

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82502

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20906

研究課題名（和文）電気二重層トランジスタ動作下の軟X線吸収分光計測

研究課題名（英文）Soft X-ray absorption spectroscopy measurement under operation of electric double layer transistor

研究代表者

堀場 弘司 (Koji, Horiba)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光量子科学研究所 放射光科学研究センター・上席研究員

研究者番号：10415292

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：近年、強相関酸化物に対するキャリアドーピングによる物性変調・巨大応答発現の手法として、酸化物材料上にイオン液体を塗布し、そこに電界を印加することで酸化物内にキャリア注入を行う「電気二重層トランジスタ（EDLT）」という方法が大きな成功を収めている。このキャリア注入された酸化物の電子状態を観測することは物性変調メカニズムを本質的に理解するために重要であるが、キャリア蓄積層はイオン液体に埋もれているためにこれまで電子状態観測が困難であった。本研究では新たな透過配置の軟X線吸収分光を開発することにより、イオン液体に埋もれた酸化物の電子状態を観測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、系に不純物を添加しない純粋なキャリアドーピング手法として、イオン液体を用いたEDLT構造によるキャリア蓄積が大きな成功を収めている。しかしながらこのEDLTの動作メカニズムについて、適用試料の性質に応じて純粋なキャリアドーピング以外の様々な効果が報告され、議論が収束していない物質例も多い。本研究成果に基づき、困難なEDLT動作時のキャリア蓄積領域の軟X線吸収分光計測が実現可能となることで、EDLTの動作メカニズムの理解が劇的に進展することが期待でき、基礎物性研究・応用技術研究の双方に非常に大きな意義を有する。

研究成果の概要（英文）：Recently, the electric double layer transistor (EDLT) method, in which an ionic liquid is coated on an oxide material and a carrier is injected into the oxide by applying an electric field, has been used with great success as a method for modulating physical properties and creating giant responses by carrier doping in strongly correlated oxides. Observation of the electronic state of this carrier-injected oxide is important for an intrinsic understanding of the property modulation mechanism. However, it has been difficult to observe the electronic state of the carrier storage layer because it is buried in the ionic liquid. In this study, we developed a new soft X-ray absorption spectroscopy with transmission configuration and succeeded in observing the electronic structure of oxides buried under ionic liquids.

研究分野：X線分光

キーワード：電気二重層トランジスタ 転換可視蛍光収量 オペランド軟X線吸収分光

1. 研究開始当初の背景

近年、強相関酸化物に対するキャリアドーブによる物性変調・巨大応答発現の手法として、イオン液体を用いた電気二重層トランジスタ(EDLT)構造によるキャリア蓄積が大きな成功を収めている。この手法は系に不純物を添加しない純粋なキャリアドーブ手法であることが大きな特長の一つとされている。しかしながらこの手法が様々な物質へと適用されていく中で、酸化物への酸素欠損誘起、水素イオンの注入、物質自体のエッチング効果など、純粋なキャリアドーブ以外の様々な効果が報告され、議論が収束していない物質例も多い。このようなEDLTの複雑な動作メカニズムを解明していくためには、その輸送特性の測定のみでは不十分であり、結晶構造解析や分光測定による電子状態解析など様々な測定手法を組み合わせることが必要不可欠である。その中で軟X線吸収分光(XAS)は、特に軽元素の元素選択的な電子状態を直接観測できる優れた手法であり、キャリアドーブによる価数変調のみならず、酸素欠損状態を直接観測することや、配位子場から結晶構造変調の情報を得ることも可能である。従って、EDLT動作時のキャリア蓄積領域をXASにより直接観測することが出来れば、物性変調メカニズムの本質的な理解が大きく前進することが期待できる。

しかしながら、実際にはEDLT動作時のキャリア蓄積領域の軟X線XAS観測は容易ではない。その理由は、使用する軟X線の物質への侵入長が非常に短いため、イオン液体を透過させることが困難であるという本質的な問題に起因する。そのためこれまでにEDLT構造における軟X線領域でのXAS観測は報告されていなかった。

