高信頼性光磁気ディスクの開発

桐野文良* 荻原典之** 高橋正彦*
新原敏夫* 太田憲雄***

1. 開発の背景と狙い

光磁気記録は、(1)書換え可能である、(2)不揮発性メモリーである、(3)高密度記録が可能である、(4)ヘッドクラッシュなど媒体破壊を生じない、など光記録と磁気記録の両者の特徴を合わせ持っている⁽¹⁾。光磁気記録材料に要求される特性は、(1)大きな磁気光学効果を有すること、(2)記録や消去に適合した磁気特性の温度変化を示すこと、の二つであり、これは同時に満足されなければならない。これらを満たす材料として見出されたのが、希土類元素と鉄族元素との非晶質合金であり、中でも、 TbFeCo 系記録膜が磁気的に最も優れており⁽²⁾、現在最も広く用いられている。

ところで、 TbFeCo 系記録材料の実用化において、次の三つの課題があった。(1)記録膜の磁気特性と記録磁区形状の関係について十分に検討されていない点である。磁区形状は、再生を行う上で信号出力が変動したり、情報を読み出す時に誤りを生じたりすることがあるので、安定した磁区が得られる磁気特性を見出す必要があった。(2)記録膜の耐食性である。 Tb や Fe は化学的活性が高く、大気中の水や酸素と容易に反応し、酸化物や水酸化物を容易に形成する。そのため、磁気特性が変動し、情報の記録や再生が不安定になったり、情報が消失したりする。(3)書換え特性である。記録や消去時にレーザー光により膜の温度をキュリー温度近傍まで上昇させる。ところが、記録や消去を繰返すと非晶質である記録膜の構造緩和等で磁気特性が変動し、信号出力が低下したり記録や再生ができなくなる場合があった。著者等は、 TbFeCo 系記録膜の光磁気記録への実用化にあたり、上記の三つの課題を解決し、実用的な光磁気記録技術を開発した。

2. 記録膜の磁気特性と記録磁区形状との関係の検討

磁気特性の優れている典型的な3種類の TbFeCo 膜を

* (株)日立製作所中央研究所研究員

** 日立マクセル(株)筑波研究所

*** (株)日立製作所、現在：日立マクセル(株)筑波研究所
Study on High Reliability Magneto-Optical Disks; F. Kirino*, N. Ogihara**, M. Takahashi*, T. Niihara*, N. Ohta*** (*Hitachi Ltd. ****Hitachi Maxcell Ltd.)

1991年1月23日受理

用いた光磁気ディスクを作製し、膜の磁気特性と記録磁区形状との関係について詳細に調べた。用いた記録膜の磁気特性は、キュリー温度は膜に照射されるレーザーパワーの関係から200°C一定とし、磁区形状に著しく影響をもつ補償温度を130°C(A膜、 $\text{Tb}_{28}\text{Fe}_{60}\text{Co}_{12}$)、90°C(B膜、 $\text{Tb}_{27}\text{Fe}_{62}\text{Co}_{21}$)、室温以下(C膜、 $\text{Tb}_{22}\text{Fe}_{68}\text{Co}_{10}$)とした。このような温度特性を有する磁性膜を用いたディスクに一定条件で記録し、形成された記録磁区を偏光顕微鏡にて観察した。その結果、外部印加磁界に依存して磁区のサイズや形状が変化することが分かった。得られたドメイン長と、外部磁界との関係を図1に示す。A膜では低磁界側でドメイン長の変化が大きく、逆にC膜では高磁界側でドメイン長の変化が大きい。これに対して、B膜では外部磁界に対するドメイン長の依存性が極めて小さい。記録膜としてはB膜のような特性が適している⁽³⁾。

図1 各種磁気特性を有する記録膜に外部磁界を変化させて記録したときの磁区幅の変化。

以上の検討より、光磁気記録に重要な磁気特性であるキュリー温度は200°Cで、補償温度は80±20°Cであることを明らかにした⁽³⁾。

3. 記録膜の耐食性向上の検討

まず、 TbFeCo 膜に生ずる腐食は、基礎的な検討から次の3種類に分類できることを明らかにした。すなわち、(1)水と酸素が作用する湿食、(2)主に酸素が作用する乾食、そして、(3)ハロゲンイオン等の腐食性イオンが作用する孔

