

垂直磁気記録膜の構造制御

竹野入 俊司 (たけのいり しゅんじ)

酒井 泰志 (さかい やすし)

渡辺 貞幸 (わたなべ さだゆき)

特集

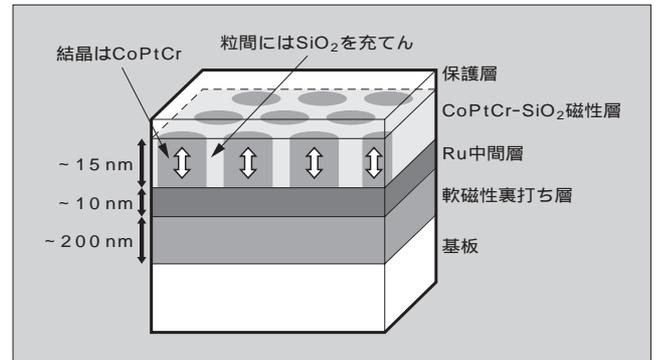
1 まえがき

1997年以降、HDD (Hard Disk Drive) の記録密度は年率 60 ~ 100 % の割合で急速に増加してきた。最近ではその勢いを減じつつあるものの、今後も毎年 30 ~ 60 % の割合で増加し続けると予測されている。このような著しい成長の結果、これまで用いられてきた面内記録方式が、「熱揺らぎ」問題のため、いよいよその限界に近づこうとしている。「熱揺らぎ」とは、記録した信号を安定に保持できなくなる現象であり、面内記録方式では記録密度が上昇するほど「熱揺らぎ」が大きくなってしまふ。このような状況から、面内記録方式と正反対の特徴、すなわち記録密度の増大に伴いビットの安定性が増すという特性を有する垂直記録方式の開発が活発化している。

垂直磁気記録方式は、1975年に Iwasaki らにより提案されて以来、さまざまな機関でその研究開発がなされてきた。しかし、垂直磁気記録方式が原理的に有利であることは明らかなものの、面内磁気記録方式のパフォーマンスを超える媒体は最近まで得られていなかった。ここでブレイクスルーとなったのが、CoPtCrO や CoPtCr-SiO₂ の磁性層への適用である。これらの媒体では、金属と相分離を起こしやすい酸化物を磁性材料に加えることで良好な偏析構造を実現している。富士電機では、CoPtCr-SiO₂ を磁性層材料として用いることで、大きな一軸異方性と良好な偏析構造を有する垂直磁気記録媒体が実現できること、また面内媒体と同様の材料を使用した CoCrPt 垂直媒体と比較して良好な記録・再生特性と高い「熱揺らぎ」耐性を示すことなどをこれまでに報告してきた⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。これらの特性から、酸化物グラニューラ媒体は将来の高密度記録媒体として有望であると考えている。富士電機の垂直磁気記録媒体の模式図を図 1 に示す。磁性層として前述の CoPtCr-SiO₂ を、中間層として Ru を用いているのが特徴である。

一般的に、優れた特性を有する媒体を得るためには、磁性層の結晶粒径を均一化・微細化し、個々の磁性結晶粒を磁氣的に分断された理想的な偏析状態に近づけることが必要となる。このような状態を実現するためには、磁性層の

図 1 CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の模式図



材料や成膜条件を工夫するだけでなく、下地層の構造制御が重要であることが知られている⁽⁶⁾。CoPtCr-SiO₂ を磁性層として用いた場合も例外ではなく、媒体特性は下地層の結晶粒径や表面形状の影響を強く受ける。

本稿では、下地層に Ru を用いた CoPtCr-SiO₂ 媒体において、Ru の結晶粒径や表面構造を制御することにより磁性結晶粒の粒径や磁氣的な分離構造を制御した例について、その解析手法とともに紹介する。

2 磁性層結晶粒径の制御

磁性層の結晶粒径微細化が媒体の特性向上に寄与するかという点、必ずしもそうとは言えない。特に、SiO₂ を添加したグラニューラ磁性層を用いると結晶粒径が微細になりすぎる傾向があり、微細すぎる結晶粒は「熱揺らぎ」を生じたり、ひどい場合には室温で磁性を失う可能性もある。そこで、下地層である Ru 膜の粒径制御が重要な役割を果たす。次にその例を紹介する。

