

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06357

研究課題名(和文)タリウム系化合物の構造相転移によるナノドメインの直接観察

研究課題名(英文)Direct observation of nano-domain by structural phase-transition of thallium compounds

研究代表者

脇田 和樹 (WAKITA, KAZUKI)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：80201151

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)：本研究ではケルビンプローブ顕微鏡による観測を行い、タリウム系化合物において低温における構造相転移によってコメンシュレート相として現れる自発分極によるナノドメインの観測を行い表面電圧差をわずかに観測されているが、証拠づけるところまで至っていない。
また、近接場顕微鏡の一形態であるプラズモン共鳴を用いたチップ増強分光システムの構築を行い、Cu₄ZnSnS₄薄膜における異相CuS₂相の観測を行い、分解能10nm程度の異相観測に成功した。さらにエリプソメトリー法によるタリウム系化合物の電子状態の温度変化についても測定を行い、構造相転移によると思われる現象を見出している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ケルビンプローブ顕微鏡を用いることにより自発分極による結晶中のナノドメインの観測方法について指針を得ることができた。また、第一原理計算法によりコメンシュレート(C)相、インコメンシュレート(IC)相におけるナノ変調構造をとる原因についてその原因の可能性について提案している。またそれぞれの相の境界における電子状態の観測法としてエリプソメトリーを提示している。さらに、ナノ領域の物性評価法としてチップ増強ラマンの可能性を示している。

研究成果の概要(英文)：We observed a nano-domain of thallium-based compounds due to spontaneous polarization that appears as a commensurate phase with a Kelvin probe microscope by means of a structural phase transition at low temperature. However, we haven't obtained firm evidence.

In addition, we constructed a chip-enhanced spectroscopy system using plasmon resonance, which is a form of a near-field microscope, observed the heterogeneous CuS₂ phase in the Cu₄ZnSnS₄ thin films, and succeeded in observing the heterogeneous phase with a resolution of about 10 nm. Furthermore, the temperature change of the electronic state of the thallium-based compound was also measured by the ellipsometry method, and the phenomenon that seems to be due to the structural phase transition was found.

研究分野：電子材料

キーワード：タリウム化合物 ナノドメイン 走査型プローブ顕微鏡 自発分極 構造相転移

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) タリウム系化合物($TlMeX_2$, Me:In,Ga, X:S,Se,Te) は 100 K から 400 K の間でコメンシュレート (C) 相からインコメンシュレート (IC) 相さらにノーマル (N) 相へと構造相転移を起こすと予想されている。上記の C 相は単位格子の整数倍, IC 相は非整数倍周期のナノ空間変調構造をとっている。ナノ空間変調構造をもつ物質として 1961 年に亜硝酸ソーダ $NaNO_2$ が発見されてから今日まで多くの材料について研究されてきたが, C 相や IC 相でみられる原子のナノ空間変調による電子状態すなわちバンド構造の劇的な変化に基づく新規な物性は観測されてこなかった。一方, タリウム化合物では重いタリウム原子や他の金属原子が変調構造に寄与すると考えられることから, C 相や IC 相では自然格子構造に起因する電子状態の著しい変化が起こると予想され, 角度分解光電子分光法による研究を行っている。しかし詳細な変調構造やその電子状態は十分解明されていない。

(2) さらに我々は $TlInSe_2$ バルク結晶への光照射によりシリコン結晶やガリウム砒素結晶では見られない大きな体積膨張変化を観測した。 $TlInSe_2$ 結晶の形状変化は擬一次元結晶構造による構造柔軟性だけでは説明できず, 構造相転移もその原因と考えられる。このような構造変化や相転移構造の解析にあたり, これまで光第二高調波発生法による結晶構造の評価を行ってきたが, 平均的な結晶構造の観測であった。走査プローブ法による原子のナノ空間変調のドメイン観測は相転移構造の解析にあたり大きな戦力となる。その特徴として コメンシュレート相の自発分極ドメインの観測の可能性, 構造相転移による自然超格子構造による発光のドメイン内の局在性の解析の可能性などがある。これまで走査型誘電率顕微鏡による強誘電体の分極分布解析などがある。

