

## 軟 X 線によるナノマテリアルイメージングの開発 Development of nanomaterials imaging technique using soft X-ray

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

<sup>a</sup>富士通(株), <sup>b</sup>東北大学, <sup>c</sup>(財)高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Fujitsu Ltd., <sup>b</sup>Tohoku University, <sup>c</sup>JASRI/SPring-8

軟 X 線を用いたナノマテリアルイメージングとして、フーリエ変換磁気ホログラフィー法による電荷・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。X 線コリメータ、シャッターを導入し Co-L3 吸収端エネルギーにおいて測定した結果、明確な磁気ドメイン・イメージを得、空間分解能 42nm 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への展開も期待される

キーワード：軟 X 線、ホログラフィー、XMCD、磁区、イメージング

### 背景と研究目的：

ナノマテリアル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 (Free Electron Laser) 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も可能である。[1]我々は、SPring-8 の軟 X 線ビームライン 25SU において、円偏光 X 線を用い、その差分から Co/Pt 垂直磁化膜の磁気ドメインの観察を試みた。

### 実験：

2009A の実験では、再構成したイメージに“もやもや”した構造が実際の構造に重なって現れた。この原因を調査した結果、干渉光ではないダイレクト光の影響が差分後にも残ったためと判明した。そこで図 1 に示すように、ダイレクト光を制限する為に、入射部に 20 ミクロンのピンホールを設置した。また、前回の CCD データには、ダイレクト光によるブルーミングが見られた為、X 線シャッターを入射部に追加するという改良を行った。試料からの散乱 X 線は、500mm 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。

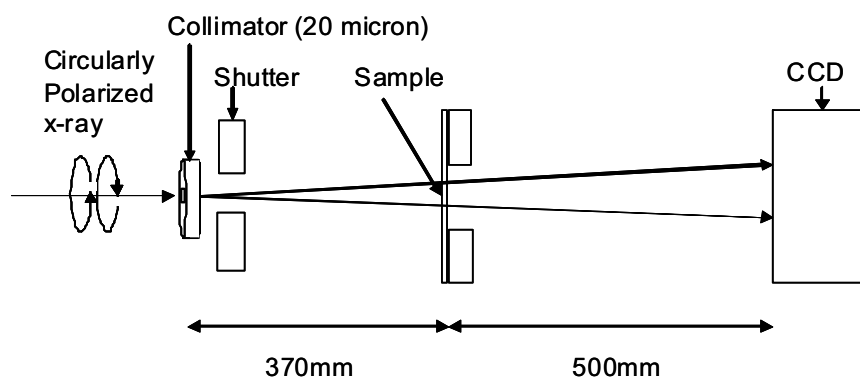


図 1. 軟 X 線フーリエホログラフィー測定配置

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 $\mu\text{m}$  を形成した。一方、その裏面には垂直磁化膜、[Co(0.4 Å) / Pt(0.7 Å)]<sub>40</sub> を Ru(5 Å) 下地層の上に形成した。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 $\mu\text{m}$  の位置に孔径 0.17、0.13、0.08 $\mu\text{m}\phi$  の 3 種類の貫通穴を加工した。

### 結果および考察：

得られた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。解析結果を図 2 に示す。図の中心部には自己干渉部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明確に現われている。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た。図 3 に示すように、穴径 0.08 $\mu\text{m}\phi$  に対応するイメージのエッジを微分することにより空間分解能を評価した結果、42nm が得られた。

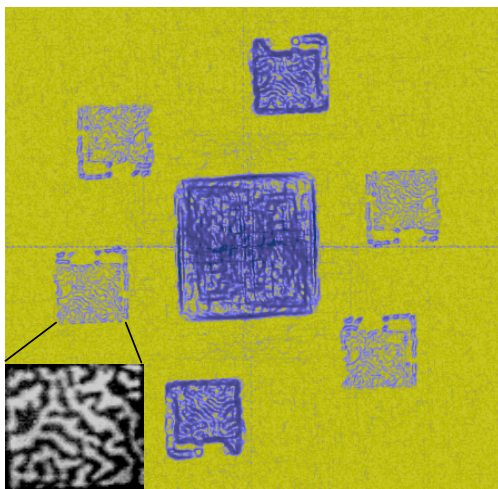


図 2. 左右円偏光差分による CoPt 磁気ドメイン  
挿入図は白黒拡大図

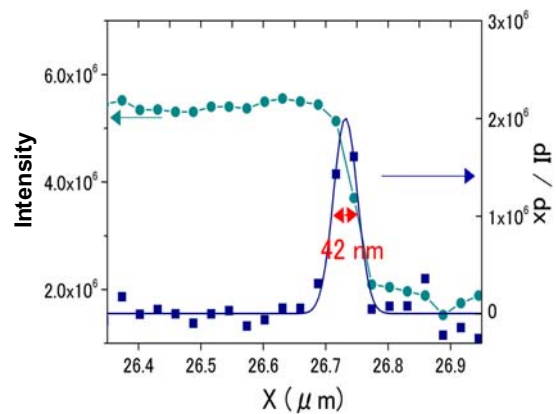


図 3. 空間分解能 42nm

### 今後の課題：

今後、この技術を発展させることにより、電子・磁性材料の温度・磁場などの外部条件による変化のその場測定や時間分解測定の可能性を調べたい。

### 参考文献：

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