

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04847

研究課題名（和文）角度分解光電子分光による原子層FeSeの高温超伝導の研究

研究課題名（英文）High-temperature superconductivity in FeSe films studied by angle-resolved photoemission spectroscopy

研究代表者

中山 耕輔（Nakayama, Kosuke）

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：40583547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,500,000円

研究成果の概要（和文）：鉄系超伝導体の原子層薄膜における超伝導機構の解明、及び高温超伝導の実現を目指して、薄膜作製装置と高分解能角度分解光電子分光装置の改良を行なった。改良した装置を用いて、キャリア量や組成を調整・制御した鉄系超伝導体薄膜を作製し、それらの超伝導特性と電子構造を決定した。その結果、高温超伝導の実現や超伝導相図の決定、バルクとは異なる物性の実現に成功した。また、高温超伝導発現に関する相互作用について選別が進んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、原子数個程度の厚さの薄膜試料において高温超伝導を実現・制御する手法を確立した。基礎と応用を跨ぐ広範な分野において、最も重要な研究テーマの1つである高温超伝導は、これまでバルク試料の研究が大部分を占めていた。本研究で確立した手法を用いることで、既存のバルク高温超伝導物質では実現が困難な応用や、原子層薄膜に特有の新たな高温超伝導メカニズムに関する研究の進展が期待される。

研究成果の概要（英文）：We have investigated the superconducting mechanism in ultrathin iron-based superconductors and also searched for high-temperature superconductivity. By improving an angle-resolved photoemission spectrometer and a molecular-beam epitaxy system, we have grown ultrathin films of iron-based superconductors with various compositions, carrier concentrations, and thicknesses. By determining their superconducting temperatures and electronic structures, we have succeeded in achieving high-temperature superconductivity, determining the phase diagram, and uncovering exotic properties. Our detailed ARPES studies provide important insights into the mechanism of high-temperature superconductivity.

研究分野：光電子固体物性

キーワード：角度分解光電子分光 高温超伝導 鉄系超伝導体 薄膜

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

SrTiO₃ 基板上に作製した鉄系超伝導体 FeSe の原子層膜において、バルク結晶を大幅に上回る高い超伝導転移温度(T_c)が報告されて、大きな注目を集めている。高温超伝導機構については、FeSe 層へのキャリアドーピングや、基板界面における相互作用の重要性が提案されており、実験的な検証が重要な課題となっている。

2. 研究の目的

FeSe へのキャリア注入と基板界面における相互作用の制御を実現し、その際の FeSe 層における超伝導や電子状態の変化を角度分解光電子分光(ARPES)法によって明らかにする。これにより、単層 FeSe 膜の高温超伝導に關与する引力相互作用の解明を目指す。また、引力相互作用を最適化することで高温超伝導の実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) FeSe 原子層薄膜の表面への原子・分子吸着や元素置換を利用した、キャリア量、及び、超伝導特性の制御を実現するため、キャリア制御槽を兼ねた薄膜作製チャンバーを設計・作製する。また、超伝導に關する微細電子構造を高い精度で決定するため、高分解能 ARPES 装置の改良を行う。

(2) 作製・改良した装置を用いて、キャリア量や界面相互作用を制御した FeSe 薄膜を作製し、その T_c 、バンド構造、超伝導ギャップ、多体相互作用の強さを決定し、界面における相互作用と高温超伝導の関係を解明する。また、高い T_c の実現に必要な因子を最適化することで、高温超伝導を探索する。

4. 研究成果

(1) キャリア制御槽を兼ねた薄膜作製チャンバーを設計・製作した。3 源蒸着源を新たに導入することで、元素置換によるキャリア量制御および FeSe 以外の鉄系超伝導体薄膜の作製を可能にした。また、赤外レーザーを用いた基板加熱機構を導入することで、効率的かつ高温領域までの基板加熱を可能にした。これらの改良により、様々な基板上に、組成やキャリアを制御した鉄系超伝導体薄膜の作製を実現した。

(2) 薄膜作製装置の改良と並行して、高分解能 ARPES 装置の改良を行なった。特に、励起光源系の真空排気を強化することで、FeSe 薄膜への分子吸着に伴う表面劣化や超伝導特性の低下を抑制した。この装置改良により、実験結果の信頼性、及び、実効的なエネルギー分解能の向上を実現した。

