

新規スピントロニクス材料の薄膜・界面が示す 特異な物性の多自由度軟X線分光

実験組織

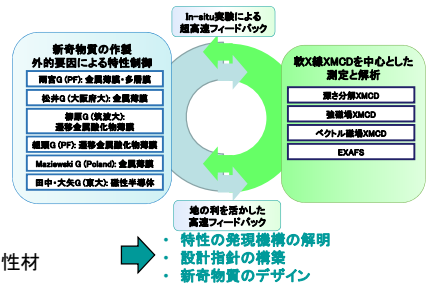
研究代表者： 藤森 淳（東京大学大学院理学系研究科）
 芝田 悟朗（東大理）、雨宮 健太、酒巻 真粒子（PF物構研）、柳原 英人（筑波大数理物質系）、松井 利之（大阪府大21世紀科学研究機構）

課題有効期間

2016年10月～2019年9月（3年間）

研究目的

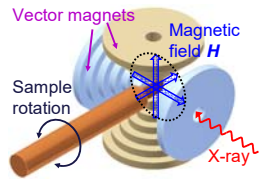
スピントロニクス材料としての応用が期待される新規磁性薄膜・多層膜について、軟X線MCD を主とした複数の相補的な実験手法を組み合わせることによって、磁気モーメントの異方性や空間分布といったミクロな磁気状態を明らかにする。様々な外場やパラメータを変化させてミクロな磁気状態の変化を詳細に調べることで、磁性薄膜・多層膜の磁性の制御方法に関して重要な手掛かりを得る。とくに、分光測定だけを行うのではなく、分光から得られた情報を試料作製グループにフィードバックし、新たな磁気特性を示す材料の開発へと繋げていく。



実験手法

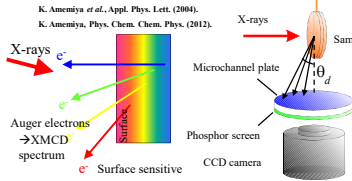
BL-16AおよびBL-7Aに設置した独自性の高い各種のX線磁気円二色性 (XMCD) 測定装置を活用して、新規磁性材料の磁気異方性や磁化の空間分布を明らかにしてゆく。

● ベクトル磁場XMCD (BL-16A2)



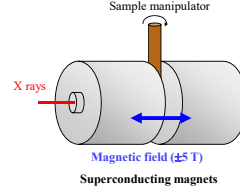
2組の超伝導マグネットを組み合わせることで、2次元的に任意の方向へ磁場を印加することが可能である。磁気異方性や、スピン分布の異方性を観測するのに用いられる。

● 深さ分解XAS, XMCD (BL-16A1, 7A)



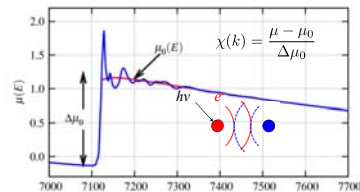
X線吸収に伴う光電子の脱出深さが電子の脱出方向によって異なるため、光電子数の方向依存性を測ることで、X線吸収およびXMCDスペクトルの深さ方向の分離が可能になる。

● 強磁場下XMCD (BL-16A1)



最大5 Tまでの磁場を利用することができ、磁気異方性の強い試料のXMCD測定に適している。また、多数の試料を同時にマウントできるため、組成依存性等の測定にも向いている。

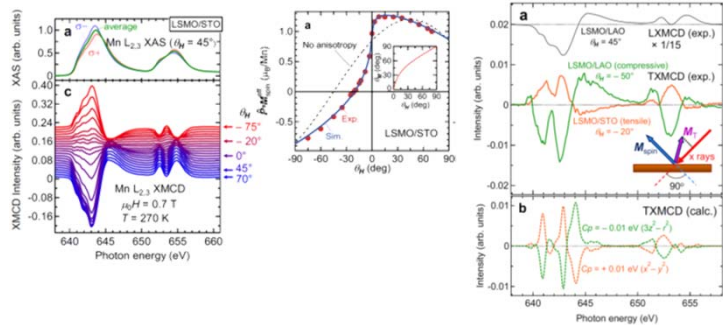
● EXAFS (BL-12C, 9C, 9A)



磁性元素の周囲の局所構造と磁性との相関を調べるため、XMCD測定と相補的にEXAFS測定も行う。

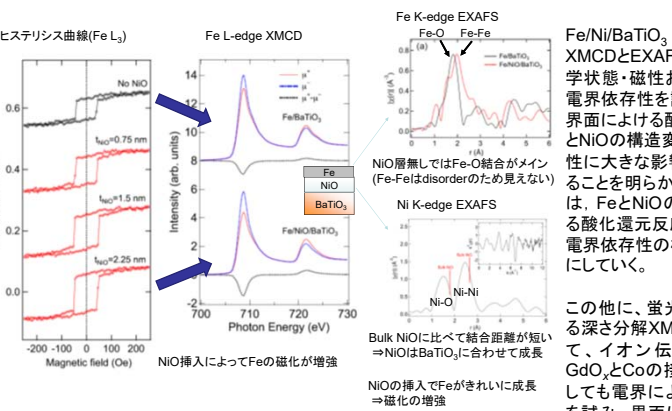
研究成果・進捗状況・今後の計画

● La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃薄膜における基板に依存したスピン密度分布の異方性の観測[1]



