

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03676

研究課題名(和文) 電子構造の完全理解のための角度分解逆光電子分光の高分解能化と物質科学への応用

研究課題名(英文) Development of high-resolution inverse angle-resolved photoelectron spectroscopy and application to materials science

研究代表者

木村 真一 (KIMURA, Shin-ichi)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：10252800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：電子構造を調べることは、物性の起源を理解する上で極めて重要な方法である。電子が占有されているフェルミ準位以下の状態は、角度分解光電子分光(ARPES)でエネルギー準位だけではなく運動量とエネルギーの関係まで、高い分解能で観測できる。一方で、電子非占有状態は、逆光電子分光が古くから行われてきたが、分解能が悪いため、光電子分光と比較することは不可能であった。そこで本研究では、高輝度電子源を物性実験用に初めて開発し、X線CCDを用いた真空紫外分光計を組み合わせた高分解能逆光電子分光装置の開発を試みた。

研究成果の概要(英文)：To investigate electronic structure of materials is important for understanding the physical properties. The electronic state below the Fermi level can be observed with high energy resolution and momentum dispersion curve by angle-resolved photoelectron spectroscopy (ARPES). The state above the Fermi level, on the other hand, can be detected by angle-resolved inverse photoelectron spectroscopy (ARiPES), but with low energy resolution. Here, we developed a new-type ARiPES instrument with a high brilliant electron source, which was firstly installed for solid-state physics, and a vacuum-ultraviolet spectrometer with a X-ray CCD.

研究分野：物性物理学

キーワード：逆光電子分光 強相関電子系

1. 研究開始当初の背景

高温超伝導や巨大磁気抵抗、重い電子状態を示す物質など、一電子近似であるバンド理論では説明がつかない新しい機能性・物性をもった固体、いわゆる強相関電子系の物質開発が盛んに行われている。その物性の起源は、電子・電子間、電子・格子間などの多体相互作用が重要な役割を果たしている。そのため、物性の理解のために、多体相互作用が明確に現れる電子構造を実験的に決定することが重要である。電子構造をバンド分散まで直接決定できる強力な唯一の手法として、角度分解光電子分光 (Angle-resolved photoelectron spectroscopy; ARPES) がある。ARPES は、高い分解能 (エネルギー分解能: 1meV 以下~数 10meV, 角度分解能: 0.3° 以下) を持ち、かつ、スピン分解測定も可能になりつつあり、スピン情報を含めた電子構造を詳細に解明することが可能になってきた。しかしながら、ARPES は電子占有状態 (フェルミ準位以下) の情報しか得られないという最大の欠点がある。そのため、ARPES と同程度の分解能を有して電子「非」占有状態を観測する方法が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究開発では、現在使われている角度分解「逆」光電子分光 (Angle-resolved inverse photoelectron spectroscopy; ARiPES) の性能 (エネルギー分解能 0.2eV, 角度分解能 1.5°) をはるかに凌駕し、標準的な角度分解光電子分光 (ARPES) に遜色ない高い分解能 (エネルギー分解能 100 meV 以下, 角度分解能 1° 以下) を持つ ARiPES を開発し、強相関電子系などの固体の電子構造の研究に資することが最終的な目的である。そこに至るために、研究期間内の実施目標は、研究代表者の新しいアイデアに基づく ARiPES の方法論を実証するための各要素を開発することである。具体的には、大型線形加速器 ILC やエネルギー回収型ライナック ERL に用いるために開発されている GaAs/GaAsP ひずみ超格子フォトカソード高輝度電子源を物性実験に用いやすいように小型化したものを設計・開発し、既存の真空紫外発光検出用の分光装置それぞれについて、性能評価を実施し、ARiPES が可能かどうかの検証を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

高分解能 ARiPES の要素開発のために、以下の内容を行った。

(1) GaAs/GaAsP フォトカソード高輝度電子源の設計・製作: 真空機器開発会社とともに、小型化の設計を行い、試作した。また、小型のフォトカソード活性化装置を開発し、その性能試験を行った。さらに、電子線の収束やステアリングを行うためのアインツェルレンズと 2 段の 4 極ディフレクタを開発し、設置し、性能評価および動作確認を行った。