2. 研究の目的

本研究ではこれまで開発を行ってきた転換可視蛍光収量という新たなXAS測定手法により、イオン液体透過時の軟X線の減衰を低減させることでこの問題を解決し、EDLT動作時のキャリア蓄積領域の軟X線XAS観測を達成することを目的とした。

3. 研究の方法

図1に転換可視蛍光収量法の模式図を示す。転換可視蛍光収量法は透過配置のX線吸収分光測定法である。物質中の透過率の小さい軟X線の場合、通常の透過測定法では試料全体の厚みを数百nm程度にまで薄片化する必要があり、デバイス構造の計測などには非常に不向きな手法となってしまう。これに対して転換可視蛍光収量法では、薄膜試料をX線励起可視蛍光発光(XEOL)を生じる基板上に作製し、薄膜を透過して基板に到達したX線強度を可視蛍光強度に変換して計測するという手法である。この手法を用いることにより、蛍光基板上に作製することが可能な薄膜試料については、作製したデバイス構造試料を直接透過法で計測することが可能となる。

透過法による計測が可能となることのメリットを図2に模式的に示す。これまでのXAS測定では、透過法が適用できない場合には、試料表面からの蛍光X線を検出することとなる。厚いイオン液体に被覆されたキャリア蓄積領域からの信号を捉えるためには、軟X線がイオン液体を透過して試料に到達するまでの減衰に加えて、さらに蛍光軟X線が再度イオン液体を透過して検出器に到達するまでの減衰を考えなければならない。軟X線の蛍

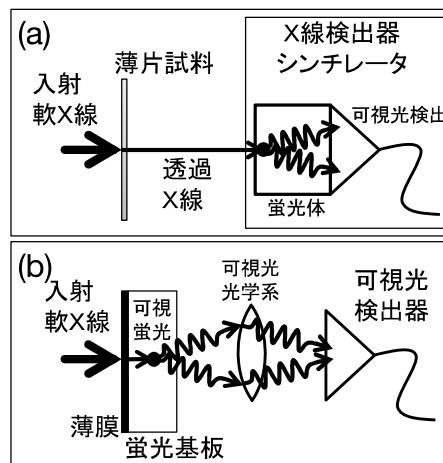


図1. (a)従来の透過軟X線吸収分光法と(b)転換可視蛍光収量による新しい透過軟X線吸収分光法の概念図

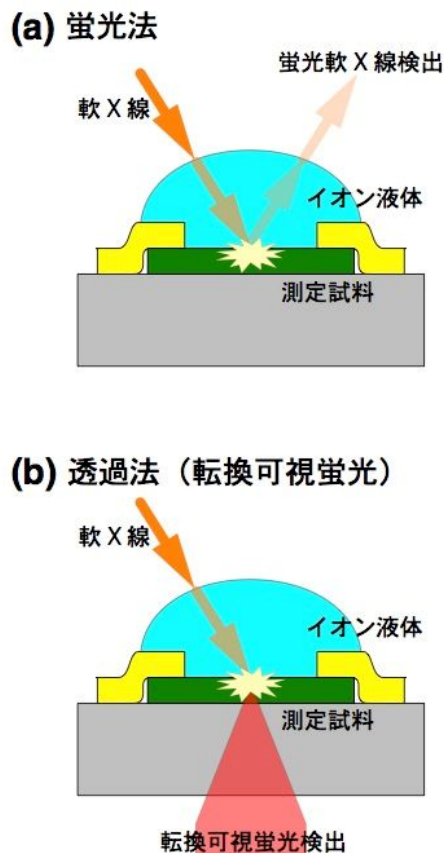


図2. EDLT動作下軟X線吸収分光を行う際の(a)蛍光法による計測と(b)転換可視蛍光収量による透過法計測の模式図

光発光は発光強度自体が微弱なため、イオン液体を透過しさらに減衰した後の軟 X 線蛍光強度を検出するのはまったく現実的ではない。これに対して透過法による測定では、そもそも透過 X 線強度は蛍光 X 線強度よりもはるかに大きいことに加え、その後イオン液体を通過する必要がないため、検出感度は蛍光法の場合と比較して数桁以上向上することが期待できる。

