HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	MFM-SEM磁区観察装置による磁区観察
Author(s)	長尾, 二郎; 飯塚, 雅博; 興津, 淳 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 153, 109-113
Issue Date	1990-11-29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42260
Type	departmental bulletin paper
File Information	153_109-114.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第153号（平成2年）

Bulletin of the Faculty of Engineering
Hokkaido University. No. 153 (1990)

MFM-SEM磁区観察装置による磁区観察

長尾　二郎　　飯塚　雅博*　　興津　　淳*
安達　　洋**　武笠　幸一

（平成2年8月31日受理）

Observation of Magnetic Domain Structure by MFM-SEM

Jiro NAGAO, Masahiro IIZUKA, Sunao OKITSU,
Hiroshi ADACHI and Koichi MUKASA

(Received August 31, 1990)

Abstract

A magnetic force microscope (MFM) is a very useful tool for observation of fine magnetic structure with high resolution and without special sample treatment. However it has some problems to be overcome. The cantilever of MFM was designed on the basis of the theoretical analysis which considered these problems. A scanning tunneling microscope (STM) was used for the detection of the cantilever deflection resulting from the magnetic force. Tip-induced domain configuration and wall motion were observed by scanning elecrton microscope (SEM) when a sharp Fe wire tip was approaching a sample.

1．序

磁気記録の分野において高密度化の傾向はますます顕著になり，磁性材料のミクロな磁区・磁壁の挙動を制御することが必要となってきている。従ってこれらをミクロに観察・評価することが重要である。この意味で磁気力顕微鏡（Magnetic Force Microscope: MFM）[1]は高い分解能を有し，測定環境や試料の前処理を特に必要としないなどミクロ磁区観察にとって大きな利点を有する[2]。MFMではこれまで，薄膜記録媒体の記録ビット[3]や光磁気記録媒体の記録パターン[4]，薄膜磁気ヘッドのギャップ[5]，ブロッホ磁壁の磁気的構造[6]などが観察されてきた。しかしMFMによる磁区観察に対しては，(1)測定された磁気力分布と試料の磁区構造との位置対応が不明確であること，(2)探針からの漏れ磁場が試料へ影響を与えること，(3)観察位置の特定が困難であるなどの問題点を有している[7]。そこで反射電子による磁区像を観察出来る走査型電子顕微鏡(SEM)とMFMを複合したMFM-SEM磁区観察装置を開発し[8]，MFMによる磁区観察技術の確立を目的とした。ここではMFMカンチレバーの設計のための理論解析と，これを基に開発したMFM-SEM磁区観察装置および本装置による観察結果について述べる。

電子工学科　固体電子工学講座
* アルプス電気㈱　新潟事業部
**室蘭工業大学　電気電子工学科

2．理論解析

MFM は磁性体探針と磁性体試料の間に働く磁気力を探針をのせたカンチレバーの変位から読み取り，試料の磁化状態を観察する装置である。MFM の検出する力は，磁性体探針と磁性体試料との間の双極子相互作用による静磁力である。図1 (a)には面内磁気記録ビットを観察する際の探針のモデルを示すが，探針先端を半径Rの球とし，その中心に球全体の磁化を点双極子として置く。試料としては，膜厚 t の薄膜を考え，反転磁化領域の幅を D，探針－試料間隔を h とする。このモデルにおいて探針に働く磁気力は次式で与えられる。

$$F_z=\frac{1}{4\pi\mu_0}\cdot\frac{16\pi R^3}{3}\cdot M_tM_s\cdot\left\{\left\{\frac{(h+R)}{(X-D/2)^2+(h+R)^2}-\frac{(h+R)}{(X+D/2)^2+(h+R)^2}\right\}\right.$$
$$\left.-\left\{\frac{(h+R+t)}{(X-D/2)^2+(h+R+t)^2}-\frac{(h+R+t)}{(X+D/2)^2+(h+R+t)^2}\right\}\right\},\qquad(1)$$