(2) 真空紫外分光計の性能評価: ARiPES に用いる真空紫外分光計は、瀬谷波岡型真空紫

外分光器 (焦点距離 200 mm) に X 線 CCD 検出器 (素子数 1024×255) を取り付けたものである。この真空紫外分光計の波長校正と分解能の評価を、自然科学研究機構・分子科学研究所・シンクロtron光施設 UVSOR で行った。分解能を上げて単色化した真空紫外光を、この真空紫外分光計に入射し、検出器での光の位置および分解能を評価した。

4. 研究成果

上記の計画した研究から下記の成果を得た。

(1) 小型高輝度電子源の設計・建設: 図 1 は、今回建設した高輝度電子源であり、励起用の赤外レーザーの導入部を含めても 500×300 mm² の大きさであった。この大きさは、加速器用の電子源の大きさ (約 2×2 m²) に比べて約 1/30 であり、当初の目標である、物性実験用の小型高輝度電子源が開発できた。

(2) 小型フォトカソード活性化装置の開発: GaAs/GaAsP ひずみ超格子のフォトカソード

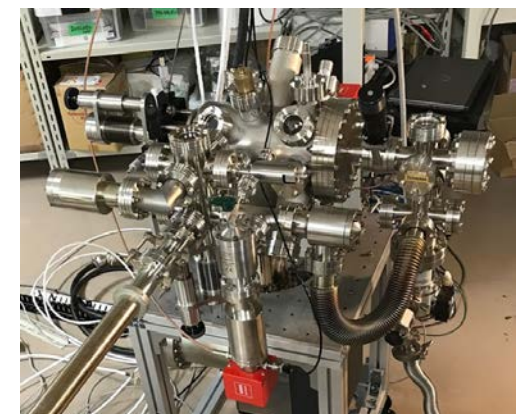
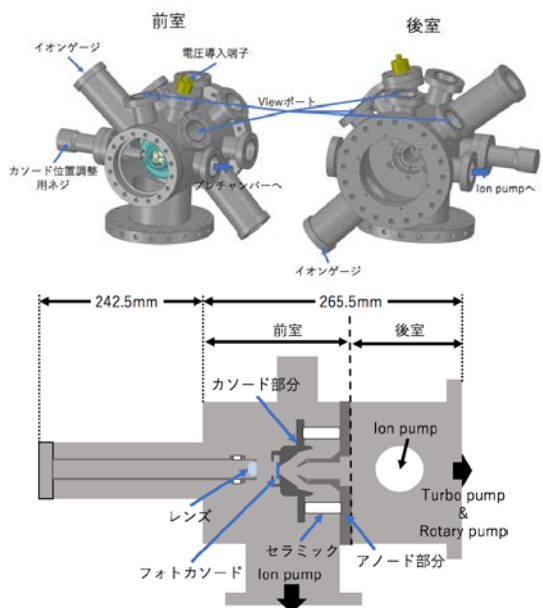


図1. 小型高輝度電子源の装置の概念図。上図は 3 次元図で、中図は光軸を含む垂直面でカットした図であり、大きさは約 500×500 mm² である。下図は、実際に立ち上げた高輝度電子源の全体の写真。

の活性化のためには、①基板の加熱洗浄 (500~550 °C)、②金属セシウム (Cs) 蒸着および③酸素導入が必要であり、活性化ができていないかどうかのモニターのための④光電流測定を行う必要がある。これらを簡便にできるだけ小型化した装置の開発を行った。図2は開発したフォトカソード活性化装置であり、①~④を直径70mmの真空容器内ですべて行えるように工夫した。この装置を用いて、p-GaAs 基板上に負の電子親和力 (Negative electron affinity: NEA) を持った表面が作れるかどうか調査した。NEA 表面は、p-GaAs(001) 清浄表面上に金属 Cs を蒸着することで得られる。そして、酸素を周期的に導入する (Yo-Yo 法) ことにより、光電子放出の量子

