

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01847

研究課題名(和文)カルコゲナイド原子層薄膜のトポタクティック合成と新奇物性開拓

研究課題名(英文) Exploration of exotic properties in chalcogenide thin films grown by topotactic reactions

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) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：カルコゲナイド原子層薄膜における新規物性の探索と発現機構解明を目指して、分子線エビタキシー(MBE)法とトポタクティック法を融合した独自の薄膜作製手法を確立した。これにより、鉄系高温超伝導体やトポロジカル絶縁体、遷移金属ダイカルコゲナイドなどの硫化物を含む薄膜合成に成功した。また、高分解能ARPESによる電子状態評価に基づいて、超伝導や電荷密度波などの物性やその発現機構について新たな知見を得た。特に鉄系超伝導体における構造相転移を伴わない純粋なネマティック秩序や遷移金属カルコゲナイドにおける高次フェルミネスティングに由来するCDWなどエキゾチックな量子状態を示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、MBE法とトポタクティック反応法を組み合わせた新しい手法を開発し、これまでMBE法単独では困難とされていた硫化物薄膜の作製に成功した。カルコゲナイドは変化に富んだ膨大な数が存在し、基礎から応用まで広範な分野で先端材料として盛んに利用されている。本研究において鉄系高温超伝導体やトポロジカル絶縁体、遷移金属ダイカルコゲナイドなどで有用性を実証したように、トポタクティック法を用いた新手法は様々なカルコゲナイドに広く適用できることから、カルコゲナイド薄膜の作製や物性研究の新基軸になると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a novel method to obtain chalcogenide thin films by utilizing a topotactic reaction combined with a molecular beam epitaxy (MBE). This method is particularly useful for the growth of sulfur-based thin films which is generally difficult by MBE only, as we have demonstrated a successful topotactic conversion of iron-based high-temperature superconductors, topological insulators, and transition metal dichalcogenides. By performing high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy, we have revealed the electronic states and physical properties of the obtained thin films and related compounds. For instance, we have found signatures of exotic quantum states such as pure electronic nematic states without involving a structural phase transition in iron-based high-temperature superconductors and charge density waves originating from higher-order Fermi surface nesting in transition metal chalcogenides.

研究分野：光電子固体物性

キーワード：カルコゲナイド 原子層薄膜 トポタクティック反応 角度分解光電子分光 電子状態

1. 研究開始当初の背景

近年、カルコゲナイドの原子層超薄膜において新しい機能性物質の発見が相次いでいる。これらの物質では高温超伝導や量子スピンホール効果をはじめとする様々な量子現象が実証あるいは理論的に予言されている。一方で、薄膜の作製技術自体が確立していない物質も多い。特にカルコゲンの中でもS元素は蒸気圧が高く、MBE法を用いた薄膜作製の困難さが研究進展の障害となっている。

2. 研究の目的

本研究では、トポクティック反応を巧みに利用した元素置換技術とMBE法による高品質薄膜作製技術を融合することにより、硫化物をはじめとする機能性薄膜の作製手法を確立する。これにより、エキゾチック超伝導や新奇スピン偏極二次元電子系などの開拓を目指す。また、高分解能ARPESを用いて電子構造の観点から物性発現機構の解明を目指す。

3. 研究の方法

(1) S蒸着源を備えたトポクティック反応装置を製作し、研究室現有のMBE装置に連結する。S分子の高い蒸気圧を考慮し、蒸着源の先端部にバリアブルリークバルブを搭載して蒸着レートの精密な制御を実現する。また、トポクティック反応に最適な温度を実現するための試料加熱機構を導入する。これらの装置作製に加えて高分解能ARPES装置の光学系を改良し、微小スポット化を目指す。

(2) 作製・改良した装置を用いて、鉄系高温超伝導体、トポロジカル絶縁体、遷移金属カルコゲナイドを中心とする新規原子層薄膜を作製する。得られた薄膜に対して高分解能ARPES測定を行うことで、電子状態を解明すると同時に物性について電子状態の立場から理解する。また、物性の発現機構を明らかにすることを目指す。

