ランド/グループ基板への均一スパッタ成膜の検討

徳永 隆志*・藤井 善夫*・山田 康一*

(受理1998年4月30日, 掲載決定1998年9月12日)

Study of Uniform Sputtering Deposition Method for
Magneto-Optical Disk with Land/Groove Substrate

Takashi TOKUNAGA, Yoshio FUJII and Kouichi YAMADA

(Advanced Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation
8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki, Hyogo, 661-8661, Japan)

(Received April 30, 1998, Accepted September 12, 1998)

Uniformity of the thickness of magnetic film on land/groove substrate was improved using collimated-sputtering method. The magnetic properties of TbFeCo films and interface wall energy of exchange-coupled double layer DyFeCo/TbFeCo films were compared with conventional sputtering method. There was not much difference of the magnetic properties and interface wall energy between two sputtering methods. It was confirmed that this method was effective in production of high recording density MO disk using land/groove substrate.

1. ま え が き

近年, 画像データに代表されるマルチメディアデータ等の大容量ファイルを取り扱う際に, 信頼性が高く可換媒体である光磁気 (MO: Magneto-Optical) ディスクがストレージメディアとして普及しつつある. MOディスクのさらなる大容量化への要求に対する技術開発がすすみ, 短波長レーザや高開口数 (NA: Numerical Aperture) レンズによるレーザスポットの微小化による記録密度の向上が実現されている. MOディスクの第1世代である3.5インチ-128 MByte 容量において1.6 μm であったトラックピッチ (T_p) を, 第3世代となる3.5インチ-640 MByte 容量では1.1 μm と狭 T_p 化することで面記録密度が向上している. $T_p=0.85 \mu\text{m}$ とさらに狭 T_p 化した仕様が現在 ISO にて規格審議されている.

MO ディスクでの狭 T_p 化によりいくつかの問題が生じる. まず, 記録領域のランド部のみならずグループ部

の幅が狭まるためトラックサーボ特性が低下する. さらに, 再生時に隣接トラックから信号が混入するクロストークと記録時に隣接トラックに記録してしまうクロスライトの問題がある. これらの問題に対して解決策が考案されており, その1つに既に実用化されているランド/グループ記録方式がある. 従来はランド部とグループ部の何れかのみをデータ記録領域としていたのに対し, ランド部とグループ部の両方をデータ記録領域とすることで面記録密度を高めた方式で DVD-RAM において採用されている. そして, クロストークは溝深さの最適化で抑制できることが報告され¹⁾, 特に熱記録方式である MO ディスクの狭 T_p 時に問題となるクロスライト対策には, 溝深さを深くすることで隣接トラックへの熱干渉が抑制できる深溝 (Deep Groove) 方式の採用が不可欠と言われている²⁾. 将来の MO ディスクの高密度化に必須技術であるランド/グループ記録方式では, 記録領域であるランド部とグループ部に均一な記録媒体を成膜することが求められる.

ターゲットから基板へスパッタ粒子を平行鉛直入射させることでランド/グループ基板へ均一な膜形成が実現

* 三菱電機㈱先端技術総合研究所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1)

できる。ターゲットと基板間の距離を大きくすることで基板への入射角分散を小さくできスパッタ粒子を平行入射できる。しかし、この方式では装置構成が大型化するとともに成膜速度が低下する欠点がある。そこで小型装置で実現可能な方法としてコリメート・スパッタ法³⁾がリフトオフ法に適した方式として提案されている。これはターゲットと基板間に例えばグリッド状のコリメータを設け入射方向を制御する方法で、スパッタ粒子が通過する貫通部のアスペクト比が大きいほど入射角制御に効果的である。しかし、コリメータへの膜付着量の増加による膜剥離等の問題も指摘されている。

本研究では現行装置に容易に適応可能な方法としてターゲットと基板間に平行にシールド板を取り付けることによりスパッタ粒子の斜め入射成分を低減させるコリメート・スパッタ法による成膜方式について検討した。実験にはMOディスクの成膜方法として一般的な自公転方式のDCマグネトロンスパッタ装置を用い、従来成膜方式により成膜したランド/グループ基板ディスクでの成膜形態と比較検証する。さらに、MOディスクの記録膜として一般的な希土類—遷移金属 (RE-TM: Rare Earth-Transition Metal) 磁性膜であるTbFeCo膜の磁気特性へのシールド板を用いたコリメート・スパッタ法の影響について調べ、さらに多層磁性層を用いたMOディスクの高性能化に重要なパラメタとなる界面磁壁エネルギーについてはTbFeCo/DyFeCo交換結合2層膜の評価結果を報告する。

