活性化磁気モーメントを用いた粒子性ノイズの簡略式と Co-CoO系斜め蒸着膜の媒体ノイズ

Simplified expression for particulate medium noise using an activation magnetic moment and the medium noise in the obliquely evaporated Co-CoO films

高山 孝信 久保田 隆* 飯村 誠* 平野 広* 中島 八重子
日立マクセル (株) 情報メディア開発研究所、*磁気テープ事業部

T. Takayama, T. Kubota*, M. Iimura*, H. Hirano* and Y. Nakajima
Recording Media Research Lab., Hitachi Maxell, Ltd., *Magnetic Tape Div., Hitachi Maxell, Ltd.

Abstract- To understand the noise characteristics in obliquely evaporated Co-CoO films, simplified formula of particulate component of medium noise was deduced. Using activation magnetic moment (A) as a mean magnetic moment of the constituent particles in the film, medium noise power was expressed proportional to the product of A , saturation magnetization and the film thickness. An excellent correlation between measured medium noise and calculated one were obtained, although the noise was slightly high in case of easy axis being inclined in the film plane.

1. 緒 言

Co-CoO系斜め蒸着膜は高密度、高C/N特性を有し、将来の高密度磁気テープ用材料として有望である^{1,2)}。既に、小型のデジタルビデオカメラ用のテープとして採用されているが、今後さらなる高密度化を進めるためには、媒体の低ノイズ化が重要な課題の一つである。しかし、その媒体ノイズの性質については必ずしも十分に明らかになっていない。

本蒸着膜においては、媒体ノイズが線記録密度の増加に対して、一定もしくは減少する特性を示すことから、ノイズの主成分は遷移ノイズではなく、相対的には粒子性ノイズの方が支配的であると推測される¹⁾。また、高分解能スピンSEMで本蒸着膜の記録磁化状態を観察した結果、磁化遷移領域

には大きな乱れが無いのに対し、ビット内部に多くの逆磁区を確認した³⁾。これは、上述の推測を支持する結果であると考ええる。

また、さらに、磁気粘性測定によって求められる活性化磁気モーメント($\Delta v \cdot I_{sb}$, Δv : 活性化体積, I_{sb} : 磁性粒子の飽和磁化)と蒸着膜の媒体ノイズの間に良い相関が得られることが分かった⁴⁾。ここで、 $\Delta v \cdot I_{sb}$ は媒体中の磁化反転の最小単位に相当する平均のモーメントであり、このことから媒体ノイズは磁気的な粒子の体積と強い相関があるといえる。

そこで、筆者らは、 $\Delta v \cdot I_{sb}$ を用いることによって本蒸着膜の媒体ノイズを定式化することを試みた。まず、 $\Delta v \cdot I_{sb}$ が媒体中の磁性粒子が持つ平均の磁気モーメントと考え、粒子性媒体ノイズにおける粒子体積の分散に関係する項⁵⁾の記述を検討するとともに、本蒸着膜における実測の媒体ノイズと比較した。

2. 実験方法

2.1 試料作製

図1に概略を示す連続巻取り式の蒸着装置を用い、6.4 μ m厚のPETフィルム上に、Co蒸気流の入射角度等が異なるA, Bの2条件で、膜厚と飽和磁化を変えて作製した。ここで、Co蒸気流の密度は一定とし、膜厚はフィルムの走行速度を、飽和磁化は導入する酸素の流量を変えることにより調整した。試料の概要を表1に示す。条件A, Bそれぞれについて膜厚を4種類、それぞれの膜厚につい

図1 連続巻取り式蒸着装置の概略。

表1 蒸着試料の概要。

条件A		条件B	
膜厚(nm)	飽和磁化(emu/cc)	膜厚(nm)	飽和磁化(emu/cc)
176~187	341~540	192~203	245~555
146~150	341~540	151~155	298~544
90~95	286~601	96~116	250~550
67~70	260~485	50~66	326~540

