

熱アシスト磁気記録媒体関連技術

Thermal-Assisted Magnetic Recording Media Technologies

内田 真治 UCHIDA Shinji

稲葉 祐樹 INABA Yuki

由沢 剛 YOSHIZAWA Tsuyoshi

熱アシスト磁気記録用媒体において、媒体設計技術、材料技術および評価技術を開発している。媒体設計において、新たにシミュレーションによる熱拡散設計手法を確立した。これにより、効率よく加熱および冷却するための媒体層構成の設計が可能になった。設計した媒体層構成における熱伝導の優位性を実際の媒体で確認し、設計手法の妥当性を実証した。また、材料開発においては、高い異方性定数の材料を開発すると共に、熱アシスト磁気記録時の数ナノ秒での残留保磁力を正確に見積もる評価システムを確立した。

We are developing media-design technology, material technology and evaluation technology for thermal-assisted magnetic recording media. In media design, we have established new methods of thermal diffusion design through simulations. These have enabled us to design a medium-layer structure for efficient heating and cooling. We verified the validity of our planned method by confirming the heat-conducting superiority of the planned medium-layer structure using the actual medium. Also, in our development of materials, we have created high anisotropy constant materials and have also established an evaluation system that can estimate remanent coercivity of thermal-assisted magnetic recording media over a few nanoseconds.

1 まえがき

全世界で情報量は増加し続けているが、情報蓄積に必要なエネルギー量に対しては、増加を抑制することで、持続可能な社会に貢献することが求められている。富士電機は、磁気記録媒体の高記録密度化により、これに応えてきた。現行の垂直磁気記録方式は密度向上の限界に近づいているため、新しい記録方式とそれに用いる磁気記録媒体を早急に確立することで、密度向上のトレンドを伸長し、引き続き社会の要請に応える必要がある。

本稿では、新しい記録方式による熱アシスト磁気記録媒体の関連技術について述べる。

2 熱アシスト磁気記録方式の必要性

高記録密度化には、“熱安定性”“記録容易性”“高記録密度化”の3要素を同時に満足させる必要がある。しか

し、この3要素は互いに相反する関係にあり、磁気記録のトリレンマと呼ばれている。このトリレンマからいかに脱却するかが、高密度化における大きな課題となっている。そのための一つの手法として、熱アシスト磁気記録方式(TAMR: Thermally-Assisted Magnetic Recording)がある。熱アシスト磁気記録方式は、信号記録の際に磁気と熱とを併用することで、記録の容易性を改善する方式である^{(1),(2)}。

図1に、この方式の概念図を示す。記録を担う磁性層の保磁力 H_c は、温度によって可逆的に変化する性質を持っており、この性質を利用して、記録の保存を行う。室温状態では高い H_c 状態にすることで記録された信号の安定性を保証し、記録を行う際は高温に加熱することで磁性層の H_c を低下させ、書込みの容易性を確保する仕組みである。

図2に、この方式の構成例を示す。これまでのような、磁界のみでの記録と異なり、磁気ヘッドには熱を発生する機構が組み込まれる。磁気記録媒体側は新規に熱に対応した媒体設計が求められる。このため、富士電機ではシミュレーションに基づいた熱設計を行うとともに、高記録密度化に必要な材料およびその評価技術の開発を行っている。

