

高记录密度下磁盘记录信号的热磁衰减现象

姜文红¹, 罗四维¹, 中村庆久²

(1. 北方交通大学计算机与信息技术学院, 北京 100044; 2. 日本东北大学电气通信研究所)

摘要: 通过实验以及定量计算探讨了垂直二层膜介质由热磁衰减引起的输出信号衰减现象. 同时讨论了由单磁极磁头带来的一些影响. 并指出如果能避免这些影响, 垂直磁记录的热磁衰减量要比相应的报道结果小很多. 垂直磁记录即使在膜厚度较厚的情况下, 由于粒子尺寸很小, 仍然能够实现很高的记录密度并保持低介质噪声.

关键词: 热磁衰减; 输出信号衰减; 单磁极磁头; 垂直磁记录

中图分类号: TP333 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)11-1512-03

Thermal Relaxation of Recorded Signal on Hard Disk at High Recording Density

JIANG Wenhong¹, LUO Siwei¹, ZHONGCUN Qingjiu²

(1. School of Computer & Information Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Research Institute of Electrical and Communication, Tohoku Univ., Japan)

Abstract: Output decay by thermal relaxation in perpendicular double layered media is studied by numerical calculation and experiments. In addition some influences due to a single pole head are pointed out. We suggested that if these influences could be avoided, thermal relaxation in perpendicular magnetic recording would be much smaller than reported so far. High recording density and low noise is possible with relatively small particles, even at large film thickness in perpendicular magnetic recording.

Key words: thermal relaxation; output decay; single pole head; perpendicular magnetic recording

1 引言

平面记录方式为了获得高记录密度和高信号噪声比, 通常需要减小比特尺寸、降低介质膜厚度以及减小晶粒尺寸, 但由此带来的热磁衰减问题将变的越来越严重^[1,2]. 垂直磁记录由于其本身具有的低退磁特性, 被认为是适合于超高密度磁记录的方式^[3], 但迄今为止的研究还不是很充分. 本论文中通过实验观察了热磁衰减对记录密度的依赖性, 并与相应的报道结果进行了比较^[4]. 实验中使用的磁头分别为单磁极写磁头和 MR(磁电阻)浮动读磁头. 同时本文还探讨了避免单磁极磁头影响的一些方法.

2 输出信号衰减

2.1 输出信号衰减量的计算

计算机仿真通过建立非一致磁化反转模型, 对二维有限元素法^[5]改进, 对热磁衰减进行定量计算. 在计算过程中, 引进了指数衰减理论. 假设介质中粒子的形状为圆柱形, 其高度等于介质的厚度(此处假设为 50nm). 粒子间的交换耦合作用用平均场方法近似^[6]. 饱和磁化强度 M_s 、各向异性场 H_k 、矫顽力 H_c 分别为 430emu/cm^3 、 43600e 和 11000e , 与实验中使用的介质参数相同. 计算机仿真中涉及的参数分别为粒子直径、粒子平均体积和体积的标准偏差, 分别用 D 、 V 和 σ 表示.

在没有热磁衰减影响的条件下, 确定计算的记录密度. 在此记录密度下模拟记录过程, 求出初始记录的磁化强度. 对应这一磁化强度求出介质内各要素点的反向磁场. 从矫顽力中

减去上述的反向磁场, 得到粒子实际反转磁场的大小. 在非一致磁化反转模型中, 由矫顽力决定反转磁场大小, 各向异性常数 K_u 由矫顽力计算, 而不同于 S W 模型(由各向异性场 H_k 计算). 时间常数 τ 根据公式(1)计算. 其中 K_u 为各向异性常数, V 为粒子平均体积, T 为绝对温度, k 为波尔兹曼常数,

$$\tau = 10^{-9} \times \exp(K_u \cdot V / kT) \quad (1)$$

对应于每个时间间隔 Δt , 依据磁化强度随时间的变化关系——公式(2), 由自相一致性的收敛计算, 确定随时间变化了的磁化强度分布. 计算公式为

$$M(t) = M(t_0) \times \exp[-(t_0 + \Delta t) / \tau] \quad (2)$$

磁头输出由互易性定理得出.

图 1 所示结果为在不同记录密度以及不同体积分布时, 输出信号随时间变化的关系. 将粒子体积分布的标准偏差除以粒子体积的平均值定义为参数 σ/μ . 在 σ/μ 取值较小时 ($= 0.1$), 无论在高记录密度还是低记录密度时, 都几乎没有输出信号的减小. 在 σ/μ 取值较大时 ($= 0.2, 0.3$), 输出量的减小非常明显, 这说明体积小于平均体积的粒子首先发生反转, 从而带动体积较大的粒子发生磁化状态的改变, 因此粒子体积分布越宽, 即体积越小的粒子, 其热磁衰减量影响整个介质的输出衰减. 同时计算机仿真结果也表明在高记录密度时, 输出衰减量小于低记录密度的值. 这证明了垂直磁记录在高记录密度时的低反向磁场特性. 而这点正是垂直磁记录优于平面磁记录, 适合于超高密度记录的优势所在.

