

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540412

研究課題名(和文) 擬一次元バナジウム系の金属絶縁体転移と軌道状態

研究課題名(英文) Metal-insulator transition and orbital state of quasi-one-dimensional vanadium system

研究代表者

佐藤 仁 (Sato, Hitoshi)

広島大学・放射光科学研究センター・准教授

研究者番号：90243550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：擬一次元物質BaVS₃が70 Kで示す金属絶縁体転移の機構を明らかにするために、転移前後でのV 3d状態の変化を、角度分解光電子分光(ARPES)、軟X線吸収二色分光(LD)を中心として調べた。ARPESより、a_{1g}軌道は一次元不安定性により70 Kより上の150-120 Kでギャップを形成し、一方egp軌道は局在化により丁度70 Kでギャップを形成することを明らかにした。LDよりV 3d軌道の占有比率は変化しないことが分かった。LDスペクトルの理論解析より、V 3d軌道はV鎖方向にegp-egp-egp-a_{1g}で占有されている可能性が高いことが分かった。

研究成果の概要(英文)：In order to reveal the mechanism of metal - insulator transition of quasi-one-dimensional BaVS₃ at 70 K, we have investigated the change of the V 3d state across the transition mainly by means of angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) and soft x-ray absorption linear dichroism spectroscopy (LD). ARPES studies revealed that the a_{1g} orbital forms a gap at 150 - 120 K, far above 70 K, due to one-dimensional instability, while the egp orbital forms a gap just at 70 K due to localization. LD studies, on the other hand, revealed that the occupancy ratio of the V 3d orbitals is unchanged across the transition. Theoretical analyses of the LD spectra highly suggest that the V 3d orbitals aligns with egp-egp-egp-a_{1g} order along the V chain.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性

キーワード：金属絶縁体転移 擬一次元系 バナジウム系 光電子分光 線二色性分光 共鳴散乱

1. 研究開始当初の背景

BaVS₃は、V⁴⁺(3d¹)イオンがc軸に沿って鎖状に並ぶ擬一次元物質であり、室温以下で3段階の相転移を示す。室温から温度を下げると、T₃=240 KでわずかにVイオン鎖がジグザグになり、六方晶から正方晶に構造相転移する。さらにT_M=70 Kで、2次の金属絶縁体転移(MIT)を示す(高温側:金属、低温側:絶縁体)。このとき磁性はCurie-Weiss的な振る舞いから磁気秩序のない状態に転移する。MITの起源については現在のところ定説はないが、電荷密度波(CDW)不安定性、あるいは、Mott転移にもとづくモデルが有力視されている。最後に30 K以下で反強磁性状態に転移する。このときの磁気構造は分かっていない。以上のようなBaVS₃の多段相転移は、電荷、軌道、スピン、格子の結合により発現すると考えられているが、物性に中心的役割を果たすV 3d軌道状態の実験的情報は限られている。

2. 研究の目的

本研究では、BaVS₃について真空紫外線を用いた高分解能角度分解光電子分光(ARPES)、硬X線を用いた硬X線光電子分光(HAXPES)、V 2p-3d軟X線吸収線二色性分光(XAS/LD)により、物性に中心的役割を果たすV 3d(a_{1g}, e_g(π))軌道状態について実験的知見を得、特にT_M=70 KでのMITのシナリオを構築することを目的とした。ここで、a_{1g}軌道はV鎖(c軸)方向に伸びており(1次元)、e_g(π)軌道はV鎖と垂直方向に伸びている。

