

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02683

研究課題名(和文) 時間・スピン・角度分解光電子分光で開拓する光スピントロニクス of 横断的研究

研究課題名(英文) Cross-sectional research for opt-spintronics explored by time-, spin- and angle-resolved photoemission

研究代表者

黒田 健太 (Kuroda, Kenta)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・准教授

研究者番号：00774001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：高繰り返し 1MHz の 10.7eV のパルス深紫外光を取り入れた時間・スピン・波数分解光電子分光(tr-SARPES)装置を完成させた。これにより、高繰り返しポンプ・プローブ tr-SARPES が可能となり、広い波数空間におけるフェルミ準位より高エネルギーの非占有電子状態における詳細なバンド観察に加えて、スピン電子状態および光誘起直後の電子・スピンダイナミクスの観察が可能となった。この装置を用いて、トポロジカル絶縁体 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> や Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> におけるディラック型の分散関係を有する非占有のトポロジカル表面状態に注目して、励起電子のスピン偏極バンドマップに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の光スピントロニクス発展に伴って、電子・スピンを分離したダイナミクス研究が盛んに行われている。しかしながら、ポンプ・プローブ法を組み合わせた光学効果などの測定に限られており、電子構造レベルまでミクロな視点で現象を明らかにするツールは無かった。本研究で実現した tr-SARPES はこの制限を打破する手法であり、物質に本質的に備わっている光スピン機能をミクロな視点で引き出すことが可能となった。

研究成果の概要(英文)：We have constructed a time-, spin- and momentum-resolved photoemission spectroscopy (tr-SARPES) apparatus employing a high-repetition 1MHz extreme-ultraviolet (EUV) pulse with 10.7 eV of photon energy. This state-of-the-art tr-SARPES apparatus permits us to perform high-repetition pump-probe measurements and investigate higher-lying occupied band structures above Fermi energy, its spin information and even its electron/spin dynamics just after optical excitation. By using this apparatus, we have successfully performed spin-polarized band mapping on the topological Dirac surface state in Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>.

研究分野：表面物性

キーワード：ポンププローブ法 高次高調波 超高速 光電子分光 スピン軌道相互作用

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

スピン偏極電子の生成・制御に関する機能物性開拓は、スピントロニクス研究の中核をなす。生成方法として、表面・界面における「対称性の破れ」と「スピン軌道相互作用」を基本原理とした手法がすでに確立しており、トポロジカル絶縁体表面におけるスピン偏極ディラック電子発現がその代表例である。そして次なるフロンティアとして、ディラック電子を光で制御する「光スピン制御」が挑戦されており、超高速なバンド間遷移を動作原理とする「光スピントロニクス」が期待される。これまでに、光励起で誘発されたスピン偏極電流（スピン流）などの光機能が光学・輸送測定で報告されてきた。しかし、波数分解能がない従来の測定では、表面電子だけでなく光励起されたバルク電子も全て混在して検出してしまうため、検出された光応答が表面ディラック電子に由来しているか？その判別は極めて困難であった。その結果、トポロジカル物質として、どのように光学応答するのか？電子・スピンの散乱がどのくらい抑制されているのか？トポロジカル物質の本質的な輸送現象や光学応答を理解するに必要であるこれらの問いに対して答えられていない。これらの点を解明するには、光学応答した状態で「スピン偏極電子バンドを直接観察」することが必要不可欠であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は 2 つである。1 つは、高い波数分解能で電子構造とスピン偏極度を一挙に観察できるスピン角度分解光電子分光 (SARPES, spin- and angle-resolved photoemission Spectroscopy) とポンプ・プローブ法を組み合わせた時間分解 SARPES (tr-SARPES) を実現させて、光励起されたスピン偏極電子のバンド観察を可能にすること。そして、その実験技術を様々なトポロジカル物質に適用させて、励起励起キャリアの波数分布およびスピン偏極度の同時に観察することで、光励起から時々刻々と表面電子がどのように応答するのか？光スピン制御に関する本質的な機能物性を理解するために必要なこの問いに答えることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究で開発する tr-SARPES は、スピン/波数/エネルギーに加えて、時間を含む多次元データを獲得する必要がある。したがって、tr-SARPES の実現には、短時間で膨大な量のデータ獲得が可能になるような実験効率を確保することが肝心である。そこで、本研究では、以下 2 点を主に考慮して進めた。1 点目は、エネルギー電子回折 (VLEED) を原理としたスピン検出器を取り入れたことである。この検出器は、従来の Mott 型スピン検出器に比べて 100 倍も高効率である。2 点目は、ポンプ・プローブ光源として 1 MHz の高繰り返し高強度レーザーを導入したことである。これにより、深紫外 (DUV) 領域 10.7eV を発生させてプローブ光として利用することで、時間分解光電子分光の天敵であるスペースチャージ効果を抑えて、且つ広い波数領域のスピン偏極バンドマッピングが可能となる。具体的な測定としては、トポロジカル絶縁体の代表物質として知られる  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  のディラック表面状態に注目した。

