

Ti(Cr)缓冲层对用于垂直磁记录材料 CoCrTa 介质磁特性和微结构的影响*

甄聪棉[†] 马 丽 张金娟 刘 英 聂向富

(河北师范大学物理科学与信息工程学院, 石家庄 050016)

(2006 年 8 月 2 日收到, 2006 年 9 月 1 日收到修改稿)

利用直流对靶磁控溅射技术在单晶 Si 衬底上制备了 C/CoCrTa/X (X = Cr, Ti) 介质材料. 分别采用振动样品磁强计、X 射线衍射仪、扫描探针显微镜对样品的磁性、微结构等进行了测试分析. 研究发现, Ti 缓冲层有利于样品中 Co 晶粒的易轴垂直于膜面生长. 以 Ti 为缓冲层的样品, 颗粒尺寸和表面粗糙度较小, 而且磁畴明显, 说明以 Ti 为缓冲层的薄膜样品更适宜做垂直磁记录.

关键词: CoCrTa, 垂直磁记录, 缓冲层, 微结构

PACC: 7550S, 7570C

1. 引 言

磁记录材料广泛用于计算机和电子设备中. 随着电子产业的迅速发展, 单个记录位的面积越来越小, 提高磁记录材料的记录密度已经成为研究焦点. 对超高密度纵向磁记录介质来说, 薄的磁性层厚度, 大的矫顽力和小的晶粒尺寸是成为候选者的必备条件. 但是, 记录介质的大矫顽力同时要求与之相匹配的记录磁头拥有大的饱和磁通量 (B_s) 和大的磁导率 (μ). 基于目前记录磁头的实际性能, 磁记录介质的矫顽力不能太大; 并且超薄的磁性层厚度 (低于 10 nm) 通常会出现超顺磁现象, 导致记录信息丢失. 因此, 通过纵向磁记录介质提高磁记录密度预计在不久将会达到极限.

与纵向磁记录不同, 垂直磁记录对介质的矫顽力和磁性层厚度没有特别的限制. 这一优点使得垂直磁记录很有可能解决下一代高密度磁存储存在的严重难题. 尽管垂直磁记录与纵向磁记录相比有很大优势, 但是对其研究比起纵向磁记录要少的多. 目前, 应用于垂直磁记录的材料主要有 FePt^[1,2], CoCr 基金属等. 其中 CoCr 基金属, 如 Co-Cr-Ta 和 Co-Cr-Pt 合金薄膜以其优异的磁性和化学性能而备受关注, 从而使得它们在纵向磁记录中有较大应用潜

力^[3,4]. 通常, 作为纵向磁记录介质的 CoCrTa 通常以 Cr 为缓冲层. 这是由于 bcc 结构的 Cr 在适当的制备条件下沿 (200) 和 (110) 晶面取向生长, 它们分别与 hcp 结构的 Cd (10.0) 和 (10.1) 晶面匹配, 可以使磁记录介质产生大的面内磁化强度. Lazzari 等人^[5] 在实验中提出了 Cr 缓冲层, Cr 缓冲层可以促进 CoCrPt 合金的面内取向, 并能减小颗粒尺寸, 提高矫顽力, 而得到广泛应用. Sellmyer 等人^[6] 研究了 CoCrTa/Cr 单层和多层样品的结构和磁特性, 发现样品的矫顽力依赖于 Ta 的含量, 溅射条件等因素. Liu 等人提出了 CoCrTa/Pt 薄膜, 研究了其磁记录性能^[7]. Lin 等人研究了衬底偏压对 CoCrTa/Cr 晶体结构和磁性的影响^[8]. Okumura 等人研究了在衬底和 Cr 层间加入 CrNiN 对磁性和噪声功率的影响^[9]. 之后, 人们对 CoCrTa 薄膜又进行了一些研究^[10-12], 但是, CoCrTa 合金薄膜中很难实现垂直磁各向异性. Asahi 等人^[13] 研究了在玻璃和 Si 不同衬底上生长的 CoCrTa/TiCr 的磁特性和晶体取向, 磁测量发现在 Si 衬底上生长的薄膜拥有更高的矫顽力. Roy 等人通过后退火对用于垂直磁记录 CoCrPt/Ti 的磁性和微结构进行了研究报道^[14]. 但有关采用磁控溅射法在加热基片条件下, 使用不同缓冲层 (Cr, Ti) 制备的薄膜的垂直各向异性的报道尚未见到.

