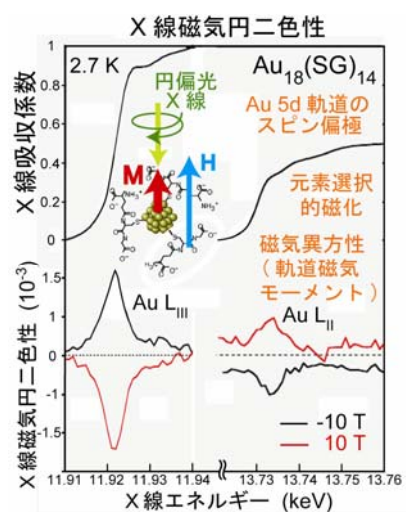


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

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	1-6-6. 円偏光による磁性研究

概要（200字以内）

放射光の円偏光特性を利用したX線磁気円二色性法は、試料中の元素毎の磁化情報を与え、様々な磁性元素を含む系や、不純物の寄与が問題となるような磁化の小さい系に有用な手法である。図は、普通反磁性を示す金がナノクラスターになるとわずかながら磁化していることを明確に示す例である。現在、磁気円二色性光電子顕微鏡を利用したナノ磁気構造観測が盛んに行われており、今後、超高速分光への展開が期待されている。



現状と最前線

シンクロトン放射光の円偏光特性を利用して軟X線・硬X線の円二色性(左右円偏光による吸収係数などの違い)が測定できるが、磁気的な二色性が磁気円二色性(X-ray Magnetic Circular Dichroism, XMCD)と呼ばれるものである。円偏光は、放射光蓄積リングの偏向電磁石を光源とする場合、軌道面上または下にずれた放射で得られる。また、第3世代放射光施設での挿入光源(アンジュレータ)の場合は、電子軌道を螺旋状にすることで円偏光が得られる。最近、エネルギーの高い硬X線においては移相子が開発されており、可視紫外光並みに容易に高速で左右円偏光を切り替えることも可能になっている。磁気円二色性が生じる条件は、系に巨視的な磁化があり(スピン偏極)、かつ、電子のスピンと軌道の間相互作用があることである。したがって、対象は強磁性(自発磁化をもつ物質、いわゆる磁石)や常磁性(磁場中で磁場方向の磁化をもつ物質)となり、近くの原子の磁化が互いに打ち消しあう反強磁性では観測されない(ただし、反強磁性では磁気線二色性が利用可能)。s軌道を除く内殻電子は一般にスピン軌道相互作用が大きいので、励起先軌道がスピン偏極している3d遷移金属磁性体の2p吸収や4f希土類磁性体の3d吸収の場合、特に大きな磁気円二色性が観測される。

X線吸収の一般的特徴は元素選択性である。XMCDでも元素選択的磁化測定が有効である。磁性元素が複数含まれる系の元素別磁化曲線(磁場に対する磁化をグラフとしたもの)を観測し

たり、あるいは、測定したい磁化が非常に弱く、全体の磁化に対する不純物の磁化の割合が無視できない場合などは、必須の手法となっている。概要の図は、金ナノクラスター分子(化学式 $\text{Au}_{18}(\text{SG})_{14}$, H-SG はグルタチオン)の Au の磁化を XMCD で観測を試みた結果である。この系の磁化は非常に小さく(1 原子あたり 10^{-3} ボーアのオーダーで、鉄 1 原子の 1/1000 以下)、確かに Au クラスター自体が磁化しているかどうかを知るには、本法が有効である。図では、Au L_{III} 吸収端で正磁場に対して負の XMCD、Au L_{II} 吸収端で正の XMCD が観測されており、明確に Au の 5d 軌道がスピン(磁化)を持ち、Au クラスター自身が磁化していることを示している。

XMCD は、元素選択性以外にも、総和則と呼ばれる公式から、軌道とスピン磁気モーメントが分離して求められるという特徴をもつ。軌道磁気モーメントは、電子が原子核周りを回転することにより生じる磁化であり、スピンによる磁化に比べて一般にはるかに小さいが、スピン軌道相互作用を通して、磁石の磁気異方性(どの方向に磁化されやすいか)や分子・ナノクラスター磁石のブロック温度(これ以下では磁石の向きが勝手に変わらないで保持される温度)の起源になる重要な磁気情報である。他の手法では得にくい情報であり、XMCD 測定が広く一般的に活用されている。

また、現在、XMCD は光電子顕微鏡に応用され、数 10nm の空間分解能を有するナノ磁気構造観測手段としてもよく利用されている。コンピュータの記録記憶媒体として有望な磁性ナノワイヤ・ナノドットの磁気構造の観測も可能である。また、記録記憶媒体の高密度化のみならず高速記録の必要性に伴い、時間分解測定も併用されるようになった。パルス磁場で磁化し、磁化の時間変化を観測する(ポンププローブ法と呼ばれる)。現状では、磁場のパルス幅が ns レベルで、放射光自体のパルス幅が数 10ps ではあるが、このタイムスケールと数 10nm の時空間分解能で、ナノ磁石の磁化過程が測定されている。さらに高い時間分解能(ピコ〜フェムト秒)を得るには自由電子レーザーの利用が待たれるところである。

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

現在のところ、磁気円二色性光電子顕微鏡観測は左右円偏光による画像をそれぞれ測定し差分をとるが、高速円偏光切替に対応した高速検出器の利用が望まれる。

・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題

広範囲軟 X 線領域の高速円偏光切替用多層膜移相子の開発が望まれる。また、フェムト秒パルス幅、ナノレベルビームサイズの X 線自由電子レーザーなどを用いた超高速時空間分解磁気円二色性の観測などが目標であろう。

キーワード

磁性、X 線磁気円二色性、元素選択性、光電子顕微鏡、時空間分解

(執筆者: 横山 利彦)