

論文

光アシスト型高密度ディスクメモリ

High Density Disk Memory Using a Laser-Assisted Recording Method

小嶋 邦男*¹ 宮西 晋太郎*¹ 佐藤 純一*¹ 高山 和久*¹
Kunio Kojima Shintaro Miyanishi Junichi Satoh Kazuhisa Takayama
藤 寛*² 村上 善照*¹ 高橋 明*¹
Hiroshi Fuji Yoshiteru Murakami Akira Takahashi

要旨

光アシストによる記録再生方式は、次世代の高密度ディスクの記録技術として期待されている。その特徴は、熱を利用して高保磁力媒体に磁気記録を行い、再生は媒体からの漏洩磁場を検出することにある。そして、その熱源としては半導体レーザーが使用されている。本論文では、記録媒体としてTbFeCoを使用し、光アシスト型のディスクメモリが高密度記録への可能性を有していることを実証した結果が述べられている。

A laser-assisted magnetic recording is a promising technology for achieving a high area density. This new method has the following capabilities: 1) recording on a high coercivity media with thermal assistance; 2) detection of leakage flux from a recording media; and 3) the use of a laser spot as a thermal source. In this paper, the laser-assisted magnetic recording offers the possibility of high area density recording by using a TbFeCo film.

まえがき

ユビキタスネットワークを支える重要な要素技術として、ストレージ技術がある。ストレージ装置を代表するものとしては、ハードディスクのディスク固定型、光ディスクのディスク可搬型が挙げられるが、最近ではフラッシュメモリによる半導体メモリがモバイル型ストレージとして着実に民生分野に浸透し始めている。

ディスクメモリもディスクサイズの小型化により、その市場の拡大を進めている。半導体メモリに対する優位性を確保するためには、記録の高密度化が必須であり、各方面で鋭意開発競争が展開されている。

記録の高密度化は、如何に小さいマークを記録し、再生するかに帰結されるが、その限界がハードディスク、光ディスクにおいても表面化して来ている。光ディスクの場合は、光の波長に依存する回折限界により再生能力の限界に直面している。一方、磁気記録では超常磁性限界を回避するために、熱安定性に優れた高保磁力媒体を採用することが必須であるが、記録に

必要な高磁場強度を発生する磁気記録ヘッドがないという記録能力の限界が見えてきた。

こうした状況下で、光ディスクと磁気ディスクの両分野から、光と磁気の融合技術により高密度記録の限界を突破する新しい記録再生方式が提案され、そして注目を浴びることになった^{1)~3)}。この方式の特徴は、記録は光磁気と同様に記録媒体を加熱して保磁力を一時的に下げて外部磁場により情報を記録し、再生はハードディスク装置に搭載されている高感度・高分解能の磁気センサにより、媒体から漏洩磁束を検出して実行することにある。

我々は、業界に先駆けて本方式の記録再生技術を提案し、その原理検証を行った。本論文では、その新技術の内容と、原理検証を行い高密度記録再生の可能性を見出した結果を報告する。

1. 記録再生の原理

我々が提案した新記録再生方式では、見かけ上の磁化がゼロとなる磁気補償温度が、室温近傍に設定され

*¹ 技術本部 デバイス技術研究所 第3研究室*² 技術本部 デバイス技術研究所 第7研究室

たフェリ磁性体を、磁気記録材料として用いる。その保磁力と磁化の温度依存性を巧妙に利用するもので、記録時並びに再生時にも照射されるレーザー光によって媒体の温度を制御する。

実際の磁気記録材料としては、光磁気記録材料として良く知られた希土類-遷移金属の非晶質フェリ磁性合金を使う。本材料系は、幅広い組成範囲で垂直磁気異方性を示し、非晶質材料ゆえに、連続的な組成調整が可能で、結晶粒界に起因するようなノイズも少ない。この点は、CoCr系の結晶質材料が主流を占める従来の磁気記録材料にはない大きなメリットと考えられる。

