

文章编号: 0258-7025(2004)09-1095-04

GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜 磁化方向转变的研究

张约品^{1,2}, 王现英¹, 林更琪³, 李震³, 李佐宜³, 沈德芳¹, 干福熹¹

¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

(² 宁波大学光电子功能材料研究所, 浙江 宁波 315211; ³ 华中科技大学电子科学与技术系, 湖北 武汉 430074)

摘要 对 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜变温磁化方向变化进行了研究。结果表明读出层 GdFeCo 随温度上升从平面磁化转变成垂直磁化, 转变过程中受饱和磁化强度 (M_s) 和有效各向异性常数影响, 但主要受饱和磁化强度 (M_s) 的影响。在高温时读出层的磁化强度很小, 退磁场能减小, 在静磁耦合作用下, 使 GdFeCo 读出层的磁化方向发生转变, 而且磁化方向的转变在较小的温度范围内变化较快。

关键词 薄膜; 磁光记录; 静磁耦合多层薄膜; 磁化

中图分类号 O 484.4⁺3 **文献标识码** A

Investigation of Magnetization Transition in GdFeCo/AlN/DyFeCo Magnetostatically Coupled Multilayer Films

ZHANG Yue-pin^{1,2}, WANG Xian-ying¹, LIN Geng-qi³, LI Zhen³,
LI Zuo-yi³, SHEN De-fang¹, GAN Fu-xi¹

¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China

² Laboratory of Photo-Electronic Material, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China

³ Department of Electronic Science and Technology, Huazhong University of
Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China

Abstract Magnetization transition from in-plane to perpendicular caused by temperature changes was investigated for the magnetostatically coupled multilayer films (GdFeCo/AlN/DyFeCo). The results indicate that the magnetization orientation of the readout layer (GdFeCo) is affected by the saturation magnetization and the effective anisotropy energy, but the transition occurs mainly as a result of the change of the saturation magnetization. At high temperature the saturation magnetization and the demagnetizing energy of the GdFeCo layer decrease, then the transition of the GdFeCo layer from in-plane to perpendicular magnetization occurs due to the magnetostatically coupled interaction. The magnetization direction of the readout layer changes rapidly in a narrow temperature range.

Key words thin films; magneto-optical recording; the magnetostatically coupled multilayer films; magnetization

1 引 言

磁光数据存储作为一种重要的数据存储手段向着大容量快速发展^[1]。磁光记录密度主要是由激光光束的大小决定的。记录点直径为 $d = 0.5\lambda/\text{NA}$, 其中 λ 为记录激光波长, NA 为光学头的数值孔径。

因此为了提高存储密度, 可以使用短波长激光二极管和大数值孔径的透镜。但由于衍射极限的限制, 以此提高存储密度是有限的。中心孔探测磁超分辨 (CAD-MSR) 读出技术^[2~5] 可以在不改变现有磁光驱动器读出激光波长条件下通过静磁耦合多层薄膜来实现小尺寸记录畴读出, 增加存储密度, 因此引起

收稿日期: 2003-03-10; 收到修改稿日期: 2003-07-11

作者简介: 张约品 (1968—), 男, 宁波大学光电子功能材料研究所副教授, 主要从事高密度磁光存储的研究。E-mail: zyp128@yahoo.com.cn

人们很大的兴趣。静磁耦合多层薄膜由读出层、中间层和记录层组成^[6],读出层在低温下平面磁化,其极向克尔角为零,因而记录层的信息被其遮盖。在读出激光束照射下记录介质温度升高,在高温处,读出层显示垂直磁化,这时通过记录层产生的漏磁场作用,使记录层的记录位向读出层转移,记录信息从此窗口读出。中心孔探测技术与前孔径探测(Front Aperture Detection, FAD)^[7]和后孔径探测技术(Rear Aperture Detection, RAD)^[7,8]相比具有膜层结构简单,并且读出时不需要外加磁场的优点,因而更有发展前景。

本文用磁控溅射法制备了中心孔探测磁超分辨结构的 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜,利用振动样品磁强计(VSM)和克尔磁滞(M-H)回线测试装置研究了随着温度提高 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜读出层磁化方向的转变过程,读出层 GdFeCo 随温度上升从平面磁化转变成垂直磁化。

