



## ナノ磁石を積み上げて磁気記録を高密度化

～多値磁気記録により 10 Tbit/in<sup>2</sup> を超える超高密度 HDD の可能性～

配布日時：2024年3月27日 14時

NIMS（国立研究開発法人物質・材料研究機構）

Seagate Technology

国立大学法人東北大学

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）

### 概要

1. NIMS\*、Seagate Technology（米国メーカー）、東北大学の研究グループは、データセンタの記録装置として用いられるハードディスクドライブ（HDD）において、磁気記録媒体を3次元化することで多値記録が可能であることを実証しました。IoT や DX に伴う記録媒体容量拡大の需要が高まる中、この実証は重要な意味を持ちます。

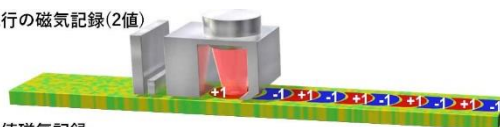
2. 現在、HDD は垂直磁気記録方式が用いられており、記録密度を現在の 1.5 Tbit/in<sup>2</sup>（テラビット/平方インチ）よりも飛躍的に増やすことができる磁気異方性の高い鉄白金（FePt）を用いた熱アシスト磁気記録方式（Heat-Assisted Magnetic Recording, HAMR）が、Seagate Technology 社により実用化されています。しかし、この HAMR でさえ 10 Tbit/in<sup>2</sup> を超える超高密度磁気記録は困難とされています。そのため、10 Tbit/in<sup>2</sup> 級の超高密度磁気記録には、新しい原理の磁気記録方式が望まれています。

3. そこで当研究グループは3次元磁気記録法を提案しました。この方式は、従来の2次元記録層とは異なり、記録層を3次的に積層することで記録密度を大幅に増加させます。現在の HAMR 媒体は、非磁性の非晶質炭素マトリックス中に数 nm（ナノメートル）の粒子状 FePt を均一に分散させた2次元記録層からなります。この研究では、同様に非晶質炭素中に分散したルテニウム（Ru）粒子をスペーサーとすることで、格子整合した FePt/Ru/FePt の単一粒子を作製し、上下の FePt を独立なものとして、FePt の記録層を3次的に配置しました。その結果、上下の FePt 層がそれぞれ異なる磁化反転とキュリー点を示しました。これは、書き込みレーザーの出力の調整により3次元多値記録が可能であることを意味しています。

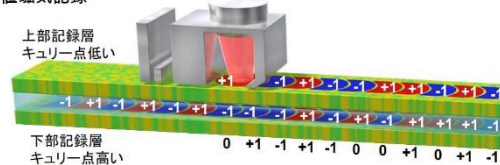
4. 今後、FePt 粒子のダウンサイジング、上部 FePt 層の配向および磁気異方性の改善、FePt 層の更なる多層化を進め、高密度 HDD として実用化に適した媒体構造の実現を目指します。

5. 本研究は、NIMS 磁性・スピントロニクス材料研究センターの P. Tozman 特別研究員、高橋有紀子グループリーダー、Seagate Technology 社の Thomas Chang 研究員、東北大学の Simon Greaves 教授によって行われました。本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST「情報担体を活用した集積デバイス・システム」JPMJCR22C3の助成を受けたものです。

現行の磁気記録(2値)



多値磁気記録



6. 本研究成果は、2024年3月24日付で学術誌「Acta Materialia」誌にオンライン掲載されました。

\* 物質・材料研究機構は、その略称を NIMS（National Institute for Materials Science）に統一しております。

## 研究の背景

IoT や DX の進展によるデジタル情報の爆発的な増加に伴い、デジタル情報を保存するデータセンタの大容量化が求められています。そのためには、ストレージデバイスである HDD の高密度化が必要です。現在の市販 HDD の記録密度は 1.5 Tbit/in<sup>2</sup> ですが、米国の Advanced Storage Research Consortium (ASRC) が発表したロードマップによると 2028 年には 4 Tbit/in<sup>2</sup>、更に 2034 年には 10 Tbit/in<sup>2</sup> の実現が求められています[1]。

HDD はデジタル情報を記憶する磁気記録媒体、情報の書き込みや読み出しを行う磁気ヘッド、磁気ヘッドの位置決めをするサーボ技術など最先端のナノテクノロジーの集合体で構成されており、これらの総合的な技術革新により高密度化されてきました。更なる高密度化を実現するには磁気記録媒体の高密度化が必要です。

