

新博士紹介

1. 氏名 佐藤公法
2. 論文提出大学 東京大学
3. 学位種類 博士 (工学)
4. 取得年月日 2001年3月
5. 題目 「Polarization-contrast Imaging with Hard X-rays (硬 X 線偏光コントラストイメージング)」
6. 使用施設 (ビームライン) KEK-PF BL-15B, 15C

7. 要旨

[序]

可視光領域において、物質と偏光の相互作用を利用したイメージング手法は、多結晶物質の結晶粒の観察、磁性体の磁区構造の観察などの手段として広く普及している。最近、軟 X 線領域では、X 線円二色性 (XMCD) に光電子顕微鏡 (PEEM) やフレネルゾーンプレートを組み合わせた偏光コントラストイメージングが報告されており、磁性マイクロ構造の研究などで世界的に注目されている。これに対して、最近、我々のグループでは、コバルト K 吸収端 (7709 eV) において、コバルト単結晶の X 線自然直線二色性 (XNLD) 偏光コントラストイメージング、コバルト多結晶の X 線磁気円二色性 (XMCD) 偏光コントラストイメージングを行い、硬 X 線領域における偏光コントラストイメージングに初めて成功した。本研究は、その応用として、磁気テープについて鉄 K 吸収端 (7111 eV) における X 線直線磁気二色性 (XMLD) 偏光コントラストイメージングを報告する。

[実験]

Figure 1 に実験配置を示す。X 線偏光コントラストイメージングの実験配置は、高分解能 CCD 型 X 線検出器と X 線偏光スイッチング光学素子からなる。偏光スイッチング光学素子は、4 回のブラッグ反射を与えるシリコン 331 (鉄 K 吸収端) チャンネルカットの X 線偏光子、2 枚

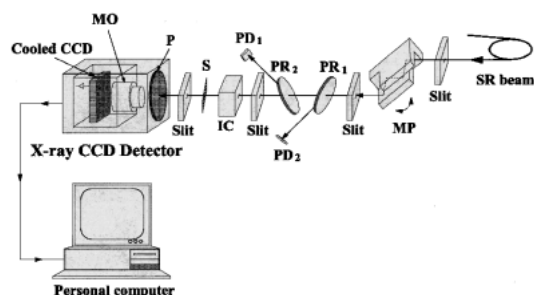


Figure 1. Experimental setup for acquiring images resulting from x-ray magnetic linear dichroism (XMLD). SR: synchrotron radiation. MP: silicon 331 monochromating polarizer. PR₁ and PR₂: first and second diamond 111 phase retarders. PD₁: PIN photodiode monitoring x-rays reflected by the first phase retarder. PD₂: PIN photodiode monitoring x-rays reflected by the second phase retarder. IC: ionization chamber monitoring x-rays incident to a sample. S: sample. P: phosphor screen. MO: magnifying optical lens.

のダイヤモンド111透過型 X 線移相子から成る。透過型 X 線移相子は、面方位<001>、厚さ約300 μm のダイヤモンド結晶である。移相子は、111反射を与え、散乱面が水平面から45°傾いている。白色の放射光ビームは、X 線偏光子により単色化されかつ高度の水平直線偏光に変換される。この X 線ビームは2枚の透過型 X 線移相子に入射し、そこで水平偏光と垂直偏光にスイッチングされる。ここで生成される X 線偏光の水平偏光度は99.99%、垂直偏光度は95%である。試料を透過した X 線像は高分解能 CCD 型 X 線検出器で記録される。CCD 型 X 線検出器は、蛍光体、拡大光学レンズ、光学 CCD カメラ、カメラコントローラ、制御コンピュータから構成されている。X 線像は、蛍光体により可視像に変換され、拡大光学レンズで拡大されて CCD 撮像素子に結像される。試料は、MP (Metal Particulate) 塗布型磁気テープを用いた。磁性層厚は3.5 μm で、鉄の針状磁性粉、アルミナ、研磨剤、バインダーなどから成る。

[結果と考察]

我々は先ず、一方向に一樣磁化した試料について、鉄 K 吸収端 (7111 eV) 近傍で、XMLD スペクトルの測定を行った (Figure 2)。試料を90°回転させて2本の XMLD スペクトルが得られた。得られた XMLD スペク

