

熱アシスト磁気記録

Thermally Assisted Magnetic Recording

あらまし

熱アシスト磁気記録は磁気記録技術と光記録技術を融合した記録方式である。この方式では、通常の磁気記録では記録できないような高保磁力媒体に対して、光照射することで熱磁的に記録した後、室温に戻した状態で磁気的に再生する。この技術の適用により、高保磁力媒体に記録できるので、熱安定性を保ちながら磁性粒子を微細化できる。このような媒体、微小光ビームおよびキュリー温度記録を組み合わせると1 Tbit/in²を超える面記録密度記録を達成できる可能性がある。

本稿では、通常のスピスタンドに新たに設計した光ヘッドを組み込んだテストを試作して、記録再生特性を調べた。熱アシスト磁気記録によって高い保磁力を有するTbFeCo薄膜に記録することが可能となり、さらに、特別な磁気ヘッドを用いることなく、記録幅を50 nm以下まで狭められることを示す。

Abstract

Thermally assisted magnetic recording can solve the fundamental problems of thermal fluctuation and write capability in magnetic recording and is regarded as the key technology for achieving densities exceeding 1 Tbit/in². In particular, the combination of optical dominant recording and Curie temperature recording is recognized as the best method for overcoming this limit. We have built a dynamic write-read tester composed of a conventional spin stand and a newly designed magneto-optical head. In this paper, we show the capability of writing small magnetic domains on TbFeCo recording media with a high coercive force and describe a technology for recording tracks having a pitch of less than 50 nm.



松本幸治 (まつもと こうじ)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 ストレージテクノロジー研究部 所属
現在、磁気記録関連の研究に従事。



上村拓也 (かみむら たくや)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 ストレージテクノロジー研究部 所属
現在、磁気記録関連の研究に従事。



下川 聡 (しもかわ さとし)
ストレージ・インテリジェントシステム研究所 ストレージテクノロジー研究部 所属
現在、光ストレージ関連の研究に従事。

ま え が き

熱アシスト磁気記録は、磁気記録の面記録密度を高めることができる技術として注目されている。その理由は、通常の磁気記録方式において、いかにして記録ビットの熱揺らぎ耐性を保ちながら記録性能を向上するかということが難しくなってきたからである。この課題を解決するために、ヘッド、媒体、ヘッド-媒体インタフェース、信号処理など様々な観点から新しい技術が提案されるとともに、ほかの技術と組み合わせた記録方式が考案されている。これらの中で熱アシスト磁気記録は、熱エネルギーを与えることで記録媒体の保磁力を小さくして記録した後、急冷することで保磁力を大きくして保存するので、熱揺らぎ耐性に優れた高保磁力媒体にも記録できるという特長がある。

熱アシスト磁気記録方式として、磁気ドミナント記録と光ドミナント記録が考えられている⁽¹⁾。その模式図を図-1に示す。磁気ドミナント記録とは、記録幅が記録ヘッドの記録コア幅（磁界分布幅）に対応するような記録方式であり、光ドミナント記録とは、記録幅が光ビーム幅（熱分布幅）に対応するような記録方式である。このようなディメンジョンを想定すると、磁気ドミナント記録では記録後のデータ消去や隣接トラックのデータ消去を抑制する必要があるため比較的低い温度で記録することになる。一方、光ドミナント記録では急峻な磁気特性の変化を利用する必要があるためキュリー温度付近で記録することになる。

Lyberatosらは、記録温度に対する面記録密度の向上度合いを理論的に見積もっている⁽²⁾。記録温度をキュリー温度の約75%に設定すると、記録密度

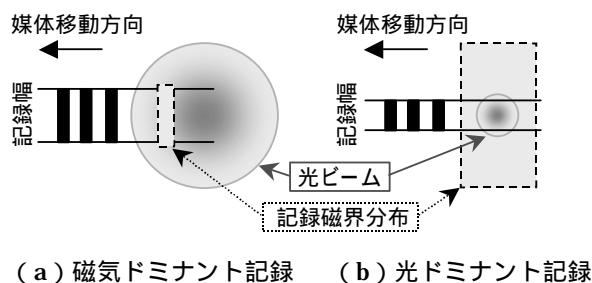


図-1 磁気ドミナント記録と光ドミナント記録
Fig.1-(a) Magnetic dominant recording and (b) optical dominant recording.