2. 実験方法

成膜は到達真空度 1.2×10^{-4} Pa以下に排気した後、DCマグネトロンスパッタ法により行った。RE-TM磁性膜はそれぞれ6インチ径のTbまたはDyのREターゲットとFe₉₀Co₁₀のTMターゲットによるDC同時スパッタ法を用いて自公転している基板上に成膜した。ランド/グループ基板ディスクでの下地層および保護層のSiN_x膜はアルゴンと窒素ガスを用いたDC反応スパッタ法を用いた。

ランド/グループ基板への成膜状態は断面をSEMにより観察した。保磁力 H_c と飽和磁化 M_s 、および界面磁壁エネルギー σ_w を振動試料型磁力計 (VSM: Vibrating Sample Magneto-meter) により測定した。成膜速度は触針式膜厚計により測定した膜厚より求めた。

3. ランド/グループ基板ディスクへの均一成膜の検討

3.1 従来成膜ディスクのSEM観察

ランド幅とグループ幅がそれぞれ0.8 μ m、溝深さ85

Fig. 1 SEM pictures of MO disk cross-section deposited without shield plates method.

nmのガラス2P製のランド/グループ基板上に、SiN_x下地層 (60 nm)、DyFeCo磁性層 (180 nm)、そしてSiN_x保護層 (90 nm) を成膜した後、表面にUV樹脂の保護膜をコーティングしたMOディスクの断面のSEM写真をFig. 1に示す。

ランド/グループ記録方式はランド部とグループ部の両方を記録領域として用いるために、各々の幅は等しく形成される。また、熱クロストーク対策のために深溝の場合にはグループ壁面の傾斜角は急峻になる。しかし、現在のMOディスクの量産に一般的に用いられている均一性の高い自公転方式のスパッタ装置で成膜した場合にはターゲットからの斜め入射成分のため、ランド部とグループ部の境界部、つまりグループ部の壁面にもスパッタ粒子が付着堆積する [Fig. 1 <A部>]。膜厚が厚くなるほどグループ部の壁面への付着量が無視できなくなり、徐々にグループ部は狭くなっていく。従来成膜法では、Fig. 2(b)に示すようにターゲットから基板へのスパッタ粒子の入射方向には垂直以外に多くの斜め成分を含んでいることにより、グループ部とランド部境界壁面への膜付着やランド部によるシャドウ効果によるグループ部の端部での膜付着量の減少等が生じると推測できる [Fig. 1 <B部>]。従って、従来方式での膜形成は平坦なランド部では均一に行われるが、グループ端部では、凹

Fig. 2 Models of deposition.

Fig. 3 Schematic diagram of sputtering system with shield plates method.

状の溝形状のために不均一分布になる。この膜形成の違いはランド部とグループ部での録再特性差を引き起こし問題となる。

3.2 シールド板を用いた成膜方法の検討

ランド部とグループ部に均一成膜を実現させるためには、ランド部とグループ部境界壁面へ付着しグループ部を狭くする基板へ斜め入射するスパッタ粒子を除去し、Fig. 2(a)のように鉛直入射させればよい。そこで、Fig. 3に示すようにターゲットと基板間にスパッタシールド板を取り付けることでスパッタ粒子の斜め入射成分を遮蔽したコリメート・スパッタ法による成膜方法を試み、その磁気特性への影響について評価した。シールド板の追加以外、ターゲットと基板間距離等の配置は従来方法と同じである。成膜実験はスパッタチャンバー内のターゲットと基板間にφ130 mm 基板の通過範囲（成膜領域）に対しターゲット直上部分にのみに開口部を設けたシールド板を取り付けて行った。基板とターゲット間に製作したシールド板を平行に2枚配置した構成とすることで斜め成分の遮蔽性を高めている。

Fig. 4 Radial distribution of deposition rate of Dy.

