低再生磁界 D-RAD

D-RAD MO Disk with Low External Magnetic Field for MSR Readout

古田正寛・太田輝之

(株)ニコン オプトメカトロニクス開発部, 横浜市栄区長尾台町 471 (☎244-8533)

M. Furuta and T. Ohta

Optomechanics R&D Department, Nikon Corporation, 471 Nagaodai-machi, Sakae-ku, Yokohama 244-8533

Recently many types of magnetically induced super-resolution (MSR) have been proposed for high-density recording on magneto-optical (MO) disks. Among them, double-mask rear-aperture detection (D-RAD) is the most promising, because of its high resolution and its crosstalk advantage. However, D-RAD requires a high external magnetic field for MSR readout. We investigated MSR by D-RAD in order to reduce the readout magnetic field. By optimizing the structure of MSR by D-RAD, we achieved a small magnetic field of -100 Oe for readout. In recording on a D-RAD MO disk with land/groove recording, a C/N of more than 45 dB for a mark length of $0.27 \mu\text{m}$ and a crosstalk level of less than -40 dB at a track pitch of $0.7 \mu\text{m}$ were achieved. In addition, a combination of light intensity modulation direct overwrite (LIMDOW) with D-RAD was achieved by adding on MSR switching layer to D-RAD.

Key words: magneto-optical disk, land/groove recording, magnetically induced super-resolution (MSR), rear-aperture detection (RAD), light intensity modulation direct overwrite (LIM-DOW)

1. はじめに

光磁気ディスクは、書換可能な媒体として登場して以来 1 世代で約 2 倍の高密度化が進んでおり、今後も高密度化の傾向は続くものと予想される。

これまでの高密度化はレーザー光の波長の短波長化ならびに光磁気媒体の各種マージンを狭めることにより行われてきたが、今後さらなる高密度化を行うためには、何らかの高密度化の手法が必要となるものと考えられる。

このような状況のもと、光磁気媒体の高密度化の有力な手法として、磁気超解像 (MSR) があり、各種の方式の検討が行われているが、この中で最も高密度化が望める方式として、D-RAD (ダブルマスク) 方式が挙げられる^{1),2)}。この方式は、フロント部分とリア部分との双方にマスクを形成するものであり、光磁気ディスクの高密度化にとって極めて有力な方法である。

今回、我々は、D-RAD 方式の低再生磁界化について検討として、ディスクを作製し評価を行った。また D-RAD 方式における光変調ダイレクトオーバーライト (LIM-DOW) 機能の付加についても検討を行ったので併せて報告する。

2. 実験方法

実験には基板厚 1.2 mm 、トラックピッチ $0.7 \mu\text{m}$ 、溝深さ約 40 nm のランド/グループ基板を用い、この基板上に光磁気媒体を成膜し評価を行った。

光磁気媒体の構造を Fig. 1 に示す。各層の膜厚は、保護膜: SiN (70 nm)/再生層: GdFeCo (30 nm)/中間層: GdFe (50 nm)/記録層: TbFeCo (50 nm)/保護膜: SiN (70 nm) である。なお、光磁気膜の成膜には、Fe, Co, Gd, Tb の単体ターゲットを用い多元同時スパッタリングにより成膜を行った。また、SiN の成膜は Si ターゲットを用いリアクティブスパッタリングを行うことにより形成した。

特性の測定には、レーザー波長 685 nm 、N.A. 0.55 の光学系を用い、ディスクを線速約 9.0 m/s で回転させ測定を行った。また、記録はすべて光変調記録により行った。

3. 結果

3.1 再生磁界特性

Fig. 2 に、 $0.3 \mu\text{m}$ のマークをランド部分に記録した低再生磁界 D-RAD ディスクの再生磁界と C/N との関係を示す。このときの再生パワーは 4.0 mW である。再生磁界は (+) が記録方向、(-) が消去方向を示す。

Fig. 1 Structure of a D-RAD.