2.2 输出信号衰减量对记录密度依赖性的实验及结果

实验中使用的单磁极写磁头的道宽和主磁极膜厚度分别为 50 μm 、300nm. MR 读磁头的浮动高度为 50nm. 介质参数与计算机仿真中所述相同. 为了避免读出过程中写磁头的影响, 单磁极磁头写入之后立即从介质上移开, 而用 MR 磁头继续读出信号. 图 2 所示结果为信号输出衰减对记录密度的依赖

性. 在测试的时间范围内, 几乎没有观察到记录密度为 100kFRPI 的信号输出衰减, 此结果与计算机仿真结果非常吻合(图中黑圆点). 即使在记录密度为 5kFRPI, 记录密度很低时, 这时的垂直磁记录反向磁场较大, 其输出衰减量仍小于 3%. 实验结果再次证实垂直磁记录高记录密度时具有较小的反向磁场这一优势.

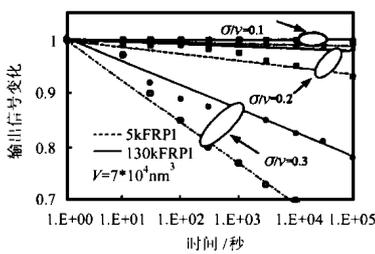


图 1 不同记录密度与体积分布时输出信号随时间变化

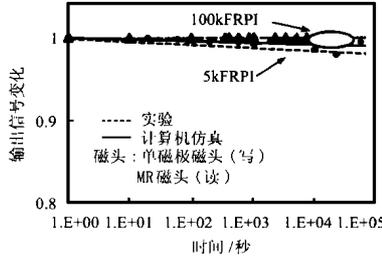


图 2 输出信号衰减量对记录密度的依赖性的实验结果

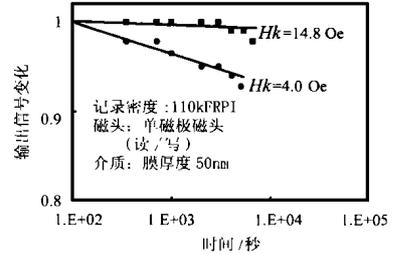


图 3 输出衰减对磁头主磁极膜各向异性场依赖性

3 磁头的影响

3.1 磁头各向异性场的效果

上述计算机仿真与实验测得的输出衰减量不是很大, 但是这一结果与相关报道有所差异^[4]. 为了分析各种因素的影响, 首先用主磁极膜各向异性场 H_k 不同的单磁极磁头进行了实验. 图 3 结果为输出衰减对 H_k 的依赖性. 使用 H_k 值较小的磁头时, 输出电压减小量非常大. 而当 H_k 由 4.00e 提高到 14.80e 之后, 输出减小量减小到 3%. 其原因被认为是由于主磁极膜各向异性场较小的单磁极磁头, 在读出过程中主磁极膜的磁畴结构不稳定^[7], 这种磁畴的不稳定性会带来介质的退磁. 而我们熟知各向异性场 H_k 值高的主磁极膜材料, 其磁畴结构比较稳定. 因此对介质的退磁影响较小.

3.2 磁头结构的影响

为与上述大块单磁极磁头相比较, 低电感薄膜单磁极浮动磁头也被用于垂直介质的输出衰减的测试中. 线圈被设计成靠近主磁极膜, 因此记录灵敏度和重写特性与大块单磁极磁头相比都有很大提高. 利用这种磁头作为读写磁头时, 测得的信号输出电压随时间的衰减量结果如图 4. 记录密度为 100kFRPI 时, 2 小时后的输出衰减量为约 3%, 如果保持这种对数衰减关系, 10 年后的输出量将减小到初始值的 95% 左右. 这种磁头结构的薄膜回路就象是一个屏蔽层, 屏蔽了外界磁场对主磁极膜的影响.

3.3 外界磁场的影响

图 5 结果为在外界磁场作用下输出量的变化. 在外加磁场为 20e 时, 对 $H_k = 4.00\text{e}$ 和 $H_k = 14.80\text{e}$ 的大块单磁极磁

头, 输出信号分别减小到 60% 和 80%. 而另一方面, 薄膜通路单磁极磁头在外加磁场增大到 200e 时, 输出信号减小到 80%, 磁场大小比相关报道大很多. 这一结果说明, 对由磁头引起的介质退磁, 磁头构造因素的影响同样重要. 外部磁流经主磁极膜附近由薄膜构成的通路, 从而减小了外界磁场对主磁极膜的影响.

