

新装置紹介

超伝導磁石極低温 X線磁気円二色性観測装置

横山 利彦

[物質分子科学研究領域・電子構造研究部門]

コンピュータ記憶・記録媒体の著しい高密度化・高速化に伴い、様々な機能を発現する磁性体の開発や評価はますます重要になっている。X線磁気円二色性(XMCD, X-ray Magnetic Circular Dichroism)は、シンクロトロン放射光からの円偏光X線を利用して、磁性体の磁気的な円二色性(左右円偏光あるいは磁化反転でのX線吸収強度差)を測定する手法である。元素毎の磁性評価、スピンと軌道磁気モーメントの分離観測、数原子層以下の超薄膜の磁気測定など、他の手法では得にくい情報を供給する手段として、最近非常に汎用性が高くなってきた。

ところが、磁気測定では必須とも言える、超伝導磁石を利用した高磁場下、液体Heクライオスタットを用いた極低温下での測定が可能な装置、特に共同利用に供されている装置は、フランス・グルノーブルのヨーロッパ・シンクロトロン放射光施設(ESRF)のシステムが有名であるものの、世界的にも非常に数が限られている。我が国では、硬X線(高エネルギーX線)領域においてJASRI/SPring-8に大変立派な共同利用装置があるが、Fe, Co, Niなどの重要な磁性元素のL吸収端が測定可能な低エネルギー軟X線領域では、物質構造科学研究所と原研SPring-8の装置が一般的な共同利用に供されてはならず、さらなる導入が望まれていた。横山グ

ループでは、科研費特定領域研究を財源として超高真空仕様の超伝導磁石を導入し、現在は特別研究費や文科省ナノネットプロジェクト等で付帯設備や維持費を工面しながら、広く利用していただきたくXMCD観測システムを構築した。

光源は通常UVSOR-IIの斜入射不等間隔回折格子分光ビームラインBL4B^[1]を利用する。測定システム^[2]を含めて仕様等を表1にまとめた。すべて超高真空仕様で、試料準備槽と測定槽から成る。写真と概要図を図1に示す。試料準備槽はユーザーの希望機器を取り付けることが可能であるが、通常は、基板単結晶清浄化とその評価、磁性金属などの蒸着、気体導入等が可能である。作成された試料はもちろん超高真空下でそのまま測定槽に移送され、高磁場極低温下での角度依存を含むXMCDスペクトルやXMCD信号を利用した磁化曲線の測定ができる。

測定例^[2]として、Cu(001)清浄表面上に作成した0.4原子層Co超薄膜のCo-L吸収端XMCDの結果(測定温度6.0 K)を示す。図2の挿入図に表面垂直方向の磁化曲線を示した。この試料は、面内方向には容易に磁化されるが、強い磁気異方性のため薄膜垂直方向にはなかなか磁化されず、~3.4 T程度で漸く飽和磁化に達していることがわかる。また図2にCo-L吸収端円偏光

吸収スペクトルとXMCDを示した。非常に大きなXMCD信号(赤線)が観測されている。このデータを解析して、スピン磁気モーメント $m_{\text{spin}}=1.65 \pm 0.10 \mu\text{B}$ 、表面平行(//)・垂直(\perp)方向の軌道磁気モーメント $m_{\text{orb}}^{\parallel}=0.29 \pm 0.05 \mu\text{B}$ 、 $m_{\text{orb}}^{\perp}=0.23 \pm 0.05 \mu\text{B}$ などが得られた。バルクCo($m_{\text{orb}}=1.55 \mu\text{B}$ 、 $m_{\text{orb}}^{\parallel}=0.15 \mu\text{B}$)に比べて、 m_{spin} は12%、 m_{orb} は平行・垂直成分がそれぞれ96%、53%も増加していることがわかった。クラスター的な薄膜の特徴が顕著に現れた結果である。また、 m_{orb} の異方性($m_{\text{orb}}^{\parallel} > m_{\text{orb}}^{\perp}$)が、この試料の磁気異方性の起源になっていることが明らかとなった。

利用を希望される方はUVSOR施設利用に申請いただきますが、まずは横山(yokoyama@ims.ac.jp, TEL: 0564-55-7345)まで、お気軽にご連絡して下さい。

参考文献

- [1] T. Gejo, Y. Takata, T. Hatsui, M. Nagasono, H. Oji, N. Kosugi and E. Shigemasa, *Chem. Phys.* **289**, 15 (2003).
- [2] T. Nakagawa, Y. Takagi, Y. Matsumoto and T. Yokoyama, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 2132 (2008).

