

軟X線偏光スイッチングを用いたスピントロニクス材料の探求

Exploration of Spintronic Materials by means of Soft X-ray Polarization Switching

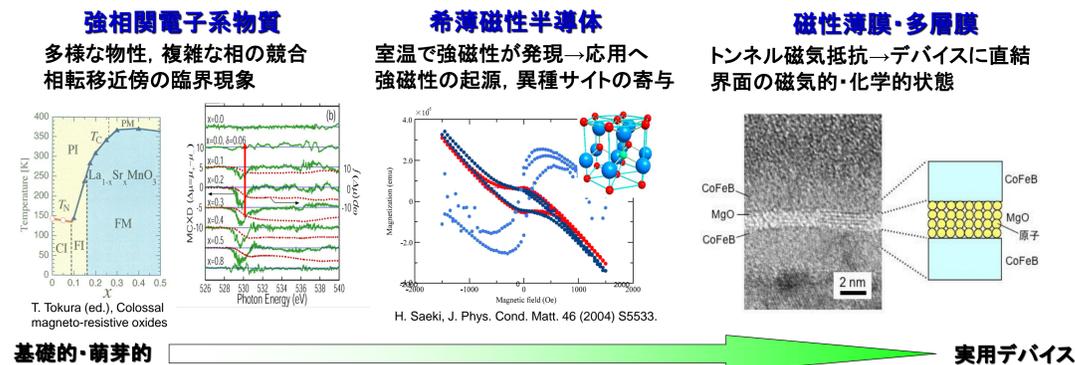
雨宮 健太¹, 藤森 淳², 小出 常晴¹, 酒巻 真粧子¹, 門野 利治², Vijay Raj Singh²,

石上 啓介³, Viendra Kumar Verma², 芝田 悟朗², 原野 貴幸², 高橋 文雄²

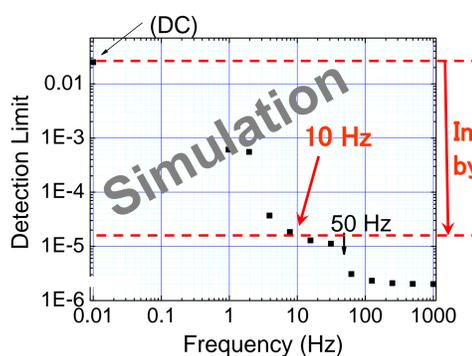
¹KEK放射光, ²東大院理, ³東大院新領域

現在BL-16Aでは、軟X線領域(200-1500 eV)において10 Hz程度の高速偏光スイッチング(左右円偏光および水平・垂直直線偏光)の開発を進めている。この技術を軟X線吸収および軟X線共鳴散乱における磁気円二色性(XMCD)・線二色性(XMLD)に適用すれば、ロックイン法を用いることによって、直流的な測定では 10^{-2} 程度が検出下限であったXMCD, XMLD測定において 10^{-4} - 10^{-5} の極微小シグナル検出が可能になる。本研究の目的は、このような極微小シグナル検出技術を確認し、それを利用して、磁性薄膜・多層膜、希薄磁性半導体、強相関電子系物質といった、現在および将来のスピントロニクス材料の探究を行うことである。

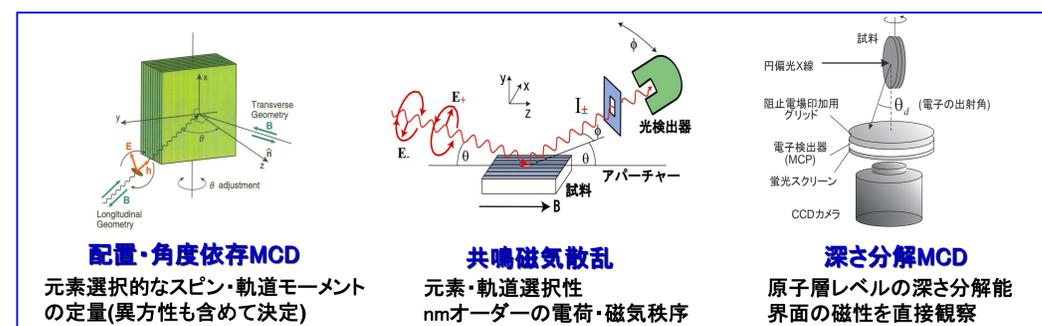
本研究のターゲットと実験手法



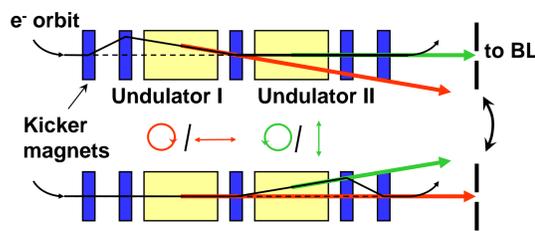
微小シグナルの検出に向けて



XMCD, XMLD
 検出限界: ~1% (DC mode*)
 偏光スイッチング+ロックイン法
 10^{-4} - 10^{-5} のシグナル観測可能
 *DC mode: without switching
 ⇒ BL-16Aにおいて偏光の
 高速スイッチング(~10Hz)
 を開発中
 2012年よりユーザー運転中
 の利用を開始

