

Cr/Ru/PtCo/Ru/PtCo/Ru 介质中底层 Ru 厚度对磁记录特性影响的研究*

张爱国 王荫君 韩秀峰 詹文山

(中国科学院物理研究所磁学国家重点实验室 北京 100080)

(2004 年 6 月 21 日收到 2004 年 10 月 8 日收到修改稿)

讨论了 Cr/Ru(1)/PtCo(稳定层)/Ru(2)/PtCo(记录层)/Ru(3) 结构的矫顽力 H_c 与层间反铁磁耦合交换场 H_{ex} 随 Ru(1) 与 Ru(2) 厚度变化的规律. 研究发现, 样品的矫顽力及交换场随 Ru(1) 厚度增加而增大, 这可能是由 Ru(1) hcp 结构引起的. 矫顽力及交换场在 Ru(2) 厚度为 0.8 nm 处有峰值.

关键词: 磁记录, 反铁磁耦合

PACC: 7550S, 7550E

1. 引言

磁记录密度的提高要求记录位尺寸下降, 由于信噪比 (SNR) 正比于 $N^{1/2}$ (N 为每个比特所含晶粒数), 为保持信噪比要求 N 不下降, 因而晶粒尺寸需下降, 可是当晶粒尺寸降至一定程度时就会出现超顺磁效应. Abarra 等^[1]为克服超顺磁效应提出以 Ru 为间隔层的反铁磁耦合记录介质结构来增加热稳定性. 这主要基于以下考虑 (1) 增加晶粒的有效体积从而增加热稳定性 (通常要求 $K_u V^* / k_B T > 40$, 其中 K_u 是各向异性常数, V^* 是磁反转体积 (switching volume)) (2) 复式结构的剩磁面密度会下降, $M_{\text{ref}} t_{\text{eff}} = M_{r1} t_1 - M_{r2} t_2$, 其中 M_{ref} 是记录介质的有效剩余磁化强度, t_{eff} 是记录介质的有效磁层厚度, M_{r1} 是记录层剩余磁化强度, t_1 是记录层厚度, M_{r2} 是稳定层剩余磁化强度, t_2 是稳定层厚度. 这有利于噪声降低. 此外, 通常的 PtCo 系列磁记录材料为获得高矫顽力和低噪声, 在溅射镀膜过程中一般需要加热衬底以获得一定的易轴取向^[2]. 衬底加热会导致晶粒尺寸增大、层间界面混合, 且不能用于不耐热的衬底材料. 为此, Ohmori 等^[3]提出在 Cr 缓冲层与单层 PtCo 记录层之间加入 Ru 底层, 通过改变 Ru 底层厚度来调节 PtCo 记录层矫顽力. 本文研究了 Ru(1) 和

Ru(2) 厚度对 Cr/Ru(1)/PtCo(稳定层)/Ru(2)/PtCo(记录层)/Ru(3) 磁记录性质的影响, 利用 x 射线衍射 (XRD) 给出底层 Ru 结构的变化, 并讨论了 H_{ex} 随 Ru(1) 和 Ru(2) 厚度的变化.

2. 实 验

在表面热氧化的 Si 衬底上依次连续生长厚度为 10 nm 的 Cr 层、不同厚度的 Ru(1) 层、厚度为 3 nm 的 PtCo 稳定层、起反铁磁耦合作用的 Ru(2) 层、厚度为 10 nm 的 PtCo 磁记录层和厚度为 5 nm 的 Ru(3) 保护层 (Si/Cr/Ru(1)/Pt_{100-x}Co_x(稳定层)/Ru(2)/Pt_{100-x}Co_x(记录层)/Ru(3)). 各层膜的生成厚度用计算机控制, 即通过基片在 Cr 靶位、Ru 靶位以及 PtCo 复合靶位上停留的时间来确定. PtCo 复合靶是在 Co 靶上放大大小相近的 Pt 片, 并通过调节 Pt 片个数来改变成分. Pt_{100-x}Co_x 成分比采用能量色散谱确定. 结构分析采用 XRD 的 Cu K α 射线 $\theta-2\theta$ 扫描方法, 室温磁性测量使用振动样品磁强计, 磁畴测量使用磁力显微镜 (MFM).

