

新しい高密度記録技術 ——熱アシスト媒体——

渡辺 貞幸 (わたなべ さだゆき)

由沢 剛 (よしざわ つよし)

古田 旭 (ふるた あきら)

1 まえがき

ハードディスクドライブ (HDD) の記録密度は年率 40% で増加し続けており、この状況が続くと、研究レベルでは 2009 年に 1 Tbits/in² に到達すると予想される。高記録密度を実現するには、“磁化反転単位の微細化”，“長期安定性”，“記録容易性”の三つの要素が重要であるが、記録媒体の記録層に用いる材料物性の性質上、これらは互いに相反する“トリレンマ”の関係にある⁽¹⁾。そのため、現状の垂直磁気記録方式で 1 Tbits/in² を大きく超える記録密度の実現はきわめて困難である。

この課題に対し、“記録容易性”を大幅に改善できる熱アシスト記録方式が提案されている⁽²⁾。これは、記録媒体への信号記録の際、磁界と同時に熱を与える方式である。記録層の磁性材料は、温度上昇に伴って保磁力 (H_c) が低下し、冷却によって増加するという、可逆的な性質を持つ。この性質を利用して、室温においてはヘッド磁界で書き込めないように、記録層の H_c を高く設定しておき、熱を加えて一時的に H_c を低下させている間に書き込みを行う。室温に戻った信号保持状態では H_c が十分大きいために安定であり、“書き込みやすさ”と“長期安定性”が両立でき

る (図 1)。

図 2 に、本方式の構成例を示す。磁気ヘッドは、加熱機構を搭載した新しいものに置き換わる。そして記録媒体は、新たに熱に関する設計指針を取り入れる必要がある。そのため、富士電機では外部機関との連携を密にしながら、記録層の温度特性や、潤滑層・保護層の耐熱性に関する試作評価および本方式に関するシミュレーションシステムの構築、それを用いた媒体・ヘッドの最適設計を進めている。本稿では、おのおのの技術トピックスを紹介し、今後の課題について述べる。

2 シミュレーションシステム

2.1 概要

シミュレーションを用いることで、記録状況や密度に応じた最適な設計指針を導き出し、効率よく材料開発を行うことができる。また、微小領域の温度分布や温度の時間変化を実測することが難しいことから、シミュレーションは必須である。シミュレーションシステムは、温度分布解析と記録再生の二つの部分からなる。温度分布解析シミュレーションでは、媒体内の光エネルギーの吸収・伝搬、そ

図 1 熱アシスト記録方式の概念図

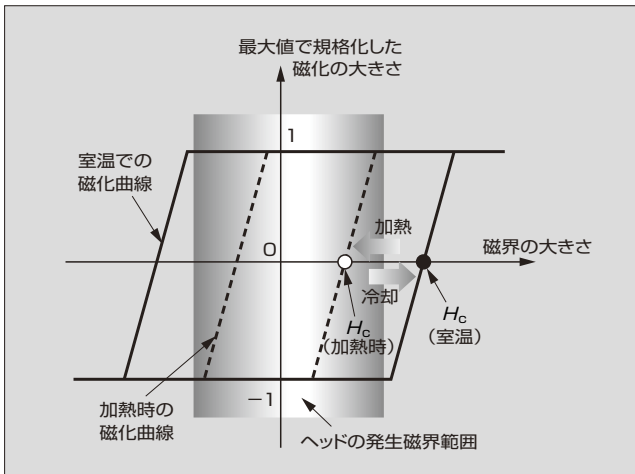
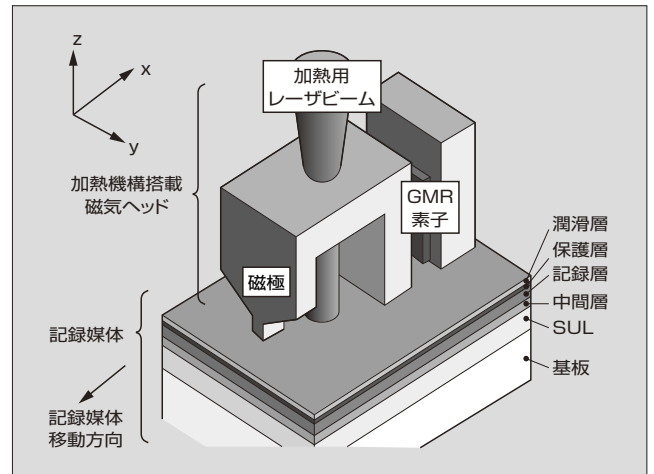


