

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14540

研究課題名（和文）ホイスラー型ワイル磁性体薄膜の電子構造解明と熱電能の増強

研究課題名（英文）Elucidation of electronic structure and enhancement of thermopower in Heusler-type Weyl magnetic thin films

研究代表者

角田 一樹 (Sumida, Kazuki)

広島大学・放射光科学研究センター・特任助教

研究者番号：20882369

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では巨大熱電能が観測されているCo基ホイスラー合金薄膜に着目し、電子構造を種々の光電子分光法によって調べた。まず、最大の熱電能が観測されているCo₂MnGa薄膜について軟X線角度分解光電子分光を行ない、トポロジカルに非自明なバルクの電子構造を明らかにした。また、ワイル強磁性体候補物質Co₂FeSi薄膜について共鳴光電子分光を行い、電子相関効果の大きさに関する実験的な知見を得ることに成功した。ハーフメタルであることが予測されているCo₂MnSi薄膜については、真空紫外線を用いたスピン・角度分解光電子分光を行い、熱励起マグノンがスピン脱偏極機構に重要な役割を担っていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、ワイル磁性体を持つ特殊な電子構造と巨大熱輸送特性の対応関係を解明することに成功した。現在、室温・ゼロ磁場で得られているワイル磁性体の熱電能は実用環境発電に応用するには今一步及ばないが、本研究を通して得られた成果が熱電能の更なる向上に寄与することが期待される。また、異常ネルンスト効果のみならず、ハーフメタル性、電子相関効果などこれまで未解明となってきたCo基ホイスラー合金の基礎特性に関する知見も得ることができたため、その学術的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this work, we focussed on Co-based Heusler alloy thin films exhibiting giant thermopower and investigated their electronic structures by using various photoelectron spectroscopies. First, we performed soft x-ray angle-resolved photoelectron spectroscopy (ARPES) on Co₂MnGa thin films, which show the largest thermopower among ferromagnets at room temperature and zero-field, and successfully observed the topologically nontrivial bulk electronic structure. Resonant photoelectron spectroscopy was performed on a Weyl ferromagnet candidate Co₂FeSi thin film. Our findings revealed the role of electron correlation effects in Co₂FeSi. For Co₂MnSi thin film, which is predicted to be a half-metallic ferromagnet, we performed spin-resolved ARPES using vacuum ultraviolet synchrotron radiation and found that thermally excited magnons play an important role in the spin depolarization mechanism.

研究分野：固体物性

キーワード：ホイスラー合金 ワイル磁性体 角度分解光電子分光 スピン分解光電子分光 共鳴光電子分光 ハーフメタル 異常ネルンスト効果 スピン・角度分解光電子分光

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、磁気熱電効果の一種である異常ネルンスト効果が、環境発電の観点から大きな注目を集めている。異常ネルンスト効果は、磁性体に熱流を流す際に、温度勾配と磁化に直交する方向に起電力を生じる現象である。類似した熱電効果としてゼーバック効果が挙げられるが、大面積かつ柔軟性を持つモジュールの作成などの観点で異常ネルンスト効果は高い優位性を示す。しかしながら、異常ネルンスト効果による熱電能は典型的な強磁性体では $0.1 \mu\text{V/K}$ 程度と微弱であり、 $10\text{-}20 \mu\text{V/K}$ クラスの熱電能が要求される実用環境発電や高感度熱流センサーには向かないと考えられてきた。

