

令和元年5月23日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02109

研究課題名(和文) 酸化物薄膜界面の異方的磁性とスピン-軌道結合現象の多自由度放射光分光

研究課題名(英文) Magnetic anisotropy and spin-orbit-coupled phenomena at oxide interfaces using synchrotron radiation spectroscopy with multiple degrees of freedom

研究代表者

藤森 淳 (Fujimori, Atsushi)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：10209108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,700,000円

研究成果の概要(和文)：放射光を用いた分光測定により以下のことを明らかにした。(1)遷移金属酸化物薄膜の膜厚依存金属-絶縁体転移における電子状態と磁性の変化、(2)反強磁性絶縁体の界面において強磁性金属が発現する現象の発見とその機構解明、(3)誘電体と強磁性金属界面に電圧を印加することによって生じる化学結合と磁性の変化、(4)遷移金属酸化物薄膜と重金属-遷移金属合金・多層膜の垂直磁気異方性の起源、(5)鉄系強磁性半導体とファンデルワールス強磁性体の電子状態と磁性を調べ、強磁性発現機構を提唱、(6)スピネル型酸化物の電子状態と磁性をサイト選択的に調べ、基板との界面におけるサイト置換欠陥を同定。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、(1)電子状態の次元クロスオーバーを観測し、電子相関や量子閉じ込め効果も含めて明らかにしたこと、(2)磁気異方性の起源として、重金属が存在する場合に限らずスピン密度の異方性が重要であることを示したこと、(3)反強磁性絶縁体を作る界面が強磁性金属となる現象と発現機構を原子レベルで明らかにしたこと、(4)強磁性体に対する電場の効果を直接観測したことが挙げられる。社会的な意義は、(1)高密度磁気記録材料等の開発に指針となる知見を与えたこと、(2)室温強磁性半導体の開発に有用な知見を与えたこと、(3)デバイス界面の欠陥の原子レベルでの同定可能性を示したことなどである。

研究成果の概要(英文)：By spectroscopic measurements using synchrotron radiation, we have revealed the following: (1) Changes in the electronic structure and magnetism across the thickness-dependent metal-insulator transitions of transition-metal oxide thin films, (2) Discovery and elucidation of the appearance of ferromagnetic metallic states at the interface between antiferromagnetic insulators, (3) Changes in the chemical bond and magnetism at the interfaces between dielectrics and ferromagnetic metal under applied electric field, (4) Origin of the perpendicular magnetic anisotropy in transition-metal oxide thin films and heavy metal-transition metal alloys, (5) Studies of the electronic structures of novel Fe-based ferromagnetic semiconductors and van der Waals ferromagnets, (6) Identification of interfacial defects between spinel ferrites and oxide substrates.

研究分野：放射光を用いた物性物理学実験

キーワード：遷移金属酸化物 界面 超薄膜 磁気異方性 軟X線磁気円二色性 軟X線二色性 光電子分光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

異種の物質がつくる界面や極薄膜の電子状態と物性の解明が物性物理学の重要課題のひとつとなっていた。とくに、電子相関の強い遷移金属酸化物の界面では、界面を形成する物質のどちらとも異なる新しい電子相の出現(絶縁体間の界面における金属状態や超伝導状態の出現、非磁性体間の界面における強磁性の出現など)、全く異質な物質間(強誘電体と強磁性体、超伝導体と強磁性体など)の界面における新しい現象が興味を集めていた。また、反転対称性の破れによる新規物性(ラシュバ分裂、トポロジカル状態など)も予言されていた。極薄膜化による金属-絶縁体転移の機構もまだ明らかにされていなかった。これらの界面や極薄膜の電子状態を研究するには、輸送現象、磁性、光学応答等従来の測定手法では、界面や極薄膜の体積分率が非常に小さいため必要な精度が得られていなかった。とくに磁気測定は、大きな体積の試料を必要とする中性子散乱は言うに及ばず、通常の帯磁率測定においても、界面や極薄膜の微小な磁化を基板の磁性・反磁性から分離して正確に測定をすることは困難であった。これに対して、X線磁気円二色性(XMCD)、X線磁気線二色性(XMLD)などの放射光X線分光を用いると、検出深さが数nmから100nmと浅いため、極薄膜や埋もれた界面の電子状態・磁性を元素選択的に高感度で調べることができることが知られていた。また、極薄膜や界面の物性は異方性が本質的であるため、磁場や偏光の方向を変えてXMCD、XMLD測定を行うことによって重要な情報が得られることも認識されていた。我々は、本基盤研究(A)に先立つ基盤研究(S)で、ベクトル型超伝導電磁石を用いたXMCD装置を作製し、KEKフォトンファクトリーの高速偏光スイッチング軟X線アンジュレータ・ビームラインに設置して、世界に類のない多自由度XMCD、XMLD測定を高効率・高精度で行えるシステムを構築し稼働させていた。