### 4. 研究成果

#### (1) 10.7eV の DUV パルス光を取り入れた tr-SARPES 装置の開発

本研究を遂行する過程で tr-SARPES 装置を国内で初めて実現させた (図 1)。プローブ光として 10.7 eV の光エネルギーを有する DUV 光を取り入れた。この光源は 1MHz レベルの高繰り返しであるため、スペースチャージを抑えた条件下で、超高精度にエネルギー・波数分解しながら電子・スピンドイナミクス観測が可能である。また、従来利用していた高エネルギー分解用の 7eV 光源への切り替えもできるような環境を整備した。DUV は大気中にある酸素分子や水分子によって吸収されてしまうため、ビームラインは  $10^{-6}$  Pa 程度の高真空になっており、差動排気システムを導入して超高真空の SARPES 槽と繋がっている。最も困難だった箇所は、Xe ガスセル槽の開発である。DUV は LiF を透過するため (透過率~40%)、LiF は窓

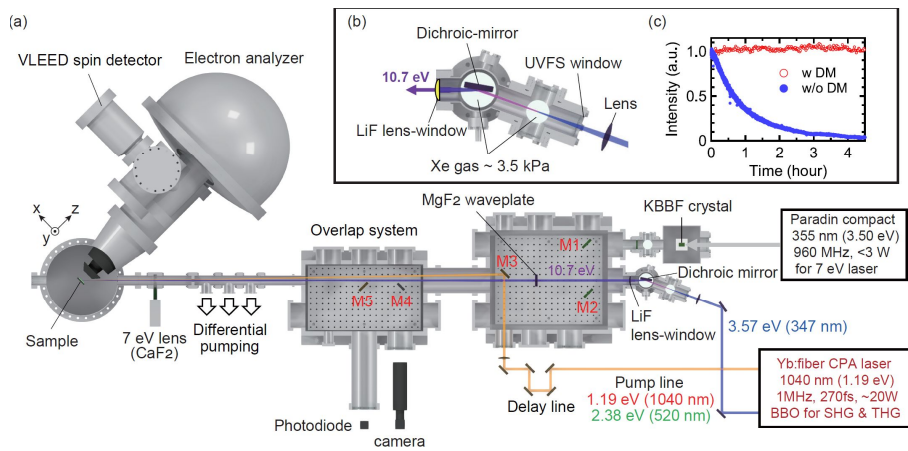


図 1: 完成させた tr-SARPES の模式図

材として有用である。今回、LiF 窓を Xe ガスの封じりに利用したが、DUV 発生に必要な高強度紫外光 (UV, 347-nm) 照射による、LiF の焼けが問題として長く残っていた。そこで、347-nm の UV に対して反射防止コートをしたダイクロイックミラーをガスセル槽に入れて、UV が LiF に照射されないようにすることで、この問題を解決させた。最終的な装置性能として、到達エネルギー・時間分解能は 20 meV・350 fs を実現させた。

