

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02114

研究課題名(和文) 微小マルチドメインを持つ新奇ラッシュバ・トポロジカル物質のスピン電子状態の直接観測

研究課題名(英文) Direct observation of spin electronic states of novel Rashba and topological materials with small multi-domains

研究代表者

奥田 太一 (OKUDA, TAICHI)

広島大学・放射光科学研究センター・教授

研究者番号：80313120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円

研究成果の概要(和文)：結晶全体は中心対称性を有するが、局所構造に対称性の破れが存在する物質ではスピン軌道相互作用が誘起する局所スピン偏極状態が存在する可能性が理論的に予想されている。これらの物質は結晶中に反平行のスピン偏極状態を持った部分が存在するため、サイト選択的に電子状態を観測しないとスピン偏極電子状態を観測することができない。そこで本研究ではスピン・角度分解光電子分光の励起光をミクロンサイズに集光し、特定ドメインを選択的に観測して新奇スピン偏極物質の電子状態を探ることができるシステムを構築した。また、強度の弱い微小ビームを用いても観測が行えるようにするため多チャンネルスピン分解光電子分光装置の開発を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トポロジカル絶縁体に代表されるトポロジカル物質は、非磁性体であるがスピン偏極した電子状態を有し、電場などによってそのスピンを制御することができる可能性があるため次世代スピントロニクスデバイスのキーマテリアルとして注目されている。本研究では局所構造にスピン偏極電子状態を有することが理論的に予想されていた新奇スピン偏極物質のスピン電子状態を探るために、レーザー光をミクロンサイズに集光するとともに高効率多チャンネルスピン検出器を開発して、サイト選択的に効率よくスピン電子状態観測を可能とするシステムを構築した。実験的に新奇スピン偏極物質の物性が観測可能となり、将来のスピントロニクス実現へ貢献した。

研究成果の概要(英文)：Recently, it has been theoretically predicted that there can be a local spin polarization state, which is induced by spin-orbit interaction and local symmetry breaking, even in materials possessing centrosymmetry. However, in such materials, there must be the site which is possessing opposite spin-polarization, it is necessary to do site selective measurement to observe the local spin-polarized electronic states experimentally. In order to investigate the electronic state of such novel spin-polarized materials, in this study, we have developed a new spin- and angle-resolved photoelectron spectroscopy system utilizing the focused laser beam (~10 micron) as the excitation light. Since the intensity of the focused beam is low and spin-polarized photoemission measurement is inefficient, we have also developed a multi-channel spin- detector which can improve the measurement efficiency more than 1000 times higher than the normal single channel spin detector.

研究分野：固体物理、表面物理

キーワード：新奇トポロジカル物質 局所スピン スピントロニクス マイクロフォーカスレーザー 多チャンネルスピン分解光電子分光

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

強いスピン軌道相互作用と結晶対称性の破れにより表面や界面にスピン偏極電子状態が生じるラシュバ効果を示す物質やトポロジカル絶縁体に代表されるトポロジカル物質は、そのスピン偏極電子状態を電場で制御することが可能であったり、時間反転対称性によりプロテクトされた高いスピン偏極度を有することなどから、基礎科学的な観点だけではなくスピントロニクスへの応用の観点からも大きな注目を集めており、新物質の開発やその物性解明が盛んに行われている。一方、従来のラシュバ効果やトポロジカル絶縁体におけるスピン偏極電子状態の出現には結晶全体の対称性の破れが必要であると考えられて来たが、スピン軌道相互作用は局所効果であるため結晶全体は中心対称性を保っているにもかかわらず局所構造に對称性の破れがあれば広義のラシュバ効果やドレッシェルハウス効果が現れる事が理論的に予測され、新奇ラシュバ効果（新奇ドレッシェルハウス効果）として最近注目されていた[1]。

