

アルミ垂直磁気記録媒体

特集1

酒井 泰志 (さかい やすし)

武居 真治 (たけい しんじ)

原 直毅 (はら なおき)

1 まえがき

1956年に実用化されたハードディスクドライブ(HDD)は、近年その記録密度を急速に増加させ、今後も年率約40%で伸び続けると予測されている。このような著しい記録密度の伸長の結果、これまで用いられてきた長手記録方式が、低ノイズ特性と“熱安定性”とのトレードオフ問題により、ついに記録密度の限界に達してしまった。その長手記録方式に変わる記録方式として、垂直磁気記録方式が登場した。これは1975年にIwasaki⁽¹⁾らにより提案された記録方式である。長手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熱安定性が増すという特徴を持っており、原理的に高密度記録に適した記録方式である。2005年春には垂直磁気記録方式を採用したHDDが発売され、富士電機においても2006年から垂直磁気記録媒体の量産を開始している。

富士電機では、1999年から垂直磁気記録媒体の開発を開始し、実用化のための大きな課題とされてきた、低ノイズ特性、高い熱安定性と書き込み特性を両立させた垂直磁気記録媒体の開発に注力し実用化を図った。図1に垂直磁気記録媒体の層構成の一例を示す。アルミ基板上に、軟磁性裏打ち層(SUL:Soft Under Layer)、中間層、磁気記録層および保護層が順次積層され、さらにその上に潤滑層が塗布されている。一般的にそれぞれの層は、複数の薄膜に

より形成されている場合が多い。

本稿では、垂直磁気記録媒体用に求められる基板の性能、ならびに長手磁気記録媒体とは全く異なる組成および層構成を持つ垂直磁気記録媒体のSUL、中間層、磁気記録層、そして保護層に対する成膜技術の開発など、富士電機におけるアルミ垂直磁気記録媒体の開発状況について述べる。

2 垂直磁気記録媒体用基板

アルミ垂直磁気記録媒体で使用する基板は、従来長手磁気記録媒体で用いられてきた基板と同じく、アルミ母材にNi-Pめっきを成膜した後に、鏡面加工を行ったものであるが、長手磁気記録媒体用基板との違いは、その表面の平滑性にある。長手磁気記録媒体用基板では、電磁変換特性を向上させるために、基板の円周方向へ磁化を配向させる必要があり、ある制御した粗さを円周方向に付与するテクスチャ加工を行っている。一方、垂直磁気記録媒体では、SULの磁化容易軸方向が円周方向に配向していると記録時に隣接トラックの影響を受けやすいため、円周方向の配向は好ましくない。また、円周方向のテクスチャ加工は、SULの磁化容易軸を円周方向へと向けてしまう可能性が高くなるため、SULの磁化容易軸方向制御の観点からも好ましくない⁽²⁾。さらに、磁気記録媒体の高記録密度化のためには、磁性層と記録再生を行う磁気ヘッドとのスペーシングを低減し、ヘッドの浮上量を下げることが必要あり、基板表面にはより平滑性が求められる。平滑化のため、加工の容易な円周方向のテクスチャ加工を行っているが、ある低い粗さ以下に制御したテクスチャ加工としている。

磁気記録媒体においては、長期の高信頼性が求められるが、成膜を行う前の基板に付着している異物などを起因として、ミクロな腐食(コロージョン)が発生する恐れがある。そのため、基板表面の平滑性に加え、清浄性も非常に重要な項目となる。