SrTiO₃ (STO) (001)およびLaAlO₃ (LAO) (001) 基板上に成長させたLa_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ (LSMO)薄膜に対して角度依存XMCDの実験を行った。そこから磁気双極子項M₂を抽出することに成功し、その結果、基板応力が圧縮性(LAO)か伸張性(STO)かに応じて、磁気異方性だけでなくスピン分布の異方性が逆になることが明らかになった。今後は磁気異方性を示す他の強磁性薄膜に対して同種の測定を行い、磁気異方性とスピン分布異方性との関係性について明らかにしてゆく。

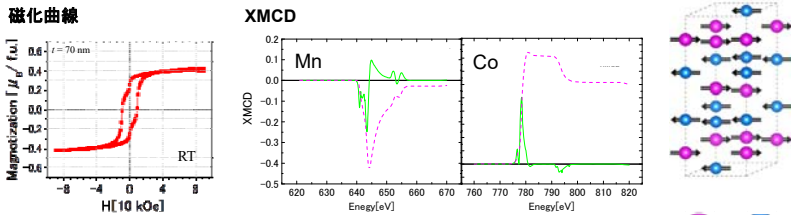
● Fe/Ni/BaTiO₃、Gd_xO/Coの磁性・化学状態、電界依存性[3]



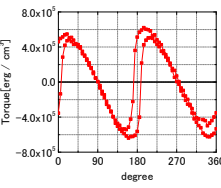
Fe/Ni/BaTiO₃について、XMCDとEXAFSを用いて化学状態・磁性および構造の電界依存性を調べた結果、界面における酸化還元反応とNiOの構造変化がFeの磁性に大きな影響を与えていることを明らかにした。今後は、FeとNiOの界面における酸化還元反応に注目して、電界依存性の機構を明らかにしていく。

この他に、蛍光収量法による深さ分解XMCD[4]を用いて、イオン伝導体であるGdO_xとCoの接合薄膜に対しても電界による磁気変調を試み、界面における酸化還元反応を観察した。

● CoMnO₃ (0001)エピタキシャル薄膜の軌道フェリ磁性構造 [2]

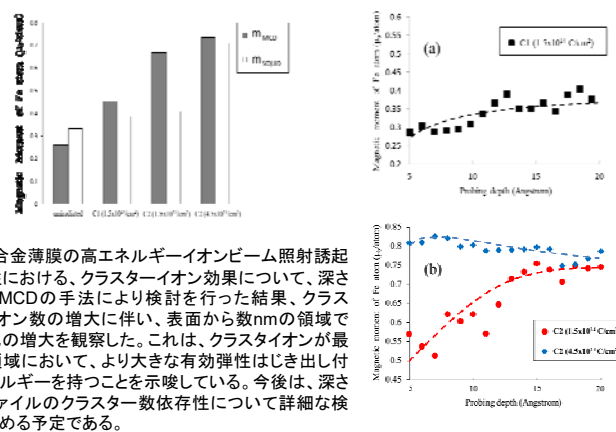


磁気トルク測定



Coフェライトと類似の磁気異方性の起源を持つイルメンイト型酸化物CoMnO₃のエピタキシャル薄膜の作製に初めて成功した。この薄膜の磁気測定を行ったところ、K_u ~ -5 Merg/cm²の大きな磁気異方性とM_s = 0.4 [μ_B/f.u.]の磁化が観測された。また、XANESによりCo²⁺およびMn⁴⁺の存在が認められた。XMCDの結果、CoがL_{2,3} ~ 0.8という大きな軌道磁気モーメントを示し、さらにCoとMnの磁気モーメントは逆向きであることから、CoMnO₃が軌道フェリ物質であることが実験的に初めて確認された。今後は、Co²⁺サイトとMn⁴⁺サイトの規則度と、磁性の関係について明らかにし、さらに軌道磁気モーメントを活かしたスピントロニクスデバイス開発につなげていく。

● FeRh薄膜の磁性のCイオン照射効果[5]



FeRh合金薄膜の高エネルギーイオンビーム照射誘起強磁性における、クラスターイオン効果について、深さ分解XMCDの手法により検討を行った結果、クラスターイオン数の増大に伴い、表面から数nmの領域での磁化の増大を観察した。これは、クラスターイオンが最表面領域において、より大きな有効弾性は引き出し付与エネルギーを持つことを示唆している。今後は、深さプロファイルのクラスター数依存性について詳細な検討を進める予定である。

代表的な発表等

- G. Shibata *et al.*, "Anisotropic spin-density distribution and magnetic anisotropy of strained La_{1-x}Sr_xMnO₃ thin films: angle-dependent x-ray magnetic circular dichroism", *npj Quantum Mater.*, **3**, 3 (2018).
- 小泉 洸生、田結 荘 健、小野田 浩成、久松 裕季、柳原 英人、「軌道フェリ磁性のCoMnO₃ (0001)エピタキシャル薄膜の磁気特性」、第65回応用物理学学会春季学術講演会 (2018.3.17-20, 早稲田大).
- M. Sakamaki and K. Amemiya, submitted to *Jpn. J. Appl. Phys.*
- M. Sakamaki and K. Amemiya, *Rev. Sci. Instr.* **88**, 083901 (2017).
- R. Soma *et al.*, "Irradiation effect on magnetic properties of FeRh thin films with energetic C₆₀ cluster ion beam", *AIP Advances* **8**, 056433 (2018).