CoCrTa/Ti/M (M:CoZrNb, Fe, Co)垂直二層膜媒体の磁気特性と記録再生特性

Magnetic Properties and Recording Performances of Double-Layered CoCrTa/Ti/M (M:CoZrNb, Fe, Co) Perpendicular Media

駒込博泰, 島津武仁, 吉田亮一, 渡辺 功, 村岡裕明, 杉田 愷, 中村慶久

東北大学電気通信研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2丁目1番1号

H. Komagome, T. Shimatsu, R. Yoshida, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai, 980-8577, Japan

(1999年10月27日受理, 1999年1月25日採録)

The Magnetic properties and recording performances of CoCrTa/Ti/M (M: CoZrNb, Fe, Co) double-layered perpendicular recording media were studied. It was revealed that a thin Ti film of 5 nm gave the most enhanced c-axis alignment perpendicular to the film plane in media with CoZrNb or Fe back-layers, resulting in the highest coercivity and squareness of CoCrTa. The recording performance of media with Fe back-layers, using a single-pole-type writing head, indicated that a thinner back-layer with a high flux density can be used without any reduction of the recording sensitivity and resolution, even though the Fe back-layers do not have good soft magnetic properties. However, hcp-Co back-layers degrade the recording sensitivity and resolution. The media noise of media with Fe or Co back-layers was significantly higher than that of CoZrNb back-layer media. It is suggested that these noise spectra are related to the domain structure of the back-layers.

Key words: double-layered perpendicular recording media, CoCrTa, Ti seed-layer, back-layer, coercive force, squareness, preferred grain orientation, recording sensitivity, media noise, domain structure

1. はじめに

垂直二層膜媒体では、媒体の表面粗さの低下、量産化における製膜時間の短縮等のため、裏打ち層の膜厚を低減することが非常に重要である。このためには、記録分解能を維持するため¹⁾、高飽和磁束材料を用いることが必要となる。しかし、Feなどの高飽和磁束材料は一般に優れた軟磁気特性を示さないため、記録時の入出力特性等の劣化に結びつく可能性がある。また、軟磁気特性を示さないことは、即ち、局所異方性分散が大きく複雑な磁区構造を有することを意味するため、裏打ち層の磁壁あるいはリップル磁壁から生じる漏洩磁界が媒体ノイズを増加させることが懸念される。

そこで、今回は、高飽和磁束密度を有する典型的な材料であるFe, Co等を裏打ち層に用いたCoCrTa二層膜媒体を作製し、まず、それぞれの裏打ち層上に作製したCoCrTa膜の構造および磁気特性を、Ti中間層の厚みに対して検討を行った。

次に、その結果を基に、裏打ち層と記録層の構造および磁気特性と、入出力特性・媒体ノイズを始めとする記録再生特性との相関について検討を行なった。

2. 実験方法

基板は2.5inchφのglass基板を用いた。裏打ち層は、一般的な真空性能を有するdcマグネトロンスパッタ装置により、室温基板上に作製した。裏打ち層の材料としては、Co_{90.6}Zr_{3.4}Nb_{6.0}アモルファス膜(600 nm)、Fe膜(300 nm)、Co膜(400 nm)、9.6wt%Si, 5.4wt%Al, bal. Fe膜(600 nm)をそれぞれ用い、飽和磁化が大きな材料ほど膜厚を薄く設定した。Ti中間層とCo₇₇Cr₁₉Ta₄記録層はUHV(Ultra High Vacuum, 到達真空度 5×10^{-9} Torr以下、プロセスガス中不純物濃度2~3ppb)のdcマグネトロンスパッタ法により、基板温度200℃で製膜した。Ti中間層の膜厚は0~40 nmとし、CoCrTa記録層は膜厚50 nm一定とした。保護膜の厚みは10 nmである。

CoCrTa記録層の磁化曲線は極カー効果を用いた磁化曲線測定装置により測定した。また、裏打ち層の磁化曲線はVSMにより測定した。記録再生特性の測定では、記録は浮上型単磁極ヘッド(トラック幅5.0 μm, 主磁極膜厚0.4 μm, 浮上量50 nm)、再生はMRヘッド(トラック幅1.6 μm, シールドギャップ0.26 μm, 浮上量40 nm)を用いた。媒体ノイズは各記録密度の信号をスペクトラムアナライザで取り込み、積分法(0~50 MHz)により算出した。

3. 実験結果及び考察

3.1 CoCrTa層の構造及び磁気特性

Fig. 1, 2には、裏打ち層にCoZrNb, Fe, Co膜を用いた媒体の、保磁力 H_c ならびに角型比 M_r/M_s のTi膜厚依存性をそれぞれ示す。CoZrNbならびにFe膜を裏打ち層に用いた場合には、3~5 nmのTi膜を用いることで3.5 kOe程度まで H_c 値が増加し、その後、徐々に低下することがわかる。これらの媒体では、5 nm程度のTi膜を用いることで M_r/M_s の値も増加し、0.65以上の値を示している。一方、Co膜を用いた場合には、Ti膜による H_c ならびに M_r/M_s の明確な増加は観察されていないが、Ti膜厚5 nmでは、3.5 kOe近い H_c 値ならびに0.6程度の M_r/M_s

Fig. 1 Ti thickness dependence of the coercive force H_c of the CoCrTa recording layer.