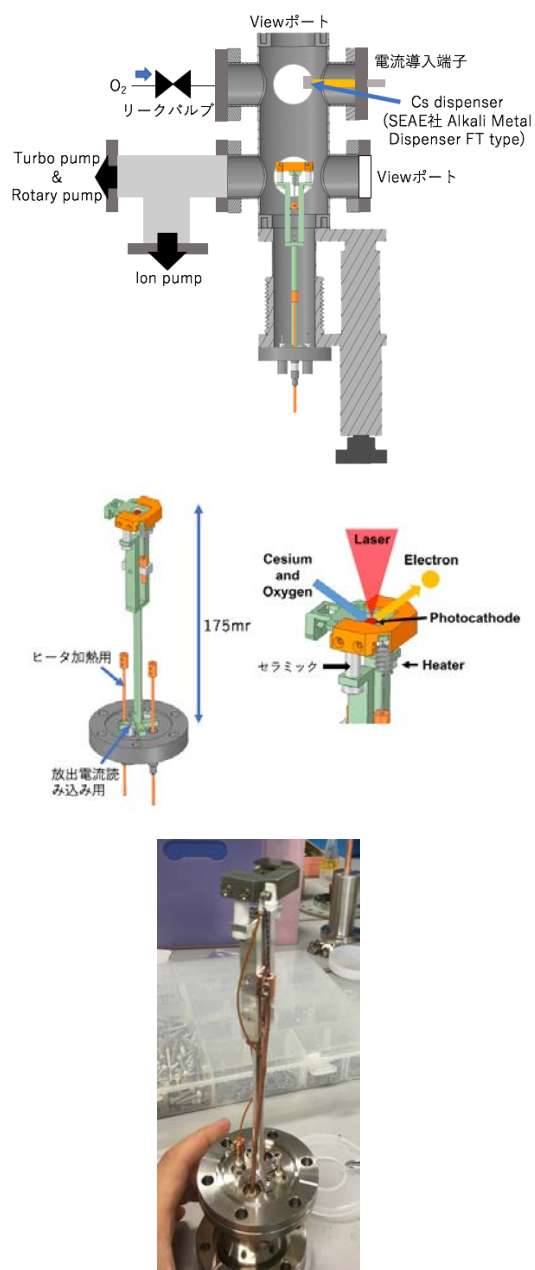


図2. フォトカソード活性化装置の概念図。上図は断面図で、全体の配置を表し、中図はフォトカソードを加熱洗浄処理する部分の拡大図である。下図は、実際に立ち上げたフォトカソードステージの写真。

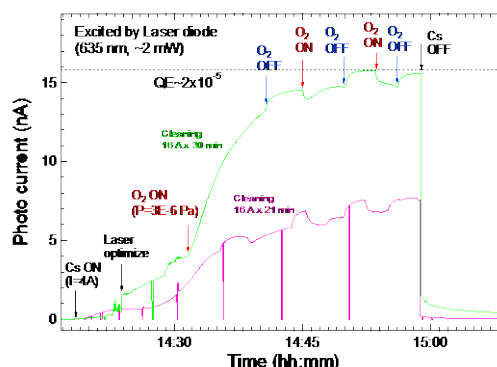


図3. p-GaAs 基板を用いた NEA 表面作成の評価。加熱清浄化した基板に、Cs を連続的に蒸着し、酸素の導入 (ON) と停止 (OFF) を繰り返しながら、波長 635nm、平均パワー約 2mW のレーザー光を当てた場合の光電流の測定結果であり、電子を引き出すために電圧を印加しなくても、量子効率 (QE) は最大で約 2×10^{-5} であり、NEA 表面が作成できたものを判断できる。2つのグラフは基板の加熱清浄化条件を変えた測定である。

効率を上げることができる。この現象を観測し、NEA 表面が作成できていることを確認した (図3)。この図は波長 635 nm (1.95 eV) のレーザーを用いているが、波長 785 nm (1.58 eV) でも電子の放出を観測できた。GaAs/GaAsP のエネルギーギャップの大きさは約 1.53 eV であるため、50 meV 幅の電子が出てくるものと考えられる。この確認は、今後行っていく予定である。

(3) 真空紫外分光系の評価: 単色化したシンクロトロン光を使って真空紫外分光計の評価を行い、X線 CCD の中心波長と各ピクセルの波長の関係 (0.043 nm/pixel) 及び分解能の情報が得られた。図4に、入射スリット幅 0.4 mm、中心波長を 60 nm (~20 eV)、入射光の波長を 50 nm (~25 eV) にした場合の CCD の強度分布を示す。この図から半値半幅は 3 pixel であり、その場合のエネルギー幅は、120 meV に相当する。入射したシンクロトロン光の幅は約 50 meV なので、真空

