

垂直磁気記録用磁性層技術

上住 洋之(うわづみ ひろゆき)

酒井 泰志(さかい やすし)

竹野入 俊司(たけのいり しゅんじ)

1 まえがき

近年、ハードディスク装置(HDD)は、コンピュータの外部記憶装置としてだけではなく、映画やテレビ番組をはじめとしたいわゆるデジタルAV(Audio-Visual)情報を扱うストレージ機器として、ビデオレコーダやカーナビゲーションシステム、家庭用ゲーム機などへ搭載されつつある。AV-HDDと呼ばれるこれらのHDDは、大容量性、高速性ならびに低価格性という特長により、長時間録画や高速ランダムアクセス、ならびに多チャンネル同時録画再生など、従来のビデオテープや光ディスクなどでは実現不可能な多彩なニーズに応えることができるため、今後ともその適用範囲を広げながら急激に需要を伸ばしていくものと予想される。そして、そのような新しい市場に対応するためには、現在年率100%近い勢いで増加し、量産レベルで30Gビット/in²に達している記録密度を、今後ともさらに向上させていくことが強く要求されている。

現在のHDDは、記録磁化を薄膜面内に配列させる長手磁気記録方式を用いている。この方式で高密度化を進めると、室温の熱エネルギーで記録磁化が不安定化する熱じょう乱の問題が避けられない。最近、反強磁性結合(AFC)媒体と呼ばれる、熱安定性に優れ、かつ100Gビット/in²以上の高密度化が可能な長手磁気記録媒体が提案されているが、一般に100Gビット/in²を大きく超える記録密度の達成は困難であると考えられている。そのため、超高密度記録が実現できる新しい記録方式、すなわち高密度化するほど記録磁化が安定するという特長を有する垂直磁気記録方式⁽²⁾が大いに注目されている。

垂直磁気記録媒体の一般的な層構成と、記録磁化の模式図を図1に示す。基板上には、軟磁性裏打ち層、非磁性中間層、ならびに情報を担う磁気記録層が順次積層されている。記録磁化は、長手磁気記録とは異なり膜面に垂直方向に配列されることから、各層に求められる膜構造や磁気特性は長手磁気記録媒体とはまったく異なっている。したがって、垂直磁気記録媒体の実用化のためには、その層構成および薄膜材料、さらには精緻(せいち)なプロセス技

術をも新規に設計・開発することが必要不可欠である。

このうち、記録磁化を保持する磁気記録層の高性能化は特に重要である。ここで、磁気記録層に用いられる薄膜材料には、図2に示すように、適用可能な記録密度に対応して、CoCrPtを主体とする微粒子系薄膜、Co/Ptなどの積層膜、アモルファス薄膜、あるいは規則格子合金など幾つかの候補が挙げられている。これらは、それぞれの薄膜材料の微細構造や物性値、特に垂直磁気異方性エネルギー K_u の大きさによって特徴づけられたものであり、磁気記録層の開発にあたっては、目標とする記録密度に応じた適切な材料選択が必要となる。

図1 垂直磁気記録媒体の層構成と記録磁化の模式図

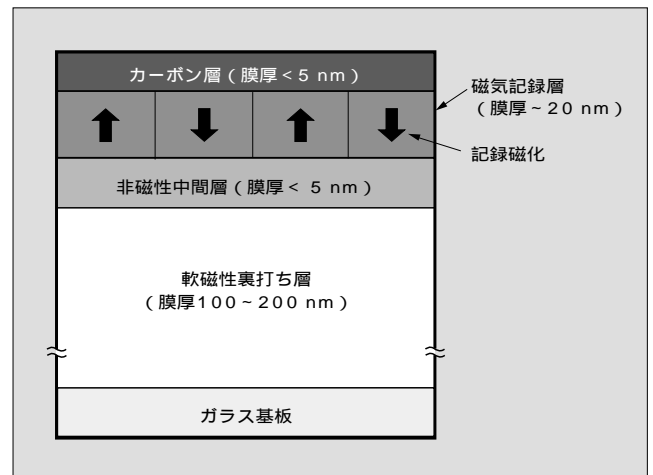


図2 垂直磁気記録媒体の磁気記録層材料

記録密度 (Gビット/in ²)			
50	100	200	>300
CoCrPt系(微粒子系)薄膜		複合型媒体	
Co/X積層(人工格子)膜			
アモルファス薄膜			
			FePt規則格子薄膜