3. 研究の方法

単結晶BaVS₃はTeフラックス法により育成した。c軸方向に伸びた針状の結晶(~0.5 mm φ)である。ARPESは広島大学放射光科学研究センター(HIISOR)のBL-1で行った。励起エネルギーはV 3d状態を強調して観測できるhν=57 eV、測定方向はV鎖(c軸)方向(ΓA)である。a_{1g}, e_g(π)軌道を分離して観測するために、放射光の偏光を活用し、p偏光配置、s偏光配置の両方で測定を行った。軌道の対称性により、p偏光配置では、a_{1g}, e_g(π)軌道の両方が観測されるが、s偏光配置ではa_{1g}軌道は観測されない。このことを利用して、a_{1g}, e_g(π)軌道の分離観測を試みた。HAXPESはSPRING-8のBL15XUで行った。励起エネルギーはhν=6 keVである。V 2p-3d XAS/LDはHIISORのBL-14で行った。入射光の偏光ベクトルEがV鎖(c軸)に平行な条件(E//c)と垂直な条件(E⊥c)でV 2p-3d XASスペクトルを得た。両者の差がLDを与える。

4. 研究成果

Fig. 1に、p偏光配置(a)、s偏光配置(b)で得られたBaVS₃のARPESの結果を示す。測定

温度は40 K(絶縁体相)である。横軸が波数、縦軸がフェルミ準位(E_F)に対する結合エネルギーである。p偏光配置で4本のバンドが観測されている。0.4 eVにみられる平坦なバンド(α)、~1.2 eVに底をもつΓ点を中心とした下に凸のバンド(β)はV 3d軌道によるものである。1.5~3.0 eVにみられる残りの2つのバンドはS 3p軌道に帰属される。一方s偏光配置ではバンドβが観測されていない。このことから、βがa_{1g}バンド、両方で観測されているαがe_g(π)バンドだと実験的に分かる。形状から、a_{1g}バンドは遍歴的、e_g(π)バンドは局在的であることも分かる。

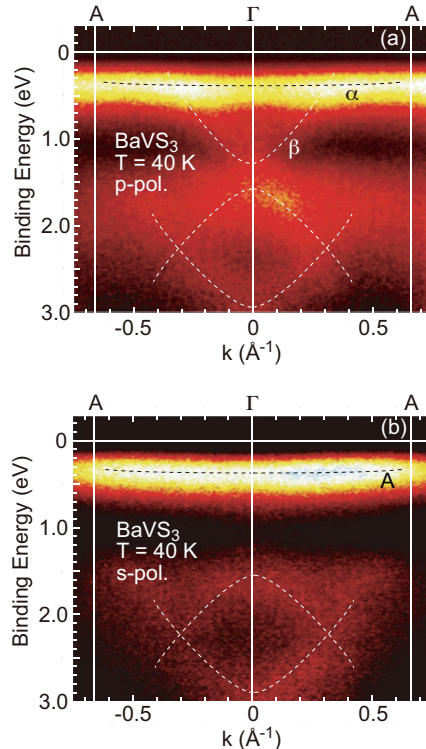


Fig. 1. p偏光配置(a)およびs偏光配置(b)で測定したARPESより得られた、BaVS₃のΓA方向におけるバンド構造。

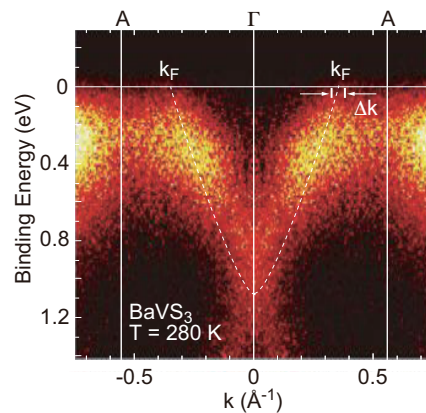


Fig. 2. p偏光配置での結果からs偏光配置での結果を差し引くことによって得られたBaVS₃のa_{1g}バンド。

p偏光配置の結果から、s偏光配置の結果を

差し引くことにより、 a_{1g} バンドの抽出を試みた。280 K(金属相)における結果を Fig. 2 に示す。下に凸の放物線状のバンドが明瞭に観測されており、 a_{1g} バンドが抽出されている。結果から、CDW 条件で期待される $k_4/2$ より若干大きい波数で E_F を横切っていることが分かる。