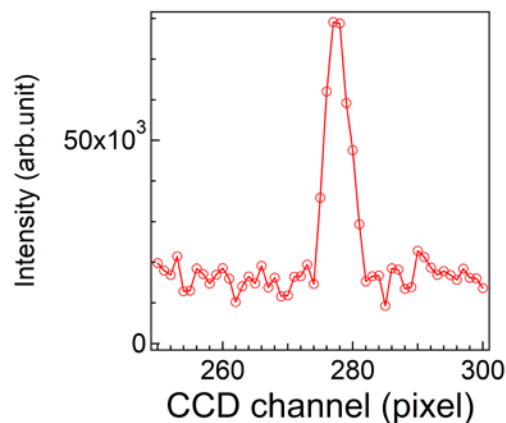


図4. 中心波長 (pixel no. 512) 60 nm で 50 nm の真空紫外光 ($\Delta E = 50$ meV) を入射したときの X線 CCD 上の強度分布。

紫外分光系の分解能としては、約 110 meV であることがわかった。ただし、この分解能では、目標の全分解能 100 meV 以下は達成できないため、回折格子を刻線密度が高いものに交換する、スリットを狭めるなどして分解能を上げる工夫が必要であることがわかった。

(4)ARIPES の構築:(1)~(3)で、ARiPES を行うための電子源と真空紫外分光計の立ち上げ調整は完了した。本研究課題は、これらを組み合わせて ARIPES の実証実験を行うことであったが、試料に電子を導くための電子レンズ系の導入が最終年度になってしまったため、研究期間終了までに、実証実験には至らなかった。しかしながら、現在、その実証実験を継続中であり、近いうちの結果が得られるものと思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 26 件)