## (2) トポロジカル物質 $\text{Bi}_2\text{Se}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{Te}_3$ の励起電子スピン偏極バンドマッピング

開発した tr-SARPES 装置を用いて、トポロジカル物質の代表例である  $\text{Bi}_2\text{Se}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{Te}_3$  結晶のディラック表面電子状態に注目した (図 2)。これらの結晶中では、格子欠陥の入り方が異なっていることを反映して、 $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) は  $n$  型 ( $p$  型) のドーブ特性を示すことが知られている。その結果、ディラックバンドに対するフェルミ準位は異なっており、特に  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  ではバンド交差が  $E_F$  より高エネルギーにあり、従来の光電子分光測定ではアクセス不可能であった。本研究で tr-SARPES を行った結果、ポンプ光で占有状態から  $E_F$

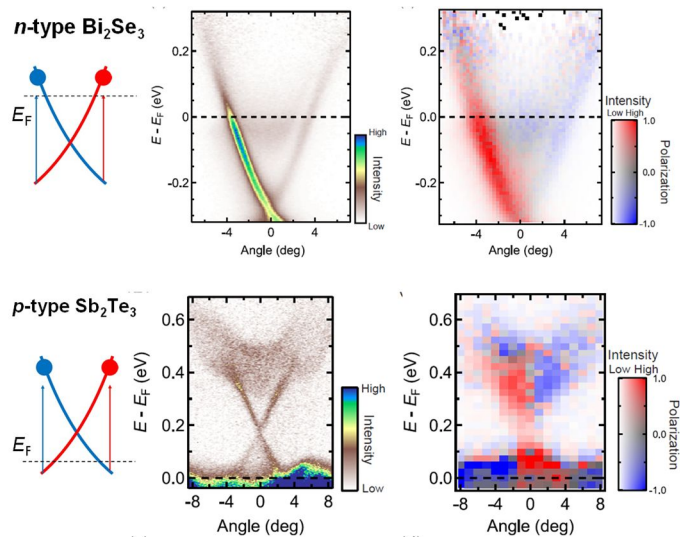


図 2:  $\text{Bi}_2\text{Se}_3 \cdot \text{Sb}_2\text{Te}_3$  の tr-SARPES 測定。

より高エネルギーに位置する非占有状態へ励起された過渡的な電子分布が観測され、さらにそのスピン偏極まで決定した (図 2)。 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  のディラック表面状態の分散関係、これまで tr-ARPES で観測されていた一方で、スピン偏極のバンドマッピングまでの報告例は無かった。本研究により、その表面状態が有する波数空間スピネクチャーの全貌を世界で初めて明らかにした。一方で、スピン偏極ダイナミクスについて、スピン偏極度の明瞭な過度変化は観測されなかった。さらにこの結果は、円偏光・直線偏光励起でも同様であったため、光スピン制御によってバンド間遷移が必要な要素であることが考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tanaka Hiroaki, Fujisawa Yuita, Kuroda Kenta, Noguchi Ryo, Sakuragi Shunsuke, Bareille Cedric, Smith Barnaby, Cacho Cephise, Jung Sung Won, Muro Takayuki, Okada Yoshinori, Kondo Takeshi	4. 巻 101
2. 論文標題 Three-dimensional electronic structure in ferromagnetic Fe <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> with breathing kagome bilayers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 161114 ~ 161118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.161114	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 Zhao Zhigang, Kuroda Kenta, Harasawa Ayumi, Kondo Takeshi, Shin Shik, Kobayashi Yohei	4. 巻 17
2. 論文標題 Monolithic LiF or MgF <sub>2</sub> lens-window-prism device for coherent 10.7 eV beam source with 1 MHz repetition rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Optics Letters	6. 最初と最後の頁 051406 ~ 051406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3788/COL201917.051406	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 Noguchi Ryo, Kobayashi Masaru, Jiang Zhanzhi, Kuroda Kenta, et al.	4. 巻 20
2. 論文標題 Evidence for a higher-order topological insulator in a three-dimensional material built from van der Waals stacking of bismuth-halide chains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 473 ~ 479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-020-00871-7	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 Zhang Peng, Noguchi Ryo, Kuroda Kenta, Lin Chun, Kawaguchi Kaishu, Yaji Koichiro, Harasawa Ayumi, Lippmaa Mikko, Nie Simin, Weng Hongming, Kandyba V., Giampietri A., Barinov A., Li Qiang, Gu G. D., Shin Shik, Kondo Takeshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Observation and control of the weak topological insulator state in ZrTe <sub>5</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 406-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-20564-8	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 Kuroda Kenta, Arai Y., Rezaei N., Kunisada S., Sakuragi S., Alaei M., Kinoshita Y., Bareille C., Noguchi R., Nakayama M., Akebi S., Sakano M., Kawaguchi K., Arita M., Ideta S., Tanaka