

外部磁界不要の磁気超解像

Magnetically Induced Super-Resolution without an External Magnetic Field

錦織圭史・村上元良・内田 清・尾留川正博・宮武範夫

松下電器産業(株)光ディスク開発センター, 大阪府門真市大字門真 1006 (〒571)

K. Nishikiori, M. Murakami, K. Uchida, M. Birukawa, and N. Miyatake

Optical Disk Systems Development Center, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., 1006 Kadoma, Kadoma-shi, Osaka 571

The potential advantages of magnetically induced super-resolution (MSR) for high-density recording in magneto-optical disks have spurred the study of various related technology. MSR systems can read signals from a smaller area than the laser spot area by using magnetic films with different temperature characteristics. Most MSR systems require an external magnetic field in the readout. We have developed a new type of MSR (S-RAD) that does not require an external magnetic field. The front masking area of the S-RAD is formed by shrinking the recording mark in the readout layer. This paper describes the readout principle and readout characteristics of S-RAD. A C/N of 49 dB was obtained at the 0.5 μm recording mark. A crosstalk level of less than -40 dB was obtained at a track pitch of 0.8 μm . We believe that S-RAD has sufficient potential to allow practical use of high-density magneto-optical recording.

Key words: magnetically induced super-resolution, external magnetic field, front masks, shrink

1. はじめに

光磁気ディスクは、大容量化に向けてさまざまな研究がなされている。その中でも磁気超解像 (Magnetically induced Super Resolution: MSR) は、レーザスポット径よりも小さい領域を再生できることから、将来有望な高密度化技術として注目されており、さまざまな方式^{1)~9)}が提案されている。

しかし、多くの方式が、超解像再生するために、初期化磁石や再生磁界を必要とすることから、消費電力、薄型化などの装置構成上の課題となっている。

今回我々は、外部磁界の不要な RAD (Rear Aperture Detection) タイプの新しい MSR を作製した。他の MSR と区別するため、S-RAD (Shrink Type RAD) と名付けた。S-RAD は、記録マークのシュリンクによってフロントマスクを形成する。本論文では、S-RAD の基本的な動作を確認するとともに、良好な再生特性が得られたので報告する。

2. 実 験

2.1 S-RAD 媒体

S-RAD 媒体は、Fig. 1 に示すように、3 層の磁性層で構成されている。基板にはポリカーボネートを用い、各磁性層をマグネトロンスパッタ法により製膜した。再生層は、TM-rich 組成の GdFeCo で H_c は約 50 Oe、中間層は、室温からキュリー温度まで面内磁性膜である RE-rich 組成の GdFe で M_s は約 400 emu/cc、記録層は、TM-rich 組成の TbFeCo を用いた。

Readout layer	GdFeCo	50 nm	$T_c > 300^\circ\text{C}$
Intermediate layer	GdFe	15 nm	$< 230^\circ\text{C}$
Recording layer	TbFeCo	50 nm	$= 300^\circ\text{C}$

Fig. 1 Layer structure of S-RAD.

2.2 記録再生条件

記録再生特性の測定は、レーザ波長 680 nm、対物レンズ NA 0.55 の評価機を用い、線速は、6.6 m/s で光変調記録により行った。

2.3 動作メカニズム

Fig. 2 には、記録された長短のマークを、種々の再生パワーで再生したときの再生信号を示す。なお、このとき再生磁界は全く印加していない。図から分かるとおり、再生パワー 3 mW では、再生層に記録マークの転写が起り、長マークおよび短マーク共に再生されている。再生パワーを低下していくと 2.6 mW まではほとんどのマークが再生されるのに対し、2.5 mW では大部分が消え、さらに 2.3 mW ではすべてのマークが消えていることが分かる。これは、再生パワーの減少とともに、再生時の温度が低下することにより、転写されたマーク周辺の磁化の影響から記録マークがシュリンクするためと考えられる。

次に、再生層における記録マークのシュリンク動作を解析するため、再生層単層のディスクを試作し、記録再生を試みた。Fig. 3(a), (b) には、種々の再生磁界で、再生層単層ディスクの記録マークを再生した結果を示す。(a) は、マークを消去する方向に磁界を印加したとき、(b) は、マークを記録する方向に磁界

