日本応用磁気学会誌 21, 333-336 (1997)

TbFeCo/極薄 DyFeCo 構造における磁界感度特性

Magnetic Field Modulation Recording Characteristics of a TbFeCo/Ultra-Thin DyFeCo Double Layer

石田方哉・川瀬健夫・根橋 聡・下田達也

セイコーエプソン(株),長野県諏訪郡富士見町富士見 1010 (1939-02)

M. Ishida, T. Kawase, S. Nebashi, and T. Shimoda

Seiko Epson Corporation, 1010 Fujimi, Fujimi-machi, Suwa-gun, Nagano 399-02

We studied the magnetic field sensitivity in a double layer which was composed of a TbFeCo recording layer with low Tb content and a high- T_c RE-rich DyFeCo ultrathin layer. The Tb₁₄Fe₈₂Co₄/Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ double layer has better magnetic field sensitivity than a TbFeCo single recording layer. We concluded that the high C/N of the double layer disk was caused by the large M_s of the recording layer and suppression of micro-domain nucleation by the ultra-thin DyFeCo layer.

Key words: magnetic field modulation, magnetic field sensitivity, TbFeCo, recording layer, ultra-thin DyFeCo layer, exchange coupling, large magnetization

1. はじめに

光磁気記録の磁界変調記録方式は、オーバーライトが可能で あり、ピットエッジ記録に適している.より高いデータ転送 レートを実現するためには、磁界反転の高速化が必要であり、 そのためには、記録に必要な変調磁界の低減、すなわち媒体の 高磁界感度化が望まれる.また、媒体の高磁界感度化は、低消 費電力、磁気ヘッドの設計の点からも非常に重要である.変調 磁界の低減を目的として、数多くの研究が行われており、記録 層に隣接した極薄の Co あるいは PtCo 層の形成により、磁界 感度が向上することが報告されている^{1),2)}.以前に我々は、補償 組成付近の記録層に接した極薄の RE-rich RE-TM 記録補助層 の形成による磁界感度の向上を報告した³⁾.本研究では、 TbFeCo 記録層と極薄 RE-rich DyFeCo 層の交換結合膜で、特 に、補償組成からはずれた低 Tb 組成の記録層の光磁気記録媒 体の磁界変調記録特性について検討を行った.

2. 実 験

トラックピッチ 1.6 μ m の溝を形成したポリカーボネート基 板上に、AlSiN 膜 75 nm/TbFeCo 記録層 20 nm/Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ 記録補助層 (0~7 nm)/AlSiN 膜 20 nm/反射膜 60 nm の順に スパッタ法で作製した.作成した媒体の構造を Fig.1 に示す. 極薄の記録補助層は TbFeCo 記録層に接して基板と反対側に 形成した.組成の添え字は at% を示す.スパッタガスとして Ar を用い、記録層は 1.3 mTorr、記録補助層は 0.8 mTorr の ガス圧の下で成膜を行った.極薄の記録補助層の膜厚について は、スパッタレートから求めたスパッタ時間で調整した.ス パッタレートは、記録層が 0.14 nm/s、記録補助層が 0.07 nm/ s である.TbFeCo 記録層の Tb 組成は 14 から 21 at% まで変 化させた.組成分析は蛍光 X 線分析装置により行った.また、 媒体の評価は,対物レンズ NA: 0.55, 波長 830 nm の光ヘッド を用いて,磁界変調記録法により行った.評価条件は線速 8.3 m/s,ドメイン長 1 μm である.

3. 結果および考察

Fig. 2 は,作製した媒体の CN 比の記録磁界依存性を示す. 以下では,記録層と記録補助層を積層した構造を UTEX (ユー テックス: <u>Utra-Thin EX</u>change coupled film)構造と呼ぶ. 図中〇は,作製した単層記録媒体の中で最も磁界感度が良好 で,その組成が Tb₂₀Fe₇₃Co₇ のデータである.一方,図中●は, 記録層 Tb₁₄Fe₈₂Co₄ 記録補助層 Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ の UTEX 構造の データであり,UTEX 構造の中では最も良好な磁界感度であ る. Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ 記録補助層のキュリー温度は 280°C であっ た.ここで示した UTEX 構造の記録補助層の膜厚は 3.5 nm で ある. UTEX 構造により,単層記録媒体に比べて低磁界での CN 比が向上することがわかる.また,UTEX 構造により,Tb 含有量が 14 at% と非常に少ない TbFeCo 膜を記録層として 用いることが可能であることが確かめられた.

