

世界最高分解能の磁気力プローブ顕微鏡を開発

超高密度磁気記録の研究開発を加速

産総研ナノテクノロジー研究部門は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託事業であるナノテクノロジープログラム・ナノ機能合成技術プロジェクトにおいて、エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社及び富士通株式会社とともに、世界最高分解能の磁気力プローブ顕微鏡の開発に成功した。当共同研究グループは、観察物の微弱な磁気情報を読むために必要な高感度顕微鏡機能の改良と、カーボンナノチューブをとりつけたプローブに均一に強磁性体薄膜をコーティングするプロセス技術を新しく開発することによって、10nm程度の磁気的な構造物を観測した。超高密度磁気記録の分野のみならず、最近非常にその研究が活発になってきたスピントロニクス分野全体においても、強力な研究ツールとなることが確実である。

超高密度磁気記録と磁気力顕微鏡

近年、磁気ハードディスク (HDD) は、一般のAV家電としてテレビ録画にも用いられるようになり、その記録密度の向上を目指した研究開発が非常に盛んに行われている。HDDは、極微細な磁石の集合体を作りこんだものであり、その極微細磁石からの漏れ磁場 (NS極) の向きで、1と0の情報を記録している。記録密度の向上のためには、この極微細磁石をさらに小さくしていかなければならず、現在の研究開発スピードが続けば、2005年には、25 nm (1nmは10億分の1m) 以下の幅を持った微細な磁石を並べていかなばならなくなることが予想されている。その際には、この極微細磁石を規則的に並べるだけでなく、磁石間の相互作用を制御することも必要であり、ナノテクノロジーを駆使した研究開発の典型例となっている。

HDDの開発と並行して、微細な磁石の状態を評価するための装置の開発も盛んに行われている。現在までのところ、10 nm領域の分解能を持つ評価装置、例えばスピン偏極電子を用いたトンネル顕微鏡や走査型電子顕微鏡などでは、多彩な磁気特性を評価できるが、極めて清浄な試料表面でなければその観察が行えない等の理由から、超高真空装置内でその表面を加工し、特殊な電気信号の検出装置を用意することが必要なため、磁気記録の研究開発現場で広く利用されることはなかった。

一方、磁気力プローブ顕微鏡は、プローブ (探針) と試料間に働く様々な物理量を検出し、微小領域の形状や物性測定をする走査型プローブ顕微鏡のひとつであ

り、プローブと試料 (主に強磁性体) の間に働く磁気力を検出するものである。磁気力プローブ顕微鏡は、磁気力顕微鏡 Magnetic Force Microscope の頭文字をとってMFMとも呼ばれている。試料からの漏れ磁場検出を観察原理とするために、定量的な磁気特性の評価は出来ないが、試料の表面の状態に敏感でないことから、その観測に特殊な環境や試料表面の処理を必要としないという実用上の極めて大きなメリットを持っている。ところが、MFMは汎用性に優れているものの、これまでのところ、市販の装置では一般に50~100 nm程度、また最先端の装置でも20~30 nm程度の分解能しか達成できておらず、超高記録密度化を目指すHDDや、不揮発性磁気ランダムアクセスメモリ*など次世代の磁気記録媒体を評価するためには、高分解能MFMの開発が急務であった。

カーボンナノチューブを用いた磁気力顕微鏡用プローブ

走査型プローブ顕微鏡にて高分解能を達成するキーポイントは、まずプローブ先端を尖鋭化することである。例えば、原子間力顕微鏡を用いたナノ構造の形状観察においては、カーボンナノチューブをプローブ先端にとりつけることにより、より微細な構造を観察できるようになることが知られている。これは、プローブ先端がより尖ったものになるだけでなく、ナノチューブの縦長な構造が微細な凹凸を観測するのに適しているからである。当共同研究グループはそこに着