富士電機では、アルミ基板の開発・生産も行っており、基板の作製から、その基板の表面加工、洗浄、そして成膜、評価まで一貫して行えることが、アルミ垂直磁気記録媒体

図1 垂直磁気記録媒体の層構成例



酒井 泰志

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部媒体開発部課長補佐。



武居 真治

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部媒体開発部課長。



原 直毅

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部媒体開発部課長補佐。

を開発するうえで、非常な強みとなっている。

③ 成膜技術

3.1 SUL

垂直磁気記録媒体の長手磁気記録媒体に対する大きな違いの一つは、SULがあることである。SULが存在することにより、ヘッドの記録磁界を長手記録方式の1.5倍程度にできるなど、大きなメリットがある^{(3),(4)}。しかしながら、そのために必要とされるSULの膜厚は、垂直磁気記録媒体の全膜厚の半分以上となってしまう。生産性やコストを考えると、このSULの膜厚はなるべく薄いことが好ましい。SULの薄膜化のためには、中間層や磁気記録層などの設計も重要であるが、SULの飽和磁束密度 (B_s) を上げることが最も効果的な方法である。初期の垂直磁気記録媒体においては、一般的にCoZrNbやCoZrTaといったCo基合金アモルファス膜が用いられた。これは、Co基合金薄膜は、 B_s および耐食性が比較的高く、SULとして必要なアモルファス性も容易に得られるためである。しかしながら、CoZrNbやCoZrTaの B_s は1.1~1.3T程度であり、磁性体の限界値である2.3T程度と比較すると、それほど大きな値ではない。

Fe ($B_s=2.1T$) を添加することにより、SULの B_s を上げることは可能であるが、その添加量を増すとともに耐食性は劣化していく。耐食性を向上させるために、非磁性元素であるCr, Ta, Nbなどを添加すると、せっかく上げた B_s を下げることになり、Feを添加した意味が薄らいでしまう。

富士電機では、SULの組成について理論的な考察をもとに検討を行い、高耐食性およびアモルファス構造を保ちながら、高い B_s を持つ組成を開発することに成功した。表1に新しく開発した組成と、これまで一般的に用いられてきたCoZrNbとの特性の比較を示した。 B_s はCoZrNbの1.1Tに対して約1.4倍の1.5Tまで高めることができた。この新しい組成においては、磁気記録媒体としての耐食性を示す指標であるCo溶出量は、CoZrNbよりも少なく良好な値を示している。さらに、X線回折(XRD)および透過型電子顕微鏡(TEM)の断面観察による構造解析から、アモルファス性に関しても良好な結果となっている。

図2には電磁変換特性上の性能を表す指標の一つである信号対ノイズ比(SNR)の規格値の書き込み電流依存性を示す。それぞれのSUL組成に対し、書き込み電流が23mAのときのSNRを基準に規格化した値で示している。CoZrNbの場合、書き込み電流の増加に伴い、SNRは急激に悪化する。これに対し、新組成ではCoZrNbに対して

表1 SUL組成に対する比較

	B_s (T)	Co溶出量 (ng/cm ²)	結晶構造
新組成	1.5	0.006	アモルファス
CoZrNb	1.1	0.018	アモルファス

膜厚が薄いにもかかわらず、悪化が抑えられている。これは、高書き込み電流時において、CoZrNbでは B_s がそれほど高くないために、磁気ヘッドから発生した磁束によりSULの磁化が完全に飽和してしまうため、磁気回路としての役目を果たすことができず、SULを通過しない漏れ磁束により、記録された信号が消されてしまうことに起因する。これに対し、新組成SULにおいては、 B_s が高いため、磁気ヘッドから発生した磁束がSULの磁化を飽和させることなく磁気ヘッドに還流するため、信号が消されてしまうことがない。

この新組成を採用することにより、SUL膜厚を従来の7割程度に薄くすることに成功し、生産性を大幅に向上することができた。さらに、耐食性も大幅に向上し垂直磁気記録媒体の信頼性も向上する結果となった。

SULの B_s を上げることに加え、軟磁性特性および異方性を適切に制御することは、垂直磁気記録媒体の性能を向上させるために非常に重要であることから、富士電機では積極的にこれらの開発を推進中である。

3.2 中間層

中間層は、磁気記録層の結晶配向性、分離性などを向上させるために用いられる。磁気記録層中の個々の結晶粒を、中間層の結晶粒の上に、1対1でエピタキシャル成長させることが理想的である。したがって、磁気記録媒体の高密度化のためには磁気記録層の結晶粒径を下げる必要がある。そのためには中間層の結晶粒径を下げる必要があるが、結晶粒を微細化することにより、配向性、分離性は逆に低下しやすくなる。そこで富士電機では、結晶粒を微細化しつつ、配向性および分離性を向上させるために、中間層を多層化する方法を採用している。これは微細化を行うための層、配向性を向上するための層、そして分離性を向上するための層をそれぞれ分けて成膜し、機能分離させるものである。そのために必要となる材料設計を行い、かつ精密に成膜プロセスの最適化を図っている。