1・1 記録原理

まず、その記録原理を、模式的に図1示す。図1(a)は、記録用磁気ヘッドからの磁場印加領域と、同時に照射される光ビームスポットによって昇温される媒体領域との関係を示している。磁気記録材料は、図1(b)に表わしたような保磁力の温度依存性を示す。従って、光ビーム未照射の領域は、磁気補償温度近傍で高保磁力の状態にあるため、磁気ヘッドからの印加磁場下でも、その磁化状態に変化はない。一方、光ビーム照射領域では、昇温によって保磁力が下がり、その磁化状態が、記録磁気ヘッドからの印加磁場に応じて容易に変化する。その結果、記録トラック幅が、記録磁気ヘッド幅に制限されず、ビーム径に応じた昇温領域幅で決まるような狭トラック記録が可能となる。

ここで、光磁気記録との違いを図2により説明する。図2は、媒体上の昇温領域と外部印加磁場領域の相互関係を3つの場合に分けて示している。光磁気記録は、図2(b)に相当し、昇温領域より遥かに大きな磁場印加領域により、記録マークのエッジは、全て媒体の温度勾配により決定される。一方、我々は図2(a)に示す場合を採用している。ここでは、線方向

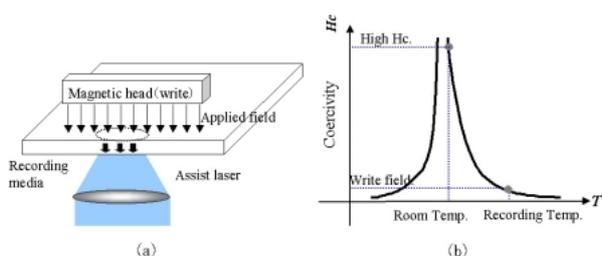


図1 光アシストによる記録原理
Fig. 1 Write method of laser-assisted recording.

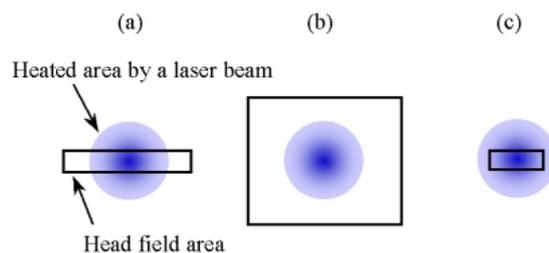


図2 光アシスト記録の種類
Fig. 2 Laser-assisted recording types.

のマークのエッジは外部磁場の勾配を主として、媒体の温度勾配とともに決定され、マーク幅は媒体の温度勾配のみから決定される。図2(c)の場合は、昇温領域が磁場印加領域より大きい場合、主としてマークエッジは全て外部磁場の勾配により決定される。

1・2 再生原理

図3は、模式的に表わした再生原理を示す。図3(a)は、再生用磁気ヘッドと、再生時に同時に照射される光ビームスポットによって昇温された媒体領域との関係を示す。例えば、磁気補償温度が室温近傍にあるとき、磁気記録材料の磁化は、図3(b)で示すような温度依存性を示す。従って、光ビーム未照射領域では、温度も上がらず、ほぼ磁気補償温度近傍にあって磁化が小さいため、記録済みのトラックであってもそこからの漏洩磁束はほとんどない。一方、光ビーム照射で昇温された箇所は、磁化が一旦大きくなって極大を示すため、そこからの漏洩磁束を再生磁気ヘッドで検出できることになる。このようにして、狭トラック記録によって、トラック密度が上がっても、再生磁気ヘッドを狭幅化することなく再生は可能となる。

しかしながら、トラックを更に高密度化すること

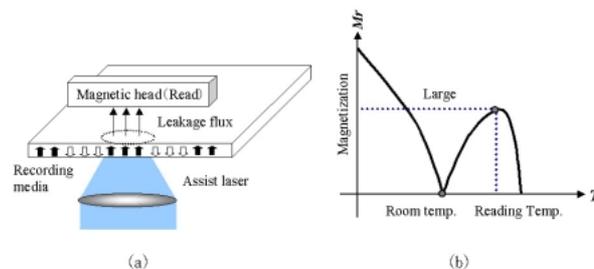


図3 光アシストによる再生の原理
Fig. 3 Read method of the laser-assisted recording.

