光変調オーバーライト可能光磁気四層膜媒体の磁界特性

Magnetic Field Characteristics in the Quadri-Layered M-O Film with Overwritability

中木義幸・深見達也・徳永隆志・堤 和彦

三菱電機(株), 尼崎市塚口本町 8-1-1(〒661)

Y. Nakaki, T. Fukami, T. Tokunaga and K. Tsutsumi

Mitsubishi Electric Corp., 8-1-1 Tsukaguchi-honmachi, Amagasaki 661

The external magnetic field characteristics were investigated for the exchange-coupled quadri-layered magento-optical film that was applied to the direct overwriting by light intensity modulation. The external field dependence in recording characteristics was studied through the temperature dependence of the reversal field and mechanism of the direct overwriting. In the direct overwriting by light intensity modulation, the upper limit of the external field existed due to the low process. Here the initializing process of the writing layer that is unique to the quadri-layered film did not participate in the lower limit of the external field. Wide external field margin was obtained for a practical use. So the effective fluctuation of the external field did not affect the recording laser power margin.

Key words: magneto-optical media, direct overwriting, light-intensity modulation, exchange-coupling, multi-layered film

1. はじめに

光磁気ディスクにおいてオーバーライト機能の実現は、従来の光ディスクメモリの機能をいっそう向上するものとして期待されている。ダイレクトオーバーライト技術としては、光強度変調型^{1)~4)}、磁界変調型⁵⁾、パルス変調型⁶⁾などの方式が提案されている。この中で光強度変調型は、高速記録、両面媒体の使用が可能であり、また従来の非オーバーライト光変調記録方式と同等な非接触性を保つことが可能であるため、基本的に高い信頼性を有する⁷⁾。またバイアス磁界印加用の外部磁界発生源として永久磁石を用いることができるため、ドライブ装置の省電力化に対して有利である。

我々は、装置の小型化対応が容易な一つの小型外部磁石のみを用いて記録を行う記録方式を提案し^{3), 4), 8)}、この方式に用いる交換結合4層膜記録媒体の開発を進めてきている。

本論文では、交換結合4層膜記録媒体において記録再

生特性で得られる外部磁界依存性を、各層の反転磁界の温度特性およびオーバーライトメカニズムにより考察した。

2. 実験方法

実験に用いた光磁気ディスクの構成を Fig. 1 に示す。直径 130 mm, 案内溝が 1.6 μm ピッチのガラス-2P 基板に DC マグネトロンスパッタ法により誘電体層、メモリ層、記録層、スイッチ層、初期化層、保護層を順に成膜して作成した。磁性層は垂直磁気異方性を有する希土類-遷移金属非晶質合金膜であり、隣接する層は互いに交換結合している。誘電体層と保護層は Ar と N₂ の混合ガスによる反応性スパッタにて SiN_x を各 700 Å 成膜した。

記録再生特性は、記録媒体を成膜後、記録層、スイッチ層および初期化層の副格子磁化方向を一方向に磁化させた後に評価を行った。このときの光学ヘッドのレーザ波長は、780 nm, 対物レンズの開口比 N.A. は 0.53 である。

各磁性層の反転磁界特性は、カールプトレサーおよび VSM を用いて調べた。このサンプルの VSM を用いて調べた室温での磁気特性および膜厚を Table 1 に示す。

Fig. 1 Disk structure.

Table 1 Materials and their magnetic properties

Layer	Material	Dominant	Ms [emu·cc ⁻¹]	Tc [°C]	Thickness [Å]
1st	TbFeCo	Compensation	—	210	700
2nd	GdDyFeCo	RE	170	260	1300
3rd	TbFeCo	TM	140	150	200
4th	TbCo	RE	200	>300	600

Fig. 2 CNR contour map with varying the external field and the high power.

3. 実験結果と考察

3.1 記録再生特性における外部磁界依存性

Fig. 2 に外部磁界・ハイパワー変化に対する CNR 依存性を示す。線速度 9.4 ms^{-1} 、ローパワー 6 mW、再生パワー 1 mW、記録パルス幅 60 ns で、5.55 MHz の信号を 2.1 MHz の信号上にオーバーライト記録を行った。

高磁界、高ハイパワー域でオーバーパワー記録による CNR 低下が生じている。これとは別に低パワー側でも外部磁界を過剰に印加すると CNR 低下が生じている。これは通常の光磁気記録では見られない特性である。しかしながら、数 100 Oe の広い外部磁界マージンが得られているために、最適記録条件近傍においては実効的な外部磁界の揺らぎはハイパワー記録マージンに大きく影響しないことが分かる。

3.2 各磁性層の反転磁界の温度依存性

前節にみられる外部磁界強度と記録レーザー光強度の関係を考察するために、各磁性層の反転磁界の温度特性を検討した。

Fig. 3 Mechanism of high process. The filled arrow denotes the TM sublattice magnetization.