本研究では EDLT 動作時のキャリア蓄積領域の軟 X 線 XAS 観測を達成するための要素技術として、軟 X 線 XAS 測定を行う超高真空チャンバー内で使用可能なイオン液体の探索、イオン液体を軟 X 線が透過可能な厚みに制御して塗布する手法開発などを行い、最適化した構造においてイオン液体が塗布された下の領域の軟 X 線 XAS 測定を行った。

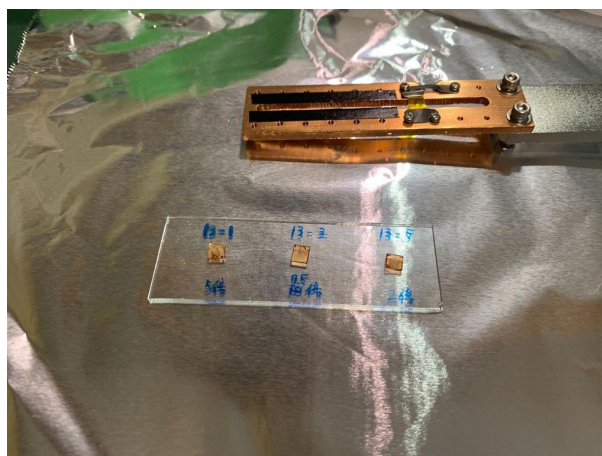


図 3. 基板上にイオン液体を塗布した測定試料の例

4. 研究成果

超高真空下で使用可能であり、X 線照射下で耐性のあるイオン液体の候補として、1-Ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide (EMI-TFSI)、1-Ethyl-3-methylimidazolium bis(fluorosulfonyl)imide (EMI-FSI)、Trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide (P66614-TFSI) の 3 種類を選定した。イオン液体をメタノールで希釈して基板上に滴下し、100 で加熱してメタノールのみを蒸発させることで塗布厚の制御を試みた(図 3)。その結果、この方法で塗布厚の制御が可能であることがわかったが、同時に原液の滴下でも軟 X 線透過計測が可能な塗布厚の領域を確保できること、メタノール希釈により X 線照射耐性の低下が見られることなどの知見を得た。これらの結果より、軟 X 線 XAS 測定は原液を滴下した試料を用いて行うことにした。

図 4 に LaAlO_3 基板上に作製した SrTiO_3 薄膜上にイオン液体を塗布した試料について、転換可視蛍光収量法による透過測定で得られた Ti L 吸収端の軟 X 線 XAS スペクトルを示す。膜厚の厳密な制御は困難なためスペクトル強度にムラがあるものの、それぞれのイオン液体の下部領域において十分な信号強度の軟 X 線 XAS スペクトルが得られていることがわかる。イオン液体のない試料のスペクトルと比較しても、 SrTiO_3 の Ti L 吸収端における特徴的な構造はよく一致しており、転換可視蛍光収量法を用いることで、深く埋もれたイオン液体の下部領域であっても精度のよい軟 X 線 XAS スペクトルが計測可能であることが示された。これにより軟 X 線 XAS 装置チャンバーの超高真空下で試料に電圧を印加し、EDLT 動作を行う機構を構築することで、本手法により EDLT 動作下の動作領域における軟 X 線 XAS スペクトルを取得することが可能であることが示されたと言える。

