

## 1.1 藤森研究室

藤森研究室では、角度分解光電子分光 (angle-resolved photoemission spectroscopy: ARPES), 軟 X 線磁気円二色性 (soft x-ray magnetic circular dichroism: XMCD) 測定等の放射光分光実験により、高温超伝導、スピントロニクス材料、薄膜・界面の電子状態の研究を行っている。遷移金属酸化物、遷移金属化合物、強磁性半導体、強磁性合金が示す超伝導、金属-絶縁体転移、磁気異方性、界面における新奇物性等の発現機構解明をめざしている。紫外光から X 線に至る放射光源 (KEK フォトンファクトリー, SPring-8, スタンフォード放射光, 広島大放射光, 台湾放射光), レーザー光源 (物性研), 実験室光源 (本郷) を用いて実験を行っている。

### 1.1.1 高温超伝導

銅酸化物における高温超伝導は、その発見以来 20 年余りにわたって多くの研究が積み重ねられてきたが、今だに機構解明に至らない世紀を超えた難問である。また、その後発見された鉄系高温超伝導体は、銅酸化物と多くの共通点を持つ一方で、多くの相違点も有している。我々は、これらの超伝導物質における超伝導発現機構解明と、擬ギャップ等の異常な物性の発現機構の解明を目指して、角度分解光電子分光 (ARPES) を用いて電子状態を調べている。

スピン-軌道相互作用による鉄系超伝導体の超伝導ギャップの異常

一部の鉄系高温超伝導体では、超伝導ギャップがフェルミ面の一部で閉じたノード構造を示す。とくに、3次元性が強い 122 型鉄系高温超伝導体では、3枚のホールフェルミ面のうち最も外側のフェルミ面に  $d_{z^2}$  軌道成分が混成し”水平ノード”が開きやすいことが理論的にも実験的にも報告されている。我々は、122 型超伝導体  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{As}_2$  において、2枚のホールフェルミ面に”水平ノード”が開いていることを ARPES 測定から見出した。これまで理論的に  $d_{z^2}$  軌道成分は 1 枚のフェルミ面のみに混成できるとされていたが、我々はスピン-軌道相互作用を取り入れた計算を行い、2枚のホールフェルミ面に  $d_{z^2}$  軌道成分が混成し、双方でギャップの大きさが減少することを示した。この結果は、鉄系超伝導体の超伝導にスピン-軌道相互作用が重要な役割を果たすことを示している。[11]。

鉄系超伝導体母体反強磁性体の時間分解 ARPES

近年、超伝導体におけるクーパー対や常伝導キャリアの励起-緩和ダイナミクスを、パルスレーザーによる高強度励起と時間分解 ARPES を用いて調べ

ることができるようになってきた。鉄系高温超伝導体の母体反強磁性体を Ar ガス高調波パルスレーザー (~1.5 eV) で励起し、それが緩和する様子を時間分解 ARPES を測定した。励起直後 (~0.1 ps) は反強磁性状態 (スピン密度波 (SDW) 状態) 状態が融解し、その後時定数約 ~0.6 ps で SDW 状態に緩和することが観測された [13]。

### 1.1.2 スピントロニクス, 界面

金属-絶縁体転移, 巨大磁気抵抗, スピン・電荷・軌道秩序など多彩な物性を示す遷移金属酸化物, 半導体に磁性原子をドーブした強磁性半導体, 重金属-遷移金属接合界面は、従来のエレクトロニクスにスピンの自由度を導入したスピントロニクスの材料として期待されている。これらの物質・試料における磁気異方性, 基板圧力効果を光電子分光および X 線磁気円二色性 (XMCD) 測定により調べている。とくに、元素選択的・局所的な磁性プローブである XMCD 測定を、磁場方向, 偏光方向を自由に換えられるベクトル型超伝導マグネット装置を開発して行っている。

## IV 族強磁性半導体の電子構造

従来の強磁性半導体は II-VI 族, III-V 族などの化合物半導体に磁性イオンをドーブしたものであったが、代表的な IV 族半導体 Ge に Fe をドーブすることによって室温付近の高温強磁性が発現することが最近報告された。我々は、Fe ドープ Ge の電子構造を ARPES と超格子を仮定した第一原理計算により調べた。磁性イオンのドーピングによる半導体の電子構造の変化については、代表的な Mn ドープ GaAs に関して、リジッドバンドか不純物バンドかの論争が長年にわたって続いてきたが、Fe ドープ Ge でも価電子帯頂上がフェルミ準位より数 100 meV 上方に観測され、計算でも不純物バンドが現れるなど、不純物バンド説を支持する結果が得られた [9]。

<受賞>

- [1] 坂本祥哉: 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids (PASPS9) (Kobe, August 8-11, 2016), 若手研究者最優秀ポスター賞.
- [2] 堀尾眞史: UVSOR シンポジウム 2016, 優秀ポスター賞
- [3] 坂本祥哉: 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 英語講演奨励賞
- [4] 野中洋亮: 第 17 回日韓台強相関電子系ワークショップ, 優秀ポスター賞
- [5] 堀尾眞史: 2016 年度量子ビームサイエンスフェスタ, 優秀ポスター賞
- [6] 堀尾眞史: 理学系研究奨励賞