図3に、富士電機で開発を行っている垂直磁気記録媒体の平面TEM像を示す。量産開始当時の磁気記録媒体(記

図2 規格化SNRの書き込み電流依存性

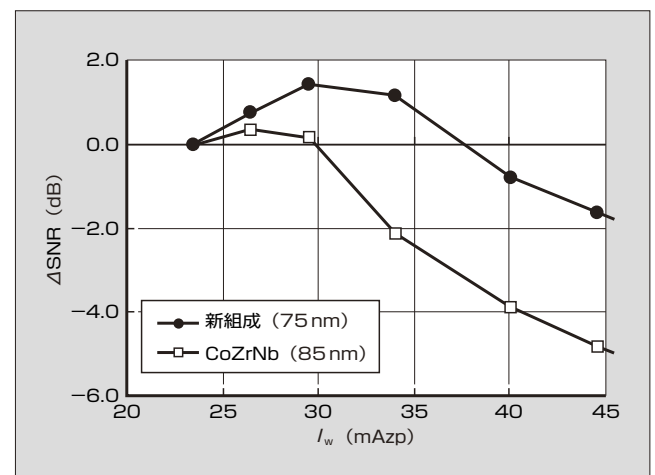
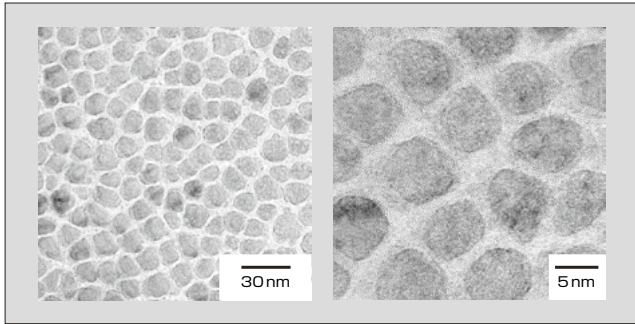


図3 平面TEM像



録密度 120 Gbits/in² 相当) においては、その結晶粒径は 7 nm 程度であったが、現在開発中のものは、6 nm 以下となっており、約 20% の微細化に成功している。さらに、分離性も良好であることが TEM 像からわかる。XRD を用いた解析の結果から、結晶の配向性を示す半値幅 $\Delta\theta_{50}$ は 2.5° 程度とかなり良好であることが確認された。

また、中間層の膜厚としては、上記特性を保ちながら、なるべく薄くすることが、磁気記録媒体の書込み性能を向上し、かつ生産性を上げるための鍵となっている。富士電機では、業界で最も薄い中間層膜厚を実現することに成功しており、競争力の高い垂直磁気記録媒体の量産ができるようになっている。

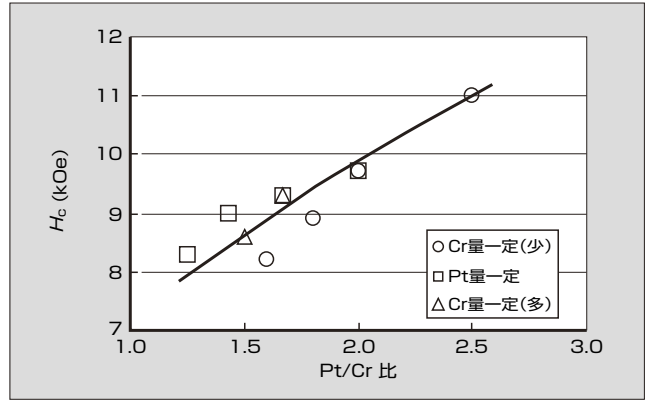
3.3 磁気記録層

富士電機では他社に先駆けて、SiO₂ を添加した CoPtCr (グラニューラー磁性層) を磁性層材料として用いることで、大きな磁気異方性定数 (K_u) と良好な偏析構造を持つ垂直磁気記録媒体が実現できること、また良好な記録/再生特性と高い熱安定性を示すことなどを積極的に発表してきた。^{(5)~(9)}