我々は上記の基盤研究(S)および関連するプロジェクト研究で、レーザーMBE法で作製した酸化物薄膜単結晶を光電子分光法とXMCDを用いて研究を行ってきており、以下のような成果をあげていた：(i)原子レベルで平坦な薄膜表面を利用した、へき開性のない物質の角度分解光電子分光(ARPES)、(ii)基板圧力により制御した軌道整列、金属-絶縁体転移の光電子分光による観測、(iii)モット絶縁体とバンド絶縁体の界面に出現する金属状態の光電子分光による観測と、その起源(極性ポテンシャルの発散)の同定、(iv)極性不連続界面、極性物質間の界面におけるキャリアドーピングの実証、(v)SrVO₃量子井戸状態の実現とARPES観測、(vi)膜厚依存金属-絶縁体転移の光電子分光およびXMCDによる観測。このような試料作製、放射光分光、物性開拓に関する技術と知見の蓄積のもとに本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究は、広範な遷移金属とその酸化物・化合物・合金の極薄膜、界面の機能・物性とその発現機構を明らかにすることを目的とする。具体的には、

- (i) 極薄膜の新規電子状態、新規磁性の機能探索と機構解明。
 - (ii) 界面に出現する新規電子状態、新規磁性の探索と機構解明。
 - (iii) 異質の物質間の界面における新規現象の探索と機構解明。
 - (iv) 薄膜・界面・バルクの磁気異方性の機構解明。
- を目標とする。

3. 研究の方法

ベクトル型超伝導電磁石を用いた多自由度放射光分光測定系を活用するとともに、界面の磁気状態を原子層レベルで分離できる深さ方向XMCDおよび共鳴光電子分光、角度分解光電子分光(ARPES)を利用する。極薄膜、界面に出現する新しい電子状態、バンドダイヤグラムの観測は試料作製直後のin situ光電子分光で、磁気異方性など異方的な磁性・電子状態は多自由度XMCDで明らかにする。スピン-軌道相互作用の重要な系については、XMCD総和則を用いて軌道磁気モーメントを定量的に評価する。深さ方向の磁気モーメントの分布を深さ分解XMCDで調べる。基板応力、電場などの外場による磁性・電子状態の変化をX線吸収分光(XAS)、XMCDで観測する。XMCDは高速偏光スイッチングが可能なアンジュレータを用いて従来に比べて遥かに高いS/N比での測定を行い、界面の微小磁化、微小軌道分極およびそれらの外場による変化を観測する。また、従来のXMCD測定装置では磁場は試料面に垂直あるいはある有限の角度をなして印加されるため、反磁場の影響を強く受け、薄膜・界面の磁性研究で得られる情報に不確実性が多かったが、ベクトル型電磁石を用い、試料を固定して磁場を回転させることによって、反磁場の効果を取り除いた物質本来の常磁性・強磁性を抽出することができる。

