道密度一般为 100KTPI, 相应的道宽约为 250nm, 按我们的设计目标, 如采用混合磁记录技术方案后, 道密度可达到 500KTPI, 相应的道宽约为 50nm, 本文对这一方案的磁热效应进行了仿真研究。

2 记录介质的剩余磁场与保存温度和时间的关系

磁微粒的剩余矫顽力与保存温度和时间的关系由下式确定^[2-4]:

$$H_{rc} = H_K S(H) \left[1 - \left(\frac{K_B T}{K_u V} \ln \frac{f_0 t}{\ln 2} \right)^{n(H)} \right]$$

式中 K_u 为各向异性常数, V 为磁微粒体积, K_B 为玻尔兹曼常数, T 为温度, H_K 为各向异性场且有 $H_K = 2K_u / M_S$ (M_S 为饱和磁化强度), H 为外加场对各向异性轴向的倾角, $n(H)$ 几乎在 H 为任意角时都等于 2/3, 但在 $H_y(0, 90)$ 时, $n(H)$ 急剧 $y/1/2$

且有:

$$S(H) = \frac{1}{(\cos^{2/3}H + \sin^{2/3}H)^{3/2}}$$

f_0 在一般情况下是一个常数,其典型值为 $10^9 s^{-1}$ 数量级^[4],在磁记录媒体中,由于磁微粒大小的分散性,我们一般用其平均体积代替公式中的 v , 这样上式可化为:

$$H_{rc} = H_k S(H) \left[1 - \left(\frac{K_B T}{K_u \sqrt{V}} \ln \frac{f_0 t}{\ln 2} \right)^{n(H)} \right]$$

在水平记录中,磁微粒各向异性轴线是自由的,忽略其相互作用,上式可进一步简化为:

$$H_{rc} = H_k S(H) \left[1 - \left(\frac{K_B T}{1.06 K_u \sqrt{V}} \ln \frac{f_0 t}{\ln 2} \right)^{2/3} \right]$$

由此可以推出:在常温下要使磁微粒保持磁化十年不翻转,必须得满足 $\frac{K_u V}{K_B T} > c U 40$, 式中 K_B 为波尔兹曼常数,常温下,要想减小磁元体积 V , 必须采用高矫顽力的磁记录材料,而且在写磁场无法做较大提高的情况下,必须采用热辅助写的技术方案. 下面我们对混合记录中磁热效应进行相应的分析.

3 波导近场仿真研究

我们利用傅里叶方法来建立近场耦合的数值计算模型^[5]:有一束光经平面上的孔 D 衍射,在 $Z = Z_0$ 处有一观察屏,已知该光场在 D 上的分布,且设场分布为 $f(x, y, z)$, 在 D 上 $f(x, y, z) = f_0(x, y)$, $f_0(x, y)$ 为已知函数,求观察屏上的光场分布. 将 $f_0(x, y)$ 表示为傅里叶积分:

$$f_0(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\mathbb{H}} F_0(k_x, k_y) \exp\{i(xk_x + yk_y)\} dk_x dk_y$$

则有 $F_0(k_x, k_y) = \iint_{\mathbb{H}} f_0(x, y) \exp\{-i(xk_x + yk_y)\} dx dy$

为求点 (x, y, z) 处的场解 $f(x, y, z)$, 我们将 $f(x, y, z)$ 表示为傅里叶积分

$$f(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\mathbb{H}} F(k_x, k_y, z) \exp\{i(xk_x + yk_y)\} dk_x dk_y$$

将 $f(x, y, z)$ 的傅里叶积分式代入标量波动方程 $\nabla^2 f + k^2 f = 0$ 得:

$$F \mathbf{k} \left[\frac{9^2 F}{9z^2} - (k^2 - k_x^2 - k_y^2) \right] \exp\{i(xk_x + yk_y)\} dk_x dk_y = 0$$

从而可得: $\frac{9^2 F}{9z^2} - (k^2 - k_x^2 - k_y^2) F(k_x, k_y, z) = 0$

令 $k_z^2 = k^2 - k_x^2 - k_y^2$, 上式可写成: $\frac{9^2 F}{9z^2} - k_z^2 F = 0$; 该方程有如下形式的解:

$$F(k_x, k_y, z) = F_0(k_x, k_y) \exp(-ik_z z)$$

则该光场在观察屏上的分布可由下式给出:

$$f(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{\mathbb{H}} F_0(k_x, k_y) \exp\{i(xk_x + yk_y - zk_z)\} dk_x dk_y$$

以波导锥尖出口光场为输入,我们假设出口光场能量密度为 1, 计算盘片上的光强分布,下面是在计算机上仿真求解的光强分布图:

其中波导锥尖出口处芯层厚度比是 1 比 2, 芯层厚度是 0.1 个波长, 出口芯层宽度是 0.12 个波长, 入口芯层宽度是 4 个波长, 长度计量单位都是光波波长, 光强计量单位以出口光强为 1.