の向上度は約1.5倍になり、さらに昇温して約98%に設定すると、向上度は約10倍になることを示している。つまり、熱アシスト磁気記録のメリットを享受するためには、キュリー温度付近で光ドミナント記録を行う必要があると言える。

著者らは、このような熱アシスト磁気記録のポテンシャルを確認するために、理論解析、マイクロマグネティックシミュレーション、原理実験などを手がけている。本稿では、原理実験の結果を紹介する。原理実験とは、媒体に光-磁気エネルギーを与えながら記録した後、磁気的に再生するというもので、光照射による媒体上の温度分布、記録磁区、それに対する再生信号などを原理的な側面から検証することを主目的としている。したがって、実際の装置に適用されると思われる光素子-ライター-リーダー一体型ヘッドで記録再生するものではない。原理実験として、これまで上記の二つの記録方式について報告してきたが^{(3),(4)}今回は高密度記録が可能な光ドミナント記録の原理実験を紹介する。

光ドミナント記録の原理実験方法

ここでは、光ドミナント記録の実験に用いた記録再生評価装置と記録媒体について述べる。

記録再生評価装置

試作した熱アシスト磁気記録評価機の写真を図-2に示す。磁気記録評価用スピンドルに光磁気ヘッド（MOヘッド）を追加した構成になっている。媒体は反時計周りに回転しており、右側の光磁気ヘッドで記録した後、左側のGMRヘッドで再生す

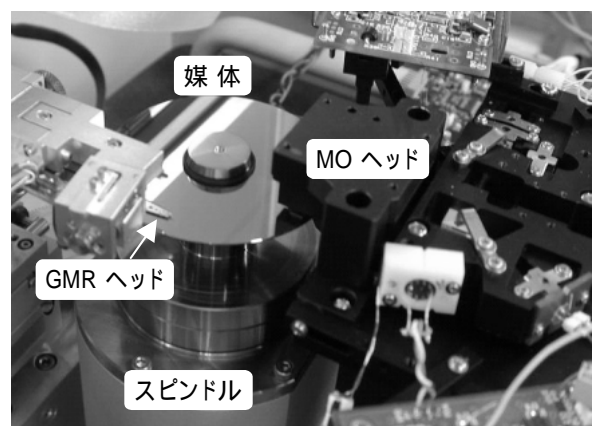


図-2 熱アシスト磁気記録評価機
Fig.2-Tester of thermally assisted magnetic recording.

る。GMRヘッドの半径方向の送り分解能はレーザースケールを用いているので1 nm以下である。光ビームの半径方向のふらつきをグループ付きディスクで確認したところ、±10 nm以下であった。この光ビームのふらつき幅はGMRヘッドのリードコア幅(140 nm)に比べて十分に狭いので、記録再生特性は光ビーム振れの影響をほとんど受けない。

光磁気ヘッドの構成を図-3に示す。光源の波長は405 nm、対物レンズのNAは0.85、光ビームの直径は約450 nmである。ヘッド表面と媒体表面のギャップは、アクチュエータによって30 μmに保たれている⁹⁾ コイル1は交番磁界を印加しながら連続光を照射して記録する磁界変調方式(MFM: Magnetic Field Modulation)に用い、コイル2はDC磁界を印加しながらパルス光を照射して記録する光変調方式(LIM: Light Intensity Modulation)に用いた。コイル1の最大磁界強度は280 Oe、コイル2の最大磁界強度は900 Oeである。媒体の線速度は4~8 m/sに設定した。

