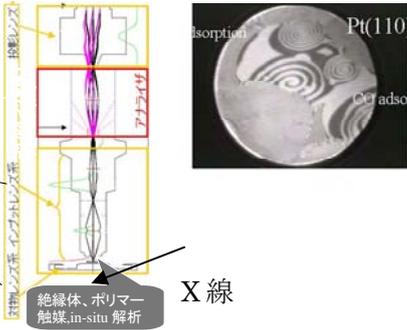


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-6. 放射光科学
小項目	1-6-3. 内殻電子イメージング (PEEM)

概要 (200字以内)	
<p>PEEM 法は、光により飛び出した光電子により、表面の元素や化学状態、物理量の変化をマッピングする手法であり、最高で ns の時間分解能、nm オーの空間分解能を有する手法である。電子に比べて試料損傷が少なく、様々な物理量を測定できる特徴を生かし、また今後開発される超高輝度光源 (XFEL, ERL) を利用し、表面の実時間モニター分析装置として、今後の展開が期待される。</p> <p>空間分解能を決定する対物レンズの球面収差も改善されつつあり、nm オーダを切る高い空間分解が 10 年以内 to 実現すると考えられる。</p>	 <p>The diagram on the left shows the PEEM setup with labels for 'X線' (X-ray), '絶縁体、ポリマー触媒 in-situ 解析' (Insulator, polymer catalyst in-situ analysis), and 'X線' (X-ray). The image on the right shows a Pt(110) surface with CO adsorption patterns, labeled 'Pt(110)' and 'CO adsorption'.</p>
<p>EXPEEM (Energy filtered X-ray photoemission electron microscopy) の概念図と Pt(110) 表面における CO 酸化反応中の PEEM イメージ</p>	
現状と最前線	
<p>PEEM 法 (光電子放出顕微鏡法) は、紫外線や X 線によりただき出された電子を用いて、表面の 2 次元マッピングを行う手法である。時間分解能、空間分解能、元素・化学状態分解能を併せ持つ顕微鏡であり、光を用いることで、電子に比べて試料損傷が小さい特徴をもつ。</p> <p>空間分解能は、通常数十 nm 程度から百 nm といわれている。これは、対物レンズの球面収差により決定される値である。この球面収差を改善する工夫が行われている。たとえば、ミラーコレクターを用いた SMART 計画では、数 nm 程度の空間分解能を達成したという報告がある。また、越川らは、移動焦点法により、同様に対物レンズの球面収差除去の試みを行っており、ソフト的に球面収差を減らしている。</p> <p>時間分解能に関しては、PEEM の場合、一般にビデオレートの測定が行われる。内殻を励起してとびだす光電子の場合には、積算が必要であり、これは、光子数に依存する。一方、pump-probe 法を用いることで、高速の測定も行われている。すなわち、磁場を pump に使い、PEEM を Probe とする方法では、数 nm の磁気ドメインの変化を追跡することが可能となっている。</p> <p>元素・化学状態分解能に関しては、飛び出した内殻光電子の運動エネルギーを分析したり、吸収端をもちいたりすることで、元素分析及び化学分析が可能である。</p>	

内殻光電子の運動エネルギーの分析する PEEM 法いわゆる EXPEEM 法(エネルギー選別型 PEEM)法では、一般に半球型エネルギー分析器が用いられている。さらに 2 個の半球型を直列に使い収差を軽減するエネルギー分析器も開発されている。一方、半球型エネルギー分析器では、電子が曲げられてしまうため、光軸がまっすぐにならない。そこで、飛行時間型エネルギー分析器や磁場と電場を直交してかける Wien filter 型エネルギー分析器が開発されている。さらに Wien filter の特質である収差除去の取り組みも multipole 型の Wien filter により実現されている。さらにオメガフィルターも利用されている。一方、吸収端の前後で、急減に放出する電子の量が増えることで、元素、化学分析を行うことができる。この場合、2 次電子を用いるので、脱出深度が大きくなり、表面敏感性が悪くなる。また、高エネルギー側まで測定ができれば、PEEM を用いた EXAFS 測定も可能となる。

放射光の偏光特性を利用した物性測定もなされている。特に、直線偏光、円偏光により、それぞれ異なる磁気ドメインを分離して、画像化することができ、磁壁の移動を調べたり、vortex や面内磁化の情報を得ることができ、今後スピン SEM や磁気力顕微鏡(MFM)との併用によりナノ磁性体の研究に役立つと期待される。また、ガス共存下の測定も盛んに行われ、触媒反応中の物質の移動に関する新しい知見が得られつつある。

将来予測と方向性

- ・ 5 年後までに解決・実現が望まれる課題
 1. 対物レンズの収差補正技術の改善により nm オーダの PEEM 像の取得
 2. 超輝度光源(自由電子レーザー(XFEL)およびエネルギー回収型ライナック(ERL))の利用による短時間測定の可能性の検討
 3. 磁性、物性、高分子、表面、触媒などの実用材料表面への応用展開
 4. In-situ 条件下の表面反応や表面ダイナミクス研究による表面化学現象の解明
 5. 深さ方向分析の可能性の検討とバルクや埋もれた界面研究への展開
- ・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題
 1. 高い時間分解(ns, ps)の一般化
 2. 高い空間分解能(nm 以下)の一般化
 3. PEEM、EXPEEM をモニターしながらナノデバイスの設計、制作を行う。
 4. 時分割測定による表面反応メカニズムの解明研究
 5. ダメージの小さい新光源の開発

キーワード

PEEM、収差補正、移動焦点法、XFEL、ERL

(執筆者: 朝倉 清高)