2 实 验

用溅射法制备 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜。制备 GdFeCo 和 DyFeCo 薄膜所用靶分别为 Gd 与 Fe₇₅Co₂₅ 的复合靶和 Dy 与 Fe₈₅Co₁₅ 的复合靶,FeCo 合金靶的直径为 ϕ 100 mm。在 FeCo 合金靶上放置一些形状规则的 Gd 或 Dy 片,通过调整 Gd 和 Tb 片在靶面的径向位置和放置的片数来改变稀土-过渡族合金(rare earth-transition metal, RE-TM)薄膜中 RE 与 TM 的成分比。清洗干净的载波片用作样品衬底。靶和衬底之间的距离为 90 mm,溅射电压 350 V。溅射的本底真空度 1066×10^{-7} Pa,氩气溅射分压 1066×10^{-3} Pa。用 X 射线荧光光谱法分析 RE-TM 薄膜的成分。薄膜厚度通过溅射时间控制。AlN 膜由 Al 和 N₂ 反应溅射获得。GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜的膜层结构为 Substrate/AlN80 nm/GdFeCo50 nm/AlN20 nm/DyFeCo40 nm/AlN80 nm。读出层 GdFeCo 为富稀土的 RE-TM 薄膜,不存在补偿温度,居里温度为 300℃,成分 Gd₃₀(Fe₇₅Co₂₅)₇₀,室温时为平面磁化。记录层 DyFeCo 为富过渡族的 RE-TM 薄膜,补偿温度 T_{comp} 小于室温,居里温度 270℃,成分 Dy₂₇(Fe₈₅Co₁₅)₇₃,矫顽力为 0.4×10^5 Am⁻¹。克尔磁滞回线的测试激光波长为 650 nm,样品可以加热。磁特性用振动样品磁强计测试,可

在内置电阻丝的石英玻璃管内加热样品测试变温的 VSM 磁滞回线。

3 实验结果和讨论

3.1 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜变温 VSM 磁滞回线的研究

图 1 是振动样品磁强计测得外磁场垂直于膜面的 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜的 VSM 磁滞回线,图 1(a)和(b)分别是在 25℃和 140℃时测得的。

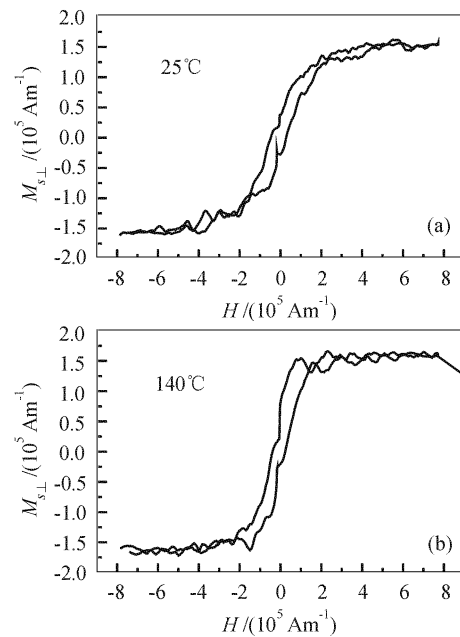


图 1 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜的 VSM 磁滞回线

Fig.1 M-H loops of the GdFeCo/AlN/DyFeCo magnetostatically coupled multilayer film

对于磁化矢量均垂直于膜面的静磁耦合多层薄膜,两磁性层之间不存在界面畴壁,若 $H_{c1} \approx H_{c2}$,其中 H_{c1} 为读出层的矫顽力, H_{c2} 为记录层的矫顽力,则计算的磁化曲线如图 2(a)所示。对于平面磁化/垂直磁化的静磁耦合多层薄膜,两磁性层之间不存在界面畴壁,若 $H_{s1} < H_{c2}$,其中 H_{s1} 为读出层磁化强度达到饱和时的磁场强度,则 $M_{s2}h_2 < M_{s1}h_1$ 情形时静磁耦合多层薄膜的计算磁化曲线如图 2(b)所示。

比较图 1 中实验测得的 VSM 磁滞回线与图 2 计算的磁滞回线形状,发现图 1(a)的形状与图 2(b)相似,因此,在室温时,读出层平面磁化。而图 1(b)

的形状与图 2(a)相似,因此可知,读出层在 140℃时已转变成垂直磁化。从磁滞回线形状的分析结果,可知随着温度升高,读出层由平面磁化转变为垂直磁化。

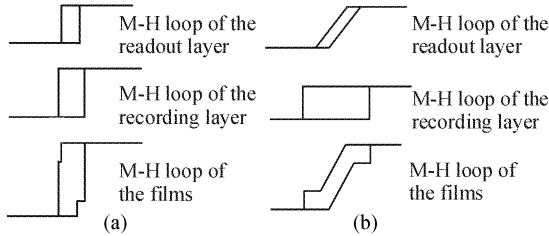


图 2 静磁耦合多层薄膜的计算磁化曲线 (a) 垂直/垂直, $H_{c1} = H_{c2}$; (b) 平面/垂直, $M_{22}h_2 < M_{s1}h_1$