て飽和磁化を3から5種類変えており、全試料数は33である。なお、磁気特性評価結果で述べるが、条件Aの試料はBに比べ磁化容易軸が5°程度膜面から立ち上がっている。

2.2 静磁気特性測定

飽和磁化、保磁力および角形比は、試料振動型磁力計(VSM)を用い、試料の長手方向に磁界を掃引して測定した磁化曲線から求めた。なお、膜厚測定には触針式膜厚計を用いた。

磁気異方性は磁気トルクメータを用い、長手方向を含む法面内で磁界を回転して評価した。なお、本報告では薄膜形状に起因する面内の形状異方性エネルギー(2πMs²とした)を補正して求めたintrinsicな異方性エネルギーおよび磁化容易軸方向を示す。

2.3 磁気粘性測定

測定にはVSMを用い、室温で反転保磁力の反転磁界印加時間依存性を測定し、その傾斜から揺らぎ場を求め、活性化磁気モーメントを算出した⁴⁾。

2.4 記録再生測定

蒸着膜には保護膜を形成せずに、液体潤滑剤のみを塗布して記録再生の測定に用いた。

ヘッドにはギャップ長が0.28 μm、飽和磁束密度が1.5 TのFeTaNを磁極とするMIGタイプのヘッドを用いた。周速は2.5 m/sとし、7.5 MHzの矩形波電流で記録し、2 MHz成分のノイズパワーを観測した。

記録電流値は再生出力が最大となる条件とした。

また、参照試料として、市販のデジタルビデオカセットテープについても同様の測定を行った。なお、本報告では、ノイズの測定値については、参照試料に対する相対値で示すものとする。

2.5 Δv・Isbを用いた粒子性ノイズの記述

単位面積Sに生ずるノイズパワーN.P.は個々の粒子体積Viが持つ磁気モーメントVi・Isbを用いて

$$N.P. \propto \sum_i^N Isb^2 (V_i - V_m)^2 / S \quad (1)$$

と、粒子体積の分散に比例するものとした⁵⁾。ここで、Vmは粒子体積の平均、Nは単位体積(V=S・t, tは膜厚)中の粒子数である。なお、粒子体積の分布が例えば正規分布に従う様な条件では、分散は平均体積の2乗に比例すると考えられる。また、Δv・Isbが媒体中の磁性粒子が持つ平均の磁気モーメントと考えると

$$N.P. \propto (Isb \cdot V_m)^2 \times N / S \\ \approx (\Delta v \cdot Isb)^2 \times N' / S \quad (2)$$

と、N.P.はΔv・Isbを用いた式に置き換えられる。ここでN'はΔv・Isbで置き換えたときの粒子数であるが、媒体の飽和磁化Msを用いて

$$N' = Ms \cdot V / \Delta v \cdot Isb = Ms \cdot S \cdot t / \Delta v \cdot Isb \quad (3)$$

と、表わされるから、ノイズパワーは

$$N.P. \propto \Delta v \cdot Isb \cdot Ms \cdot t \quad (4)$$

と、簡略化した式で記述可能と考えられる。

なお、本簡略式では、粒子体積の分散が平均値の2乗に比例する様な分布条件を前提としている。従って、体積分布の条件がこれと異なる様な系では適用できないと考えられ、注意が必要である。

3. 結果及び検討

3.1 静磁気特性

図2に作製試料の飽和磁化Msに対する長手方向保磁力Hcと長手方向角形比Mr/Msを示す。条件A、B共に膜厚の違いによる保磁力の違いはみられないが、条件Aの方が同じMsに対してHcが低い傾向を示した。一方、Mr/Msは条件Aの場合に膜厚によって変化する傾向がみられ、膜厚が150から100 nm以

(a) 保磁力

(a) 磁気異方性エネルギー

(b) 角形比

図2 試料の保磁力と角形比。

(b) 磁化容易軸の立ち上がり角

図3 試料の磁気異方性特性。

下に減少するのに伴って増加した。また、条件A, Bについて比較すると、 H_c と同様、条件Aの方が Mr/Ms については低い傾向にある。

図3に作製試料の M_s に対する磁気異方性エネルギー K_u と磁化容易軸の長手方向からの立ち上がり角 α を示す。条件A, B共に膜厚の違いによる K_u の違いは殆どみられないが、条件Aの方が低 K_u の傾向を示した。一方、 α の測定結果はややばらつきがあるが、条件Aの方がBに比べ 5° 前後大きく、容易軸は膜面から立ち上がっている傾向を示す。

