DC 磁界により再生領域を制御した MAMMOS 再生

Aperture-controlled MAMMOS Readout with Applied DC Magnetic Field

野口 仁志, 山口 淳, 石田 弘毅, 高木 直之, 三谷 健一郎, 久米 実

三洋電機㈱ ハイパーメディア研究所, 岐阜県安八郡安八町大森 180 (〒503-0195)

H. Noguchi, A. Yamaguchi, H. Ishida, N. Takagi, K. Mitani, and M. Kume

SANYO Electric CO., Ltd., Hypermedia Research Center, 180, Ohmori, Anpachi-Cho, Anpachi-Gun, Gifu 503-0195

(2000 年 10 月 6 日受理, 2001 年 1 月 24 日採録)

Characteristics of new MAMMOS (Magnetic AMplifying Magneto-Optical System) were evaluated. This method needs only a dc magnetic field for expanding the magnetic domains. We obtained 43 dB of CNR for 0.25 μm packed domains by applying 10 kA/m of dc magnetic field. Compared with the conventional CAD (Center Aperture Detection) disk, the CNR for domains smaller than 0.4 μm was greatly improved.

Key words: magneto-optical recording, MAMMOS, GdFeCo readout layer, readout aperture, magnetic wall

1. はじめに

光磁気記録方式は高密度記録が可能であり, 音楽用記録媒体, コンピューター用外部記憶媒体などに広く利用されている. 光磁気記録媒体の記録容量は 3.5 インチサイズのディスクにおいては既にギガバイト (GB) のオーダーに入っているが, 今後のマルチメディア社会における使用環境を考えると, 更なる高密度化が必須である. 光磁気記録の高密度化技術としては, 磁区拡大再生技術 MAMMOS (Magnetic AMplifying Magneto-Optical System) を挙げることができる¹⁻³⁾. 磁区拡大再生技術は, 記録層に記録された微小磁区を, 再生層へ拡大転写を行って再生することにより, 微小記録磁区における信号振幅の低下を防ぐことができるとともに, 高分解能での再生も可能になる. 磁区拡大再生時のレーザー光照射方法, 磁界印加方法としては, 再生レーザー光の照射方式が DC 光かパルス光か,

また再生磁界が AC 磁界か DC 磁界かによりいくつかの方式が提案されている. AC 磁界印加のタイプでは 0.1 μm サイズの磁区においても 50 dB という高い CN 値を得られるのに対して⁴⁾, DC 磁界印加タイプでは, より簡易なシステムでの再生が可能になるという点でメリットがある. 今回, 室温で希土類リッチな GdFeCo 再生層を用いることにより, DC 磁界の印加で磁区拡大再生が可能になる方式を考案したのでその評価結果について報告する.

2. 本文

2.1 実験方法

ディスクの作製には RF マグネトロンスパッタを用いた. 膜構造を Fig. 1 に示す. ポリカーボネートの基板の上に SiN 干渉層, GdFeCo 再生層, SiN 中間層, TbFeCo 記録層, SiN 保護層が順次成膜された構造となっている. GdFeCo 再生層の膜厚は 30 nm であり, 室温で垂直磁化膜の特性を示す. また, 補償温度は約 120 °C である. AC 磁界印加型の MAMMOS 媒体における再生層では, その補償温度が室温近傍に設定されており, この点が本検討での DC 磁界による MAMMOS 媒体と大きく異なっている.

Table 1 に記録再生条件を示す. レーザーパルス磁界変調記録方式 (LP-MFM: Laser Pumped Magnetic Field Modulation) によって記録した磁区は, 最短マーク長で 0.125 μm である. 同方式によって 0.1 μm 程度の連続磁区が記録可能である事が確認されており⁵⁾, 0.125 μm サイズ

SiN
TbFeCo 50 nm
SiN 12 nm
GdFeCo 30 nm
SiN 60 nm
Substrate

Fig. 1 Sample configuration.

Table 1 Conditions for recording and reproducing.

Wavelength	635 nm
Numerical aperture(N.A.)	0.55
Linear velocity	2.4 to 4.8 m/s
Recording method	LP - MFM
Recording laser power	12 mW (duty 35 %)
Readout laser power	3.0 to 3.9 mW
Recording magnetic field	24 kA/m
Readout magnetic field	10 kA/m