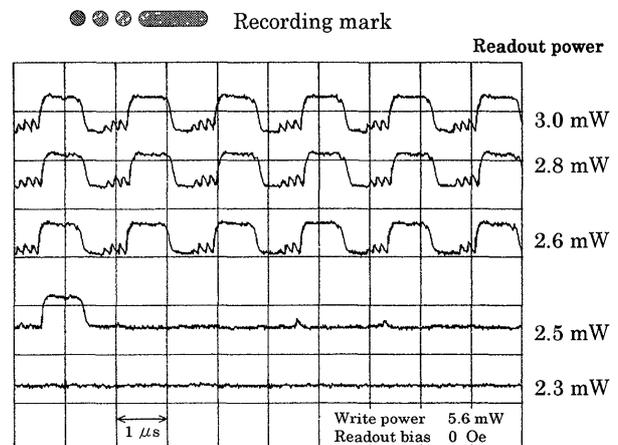


Fig. 2 Readout power dependence of the readout signal.

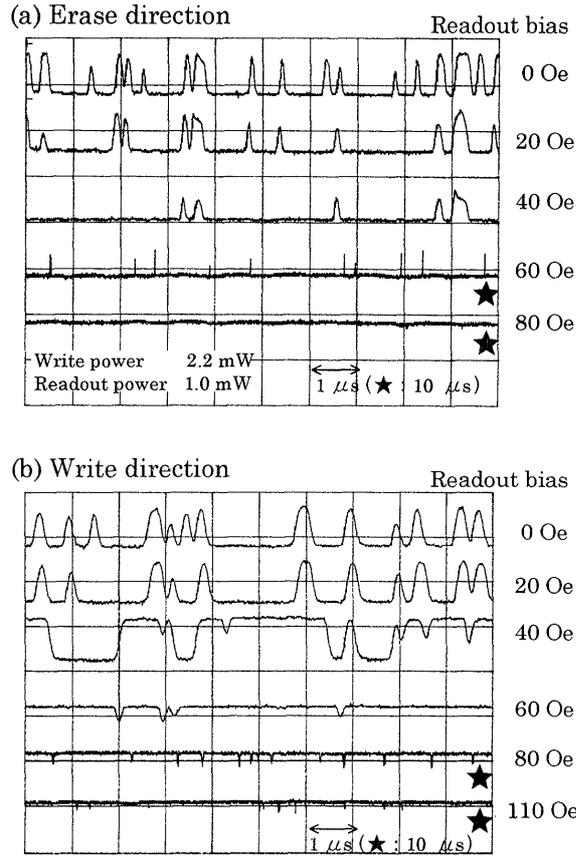


Fig. 3 Readout magnetic field dependence of the readout signal.

を印加したときの再生信号を表している。このときの再生パワーは、再生ビームによる温度上昇を低く抑えるため、1 mWとした。Fig. 3において、再生信号の上側が記録方向、下側が消去方向である。(a), (b)共に再生磁界を印加していない状態においても、一部のマークがシュリンクしているが、多くのマークはシュリンクしていない。再生磁界を増加していくと、消去方向では80 Oe、記録方向では110 Oeでマークが完全に消える。このときに生じる磁界の差は、消去方向ではマークをシュリンクする方向に磁界が作用するのに対し、記録方向では、マークを拡大する方向に磁界が作用することから、マークの収縮力によって生じていることがわかる。しかしながら、磁界ゼロで大多数のマークがシュリンクしていないことから、その収縮力は、再生層の保磁力(300 Oe)より小さいと考えられる。つまり、再生層単層ではシュリンク力が小さく、マークを消すためには磁界の印加が必要である。しかしながら、Fig. 2に示した3層の積層ディスクでは、磁界を印加しなくても、再生温度の低い状態では完全にマークがシュリンクしている。これら両者の結果から、記録マークのシュリンクは、再生層のみならず、中間層が大きな寄与をしていることがわかる。

次に積層時の中間層表面の磁化状態を調べるため、中間層と記録層の2層ディスクを試作した。記録層を一方方向に着磁したときの中間層から見たカーブを、Fig. 4(a), (b)に示す。中間層の膜厚を100 Åにした場合、中間層の表面では磁化が面内を向いていることが確認できる。