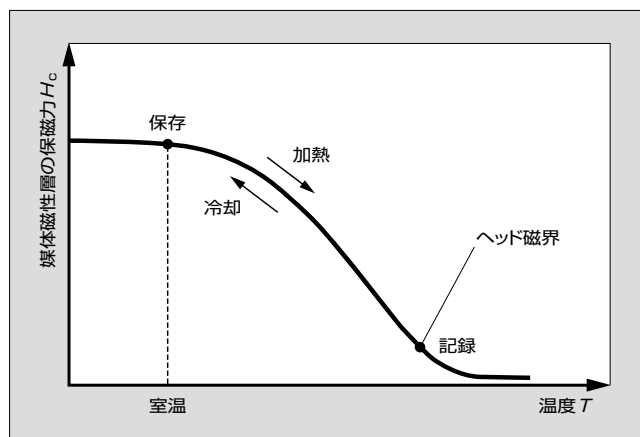


図1 熱アシスト磁気記録概念図

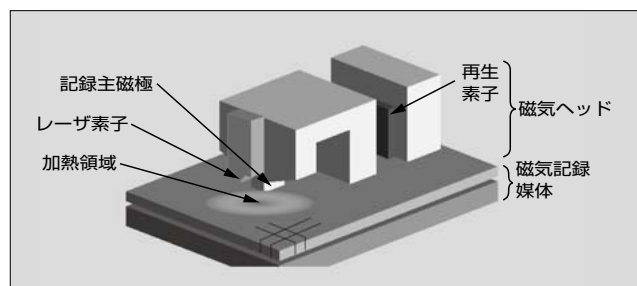


図2 熱アシスト磁気記録方式の構成例

3 開発状況

3.1 媒体設計技術

富士電機は、熱伝導シミュレーションを用いた検討により、基板-磁気記録層間に熱伝導率の高い材料からなるヒートシンク層を設けることで、媒体上の熱スポットを大幅に縮小できることと、熱スポットの極小化が記録直後の熱揺らぎの抑制に有効なことを明らかにした⁽³⁾。また、熱伝導シミュレーションにレーザー光の媒体内伝搬を組み入れ、さらに媒体の磁化シミュレーション技術を組み合わせた検討により、媒体内にヒートシンク層を設け、熱拡散を抑制することで、1 Tbits/in²の面記録密度に到達できることを示した。

1 Tbits/in²以上の面記録密度を達成するためには、媒体内の記録ビットを加熱する際、隣接ビットの情報を消去しないよう、さらなる熱の拡散を制御することが求められる。つまり、磁気記録層の面内方向の温度勾配 dT/dx を大きく取れる層設計が重要となる。

図3に、現行の非熱アシスト磁気記録媒体と熱アシスト磁気記録媒体向けに開発中の層構成を示す。熱アシスト磁気記録媒体の層構成においては、記録の終了後に速やかに磁気記録層の熱を逃がし、深さ方向への熱の流れを加速するためのヒートシンク層を形成する。記録時に磁気記録層を効率的に加熱させるため、磁気記録層-ヒートシンク間に、熱抵抗の大きい材料からなるヒートバリア層を設け、温度勾配を向上させる。さらに、微小スポットで効率良く磁気記録層を加熱するため、磁気記録層の面内方向の熱抵抗を深さ方向と比べて大きくすること、保護層における光の反射率を小さく抑えて、磁気記録層での吸収効率を上げることが開発中である。

これらの工夫を施した熱アシスト磁気記録媒体の熱伝導シミュレーションによる温度プロファイルの例を、現行の磁気記録媒体の層構成と比較して図4、図5に示す。なお、熱伝導シミュレーションにおいては、両者の書込み幅が同じになるようにレーザー光の入力パワーを調整した。

図4は、現行の磁気記録媒体の層構成と、ヒートバリア層およびヒートシンク層を形成した開発中の熱アシスト磁気記録媒体の層構成における、レーザー直下の磁気記録媒体の垂直方向の温度プロファイルである。横軸は、媒体表

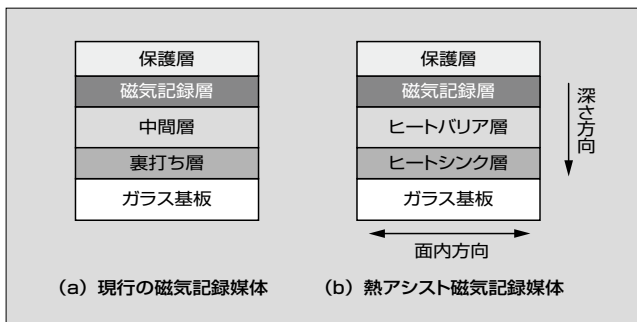


図3 熱アシスト磁気記録媒体の層構成

面からの深さ、縦軸は周囲温度からの温度上昇 ΔT を示している。図から、ヒートバリア層の断熱効果により、磁気記録層を効率的に加熱することができていることがわかる。さらに、ヒートシンク層がヒートバリア層からの余分な熱を吸収することにより、ヒートバリア層より深い層では、すみやかに冷却できている。この結果として、より少ないレーザーパワーで、磁気記録層のみを記録温度付近まで加熱する構成となっている。

図5は、現行の磁気記録媒体と、熱アシスト磁気記録媒体に対する記録層中心から面内方向の温度分布を示している。横軸は半径方向の相対位置、縦軸は周囲温度からの上昇温度を示している。ヒートバリア層とヒートシンク層を設けた熱アシスト磁気記録媒体は、温度分布の面内方向の広がり方が少なくなり、加熱領域が局所化されることが確認できる。その結果、記録エッジ付近での温度勾配を高めることができた。

