Nd を含む RE-TM 膜の短波長における光磁気記録再生特性

Read/Write Properties of Nd-RE-TM Films in the Short-Wavelength Region

石田方哉・川瀬健夫・宮沢 弘・曼山高信・根橋 聡・下田達也

セイコーエプソン (株), 長野県諏訪市大和 3-3-5 (〒392)

M. Ishida, T. Kawase, H. Miyazawa, T. Katsuyama, S. Nebashi and T. Shimoda

Seiko Epson Corporation, 3-5, Owa 3-chome, Suwa, Nagano 392

The effect of adding Nd to a RE-TM film on the disk's magneto-optical and read/write properties was investigated. It was found that as the amount of Nd was increased, the C/N ratio improved at a wavelength of 532 nm. In spite of an increase in the Kerr rotation angle, the carrier level was little improved. This fact can be explained by the disk's magneto-optical characteristics, as a result of which the Kerr ellipticity angle decreased in the short-wavelength region as Nd was increased. Thus the value of the figure of merit was not improved. The improvement in the C/N ratio was due to a decrease in the noise level.

Key words: Nd, short-wavelength, magneto-optical media, Kerr rotation, Kerr ellipticity, figure of merit, magnetic field modulation, noise level

1. はじめに

光磁気記録においてレーザの短波長化による高密度化が試みられており、RE-TM 合金磁性膜において短波長域での再生特性の向上について多くの研究が行われている。すでに短波長域での NdFe, NdFeCo アモルファス合金の大きなカー回転角が報告されており¹⁾、現在広く用いられている TbFeCo へ Nd を添加することにより短波長域での再生特性の向上が期待される。一方、記録膜に接して読み出し側に大きなカー回転角を示す NdFeCo, NdTbFeCo, GdFeCo などの磁性膜を設けた交換結合積層膜も検討されている^{2), 3)}。この方法では、短波長域でのカー回転角は大きいものの保磁力が小さいために単層では記録層としては用いることのできない材料をも利用することができる。いずれの方法においても、光磁気記録膜として高い再生特性が要求される。再生特性を表す指標としてカー回転角が (θ_k) 用いられているが、カー楕円率 (η_k) や記録特性など総合的な性能について検討する必要がある。

本研究では、Nd 添加が及ぼすカー楕円率を含めた磁気光学特性への影響と、ディスクの記録再生特性の変化

についての検討を行った。さらに、Nd を含む各種の RE-TM 合金の短波長域での再生特性を調べ、交換結合多層膜における最適な読み出し層の検討を行った。

2. 実験方法

DC マグネトロンスパッタにより基板上に組成を変えた光磁気記録膜 (MO 膜) を形成した。カー回転角の測定を行う試料の膜構成は、ガラス基板 /MO 膜 100 nm / AlSiN 60 nm であり、 θ_k は基板側から測定した。また、ディスクの膜構成は、ポリカーボネイト基板 / AlSiN 60 nm / MO 膜 18 nm / AlSiN 20 nm / 反射膜 60 nm である。成膜時の Ar ガス圧は 2 mTorr である。磁性膜の θ_k 、保磁力、キュリー温度はカー回転角測定機 (K-250, 日本分光製) により、組成は蛍光 X 線分析装置 (SYSTEM 3070, Rigaku 製) により測定を行った。元素記号の添字は組成を原子比で表す。ディスクの評価に用いた光学ヘッドのレーザ波長は 532 nm、対物レンズの開口数は 0.55 であり、記録は浮上磁気ヘッドによる磁界変調法で行った。記録は、ドメイン長 0.5 μ m において CN 比が最高となるレーザパワー、印加磁界の条件で行った。

MO 膜の再生性能を評価するために以下の方法を用いた。各膜厚が最適化された反射膜付きの 4 層エンハンス構造を有する光磁気記録媒体を用いた場合、再生信号強度は $(\theta_k^2 + \eta_k^2)^{1/2}$ に比例する^{4), 5)}。そのため、 $(\theta_k^2 + \eta_k^2)^{1/2}$ の値が実用上の再生特性を表すものとして用い、その値を性能指数 (F.M.) とした。ガラス基板 /MO 膜 / AlSiN 50 nm の構成で、MO 膜厚を 20 nm から 200 nm まで変えた複数の試料について、基板側からの θ_k の測定を行い MO 膜の光学定数を決定して⁶⁾、求めた光学定数から η_k , F.M. を計算した。