Fig. 2 Readout magnetic field dependence of the C/N and crosstalk.

また、クロストークの評価結果を Fig. 2 の点線に示す。クロストークの評価方法は、ランド部の両側のグルーブ部にマークを記録し、ランド部にレーザー光を照射し再生信号を測定することにより評価を行った。

記録磁界方向に再生磁界を印加した場合では、約 400 Oe 以上で良好な C/N が得られ、また、クロストークも低くなりダブルマスクとなっているものと思われる。

また、消去磁界方向に再生磁界を印加した場合では、約 100 Oe 以上で C/N が良くなり、記録磁界方向に印加した場合とほぼ同等の値となった。また、この場合もクロストークは -40 dB 以下であるため低い再生磁界であってもクロストーク上は問題なく、ダブルマスクとなっているものと思われる。我々はこの低い再生磁界で D-RAD になるディスクを低再生磁界 D-RAD ディスクと呼ぶ。

詳細については、今後検討を要するが、作製したディスクは、従来報告されている D-RAD ディスクと比べ再生磁界依存性が少ない傾向にあった。また、常温での磁化を測定したところ、面内磁化状態に近かった。これは常温では面内磁化している中間層の膜厚が厚く、再生層はこの中間層と強い交換結合しているため、再生層も若干面内磁化状態となっており、したがって、フロントマスクが低い再生磁界で形成されるものと思われる。

リアマスクは低い再生磁界で形成されるため、低い再生磁界での D-RAD が可能となる。このような、低再生磁界 D-RAD の利点としては、再生磁界が低いためドライブへの適合性が高くなることが挙げられる。

3.2. 再生パワー特性

Fig. 3 に、0.3 μm のマークを記録した低再生磁界 D-RAD ディスクを再生磁界を消去方向に 100 Oe 印加し再生したときの再生パワーと C/N との関係を示す。

この結果より、低い再生パワーではキャリアがほとんど検出されないことから、フロント部分のマスクが形成されているものと想定される。

この後、再生パワーを増加させることにより、徐々に C/N も増加する。これは中間層が面内磁化状態から垂直磁化状態へ変化するの影響を受け、徐々にアパーチャーが開くことによるものと思われる。さらに、再生パワーを増加すると、3.2

Fig. 3 Readout power dependence of the C/N and crosstalk.

mW 以上でリアマスクが形成され D-RAD となる。このときのクロストークを測定したところ、3.4~4.2 mW の範囲の再生パワー領域で -40 dB 以下であった。

3.3 マーク長対 C/N

Fig. 4 に光磁気ディスクに記録したマーク長と C/N との関係を示す。なお、低再生磁界 D-RAD ディスク再生条件は、再生パワー 4.0 mW、再生磁界を消去方向に 100 Oe 印加したものである。

0.3 μm のマークを記録した場合、約 47.5 dB 以上の C/N を得ることができ、0.27 μm のマークを記録した場合は、45 dB 以上の C/N を得ることができた。

ここで、D-RAD の消去方向に再生磁界を印加した場合、記録層にマークが記録されている部分では、再生磁界の消去方向が記録層と中間層の交換結合力を助ける方向である。

すなわち、フロントマスク部分とリアマスク部分との間に挟まれたアパーチャー領域では、消去方向に再生磁界を印加することにより、中間層全体としての磁化向きは消去方向に向くが、中間層は Re リッチであるため、遷移金属副格子磁化は、全体の磁化向きとは反対を向き、マークの記録された部分では、記録層に記録されたマークと中間層との交換結合力を強める方向に働く。したがって、アパーチャー領域では、消去方向に再生磁界を印加した場合は記録されているマークを浮出させる方向となる。

Fig. 4 Mark dependence of the C/N.

