アモルファス希土類-鉄多層膜による熱磁気記録

Thermomagnetic Writing on Multilayered Amorphous Rare-Earth Iron Films

綱島 滋・辻 久男・小林 正・内山 晋 名古屋大学工学部, 名古屋市千種区不老町

S. Tsunashima, H. Tsuji, T. Kobayashi and S. Uchiyama

Faculty of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464

Amorphous rare-earth transition-metal multilayered films are proposed for a magneto-optic storage medium. The multilayered films are composed of a writing layer with high coercivity and low Curie temperature and a reading layer with low coercivity and high Curie temperature. Using Tb-Fe (500 Å) and Gd-Fe (150–300 Å) layers for writing and reading, respectively, the properties of the multilayered films are examined for magneto-optic memories. In exchange coupled films, the coercivity of Gd-Fe layer is much increased to several kOe. As a result of the strong exchange coupling, the films show the low writing energy and high bit density nearly the same as Tb-Fe films, and exhibit also reasonable magneto-optic effect as high as Gd-Fe films. In magnetostatically coupled films, though the magnetization curves are substantially the same with the sum of those of independent two layers, small bits of 1.5 μm in diameter written on Tb-Fe layer can be transferred on Gd-Fe layer after the application of an appropriate external field.

1. ま え が き

Gd-Co¹⁾, Tb-Fe²⁾などの希土類(RE)-遷移金属(TM)アモルファス合金薄膜は、集束したレーザ光の熱を利用して情報を書込み、磁気光学効果を用いて読出しを行なう光磁気メモリの記録媒体として注目されている。

一般に高密度光磁気メモリの媒体には、書込み感度の高いこと、磁気光学効果の大きいこと、さらに高い保磁力を有することが要求される。しかし、これまで試みられた Gd-Co, Gd-Fe, Dy-Fe などの RE-TM 膜は、単体では上記の要求をすべて満たすことは困難である^{3,4)} すなわち、補償点書込みが可能な Gd-Co, Gd-Fe などは、比較的キュリー温度が高いため、読出し時において磁気光学効果が大きく、高い S/N 比が得られるが、反面、微小ビットが安定に存在するような保磁力の大きい温度(組成)範囲が補償点(補償組成)付近に限られているため、使用温度や膜組成を厳密にコントロールする必要がある。一方、キュリー点書込みが可能な Tb-Fe, Dy-Fe は、保磁力の大きい温度および組成範囲が広いいため上記の問題は生じないが、キュリー点が低いため、読出し時の S/N 比が悪くなる。そこでこれらの欠点を除くために、Gd-Co 2 層膜⁵⁾や Gd-Tb-Fe 3 元合金膜⁶⁾などの試みがなされている。ここでは上記問題点の新しい解決法として、膜を書込み層と読出し層との 2 層構造にし、前者には低キュリー点、高保磁力層を、後者には高

キュリー点、低保磁力層を用いる方法を提案する。既存の RE-TM アモルファス膜の中では、書込み層としては Tb-Fe, Dy-Fe などが、読出し層としては Gd-Co, Gd-Fe などが適当であろう。書込み、読出し両層間の結合の方法としては、静磁力によるものと交換力によるものが考えられるが、読出し層が薄い場合には交換力による方が強い結合が得られると考えられる。

ここでは書込み層として Tb-Fe 膜を、読出し層として Gd-Fe 膜を用いた交換結合 2 層膜、およびそれら 2 層の間に SiO 層をはさんだ静磁結合膜を作製し熱磁気記録特性を調べた。その結果、交換結合 2 層膜では、優れた記録ビットの安定性と高い書込み感度を有し、かつ良好な磁気光学特性を有するものが得られることがわかった。

2. 多層膜の作製とその磁気特性

本実験に用いた多層膜は、すべて真空を保持したまま順次各層を蒸着して作製した。RE-鉄層については、RE は Ta ボートによる抵抗加熱によって、鉄は電子ビーム加熱によって、それぞれ蒸発速度を一定にコントロールしてガラス基板上に同時蒸着した。多層膜の構成は Fig. 1 に示すように、基板側から順に Tb-Fe 層, Gd-Fe 層, SiO 酸化防止層となっており、静磁結合膜では、それらに加えて Tb-Fe 層と Gd-Fe 層の中間に 100 Å 厚の SiO 層がある。

Fig. 1

Construction of (a) exchange coupled and (b) magnetostatically coupled multilayered films.