図2で示した様に条件Aにおいて長手方向の H_c 及び Mr/Ms がBに比べて低いのは、このように磁化容易軸が立ち上がっていることにより、長手方向の H_c 及び Mr/Ms が低く計測されたためと考えられる。

3.2 磁気粘性特性

図4に作製試料の M_s に対する活性化磁気モーメント $\Delta v \cdot I_{sb}$ を示す。 M_s が450 emu/cc以上の領域で、

図4 試料の活性化磁気モーメント。

条件Bの方がやや大きな $\Delta v \cdot I_{sb}$ を持つが、条件A, B蒸着膜はほぼ同等の $\Delta v \cdot I_{sb}$ を示した。また、条件A, Bの何れにおいても膜厚によって殆ど変化せず、概ね M_s にのみ依存している結果が得られた。

このように、 $\Delta v \cdot I_{sb}$ が膜厚に依らず M_s に対して

一定の値を示す点は従来の知見と異なり、興味深い。例えば、スパッタ媒体の様に磁性膜の下部から表面までエピタキシャル成長している材料では、膜厚の増加に伴って $\Delta v \cdot I_{sb}$ も増加すると考えられている。これに対して、本蒸着膜の断面を観察すると、カラム状の組織がみられるが、この結果はカラムの中に存在するCo粒子が磁氣的に分離された状態で存在していることを示唆する。

本報告の試料とは異なるが、 M_s が400 emu/ccの同様のCo-CoO斜め蒸着膜について、高分解能透過電子顕微鏡を用いて格子像レベルで断面を観察した結果、膜中で存在を確認できたCoは、カラムの成長方向に10から20 nm程度しか成長していない事、また、CoO結晶粒が断面のほぼ全面に粒状の形態で存在していることを確認した⁶⁾。 $\Delta v \cdot I_{sb}$ の測定結果と考え合わせると、カラムの成長方向へのCoの成長を妨げる形でCoO結晶粒が存在し、磁氣的な単位を小さくしているものと考えられる。

また、 $\Delta v \cdot I_{sb}$ は M_s が450 emu/cc付近以上の領域で急激に増加する傾向を示している。本報告の作製試料では、 M_s の増加と共にCoの粒子サイズが大きくなるだけでなく、450 emu/cc付近を境として、粒子間の磁氣的相互作用が強く働く様な膜構造になっていると推察される。

3.3 実測と簡略式によって求めた媒体ノイズの比較

まず、 $M_s \cdot t$ に対する媒体ノイズパワーの測定結果を図5に示す。参照試料として測定した市販のデジタルビデオカセットテープのノイズパワーを1として、測定値を示している。

A,Bそれぞれの条件で膜厚を固定した場合には、媒体ノイズは $M_s \cdot t$ と比較的良好な相関を示す。しか

図5 媒体ノイズと $M_s \cdot t$ の関係。

図6 媒体ノイズと $\Delta v \cdot I_{sb}$ の関係。

図7 媒体ノイズと $\Delta v \cdot I_{sb} \cdot M_s \cdot t$ の関係。

し、同じ $M_s \cdot t$ に対して、膜厚を増加させた時にノイズが減少する傾向を示す点については解釈が難しい。

次に、媒体ノイズパワーを $\Delta v \cdot I_{sb}$ に対して示すと図6のようになる。この場合もそれぞれの条件で膜厚が一定であればノイズが $\Delta v \cdot I_{sb}$ と良い相関を示しているが、ノイズの膜厚に対する依存性は不明瞭である。

以上に対して、2つのパラメータの積 $\Delta v \cdot I_{sb} \cdot M_s \cdot t$ を導入し、これに対する媒体ノイズの値を図7に示す。A及びBのそれぞれの条件において、全ての試料のノイズパワーが $\Delta v \cdot I_{sb} \cdot M_s \cdot t$ に比例し、高い相関関係を持っている。即ち、 $\Delta v \cdot I_{sb} \cdot M_s \cdot t$ で表わした簡略式は、本蒸着膜の媒体ノイズを良く記述できているものと考えられる。