図 2 熱アシスト記録方式の基本構成図



渡辺 貞幸

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部次世代媒体開発部。日本磁気学会会員。



由沢 剛

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部次世代媒体開発部。



古田 旭

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社ディスク媒体事業本部開発営業統括部次世代媒体開発部。

の結果としての媒体内温度分布を、電磁場解析と熱解析を組み合わせることにより求める。記録再生シミュレーションは、磁気記録システムをモデル化し、数値解析により媒体の記録磁化状態を求めるものである。

2.2 温度分布解析シミュレーション

温度分布解析シミュレーションの適用例として、保護層/記録層/中間層/軟磁性裏打ち層 (SUL: Soft Under Layer)/ガラス基板の単純な層構成の垂直記録媒体において、SUL 膜厚による冷却効果の違いについて検討した例を示す。図3は、レーザを約1 ns 間パルス照射し、0.5 ns 経過後の媒体深さ方向の温度分布である。図3(a)に示すようにSUL 膜厚 100 nm の場合、熱はガラス基板に到達し、基板内では熱の拡散が抑えられる。これは、SUL に比べてガラスの熱伝導率が低いためと推測される。一方、図3(b)に示すようにSUL 膜厚 200 nm の場合は、SUL 内で十分に熱が拡散し、温度が低下しており、膜厚増加による冷却能力向上の効果が確認される。温度の挙動は表面近傍にある磁性層領域でレーザパルス照射時に瞬間的に温度が上昇し、その後いかに急激に下がるかが重要であるが、本シミュレーションにより用いる材料に対する膜厚設計指針を得ることができる。

2.3 熱アシスト記録再生シミュレーション

温度分布解析シミュレーションを導入した、マイクロ磁化解析手法による、熱アシスト記録再生シミュレーションについて述べる。図2の構成を想定した計算モデルで、記録磁界を発生する単磁極、再生素子としてのGMR (Giant Magneto-Resistive) 素子、加熱源のレーザビーム、垂直記録媒体からなる。媒体の記録層では、磁性粒子を直方体セルに見立て、各セルで飽和磁化 (M_0)、磁気異方性定数

(K_0) などの物性値を与え、さらに加熱領域ではその温度依存性を考慮する。記録層の温度変化は、温度分布解析により求める。媒体がヘッドの下を通過時、熱と記録磁界が印加され、記録層の磁化状態が変化しビットが記録される。その磁化状態はLandau-Lifshitz-Gilbert 方程式を解くことにより求めている。

一般に、熱アシスト記録は、磁化遷移の形成方法により三つの考え方(磁気ドミナント、光ドミナント、ハーモニック)に大別される⁽⁴⁾。磁化遷移とは記録ビットの正負信号が切り替わることをいい、この遷移幅が狭いほど高密度化に有利である。図4(左)に、これらの三方式の概念図を示す。

磁気ドミナント方式は、磁界印加領域よりも加熱領域が数倍大きく、この場合、磁界は従来の磁気ヘッドと同様に比較的強く与えられ、磁化遷移はヘッドの磁界勾配の大きさに依存する。技術的には比較的容易であるが1 Tbits/in² を超える大きな記録密度の向上は期待できない。一方、光ドミナント方式は、磁界印加領域よりも加熱領域が小さく、主に媒体 H_c の温度勾配により磁化遷移が形成されるため、レーザスポット径をいかに絞ることができるかが記録密度向上のポイントとなる。ハーモニック方式は、磁化遷移をヘッド磁界勾配と媒体 H_c 勾配を加えた両方の効果で形成するように、磁界印加領域と加熱領域の位置を合わせた構