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果

Fig. 1 に、TbFe に Nd, Co を添加した MO 膜の θ_k の

-+- Tb24.1Fe75.9 -○- Nd3.7Tb23.8Fe72.5
 -□- Tb25.3Fe64.3Co10.4

Fig. 1 Wavelength dependence of the Kerr rotation angle for TbFe, NdTbFe, and TbFeCo films.

Table 1. Composition of disks

Sample	Composition [at%]
1	Tb21.0Fe75.9Co3.2
2	Nd2.2Tb21.3Fe70.2Co6.3
3	Nd3.4Tb21.2Fe67.6Co7.9
4	Nd5.0Tb21.1Fe64.5Co9.1
5	Nd6.9Tb21.1Fe60.9Co11.1

波長依存性を示す。ここで、図に示した MO 膜のキュリー温度は、Tb_{24.1}Fe_{75.9} が 130°C、Nd_{3.7}Tb_{23.8}Fe_{72.5} が 130°C、Tb_{25.3}Fe_{64.3}Co_{10.4} が 230°C である。Nd を 3.7 at% 添加した場合、TbFe のみの試料に比べて 400 nm から 550 nm の波長域（以下、短波長域とする）で θ_k が増大する。また、Co 添加により全波長域で一様に θ_k は上昇する。

次に、磁性膜中の Nd, Co 量を同時に変化させた MO 膜について調べた。Table 1 に作製した試料の組成を示す。これらの MO 膜の保磁力はすべて 12 kOe、キュリー温度は 190°C で一定である。Fig. 2 は、これらの MO 膜の θ_k の波長依存性の変化を示している。5 at% までの Nd の添加により短波長域での θ_k は増大する。しかしながら、Nd 添加量がさらに増大すると短波長域での θ_k は低下する。これらの MO 膜は Nd 量と Co 量が同時に変化しているため、各々の元素の短波長域での θ_k に及ぼす影響について検討を行う。Fig. 1 より、TbFe に Co を 10 at% 添加すると、全波長域において θ_k は均

Fig. 2 Wavelength dependence of the Kerr rotation angle for NdTbFeCo films.

等に増大する。これは、Co 添加により MO 膜のキュリー温度が上昇し、室温における θ_k が増大したためであると考えられる。10 at% 程度の Co 添加においては、MO 膜の θ_k の波長依存性は変化がない。一方、TbFe に Nd を添加した場合、キュリー温度はほぼ一定にもかかわらず、 θ_k の波長依存性が変化している。以上のことから、Nd と Co を同時に変化させた MO 膜の短波長域での θ_k の増大は、主に Nd の寄与によるものと考えられる。

Table 1 に示す組成のディスクの記録再生特性を Fig. 3 に示す。すべてのディスクの記録パワー感度は一定であった。磁性膜中の Nd の比率が増大するにつれて CN 比はいったん上昇し、3.4 at% を超えると低下する。キャリアレベル（以下、CL とする）も Nd の添加量が 3.4 at% を超えると低下する。Nd 添加による CL の上昇は小さく、CN 比の増加は主にノイズレベル（以下、NL とする）の低下によるものである。これらのディスクを光変調法にて記録した場合、NL の低下が観測されないことから、Nd 添加による NL の低下は磁界変調法に特有な現象である。また、ディスクの位相差を補償して光磁気信号を再生した場合、CL は性能指数に比例することから、Nd の添加量が 3.4 at% を超えると性能指数が低下すると考えられる。そして、3.4 at% までの Nd 添加による CL の増加分は、 θ_k の増大により見込まれるよりも小さく、 θ_k の増大分ほど性能指数は向上しないことがわかった。そこで、Nd 添加による性能指数の変化について検討を行った。

3.2 性能指数の変化について

Nd 添加による性能指数の変化について調べるために、次の 3 種類の磁性膜の性能指数を調べた。まず、実用化された光磁気記録材料の Tb₁₅Fe₆₇Co₁₁Cr₆ 膜、同じ

Fig. 3 Dependence of C/N, and the carrier level on the Nd content.