の磁区は十分に記録可能な磁区長である。また、磁区拡大再生は、10 kA/m の DC 磁界を印加した状態で行った。

2.2 実験結果と考察

Fig. 2 に DC 磁界による磁区拡大再生の再生状態を示す。GdFeCo 再生層は、室温では希土類の副格子磁化が優勢な希土類リッチの特性を示している。再生時のレーザー照射により Fig. 2(a) に示すように媒体内に温度分布が生じ、GdFeCo の補償温度である 120 °C 以上に昇温された領域においては遷移金属リッチの特性へと変化している。今回の DC 磁界による磁区拡大再生では再生時には遷移金属リッチの領域を設け、この領域内で転写、再生が行われることになる。拡大再生のための印加磁界には DC 磁界を用いているが、再生層に磁界を印加することで、この遷移金属リッチの領域の存在を反映した 4 種の信号レベルを得ることができる。その信号レベルに関して Fig. 2(b) に示す。DC 磁界印加強度および印加方向に応じて生ずる Level 1 から 4 の状態と、それに対応する再生層の遷移金属リッチ領域、希土類リッチ領域の状態を示している。Level 1 ではスポット中央部分の遷移金属リッチ領域と周囲の希土類リッチ領域との間には磁壁は生じていない。しかし、同方向に印加する DC 磁界強度を強くすると、中央遷移金属リッチ部分で磁化が反転し、遷移金属リッチ領域と希土類リッチ領域との境界に磁壁が生成されるとともに Level 2 が生じる。磁界強度を再び弱くすると磁区収縮によって反転磁区は消滅し、先述の Level 1 へと戻る。Level 3 および 4 の発生は Level 1、および 2 が得られる印加磁界方向と逆に磁界を印加した場合であり、発生原理は Level 1 および 2 と同じである。磁界強度を強くした場合に観測される Level 2 および 3 の状態は、中央部分で磁化反転しており、得られるカー回転角の信号が遷移金属リッチ領域、希土類リッチ領域とで打ち消しあう方向に働き、再生信号レベルとしては Level 1 および 4 よりも小さくなる。

Fig. 3 には孤立信号の再生波形を示した。線速は 2.4 m/s、再生パワー 3.1 mW、再生磁界は 10 kA/m の再生条件である。マーク長は (a) 0.5 μm (スペース 1.0 μm)、(b) 0.25 μm (1.25 μm)、(c) 0.125 μm (1.375 μm) の信号パターンについて示しており、孤立信号のパターン周期はいずれも 1.5 μm である。また Level 3 および 4 の位置を図中に示した。同図に示す再生信号は印加磁界の方向によって Level 3-4 間において現れているが、印加磁界方向を逆にすると Level 1-2 間で再生信号が現れる。ここで示したいずれのマーク長においても信号振幅はほぼ同じ大きさを示している。そしてその信号レベルは飽和振幅レベル (Level 1-4 間) に対して 30 % の値である。遷移金属リッチ領域の磁化反転によって生じる Level 3-4 間の範囲で信号が現れることから、再生時にはこの遷移金属リッチの領域を再生窓として記録磁区が転写しているものと考えられる。また、それぞれの波形を見ると磁区長を短くする

Fig. 2 (a) Temperature profile of the readout layer and (b) Signal levels (1-4) appeared when the dc magnetic field was applied.

Fig. 3 Signal patterns from (a) 0.5 μm , (b) 0.25 μm , (c) 0.125 μm isolated domain patterns.

Fig. 4 Signal patterns from (a) 1.0 μm , (b) 0.5 μm , (c) 0.25 μm , (d) 0.125 μm packed domain patterns.

にしたがって、再生波形の信号巾も短くなっている。これらのパターンは磁界を印加した場合に現れ、印加磁界を0とすると Level 1 および 4 の初期状態へと戻る様子が観測された。

一方 Fig. 4 には連続磁区として記録した信号の再生信号を示す。磁区サイズは 0.125, 0.25, 0.5, 1.0 μm の4種類について示している。得られた再生信号は 0.125 μm では対飽和振幅比で 15 % であるが、磁区長 0.5 μm 以上では 30 % に至っている。

次に、得られた信号について評価をするために、磁気的超解像 (MSR) 時の再生信号振幅のシミュレーションを行った。Fig. 5 にその結果を示す。ここで、シミュレーション条件として光学系の波長や N. A. は Table 1 に示す値と同じとした。基板側の条件としては、トラックピッチが 0.6 μm 、溝深さが $\lambda/8$ とした。記録磁区形状は磁界変調記録で形成される矢羽根型とした。再生層には丸型の再生窓が形成されるものとし、横軸には再生窓のサイズとして窓の直径をとり、縦軸には 0.125 μm 連続磁区再生時において窓の中心位置にマークが存在する時とスペースが存在する時の信号レベルの差の絶対値を再生信号振幅として示した。再生信号振幅は対飽和振幅比で示している。この信号レベルは再生窓径の大きさと符号間干渉により決まる。すなわち再生窓径が 0.125 μm 以下では符号間干渉が起こらず窓

Fig. 5 Simulation result of signal amplitude for 0.125 μm packed domain. ($\lambda=635$ nm, N. A. = 0.55, track pitch = 0.6 μm , groove depth = $\lambda/8$) The shape of the aperture is assumed to be circular.

Fig. 6 Dependence of CN ratio on readout laser power. The domain size is 0.25 μm .