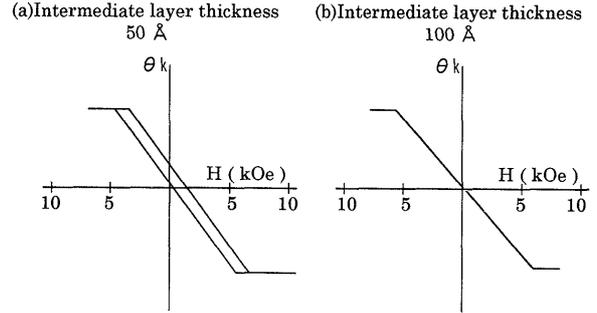
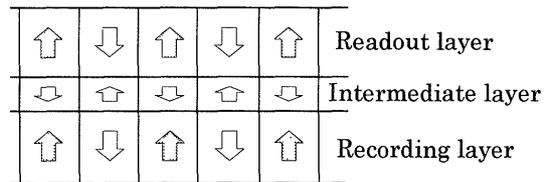


Fig. 4 Kerr loops for GdFe/TbFeCo films.

(a) High-temperature area



(b) Low-temperature area

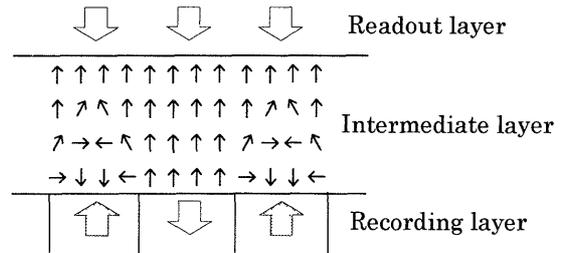


Fig. 5 Mechanism of S-RAD.

以上のことから、再生層が面内磁化膜となりシュリンクが起こることが考えられるが、3層膜にしたとき、再生層の磁化は垂直方向を向いているため、実験事実からシュリンク動作を以下のように推測した。Fig. 5(a), (b)には、その概念図を示す。図中の矢印は、各磁性層の磁化の方向である。中間層は単層は面内磁性膜であるが、交換結合していることから便宜上、垂直磁性膜とした。磁化の矢印の上方向が記録方向、下方向が消去方向である。(a)は、高温時つまり記録直後および転写温度での磁化状態を表しており、温度上昇とともに中間層の M_s が小さくなるため、交換結合力が支配的となり、記録磁区が転写される。(b)は、低温時の磁化状態を表している。先の結果より、本来記録マークが転写されるべき再生層は、マークがシュリンクすることによってすべて消去方向に磁化が揃う。ここで中間層がシュリンクに大きく寄与することから、中間層の磁化は、周囲の磁化の影響を受け、再生層近傍では上方向、記録磁区の近傍では、上、下方向ないしは横方向に向いていると考えられる。一方、再生層は磁化が小さいため、中間層のシュリンクに伴って、中間層の磁化に従うことになる。

しかし、このメカニズムは、実験事実からの定性的な推測であり、さらに詳細な解析は今後の課題である。

Fig. 6にS-RADの再生原理を示す。Fig. 6は、ディスクの断面およびトラックの上面図を表している。レーザースポットの

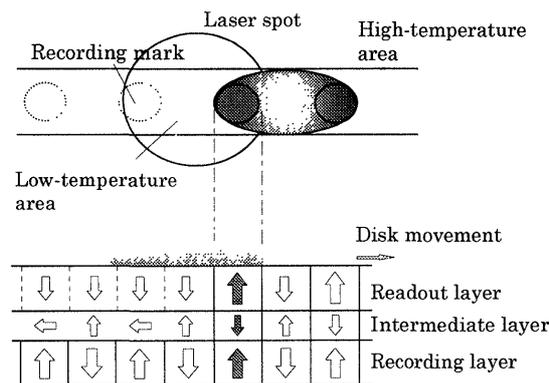


Fig. 6 Readout principle of S-RAD.

低温領域では、外部からの磁界がない状態でも、再生層に記録マークを転写するよりもシュリンクする力の方が上まわり、マークが形成されない。したがって、再生層の磁化は一方向に揃い、初期化状態を形成する。一方、温度が上昇し高温になると、中間層の磁化が弱くなるため、交換結合力が支配的になり、記録マークが再生層に転写する。したがって、レーザースポットの高温領域のみで記録情報が検出され、高分解能再生が可能となる。

