

## BL39XU における走査型 XMCD 顕微鏡の開発と性能評価

### Development of a scanning XMCD microprobe at BL39XU

高垣昌史, 鈴木基寛, 河村直己, 三村秀和

Masafumi Takagaki, Motohiro Suzuki, Naomi Kawamura, Hidekazu Mimura<sup>a</sup>

高輝度光科学研究センター, <sup>a</sup>大阪大学大学院工学研究科

JASRI, <sup>a</sup>Graduate School of Engineering, Osaka University

BL39XU において開発を進めている、マイクロビームを用いた走査型 XMCD(X-ray Magnetic Circular Dichroism)顕微鏡の性能評価実験を行った。X 線ビームの集光には Kirkpatrick-Baez ミラーを用い、ビームサイズ  $1.2 \times 1.0 \mu\text{m}^2$ 、フォトン数  $4.8 \times 10^9$  photons/s/100 mA の集光ビームが得られた。また Pt- $L_3$  吸収端での XMCD を利用して、ハードディスクメディア CoCrPtB に記録された面内磁化パターンの XMCD イメージングを行った結果、 $2.4 \mu\text{m}$  幅の縞状パターンまで分解することが出来た。

A scanning XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) microprobe using a Kirkpatrick-Baez mirror has been developed at BL39XU. The measured focal spot size was  $1.2$  (vertical)  $\times$   $1.0$  (horizontal)  $\mu\text{m}^2$ , and the available photon flux in the spot was  $4.8 \times 10^9$  photons/s/100 mA. An XMCD image was taken at the Pt- $L_3$  edge for artificial magnetization patterns written on a CoCrPtB hard disk medium, and stripes of  $2.4 \mu\text{m}$  width were successfully resolved.

#### 背景

現在、産業分野においては、新規磁気記憶デバイスの開発・高密度化が進められている。その一方で、記憶単位となる微小な磁化領域の磁気的特性を評価する手法が求められている。BL39XU では、このニーズに応えるべく、研究支援テーマである X 線磁気円二色性 (XMCD: X-ray Magnetic Circular Dichroism) の測定技術とマイクロビーム集光技術とを組み合わせた「走査型 XMCD 顕微鏡」の開発を行っている。

XMCD とは、磁化した試料において左右円偏光で X 線の吸収量に差が生じる現象であり、一般に XMCD 強度は、磁気モーメントを X 線入射方向に射影した成分に比例する。これに加え、吸収端を選択して測定を行うことから、元素選択的な磁化測定の手段として利用することができる。したがって、走査型 XMCD 顕微鏡は、微小領域における元素別磁化測定や、試料中の磁化分布の元素別イメージングを可能とする。