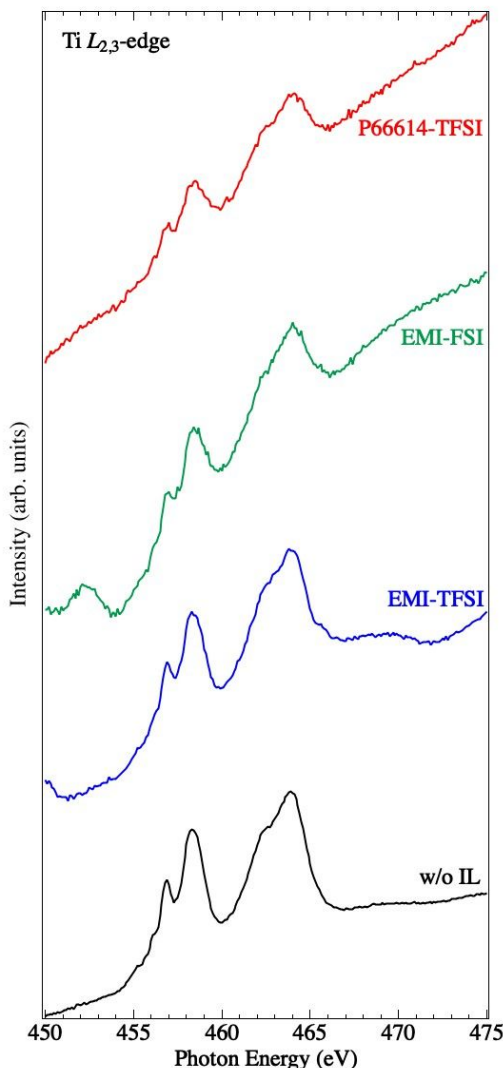


図 4. 転換可視蛍光収量法によって得られた様々なイオン液体を塗布した LaAlO_3 基板上 SrTiO_3 薄膜のイオン液体下部領域における Ti L 吸収端 XAS スペクトル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計47件（うち査読付論文 47件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Soma Takuto, Yoshimatsu Kohei, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Ohtomo Akira	4. 巻 105
2. 論文標題 Two-dimensional superconductivity in single-band correlated 2H-type NbO ₂ layers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104504-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.104504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wang Kaidong, Nishio Kazunori, Horiba Koji, Kitamura Miho, Edamura Kurei, Imazeki Daisuke, Nakayama Ryo, Shimizu Ryota, Kumigashira Hiroshi, Hitosugi Taro	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of High-Entropy Layered Oxide Epitaxial Thin Films: LiCr ₁ /6Mn ₁ /6Fe ₁ /6Co ₁ /6Ni ₁ /6Cu ₁ /6O ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 1116~1122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c01076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yukawa R., Kobayashi M., Kanda T., Shiga D., Yoshimatsu K., Ishibashi S., Minohara M., Kitamura M., Horiba K., Santander-Syro A. F., Kumigashira H.	4. 巻 12
2. 論文標題 Resonant tunneling driven metal-insulator transition in double quantum-well structures of strongly correlated oxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 7070-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-27327-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hagiwara K., Ishikado M., Horio M., Koshiishi K., Nakata S., Ideta S., Tanaka K., Horiba K., Ono K., Kumigashira H., Yoshida T., Ishida S., Eisaki H., Shamoto S., Fujimori A.	4. 巻 3
2. 論文標題 Superconducting gap and pseudogap in the surface states of the iron-based superconductor PrFeAsO _{1-y} studied by angle-resolved photoemission spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043151-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takane Daichi, Kubota Yuya, Nakayama Kosuke, Kawakami Tappei, Yamauchi Kunihiko, Souma Seigo, Kato Takemi, Sugawara Katsuaki, Ideta Shin-ichiro, Tanaka Kiyohisa, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Oguchi Tamio, Takahashi Takashi, Segawa Kouji, Sato Takafumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Dirac semimetal phase and switching of band inversion in XMg ₂ Bi ₂ (X=Ba and Sr)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21937-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-01333-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Thees, M.-H. Lee, R. L. Bouwmeester, P. H. Rezende-Goncalves, E. David, A. Zimmers, F. Fortuna, E. Frantzeskakis, N. M. Vargas, Y. Kalcheim, P. Le Fevre, K. Horiba, H. Kumigashira, S. Biermann, J. Trastoy, M. J. Rozenberg, I. K. Schuller, and A. F. Santander-Syro	4. 巻 7
2. 論文標題 Imaging the itinerant-to-localized transmutation of electrons across the metal-to-insulator transition in V ₂ O ₃	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabj1164-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abj1164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Kusaka, R. Ishibiki, M. Toyoda, T. Fujita, T. Tokunaga, A. Yamamoto, M. Miyakawa, K. Matsushita, K. Miyazaki, L. Li, S. L. Shinde, M. S. L. Lima, T. Sakurai, E. Nishibori, T. Masuda, K. Horiba, K. Watanabe, S. Saito, M. Miyauchi, T. Taniguchi, H. Hosono and T. Kondo	4. 巻 9
2. 論文標題 Crystalline boron monosulfide nanosheets with tunable bandgaps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 24631~24640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ta03307g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mo Shishin, Katayama Tsukasa, Chikamatsu Akira, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 33
2. 論文標題 Epitaxial-Strain-Induced Spontaneous Magnetization in Polar Mn ₂ Mo ₃ O ₈	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 7713~7718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c01877	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Endo Mizuki, Kawasoko Hideyuki, Soma Seigo, Yamauchi Kunihiko, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Kimura Noriaki, Oguchi Tamio, Sato Takafumi, Fukumura Tomoteru	4. 巻 5
2. 論文標題 Large magnetoresistance of a compensated metal Cu2Sb correlated with its Fermi surface topology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 105002-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.105002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Anada Masato, Sakaguchi Satoshi, Nagai Kazuki, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Wakabayashi Yusuke	4. 巻 104
