

## ZXY 測定による磁気力空間分布の可視化

### はじめに

私たちの身の回りはモーターやメモリなど、磁気材料を利用した製品が多く存在しています。また近年では、ナノ磁性体を応用した創薬研究も行われています。これらの研究開発には SPM を用いた磁気力測定 (Magnetic Force Microscope: MFM) も用いられますが、従来の MFM は探針を試料から一定の高さを離れた状態で行う『高さ一定測定』でした。本報では新しい『ZXY 測定』 (アプリケーションニュース S47) を応用した測定を行い、従来法では得られなかった磁気力の 3 次元分布の可視化に成功したことを報告します。

A. Kogure, K. Yamasaki, T. Fujii

### 磁性薄膜 XY 方向磁気力分布

市販の磁性薄膜試料を用いて、従来法と ZXY 測定の MFM 測定比較を行いました (図 1)。従来法による MFM 像は、探針を試料表面から一定距離を離す『高さ一定測定』であり、得られる画像は表面から決まった高さ距離での XY 方向の磁気分布のみですが、新しい ZXY 測定は得られた 3 次元データから任意高さ距離での XY 像を再描画できます。ここでは表面から 20 nm 離れた位置の MFM 像です。

従来法と ZXY 測定では試料の測定部位が異なりますが、それぞれの測定法における形状像と MFM 像は (図の上下) は同一視野です。MFM 像の様子は磁区・磁壁分布を表しており、磁気力の弱い箇所を赤色、強い箇所を青色で表示しています。

測定部位が異なることによって形状像は異なりますが、MFM 像は約 100 nm 幅でフィンガープリントのような磁区・磁壁構造が両測定で得られています。

### 磁性薄膜 Z 方向磁気力分布

図 2 (a) に ZXY 測定における磁気力の ZX 像を示します。この ZX 像は図 1 右下で示した MFM 像の測定 1 ライン目のデータです。これは試料を断面方向から見た画像で、図内上側が空間側、図内下側の白点線が試料形状を表します。

