

走査型硬 X 線顕微鏡による Fe-K 吸収端における 元素別磁気イメージング

Feasibility test of element-specific magnetic imaging at Fe-K edge using scanning hard x-ray microprobe

高垣昌史, 鈴木基寛, 河村直己

Masafumi Takagaki, Motohiro Suzuki, Naomi Kawamura

(財)高輝度光科学研究センター

JASRI / SPring-8

X 線磁気円二色性(X-ray Magnetic Circular Dichroism: XMCD)測定技術を応用した走査型硬 X 線顕微鏡を用いて、単結晶薄膜 $(\text{TbBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ の磁区構造の元素別磁気イメージングを行った。測定対象の Fe-K 吸収端は XMCD 強度が非常に小さく全吸収量の 0.5%程度であったが、10 μm 程度の幅を有する迷宮型磁区構造の明瞭なイメージを得ることができた。

An x-ray magnetic circular dichroism (XMCD) imaging of a single crystal $(\text{TbBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ thin film has been carried out at Fe-K edge using a scanning hard x-ray microprobe. Although the XMCD effect was only ~ 0.5 % of the total absorption, an element-specific magnetic image of a labyrinth-type magnetic domain pattern was clearly obtained.

背景

BL39XU では、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実現するための手法として、X 線磁気円二色性 (X-ray Magnetic Circular Dichroism: XMCD) 測定技術を応用した走査型硬 X 線顕微鏡の開発を進めており、一般ユーザへの 2005A 期からの利用提供を目指している。本装置は、Kirkpatrick-Baez (KB) ミラーによるマイクロビーム集光技術と、ダイヤモンド X 線移相子(X-ray Phase Retarder: XPR)

による偏光反転技術とを組み合わせたものである。2004A 期において、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 イメージングを行い、Pt-L₃ 吸収端において 2.4 μm 幅の縞状パターンまで分解することに成功している(Nanotechnology in SPring-8 Vol.4 2004A p.145)。

産業利用における硬 X 線の有用性は非常に高い。例えば、磁気メモリのように複雑な積層構造を有し磁気記録層が媒体内部に埋設されている試料でも、深い侵入長を有する硬 X

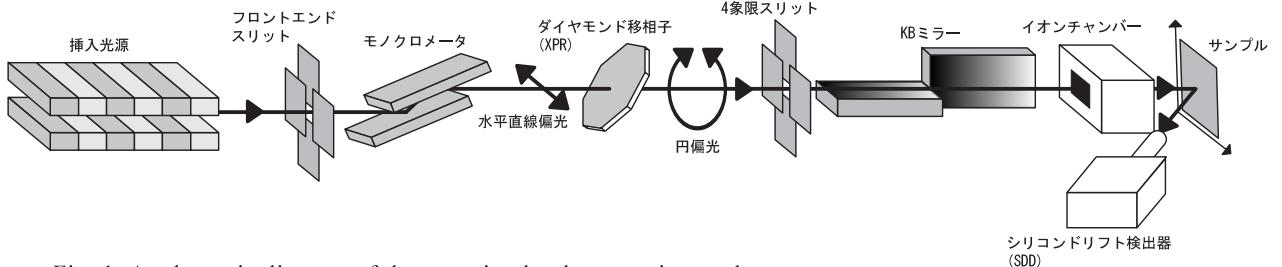


Fig. 1: A schematic diagram of the scanning hard x-ray microprobe.