図 2 に、Ru の結晶粒径をそれぞれ a: 9.9 nm, b: 12.4 nm として、その上に磁性層を成膜したサンプルの平面透過電子顕微鏡 (TEM) 像を示す。磁性層の平均結晶粒径は、a: 6.9 nm, b: 5.5 nm である。興味深いことに、Ru の結晶粒径が大きいサンプルにおいて、磁性層の結晶粒径が小さくなっている。これは、SiO₂ を添加したグラニューラ



竹野入 俊司

固体電解質形燃料電池、磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)デバイス技術研究所。日本応用磁気学会会員。



酒井 泰志

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機ストレージデバイス(株)技術開発部。日本応用磁気学会会員。



渡辺 貞幸

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)デバイス技術研究所。日本応用磁気学会会員。

図2 Ru 結晶粒径を変化させたサンプルの平面 TEM 像

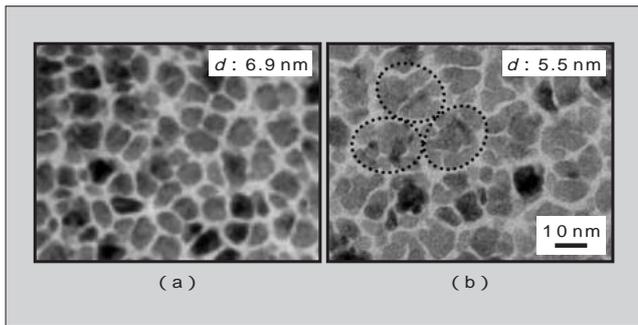


表1 媒体(a), (b)の磁気特性および電磁変換特性

媒体	H_c (kOe)	電磁変換特性 [370 kfci 時]		Decay [30 kfci 時] (%decade)
		規格化媒体 ノイズ	SN _{mR} (dB)	
(a)	6.39	52.9	12.4	1.5
(b)	4.98	90.8	8.98	0.5

磁性層の結晶粒がもともと微細になりやすい性質を持っており、Ruの結晶粒径がある大きさ以上になるとRu結晶粒1個の上に複数の磁性結晶粒が成長するようになるためであると考えている。図2 b中に点線でRu結晶粒の大きさを示したが、その中に複数の磁性結晶粒が存在していることが分かる。それに対しaでは、Ru結晶粒1個の上に磁性結晶粒1個が成長している。磁気特性および電磁変換特性(表1)を見ると、bは磁性層結晶粒径がaより小さいにもかかわらず、媒体ノイズが高く、信号-ノイズ比(SN_{mR})が低く、そしてDecay(信号の劣化割合)が小さく、すなわち「熱揺らぎ」に強くなっている。また、磁気特性もbが大きく劣っている。これらの結果から、bでは結晶粒径は小さいものの、磁化反転単位は大きくなっている(結晶粒同士が磁氣的に強くつながっている)ものと考えられる。これに対しaでは、結晶粒径はbよりも大きいですが、結晶粒間の磁氣的な分離が進んでいると考えられる。

以上のように、Ruの結晶粒径を制御し、Ruと磁性層の結晶粒を1対1で成長させることで、磁性層の結晶粒径を制御し、結晶粒の磁氣的な分離を促進できる。

③ 磁気クラスタサイズの制御

3.1 磁気クラスタ

微細な結晶粒子からなる媒体の磁性膜では、結晶粒子間の交換相互作用や静磁氣的な相互作用の影響で、磁化反転は結晶粒子ごとに起こらず、幾つかの結晶が磁氣的につながり一つの反転単位として振る舞うことが知られている。このような磁化反転単位は磁気クラスタと呼ばれており、磁気力顕微鏡(MFM)などを用いて測定した磁気クラスタサイズ($D_{cluster}$)により媒体の遷移ノイズがよく説明できる⁽⁷⁾。

例えば面内媒体では、結晶粒子間の交換相互作用がない

場合でも飽和磁化の増加に従い媒体ノイズが増加するが、これは飽和磁化の増加に伴い結晶粒子間の静磁気相互作用が増加し、それにより $D_{cluster}$ が増加してジグザグな磁化転移が引き起こされることが原因であると報告されている⁽⁸⁾。一方、垂直媒体でも、媒体ノイズは遷移ノイズが支配的であると報告されていることから、ノイズ低減のためには磁化遷移領域のジグザグを低減すること、すなわち $D_{cluster}$ を低減することが必須である。