<紹介記事>

- [7] Observation of high temperature superconductivity without effect of magnetism, *Asia Pacific Physics Newsletter (APPN)*, Vol. 5, No. 2, pp. 66-67 (2016).
- < 報文 >
- (原著論文)
- [8] B. A. Frandsen, L. Liu, S. C. Cheung, Z. Guguchia, R. Khasanov, E. Morenzoni, T. J. S. Munsie, A. M. Hallas, M. N. Wilson, Y. Cai, G. M. Luke, B. Chen, W. Li, C. Jin, C. Ding, S. Guo, F. Ning, S. J. L. Billinge, S. Sakamoto, A. Fujimori, T. Murakami, H. Kageyama, J. A. Alonso, G. Kotliar, M. Imada, and Y. J. Uemura, Volume-wise destruction of the antiferromagnetic Mott insulating state through quantum tuning, *Nat. Commun.* **7**, 12519 (2016); arXiv:1603.06971.
- [9] 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* **95**, 075203-1-5 (2017); arXiv:1605.05275.
- [10] Y. K. Wakabayashi, R. Akiyama, Y. Takeda, M. Horio, G. Shibata, S. Sakamoto, Y. Ban, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, M. Tanaka, and S. Ohya, Origin of the large positive magnetoresistance of  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  granular thin films, *Phys. Rev. B* **95**, 014417-1-6 (2017); arXiv:1606.04263.
- [11] L. Liu, K. Okazaki, T. Yoshida, H. Suzuki, M. Horio, L. C. C. Ambolode III, J. Xu, S. Ideta, M. Hashimoto, D. H. Lu, Z.-X. Shen, Y. Ota, S. Shin, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, T. Mikami, T. Kakeshita, Y. Yamakawa, H. Kontani, S. Uchida, and A. Fujimori: Unusual nodal behaviors of the superconducting gap in the iron-based superconductor  $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.65}\text{Ru}_{0.35})_2\text{As}_2$ : Effects of spin-orbit coupling, *Phys. Rev. B* **95**, 104504-1-5 (2017); arXiv:1611.04266.
- [12] Y.-J. Zhang, L. Wu, J. Ma, Q.-H. Zhang, A. Fujimori, J. Ma, Y.-H. Lin, C. -W. Nan, and N.-X. Sun: Interfacial orbital preferential occupation induced controllable uniaxial magnetic anisotropy observed in Ni/NiO(110) heterostructures, *npj Quantum Mater.* **2**, 17-1-7 (2017).
- [13] H. Suzuki, K. Okazaki, T. Yamamoto, T. Someya, M. Okada, K. Koshiishi, M. Fujisawa, T. Kanai, N. Ishii, M. Nakajima, H. Eisaki, K. Ono, H. Kumigashira, J. Itatani, A. Fujimori, and S. Shin: Ultrafast melting of spin-density-wave order in  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  observed by time- and angle-resolved photoemission spectroscopy with extreme-ultraviolet higher harmonic generation, *Phys. Rev. B* **95**, 165112-1-6 (2017); arXiv:1608.06124
- [14] K. Yano, T. Okane, Y. Takeda, H. Yamagami, A. Fujimori, K. Nishimura, and K. Sato: Element specific electronic states and spin-flip-like behavior of Ce in  $(\text{Ce}_{0.2}\text{Gd}_{0.8})\text{Ni}$  composed of heavy Fermion CeNi and ferri-magnet GdNi through XMCD method, *Physica B*, in press.
- (綜説, 解説, その他)
- [15] S.-i. Fujimori, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, A. Fujimori, H. Yamagami, E. Yamamoto, Y. Haga, Y. Onuki: Electronic structures of uranium compounds studied by soft x-ray photoelectron spectroscopy, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 062001-1-33 (2016).
- [16] T. Yoshida, M. Kobayashi, K. Yoshimatsu, H. Kumigashira, and A. Fujimori: Correlated electronic states of  $\text{SrVO}_3$  revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **208**, 11-16 (2016); arXiv:1601.01762
- [17] S.-i. Fujimori, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, A. Fujimori, H. Yamagami, E. Yamamoto, Y. Haga, Y. Onuki: Recent progress of soft X-ray photoelectron spectroscopy studies of uranium compounds, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **208**, 105-110 (2016).
- [18] 坂本祥哉, 若林勇希, 竹田幸治, 藤森伸一, 鈴木博人, 伴芳祐, 山上浩志, 田中雅明, 大矢忍, 藤森淳: 軟 X 線角度分解光電子分光による強磁性半導体  $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$  の電子構造の解明 (放射光科学合同シンポジウム学生発表賞), *放射光* **29**, No. 2, 104-105 (2016).
- [19] 藤森淳: 銅酸化物高温超伝導体に関する最近の実験の進展, *固体物理* **51**, No.11 (特集号: 超伝導の新しい潮流), 627-638 (2016).
- [20] A. Fujimori: Optically driven superconductivity, *Journal Club for Condensed Matter Physics*, <http://www.condmatjournalclub.org/?p=3000>
- (学位論文)
- [21] 堀尾眞史: Photoemission studies of new electron-doped cuprate high-temperature superconductors (博士論文)
- [22] 池田啓祐: X-ray magnetic circular dichroism study of  $L1_0$ -ordered FePt thin films (修士論文)
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [23] A. Fujimori: Magnetic anisotropy of ferromagnetic oxide thin films studied by XMCD, *4th International Workshop on Complex Oxides (Santorini 4)* (Porquerolles, France, June 13-17, 2016).
- [24] A. Fujimori, M. Horio, Y. Mori, A. Takahashi, T. Konno, T. Ohgi, H. Sato, T. Yoshida, H. Suzuki, G. Shibata, K. Okazaki, J. Xu, K. Koshiishi, D. Ootsuki, T. Mizokawa, K. Ono, M. Kobayashi,