K., Kitazawa H., Okazaki K., Tokunaga M., Haga Y., Shin S., Suzuki H. S., Arita R., Kondo Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Devil's staircase transition of the electronic structures in CeSb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2111-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-16707-6	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 Arai Y., Kuroda Kenta, Nomoto T., Tin Z. H., Sakuragi S., Bareille C., Akebi S., Kurokawa K., Kinoshita Y., Zhang W.-L., Shin S., Tokunaga M., Kitazawa H., Haga Y., Suzuki H. S., Miyasaka S., Tajima S., Iwasa K., Arita R., Kondo Takeshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Multipole polaron in the devil's staircase of CeSb	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 410 ~ 415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-021-01188-9	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 Tanaka Hiroaki, Okazaki Shota, Kuroda Kenta, Noguchi Ryo, Arai Yosuke, Minami Susumu, Ideta Shinichiro, Tanaka Kiyohisa, Lu Donghui, Hashimoto Makoto, Kandyba Viktor, Cattelan Mattia, Barinov Alexei, Muro Takayuki, Sasagawa Takao, Kondo Takeshi	4. 巻 105
2. 論文標題 Large anomalous Hall effect induced by weak ferromagnetism in the noncentrosymmetric antiferromagnet CoNb3S6	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121102-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L121102	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 Lin Chun, Ochi Masayuki, Noguchi Ryo, Kuroda Kenta, Sakoda Masahito, Nomura Atsushi, Tsubota Masakatsu, Zhang Peng, Bareille Cedric, Kurokawa Kifu, Arai Yosuke, Kawaguchi Kaishu, Tanaka Hiroaki, Yaji Koichiro, Harasawa Ayumi, Hashimoto Makoto, Lu Donghui, Shin Shik, Arita Ryotaro, Tanda Satoshi, Kondo Takeshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Author Correction: Visualization of the strain-induced topological phase transition in a quasi-one-dimensional superconductor TaSe3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Materials	6. 最初と最後の頁 1168 ~ 1168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41563-021-01056-6	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 Noguchi Ryo, Kuroda Kenta, Kawamura Mitsuaki, Yaji Koichiro, Harasawa Ayumi, Imori Takushi, Shin Shik, Komori Fumio, Ozaki Taisuke, Kondo Takeshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Scaling law for Rashba-type spin splitting in quantum-well films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L180409-(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L180409	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 Wan Yuxuan, Wang Lihai, Kuroda Kenta, Zhang Peng, Koshiishi Keisuke, Suzuki Masahiro, Kim Jaewook, Noguchi Ryo, Bareille Cedric, Yaji Koichiro, Harasawa Ayumi, Shin Shik, Cheong Sang-Wook, Fujimori Atsushi, Kondo Takeshi	4. 巻 105
2. 論文標題 Selective observation of surface and bulk bands in polar WTe <sub>2</sub> by laser-based spin- and 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 085421 -(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.085421	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 Shikin A. M., Estyunin D. A., Klimovskikh I. I., Filnov S. O., Schwier E. F., Kumar S., Miyamoto K., Okuda T., Kimura A., Kuroda K., Yaji K., Shin S., Takeda Y., Saitoh Y., Aliev Z. S., Mamedov N. T., Amiraslanov I. R., Babanly M. B., Otrokov M. M., Ereemeev S. V., Chulkov E. V.	4. 巻 10
