

Hc; 2~3kOeのCoCrTaPt媒体のMFMによる磁気クラスター解析 Magnetic Cluster Analysis Using MFM for CoCrTaPt Recording Media with Coercivities of 2-3 kOe

高星英明・陳進・石尾俊二・齊藤準・小林和雄*

秋田大学工学資源学部 秋田市手形学園町1-1(〒101-8502)

*富士通研究所 厚木市森の里若宮10-1(〒243-0197)

H. Takahoshi, J. Chen, S. Ishio, H. Saito, and K. Kobayashi*

Faculty of Engineering and Resource Science, Akita Univ., Akita 010-0852, Japan

*Fujitsu Laboratories Ltd., Atsugi 243-0197, Japan

(1999年10月29日受理、1999年12月14日採録)

Magnetic clusters in recorded and demagnetized states were observed by MFM with tip-sample spacings from about 100 nm to 30 nm for Co₆₉Cr₂₁Ta₂Pt₈ longitudinal recording media with coercivities of 2000 to 3000 Oe. The magnetic field distribution on the medium surface was calculated from the measured MFM images, using the integrated transformation and the tip-sample distance transformation. The magnetic cluster size on the medium surface in the demagnetized state was about 130 nm for Co₆₉Cr₂₁Ta₂Pt₈ medium with H_c of 2790 Oe. The half-amplitude pulse width of the isolated magnetization transition (PW₅₀) decreased from about 280 nm to 130 nm when z decreased from 100 nm to 10 nm. The magnetic clusters are considered to originate in the magnetic charge distribution in the local magnetization reversal region.

Key words: magnetic force microscopy, MFM, magnetic cluster, PW₅₀, CoCrTaPt

1. 背景

近年の情報量の増大に伴い面記録密度20~40 Gbit/in²デモンストレーションが報告され、更には100 Gbit/in²を超える磁気記録密度への研究が進められている。面内磁気記録の高密度化には媒体ノイズの低減と熱的安定性の向上が重要であると考えられる。媒体ノイズの主要な原因の1つとして遷移ノイズが考えられている¹⁾。Zhuらは実験的及びシミュレーションを用いた媒体ノイズの研究より、ポジジョンジッターや遷移パラメーター揺らぎが記録密度とともに増加する事を示した²⁾⁻³⁾。またGlijerらは磁気力顕微鏡(MFM)を用いた遷移領域の観察から、記録密度の増加に伴い遷移領域のジグザグ構造の振幅が増加していくことを報告した⁴⁾⁻⁵⁾。一方、ChenらはH_cが1000 Oeから2000 OeのCoCrTa系面内磁気記録媒体について、遷移領域を含む媒体全体のMFM2次元ノイズ解析を行った。その結果磁気クラスターが遷移領域のみならず媒体全体に広がっていることを示すと同時に、特に遷移領域では磁気クラスターが磁気遷移と重畳されることによってポジジョンジッターやパーシャルレイジアーを引き起こすことを示した。これらの遷移ノイズある

いは磁気クラスターを低減するためには結晶粒の微細化、粒子径分布の制御、結晶粒子間相互作用の適性化、媒体の高保磁力化が重要であり⁶⁾⁻⁷⁾、また同時に磁気クラスターの成因を明かにするために高保磁力媒体の磁化遷移領域、記録状態での磁気クラスター及び消磁状態での磁化状態について、より詳細な解析が必要である。

MFMは媒体試料の漏洩磁場による磁気力勾配を高分解能で検出するため、その磁気微細構造の検出手法として広く用いられている⁴⁾⁻⁷⁾。漏洩磁場は媒体からの距離に対し指数関数的に変化するため、MFM観察像も探針試料間距離zに依存する⁸⁾⁻⁹⁾。zが大きい場合には空間周波数の高い成分の情報が失われ、微細な磁化状態を検出することができない。従って、媒体の磁化状態を詳細に観察し、磁化遷移領域や磁気クラスターの微細な構造を調べるためには、なるべく試料表面に近い近接距離での測定が必要であり、更には表面直上の磁場分布あるいは媒体中の磁極分布を検出することが望まれる。