上住 洋之

磁気記録媒体の磁性層成膜技術の開発に従事。現在、富士電機ストレージデバイス(株)第二開発部グループリーダー。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)第二開発部。日本応用磁気学会会員。



竹野入 俊司

固体電解質型燃料電池、磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所デバイス技術研究所。

富士電機は、次世代の超高密度記録媒体の実現のために、いち早く垂直磁気記録媒体の開発に着手するとともに、垂直記録方式に関しては世界有数の研究機関である東北大学電気通信研究所、ならびに日本放送協会（NHK）放送技術研究所との活発な共同研究を進めてきた。特に磁気記録層の開発にあたっては、当面の目標である 100 ~ 200 G ビット/in² に対応する CoCrPt 系薄膜や Co/Pt 積層膜に加え、300 G ビット/in² 以上の超高記録密度実現のポテンシャルがあると考えられるアモルファス薄膜の開発を推進しており、近い将来大きな市場を形成すると予想される大容量 AV-HDD に対応するための準備を整えつつある。

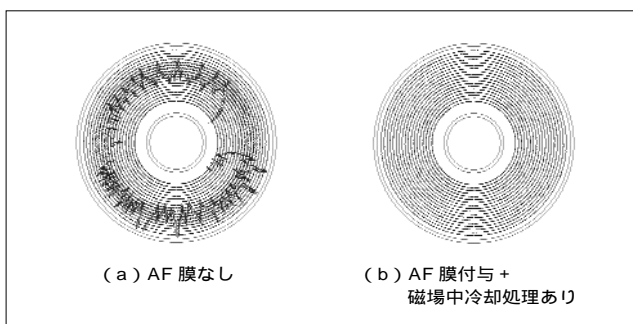
本稿では、垂直磁気記録媒体の実用化に必要な不可欠な、磁気記録層の高記録密度化技術、軟磁性裏打ち層の磁区制御技術、および媒体の評価解析技術に関して、富士電機の最新の研究開発の成果を紹介する。

② 軟磁性裏打ち層の磁区制御

軟磁性裏打ち層は、磁化ビットの書込み時に記録ヘッドと磁気回路を構成し、磁気記録層に印加されるヘッド磁場の強度とこう配を高め、記録分解能を向上させる役割を担う。⁽⁵⁾ 一方、このような軟磁性膜は、磁化の向きがそれぞれ異なる複数の磁区に分割された複雑な磁区構造をとりやすい。磁区と磁区の境界（磁壁）からは大きな漏れ磁場が発生するため、信号の再生時にはスパイクノイズと呼ばれる大きなノイズの原因となる。図 3(a)は、ガラス基板上に CoZrNb 合金アモルファス軟磁性層 100 nm を成膜した媒体から発生する出力信号を GMR (Giant Magnetoresistive) ヘッドを用いて検出した結果である。色の濃い部分がスパイクノイズの発生箇所に対応しており、媒体全面にわたって発生していることが分かる。

富士電機では、スパイクノイズを完全に抑止できる、反強磁性（AF）膜による軟磁性裏打ち層の磁区構造制御に着目して検討を行い、効果的にスパイクノイズを抑止する層構成およびプロセス技術⁽⁷⁾を確立した。層構成は以下のとおりである。AF 膜は MnIr 合金であり、膜構造制御のためのシード層上に成膜され、さらに軟磁性裏打ち層である CoZrNb 層が成膜される。理想的には、AF 膜の磁化の向きをディスク半径方向にそろった状態で固定することで、軟磁性裏打ち層にはディスク半径方向のバイアス磁場が実