2. 論文標題 Local polarization and valence distribution in LaNiO3/LaMnO3 heterostructures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085111-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.085111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iimori Takushi, Visikovskiy Anton, Imamura Hitoshi, Miyamachi Toshio, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Mase Kazuhiko, Nakatsuji Kan, Tanaka Satoru, Komori Fumio	4. 巻 5
2. 論文標題 Electronic structure of 3-twisted bilayer graphene on 4H-SiC(0001)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 L051001-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.L051001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mizutani T., Tanaka S., Saze T., Fujii K., Matsuoka H., Nakano M., Wadati H., Kitamura M., Horiba K., Iwasa Y., Kumigashira H., Yoshiki M., Taguchi M.	4. 巻 103
2. 論文標題 Total reflection hard x-ray photoelectron spectroscopy: Applications to strongly correlated electron systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205113-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.205113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishio Kazunori, Nakamura Naoto, Horiba Koji, Kitamura Miho, Kumigashira Hiroshi, Shimizu Ryota, Hitosugi Taro	4. 巻 116
2. 論文標題 Low resistance at LiNi1/3Mn1/3Co1/3O2 and Li3PO4 interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 053901 ~ 053901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5133879	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dai J., Frantzeskakis E., Fortuna F., Lomker P., Yukawa R., Thees M., Sengupta S., Le Fevre P., Bertran F., Rault J. E., Horiba K., Muller M., Kumigashira H., Santander-Syro A. F.	4. 巻 101
2. 論文標題 Tunable two-dimensional electron system at the (110) surface of SnO2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085121-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.085121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishioka D., Tsuchiya T., Namiki W., Takayanagi M., Kawamura K., Fujita T., Yukawa R., Horiba K., Kumigashira H., Higuchi T.	4. 巻 15
2. 論文標題 Surface Proton Conduction of Sm-Doped CeO2- Thin Film Preferentially Grown on Al2O3 (0001)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 42 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s11671-020-3267-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chikamatsu Akira, Maruyama Takahiro, Katayama Tsukasa, Su Yu, Tsujimoto Yoshihiro, Yamaura Kazunari, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 4
2. 論文標題 Electronic properties of perovskite strontium chromium oxyfluoride epitaxial thin films fabricated via low-temperature topotactic reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 025004-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.025004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Harada T., Sugawara K., Fujiwara K., Kitamura M., Ito S., Nojima T., Horiba K., Kumigashira H., Takahashi T., Sato T., Tsukazaki A.	4. 巻 2
2. 論文標題 Anomalous Hall effect at the spontaneously electron-doped polar surface of PdCoO ₂ ultrathin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013282-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.013282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuishi N., Sugita Y., Bahramy M. S., Kamitani M., Sonobe T., Sakano M., Shimojima T., Takahashi H., Sakai H., Horiba K., Kumigashira H., Taguchi K., Miyamoto K., Okuda T., Ishiwata S., Motome Y., Ishizaka K.	4. 巻 11
2. 論文標題 Switching of band inversion and topological surface states by charge density wave	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2466 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-16290-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Ikumi, Kan Daisuke, Kitamura Miho, Shen Yufan, Horiba Koji, Shimakawa Yuichi	4. 巻 127
2. 論文標題 Influence of oxygen vacancies on magnetic properties of perpendicularly magnetized NiCo ₂ O ₄ epitaxial thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 203903 ~ 203903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0008173	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Yusuke, Fukaya Yuki, Cameau Mathis, Kundu Asish K., Shiga Daisuke, Yukawa Ryu, Horiba Koji, Chen Chin-Hsuan, Huang Angus, Jeng Horng-Tay, Ozaki Taisuke, Kumigashira Hiroshi, Niibe Masahito, Matsuda Iwao	4. 巻 4