2.4 再生特性

Fig. 7(a), (b) に $0.5\mu\text{m}$ のマークを記録したときの、キャリアとノイズおよび C/N の再生パワー依存性を示す。横軸は再生パワー、縦軸はキャリアとノイズおよび C/N である。再生パワー 2 mW 以上で、徐々にキャリアが増加し、 2.5 mW 以上で急速に立ち上がることがわかる。これは、再生パワーの低い低温領域においてシュリンクによるマスクが形成されており、 2 mW 以上の領域になると、再生層に記録マークの転写が起ることを示している。このことから、外部磁界を印加することなしに RAD 動作が起こっていることが分かる。そして、RAD 動作は、 2.6 mW 近傍で急峻に起こることが確認できる。このとき、C/N は再生パワーが $3\sim 3.5\text{ mW}$ の範囲で約 49 dB が得られた。

Fig. 8 に $0.5\mu\text{m}$ のマークを記録したときの、キャリアとノイズの再生時の磁界依存性を示す。横軸は再生磁界、縦軸はキャリアとノイズである。再生磁界の印加方向は、プラスが消去方向、マイナスが記録方向を表している。図から、 $\pm 100\text{ Oe}$ の範囲において、安定したキャリアとノイズが得られた。このことは、S-RAD が再生磁界に対して安定であり、仮にドライブからの漏洩磁界が存在しても、それらの影響なしに、超解像再生できることを示している。さらに、外部磁界が不要な点から、現行の光磁気ディスクドライブに適用が可能である。

また、再生磁界を消去方向に 200 Oe 程度加えると急速なキャリアの落ち込みがみられるが、これが、温度上昇時においてもマークの転写する力よりも外部磁界が大きくなるためである。

Fig. 9 に、再生パワー 3.0 mW でのシグナルレベルのマーク長依存性を示す。横軸がマーク長、縦軸がシグナルレベルである。ここで用いたシグナルレベルは、マーク長 $1\mu\text{m}$ に対して規格化した。また比較データとして、マーク長依存性の良い

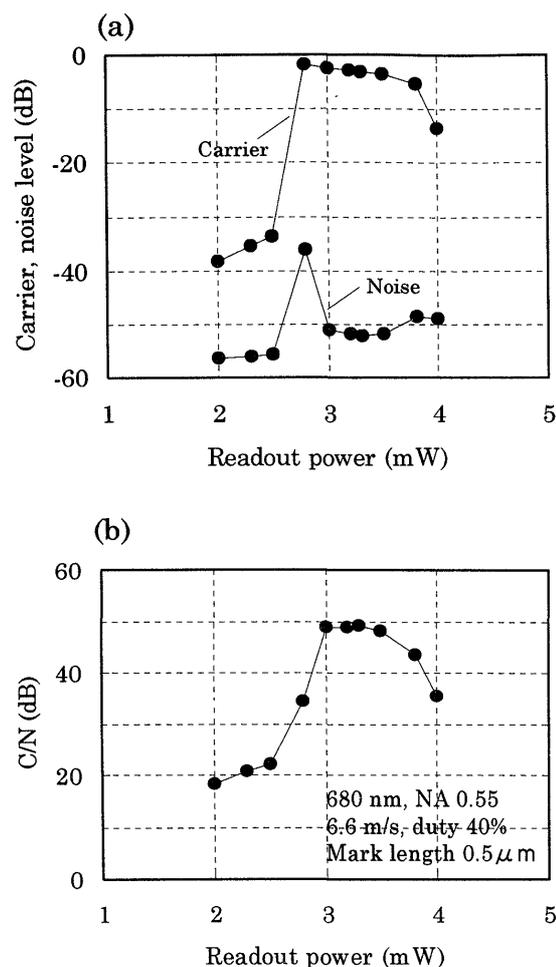


Fig. 7. Readout power dependence of the carrier and noise level (a) and C/N (b).

MSR であるシングルマスクタイプの FAD とダブルマスクタイプの D-RAD を用いた。なお、図中に示した FAD, D-RAD のデータは、我々が試作し、測定したものである。図より S-RAD のマーク長依存性は、FAD よりも短マークでの特性が良く、高密度記録に対し有効な方式であることが分かる。