Fig. 2 Calculated magnetization curves of magnetostatically coupled multilayer films (a) perpendicular/perpendicular, $H_{c1} = H_{c2}$; (b) In-plane/perpendicular, $M_{22}h_2 < M_{s1}h_1$

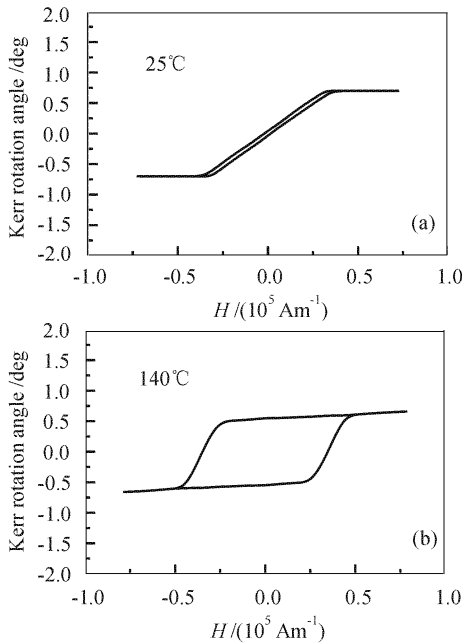


图 3 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜读出层的极向克尔磁滞回线

Fig. 3 Kerr rotation hysteresis loops of the readout layers in the GdFeCo/AlN/DyFeCo magnetostatically coupled multilayer films

3.2 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜的磁光特性研究

在 25℃ 和 140℃ 时 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜读出层的极向克尔磁滞回线分别见图 3(a)和(b),从图 3(a)可知,在 25℃ 不加外磁场时极向克尔角为零,读出层平面磁化。而从图 3(b)

可知,加热到 140℃ 时,读出层 $\theta_{kr}/\theta_k \approx 1$,其中 θ_{kr} 为剩余克尔角, θ_k 为饱和克尔角,不加外场时, $\theta_k = 0.55^\circ$,此时,读出层的磁化方向已从平面磁化转变为垂直磁化。

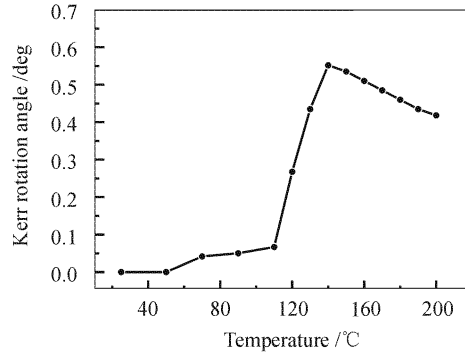


图 4 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜读出层的极向克尔角与温度的关系

Fig. 4 Temperature dependence of the Kerr rotation angle of the readout layer in the GdFeCo/AlN/DyFeCo magnetostatically coupled multilayer films

图 4 所示为 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜读出层的克尔角与温度之间的关系。从图可知,随着温度升高,静磁耦合多层薄膜读出层的克尔角也随之增大,读出层从平面磁化转变为垂直磁化,因此 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜具有中心孔探测磁超分辨效应。当温度小于 110℃ 时,克尔角增加很慢,克尔角几乎为零。当温度从 110℃ 上升到 140℃ 时,克尔角快速增大。140℃ 时达到最大值,而温度进一步升高时,克尔角又较缓慢地下降。110℃ 至 140℃ 温度范围内读出层磁化方向快速从平面磁化转变为垂直磁化。

磁光薄膜的磁化方向由有效各向异性常数 K 决定

$$K = K_u - 2\pi M_s^2$$

K_u 为本征各向异性常数, $2\pi M_s^2$ 为退磁场能,当有效各向异性常数 $K < 0$ 时,磁光薄膜呈平面磁化,反之 $K > 0$ 时,磁光薄膜为垂直磁化。

图 5(a)和(b)分别为记录层 DyFeCo 和读出层 GdFeCo 饱和磁化强度 M_s 与温度的关系曲线。读出层 GdFeCo 是富稀土磁光薄膜,在 25℃ 时,由于退磁场能 ($2\pi M_s^2$) 很大,有效各向异性常数 $K < 0$,静磁耦合多层薄膜读出层平面磁化。随着温度升高读出层磁化强度几乎直线下降,因此退磁场能 ($2\pi M_s^2$) 也随之快速下降。 K_u 随温度也下降^[9],但退磁场能 ($2\pi M_s^2$) 比 K_u 随温度下降更快。当温度上升