本文主要采用磁控溅射的方法, 在基片加热条

* 国家自然科学基金 (批准号: 10274018), 河北师范大学博士基金 (批准号: 12003B08) 和河北省自然科学基金 (批准号: A2005000143) 资助的课题.

[†] E-mail: cmzhen@hebtu.edu.cn

件下制备了以 Cr, Ti 为缓冲层的 C/CoCrTa/X (X = Cr, Ti) 薄膜样品. 研究了其微结构和磁性能, 比较发现 Ti 层的加入有助于样品中的 Co 晶粒的易轴垂直于膜面生长, 以 Ti 为缓冲层的薄膜样品更适宜做垂直磁记录介质材料.

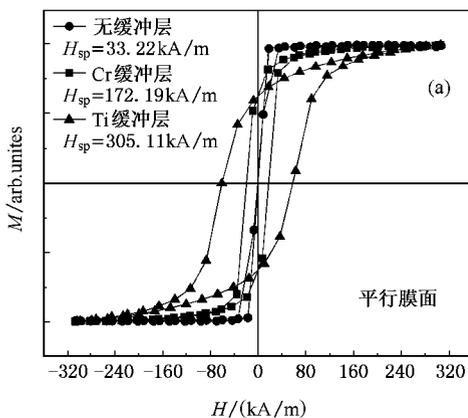
2. 实 验

应用磁控溅射系统以 Ti, Cr 为衬底层在单晶 Si (100) 基片制备了 CoCrTa 颗粒膜. 本底真空优于 9.8×10^{-6} Pa, 以高纯 Ar (99.99%) 为溅射气体, 溅射时工作气压保持为 2.1 Pa. Ti, Cr, CoCrTa 和 C 靶均采用对靶直流溅射模式, 直流靶间距均为 3.5 cm, 它们的溅射功率分别为 96W, 84W, 90W 和 15W. 所制备的样品包括硅基片、缓冲层 (Cr, Ti) 磁性层 (CoCrTa) 覆盖层 (C). 溅射过程由计算机控制, 通过调节溅射时间来控制各层厚度. 其中磁性层 CoCrTa 厚度控制在 30 nm 不变, 碳覆盖层厚度为 15 nm (用于形貌和磁畴测量的样品未加碳覆盖层). 样品制备过程中基底不同温度加热.

样品的结构由 X 射线衍射仪 (XRD, 型号 D8advance, 特征谱线是 CuK α 谱线) 测得, 采用扫描探针显微镜 (SPM, Nanoscope IV) 对其表面形貌和畴型进行观测. 磁性能由 7310 振动样品磁强计测定 (VSM, 美国 Lake Shore 公司生产, 最大外场 2240kA/m; 灵敏度 0.01emu/V).

3. 结果和讨论

图 1 是基底温度为 400 $^{\circ}$ C 的 C/CoCrTa/Ti 样品的垂直和平行膜面矫顽力随不同 Ti 层厚度的变化, 内插图图为 Ti 层厚度为 40 nm 的 C/CoCrTa/Ti 样品垂直和平行膜面矫顽力随不同基底温度的变化. 从图中



可以看出, 随 Ti 层厚度的增加, 垂直膜面矫顽力先增加, 在 Ti 层厚度为 40 nm 时, 达最大 65.22 kA/m, 之后, Ti 层厚度再增加则垂直膜面矫顽力降低. 平行膜面矫顽力随不同 Ti 层厚度的变化呈现相同趋势. 同时, 我们发现在 Ti 层厚度为 40 nm 时, 样品的表面形貌也比较好 (图略). 因此, 确定最佳的 Ti 层厚度为 40 nm. 从内插图确定最佳的基底温度为 400 $^{\circ}$ C. 同样方法确定 C/CoCrTa/Cr 和无缓冲层的 C/CoCrTa 样品的最佳的基底温度为 600 $^{\circ}$ C, 最佳的 Cr 层厚度也为 40 nm. 以下实验中均采用实验中确定的最佳数值.