4. 研究成果

(1) 蒸着レートの精密制御が可能なS蒸着源、様々な物性パラメータを持つ基板に対応可能な加熱機構、及び多段の真空排気機構を備え、耐腐食性材料を用いた各部の浸食対策を施したトポクティック反応装置を新たに製作し、MBE装置にドッキングして調整した。これにより鉄系高温超伝導体やトポロジカル絶縁体、遷移金属カルコゲナイドなどの硫化物原子層薄膜作製を実現した。

(2) 高分解能ARPES装置の希ガスプラズマ放電管に中空ガラスキャピラリー型レンズを導入してビームスポットの微小化を実現した。また、差動排気システムの強化も同時に実現することでARPES測定時の真空度の向上を達成した。これらの装置改良により、従来よりも小さな試料及び試料上のドメインなどに依存した電子状態の変化を高精度で測定することが可能になった。また、ARPES装置の制御プログラムを一新してARPES測定の高効率化も達成した。

(3) 鉄系高温超伝導体FeCh (Ch=S, Se, Te) 薄膜の系統的な高分解能ARPES測定を行い、バンド構造のカルコゲン依存性を決定した。その結果、カルコゲン元素の置換に伴ってフェルミ面を構成するエネルギーバンドの軌道対称性が変化し(図1)、その変化と対応してネマティック秩序の消失や超伝導転移温度の上昇といった物性の変化が生じることを見出した。この結果から、軌道に依存したバンドのエネルギー変化と状態密度の変化が物性と強く相関すること示した[1]。また、これまで多くの鉄系超伝導体ではネマティック秩序が構造相転移とほぼ同時に現れると報告されていたのに反して、LaAlO₃基板上に作製したFeSeでは構造相転移を伴わない純粋なネマティック秩序状態が生じることを明らかにした[2]。これによりネマティック秩序が電子の持つ自由度によって引き起こされていることを示した。また、薄膜とバルク試料で電子格子相互作用が異なっていると考えられ、薄膜は電子格子相互の寄与が少ない裸の電子応答を調べるのに適した系であり、ネマティック秩序と超伝導の関係を調べる理想的な舞台であると結論した。

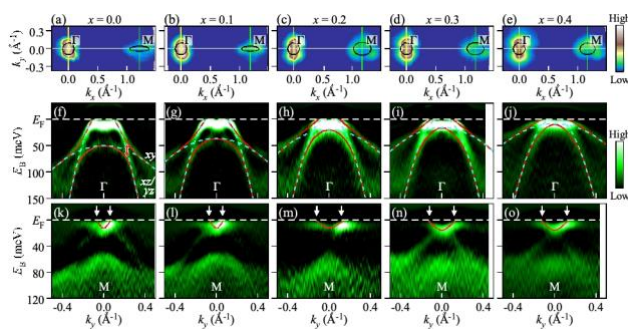


図1. FeSe_{1-x}Te_x 薄膜における (a)-(e) フェルミ面、(f)-(j) Γ 点のバンド分散、(k)-(o) M 点のバンド分散の組成依存性[1].

(4) 遷移金属カルコゲナイド VTe_2 原子層薄膜を出発点としてトポクティック反応によって VS_2 原子層薄膜を作製することに成功した。作製した薄膜の ARPES 測定を行い [2]、バルク VS_2 とは異なる周期性の電荷密度波 (CDW) が生じていることを明らかにした。CDW ギャップのフェルミ面・波数依存性の精密な測定及び第一原理計算結果などとの比較を通して、この新規 CDW 相が高次の q ベクトルを介したフェルミ面ネスティングによって安定化するエキゾチックな起源を持つことを提案した [3]。

また、トポクティック反応を用いて他の遷移金属ダイカルコゲナイドの硫化物薄膜を作製し、カルコゲン元素比やキャリア量に応じた CDW 相図を決定し、そのメカニズムについてフェルミ面ネスティングに基づいて理解した。さらに、微小スポットを活用して遷移金属モノカルコゲナイドのバンド構造を直接観測することにも成功し、異方的な有効質量など電子構造の特徴を明らかにした [4]。