径の増加とともに信号振幅も増加するがそれ以上の窓径では符号間干渉による信号量の低下も同時に起こり始める。再生窓径が 0.32 μm の時には、0.125 μm 連続磁区の再生過程では、再生窓内にマークとスペースが合わせて3個存在することになり、窓の中心位置にマークが存在する時とスペースが存在する時の信号レベルが等しくなり振幅としては0となる。そして再生窓径 0.4 μm において振幅が最大となる。シミュレーション結果から分かるように再生窓径を最適化した場合でも、最大で 3 % 程度の信号レベルしか得られていない。実験結果では、Fig. 4 に示したように 0.125 μm の連続磁区で 15 % の振幅が得られている。よって単純に記録磁区が MSR で選択転写されたと仮定しただけではこの信号量は説明がつかない。先に再生層の遷移金属リッチ領域へ記録磁区が転写されていることを述べたが、この転写の際に同時に磁区が拡大して転写していると考えられる。また、転写される領域は遷移金属リッチ領域に限られることから、高分解能な再生が実現できている。

0.125 μm の孤立磁区では 15 % の信号レベルが得られているが、対飽和比で 15 % の信号量は、直径 0.25 μm の丸磁区で得られる信号に相当する。すなわち、磁区長 0.125 μm

Fig. 7 Dependence of C, N, and CN ratio on recorded domain size. The result is compared with CAD disk. (●■ DC-MAMMOS ○□ CAD)

の矢羽根磁区が、再生窓内では直径 0.25 μm の丸磁区にまで拡大転写されていることになる。また、消去は磁区収縮によるものと推定される。これは前述のように信号再生後に磁界を 0 に戻したり、もしくは磁界を印加したまま再生パワーを下げてでも転写磁区が消滅し Level 1 もしくは 4 に戻ることから推測される。

Fig. 6 は 0.25 μm 連続磁区について得られた CN 値の、再生パワー依存性を測定した結果である。再生時の線速は 4.8 m/s である。低パワー側では磁区の転写が生じないために再生信号は得られていない。再生パワーが 3.6 mW 付近で再生信号が現れ急激な立ち上がりを見せており、再生層内の高温領域に遷移金属リッチの領域が発生し、転写が行われていることを示している。そして、再生パワー 3.9 mW で 43 dB と最大の CN 値が得られているが、これ以上の再生パワー領域については、装置の制約によって測定ができなかった。

Fig. 7 は CN 値の磁区長依存性を示している。比較のために CAD (Center Aperture Detection) タイプの MSR

媒体で得られた特性を同時に示している。今回評価を行った DC 磁界 MAMMOS 媒体の CN 値の磁区長依存性は CAD 媒体のそれよりも長マーク側では同様のレベルを示すのに対して、短マーク側で大きな改善が見られている。具体的には 0.25 μm の磁区サイズでは CAD 媒体が 34 dB に対して DC 磁界 MAMMOS 媒体では 43 dB と約 9 dB 改善されている。この 9 dB の差は主にキャリアレベルの差に起因していることが分かるが、この結果も磁区拡大によって転写面積が増し、信号量が増えたためと解釈できる。DC 磁界 MAMMOS 媒体では CAD 媒体と比較してノイズレベルがやや高いが、転写拡大時の境界に発生する磁壁位置の揺らぎ等が要因と考えられる。よって再生窓形状を安定化させることで、より一層のノイズレベル低下を図ることが可能であると考えられる。

3. まとめ

補償温度 120 $^{\circ}\text{C}$ の GdFeCo 層を再生層とすることで、DC 磁界印加によって生じる磁区拡大再生波形を測定、評価した。その結果、パルス磁界変調記録方式によって記録された磁区長 0.25 μm サイズの連続磁区で 43 dB の CN 値を得た。この磁区拡大再生方式では再生時の AC 磁界が不要であることから、システム構成が容易になるというメリットがあり、システムマージンの拡大にもつながる。0.125 μm 程度の磁区長を最短磁区とし PR(1, 1)を用いることで AS-MO フォーマットの約 2 倍の容量を狙う事が可能である。ノイズの低下を図るなどの CN 値のより一層の向上と、エラーレート評価等が今後の課題である。

文 献

- 1) N. Takagi, K. Mitani, H. Awano, K. Shimazaki and N. Ohta: Pros. J. Magn. Soc. Jpn. 23, Suppl. S1, 161 (1999).
- 2) A. Yamaguchi, Y. Suzuki, K. Tanase, S. Sumi and K. Torazawa: IEEE Trans. Mag., Vol.33, 3217 (1997).
- 3) H. Takao, K. Shimazaki and N. Ohta: Pros. J. Magn. Soc. Jpn. 23, Suppl. S1, 165 (1999).
- 4) N. Takagi, K. Mitani, M. Kume, H. Awano, N. Ohta and S. Tsunashima: Digest of International conference on composites engineering, 853 (2000).
- 5) 高木直之, 山口 淳, 野口仁志, 久米 実, 網島 滋, 熊澤正幸, P.Fischer: 第 24 回日本応用磁気学会学術講演概要集, 早稲田, 2000, P437.