3.2 $D_{cluster}$ の評価方法

$D_{cluster}$ の評価方法としては、前述のようにMFMを用いるのが一般的であり、富士電機でもすでに検討している⁽¹⁰⁾が、今回は磁化曲線の傾き⁽¹¹⁾から見積もる方法を用いた。その方法とは、⁽⁹⁾が下記のように表記できることを利用するものである(単位はCGS系)。

$$= 4 / (N_z^2 - N_z) \dots\dots\dots (1)$$

(N_z および N_z は、それぞれ膜全体および磁化反転単位の鉛直方向反磁界係数)

反磁界係数は磁性体の形状のみで決まる定数であり、磁化方向に対して無限に細長い針金のような形状であれば0、無限に広い薄板のような形状であれば4になる。媒体の磁性膜は膜表面のサイズに対して膜厚が非常に薄いので、式1で N_z は4とみなせる。よって、⁽¹²⁾を決めれば式1から N_z を求めることができる。ここで、磁化反転単位として円柱を仮定すると、円柱の N_z は寸法比(長径/短径)の関数として実験的に求められている⁽¹²⁾ので、膜厚と N_z から $D_{cluster}$ を求めることができる。逆に、適当な $D_{cluster}$ を仮定すれば、式1から⁽¹²⁾-膜厚曲線を求めることができる。実際は、磁性層膜厚を変化させて⁽¹²⁾を実測し、それを $D_{cluster}$ を変化させて計算した⁽¹²⁾-膜厚曲線でフィッティングして、実測値に最もよく合う曲線から $D_{cluster}$ を決定した。

3.3 Ru成膜プロセスの影響

図3にプロセスA、Bという2種類の方法でRu中間層を成膜したサンプルの平面TEM像を、また表2に磁性層の膜厚を8nmとしたときの磁気特性および線記録密度300kfciにおける電磁変換特性を示す。なお詳細は述べないが、プロセスAとBではRuの表面状態を変化させている。図3から、結晶粒径や偏析状態など外観上両者に大きな差を見いだすことはできない(結晶粒径はほぼ同じ)。また、表2に示した一軸異方性定数 K_u と H_c の値も両者に大きな差はない。しかし、電磁変換特性(表2)から、プロセスBのサンプルはAと比較して、規格化媒体ノイズが約60%に低減し、SN_{mR}が4.7dB向上している。このように電磁変換特性は大きく異なるが、その違いは結晶粒径や磁気特性では説明できない。そこでこの原因を調べるため、 $D_{cluster}$ を評価した。

図4に⁽¹²⁾の磁性層膜厚依存性を示す。図中、丸および四角の点は実験値を、実線および点線は前節で示した方法により実験値をフィッティングした結果を示している。図から、

図3 プロセスA, Bを用いた媒体の平面TEM像

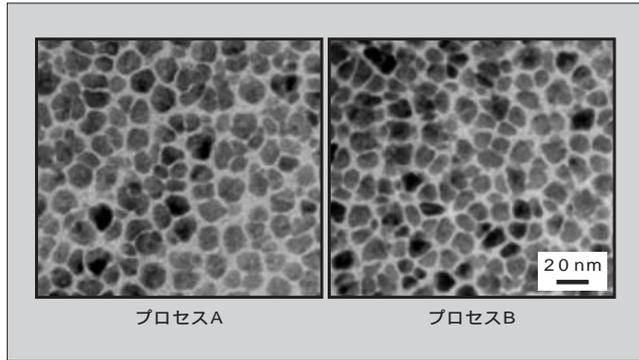
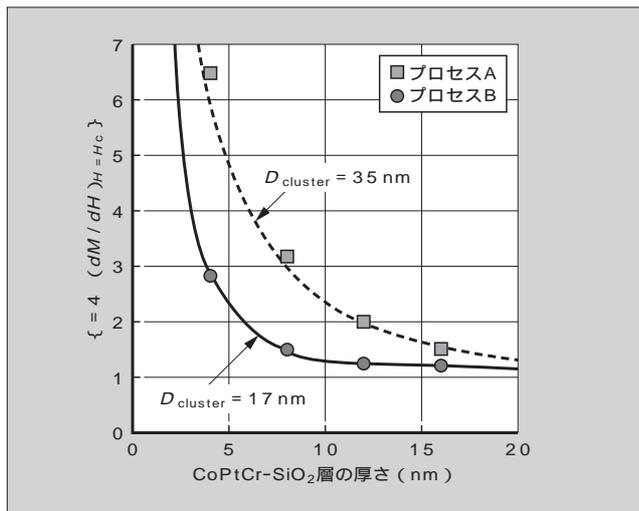