从仿真计算结果(图 1)可以看出:在 0.05 个波长的近场范围内光场其基本上没有发散,可以满足混合记录对加热光斑高能量密度的要求. 事实上现有磁记录磁头浮动高度在 0.05 个波长范围内,可以确保混合记录磁光集成浮动头在近场的范围内.

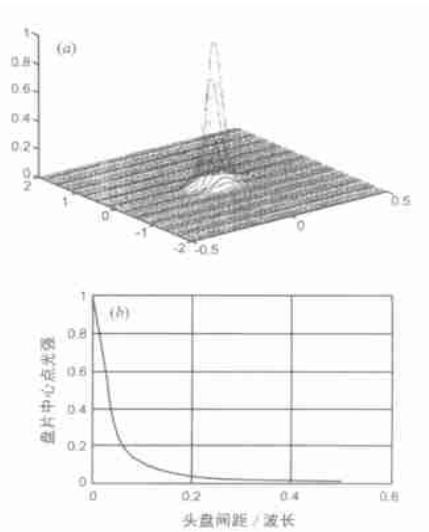


图 1 盘片上的光强分布 (a) 头盘间距为 0.05 波长; (b) 盘片上光斑中心光强. 图中 XY 平面的坐标单位是波长, Z 坐标表示盘片上的相对光强分布(设盘片中心光强为 1)

4 混合记录介质热响应及写磁场研究

当激光加热光斑的尺寸大于激光脉冲作用时间内热量的传播深度时可近似按一维热传导问题处理,并可把材料表面看成是无限大物体^[6,7], 现有磁记录介质的厚度一般在 20nm 以下, 这样近场加热光斑的热传导方程可表示为: $\frac{9^2 T}{9z^2} - \frac{1}{A} \frac{9T}{9t} = 0$. 式中 A 为材料的热扩散率、 T 为温度、 t 为时间. 设用于介质表面的激光功率密度在时间上恒定不变,且空间分布均匀,即: $p_s(t) = \begin{cases} p_s, & 0 \leq t \leq t_0 \\ 0, & t > t_0 \end{cases}$

又由于我们采用波导近场光斑,因此此时边界条件可简化为: $z = 0, -K \frac{9T}{9z} = AP_s(t)$, K 为材料热导率, A 为吸收比 $z = \infty, T = 0$; $t = 0, T = 0$ 这样热传导方程的简化解为:

$$T(z, t) = \frac{2AP_s}{K} \sqrt{At} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{At}} \right), t \leq t_0$$

$$T(z, t) = \frac{2AP_s}{K} \sqrt{A} \left[\sqrt{t} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{At}} \right) - \sqrt{t-t_0} \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{\sqrt{4A(t-t_0)}} \right) \right], t > t_0$$

式中, A 为介质材料表面的吸收比, erfc 为互补误差函数,且有: $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-G^2) dG$, $\operatorname{erfc}(x) = \int_0^1 \operatorname{erfc}(G) dG$

显然,在 $z = 0$ 处,即材料的表面处的温度为:

$$T(0, t) = \frac{2AP_s}{K} \sqrt{\frac{At}{\pi}}, t \leq t_0$$

因为材料的热导率、吸收率、热扩散率都会随温度而改变, 所以不能直接解方程得到记录介质的时间响应。借助有限差分方法: 假设材料表面初始温度为 300K, 取材料的热导率、比热容、热扩散率的变化都不超过一个较小的常数时的温度、时间 (T_1, t_1) 的解为第一次解, 再将温度为 T_1 时材料相应的热学参数代入上式, 同理求出温度、时间的第二次解 (T_2, t_2) 。依此类推, 一直到材料的矫顽力下降到符合写记录时的温度 T 为止, 再将所有时间相加得到的时间 t 即为记录介质热响应时间。据报道现有磁记录材料的矫顽力的拐点一般出现在 450K 左右^[8,9], 我们以磁记录材料相应的参数, 激光功率为 3mW (波导实验测试结果) 代入上式, 利用计算机仿真求解出温升至 500K 时的响应时间不到 0.1s, 我们假设记录半径为 1 英寸, 转速为 7200 转/分, 这样我们若利用长为 2μm, 宽为 50nm 矩形波导, 则加热时间约为 0.1045s, 而当取半径为 1 英寸, 矩形波导长度为 2μm 时, 加热光斑偏离磁道的距离还不到 1/100mm, 可见波导近场加热既保证了记录介质足够快的温度响应以克服超顺磁极限的限制, 也不会对相邻磁道的记录产生影响。