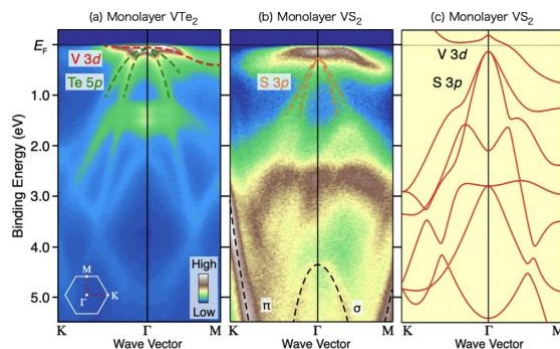


図 2. (a) VTe_2 及び (b) VS_2 原子層薄膜の価電子帯バンド構造 [3]. (c) VS_2 原子層薄膜に対する第一原理計算結果。

(5) トポロジカル絶縁体 Bi_2Te_3 薄膜に対しても S 分子ビームを照射してトポクティック反応を引き起こした。その結果、単純な元素置換に加えて、元素選択的なエッチングが同時に生じることを見出した。この反応を利用して新しいヘテロ構造物質の作製に成功するとともに、その電子状態を高分解能 ARPES によって決定した。また、他のトポロジカル物質の ARPES 測定も行い、例えばラインノードを持つトポロジカル半金属 CaSb_2 において超伝導に關与する電子軌道を同定し、電子状態と超伝導転移温度の關係について新たな知見を得た [5]。

また、カゴメ格子を持つ超伝導体でトポロジカル表面状態の存在が予言されている AV_3Sb_5 ($A = \text{K, Rb, Cs}$) に対して元素置換を施した試料の電子構造評価にも取り組んだ。その結果、ディラックコーンバンドやファンホーベ特異点など、カゴメ格子で期待されるバンド構造の特徴を直接観測することに成功した。また、CDW ギャップの組成依存性を高精度で決定した (図 3)。これらの特徴的な電子構造が元素置換によって変化する様子を可視化し、ファンホーベ特異点が超伝導や CDW の発現と密接に關与していることを明らかにした [6]。さらに、CDW によるバンド構造の折り返しを観測し、第一原理計算との比較を通して、ダビデの星と逆位相の新しいタイプの格子歪みが生じていることを提案した [7]。

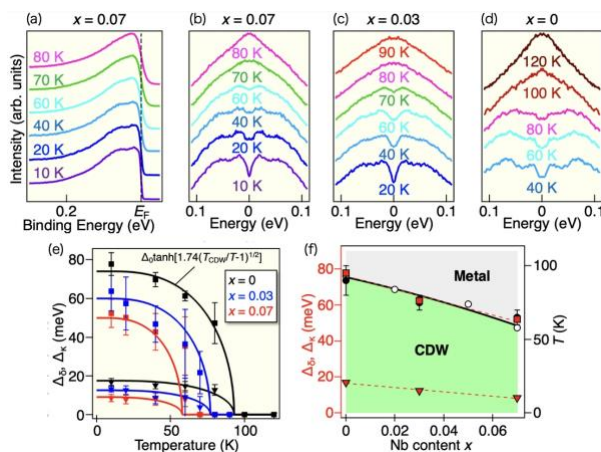


図 3. (a)-(d) Nb 置換 CsV_3Sb_5 の ARPES スペクトルの温度依存性. (e) CDW ギャップの温度・組成依存性. (f) 決定した電子相図 [6].