しかし、それらの新奇ラシュバ物質やトポロジカル物質は大きな単結晶試料を得ることが困難であったり、試料の各層が層ごとに異なるスピン電子状態を持っていたり、試料内に複数のドメインが存在するために異なるスピン状態どうしが打ち消しあうなどして真のスピン電子状態の観測が困難であったりする場合が多かった。そのため試料中の特定の層やドメインのスピン電子状態を観測することがこれら新奇物質の真の電子状態を研究する上で必要となっていた。

2. 研究の目的

物質のスピン電子状態を直接的に観測する強力な実験的手法としてスピン・角度分解光電子分光法がある。この手法を用いるとスピン状態を分離して物質のバンド構造を観測することが可能である。しかし、スピン・角度分解光電子分光測定に必要なスピン検出器の検出効率は通常の光電子分光測定に比べて非常に低い（従来のモット検出器：1万分の1、我々の開発した低速電子回折型検出器：100分の1）測定に時間がかかり高分解能での測定が困難であるという問題がある。また、光電子分光測定は、プローブである励起光ビームが照射される物質表面全域から放出される光電子を観測するため、プローブサイズが大きいと異なるドメインや異なる層からの電子状態が混ざってしまい正確な電子状態が観測できない。

上述のように新奇ラシュバ効果を示す物質や新奇トポロジカル物質の真の物性を研究するためには、特定の層やドメインのスピン電子状態を観測する必要があるため、スピン・角度分解光電子分光測定におけるこれらの問題を解決する必要がある。そこで本研究課題ではこの問題を解決して新奇ラシュバ物質やトポロジカル物質の電子状態研究を押し進めることを目的とした。

3. 研究の方法

上述のスピン・角度分解光電子分光における問題点を解決して、新奇物質の電子状態を正しく観測するためには、プローブとなる励起光の微小化をまず進める必要がある。新奇物質の多くは数十ミクロン以上のドメインサイズを有しているためプローブ光のサイズを10ミクロン以下程度に集光して物質に照射すれば、特定のドメインからの情報を得ることが可能となる。そこで我々は微小集光が比較的容易なレーザー光をプローブ光として、ビームスポットサイズを10ミクロン以下に絞ることの可能な集光レンズを用いた集光システムを導入した。一方新奇スピントロニクス材料のスピン電子状態を観測するためにはスピン検出器が必要となる。上述のようにスピン検出器の検出効率は我々の開発した低速電子回折型検出器では従来のモット型に比較して100倍の検出効率が実現され、ある程度の高分解能（従来比約5～10倍程度）での測定は可能であったが、プローブ光が集光された際にはさらなる効率の向上が求められることや、集光した光が照射されたドメインからの光電子を常に観測するためには試料角度を変えずに放出角度の異なる光電子を一度に観測できることが望ましい。そのため新たに多チャンネルスピン検出が可能なシステムを開発してこの問題を解決することも目指した。

4. 研究成果

2. で説明したように新奇材料のスピン電子状態をサイト選択的に観測するために光源の微小化を行う必要があるが、スピン分解光電子分光では十分な強度の励起光が必要であることや、高いコヒーレンス性を持ち集光が行いやすいこと、エネルギー分解能が高いことなどからレーザー光の利用が適している。そこで本研究ではVUVレーザー（6eV CW：既存）を光源として図



図1 真空チャンバーに装着した集光ミラー

1に示すような集光レンズ（合成石英レンズ4枚、フォーカス位置250mm、理論値で5ミクロン以下まで就航可能）を導入しプローブ光の微小化を行なった。図2左上がレーザーシステムと低速電子回折型スピン検出器を備えたスピン・角度分解光電子分光装置の写真である。このシステムではディフレクタータイプの光電子検出器（SCIENTA DA-30：既存）を用いているため試