(3) 改良した薄膜作製装置を用いて、FeSe 原子層薄膜を SrTiO₃ 基板上に作製し、その表面に原子・分子を吸着してキャリア量を系統的に制御することで、40 K を超える高温超伝導の実現に成功した。原子・分子の表面吸着に加えて、アルカリ金属を FeSe 層の間にインターカレーションして高温超伝導を発現させることにも成功した。また、高分解能 ARPES 測定を用いたその場電子状態観察によって、バンド分散形状とその温度依存性を精密に解析することで、電子ネマティック秩序の組成依存性を明らかにし、電子相図を決定した(図1)。これらの結果は、原子層薄膜における高温超伝導の実現・制御技術の確立と、基礎物性の理解に進展をもたらすものである。

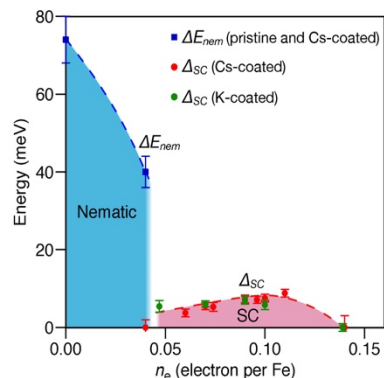


図1: FeSe 薄膜の電子相図[1]

(4) FeSe 薄膜作製後の加熱温度と時間を高精度で制御することで、ノンドープの FeSe 単層膜の作製に成功した。電子状態解析を行なった結果、線形分散を示すディラック型のエネルギーバンドのみでフェルミ面が構成されていることを見出した。この結果から、ノンドープ FeSe 単層膜では、ミラー対称性によって保護された二次元ディラック半金属相が実現していることを明らかにした。多層膜の電子構造や格子定数と比較することで、二次元ディラック半金属相は SrTiO₃ 基板から受ける引っ張り歪みによって引き起こされていることを見出した。以上の結果は、バルク結晶にはない新奇物質相が原子層薄膜で実現することを示している。

(5) 超伝導組成において、超伝導状態から室温まで、幅広い温度領域に亘って電子状態の系統的な ARPES 測定を行うことで、FeSe の原子層薄膜とバルク試料におけるバンド分散形状の相違点を見出した。とりわけ、低温におけるバンド構造の精密な解析により、原子層薄膜では低エネルギーのボソン、あるいは、運動量の小さいボソンとの相互作用を介して高温超伝導が実現している可能性を見出した。

(6) トポタクティック反応を利用した元素置換技術を開発し、FeS 超伝導体の原子層薄膜の作製に初めて成功した(図2)。様々な膜厚・キャリア量の FeS 薄膜の電子状態を測定し、FeS の電子が界面を跨いで SrTiO₃ のフォノンと強く結合していることや、SrTiO₃ から多量の電子がドーピングされていることなど、FeSe 薄膜との共通点を明らかにした。一方で、FeSe 単層膜とは異なり、高温超伝導が生じないことを見出した。以上の結果から、界面を跨いだ電子-格子相互作用に加えて、FeSe 層内の相互作用が協調的に高温超伝導を引き起こすモデルを提案した。以上の結果は、現在激しい論争が続いている FeSe 単層膜の超伝導機構の最終解明に向けて、重要な一歩といえる。また、これまで一般に、硫化物薄膜の作製は困難とされてきた。本研究で開発したトポタクティック反応を用いた勘弁な硫化物薄膜作製技術は、様々なカルコゲン化合物に応用可能であることから、原子層薄膜研究の新機軸となることが期待される。

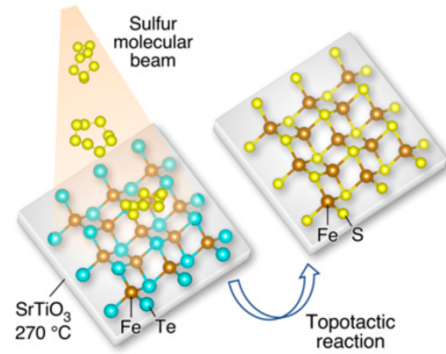


図2: FeS のトポタクティック合成[2]