本研究では高保磁力媒体のノイズの状態を調べることを目的として、H_cが2000 Oeから3000 OeのCoCrTaPt系面内磁気記録媒体の記録状態並びに消磁状態のMFM観察を行った。特にMFMの探針試料間距離を変化させ、さらに積分変換および距離変換¹⁰⁾によって表面直上の磁場像を求め、その結果をもとにノイズ発生の原因となる磁気クラスターの発生機構を考察した。

2. 実験方法

テクスチャ処理(Ra 1 nm)されたアルミ基板上にバッファ層としてCr₉₀Mo₁₀ 25 nm、磁性層をCo₆₉Cr₂₁Ta₂Pt₈ 24

Table.1 Magnetic properties and readback recording performance.

Medium	T _{sub} (°C)	H _c (Oe)	tBr (Gμm)	S*	S/N at D ₅₀
A	170	2230	70	0.82	20
B	180	2384	68	0.76	22
C	215	2600	72	0.76	24
D	230	2790	67	0.78	24
E	260	2970	72	0.77	24

nmそしてC保護膜 5 nmをRFスパッタ装置で順次作製した。磁性層作製時には基板温度を170 °Cから260 °Cまで変化させた。

磁気特性は最大印加磁場5 kOeでVSMにて測定した。また粒子間相互作用を δM によって評価することとし、その測定はAGMによって行った。記録にはヘッドギャップ0.4 μm 、トラック幅1.8 μm のMRヘッドを用い、再生特性はトラック幅1.5 μm のMRヘッドおよびスペクトルアナライザーによって測定した。媒体磁性層の結晶構造解析はXRD(Cu K α)を用いて行った。今回測定したCo₈₉Cr₂₁Ta₂Pt₈媒体の磁気特性をTable. 1に示す。この媒体は、先に報告したCoCrTa系媒体¹¹⁾と比較して(110)面の優先配向度に優れている。基板温度を170 °Cから260 °Cへ上昇すると優先配向度が向上し、同時にHcが2230 Oeから2970 Oeまで増加している。

記録媒体の微細磁化構造の測定にはMFMを用いた。本研究で用いた磁気探針は単磁極として振舞っており¹⁰⁾、得られたMFM像は、媒体垂直方向の漏洩磁場勾配像である。MFMの探針試料間距離zはフォースカーブ測定によって求め、探針が媒体表面に接触した位置をz=0 nmとした。媒体の微細な磁化構造を調べるために探針試料間距離zを約100 nmから30 nmまで変化させた。更にzが約30 nmのMFM像に積分変換と距離変換¹⁰⁾を行うことによって、媒体表面直上の磁場像を求めた。またz \sim 30 nmの測定時のMFMスペクトルから算出される分解能は凡そ25 nmである。なお本論文中ではMFM観察像中に存在する明暗のコントラストを磁気クラスターとし、磁気クラスターの大きさは明暗のコントラストの長軸と短軸の長さを平均することによって求め、またクラスターサイズを求める際の閾値は明暗コントラストの約半値とした⁵⁾。

3. 実験結果

まず、探針試料間距離z \sim 100 nmとしたMFM測定によって記録状態での磁気クラスターサイズを求めた。Fig.1に200 kfcfでの記録状態での磁気クラスターサイズとtBr/Hc、 δM の相関を示した。ここで今回測定したCoCrTaPt媒体の結果を黒丸、既に報告しているHc約1000 Oeから2000 OeのCoCrTa媒体の結果を白抜き丸で示してある。これよりtBr/Hcと δM が減少すると磁気クラスターサイズも減少することが判る。Hcが1000 Oeから2000 OeのCoCrTa系媒体ではクラスターサイズは250 nmから500 nmであるのに対し⁵⁾、今回測定したHcが2000 Oeから3000 OeのCoCrTaPt系媒体では150 nm程度に抑えられている。なお図に示すように20 \sim 40 Gbit/in²の記録では更に高いHc(低いtBr/Hc)が必要とされている¹²⁾。