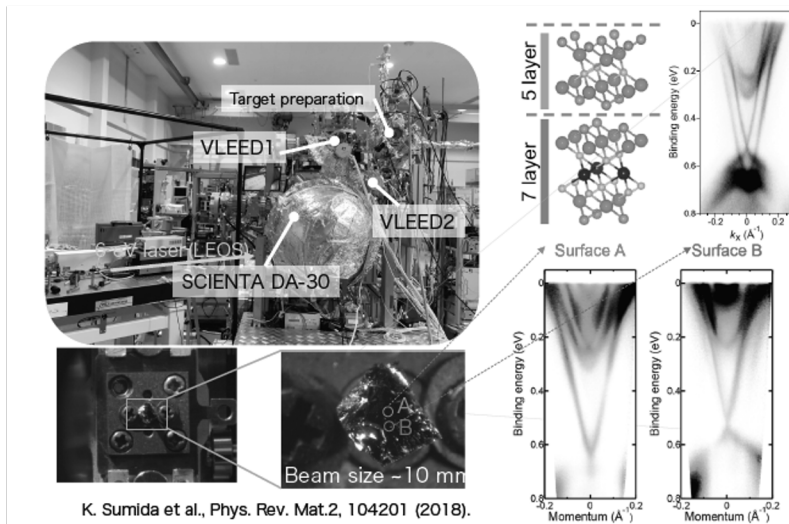


図2 フォーカスしたレーザー光による微小ドメインの選択的測定の例。PbBi₄Te₄S₃は異なる二種類の劈開面（5層末端、7層末端）が存在するため通常の光電子分光では両方からの寄与が混ざってしまう。フォーカスビームを用いることで各劈開面を選択的に観測することが可能になった。

構造を末端とする場合の2種類が存在し得る。真空中で試料を劈開した際にはどちらの末端面もほぼ同確率で現れるため様々な末端面が表面に存在しうる。したがって通常の光電子分光測定で用いられる励起光ビームでは両方の表面からの寄与が混在してしまう。図2右上のバンド構造はそのような状況を示しており、放射光ビームラインで観測した結果であるが、2種類の末端面からの2組のディラックコーン（直線的なバンド）が観測されている。しかし、本研究で開発した集光ビームを用いて図2左下のように異なる領域（A、B）にビームを照射して観測すると図2右下のように各領域で異なる一組ずつのディラックコーンが観測されることがわかる。このようにフォーカスした励起光を用いることにより微小なドメインからの信号を選択的に観測することが可能となった。集光されたビームのサイズは約10ミクロン程度でこれにより各表面のスピ電子状態を個別に詳細に観測することが可能となった。

一方、微小集光したビームで測定を行う際には集光前に比べてトータルの光強度は減少するため光電子強度が減少することが予想される。すでに述べたようにスピン分解光電子分光測定は一般にスピン検出器の検出効率が低いため、分解能よく測定を行うためにはなるべく高強度の励起光が必要となる。しかしながらビームがフォーカスされると単位面積当たりの光の密度

料の角度を変えずに広い角度範囲に放出される光電子を分離して観測することが可能である。集光レンズにより集光されたプローブ光を試料に照射することによりサイト選択的な測定が可能になったことを示す例として、4元ビスマス化合物PbBi₄Te₄S₃の実験例を示す[2]。このサンプルは3次元トポロジカル絶縁体の性質を持つことが理論的に予想されていた。試料の結晶構造は図2の右上に示したように5層構造と7層構造が交互に積層した構造で層間が弱いファンデルワールス力で結合しているため比較的容易に劈開することが可能である。しかし劈開面は5層構造を末端とする場合と7層

は大きくなるためそれにより励起された光電子の密度が大きくなり、光電子間のクーロン反発によりいわゆるスペースチャージ効果が生じて分解能が悪くなるという問題がある。したがってフォーカスビームを用いて高分解能でスピン分解光電子分光を行うためにはスピン検出器の検出効率を根本的にあげることが肝要となる。スピン検出原理はこれまでのところ低速電子回折型のスピン検出器が従来のMott型に比べて優れているが、現状ではその検出効率を上まわる新たな検出手法は見つかっていない。そこで、