- M. Minohara, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Anzai, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Adachi, and Y. Koike: Suppressed antiferromagnetism and enlarged superconducting phase in protect-annealed electron-doped cuprates, *International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2016)* (Ludwigsburg, June 19-24, 2016).
- [25] A. Fujimori: Competing orders/fluctuations in high-temperature superconductors revealed by ARPES, *Quantum in Complex Matter: Superconductivity, Magnetism and Ferroelectricity (SUPERSTRIPES 2016)* (Ischia, Italy, June /23-28, 2016).
- [26] A. Fujimori: Electronic structure of dilute ferromagnetic semiconductors revealed by ARPES, *14th RIEC Workshop on Spintronics* (Tohoku University, November 16-20, 2016).
- [27] A. Fujimori: Origins of magnetic anisotropy studied by angle-dependent XMCD, *Max Planck-UBC-U Tokyo Meeting on Quantum Materials* (University of Tokyo, December 5-6, 2016).
- [28] A. Fujimori: Electronic structure of dilute ferromagnetic semiconductors revealed by soft x-ray ARPES and supercell calculation, *37th REIMEI Workshop on Frontiers of Correlated Quantum Matters and Spintronics* (Tokai, January 14-16, 2017).
- [29] A. Fujimori: Electronic structure of new electron-doped and non-doped cuprate superconductors, *CEMS-QPEC Symposium on Emergent Quantum Materials* (University of Tokyo, January 16-17, 2017).
- [30] A. Fujimori: Electronic structure of the new electron-doped cuprate superconductors in bulk and thin film forms, *17th Korea-Taiwan-Japan Workshop on Strongly Correlated Electron System* (Yongpyong, Korea, February 19-24, 2017).
- 一般講演
- [31] S. Ideta, T. Yoshida, S. Ishida, K. Takashima, S. Uchida, A. Fujimori, and K. Tanaka: Observation of triple-layer splitting in high- $T_c$  cuprate  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  observed by ARPES, *International Conferences on Low-Energy Electrodynamics in Solids (LEES 2016)* (Biwako, May 29-June 3).
- [32] K. Koshiishi, L. Liu, K. Okazaki, H. Suzuki, J. Xu, M. Horio, Y. Nonaka, H. Kumigashira, K. Ono, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, S. Uchida, and A. Fujimori: Angle-resolved photoemission study of the electronic structure of  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  in the electronic “nematic” phase, *ibid.*
- [33] Y. Nonaka, G. Shibata, R. Koborinai, K. Ishigami, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, T. Koide, A. Tanaka, T. Katsufuji, and A. Fujimori: X-ray magnetic circular dichroism and cluster-model analysis of the spinel-type vanadate  $\text{CoV}_2\text{O}_4$ , *International Symposium on New Horizons in Condensed Matter Physics* (University of Tokyo, June 18-19, 2016).
- [34] K. Koshiishi, L. Liu, K. Okazaki, H. Suzuki, J. Xu, M. Horio, Y. Nonaka, H. Kumigashira, K. Ono, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, S. Uchida and A. Fujimori: Angle-resolved photoemission study of the electronic structure in the electronic “nematic” phase of  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ , *ibid.*
- [35] M. Horio, Y. Krockenberger, K. Yamamoto, Y. Yokoyama, K. Takubo, Y. Hirata, S. Shin, A. Yasui, E. Ikenaga, H. Yamamoto, H. Wadati, and A. Fujimori: Electronic structure of superconducting parent compound of  $T'$ -cuprate superconductors  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$  studied by hard x-ray photoemission and soft x-ray absorption spectroscopies, *ibid.*
- [36] H. Suzuki, K. Okazaki, T. Yamamoto, T. Someya, M. Okada, K. Koshiishi, M. Fujisawa, T. Kanai, N. Ishii, M. Nakajima, H. Eisaki, K. Ono, H. Kumigashira, J. Itatani, A. Fujimori, and S. Shin: Coherent phonons and transient electronic states in  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  observed by time- and angle-resolved photoemission spectroscopy using extreme-ultraviolet higher harmonic generation *International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2016)* (Ludwigsburg, June 19-24, 2016).
- [37] T. Yoshida, D. Shimonaka, A. Fujimori, H. Kumigashira, K. Ono, S. Komiyama, and Y. Ando: Momentum dependence of the self-energy in high- $T_c$  cuprates revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy, *ibid.*
- [38] Y. Krockenberger, M. Horio, Y. Yokoyama, K. Yamamoto, K. Takubo, Y. Hirata, S. Shin, A. Yasui, E. Ikenaga, H. Wadati, A. Fujimori, and H. Yamamoto: HXPES of superconducting and non-superconducting  $\text{Nd}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ , *Gordon Research Conference “New Kinds of Electronic Order in Quantum Materials”* (Mount Holyoke College, USA, June 26-July 1, 2016).
- [39] K. Horiba, M. Kitamura, K. Yoshimatsu, M. Minohara, E. Sakai, M. Kobayashi, A. Fujimori, and H. Kumigashira: Isotropic kink in  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$  thin films studied by in situ angle-resolved photoemission spectroscopy, *39th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX2016)* (Paul Scherrer Institut, July 3-8, 2016).
- [40] M. Kitamura, K. Horiba, M. Kobayashi, E. Sakai, M. Minohara, T. Mitsunashi, A. Fujimori, T. Nagai, H. Fujioka, and H. Kumigashira: Charge transfer phenomena across the heterointerface between perovskite oxides  $\text{LaNiO}_3$  and  $\text{LaMnO}_3$ , *ibid.*