3.2.1 ハイプロセス

Fig. 3 にハイプロセスにおける各磁性層の反転磁界の温度依存性およびハイパワー記録動作における副格子磁化方向の挙動を示す。黒矢印は遷移金属副格子磁化方向、黒丸は磁性層がキュリー温度以上に昇温している状態を示し、上から順にメモリ層、記録層、スイッチ層、初期化層である。 T_{ci} , H_{ci} および H_{wi} は、第 i 磁性層のキュリー温度、保磁力、隣接する磁性層から受ける交換結合力であり、記録層に対する交換結合力 H_{w2} はメモリ層とスイッチ層の副格子磁化方向が反平行の状態の値である。また実線および破線は各磁性層の磁化反転曲線であり、破線は記録動作で不要な磁化反転を起こす反転磁界曲線である。メモリ層に関しては、他の層の磁化反転により測定困難であるため、他サンプルとの類推で図示した。

ハイプロセスでは記録膜を記録層のキュリー温度近傍に昇温する。降温過程で、外部磁界による記録層への書き込み、書き込まれた副格子磁化方向の記録層からメモリ層への転写および初期化層、スイッチ層による記録層の初期化を行うことで完了する。

外部磁界による記録層への書き込み動作は、通常のキュリー点記録であるが、記録層以外の他の 3 磁性層の浮遊磁界の影響を考慮する必要がある。過剰な記録膜の温度上昇を行うと外部磁界により初期化層の副格子磁化の反転が生じ、初期化プロセスが生じなくなりオーバーライト記録が不可能となる。このため、ハイプロセスにおける許容温度範囲は、記録層の磁化反転曲線と初期化層の磁化反転曲線に挟まれた領域となる。

ハイプロセスにおける許容外部磁界範囲は、記録層への書き込みのための磁化反転および記録層の初期化プロセスの二つにより決定される。しかしながら、記録層の

Fig. 4 Mechanism of low process.

初期化に必要な磁界 ($>H_{c2} - H_w$) は室温より高い温度で負になっているため、記録層の書き込み磁界のみが外部磁界の下限を規定しており、外部磁界の下限の低下は記録層の磁界依存性に着目するのみでよい。

このサンプルのように初期化プロセスが生じる温度以上で記録層が補償温度を有する場合には、外部磁界は記録層の初期化を促進するように作用する⁹⁾。このため、記録層の初期化に必要な磁界が室温以上で必ずしも負にならなくてもよく、この時外部磁界の下限は、少なくとも $H_{c2} - H_w$ の最小値より大きくなる。また初期化プロセスが生じる温度以上で記録層が補償温度を有さない場合は、外部磁界は初期化を妨げるように作用し、外部磁界を $H_w - H_{c2}$ より小さくする必要がある。このため記録層とスイッチ層との交換結合力を大きくしないと外部磁界の上限が低下し、許容外部磁界範囲を狭くする原因となる。

3.2.2 ローププロセス

Fig. 4 にロープロセスにおける、各磁性層の反転磁界の温度依存性およびローパワー記録動作における副格子磁化方向の挙動を示す。図における記号は Fig. 3 と同様である。メモリ層の反転磁界曲線 ($H_{w1} - H_{c1}$) のハイプロセスにおける反転磁界の温度依存性との相違は、記録層の副格子磁化方向の相違により記録層がメモリ層に及ぼす交換結合力の作用が異なることによる。

ロープロセスでは、降温過程で初期化状態にある記録層の副格子磁化方向がメモリ層へ転写される。このためメモリ層の副格子磁化方向が記録層の副格子磁化方向に揃う温度 ($H_{w1} - H_{c1}$ の反転磁界曲線より高温) 以上に昇温する必要がある。ここで記録層への書き込みが生じるとハイプロセスをとるために、ロープロセスにおける許容昇温温度範囲は、メモリ層の反転磁界曲線と記録層の磁化反転曲線に挟まれた領域となる。ロープロセスにお

Fig. 5 The margin map obtained from the static characteristics.

Fig. 6 The magnetic state of the memory layer with varying the external field and d.c. laser power.