グラニューラー磁性層においては、CoPtCr の個々の結晶粒を非磁性アモルファスである SiO₂ が取り囲む構造とすることにより、CoPtCr の結晶粒同士の磁気的な相互作用を低減させて低ノイズ化を図っている。良好な偏析構造を持つ薄膜を形成するためには、SiO₂ の添加量も重要であるが、ガスのドーピングやその濃度、タイミングの制御など成膜プロセスが非常に重要となってくる。富士電機では、この成膜プロセス開発に重点を置いて取り組んでいる。

また前述のとおり垂直磁気記録媒体の特性を改善するため、中間層の結晶粒の微細化により磁気記録層の結晶粒の微細化を行っているが、その際もう一方の問題となるのは熱安定性である。結晶粒径が小さくなることにより、個々の結晶の体積 (V) が減少するため、熱安定性の指標である $K_u V / kT$ (k : ボルツマン定数, T : 絶対温度) が低下する。熱安定性を上げるためには、磁気記録層の膜厚を上げて V を増やす方法もあるが、記録ヘッドの書込み特性とのバランスがあるため、単純に膜厚を上げることはあまり得策ではない。したがって、膜厚磁気記録層の K_u を上げる必要がある。図4に磁気記録層中に含まれる Cr と Pt の比率に対する保磁力 (H_c) の変化を示した。必ず

図4 Cr と Pt の比率に対する H_c の変化



しも H_c と K_u は 1 対 1 で対応はしないが、ほぼ H_c と同様の傾向を示すため、 H_c の変化を見ることにより K_u の変化の傾向を見ることが出来る。膜中に含まれる Pt の比率が増加することにより、 H_c が単調に増加しており、 K_u を上げるためには Pt の比率を上げればよいことがわかる。しかしながら、単純に磁気記録層中の Pt 量を増やすとノイズが増加し、磁気記録媒体としての SNR 特性が悪化してしまう。そのため、Cr や SiO₂ といった他の元素とのバランスを考慮して組成設計を行う必要がある。

さらに、磁気記録媒体において良好な特性を実現するためには、組成のみではなく、層構成や前述の成膜プロセスなども非常に重要であり、それらを総合的に検討して磁気記録層を開発する必要がある。これは、富士電機の得意とするところである。

3.4 保護膜

保護膜は、文字どおり磁気記録媒体を保護するために形成されている。磁気記録層を腐食から防ぐ目的と、保護膜上に塗布した潤滑層とともに、ヘッドによる磨耗から磁性層を保護する役割を果たしている。保護膜には通常 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法で成膜したカーボン膜を適用している。一般的に、保護膜膜厚を薄くすることができれば磁性層とヘッドのスペーシングが狭まることから SNR は向上する。一方、保護膜が薄くなるのに伴い Co 溶出量は急激に増加する。つまり、保護膜の薄膜化により耐食性は急激に悪化する。このように、SNR と Co 溶出量はトレードオフの関係にある。

そこで、Co 溶出量を増やすことなく、保護膜膜厚を低減させることができる高密度カーボン保護膜の開発が必要となる。この要求に対し、研究レベルでは高密度カーボン保護膜を作製する装置は開発されているが、現時点で量産レベルに実用化されたものはない。

これに対し、富士電機では、従来の CVD 装置をそのまま使用し、成膜プロセスを変更することにより、高密度カーボン保護膜を開発することに成功した。新プロセスを用いて作製した垂直磁気記録媒体の Co 溶出量と保護膜膜厚の関係を図5に示す。従来のプロセスを用いた場合の結果も同じグラフ上に示した。保護膜を高密度化することに