Fig.2には磁気クラスターサイズの記録密度依存性を示した。参考のためにCoCrTa系媒体のデータ領域⁵⁾を図中斜線部に示している。CoCrTa系媒体では磁気クラスターサイズは記録密度の増加とともに100 nmから600 nmまで増加したのに対し、CoCrTaPt系媒体では150 nm程度の大き

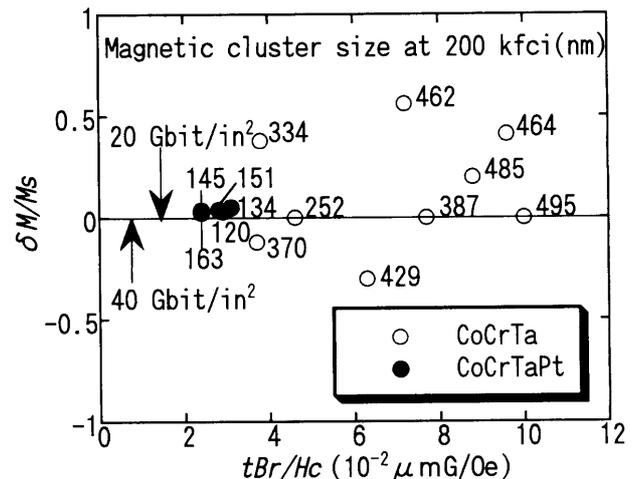


Fig.1 Magnetic cluster size at 200kfcf recording density as the function of tBr/Hc and $\delta M/Ms$. (z \sim 100 nm)

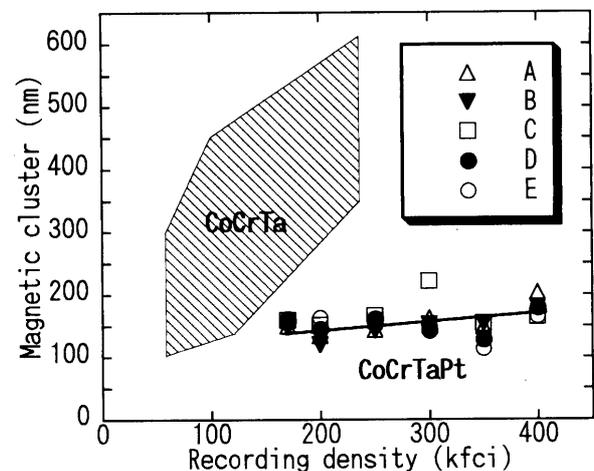


Fig.2 Dependence of magnetic cluster size on recording density. (z \sim 100 nm)

さで記録密度依存性がほとんど無い。

媒体の漏洩磁場は媒体表面からの距離に対して指数関数的に変化するためMFM観察像は探針試料間距離(以下zとする)によって変化する^{5), 10)-11)}。従って、より詳細な媒体磁化状態を明らかにするためには、なるべく表面近傍でMFM測定することが必要である。また高密度化に伴い磁気ヘッド浮上量は低下する。例えば20 Gbit/in²を超える高密度記録におけるヘッド浮上量はおよそ30 nm以下と考えられており、この点からもできるだけ表面近傍での磁場分布の解析が重要となる。そこでここでは、zを約100 nmから約30 nmに変化させてMFM測定を行った。Fig.3(I)にCoCrTaPt媒体の試料D (Table.1参照)について、7.5 kfcfで記録したときの遷移領域の観察結果を示す。(a)はz \sim 100 nmでの観察結果、(b)はzを30 nmに減少させて観察したもの、(c)はz \sim 30 nmでの観察結果に更に距離変換を行うことにより、z \sim 10 nmで観察される画像としたものである。図のようにzの低下と共に遷移領域はシャープかつ明瞭となる。これを孤立再生波形とみなし半幅幅PW₅₀を求め、そのz依存性をFig.4に示す。PW₅₀はz \sim