図 3 スパイクノイズの観察例



効的に印加されることになり、磁区の形成が抑止される。

一方、実際には、AF 膜の磁化の向きをそろえるための成膜時のターゲットからの漏れ磁場が、必ずしも一様でないこと、あるいは磁気記録層を成膜する際の基板加熱により AF 膜の磁化の向きが変化してしまう可能性があった。そこで、MnIr 膜が 280 以上で反強磁性の性質を失うことを考慮し、生産性を落とさずにスパッタプロセス中に磁場中冷却を行うことによって、AF 膜自体の磁化の向きを制御する手法を試みた。これは、磁気記録層成膜後に、スパッタ装置内の加熱チャンバ内で基板温度をいったん 300 程度まで上昇させた後、ディスク半径方向に一樣な磁場が印加できる冷却チャンバ内で、180 程度にまで冷却を行うものである。冷却チャンバ内の磁界強度は約 80 kA/m (1 kOe) であり、チャンバ内での媒体の保持時間は 15 秒程度である。このようにして得られた媒体から発生する出力信号を図 3 b に示す。媒体全面にわたってスパイクノイズが消失しており、生産性を損なわずに効果的にスパイクノイズを抑止することができた。

ここに示した層構成ならびにプロセス技術は、軟磁性裏打ち層の材料を変更した場合にも有効であり、現在、さらなる高記録密度化に対応するための、高い飽和磁束密度を有する軟磁性裏打ち層の材料開発を推進中である。

③ 磁気記録層の高記録密度化技術

3.1 CoCrPt-SiO₂ グラニューラ媒体

CoCrPt 系合金膜を垂直磁気記録媒体の磁気記録層として用いるためには、Cr を微細な Co 合金結晶粒の粒界へと偏析させ、Co 合金結晶粒間の磁気的な相互作用を低減することで媒体ノイズ特性を向上すること、および Co 合金結晶粒の c 軸を膜面垂直方向に配向させ、かつ大きな K_u 値を導出することが必要となる。の実現には、長手磁気記録媒体と同様に Cr 量を増加させ、さらに Ta や Bなどを添加することが効果的だが、同時に K_u 値の劣化を引き起こしやすい。また、を実現するために非磁性中間層を最適化し、磁気記録層のエピタキシャル成長を促進すると、逆に Cr の粒界偏析が抑制されやすいこともすでに明らかとなっている。⁽⁸⁾

富士電機では、長手磁気記録媒体用の磁気記録層材料として、CoCrPt 合金に SiO₂ を添加したグラニューラ膜の粒界偏析や結晶配向などの微細構造制御技術の開発を行ってきた。⁽⁹⁾ この材料系では、SiO₂ が Co 合金結晶粒の粒界へ析出しやすいため、粒間の磁気的な相互作用を低減するための Cr 量増加や元素添加が不要になり、高い K_u 値が実現できる。これらの特長に着目し、垂直磁気記録用の磁気記録層として、CoCrPt-SiO₂ グラニューラ媒体の検討を開始した。

図 4 に、Ru 中間層上に、CoCrPt と SiO₂ の複合ターゲットを用いて RF マグネトロンスパッタ法により作製した CoCrPt-SiO₂ グラニューラ磁気記録層の平面透過型電子顕微鏡（TEM）像を示す。酸化物を主体とする結晶粒界（図中白っぽい部分）が、直径 6 nm 程度の微細な Co 結晶

粒を取り囲んだ、いわゆるグラニューラ構造が形成されていることが分かる。X線回折法による構造解析から、Co合金結晶粒のc軸配向性も優れていることが確認された。さらにこれらの媒体は、 $4 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ 程度と従来のCoCrPt磁気記録層の2倍程度以上の非常に大きな K_u 値を有し、磁化曲線の角形比もほぼ1であった。