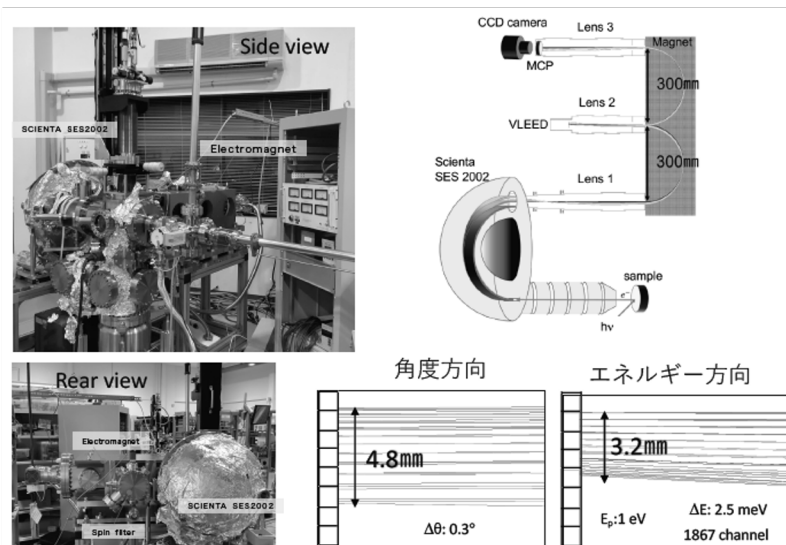


図3 多チャンネルスピン分解光電子分光装置の概念図（右上）と開発中の装置（写真左）。設計性能は従来の約4倍の分解能で測定効率は数千倍。

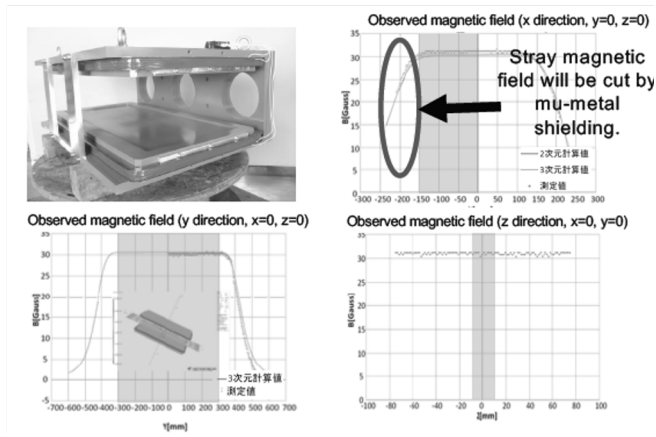


図4 製作した電磁石とその磁場（実測）磁場印加部（緑色ハッチ部分）で一様な磁場が実現されている。

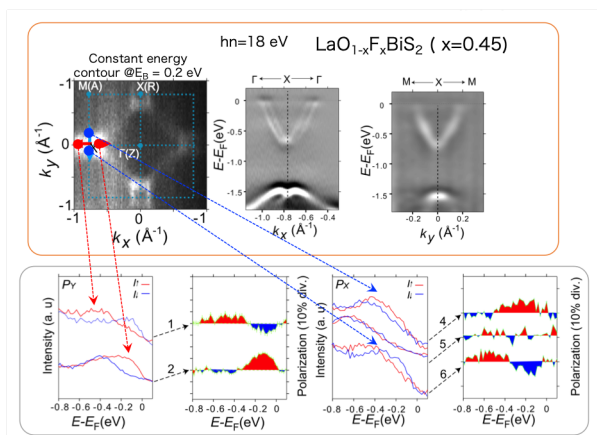
パターンごととスピン分解するものである[3]。同様の装置は連携研究者の中国科学技術大学のチャオ教授が先行開発しており[4]、本研究でもチャオ教授との共同研究の下、開発を進めた。図3右下にレイトレースによって求めたMCP位置で分解された異なるエネルギー、角度を持つ電子の軌道を示しているが、計算上は角度分解能が0.3度エネルギー分解能が2.5 meVとなり、これまでの我々の装置の最高エネルギー分解能の約4倍、角度分解能の約2倍で観測でき、その条件下で数千倍の測定効率向上が可能となる。図3左に実際に建設した装置の写真を示す。概念図で示していたように半球アナライザー（既存品を流用）の後ろに電子レンズを介して一様磁場を発生する電磁石に挟まれた電子偏向部を介し、スピンフィルターと電子検出器が取り付けられるようになっている。電子偏向部の磁場が平行一様磁場であることが所望の装置性能を得る上で重要であるため当初予定よりも大きめの電磁石が必要となったが、図4に示すように十分一様な磁場が実際に得られることを確認した。続いて実際に電子を通して二次元パターンの調整にあたる予定であったが、あいにく電子レンズと電磁石の製作が予定よりも遅れたことと電子レンズに電圧を印加するために開発した電源と既存のアナライザー電源の間のマッチングに不具合が生じたため計画がやや遅れてしまった。そのため現在も引き続きこの装置の立ち上げ作業を行なっている状態であるが、装置が設計通りに稼働すれば上述のレーザー光源と組み合わせることにより測定効率を大幅に改善できると期待している。