食, の三つである. 耐食性の評価には, 各タイプの腐食が選択的に促進される次のような環境を用いた. 湿食は高温高湿度 (80°C-95%RH) 環境中に試料を放置した時の Kerr 回転角の変化で, 乾食については高温 (150~250°C) 乾燥空气中に試料を放置したときの飽和磁化の変化で, そして, 孔食は 1 N NaCl_{aq} 中に試料を浸漬したときの光透過率の変化で評価した. Nb や Cr 等の不働態化元素及び Pt や Pd 等の貴金属元素を中心に, 20種類の元素を TbFeCo 系に添加し記録膜の耐食性の向上を試みた. 試料は, ガラス基板上に 100 nm の膜厚の TbFeCoX 膜 (X: 添加元素) をスパッタ法により形成した. その結果, TbFeCo 系の Fe の 1 部を各種元素 (X) で置換したとき, 磁気特性の変化が小さく, かつ湿食, 乾食, および孔食の 3 種の腐食に対して, 同時に抑制効果のある元素は, Ti, Ta, Nb, そして Cr であった. 次に, 先の腐食抑制に効果のあった元素として Nb を例に, 添加濃度と磁気特性および耐食性について詳細に調べた. TbFeCo 系の Fe の 1 部を Nb で置換すると, Kerr 回転角は Slater-Pauling 曲線に従って変化し 7 at% 以上の添加で非磁性となった. この変化は部分磁化モデルで説明できる. 耐食性は, 湿食および乾食については Nb 濃度の増大と共に向上した. 孔食は, 2~3 at% 以上の添加で抑制効果が表われた. ディスク寿命の推定を湿食反応の速度を測定することにより行った. そのため, 相対湿度を 95% 一定のもと, 温度を 45°C, 60°C, 80°C と変えた環境中へ試料を放置し, Kerr 回転角が初期の 30% 減少 (信号出力が 1 dB 低下に相当) するまでの時間を反応速度と仮定した. この結果を Arrhenius プロットし室温における膜寿命を推定した (図 2) と, TbFeCo 膜に対して約 8 倍の延命効果があった⁽⁴⁾.

さらに, Nb, Cr, Ti, Ta 等を添加した TbFeCo 膜の耐

図 2 TbFeCoM 膜を 80°C-95%RH 中に放置した時の Kerr 回転角の変化の温度依存性.

ディスク構造

SUB/SiN_x/TbFeCoNb/SiN_x

記録条件

記録位置 : r=45mm

記録パワー : Pw=9mW

記録周波数 : f=1MHz

duty 比 : 50%

図 3 TbFeCoNb 膜を記録膜に用いた光磁気ディスクに形成された記録磁区.

食性が向上するメカニズムをオージェ電子分光法, 電気化学的手法等で調べた. その結果, 湿食および乾食については膜表面に形成された不働態層により酸素の膜内部への拡散が抑制されたため腐食の進行速度が低下したものと考えた. また, 孔食については孔が発生するとその周囲に添加元素が濃縮したため, その成長が抑制されたり, 膜表面に形成された不働態層により孔の発生する確率が低下したものと考えた⁽⁴⁾.

最後に, Nb 添加 TbFeCo 記録膜を用いた光磁気ディスクを作製しその特性を測定した. Nb を添加しても得られる記録磁区形状は図 3 に示すように良好であり, TbFeCo 膜を用いた場合と同様の特性が得られた.