a_{1g} バンドの E_F 近傍での温度変化を詳細にみるために、Fig. 2 中の Δk の範囲で積分して得られた a_{1g} 光電子スペクトルの温度依存性を Fig. 3(a) に示す。~0.4 eV に V 3d 状態によるピーク構造がみられる。 E_F におけるスペクトル強度($N_a(E_F)$)は金属相においても少なく、明瞭なフェルミ端は観測されていない。注目すべきことは、 $T_{MI}=70$ K より高温の 150~120 K でスペクトル強度が急減していることである。この温度領域は、電気抵抗率が極小値をとる領域[G. Mihaly *et al.*, PRB61, 7831 (2000)]と対応している。 $N_a(E_F)$ の温度依存性を挿入図に示した。 $N_a(E_F)$ は 150~120 K で急減するが完全に 0 にはならず、 $T_{MI}=70$ K にむけて連続的に減少し T_{MI} で度 0 になる。150~120 K における急減は a_{1g} バンドの 1 次元(CDW)不安定性によるものと考えている。

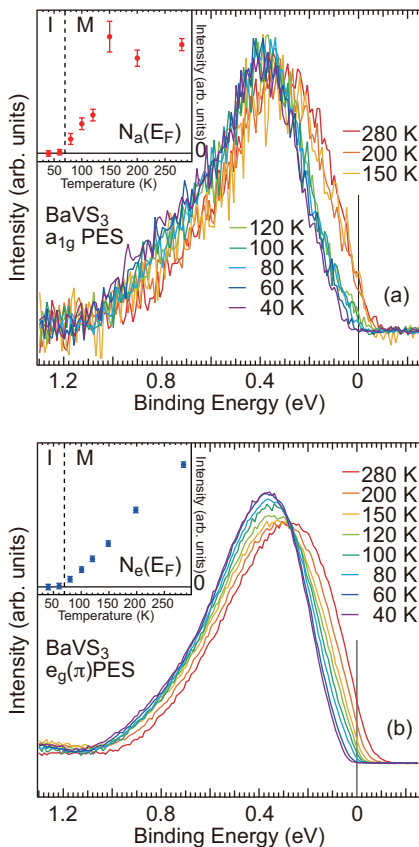


Fig. 3. (a) Fig. 2 の Δk の範囲で積分して得られた a_{1g} 光電子スペクトルの温度依存性。(b) s 偏光配置の結果を積分して得られた $e_g(\pi)$ 光電子スペクトルの温度依存性。

一方、 s 偏光配置での ARPES の測定結果を全て積分して得られた $e_g(\pi)$ 光電子スペクトルの温度依存性を Fig. 3(b) に示す。降温とともに V 3d ピーク幅が減少し、局在化が進む

ことを示している。 a_{1g} スペクトルとは異なり、 E_F におけるスペクトル強度($N_e(E_F)$)は室温から T_{MI} まで連続的に減少し、 $e_g(\pi)$ 状態が a_{1g} 状態とは異なる振る舞いをする事が分かる。以上から、 a_{1g} バンドの一次元(CDW)不安定性が MIT の駆動力になるが MIT にはいたらず、120~70 K で a_{1g} バンド、 $e_g(\pi)$ バンドが協同的に局在化し MIT に至ると考えられる。

Fig. 3 から分かるように、 $h\nu=57$ eV の真空紫外線を励起光とした場合、金属相においても明瞭なフェルミ端がみられなかった。そこで、 $h\nu=6$ keV の硬 X 線を用いた HAXPES を行った。Fig. 4 に E_F 近傍における HAXPES スペクトルの温度依存性を示す。Fig. 3 の結果とは異なり、 E_F 近傍でスペクトルの立ち上がり観測された。 $T_{MI}=70$ K をはさむ 100~50 K で立ち上がりが高結合エネルギー側へシフトし、このシフトは絶縁体相でのギャップの形成を反映していると考えられる。シフト量からみつめたギャップの値は 60 meV で、この値は電気抵抗率の温度依存性から求めた値 70 meV とコンシステントである[G. Mihaly *et al.*, PRB61, 7831 (2000)]。