4 总结

本文通过计算机仿真与实验研究了垂直二层膜介质的热磁衰减现象. 对于某些测试中观察到输出信号的严重衰减, 其原因可以由磁头各向异性场值较低时, 其磁畴结构的不稳定性以及外界磁场的影响加以解释. 在对垂直二层膜记录时的输出衰减测试中, 需要慎重考虑磁头的状态. 计算机仿真与实验结果都表明, 由于垂直磁记录在高记录密度时的低反向磁场特性, 在保持介质膜厚度较厚的前提下, 可以利用较小的粒子, 降低热磁衰减的影响, 同时获得高记录密度与低介质噪声. 但是前提条件是介质粒子体积分布与矫顽力分布很小, 并且慎重考虑磁头主磁极膜磁畴稳定性与磁头结构的影响.

作者简介:



姜文红 女, 1968 年 12 月出生于吉林长春市. 讲师, 就职于北方交通大学计算机与信息技术学院, 1991 年毕业于浙江大学信息与电子工程系, 1997 年毕业于日本东北大学工学研究科.



罗四维 男, 1943 年 12 月 23 日生于北京市. 教授, 博士生导师. 就职于北方交通大学计算机与信息技术学院. 研究方向: 计算机应用、人工神经网络等.

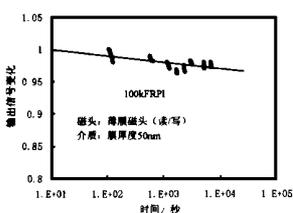


图 4 采用薄膜磁头时的输出信号衰减量

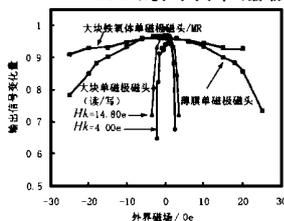


图 5 垂直二层膜介质中外界磁场对各种不同单磁极磁头的影响

参考文献:

[1] P L Lu, S H Charap. Magnetic viscosity in high density recording [J]. J. Appl. Phys. , 1994, 75: 5768- 5770.

[2] P L Lu, S H Charap. Thermal instability at 10 Gbit/in² magnetic recording [J]. IEEE Trans Magn. , Nov. 1994, 30(6) : 4230- 4232.

[3] S Iwasaki, Y Nakamura. An analysis for the magnetization mode for high density magnetic recording [J]. IEEE Trans. Magn. , 1977, 13: 1272- 1277.

[4] W Cain, A Payne, et al. Challenges in the practical implementation of perpendicular magnetic recording [J]. IEEE Trans. Magn. , 1996, 32:

97- 102.

[5] Y Nakamura, I Tagawa. An analysis of perpendicular magnetic recording using a newly development 2D-FEM combined with a medium magnetization model [J]. IEEE Trans. Magn. , 1989, 25: 4159- 4161.

[6] I Tagawa, I Takeo, et al. Interparticle interaction field in magnetic recording media [C]. J. Magn. , Soc. Jpn, 1994, 18: 95- 98, (in Japanese).

[7] K Yamakawa, I Watanabe, et al. Narrow track single pole head for perpendicular magnetic recording [C]. Technical report of IEICE, 1984, MR84 28: 7- 12 (in Japanese).

(上接封3)

由第二、三站测量值 (θ_{2k}, ϕ_{2k}) 、 (θ_{3l}, ϕ_{3l}) 可确定空间一交点 $X_{23}(k, l) = [x_{23}, y_{23}, z_{23}]$, 由第三、一站测量值 (θ_{3l}, ϕ_{3l}) 、 (θ_{1j}, ϕ_{1j}) 可确定空间一交点 $X_{31}(l, j) = [x_{31}, y_{31}, z_{31}]$. 当无测量误差情况下, 当这组测量值来源于同一目标时, 由这组测量值求得的三个交点必为同一点, 否则, 这三个交点在空间上是分散的. 当存在测量误差情况下, 假设各站的测量误差(相对于目标间距)很小, 当这组测量值来源同一目标时, 三个交点接近于同一点即三点的平均值, 否则它们对于三点的平均值分散程度很大. 我们定义三个交点的分散度来描述这组测量值的关联程度:

$$d_{jkl} = D[X_{12}(j, k), X_{23}(k, l), X_{31}(l, j)] = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2}$$

其中: $d_1^2 = (x_{12} - x_0)^2 + (y_{12} - y_0)^2 + (z_{12} - z_0)^2$; $d_2^2 = (x_{23} - x_0)^2 + (y_{23} - y_0)^2 + (z_{23} - z_0)^2$; $d_3^2 = (x_{31} - x_0)^2 + (y_{31} - y_0)^2 + (z_{31} - z_0)^2$; $x_0 = (x_{12} + x_{23} + x_{31})/3$ $y_0 = (y_{12} + y_{23} + y_{31})/3$ $z_0 = (z_{12} + z_{23} + z_{31})/3$.