表2 プロセスA, Bにより作製した媒体の磁気特性および電磁変換特性

プロセス	K_u (erg/cm ³)	H_c (kOe)	電磁変換特性〔300 kfc i 時〕	
			規格化媒体 ノイズ	SN _m R (dB)
A	3.55×10^6	2.09	47.5	12.6
B	3.21×10^6	2.04	29.6	17.3

図4 磁化曲線の傾きパラメータの磁性層膜厚依存



実験値は計算値でよくフィッティングされ、プロセスA, Bの媒体の $D_{cluster}$ はそれぞれ 35 nm, 17 nm と見積もられた。また、磁気的な特性をさらに詳しく調べたところ、プロセスA媒体の $D_{cluster}$ は、磁性層成長初期の部分、すなわちRu表面の影響を受ける部分で粗大化しているという結果を得た。⁽⁶⁾

このように、Ruの表面状態の違いは $D_{cluster}$ の違いとなって現れ、それが電磁変換特性に直接反映されることが明らかとなった。今後、Ruの成膜条件の最適化を進めることで、さらなる $D_{cluster}$ の低減と媒体特性の向上が狙えるものと考えている。

4 あとがき

CoPtCr-SiO₂ グラニュラ垂直媒体の構造制御について、

Ru 中間層の結晶粒径や表面状態が及ぼす影響に着目して紹介した。中でも、Ru 中間層と磁性層の界面付近（あるいは磁性層の初期成長層）における磁気クラスタサイズの粗大化については、TEM や通常の磁気特性の計測では要因の特定が難しく、磁気クラスタ解析などのさらに詳しい解析手法が必要であることが明らかとなった。実際の媒体では、Ru 中間層だけではなく、基板・軟磁性裏打ち層の表面状態や磁性層自身の成膜プロセスなど、媒体特性に影響を及ぼす構造因子は数多く挙げられる。今後はこれらの最適化を行い、面記録密度 200 G ビット/in² を狙うとともに、垂直媒体の早期実用化に向けてコスト面なども含めた検討を進める考えである。

近い将来、垂直記録方式がその特長を生かし、パソコンだけではなく、小型・大容量が求められる AV (Audio Visual) 用途にも採用されていくものと期待している。

参考文献

- 1) Iwasaki, S.; Takemura, K. An analysis for the circular mode magnetization in short wave length recording. IEEE Trans. Magn. vol. Mag-11, 1975, p.1173.
- 2) Oikawa, S. et al. High Performance CoPtCrO Single Layered Perpendicular Media with No Recording Demagnetization. IEEE Trans. Magn. vol. 36, 2000, p.2393.
- 3) Oikawa, T. et al. Microstructure and Magnetic Properties of CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Recording Media. IEEE Trans. Magn. vol.38, 2002, p.1976.
- 4) 竹野入俊司ほか. CoPtCr-SiO₂ グラニュラ垂直媒体の微細構造と電磁変換特性, 信学技報. MR2002-6, 2002, p.31.
- 5) 渡辺貞幸ほか. CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の微細構造と諸特性. 信学技報. MR2002-76, 2003, p.13.
- 6) 及川忠昭ほか. CoPtCr-SiO₂ を用いた垂直磁気記録媒体の磁気特性と記録再生特性. 日本応用磁気学会誌. vol.27, 2003, p.196.
- 7) Takahashi, M. et al. The Dependence of Media Noise on the Magnetic Cluster Size for Co Based Thin Film Media Fabricated under Ultra Clean Sputtering Process. IEEE Trans. Magn. vol.34, 1998, p.1573.
- 8) Chen, J. et al. Magnetic cluster and medium noise in CoCrTa/Cr longitudinal film media studied by magnetic force microscopy. J. Appl. Phys. vol.85, 1999, p.1037.
- 9) Miura, K. SRC 第 12 回技術報告会全体会議資料. 2001, p.185.
- 10) Takenoiri, S. et al. Magnetic Properties, Magnetic Cluster Size and Read-write Performance of CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Recording Media. IEEE Trans. Magn. vol.39, 2003, p.2279.
- 11) Honda, N. et al. Simulation Analysis for Ring Head Recording on Single-layered Perpendicular Recording Media. IEICE Trans. Electron. vol. E82-C, no.12, 1999, p.2184.
- 12) 大田恵三. 磁気工学の基礎 I. 共立全書. 1997.



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。