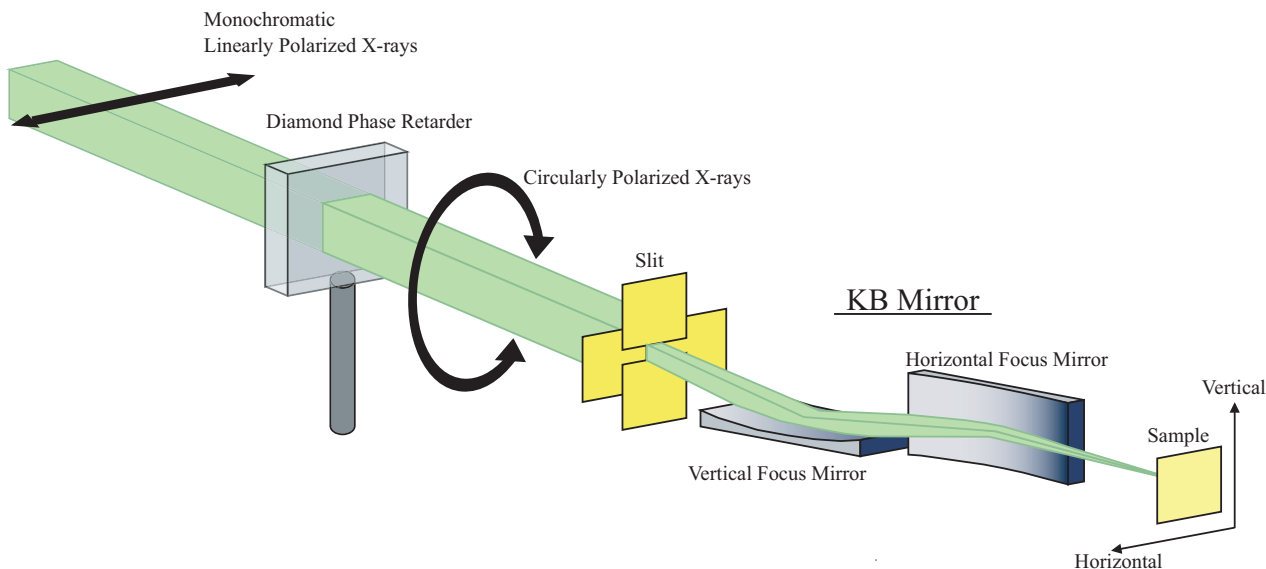


Fig. 1. A schematic diagram of the scanning XMCD microprobe.

### 走査型 XMCD 顕微鏡光学系

Figure 1 に走査型 XMCD 顕微鏡の光学配置を示す。アンジュレータより得られた水平直線偏光は Si 111 二結晶モノクロで単色化された後、ダイヤモンド移相子により円偏光となる。X 線集光は、Kirkpatrick-Baez(KB)ミラーで行う。KB ミラーでは、メリジオナル集光ミラーを二枚一組とし、それぞれ縦および横方向の集光に用いる。今回用いた KB ミラーの仕様を Table 1 に示す。ミラー面は新技術 Elastic Emission Machining(EEM)[1-3]によって非常に高精度に加工され、高い集光性能を維持しながら、長い焦点距離が確保されている。焦点位置に設置された試料は高精度並進駆動ステージによって二次元平面上を動き、これによって走査型顕微鏡となる。X 線検出は、透過配置ではイオンチャンバー、蛍光配置ではシリコンドリフト検出器もしくは PIN フォトダイオードを用いる。

### 実験および結果

Figure 2 は、エネルギー8 keV、フロントエンド(FE)スリット開口(縦)0.4×(横)0.2 mm<sup>2</sup>におけるナイフエッジスキャンの結果である。

Table 1. Parameters of the Kirkpatrick-Baez mirror

Material	Si	
Mirror length	100 mm	
Shape	Elliptic cylindrical	
Polish	Elastic emission machining	
Figure error	6.0 nm (peak to valley) 0.3 nm (root mean square)	
Focal length	Vertical	300 mm
	Horizontal	150 mm
Glancing angle	Vertical	1.4 mrad
	Horizontal	1.8 mrad
Aperture	(V)140 × (H)180 μm <sup>2</sup>	

ナイフエッジスキャンの微分曲線がビームプロファイルに相当し、その半値全幅をビームサイズと定義する。その結果、(縦)1.2×(横)1.0 μm<sup>2</sup>、フォトン数  $4.8 \times 10^9$  photons/s/100 mA の集光ビームが得られた。前回の実験(課題番号 J03B39XU-0500N)では、縦方向の集光ビームに対する ±10μm 以上にわたるテールの影響により、イメージのコントラストが低下したが、今回はこれに対する大幅な改善が見られた。テールの原因はミラー面のスロープエラ

一であり、前回使用したミラーでは、その加工法である NC 研磨の工法上の限界から、十分な加工精度が得られていなかった。Figure 2 の結果は、EEM によってスロープエラーが大幅に抑えられたことを示している。