図3 媒体温度分布解析結果 (冷却開始 0.5 ns 後)

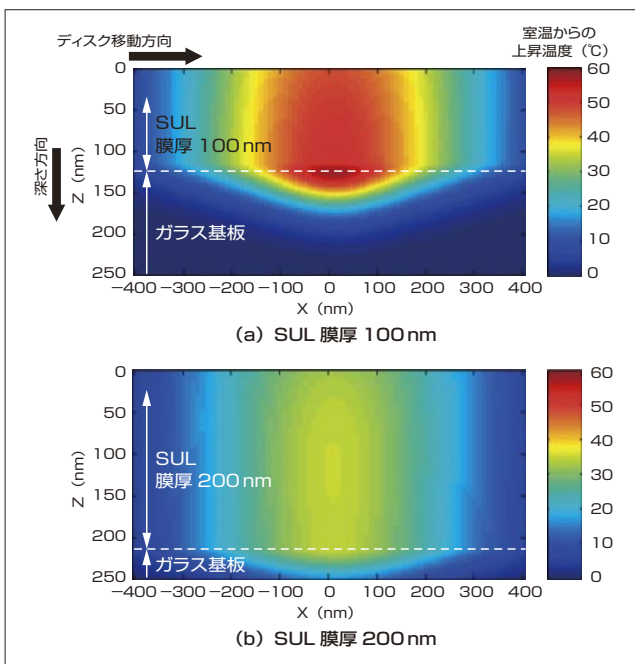
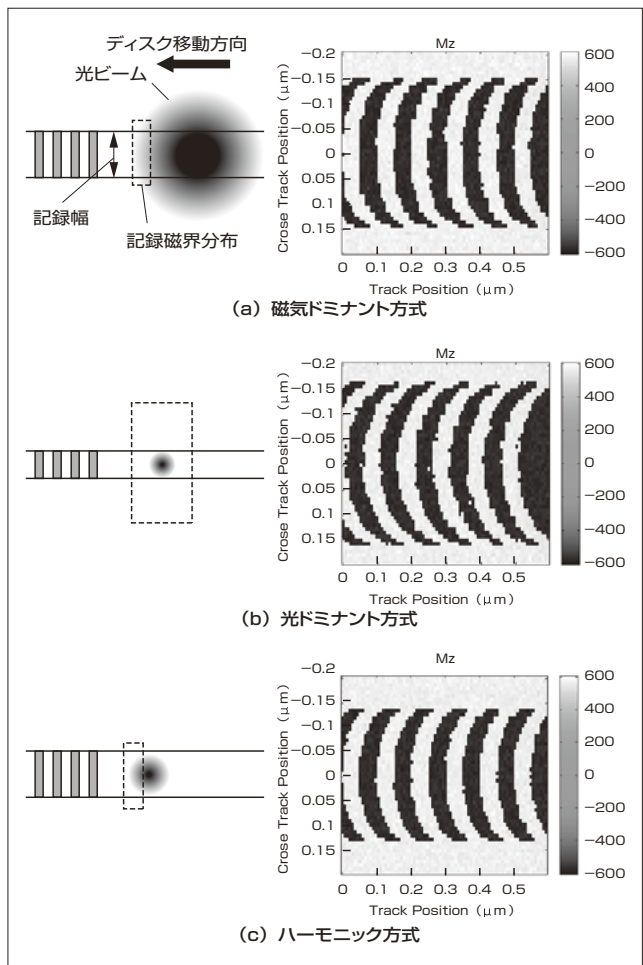


図4 各方式の概念図(左)とシミュレーション結果(右)