Fig. 4にシールド板を用いて成膜したDy膜の成膜速度の半径位置依存性を従来成膜法とともに示す。シールド板によりターゲットからのスパッタ粒子の一部が遮蔽されたことにより成膜速度は約40%に低下した。φ130 mm ディスクで半径30 mm から60 mm の記録領域での膜厚分布が±0.8%から±9.5%と悪化した。これはディスク中央部ほど回転成膜中にシールド板の開口部上を多く通過するため、開口部の形状の最適化により膜厚分布の改善は可能と考えられる。

3.3 改良成膜ディスクのSEM 観察

Fig. 1で示した通常成膜ディスクと各層の膜厚を等しい構成をシールド板を取り付けて成膜したMOディスクの断面SEM写真をFig. 5に示す。通常成膜法において65°であったMOディスクの溝端面部[Fig. 1<A部>]の成長方向が、シールド板によるコリメート・スパッタ法を用いることにより成長方向は74°と、垂直方向に矯正されており、さらに基板グループ部における磁性膜の均一膜厚領域もグループ幅0.8 μm に対し51.6%から69.2%へ拡大した。シールド板によりスパッタ粒子の斜め入射成分を低減させることでランド/グループ基板へ成膜の均一性が改善できることが確認できた。今回の成膜方法においても完全に斜め成分を除去することはできず、依然グループ端面部への付着や磁性膜厚の不均一性は残っている。さらなる改善はターゲットと基板間の距離を長くする等の対応により期待できる。記録時の隣接トラックへの熱干渉（熱クロストーク）対策として期待されている深溝基板の溝深さは100 nm 以上とさらに深くなると考えられており、より厳しい制御が求められる。しかし、完全に端面への膜付着をなくすことは困難であると思われ、成膜方法以外に溝形状に勾配を付けシ

Fig. 5 SEM pictures of disk cross-section deposited with shield plates method.

ャドウ効果を低減する等の工夫が必要と思われる。

4. 改良成膜方法と磁気特性

4.1 TbFeCo 膜の磁気特性評価

シールド板を用いた改良成膜方法によって膜形成状態が改善できることがわかった。ここでは斜め入射成分を抑えた成膜方法であるコリメート・スパッタ法を用いた磁性膜の磁気特性について従来方法との比較評価を行った。膜厚=100 nm の TbFeCo 膜を Tb と Fe₉₀Co₁₀ ターゲットを用いた 2 元同時スパッタ法により Si 基板上に成膜した。TbFeCo 膜の磁気特性は Tb と FeCo の積層周期に依存するため⁴⁾、本実験では成膜速度と基板公転数を積層周期が約 0.7 nm で一定となるように設定した。膜組成は各ターゲットへの投入電力を調整することで制御し、さらに保護膜として SiN_x 膜を設けている。Fig. 6 に各成膜方法での TbFeCo 膜の飽和磁化 M_s と保磁力 H_c の Tb 組成依存性を示す。いずれの成膜方法においても Tb23 at% で補償組成となった。また、Fig. 7 に垂直磁気異方性エネルギーに対応する飽和磁化 M_s と保磁力 H_c の積 $[M_s \times H_c]$ を示す。シールド板を取り付けて成膜した TbFeCo 膜の TM-rich 組成の保磁力 H_c が、従来成膜方法に比べ小さくなり $M_s H_c$ 積が低下した原因

Fig. 6 Dependences of coercivity H_c and saturation magnetization M_s on Tb content of TbFeCo films.

Fig. 7 Dependence of $M_s \times H_c$ on Tb content of TbFeCo films.

は不明であるが、MO ディスクの記録膜として用いられる補償組成近傍での磁気特性に、成膜方法による顕著な差異はなかった。

4.2 DyFeCo/TbFeCo 交換結合 2 層膜の界面磁壁エネルギー

次にシールド板をもちいたコリメート・スパッタ法を用いて成膜した交換結合 2 層磁性膜の界面磁壁エネルギー σ_w に対する影響を調べた。複数の RE-TM 膜を積層させた交換結合多層膜を記録膜を用いることで MO デ

Fig. 8 Dependence of interface wall energy, σ_w on Dy content of the 1st layer of DyFeCo/TbFeCo films.