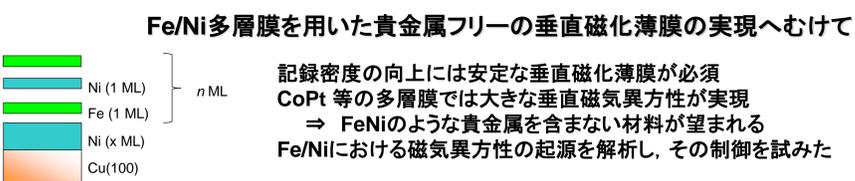


放射光の特性をいかした実験手法を駆使した磁性の解明 ⇒ 微小シグナルの検出が必須

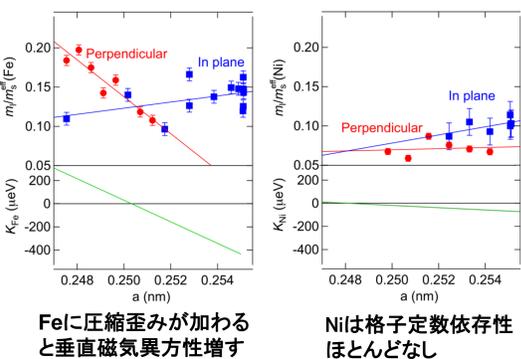


偏光スイッチングによって、 10^{-4} 以下のノイズレベルを実現

研究成果(1): FeNi多層膜における磁気異方性 [2,4,11]

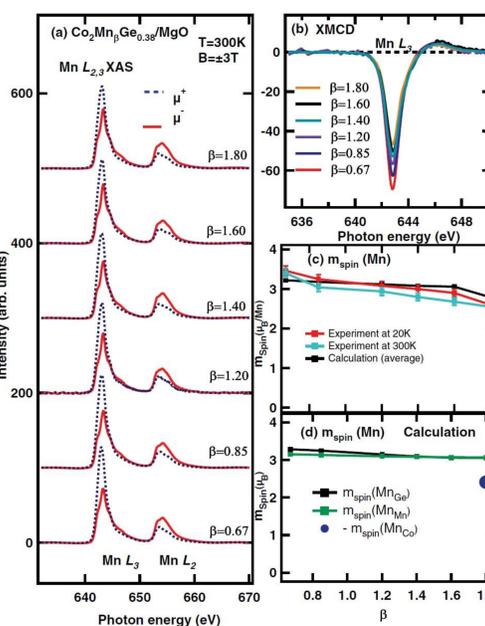


In-situ深さ分解XMCDとRHEEDによって、Fe, Ni各層の磁気異方性エネルギーKと面内方向の格子定数の相関を決定



FeNiに圧縮歪みを与えることによって面直磁気異方性を増強させることに成功
 詳しくはこちらのポスターへ
 1551 (酒巻真粧子, 雨宮健太)

研究成果(2): Co₂MnGe/MgO界面の磁性 [9]



ハーフメタル・ホイ슬ー合金Co₂MnGeとMgOからなるCo₂MnGe/MgO磁気トンネル接合において、Co₂MnGeの化学組成のずれが磁気抵抗比を増大させる。

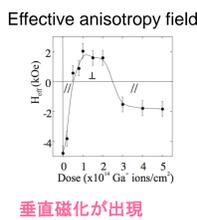
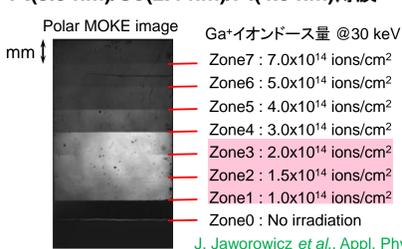
この機構を探るために、MnおよびCo L_{2,3}内殻のXMCDを行った。

Mn量の増加が両元素の磁気モーメントを減少させる一方でフェルミ単位でのスピンスピンを増大させるという理論計算を支持する結果を得た。

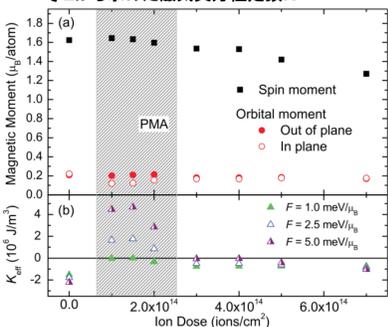
研究成果(3): Ga⁺照射による垂直磁化の発現 [6,12]

まとめ

Pt(3.5 nm)/Co(2.4 nm)/Pt(4.5 nm)薄膜



XMCDで測定した軌道磁気モーメントの異方性とそこから求めた磁気異方性定数K



- 可変偏光ビームラインBL-16Aを用いてスピントロニクス関連物質の基礎的研究を実施
- 磁性薄膜に対して、XMCDを用いた研究を展開
- 運用を開始した偏光スイッチングによって、より高速にデータを得ることが可能になった