図内黒矢印で示している試料形状近傍の赤と青の交互の様子は空間に伸びる磁気力分布を示しており、この磁気力は約 100 nm の空間で認めることができます。

図 2 (b)、(c) に ZX 像と XY 像の比較を示します。磁気力の X 方向パターンである赤と青の様子が一致しています。

このように、ZXY 測定は試料を断面方向からみて試料表面上の空間情報を可視化することができます。

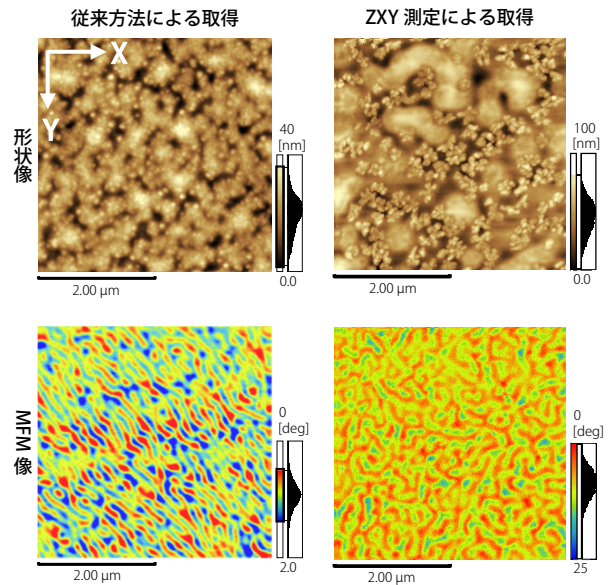


図 1 磁性薄膜の形状像と MFM 像

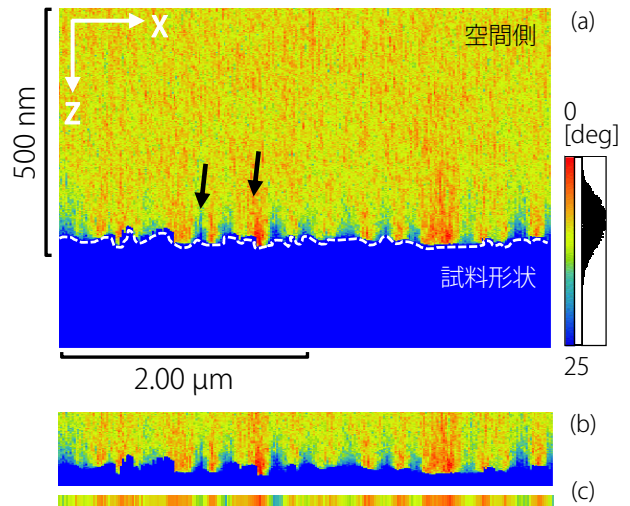
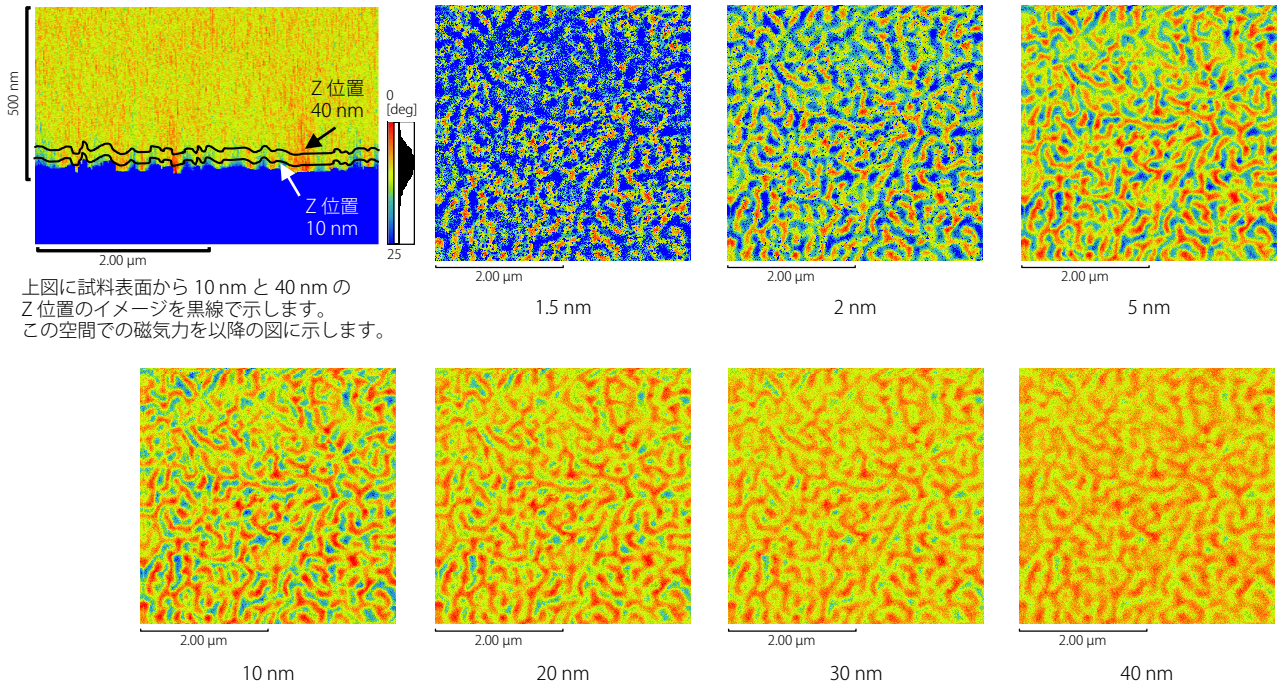


図 2 (a) 磁性薄膜の ZX 像  
(b) ZX 像トリミング  
(c) XY 像 1 ライン目拡大  
赤と青の磁気力分布が一致している。

## ■ 磁気力の空間分布の可視化

ZXY 測定は 3 次元での値をデータとして保存しているため、測定後に任意 XY 面・ZX 面を描画させることができます。図 3 に試料表面から 1.5 nm、2 nm、5 nm、10 nm、20 nm、30 nm、40 nm の Z 位置で描画させた XY 方向 MFM 像を示します。磁気力コントラストは、Z 位置 10 nm までは強く、Z 位置 40 nm では弱くなっていることが見て取れます。また、Z 位置 5 nm と同じ磁気構造がそのまま Z 位置 40 nm まで続いていることも分かりました。

このように磁気力の空間分布を可視化することは新しい物理情報を得ることに繋がります。



上図に試料表面から 10 nm と 40 nm の Z 位置のイメージを黒線で示します。この空間での磁気力を以降の図に示します。

図 3 ZX 像と各空間位置での XY-MFM 像

## ■ ZXY 測定について

図 4 に ZXY 測定の測定模式図を示します。ZXY 測定はフォースカーブ測定がベースの測定です。フォースカーブは、探針と試料間の距離 (Z) を大きく上下に変化させながら (アプローチとリリース) その際に探針が受ける力を測定します。ここでは磁気力による位相遅れを検出しています。この測定を X 方向へ連続測定し、ZX 測定面を作成します。次にこの ZX 測定面を Y 方向に連続して測定することで Z・X・Y の 3 次元情報をもつ ZXY 測定面を形成します。そして、得られた 3 次元情報から任意の XY 平面を再描画させます。

詳しくはアプリケーションニュース S47 に記載しています。

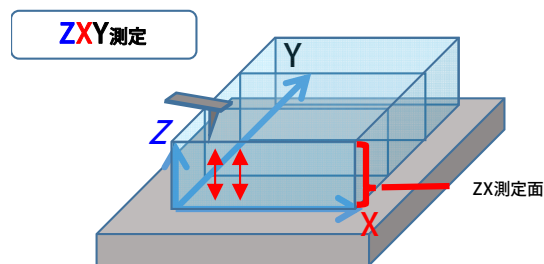


図 4 ZXY 測定の模式図

## ■ 装置構成

今回の測定の装置構成と接続図を図 5 に示します。SPM-8100FM に高性能な広帯域デジタルロックインアンプ (エヌエフ回路設計ブロック社製 LI5660) を外部接続した装置構成です。

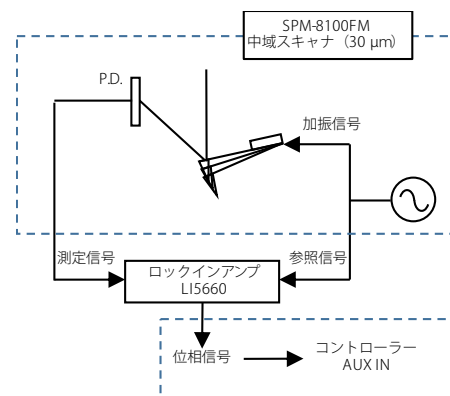


図 5 SPM とロックインアンプの接続図 (点線内は SPM-8100FM の標準構成)

## ■ まとめ

ZXY 測定を用いた磁気力測定によって、従来法では得られなかった ZX 面と任意 Z 位置における磁気力分布を可視化することができました。