

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 4日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560302

研究課題名（和文） 磁気力顕微鏡による記録媒体磁化状態変化の高分解能観察およびデータ解析に関する研究

研究課題名（英文） Research on high-resolution magnetic force microscopy of magnetization structure of thin film recording media and their data characterization

研究代表者

二本 正昭 (FUTAMOTO MASAOKI)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：70384732

研究成果の概要（和文）：本研究により、(a)高分解能な磁気力顕微鏡観察技術（分解能: 7 nm）、(b)観察試料を MFM 装置への装着および取り出しを繰り返した場合の同一個所再現観察技術（試料設定精度： ± 5 nm）、(c)MFM 探針の反転磁界評価技術、(d)高反転磁界特性を持つ MFM 探針形成技術（反転磁界強度 >1 kOe）、および(d) 磁化反転特性観察評価技術、の開発を行った。この結果、 1 Tb/in^2 レベルの記録密度を持つ磁気記録媒体の磁化状態解析が可能となった。

研究成果の概要（英文）： The following technologies related with high-resolution magnetic force microscopy (MFM) have been developed. (a)realization of MFM with spatial resolution of 7 nm, (b)sample handling technique with an accuracy better than ± 5 nm when mounting or demounting a sample to MFM system, (c)estimation method of MFM tip magnetization reversal strength (H_{sw}) and fabrication of MFM tip with $H_{sw}>1$ kOe, and (d)characterization of magnetization reversal from MFM data. These technologies are successfully applied to the study of magnetic recording media with areal densities around 1 Tb/in^2 .

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料（半導体、誘電体、磁性体、超誘電体、有機物、絶縁体、超伝導体など）、磁気力顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

パソコンなどの情報記録装置として用いられているハード磁気ディスク(Hard Disk Drive: HDD)の大容量化を背景に、磁気記録媒体の高密度化が進行中である。HDD の記録密度は 2010 年では 600 Gb/in² であるが 2012 年に 1.2 Tb/in² に達すると予測されていた。磁気記録の最小単位であるビット寸法は 1.2 Tb/in² では 23-16 nm 程度に微細化される。

微細化に伴って、ビットを構成する磁性材料の磁気エネルギー($K_u \cdot V$: K_u 磁性材料の磁気異方性エネルギー、 V 体積)が低下するため、温度や外部磁界あるいは応力などの影響を受けて記録磁化情報が変化する可能性が増大する。記録磁化情報の安定性確保の指針を得るため磁気力顕微鏡(Magnetic Force Microscope: MFM)を用いた媒体の磁化状態観察が有効である。MFM 技術は記録ビットの磁化状態の直接観察が可能であり、しかも同時に形態観察もできるため、磁気記録媒体のミクロ形態と磁化状態変化の関係を調べることができる。記録ビットの磁化反転に至る途中の磁化状態変化も詳細に観察できるため、高密度磁気記録媒体の開発着眼点を研究する上で有用な情報を取得できる。MFM を将来の磁気記録媒体研究に適用するためには、観察分解能の向上、観察試料の取り扱い技術や MFM データの高精度解析技術の高度化を図ることが必要になっていた。

2. 研究の目的

1 Tb/in² レベルの記録密度を持つ磁気記録媒体の磁化状態に関する研究を可能とするために、(1) 磁気力顕微鏡装置への試料繰り返し装脱着を行っても同一観察箇所を繰り返し観察可能な試料の装脱着技術(位置決め精度: ± 5 nm)の開発と MFM の高分解能化(分解能 < 10 nm)、(2) 磁気記録媒体の磁化状態

変化の抽出技術、(3) パターンメディアのビット単位での磁化反転直接計測技術、および(4) 磁気記録媒体試料に温度や磁界を加えたときの磁化状態変化の連続観察技術、などが必要であり、本研究ではこれらの技術開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 磁気力顕微鏡装置への試料の装脱着技術と MFM の高分解能化

MFM 装置の試料ステージと試料観察記録機能を活用した。観察試料に機械切削により粗位置決め用のスクラッチマーク、および原子間力顕微鏡機能を用いて作成したナノスクラッチマークを高精度位置決めマークとして参照しながら特定箇所を再現性良く位置決めする技術の検討を進めた。Si 探針を磁性材料被覆して MFM 探針を作製する方法を用いて、磁性材料、被覆膜厚、熱処理条件を検討し、高分解能化に必要な条件を系統的に調査した。