ディスクの高性能化が実現できることが知られている。例えば、3.5インチ-640 MByte 容量の MO ディスクに採用されている光変調ダイレクトオーバーライト媒体や⁵⁾、光学分解能を越えた微小な記録マークの再生を可能にする磁気超解像媒体⁶⁾などがある。これらの交換結合多層膜では層間に作用する交換力を制御し、単層膜では得られない特性を生み出している。交換力は層間の界面磁壁エネルギーに比例するため、この界面磁壁エネルギーは重要なパラメタである。

2つの成膜方法により第1層を DyFeCo 膜、第2層を補償組成近傍の TbFeCo 膜として、第1層の DyFeCo 層の Dy 量のみを変化させた DyFeCo/TbFeCo 交換結合2層膜を作成し、VSM により測定した第1層の DyFeCo 層の磁化ループのシフト量より界面磁壁エネルギー σ_w を求めた⁷⁾。Fig. 8 に示す界面磁壁エネルギー σ_w の Dy 量依存性において、DyFeCo 層の RE 量が増加するほど界面磁壁エネルギーは減少し、TbFeCo 交換結合2層膜での結果⁸⁾と一致した。界面磁壁エネルギーの値は成膜方法に依存しなかった。界面磁壁と構造は異なるが同程度のエネルギー量であるブロッホ磁壁の磁壁エネルギー σ_B は交換スティフネス定数 A と垂直磁気異方性エネルギー K_u により、

$$\sigma_B = \sqrt{A \cdot K_u}$$

で表される。垂直磁気異方性エネルギーと相関のある $M_s H_c$ 積が前述のように成膜方法に依存しなかった結果から、界面磁壁エネルギーについても同様に成膜方法に依存しなかったと考えられる。

5. ま と め

ランド/グループ基板、特に溝深さの深い基板へのスパッタリングにおいて均一な膜を得るために、ターゲットと基板間にシールド板を設け、スパッタ粒子の斜め入射成分を抑制したコリメート・スパッタ法を用いて TbFeCo 膜や交換結合2層膜の成膜を試み、以下の結果を得た。

- (1) 完全な斜め入射成分の抑制には至らなかったが、シールド板により膜形成状態が改善できることが確認できた。
- (2) 2元同時スパッタ法により成膜した TbFeCo 膜は補償組成近傍での磁気特性に従来成膜方法と差異はなかった。
- (3) DyFeCo/TbFeCo 交換結合2層膜の界面磁壁エネルギーは各々の成膜方法ではほぼ等しかった。

これらのことから、シールド板によりスパッタ粒子の斜め入射成分を抑制したコリメート・スパッタ法を用いて成膜した RE-TM 膜の磁気特性、特に界面磁壁エネルギーに従来の通常成膜と差が見られなかったことから同等の記録膜がランド/グループ基板により均一な成膜ができることが確認できた。

〔文 献〕

- 1) A. Fukumoto, S. Masuhara and K. Aratani: Tech. Dig. of Symp. Optical Memory '94, p. 43, (1994).
- 2) S. Morita, M. Nishiyama and T. Ueda: Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36 (1997) 444.
- 3) S. M. Rossmagel, D. Milkalsen, H. Kinoshita and J. J. Cuomo: J. Vac. Sci. Technol. A9 (1991) 261.
- 4) 有宗, 前田, 山田: 第9回日本応用磁気学会学術講演概要集, 28pA-14 (1985) 211.
- 5) T. Fukami, Y. Nakaki, T. Tokunaga, M. Taguchi and K. Tsutsumi: J. Appl. Phys., 67(9) (1990) 4415.
- 6) K. Aratani, A. Fukumoto, M. Ohta, M. Kaneko and K. Watanabe: Proc. SPIE 1499 (1991) 209.
- 7) T. Kobayashi, H. Tsuji, S. Tsunashima and S. Uchiyama: Jpn. J. Appl. Phys., 20 (1981) 2089.
- 8) T. Tokunaga, M. Taguchi, T. Fukami, Y. Nakaki and K. Tsutsumi: J. Appl. Phys., 67(9) (1990) 4417.