(3) 一方, 現在 MEMS についての研究は様々な分野で行われており, 各分野に適した MEMS が必要とされており, 高効率な熱アクチュエーターも必要とされている。

2. 研究の目的

本研究の目的は, タリウム系化合物, 特に $TlInS_2$ 結晶の構造相転移による走査型プローブ法を用いた結晶構造変位によるドメインの可視化を試みるとともに, 光照射による巨大体積膨張の原因および構造相転移機構との関係を明らかにする。また, ナノ変調構造のモデリングから電子状態について解析を行い, 角度分解光電子分光法やエリプソメトリー法による測定結果を用いて検証する。さらに, $TlInS_2$ 結晶の光照射や電圧印加による巨大体積膨張を活かした高効率熱マイクロアクチュエーターなどの MEMS への応用について検討する。

3. 研究の方法

測定に使用した $TlInS_2$ の試料はブリッジマンストックバーガー法により製作されたバルク単結晶である。タリウム系化合物の電子状態については第一原理計算を用い, エリプソメトリー法により測定した。また C 相, IC 相の自発を調べるためには表面電位顕微鏡 (KPFM) を用い, AFM にロックインアンプとバイアスフィードバック回路などを組み合わせることによって構築した。さらにナノ領域の物性を調べるためにチップ増強ラマン測定法を確立した。

4. 研究成果

第一原理計算を用いて 2 次元 Tl 化合物の電子構造と光学特性のメカニズムについて解析を行った。Tl 系化合物半導体で 2 次元系の結晶構造を示す $TlInS_2$, $TlGaSe_2$, $TlGaS_2$ の電子構造と光学特性の数値計算による解析を行った。 $TlInS_2$ の IC 相では価電子帯下端の状態密度の上昇は S 原子のペアが Tl 原子の変動によって孤立した局在モードに起因することがわかった。また伝導帯の状態密度は価電子帯より低いことから p 型の熱電材料の可能性を示す。 $TlGaSe_2$ の IC 相では伝導帯下端において伝導帯下端 (CBM) が Z 点から T 点にシフトし, 伝導帯下端と価電子帯上部にて状態密度の上昇が確認できる。 $TlGaS_2$ の IC 相では伝導帯のバンド構造の変化は少ないが, 価電子帯上部では状態密度の上昇が確認できるため p 型の熱電材料の可能性を示す。光学吸収スペクトルでは IC 相にて価電子帯上部の局在によって吸収端側に吸収ピークを示す。これは実験結果と同じ傾向でありバンド構造の変化を示すことがわかった。

次に KPFM 法によるナノドメインについては, ノーマル相に相当する室温における $TlInS_2$ の KPFM 像よりノーマル相では表面電位の構造が観測されないが, 画像範囲内の表面電位差が 198 mV 程度であることがわかる。一方, コメンシュレート相に相当する 113 K における $TlInS_2$ の KPFM 像からは顕わなナノドメイン像を観測するに至っていない。しかし KPFM 像内の表面電位差は 360 mV を示している。これは室温における表面電位差に比べ 160 mV 高く, 低温における電位差の増加の原因としてコメンシュレート相における自発分極の可能性がある。

さらに表面電位の断面データをフーリエ変換することにより微小距離による周期成分を除去し, 数十ナノメートルの周期成分に着目した。113 K では数 nm から 40 nm 周期に相当するピークが観測された。一方, 室温においてもピーク数は少ないが 40 nm に相当するピークが観測