ここで X は反転磁区領域の中心を原点とした探針の位置座標，μ_0 は真空の透磁率である。探針および試料の飽和磁化をそれぞれ $M_t=M_s=1T$，反転磁化領域幅 D＝800 Å としたとき，式(1)から得られた磁気力分布の計算結果を図1 (b) (c)に示す。R および h の変化に伴い，磁区構造に対応した磁気力分布が得られているが，実際の試料の磁化反転位置と磁気力の計算値の最大位置の間にずれが存在する。このずれを Image Error と呼ぶことにすると，この Error は MFM 像の誤差となるのでできるだけ小さい方が望ましい。Image Error を小さくするためには，探針先端半径 R を大きく，探針－試料間隔 h を小さくした方がよい。探針を試料に近づけると，探針のつくる漏れ磁場が試料の磁化分布を乱す。点双極子から距離 r，双極子ベクトルの方向との角度 θ の点における磁場は，次式で与えられる[9]。

$$H_{tip}=\frac{1}{4\pi\mu_0}\cdot\frac{4\pi R^3}{3}M_t\cdot\left(\frac{2\cdot\cos\theta}{r^3}\hat{r}+\frac{\sin\theta}{r^3}\hat{\theta}\right),\qquad(2)$$

ここで $\hat{r}$，$\hat{\theta}$ はそれぞれ r，θ 方向の単位ベクトルである。薄膜磁気媒体の保磁力を約80kA/m とすると，少なくとも記録磁区の形状を検出するために探針のつくる磁場の最大値がこの値より小さくなるように R および h を選ぶ必要がある。図1 (a)のモデルで Image Error を20%以下にすることを考えると，反転磁化領域幅 D＝800 Å (これが分解能となる) の媒体に対しての最適値として，R＝100 Å，h＝600 Å が得られる。この最適条件のときの検出磁気力は $F=6\times10^{-12}N$ となる。

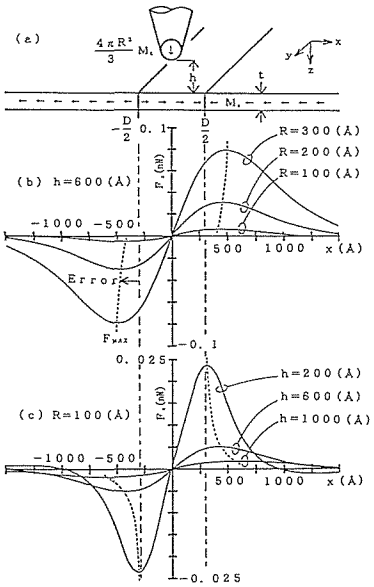

図1　MFMの解析モデルと磁気力分布(a)解析モデル，(b)(c)の磁気力分布にはRおよびhの変化に伴いイメージエラーが見られる。

3．カンチレバーの設計と MFM ユニット

上述の理論解析の結果から，得られる磁気力が非常に小さいため，探針をのせたカンチレバーの変位も非常に小さなものとなる。したがって，外部からの機械的振動を除くためにカンチレバーの共振周波数を充分高く設計し，また変位の検出には走査型トンネル顕微鏡 (STM)[10] を用いることにした。カンチレバーはSTMにおいてトンネル電流が1桁程度変化するために必要な変位で，

この場合は10Åとなるように設計した。図2および表1に，それぞれカンチレバーの形状および寸法の検討結果を示す。

このように，必要なカンチレバーの寸法が非常に小さいため，カンチレバーはSiO_2膜よりリソグラフィー技術を用いてエッチングで作成した。またカンチレバー先端に探針を取り付けることは困難なためカンチレバー先端に探針の機能をもたせた。カンチレバーの上面にはトンネル電流検出用のＡｕを蒸着し，また磁性体試料側の面には磁性体探針としてのNi-Fe薄膜を蒸着した。図3に作成したカンチレバーのSEM写真を示す。この様にして作製したカンチレバーを取り付けたMFMのユニットを図4に示す。カンチレバーおよびSTMのティップは微動用圧電素子に，試料はｘ－ｙステージにそれぞれ取り付けられている。またマイクロメーターはカンチレバーとSTMのティップの粗動用である。