4. 記録/消去の繰返し特性の検討

光磁気記録において記録や消去は, 記録膜をキュリー温度近傍まで上昇させて行うことから, 非晶質記録膜において熱安定性が重要である. この点について詳細に検討した. まず, 保護膜・Kerr エンハンス膜として SiN_x を用いた基板/SiN_x/TbFeCoNb/SiN_x なる 3 層構造の光磁気ディスクに約 0.7 μm の記録磁区を形成し, これを完全消去 (0.2 μm のトラックオフセットを考慮し約 1.3 μm 幅の磁区を形成) する動作を約 1000 回繰返したところ, 信号出力が約 7 dB 低下した. 計算機のシミュレーションによる記録膜の推定温度は, 消去時に 300°C 以上の部分が幅広く存在していた. そのため, 記録膜の構造緩和により磁気特性に変化を生じ信号出力が低下したものと考えた. そこで, 記録膜の温度を可能な限り低く抑え, かつ完全消去できる条件を見出す必要があった. そのために, 記録媒体の積層

図4 ディスク構造と記録膜の温度分布との関係。

構造を制御することが有効と考え、積層構造と記録/消去の繰返し特性との関係について実験および計算機シミュレーションの両面から検討し、記録膜の熱安定性の向上を図った。3層構造(基板/SiN_x/TbFeCoNb/SiN_x)と4層構造(基板/SiN_x/TbFeCoNb/SiN_x/Al 合金層)を選び繰返し特性を比較した。計算機シミュレーションから、1.25 μmの磁区幅を得る場合の記録膜の温度分布を求めた(図4)。4層構造のディスクでは3層構造のそれに比べて300°C以上の領域はほとんど存在していない。そのために、構造緩和が生じにくいので磁気特性が変化しないと推定した。そこで、4層構造の記録媒体を用いたディスクを作製し、記録/再生/消去を繰返したときの信号出力の変化を測定した。その結果、10⁷回以上繰返しても信号出力は低下しなかった⁽⁵⁾。

以上の検討から、熱拡散型の4層構造の記録媒体を用いることにより記録/消去特性を向上させることができることを明らかにした。

5. 製品の信頼性検討

SiN_x/TbFeCoNb/SiN_x/Al 合金層なる4層構造の記録媒体を基板上に形成したディスク2枚を接着剤で貼り合わせた両面記録型の光磁気ディスクの信頼性を調べた。このディスクの記録再生特性は、搬送波対雑音比: C/N=48

図5 光磁気ディスクを60°C-95%RH中に放置したときの欠陥レートの経時変化。

図6 記録/再生/消去を繰返したときの繰返し回数とキャリアレベルおよびノイズレベルの変化。

dB(ディスク位置: $r=30$ mm)であり、形成された磁区は良好な形状を有していた。次に、このディスクを60°C-95%RH中に放置したときの欠陥レート(情報の記録等ができない欠陥部分の割合)の経時変化を調べた(図5)。その結果、2000時間以上この環境中に放置しても欠陥レートは変化しなかった。最後に、記録/再生/消去の繰返し特性を測定したところ、実用化に必要な10⁶回を越え10⁷回以上の記録/消去を繰返しても信号出力の変化は見られなかった(図6)。

以上の検討から、Nb添加 TbFeCo膜を記録膜に用い、4層構造の記録媒体とすることにより、高信頼性を有する光磁気ディスクを開発した⁽⁶⁾。

6. 製造実績と特許

現在、本構造の光磁気ディスクを用いた書換え型の大容量文書ファイルシステムとして当社および日立マクセル(株)より製品化されており、オフィス等で広く用いられている。

代表的特許は、磁性膜の組成や耐食性、およびディスクの構造と書換え特性に関して米国および欧州に5件出願中である。国内では特開昭60-83305, 特願昭63-181824, 63-188018, 63-306053, 等がある。

文 献

- (1) 尾上守夫監修, “光ディスク技術”, ラジオ技術社刊, (1989)。
- (2) N. Imamura and C. Ohta: Jpn. J. Appl. Phys., **19**(1980), L731。
- (3) M. Takahashi, T. Niihara and N. Ohta: J. Appl. Phys., **64**(1988), 262。
- (4) 桐野文良, 荻原典之, 太田憲雄: 光メモリーシンポジウム論文集, (1988), p. 23。
- (5) 桐野文良, 太田憲雄, 荻原典之, 島崎勝輔, 吉弘昌史: 電気学会マグネテックス研究会概要集, (1989. 12)。
- (6) N. Ogihara, K. Shimazaki, Y. Yamada, M. Yoshihiro, A. Gotoh, H. Fujiwara, F. Kirino and N. Ohta: Jpn. J. Appl. Phys., **28**(1989), 61。