(2) 磁気記録媒体の磁化状態変化の抽出技術

試料に温度や磁界を加えた前後の MFM 画像の差分像を得ることにより、磁化状態変化の抽出法を検討した。試料処理前後における観察領域の高精度位置合わせ技術が重要である。

(3) パターンメディア磁化反転直接計測技術

パターンメディアの磁性ドット磁化はメディア面に対して垂直であり、MFM 装置中で数 kOe の大きな磁界印加は容易ではない。そこで磁界印加を別装置の電磁石で行い、磁界処理後に同一個所の磁化状態を MFM で高分解能観察する手法を検討した。この検討では開発技術(1)の有効活用を図った。

(4) 磁化状態変化の連続観察技術

上記(3)と同様の Ex-situ 技術に加えて、加熱処理では MFM 装置内で加熱を行う In-situ 技術も活用して、磁化状態変化の連続観察を試みた。

4. 研究成果

(1) 磁気力顕微鏡装置への試料の装脱着技術と MFM の高分解能化

MFM 装置への試料繰り返し装脱着を超高精度(± 5 nm)で行う技術を開発した(J. Mag. Soc. Jpn., vol.36, (2011), pp109-115.) また非磁性 Si 探針に Co 膜および FePd 膜を被覆して作製した MFM 探針で研究目標を上回る分解能 7 nm(反転磁界:0.5 kOe)および分解能 9 nm(反転磁界強度:1.5 kOe)を得た(EPJ Web Conf., vol. 40, (2013), pp.01002 および J. Mag. Soc. Jpn., vol. 37, (2013), pp.56-61). これらの技術を 1 Tb/in² クラスの超高密度磁気記録媒体の磁化状態観察に適用し、媒体微細構造と記録磁化状態の相関解析を行い、媒体の今後の可能性と問題点を検討した(ECS Trans., vol. 50, (2013) pp.79-90).

(2) 磁気記録媒体の磁化状態変化の抽出技術

温度、磁界、機械的応力を加えた前後の媒体試料の MFM 画像差分像を取ることで、磁化状態変化を nm レベル精度で抽出する方法を開発した。この技術を垂直磁気記録媒体の磁化状態解析に適用し、有用性を検証した(Phys. Proc., vol. 16, (2011), pp.53-57).

(3) パターンメディア磁化反転直接計測技術

パターンメディア(ドット径: 30 nm, ピッチ: 58 nm)に磁界を加えた時の磁性ドット磁化反転を、試料装脱着に伴う同一個所高精度位置決め技術と高分解能 MFM 観察技術を活用して連続観察を行った。磁性ドットの磁化反転挙動(平均反転磁界、分散)などを定量

評価できることを示した(招待講演: Asia Pacific Mag. Rec. Conf. 2012, Oct.31, 2012, Singapore, 論文:IEEE Trans. Magn. 2013, 掲載決定)。

(4) 磁化状態変化の連続観察技術

試料装脱着に伴う同一個所高精度位置決め技術と高分解能 MFM 観察技術を活用して垂直磁気記録媒体の記録磁化状態に及ぼす温度の影響を調べた。高線記録密度(1250 kFCI, ビット長:20 nm)の記録磁化状態は 150°C では変化せず、250°C 加熱により微細な磁化状態変化が観察された。この研究により、垂直磁気記録媒体が温度に対して極めて良好な耐性を持つことが確認された(IEEE Trans. Magn. 2013, 掲載決定)。