記録媒体

媒体構造を図-4(a)に示す。基板には2.5インチガラスディスクを用い、下地層にはPt膜(膜厚: 5 nm)、記録層にはTbFeCo膜(膜厚: 35 nm)、保護層にはC膜(膜厚: 5 nm)を用いた。下地層は、記録層の記録分解能を改善する役割を担っているので、その表面形状は微細で均一な凹凸形状であることが望ましい⁹⁾ Pt膜表面の形状を図-4(b)に示す。Raは0.8 nm、粒子径は12 nmであり、超高密度記録を達成するには不十分だが原理的な確認には有効と言える。ガラス基板上にこのような凹凸構造を形

成する手段として、ガラス基板材料より表面エネルギーが大きい材料を製膜した場合に生じる島状成長を利用する⁹⁾ ここでは、比較的取り扱いが簡単なPt膜を用いているが、ほかの金属・合金あるいは多層膜でもよい⁹⁾ 媒体のヒステリシスループを図-5に示す。飽和磁化の値Msは約300 emu/cm³、角型比は1、キュリー温度Tcは約300 Kである。保磁力HcはTb量を変えることで5~13 kOeまで変化させた。ヒステリシスループが立っていることから、TbFeCo膜は膜面内において交換結合力が作用しているピンニング型磁性膜になっている。

光ドミナント記録の原理実験結果

まず、熱アシスト磁気記録で必要となる記録膜の磁気特性を把握するために、保磁力の異なるTbFeCo媒体に磁界変調方式で記録して磁気再生した。その再生波形を図-6に示す。この場合の線速度は4 m/sである。保磁力を大きくするほど記録マーク長を短くできることが分かる。熱磁気記録の記録過程についてはほかの文献を参考にさせていただきたいが、短いマークを記録するためには保磁力の温度

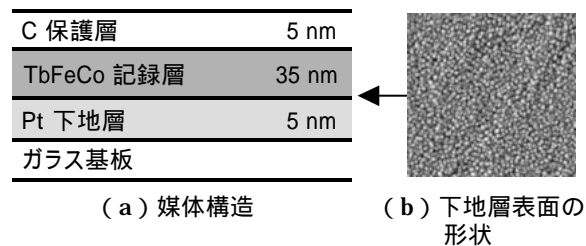


図-4 媒体構造と下地層表面の形状
Fig.4-(a) Media structure and (b) surface morphology of Pt seed layer.

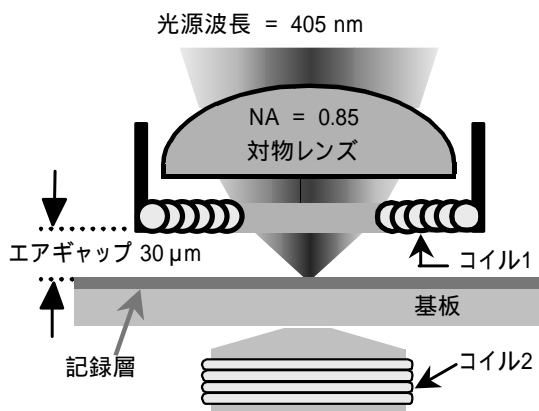


図-3 試作した光磁気ヘッド部
Fig.3-Magneto-optical head.

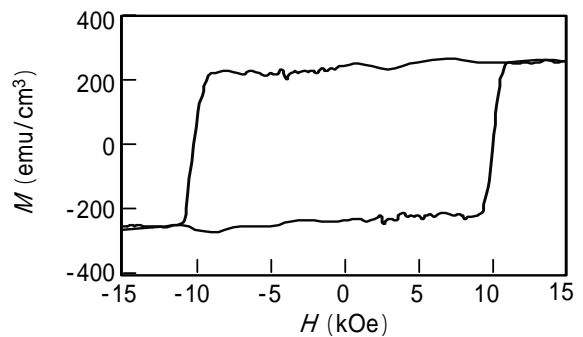


図-5 M-Hヒステリシスループ
Fig.5-M-H hysteresis loop of media.