100 nmでは約300 nmであるが表面付近では約130 nmに減少した。ところで20 Gbit/in²と40 Gbit/in²を達成するための PW_{50} の値は図に示すようにそれぞれ135 nmと100 nm以下であると予想されている。今回測定した媒体の $z \sim 30$ nm付近での結果は、20 Gbit/in²を十分達成しうる PW_{50} となっている。Fig.3(II)は試料Dの直流消磁状態を、 $z=100$ nmから30 nmまで変化させての測定した結果である。(d)は $z \sim 100$ nm、(e)は $z \sim 30$ nmで測定した像である。MFM像から求めた磁気クラスターサイズの z 依存性をFig.4に PW_{50} の結果と合わせて示した。磁気クラスターサイズは $z \sim 100$ nmでは約170 nmと観察されるが、 $z \sim 30$ nmとでは130 nm程度に減少する。Fig.3(f)は $z \sim 30$ nmのMFM像に積分変換と距離変換を加えることによって、媒体表面直上の z 成分磁場像にしたものである。図のように表面直上で

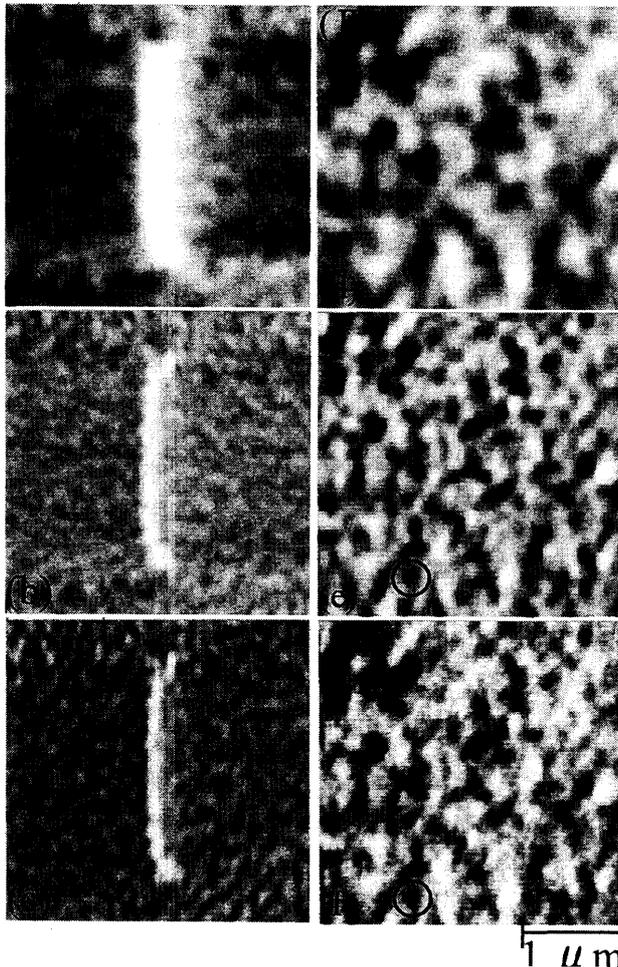


Fig.3 (I) MFM images recorded at 7.5kfcf. Tip-sample spacing: (a) $z \sim 100$ nm, (b) $z \sim 30$ nm (c) $z \sim 10$ nm(calculated image), (II) MFM images of DC demagnetized state. Tip-sample spacing: (d) $z \sim 100$ nm, (e) $z \sim 30$ nm (f) $z \sim 0$ nm(magnetic field distribution calculated by the integrate transformation and the tip-sample distance transformation).

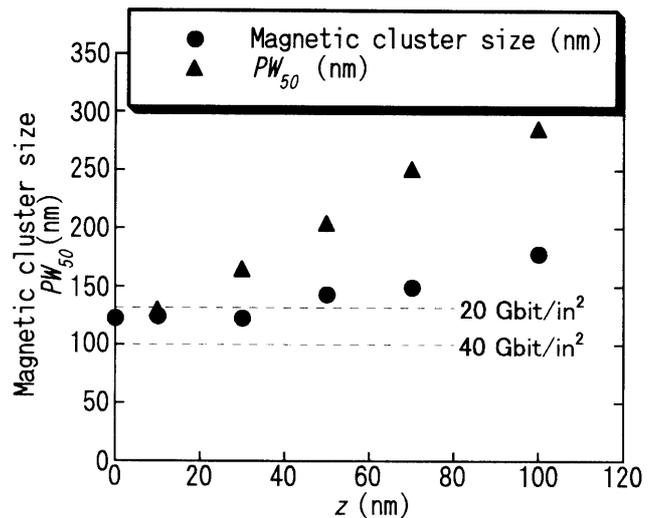


Fig.4 Dependence of PW_{50} and magnetic cluster size on tip-sample spacing z .

