

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686100

研究課題名(和文) エネルギーアシストによる FePt 垂直媒体の磁化反転制御

研究課題名(英文) Magnetization reversal control of FePt perpendicular media by energy assist

研究代表者

高橋 有紀子 (Takahashi, Yukiko)

独立行政法人物質・材料研究機構・磁性材料ユニット・主幹研究員

研究者番号：50421392

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,800,000 円、(間接経費) 5,040,000 円

研究成果の概要(和文)：ハードディスクドライブにて4 Tbit/in²の密度を実現するために、高い異方性を持つFePtを使った磁気記録媒体の開発、及びFePt媒体においてエネルギーアシスト磁化反転の可能性について検討を行った。FePtと正の生成エントロピーを持つCr₂O₃を非磁性マトリックスに採用することにより、平均粒子径約6nm・アスペクト比1.5以上のFePt粒子がCr₂O₃によって良好に分断された均質な微細組織の作製に成功した。また、約6 kOeの保磁力を持つFePt-C媒体に高周波磁場を照射することにより、10GHzで約1.5 kOeの保磁力の低減が得られた。

研究成果の概要(英文)：We made FePt based granular film with various nonmagnetic matrix in order to realize well separated microstructure with the columnar structure. By using Cr₂O₃ as a nonmagnetic matrix, we successfully obtained well-isolated microstructure with the average particle size of 6 nm and the aspect ratio more than 1.5 in FePt-Cr₂O₃ granular film. It showed the perpendicular H_c of 20 kOe with strong perpendicular anisotropy. In addition, by applying RF magnetic field H_c reduction from 6 kOe to 4.5 kOe was observed in FePt-C granular film with the perpendicular anisotropy of 1*10⁷ erg/cc.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、構造・機能材料

キーワード：エネルギーアシスト磁化反転

1. 研究開始当初の背景

デジタルカメラやデジタルテレビの普及により、膨大なデータが一般家庭やデータセンターで保存されるようになり、テラビット(Tbit)級の大容量ストレージへの要求が益々高まっている。ハードディスクドライブ(HDD)は、大容量・安価・高信頼性という利点を持つので、大容量データストレージの最も重要な担い手になっている。現行の垂直磁気記録方式による記録密度は550 Gbit/in²程度であるが、さらに小さな体積により多くのデータを保存するために、4 Tbit/in²以上の記録密度が求められている。そのためには、強磁性ナノ粒子を4 nm程度にまで微細化し、それを高密度で非磁性相中に分散した垂直磁化膜が必要である。結晶磁気異方性(K_u)の大きいL1₀-FePt規則合金が次世代の媒体材料として注目されている。しかし、高K_u材料をナノ粒子化すると保磁力が再生ヘッドで発生できる磁界の上限(14 kOe)をはるかに超えてしまうので、従来の垂直磁気記録方式では書き込めなくなる。そこで、レーザーで書き込む領域を加熱して保磁力を一時的に下げる熱アシスト磁気記録方式や、高周波磁界による強磁性共鳴を利用したマイクロ波アシスト磁気記録方式などのエネルギーアシスト磁気記録方式に移行せざるを得ない。Tbit/in²級のエネルギーアシスト磁気記録で要求される媒体構造は、平均粒子径が約4 nmのL1₀-FePtナノ粒子を非磁性マトリックス中に均一に分散させ、それらの結晶容易軸(c軸)を膜面に垂直に配向させたものである。

最近申請者は、熱酸化Si基板上に成膜したMgO下地の上に、FePtとCを同時スパッタすることにより平均粒子径6 nm・粒子分散1.8 nm・完全c面配向・高L1₀規則度の高密度熱アシスト磁気記録媒体に適するナノ構造を持つ垂直磁化膜を世界に先駆けて実現し、熱アシスト磁気記録方式で現行媒体とほぼ同様の550 Gbit/in²の磁気記録が可能であることを実証した。今後Tbit級の超高密度FePt媒体を実現するには、4 nmの微粒子・10%以下の狭分散を実現することによる反転磁界分布(SFD)の低減、レーザー加熱による熱流を効率良く下地に放熱する熱流の異方性化・熱シンクの付与を克服する必要がある。さらに、キュリー点付近での磁化反転過程と微細構造との相関を明らかにし、高密度化のための指針を得る必要がある。