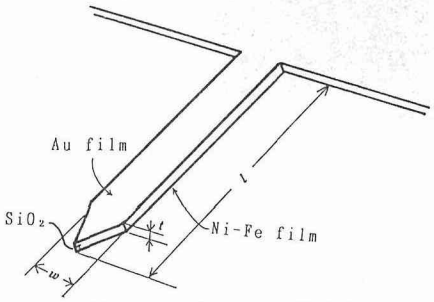

図2　カンチレバーの模式図

表1　カンチレバーの寸法

Length l	*Width w*	*Thickness t*	*Res.Freq. fr*
130 μm	10 μm	1.0 μm	42.8 kHz
145	15	1.0	32.5
160	20	1.0	27.3

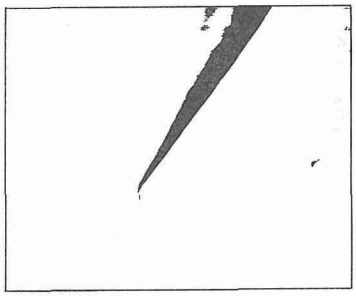

図3　SiO_2製カンチレバーのSEM写真

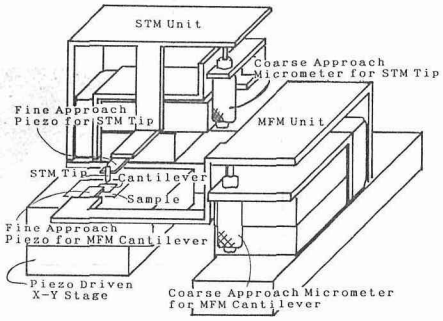

図4　MFMユニット

4．STM制御回路系

図5にSTM制御回路のブロック図を示す。カンチレバーの変位に対しSTMのティップを流れるトンネル電流が一定になるように，圧電微動素子にフィードバック電圧を印加してティップを変位させる。このフィードバック電圧はカンチレバーの変位に対応しているので，この信号をモニター画面に表示することによって磁気力分布が得られる。

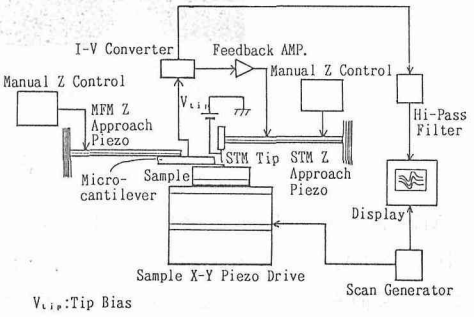

図5　MFM用STM制御回路のブロック図

5．反射電子磁区観察法による探針漏れ磁場の影響

反射電子磁区像はSEM（日本電子製：JSM-35）によって観察する。ここではカンチレバーの代わりに直径約50μmのFeの針を近づけて，磁性体探針からの漏れ磁場の試料磁区への影響を観察した。図6は磁場中でスパッタしたNi-Fe薄膜表面の反射電子磁区像である。(a)は，磁性体探針が試料から約100μm離れている場合の磁区像であり，この探針を試料に近づけ試料に接触した場合，(b)に示すような新たな磁区が生じた(矢印部分)。またFe探針を取り付けた圧電素子に電圧を印加し探針を試料に接触させた状態で同一試料の磁壁部分を横切るように走査させる。このとき各点において圧電素子に電圧を印加しFe探針を試料から離す。このときに印加した電圧を示したものが図7である。磁壁部分を通過する際にこの印加電圧に不連続が生じており，上部に示した写真から探針が磁壁を通過する際磁壁が引きずられて一部移動することが分かる。これらはいずれも磁性体探針の漏れ磁場の影響であり，本装置ではMFM観察時の試料の磁区状態の変化がSEMで観察可能であることを示す。今後，理論解析の結果を踏まえ，系統だてた実験により，MFMの観察条件を明らかにするつもりである。