Fig. 3 は、記録補助層膜厚と、記録変調磁界 ±60 Oe での CN 比との関係を示す.記録層 Tb₁₄Fe₈₂Co₄/記録補助層 Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅の組み合わせで、記録補助層の膜厚を変化させた 媒体を作製し、その磁界変調記録特性を調べた. 図から、記録 補助層が 1 nm と非常に薄い膜厚においても磁界感度が改善さ れることがわかる.磁界感度は、記録補助層膜厚が 2 nm で飽 和し、2~5 nm の範囲でフラットな特性を示す.記録補助層の 作製マージンが広く、実用上好ましいと考えられる.

Fig. 4 は,記録層中の Tb 含有量と,記録変調磁界 ±60 Oe での CN 比との関係を示す. UTEX 構造の場合,各記録層組成 において記録変調磁界 ±60 Oe で最も高い CN 比が得られた 記録補助層膜厚のデータを示している.単層記録媒体の場合



Fig. 1 Disk structure of the UTEX (<u>Ultra-Thin</u> EXchange coupled film) disk.



Fig. 2 Dependence of the CNR on the magnetic modulation field. $\bigcirc: Tb_{20}Fe_{73}Co_7$ single recording layer (20 nm), $\oplus: Tb_{14}Fe_{82}Co_4$ (20 nm)/Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ (3.5 nm).

は、補償組成から Tb 量が減少するに従い CN 比が低下し、磁 界感度が低下することがわかる. Tb 含有量が 15 at% 以下で 急激に磁界感度が低下する. 一方、UTEX 構造では、Tb 量の 減少に伴い CN 比が向上し、磁界感度が改善していることがわ かる. Tb 含有量が 15 at% 以下の組成範囲まで、Tb 含有量の 低下とともに磁界感度が向上する.

Fig. 5 に Tb 量が 14 at% の記録層の場合の, 単層と UTEX 構造のカーヒステリシスループを示す. Fig. 5(a) から, 単層記 録膜は保磁力が非常に小さく, 角型比が 1 より小さいことがわ かる. このため, Tb 14 at% の単層記録媒体では磁化情報を保 持するには不十分な磁気特性と考えられる.一方, UTEX 構造 の場合, Fig. 5(b) から, 記録補助層を設けることで保磁力が 3 kOe 以上と増大し, 角型比も 1 であることがわかる. Tb 含有 量の少ない記録層ながら, 磁化情報が安定に保持できると考え られる.

Fig. 6 は,記録層中の Tb 含有量と記録層の磁化との関係を示す.ここでは,記録層単層の磁化の値を示した.補償組成の20 at% 付近から Tb 含有量が減少するに従い磁化の値は増大する.磁界感度が改善された Tb 含有量 14 at% の TbFeCo 膜



Fig. 3 Dependence of the CNR (at ± 60 Oe) on the DyFeCo thickness in the Tb₁₄Fe₈₂Co₄ (20 nm)/Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ double layer disks.



Fig. 4 Dependence of the CNR (at ± 60 Oe) on the Tb content of the recording layer. \bigcirc : TbFeCo single recording layer, \bigcirc : TbFeCo (20 nm)/Dy₃₀Fe₃₅Co₃₅ (1.5-4 nm).

では 300 emu/cc 近くまで増大している. この磁化の値は,補 償組成付近の 20 at% の TbFeCo 膜の 2 倍程度である. この結 果から,記録層として RE-TM 合金以外の,磁化の大きな材料 を用いた記録媒体においても,磁界変調記録が可能であること が期待できる.