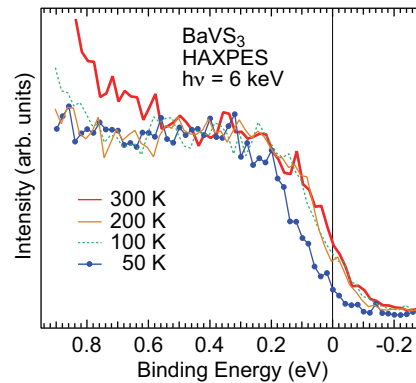


Fig. 4. BaVS₃ の HAXPES スペクトル。

Fig. 3($h\nu=57$ eV)の結果との違いの可能性としては次の2つが考えられる。まず Fig. 3 では V 3d 状態、Fig. 4($h\nu=6$ keV)では、 sp 状態を主に観測している。すると、HAXPES の結果は、ギャップは主に sp 状態により形成されることを示している。もう1つは、Fig. 3 では、表面効果により明瞭なギャップ(あるいはスペクトルの立ち上がり)が観測されない可能性が考えられる。これを解決するためには、中間の軟 x 線(数 100 eV)を励起光に用いた測定を行う必要がある。

Fig. 5(a)に 300 K で得られた $E//c$ (赤)、 $E \perp c$ (青)での XAS スペクトルを示す。2つのスペクトルには差がみられており、電子状態が異方的であることを示している。LD スペクトル(緑)は、 $E \perp c$ の結果から $E//c$ の結果を差し引く事によって得た。5%程度の LD がみられている。Fig. 5(b)に LD スペクトルの温度依存性を示す。入射光のスポットサイズと比較して試料が小さく、試料基板からの信号が含まれている(例えば 519 eV の構造)。このことを考慮すると、LD スペクトルに温度変化はな

く、温度全域において V 3d 軌道の占有比率に顕著な変化はないといえる。

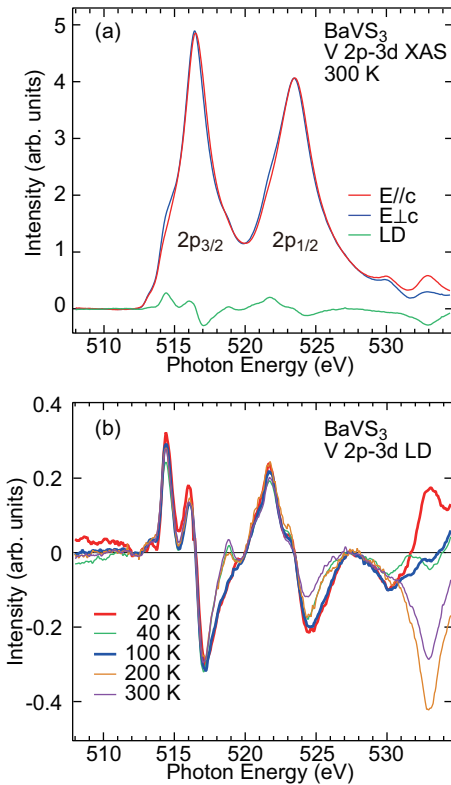


Fig. 5. BaVS₃ の 300 K における V 2p-3d XAS/LD スペクトル(a)および LD スペクトルの温度依存性(b)。LD スペクトルは XAS($E \perp c$) - XAS($E // c$)で定義した。