の磁場像は、垂直磁場強度に比例する明暗コントラストの集合で、そのコントラストの分布は $z \sim 30$ nmでの磁場勾配像(e)とよく対応している。即ち表面直上の磁場像は、 $z \sim 30$ nm付近での磁場勾配像とほぼ一致する。このことは $z \sim 30$ nm付近でのMFM観察によって媒体直上の磁場分布が得られることを示しており、今後の媒体表面での磁場解析に非常に有用である。この両者の対応性は磁場及び磁場勾配の伝達関数の特性に起因している¹⁰⁾。 $z \sim 30$ nm付近での磁気クラスター及び表面直上での磁場像に見られるコントラストのサイズはFig.4に示すように約130 nm程度で、ほぼ表面付近での PW_{50} と同じであった。

4. 考察

今回消磁状態について近接距離のMFM測定から求めた磁気クラスターサイズは $z < 70$ nm以下ではあまり変化がなく、約130 nmの程度である。また積分変換および距離変換して求めた表面直上の磁場分布はほぼ膜中の磁極分布を反映していると考えられ、それによって求めたコントラストの径も凡そ130 nmである。これらのことからCoCrTaPt媒体の消磁状態で観察された磁気クラスターの要因は媒体中に生じた直径約100 nm程度の大きさの磁極もしくはその集合体であることが考えられる。

媒体中の磁極は(1)膜内の磁化の揺らぎあるいは(2)媒体表面での磁化の垂直成分によって生じる。今回の測定では(1)(2)を分離測定することはできない。しかしながら磁気クラスターの強度(明暗コントラストの強度)が低記録密度での再生波形によるMFM出力(Fig.3)の強度とほぼ等しいことから、消磁状態でも低記録密度での遷移領域に類似した磁化のつき合わせ状態があり、それによって発生する磁極が磁気クラスターを生じていると考えられる。遷移領域幅 PW_{50} と磁気クラスターサイズがほぼ一致することから、何れにおいても磁化の反転が10個程度の結晶粒にわたって生じていると考えられる。また記録

状態での磁気クラスター測定 (Fig.1,2)は $z \sim 100$ nmで測定したのだが、クラスターサイズは150 nm以下で殆ど記録周波数依存性がないことから、消磁状態と同程度の大きさの磁気クラスターが存在し、記録周波数にもなって磁気クラスターサイズは変化しないが強度(磁気揺らぎの振幅)が増大し、媒体ノイズの増大の要因になっていると考えることができる。

磁気記録媒体の微細な磁化状態の解析は、主としてシミュレーションやフレネルローレンツ透過電子顕微鏡 (FLTEM) を用いた研究によって行われている。Zhuらは三角格子上の六角形の配列を用いてシミュレーションによって媒体の磁化状態の解析を行い、遷移領域あるいは消磁状態で直径約150 nmから約350 nmのVortex、構造が重要であることを示している¹³⁾。またCameronらは240 Oeから1410 OeのCoCrTa系媒体を用いてFLTEMの観察を行い遷移領域で直径約200 nmのVortexが形成されていることを示した¹⁴⁾。Vortex構造の内部では磁極が発生しないためにMFMで観察することは難しい。僅かにVortexの中央部に生成する膜面垂直な磁化成分によってコントラストが生じると考えられる。Zhuらのシミュレーションの結果から考えると、MFM観察では消磁状態やパーシャルイレース状態で、直径約150 nmから約350 nmのグレーゾーンに囲まれた直径10 nm程度の磁気クラスターが観察されると考えられる。実際、Fig.3(e),(f)では、同程度のグレーゾーンに囲まれた直径約100 nmの磁気クラスターが見られる。(図中、丸にて囲む)これをVortexとすれば、中心部の垂直磁化成分をもつ領域が結晶粒数十個程度からなっていることを示している。しかしながら現在まで、記録媒体や微細加工薄膜などについて様々な試料でMFM観察が報告されているが¹⁵⁾⁻¹⁶⁾、明瞭にVortex構造を観察した例は殆どなく、媒体中のVortex構造の観察は媒体ノイズの要因を考察する上で、今後の大きな課題である。

