

文章编号:1673-9469(2011)03-0108-03

## FeTaPt 多层膜的磁粘滞研究

徐静

(河北工程大学 理学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**在 800℃ 基底温度下,以单晶硅为基底,采用磁控溅射法制备了 FeTaPt 多层膜。通过 XRD 检测样品为单相,利用 VSM 测量了样品在双磁场下的磁化强度与时间的关系,并且利用磁滞 Preisach 模型得到材料的拟和参数。结果表明:在样品矫顽力附近出现了磁化强度随时间对数的线性变化,当磁场偏离矫顽力时,磁粘滞行为将偏离线性变化,这不仅与  $H_1$  和  $H_2$  有关,而且与  $H_1$ 、 $H_2$  的差值有关, $H_1$ 、 $H_2$  差值越小,非线性衰减越明显。

**关键词:**多层膜;磁粘滞;双磁场

**中图分类号:** O.482

**文献标识码:** A

## Studies on magnetic viscosity of FeTaPt Multilayer Films

XU Jing

(College of Sciences, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** FeTaPt films were prepared by reactive magnetron co-sputtering on Si substrate at 800℃. X-ray diffraction(XRD) measurement revealed that the multilayer films were single phase. The time dependence of magnetization under double-field were measured and studied by Preisach hysteresis model, and we get the parameters through the simulation. The results show that the magnetic intensity linearly changes with the logarithm of time near coercive force. When the external magnetic field deviate away from coercive force, the magnetic viscosity will change its linear variation, which not only related to  $H_1$  and  $H_2$ , but also to the difference value of  $H_1$  and  $H_2$ . The smaller the difference between the  $H_1$  and  $H_2$ , is, the more obvious the nonlinear attenuation is.

**Key words:** multiplayer; magnetic viscosity; double fields

随着信息时代的发展,对信息记录的密度要求越来越高,而记录介质的尺寸也在不断减小,从而导致介质的热稳定性较差。材料的磁粘滞行为即在外磁场下磁化强度随时间的变化规律,研究磁粘滞行为可以得到磁记录介质的热稳定性。

从粒子的磁特性和结构考虑,热稳定性决定于因子  $K_u V/k_B T$ ,其中  $K_u$  是磁各向异性常数, $V$  为颗粒体积,减小颗粒体积可以通过增加各向异性来提高热稳定性。具有大的磁各向异性的 FePt 薄膜吸引了人们的广泛兴趣<sup>[1-2]</sup>,而许多研究者又通过在 FePt 薄膜的基础上添加  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  和  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  等物质来增加磁各向异性<sup>[3-5]</sup>,但其热稳定性不是

很好。元素 Ta 是一种黑灰色金属,有延展性,耐酸碱和耐氧化,化学性质又特别稳定。在 FePt 薄膜中加入 Ta,可增加薄膜的稳定性,减小晶粒尺寸,提高介质矫顽力,增加磁各向异性。目前国内外在 FePt 薄膜中加入元素 Ta 的热稳定性研究还处于起步阶段。

本文用 Preisach 磁滞模型对 FeTaPt 多层膜的双场磁粘滞行为进行了研究,并与实验结果进行了比较。通过模拟得到材料的拟和参数,并分析结果,得到样品在双磁场下的磁化强度与时间的关系以及与时间对数的关系,这为研究热稳定性好的高密度记录材料提供理论依据。

收稿日期:2011-04-22

基金项目:邯郸市科学技术研究与发展计划项目(0821120081-3)