成となっている。結果として、記録幅と加熱領域は近い大きさになる。

三つの記録方式に関し、本シミュレーションを用いて記録後のビットを比較した結果例を図4(右)に示す。ハーモニック方式が最もトラック幅が狭く、ビット湾曲が小さい。磁気ドミナント方式では、ハーモニック方式に比して、トラック幅の広がりが大きく、加熱領域が広いことによる隣接トラックへの影響も現れている。光ドミナント方式では、ビットの湾曲が最も大きく、磁化遷移がレーザスポットのエッジ付近に形成されている。ハーモニック方式が1 Tbits/in²以上の最も高い記録密度の実現が予測されるが、磁界印加領域とレーザスポットの位置合わせ制御が難しくヘッド製造プロセス上の技術的ハードルが高い。

③ 媒体作製/評価技術

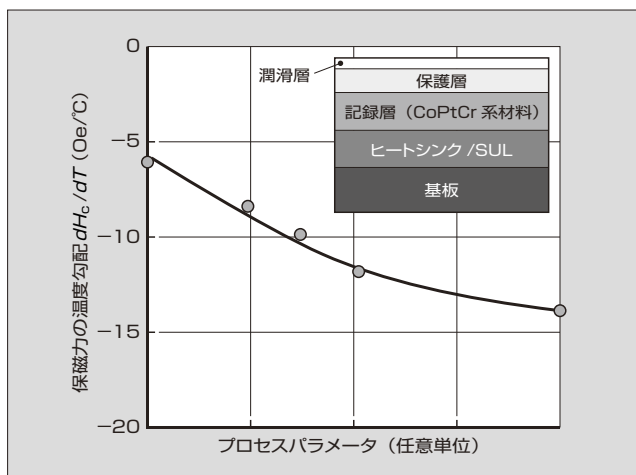
3.1 記録層成膜技術

基礎的な実験結果から、現行のCoPtCr系記録層材料における H_c は、温度上昇に対して直線的に減少し、その温度勾配 dH_c/dT は組成比に依存することがわかっている。 dH_c/dT は、記録条件に合わせて制御されるのが好ましい。ここでは、比較的簡単なプロセスパラメータを変更することで温度特性の制御を行った結果例を紹介する。図5に、あるプロセスパラメータに対する dH_c/dT の変化を示す。プロセスパラメータを増加させることで、組成は同一に関わらず、 dH_c/dT は-6.0から-14 Oe/°Cへと大きな変化を示している。温度勾配はさらに大きな値(-50 Oe/°C以下)が望ましいが、同一組成に対してはプロセスパラメータを変化させることにより温度勾配を制御できることがわかった。

3.2 記録再生特性の評価技術

磁気記録評価用スピンドルにレーザヘッド(スポット径10 μm)を追加し、熱アシスト記録の記録再生評価を試みた。具体的にはガラス基板の表側にのみ成膜を行った垂直記録媒体を用い、裏側からレーザを照射・加熱し、表

図5 保磁力の温度特性制御の実験結果



側から磁気ヘッドで記録することで、熱アシスト記録の効果を確認した。図6は、CoPtCr垂直媒体に対して、レーザパワーを変化させて記録し、再生信号出力を測定した結果であるが、パワーを0から段階的に増加させ、温度を上げていくにつれ再生出力が増加している。温度上昇により書込みが容易になる熱アシスト効果が確認できた。

3.3 HDI (Head Disk Interface) 技術

熱アシスト記録媒体において、潤滑層と保護層の耐熱性向上も重要な課題の一つである。特に潤滑層は、一定の流動性が求められ、トレードオフとして熱による変化も受けやすい。現行の量産媒体に用いている潤滑剤は、媒体上に塗布された薄膜状態では約120°C以上の温度から、次第に減量が起こる。

一方、記録密度向上には磁気スペーシング低減のため、潤滑層の平均厚さは約1 nmが求められる。この膜厚において、潤滑剤分子はほぼ単分子膜状態で保護層表面上に吸着しているため、熱負荷による減量は、潤滑剤分子が熱運動により、保護層表面から蒸発して離脱する現象と推測される。耐熱性向上には、潤滑剤分子と保護層表面の結合力を大きくすることがポイントであり、われわれは分子の末端基部分の極性を高め結合力を向上させた新しい潤滑剤を開発した。