- [41] S. Sakamoto, Y. K. Wakabayashi, Y. Takeda, S.-i. Fujimori, H. Suzuki, Y. Ban, H. Yamagami, M. Tanaka, S. Ohya, and A. Fujimori: Electronic structure of the ferromagnetic semiconductor  $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x$  revealed by soft x-ray angle-resolved photoemission spectroscopy, *9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids* (Kobe, August 8-11, 2016).
- [42] Y. K. Wakabayashi, R. Akiyama, Y. Takeda, M. Horio, G. Shibata, S. Sakamoto, Y. Ban, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, M. Tanaka, and S. Ohya: Origin of the large positive magnetoresistance in  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  granular films, *ibid.*
- [43] G. Shibata, M. Kitamura, M. Minohara, K. Yoshimatsu, T. Kadono, K. Ishigami, T. Harano, Y. Takahashi, S. Sakamoto, Y. Nonaka, K. Ikeda, Z. Chi, J.-i. Fujihira, A. Uchida, K. Watanabe, H. Fujihira, S. Fujihira, M. Furuse, S. Fuchino, M. Okano, H. Kumigashira, T. Koide, and A. Fujimori: Anisotropy of spin-density distribution in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  thin films: Angle-dependent XMCD study, *DMREF-FCMP Symposium on Mott Transitions and Computational Approaches* (University of Tokyo, January 17, 2017)
- [44] M. Horio, K. Koshiishi, S. Nakata, K. Hagiwara, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, Y. Krockenberger, H. Irie, H. Yamamoto, and A. Fujimori: ARPES on the superconducting parent compound of the electron-doped cuprate superconductors  $\text{Pr}_2\text{CuO}_4$ , *ibid.*
- [45] Y. Nonaka, C. F. Chang, G. Shibata, X. Liu, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, A. Tanaka, M. Sakamaki, K. Amemiya, L. H. Tjeng, and A. Fujimori: Angle-dependent XMCD study of magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *ibid.*
- [46] K. Koshiishi, L. Liu, K. Okazaki, H. Suzuki, J. Xu, M. Horio, Y. Nonaka, H. Kumigashira, K. Ono, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, S. Uchida, and A. Fujimori: The electronic structure of  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  in the electronic "nematic" phase revealed by angle-resolved photoemission, *ibid.*
- [47] K. Ikeda, G. Shibata, T. Seki, K. Ishigami, S. Sakamoto, Y. Nonaka, M. Sakamaki, K. Amemiya, N. Kawamura, M. Suzuki, K. Takanashi, and A. Fujimori: Magnetic moment anisotropies of L1<sub>0</sub>-ordered FePt films studied by x-ray magnetic circular dichroism, *ibid.*
- [48] K. Hagiwara, M. Horio, K. Koshiishi, S. Nakata, M. Ishikado, S. Ishida, H. Eisaki, S. Shamoto, S. Ideta, K. Tanaka, K. Ono, H. Kumigashira, T. Yoshida, A. Fujimori: Energy gap of the superconducting  $\text{PrFeAsO}_{1-y}$  studied by ARPES, *ibid.*
- [49] S. Nakata, M. Horio, K. Koshiishi, K. Hagiwara, H. Kumigashira, K. Ono, D. Song, Y. Yoshida, H. Eisaki, and A. Fujimori: Search for a nematic state in the cuprate superconductor  $\text{Bi2212}$  by angle-resolved photoemission spectroscopy, *ibid.*
- [50] Z. Chi, G. Shibata, R. Kawabe, Y. Takeda, S. Sakamoto, Y. Nonaka, K. Ikeda, Y. K. Wakabayashi, R. Nakane, H. Hojo, M. Azuma, and A. Fujimori: Origin of enhanced magnetization in cobalt-substituted bismuth ferrite studied by x-ray magnetic circular dichroism, *ibid.*
- [51] M. Horio, K. Koshiishi, S. Nakata, K. Hagiwara, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, Y. Krockenberger, H. Irie, H. Yamamoto, and A. Fujimori: ARPES on the superconducting parent compound of the electron-doped cuprate superconductors  $\text{Pr}_2\text{CuO}_4$ , *CEMS-QPEC Symposium on Emergent Quantum Materials* (University of Tokyo, January 16-17, 2017).
- [52] Y. Nonaka, C. F. Chang, G. Shibata, X. Liu, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, A. Tanaka, M. Sakamaki, K. Amemiya, L. H. Tjeng, and A. Fujimori: Angle-dependent XMCD study of magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , *ibid.*
- [53] K. Koshiishi, L. Liu, K. Okazaki, H. Suzuki, J. Xu, M. Horio, Y. Nonaka, H. Kumigashira, K. Ono, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, S. Uchida, and A. Fujimori: The electronic structure of  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  in the electronic "nematic" phase revealed by angle-resolved photoemission, *ibid.*
- [54] K. Hagiwara, M. Horio, K. Koshiishi, S. Nakata, M. Ishikado, S. Ishida, H. Eisaki, S. Shamoto, S. Ideta, K. Tanaka, K. Ono, H. Kumigashira, T. Yoshida, A. Fujimori: Energy gap of the superconducting  $\text{PrFeAsO}_{1-y}$  studied by ARPES, *ibid.*
- [55] Z. Chi, G. Shibata, R. Kawabe, Y. Takeda, S. Sakamoto, Y. Nonaka, K. Ikeda, Y. K. Wakabayashi, R. Nakane, H. Hojo, M. Azuma, and A. Fujimori: Origin of enhanced magnetization in cobalt-substituted bismuth ferrite studied by x-ray magnetic circular dichroism, *ibid.*
- [56] Y. Nonaka, C. F. Chang, G. Shibata, X. Liu, S. Sakamoto, K. Ikeda, Z. Chi, A. Tanaka, M. Sakamaki, K. Amemiya, L. H. Tjeng, and A. Fujimori: Search for complex orbital order in magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  by magnetic-field-direction dependent XAS and XMCD measurements, *17th Korea-Taiwan-Japan Workshop on Strongly Correlated Electron System* (Yongpyong, Korea, February 19-24, 2017).