1. Y.-I. Seo, W.-J. Choi, D. Ahmad, S. Kimura, Y. S. Kwon, "Temperature dependence of superconducting energy gaps in $\text{Ca}_{9.35}\text{La}_{0.65}(\text{Pt}_3\text{As}_8)(\text{Fe}_2\text{As}_2)_5$ single crystal", *Sci. Rep.* **8**, 8648-1-8648-9 (2018). 査読有. DOI:10.1038/s41598-018-24940-9
2. Y. Ohtsubo, K. Hagiwara, C. Wang, R. Yukawa, K. Horiba, H. Kumigashira, W. Hirano, F. Iga, S. Kimura, "Surface electronic structure of $\text{SmB}_6(111)$ ", *Physics B* **536**, 75-77 (2018). 査読有. DOI:10.1016/j.physb.2017.09.033
3. Y.-I. Seo, W.-J. Choi, S. Kimura, Y. Bang, Y. S. Kwon, "Optical properties of optimally doped single-crystal $\text{Ca}_{8.5}\text{La}_{1.5}(\text{Pt}_3\text{As}_8)(\text{Fe}_2\text{As}_2)_5$ ", *Phys. Rev. B* **95**, 094510-1-094510-9 (2017). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevB.95.094510
4. K. Hagiwara, Y. Takeno, Y. Ohtsubo, R. Yukawa, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, J. Rault, P. Le Fèvre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, F. Iga, S. Kimura, "Temperature dependence of Yb valence in the sub-surface of $\text{YbB}_{12}(001)$ ", *J. Phys.: Conf. Ser.* **807**, 012003-1-012003-5 (2017). 査読有. DOI:10.1088/1742-6596/807/1/012003
5. Y. Ohtsubo, J. Kishi, K. Hagiwara, P. Le Fèvre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, S. Kimura, "Possible spin-charge separation of the Tomonaga-Luttinger liquid on $\text{Bi}/\text{InSb}(001)$ ", *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.* **220**, 37-39 (2017). 査読有. DOI:10.1016/j.elspec.2017.03.005
6. T. Hirahara, S. V. Ereemeev, T. Shirasawa, Y. Okuyama, T. Kubo, R. Nakanishi, R. Akiyama, A. Takayama, T. Hajiri, S. Ideta, M. Matsunami, K. Sumida, K. Miyamoto, Y. Takagi, K. Tanaka, T. Okuda, T. Yokoyama, S. Kimura, S. Hasegawa, E. V. Chulkov, "A large-gap magnetic topological heterostructure formed by subsurface incorporation of a ferromagnetic layer", *Nano Lett.* **17**, 3493-3500 (2017). 査読有. DOI:10.1021/acs.nanolett.7b00560
7. S. Kimura, H. Yokoyama, H. Watanabe, J. Sichelschmidt, V. Süß, M. Schmidt, C. Felser, "Optical signature of Weyl electronic structures in tantalum pnictides TaPn ($\text{Pn} = \text{P}, \text{As}$)", *Phys. Rev. B* **96**, 075119-1-075119-7 (2017). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevB.96.075119
8. J. Kishi, Y. Ohtsubo, K. Yaji, A. Harasawa, F. Komori, S. Shin, J. E. Rault, P. Le Fèvre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, M. Nurmatamat, H. Yamane, S. Ideta, K. Tanaka, S. Kimura, "Spin-polarized quasi-one-dimensional state with finite band gap on the $\text{Bi}/\text{InSb}(001)$ surface", *Phys. Rev. Materials* **1**, 064602-1-064602-5 (2017). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevMaterials.1.064602
9. S. N. G. Corder, X. Chen, S. Zhang, F. Hu, J. Zhang, Y. Luan, J. A. Logan, T. Ciavatti, H. A. Bechtel, M. C. Martin, M. Aronson, H. S. Suzuki, S. Kimura, T. Iizuka, Z. Fei, K. Imura, N. K. Sato, T. H. Tao, M. K. Liu, "Near-Field spectroscopic investigation of dual-band heavy fermion metamaterials", *Nat. Commun.* **8**, 2262-1-2262-7 (2017). 査読有. DOI:10.1038/s41467-017-02378-3
10. T. Hajiri, T. Ito, M. Matsunami, B. H. Min, Y. S. Kwon, K. Kuroki, S. Kimura, "Orbital-dependent electron correlation of LiFeAs revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy", *Phys. Rev. B* **93**, 024503-1-024503-5 (2016). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevB.93.024503
11. Y. Ohtsubo, S. Kimura, "Topological phase transition of single-crystal Bi based on empirical tight-binding calculations", *New J. Phys.* **18**, 123015-1-123015-10 (2016). 査読有. DOI:10.1088/1367-2630/18/12/123015
12. S. Kimura, H. Takao, J. Kawabata, Y. Yamada, T. Takabatake, "Doping Effect on the Electronic Structure of an Anisotropic Kondo Semiconductor $\text{CeOs}_2\text{Al}_{10}$: An Optical Study with Re and Ir Substitution", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 123705-1-123705-4 (2016). 査読有. DOI:10.7566/JPSJ.85.123705
13. K. Hagiwara, Y. Ohtsubo, M. Matsunami, S. Ideta, K. Tanaka, H. Miyazaki, J. Rault, P. Le Fèvre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, R. Yukawa, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, K. Sumida, T. Okuda, F. Iga, S. Kimura, "Surface Kondo Effect and Non-Trivial Metallic State of the Kondo Insulator YbB_{12} ", *Nat. Commun.* **7**, 12690-1-12690-7 (2016). 査読有. DOI:10.1038/ncomms12690
14. M. Nakayama, T. Kondo, Z. Tian, J. J. Ishikawa, M. Halim, C. Bareille, W. Malaeb, K. Kuroda, T. Tomita, S. Ideta, K. Tanaka, M. Matsunami, S. Kimura, N. Inami, K. Ono, H.