Fig. 2 Ti thickness dependence of the squareness M_r/M_s for the CoCrTa recording layer.

の値が得られている。

Fig.3(a)には、CoZrNb 膜上に 5 nm の Ti 中間層を用いて作製した二層膜媒体の断面 TEM 像、ならびに、(b)にはその CoCrTa 層の平面 TEM 像を示している。図中(c)には、Fe 膜上に作製した媒体の CoCrTa 層の平面 TEM も示した。断面像には、c 面の格子像が膜厚を通して連続的に観察されており、5 nm の Ti 膜を用いることで、優れた c 軸の垂直配向性が実現されていることがわかる。このような c 軸の垂直配向性の向上により垂直磁気異方性が大きく増加することを既に明らかにしており^{2,3)}、このことが、大きな H_c ならびに M_r/M_s の導出に結びついていると考えられる。

一方、Fig.3(b)および(c)に示したような平面像から、CoCrTa 層の膜面内方向の粒径は、Ti(5 nm)/CoZrNb 膜上で約 13 nm(正方形近似)、Ti(5 nm)/Fe 膜上で約 16 nmであった。このことから、CoCrTa 層の粒径は裏打ち層により大きく異なっていた。

Fig.3 (a) Cross-sectional, and (b) plane-view TEM images of the CoCrTa layer of the CoCrTa(50 nm)/Ti(5 nm)/CoZrNb medium, and (c) plan view of the CoCrTa layer of the CoCrTa(50 nm)/Ti(5 nm)/Fe medium.

これらの磁気特性および構造の知見を基に、5nm の Ti 中間層を用いて作製した媒体に焦点を絞り、その記録再生特性について検討を行った結果を次に述べる。

3.2 記録再生特性

Fig.4 は、各二層膜媒体の、10 kFRPI における記録電流と再生出力の関係を示している。図中には、裏打ち層だけを製膜し、記録層製膜時と同じ基板加熱を施した場合の各裏打ち層の H_c 値と最大透磁率 μ_m の値も合わせて示した。

CoZrNb 膜ならびに Fe 膜上に作製した媒体の出力は、いずれも約 50 mA で飽和に達していることがわかる。このことから、飽和磁化の大きな材料を用いることで、裏打ち層の膜厚を半分程度まで低減させた場合でも、十分な記録感度が得られることがわかる。また、Fe 膜の H_c は 20 Oe 程度、 μ_m は 900 程度と、CoZrNb 膜よりも軟磁気特性が著しく悪いにも係わらず、その入出力特性に大きな差が見られない。このことは、信号を書き込む上では、裏打ち層に必ずしも優れた軟磁気特性が必要ない

ことを示している。一方、Co 膜を用いた場合には、記録電流を 100 mA まで増加させても出力が十分には飽和していない。X 線回折の結果、今回作製した Co 裏打ち層は、hcp 構造を有しており、その結晶方位はほぼランダムであった。したがって、Co 膜を裏打ち層に用いた場合に入出力特性が大きく劣化するのには、hcp-Co 膜の結晶磁気異方性が大きいこと、磁気ヘッドによる局所的な磁化回転を大きく阻害しているためであると思われる。

Fig.5 は、再生出力の線記録密度依存性を示している。裏打ち層が CoZrNb と Fe 膜の場合には、その高密度特性に大きな差が見られず、 D_{50} はいずれも約 140 kFRPI となっている。一方、Co 膜の場合の D_{50} は約 110 kFRPI と小さく、この原因としては、飽和記録が出来ていないことなどが挙げられる。

Fig.6 には、これらの媒体の、媒体ノイズの特徴を示す一例として、dc 消去状態のノイズ出力の周波数スペクトラムを示した。図中には、システムノイズの大きさについても示してある。

Fig. 4 Saturation curves in the CoCrTa/Ti/M media.

Fig. 5 Linear recording density dependence of the output voltage in the CoCrTa/Ti/M media.