作者简介:徐静(1979-),女,河北邯郸人,讲师,从事磁性材料和纳米薄膜方面的研究。

### 1 模型

Preisach 模型<sup>[6]</sup>提出体系磁化状态的变化是由一系列的巴克豪森子系统的跳跃描述确定磁粘滞现象的动态描述, Preisach 分布给出跳跃的顺序。磁化过程由一个合适的能量势垒分布描述, 磁化翻转时需要克服势垒  $\Delta\epsilon$ , 翻转时间  $\tau$  由 Arrhenius 法则给出  $\tau = \tau_0 \exp(\Delta\epsilon/kT)$ 。Preisach 模型给出体系的磁化强度表示方法:

$$M = 2M_s \int_0^\infty dh_c \int^{b(h_c)} dh_u p(h_c, h_u)$$

式中  $p(h_c, h_u)$ —Preisach 函数分布,  $b(h_c)$ —描述体系的磁化强度  $M$  所必须的内部状态参量。

$p(h_c, h_u)$  的形式为<sup>[7-8]</sup>:

$$p(h_c, h_u) = p_{rev}(h_u)\delta(h_c) + p_{irr}(h_c, h_u)$$

其中  $p_{rev}(h_u)\delta(h_c)$  代表可逆过程,  $p_{irr}(h_c, h_u)$  代表不可逆部分。矫顽场分布和相互作用场分布函数采用高斯分布

$$P_{irr}(h_c, h_i) = \frac{2}{2\pi\sigma_i\sigma_c} \cdot \exp\left\{-\left[\frac{1}{2}\frac{(h_c - h_{ci})^2}{\sigma_c^2} + \frac{h_i^2}{\sigma_i^2}\right]\right\}$$

式中  $\sigma_i$ —相互作用场分布;  $\sigma_c$ —矫顽场分布;  $h_{ci}$ —有效场的剩磁矫顽力。

### 2 实验与讨论

用磁控溅射法制备了 FeTaPt 多层膜。实验所用基底为单晶硅, 基底温度为 800 °C。Fe、Pt 靶位和 Ta 靶位的溅射功率分别为 11 W 和 35 W, 本底真空为  $1.3 \times 10^{-5}$  Pa, 溅射气体为高纯氩气, 溅射气压为 2 Pa。在多层膜的制备过程中, Ta 层的溅射时间为 30 s。

X 射线衍射 (X-ray diffraction measurement, XRD) 表征了样品的结构, 如图 1 所示, 样品为单相。利用 Lakeshore 振动样品磁强计 (VSM) 测量了 FePtTa 多层膜的磁学性质。包括磁滞回线和不同磁场下双场过程曲线, 所加磁场平行于膜面, 双场过程就是先把磁场加到正向饱和, 然后降至某负值  $H_1$ , 然后增加到  $H_2$  保持不变, 记录磁化强度随时间变化的函数。样品的矫顽力较高 ( $H_c = 75.65$  A/m)。用 Preisach 磁滞模型对其磁化行为进行了模拟。