マイクロ波アシスト磁気記録は、熱アシスト磁気記録と並んで高K_u媒体の反転磁界を減少させる方法の1つとして提案されている。最近では微細加工によりマイクロ波伝送線路を作製したCoPt薄膜等で実験が行われているが、FePtのような高保磁力媒体を用いた磁化反転実験は皆無であり、FePt媒体でのマイクロ波照射の有効性は明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、高保磁力FePtナノ粒子の磁化反転を熱やマイクロ波のアシストにより行うエネルギーアシスト磁気記録方式で4 Tbit/in²の記録密度に対応できるFePt系垂直磁気記録媒体の開発を目指す。

平均粒子径4 nm・狭分散(10%以下)の微細組織と熱流の異方性化を非磁性マトリックスの材料を変化させることにより実現する。また、マイクロ波アシスト磁化反転では、印加する高周波磁界と反転モードおよび反転磁界の相関を検討することにより、反転磁界を減少させる因子を明らかにする。

3. 研究の方法

初年度(平成23年度)は、エネルギーアシスト磁化反転の測定系の立ち上げとFePt媒体の微細組織制御を行う。磁化測定には異常ホール効果を用い、FePt媒体に外部磁場、マイクロ波及び熱を同時に印加できるような測定系を準備する。また、平均粒子径4 nmと10%以下の分散を満たす微細組織の実現、熱流の制御は相分離傾向と熱伝導度を考慮した非磁性マトリックス材料を選択することにより行う。

二年目以降(平成24-25年度)は、立ち上げた測定系を用いて熱およびマイクロ波をFePt系媒体に照射し、磁化反転過程とそのダイナミクスの解明を行う。微細構造・磁化反転過程・書き込み試験の結果をもとに、4 Tbit/in²級の媒体を実現するための媒体構造およびエネルギーアシスト条件の提案を行う。

4. 研究成果

FePt媒体の微細構造制御: 熱アシスト磁気記録媒体として用いられているFePt-C系グラニューラ薄膜は、FePtとCの強い相分離傾向のために膜厚6 nm以上で薄膜成長方向にも相分離を起こす。2層目のFePt粒子はランダム配向を示すことから信号雑音比(SNR)に悪影響を及ぼす。一方、TiO₂を非磁性マトリックスに使った場合は、薄膜成長方向への相分離は起こらないもののFePt粒子がつながったネットワーク状の構造をとる。柱状構造を維持しつつ面内においてもよく相分離された微細構造を実現するにはFePtとの相分離傾向がCとTiO₂の間にある材料を選択する必要がある。相分離傾向を得るために熱力学計算を行い、NbO、ZrO、WO、Al₂O₃を非磁性マトリックスとして選択しFePtグラニューラ薄膜を作製した。いずれの非磁性マトリックス材料を用いた場合においても、非磁性マトリックスの体積分率の増加とともにFePt平均粒子径の減少が得られたが、それと同時にL1₀規則度および保磁力が顕著に低下した。その原因を調べるためにTEM-EDSを用いた元素マップを解析したところ、非磁性マトリックスを構成する金属がFePt粒子に固溶していることが明らかとなった。低い

L1₀ 規則度の原因は、非磁性マトリックスを構成する金属が固溶したことによる L1₀ 規則かの駆動力が減少したためと考えられる。以上のことから、非磁性マトリックス材料の選択には FePt との相分離傾向だけではなく、非磁性マトリックスを構成する金属が FePt との固溶しないという条件も必要であることが明らかになった。実際、今回使用した NbO₃、ZrO₃、WO₃、Al₂O₃ の金属元素は Fe と負の生成エントロピーを持っており、容易に固溶するということがわかる。一方で、C は Fe に対して正の生成エントロピーを持っているため固溶しない。このような観点で他の非磁性マトリックスを探したところ、Cr も Fe に対して正の生成エントロピーを示す。そこで FePt-Cr₂O₃ グラニューラー薄膜を作製した。Cr₂O₃ はこれまでの非磁性マトリックスとは傾向が異なっており、柱状構造を持ちよく相分離した粒子径約 4nm の微細組織を示した。しかし、L1₀ 規則度および保磁力は非常に低い。図 1 に示すように、Cr は他の金属元素とは異なり、正の生成エントロピーから予想される通り、FePt には固溶していないことがわかる。全体の膜厚を 10nm から 12nm へと増加させると、平均粒子径が 4nm から 5nm へと増加する。それに伴い L1₀ 構造に規則化しなかった理由としてサイズ効果が考えられる。さらに、FePt-Cr₂O₃ の下に 0.4nm の FePtAg 層を成膜することにより、図 2 に示すように垂直保磁力が 20 kOe の強い垂直磁化を示すグラニューラー薄膜の作製に成功した。