(国内会議)

招待講演

- [57] 堀尾真史：光電子分光から見た電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体におけるアニール効果，高温超伝導フォーラム第4回会合（金沢，2016年9月12日）
- [58] 芝田悟朗：共鳴軟X線散乱によるMn酸化物薄膜の界面電子状態の研究，日本物理学会秋季大会 シンポ

- ジウム「遷移金属酸化物表面・界面の新しい電子状態とその分光手法による解明」(金沢, 2016年9月14日)
- [59] 藤森淳: 鉄系超伝導体の超伝導ギャップ異方性, 基研研究会「超伝導研究の最先端: 多自由度, 非平衡, 電子相関, トポロジ」(京大基研 2016年10月10-12日)
- 一般講演
- [60] 堀尾眞史, 輿石佳佑, 鈴木博人, 徐健, 野中洋亮, 扇太郎, 今野巧也, 高橋晶, 佐藤秀孝, 橋本信, D. Lu, Z.-X. Shen, 足立匡, 小池洋二, 藤森淳:  $T'$  型銅酸化物高温超伝導体  $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  アンダードープ試料の角度分解光電子分光, 日本物理学会秋季大会(金沢, 2016年9月13-16日)
- [61] 野中洋亮, 芝田悟朗, 小堀内類, 鈴木博人, 徐健, 堀尾眞史, 輿石佳佑, 小林正起, 堀場弘司, 組頭広志, 田中新, T. Saha-Dasgupta, 勝藤拓郎, 藤森淳: スピネル型バナジウム酸化物  $\text{CoV}_2\text{O}_4$  の共鳴光電子分光, 同上.
- [62] 萩原健太, 堀尾眞史, 輿石佳佑, 中田勝, 石角元志, 石田茂之, 永崎洋, 社本真一, 藤森淳: 角度分解光電子分光による  $\text{PrFeAsO}_{1-y}$  の超伝導ギャップ測定, 同上.
- [63] 輿石佳佑, 小林達也, 堀尾眞史, 野中洋亮, 橋本信, D. Lu, Z.-X. Shen, 宮坂茂樹, 田島節子, 藤森淳: 鉄系超伝導体類似反強磁性体  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{As}_2$  の角度分解光電子分光, 同上.
- [64] 岡崎浩三, 劉亮, 吉田鉄平, 鈴木博人, 堀尾眞史, L. C. C. Ambolode IIA, 徐健 A, 出田真一郎, 橋本信, D. Lu, Z.-X. Shen, 大田由一, 辛埴, 中島正道, 石田茂之, 木方邦宏, 李哲虎, 伊豫彰, 永崎洋, 三上拓也, 掛下照久, 内田慎一, 藤森淳, 山川洋一, 紺谷浩:  $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.65}\text{Ru}_{0.35})_2\text{As}_2$  における超伝導ギャップの  $k_z$  依存性とスピン軌道相互作用, 同上.
- [65] 岡崎浩三, 鈴木博人, 山本貴士, 染谷隆史, 岡田大, 小川優, 中島正道, 永崎洋, 藤澤正美, 金井輝人, 石井順久, 板谷治郎, 藤森淳, 辛埴: 高次高調波時間分解光電子分光による鉄系超伝導体母物質  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  におけるコヒーレントフォノン励起の観測, 同上.
- [66] 北村未歩, 堀場弘司, 小林正起, 坂井延寿, 簀原誠人, 湯川龍, 三橋太一, 雨宮健太, 藤森淳, 藤岡洋, 組頭広志, 野中洋亮, 芝田悟朗: ペロブスカイト酸化物  $\text{LaNiO}_3/\text{LaMnO}_3$  ヘテロ界面における界面強磁性の発現, 同上.
- [67] 山本航平, 田久保耕, 堀尾眞史, 横山優一, 山本真吾, 久保田雄也, 松田巖, 平田靖透, 関剛斎, 池永英司, 高梨弘毅, 藤森淳, 尾崎泰助, 和達大樹: 垂直磁化膜  $\text{Fe}(\text{Pt}, \text{Pd})$  の硬 X 線光電子分光と軟 X 線磁気円二色性, 同上.
- [68] 藤森伸一, 小島雅明, 竹田幸治, 岡根哲夫, 斎藤祐児, 藤森淳, 山上浩志, 芳賀芳範, 山本悦嗣, 大貫惇睦: ARPES による  $5f$  電子状態の圧力効果, 同上.
- [69] 出田真一郎, 吉田鉄平, 藤森淳, 石田茂之, 高島憲一, 内田慎一, 田中清尚: 角度分解光電子分光による三層系銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}2223$  の三重層分裂の観測, 同上.
- [70] 山本航平, 平田靖透, 堀尾眞史, 横山優一, 田久保耕, 簀原誠人, 組頭広志, 山崎裕一, 中尾裕則, 村上洋一, 藤森淳, 和達大樹: 軟・硬 X 線で見た  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  薄膜の電荷・磁気秩序の膜厚依存性, 同上.