図5には、軟磁性裏打ち層を有するCoCrPt-SiO₂グラニューラ媒体に、単磁極型磁気ヘッドを用いて記録した磁化ビットを磁気力顕微鏡(MFM)により観察した像を示す。ここで、図5(a), (b), (c)はそれぞれ、20, 28, 31 kfc/mm (500, 700, 800 kFCI)の線記録密度でそれぞれ記録した磁化ビットである。bの線記録密度においても比較的明りょうな磁化反転が観察されており、これは82 Gビット/in²の記録密度に相当する。なお、これらの媒体は熱安定性も良好であり、記録密度によらず再生出力減衰はほぼ0である。

上記のように、SiO₂を添加したCoCrPtグラニューラ磁性層は、100 ~ 200 Gビット/in²の記録密度を達成するための磁気記録層材料として非常に有望であり、現在、膜構造および材料組成のさらなる最適化を進めている。

3.2 CoTb アモルファス複合型媒体

前述のとおり、Tbなどの希土類金属とCoやFeなどの

図4 CoCrPt-SiO₂グラニューラ磁気記録層の平面TEM像

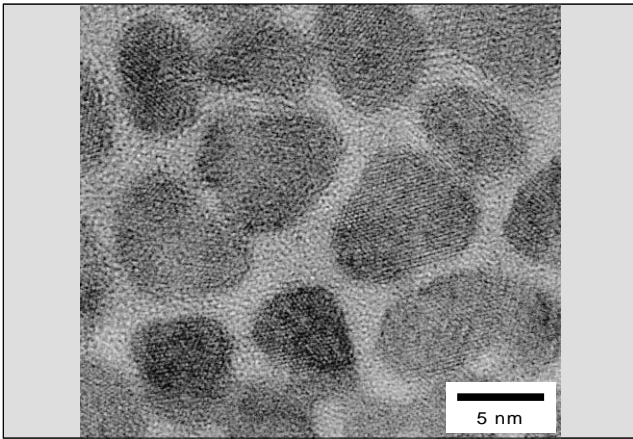
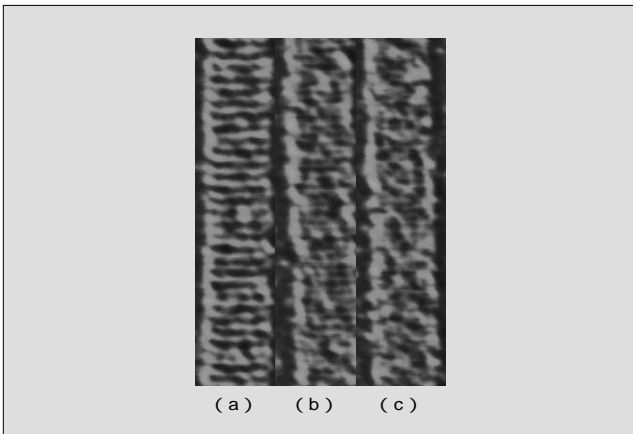


図5 CoCrPt-SiO₂グラニューラ媒体のMFM像



3d遷移金属とのアモルファス合金薄膜は、300 Gビット/in²の記録密度を達成するポテンシャルを有する材料の一つである。しかしながら、一般にアモルファス薄膜の膜面内方向には、非常に強い交換相互作用が作用して広範囲に磁化が結合しており、ナノメートルオーダーの微視的な磁化反転を起こさせることは困難である。

このようなアモルファス薄膜の磁化反転単位を微細化する手法について鋭意検討した結果、磁化反転単位が小さなCoCrPtB薄膜との積層化を行った複合型媒体において、熱安定性と媒体ノイズ特性を両立することができることを見いだした。

図6には、膜厚20 nmのCoCrPtB合金薄膜上に膜厚の異なるCoTbアモルファス薄膜を積層した複合型媒体における、線記録密度12 kfc/mm (300 kFCI)で測定した対信号雑音比SN比、および熱安定性の評価として、1 kfc/mm (25 kFCI)で測定した再生出力の減衰率の変化を示す。SN比は、CoTb膜厚6 nmで最大値を示し、CoTbがない場合より2 dB程度向上している。一方、CoTb膜厚の増加に伴い再生出力の減衰率は大きく改善され、6 nm以上のCoTb膜を有する媒体の再生出力の減衰率はほぼ0となった。すなわち、CoTb (6 nm)/CoCrPtB (20 nm)の層構成からなる複合型媒体において、非常に優れたSN比と熱安定性を両立することができた。