異常ネルンスト効果による熱電能は磁性体が持つ磁化の大きさに比例するという経験則が古くから知られている。しかし 2017 年、磁化がほぼゼロである反強磁性体 Mn_3Sn において $1.0 \mu\text{V/K}$ に迫る熱電能が実現され、この経験則が破綻していることが明らかになった [M. Ikhlas *et al.*, *Nat. Phys.* **13**, 1085 (2017).]。また、強磁性体 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ や Fe_3Ga でも巨大熱電能が確認され、強磁性ホイスラー合金 Co_2MnGa について室温における熱電能が $6.0 \mu\text{V/K}$ を超えた [A. Sakai *et al.*, *Nat. Phys.* **14**, 1119 (2018).]。従来の経験則に従わないこれらの磁性材料は、波数空間上で特殊な電子構造を形成することが予想されている。このような物質群はワイル磁性体と呼ばれ、対になる線形バルクバンド分散とそれらを結ぶ表面状態(フェルミアーク)によって特徴づけられる。特に、バルクの線形バンド分散は数百テスラに匹敵する巨大仮想磁場を生成すると理論的に予測され、巨大熱電能の鍵を握ると考えられている。一方で、波数空間上の電子構造に関する実験的研究は、実験手法に限られることとその困難さから、ほぼ行われていない。そのため、熱電能を増強するための具体的な指針が定まっておらず問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、ワイル磁性体であることが理論的に予測されている Co 基ホイスラー合金薄膜 (Co_2MnGa や Co_2FeSi など) に着目した。波数空間上の電子構造を精度よく観測するには角度分解光電子分光 (ARPES) が非常に強力な実験手法となる。しかし、これまでホイスラー合金に対して行われた ARPES は世界的にみても数例しか存在しない。これは「ARPES が劈開などによって平坦かつ清浄表面を必要とすること」と、「ホイスラー合金の劈開性の悪さ」が互いに噛み合わなかったためである。我々は 2020 年に高品質薄膜試料の作成と真空輸送チャンバーを用いた in-situ ARPES を行うことでこの問題を解決できることを見出した [K. Sumida *et al.*, *Commun. Mater.* **1**, 89 (2020).]。薄膜試料であれば原子レベルで平坦な表面を作成することが可能であり、ARPES とのマッチングが良い。本研究ではこの手法をさらに発展させ、「バルク感性の高い軟 X 線」と「表面感性の高い真空紫外線」を相補的に用いた ARPES によって、巨大熱電能に寄与するフェルミ準位近傍の電子構造を実験的に明らかにし、電子構造-熱輸送特性の対応関係を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

ホイスラー合金薄膜試料は、物質・材料研究機構 (NIMS) にて MgO 基板上にマグネトロンスパッタリング法を用いて成膜した。表面の平坦性を上げるため、ホイスラー合金薄膜と基板との間に Cr と Ag のバッファ層を設けた。作成した薄膜の格子定数、合金規則度、表面ラフネス、磁気特性などは X 線回折、原子間力顕微鏡、超伝導量子磁束干渉計によって評価した。バルク電子構造を実験的に観測するために SPring-8 BL25SU および BL23SU にて軟 X 線 ARPES および軟 X 線共鳴光電子分光を行なった。また、表面電子構造については広島大学 HiSOR BL-9B にて真空紫外線スピン分解 ARPES 測定を行なった。

4. 研究成果

本研究では主に下記の 3 つのホイスラー合金系について研究を行った。

(1) 巨大異常ネルンスト効果を示すワイル強磁性体 Co_2MnGa 薄膜のバルク電子構造

巨大熱電能を実現するためには、ベリー曲率を生み出すトポロジカルに非自明なバルク電子構造(ワイル分散)をフェルミ準位に近づけることが重要であると考えられている。本研究ではまず、室温・ゼロ磁場における最高熱電能 ($6.2 \mu\text{V/K}$) を達成している Co_2MnGa 薄膜に注目して研究を進めた。 Co_2MnGa 薄膜は我々のグループが世界に先駆けて真空紫外線スピン分解 ARPES を成功させた系であり、フェルミ準位近傍に複数の多数スピン状態からなるワイル分散が観測されている [K. Sumida *et al.*, *Commun. Mater.* **1**, 89 (2020).]。しかし、真空紫外線を用いた ARPES は表面感性が高いことに加え k_z 方向の分解能が低いため、熱輸送特性に直結するバルクの電子構造が捉えられているかは不明のままであった。そこで、比較的バルク感性の高い軟 X 線 ($400\text{-}1000 \text{ eV}$) を励起光源とした ARPES 測定を行なった。図 1 は真空紫外線 (50 eV) および軟 X 線 (552 eV) を用いて観測した Co_2MnGa 薄膜のフェルミ面を比較して示している。真空紫外線を用いた場合、 $k=0 \text{ \AA}^{-1}$ を中心に大きなフェルミ面と小さなフェルミ面が混在している

様子が見てとれる。一方、軟 X 線を用いた場合、 Γ 点近傍には小さなフェルミ面、X 点近傍には大きなフェルミ面が独立して観測されている。軟 X 線 ARPES の結果はバルクのバンド計算と非常に良い一致を示しており、高い k_z 分解能によってバルクバンドをよく分離観測できていることを示唆している。また、X 点近傍のバンド分散を理論計算と詳細に比較すると、フェルミ準位近傍にワイル分散が確かに存在することが明らかとなり、このような特殊なバンド分散が巨大なベリー曲率を生成していることを実験的に突き止めた。この研究成果は *Phys. Rev. B* 誌に掲載された [T. Kono, K. Sumida *et al.*, *Phys. Rev. B* **104**, 195112 (2021).]