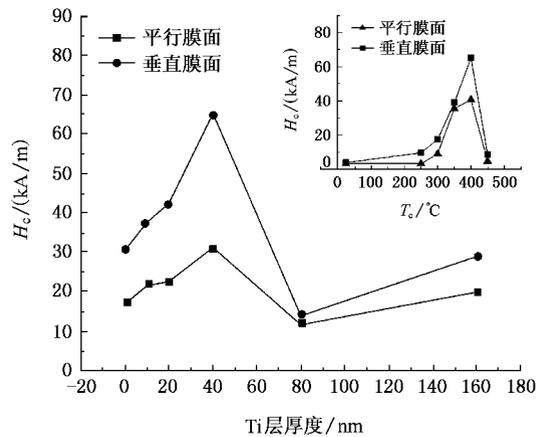


图 1 不同 Ti 层厚度 C/CoCrTa/Ti 薄膜样品垂直于膜面和平行于膜面的矫顽力

图 2 是具有不同缓冲层 C/CoCrTa/X 薄膜样品平行于膜面和垂直于膜面的磁滞回线. 从无缓冲层到 Cr 再到 Ti 缓冲层, 我们观察到平行于膜面的饱和场逐渐增大 (图 2(a)), 垂直于膜面的饱和场却逐渐减小 (图 2(b)), 这说明钴基合金的易轴在逐渐向垂直于膜面的方向移动.

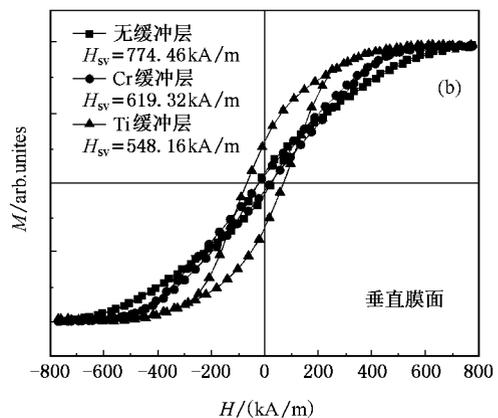


图 2 具有不同缓冲层 C/CoCrTa/X 薄膜样品平行于膜面和垂直于膜面的磁滞回线

通过表 1 可以明显的看到以 Cr 为衬层的 CoCrTa 拥有最大的面内矩形比 $S_{//}$, 同时拥有最小的垂直于膜面的矩形比 S_{\perp} , 而以 Ti 为衬层的 CoCrTa 拥有最大的垂直于膜面的矩形比 S_{\perp} . 由于

表 1 CoCrTa 磁介质随缓冲层种类的变化其磁性能的变化

样品名称	S_{\perp}	$S_{//}$	$H_{c\perp}$ (kA/m)	$H_{c//}$ (kA/m)
(C)/CoCrPt	7.6×10^{-3}	2.1×10^{-3}	25.96	0.42
(C)/CoCrPt/Cr	4.6×10^{-3}	0.65	25.25	19.10
(C)/CoCrPt/Ti	0.33	0.60	65.22	58.45

垂直磁记录介质的磁特性可以从 VSM 测量的磁滞回线上评价. 根据定义, 垂直介质应该使它的易轴垂直于膜面. 面内矩形比 $S_{//}$ 是用来衡量垂直方向磁化强度的重要参数. 具有高的垂直各项异性的介质应该表现出小的 $S_{//}$. 所以从这点上我们看到以 Ti 为缓冲层能使样品中的 Co 晶粒朝着有助于垂直磁记录的方向发展. 同时表 1 说明以 Ti 为衬层的