3. 结果与讨论

图 1 给出膜厚为 10 nm 的 Pt₃₁Co₆₉ 单记录层的磁滞回线 (空心圆表示), 其剩余磁化强度与饱和磁化

* 国家自然科学基金 (批准号 60171031) 资助的课题.

强度比 M_r/M_s 为 0.77, 而对于 Ru(2) 厚度为 0.8 nm 的反铁磁耦合磁记录介质, 其磁滞回线(实心小方块表示)明显不同于单层 $Pt_{31}Co_{69}$ 的磁滞回线. 反铁磁耦合磁记录介质的磁滞回线在第一象限出现了一个下降的台阶, 这是由于当磁场由正向饱和状态逐渐减小时, 交换场使得稳定层磁矩反向转动, 记录层的磁矩仍保留在外场方向, 从而使总磁矩在第一象限突然下降. 另外, 反铁磁耦合介质的矫顽力也大于记录层厚度和成分相同的单层介质.

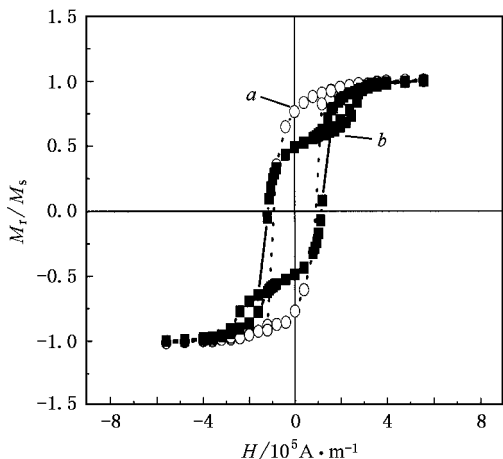


图 1 利用振动样品磁强计在室温下测得的结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(30\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 曲线 a 和 $Cu(10\text{ nm})/Ru(30\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(3\text{ nm})/Ru(0.8\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 曲线 b 磁记录薄膜的磁滞回线

图 2 是在热氧化硅衬底 Si/SiO_2 上沉积的结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(30\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(3\text{ nm})/Ru(t_{Ru}\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 磁记录介质膜的矫顽力 H_c 和交换场 H_{ex} 随 Ru 间隔层厚度的变化曲线. 从图 2 可以看到, H_{ex} 在 0.8 nm 处有个峰值, 这与通常的反铁磁耦合磁记录介质相符, 文献报道, Ru(2) 层在 0.6—0.9 nm 之间^[1,4] H_{ex} 会出现峰值, 具体的则与各个实验室制备条件有关. 当 Ru(2) 厚度为 0.8 nm 时 H_{ex} 最大, 因而 H_c 也最大. 这与 Margulies 等^[5] 的结果一致, 当 Ru(2) 厚度在 0.6 nm 时他们得到最大值. 这里的差别是由于厚度测量或实验条件不同引起的. 当 Ru(2) 厚度增大到 1.2 nm 时, H_c 降到 6.23×10^4 A/m, 这是由于 Ru 层把 PtCo 层分隔为两个没有相互反铁磁作用的铁磁层, 因而 H_c 下降.

图 3 是在热氧化硅衬底 Si/SiO_2 上沉积的结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(t_{Ru}\text{ nm})/Pt_{38}Co_{62}(3\text{ nm})/Ru(0.8\text{ nm})/Pt_{38}Co_{62}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 底层 Ru 厚度不同的磁记

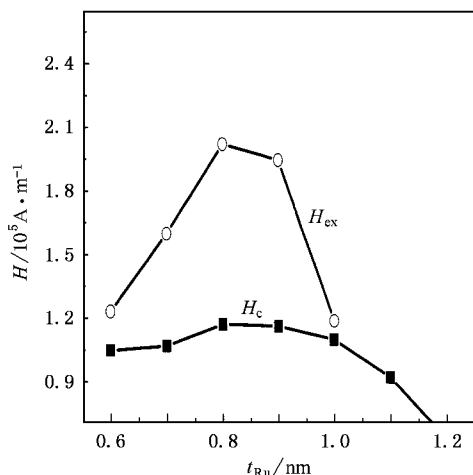


图 2 利用振动样品磁强计在室温下测得的结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(30\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(3\text{ nm})/Ru(t_{Ru}\text{ nm})/Pt_{31}Co_{69}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 磁记录薄膜的 H_c 和 H_{ex} 随 Ru(2) 厚度的变化曲线