目し、カーボンナノチューブ付きの原子間力顕微鏡プローブに強磁性体をコーティングし、MFM用プローブとすることを試みた。より具体的には、産総研においてカーボンナノチューブ付プローブへの強磁性体コーティングが行われ、産総研とエスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社との共同開発装置である磁気力顕微鏡にそのプローブを取り付け、富士通株式会社から提供された次世代垂直磁気記録媒体を観察することによってその性能評価を行った。また、今回使用したカーボンナノチューブ付プローブはエスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社、大研化学工業株式会社、大阪府立大学による共同開発品である。

図1は、その共同研究開発された磁気力顕微鏡装置と、強磁性体薄膜をコーティングしたプローブの写真である。磁気力顕微鏡装置は、小さな真空装置のようになっている。試料とプローブのある空間を真空にすることによって、それらの間に働く磁気力をより高感度に検出できるように工夫されている。カーボンナノチューブ付プローブへの強磁性体薄膜のコーティングは、スパッタリング法と呼ばれる真空成膜法の一つを用いて行った。スパッタリング法は、各種の薄膜を生産レベルで大量に成膜するのに広く用いられている手法である。その成膜条件と、強磁性体の種類を選ぶところにノウハウがあって、電子顕微鏡像に明らかのように、カーボンナノチューブ部分に均一に強磁性体がコーティングされたプローブを得ることができるようになった。

次世代垂直磁気記録媒体の観察

MFMによる垂直磁気記録媒体の観察原理を示す概要図と、実際に得られたMFM像を図2に示す。また、参考のために、HDDの写真も示した。カーボンナノチューブ付プローブには強磁性体薄膜がコーティングされており、観察の前にその先端がN極あるいはS極になるように強い磁場をかけてある。したがって、記録媒体からの漏れ磁場の向きによって、プローブは引力あるいは斥力を受けることになる。MFM像の1辺は $1\mu\text{m}$ であり、試料とプローブの間に働く磁気力が引力であるか斥力であるかを色の濃淡で可視化している。白抜き矢印で示した縦長のコントラストの帯が右斜下から左斜上の方向に並んでいる様子がわかる。ここで、FCI (flux change per inch) という単位は、媒体に書き込まれた磁区からの漏れ磁場 (NS極) の向きが、1インチの長さあたり、何回変化したかを示す単位である。1100kFCIでは、1インチ当たり110万回磁場の向きが変化することを示している。MFM像にて斜め方向に並んでいる帯の幅は約23nmであり、色の濃淡具合 (正確には、振動させながら観察をさせているプローブの位相シフト量) を縦軸に、横軸に距離を取った断面図から評価した分解能は、約10nmであった。