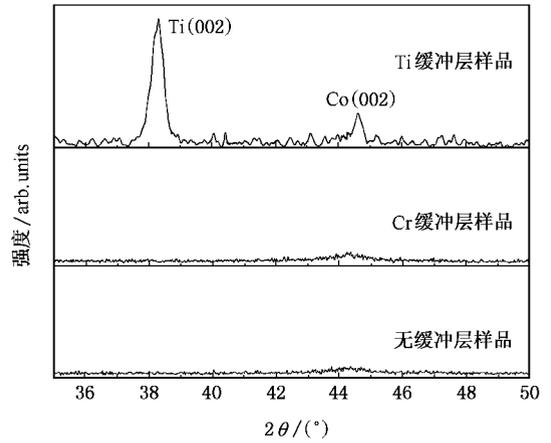


图 3 不同缓冲层 CoCrTa 样品的 X 射线衍射谱

CoCrTa 拥有最大的垂直于膜面的矫顽力 $H_{c\perp}$, 达到 65.25 kA/m, 这也是非常有助于 CoCrTa 用于垂直磁

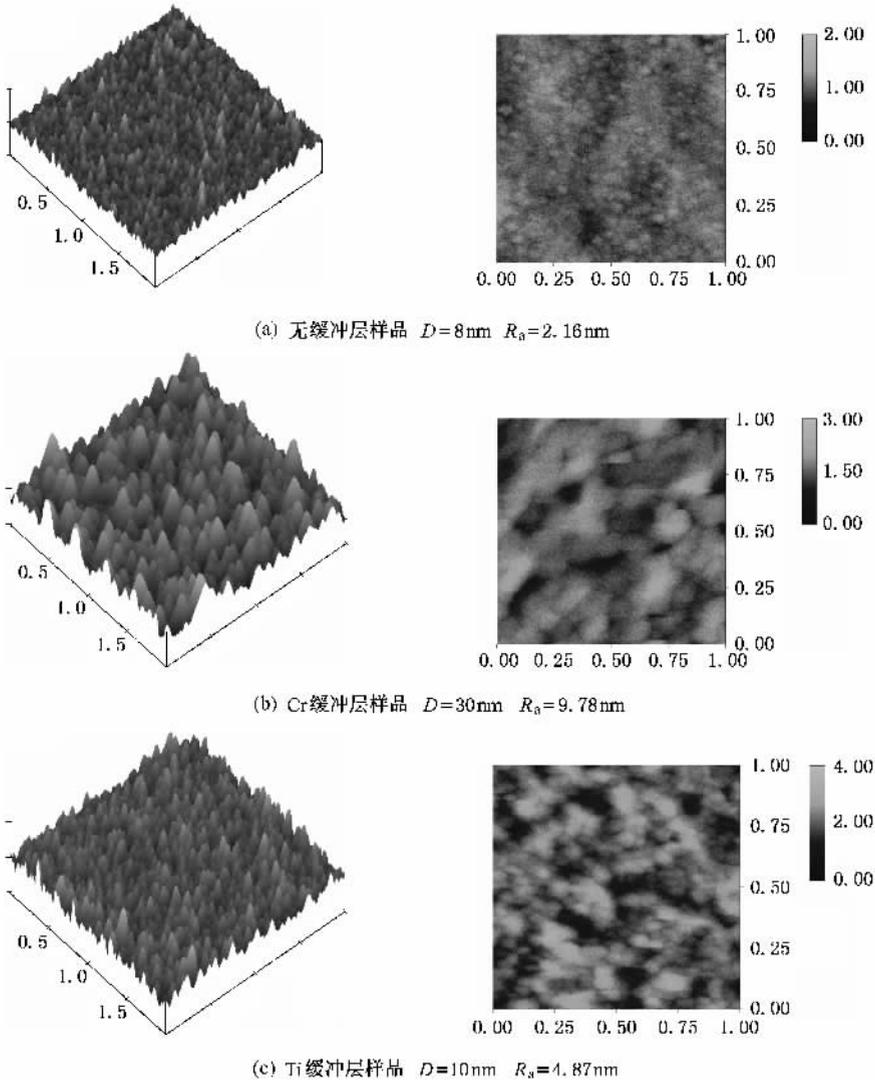


图 4 不同缓冲层的 CoCrTa 薄膜介质的表面形貌图(左)和磁畴图(右)

记录介质的. 我们所获得的矫顽力值优于文献 [13] 中报道的关于 CoCrTa/TiCr 的数值, 但与其最大值相比稍低.

从图 3 可以看到, 以 Ti 为缓冲层的 CoCrTa 样品除了在 38.42° 处出现了很强的 hcp 结构的 Ti(00.2) 衍射峰外, 在 44.76° 处也观察到了 hcp 结构 Co(00.2) 衍射峰. 对于无缓冲层和 Cr 缓冲层样品, Co(00.2) 衍射峰不明显. 这说明以 Ti 为缓冲层样品中 Co 晶粒的 c 轴已部分从薄平面内跳出来了. 即 c 轴现在不是完全平行于膜面的, 而是和膜面有一定夹角. 这是和样品磁特性分析相一致的. 由此也可以看出, Co 大部分仍以单质相存在于非磁性 Cr 和 Ta 基质中, 且磁性层的结构在很大程度上依赖于缓冲层的结构.

从图 4 可以观察到无缓冲层的 CoCrTa 样品颗粒尺寸最小, 虽然以 Ti 为缓冲层的 CoCrTa 样品颗粒较大, 但比以 Cr 为缓冲层的 CoCrTa 样品的颗粒尺寸要小得多(图中 D 为粒径, R_a 代表粗糙度). 关于 Ti 能细化晶粒尺寸的作用, 在文献 [14] 中也有相关报道. 另外, 我们可以看到以 Ti 为缓冲层的 CoCrTa

样品颗粒尺寸分布均匀, 而且颗粒的边界分布清晰, 这都有助于增大矫顽力和提高记录密度. 从磁畴图中可以明显地看到无缓冲层的 CoCrTa 样品磁性较弱, 基本上观察不到磁畴, 而以 Cr, Ti 为缓冲层的 CoCrTa 样品均能观察到磁畴, 只是磁畴的尺寸不同. 以 Cr 为缓冲层的 CoCrTa 样品磁畴尺寸稍大一些. 这是由于它本身颗粒尺寸大的缘故. 同时, CoCrTa/Ti 比 CoCrTa/Cr 的磁畴要均匀一些. 这都是和它们的形貌图和磁测量相一致的.

