

軟 X 線フーリエ変換ホログラフィーによる 垂直磁区イメージング

Magnetic imaging based on a soft X-ray Fourier Transform Holography.

野村 健二^a, 土井 修一^a, 淡路 直樹^a, 磯上 慎二^b, 児玉 謙司^c, 中村 哲也^c,
鈴木 基寛^c, 角田 匡清^b
Kenji Nomura^a, Shuuichi Doi^a, Naoki Awaji^a, Shinji Isogami^b, Kenji Kodama^c, Tetsuya Nakamura^c,
Motohiro Suzuki^c, Masakiyo Tsunoda^b

^a富士通(株), ^b東北大学, ^c(財)高輝度光科学研究センター
^aFujitsu Ltd., ^bTohoku University, ^cJASRI/SPring-8

軟 X 線フーリエ変換磁気ホログラフィー法による磁区イメージング技術を開発し、Co/Pt 垂直磁化膜の磁気ドメインの観察を試みた。Co-L 吸収端エネルギーにおける測定の結果、明確な磁気ドメイン・イメージを得ることに成功した。本手法は、放射光のみならず、X 線自由電子レーザー (X-ray Free Electron Laser) への展開も期待される。

背景と研究目的：

ナノデバイスのイメージング技術として、X 線フーリエ変換ホログラフィー法は、透過力の強い X 線を用いた非破壊測定であり、実イメージが試料からの散乱 X 線強度を逆フーリエ変換することにより任意性なく得られることや、レンズの無い比較的単純な装置構成であることから、試料周りにスペースが取りやすく、外場印加時のデバイスの動作の観察や高速な時間変化を調べることに適しているため、ナノ構造の評価技術として、放射光や FEL への展開が期待されている。特にこの方法は、磁気円二色性効果を利用することにより磁気ドメインの測定さえも可能であることが報告されている[1]。我々は、SPring-8 の軟 X 線ビームライン 25SU において、図 1 に示す高品質の円偏光 X 線を用いた真空測定装置を立ち上げ、Co/Pt 垂直磁化膜の磁気ドメインの観察を試みた。

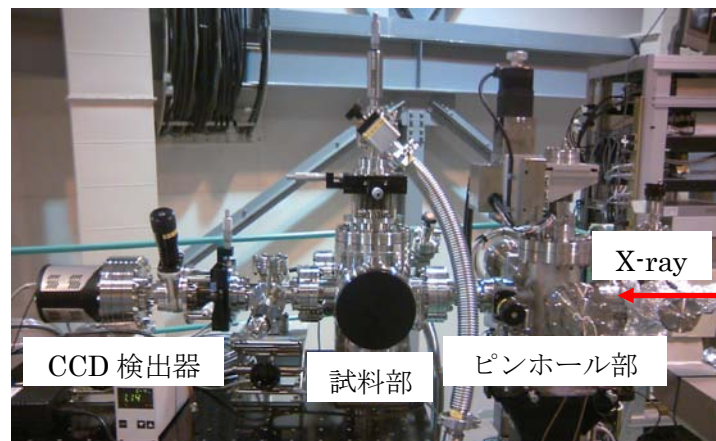


図 1. 測定装置

実験：

測定試料は、SiN メンブレン上に形成した。メンブレンの片側に X 線遮蔽マスクとして、Au 膜 1.7 μm を形成した。一方、その裏面には垂直磁化膜、[Co(0.4 nm) / Pt(0.7 nm)]₄₀ を Ta(4 nm) / Ru(5 nm) 下地層の上に形成した。この膜に垂直磁区が形成されていることを確認するために、事前に磁気力顕微鏡 (Magnetic Force Microscope) により調べた結果、図 2 に示す垂直磁化膜特有の迷路状磁区が、0.15 μm 程度の幅で形成されていることを確認した。本磁性膜に対して、FIB (Focused Ion Beam) を用いてホログラフィー用の微細加工を行った。観察部裏側の $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 領域の Au 膜