Fig. 2

Magnetization curve of exchange coupled Tb-Fe/Gd-Fe double layer film.

Fig. 3

Magnetization curve of magnetostatically coupled Tb-Fe/SiO/Gd-Fe multilayered film.

作製した交換結合膜と静磁結合膜の振動試料磁力計による磁化曲線を **Fig. 2** および **Fig. 3** に示す。ここで H_1 , H_2 は、それぞれ Gd-Fe 層と Tb-Fe 層の磁化反転の起こる磁界である。これらの膜の組成は未だ調べられていないが、磁気光学カー効果を利用して膜の両側から測定した磁化曲線の極性から判断すると、交換結合膜では、Tb-Fe 層は Tb 副格子の磁化が、Gd-Fe 層は Fe 副格子の磁化が優勢であり、また静磁結合膜では、2 層とも希土類の磁化が優勢である。

交換結合膜においては、2 層の組成が補償組成をはさんで反対側にあるため、Fig. 2 の如く特異なヒステリシスループを示すが、このような組成の組合せでは、各層の反転磁界は次式で与えられる⁷⁾。

$$H_1 = (\sigma_w/2M_{s1}t_1) - H_{c1} \approx \sigma_w/2M_{s1}t_1 \quad (1)$$

$$H_2 = H_{c2} + (\sigma_w/2M_{s2}t_2) \quad (2)$$

ここで、 σ_w は 2 層の境界においてスピンの向きを変える領域に蓄えられる磁壁エネルギー、 t は膜厚であり、添字 1, 2 のついた諸量 (M_s , H_c , t) はそれぞれ Gd-Fe, Tb-Fe 単層膜に対するものを表す。Gd-Fe 層の反転磁界 H_1 は、近似的に $\sigma_w/2M_{s1}t_1$ で与えられるが、この値は、 σ_w として Gd-Fe 膜の通常の Bloch 磁壁のエネルギーを考えると、150Å の膜厚に対して 2~6kOe となり実

測程度大きさとなる。このように交換結合は、光学読出し層のように極く薄い磁性層の保磁力を増大するために非常に有効なことがわかる。

一方、静磁結合膜では、Fig. 3 に示すように、磁化曲線は独立な 2 層の和となっており、交換結合膜のように保磁力を大幅に変化させることはできない。これは、垂直に一樣に磁化した薄い磁性層からの浮遊磁界は、膜の端の部分の方が中央部よりずっと大きくなることから当然のことと思われる。しかし、記録ビットのように一樣に磁化していない場合の静磁的相互作用については別に考慮しなければならない。実際、次節で示すように静磁結合膜においても、単層膜では書込み困難な微小ビットを保持することができる。

3. 熱磁気記録特性

前節で磁化曲線を示した多層膜を用いてレーザ光による熱磁気記録を試みた。**Fig. 4** に書込みに使用した装置の構成を示す。波長 6328Å の He-Ne レーザを音響光学変調器でパルス化した後、40 倍の顕微鏡用対物レンズ

Fig. 4 Schematic illustration of thermomagnetic writing system.

Fig. 5 Bit diameter vs. laser pulse duration in single and multilayered films.

Fig. 6
Behavior of written bits under
external field in exchange coupled
Tb-Fe/Gd-Fe film.

Fig. 7 Behavior of reprinted bits under external field in mag-
netostatically coupled Tb-Fe/SiO/Gd-Fe film.