現在は、ビット<sup>(1)</sup>の磁化を垂直に配向させる垂直磁気記録方式が用いられていますが、4 Tbit/in<sup>2</sup> の実現には磁気記録媒体の温度を上げて書き込みを行う HAMR が必要とされています。NIMS と Seagate Technology 社は HAMR 用の FePt 系媒体のプロトタイプを 2008 年に世界に先駆けて開発し[2]、Seagate Technology 社が 2020 年に実用化しました[3]。しかし、FePt 粒子のサイズが 4 nm 以下になると熱によって磁化が揺らぎ始めるため、現行の HAMR 方式では 10 Tbit/in<sup>2</sup> を実現するのは極めて困難です。このような背景から、10 Tbit/in<sup>2</sup> を実現できる新原理に基づく磁気記録方式の提案が望まれていました。

## 研究内容と成果

NIMS、Seagate Technology 社、東北大学の研究グループは、記録層を立体的に積層する 3 次元磁気記録方式を提案しました。現行の磁気記録では図 1(a)のようにビットが 2 次元的に配置されていますが、3 次元磁気記録方式では図 1(b)のように膜の垂直方向にも配置されます。各磁気記録層のキュリー点<sup>(2)</sup>に 100 K 程度の差を持たせ、書き込み用のレーザー出力を調整することにより記録を行います。

本研究グループは、記録媒体の材料として FePt を用い、上下 2 つの FePt 層を磁的に独立させるために Ru をスペーサー層として用いた 3 次元 FePt 媒体の作製に成功しました (図 2)。その磁化曲線と熱磁気曲線を調べたところ、上下 FePt 層それぞれに対応する 2 つの磁化反転とキュリー点が観測されました(図 3)。これはレーザー出力を調整することにより、上下の FePt 層に書き込みが可能であることを示しています。作製した FePt 媒体の微細組織と磁気特性に基づく書き込みシミュレーションでは、図 4 に示すように、多値記録が実証されました。

## 今後の展開

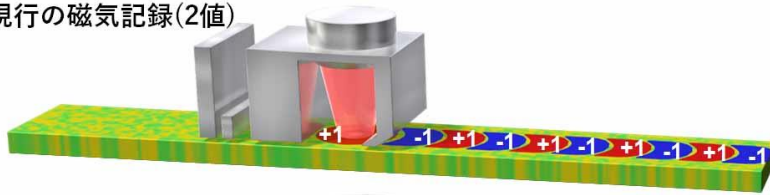
デジタル情報の爆発的な増加に伴い、データセンタで用いられる HDD の台数は今後ますます増えていきます。3 次元磁気記録方式が実用化されれば、HDD の記録容量を飛躍的に増加させることができます。その結果、より少ない HDD 台数でより多くの情報を格納できるようになります。今後、FePt 粒子のダウンサイジング、上部 FePt 層の配向および磁気異方性<sup>(3)</sup>の改善、FePt 層の更なる多層化開発を進め、高密度 HDD として実用化に適した媒体構造の実現を目指します。

[1] <https://asrc.idema.org/documents-roadmap/>

[2] A. Perumal, Y.K. Takahashi, K. Hono, *APEX* **1**, 101301 (2008).

[3] <https://www.techradar.com/news/seagate-confirms-20tb-hamr-hard-disk-drives-have-been-shipped>

(a) 現行の磁気記録(2値)



(b) 多値磁気記録

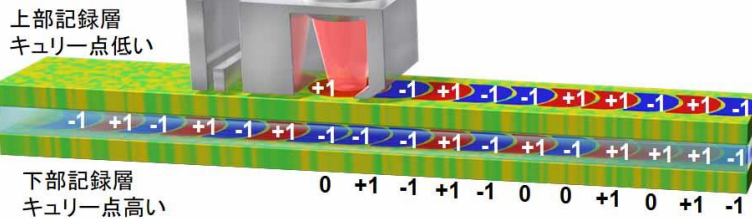


図1(a)現行のHAMR方式及び(b)3次元の磁気記録方式の模式図。3次元磁気記録方式では各記録層のキュリー一点に100K程度の差を付け、書き込み時のレーザー出力を調節することで各層の書き込みを行います。

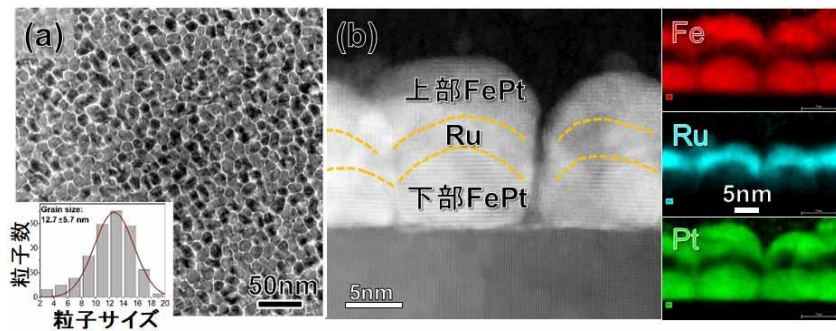


図2 FePt/Ru/FePt の(a)面内の微細組織及び(b)断面の微細組織と原子マップ像。FePt粒子の平均粒子サイズは約12nmの均一な微細組織を持っています。断面の透過電子顕微鏡像からは、1つの粒子の中にFePt/Ru/FePtの積層構造が観察でき、それぞれが格子整合していることがわかります。元素マップからはRuが上下FePtに挟まれていることがわかります。