4. 研究成果

(1) 金属性電気伝導を示すペロブスカイト型遷移金属酸化物の極薄膜について、基本的な電子構造と磁性およびそれらの膜厚依存金属-絶縁体転移を、光電子分光とXMCDにより系統的に調べて明らかにした。

巨大磁気抵抗効果を示す強磁性金属La_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃の薄膜について、in situでARPESを測定した。2次元Mn酸化物と異なり、フェルミ準位近傍のバンド構造に運動量方向に依存しないキック構造を見出し、これがヤンテラー・フォノンとの強い相互作用の結果であると解釈した。この強い電子-フォノン相互作用がLa_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃の様々な異常物性の原因となっていると考えられている。

巨大磁気抵抗を示す $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ をわずかに格子定数の小さい LaAlO_3 基板上に成長させ垂直容易磁化を持つ薄膜試料の角度依存 XMCD 測定を行い、格子定数の大きい SrTiO_3 基板上に成長させた面内容易磁化を持つ試料と比較した。解析の結果、基板応力によって誘起された Mn 3d 電子スピン密度の異方的分布が磁気異方性の起源であるとした。この考えは、続いて行った磁化方向に Mn 3d 電子の分布が伸びることを示した XMLD 実験の結果からも支持された。

SrRuO_3 をわずかに格子定数の小さい $\text{SrTiO}_3(001)$ 基板上に成長させた極薄膜を XMCD で測定し、バルク試料に比べて面垂直方向の軌道磁気モーメントが増大していること、膜厚の減少に伴ってさらに軌道磁気モーメントのスピン磁気モーメントに対する相対値が増大していることを見出し、スピン-軌道相互作用の強い系での低対称場による磁気異方性と解釈した。

酸化薄膜として初めて量子化状態が観測された SrVO_3 をさらに薄くすることによって生じるモット絶縁体への相転移を ARPES で観測し詳細に解析した。金属-絶縁体転移の臨界膜厚において、フェルミ液体から非フェルミ液体に変化することを見出した。

$\text{SrTiO}_3(001)$ および (111) 基板に成長した $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 薄膜の電気伝導性の膜厚依存性を調べた。 $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ のバルク結晶に特有な電荷分離転移が膜厚 13 nm 以下で消失した。消失膜厚が基板面方位に依存しなかったことから、電荷分離のドメインが等方的に形成されていることが示唆された。

(2) 反強磁性絶縁体遷移金属酸化物同士が作る界面において金属的な強磁性状態が発現することを、XAS、XMCD、共鳴光電子分光の測定から見出し、その発現機構を明らかにした。

様々な構造をもつ $\text{LaNiO}_3/\text{LaMnO}_3$ 多層膜を作製し、界面における電荷移動を XAS および共鳴 ARPES 測定により調べた。その結果、界面で Mn イオンから Ni イオンへの電荷移動が起こっていること、電荷が変化している部分の空間的広がりが両者で異なることを見出した。さらに XMCD 測定を行い、電荷移動が生じている部分においてのみ強磁性が発現していること、界面の Mn と Ni が強磁性的に結合していることが明らかになった。

$\text{LaMnO}_3/\text{LaFeO}_3$ 界面については、XAS、XMCD 測定から界面電荷移動が生じていないことが明らかになり、この界面で強磁性が現れない原因が電荷移動が起こらないためであると考えた。共鳴光電子分光測定の結果を $\text{LaMnO}_3/\text{LaNiO}_3$ の測定結果と比較することにより、界面電荷移動の有無がそれぞれの遷移金属の 3d 準位の相対位置により決まると結論づけた。

(3) 酸化物誘電体-磁性金属界面に電圧を印加することによって生じる化学結合状態、磁性の変化を XMCD により調べた。

誘電体 BaTiO_3 と強磁性金属 Fe の接合界面における電子状態、磁気状態、およびそれらの電界印加による変化を XMCD により調べた。特に、界面に NiO を挿入すると NiO が Fe の規則的な成長を促進し磁化を増大させることを見出した。また、界面に Fe_3O_4 を挿入することによって反強磁性-強磁性相互作用に起因する交換バイアス効果が観察され、それが電界によって変化することを見出した。