現行のHDDは、トラック上に極微細磁石を横方向に並べて記録する面内磁気記録方式を採用しているが、超高密度記録を行う際には、熱によってこの磁石のNS極

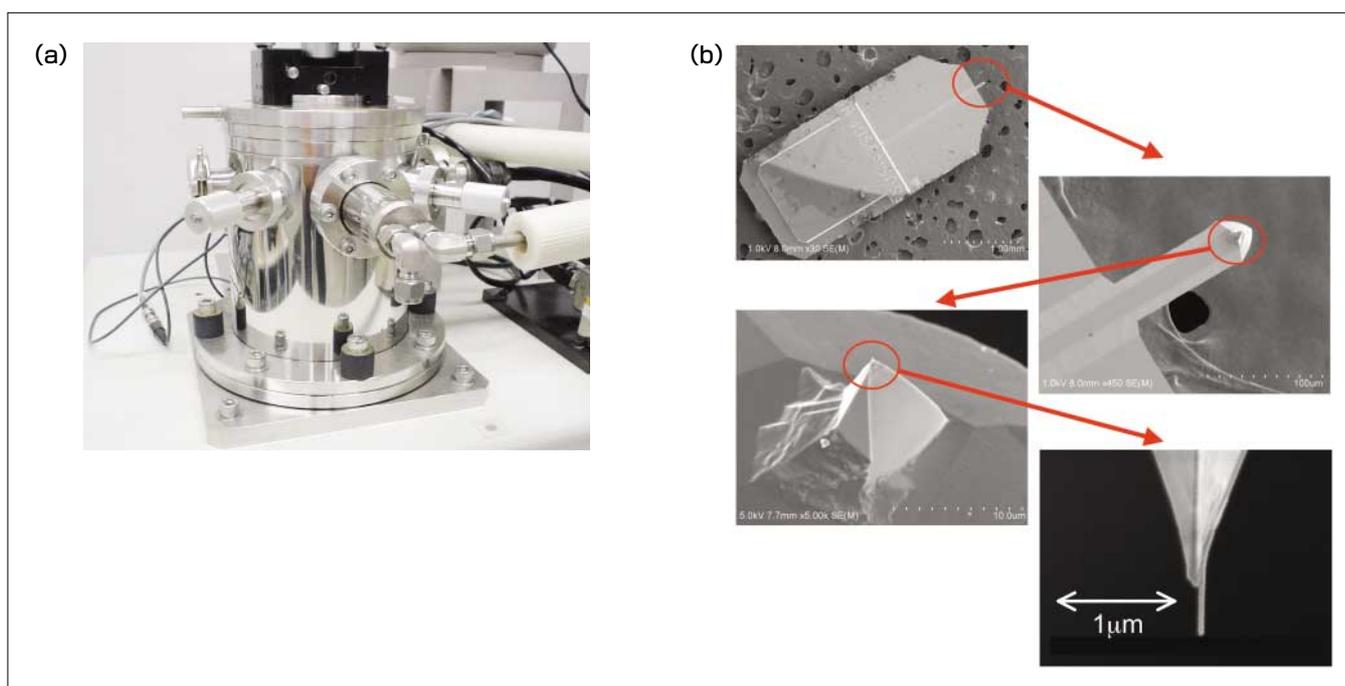
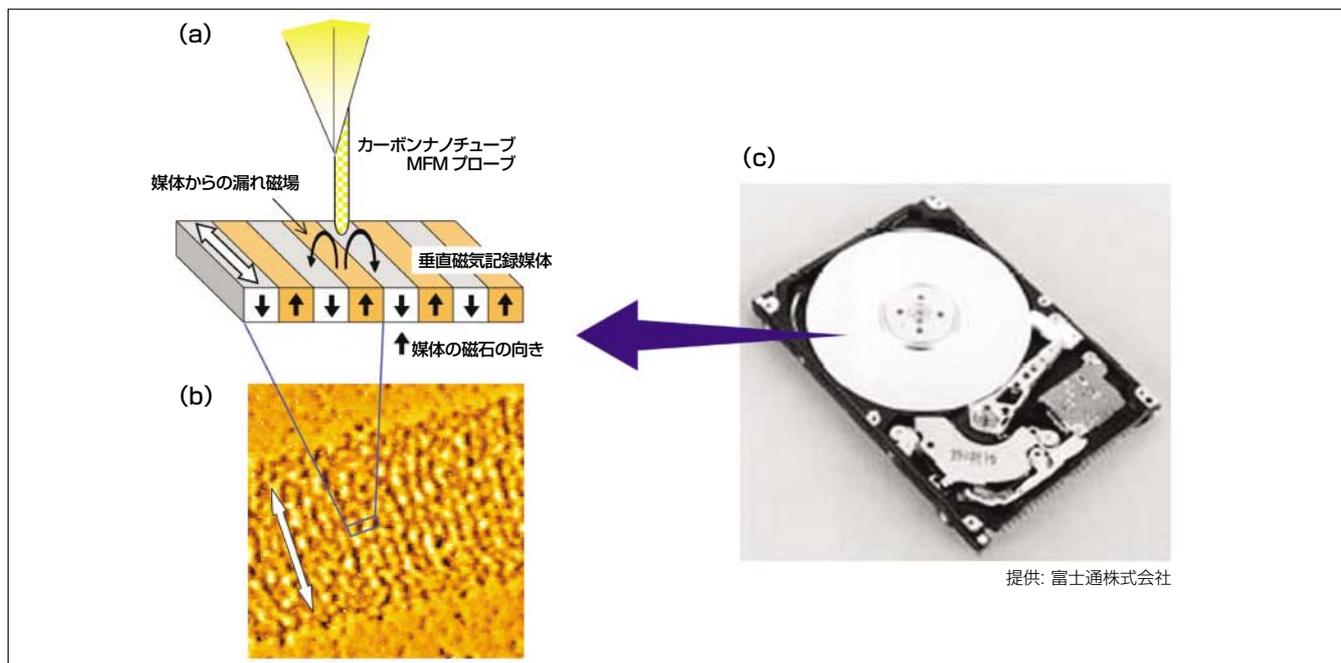