2. 論文標題 Electronic structure of a (3×3)-ordered silicon layer on Al(111)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 064005-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.064005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Kohei, Kitamura Miho, Shiga Daisuke, Niwa Yasuhiro, Horiba Koji, Nojima Tsutomu, Ohta Hiromichi, Kumigashira Hiroshi, Tsukazaki Atsushi	4. 巻 32
2. 論文標題 Insulator-to-Metal Transition of Cr2O3 Thin Films via Isovalent Ru3+ Substitution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 5272 ~ 5279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c01497	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maruyama Takahiro, Chikamatsu Akira, Katayama Tsukasa, Kuramochi Kenta, Ogino Hiraku, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 8
2. 論文標題 Influence of fluorination on electronic states and electron transport properties of Sr2IrO4 thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8268 ~ 8274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC01734E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kan Daisuke, Mizumaki Masaichiro, Kitamura Miho, Kotani Yoshinori, Shen Yufan, Suzuki Ikumi, Horiba Koji, Shimakawa Yuichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Spin and orbital magnetic moments in perpendicularly magnetized Ni1-xCo2+yO4-z epitaxial thin films: Effects of site-dependent cation valence states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224434-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.224434	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishio Kazunori, Nakamura Naoto, Horiba Koji, Kitamura Miho, Kumigashira Hiroshi, Shimizu Ryota, Hitosugi Taro	4. 巻 3
2. 論文標題 Impact of the Crystal Orientation of Positive Electrodes on the Interface Resistance across a Solid Electrolyte and Electrode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 6416 ~ 6421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takatsu Hiroshi, Yamashina Naoya, Shiga Daisuke, Yukawa Ryu, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Terashima Takahito, Kageyama Hiroshi	4. 巻 543
2. 論文標題 Molecular beam epitaxy growth of the highly conductive oxide SrMoO ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 125685 ~ 125685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2020.125685	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiga D., Yang B. E., Hasegawa N., Kanda T., Tokunaga R., Yoshimatsu K., Yukawa R., Kitamura M., Horiba K., Kumigashira H.	4. 巻 102
2. 論文標題 Thickness dependence of electronic structures in VO ₂ ultrathin films: Suppression of the cooperative Mott-Peierls transition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115114-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.115114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Ryota, Sasahara Yuki, Hamada Ikutaro, Oguchi Hiroyuki, Ogura Shohei, Shirasawa Tetsuroh, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Orimo Shin-ichi, Fukutani Katsuyuki, Hitosugi Taro	4. 巻 2
2. 論文標題 Polarity reversal of the charge carrier in tetragonal TiHx(x=1.6-2.0) at low temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 033467-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chikamatsu Akira, Katayama Tsukasa, Maruyama Takahiro, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Wadati Hiroki, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 118
2. 論文標題 Investigation of the electronic states of A-site layer-ordered double perovskite YBaCo ₂ O _x (x = 5.3 and 6) thin films by x-ray spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 012401 ~ 012401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0031096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakai Enju, Tsutsumi Naoya, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Tsuji Yoshiko	4. 巻 247
2. 論文標題 Transport properties and electronic structure of fluorine-doped SnO ₂ prepared by ultrasonic assisted mist deposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena	6. 最初と最後の頁 147041 ~ 147041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elspec.2020.147041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Endoh Norifumi, Akiyama Shoji, Tashima Keiichiro, Suwa Kento, Kamogawa Takamasa, Kohama Roki, Funakubo Kazutoshi, Konishi Shigeru, Mogi Hiroshi, Kawahara Minoru, Kawai Makoto, Kubota Yoshihiro, Ohkochi Takuo, Kotsugi Masato, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Suemitsu Maki, Watanabe Issei, Fukidome Hirokazu	4. 巻 11