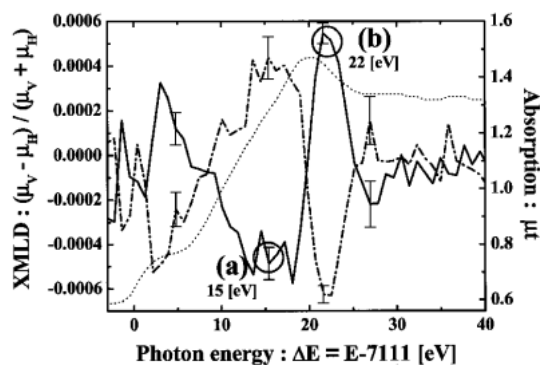


Figure 2. X-ray magnetic linear dichroism (XMLD) spectra (solid and dashed lines) with an absorption spectrum (dotted line) in a metal particulate (MP) magnetic tape with ten sheets stacked together.

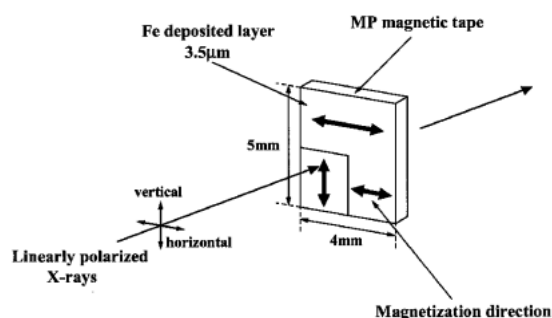


Figure 3. Schematic arrangement of the sample. Thick black arrows indicate the magnetization direction drawn in the tape.

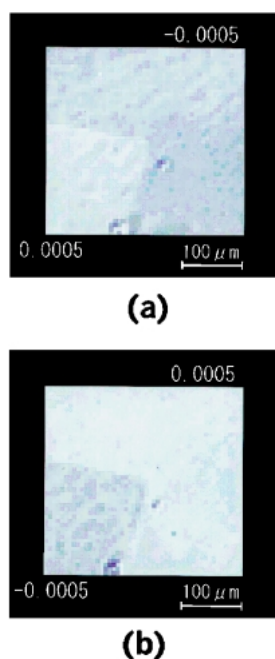


Figure 4. Images resulting from x-ray magnetic linear dichroism (XMLD) in the sample of Figure 2 (a) an image taken at 1 eV, and (b) an image taken at 6 eV above the iron K-absorption edge (7111 eV) after the correction against the non-uniformity of the sample thickness.

トルは、鉄 K 吸収端 (7111 eV) から 15 eV 高いエネルギー (a) と 22 eV 高いエネルギー (b) で $\pm 0.06\%$ のピークを示した。イメージングに用いた試料は、上で述べた一様磁化試料に磁化方向がそれぞれ 90 deg. の角度をなす磁区構造を記録したものをを用いた。Figure 3 に XMLD イメージ

ングに用いた試料を示す。画像演算により、試料の厚さムラを相殺した後の XMLD 偏光コントラストを Figure 4 に示す。イメージングは、XMLD の値が最小 (-0.06%) を示している鉄 K 吸収端 (7111 eV) から 15 eV 高いエネルギー (a)、XMLD の符号が反転する値 ($+0.06\%$) を示す鉄 K 吸収端から 22 eV 高いエネルギー (b) で行った。Figure 4 (a) の画像には、明らかに記録された磁区構造のコントラストが見られる。このコントラストは、エネルギーを変化させることによって反転した Figure 4 (b)。従って、これらのコントラストは、磁化方向、つまり、磁気テープの XMLD に起因していると結論づけることができる。画像中に示している数値は、CCD 型 X 線検出器で得られた画像の強度データから求めた XMLD の値で、スペクトロスコピーによる値とはほぼ一致していることがわかる。

[まとめと将来の展望]

MP (Metal Particulate) 塗布型磁気テープについて、硬 X 線領域 (鉄 K 吸収端) における X 線磁気直線二色性 (XMLD) スペクトル、X 線磁気直線二色性 (XMLD) 偏光コントラストを初めて検出、観測することができた。さらに空間分解能を上げるためには、試料の上流に集光ミラー光学系を、下流に結像ゾーンプレートを置き、高分解能 CCD 型 X 線検出器に拡大像を結像させる方法を採用したいと考えている。この場合、空間分解能は $0.15 \mu\text{m}$ に向上することが期待できる。また、硬 X 線の高い透過力を生かしてトモグラフィーの手法を導入して、3 次元空間の構造による偏光コントラスト像を観察することにも挑戦したいと考えている。

(受付番号 01065)