ける許容外部磁界は、記録層の副格子磁化方向のメモリ層への転写が生じる磁界範囲でありメモリ層の反転磁界特性でその上限が規定される。

以上のように記録膜の昇温温度範囲および外部磁界範囲が決定され、Fig. 5 にその領域をまとめて示す。

再生時の許容温度範囲は、メモリ層の反転磁界曲線より低温側に位置する。このためメモリ層の反転磁界特性を反映し、外部磁界を増加させると耐再生パワーが増加する傾向がある。

3.3 レーザ d.c. 照射特性

前節で考察した磁界依存性を検証するために、外部磁界強度とレーザー光の d.c. 照射パワー変化に対するメモリ層の磁化状態変化を検証し、その結果を Fig. 6 に示す。この時の線速度は $5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ である。ハイプロセス、ロープロセスに対応する領域は、差動 d.c. 信号出力レベルがディスク 1 周全体で飽和 (ここでは $\pm \theta_k$ と表す) している領域を示している。それ以外の領域は未飽和であり $+\theta_k$ と $-\theta_k$ が混在している。また再生領域範囲は、あらかじめ記録している $0.76 \mu\text{m}$ ビット長相当の単一信号の CNR が 1 dB 以下の変化である範囲を示す。Fig. 6

Fig. 7 Schematic diagrams of the laser beam recording on different external field intensity.

は集光レーザ光による実験結果であるため、浮遊磁界の影響等が加算されているものの、Fig. 5 を反映した結果が得られた。

またロープロセス領域において、高磁界側で d.c. パワーの許容領域は上限が低下してくることで狭くなる結果が得られた。この原因は以下のように考察することができる。レーザ照射時での最高到達温度付近における各層の磁化を Fig. 7 に示す。レーザ照射により記録層の最高到達温度はそのキュリー温度近傍になっている。レーザ照射による昇温では、溝を横切る方向のレーザ光強度の分布および熱拡散のために溝近傍とランド中心で最高到達温度に差がある。低磁界の場合 (a) ではレーザ光照射によっても記録層への書き込みは生じていないが、高磁界 (b) ではランド中心で記録が起これ、降温後にはランド中心ではハイ状態、溝近傍でロー状態になっていると思われる。このため高磁界側でロープロセス領域の上限が低下すると思われる。

4. ま と め

光強度変調ダイレクトオーバーライト可能な交換結合 4 層記録媒体特性において次のことが明らかになった。

1. 外部磁界強度の下限はハイプロセスに関係する。交換結合 4 層膜特有な初期化プロセスが生じる温度以上で記録層が補償温度を有する場合には、外部磁界は初

期化を促進するように働く。しかしながら、初期化プロセスは外部磁界の助けを受けずに生じるため、外部磁界強度の下限は初期化プロセスには関与せず、記録層の熱磁気記録特性によって規定される。ここで記録層の他の 3 層、とりわけ、初期化層からの浮遊磁界の影響を考慮する必要がある。

2. 外部磁界強度の上限はロープロセスに関係する。この上限は、光強度変調オーバーライト方式に特有なもので、過大な磁界を印加に対して、記録層からの磁気転写が阻害されるためである。

3. 記録膜を最適化することにより、許容外部磁界範囲は実用上十分なほど広くとれる。この時、最適記録条件において、実効的な磁界の揺らぎは記録レーザパワーマージンに大きく影響しない。

本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた当社関係各位に深く感謝いたします。

文 献

- 1) J. Saito, M. Sato, H. Matsumoto and H. Akasaka: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**, Suppl. 26-4, 155 (1987).
- 2) K. Aratani, M. Kaneko, Y. Mutoh, K. Watanabe and H. Makino: *Proc. SPIE*, **1078**, 258 (1989).
- 3) T. Fukami, Y. Nakaki, T. Tokunaga, M. Taguchi, K. Tsutsumi and H. Sugahara: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, Suppl. 28-3, 371 (1989).
- 4) 中木, 深見, 徳永, 田口, 堤: 日本応用磁気学会誌, **14**, 165 (1990).
- 5) F. Tanaka, S. Tanaka and N. Imamura: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**, 231 (1987).
- 6) H-P. D. Shieh and M. H. Kryder: *Appl. Phys. Lett.*, **49**, 473 (1986).
- 7) 松本, 飯田, 斎藤, 佐藤, 赤坂: 平成 2 年電気学会全国大会 S. 17-2 (1990).
- 8) T. Fukami, Y. Nakaki, T. Tokunaga, M. Taguchi and K. Tsutsumi: *J. Appl. Phys.*, **67**, 4415 (1990).
- 9) Y. Nakaki, Y. Fujii, T. Fukami, T. Tokunaga and K. Tsutsumi: *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 1900 (1990).

1990 年 12 月 3 日受理, 1991 年 1 月 16 日採録