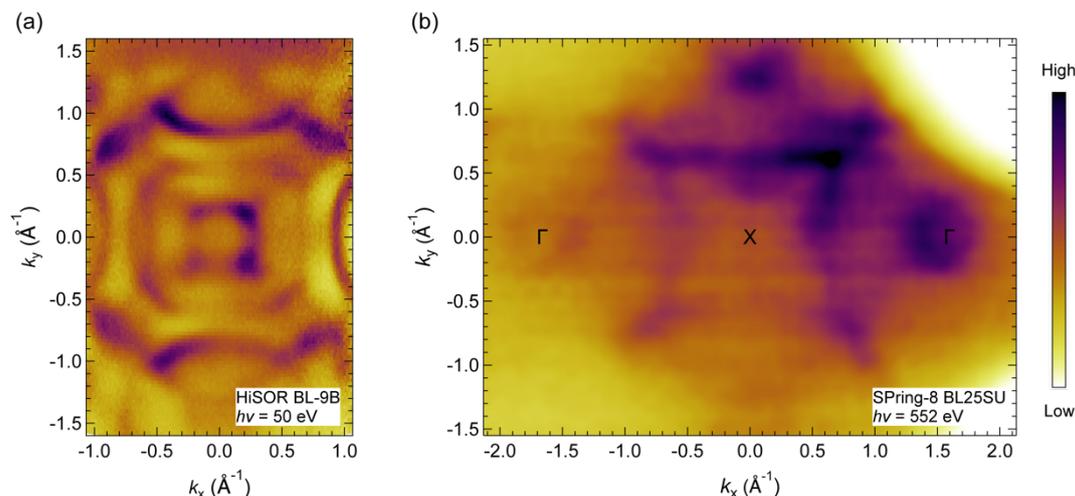


図 1. 真空紫外線(a)および軟 X 線 ARPES (b)によって観測した Co_2MnGa 薄膜のフェルミ面

(2) ワイル強磁性体およびハーフメタル強磁性体候補物質 Co_2FeSi 薄膜の電子相関効果

Co 基ホイスラー合金の多くは多数スピンのみが伝導に寄与するハーフメタル電子構造 (スピン偏極率 100%) を有することが理論的に予測されている。中でも特に、 Co_2FeSi は最も高いキュリー温度 (約 1100 K) を示すハーフメタル強磁性体候補物質である。しかし、 Co_2FeSi におけるハーフメタル電子構造は比較的大きなオンサイトクーロン相互作用 ($U > 2.5$ eV) を取り入れた計算で現れることが知られており、 U を取り入れない場合、通常の強磁性体となる。また最近では、フェルミ準位近傍にワイル分散を形成することも理論的に予測されており、巨大な異常ネルンスト効果の発現が期待されている。しかし、これらの特性も U の有無によって大きく変化する。そのため、実験的に U の大きさを決定することは非常に重要である。そこで我々は、 Co_2FeSi に対して軟 X 線共鳴光電子分光を行い、 $\text{Fe } 3d$ 部分状態密度を価電子帯から抽出した。図 2 に示すように、実験結果と第一原理計算の結果を比較すると、 Fe サイトに U を入れない計算で実験結果をよく再現できることが明らかとなり、 Co_2FeSi が通常の強磁性体であることを示唆する結果が得られた。この研究成果は *Phys. Rev. B* 誌に Letter として掲載された [K. Sumida *et al.*, *Phys. Rev. B* **108**, L241101 (2023).]。さらに、同様の手法を Co_2MnSi , $\text{Co}_2(\text{Fe},\text{Mn})\text{Si}$ にも適用し、これらの系についても Fe および Mn サイトの U の影響は非常に小さいことを明らかにした。