<引用文献>

- [1] K. Nakayama *et al.*, Phys. Rev. Research **13**, 155 (2021).
- [2] Y. Kubota *et al.*, arXiv:2208.12384.
- [3] T. Kawakami *et al.*, npj 2D Materials and Applications **7**, 35 (2023).
- [4] K. Sugawara *et al.*, Nano Lett. **23**, 1673 (2023).
- [5] C. W. Chuang *et al.*, Phys. Rev. Matter. **6**, 104203 (2022).
- [6] T. Kato *et al.*, Phys. Rev. Lett. **129**, 206402 (2022).
- [7] T. Kato *et al.*, Communications Materials **3**, 30 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakayama Kosuke, Shigekawa Koshin, Sugawara Katsuaki, Takahashi Takashi, Sato Takafumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Unusual Temperature Evolution of Quasiparticle Band Dispersion in Electron-Doped FeSe Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 155 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13020155	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 Nakayama K., Tsubono R., Phan G. N., Nabeshima F., Shikama N., Ishikawa T., Sakishita Y., Ideta S., Tanaka K., Maeda A., Takahashi T., Sato T.	4. 巻 3
2. 論文標題 Orbital mixing at the onset of high-temperature superconductivity in FeSe _{1-x} Te _x /CaF ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L012007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L012007	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 Kawakami Tappei, Sugawara Katsuaki, Oka Hirofumi, Nakayama Kosuke, Yaegashi Ken, Souma Seigo, Takahashi Takashi, Fukumura Tomoteru, Sato Takafumi	4. 巻 7
2. 論文標題 Charge-density wave associated with higher-order Fermi-surface nesting in monolayer VS ₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 npj 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-023-00395-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 Kato Takemi, Li Yongkai, Kawakami Tappei, Liu Min, Nakayama Kosuke, Wang Zhiwei, Moriya Ayumi, Tanaka Kiyohisa, Takahashi Takashi, Yao Yugui, Sato Takafumi	4. 巻 3
2. 論文標題 Three-dimensional energy gap and origin of charge-density wave in kagome superconductor KV ₃ Sb ₅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-022-00255-1	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 Kato Takemi, Li Yongkai, Nakayama Kosuke, Wang Zhiwei, Souma Seigo, Matsui Fumihiko, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Takahashi Takashi, Yao Yugui, Sato Takafumi	4. 巻 129
2. 論文標題 Fermiology and Origin of Tc Enhancement in a Kagome Superconductor Cs(V1-xNbx)3Sb5	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 206402
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 該当する

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 CsV3Sb5	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121112
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 該当する

1. 著者名 A. Moriya, K. Nakayama, T. Kawakami, K. Maeda, A. Tokuyama, S. Souma, C. Chen, J. Avila, M. Ca. Asensio, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Takahashi, K. Fujiwara, K. Segawa, and T. Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Visualizing crystal twin boundaries of bismuth by high-spatial-resolution ARPES	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 -
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 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 -

1. 著者名 Chuang Chien-Wen, Souma Seigo, Moriya Ayumi, Nakayama Kosuke, et al.	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
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 該当する