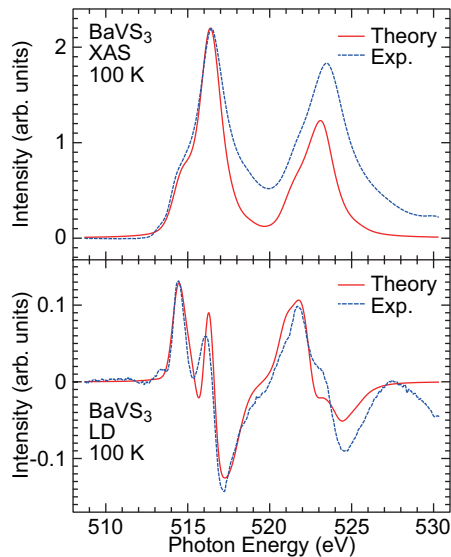


Fig. 6. XAS スペクトルと LD スペクトルの理論計算との比較。理論計算は V 鎖方向に $e_g(\pi) - e_g(\pi) - e_g(\pi) - a_{1g}$ の軌道秩序を仮定して行っている。

Fig. 6 に V 2p-3d XAS スペクトルと LD スペクトルの形状から軌道の占有比率を求めるために、理論計算を行った。V 鎖方向に $e_g(\pi) - e_g(\pi) - e_g(\pi) - a_{1g}$ の軌道秩序を仮定したとき、最もスペクトル形状を説明できること

が分かった。実験と理論計算の比較を Fig. 6 に示す。また軟 x 線共鳴散乱の理論解析から、30 K 以下で生じる磁気秩序のスピンの状態を推察した。a, b, c 成分がほぼ同程度の共軸反強磁性状態もしくは、スパイラル状態を仮定することで、共鳴散乱および LD の結果が説明できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

1. A. Tanaka, H. Sato, H. Nakamura, Orbital and magnetic orders in quasi - one - dimensional compound BaVS₃, J. Phys. Soc. Conf. Proc., 査読有, in press.
2. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, H. Hayashi, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Polarization - dependent ARPES study on quasi - one - dimensional BaVS₃, J. Phys. Soc. Conf. Proc., 査読有, in press.
3. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, Y. Utsumi, K. Mimura, S. Motonami, K. Shimada, S. Ueda, K. Kobayashi, H. Namatame, M. Taniguchi, Hard x - ray photoemission spectroscopy of quasi - one - dimensional BaVS₃, J. Phys. Soc. Conf. Proc., 査読有, Vol.1, 2014, 012116/4p. DOI:10.7566/JSPSC.1.012116
4. M. Arita, H. Sato, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, M. Sasaki, A. Ohnishi, H.-J. Kim, Angle resolved photoemission study of GeBi₂Te₄, J. Phys. Soc. Conf. Proc., 査読有, Vol.1, 2014, 012117/4p. DOI:10.7566/JSPSC.1.012017
5. H. Sato, M. Arita, Y. Utsumi, Y. Mukaegawa, M. Sasaki, A. Ohnishi, M. Kitaura, H. Namatame, M. Taniguchi, Conduction - band electronic structure of 1T-TaS₂ revealed by angle - resolved inverse - photoemission spectroscopy, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.89, 2014, 155137/6p. DOI:10.1103/PhysRevB.89.155137
6. A. Yamasaki, S. Tachibana, H. Fujiwara, A. Higashiya, A. Irizawa, O. Kirilmaz, F. Pfaff, P. Scheiderer, J. Gabel, M. Sing, T. Muro, M. Yabashi, K. Tamasaku, H. Sato 他 13 名, Bulk nature of layered perovskite iridates beyond the Mott scenario: An approach from a bulk - sensitive photoemission study, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.89, 2014, 121111(R)/5p. DOI:10.1103/PhysRevB.89.121111
7. H. Sato, H. Yamaoka, Y. Utsumi, H. Nagata, M. A. Avila, R. A. Ribeiro, K. Umeo, T. Takabatake, Y. Zekko, J. Mizuki, J.-F. Lin, N. Hiraoka, H. Ishii, K.-D. Tsuei, H. Namatame, M. Taniguchi, Pressure - induced valence change of YbNiGe₃