電界を印加した状態で界面の化学状態及び磁気状態をナノスケールの深さ分解能で観察するため、蛍光収量型の軟 X 線深さ分解 XMCD 法を開発した。この手法を用いて、 $\text{GdO}_x/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面において電界誘起酸化還元反応によって Co の軌道磁気モーメントに変化が生じ、磁気異方性に変調を与える機構を明らかにした。 GdO_x 側に負の電圧を印加した場合に界面の Co が酸化されること、電圧に関わらず界面の Co は磁化を持たないことを見出した。

(4) 高密度磁気記録材料として期待されている重金属と遷移金属からなる合金・多層膜の垂直磁気異方性の起源を、XMCD を用いて調べた。

強い垂直容易磁化を示す層状 $L1_0$ 構造 FePt 薄膜の Fe および Pt 吸収端で磁場方向を変えて XMCD を測定した結果が、軌道磁気モーメントだけで磁気異方性を説明する従来の Bruno モデルでは説明が困難なこと、Pt 5d のスピン分布の異方性を取り入れた(すなわち磁気ダイポールを考慮した)解析が必要であることを明らかにした。

Pt/Co/Pt 薄膜への Ga イオン照射による磁性と構造の変化を XMCD、広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) を用いて観察し、イオン照射による磁気異方性変化の機構を解明した。さらに、レーザー照射によって磁気異方性および結晶構造が変化する様子を位置分解 EXAFS で観察し、レーザースポットの周辺部における大きな構造歪みが面直磁化を誘起していることを明らかにした。

(5) 新しい強磁性半導体として近年注目されている Fe ドープ半導体と 2 次元性の強いファンデルワールス強磁性体の電子状態・磁性を ARPES と XMCD を用いて明らかにした。

IV 族半導体 Ge に Mn、Fe をドープした強磁性半導体の電子構造と磁性を XMCD および軟 X 線 ARPES を用いて明らかにした。特に、Mn ドープ GaAs と同様に、Fe ドープにより価電子帯頂上付近に不純物バンドが形成されることがわかった。

近年、高いキュリー温度で注目を集めている Fe をドープした III-V 族強磁性半導体薄膜試料について、ARPES、共鳴光電子分光を用いて電子構造を、XMCD で温度に依存した磁化過程を調べた。(In,Fe)As:Be については、XMCD により温度の低下とともに強磁性クラスターの密度が増大することを明らかにした。InAs、GaSb、AlSb に Fe をドープした強磁性半導体の電子構造と磁化過程も、XMCD および共鳴光電子分光を用いて明らかにした。

強磁性を示す層状物質として最近注目されているファンデルワールス強磁性体 $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$ の ARPES、第一原理計算、XMCD を行った。Cr 3d 電子間相互作用 U が層内の Cr 原子間の磁氣的結合を強磁性的に、層間の磁氣的結合を強磁性と反強磁性の境界付近に位置させることがわかった。異方的な電子状態にも関わらず磁気異方性が弱い原因として、軌道磁気モーメントが小さいことが原因であることが示された。

(6) スピネル型酸化物 AB_2O_4 の電子状態と磁性を、XMCD のサイト選択を利用して調べた。

スピンフィルターとして期待されている、スピネル型フェライト CoFe_2O_4 薄膜を Al_2O_3 バッファ層を介して Si 基板上に成長した試料について XMCD 測定を行った。XMCD スペクトルの CoFe_2O_4 膜厚依存性や Co の Ni 置換効果から、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}_2\text{O}_4$ 界面で磁氣的デッドレイヤー形成され、その原因が四面体位置 Fe 原子の欠陥であることを見出した。