4. 结 论

采用磁控溅射法在基片加热的情况下制备了不同缓冲层的 $(15 \text{ nm})/\text{CoCrTa}(30 \text{ nm})/X(40 \text{ nm})$ 系列薄膜样品. 系统研究了样品的磁特性与微结构. 磁测量显示 CoCrTa/Ti 样品的易轴已不再平行于膜面. 同时, X 射线衍射谱也显示 CoCrTa/Ti 样品出现了 Co(00.2) 衍射峰. 这证明已有部分 Co 晶粒的 c 轴是垂直于膜面的. 说明 Ti 层的加入有助于样品中的 Co 晶粒易轴垂直于膜面生长.

- [1] Li B H, Huang F, Yang T, Feng C, Zhai Z H, Zhu F W 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3867 (in Chinese) [李宝河、黄 阔、杨 涛、冯春、翟中海、朱逢吾 2005 物理学报 **54** 3867]
- [2] Li B H, Feng C, Yang T, Zhai Z H, Tang J, Yu G H, Zhu F W 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2562 (in Chinese) [李宝河、冯 春、杨涛、翟中海、滕 蛟、于广华、朱逢吾 2006 物理学报 **55** 2562]
- [3] Yukiko K, Lies F, Marinero E E 1998 *J. Appl. Phys.* **84** 6202
- [4] Choe G, Chung S J, Walser R M 1995 *Thin Solid Films* **259** 231
- [5] Lazzari J P, Melnick I, Randet D 1967 *IEEE Trans. On Magn.* **3** 205
- [6] Sellmyer D J, Wang D, Christner J A 1990 *J. Appl. Phys.* **67** 4710
- [7] Liu W H, Kris S, Lin M, Kuksan H, Lairson B M, Payne A P

1996 *Appl. Phys. Lett.* **69** 124

- [8] Lin J C, Tseng M R, Chu J J, Chen L J 1996 *Materials Chemistry and Physics* **45** 151
- [9] Okumura Y, Yasui M, Akita T, Maeda M, Yang X B, Fujimori H 1998 *J. Magn. Magn. Mater.* **185** 249
- [10] Huang L, Soo E W, Wang J P 2000 *IEEE Transactions on Magnetics* **36** 2306
- [11] Jia H, Veldeman J, Burgelman M 2001 *J. Magn. Magn. Mater.* **223** 73
- [12] Bogdan V, Neal B H 2002 *J. Appl. Phys.* **91** 764
- [13] Asahi T, Ikeda M, Takizawa A, Onoue T, Osaka T 2000 *J. Magn. Magn. Mater.* **212** 293
- [14] Roy A G, Nuhfer N T, Laughlin D E 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 8179

Effect of Ti (Cr) underlayer on the magnetic properties and microstructure of CoCrTa film for perpendicular magnetic recording media ^{*}

Zhen Cong-Mian[†] Ma Li Zhang Jin-Juan Liu Ying Nie Xiang-Fu

(College of Physics Science and Information Engineering , Hebei Normal University , Shijiazhuang 050016 , China)

(Received 2 August 2006 ; revised manuscript received 1 September 2006)

Abstract

C/CoCrTa/X (X = Cr , Ti) films were fabricated with DC facing target magnetron sputtering apparatus. Their magnetic properties and microstructure were characterized by vibrating sample magnetometer (VSM) , X-ray diffraction (XRD) , and scan probe microscope (SPM) , respectively. The experimental results indicate that the Ti underlayer can induce the c-axis orientation of Co grain in the direction perpendicular to the film surface. For samples with Ti underlayer , the grain size and the surface roughness are relatively finer , and magnetic domains can be observed obviously. These results show that the sample with Ti underlayer is more suitable for the perpendicular magnetic recording media.

Keywords : CoCrTa , perpendicular magnetic recording , underlayer , microstructure

PACC : 7550S , 7570C

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10274018) , the Hebei Normal University doctoral Sustentation Fund , China (Grant No. L2003B08) , and the Natural Science Foundation of Hebei Province , China (Grant No. A2005000143).

[†] E-mail : cmzhen@hebtu.edu.cn