2. 論文標題 Nature of the Dirac gap modulation and surface magnetic interaction in axion antiferromagnetic topological insulator MnBi <sub>2</sub> Te <sub>4</sub>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13226-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-70089-9	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 Noguchi Ryo, Takahashi T., Kuroda K., Ochi M., Shirasawa T., Sakano M., Bareille C., Nakayama M., Watson M. D., Yaji K., Harasawa A., Iwasawa H., Dudin P., Kim T. K., Hoesch M., Kandyba V., Giampietri A., Barinov A., Shin S., Arita R., Sasagawa T., Kondo Takeshi	4. 巻 566
2. 論文標題 A weak topological insulator state in quasi-one-dimensional bismuth iodide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 518 ~ 522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-0927-7	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 Kuroda Kenta, Yaji Koichiro, Noguchi Ryo, Harasawa Ayumi, Shin Shik, Kondo Takeshi, Komori Fumio	4. 巻 105
2. 論文標題 Visualization of optical polarization transfer to photoelectron spin vector emitted from a spin-orbit coupled surface state	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121106-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L121106	査読の有無 無
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21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 黒田健太
2. 発表標題 Putting more information on spin-ARPES: from meV energy-resolution to fs time-resolution
3. 学会等名 HiSOR seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田健太, 川口海周, 福島優斗, 趙智剛, 谷峻太郎, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 野口亮, 矢治光一郎, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 高繰り返し 1-MHz 遠紫外 10.7-eV レーザーを取り入れた時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中宏明, 川口海周, 福島優斗, 黒田健太, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光装置におけるソフトウェア開発: デジタル化・オンライン化に向けた取り組み
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川口海周, 福島優斗, 黒田健太, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 趙智剛, 谷峻太郎, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 木村昭夫, 矢治光一郎, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光によるスピン偏極電子状態の光励起ダイナミクスの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島優斗, 川口海周, 黒田健太, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 趙智剛, 谷峻太郎, 矢治光一郎, 笹川崇男, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解電子分光による非占有電子状態の観測とチャープ調整による高時間分解能化
3. 学会等名 日本物理学会 2021 年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島優斗, 川口海周, 黒田健太, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 趙智剛, 谷峻太郎, 矢治光一郎, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光によるスピン偏極したBi(111)表面状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第 77 回年次大会 (2022年)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川口海周, 福島優斗, 黒田健太, 田中宏明, 原沢あゆみ, 飯盛拓嗣, 趙智剛, 谷峻太郎, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, 木村昭夫, 矢治光一郎, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 高繰り返し10.7 eV レーザーによる時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発と非占有スピン偏極電子状態の観測