多チャンネルスピン検出装置の開発がずれ込んだため新奇ラッシュバ（ドレッセルハウス）、新奇トポロジカル物質などの研究は新装置開発に並行して既存のスピン・角度分解光電子分光装置を用いて進めた。その成果の一例として図5に新奇層状超伝導物質である $\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{BiS}_2$ ($x=0.45$)のスピン・角度分解光電子分光測定の結果を示す[5]。この物質は結晶全体としては中心対称性を持つため通常表面ラッシュバ効果やドレッセルハウス効果によるスピン偏極電子状態は持たないが、層状構造の上下を局所的に見ると対称性が破れているため局所ラッシュバ効果やドレッセルハウス効果によるスピン偏極状態が生じ得ることが理論的に予想されていた。またこの物質は11K程度の低温で超伝導を示すが、もし局所ラッシュバ効果などによるスピン

我々はスピン検出原理自体はそのままであるが、これまでシングルチャンネルで行われていたスピン分解光電子分光測定を多チャンネル化することにより高効率化を目指すことにした。図3右上に我々が開発した多チャンネルスピン分解光電子分光装置の概念図を示す。この装置では通常角度分解光電子アナライザーで角度とエネルギーを分離して得られる光電子の二次元分布パターン（縦軸：エネルギー、横軸：角度）を電子レンズを介して磁場による偏向部に導き、スピン検出フィルター（図中VLEED）に二次元パターンを照射したのち反射させ再び磁場で偏向させて二次元電子検出器（MCP）で観測することにより一度にエネルギーvs 角度の二次元分布

偏極電子状態が存在しているとなると、スピン偏極状態が超伝導を示すことになりいわゆるラッシュバ超伝導体である可能性があり注目を集めていた。しかし、隣り合う層が反平行のスピンを持つために平均すると全体ではスピン偏極状態が相殺してしまいスピン偏極電子状態は実験的に観測することができないと予想されていた。

我々は放射光ビームラインに設置したスピン・角度分解光電子分光装置でこの試料のスピン電子状態の観測を試みた。図5上が、スピンを積分した通常角度分解光電子分光により得られたこの物質のフェルミ面とバンド構造を示す。そして、図5下がこのフェルミ面上に赤丸と青丸で示した点でのスピン分解光電子分光スペクトルである。この結果からわかるように予想とは反してスピン偏極したバンドが観測され、X点を挟んでスピン偏極状態が反転している様子も観測された。こ



S-L. Wu et al. Nat. Comm. 8, 1919 (2017).