エネルギーアシスト磁化反転：当初、超伝導マグネットに高周波を導入して高周波磁場アシスト磁化反転の検証を行う予定であった。しかし、初年度に超伝導マグネットに高周波を導入することは実現したが、パワーが 20% 程度にまで減衰してしまい、所望の値を得るのは現在のところ難しいという結論に至った。たとえ超伝導マグネットにパワーを減衰させることなく高周波を導入できたとしても、ハードディスクドライブの書き込みヘッドが発生できる磁界は最大 15 kOe なので、通常電磁石を使って FePt の高周波磁場アシスト効果を検証しないと実用的に意味がないという結論に至った。2 年目からは、最大 15 kOe の電磁石を用いプローバーを使った高周波磁場印加実験を行った。用いたサンプルは 10⁷ erg/cc の異方性を持つ FePt-C グラニューラー薄膜である。バルクの FePt は 7 × 10⁷ erg/cc の異方性を持ち、これを用いた媒体の保磁力は 30 kOe を超える。現時点では、このような高保磁力媒体を磁化反転させられるような磁場が生成できないこと、FePt グラニューラー薄膜での高周波磁場印加実験は初めてという点を考慮し、少し低い異方性の薄膜を選択している。しかし、現行媒体よりも十分に高い異方性を持った薄膜である。印加できる DC の外部磁場が最大でも 15 kOe なので、保磁力が約 6 kOe のグラニ

ラー薄膜を選択した。15 GHz 以下の高周波磁場印加により約 1.5 kOe の保磁力の減少が見られた。しかし、20 GHz 以上では保磁力の減少は観測されず、低周波数側のみで保磁力の減少が得られた理由については現在検討中である。測定に使用した素子のウェーブガイドは、絶縁層を挟んで最も基板側に位置するホール素子の電流リークを避けるために、片側のグランド線を断線させている。このウェーブガイドの透過特性を評価したところ、20 GHz 以上で高周波が減衰していることがわかった。今回のグラニューラー薄膜で低周波側にしか高周波磁場アシスト効果が得られなかったのはウェーブガイドの伝送特性に起因していると考えられる。

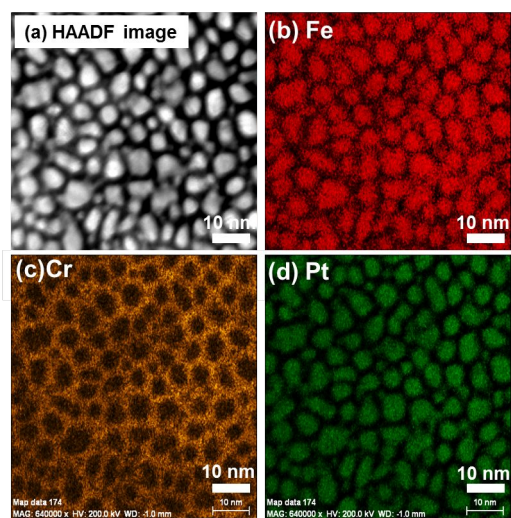


Fig. 1 HAADF-STEM (High-angle annular dark field scanning TEM) image (a) and EDS mapping of Fe(b), Cr(c), and Pt (d) of FePt-Cr₂O₃ (40%) film.

