CoCr系合金垂直記録媒体の記録磁化状態

Magnetization structure of CoCr-alloy perpendicular magnetic recording media

本多 幸雄、平山 義幸、伊藤 研也、二本 正昭

(株)日立製作所 中央研究所

Y. Honda, Y. Hirayama, K. Itou and M. Futamoto

Central Research Lab., Hitachi, Ltd.

Recorded magnetization structures of CoCrPtTa perpendicular media are observed by magnetic force microscopy (MFM). Quantitative analysis of the microscopic magnetization structure is carried out through spectrum analyses of the MFM images. The dependence of MFM signal intensity on wavelength is obtained through Fourier transformation. Several peaks in the Fourier-transformed spectrum are considered to reflect the presence of magnetization irregularities. Average size of the magnetization irregularity decreases with decreasing the magnetic layer thickness. The 50% rolloff densities of MFM signal intensity measured for 25 and 100nm thick media were 200 kFCI and 270 kFCI, respectively.

1. 緒言

垂直磁気記録は、将来の超高密度磁気記録方式として有望視されている。媒体ノイズの低減は高密度磁気記録を実現する上で極めて重要である。媒体ノイズの起源を明らかにするためにローレンツ電子顕微鏡[1]、スピン偏極走査電子顕微鏡[2]、高分解能ビッターSEM法[3]、磁気力顕微鏡(MFM)[4]などによる磁化状態の観察が行なわれている。これらの磁化状態観察から、垂直記録における再生ノイズは、記録ビット内部に形成される逆磁区や磁化遷移の揺らぎが主な原因であることが示されている[5][6]。磁気ヘッドで測定された記録再生特性と記録磁化状態の関係を理解することは高密度垂直磁気記録を実現する上で重要である。

MFMは、直径50 nm以下の先鋭な磁性針を用いることにより、磁気ヘッドと同等の高さの漏洩磁束分布を高感度、高分解能で検出できる。さらにMFM像の周波数解析[7]を行なうことにより、磁気ヘッドによる再生信号の詳細を解析できる。

本研究では、膜厚の異なる2種類のCoCrPtTa単層垂直記録媒体にMIGヘッドにより磁気記録を行ない、その記録磁化状態を比較した。

2. 実験方法

CoCr16Pt10Ta3磁性膜は、超高真空スパッタリング装置を用いて非磁性CoCr(20nm)/TiCr10(30nm)合金からなる下地層を形成した熱酸化Si基板上に形成した[8]。媒体(A)はCoCrPtTa磁性膜厚:100 nm、保磁力:2000 Oe、c軸分散($\Delta\theta 50$):3度、媒体(B)は磁性膜厚:25 nm、保磁力:1800

Oe、($\Delta\theta 50$):3度で、いずれも垂直磁化膜である。直流消去の後、トラック幅6.3 μm のMIGヘッド(B_s :1.6 T)を用いてデジタル磁気記録を行なった。磁気記録時の磁気スレーシングは約60 nmとした。

媒体表面から約50 nmの高さの漏洩磁束分布をMFMにより測定した。この場合、媒体の表面起伏の影響は少なく、従ってMFM像のコントラストは主として媒体の磁氣的揺らぎによるものと考えてよい。6.3 μm トラック幅の磁気ヘッドで記録した磁気ディスクから4 $\mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ 領域のMFM像を観察した。記録磁化状態を定量的に評価するために次の手順によりMFM像のスペクトル解析を行なった。(1)上記の領域で測定したMFM像においてトラック幅1 μm に相当する領域においてトラック幅方向にMFM信号を加算した。

(2)このMFM信号をフーリエ解析し、この2乗平均値を求めた。

3. 結果と検討

2種類のCoCrPtTa媒体表面の構造を原子間力顕微鏡(AFM)により観察した結果を図1に示す。媒体(A)は約2-3 nmの表面の起伏が観察され磁性粒子の平均粒径は約30 nmである。一方、媒体(B)では表面の起伏は1.5 nm以下で、磁性粒子の平均粒径は約15 nmである。媒体(A)、(B)の磁性膜は、いずれも非磁性CoCr下地層の上にエピタキシャル的に成長しており、磁性膜のc軸分散は約3度の高配向性を示していることがTEM観察やX線回折法により確認されている[8]。磁性粒子の平均粒径が大きい媒体(A)は磁性膜厚の増加と共に隣接粒子が互いに吸収合体して結晶粒の成長が起きたことを示している。