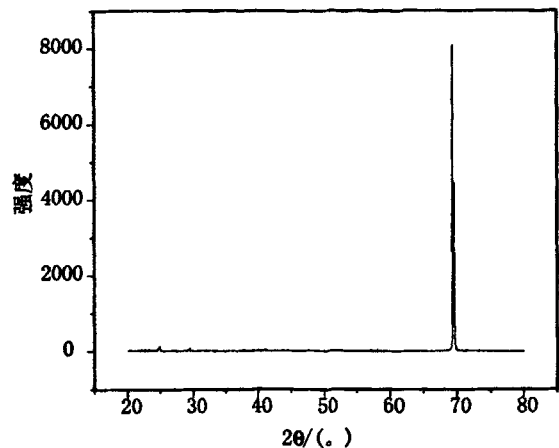


图 1 样品的 XRD 图谱

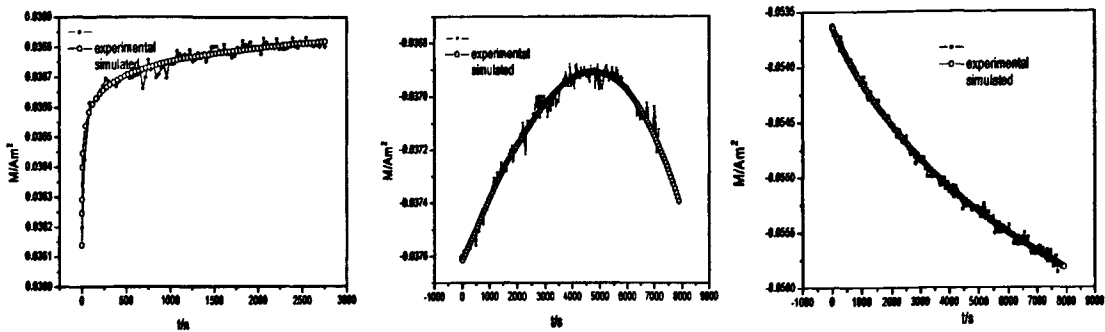
Fig. 1 XRD patterns of the FeTaPt film

图 2 给出 FeTaPt 多层膜双场过程的磁化强度与时间关系曲线, 图 3 为磁化强度与时间的对数的关系曲线。图中有实验曲线和模拟结果, Preisach model 很好的再现了多层膜的双场磁粘滞行为。图 2-a 中  $H_1 = -75$  A/m,  $H_2 = -13.5$  m 磁化强度随时间对数逐渐增加, 随着外磁场的改变, 这种对数线性变化不再明显 (图 3-a); 图 2-b 给出了不同外场  $H_1$  和  $H_2$  ( $H_1 = -99$  A/m,  $H_2 = -48.7$  A/m) 下的磁化强度随时间的变化, 出现先增加后减小的非单调变化, 而图 2-c 中外磁场又接近矫顽力 ( $H_1 = -80$  A/m,  $H_2 = -72.6$  A/m), 其磁化强度随时间减小, 但与时间对数也几乎满足线性衰减 (图 3-c)。可见, 磁粘滞曲线的形状不仅与  $H_1$ 、 $H_2$  的取值有关, 更与  $H_1$ 、 $H_2$  的差值有关,  $H_1$ 、 $H_2$  差值越小, 非线性衰减越明显。这种非单调的行为曾在硬磁材料和纳米材料中观察到<sup>[9-10]</sup>。由于 FeTaPt 多层膜的矫顽力比较大, 实验上容易测量磁化强度的非单调变化, 并与模拟结果相符合。非单调变化是双场过程的一个普遍特性, 由于条件的局限性在实验上一般观察不到。拟和得到一系列参数见表 1, 由这些参数可以得到在实验中很难观测到的磁粘滞行为, 比如多场过程的磁化强度随时间的变化关系。这为研究更实用的高密度记录材料提供理论依据。

表 1 FeTaPt 多层膜的拟合参数

Tab. 1 Preisach parameters for FeTaPt film

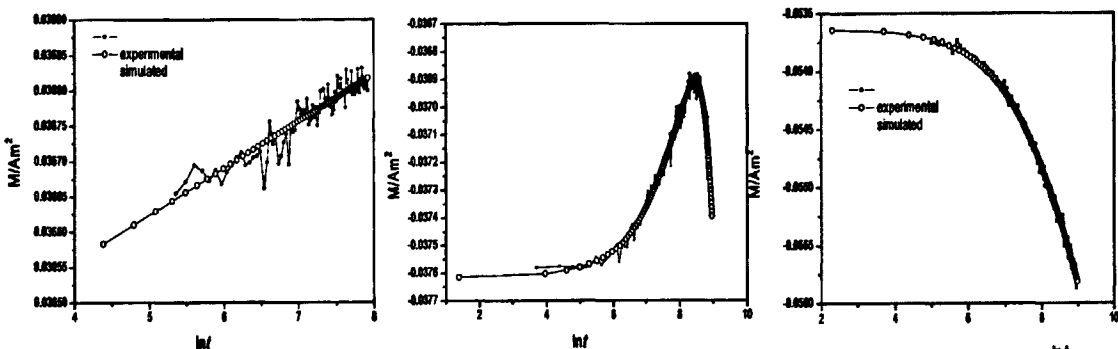
$\sigma_i/T$	$\sigma_c/T$	$h_a/T$	$h_c/T$	$\lambda/T^{-1}$
0.38	0.014	0.7	0.68	0.17