は、この再生方式では困難である。それは、光アシスト記録が印加磁場の強度と保磁力によりクリティカルに記録が実施されるのに対して、光アシスト再生では、加熱により記録媒体の残留磁化はブロードに変化するため、昇温領域より微小な領域を限定して、再生することは不可能である。そこで、我々は、磁気補償温度を境に磁化の極性が反転することを利用したクロストークキャンセル手法を考案した⁴⁾。それは、室温より高い磁気補償温度を有する記録媒体を用いて、光照射により隣接トラックも積極的に昇温し、隣接トラック上で磁気補償温度を実現させ、隣接トラックからの漏洩磁場を実質的にゼロとするものである。

2. 実験

2.1 媒体の作製

磁気記録層として、TbFeCo膜を用いた。基板には、静磁気特性評価用に0.5mm厚のマイクロシートを、記録/再生動特性評価用に、市販の2.5インチHDD用のガラスディスク(0.635mm厚)をそれぞれ使用した。媒体の構成としては、基板の上に、50nm厚のTbFeCo膜、保護膜として20nmまたは10nm厚のa-C膜を順次形成した後、PFPE系の潤滑剤をディップコートにより塗布している。TbFeCo膜並びにa-C膜ともに、自公転型のマグネトロンスパッタリング装置で作製した。

2.2 評価装置

ディスクへの記録・再生といった動的評価は、光ディスク用光ピックアップとハードディスク用の薄膜GMR磁気ヘッドを使用して、ディスクを挟んだ格好で実施している。光ピックアップと磁気ヘッドは、送り精度が10nm以下であるリニアステージに搭載されており、更に磁気ヘッドは位置決め精度が1nmのピエゾXYステージに取り付けられ、光ピックアップからのビームスポットと磁気ヘッドの記録・再生各々の

表1 磁気ヘッドと光ヘッドの仕様

Table 1 Specifications of magnetic head and optical pickup.

■ Magnetic head (A merged GMR head for longitudinal recoding)	
Write gap length	0.17 μm
Write track width	0.57 μm
Read gap length	0.11 μm
Read track width	0.37 μm
■ Optical pickup	
Wavelength	405 nm
N.A.	0.65
Spot diameter (1/e ²)	0.55 μm

ヘッド部とのアライメントの精度を数nmで実現している。ディスクはエアースピンドルモータにより回転され、モータのNRROは20nm以下であるので、トラッキング制御は実施していない。表1に使用した光ピックアップと磁気ヘッドの仕様を示す。

3. 実験結果及び考察

ここで使用した記録媒体の残留磁化の温度依存性を図4に示す。本組成では、70℃付近に磁気補償温度を有し、この温度を境に磁化の極性が反転していることが判る。また、磁化は極大点となる170℃前後まで単調に増し、キュリー温度である220℃でゼロとなる。このように、典型的なN型のフェリ磁性の静磁気特性を示している。

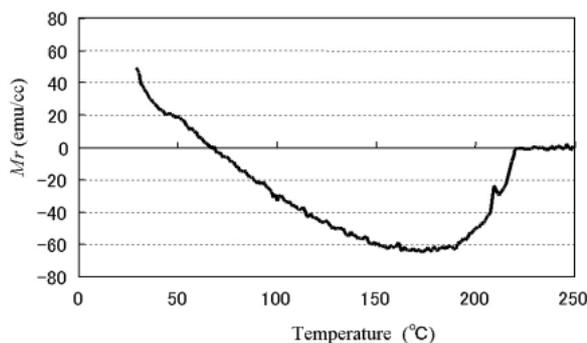


図4 残留磁化の温度依存

Fig. 4 Remanent magnetization as a function of temperature.