つづいて、ハードディスクメディア用の CoCrPtB 膜に面内磁化パターンを書き込んだものを試料とし、Pt- $L_3$  吸収端(11.56 keV)での XMCD イメージングを行った。測定に使用した集光ビームは、(縦)1.4×(横)1.8  $\mu\text{m}^2$ 、光子数  $5.2 \times 10^{10}$  photons/s/100mA である。Figure 2 の測定結果よりもビームサイズが大きいが、これは FE スリット開口を  $0.4 \times 0.4 \text{ mm}^2$  に広げたためである。その結果ビームスポットの面積が2倍になったが、光子数は10倍にもなり、その分統計精度が向上した。試料は面内磁化しているため、試料面を光軸に対して  $45^\circ$  傾けた。Figure 3 に得られた XMCD イメージを示す。パルスステップ幅は  $1.0 \mu\text{m}$ 、1 ピクセルあたりの積算時間は16秒、全測定時間は11時間である。ストライプ状の磁化パターンの像を明瞭に得ることができた。図中の数字はパターンの幅を示しており、 $2.4 \mu\text{m}$  幅のパターンまで分解できている。

### 今後の課題

今回の XMCD イメージングは Pt- $L_3$  吸収端において行ったが、今後、磁気記憶材料等への応用では、遷移金属や希土類金属が主な測定対象となる。これらの物質では、硬 X 線領域では K 吸収端と L 吸収端が測定対象となるため、今回用いた Pt- $L_3$  吸収端よりも XMCD 強度が一桁以上小さい。したがって、それに応じて磁気イメージのコントラストも微弱になることが推測される。このような低いコン

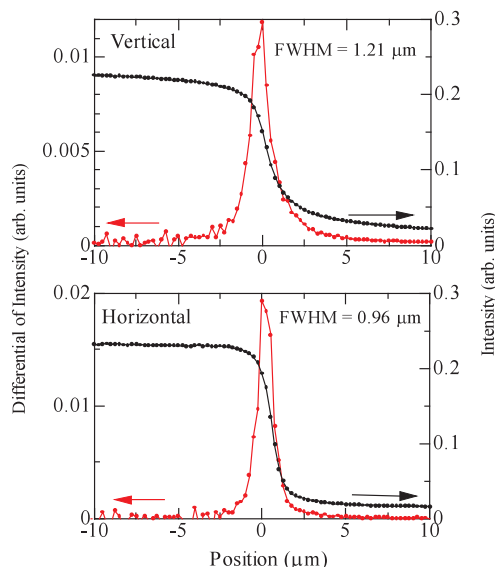


Fig. 2. Intensity profiles of knife-edge scans (black) and their differential curves (red).

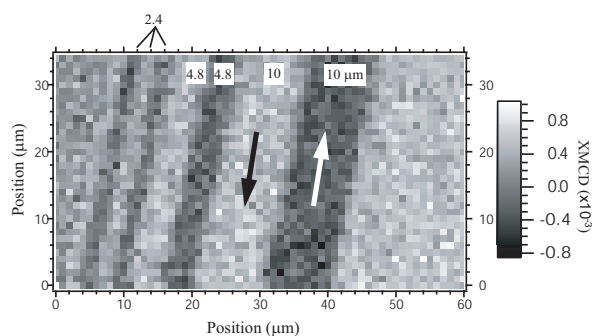


Fig. 3. An XMCD image of artificial magnetization patterns written on a CoCrPtB film, taken at Pt- $L_3$  edge. In the image, numerals indicate the width of the stripe patterns, and the arrows are the direction of magnetization.

トラストの像を測定するには、統計精度をより高める必要がある。そのためには、スリット条件や積算時間の最適化、検出器周りの配置を工夫することによる信号検出効率の改善が今後の課題である。

### 参考文献

- [1] K. Yamauchi et al.  
Rev. Sci. Instrum. **73** (2002) 4028.
- [2] K. Yamauchi et al.  
Rev. Sci. Instrum. **74** (2003) 4549.
- [3] K. Yamauchi et al.  
Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) 7129.