(7) 圧縮歪みを印加した FeSe_{1-x}Te_x 薄膜の高分解能 ARPES 測定を行った。放射光における偏光依存性の測定も併用することで、フェルミ面やバンド構造について軌道対称性を含めて決定し、その組成依存性を明らかにした。その結果、Te 置換によってフェルミ面を構成する電子軌道の変化が引き起こされること、及び、この変化が T_c の急激な上昇と同時に起こることを見出した。また、T_c の上昇と対応して超伝導ギャップサイズが増大する振る舞いを観測した。以上の結果から、高い T_c の実現には軌道自由度も考慮する必要があると結論した。

(8) 鉄系超伝導体母物質の FeTe とトポロジカル絶縁体 Bi₂Te₃ のヘテロ構造を作製し、その電子状態を高分解能 ARPES によって決定した。その結果、ヘテロ界面を跨いだ電荷移動に起因する電子状態の大きな変化を観測し(図3)、この電荷移動が界面超伝導を引き起こす可能性を見出した。また、トポロジカル超伝導探索の新しい舞台となることを提案した。

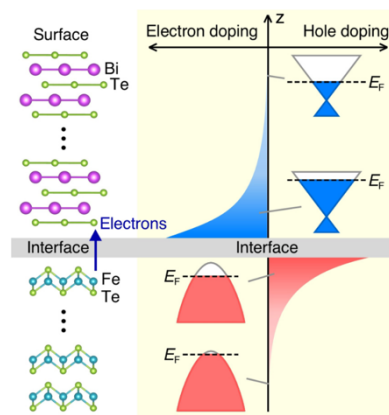


図3: Bi₂Te₃/FeTe の電子構造[3]

(9) 鉄系超伝導体ヘテロ構造との比較として、銅酸化物高温超伝導体 Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ をベースとしたヘテロ構造物質についても作製し、高分解能 ARPES 測定を行なった。その結果、ヘテロ界面を通じた超伝導近接効果に起因する超伝導ギャップを直接観測することに成功した。約 90 K と高い T_c や、小さなフェルミエネルギー、強いスピン軌道相互作用など、高温トポロジカル超伝導を実現する条件が整っていることを明らかにした。また、新規トポロジカル超伝導体候補バルク物質の電子状態を決定し、これまで報告例のない擬一次元的なディラック電子の存在を見出した。また、トポロジカル超伝導発現の可能性を見出した。

(10) 改良した薄膜作製装置を活用して、遷移金属ダイカルコゲナイド原子層薄膜との比較研究にも取り組み、カルコゲン元素に依存した電子状態の変化や電荷密度波転移の起源について新しい知見を得た。