これとは逆に、記録方向に磁界を印加した場合では、記録されているマークの浮出しを妨げる方向となる。

よって、再生磁界を消去方向に印加した方が、記録方向に磁界を印加する場合よりもマークが浮出しやすくなり、消去方向に再生磁界を印加した方が有利になると思われる。

4. 光変調ダイレクトオーバーライト機能の付加

4.1 DOW と MSR との温度マージン

光変調ダイレクトオーバーライト (LIM-DOW) 方式は³⁾、消去過程を経ることなくダイレクトに情報の書き込みを行う方式であり、通常の LIM-DOW でない媒体と比較すると、情報を高速に記録することができ、記録時間を短縮化できるという利点を有する。

光変調ダイレクトオーバーライト方式は、消去と記録を同時に行うため、情報の記録のために2水準の異なる温度を必要とする。すなわち、消去のための温度 (L プロセス温度) と記録のための温度 (H プロセス温度) が必要であり、このため2水準のレーザーパワーの値が必要となる。

また、MSR はレーザー光の照射された部分の温度分布を利用し高密度な再生を行うものであり、D-RAD 方式はその再生を行うために2段階の温度を必要とする。すなわち、フロントマスクとアパーチャー領域と仕切りのための温度と、リアマスクを形成するための温度とである。

この D-RAD 方式の MSR に LIM-DOW 機能の付加⁴⁾を考えた場合、D-RAD の中間層として GdFe を用いたとすると、D-RAD と現在の LIM-DOW とを単純に接合しただけでは、D-RAD の中間層のキュリー温度が LIM-DOW のメモリ層のキュリー温度よりも高いため、D-RAD 再生をするとメモリ層に記録されていた情報が消えてしまう。すなわち、Fig. 5(a) のように D-RAD の再生温度 (再生パワー) と LIM-DOW の消去温度 (消去パワー) とが温度的に干渉することとなる。

このことを回避するために、Fig. 5(b) のように、D-RAD の再生パワーと DOW の消去パワーを分離する必要がある。この方法の一つとして、LIM-DOW のメモリ層などのキュリー温度を高くする方法が考えられるが、現在の半導体レーザーのパワーに上限があることから、このような対応は問題が残るものと考えられる。

よって、D-RAD の動作温度を下げることに伴う LIM-DOW との接合を考える必要がある。

D-RAD の動作温度を下げる方法としては、D-RAD の中間層のキュリー温度が低い材料を用いる方法と D-RAD と LIM-DOW の接合部分、すなわち、D-RAD の中間層と LIM-DOW のメモリ層との間にキュリー温度の低い垂直磁化膜を挿入する方法とがある。

前者の中間層にキュリー温度の低い材料を用いる方法については、現在中間層として用いている GdFe への不純物の混入などにより対応可能と考えられる。

また、後者の場合は、中間層とメモリ層の間にキュリー温度の低い TbFe などの切断層を挿入することにより対応可能である。

ここで、さらに DOW との整合性という観点からみると、

Fig. 5 D-RAD and DOW power margin.

MSR 中間層は単体で、常温では面内磁化を示すものである。また、光変調ダイレクトオーバーライトでは、交換結合力を利用し記録を行う方式である。このため中間層がメモリ層と直接接合していると、LIM-DOW 動作によりメモリ層への記録を行う際に、中間層が悪影響を与える場合がある。このことは、MSR 再生に用いるような小さなマークを記録する際に特に顕著になるものと考えられる。

よって、これらのことを鑑みると D-RAD にオーバーライト機能を付加する場合には、後者の構成の方が膜総数は多くなるものの、LIM-DOW 動作を考慮した場合の DOW との整合性は高くなるものと考えられる。よって、我々は、この構成の D-RAD-DOW について検討を行った。

4.2 低温タイプ D-RAD

DOW と D-RAD の切断層挿入による接合の手始めとして、D-RAD の低再生パワー化、すなわち、Fig. 6 に示す低温タイプの D-RAD を作製した。この際、用いた切断層は TbFe (キュリー温度: 約 140°C) である。この低温タイプの D-RAD に、0.3 μm のマークを記録した場合の再生パワー特性を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 の結果より、中間層として GdFe のみを用いた3層

Fig. 6 Structure of a low-temperature type D-RAD.