3.1 光アシスト記録

光アシストパワーを変化させて記録した記録トラックを磁気力顕微鏡(MFM)で観測した磁気像を図5に示す。記録条件は、線速度11m/s、記録周波数5MHz、磁気ヘッド記録電流11mA、磁気スペーシング55nmで、光パワーは5.0mWまで変化させた。図6には、MFM像から測定した記録トラック幅と記録アシスト光パワーの関係をグラフで示している。

光アシストがない状態では記録は実施されず、光パワー2.3mWから記録が可能となっている。そして、3.5mWまでは、光パワーとトラック幅の関係は略線形性を保持しているが、それ以上ではトラック幅は変化せず、0.6 μmで飽和している。この値は磁気ヘッドの記録ヘッド幅に相当しており、ヘッドによる記録限界と判断できる。ここで記録できた最小トラック幅

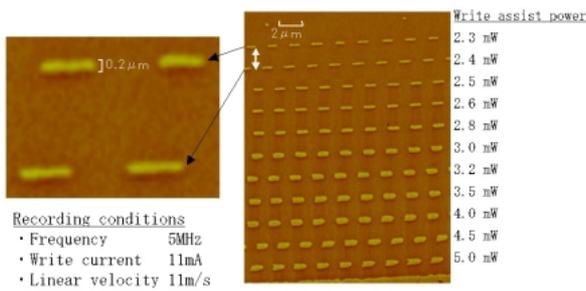


図5 記録トラックのMFM像
Fig. 5 MFM images of recorded tracks.

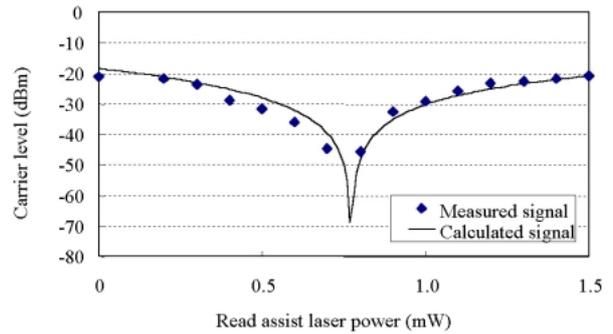


図7 再生信号の光アシストパワー依存
Fig. 7 Dependence of the signal level on the read assist laser power.

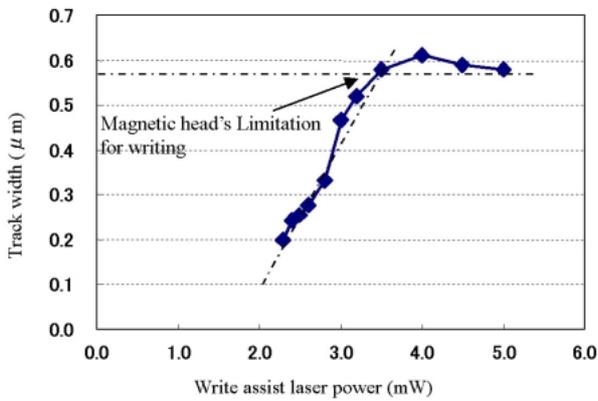


図6 記録アシスト光パワーと記録トラック幅
Fig. 6 Dependence of the recorded track widths on the write assist laser power.

は $0.2 \mu\text{m}$ であり、磁気記録ヘッド幅の $\frac{1}{3}$ の狭トラック記録が実現している。

また、記録マークの形状に着目すると、光パワーが増加するとともに光磁気記録で特徴的な矢羽形状が出現し始めている。これは、記録が磁場勾配の小さい領域で実施され、マークエッジが温度勾配により決定されていることを示している。

3・2 光アシスト再生

図7に、再生アシスト光パワーを $0 \sim 1.5\text{mW}$ まで変化させたときの再生信号レベルの変化を示している。同図には、再生信号のシミュレーション結果も併せて表示している。再生信号は記録媒体の静磁気特性(図4)に対応して、先ず昇温により減少して後に増加に転じており、シミュレーション結果と良い一致を示している。