<引用文献>

[1] G. N. Phan, K. Nakayama, S. Kanayama, M. Kuno, K. Sugawara, T. Sato, and T. Takahashi, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 033706 (2017).
 [2] K. Shigekawa, K. Nakayama, M. Kuno, G. N. Phan, K. Owada, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **116**, 24470–24474 (2019).
 [3] K. Owada, K. Nakayama, R. Tsubono, K. Shigekawa, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato, Phys. Rev. B **100**, 064518 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 K. Shigekawa, K. Nakayama, G. N. Phan, M. Kuno, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 1054
2. 論文標題 Temperature insensitivity of Fermi surface in electron-doped high-temperature FeSe films on SrTiO ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1054/1/012019	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 Kosuke Nakayama, Zhiwei Wang, Chi Xuan Trang, Seigo Souma, Emile D. L. Rienks, Takashi Takahashi, Yoichi Ando, and Takafumi Sato	4. 巻 98
2. 論文標題 Observation of Dirac-like energy band and unusual spectral line shape in quasi-one-dimensional superconductor Ti ₂ Mo ₆ Se ₆	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140502(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.140502	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 Natsumi Shimamura, Katsuaki Sugawara, Sukrit Sucharitakul, Seigo Souma, Katsuya Iwaya, Kosuke Nakayama, Chi Xuan Trang, Kunihiko Yamauchi, Tamio Oguchi, Kazutaka Kudo, Takashi Noji, Yoji Koike, Takashi Takahashi, Tetsuo Hanaguri, and Takafumi Sato	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultrathin Bismuth Film on High-Temperature Cuprate Superconductor Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈ + as a Candidate of a Topological Superconductor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 10977-10983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.8b04869	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 Daichi Takane, Seigo Souma, Kosuke Nakayama, Takechika Nakamura, Hikaru Oinuma, Kentaro Hori, Kouji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Noriaki Kimura, Takashi Takahashi, and Takafumi Sato	4. 巻 98
2. 論文標題 Observation of a Dirac nodal line in AIB ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 041105(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.041105	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 S. Kanayama, K. Nakayama, G. N. Phan, M. Kuno, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 96
2. 論文標題 Two-dimensional Dirac semimetal phase in undoped one-monolayer FeSe film	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220509(R)-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.220509	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 K. Shigekawa, K. Nakayama, G. N. Phan, M. Kuno, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 1054
2. 論文標題 Temperature insensitivity of Fermi surface in electron-doped high-temperature FeSe films on SrTiO ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 K. Shigekawa, K. Nakayama, M. Kuno, G. N. Phan, K. Owada, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 116
2. 論文標題 Dichotomy of superconductivity between monolayer FeS and FeSe	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 24470-24474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1912836116	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 K. Owada, K. Nakayama, R. Tsubono, K. Shigekawa, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 100
2. 論文標題 Electronic structure of a Bi ₂ Te ₃ /FeTe heterostructure: Implications for unconventional superconductivity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064518-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.064518	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 K. Sugawara, Y. Nakata, K. Fujii, K. Nakayama, S. Souma, T. Takahashi, and T. Sato	4. 巻 99
2. 論文標題 Monolayer VTe ₂ : Incommensurate Fermi surface nesting and suppression of charge density waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 241404(R)-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.241404	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28件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 重河恒心、大和田健太、Phan Giao、中山耕輔、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 鉄系超伝導体原子層薄膜の元素置換：高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大和田健太、重河恒心、Phan Giao、中山耕輔、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体/鉄系超伝導体ヘテロ接合の高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山耕輔、Z. Wang、C. X. Trang、相馬清吾、E. D. L. Rienks、高橋 隆、安藤陽一、佐藤宇史
2. 発表標題 トポロジカル超伝導体候補物質Tl ₂ Mo ₆ Se ₆ の高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山 耕輔
2. 発表標題 高分解能ARPESによる新規トポロジカル材料開拓
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大和田健太、中山耕輔、重河恒心、Phan Giao、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 Bi ₂ Te ₃ /FeTeの高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakayama, S. Kanayama, G. N. Phan, M. Kuno, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato
2. 発表標題 High-Resolution ARPES study of One-Monolayer FeSe Films on SrTiO ₃ : Dirac Semimetal and High-Temperature Superconducting Phases