- Kumigashira, L. Balents, S. Nakatsuji, S. Shin, "Slater to Mott Crossover in the Metal to Insulator Transition of $\text{Nd}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ ", *Phys. Rev. Lett.* **117**, 056403-1–056403-5 (2016). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.117.056403
15. S. Kimura, Y. S. Kwon, Y. Matsumoto, H. Aoki, O. Sakai, "Optical Evidence of Itinerant-Localized Crossover of 4f Electrons in Cerium Compounds", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 083702-1–083702-5 (2016). 査読有. DOI:10.7566/JPSJ.85.083702
16. N. H. Azhan, K. Okimura, Y. Ohtsubo, S. Kimura, M. Zaghrioui, J. Sakai, "Large modification in insulator-metal transition of VO_2 films grown on Al_2O_3 (001) by high energy ion irradiation in biased reactive sputtering", *J. Appl. Phys.* **119**, 055308-1–055308-6 (2016). 査読有. DOI:10.1063/1.4941348
17. H. J. Im, T. Ito, H. Miyazaki, S. Kimura, Y. S. Kwon, Y. Saitoh, S.-I. Fujimori, A. Yasui, H. Yamagami, "Fermi Surface Variation of Ce 4f-Electrons in Hybridization Controlled Heavy-Fermion Systems", *Solid State Commun.* **209–210**, 45-48 (2015). 査読有. DOI:10.1016/j.ssc.2015.03.005
18. D. Ahmad, B. H. Min, G. I. Min, S. Kimura, J. Seo, Y. S. Kwon, "Evidence of charge density waves in the optical properties of SmNiC_2 ", *Phys. Status Solidi B* **252**, 2662-2666 (2015). 査読有. DOI:10.1002/pssb.201552005
19. P. V. Pikhitsa, C. Kim, S. Chae, S. Shin, S. Jung, M. Kitaura, S. Kimura, K. Fukui, M. Choi, "Two-band luminescence from an intrinsic defect in spherical and terraced MgO nanoparticles", *Appl. Phys. Lett.* **106**, 183106-1–183106-5 (2015). 査読有. DOI:10.1002/pssb.201552005
20. D. Ahmad, B. H. Min, Y. I. Seo, W. J. Choi, S. Kimura, J. Seo, Y. S. Kwon, "Superconducting states study in electron-overdoped $\text{BaFe}_{1.8}\text{Co}_{0.2}\text{As}_2$ using terahertz and far-infrared spectroscopy", *Supercond. Sci. Technol.* **28**, 075002-1–075002-5 (2015). 査読有. DOI:10.1088/0953-2048/28/7/075002
21. H. J. Im, M. Iwataki, S. Yamazaki, T. Usui, S. Adachi, M. Tsunekawa, T. Watanabe, K. Takegahara, S. Kimura, M. Matsunami, H. Sato, "Electronic structure of Mott-insulator $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$: Photoemission and inverse photoemission study", *Solid State Commun.* **217**, 17-20 (2015). 査読有. DOI:10.1016/j.ssc.2015.05.007
22. S. Kimura, H. Tanida, M. Sera, Y. Muro, T. Takabatake, T. Nishioka, M. Matsumura, R. Kobayashi, "Relation between c-f hybridization and the magnetic ordering in $\text{CeRu}_2\text{Al}_{10}$: An optical conductivity study of $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Al}_{10}$ ($x \leq 0.05$)", *Phys. Rev. B* **91**, 241120(R)-1–241120(R)-5 (2015). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevB.91.241120
23. P. K. Gogoi, L. Sponza, D. Schmidt, T. C. Asmara, C. Diao, J. C. W. Lim, S. M. Poh, S. Kimura, P. E. Trevisanutto, V. Olevano, A. Rusydi, "Anomalous excitons and screenings unveiling strong electronic correlations in $\text{SrTi}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.005$)", *Phys. Rev. B* **92**, 035119-1–035119-8 (2015). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevB.92.035119
24. T. Hirahara, T. Shirai, A. Takayama, T. Hajiri, M. Matsunami, K. Tanaka, S. Kimura, S. Hasegawa, K. Kobayashi, "Role of Quantum and Surface-State Effects in the Bulk Fermi Level Position of Ultrathin Bi films", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 106803-1–106803-5 (2015). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.115.106803
25. T. Kondo, M. Nakayama, R. Chen, J. J. Ishikawa, E.-G. Moon, T. Yamamoto, Y. Ota, W. Malaeb, H. Kanai, Y. Nakashima, Y. Ishida, R. Yoshida, H. Yamamoto, M. Matsunami, S. Kimura, N. Inami, K. Ono, H. Kumigashira, S. Nakatsuji, L. Balents, S. Shin, "Quadratic Fermi Node in a 3D Strongly Correlated Semimetal", *Nat. Commun.* **6**, 10042-1–10042-8 (2015). 査読有. DOI:10.1038/ncomms10042
26. Y. Ohtsubo, J. Kishi, K. Hagiwara, P. L. Fevre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, M. Matsunami, K. Tanaka, S. Kimura, "Surface Tomonaga-Luttinger-Liquid State on $\text{Bi}/\text{InSb}(001)$ ", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 256404-1–256404-5 (2015). 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.115.256404
- [学会発表] (計 58 件)
1. S. Kamei, J. Hibi, Y. Ohtsubo, H. Watanabe, S. Kimura, "Visualization of racemization reaction at the interface between L- and D-alanine by IR-SR imaging" (Oral), 9th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Sources, Sept. 25, 2017, Oxford. UK.
2. H. Yokoyama, Y. Nakajima, H. Watanabe, J. Sichelschmidt, V. Suss, M. Schmidt, C. Felser, S. Kimura, "Optical and magneto-optical spectra of the Weyl semimetals TaX ($X = \text{P}, \text{As}$)" (Poster), International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2017, July 17, 2017, Prague, Czech Republic.
3. Y. Ohtsubo, K. Hagiwara, C. Wang, S. Ideta, K. Tanaka, R. Yukawa, K. Horiba, H. Kumigashira, F. Iga, S. Kimura, "Surface electronic structure of $\text{SmB}_6(111)$ " (Poster), International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2017, July 17, 2017, Prague, Czech Republic.
4. H. Watanabe, Y. Takeno, Y. Negoro, K. Imura, H. S. Suzuki, N. K. Sato, S. Kimura, "Photo-induced phase of SmS " (Poster), International Conference on Strongly