5. まとめ

$H_c=2000$ Oeから 3000 Oeの $\text{Co}_{69}\text{Cr}_{21}\text{Ta}_2\text{Pt}_8$ 面内磁気記録媒体の記録状態と消磁状態のMFM観察を、探針試料間距離 z を約100 nmから約30 nmの間で変化させて行った。更に得られた画像データに積分変換、距離変換処理を行い媒体表面直上での磁場分布を求めた。その結果より以下の結論を得た。

- ① $H_c=2790$ Oe の $\text{Co}_{69}\text{Cr}_{21}\text{Ta}_2\text{Pt}_8$ 媒体の孤立遷移幅 PW_{50} は、 z が100 nmから10 nmに減少するのに伴い 約280 nmから130 nmに低下する。

- ② 消磁状態の媒体表面直上の磁場分布測定から求めた磁気クラスターサイズは約130 nmであった。また、この磁気クラスターは局所的な磁化反転領域で発生する磁極分布によって生ずると考えられる。
- ③ $z \sim 30$ nm付近でMFM観察し信号処理によって媒体直上の磁場分布が得られた。これは今後の媒体表面での磁場解析に非常に有用である。

謝辞

本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構(SRC)の研究助成を受けて行われた。ここに深謝する。

参考文献

- 1) H. Neal Bertram: Theory of magnetic recording (Cambridge University Press, 1994).
- 2) J. G. Zhu: *IEEE Trans. Magn.*, **27**, 5040 (1991).
- 3) H. Neal Bertram, J. G. Zhu: *IEEE Trans. Magn.*, **27**, 5043 (1991).
- 4) P. Glijer, J. M. Sivertsen, J. H. Judy, C. S. Bhatia, M. F. Doernner, and T. Suzuki: *J. Appl. Phys.*, **79**, 5327(1996).
- 5) H. Matsuyama, K. Koile, F. Tomiyama, Y. Shiroishi, A. Ishikawa, and H. Aoi: *IEEE. Trans. Magn.*, **30**, 1327 (1994).
- 6) J. Chen, H. Saito, S. Ishio, and K. Kobayashi: *J. Appl. Phys.*, **85**, 1037 (1999).
- 7) J. Chen, H. Saito, S. Ishio, and K. Kobayashi: *J. Magn. Mater.*, **188**, 260 (1998).
- 8) J. C. Mallinson: The foundations of magnetic recording (Academic Press, 1993).
- 9) Y. Honda, Y. Hirayama, K. Ito, and M. Futamoto: *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 1633 (1998)
- 10) H. Saito, S. Ishio: *IEEE Trans. Magn.*, **35**, 3992 (1999).
- 11) S. Ishio, J. Chen, H. Takahoshi, H. Saito, and K. Kobayashi: *J. Appl. Phys.* (submitted in press).
- 12) I. Okamoto, I. Kaitu, H. Akimoto, K. Sato, E. N. Abarra, and M. Shinohara: *Proc. Intermag99*, AA-03 (1999).
- 13) J. G. Zhu, H. Neal Bertram: *J. Appl. Phys.*, **69**, 6084 (1991).
- 14) G. P. Cameron, J. H. Judy: *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 4177 (1993).
- 15) P. Glijer, J. M. Sivertsen, J. H. Judy, and C. S. Bhatia, : *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 2842 (1996).
- 16) 中谷 功: 日本応用磁気学会概要集, 23, 290 (1999).