A サイト原子のイオン半径を変えることによって金属-絶縁体転移を示す V スピネル AV_2O_4 の転移境界付近に位置する CoV_2O_4 の磁性を角度依存 XMCD と光電子分光を用い調べた。Co と V のスピンの反平行であること、過剰 Co イオンが B サイトに入り低スピン状態となることがわかった。V の軌道磁気モーメントが V^{3+} イオンの値に比べて大きく減少していることがわかり、その原因として V が軌道グラス状態にあるためか、金属相との境界付近にあるためと考えた。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 114 件)

M. Suzuki, B. Gao, K. Koshiishi, S. Nakata, K. Hagiwara, C. Lin, Y. X. Wan, H. Kumigashira, K. Ono, Sungmo Kang, Seungjin Kang, J. Yu, M. Kobayashi, S.-W. Cheong, and A. Fujimori, Coulomb-interaction effect on the two-dimensional electronic structure of the van der Waals ferromagnet $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$, *Physical Review B*, 査読有, Vol. 99, 2019, 161401-1-4

DOI:10.1103/PhysRevB.99.161401

M. Sakamaki and K. Amemiya, Effect of interface NiO layer on magnetism in Fe/BaTiO₃ thin film, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 57, 2018, 0902B9-1-4 (2018)

DOI:10.7567/JJAP.57.0902B9

G. Shibata, K. Yoshimatsu, K. Ishigami, T. Harano, Y. Takahashi, S. Sakamoto, Y. Nonaka, T. Kadono, M. Furuse, S. Fuchino, M. Okano, J. Fujihira, A. Uchida, K. Watanabe, H. Fujihira, S. Fujihira, A. Tanaka, H. Kumigashira, T. Koide, and A. Fujimori, Anisotropic Charge distribution induced by spin polarization in $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$ thin films studied by x-ray magnetic linear dichroism, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 87, 2018, 114713-1-5
DOI:10.7566/JPSJ.87.114713

M. Sakamaki and K. Amemiya, Observation of an electric field-induced interface redox reaction and magnetic modification in GdO_x/Co thin film by means of depth-resolved X-ray absorption spectroscopy *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有, Vol. 20, 2018, 20004-20009
DOI:10.1039/C8CP02972E

Y. K. Wakabayashi, Y. Nonaka, Y. Takeda, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, G. Shibata, A. Tanaka, Y. Saitoh, H. Yamagami, M. Tanaka, A. Fujimori, and R. Nakane, Cation distribution and magnetic properties in ultrathin $(\text{Ni}_{1-x}\text{Co}_x)\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0-1$) layers on Si(111) studied by soft x-ray magnetic circular dichroism, *Phys. Rev. Mater.*, 査読有, Vol. 2, 2018, 104416-1-12
DOI:10.1103/PhysRevMaterials.2.104416

G. Shibata, M. Kitamura, M. Minohara, K. Yoshimatsu, T. Kadono, K. Ishigami, T. Harano, Y. Takahashi, S. Sakamoto, Y. Nonaka, K. Ikeda, Z. Chi, M. Furuse, S. Fuchino, M. Okano, J. Fujihira, A. Uchida, K. Watanabe, H. Fujihira, S. Fujihira, A. Tanaka, H. Kumigashira, T. Koide, and A. Fujimori, Anisotropic spin-density distribution and magnetic anisotropy of strained $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ thin films: Angle-dependent x-ray magnetic circular dichroism, *npj Quantum Mater.*, 査読有, Vol. 3, 2018, 3-1-6
<https://doi.org/10.1038/s41535-018-0077-4>

K. Amemiya, M. Sakamaki, J. Kisielewski, Z. Kurant, I. Sveklo, M. Tekielak, M. Wawro, and A. Maziewski, Origin of focused laser irradiation-induced enhancement of perpendicular magnetic anisotropy in Pt/Co/Pt thin films investigated by spatially resolved x-ray absorption spectroscopy, *J. Appl. Phys.*, 査読有, Vol. 124, 2018, 123903-1-6
<https://doi.org/10.1063/1.5049182>