次に、Tb 含有量の非常に少ない TbFeCo 記録膜と、RE-rich DyFeCo 記録補助層との組み合わせにより磁界感度が向上す る機構を調べるために、偏光顕微鏡による記録磁区観察を行っ た.案内溝のないポリカーボネート基板に、記録層として Tb_{15.3}Fe₇₅₉Co_{8.8}、記録補助層として Dy_{29.3}Co_{70.7} の UTEX 構造 の光磁気記録膜を形成した媒体に、ドメイン長 4.15 μ m の磁区 を磁界変調法により記録した.ここで用いた記録媒体の記録補 助層は、キュリー温度が若干異なるものの磁界感度およびその 記録補助層膜厚依存性は、先に示した UTEX 構造媒体とほぼ 同程度である.Fig.7 は、記録補助層の膜厚を 0,1.5,7 nm と 変えた媒体に、記録変調磁界 100,150 [Oe] で記録した磁区を 示している.記録補助層が 0 nm、すなわち単層記録媒体の場 合は、磁区のコントラストが非常に悪い.これは、非常に細か なマイクロドメインが多数形成されているためと考えられる. 記録補助層が 1.5 nm の場合は、単層に比べてコントラストが



Fig. 5 Kerr hysteresis loops of the $Tb_{14}Fe_{82}Co_4$ films. (a) TbFeCo single recording layer, (b) TbFeCo (20 nm)/ $Dy_{30}Fe_{35}Co_{35}$ (3.5 nm).

日本応用磁気学会誌 Vol. 21, No. 4-2, 1997



Fig. 6 Dependence of the M_s on Tb content of the TbFeCo films.

高くなっている.マイクロドメインは観察されるものの,その サイズとして光学顕微鏡の分解能程度の大きさが観察される. 記録補助層 7 nm の場合は,記録磁区間とバルクイレーズ領域 に差が全く認められず,マイクロドメインが形成されていない と考えられる.以上の磁区観察の結果から,記録補助層の形成 により,マイクロドメインの形成が抑圧され,記録補助層の形成 により,マイクロドメインの形成が抑圧され,記録補助層の形成 により,マイクロドメインの形成が抑圧され,記録補助層の の形成 により、マイクロドメインの形成が抑圧され,記録補助層の の形成 により、マイクロドメインの形成が抑圧され,記録補助層の により、マイクロドメインの 形成が抑圧され,記録補助層が の の により、マイクロドメインの 形成が抑圧され,記録補助層 の 形成 により、 この特徴をよく表しているのが,記録補助層が 7 nm の媒 体に、変調磁界 100 [Oe] で記録した磁区の写真である.この場 合には、磁界変調記録に特有な矢羽根型形状になっていない. 記録補助層が厚く形成された場合に、矢羽根型の先端のような 細かな形状の磁区を形成するのが困難になると考えられる.

以上の結果から、Tb 含有量が少ない記録層と極薄 RE-rich DyFeCo との UTEX 構造により磁界感度が改善される機構は 次のとおりであると考えられる.記録層中のTb 含有量が減少 すると磁化 M_s の値が大きくなる.光磁気記録において、磁区 を形成する駆動力は M_sH_{ex} (H_{ex} は外部磁界)の静磁エネル ギーから生ずる.したがって, *M*_s が大きい磁性膜の方が外部磁 界に対する応答は良好である.しかし, *M*_s が大きいと反磁界の ために細かなマイクロドメインが形成される.マイクロドメイ ンが多数形成されると,カー回転角が打ち消しあうため,キャ リアレベルの高い再生信号が得られない.従来の磁界変調記録 媒体では,これを避けるために,マイクロドメインが形成され ない磁化の小さな組成,つまり補償組成付近の組成の記録膜に 限定されていた.磁界に対して応答の良い磁化の大きな記録層 を用い,さらに, RE-rich の記録補助層を設けることで,磁区 形成時にマイクロドメインの発生を抑圧する.

記録補助層によるマイクロドメインの抑圧は、次に示す二つ の理由によると考えられる。一つには、キュリー温度 (T_c)の高 い RE-rich の記録補助層を用いるためである。一般に、希土類 遷移金属合金において、希土類量が多いと磁気異方性 K_u は大 きく、 T_c 近傍では K_u はキュリー温度に向かって単調に低下す る、ということが知られている。 T_c の高い RE-rich の記録補助 層であるために、記録層の T_c 付近においても記録補助層の磁 気異方性 K_u は大きい、したがって、磁壁エネルギー密度も大 きい、記録層の T_c 付近において、記録補助層に磁壁を形成す るためのエネルギーは大きく、マイクロドメインの形成を困難 にすると考えられる。

もう一つの理由として,非常に薄い記録補助層を用いること が挙げられる.記録層のキュリー温度付近では,記録層の磁性 は大半が消失している.したがって,実効的な磁性膜厚は,記 録補助層の膜厚である数 nm 程度になっていると考えられる. ストライプ磁区の理論⁴⁾によれば,磁性膜厚が薄くなるにつれ て,ストライプ磁区よりも単磁区構造の方がより安定となる. RE-rich DyFeCo の記録補助層では,数 nm の膜厚では単磁区 構造の方がより安定である.