2. 論文標題 High-Quality Few-Layer Graphene on Single-Crystalline SiC thin Film Grown on Affordable Wafer for Device Applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 392 ~ 392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano11020392	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukuma Shota, Chikamatsu Akira, Katayama Tsukasa, Maruyama Takahiro, Yanagisawa Keiichi, Kimoto Koji, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Hirose Yasushi, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 6
2. 論文標題 Crystal structure and electronic property modification of Ca ₂ RuO ₄ thin films via fluorine doping	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 035002-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.035002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kitamura Miho, Souma Seigo, Honma Asuka, Wakabayashi Daisuke, Tanaka Hirokazu, Toyoshima Akio, Amemiya Kenta, Kawakami Tappei, Sugawara Katsuaki, Nakayama Kosuke, Yoshimatsu Kohei, Kumigashira Hiroshi, Sato Takafumi, Horiba Koji	4. 巻 93
2. 論文標題 Development of a versatile micro-focused angle-resolved photoemission spectroscopy system with Kirkpatrick-Baez mirror optics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 033906 ~ 033906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0074393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeda Takahito, Sakamoto Shoya, Anh Le Duc, Takeda Yukiharu, Fujimori Shin-ichi, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Fujimori Atsushi, Tanaka Masaaki, Kobayashi Masaki	4. 巻 105
2. 論文標題 Development of magnetism in Fe-doped magnetic semiconductors: Resonant photoemission and x-ray magnetic circular dichroism studies of (Ga,Fe)As	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195155-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.195155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Masaki, Seki Munetoshi, Suzuki Masahiro, Okano Ryo, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Fujimori Atsushi, Tanaka Masaaki, Tabata Hitoshi	4. 巻 105
2. 論文標題 Intervalence charge transfer and charge transport in the spinel ferrite ferromagnetic semiconductor Ru-doped CoFe ₂ O ₄	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205103-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.205103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa Naoto, Yoshimatsu Kohei, Shiga Daisuke, Kanda Tatsuhiko, Miyazaki Satoru, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi	4. 巻 105
2. 論文標題 Electronic band structure of Ti ₂ O ₃ thin films studied by angle-resolved photoemission spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235137-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.235137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi M., Khang N. H. D., Takeda T., Araki K., Okano R., Suzuki M., Kuroda K., Yaji K., Sugawara K., Souma S., Nakayama K., Yamauchi K., Kitamura M., Horiba K., Fujimori A., Sato T., Shin S., Tanaka M., Hai P. N.	4. 巻 6
2. 論文標題 Rhombic Fermi surfaces in a ferromagnetic MnGa thin film with perpendicular magnetic anisotropy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 074403-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.074403	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara H., Terashima K., Otsuki J., Takemori N., Jeschke Harald O., Wakita T., Yano Y., Hosoda W., Kataoka N., Teruya A., Kakihana M., Hedo M., Nakama T., Onuki Y., Yaji K., Harasawa A., Kuroda K., Shin S., Horiba K., Kumigashira H., Muraoka Y., Yokoya T.	4. 巻 106
2. 論文標題 Anomalously large spin-dependent electron correlation in the nearly half-metallic ferromagnet CoS ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085114-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.085114	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kato Takemi, Li Yongkai, Nakayama Kosuke, Wang Zhiwei, Souma Seigo, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Takahashi Takashi, Sato Takafumi	4. 巻 106
2. 論文標題 Polarity-dependent charge density wave in the kagome superconductor CsV ₃ Sb ₅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121112-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.L121112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kaneta-Takada Shingo, Kitamura Miho, Arai Shoma, Arai Takuma, Okano Ryo, Anh Le Duc, Endo Tatsuro, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Kobayashi Masaki, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Tanaka Masaaki, Ohya Shinobu	4. 巻 13
2. 論文標題 Giant spin-to-charge conversion at an all-epitaxial single-crystal-oxide Rashba interface with a strongly correlated metal interlayer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5631-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-33350-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Otsuki Daiki, Hishikawa Ayuko, Ishida Tatsuhiro, Shibata Daisuke, Takasuka Yukie, Kitamura Miho, Horiba Koji, Takagi Yasumasa, Yasui Akira, Sow Chanchal, Yonezawa Shingo, Maeno Yoshiteru, Yoshida Teppei	4. 巻 91