再生信号のシミュレーションは、媒体上の熱分布を

数値計算により求め、その結果と記録媒体の実測した磁化の温度特性、更に実測により求めた再生磁気ヘッドの感度分布を使用して実施した。

光アシスト再生の大きなメリットとなるクロストークキャンセルについて、実証を行った。先ず、シミュレーションによりクロストークキャンセルの効果を確認した結果を図8に示す。横軸に光アシストパワー、縦軸に隣接トラックからの再生信号と中央トラックからの再生信号の比をクロストーク量として、それぞれ表している。条件としては、3本の $0.3 \mu\text{m}$ 幅のトラックが $0.3 \mu\text{m}$ トラックピッチで記録されている場合に中央のトラックを光アシストにより再生したものである。光アシストを行わない場合は、目的とする再生信号レベルに匹敵するクロストーク量があり、光アシストパワーを上げていくと、中央トラックの信号量が減

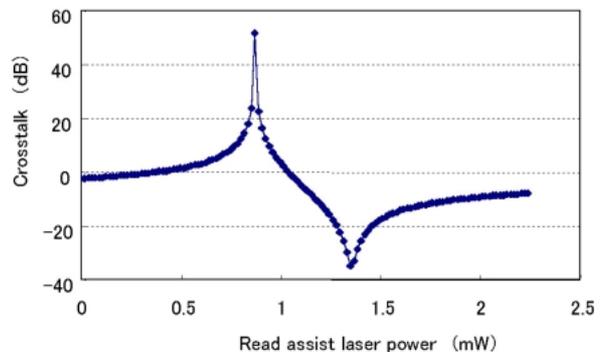


図8 クロストークの光アシストパワー依存
Fig. 8 Dependence of the crosstalk on the read assist laser power.

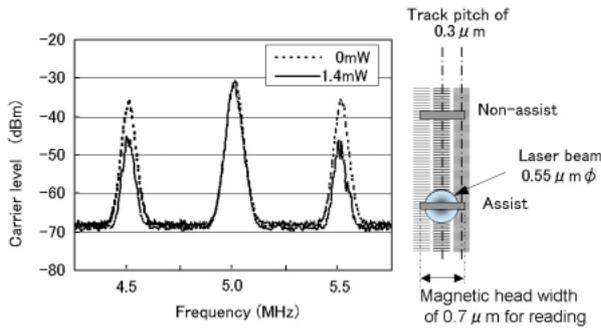


図9 光アシストによるクロストークキャンセル
Fig. 9 Crosstalk canceling in the laser-assisted recording.

少するためにクロストークは増加し、磁気補償温度付近に相当する光パワー0.8mWで極大となる。その後、光パワーの増加に従い急激にクロストーク量は減少し、光パワー1.4mW付近で極小点を迎える。ここでは、光アシスト再生により-35dBの改善が達成できることを示している。

図9には、実際にトラックピッチ0.3 μmで記録周波数4.5MHz、5.0MHz、5.5MHzで記録して、5.0MHzで記録した中央のトラックを光アシストしない場合と光パワー1.4mWでアシストした場合の再生信号のスペクトルを示している。光アシストをすることにより隣接トラックからのクロストークが10dB以上抑制されている結果となった。この値は、シミュレーションの結果と比較してかなり小さいが、トラッキングサーボを実施していない状況下で測定していることを考慮すると、実際にはもっと大きなキャンセル効果が得られていると推測できる。

4. 記録媒体の改善

フェリ磁性の温度依存性を上手く利用して、光アシストにより狭トラック記録及び再生を実行することができた。しかし、線記録密度に関しては、期待していた結果を得ることはできなかった。従来の記録媒体では、記録マーク長が200nm付近から急激に再生信号レベルが減少する状況にあった。

これは、希土類—遷移金属の非晶質合金媒体は交換結合力が強いので、磁壁のピニングが困難で磁区形状に乱れが生じ易く、特に記録マークの微小化に伴い、磁区の消滅、又は磁区の合体により信号成分が減少してしまうためである。

我々は、ガラス基板と記録層との間に下地層を導入することで特性改善を図り、Alの薄膜(膜厚4nm)を下地層とした場合に顕著な改善を得ることを発見し

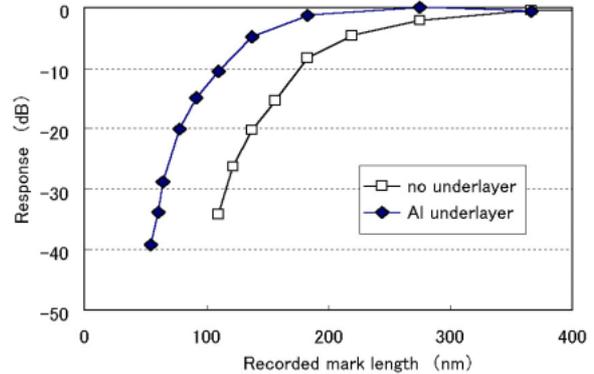


図10 レスポンスにおける下地層の効果
Fig. 10 Effect of underlayers on reproducing signal.