図5 層ごとに異なるスピン電子状態を持つ新奇層状超伝導物質 ($\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{BiS}_2$, $x=0.45$) のスピン電子状態。

れはこの物質が確かに局所ラッシュバ効果によりスピン偏極していることを示している。またさらに詳しい解析によりこの物質はドレッセルハウス効果とラッシュバ効果が競合している状態になっていることもわかった。各層で反平行のスピンを持っているために打ち消しあって観測できないと考えられていた局所電子状態が予想と反して観測できた理由は、低エネルギー（約 20 eV）の光を用いることで電子の脱出深度を短くできたことであると考えている。理論で予言されていた局所ラッシュバ効果を実験的に確かめることができたことは、スピントロニクス材料の候補を大幅に拡大できることを示しており応用上重要である。また上述のようにこの物質が超伝導状態とスピン偏極状態が混在した状態であることを実験的に確認できたことは、新奇超伝導物質の超伝導発現メカニズムを解明する上でも重要な成果である。

この物質は構造上劈開面が必ず一つのスピン電子状態を持つものになるためビームがよくフォーカスされていない現状の放射光ビームラインでも観測が可能であったが、面内に異なるスピン状態を持つ物質については図 2 で示したようにフォーカスビームが必要となる。図 2、図 3 で示したシステムにより今後そのような試料の観測を進めていく予定である。