図5 Co 溶出量の保護膜膜厚依存性

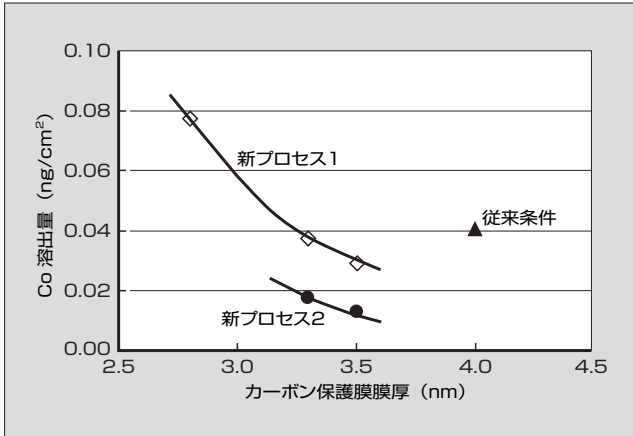
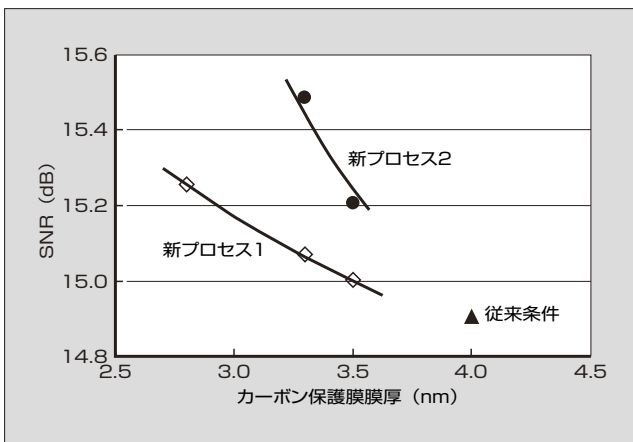


図6 SNRの保護膜膜厚依存性



より、3nm 程度の薄い膜厚においても、従来と同等の耐食性を示していることがわかる。さらに、図6には、新プロセスを用いて作製した垂直磁気記録媒体のSNRの保護膜膜厚依存性を示す。同じグラフ上に、従来プロセスを用いた場合のSNRも合わせて示した。新プロセスを採用することにより、膜密度が向上するばかりでなく、ヘッドの浮上性も向上し、すなわちより低浮上が可能となったので、同じ保護膜膜厚においてもSNRが向上した。このように、保護膜の密度を向上させるための新プロセスの開発により、薄膜領域においても耐食性がよく、かつ良好なSNRを示

す磁気記録媒体を作製することが可能となった。今後いっそうの薄膜化のため、継続して開発を推進中である。より薄膜化するために、新規の成膜方式の開発も並行して進めている。

4 あとがき

富士電機では、2006年春から垂直磁気記録媒体の量産を開始し、業界に先駆けて、いち早く生産ラインの垂直化対応を進め、長手から垂直への生産の移行を図った。現在では全生産量の9割強を垂直磁気記録媒体が占めている。今後もより生産性の高いプロセスを追求するとともに、垂直磁気記録媒体のさらなる高密度化のため、積極的に先行技術開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) Iwasaki,S., Takemura,K. An analysis for the circular mode magnetization in short wavelength recording. IEEE Trans. Magn., vol.11, 1975, p.1173-1175.
- (2) 酒井泰志ほか. 垂直磁気記録媒体の開発状況. 富士時報. vol.79, no.4, 2006, p309-312.
- (3) 中本一広ほか. 100 Gb/in² 垂直記録向け単磁極/TMRヘッド. 日本応用磁気学会誌. vol.27, 2003, p.124.
- (4) 中本一広. 日本応用磁気学会第135回研究会資料, 2004, p.29.
- (5) Oikawa, T. et al. Microstructure and magnetic properties of CoPtCr-SiO₂ perpendicular recording media. IEEE Trans. Magn., vol.38, 2002, p.1976-1978.
- (6) 竹野入俊司ほか. CoPtCr-SiO₂ グラニューラー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.
- (7) 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.
- (8) Uwazumi, H. et al. CoPtCr-SiO₂ granular media for high-density perpendicular recording. IEEE Trans. Magn., vol. 39, 2003, p.1914-1918.
- (9) 竹野入俊司ほか. CoPtCr-SiO₂ 垂直媒体の開発と課題. 日本応用磁気学会第135回研究会資料. 2004, p.9-16.



*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。