- [71] S. Sakamoto, N. T. Tu, Y. Takeda, S.-i. Fujimori, P. N. Hai, L. D. Anh, Y. K. Wakabayashi, G. Shibata, M. Horio, K. Ikeda, Y. Saitoh, H. Yamagami, M. Tanaka, and A. Fujimori: Electronic structure of the  $p$ -type ferromagnetic semiconductor  $(\text{Ga}, \text{Fe})\text{Sb}$ , 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会(新潟, 2016年9月13-16日)
- [72] 池田啓祐, 芝田悟朗, 関剛斎, 石上啓介, 堀尾眞史, 坂本祥哉, 野中洋亮, 河村直己, 鈴木基寛, 高梨弘毅, 藤森淳: Pt  $L_{2,3}$  端 XMCD により観測した  $\text{Ll}_0$  秩序型  $\text{FePt}$  薄膜の磁気モーメントの異方性, 同上.
- [73] Y. K. Wakabayashi, R. Akiyama, Y. Takeda, M. Horio, G. Shibata, S. Sakamoto, Y. Ban, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, M. Tanaka, and S. Ohya: Origin of the large magnetoresistance in  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  granular thin films, 同上.
- [74] 出田真一郎, 吉田鉄平, 藤森淳, 石田茂之, 高島憲一, 内田慎一, 田中清尚: 角度分解光電子分光による三層系銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}2223$  の三重層分裂の観測, 第 30 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(神戸, 2017年1月7-9日)
- [75] 北村未歩, 堀場弘司, 小林正起, 坂井延寿, 簀原誠人, 湯川龍, 三橋太一, 雨宮健太, 野中洋亮, 芝田悟朗, 藤森淳, 藤岡洋, 組頭広志: ペロブスカイト酸化物  $\text{LaNiO}_3/\text{LaMnO}_3$  ヘテロ構造における界面強磁性の起源解明, 同上.
- [76] 堀尾眞史, 岡崎浩三, 竹田幸治, 鈴木博人, 徐健, 輿石佳佑, 石上啓介, 芝田悟朗, 高橋文雄, 若林勇希, 坂本祥哉, 野中洋亮, 池田啓祐, 小林正起, 堀場弘司, 組頭広志, 小野寛太, 小出常晴, 斎藤祐児, 山上浩志, 藤森伸一, 並木宏允, 片桐隆雄, 笹川崇男, 藤森淳: ARPES と XMCD で調べる  $\text{Sr}_2\text{VFeAsO}_3\text{-d}$  における強磁性と超伝導の共存, 第 8 回低温センター研究交流会(東大, 2017年2月23日)
- [77] 芝田悟朗, 北村未歩, 簀原誠人, 吉松公平, 門野利治, 石上啓介, 原野貴幸, 高橋文雄, 坂本祥哉, 野中洋亮, 池田啓祐, 池震棟, 古瀬充穂, 淵野修一郎, 岡野眞, 藤平潤一, 内田公, 渡邊和訓, 藤平秀幸, 藤平誠一, 組頭広志, 小出常晴, 藤森淳: 角度依存 X 線磁気円二色性による  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  薄膜の磁気異方性と電子分布異方性の観測, 同上.
- [78] 輿石佳佑, 大塚匠, 堀尾眞史, 中田勝, 萩原健太, C. Lin, Y. Wan, 組頭広志, 小野寛太, 渡辺孝夫, 藤森淳: Te アニールした低 Se ドープ 11 型鉄系超伝導体  $\text{FeTe}_{1-x}\text{Se}_x$  の角度分解光電子分光, 同上.
- [79] 若林勇希, 秋山了太, 竹田幸治, 堀尾眞史, 芝田悟朗, 坂本祥哉, 伴芳祐, 斎藤祐児, 山上浩志, 藤森淳, 田中雅明, 大矢忍: Origin of the large magnetoresistance in  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$  granular thin films, 同上.
- [80] 堀尾眞史, Y. Krockenberger, 山本航平, 横山優一, 田久保耕, 平田靖透, 坂本祥哉, 輿石佳佑, 保井晃, 池永英司, 辛埴, 山本秀樹, 和達大樹, 藤森淳: 硬 X 線光電