3.2 磁性材料技術

熱アシスト磁気記録向けの磁性材料として、現行の垂直磁気記録媒体で用いられている CoPt に変わる高い磁気異方性 (K_u) 材料の実用化を目指している。富士電機が試作した熱アシスト向け高 K_u 磁性層の平面 TEM 像を図6に示す。磁性粒の周囲を非磁性材料で覆い磁氣的孤立性を持たせた、現行の媒体と同様のグラニューラ形態が得られ

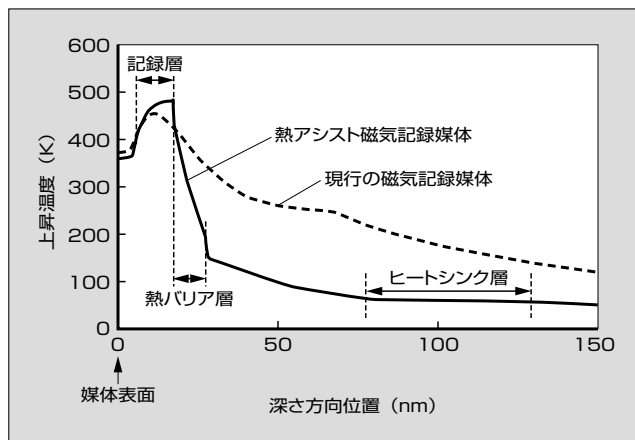


図4 温度プロファイル (深さ方向)

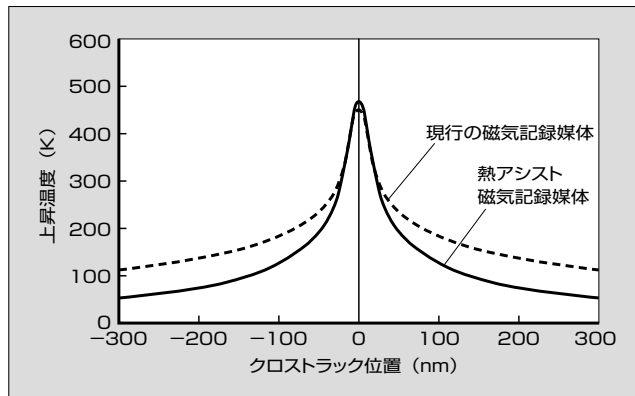
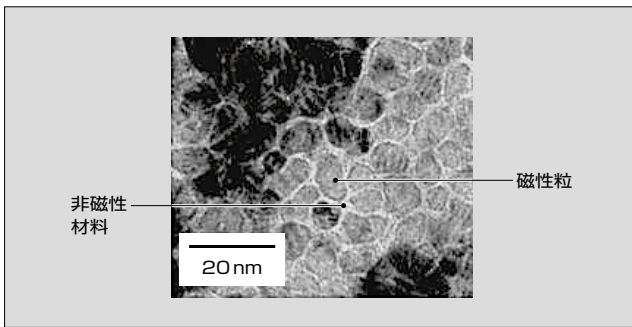


図5 温度プロファイル (面内方向)

図6 高 K_u 磁性層の平面TEM像

(3)~(8) ている。

熱アシスト磁気記録向けの磁性材料の開発に必要な新規評価手法の開発にも取り組んでいる。媒体の書き込み容易性の指標である残留保磁力 H_r は、一般的に振動試料型磁力計 (VSM: Vibrating Sample Magnetometer) などのシステムを使用して秒単位で測定されている。これは、電磁石を用いた磁界変化速度スケールでの評価であるため、測定される H_r は、熱擾乱 (じょうらん) の影響を強く受けている。一方で実際の磁気ヘッドを用いた書き込みは数ナノ秒という非常に短い時間でなされるため、熱擾乱の影響は小さい。したがって、VSMなどの電磁石を用いて測定した H_r は、実ヘッド記録時よりかなり低くなる。この H_r 低下は高温下で顕著となるので、熱アシスト磁気記録媒体用の材料開発には、熱印加状態下において数ナノ秒の時間軸で磁場を印加した際の挙動を正確に把握することが重要である。

富士電機は、東北大学島津教授の協力により、熱印加状態下においてパルス磁場に対する磁化挙動を評価するシステムを開発した。本システムの評価結果を、磁界印加時間による磁化の緩和現象を表すシャーロックの式に入れ込むことで H_r の時間依存性および温度依存性を導出できる。

図7に導出結果の一例を示す。これまでに取得できている点線枠内に加え、前述のシステムを用いることにより、実線枠内のデータが得られ、実際の熱アシスト磁気記録時温度 (573 K と推定) での H_r および H_r (1 ns) を正確に見積もることが可能になった。なお、この計算に当たって変数 n は c 軸分散などの構造の不均質性を考慮して、 $n = 0.5 \sim 0.6$ を用いて解析を実施した

