

## X 線顕微鏡を利用した XAFS イメージング計測とその利用

(JASRI) ○関澤央輝

XAFS imaging measurement using X-ray microscopy (Japan Synchrotron Radiation Research Institute) ○Oki Sekizawa

SPRING-8 BL37XU is a hard X-ray undulator beamline for trace element analysis and chemical/elemental imaging dedicated to various X-ray spectroscopy methods such as scanning X-ray micro-spectroscopy, full-field spectroscopic imaging and ultratrace element analysis. In this presentation, we introduce the current status of microspectroscopic imaging methods and their applications.

**Keywords :** X-ray microscopy, X-ray absorption fine structure, X-ray fluorescence spectroscopy, X-ray microspectroscopy

SPRING-8 BL37XU は高輝度アンジュレーター光を光源とし、分光計測に適した光学系によって構成されていることから、X 線顕微法と XAFS 法を組み合わせた顕微分光イメージング法が多くユーザーによって利用されている。本発表では BL37XU において現在利用されている様々な顕微分光イメージング法（表 1）の現状とその利用例を紹介する。

### 走査型顕微分光イメージング法

本手法は X 線用の集光光学素子を利用して X 線を集光して行う顕微分光法である。空間分解能は集光された X 線のサイズによって決定し、視野はステージを走査するパラメータによって任意に決定できる。最大 55 keV までのエネルギー領域で KB ミラーによる 100 nm の集光ビームが利用可能となっている。本手法の利点としては蛍光検出器の併用が可能なことであり、他の手法に比べて格段に試料や測定環境の適用範囲が広がっていることがあげられる。本手法の欠点としては集光した X 線を試料の各座標に対して 1 点 1 点当てて計測するため計測時間が非常に大きい。近年ではステージを連続駆動させながら計測を行う on the fly 方式の導入などによる計測時間の短縮により 2 次元 XAFS 計測が現実的な時間で計測可能となり、既に複数のユーザーによる走査型 2D-XAFS 計測が実施されている。

### 全視野型顕微分光イメージング法

本手法は試料を透過した X 線を 2 次元検出器で計測する顕微分光法である。本手法の利点は試料を走査することなく計測可能な点であり、1 度に計測できる視野も 100  $\mu\text{m}$  ~ 1 mm と比較的大きい。ただし本手法の欠点としては透過法であることから XAFS 計測を行うためには試料の厚みに通常の XAFS 計測と同等の制約がある。

投影像を直接 2 次元検出器で計測する全視野投影型分光イメージング法は、X 線可視光変換型の CMOS カメラによる空間分解能は 1  $\mu\text{m}$ 、撮像時間は 1 枚あたり 10 ms 程度と高速計測が可能となっている。特に 3 次元計測については 1 エネルギー点あたりの計測時間が 30 s 程度と現実的な時間スケールでの XAFS 計測が可能であり、既に複数のユーザーによる 3 次元 XAFS 計測が実施されている。

**全視野結像型顕微分光イメージング法**は試料の前後に集光/結像光学素子を配置することにより拡大光学系を構築し、2次元検出器の素子サイズ以下の空間分解能を達成する方法である。集光光学素子としてキャピラリレンズやコンデンサゾーンプレート、結像光学素子としてフレネルゾーンプレートを用いた計測システムを整備しており、空間分解能 50 nm での顕微 XAFS 計測が可能となっている。光学素子には色収差があるほか X 線の回折効率が比較的悪いため、撮像時間は1枚あたり 1～10 s と投影型と比べて計測時間が長くなっているが、高空間分解能 3次元 XAFS 計測も実施されている。

表 1 SPring-8 BL37XU で展開している顕微分光イメージング法

| 手法         | エネルギー       | 空間分解能  | 視野       | 測定時間/枚  | 測定対象      | 利点          |
|------------|-------------|--------|----------|---------|-----------|-------------|
| 走査型        | 5 ~ 55 keV  | 100 nm | μm ~ mm  | 視野に依存   | バルク<br>希薄 | 高感度<br>高分解能 |
| 全視野<br>投影型 | 5 ~ 100 keV | 1 μm   | 1 mm     | 10 ms ~ | バルク       | 高速<br>広視野   |
| 全視野<br>結像型 | 7 ~ 15 keV  | 50 nm  | ~ 100 μm | 1 s ~   | バルク       | 高分解能        |