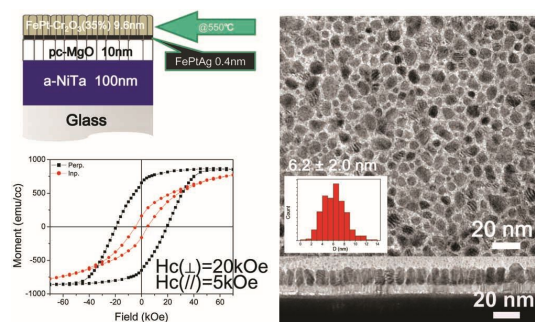


Fig. 2 the magnetization curves and the in-plane and cross sectional TEM images of FePt-Cr₂O₃ (40%) film with 0.4 nm FePtAg insertion.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

1. L1₀ ordered FePt-based perpendicular magnetic recording media for heat-assisted magnetic recording

B. Varaprasad, M. Chen, Y.K. Takahashi and K. Hono.

*IEEE Trans. Magn***49**, 718-722 (2013). 査読有

DOI: 10.1109/TMAG.2012.2218227

2. Microstructure control of L1₀ ordered FePt granular film for Heat-Assisted Magnetic Recording (HAMR) media

B. Varaprasad, Y.K. Takahashi and K. Hono
JOM **65**, 853-861 (2013) 査読有

3. Electrically conductive (Mg_{0.2}Ti_{0.8})O underlayer to grow FePt-based perpendicular recording media on glass substrate

B. Varaprasad, Y.K. Takahashi and K. Hono
*J. Appl. Phys***113**, 203907 (2013). 査読有

DOI: 10.1063/1.4804661

〔学会発表〕(計 9 件)

1. Electrically conductive underlayer to grow FePt-C perpendicular recording media on glass substrate

B. Varaprasad, Y.K. Takahashi and K. Hono
2013年11月8日 MMM, Denver USA

2. Microstructure and magnetic properties of B-added FePt-C thin films for perpendicular magnetic recording media

W.B. Cui, B.S.D. Varaprasad, Y.K. Takahashi, T. Shiroyama, K. Hono

2013年9月5日、第37回日本磁気学会
学術講演会 北海道大学、

3. Electrically conductive underlayer to grow FePt-C perpendicular recording media on glass substrate

B. Varaprasad, Y.K. Takahashi and K. Hono
2013年9月5日、第37回日本磁気学会
学術講演会 北海道大学

4. FePt-Cr₂O₃の微細構造と磁気特性
城山泰祐, B. Varaprasad, 高橋有紀子、宝野和博

2013年9月5日、第37回日本磁気学会
学術講演会 北海道大学

5. Microstructure and Magnetic properties of FePt-MOx granular films

T. Shiroyama, B. Varaprasad, Y.K. Takahashi
and K. Hono

14th Jan.2013. Intermag and MMM Joint
conference, Chicago,

6. 熱アシスト磁気記録用 FePt-X グラニューラ
ー媒体の微細構造と磁気特性

B. Varaprasad, 高橋有紀子、宝野和博

2012年9月17日、日本金属学会秋期学
術講演会 愛媛大学

7. Microstructure control of FePt granular
media for thermally assisted magnetic
recording

Y.K. Takahashi, B. Varaprasad, K. Hono

19th Aug. 2012. The magnetic recording
conference (invited) San Jose.

8. L1₀ ordered FePt based granular films for

thermally assisted magnetic recording media.

Y.K. Takahashi, B. Varaprasad and K. Hono

Invited. 8th July 2012, ICM, Busan

9. L1₀ ordered FePt based double-layered
perpendicular recording media

B. Varaprasad, Y.K. Takahashi and K. Hono

Intermag, Vancouver, 7th May 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: FePt 磁気記録媒体

発明者: ボラプラガダバラプラサド、高橋有紀子、宝野和博

権利者: 物質・材料研究機構

種類:

番号: 特願 2013-189727

出願年月日: 2013年9月12日

国内外の別: 日本

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 有紀子 (TAKAHASHI YUKIKO)

独立行政法人物質・材料研究機構・磁性材
料ユニット・主幹研究員

研究者番号: 50421392

(2) 連携研究者

なし