3. 学会等名 Materials and mechanisms of superconductivity 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Shigekawa, K. Nakayama, K. Owada, G. N. Phan, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato
2. 発表標題 Superconducting Quasiparticles in Electron-Doped FeSe Thin Films Studied by High-Resolution ARPES
3. 学会等名 Materials and mechanisms of superconductivity 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nakayama, S. Kanayama, G. N. Phan, M. Kuno, K. Sugawara, T. Takahashi, T. Sato
2. 発表標題 Two-Dimensional Dirac Semimetal Phase in Undoped Monolayer FeSe Film
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Owada, K. Nakayama, K. Shigekawa, G. Phan, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato
2. 発表標題 High-Resolution ARPES Study of Bi ₂ Te ₃ /FeTe
3. 学会等名 TMS領域研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山耕輔、重河恒心、久野雅人、G. Phan、菅原克明、浦田隆広、田邊洋一、谷垣勝己、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 FeSeの半金属的バンド構造：高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 重河恒心、久野雅人、Phan Giao、中山耕輔、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 単層FeSeの超伝導準粒子：高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. N. Phan, K. Shigekawa, M. Kuno, K. Nakayama, F. Nabeshima, M. Kawai, Y. Imai, A. Maeda, T. Takahashi, and T. Sato
2. 発表標題 Superconducting gap of FeSe _{1-x} Te _x thin films studied by ARPES
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山耕輔
2. 発表標題 FeSe薄膜の高分解能ARPES
3. 学会等名 高温超伝導フォーラム第5回会合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Shigekawa, K. Nakayama, M. Kuno, G. Phan, K. Sugawara, T. Takahashi, T. Sato
2. 発表標題 High-Resolution ARPES Study of Quasiparticle Band Dispersion in Electron-Doped FeSe Thin Films
3. 学会等名 30th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. N. Phan, K. Nakayama, K. Sugawara, T. Sato, T. Urata, Y. Tanabe, K. Tanigaki, F. Nabeshima, Y. Imai, A. Maeda, and T. Takahashi
2. 発表標題 Uncovering an interplay among fermiology, superconductivity, and nematicity in FeSe by epitaxial strain
3. 学会等名 APS March meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. N. Phan, M. Kuno, S. Kanayama, K. Nakayama, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato
2. 発表標題 Interplay among high-temperature superconductivity, electron doping, and lattice strain in FeSe thin films
3. 学会等名 東北大学理学・生命科学研究科合同シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山耕輔、重河恒心、大和田健太、G. Phan、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 単層FeSの高分解能ARPES
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 坪野竜治、中山耕輔、大和田健太、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 FeSe/Bi2Se3ヘテロ構造の高分解能ARPES
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 中山耕輔、坪野竜治、大和田健太、鍋島冬樹、色摩直樹、石川智也、崎下雄稀、前田京剛、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 Fe(Se,Te)/CaF2の電子構造の組成依存性: 高分解能ARPES
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 K. Owada, K. Nakayama, R. Tsubono, K. Shigekawa, G. Phan, K. Sugawara, T. Takahashi, and T. Sato
2 . 発表標題 High-Resolution ARPES Study of Bi ₂ Te ₃ /FeTe heterostructure
3 . 学会等名 Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Nakayama, K. Shigekawa, K. Owada, G. N. Phan, T. Takahashi, and T. Sato
2 . 発表標題 Substitution Effects in Ultrathin Iron-based Superconductor Films Studied by High-Resolution ARPES
3 . 学会等名 Spectroscopies in Novel Superconductors (SNS2019)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kosue Nakayama
2 . 発表標題 Superconductivity and fermiology in atomically-thin iron-chalcogenide films studied by ARPES
3 . 学会等名 Research Frontier of Advanced Spectroscopies for Correlated Electron Systems
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kosuke Nakayama
2 . 発表標題 Possible topological superconductivity in a hybrid of non-superconducting Bi ₂ Te ₃ and FeTe
3 . 学会等名 AIMR Workshop on Quantum Materials and Spintronics: Spin, Topology and Superconductivity
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Nakayama, Koshin Shigekawa, Masato Kuno, Giao N. Phan, Kenta Owada, Katsuaki Sugawara, Takashi Takahashia, and Takafumi Sato
2. 発表標題 High-resolution ARPES study of monolayer FeS on SrTiO3
3. 学会等名 The 3rd Symposium for World Leading Research Centers
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坪野竜治、中山耕輔、大和田健太、鍋島冬樹、色摩直樹、石川智也、崎下雄稀、前田京剛、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 鉄カルコゲナイド高温超伝導体の高分解能ARPES
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Nakayama
2. 発表標題 High-temperature superconductivity in ultrathin iron-chalcogenide films studied by angle-resolved photoemission spectroscopy
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坪野竜治、中山耕輔、大和田健太、鍋島冬樹、色摩直樹、石川智也、崎下雄稀、前田京剛、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 Fe(Te,Se)/CaF2高温超伝導体の高分解能 ARPES
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 大和田健太、中山耕輔、坪野竜治、重河恒心、菅原克明、高橋 隆、佐藤宇史
2. 発表標題 Bi ₂ Te ₃ /FeTeヘテロ構造の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中山耕輔、佐藤宇史 他	4. 発行年 2019年
2. 出版社 アグネ技術センター	5. 総ページ数 344
3. 書名 放射光利用の手引き 農水産・医療，エネルギー，環境，材料開発分野などへの応用	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----