図7に、新しい高極性潤滑剤と現行潤滑剤の加熱による減量の比較を示す。媒体に同じ膜厚を塗布し、段階的に温度条件を変化させて加熱を行い、膜厚の変化を観測した。

図6 再生出力のレーザパワー依存性

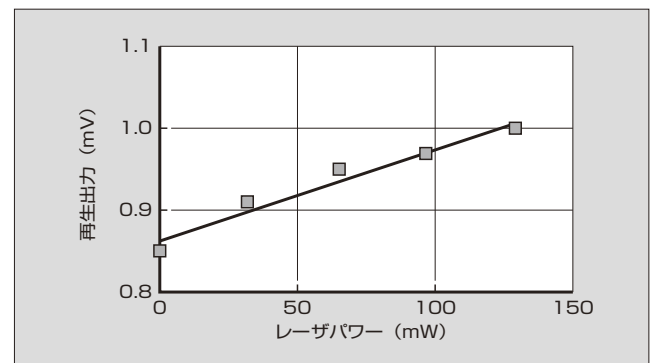
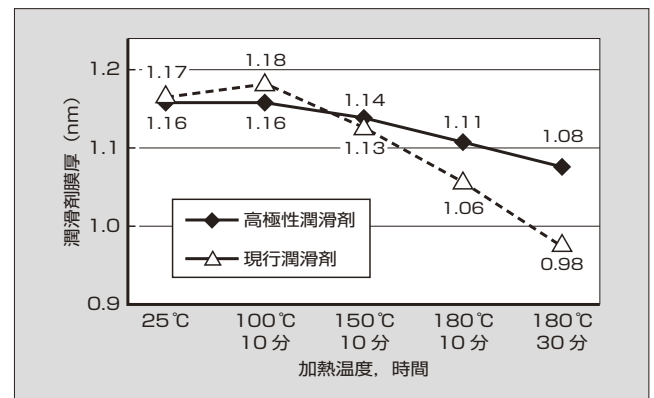


図7 各潤滑剤における膜厚の加熱条件依存性



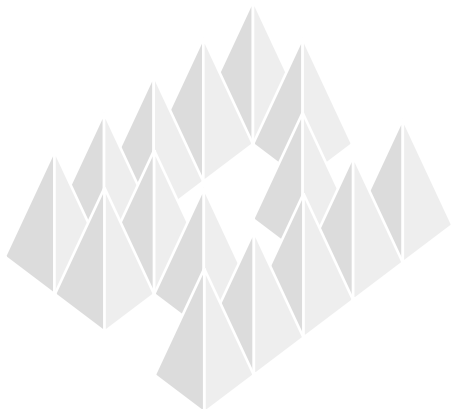
新しい潤滑剤は、減量が半分以下に抑制されており、末端基の高極性化の効果が現れている。

④ あとがき

現在、熱アシスト記録方式の第1世代を1 Tbits/in²と想定している。シミュレーション結果と試作実験のデータを比較し、適宜計算モデルを改良しながら精度を高め、設計指針としつつ、熱アシスト媒体の早期実現と、さらにその将来を見据え、現行のCoPtCr系材料に替わる新たな磁性材料や、耐熱性を高めた保護層の開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 大内一弘, 垂直磁気記録用磁性材料VIII. まぐね, vol.3, no.2, 2008, p.101-110.
- (2) Saga, H. et al. New Recording Method Combining Thermo-Magnetic Writing and Flux Detection. Jpn. J. Appl. Phys. vol.38, 1999, p.1839-1840.
- (3) Mansripur, M. et al. Laser-induced local heating of multilayers. Applied Optics. vol.21, no.6, 1982, p.1106-1114.
- (4) 五十嵐万壽和ほか, シミュレーションによる熱アシスト記録の検討. 電子情報通信学会研究報告. MR2004-39, 2004, p.1-6.
- (5) Tyndall, G.W. et al. Concerning the Interactions between Zdol Perfluoropolyether Lubricant and an Amorphous-Nitrogenated Carbon Surface. Langmuir, 14, 1998, p.7527-7536.





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。