MFMによる観察では、この媒体において70 Gビット/in²以上の記録密度が達成可能であることが確認されている。さらに、このようなアモルファス膜との複合化技術を、前節で述べたグラニューラ媒体に適用することで、より一層高い記録密度が実現可能であると考えている。

図6 CoTb/CoCrPtB複合型媒体のSN比と出力減衰量のCoTb膜厚依存性

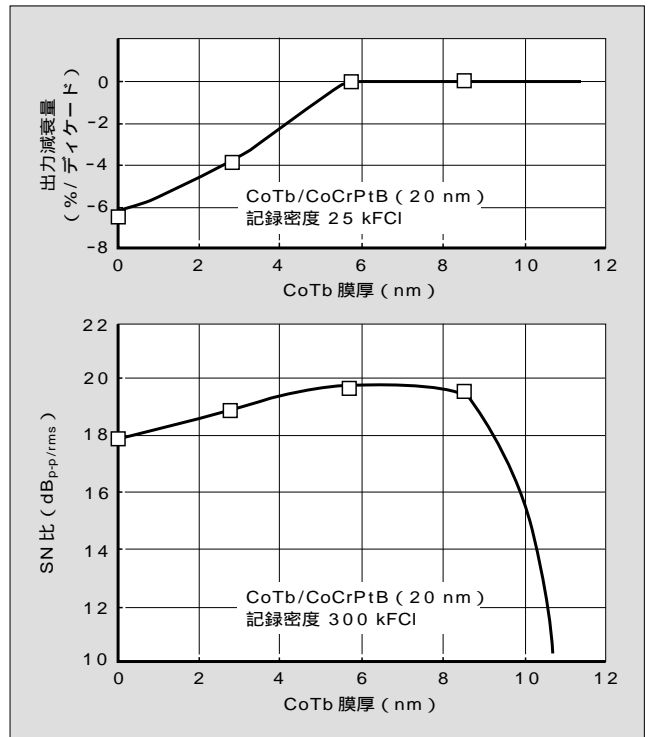
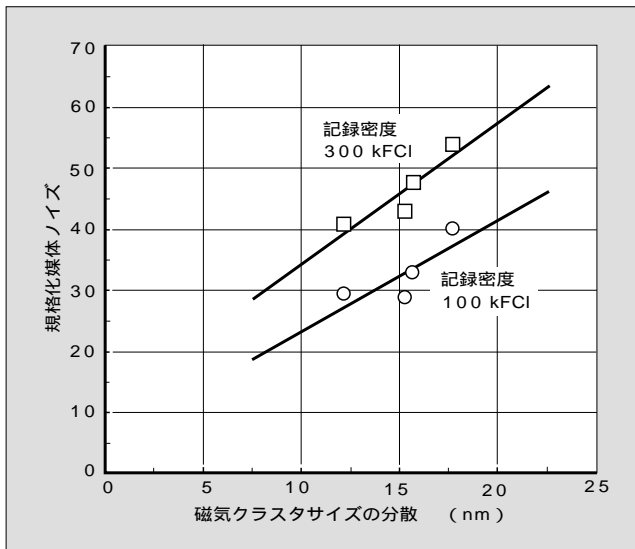


図7 媒体ノイズと磁気クラスタサイズの分散との関係



4 垂直磁気記録媒体の評価解析技術

優れた磁気記録媒体の開発のためには、媒体の評価解析技術の向上も必要不可欠である。特に、高記録密度時の媒体ノイズ特性を議論するためには、記録された微小な磁化ビットを直接観察、評価し、ノイズの発生起因から検討していくことが重要である。このような観点から、MFMを用いた垂直磁気記録媒体の磁化パターン⁽⁴⁾の評価解析技術の開発を行うとともに、NHK放送技術研究所との共同研究を推進している。本稿では、媒体ノイズと強い相関があると考えられている、交流消磁状態における磁気クラスタサイズの評価技術を紹介する。