以上の二つの理由により,記録層のキュリー温度付近におい ては記録補助層にはマイクロドメインの形成が困難であると考 えられる.磁区形成はキュリー温度が高い記録補助層近傍から 進行すると考えられるが,記録層のキュリー温度付近で形成さ



 $Tb_{15, 3}Fe_{75, 9}Co_{8, 8}$ (20 nm)/Dy_{29, 3}Co_{70, 7}

Fig. 7 Polarized light microscope images of written domains in an applied magnetic modulation field of 100 or 150 Oe for various thicknesses of the ultra-thin layer.

れた単磁区構造が、冷却時にそのままの構造で固定され、記録 磁区の形成が完了する.以上で述べた機構により、弱い外部磁 界の下で、マイクロドメインのない良好な磁区が形成されると 考えられる.

さらに、UTEX 構造は、磁界変調記録方式における磁界感度 の向上に効果があるばかりでなく、記録媒体の再生特性の改善 にも効果を発揮すると考えられる。単層記録膜の記録媒体で は、記録上の制約から補償組成付近の RE-TM 合金膜しか用い ることができなかった。UTEX 構造の採用により、磁化が大き いために良好に記録ができないが、再生特性の良好な、すなわ ちカー回転角が大きい記録材料を用いることが可能となると考 えられる。例えば、Pt/Co人工格子多層膜などは短波長用記録 材料として期待されてきたが、このような材料系は磁化の値が 大きいために、磁界変調記録には適さなかった。こういった材 料を記録媒体として用いる可能性を UTEX 構造は提供すると 考えられる。

4. まとめ

(1) Tb 含有量が 14 at% の TbFeCo 記録層と RE-rich 記録 補助層の組み合わせにより磁界感度が向上した.

(2) UTEX 構造により 300 emu/cc 程度の磁化の大きな記 録層を用いることが可能となる.また,カーヒステリシスルー プの角型比が1を下回る垂直磁気異方性が比較的小さな記録 層を用いても、良好な磁界変調記録が可能となる.

(3) 磁界感度向上は、記録層の大きな磁化と、記録補助層に よるマイクロドメインの抑圧によると考えられる.

記録層のキュリー温度よりもキュリー温度の高い極薄の RErich RE-TM 合金層を設けることにより、磁区形成を制御でき ることが確かめられた.この UTEX 構造により、磁化の大きな 記録層を用いることが可能となり、記録層に用いる材料の選択 の幅が広がった. 熱磁気記録特性と光磁気再生特性の両方をあ る程度満足する単一の記録層として、補償組成近傍の RE-TM 合金膜が採用されているが、UTEX 構造による、熱磁気記録特 性と光磁気再生特性のより優れた光磁気記録媒体の実現が期待 される. 今後、RE-TM 合金膜以外の、再生特性の優れた記録 材料を記録層として用いた磁界変調記録媒体の実現を目指す.

文 献

- S. Ohnuki, K. Shimazaki, N. Ohta, and H. Fujiwara: J. Magn. Soc. Jpn., 15 (Suppl. No. S1), 399 (1991).
- S. Ohnuki and N. Ohta: J. Magn. Soc. Jpn., 19 (Suppl. No. S1), 109 (1995).
- T. Kawase, M. Ishida, S. Hoshina, A. Takakuwa, S. Nebashi, and T. Shimoda: *IEEE Trans. Magn.*, 30, 4392 (1994).
- 4) 桜井良文:磁性薄膜工学,飯田修一,岩崎俊一,岩間義郎,小林 寛,長島富雄,渡部昭治編集,p.108 (丸善,東京,1977).
 1996年10月14日受理,1997年1月16日採録