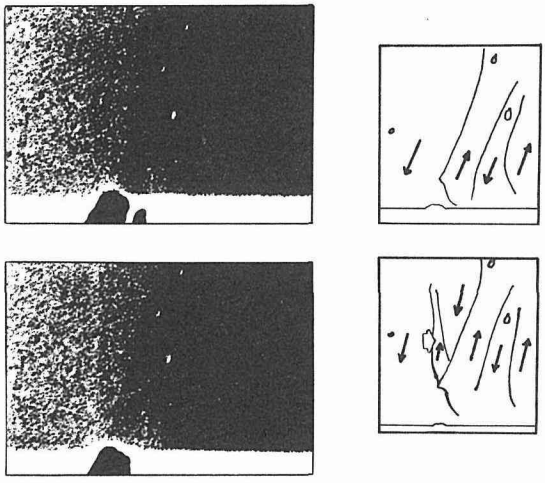

図6　探針漏れ磁場による発生磁区のSEM観察

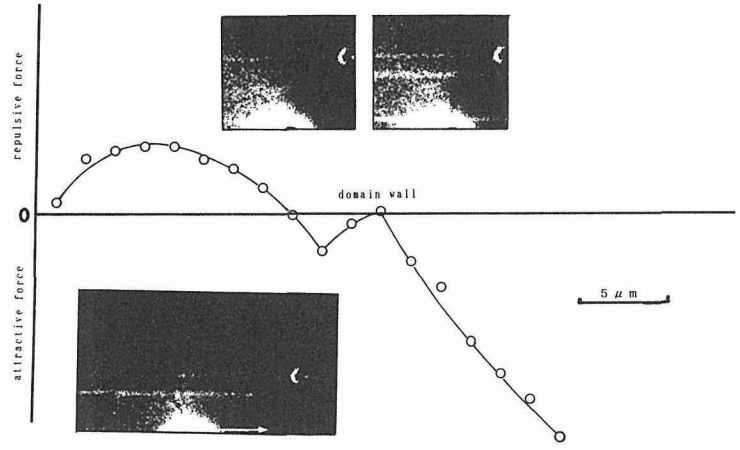

図7　探針漏れ磁場による磁壁移動のMFM-SEM観察

6．ま　と　め

MFMのもつ問題点を考慮した理論解析を基に，面内分解能が800ÅのMFMカンチレバーとMFM-STMユニットを設計・製作し，SEMと複合し，MFM-SEM磁区観察装置を開発した。また本装置を用いて，探針が作る漏れ磁場の影響を実験的に明らかにすることが出来た。今後，本装置を用いて各種磁気記録材料および磁気ヘッドの微小領域の振舞いを更に研究する計画であ

る。なお，本研究の一部は，放送文化基金（昭和62年度）の援助によった。

参考文献

1) J. J. Sáenz, N. García, P. Grütter, E. Meyer, H. Heinzelmann, R. Wiesendanger, L. Rosenthaler, H. R. Hidber and H.-J. Güntherodt: J. Appl. Phys. **62**, 4293 (1987).
2) 武笠幸一，安達洋，飯塚雅博，長尾二郎：応用物理，**59**，193 (1990).
3) H. J. Mamin, D. Rugar, J. E. Stern, B. D. Terris and S. E. Lambert: Appl. Phys. Lett. **53**,16 (1988).
4) Y. Martin, D. Rugar and H. K. Wickramasinghe: Appl. Phys. Lett. **52**, 3 (1988).
5) Y. Martin and H. k. Wickramasinghe: Appl. Phys. Lett. **50**, 20 (1987).
6) T. Göddenhenrich, U. Hartmann, M. Anders and C. Heiden: J. Microsc. **152**, 527 (1988).
7) 長尾二郎，佐藤項一，武笠幸一，飯塚雅博，興津　淳，長谷川典夫，安達　洋：第36回応用物理学関係連合講演会予講集，**4a-N7**，523 (1989).
8) 長尾二郎，佐藤項一，武笠幸一，飯塚雅博，興津　淳，長谷川典夫，安達　洋：日本応用磁気学会誌，**14**，235 (1990).
9) 近角聰信：強磁性体の物理（上），p5，裳華房，東京 (1979).
10) G. Binnig, et al: Phys. Rev. Lett. **50**, 120 (1983); G. Binnig, and H. Rohrer: IBM J. Res. Dev. **30**, 355 (1986).