CoZrNb 膜を裏打ち層に用いた場合には、全帯域で比較的ノイズが少ないが、Fe 膜の場合には周波数が低いほどノイズが急激に増加している。一方、Co 膜の場合にはノイズレベルが非常に大きく、20 MHz 近傍、波長にして 250 nm の領域に、緩慢な極大を示す特有のスペクトラムとなっている。このような特徴は、信号を記録した際のノイズスペクトラム上でも全く同様であった。

Fig.7 には、CoCrTa を製膜する場合と同じ基板温度において、各裏打ち層の上に非磁性の Ti 膜(60 nm)だけを製膜したディスクのノイズスペクトラムをそれぞれ示す。また、Fig.8 には、これらの各裏打ち層の円周方向の磁化曲線を示している。それぞれの図中には、CoZrNb、Fe、Co 膜の他に、600 nm の FeSiAl 膜の結果も参考までに示してある。

いずれのディスクでも、先ほどの媒体と全く同様なスペクトラムが観察されており、ノイズの原因が裏打ち層から生じていることがわかる。また、FeSiAl 膜の場合には、Co 膜と同様に緩慢な極大を持つスペクトラムが観察されている。ここで、Fig.8 に示した

Fig. 6 DC-erased noise power spectra of the CoCrTa/Ti/M media.

Fig. 7 Noise power spectra of the Ti/M disks.

Fig. 8 Magnetization loops of back-layers of the Ti/M disks.

FeSiAl 膜および Co の磁化曲線を見ると、FeSiAl 膜は異常磁化曲線を、また、Co 膜は角型比の非常に悪い磁化曲線を示しており、ストライプドメイン^{4,5)}あるいは磁区幅の狭い迷路状磁区の形成が推察される。このことから、特定の周波数に極大を持つようなこれらの特徴的なノイズスペクトラムは、垂直磁化成分を持つ磁区構造の磁区幅に起因するものと思われる。

一方、Fe 膜の場合、その磁化成分はほとんど面内にあり、Fig.9 には、ビッター法により観察した交流消磁後の Fe ディスクの磁区構造を示した。交流消磁を施した Fe 薄膜では、180 度磁壁と思われる明瞭な磁壁の他に、磁区内に複雑なリップル磁壁が観察されている。一方、CoZrNb ディスクにおいて同様にビッター法により磁区観察を行った場合には磁壁がほとんど観察されなかった。磁気ヘッドによる記録過程は、裏打ち層を局所的に交流消磁していることに対応することから、Fe ディスクに見られる複雑なリップル磁壁の形成が、先述したノイズスペクトラムの要因になっているものと推察される。

したがって、高飽和磁束材料の裏打ち層への導入にあたっては、まず、裏打ち層を軟磁性化させ、リップル磁壁等の形成を抑えることが重要であると考えられる。また、先程示したように、書き込み特性の上では裏打ち層にはそれほど優れた軟磁気特性は必要ないことから、半硬質磁性膜の利用⁶⁾、あるいは反強磁性膜などと積層すること⁷⁾で、ディスクの半径方向に適度な磁気異方性を付与し、記録時に形成されるリップル磁壁を消失させることが有用であると考えられる。

4. まとめ

CoCrTa/Ti/M (M:CoZrNb, Fe, Co)垂直二層膜媒体について、次のことが明らかになった。

(1) 裏打ち層に CoZrNb ならびに Fe 膜を用いた場合には、3~5 nm の Ti 膜を用いることで c 軸の垂直配向性が向上し、 H_c

Fig. 9 Domain pattern of an Fe disk.

(3.5 kOe 程度)ならびに M_r/M_s (0.65 程度)の値が最大値を示す。一方、Co 膜を用いた場合には、Ti 膜による静特性の大きな変化は観察されない。

(2) 裏打ち層に Fe 膜などの高飽和磁束材料を用いることで、膜厚を減少させても単磁極ヘッドによる記録感度が低下しないこと、また、信号記録においては裏打ち層に必ずしも優れた軟磁気特性は必要ないことを示した。

(3) Fe, Co, FeSiAl の各薄膜を裏打ち層に用いた場合には、それぞれ特徴的なノイズスペクトラムを示し、この原因が裏打ち層の磁区構造の特徴と関係があるものと考えられる。

謝 辞 本研究の一部は、ASET (NEDO, 通産省), SRC ならびに文部省科学研究費補助金の支援により行われたものです。ここに深謝します。

文 献

- 1) K. Ouchi and S. Iwasaki; *IEEE Trans. Magn.*, **20**, 99 (1984).
- 2) 島津武仁, パウフィ・スリスティオ, 駒込博泰, 渡辺 功, 杉田 恒, 中村慶久, 日本応用磁気学会誌, **23**, 969 (1999).
- 3) T. Shimatsu, H. Komagome, I. Watanabe, H. Muraoka, Y. Sugita, and Y. Nakamura, *J. Appl. Phys.*, the proceedings of the 44th MMM conference, in press (2000).
- 4) N. Saito, H. Fujiwara, Y. Sugita, *J. Phys. Soc. Japan*, **19**, 421 (1964).
- 5) N. Saito, H. Fujiwara, Y. Sugita, *J. Phys. Soc. Japan*, **19**, 1116 (1964).
- 6) T. Ando, M. Mizukami, T. Nishihara, *J. Mag. Soc. Jpn*, **18**, S1, 87 (1994).
- 7) 高橋慎吾, 山川清志, 大内一弘, 日本応用磁気学会誌, **23**, suppl. S2, 63 (1999).