- Correlated Electron Systems 2017, July 17, 2017, Prague, Czech Republic.
5. H. Watanabe, Y. Takeno, Y. Negoro, K. Imura, H. S. Suzuki, N. K. Sato, S. Kimura, "Photo-induced phase transition dynamics on SmS" (Poster), 6th International Conferences on Photoinduced Phase Transitions, June 4, 2017, Sendai, Japan.
 6. 大坪嘉之, "半導体表面に作製した特異な擬3次元及び擬1次元電子状態の研究" (Invited), 日本物理学会第72回年次大会, 2017年3月17日, 大阪.
 7. S. Kimura, "Surface Kondo effect and non-trivial metallic state of the Kondo insulator YbB₁₂" (Invited), International Symposium of Quantum Beam Science at Ibaraki University, Nov. 20, 2016, Mito, Japan.
 8. Y. Ohtsubo, "Topological surface states observed by ARPES and spin-charge conversion" (Invited), Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP) international workshop "Physics of bulk-edge correspondence and its universality: From solid state physics to cold atoms", Sept. 27, 2016, Kyoto, Japan.
 9. T. Ito, S. Kouchi, T. Hajiri, M. Matsunami, S. Kimura, Y. Shimizu, Y. Kobayashi, M. Itoh, "Electronic structure of a quasi-one dimensional thermoelectric material Ba₃Co₂O₆(CO₃)_{0.7} studied by angle-resolved photoemission spectroscopy" (Oral), International Conference on Low – Energy Electrodynamics in Solids, May 29, 2016, Moriyama, Japan.
 10. K. Hagiwara, Y. Ohtsubo, M. Matsunami, S. Ideta, K. Tanaka, J. Rault, P. Le Fevre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, R. Yukawa, M. Kobayashi, K. Horiba, H. Kumigashira, F. Iga, H. Miyazaki, T. Ito, S. Kimura, "Non-Trivial Metallic Surface State of a Kondo Semiconductor YbB₁₂" (Oral), International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2016, May 8, 2016, Hangzhou, China.
 11. 木村真一, "高輝度・高強度セミア光源の現状と将来展望" (Invited), 分子研研究会「高輝度・高強度赤外光源の現状と今後の展開」, 2016年2月11日, 岡崎.
 12. S. Kamei, H. Takao, Y. Ohtsubo, H. Miyazaki, K. Imura, N. K. Sato, S. Kimura, "Spatial Distribution of Carrier Density of Yttrium-doped SmS" (Invited), 8th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy of Accelerator Based Sources, Oct. 12, 2015, New York, USA.
 13. S. Kimura, Y. S. Kwon, Y. Matsumoto, H. Aoki, O. Sakai, "Role of c-f hybridization to the mid-IR peaks in Ce compounds" (Poster), International Conference on Magnetism 2015, July 7, 2015, Barcelona, Spain.

[その他]

ホームページ

<http://www.kimura-lab.com>

6. 研究組織

(1)研究代表者

木村 真一 (KIMURA, Shin-ichi)
大阪大学・生命機能研究科・教授
研究者番号: 10252800

(2)研究分担者

山本 尚人 (YAMAMOTO, Naoto)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器
研究機構・加速器研究施設・助教
研究者番号: 60377918

大坪 嘉之 (OHTSUBO, Yoshiyuki)
大阪大学・生命機能研究科・助教
研究者番号: 70735589