なお、条件Aに比べ磁化容易軸がより長手方向に傾斜している条件Bの方が、同じ $\Delta v \cdot I_{sb} \cdot M_s \cdot t$ に対して2 dB程度高いノイズ特性を示した。この原因についてはさらに詳細な検討が必要と考える。今

回の作製試料の様に、磁化容易軸の傾斜が異なる系統の試料において、ノイズの $\Delta v \cdot Isb \cdot Ms \cdot t$ に対する依存性が異なることは測定法に起因する可能性も考えられる。

例えば、斜め蒸着膜の媒体ノイズは記録電流条件に大きく依存し、特に出力が最大となる記録電流値付近で大きく変化する⁷⁾。本報告では出力が最大となる記録電流条件でノイズを測定したが、磁化容易軸の傾斜が違うことにより、出力及びノイズの記録電流依存性の相対関係が異なる可能性がある。

また、 $\Delta v \cdot Isb$ の測定と記録再生特性測定における蒸着膜への印加磁界の履歴条件の違いにも十分注意する必要がある。図8に各々の測定における印加磁界履歴を模式的に示す。

(a)に示す様に本報告では長手方向における反転保磁力の反転磁界印加時間依存性から $\Delta v \cdot Isb$ を求めた。この場合、印加磁界は試料の長手方向のみである。これに対し、斜め蒸着膜の順方向記録の場合、(b)に示す様に、膜方面内で回転する磁界が印加され、最終的には磁化困難方向側に印加されるヘッド磁界によって磁化状態が決定される。

本材料系の蒸着膜においては、特に磁界印加方向によって残留磁化状態における磁区サイズが大きく異なることがスピンSEMを用いた観察により確認されており⁸⁾、今後、 $\Delta v \cdot Isb$ の磁界印加角度依存性等を併せて調べる必要があると考える。

図8 反転保磁力の磁界印加時間依存性測定と記録再生測定における磁界履歴の相違。

4. まとめ

Co-CoO系斜め蒸着膜のノイズ特性を理解するために、活性化磁気モーメントを用いた粒子性ノイズの簡略式の導出を試み、得られた簡略式による計算値と実測の媒体ノイズと比較することによって以下の結果を得た。

- 1) 活性化磁気モーメントを平均粒子体積が持つモーメントと置き換えることにより、粒子性ノイズのパワーは活性化磁気モーメント、飽和磁化及び膜厚の積に比例する式で求められた。
- 2) 実測のノイズは簡略式の結果と強い相関を示し、蒸着膜のノイズは本簡略式で記述可能と考えられる。

なお、磁化容易軸の傾きが異なる傾向の条件で作製した蒸着膜では、実測のノイズとの間の比例係数に若干の相違がみられ、さらに詳細な検討が必要と考える。

謝辞

本研究に関して有益な御討論、助言を頂いた㈱日立製作所中央研究所の山中一助主任研究員、吉田和悦主任研究員、また、当事業部の若居邦夫主管研究員、当研究所の奥脇東洋治主管研究員、水村哲夫主任研究員に深く感謝致します。

参考文献

- 1) T. Takayama, K. Yoshida, Y. Ogawa, A. Yano and O. Kitakami : Proceedings of The ICF 6, 1440 (1992).
- 2) H. Yoshida, K. Shinohara, M. Odagiri : J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 18, No. S1, 439 (1994).
- 3) 松山、孝橋、小池、高山 : 日本応用磁気学会誌, 20, 795 (1996).
- 4) K. Yamanaka, T. Takayama, Y. Ogawa, A. Yano and T. Okuwaki : J. Magn & Magn. Mater. 145 (1995) 255.
- 5) 佐竹、法橋 : 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR74-23 (1974).
- 6) 高山、棚橋、草田、矢野、小川 : 日本応用磁気学会誌, 19, No.S2, 79 (1995).
- 7) 高山、吉田 : 日本応用磁気学会誌, 17, No. S2, 18 (1993).
- 8) 孝橋、松山、小池、高山 : 第19回日本応用磁気学会学術講演概要集, 56 (1995).