一般地这三交点的分散度越小, 由它们表示的三个站的测量值就越有可能来自同一目标. 计算所有可能测量值组合的分散度, 共有 m^3 个可能组合, 取分散度最小的组合 d_{jkl} 作为测量值的正确关联, 则判定 $X_{12}(j, k)$ 、 $X_{23}(k, l)$ 、 $X_{31}(l, j)$ 为同一目标的定位点, 其对应的三站角度测量值 (θ_{1j}, ϕ_{1j}) 、 (θ_{2k}, ϕ_{2k}) 、 (θ_{3l}, ϕ_{3l}) 属于同一目标. 把这组测量值从测量集合中删除, 从剩余测量集中取分散度最小的组合, 直到求出 m 个正确关联, 完成了对测量值的关联.

3 多站多目标的测量数据融合

经测量值关联运算后, 得到的三站角度测量值为 (θ_{1j}, ϕ_{1j}) 、 (θ_{2k}, ϕ_{2k}) 、 (θ_{3l}, ϕ_{3l}) , 其对应测量方差为 $(\sigma_{\theta_{1j}}, \sigma_{\phi_{1j}})$ 、 $(\sigma_{\theta_{2k}}, \sigma_{\phi_{2k}})$ 、 $(\sigma_{\theta_{3l}}, \sigma_{\phi_{3l}})$, 由其确定的三个交叉点为 $X_{12}(j, k)$ 、 $X_{23}(k, l)$ 、 $X_{31}(l, j)$, 其定位方差为 σ_{12} 、 σ_{23} 、 σ_{31} . 利用以上数据进行融合处理. 目标位置的数据融合算法很多, 在这里介绍四种简单的融合算法.

(1) 最小方差法 最简单的方法是取三个交叉点中方差最小的点作为融合估计值.

(2) 加权平均法 为了充分利用三个站所提供的信息量, 可以利用测量方差对三个测量值进行加权平均作为融合估计值.

(3) 多次滤波法 此方法与其后的滤波估计一起进行, 在

卡尔曼滤波过程中, 首先把 $X_{12}(j, k)$ 作为测量值对目标的预测值进行修正, 得到这一步的估计值, 然后利用 $X_{23}(k, l)$ 、 $X_{31}(l, j)$ 依次作为测量值对得到估计值再进行两次修正, 得到比原来的更精确的估计值. 这种方法是与滤波方法混合使用的, 相当于多次重复滤波.

(4) 加权最小二乘法 首先对目标量测方程关于目标定位值 (x, y, z) 在粗估计点 (x_0, y_0, z_0) 进行线性化, 然后对线性化的量测方程利用加权最小二乘法进行目标位置估计, 其中目标位置的粗估计可利用加权平均法求得.

4 多目标测量点迹与航迹关联及卡尔曼滤波

利用每个目标融合值作为卡尔曼滤波的测量值对目标位置进行滤波估计. 在多目标情况下, 首先要进行目标测量点迹与处理器中已有航迹的关联计算, 在此处我们利用最近邻法进行相关处理, 最后利用卡尔曼滤波方法进行目标位置的状态估计与预测.

5 仿真计算

(1) 仿真条件 设观测站在给定中心坐标系的位置为 $(0, 0, -60.0\text{km}, 0, 0)$ 、 $(-40.0\text{km}, 0, 0, 0, 0)$ 、 $(40.0\text{km}, 0, 0, 0, 0)$, 各观测站角误差为零均值正态分布的白噪声, 其标准差为 0.5° 采样周期为 1s. 两目标在空间分别以初始位置 $(100.0\text{km}, 100.0\text{km}, 10.0\text{km})$ 、 $(60.0\text{km}, 130.0\text{km}, 10.0\text{km})$, 沿 X 轴以 -0.3km/s 、 0.3km/s 的速度匀速飞行, 卡尔曼滤波状态模型为常速模型, 仿真表 1 四种算法的融合及滤波估计均方根误差 200s.

均方根误差(km)		目标 1	目标 2
最小方差法	合成值	6.404	14.751
	滤波值	4.559	9.539
加权平均法	合成值	6.040	12.88
	滤波值	4.488	9.5
多次滤波法	合成值	6.404	14.751
	滤波值	4.559	9.539
加权最小二乘法	合成值	5.462	11.618
	滤波值	2.775	3.159

(2) 仿真结果 通过仿真得到: 多站多目标测量值关联的正确关联概率为 0.835821. 四种方法的融合及卡尔曼滤波估计均方根误差如表 1.

6 结论

通过仿真表明在四种方法中加权最小二乘法的跟踪精度最高, 可以在实际被动定位系统中应用.