媒体(A)、(B)に対して磁気ヘッドにより直流消去した領域のMFM像を図2に比較して示す。媒体(A)のMFM像において、図の左右に付けた矢印を境に上部領域と下部領域で直流消去時の平均的な磁化方向は逆向きになっている。このMFM像において不規則磁区のコントラストは上部領域と下部領域で逆になっていることがわかる。この不規則磁区は反磁界の影響により磁化方向と逆向きに形成された逆磁区(図中矢印)によるものと考えられる。2つ媒体のMFM像の比較から、媒

媒体 A 媒体 B
図 1 媒体表面のAFM像

媒体 A

媒体 B

200nm

図 2 直流消去領域のMFM像

図 3 MFM像から求めた直流消去領域の周波数スペクトラム

体(B)は(A)に比べて不規則磁区の径が小さい。MFM観察結果を定量的に比較するために、MFM像のスペクトラム解析を行ない、その結果を図3に比較して示す。図において縦軸はMFM像から求めたノイズパワーを示す。また横軸 ($1/\lambda$) は波長の逆数、 λ はデジタル記録した時の2ビットの長さである。媒体(A)の周波数スペクトラムにおいて波長 λ が500 - 140 nmの領域にq1 - q5で示したように小さなピーク群が認められる。このピーク群の波長は図2のMFM像の不規則磁区の大きさの2倍の周期に対応する。この周波数スペクトラムから、媒体(A)の不規則磁区の大きさは250 - 70 nmの範囲に分布しており、この媒体の磁性粒子に比べて2 - 4倍大きいことがわかる。このことは媒体を磁化したとき隣接磁性粒子が磁氣的に結合して形成される磁気クラスターの存在を示しており、磁気クラスターは少なくとも2個以上の磁性粒子で構成されていることを示している。この磁気クラスターの径や構造が媒体ノイズや記録分解能に影響するものと考えられる。一方、媒体(B)の周波数スペクトラムでは波長 λ が260 - 160 nmの領域にp1 - p3で示したピーク群が認められる。これより媒体(B)の不規則磁区の径は130 - 80 nmの範囲にあることがわかる。直流消去領域の周波数スペクトラム解析から、媒体(B)は媒体(A)に比べて不規則磁区の平均的な径が小さいことが明らかである。この周波数スペクトラムにおいて、 $\lambda \geq 500$ nmの成分は不規則磁区が存在によって生じた長周期構造によるものと推定される。また各ピーク強度の比較から不規則磁区から発生する漏洩磁束の強度も媒体(B)は媒体(A)に比べて小さく、直流消去ノイズが小さいことを示唆している。

媒体(A)と媒体(B)に各々20 kFCI、250 kFCI及び300 kFCIの線記録密度で垂直記録した試料の磁化状態を図4に比較して示す。媒体(A)において、20 kFCIで記録した記録ビットの内部に50 - 150 nmの不規則磁区が観察される。この不規則磁区は図2(a)の直流消去領域に観察された逆磁区によるものと考えられる。線記録密度が250 kFCI、300 kFCIに増大しても鮮明な記録磁区が観察できる。しかし、記録ビットが部分的に切断された領域が観察され、また磁化遷移が約80 nmの振幅で揺らいで隣接ビットが磁氣的に結合した領域も随所に認められる。媒体(B)は媒体(A)に比べて漏洩磁界強度が小さくMFM像のコントラストは弱い、250 kFCI、300 kFCIでも周期的な記録磁区構造が観察できる。300 kFCIでは媒体(A)に比べて記録磁区の乱れが顕著に観察される。

図4に示した媒体(A)、媒体(B)のMFM像において、トラック幅1 μ m当たりの信号を周波数解析した結果を図5に比較して示す。媒体(A)の周波

図4 媒体A, Bの記録磁化状態 (20 kFCI, 250 kFCI, 300 kFCI)

数スペクトラムにおいて300 kFCIに対応する信号ピークが鮮明に認められる。またq2 - q5のマークで示した領域にも小さなピーク群が認められる。これらのピークは図3 (a)の直流消去領域の周波数スペクトラムで検出された信号とほぼ同じ波長に対応する。これらのピークは媒体から発生するノイズ信号を現しており、高密度記録したときの媒体ノイズは直流消去時に形成される不規則磁区が起源であることを示している。媒体(B)の周波数スペクトラム (図5 (b)) においても媒体(A)に比べて信号強度は小さいが300 kFCIに対応する信号ピークが鮮明に認められる。この場合もp1, p2およびp3'のマークで示した領域に直流消去領域の周波数スペクトラムで検出された信号とほぼ同じ波長のノイズ信号ピークが認められる。このp1, p2およびp3'に対応する信号がこの媒体のノイズの発生の源であることを示している。周波数スペクトラムにおけるノイズ信号の強度の比較か