されたことから、低温における周期性もノイズの可能性もある。今後、ノイズ低減を図り、表面電位における周期性のさらに詳細な観測を行う必要がある。

またエリプソメトリー法により、 TlInS_2 のバンド間光学遷移、臨界点 (CP) の温度依存性を、誘電関数スペクトルから標準臨界点 (SCP) 分析を介して調べた。 TlInS_2 の誘電関数スペクトルの温度挙動は、100 K から 400 K の温度範囲で $E // c^*$ および $E \perp c^*$ 構成 (c^* : 層平面の法線方向) の分光エリプソメトリーによって測定されている。 TlInS_2 結晶は、単斜晶系の構造を持ち、これは室温で 2 次元の層が交互に重なって構成され、 $T_i = 216$ K と $T_c = 175 - 200$ K の間の中間不整合 (IC) 相で構造相転移を起こす。 TlInS_2 における $E // c^*$ の誘電関数スペクトルの虚数部の温度依存性の結果から、電子-フォノン相互作用の低下により、スペクトルの特徴は温度の低下に伴って鋭くなる。 $E // c^*$ 構成で許容される CP のエネルギーの温度依存性の結果から、すべての CP は T_i および T_c の周囲の温度依存性においてキंक構造である。ここでの結果から、 TlInS_2 のバンド構造が、構造相転移により T_i および T_c で変化していると想定するのは妥当であると思われる。

チップ増強ラマン散乱 (TERS) 法は近接場光を用いた走査型の顕微鏡の一種である。TERS では局在プラズモン共鳴現象をナノスケールの先端を有する金属ナノ探針を用いて誘起する。金属ナノ探針先端には入射光と金属ナノ構造による局在プラズモンの共振現象が生ずる。このナノ探針を測定サンプル上で 2 次元的に走査すれば、各点のチップ増強ラマンスペクトルが測定でき、構造の空間分布をナノマッピングイメージとして得ることができる。ここでは、PLD (pulse laser deposition) 法を用いて成長した CZTS 薄膜表面を TERS によってこれまで測定してきた共焦点顕微ラマンよりも高い分解能のエリア測定に成功した。Figure 1, 2 に測定した CZTS 表面のラマンマッピングとマーキングした各点におけるラマンスペクトルをそれぞれ示す。TERS ではナノ領域 (約 10 nm) における異相物質である Cu_2S 相と CZTS 相の分離に成功している。

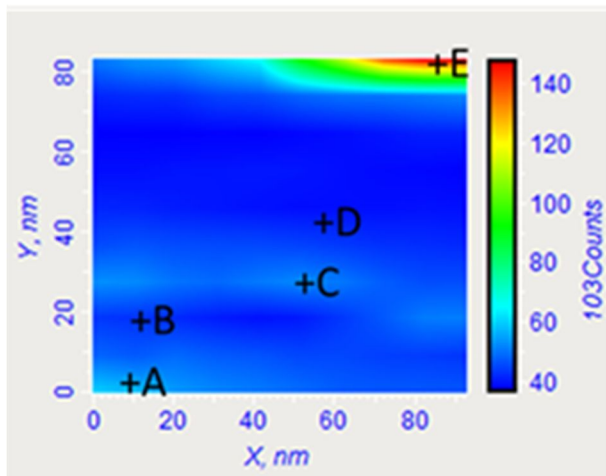


Fig. 1 TERS mapping image between 450 and 500 cm^{-1} showing Cu_2S phases on the CZTS film.

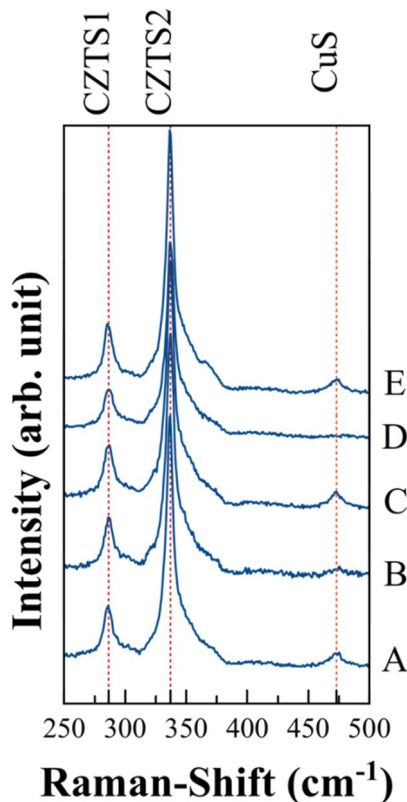


Fig. 2 TERS spectra at points of A - E in Fig. 1 on CZTS film.