本研究で開発した MFM 技術を活用することにより、1 Tb/in² レベルの高密度磁気記録媒体の磁化状態観察が可能となることが確認された。1 Tb/in² は矩形ビットでは 25 nm x 25 nm である。本研究で開発した観察分解能 7 nm の MFM 探針を垂直磁気記録媒体とビットパターンメディアに適用し、1500 kFCI (ビット長:16.7 nm) の記録磁化状態と 18 nm x 18 nm (2 Tb/in²) のビットパターンメディアの磁性ドット垂直磁化状態が分離して観察できることを確認した。これらの結果を国際会議(PRiME-2012, APMRC-2012)の招待講演で発表し、論文として公開した。高分解能 MFM 技術は、今後の超高密度磁気記録媒体の研究開発を初め、ナノレベルの微細磁区構造を持つ磁性材料関連研究において重要な観察技術として活用されることが期待される。高分解能で大きな反転磁界を持つ MFM 探針はエネルギー分野の強力永久磁石材料の研究開発促進にも有効である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① Masaaki Futamoto, Tatsuya Hagami, Shinji Ishihara, Kazuki Soneta, and Mitsuru Ohtake, “Improvement of magnetic force microscope resolution and application to high-density recording media”, 査読有, IEEE Trans. Magn. 掲載決定.
- ② Masaaki Futamoto, “Development of thin film technology for high-density magnetic recording media”, 査読有, ECS Transactions, vol. 50, issue no. 10 (2013) pp. 79-90.
- ③ Masaaki Futamoto, Tatsuya Hagami, Shinji Ishihara, Kazuki Soneta, and Mitsuru Ohtake, “Fabrication of magnetic tips for high-resolution magnetic force microscopy”, 査読有, Key Engineering Materials, vol. 543 (2013), pp. 35-38.
- ④ Shinji Ishihara, Tatsuya Hagami, Kazuki Soneta, Mitsuru Ohtake, and Masaaki Futamoto, “Effect of annealing temperature on the switching field of magnetic force microscope tip coated with FePd-alloy thin film”, 査読有, Journal of the Magnetism Society of Japan, vol. 37, (2013) pp.56-61.
- ⑤ M. Ohtake, K. Soneta, and M. Futamoto, “Influence of magnetic material composition of $Fe_{100-x}B_x$ coated tips on the spatial resolution of magnetic force microscopy”, 査読有, Journal of Applied Physics, vol. 111, (2012) pp.07E339-1-4.
- ⑥ K. Nagano, K. Tobar, K. Soneta, M. Ohtake, and M. Futamoto, “Magnetic force microscopy of high-density magnetic recording media by using high-resolution tips”, 査読有, Journal of the Magnetism Society of Japan, vol. 36, (2011) pp.109-115.
- ⑦ Katsumasa Nagano, Kousuke Tobar, and Masaaki Futamoto, “Influence of magnetic field and mechanical scratch on the recorded magnetization stability of longitudinal and perpendicular recording media”, 査読有, Physics Procedia. vol. 16, (2011) pp.53-57.
- [学会発表] (計 27 件)
- ① Masaaki Futamoto, Tatsuya Hagami, Shinji Ishihara, Kazuki Soneta, and Mitsuru Ohtake, “Improvement of magnetic force microscope resolution and application to high-density recording media (Invited)”, Asia-Pacific Magnetic Recording Conference 2012, October 31, 2012, Singapore.
- ② Masaaki Futamoto, “Development of thin film technology for high-density magnetic recording media (Invited)”, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiMe-2012), October 9, 2012, Honolulu, Hawaii, USA.
- ③ Masaaki Futamoto, Tatsuya Hagami, Shinji Ishihara, Kazuki Soneta, and Mitsuru Ohtake, “Fabrication of magnetic tips for high-resolution magnetic force microscopy”, 2nd International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers, May 25, 2012, Budapest, Hungary.

- ④ S. Ishihara, M. Ohtake, and M. Futamoto, “Spatial resolution and switching field of magnetic force microscope tip coated with FePd-alloy thin film”, Joint European Magnetic Symposia 2012, September 13, 2012, Parma, Italy.
- ⑤ Shinji Ishihara, Mitsuru Ohtake, and Masaaki Futamoto, “Magnetic force microscope tips coated with $L1_0$ ordered FePd, FePt, and CoPt alloy films”, International Union of Materials Research Society International Conference in Asia 2012, August 28, 2012, Busan, Korea.
- ⑥ M. Ohtake, K. Soneta, and M. Futamoto, “Influence of magnetic material composition of $Fe_{100-x}B_x$ coated tips on the spatial resolution of magnetic force microscopy”, 56th Annual Conference of Magnetism and Magnetic Materials, November 01, 2012, Scottsdale, Arizona, USA.
- ⑦ Katsumasa Nagano, Kousuke Tobari, and Masaaki Futamoto, “Influence of magnetic field and mechanical scratch on the recorded magnetization stability of longitudinal and perpendicular recording media”, Perpendicular Magnetic Recording Conference 2010, May 18, 2010, Sendai, Japan

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.elect.chuo-u.ac.jp/futamoto/>

index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二本 正昭 (FUTAMOTO MASAACKI)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号 : 70384732