录介质膜的一组归一化磁滞回线. 从图 3 得到的磁记录介质膜的矫顽力与交换场随 Ru(1) 厚度的变化示于图 4 中. 由图 3 和图 4 可以看到, 随着 Ru(1) 厚度增加 H_c 增大, 当不加 Ru(1) 层时, H_c 为 2.88×10^4 A/m; 当 Ru(1) 厚度为 2 nm 时, H_c 为 3.00×10^4 A/m, 增加不大; 当 Ru(1) 厚度为 10 nm 时, H_c 增加到 9.33×10^4 A/m (这与 Ohmori 等报道的结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(t_{Ru}\text{ nm})/Co_{70}Ni_{10}Pt_{20}(10\text{ nm})$ 的结果相一致^[3]). 令人感兴趣的是 H_{ex} 也随着 Ru(1) 厚度的变化而发生显著变化, 10 nm 的 Ru(1) 就使层间交换场 H_{ex} 从 5.90×10^4 A/m 增加到 2.38×10^5 A/m. 目前已有的增大反铁磁耦合强度的方法有两种: 一种是

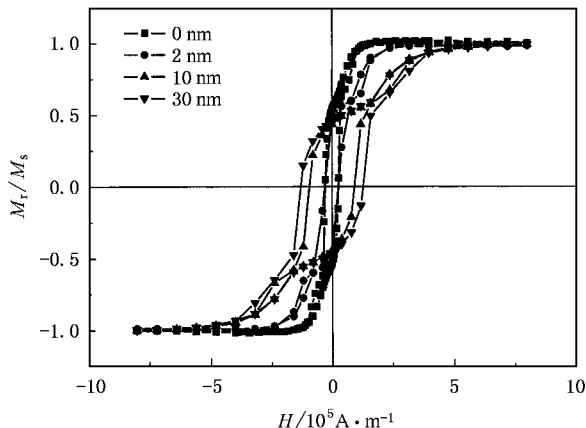


图 3 结构为 $Cu(10\text{ nm})/Ru(t_{Ru}\text{ nm})/Pt_{38}Co_{62}(3\text{ nm})/Ru(0.8\text{ nm})/Pt_{38}Co_{62}(10\text{ nm})/Ru(5\text{ nm})$ 的磁记录介质膜的归一化磁滞回线随 Ru(1) 厚度的变化

在 Ru 与 PtCoCrB 之间插入薄的 Co 层^[6];另一种是在沉积 Ru 层时通入少量 O₂^[4].采用改变底层 Ru 的厚度来调节交换场,此前还未见报道.

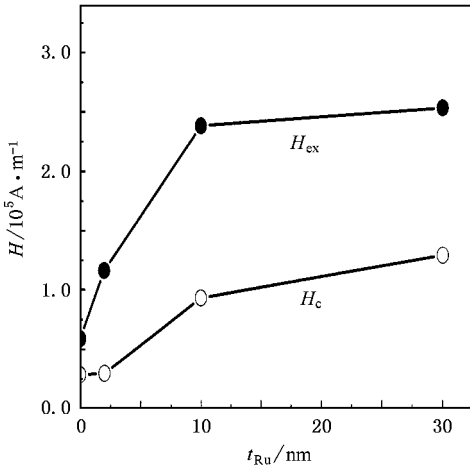


图 4 结构为 C(10 nm)/Ru(t_{Ru} nm)/Pt₃₈Co₆₂(3 nm)/Ru(0.8 nm)/Pt₃₈Co₆₂(10 nm)/Ru(5 nm)的磁记录介质膜的矫顽力与交换场随底层 Ru(1)厚度的变化