- investigated by resonant x - ray emission spectroscopy at the Yb L_3 edge, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.89, 2014, 045112/8p.
DOI:10.1103/PhysRevB.89.045112
8. Y. Tezuka, T. Sasaki, Y. Fujita, T. Iwamoto, H. Osawa, S. Nozawa, N. Nakajima, H. Sato, T. Iwazumi, Core excitations in resonant x - ray Raman scattering of titanium oxides: an approach for electronic structures, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, Vol.83, 2014, 014707/9p.
DOI:10.7566/JPSJ.83.014707
 9. K. Mimura, S. Motonami, Y. G. Shim, K. Wakita, Z. Jahangirli, O. Alekperov, N. Mamedov, H. Sato, Y. Utsumi, S. Ueda, K. Shimada, Y. Taguchi, K. Kobayashi, G. Bihlmayer, H. Namatame, M. Taniguchi, Hard x - ray photoemission study of the covalent - chain antiferromagnets TlFeS₂ and TlFeSe₂, Phys. Status Solidi C, 査読有, Vol.10, 2013, 989-992.
DOI:10.1002/pssc.201200814
 10. S. Motonami, K. Mimura, Y. G. Shim, K. Wakita, H. Sato 他 10 名, Electronic structures of ternary - layered semiconductor TlGaSe₂ investigated by photoemission spectroscopy, Phys. Status Solidi C, 査読有, Vol.10, 2013, 1001-1004.
DOI: 10.1002/pssc.201200863
 11. Y. Nakashima, A. Ino, S. Nagato, H. Anzai, H. Iwasawa, Y. Utsumi, H. Sato, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Oguchi, Y. Aiura, I. Hase, K. Kihou, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, Fermi - surface reconstruction involving two van Hove singularities across the antiferromagnetic transition in BaFe₂As₂, Solid State Commun., 査読有, Vol.157, 2013, 16-20
DOI:10.1016/j.ssc.2012.12.027
 12. T. Yokoya, R. Yoshida, Y. Utsumi, K. Tsubota, H. Okazaki, T. Wakita, Y. Mizuguchi, Y. Takano, T. Muro, Y. Kato, H. Kumigashira, S. Oshima, H. Harima, Y. Aiura, H. Sato 他 5 名, Te concentration dependent photoemission and inverse - photoemission study of FeSe_{1-x}Te_x, Sci. Technol. Adv. Mater., 査読有, Vol.13, 2012, 54403/8p.
DOI:10.1088/1468-6996/13/5/054403
 13. H. Sato, Y. Utsumi, O. Morimoto, Y. Nakashima, A. Ino, Y. Aiura, A. Iyo, H. Kito, K. Miyazawa, P. M. Shirage, H. Eisaki, C. H. Lee, K. Kihou, H. Namatame, M. Taniguchi, Inverse - photoemission spectroscopy of iron - based superconductors NdFeAsO_{1-d} and Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂, J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, Vol.391, 2012, 12137/4p.
DOI:10.1088/1742-6596/391/1/012137