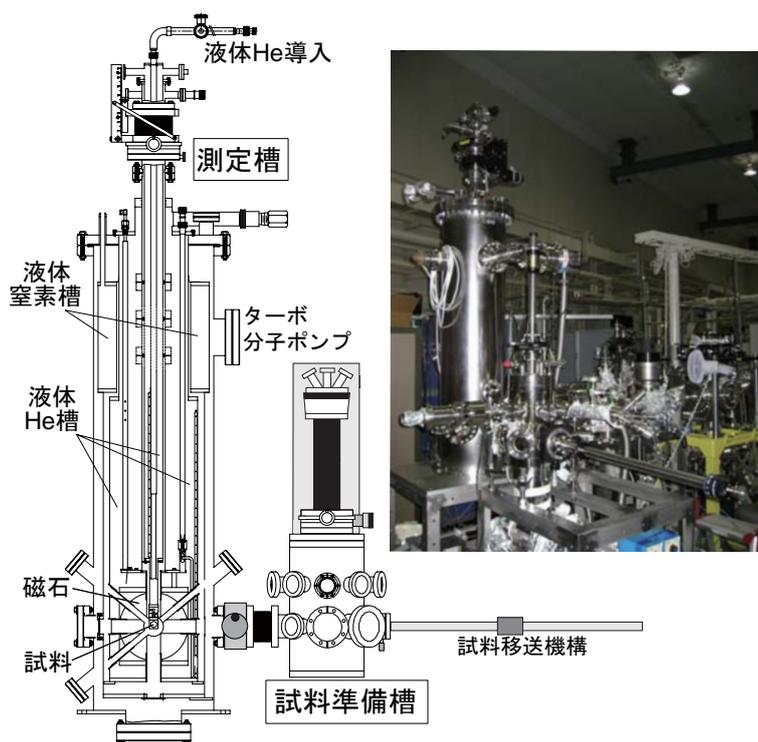


図2 本装置によるXMCD測定例。 μ^+ と μ^- が測定で得られた円偏光吸収スペクトルで、これからXMCDを得る。軌道磁気モーメントなどの異方性を知るため、磁化方向依存性（表面平行または垂直）を測定している。挿入図は垂直方向に磁化した場合の磁化曲線で、縦軸はXMCD強度。

図1 超伝導磁石極低温X線磁気円二色性観測システムの概要図と写真。放射光は紙面垂直上方に入射される。

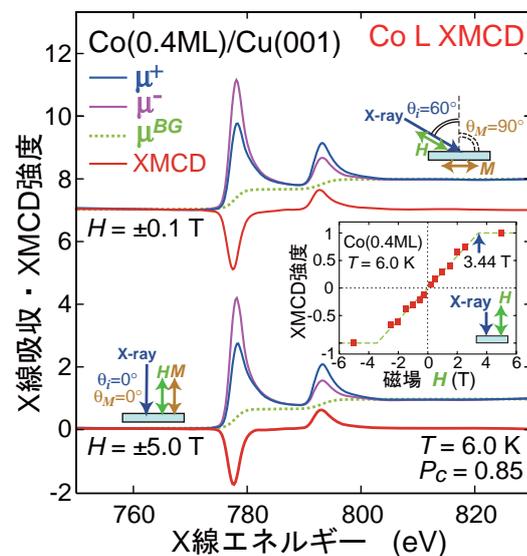


表1 UVSOR-II BL4Bと超伝導磁石極低温XMCD観測システム仕様等

項目		仕様等
ビームライン		UVSOR-II BL4B 偏向電磁石 斜入射不等間隔回折格子分光器
X線エネルギー		100~1000 eV (回折格子3種)
エネルギー分解能		700~2000 程度で使用 (入出射スリットあり)
偏光度 円偏光		<0.85 (上流4象限スリットにより切り出し) 通常0.7程度で使用
磁石	磁場	超伝導 NbTi スプリット型 0~ ± 7 T (± 5 T 標準)
	磁場安定度	0.5% (1cm 四方)
	掃引速度	1 T/min. (0~ ± 5 T), 0.25 T/min. (5~7T)
	He 保持時間	容量 25 L, 実験中 12 時間、休止中 24 時間
試料温度		4.8 K (He 蓄積時), 3.8 K (He 排気時)
計測法		試料電流 それ以外のモードは検討中
試料回転		試料準備槽、測定槽とも 360° 回転可 (角度依存観測可)
試料準備槽装備		加熱、イオン銃、LEED/AES または RHEED、蒸着源 (ほか)
真空度		測定槽 2×10^{-10} Torr (試料位置ではこれよりはるかに良い) 試料準備槽 8×10^{-11} Torr