图 5 是在热氧化硅衬底 Si/SiO₂ 上沉积的结构为 C(10 nm)/Ru(t_{Ru} nm)的双层膜随 Ru 层厚度变化的 XRD 谱.从图 5 可以看到:当 Ru 层从 2 nm 增到 10 nm Ru(101)峰强度变化不大;当 Ru 层厚度为 30 nm 时,Ru(101)峰变强但弱于 Ru(002)峰.Ru(100)峰随厚度增加而有所增强.当底层 Ru 厚度从 2 nm 增加到 10 nm 时,Ru(002)峰开始出现,当 Ru 层厚度为 30 nm 时,Ru(002)峰增强并大于 Ru(101)峰.考虑到图 4 中的 H_{ex} 与 H_c 从 2 nm Ru 底层到 30 nm Ru 底层逐渐增加,可认为 Ru(002)峰的出现及增强导致

H_{ex} 和 H_c 明显提高.还有一些样品的 XRD 谱在这里没有给出,在这些样品中,317 nm 厚的 Pt₃₁Co₆₉ 合金(111)峰位为 42.58°,129 nm Ru(002)峰位为 42.11°,两者非常接近.而没有底层 Ru 的多层膜 C(10 nm)/Pt₃₁Co₆₉(3 nm)/Ru(1.0 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm)/Ru(5 nm)峰位为 42.48°,有底层 20 nm Ru 的 C(10 nm)/Ru(20 nm)/Pt₃₁Co₆₉(3 nm)/Ru(1.0 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm)/Ru(5 nm)的峰位为 42.18°.这说明,随着 Ru 底层的出现,其峰位向小角方向移动,即靠近 Ru(002)峰位.并且随着 Ru 底层的出现,这一峰位的强度也增加.对此我们可以定性地指出,Ru 的底层对 Pt₃₁Co₆₉ 的生长是有影响的.我们以后拟采用透射电子显微镜观察样品剖面的方法来进一步研究 Ru 底层的出现对 Pt₃₁Co₆₉ 结构的影响.Ohmori 等^[7]分析了富 Pt 的

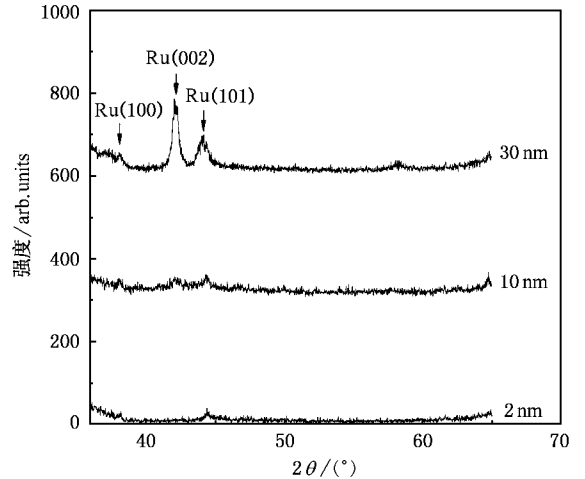


图 5 结构为 C(10 nm)/Ru(2 nm), C(10 nm)/Ru(10 nm), C(10 nm)/Ru(30 nm)双层膜的 XRD 谱对比

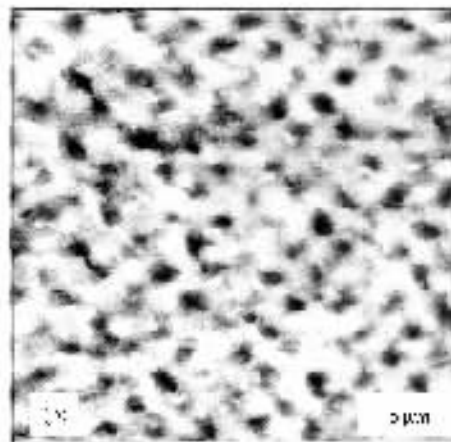
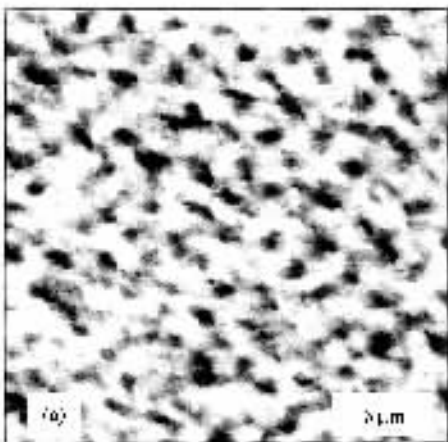