 14. A. Tanaka, Metal - insulator transition and optical conductivity in BaVS₃, J. Phys.: Conf. Ser., 査読有, Vol.391, 2012, 12107/4p.
DOI:10.1088/1742-6596/391/1/012107
 15. Y. Utsumi, H. Sato, S. Ohara, T. Yamashita, K. Mimura, S. Motonami, K. Shimada, S. Ueda, K. Kobayashi, H. Yamaoka, N. Tsujii, N. Hiraoka, H. Namatame, M. Taniguchi, Electronic structure of Kondo lattice compounds YbNi₃X₉ (X=Al,Ga) studied by hard x - ray spectroscopy, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.86, 2012, 115114/9p.
DOI:10.1103/PhysRevB.86.115114
 16. J.-S. Kang, Jihoon Hwang, D. H. Kim, Eunsook Lee, W. C. Kim, C. S. Kim, Sangil Kwon, Soonchil Lee, T. Ueno, M. Sawada, Bongjae Kim, Beom Hyun Kim, B. I. Min, Valence states and spin structure of spinel FeV₂O₄ with different orbital degrees of freedom, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.85, 2012, 165136/5p.
DOI: 10.1103/PhysRevB.85.165136
 17. H. Sato, H. Maso, Y. Utsumi, H. Kurihara, Y. Mukaegawa, Y. Tezuka, T. Iwazumi, F. Iga, M. Tsubota, H. Namatame, M. Taniguchi, Polarization - dependent Ti K X - ray absorption and emission studies of Ti₂O₃ single crystal, J. Elec. Spec. Relat. Phenom., 査読有, Vol.184, 2011, 184-187.
DOI:10.1016/j.elspec.2011.02.003
 18. Y. Utsumi, H. Sato, H. Kurihara, H. Maso, K. Hiraoka, K. Kojima, K. Tobimatsu, T. Ohkochi, S.-i. Fujimori, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Mimura, S. Ueda, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, K. Kobayashi, T. Oguchi, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Conduction - band electronic states of YbInCu₄ studied by photoemission and soft x - ray absorption spectroscopies, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.84, 2011, 115143/7p.
DOI:10.1103/PhysRevB.84.115143
 19. M. Arita, K. Shimada, Y. Utsumi, O. Morimoto, H. Sato, H. Namatame, M. Taniguchi, Y. Hadano, T. Takabatake, Electronic structure of a narrow-gap semiconductor FeGa₃ investigated by photoemission and inverse photoemission spectroscopies, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.83, 2011, 245116/5p.
DOI:10.1103/PhysRevB.83.245116
- [学会発表] (計 20 件)
1. 田中新, 共鳴 X 線回折の解析による電子状態の対称性の理論, 日本物理学会第 69 回年次大会, 27-30 Mar 2014, 東海大学
 2. 細川伸也, 八方直久, 林好一, 仙波伸也, 佐藤仁, 鈴木基寛, 強磁性半導体薄膜 Ge_{0.6}Mn_{0.4}Te 中で格子歪みのあるサイトとないサイト: 蛍光 X 線ホログラフィーによる観察, 第 27 回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム, 11-13 Jan 2014, 広島大学
 3. 三村功次郎, 本並哲, 沈用球, 脇田和樹, Z.