3. 学会等名 表面・界面分光ロスコピー2021
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 K. Kawaguchi, K. Kuroda, Y. Fukushima, Z. Zhao, S. Tani, H. Tanaka, A. Harasawa, T. Imori, R. Noguchi, K. Yaji, S. Shin, F. Komori, Y. Kobayashi and T. Kondo
2. 発表標題 Time-, spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy of solids in the 10.7- eV extreme-ultraviolet at 1-MHz repetition rate
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山神光平, B. Driesen, 藤澤唯太, C. H. Hsu, 川口海周, 田中宏明, 黒田健太, 近藤猛, Y. Zhang, 和達大樹, 荒木恒星, 武田崇仁, 小林正起, 竹田幸治, 室隆桂之, F. C. Chuang, 岡田佳恵
2. 発表標題 軟X線磁気円二色性で観測したファンデルワールス強磁性体Fe <sub>5</sub> GeTe <sub>2</sub> の混成由来による配位子のスピン偏極状態
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田健太, 川口海周, 山神光平, 藤澤唯太, 野口亮, 矢治光一郎, 原沢あゆみ, 岡田佳恵, 近藤猛
2. 発表標題 レーザー ARPES によるファンデルワールス Fe 系強磁性体における準粒子コヒーレンスの温度変化の観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井陽介, 黒田健太, 野本拓也, Z. H. Tin, 櫻木俊輔, C. Bareill, 明比俊太郎, 黒川輝風, 木下雄斗, W. L. Zhang, 辛埴, 徳永将史, 宮坂茂樹, 田島節子, 芳賀芳範, 北澤英明, 鈴木博之, 岩佐和晃, 有田亮太郎, 近藤猛
2. 発表標題 反強磁性体CeSbの「悪魔の階段」と共に発達する磁気ポーラロン状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中宏明, 黒田健太, 野口亮, 近藤猛
2. 発表標題 カゴメ格子積層結晶Fe <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> のバンド分散における格子ひずみおよび積層対称性の効果: 2次元カゴメ格子モデルに基づく解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中宏明, 藤澤唯太, 黒田健太, 野口亮, 櫻木俊輔, Cedric Bareille, Barnaby Smith, Cephise Cacho, Sung Won Jung, 室隆桂之, 岡田佳憲, 近藤猛
2. 発表標題 放射光角度分解光電子分光によるカゴメ格子積層結晶Fe <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> の電子状態観測: バルク電子構造の3次元性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口亮, 小林賢, 黒田健太, 高橋敬成, Z. Jiang, Z. Xu, D. Lee, 平山元昭, 越智正之, 白澤徹郎, P. Zhang, C. Lin, C. Bareille, 櫻木俊輔, 田中宏明, 國定聡, 黒川輝風, 矢治光一郎, 原沢あゆみ, V. Kandyba, A. Giampietri, A. Barinov, T. Kim, C. Cacho, 橋本信, D. Lu, 辛埴, 有田亮太郎, L. K. Lai, 笹川崇男, 近藤猛
2. 発表標題 ARPESとマイクロ波インピーダンス顕微鏡で解明する擬一次元ピスマスハライドの積層依存トポロジカル相
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 谷俊太郎, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 10.7 eV レーザーを用いた時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒川輝風, 磯野隼佑, 小濱芳允, 國定聡, 酒井志朗, 関根遼太郎, 大久保卓, 鶴川智一, 黒田健太, 辛埴, 遠山貴己, 常盤和靖, 近藤猛
2. 発表標題 カリウム蒸着で希薄ドーピングした綺麗なCuO <sub>2</sub> 面の電子状態: レーザー角度分解光電子分光による研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板谷亮太, 榎原成則, 葛西健太郎, 中田慶隆, 黒田健太, 福谷圭祐, 山本勇, 坂本一之
2. 発表標題 TiBiSe <sub>2</sub> への光誘起ホールドーピング
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 谷俊太郎, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発: 遠紫外光学素子の評価
3. 学会等名 ISSPワークショップ「次世代放射光へのイノベーション」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 谷俊太郎, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発: 遠紫外光学素子の評価
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 谷俊太郎, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 谷俊太郎, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 10.7 eV レーザーによるトポロジカル表面状態の偏光依存スピン分解 ARPES
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
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
研究 分担 者	矢治 光一郎  (YAJI Koichiro)  (50447447)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・先端材料解析研究拠点・主任研究員   (82108)	

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			
中国	山東大学			
ロシア連邦	ノヴォシビルスク大学			