- 子分光と軟 X 線吸収分光で調べる銅酸化物母物質超伝導体  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$  薄膜の電子構造, ISSP-Workshop 「SPRING-8 BL07LSU が照らした物質機能の起源」(物性研, 2017 年 3 月 8 日)
- [81] 山本航平, 平田靖透, 堀尾眞史, 横山優一, 田久保耕, 簀原誠人, 組頭広志, 山崎裕一, 中尾裕則, 村上洋一, 藤森淳, 和達大樹: 硬・軟 X 線回折でみる  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  薄膜の電荷・磁気秩序の膜厚依存性, 同上.
- [82] 堀尾眞史, 輿石佳佑, 中田勝, 萩原健太, 小林正起, 堀場弘司, 組頭広志, Y. Krockenberger, 入江宏, 山本秀樹, 藤森淳:  $T'$  型銅酸化物母物質超伝導体  $\text{Pr}_2\text{CuO}_4$  薄膜の角度分解光電子分光, 2016 年度 量子ビームサイエンスフェスタ(つくば, 2017 年 3 月 14-15 日)
- [83] 輿石佳佑, 小林達也, 堀尾眞史, 鈴木博人, 徐健, 芝田悟朗, 石上啓介, 野中洋亮, 立石廉晟, 小林正起, 堀場弘司, 三橋太一, 組頭広志, 橋本信, D. Lu, Z.-X. Shen, 宮坂茂樹, 田島節子, 藤森淳: 光電子分光を用いた鉄系超伝導体類似反強磁性体  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{As}_2$  の電子状態の観測, 同上.
- [84] 野中洋亮, C. F. Chang, 芝田悟朗, X. H. Liu, 坂本祥哉, 池田啓祐, 池震棟, 田中新, 酒巻真粧子, 雨宮健太, L. H. Tjeng, 藤森淳: 角度依存 XMCD の精密測定で探る  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の複素軌道秩序, 同上.
- [85] 萩原健太, 堀尾眞史, 輿石佳佑, 中田勝, 石角元志, 石田茂之, 永崎洋, 社本真一, 出田真一郎, 田中清尚, 小野寛太, 組頭広志, 吉田鉄平, 藤森淳: 角度分解光電子分光で観測した  $\text{PrFeAsO}_{1-y}$  の超伝導ギャップ, 同上.
- [86] 中田勝, 堀尾眞史, 輿石佳佑, 萩原健太, 組頭広志, 小野寛太, D. Song, 吉田良行, 永崎洋, 藤森淳: 電子ネマティック状態における銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}2212$  の角度分解型光電子分光, 同上.
- [87] 小林正起, 吉松公平, 三橋太一, 北村未歩, 坂井延寿, 湯川龍, 簀原誠人, 藤森淳, 堀場弘司, 組頭広志: 強相関金属酸化物  $\text{SrVO}_3$  量子井戸における金属-絶縁体転移近傍のフェルミ液体破綻, 同上.
- [88] 池田啓祐, 芝田悟朗, 関剛斎, 石上啓介, 堀尾眞史, 坂本祥哉, 野中洋亮, 酒巻真粧子, 雨宮健太, 河村直己, 鈴木基寛, 高梨弘毅, 藤森淳: X 線磁気円二色性による  $\text{L}_{10}$  秩序型  $\text{FePt}$  薄膜の磁気異方性の研究, 第 64 回応用物理学会秋季学術講演会(横浜, 2017 年 3 月 14-17 日)
- [89] 芝田悟朗, 北村未歩, 簀原誠人, 坂本祥哉, 野中洋亮, 池田啓祐, 池震棟, 組頭広志, 小出常晴, 藤森淳:  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  薄膜のスピン分布異方性の基板応力効果: 角度依存 XMCD による研究, 日本物理学会第 72 回年次大会(阪大豊中, 2017 年 3 月 17-20 日)
- [90] 堀尾眞史, 輿石佳佑, 中田勝, 萩原健太, 小林正起, 堀場弘司, 組頭広志, Y. Krockenberger, 入江宏, 山本秀樹, 藤森淳:  $T'$  型銅酸化物母物質超伝導体  $\text{Pr}_2\text{CuO}_4$  薄膜の角度分解光電子分光, 同上.
- [91] 野中洋亮, C. F. Chang, 芝田悟朗, X. Liu, 坂本祥哉, 池田啓祐, 池震棟, 田中新, 酒巻真粧子, 雨宮健太, L. H. Tjeng, 藤森淳: ステップ基板上に作製したマグネタイト  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の磁場方向依存 XAS, XMCD の温度変化, 同上.
- [92] 中田勝, 堀尾眞史, 輿石佳佑, 萩原健太, 組頭広志, 小野寛太, D. Song, 吉田良行, 永崎洋, 藤森淳: 角度分解型光電子分光による銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}2212$  の電子ネマティック状態の探索, 同上.
- [93] Z. Chi, G. Shibata, S. Sakamoto, Y. Nonaka, K. Ikeda, M. Sakamaki, K. Amemiya, M. Hayashi, A. Fujimori: Orbital moment anisotropy in Co-heavy metal heterostructures studied by x-ray magnetic circular dichroism, 同上.
- [94] 下中大也, 山脇一真, 川本雅人, 小寺健二郎, 柴田大輔, 大槻太毅, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, 出田真一郎, 田中清尚, 笹川崇男, 藤森淳, 吉田鉄平 最適ドープ  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  の自己エネルギー解析, 同上.
- [95] 大槻太毅, 山本紳太郎, 下中大也, 柴田大輔, 小寺健二郎, 大川万里生, 齋藤智彦, 堀尾眞史, 藤森淳, 組頭広志, 小野寛太, 池永英司, 宮坂茂樹, 田島節子, 吉田鉄平: 光電子分光による  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{VO}_3$  の金属絶縁体転移近傍における擬ギャップ構造の観測, 同上.