(開口数=0.65)で集光し、Tb-Fe層側から照射し書込みを行なった。書込み時の基板への入射パワーは約5 mWであり、書込みを助けるためのバイアス磁界は160 Oeであった。

Fig. 5に、レーザ照射時間と書込まれたビット径の関係を示す。ここに比較のため多層膜と同一条件で書込みを行なったTb-Fe単層膜(500 Å厚)の結果も示す。交換結合膜では、2層のビット径はほぼ同一であり、1 μm程度の微小ビットも容易に得られる。また同じビット径を得るために必要な照射時間はTb-Fe単層膜に近い値となっており、少ないエネルギーで書込みが可能である。一方、静磁結合膜では、書込みを行なっただけではGd-Fe層には磁区は現われないが、後述のように適当な磁界を印加すると、Tb-Fe層と同一の径のビットがGd-Fe層に転写される。したがって書込みに必要なエネルギーはTb-Fe単層膜とほぼ同一となる。また転写は1.5 μm程度の微小ビットにおいても可能であった。

交換結合膜における外部磁界印加時の記録ビットの振舞いを**Fig. 6**に示す。上の写真はカー効果を利用してGd-Fe層側から観察したものであり、下の図は写真に対応した磁化状態を表わしており、矢印は正味磁化の方向を示している。いま磁界零の状態(c)から、膜に垂直に磁界を加えると、Gd-Fe層のビットは、その磁界の向きに

Fig. 8
Erasing field of written bits in multilayered films.

よってつぶれるか(b),またはその周囲が磁化反転し(d),消えてしまう(a), (e)。しかしTb-Fe層の保磁力が11 kOeと大きいので、(a)または(e)の状態でもTb-Fe層のビットは消滅せず、磁界を下げると再び(c)の状態に戻る。(a)または(e)の写真で薄く見える磁区は、Gd-Fe層を透過して見えるTb-Fe層の磁区と思われる。

Fig. 7には静磁結合膜における同様な振舞いを示す。この膜のGd-Fe層は保磁力がバイアス磁界より小さいため、書込み時にはバイアス磁界方向に飽和しており、Tb-Fe層のみにビットが書込まれる。バイアス磁界を零に戻してもGd-Fe層には磁区は現われないが、磁界をバイアス磁界と反対方向(図で上向き)に印加すると、Gd-Fe層の保磁力付近でビットの周囲で反転磁区が広がる。しかし、Tb-Fe層のビットに対応する部分だけは反転せず、Gd-Fe層にTb-Fe層と同じ下向き磁化のビットが転写される。この状態で磁界を零に戻しても(a)のようにGd-Fe層のビットは残っているが、上向き磁界をさらに大きくすると340 Oe付近でつぶれ始める。逆に下向き磁界を加えるとやはりGd-Fe層の保磁力付近でビットの周囲が反転し、ビットは埋もれてしまう。しか

し小さな磁界 (~ 150 Oe) では完全には飽和せず円環状の磁区が残る. 図の(a') は磁界を再度反転して円環状の磁区を成長させたものである. ここまでは Tb-Fe 層と同じ磁化方向をもつビットについて述べてきたが, 書込み後の磁界の印加方向を逆にすると Gd-Fe 層に Tb-Fe 層と正反対の磁化状態を転写することも可能である. すなわち, 書込み時とは逆の上向き磁界を加え Gd-Fe 層を飽和させた後, 逆方向 (下向き) に磁界を加えると, Gd-Fe 層の保磁力付近で転写が起こる. この時, Gd-Fe 層の磁化反転はビットの部分では起こらず, その周囲から起こり, Tb-Fe 層のビットに対応する部分だけが上向き磁化の状態に残る. この転写ビットは(b)のように零磁界でも残るが, 下向き磁界約 100 Oe でつぶれ, 上向き磁界では 25 Oe で(b')のように成長を始める.