線ならば磁気記録層の情報を選択的に検出することができる。一方で、硬 X 線領域における XMCD 強度は非常に小さく、特に K 吸收端における XMCD 強度は、全吸収量に対して 1 %未満である。そのため、XMCD イメージに対して十分なコントラストが得られないことが推測される。本実験では、Fe- K 吸收端でのイメージングを試み、明瞭な磁気イメージを得ることができたので、その実験結果を報告する。

実験および結果

試料には $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ 単結晶基板上にエピタキシャル成長させた $(\text{TbBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ 単結晶薄膜(膜厚 20 μm)を用いた。この試料は垂直磁化膜であり、迷宮型磁区構造を形成することが知られている。本実験では、Fe- K 吸收端においてこの磁区構造の XMCD イメージングを試みた。

Fig. 1 に測定配置の概略図、Table 1 に本実験の測定条件を示す。X 線のエネルギーは、XMCD 強度が最大となる 7.1125 keV に固定した。挿入光源から得られた水平直線偏光はモノクロメータで单色化され、XPR によって円偏光に変換される。KB ミラーのエッジ部や研磨面以外からの反射は集光性能の低下につながるため、KB ミラーの直前に 4 象限スリットを設置し、入射 X 線ビームサイズを KB ミラーの開口サイズ((縦)140 × (横)180 μm^2)に

成形する。集光 X 線は試料面に垂直に入射し、入射 X 線強度は試料前の イオンチャンバーで、試料からの蛍光 X 線はシリコン・ドリフト検出器(Silicon Drift Detector: SDD)でモニターする。蛍光 X 線は Fe- $K\alpha$ 線(6.4 keV)を選択的に検出した。SDD の数え落としを極力抑制するため試料からの距離を調整し、デッドタイムが 1%程度になるようにした。左右円偏光で各々 4 秒間の検出を行い、これを 1 セットとして、1 pixel あたり 4 セットの偏光反転を行って XMCD 強度を得た。試料の走査ステップは縦 2.50 μm 、横 0.75 μm 、走査範囲は(縦)14 × (横)121 pixels ((縦)35.00 × (横)90.75 μm^2)である。全測定時間に約 15 時間を要した。

Fig. 2 に測定結果を示す。図の白い領域が紙面に対して上向きの磁化、黒い領域が下向きの磁化に対応している。本実験で得られた XMCD 強度は約 0.5 %であるが、10 μm 程度の通路幅を有する迷宮型磁区構造の明瞭なコン

Table 1: The measurement parameters of the XMCD imaging.

Photon energy	7.1125 keV
Front-end slit aperture	$0.4 \times 0.4 \text{ mm}^2$
Diamond XPR	0.45 mm thick
Beam spot size	(v)5.2 × (h)1.5 μm^2
Photon flux	1.2×10^9 photons/s
SDD count rate	Fe- $K\alpha$ 6,250 cps total 23,500 cps
SDD dead time	1 %
Sample scan step	(h) 0.75 μm (v) 2.50 μm

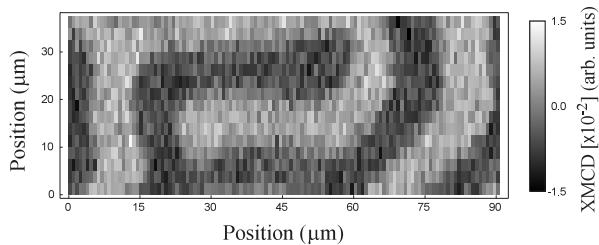


Fig 2: An XMCD image of $(\text{TbBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ taken at Fe-*K* edge.

トラストが得られていることが判る。

このように 1%以下の微弱な XMCD 強度に対するイメージングの成功は、5~16 keV 領域に吸収端を有する 3d 遷移金属、4f 希土類金属および 5d 遷移金属に対する応用の可能性を示している。

今後は、電磁石を試料まわりに組み込み、局所領域での XMCD スペクトル測定や、元素別磁気ヒステリシス測定の環境構築を目指す。

謝辞

高品質な単結晶試料を提供して頂いた、岡山大学理学部助教授 味野道信氏に感謝の意を表します。

発表状況

高垣昌史、河村直己、鈴木基寛 第 18 回
日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 公演番号:8P127 (ポスター発表)

キーワード

- X 線磁気円二色性 (XMCD)

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、その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。これに加えて、吸収端を選択して測定を行うことから、元素選択的磁化測定の手段として利用できる。