図1 共同研究開発された磁気力顕微鏡装置 (a) と、MFMプローブの電子顕微鏡写真 (b)

(b) の最下図における細長い部分が、強磁性体薄膜のコーティングされたカーボンナノチューブであり、その直径は約40nm。



提供: 富士通株式会社

図2 MFMによる垂直磁気記録媒体の観察原理を示す概要図 (a) と、1100kFCIの磁気情報が書き込まれた次世代垂直磁気記録媒体のMFM像 (b)

(b)における白抜き矢印が、MFM像上のそれと対応している。また、実際のHDDの写真((c)この次世代垂直磁気記録媒体が用いられたものではない)。円盤状の部分が磁気記録媒体であり、ここに情報が書き込まれている。

の向きが揺らいでしまうことが問題になっている。これに対し、トラック面に垂直に極微細磁石を配置する垂直磁気記録方式が、この様な問題を解決できる将来の記録方式として研究されていて、今回の評価に用いた記録媒体はこの垂直磁気記録が行われたものである。つまり、図2に示された極微細な棒磁石は、数nmの径を持ち白矢印のある面の垂線方向に磁化を示す、更に極微細な磁石の集合体なのである。熱揺らぎに影響を受けないような極微細棒磁石を媒体に書き込み、またそれらの書き込まれた棒磁石同士がお互いに余計な影響を及ぼさないようにすることなどが次世代HDDの開発現場では重要な課題である。今回開発されたMFMには、その極微細棒磁石の様子を手取るようにイメージングすることによって、それらの課題克服に向けた研究開発を強力に推進することが期待されている。

◆参考文献

※ 湯浅新治: AIST Today, Vol. 4, No. 5, 4-6 (2004).

◆関連情報

・ プレス発表, 平成 16 年 3 月 17 日: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040317/pr20040317.html

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所

ナノテクノロジー研究部門

先進ナノ構造グループ 研究グループ長 秋永 広幸

E-mail : akinaga.hiro@aist.go.jp

〒305-8568

茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

■共同研究開発者から

(株) エスアイアイ・ナノテクノロジー

技術総括部 要素技術課技術 2G 専門課長

安武 正敏

従来のMFM探針は、シリコンのカンチレバーに磁性体をスパッタコーティングしていたため、先端の直径が50~80nmとばらつきも大きく、さらに円錐形状、つまり先端部よりも上部の表面積の大きい探針で、長距離力の磁気力を検出するため、高分解能で再現性のあるMFM画像は得られにくかった。これらの問題点を解決するために、今回、円柱形状で直径のばらつきの少ないカーボンナノチューブを母材として、その上に均一にスパッタコーティングすることにより上記課題をクリアできた。基本性能は確認できたので、今後は産総研との共同研究の成果を生かして、信頼性の向上に重点をおき、再現性の高い長寿命のMFM探針を目標に製品化を進める予定である。

(株) 富士通研究所 磁気ディスク先行研究部 部長

田中 厚志

本文中にも記載があるように、磁気情報ストレージデバイスにおいては、高密度記録の進展とともに、20nm~30nmを最小単位として磁気情報が書き込まれ、読み出されるに至っている。今回のMFM装置の開発は、媒体の材料ナノ構造評価と、実際の記録再生特性評価の中間段階で、媒体上にどのように磁気情報が書き込まれたかを直接高分解能で観察できるようになったことを意味する。また、汎用性も有している。これらの観点から、本開発の意義は非常に大きいと考える。今後、このMFMを駆使して、記録媒体や記録ヘッドの開発を促進して行きたい。