Y. Nonaka, G. Shibata, R. Koborinai, K. Ishigami, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, T. Koide, A. Tanaka, T. Katsufuji, and A. Fujimori, Electronic states and possible origin of the orbital-glass state in a nearly metallic spinel cobalt vanadate: An x-ray magnetic circular dichroism study, *Phys. Rev. B*, 査読有, Vol. 97, 2018, 205126-1-7
DOI:10.1103/PhysRevB.97.205126

M. Sakamaki and K. Amemiya, Nanometer-resolution depth-resolved measurement of

Florescence-yield soft x-ray absorption spectroscopy for FeCo thin film, Rev. Sci. Instrum., 査読有, Vol. 2017, 083901-1-4
<https://doi.org/10.1063/1.4986146>

K. Ikeda, T. Seki, G. Shibata, T. Kadono, K. Ishigami, Y. Takahashi, M. Horio, S. Sakamoto, Y. Nonaka, M. Sakamaki, K. Amemiya, N. Kawamura, M. Suzuki, K. Takanashi, A. Fujimori, Magnetic anisotropy of L1₀-ordered FePt thin films studied by Fe and Pt L_{2,3}-edges x-ray magnetic circular dichroism, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol. 111, 2017, 142402-1-5
<https://doi.org/10.1063/1.4993077>

S. Sakamoto, Y. K. Wakabayashi, Y. Takeda, S.-i. Fujimori, H. Suzuki, Y. Ban, H. Yamagami, M. Tanaka, S. Ohya, and A. Fujimori, Origin of robust nanoscale ferromagnetism in Fe-doped Ge revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy and first-principles calculation, Phys. Rev. B, 査読有, Vol. 95, 2017, 5203-1-5
DOI:10.1103/PhysRevB.95.075203

M. Kobayashi, K. Yoshimatsu, T. Mitsuhashi, M. Kitamura, E. Sakai, R. Yukawa, M. Minohara, A. Fujimori, K. Horiba, and H. Kumigashira, Emergence of quantum critical behavior in metallic quantum-well states of strongly correlated oxides, Sci. Rep., 査読有, Vol. 7, 2017, 16621-1-7
DOI:10.1038/s41598-017-16666-x

M. Kitamura, K. Horiba, M. Kobayashi, E. Sakai, M. Minohara, T. Mitsuhashi, A. Fujimori, H. Fujioka, and H. Kumigashira, Spatial distribution of transferred charges across the heterointerface between perovskite transition metal oxides LaNiO₃ and LaMnO₃, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol. 108, 2016, 111603-1-5
<https://doi.org/10.1063/1.4944418>

K. Horiba, M. Kitamura, K. Yoshimatsu, M. Minohara, E. Sakai, M. Kobayashi, A. Fujimori, and H. Kumigashira, Isotropic kink and quasiparticle excitations in the three-dimensional perovskite manganite La_{0.6}Sr_{0.4}MnO₃, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 116, 2016, 076401-1-5
DOI:10.1103/PhysRevLett.116.076401

M. Sakamaki, K. Amemiya, I. Sveklo, P. Mazalski, M.O. Liedke, J. Fassbender, Z. Kurant, A. Wawro, and A. Maziewski, Formation of Co nanodisc with enhanced perpendicular magnetic anisotropy driven by Ga⁺ ion irradiation on Pt/Co/Pt films, Phys. Rev. B, 査読有, Vol. 94, 2016, 174422-1-8.
DOI:10.1103/PhysRevB.94.174422

M. Minohara, M. Kitamura, H. Wadati, H. Nakao, R. Kumai, Y. Murakami, and H. Kumigashira, Thickness-dependent physical properties of La_{1/3}Sr_{2/3}FeO₃ thin films grown on SrTiO₃ (001) and (111) substrates, J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 120, 2016, 025303-1-6
<https://doi.org/10.1063/1.4958670>