由于磁场反转过程可以表示为: $M/M_0 = \exp(-f_0 \exp(-E/K_B T) t)^{1/10}$, 其中: $E = KuV(1 - H/H_0)^P$, M 为剩余磁场, H 为外加场, H_0 为 $t = 0$ 时刻的记录场, P 是一个与磁翻转模式有关的常数。可以看到: 记录元保存时间与材料矫顽力为指数关系, 这使得混合记录在克服超顺磁极限方面有着极好的潜力。根据磁记录理论, 当介质中的外加磁场超过介质的矫顽力时, 磁颗粒磁化方向将依外加磁场磁化而发生相应的翻转。现有文献报道^[8,9]: 合适的混合记录材料矫顽力在常温下是 500K 时的 5 倍左右, 也就是说在混合记录中写磁场只需磁记录中的 20%, 从而保证了利用高矫顽力的磁记录材料的现实性。

5 总结

通过对混合记录介质磁热关系、近场光斑和记录介质热响应研究表明: 我们提出的波导近场加热方案既可以克服超顺磁极限的限制, 又可以有效地解决磁头在结构和工艺上的局限性, 它充分利用了磁记录位密度高和近场记录道密度高的特点, 是一种很有潜力的超高密度、超快存储技术方案。

参考文献:

[1] J J M Ruigrok, R Coehoom, S R Cumpson, H W van Kesteren. Disk recording beyond 100Gb/in²: hybrid recording [J]. Appl. Phys. 2000,

87: 5398- 5401.

- [2] M P Sharrock. Time dependence of switching fields in magnetic recording media [J]. Appl. Phys., 1994, 76: 6413- 6415.
- [3] E F Kneller, F E Luborsky. Particle size dependence of coercivity and remanence of single domain particles [J]. Appl Phys, 1963, 34: 656- 658.
- [4] H Neal Bertram, Xiaobin Wang, Vladimir L Safonov. Dynamic thermal effects in thin film media [J]. IEEE Trans 2001, 7, Magnetic 37(4): 1521- 1523.
- [5] 黄浩. 近场记录光盘驱动器若干关键技术研究 [D]. 武汉: 华中理工大学, 1999.
- [6] J P Holman. Heat Transfer [M]. 马庆芳, 等译. 北京: 人民教育出版社, 1981. 7.
- [7] 陆建, 等. 激光与材料相互作用物理学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996: 26- 29.
- [8] Jay R Hoinville. Micromagnetic modeling of the thermomagnetic recording Process [J]. IEEE Trans 2001, 7 Magnetic 37(4): 1524- 1527.
- [9] Bill E Higgins, Adam F Torabi, Michael L Mallar. Measurement of Thermal Stability Factor Distribution in Thin Film Media [J]. IEEE Trans 2001, 7 Magnetic 37(4): 1528- 1530.
- [10] Akira Kikitsu, Toshihiko Nagase, Tomoyuki Maeda, Shin-ichi Tatsuta, Jun-ichi Akiyama. Thermal Demagnetization Analysis of CoPt Magnetic Recording Medium by Magneto-Optical Recording Test [J]. IEEE Trans 2001, 7 Magnetic 37(4): 1520- 1523.

作者简介:



裴先登 男, 1934 出生于湖南省临澧县, 留苏博士, 博导, 现任中国计算机外部设备行业协会副主任, 中国计算机学会多媒体专业委员会副主任, 中国电子学会光存储专业委员会副主任, 在国内外发表论文 180 多篇, 获国家级奖 3 项, 省部级奖 6 项, 主要研究方向: 高速大规模信息存储与测试技术。



夏又新 男, 1968 出生于湖北省鄂州市, 讲师, 博士研究生, 在国内外发表论文 5 篇, 主要研究方向: 混合记录技术。Email: youxinia@sohu.com