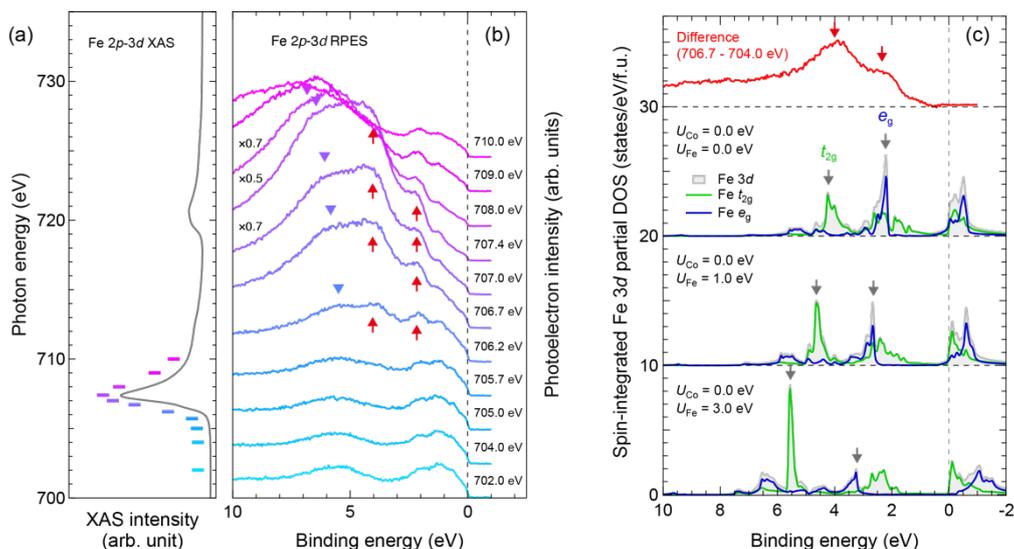


図 2. (a) $\text{Fe } 2p\text{-}3d$ 吸収端における吸収スペクトル、(b) 価電子帯光電子スペクトルの励起光エネルギー依存性、(c) 共鳴・非共鳴差分スペクトルと第一原理計算によって導出された $\text{Fe } 3d$ 部分状態密度 ($U_{\text{Fe}} = 0, 1, 3$ eV) の比較。