(a)  $H_1 = -75\text{A/m}, H_2 = -13.5\text{A/m}$  (b)  $H_1 = -99\text{A/m}, H_2 = -48.7\text{A/m}$  (c)  $H_1 = -80\text{A/m}, H_2 = -72.6\text{A/m}$

图2 双磁场下的磁化强度随时间的变化关系

Fig. 2 The magnetization as a function of time



(a)  $H_1 = -75\text{A/m}, H_2 = -13.5\text{A/m}$  (b)  $H_1 = -99\text{A/m}, H_2 = -48.7\text{A/m}$  (c)  $H_1 = -80\text{A/m}, H_2 = -72.6\text{A/m}$

图3 双磁场下的磁化强度随时间的对数变化关系

Fig. 3 The magnetization as a function of  $\ln t$

### 3 结论

1)模型再现了样品在双磁场下的磁化强度与时间的关系以及与时间对数的关系,并且通过模拟得到材料的拟和参数。

2)在样品矫顽力附近出现了磁化强度随时间对数的线性变化,当磁场偏离矫顽力时,磁粘滞行为将偏离线性变化,这不仅与  $H_1$  和  $H_2$  有关,而且与  $H_1$ 、 $H_2$  的差值有关,  $H_1$ 、 $H_2$  差值越小,非线性衰减越明显。

### 参考文献:

[1] DING Y F, CHEN J S, LIU E. Controlling the crystallographic orientation and easy axis of magnetic anisotropy in L10 FePt film with Cu Additive [J]. Surface & Coatings Technology, 2005, 198: 270 - 273.  
 [2] XU X H, WU H S, LI X L, et al. FePt/C Granular Thin Film for High - density Magnetic Recording[J]. Materials Chemistry and Physics, 2005, 90: 95 - 98.  
 [3] LIM B C, CHEN J S, HU J F, et al. Grain isolated L10 FePt - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nanocomposite films with large coercivity for perpendicular recording applications[J]. J Appl Phys, 2009,

105: 07A730.

[4] YAN M L, ZENG H, POWERS N, et al. L10 (001) - oriented FePt: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite films for perpendicular recording [J]. J Appl Phys, 2002, 91: 8471 - 8473.  
 [5] LUO C P, LIU S H, SELLMETER D J. FePt: SiO<sub>2</sub> granular thin film for high density magnetic recording [J]. J Appl Phys, 2000, 87: 6941 - 6943.  
 [6] 徐 静, 王海涛, 李凤舞. 多晶 Sr<sub>0.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>RuO<sub>3</sub> 的磁性研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2007, 24 (3): 44 - 47.  
 [7] ROSHKO R M, HOU D L. A Preisach Characterization of the barkhausen spectrum of a canonical ferromagnet SrRuO<sub>3</sub> [J]. Phys B, 2001, 306: 246 - 250.  
 [8] ZHAO X Y, QU J, WANG P J, et al. Studies on ferromagnetic hysteresis curves and magnetic aftereffect of [FePt/Ta] 5Ta Multilayer Films[J]. Journal of Hebei Normal University, 2007, 31: 329 - 332.  
 [9] LOBEU M, BASSO V, BEATRICE G, et al. Barkhausen jumps and magnetic viscosity in NdFeB magnets[J]. J Magn Magn Mater, 2005, 290 - 291: 1184 - 1187.  
 [10] HOU D L, DU Z X, YUE C X, et al. Studies on magnetic aftereffect of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano - particles[J]. J Alloy Compd, 2007, 429: 40 - 45.

(责任编辑 马立)