Fig. 7 Readout power dependence of the C/N.

Glass 2P substrate
Dielectric layer (SiN)
Readout layer (GdFeCo)
MSR intermediate layer (GdFe)
MSR switching layer (TbFe)
Memory layer (TbFeCo)
DOW intermediate layer (GdFeCo)
Writing layer (DyFeCo)
DOW switching layer (TbFeCo)
Initializing layer (TbFeCo)
Dielectric layer (SiN)

Fig. 8 Layer structure of a D-RAD-DOW.

D-RAD の D-RAD 動作が開始する再生パワーが約 3.4 mW であるのに比べ、低温タイプの D-RAD の動作が開始する再生パワーを約 2.0 mW にすることができ、再生パワーを約 1.4 mW 低くすることができた。

4.3 D-RAD-DOW

上記結果より、現状の DOW のメモリ層のキュリー温度 (200°C 前後) よりも十分低い温度 (約 140°C) で D-RAD 動作させることができ、D-RAD 再生時のメモリ層の消去を防止することができる。

Fig. 8 に切断層を挿入した D-RAD-DOW の膜構成を示す。

この D-RAD-DOW の成膜を行い、パワー特性の評価を行った結果を Fig. 9 に示す。なお、装置の都合上、この場合のみ N.A: 0.6 の評価装置を用い、マーク長 0.35 μm のマークを記録し評価を行った。

この結果、再生パワー 2.5 mW で C/N 45 dB 前後を得ることができ、ランドとグルーブではほぼ同等の特性が得られた。

Fig. 9 Read and write power dependence of C/N.

しかしながら、NON-DOW タイプの MSR と比べ特性としては、十分とはいえず、また、マージンも狭かった。これは、DOW 機能を付加した際の条件の最適化が十分になされていないことによるものと考えられ、今後のさらなる検討を要する。

5. ま と め

(1) 再生磁界を消去方向に約 100 Oe 印加することにより、D-RAD 動作をする MSR 媒体を得ることができた。このときのトラックピッチ 0.7 μm のランド/グルーブ基板にて、マーク長 0.27 μm で 45 dB 以上有り、クロストークも 40 dB 以下と良好であった。これは 3.5 インチで約 2.3 GB に相当する。なお、深溝基板 (DG)⁵⁾ を用いトラックピッチを狭めることにより、更なる高密度化が可能となる。

(2) D-RAD の低再生パワー化として切断層を挿入した NON-DOW 媒体 (低温タイプ D-RAD) を作製したところ、通常の D-RAD と比べ約 1.4 mW 再生パワーを下げる事ができた。また、この低温タイプ D-RAD と DOW とを接合させた D-RAD-DOW の成膜をし、評価を行ったところ、ランド、グルーブ共にほぼ同様の動作をするものを得ることができた。

文 献

- 1) 田中 努, 池谷智則, 玉野井健, 三原基伸, 松本幸治, 庄野敬二: 第 20 回日本応用磁気学会学術講演概要集, **22pE-7**, 316 (1996).
- 2) 篠田昌孝, 坂本哲洋, 中沖有克, 菅野正喜, 金子正彦: 日本応用磁気学会誌, **21**, 329 (1997).
- 3) J. Saito, M. Sato, H. Matumoto, and H. Akasaka: Proc. ISOM '87, *Jpn. J. Appl. Phys., Suppl.* **26**(4), 155 (1987).
- 4) T. Tokunaga, Y. Fujii, and K. Yamada: ODS '97 Conference Digest, p. 16 (1997).
- 5) S. Morita, M. Nishiyama, and M. Furuta: *SPIE*, **3109**, 167 (1997).

1997 年 10 月 24 日受理, 1997 年 12 月 18 日採録