到一临界值时,有效各向异性常数 $K > 0$, 读出层转变为垂直磁化。记录层 DyFeCo 是富过渡磁光薄膜,随温度上升其磁化强度有一最大值,记录层产生的漏磁场在读出温度附近为极大,有利于记录层的记录位向读出层转移。而当温度更高时,记录层的饱和磁化强度下降,使克尔角略有减小。因此饱和磁化强度和有效各向异性常数随着温度的变化影响了读出层的转变过程,但主要受饱和磁化强度 M_s 的影响。

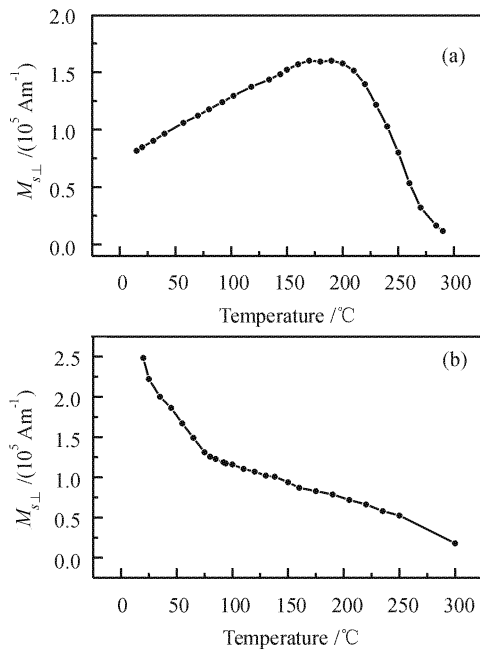


图5 记录层(DyFeCo)(a)和读出层(GdFeCo)(b)的饱和磁化强度 M_s 与温度的关系曲线

Fig. 5 Temperature dependence of the saturation magnetization M_s of the recording layer (DyFeCo) (a) and the readout layer (GdFeCo) (b)

4 结 论

用磁控溅射法制备了GdFeCo/AlN/DyFeCo

静磁耦合多层薄膜,制得的薄膜具有中心孔磁超分辨效应。读出层 GdFeCo 随温度上升从平面磁化转变成垂直磁化,转变过程中主要受饱和磁化强度 M_s 的影响。在较高温度时,读出层的饱和磁化强度很小,退磁场能减小,在记录层产生的漏磁场作用下,使 GdFeCo 读出层的磁化方向发生转变。制备的 GdFeCo/AlN/DyFeCo 静磁耦合多层薄膜适合作中心孔探测磁超分辨磁光记录介质。

参 考 文 献

- 1 A. Ito. Prospects of high-density magneto-optical memory [J]. *J. Magn. Soc. Jpn.*, 2002, **26**(2):58~66
 - 2 N. Nishimura, T. Hiroki, T. Ogada *et al.*. Magnetostatic coupling MSR with in-plane magnetization films [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(Part 1, 1B):403~409
 - 3 J. Hirokane, A. Takahashi. Magnetically induced superresolution using interferential in-plane magnetization readout layer [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(Part 1, 11):5701~5704
 - 4 B. W. Yang, W. K. Hwang, H.-P. D. Shieh. Readout scheme by pulsed irradiation center aperture detection on magneto-optically disks [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(Part 1, 1B):419~422
 - 5 D. Mergel. Domain formation in exchange-coupled double layers [J]. *J. Appl. Phys.*, 1991, **69**(8):4520~4522
 - 6 M. Kanno, M. Okumura, A. Nakaoki *et al.*. A new write compensation pulse for high-density recording on magnetically induced super resolution (MSR) media [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(Part 1, 1B):398~402
 - 7 S. Yoshimura, A. Fukumoto, M. Kaneko *et al.*. High-density magneto-optical disk system using magnetically induced super resolution [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**(Part 1, 2B):576~579
 - 8 M. Kaneko, K. Aratani, M. Ohta. Multilayered magneto-optical disks for magnetically induced superresolution [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**(Part 1, 2B):568~575
 - 9 Wang Xianying, Zhang Yuepin, Li Qinghui *et al.*. Analysis on the magnetization orientation of in-plane /perpendicular exchange-coupled double-layer magneto-optical films [J]. *J. Magn. Mater. Devices*, 2003, **34**(5):22~24
- 王现英,张约品,李青会等. 平面磁化/垂直磁化双层耦合膜的磁化方向分析 [J]. 磁性材料及器件, 2003, **34**(5):22~24