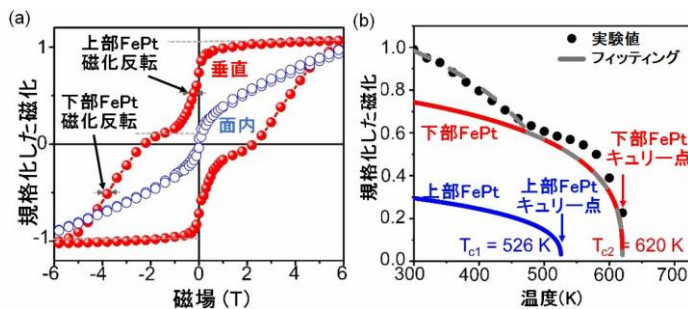


図3 FePt/Ru/FePt の(a)室温での磁化曲線及び(b)熱磁気曲線。上下FePt層に対応する2つの磁化反転とキュリー一点が観測されました。レーザーの出力を調整することによって上下FePt層への書き込みが可能なことを示しています。

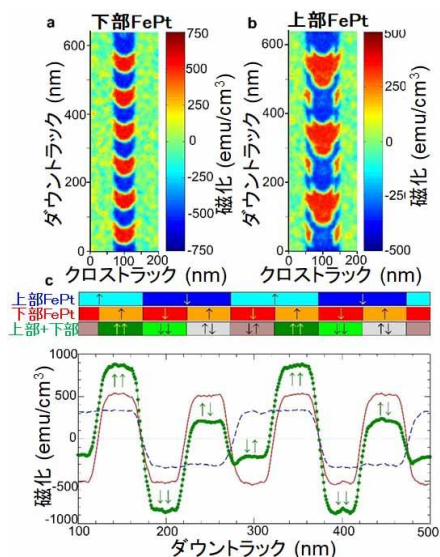


図4 FePt/Ru/FePt の微細組織及び磁気特性を反映した媒体モデルを用いた書き込みテスト。(a)(b)レーザー出力を調整することにより上下 FePt 層にビットが書き込まれます。(c)それぞれの磁化状態と重ね合わせた時の磁化状態。

#### 掲載論文

題目 : Dual-layer FePt-C granular media for multi-level heat-assisted magnetic recording.

著者 : P. Tozman, S. Isogami, I. Suzuki, A. Bolyachkin, H. Sepehri-Amin, S.J. Greaves, H. Suto, Y. Sasaki, T.Y. Chang, Y. Kubota, P. Steiner, P.-W. Huanf, K. Hono, Y.K. Takahashi

雑誌 : Acta Materialia (doi: 10.1016/j.actamat.2024.119869)

掲載日時 : 2024年3月24日

#### 用語解説

1. ビット : コンピューターが扱うデータの最小単位
2. キュリー点 : 強磁性体が常磁性体に変化する温度
3. 磁気異方性 : 強磁性体中の磁気モーメントの向きによって内部エネルギーが異なる性質

#### 本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

NIMS 磁性・スピントロニクス材料研究センター 磁気記録材料グループ  
グループリーダー 高橋有紀子 (たかはしゆきこ)

TEL: 029-859-2719

takahashi.yukiko@nims.go.jp

URL: [https://www.nims.go.jp/mmu/index\\_j.html](https://www.nims.go.jp/mmu/index_j.html)

Seagate Technology

Dr. Thomas Chang

thomas.y.chang@seagate.com

東北大学電気通信研究所

Prof. Simon Greaves

greaves.simon.john.a4@tohoku.ac.jp

(報道・広報に関すること)  
NIMS 国際・広報部門 広報室  
〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1  
TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017  
pressrelease@ml.nims.go.jp

Seagate Technology  
Agnieszka Zielinska : agnieszka.zielinska@seagate.com  
Nari Yoon : nari.yoon@seagate.com

東北大学 電気通信研究所 総務係  
riec-somu@grp.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構 広報課  
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3  
TEL: 03-5214-8404, FAX: 03-5214-8432  
jstkoho@jst.go.jp

(JST 事業に関すること)  
科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ  
安藤 裕輔 (あんどゆうすけ)  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町  
TEL: 03-3512-3531, FAX: 03-3222-2066  
crest@jst.go.jp