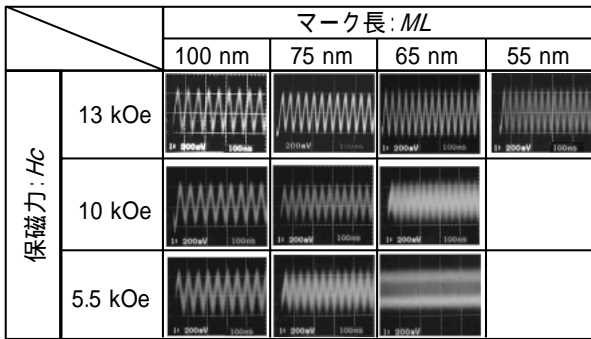


図-6 異なる H_c に対する各マーク長での再生波形
Fig.6-Readout signals of each mark length for media with three kinds of H_c .

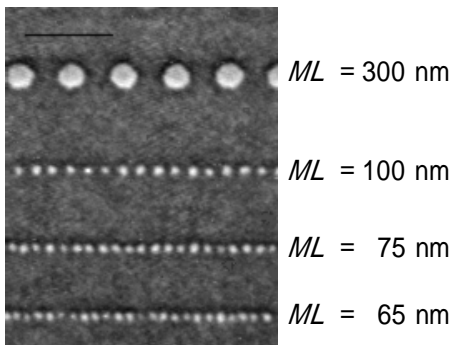


図-7 光変調記録した磁区の磁気力顕微鏡像
Fig.7-Magnetic force microscope image of recorded domains using light intensity modulation.

変化を大きくする必要があるので、室温での保磁力を大きくする必要があると言える。ただし、 $TbFeCo$ 膜では保磁力をこれ以上大きくすると磁化の値が小さくなって再生信号が小さくなるという問題がある。

上記の検討では、媒体の線方向の特性を調べるために磁界変調方式を用いた。しかし、磁界変調方式では記録幅が光ビーム径程度まで広がるので、熱アシスト記録のメリットである狭トラック記録を検証できない。そこで、光記録のメリットを実験的に確認するために光変調方式で記録した。光変調方式では、レーザー発光のタイミングと時間を調整すれば媒体上の温度分布を制御できるので記録マーク長と記録幅をそろえることができる。光変調方式で記録した磁区の磁気力顕微鏡像を図-7に示す。光変調方式で記録したマークは円形になっており、マーク長(媒体移動方向の記録長)が短くなるに従って記録

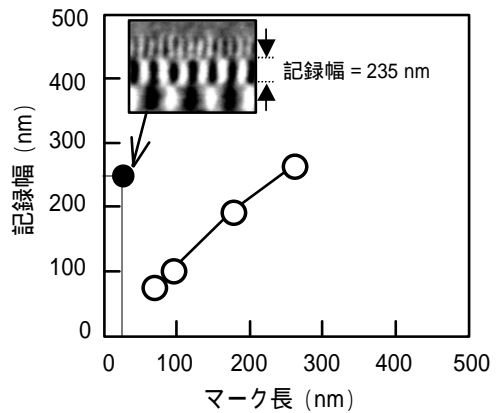


図-8 マーク長に対する記録幅の変化
Fig.8-Dependence of recording width on mark length for LIM recording.

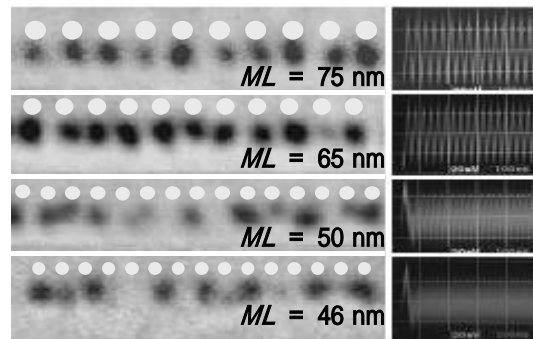


図-9 光変調記録した磁区像と再生波形
Fig.9-Magnetic force microscope images and readout signals for shorter marks.