3.3 評価技術

富士電機では、記録再生特性評価装置であるスピンスタードを用いて、熱アシスト磁気記録の原理検証を行っている。レーザパワーにより、記録層の温度を変化させることで発生する信号消去幅を測定し、磁気記録層の温度勾配を推定する手法を開発した。信号をあらかじめ記録した状態で、レーザパワーによる信号消去を行い、その信号消去幅を測定する。信号消去が開始されるレーザパワーを、あらかじめ測定した磁気記録層の T_c とし、レーザパワーと信号消去幅の関係から、磁気記録層の温度勾配を割り出す。本手法では熱効果のみを測定するため、書き込みヘッドには

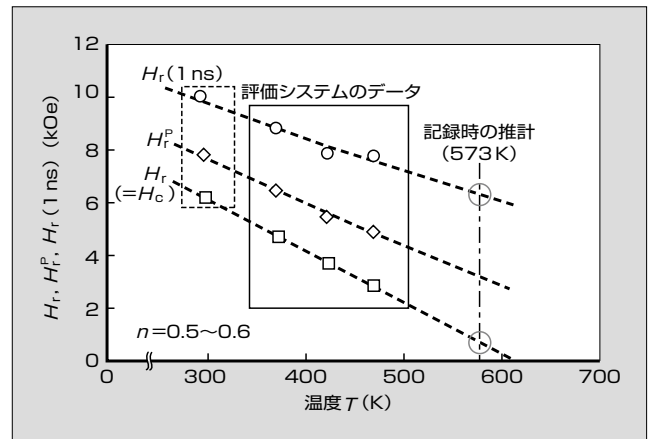


図7 保磁力の温度依存性

磁場を印加せず、熱による消去のみを行っている。本手法を用いて現行の磁気記録媒体と熱アシスト磁気記録媒体とを測定し、比較評価した結果、後者は、現行の磁気記録媒体に比べて温度勾配が2倍以上向上した。

以上のように、ヒートバリア層とヒートシンク層を設けた熱アシスト磁気記録媒体において、温度勾配が向上する結果が得られ、その有効性が検証できた。

4 あとがき

熱アシスト磁気記録方式の実用化に向けた各種課題とその開発状況を述べた。新たな設計技術、材料技術、評価技術を必要とするチャレンジングな分野だが、オープンイノベーションを活用し、切り開いていく所存である。

本研究の一部は、国立大学法人東北大学島津教授との研究連携の成果である。この場を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- (1) R. E. Rottmayer, et al. "Heat-Assisted Magnetic Recording" IEEE Trans, Magn. 2006, vol.42, p.2417-2421.
- (2) R. H. Victora, X. Chen. 21st Magnetic Recording Conference. San Diego. 2010, F1.
- (3) 由沢剛, 高橋伸幸. 熱アシスト磁気記録媒体のシミュレーション技術. 富士時報. 2009, vol.82, no.3, p.170-173.
- (4) Oikawa, T. et al. "Microstructure and magnetic Properties of CoPtCr-SiO₂ Perpendicular Recording Media". IEEE Trans, Magn. 2002, vol.38, p.1976-1978
- (5) 竹野入俊司ほか. CoPtCr-SiO₂ グラニューラー垂直媒体の微細構造と電磁変換特性. 信学技報.MR2002-6, 2002, p.31.
- (6) 渡辺貞幸ほか. CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の微細構造と諸特性. 信学技報. MR2002-76, 2003, p.13.
- (7) Uwazumi, H. et al. "CoPtCr-SiO₂ Granular Media for High-density Perpendicular Recording" IEEE Trans, Magn. 2003, vol.39, p.1914-1918.
- (8) 竹野入俊司ほか. CoPtCr-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の開発と課題. 日本応用磁気学会. 第135回研究会資料. 2004, p.9-16.
- (9) M. P. Sharrock, J. Appl. Phys., 1994, vol.76, p.6413.

- (10) R. H. Victora, Phys. Rev. Lett., 1989, vol.63, p.457-460.
- (11) Igarashi, M. and Sugita, Y. "Validity of Values of Thermal Stability and Switching Field in Recording Medium Obtained by Using Sharrock's Formula" IEEE Trans. Magn., 2006, vol.42, p.2399-2401.



内田 真治

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部電子デバイス研究所次世代デバイス開発センター次世代材料開発部。日本磁気学会会員。



稲葉 祐樹

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部電子デバイス研究所次世代デバイス開発センター。日本磁気学会会員。工学博士。



由沢 剛

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部電子デバイス研究所次世代デバイス開発センター次世代材料開発部。





*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。