参考文献

- [1] X. Zhang, Q. Liu, J.-W. Luo, A. J. Freeman, and A. Zunger, *Nat. Phys.* **10**, 387 (2014).
- [2] K. Sumida, T. Natsumeda, K. Miyamoto, I. V. Silkin, K. Kuroda, K. Shirai, S. Zhu, K. Taguchi, M. Arita, J. Fujii, A. Varykhalov, O. Rader, V. A. Golyashov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, E. V. Chulkov, T. Okuda, and A. Kimura, *Phys. Rev. Mater.* **2**, 104201 (2018).
- [3] T. Matsuda, K. Miyamoto, A. Kimura, and T. Okuda, *International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019* (Hiroshima University, 2019.9.3-4).
- [4] F. Ji, T. Shi, M. Ye, W. Wan, Z. Liu, J. Wang, T. Xu, and S. Qiao, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 177601 (2016).
- [5] S.-L. Wu, K. Sumida, K. Miyamoto, K. Taguchi, T. Yoshikawa, A. Kimura, Y. Ueda, M. Arita, M. Nagao, S. Watauchi, I. Tanaka, and T. Okuda, *Nat. Commun.* **8**, 1919 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 E. Annese, T. Okuda, E. F. Schwier, H. Iwasawa, K. Shimada, M. Natamane, M. Taniguchi, I. P. Rusinov, S. V. Ereemeev, K. A. Kokh, V. A. Golyashov, O. E. Tereshchenko, E. V. Chulkov, and A. Kimura	4. 巻 97
2. 論文標題 Electronic and spin structure of the wide-band-gap topological insulator: Nearly stoichiometric Bi ₂ Te ₂ S	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 205113-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.97.205113	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 該当する
1. 著者名 K. Sumida, T. Natsumeda, K. Miyamoto, I. V. Silkin, K. Kuroda, K. Shirai, S. Zhu, K. Taguchi, M. Arita, J. Fujii, A. Varykhalov, O. Rader, V. A. Golyashov, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, E. V. Chulkov, T. Okuda, and A. Kimura	4. 巻 2
2. 論文標題 Enhanced surface state protection and band gap in the topological insulator PbBi ₄ Te ₄ S ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Materials	6. 最初と最後の頁 104201-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.2.104201	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 T. Okuda	4. 巻 29
2. 論文標題 Recent trend of spin-resolved photoemission	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 483001(18p)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1088/1361-648X/aa8f28	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 Shilong Wu, Kazuki Sumida, Koji Miyamoto, Kazuaki Taguchi, Tomoki Yoshikawa, Akio Kimura, Yoshifumi Ueda, Masashi Arita, Masanori Nagao, Satoshi Watauchi, Isao Tanaka and Taichi Okuda	4. 巻 8
2. 論文標題 Direct evidence of hidden local spin polarization in a centrosymmetric superconductor La _{0.55} F _{0.45} BiS ₂	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1919-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-017-02058-2	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 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 T. Matsuda, K. Miyamoto, A. Kimura, and T. Okuda
2. 発表標題 Development of Multi-channel Spin-detector at HiSOR
3. 学会等名 International Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 Spin-resolved ARPES: high-efficiency detector and results at HiSOR
3. 学会等名 Inauguration of the Undulator Beamline of the Russian-German Laboratory at BESSY II, Accompanied by a workshop on Spin-resolved Photoemission and Electronic Structure of Quantum and Energy Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 High-efficient spin-resolved photoelectron spectroscopy end-station at Hiroshima Synchrotron Radiation Center
3. 学会等名 Chirality-induced spin selectivity and its related phenomena, The 80th Okazaki Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 Hidden spin-polarized states at the interface of layered materials investigated by spin- and angle-resolved photoemission
3. 学会等名 The 17th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI17) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 Hidden Local Spin-polarized Electronic States investigated by Spin- and Angle-resolved Photoelectron Spectroscopy
3. 学会等名 American Vacuum Society 66th International Symposium and Exhibition (AVS66) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井健人, 加藤和貴, Jiahua Chen, 宮本幸司, 木村昭夫, 奥田太一
2. 発表標題 TlBi(S _{1-x} Sex) ₂ の温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井健人, 加藤和貴, 松田旭央, Jiahua Chen, 宮本幸司, 木村昭夫, 奥田太一
2. 発表標題 TlBiS ₂ およびTlBiSe ₂ における温度誘起トポロジカル相転移の光電子分光による研究
3. 学会等名 日本放射光学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Imai, K. Kato, K. Miyamoto, T. Okuda
2. 発表標題 Investigation of Temperature-induced Topological Phase Transition in TlBiS ₂
3. 学会等名 The 23rd Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Okuda
2. 発表標題 Recent activities and future prospects of spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy at HiSOR
3. 学会等名 1st International Workshop on Momentum Microscopy and Spectroscopy for Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Okuda
2. 発表標題 Spin-resolved photoelectron spectroscopy at HiSOR, present status and future prospect
3. 学会等名 22nd Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsuda, K. Miyamoto, A. Kimura, T. Okuda
2. 発表標題 Design of multi-channel spin detector at HiSOR
3. 学会等名 23rd Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田旭央、宮本幸治、木村昭夫、奥田太一
2. 発表標題 マルチチャンネルスピ検出器の開発(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taichi Okuda
2. 発表標題 Exploration of hidden spin polarized electronic states by high-resolution spin-resolved photoemission
3. 学会等名 International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science (TASPEC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 VLEEDスピン検出器によるバルク敏感スピン分解光電子分光の可能性
3. 学会等名 Spring-8シンポジウム2017 SPRUCサテライト研究会 「軟X線スピン分解ARPES検討会」 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 HiSORにおけるスピン分解光電子分光現状と展望
3. 学会等名 PF研究会「次世代光源で拓かれる光電子分光研究の将来展望」 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 Development of High-resolution Spin- and Angle-resolved Photoelectron Spectrometer Using VLEED Spin Detector and its application
3. 学会等名 日韓ワークショップ (釜山大学) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 放射光スピン分解光電子分光の現状と新展開
3. 学会等名 日本物理学会第73回年会シンポジウム「シンクロトン光電子分光が拓く物性研究の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 VLEED型スピン検出器によるスピン分解ARPESの現状
3. 学会等名 第4回JASRIワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 高効率スピン分解光電子分光装置の開発と表面スピン電子状態研究
3. 学会等名 日本表面科学会九州支部 平成28年度九州表面・真空研究会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 奥田太一
2. 発表標題 スピン分解光電子分光で探る隠されたスピン分裂状態
3. 学会等名 UVSORシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Taichi Okuda
2. 発表標題 Exploration of hidden spin polarized electron by high-resolution spin- and angle-resolved photoemission
3. 学会等名 Symposium on Surface Science & Nanotechnology 25th Anniversary of SSSJ-Kansai (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taichi Okuda
2. 発表標題 Spin Resolved Photoelectron Spectroscopy for the investigation of hidden spin polarized states
3. 学会等名 21th HiSOR symposium (国際学会)
4. 発表年 2017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