幅も狭くなることが分かる。その変化の様子を図-8に示す。マーク長が短くなるとともに記録幅も比例して狭くなり、マーク長と記録幅がほぼ1:1の関係を保っている。は、 100 Gbit/in^2 の磁気ディスクでのマーク長と記録幅に対応する。図中にこの場合の磁気力顕微鏡像を示す。記録幅は 235 nm (108 kTPI)で、最短ビット長は 27 nm (925 kbp)である。これに比べて、光変調記録では記録幅を容易に 65 nm まで狭めることができ、熱アシスト記録により狭トラック記録を達成できる可能性があることを示唆している。さらにマーク長を短くした場合の磁気力顕微鏡像と再生波形を図-9に示す。磁気力顕微鏡像の中の白丸は理想状態で記録された場合のマークの並びである。マーク長 = 65 nm までの記録状態は理想状態にほぼ等しいが、それ以下のマーク長では理想状態からずれてきて、いわゆる記録抜け

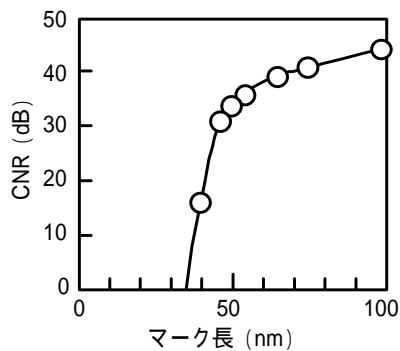


図-10 マーク長に対するCNRの変化
Fig.10-Dependence of CNR on mark length using LIM method.

(drop out)が発生する。ただし、マーク長 = 46 nm でもその周期に対応した再生波形を観察することができている。

マーク長に対するCNR (Carrier to Noise Ratio : ある周波数での振幅とノイズの比) の変化を図-10に示す。マーク長が46 nmより短くなると、CNRは急激に減少する。このことから、マーク長 = 46 nmまではある程度の記録ができていると考えてよい。これを面密度に換算すると、ビット長 = 45 nm (550 kbpI)、記録幅 = 46 nm (550 kTPI) となり約300 Gbit/in²に相当する。

む す び

キュリー温度記録を利用した熱アシスト磁気記録について、原理実験の現状を紹介した。まず、記録再生を調べるための評価機を組み立て、既存の光学ヘッド、記録媒体および磁気ヘッドを用いて熱アシスト磁気記録の可能性を調べた。その結果、熱アシスト磁気記録により、熱揺らぎ耐性に優れた $H_c = 13 \text{ kOe}$ の高保磁力媒体に対して記録再生が可能であり、現状の磁気ディスク (100 Gbit/in²相当) に

比べて記録幅を30%以下まで狭められることを示した。今後、熱アシスト磁気記録は、光ビーム径を回折限界以下まで絞った光学系と記録分解能を高めた媒体を組み合わせることで超高密度記録を達成できる有力な方式として進化していくものと思われる。

参考文献

- (1) K. Shono et al. : Optically-Assisted Magnetic Recording Targeting over 1 Tbit/in². Proc. SPIE, Vol.5643, 2005, p.177-186.
- (2) A. Lyberatos et al. : Thermal stability of the magnetization following thermo magnetic writing in perpendicular media. *J. Appl. Phys.*, Vol.94, p.1119-1129 (2003).
- (3) A. Inomata et al. : Synthetic Ferrimagnetic media - Effects of Thermally assisted Writing - . *IEEE Trans. Magn.*, Vol.41, p.636-641 (2005).
- (4) T. Kamimura et al. : Thermally Assisted Magnetic Recording Using an Optical Head with NA = 0.85. *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol.30, p.655-658 (2006).
- (5) H. Yoshikawa et al. : A Magnetic Coil Suitable for Magneto-Optical Recording with a Large Working Distance. *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.43, p.4736-4741 (2004).
- (6) K. Matsumoto et al. : Magnetic Recording on Magneto Optical Media Using Merge Type Giant Magneto Resistive Head. *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.39, p.L1161-L1163 (2000).
- (7) 吉田貞史 : 薄膜. 初版, 東京, 培風館, 1990.
- (8) K. Matsumoto et al. : Improvement of Recording Density of Amorphous TbFeCo Magnetic Recording Layer on FeC Soft Magnetic Back Layer. *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.41, p.L691-L693 (2002).