M. Kobayashi, K. Yoshimatsu, E. Sakai, M. Kitamura, K. Horiba, A. Fujimori, and H. Kumigashira, Origin of the anomalous mass renormalization in metallic quantum well states of strongly correlated oxide SrVO₃, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 115, 2015, 076801-1-5
DOI:10.1103/PhysRevLett.115.076801

K. Ishigami, K. Yoshimatsu, D. Toyota, M. Takizawa, T. Yoshida, G. Shibata, T. Harano, Y. Takahashi, T. Kadono, V. K. Verma, V. R. Singh, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, H. Yamagami, T. Koide, M. Oshima, H. Kumigashira, and A. Fujimori, Thickness-dependent magnetic properties and strain-induced orbital magnetic moment in SrRuO₃ thin films, Phys. Rev. B, 査読有, Vol. 92, 2015, 064402-1-5
DOI:10.1103/PhysRevB.92.064402

[学会発表](計 209 件)

A. Fujimori, Impurity bands and inhomogeneous magnetism in diluted ferromagnetic semiconductors, Kavli ITS Workshop on Diluted Magnetic Semiconductors: Challenges and Opportunities, 2018

組頭広志、酸化物表面・界面評価と新機能探索、第 56 回セラミックス基礎科学討論会、2018
北村未歩、堀場弘司、小林正起、坂井延寿、簀原誠人、湯川龍、志賀大亮、雨宮健太、長井拓郎、野中洋亮、芝田悟朗、藤森淳、藤岡洋、組頭広志、Origin of interfacial ferromagnetism between perovskite transition-metal oxides LaNiO₃ and LaMnO₃、第 42 回日本磁気学会学術講演会、2018

K. Amemiya and M. Suzuki-Sakamaki, Development of soft X-ray absorption spectroscopy at the Photon Factory for the operando observation of surface and interface, SpectroNanoscopy 2018 Workshop, 2018

A. Fujimori, Soft x-ray dichroism studies of magnetic anisotropies in correlated transition-metal oxides, 14-th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure (ICESS-14), 2018

M. Sakamaki, K. Amemiya, I. Sveklo, P. Mazalski, M.O. Liedke, J. Fassbender, Z. Kurant,

A. Wawro, and A. Maziewski, Origin of perpendicular magnetic anisotropy induced by Ga⁺ ion irradiation on Pt/Co/Pt films, The 5th Annual Conference of AnalytiX-2017, 2017

A. Fujimori, Magnetic anisotropy of ferromagnetic oxide thin films studied by XMCD, 4th International Workshop on Complex Oxides (Santorini 4), 2016

A. Fujimori, Electronic correlations in transition-metal oxides, New TRENDS in Correlated Oxides and Interfaces (TRENDOXIDES2015) 2015

M. Sakamaki and K. Amemiya, Role of interface oxide layer on the electric field effect in Fe/BaTiO₃ films, 22nd International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS 2015), 2015

H. Kumigashira, Observation and control of novel quantum phenomena in artificial structures of strongly correlated oxides: Materials by design using synchrotron-radiation analysis, 12th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2015), 2015

〔図書〕(計2件)

組頭広志、アグネ技術センター、放射光利用の手引き、2019年、196-206

組頭広志、講談社サイエンティフィック、X線光電子分光法、2018年、221-229

〔その他〕

ホームページ等

藤森研究室

<http://wyvern.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>

組頭研究室(東北大)

<http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/kumigashira/html/index.html>

組頭研究室(KEK)

<http://oxides.kek.jp/member.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：組頭 広志

ローマ字氏名：KUMIGASHIRA Hiroshi

所属研究機関名：東北大学

部局名：多元物質科学研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：00345092

研究分担者氏名：雨宮 健太

ローマ字氏名：AMEMIYA Kenta

所属研究機関名：高エネルギー加速器研究機構

部局名：物質構造科学研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：80313196

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。