Fig. 10 にマーク長 $0.5\mu\text{m}$ と $1.0\mu\text{m}$ におけるシグナルレベルとクロストークの再生パワー依存性を示す。横軸は再生パワー、縦軸はシグナルレベルである。このとき用いた S-RAD は、RAD 動作を約 2 mW 以上で起こるように作製した。測定は、ランドに記録した時の信号レベルから、グループにオントラックしたときに得られる信号の較差をクロストークとして行った。クロストークは、記録が起こる 3.8 mW よりも低いパワー範囲で、マーク長 $0.5\mu\text{m}$ のとき -40 dB 以下、 $1.0\mu\text{m}$ のとき -30 dB 以下であった。ここで再生パワー範囲を $2\sim 3\text{ mW}$ と仮定すると、クロストークは非常に低いものとなる。この結果から S-RAD はクロストークの少ない方式であることが、確認できた。

3. まとめ

磁性層のシュリンク力をフロントマスクとして利用する S-RAD 媒体を作製した。シュリンクは、再生層のみの作用で起こるのではなく、中間層の働きが大きく寄与していると思われ

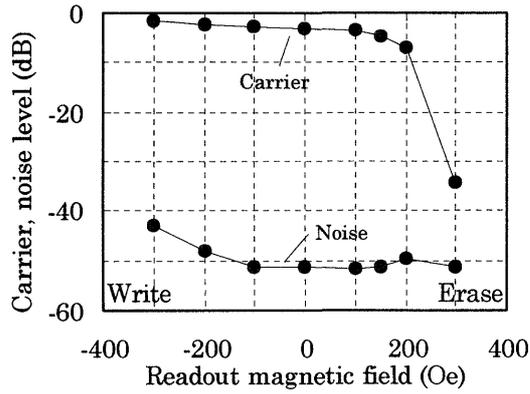


Fig. 8 Readout magnetic field dependence of the carrier and noise level.

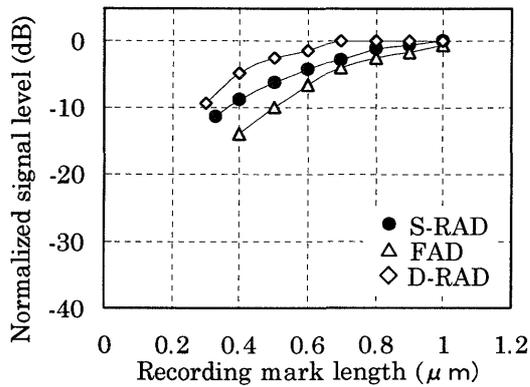


Fig. 9 Dependence of the signal level on the recording mark length.

る。

記録再生特性を測定した結果、光変調記録によって、 $0.5\mu\text{m}$ のマークを記録したところ、外部磁界の印加なしで、約 49 dB

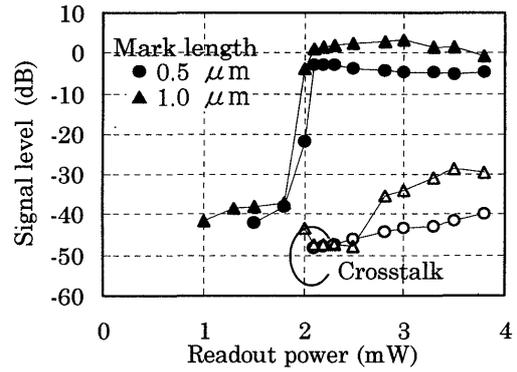


Fig. 10 Readout power dependence of the signal level and crosstalk (TP $0.8\mu\text{m}$).

の C/N が得られた。周波数特性は FAD 以上であり、クロストークはマーク長 $0.5\mu\text{m}$ で -40 dB 以下と良好であった。

今後、実用化に向けて、線速依存性などの検討および磁界変調記録への展開を予定している。

文 献

- 1) M. Kaneko, K. Aratani, and M. Ohta: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, Part 1, No. 2B, 568 (1992).
- 2) M. Ohta, A. Fukumoto, K. Aratani, M. Kaneko, and K. Watanabe: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **15** (Suppl. No. S1), 319 (1991).
- 3) S. Yoshimura, I. Nakao, and A. Fukumoto: *IEEE Trans. Cons. Elec.*, **38**(3), 660 (1992).
- 4) S. Yoshimura, A. Fukumoto, M. Kaneko, and H. Owa: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, Part 1, No. 2B, 576 (1992).
- 5) M. Birukawa, N. Miyatake, and H. Kawabata: *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 3209 (1995).
- 6) 玉野井 健, 松本幸治, 田中 努, 庄野敬二: 電気学会マグネティックス研究会資料, **MAG-95-194**, 25 (1995).

1996年10月14日受理, 1997年1月16日採録