#### セミナー他

- [96] 藤森淳: 放射光 X 線分光による強磁性材料の研究(新日鐵住金 先端技術研究所, 2016 年 12 月 14 日).

# 1 Fujimori Group

**Research Subjects:** Spectroscopy of Strongly Correlated Systems

**Member:** Atsushi Fujimori and Goro Shibata

We study the electronic structure of superconductors and spintronics materials by high-energy spectroscopic techniques such as angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) and soft x-ray magnetic circular dichroism (XMCD) using synchrotron radiation. We investigate the mechanisms of high-temperature superconductivity [1], metal-insulator transitions [2], giant magnetoresistance, and spin/charge/orbital ordering in strongly correlated systems such as transition-metal compounds, ferromagnetic semiconductors [3], and their interfaces.

[1] L. Liu, K. Okazaki, T. Yoshida, H. Suzuki, M. Horio, L. C. C. Ambolode III, J. Xu, S. Ideta, M. Hashimoto, D. H. Lu, Z.-X. Shen, Y. Ota, S. Shin, M. Nakajima, S. Ishida, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, T. Mikami, T. Kakeshita, Y. Yamakawa, H. Kontani, S. Uchida, and A. Fujimori: Unusual nodal behaviors of the superconducting gap in the iron-based superconductor  $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.65}\text{Ru}_{0.35})_2\text{As}_2$ : Effects of spin-orbit coupling, *Phys. Rev. B* **95**, 104504–1-5 (2017).

[2] B. A. Frandsen, L. Liu, S. C. Cheung, Z. Guguchia, R. Khasanov, E. Morenzoni, T. J. S. Munsie, A. M. Hallas, M. N. Wilson, Y. Cai, G. M. Luke, B. Chen, W. Li, C. Jin, C. Ding, S. Guo, F. Ning, S. J. L. Billinge, S. Sakamoto, A. Fujimori, T. Murakami, H. Kageyama, J. A. Alonso, G. Kotliar, M. Imada, and Y. J. Uemura, Volume-wise destruction of the antiferromagnetic Mott insulating state through quantum tuning, *Nat. Commun.* **7**, 12519 (2016).

[3] 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* **95**, 075203–1-5 (2017).