キュリー温度を有する $\text{Dy}_{21}\text{Fe}_{68}\text{Co}_{11}$ 膜, それに対して, キュリー温度が同程度で Nd を 5 at% 添加した $\text{Nd}_5\text{Dy}_{17}\text{Tb}_4\text{Fe}_{58}\text{Co}_{16}$ 膜である. Fig. 4 に, これらの膜の θ_k , η_k , F.M. の波長依存性を示す. 図から, $\text{Tb}_{15}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{11}\text{Cr}_6$ と $\text{Dy}_{21}\text{Fe}_{68}\text{Co}_{11}$ は類似した θ_k , η_k , F.M. の波長依存性を示す. 一方, Nd を 5 at% 添加した NdDyTbFeCo 膜のみ短波長域での η_k が小さい. そのため, NdDyTbFeCo の短波長域での θ_k は TbFeCoCr と比べて大きいものの, 性能指数には大差がない. 先に述べた Nd 5 at% の添加により θ_k は増大するが CL は低下するという結果は, Nd 添加による η_k の変化により説明できる.

次に, Nd 添加による η_k の変化の機構について考察する. Tb, Dy は $4f \rightarrow 5d$ 遷移による 4.8 eV (280 nm) 付近の θ_k のピークを有する⁷⁾. しかし, その符号は遷移金属と逆であるため, (Tb, Dy)-遷移金属アモルファス合金では短波長域での θ_k が低下する. 一方, Nd は Tb, Dy 同様 $4f \rightarrow 5d$ 遷移により 4 eV 付近に θ_k のピークを有し⁸⁾, さらに, 遷移金属と符号が同じである. そのため, (Tb, Dy)-遷移金属合金に Nd を添加していくと短波長側の θ_k の低下率が緩和される. θ_k と η_k との間に成り立つクラマース・クロニツヒの関係によれば, θ_k の変化率の低下は η_k の低下を引き起こす. Nd 添加に伴う η_k の低下はこのクラマース・クロニツヒで説明できるが, より精密な議論には, さらに広い波長範囲での測定が必要である.

3.3 交換結合積層膜の性能指数について

続いて, Nd 添加量をさらに増やして交換結合積層膜の読み出し層として用いる場合について検討する. NdFeCo , Tb を 9 at% 添加した NdTbFeCo ²⁾, 比較例として GdFeCo の 3 種類の磁性膜の性能指数について調べた. Fig. 5 に, $\text{Nd}_{25}\text{Fe}_{58}\text{Co}_{17}$, $\text{Nd}_{26}\text{Tb}_9\text{Fe}_{33}\text{Co}_{33}$, $\text{Gd}_{25}\text{Fe}_{66}\text{Co}_9$ の θ_k , η_k , F.M. の波長依存性を示す. また, 図中

Fig. 4 Wavelength dependence of the Kerr rotation angle, ellipticity, and figure of merit of $\text{Tb}_{15}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{11}\text{Cr}_6$, $\text{Dy}_{21}\text{Fe}_{68}\text{Co}_{11}$, and $\text{Nd}_5\text{Dy}_{17}\text{Tb}_4\text{Fe}_{58}\text{Co}_{16}$ films.