(3) ハーフメタル強磁性体 Co_2MnSi 薄膜のスピンの偏極電子構造の温度依存性

Co_2MnSi は、 Co_2MnGa よりも価電子数が 1 つ多く、 Co_2FeSi よりも価電子数が 1 つ少ないため、ワイル強磁性体候補物質の参照試料となり得る。また、 Co_2MnSi はオンサイトクーロン相互作用 U を取り入れずともハーフメタル電子構造が現れることも理論計算により報告されている。本研究では、 Co_2MnSi 薄膜の電子構造およびスピンの偏極率を明らかにするため真空紫外線スピン分解 ARPES 測定を HiSOR BL-9B にて行なった。得られた電子構造は Co_2MnGa と類似していたが価電子数の違いを反映したフェルミ準位のシフト（電子ドーピング）が確認された。また、X 点近傍にフェルミ準位を横切る多数スピンからなる電子バンドが観測された。X 点におけるスピンの偏極度の温度依存性を測定したところ、50 K では 70% を超える大きなスピン偏極度が観測された。しかし、温度を上げるとスピン偏極度は徐々に低下し、300 K では 50% 以下となることが明らかとなった。このような温度に依存したスピンの脱偏極の振る舞いはマグノンの熱励起を記述するブロッホの $T^{3/2}$ 則によってよく説明できることがわかった。特に、ブロッホ則における減衰定数 α はバルク敏感な硬 X 線光電子分光によって得られた値よりも表面敏感な真空紫外線光電子分光で得られたものの方が 1 桁から 2 桁大きく、 Co_2MnSi 薄膜の表面ではスピンの熱揺らぎが非常に顕著であることが明らかとなった（論文査読中）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Reimann J., Sumida K., Kakoki M., Kokh K. A., Tereshchenko O. E., Kimura A., Guedde J., Hofer U.	4. 巻 13
2. 論文標題 Ultrafast electron dynamics in a topological surface state observed in two-dimensional momentum space	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5796-5796
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-32811-1	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 Sumida Kazuki, Higaki Sota, Sato Hitoshi, Tsuru Daichi, Miyamoto Koji, Okuda Taichi, Kuroiwa Yoshihiro, Moriyoshi Chikako, Takase Kouichi, Oguchi Tamio, Kimura Akio	4. 巻 92
2. 論文標題 One-Dimensional Band Structure in Quasi-Two-Dimensional -Mo4011 Revealed by Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy and First-Principles Calculation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084706-084706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.92.084706	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 Iwasawa Hideaki, Sumida Kazuki, Ishida Shigeyuki, Le Fevre Patrick, Bertran Francois, Yoshida Yoshiyuki, Eisaki Hiroshi, Santander-Syro Andras F., Okuda Taichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Exploring spin-polarization in Bi-based high-Tc cuprates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13451-13451
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-40145-1	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 Sumida Kazuki, Fujita Yuichi, Zhou Weinan, Masuda Keisuke, Kawasaki Ikuto, Fujimori Shin-ichi, Kimura Akio, Sakuraba Yuya	4. 巻 108
2. 論文標題 Role of on-site Coulomb interactions in the half-metallic Weyl ferromagnet candidate thin-film Co_2FeSi	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L241101-L241101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.108.L241101	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 Iwata Takuma, Kousa T., Nishioka Y., Ohwada K., Sumida K., Annese E., Kakoki M., Kuroda Kenta, Iwasawa H., Arita M., Kumar S., Kimura A., Miyamoto K., Okuda T.	4. 巻 14
2. 論文標題 Laser-based angle-resolved photoemission spectroscopy with micrometer spatial resolution and detection of three-dimensional spin vector	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 127-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-47719-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 Kusaka S., Sasaki T. T., Sumida K., Ichinokura S., Ideta S., Tanaka K., Hono K., Hirahara T.	4. 巻 120
2. 論文標題 Fabrication of (Bi ₂) _m (Bi ₂ Te ₃) _n superlattice films by Te desorption from a pristine Bi ₂ Te ₃ film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 173102-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0090207	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 Yamagami K., Fujisawa Y., Pardo-Almanza M., Smith B. R. M., Sumida K., Takeda Y., Okada Y.	4. 巻 106
2. 論文標題 Enhanced d-p hybridization intertwined with anomalous ground state formation in the van der Waals itinerant magnet Fe ₅ GeTe ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045137-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.045137	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 Sumida Kazuki, Kusaka Shotaro, Takeda Yukiharu, Kobayashi Katsuyoshi, Hirahara Toru	4. 巻 106
2. 論文標題 Formation of monolayer V ₅ Se ₈ from multilayer VSe ₂ films via V- and Se-desorption	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195421-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.195421	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 角田一樹、桜庭裕弥、木村昭夫	4. 巻 58
2. 論文標題 光電子分光で探るCo基ホイスラー合金の電子構造とトポロジカル物性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 117~137
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 Fukasawa T., Kusaka S., Sumida K., Hashizume M., Ichinokura S., Takeda Y., Ideta S., Tanaka K., Shimizu R., Hitosugi T., Hirahara T.	4. 巻 103
2. 論文標題 Absence of ferromagnetism and Dirac-cone gap in MnBi ₂ Te ₄ /Bi ₂ Te ₃ down to 6 K	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205405-205405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.205405	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 Sumida Kazuki, Ishida Yukiaki, Guedde Jens, Hoefer Ulrich, Shin Shik, Kimura Akio	4. 巻 96
2. 論文標題 Ultrafast surface Dirac fermion dynamics of Sb ₂ Te ₃ -based topological insulators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Surface Science	6. 最初と最後の頁 100628-100628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.progsurf.2021.100628	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 Kono Takashi, Kakoki Masaaki, Yoshikawa Tomoki, Wang Xiaoxiao, Sumida Kazuki, Muro Takayuki, Goto Kazuki, Sakuraba Yuya, Umetsu Rie Y., Kimura Akio	4. 巻 104
2. 論文標題 Three-dimensional bulk Fermi surfaces and Weyl crossings of Co ₂ MnGa thin films underneath a protection layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195112-195112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.195112	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 Sumida Kazuki, Takeda Yukiharu, Kusaka Shotaro, Kobayashi Katsuyoshi, Hirahara Toru	4. 巻 6
2. 論文標題 Short-range magnetic interaction in a monolayer 1T-VSe2 film revealed by element-specific x-ray magnetic circular dichroism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 014006-014006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.014006	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15件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kazuki Sumida
2. 発表標題 Observation of topological electronic structure in actinide monpnictide ThSb
3. 学会等名 The 10th International Workshop on the Dual Nature of f-Electrons (Dual Nature 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 角田一樹, 藤田裕一, 周偉男, 増田啓介, 川崎郁斗, 藤森伸一, 木村昭夫, 桜庭裕弥
2. 発表標題 ホイスラー合金Co2FeSi 薄膜の軟X線共鳴光電子分光
3. 学会等名 第37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 2024年