2. 論文標題 Metallic Surface State in the Bulk Insulating Phase of Ca ₂ -xSrxRuO ₄ (x = 0.06) Studied by Photoemission Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114704-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.114704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chuang C.-W., Souma S., Moriya A., Nakayama K., Ikeda A., Kawaguchi M., Obata K., Saha Shanta R., Takahashi H., Kitagawa S., Ishida K., Tanaka K., Kitamura M., Horiba K., Kumigashira H., Takahashi T., Yonezawa S., Paglione J., Maeno Y., Sato T.	4. 巻 6
2. 論文標題 Fermiology of a topological line-nodal compound CaSb ₂ and its implication to superconductivity: Angle-resolved photoemission study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 104203-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.104203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saika Bruno Kenichi, Hamao Satoshi, Majima Yuki, Huang Xiang, Matsuoka Hideki, Yoshida Satoshi, Kitamura Miho, Sakano Masato, Hatanaka Tatsuto, Nomoto Takuya, Hirayama Motoaki, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Arita Ryotaro, Iwasa Yoshihiro, Nakano Masaki, Ishizaka Kyoko	4. 巻 4
2. 論文標題 Signature of topological band crossing in ferromagnetic Cr _{1/3} NbSe ₂ epitaxial thin film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L042021-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.L042021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ide Keisuke, Watanabe Naoto, Katase Takayoshi, Sasase Masato, Kim Junghwan, Ueda Shigenori, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Hiramatsu Hidenori, Hosono Hideo, Kamiya Toshio	4. 巻 121
2. 論文標題 Low-temperature-processable amorphous-oxide-semiconductor-based phosphors for durable light-emitting diodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 192108 ~ 192108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0115384	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Takemi, Li Yongkai, Nakayama Kosuke, Wang Zhiwei, Souma Seigo, Matsui Fumihiko, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Takahashi Takashi, Yao Yogui, Sato Takafumi	4. 巻 129
2. 論文標題 Fermiology and Origin of T _c Enhancement in a Kagome Superconductor Cs(V _{1-x} Nb _x) ₃ Sb ₅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 047002-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.206402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horiba Koji, Imazono Takashi, Iwasawa Hideaki, Fujii Kentaro, Miyawaki Jun, Ohtsubo Yoshiyuki, Inami Nobuhito, Nakatani Takeshi, Inaba Kento, Agui Akane, Kimura Hiroaki, Takahasi Masamitsu	4. 巻 2380
2. 論文標題 Design of nano-ARPES beamline at 3-GeV next-generation synchrotron radiation facility, NanoTerasu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012034 ~ 012034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2380/1/012034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asakura Daisuke, Hosono Eiji, Kitamura Miho, Horiba Koji, Magome Eisuke, Setoyama Hiroyuki, Kobayashi Eiichi, Yuzawa Hayato, Ohigashi Takuji, Sakai Takaaki, Kanega Ryoichi, Funaki Takashi, Sato Yukari, Ohira Akihiro	4. 巻 18
2. 論文標題 Redox Reaction in Ti-Mn Redox Flow Battery Studied by X ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry-An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 e202201047-1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202201047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugawara Katsuaki, Kusaka Haruki, Kawakami Tappei, Yanagizawa Koki, Honma Asuka, Souma Seigo, Nakayama Kosuke, Miyakawa Masashi, Taniguchi Takashi, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Takahashi Takashi, Orimo Shin-ichi, Toyoda Masayuki, Saito Susumu, Kondo Takahiro, Sato Takafumi	4. 巻 23
2. 論文標題 Direct Imaging of Band Structure for Powdered Rhombohedral Boron Monosulfide by Microfocused ARPES	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 1673 ~ 1679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.2c04048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 K. Horiba, T. Imazono, H. Iwasawa, K. Fujii, Jun Miyawaki, Y. Ohtsubo, T. Nakatani, A. Agui, H. Kimura, and M. Takahasi
2. 発表標題 Design for nano-ARPES beamline at 3-GeV next-generation synchrotron radiation facility
3. 学会等名 14th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀場弘司
2. 発表標題 PFにおけるマイクロARPES装置の開発と応用
3. 学会等名 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関