に比較例として TbFeCoCr の値も併せて示す. 図から, $\text{Nd}_{25}\text{Fe}_{58}\text{Co}_{17}$ は θ_k の値は大きい, θ_k の変化率は小さく, そのため, η_k は小さくほぼゼロである. しかし, θ_k が大きいために性能指数の値も大きく, 高いキャリアレベルの再生信号が期待される. $\text{Nd}_{26}\text{Tb}_9\text{Fe}_{33}\text{Co}_{33}$ の θ_k の値は, $\text{Nd}_{25}\text{Fe}_{58}\text{Co}_{17}$ に比べると低く, η_k も同程度であるために性能指数も低い. しかし, NdFeCo に Tb を 9 at% を加えると, 磁性膜の磁化の値は 1/2 以下に低下し, 有効垂直磁気異方性定数は負から正へと増大し, 交換結合積層膜を形成した場合に記録特性が向上することが宮沢らの研究に示されている²⁾. そのため, 両者の比較は性能指数と記録特性の両面から検討しなければならない. 一方, $\text{Gd}_{25}\text{Fe}_{66}\text{Co}_9$ は, 700 nm 以上の波長域で TbFeCoCr と比べて性能指数が高い. しかし, 短波長域での η_k が TbFeCoCr に比べて小さく, 性能指数は TbFeCoCr と大差ない. ここで, GdFeCo の θ_k , η_k は, (Tb, Dy)-TM 合金に Nd を 5 at% 以下添加した時の θ_k , η_k の波長依存性と類似している. Gd は $6p \rightarrow 5d$ 遷移に対応⁹⁾して, 4 eV 付近に Nd と同じ符号の低いピークを有する⁸⁾ため, TbFeCo , DyFeCo と比較すると短波長側

Fig. 5 Wavelength dependence of the Kerr rotation angle, ellipticity, and figure of merit of $\text{Tb}_{15}\text{Fe}_{67}\text{Co}_{11}\text{Cr}_6$, $\text{Gd}_{25}\text{Fe}_{66}\text{Co}_9$, $\text{Nd}_{25}\text{Fe}_{58}\text{Co}_{17}$, and $\text{Nd}_{26}\text{Tb}_9\text{Fe}_{33}\text{Co}_{33}$ films.

の θ_k が大きい。しかし、そのぶん θ_k の変化率は小さく、これが η_k の低下の原因であることが Nd 添加と同様、クラマース・クロニッヒの関係より説明できる。以上の結果から、短波長光磁気記録媒体の読み出し層としては NdFeCo、ないしは NdTbFeCo が望ましいと考えられる。さらに、再生特性の評価の基準として性能指数を用いる必要性は RE-TM に限られるものでなく、ガーネッ

ト、Pt/Co 多層膜などを含むすべての光磁気記録膜に有効であり、材料探索の大きな指針となる。

4. ま と め

Nd を添加した RE-TM アモルファス合金膜の短波長域における再生特性を調べた。Nd を約 3% 添加することによって主にノイズレベルの寄与によって 532 nm での CN 比が向上した。カー回転角の増大に対応したキャリアレベルの変化が得られなかったのは、Nd 添加によるカー楕円率の低下が原因である。このように、カー回転角が低下する短波長域ではカー楕円率を考慮した記録材料の設計が重要になる。また、Nd 25 at% 前後の NdFeCo, NdTbFeCo は短波長域でも高い性能指数を有し、読み出し層として有望である。

文 献

- 1) T. Suzuki, C.-J. Lin and A. E. Bell: *IEEE Trans. Magn.*, **24**, 2452 (1988).
- 2) H. Miyazawa, T. Ide, S. Hoshina, M. Ichikawa, S. Nebashi and T. Shimoda: *IEEE Trans. Magn.* (to be published).
- 3) M. Kaneko, Y. Sabi, I. Ichimura, S. Hashimoto: Dig. Int. Mag. Conf., Stockholm, 1993, AA-03.
- 4) W. A. Challener and T. A. Rinehart: *Appl. Opt.*, **26**, 3974 (1987).
- 5) 藤井善夫, 羽島一夫, 堤 和彦: 日本応用磁気学会誌, **16**, 121 (1992).
- 6) M. K. Haynes and N. J. Jubb: *IEEE Trans. Magn.*, **24**, 2784 (1988).
- 7) P. Hansen, C. Clausen, G. Much, M. Rosenkranz and K. Witter: *J. Appl. Phys.*, **66**, 756 (1989).
- 8) 内山 晋, 綱島 滋, 崔 英俊: 昭和 63 年度科学研究費補助金研究成果報告書 研究課題番号 61134028, 62124032, 63115011, 145 (1990).
- 9) J. L. Erskine and E. A. Stern: *Phys. Rev. B*, **8**, 1239 (1973).

1993 年 10 月 13 日受理, 1994 年 1 月 28 日採録