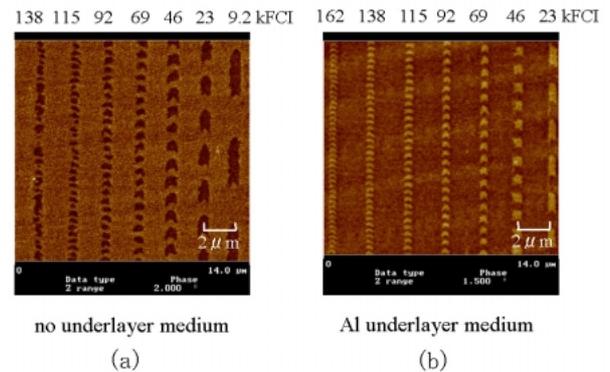


図11 記録マークのMFM像
Fig. 11 MFM images of recorded marks.

た。図10にAl下地層を有する媒体と無い媒体とのレスポンスの比較を示す。横軸は記録マーク長を、縦軸には規格化した再生信号レベルをそれぞれ表している。図からレスポンスの改善が著しくなされていることが判別できる。

図11には、記録トラックのMFM像を示している。MFM像からAl下地層により磁区形状の乱れが抑制されていることが明確になっている。この理由として、Al下地層表面の微細構造がピニングサイトを誘起しているものと思われる^{5) 6)}。

以上のように、下地層により非晶質磁性媒体の特性改善が可能であり、高密度記録への可能性が証明された。当然ながら、この効果は記録トラック幅に対しても有効であり、本媒体により0.55 μmのビームサイズで100nmのトラック幅を記録することが出来た。

むすび

光と磁気の融合技術により,高密度記録を達成するというアイデアを提案し,入手できるコンポーネントを利用して,このアイデアの原理検証を行った。そして,希土類遷移金属の非晶質磁性媒体が,高密度垂直磁気記録媒体として有用であることも判明した。現在得られているデータとしては,トラック幅100nm,記録マーク長55nm(面記録密度換算で100Gb/in²相当)でC/N値25dBである。

更なる高密度化を達成するためには,近接場生成と磁気ヘッドを兼ね備えた光と磁気の一体型ヘッドが必要である。このヘッドの出来の如何によって本方式の将来は決定されると言っても過言ではない。今後は独自の一体型ヘッドの創出に向けて,精力的な研究開発を進めていきたい。

謝辞

本研究の立上げ及び遂行に努力して頂きました関係各位に,紙面をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 荻本泰史,小嶋邦男,澤村信蔵,片山博之,太田賢司:第59回応用物理学会学術講演会講演予稿集, p.128(1998).
- 2) H. Saga, H. Nemoto, H. Sukeda and M. Takahashi: ISOM'98 Technical Digest, Tsukuba, 1998, p.188(1998).
- 3) M. Alex, T. Valet, T. McDaniel, C. Brucker and N. Deeman: MORIS/APDSC 2000 Technical Digest, Nagoya, 2000, p.102(2000).
- 4) M. Hamamoto, K. Kojima, J. Sato and H. Katayama: Appl. Phys. Lett. 77, 415(2000).
- 5) K. Ozaki, K. Mtsumoto, I. Tagawa and K. Shono, J. Magn. Soc. Jpn. 25, 322(2001).
- 6) H. Katayama, K. Watanabe, K. Takayama, J. Sato, S. Miyanishi, K. Kojima and K. Ohta: Appl. Phys. Lett. 81, 4994(2002).

(2003年10月6日受理)