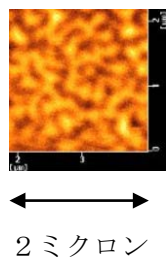


図2 磁性膜のMFMイメージ

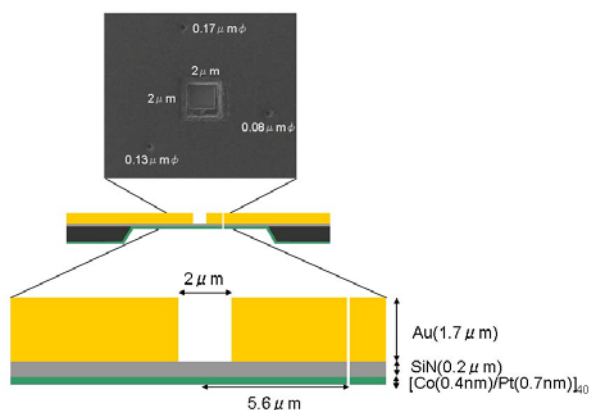


図3 試料構造

を除去し、試料透過窓を形成した。さらに、ホログラフィー用の参照光を形成するために、試料透過窓から $5.6 \mu\text{m}$ の位置に穴径 $0.17, 0.13, 0.08 \mu\text{m}\phi$ の3種類の貫通穴を加工した。図3は、試料構造および、そのSIM (Scanning Ion Microscopy)像である。磁気信号確認のために、Co-L 吸収端エネルギーにおいて、XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism) 測定を行った。XMCD 信号が最大となる 778.4eV においてデータを取得した。試料の 370mm 上流に設置した $20 \mu\text{m}\phi$ のピンホールを通して、試料にX線を照射し、試料からの散乱X線は、試料から 496mm 下流の位置に設置した CCD 検出器 (プリンストン PIXIS 2048B)により計測した。

結果および考察：

得られた散乱X線データの一例を図4に示す。左右円偏光測定データは各々逆フーリエ変換を行い、その差分像を得た。この配置での、計算上の最高分解能は 29nm である。解析結果を図5に示す。図の中心部には自己干渉イメージが重なって見えており、その周りには試料の実イメージと、その反対側には共役イメージが各々の参照穴に対応して現われている。参照穴径が大きい像はイメージの強度は強いが分解能は落ちている。逆に、穴径が小さい場合、イメージの強度は弱いが分解能は向上している。一方、共鳴エネルギーより約 5eV 低い 773.2eV において同様の測定を行い、磁区が観測されないことを確認した。

本実験は、SPring-8 利用課題 (2008A1513, 2009A1840, 2009B1844) および、文科省 XFEL 利用推進プロジェクト、「物質のフェムト秒物理・化学現象解析のためのX線散乱計測技術」の一環として東北大学、JASRI、富士通の共同で行われました。

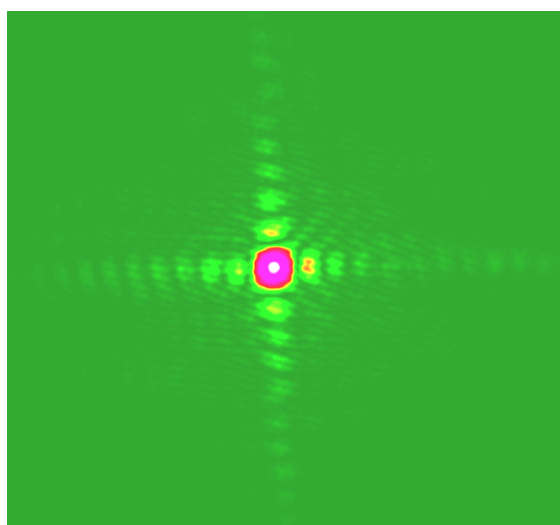


図4 散乱X線データ

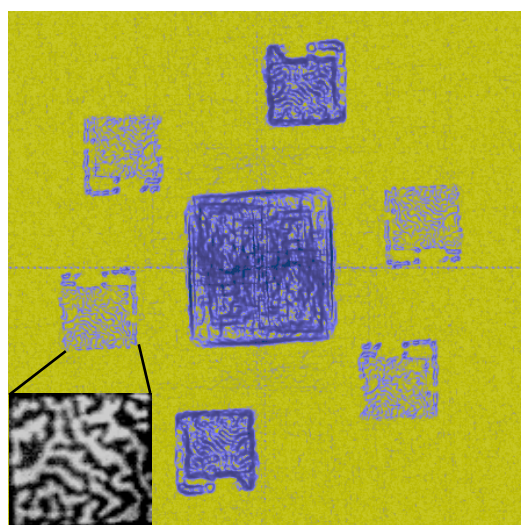


図5 再生イメージ

参考文献：

- [1] S. Eisebitt et al., Nature 432, 885-888 (2004).