图 6 实验样品的典型 MFM 图 (a) 样品结构为 C(10 nm)/Ru(30 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm);(b) 样品结构为 C(10 nm)/Ru(30 nm)/Pt₃₁Co₆₉(3 nm)/Ru(1 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm). $z \approx 20^\circ$

CoPt 合金沉积到 Ru 衬底上引起矫顽力增大的原因:由透射电子显微镜剖面图可见, MgO(110)Au/Ru/Pt₂₀Co₈₀结构的 Pt₂₀Co₈₀起始层为 hcp 结构,上面为 fcc 结构,随着 Ru 底层厚度的增大 hcp 结构变厚、fcc 结构变薄.这与我们的结果一致.

图 6 是其中两种实验样品的典型 MFM 图,扫描范围是 5 μm × 5 μm.图 6(a)的结构为 Cr(10 nm)/Ru(30 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm),图 6(b)的结构为 Cr(10 nm)/Ru(30 nm)/Pt₃₁Co₆₉(3 nm)/Ru(1 nm)/Pt₃₁Co₆₉(10 nm).图 6(a)和(b)是采用同一根磁针在相同的色标下得到的结果,而图 6(a)中的黑白反差明显大于图 6(b),可见样品表面的杂散场前者大于后者.这是由反铁磁耦合单位面积磁矩密度 $M_{\text{r}} t_{\text{AFC}}$ (记录层

单位面积磁矩密度 - 稳定层单位面积磁矩密度)小于单记录层单位面积磁矩密度所致,此结果与文献[8]的结论一致.

4. 结 论

我们制备了反铁磁耦合纵向磁记录介质,发现可通过调节 Ru 底层厚度来显著改变交换场和矫顽力,这一结果具有实际应用前景.通过对 XRD 谱的分析,指出 H_c 与 H_{ex} 随 Ru 底层变化可能源于 Ru(002)峰随 Ru 底层厚度增加而增强.从磁畴方面比较了单层与三层磁记录介质的杂散场不同,三层磁记录介质膜的杂散场较小.

- [1] Abarra E N, Inomata A, Sato H *et al* 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 2581
 [2] Oh S C, Tahk Y W, Hong S Y *et al* 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 7771
 [3] Ohmori H, Itoh A, Maesaka A *et al* 2001 *IEEE Trans. Magn.* **37** 1488
 [4] Djayaprawira D D, Domon H, Yoshimura S *et al* 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 7408

- [5] Margulies D T, Schabes M E, Mchesney W *et al* 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 91
 [6] Shan Z S, Malhotra S S, Stafford D C *et al* 2002 *J. Appl. Phys.* **91** 7682
 [7] Ohmori H, Maesaka A 2002 *J. Appl. Phys.* **91** 8635
 [8] Sbiaa R, Ahmad E, Suzuki T *et al* 2001 *IEEE Trans. Magn.* **37** 1481

Effect of thickness of the Ru under layer on the magnetic recording property of Cr/Ru/PtCo/Ru/PtCo/Ru media *

Zhang Ai-Guo Wang Yin-Jun Han Xiu-Feng Zhan Wen-Shan

(State Key Laboratory of Magnetism , Institute of Physics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080 , China)

(Received 21 June 2004 ; revised manuscript received 8 October 2004)

Abstract

We report the effect of Ru(seed-layer) on the interlayer antiferromagnetic coupling field H_{ex} , and coercivity H_c in the Cr/Ru(seed-layer)/PtCo(thermal stabilizing layer)/Ru(spacer layer)/PtCo(recording layer)/Ru(protective layer) films. Both H_{ex} and H_c increase with the increase of the thickness of the seed-layer Ru. It arises probably from the appearance of hcp structure in the seed-layer Ru. H_{ex} and H_c show a peak value at Ru(seed-layer) layer with a thickness of ~ 0.8 nm.

Keywords : magnetic recording , antiferromagnetic coupling

PACC : 7550S , 7550E

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60171031).