次に温度上昇時における書込みビットの安定性を Fig. 8 に示す. ここでは, まず膜の温度を上昇した後, 一定に固定したまま磁界を印加し, ビットの消滅する磁界の大きさを求めた. ●および▲印はそれぞれ交換結合膜および静磁結合膜の Gd-Fe 層, ○印は Tb-Fe 層のビットの消える値を示している. 交換結合膜においては, 図の A の領域では 2 層のビットは共に安定であり, B の領域では Gd-Fe 層のビットは消滅するが, Tb-Fe 層のビットは残っている. また C の領域では Tb-Fe 層のビットも消滅する. すなわち Fig. 6 の写真と対応させると, A の領域は(c)の状態に, B の領域は(a)または(e)の状態に相当する. ここで実験した交換結合膜では, 1 kOe の磁界中でも Tb-Fe 層のキュリー点近くの 120°C まで Gd-Fe 層のビットは消滅せず, Gd-Co, Gd-Fe などにおけるビットの安定性の問題は解決される. 一方, 静磁結合膜においては前述のように, Gd-Fe 層に転写されたビットは Gd-Fe 層の保磁力付近の 60 Oe 程度で周囲からの反転磁区に埋もれてしまう. この磁界の大きさとその温度依存性は Gd-Fe 層の組成によって大幅に変わるものと思われるが, ここで試みた膜では Tb-Fe 層のキュリー温度付近まで消滅磁界の大きさはあまり変化しなかった.

4. 結論

今回試みた Gd-Fe/Tb-Fe 多層膜の中では, 交換結合

膜が保磁力が高く, Tb-Fe, Dy-Fe などの膜と同様に微小ビットの保持やその安定性に優れている. 加えて, 磁気光学効果も Tb-Fe や Dy-Fe 膜に比べて大きく, Gd-Fe 膜固有の温度特性を示すことから, 光学読出しに際して高い S/N 比が期待できる. また書込みに必要なエネルギーも Tb-Fe 単層膜と同程度の小さな値を示している. さらに Gd-Co や Gd-Fe 単層膜による補償点記録では, 許される膜組成の範囲が 1 atm. % 以下であるのに対して, 交換結合膜の Gd-Fe 層においては, 組み合わせる Tb-Fe 層の組成にもよるが, 約 8 atm. % の広い組成範囲にわたって記録が可能である. 以上のように交換結合 2 層膜は各層の長所を兼ね備えた光磁気メモリ媒体になり得ることが示されたが, さらにその特徴を生かす方向として, 光学読出し層用の優れた磁気光学特性を示す軟磁性垂直磁化膜の開発が望まれる.

一方, 静磁結合膜では, 微小書込み磁区のコラプスに対する安定性は単層膜に比べて改善されるが, 書込み磁区のない部分の保磁力は単層膜と変わらないため, 書込み磁区周辺の磁化状態の安定性が問題となるであろう.

本研究を遂行するにあたり, 振動試料磁力計の使用に便宜をはかってくださった名古屋大学工学部の岩間義郎教授ならびに試料作製に協力していただいた同大学院生の宮武秀司氏に深く感謝する. なお, 本研究は文部省科研費(特定研究)の補助によって行なわれたものである.

〔参考文献〕

- 1) P. Chaudhari, J. J. Cuomo and R. J. Gambino: Appl. Phys. Lett., **22**, 337 (1973).
- 2) S. Matsushita, K. Sunago and Y. Sakurai: Jpn. J. Appl. Phys., **15**, 713 (1976).
- 3) B. R. Brown: Appl. Opt., **13**, 761 (1974).
- 4) Y. Mimura, N. Imamura and T. Kobayashi: Jpn. J. Appl. Phys., **17**, 2007 (1978).
- 5) Y. Togami: Appl. Phys. Lett., **32**, 673 (1978).
- 6) N. Imamura and C. Ota: Jpn. J. Appl. Phys., **19**, 731 (1980).
- 7) T. Kobayashi, H. Tsuji, S. Tsunashima and S. Uchiyama: in preparation for publication.