1. 著者名 Taguchi Taiki, Sugawara Katsuaki, Oka Hirofumi, Kawakami Tappei, Saruta Yasuaki, Kato Takemi, Nakayama Kosuke, Souma Seigo, Takahashi Takashi, Fukumura Tomoteru, Sato Takafumi	4. 巻 107
2. 論文標題 Charge order with unusual star-of-David lattice in monolayer NbTe ₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L041105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.L041105	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31件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 相馬清吾, 本間飛鳥, 北村未歩, 堀場弘司, 川上竜平, 渡辺夏芽, 中山耕輔, 菅原克明, 高橋 隆, 組頭広志, 佐藤宇史
2. 発表標題 マイクロARPESによるトポロジカル物質の局所電子状態
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅原克明, 川上竜平, 加藤剛臣, 田口大樹, 猿田康朗, 久保田雄也, 坪野竜治, 中山耕輔, 相馬清吾, 上野啓司, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋隆, 佐藤宇史
2. 発表標題 マイクロARPESによる遷移金属ダイカルコゲナイド薄膜の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山耕輔, 久保田雄也, 高根大地, 相馬清吾, 本間飛鳥, 川上竜平, 加藤剛臣, 菅原克明, 高橋隆, 瀬川耕司, 出田真一郎, 田中清尚, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 佐藤宇史
2. 発表標題 マイクロARPESによる新奇ディラック半金属の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Nakayama
2. 発表標題 High-Resolution ARPES Study on the Origin of High-Temperature Superconductivity in FeSe _{1-x} Te _x /CaF ₂
3. 学会等名 The 4th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2020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/Bi ₂ Se ₃ ヘテロ構造の高分解能ARPES
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 T. Kawakami, K. Sugawara, Oka, K. Nakayama, K. Yaegashi, S. Souma, T. Takahashi, T. Fukumura and Takafumi Sato
2. 発表標題 High-resolution micro-ARPES studies of monolayer VS ₂ grown on bilayer graphene
3. 学会等名 The 10th International Workshop on 2D Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Takemi Kato, Yongkai Li, Kosuke Nakayama, Zhiwei Wang, Seigo Souma, Fumihiko Matsui, Miho Kitamura, Koji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Takashi Takahashi, Yugui Yao, and Takafumi Sato
2 . 発表標題 High-resolution ARPES study of a kagome superconductor Cs(V _{1-x} Nbx) ₃ Sb ₅
3 . 学会等名 International Workshop on Correlations and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy (CORPES22) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Nakayama, Y. Li, T. Kato, M. Liu, Z. Wang, T. Takahashi, Y. Yao, and T. Sato
2 . 発表標題 ARPES observation of charge-density wave gaps and their evolution by carrier injection in a kagome superconductor CsV ₃ Sb ₅
3 . 学会等名 13th International Conference on Materials and mechanisms of Superconductivity & High Temperature Superconductors(M2S) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Kato, Y. Li, T. Kawakami, M. Liu, K. Nakayama, Z. Wang, A.Moriya, K. Tanaka, T. Takahashi, Y. Yao, and T. Sato
2 . 発表標題 Three-Dimensional Nature of Charge-Density Wave in Kagome Superconductor KV ₃ Sb ₅ Studied by ARPES
3 . 学会等名 13th International Conference on Materials and mechanisms of Superconductivity & High Temperature Superconductors(M2S) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Kawakami, H. Oka, K. Yaegashi, K. Nakayama, K. Sugawara, T. Kato, Y. Saruta, S. Souma, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Takahashi, T. Fukumura, T. Sato
2 . 発表標題 Electronic structure of monolayer VS ₂ thin film studied by ARPES
3 . 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 守谷歩美, 中山耕輔, 徳山敦也, 前田健作, 川上竜平, 相馬清吾, Chaoyu Chen, Jose Avila, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 藤原航三, 瀬川耕司, 佐藤宇史
2. 発表標題 Micro-ARPES study of Bismuth
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Nakayama, Y. Li, T. Kato, M. Liu, Z. Wang, T. Takahashi, Y. Yao, and T. Sato
2. 発表標題 CDW-induced anisotropic energy gap and its evolution by carrier doping in a kagome superconductor CsV ₃ Sb ₅
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takemi Kato, Yongkai Li, Kosuke Nakayama, Zhiwei Wang, Seigo Souma, Takashi Takahashi, Yugu Yao, and Takafumi Sato
2. 発表標題 Fermiology of Kagome Superconductors AV ₃ Sb ₅ Studied by ARPES
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川上竜平, 菅原克明, 岡 博文, 中山耕輔, 八重樫 健, 相馬清吾, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 福村知昭, 佐藤宇史
2. 発表標題 原子層 VS ₂ の電子状態 : μ -ARPES
3. 学会等名 日本放射光学会 第14回若手研究会 次世代放射光で切り拓く軟X線科学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷 拓実, 守谷 歩美, 中山 耕輔, 本間飛鳥, 加藤 剛臣, 川上 竜平, 菅原克明, 相馬 清吾, 田中 清尚, 北村 未歩, 堀場 弘司, 組頭 広志, 高橋 隆, 瀬川 耕司, 佐藤 宇史
2. 発表標題 新型トポロジカル物質候補CdGeAs ₂ のARPES
3. 学会等名 日本放射光学会 第14回若手研究会 次世代放射光で切り拓く軟X線科学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山耕輔
2. 発表標題 カゴメ超伝導体のマイクロARPES
3. 学会等名 日本放射光学会 第14回若手研究会 次世代放射光で切り拓く軟X線科学 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤剛臣, 川上竜平, 守谷歩美, 中山耕輔, Yongkai Li, Min Liu, Zhiwei Wang, 田中清尚, 高橋 隆, Yugui Yao, 佐藤宇史
2. 発表標題 角度分解光電子分光によるカゴメ超伝導体KV ₃ Sb ₅ の異方的CDWギャップの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤剛臣, 中山耕輔, Yongkai Li, Zhiwei Wang, 相馬清吾, 松井文彦, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, Yugui Yao, 佐藤宇史
2. 発表標題 カゴメ超伝導体CsV ₃ Sb ₅ におけるNb置換効果:高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川上竜平, 八重樫 健, 柳沢幸紀, 中山耕輔, 菅原克明, 相馬清吾, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 佐藤宇史
2. 発表標題 原子層 NbS ₂ 薄膜の電子状態: マイクロ ARPES
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山耕輔, 小林広樹, 川上竜平, 菅原克明, 高橋隆, 佐藤宇史
2. 発表標題 S照射したトポロジカル絶縁体Bi ₂ Te ₃ のARPES
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤剛臣, 中山耕輔, Yongkai Li, Zhiwei Wang, 相馬清吾, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 佐藤宇史
2. 発表標題 カゴメ超伝導体CsV ₃ Sb ₅ のドメイン分割マイクロARPES
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷 拓実, 守谷 歩美, 中山 耕輔, 本間飛鳥, 加藤 剛臣, 川上 竜平, 菅原克明, 相馬 清吾, 田中 清尚, 北村 未歩, 堀場 弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 瀬川 耕司, 佐藤 宇史"
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体候補カルコパイライト構造物質のARPES
3. 学会等名 日本物理学会 2022年 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅原克明, 猿田康朗, 岡博文, 川上竜平, 加藤剛臣, 中山耕輔, 相馬清吾, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋隆, 福村知昭, 佐藤宇史,
2. 発表標題 原子層MoTe2の電子状態: マイクロARPES
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takemi Kato, Kosuke Nakayama, Yongkai Li, Zhiwei Wang, Seigo Souma, Miho Kitamura, Koji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Takashi Takahashi, and Takafumi Sato
2. 発表標題 Surface-termination-dependent electronic states in a kagome superconductor CsV3Sb5 studied by micro-ARPES
3. 学会等名 The 6th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 5th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤剛臣, 川上竜平, 中山耕輔, Yongkai Li, Min Liu, Zhiwei Wang, 守谷歩美, 相馬清吾, 松井文彦, 田中清尚, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, Yugui Yao, 佐藤宇史
2. 発表標題 角度分解光電子分光によるカゴメ超伝導体AV3Sb5のCDW状態
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷拓実, 守谷歩美, 中山耕輔, 本間飛鳥, 加藤剛臣, 川上竜平, 菅原克明, 相馬清吾, 田中清尚, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋隆, 瀬川耕司, 佐藤宇史
2. 発表標題 カルコバイライト構造物質CdGeAs2のバルク・表面状態: 高分解能ARPES
3. 学会等名 第36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 2022年