- Jahangirli, O. Arekperov, N. Mamedov, 佐藤仁他 8 名, 硬 X 線光電子分光による $TiFeX_2$ ($X=S, Se$) の電子状態, 第 27 回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム, 11-13 Jan 2014, 広島国際会議場
4. 有田将司, 佐藤仁他 6 名, トポロジカル絶縁体 $GeBi_2Te_4$ の角度分解光電子分光: 準粒子散乱について, 3 に同じ
 5. H. Sato, Electronic structure of Yb - based heavy fermion compounds : Physics and spectroscopic studies using synchrotron radiation, 2013 Korean - Japanese Students Workshop, 26-27 Aug 2013, Pusan (Korea)
 6. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, H. Hayashi, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, Polarization - dependent ARPES study on quasi - one - dimensional $BaVS_3$, Strongly Correlated Electron Systems 2013 (SCES'13), 5-9 Aug 2013, 東京大学
 7. A. Tanaka, H. Sato, H. Nakamura, Orbital and magnetic orders in quasi - one - dimensional compound $BaVS_3$, 6 に同じ
 8. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, Y. Utsumi, K. Mimura, S. Motonami, K. Shimada, S. Ueda, K. Kobayashi, H. Namatame, M. Taniguchi, Hard x - ray photoemission spectroscopy of quasi - one - dimensional $BaVS_3$, 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS (APPC12), 14-19 Jul 2013, 幕張
 9. M. Arita, H. Sato 他 6 名, Angle resolved photoemission study of $GeBi_2Te_4$, 8 に同じ
 10. 田中新, 遷移金属化合物における共鳴軟 X 線回折の理論, 物性研究所短期研究会「真空紫外・軟 X 線放射光物性研究の将来」, 28-29 May 2013, 東京大学
 11. 田中新, 反強磁性 NiO における O K 端 X 線吸収の線二色性の起源, 日本物理学会 2012 年秋季大会 18-21 Sep 2012, 横浜国立大学
 12. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, Y. Utsumi, K. Mimura, S. Motonami, K. Shimada, S. Ueda, K. Kobayashi, H. Namatame, M. Taniguchi, Hard x - ray photoemission spectroscopy of quasi - one - dimensional $BaVS_3$, 12th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure, 16-21 Sep 2012, Saint-Malo (France)
 13. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, H. Hayashi, J. Jiang, H. Iwasawa, K. Shimada, M. Arita, M. Nakatake, H. Namatame, M. Taniguchi, Polarization - dependent angle - resolved photoemission study on quasi - one - dimensional $BaVS_3$, ISSP International Workshop (3D-AINAS 2012), 6-8 Aug 2012, 東京大学
 14. 佐藤仁, 飛松浩明, 田中新, 中村裕之, 内海有希, 三村功次郎, 本並哲, 島田賢也, 上田茂典, 小林啓介, 生天目博文, 谷口雅樹, $BaVS_3$ の硬 X 線光電子分光, 日本物理学会第 67 回年次大会, 24-27 Mar 2012, 関西学院大学
 15. 佐藤仁, 飛松浩明, 中村裕之, 田中新, 内海有希, 三村功次郎, 本並哲, 上田茂典, 山下良之, 吉川英樹, 小林啓介, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹, 擬一次元系 $BaVS_3$ の硬 X 線光電子分光, 第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 6-9 Jan 2012, 鳥栖市民文化会館・中央公民館
 16. 長尾浩樹, 村岡祐治, 平井正明, 脇田高德, 内海有希, 佐藤仁, 横谷尚睦, VO_2 単結晶薄膜を用いた逆光電子分光, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 21-24 Sep 2011, 富山大学
 17. 佐藤仁, 飛松浩明, 田中新, 中村裕之, 林博和, 姜健, 羽淵隆文, 平山大裕, 岩澤英明, 島田賢也, 有田将司, 生天目博文, 谷口雅樹, 角度分解光電子分光による $BaVS_3$ の電子状態の研究, 16 に同じ
 18. 田中新, 遷移金属化合物の秩序状態と共鳴軟 X 線弾性散乱の理論, 16 に同じ
 19. H. Sato, K. Tobimatsu, A. Tanaka, H. Nakamura, H. Hayashi, J. Jiang, T. Habuchi, D. Hirayama, H. Iwasawa, K. Shimada, M. Arita, M. Nakatake, H. Namatame, M. Taniguchi, Angle - resolved photoemission study on quasi - one - dimensional $BaVS_3$, Strongly Correlated Electron Systems 2011 (SCES'11), 29 Aug - 3 Sep 2011, Cambridge (UK)
 20. A. Tanaka, Metal - insulator transition and optical conductivity in $BaVS_3$, 19 に同じ
6. 研究組織
- (1)研究代表者
佐藤 仁 (SATO HITOSHI)
広島大学・放射光科学研究センター・准教授
研究者番号 : 9 0 2 4 3 5 5 0
- (2)研究分担者
沢田 正博 (SAWADA MASAHIRO)
広島大学・放射光科学研究センター・准教授
研究者番号 : 0 0 3 3 5 6 9 7
- 田中 新 (TANAKA ARATA)
広島大学・先端物質科学研究科・助教
研究者番号 : 7 0 2 5 3 0 5 2
- (3)連携研究者
中村 裕之 (NAKAMURA HIROYUKI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 0 0 2 0 2 2 1 8