研究成果

- K.Amemiya and M.Sakamaki, "NiO-like single layer formed on a Ni/Cu(001) thin film revealed by the depth-resolved x-ray absorption spectroscopy", Appl. Phys. Lett. 98 (2011) 012501.
- M.Sakamaki and K.Amemiya, "Element specific magnetic anisotropy energy of alternately layered FeNi thin films", Appl. Phys. Express 4 (2011) 073002.
- S.Tsunegi, Y.Sakuraba, K.Amemiya, M.Sakamaki, E.Ozawa, A.Sakuma, K.Takanashi, and Y.Ando, "Observation of magnetic moment at the real interface region using depth-resolved x-ray magnetic circular dichroism", Phys. Rev. B 85 (2012) 180408(R).
- M.Sakamaki and K.Amemiya, "In-situ observation of magnetic anisotropy energy of alternately layered FeNi thin films", e-J. Surf. Sci. Nanotech. 10 (2012) 97.
- K.Amemiya, "Sub-nm Resolution Depth Profiling of the Chemical state and Magnetic Structure of Thin Films by the Depth-Resolved X-ray Absorption Spectroscopy Technique", Phys. Chem. Chem. Phys. 14 (2012) 10477.
- M.Sakamaki, K.Amemiya, M.O.Liedke, J.Fassbender, P.Mazalski, I.Svecko, and A.Maziewski, "Perpendicular magnetic anisotropy in a Pt/Co/Pt ultrathin film arising from a lattice distortion induced by ion irradiation", Phys. Rev. B 86 (2012) 024418.
- K.Amemiya and M.Sakamaki, "XAFS and XMCD spectra at the surface and interface of ultrathin films observed by the depth-resolved XAFS/XMCD technique", e-J. Surf. Sci. Nanotech. 10 (2012) 521.
- T.Kataoka, Y.Yamazaki, V.R.Singh, Y.Sakamoto, K.Ishigami, V.K.Verma, A.Fujimori, F.-H.Chang, H.-J.Lin, D.J.Huang, C.T.Chen, D.Asakura, T.Koide, A.Tanaka, D.Karmakar, S.K.Mandal, T.K.Nath, and I.Dagupta, "X-Ray Absorption Spectroscopy and X-Ray Magnetic Circular Dichroism Studies of Transition-Metal-Codoped ZnO Nano-Particles", e-J. Surf. Sci. Nanotech. 10 (2012) 594.
- V.R.Singh, V.K.Verma, G.Ishigami, G.Shibata, T.Kadono, A.Fujimori, D.Asakura, T.Koide, G.-f.Li, T.Taira, and M.Yamamoto, "Effects of off-stoichiometry on the spin polarization at the Co₂MnGe_{0.99}/MgO interfaces: X-ray magnetic circular dichroism study", Phys. Rev. B 86 (2012) 144412.
- S.M.Suturin, V.Fedorov, A.Banshchikov, D.Baranov, K.Koshmak, P.Torelli, J.Fujii, G.Panaccione, K.Amemiya, M.Sakamaki, T.Nakamura, M.Tabuchi, L.Pasquali, and N.S.Sokolov, "Proximity effects and exchange bias in Co/MnF₂(111) heterostructures studied by x-ray magnetic circular dichroism", J. Phys.: Condens. Matter 25 (2013) 046002.
- M.Sakamaki and K.Amemiya, "Effect of structural strain on magnetic anisotropy energy of each element in alternately layered FeNi thin films", Phys. Rev. B 87 (2013) 014428.
- K.Amemiya, M.Sakamaki, P.Mazalski, I.Svecko, Z.Kurant, A.Maziewski, M.O.Liedke, J.Fassbender, A.Wawro, and L.T.Baczewski, "Ga⁺ ion irradiation-induced changes in magnetic anisotropy of a Pt/Co/Pt thin film studied by X-ray magnetic circular dichroism", Eur. Phys. J. Web of Conferences 40 (2013) 08002.
- K.Amemiya, M.Sakamaki, T.Koide, K.Ito, K.Tsuchiya, K.Harada, T.Aoto, T.Shioya, T.Obina, S.Yamamoto, and Y.Kobayashi, "Fast polarization switching in the soft X-ray region at PF BL-16A", J. Phys.: Conf. Ser., in press.
- M.Sakamaki, K.Amemiya, A.Nambu, K.Ueda, J.Shimizu, and K.Watanabe, "Suppressed surface oxidation of Fe₇₀Co₃₀ thin films caused by Ar⁺ ion milling", Mater. Chem. Phys., submitted.

垂直磁化が発現する時には...
 ・面直方向の軌道磁気モーメント大
 ・面内方向のCo-Co距離が延びる

⇒ 異方的な結合の伸長(格子歪み)から生じた磁気弾性効果によって垂直磁気異方性が誘起された