ら、媒体(B)から発生するノイズは媒体(A)に比べて少なくとも1/2以下であると推定される。

膜厚の異なる2種類のCoCrPtTa垂直媒体の磁化状態の比較から、直流消去領域や記録ビット内部に形成される不規則磁区 (逆磁区) の径は、膜厚の厚い媒体(A)では250 - 70 nm、膜厚の薄い媒体(B)では130 - 80 nmの範囲にあり、これらの不規則磁区の構造が磁気記録したときの磁化遷移構造を乱し媒体ノイズの原因になることが明らかになった。媒体(B)は媒体(A)に比べて不規則磁区の平均径が小さく、不規則磁区から発生する信号強度も小さいためノイズも小さくなることが予測された。

MFMは直径約50 nmの磁性針を磁気センサとする一種の狭トラックヘッドと見なすことができる。図6 (a)、(b)は、媒体(A)、(B)に300 kFCIで記録した時のMFM信号の強度分布を比較して示す。これは図4のMFM像において、トラック幅

1 μm 相当の狭トラック幅領域からのMFM信号をトラック幅方向に加算して求めた信号であり、縦軸は同じ感度スケールで示している。MFM信号に強弱のバラツキは認められるが、両媒体とも300 kFCIに対応する周期的な記録信号が認めら

図5 MFM像から求めた記録領域の周波数スペクトラム

図6 MFM像から求めた記録信号

図7 MFM信号の記録密度依存性

れる。このMFM信号の強弱は図4のMFM像で観察されたように断続的な磁化遷移や遷移構造の揺らぎに基づく隣接ビット間の磁氣的結合などにより生じた信号強度の変動によるものである。

図6のMFM信号の強度分布において各記録密度で測定した信号の平均振幅をとり、その記録密度依存性を比較した結果[9]を図7に示す。MFMで測定した磁化状態から求めた出力半減記録密度は媒体(A)では約270 kFCI、媒体(B)では約200 kFCIが達成されているものと判定される。

4. 結言

磁性膜厚の異なる垂直記録媒体の磁化状態を定量的に調べるために、磁気力顕微鏡像の周波数解析を行った。

直流消去領域と磁気記録領域の周波数スペクトルを比較した結果、記録時の媒体ノイズは直流消去時に形成される不規則磁区から発生するノイズと同種の発生源であることが明らかになった。不規則磁区の大きさは厚膜媒体では250 - 70 nm、薄膜媒体では130 - 80 nmである。両媒体の周波数スペクトルのノイズ信号強度の比較から、薄膜媒体から発生するノイズは厚膜媒体に比べて少なくとも1/2以下であることが推定された。またMFMで測定した磁化状態から求めた出力半減記録密度は厚膜媒体で約270 kFCIが達成されていることが明らかになった。

参考文献

- [1] Tu Chen and T.Yamashita :
IEEE Trans. Magn. MAG-24 (1988) 2700.
- [2] H.Matsuyama, K.Koike, F.Tomiya, Y.Shiroishi, A.Ishikawa and H.Aoi :
IEEE Trans. Magn. MAG-30 (1994) 1327.
- [3] T.Sakurai, O.Kitakami and Y.Shimada :
J. Appl. Phys. 76 (1994) 3177.
- [4] Y.Honda, M.Suzuki, F.Tomiya, H.Matsuyama, N.Inaba, K.Koike and M.Futamoto :
Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) L1803.
- [5] M.Futamoto and Y.Honda :
J. Magn. Soc. Jpn. 18-S1, 485 (1994).
- [6] H.Muraoka, S.Yamamoto and Y.Nakamura :
J. Magn. Magn. Mats. 120 (1993) 323.
- [7] Y.Honda, N.Inaba, F.Tomiya, T.Yamamoto and M.Futamoto :
Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) L987.
- [8] Y.Hirayama and M.Futamoto :
Proceeding of PMRS'95.
- [9] P.Glijer, K.Sin, J.M.Sivertsen, J.H.Judy :
J. Magn. Soc. Jpn. 18-S1, 571 (1994).