交流消磁後の媒体をMFMにより観察すると、磁化の向きがそろった領域である、複数の磁気クラスタが観察される。この観察像に画像処理を施し、各クラスタを円で近似したときの直径Dとその分散を求めた。磁気記録層の材料および層構成の異なる種々の垂直磁気記録媒体の磁気クラスタの分散と、規格化媒体ノイズとの関係を図7に示す。図7は媒体ノイズと強い相関を示し、分散の低下に伴い、媒体ノイズが低下していくことが分かる。また磁気クラスタサイズの大小は記録分解能と強い相関があることも明らかとなっている。

このような解析は、さらなる高密度化、低ノイズ化のために必要とされる磁気クラスタサイズの目標値を定量化できることなどから、媒体設計のうえで非常に有用である。現在、さらに精密な評価が可能となるよう、MFMの観察分解能の向上のための検討を推進中である。

5 あとがき

以上述べてきたとおり富士電機では、超高密度記録が可能な垂直磁気記録媒体を実現するために、磁気記録層の高性能化だけでなく、軟磁性裏打ち層の磁区制御や評価解析技術を含めた総合的な研究開発を行っている。特に磁気記録層としては、100 ~ 200 G ビット/in²に対応するCoCrPt-SiO₂グラニューラ薄膜に加え、300 G ビット/in²以上の超高記録密度実現のポテンシャルがあると考えられるアモルファス薄膜の開発を強力に推進しており、近い将来大きな市場を形成すると予想される大容量AV-HDDに対応すべく、今後とも早期の技術確立に向けて鋭意努力する所存である。

なお、本稿をまとめるにあたり、有益なご助言をいただいた東北大学電気通信研究所の中村慶久所長および村岡裕明教授、ならびにNHK放送技術研究所の玉城孝彦主任研究員に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) Inomata, A. et al. Advanced Synthetic Ferrimagnetic Media. Abstracts of 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials. EB-02, 2001, p.180.
- (2) Takano, H. et al. A Practical Approach for Realizing High-Recording-Density Hard Disk Drives. Abstracts of The 8th Joint MMM-Intermag Conference, CA-01, 2001, p.131.
- (3) Shimatsu, T. et al. Thermal Stability in Perpendicular Recording Media. J. Magn. Magn. Mater. vol.235, 2001, p.273-280.
- (4) Kitano, M. et al. MFM Analysis of Recorded Bit Patterns of Perpendicular Media. J. Magn. Magn. Mater. vol.235, 2001, p.459-464.
- (5) Iwasaki, S. et al. Perpendicular Magnetic Recording with a Composite Anisotropy Film. IEEE Trans. Magn. vol.15, no.6, 1979, p.1456-1459.
- (6) 高橋慎吾ほか。二層膜垂直磁気記録媒体の裏打ち層の特性制御。日本応用磁気学会誌。vol.23, Supplement no.S2, 1999, p.63-66.
- (7) 渡辺貞幸ほか。二層膜垂直磁気記録媒体における反強磁性膜による軟磁性裏打ち層のスパイクノイズ低減。電子情報通信学会技術研究報告。MR2001-90, 2002, p.9-15.
- (8) 上住洋之ほか。CoCrPt-(Ta, B)垂直記録媒体の初期成長層の低減と磁気特性。日本応用磁気学会誌。vol.26, 2002. 投稿中。
- (9) 鄭用一ほか。AV用磁気ディスク媒体。富士時報。vol.72, no.11, 1999, p.594-597.
- (10) Uwazumi, H. et al. Recording Performance and Magnetization Switching of CoTb/CoCrPt Composite Perpendicular Media. J. Appl. Phys. 2002, in press.



*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。