1. 発表者名 角田一樹
2. 発表標題 放射光およびレーザーARPESで探るトポロジカル物質の電子構造
3. 学会等名 日本表面真空学会 東北・北海道支部合同セミナー (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Sumida, K. Kunitomo, M. Kakoki, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, J. Reimann, J. Guedde, U. Hofer, K. Miyamoto, T. Okuda, and A. Kimura
2. 発表標題 Ultrafast Spin-Dependent Dynamics in a Carrier-Tuned Topological Insulator
3. 学会等名 The 28th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Sumida, M. Kakoki, Y. Sakuraba, K. Masuda, T. Kono, K. Goto, K. Miyamoto, Y. Miura, K. Hono, T. Okuda, and A. Kimura
2. 発表標題 Temperature-dependent spin-polarized electronic structure of the half-metallic Heusler alloy Co ₂ MnSi films
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角田一樹, 藤森伸一, 川崎郁斗, 竹田幸治, 山上浩志, 黒田健太, 芳賀芳範
2. 発表標題 軟X線ARPESによるアクチノイド化合物ThSbのトポロジカル電子状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角田一樹, 鹿子木将明, J. Reimann, K. A. Kokh, O. E. Tereshchenko, J. Guedde, U. Hofer, 木村昭夫
2. 発表標題 可視光および中赤外光を用いた時間分解光電子分光によるトポロジカル絶縁体(Sb,Bi) ₂ Te ₃ の超高速ダイナミクス
3. 学会等名 第5回日本表面真空学会若手部会研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角田一樹
2. 発表標題 時間分解光電子分光および磁気円二色性分光を用いたカルコゲン化合物の電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 角田一樹, 鹿子木将明, 桜庭裕弥, 増田啓介, 河野嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 三浦良雄, 宝野和博, 奥田太一, 木村昭夫
2. 発表標題 ホイスラー合金Co ₂ MnSi薄膜におけるスピン偏極電子構造の温度依存性の観測
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 角田一樹, 竹田幸治, 日下翔太郎, 小林功佳, 平原徹
2. 発表標題 軟X線磁気円二色性で探る単層VSe ₂ 薄膜の磁性
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 K. Sumida, Y. Takeda, S. Kusaka, K. Kobayashi, and T. Hirahara
2. 発表標題 Short-range ferromagnetic interaction in a monolayer VSe ₂ film revealed by element-specific x-ray magnetic circular dichroism
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角田一樹, 鹿子木将明, 桜庭裕弥, 河野嵩, 後藤一希, 宮本幸治, 宝野和博, 奥田太一, 木村昭夫
2. 発表標題 四元系ホイスラー合金Co ₂ Mn(Al, Si)薄膜におけるスピン偏極ワイル分散とハーフメタル性の観測
3. 学会等名 第35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 角田一樹, 日下翔太郎, 竹田幸治, 小林功佳, 平原徹
2. 発表標題 膜厚および成長条件に依存したVSe ₂ 薄膜の電子状態
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Sumida
2. 発表標題 Spin-Resolved Photoemission of Heusler-Type Weyl Ferromagnet Films
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角田一樹
2. 発表標題 スピン分解ARPESとXMCDで探るCo基ホイスラー合金薄膜の電子構造
3. 学会等名 QST未来ラボ次世代放射光利用研究グループ2021年度公開ワークショップ「光電子分光と軟X線磁気分光の融合利用による量子マテリアルの研究」(招待講演)
4. 発表年 2022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
---------	---------