1. 発表者名 Takemi Kato, Yongkai Li, Kosuke Nakayama, Zhiwei Wang, Seigo Souma, Miho Kitamura, Koji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Takashi Takahashi, Yugu Yao, Takafumi Sato
2. 発表標題 Micro-ARPES study of the kagome superconductor CsV ₃ Sb ₅
3. 学会等名 APS March Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤剛臣, 中山耕輔, Yongkai Li, Min Liu, Zhiwei Wang, 相馬清吾, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, Yugu Yao, 佐藤宇史
2. 発表標題 マイクロARPESによるカゴメ超伝導体AV ₃ Sb ₅ (A = K, Rb, Cs)の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩谷拓実、守谷歩美、中山耕輔、本間飛鳥、加藤剛臣、川上竜平、菅原克明、相馬清吾、田中清尚、北村未歩、堀場弘司、組頭広志、高橋隆、瀬川耕司、佐藤宇史
2. 発表標題 新規トポロジカル絶縁体候補物質CdGeAs ₂ のARPES
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山耕輔, 鍋島冬樹, 久保田雄也, 相馬清吾, 田中清尚, 北村未歩, 堀場弘司, 組頭広志, 高橋 隆, 矢橋牧名, 前田京剛, 佐藤宇史
2. 発表標題 マイクロARPESによるFeSe薄膜の純粹ネマティック相の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川上竜平, 八重樫健, 柳沢幸紀, 安藤龍一, 中山耕輔, 菅原克明, 相馬清吾, 高橋隆, 佐藤宇史"
2. 発表標題 原子層VSxTe2-x薄膜の電子構造 : 高分解能ARPES
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023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
---------	---------