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 12件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. G. Shim, T. Asahi, K. Wakita, N. T. Mamedov, E. N. Alieva, and N. A. Abdullaev	4. 巻 44
2. 論文標題 Photoinduced Reversible Local Deformation of the Surface Relief in Volume Single Crystals of TlInSe ₂ , TlGaTe ₂ , and TlSe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Technical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 643-645
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1134/S1063785018070295	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 Yurii M. Chumakov, Mehmet Fatih Mintas, Imameddin R. Amiraslanov, S Sebastian Volz, Samir N. Mammadov, Nazim T. Mamedov, Tofiq G. Mammadov, Masato Ishikawa, Kazuki Wakita, and MirHasan Yu. Seyidov	4. 巻 216
2. 論文標題 Synthesis, Powder X-Ray Diffraction, and Ab Initio Study of TlInSe ₂ : Analysis of Its Thermoelectric Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 1800835/1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssa.201800835	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 Esra Okumus, Sibel T. Ozturk, Yurii M. Chumakov, Arzu I. Nadjafov, Nazim T. Mamedov, Tofiq G. Mammadov, Kazuki Wakita, Yong-Gu Shim, Faik A. Mikailzade and MirHasan Yu Seyidov	4. 巻 6
2. 論文標題 Identification of Mn dopant in the structure of TlInS ₂ layered Semiconductor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Res. Express	6. 最初と最後の頁 056110/1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2053-1591/ab063e	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 E. Ikenaga, A. Yasui, N. Kawamura, M. Mizumaki, S. Tsutsui, and K. Mimura	4. 巻 31
2. 論文標題 Hard X-ray Photoemission Spectroscopy at Two Public Beamlines of SPring-8: Current Status and Ongoing Developments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Synchrotron Radiation News	6. 最初と最後の頁 10-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/08940886.2018.1483652	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 Yusuke Hirose, Yoshitaka Suzuki, Fuminori Honda, Ruta Kulkarni, Arumugam Thamizhavel, Naomi Kawamura, Masaichiro Mizumaki, Ryohei Simokasa, Kojiro Mimura, Hiroshi Doto, and Rikio Settai	4. 巻 8
2. 論文標題 Electronic states of CeT ₂ X ₂₀ (T:transition metal, X=Zn and Cd)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 115017/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5043138	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 Hiroaki Anzai, Suzuna Ishihara, Hiroto Shiono, Kojiro Mimura, Toshiaki Iwazumi, Hitoshi Sato, Tao Zhuang, Keisuke T. Matsumoto, and Koichi Hiraoka	4. 巻 2054
2. 論文標題 Yb L III -edge and Cu K-edge X-ray Absorption Spectroscopy in YbInCu ₄ and YbCdCu ₄	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 040006/1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5084607	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 Hiroto Shiono, Suzuna Ishihara, Kojiro Mimura, Hitoshi Sato, Eike F. Schwier, Kenya Shimada, Masaki Taniguchi, Shin-ichiro Ideta, Kiyohisa Tanaka, Tao Zhuang, Keisuke T. Matsumoto, Koichi Hiraoka, and Hiroaki Anzai	4. 巻 2054
2. 論文標題 Temperature dependence of the Kondo resonance peak in photoemission spectra of YbCdCu ₄	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 040013/1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5084607	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 M. Ishikawa, T. Nakayama, K. Wakita, Y. G. Shim, N. Mamedov	4. 巻 123
2. 論文標題 First-principles study of giant thermoelectric power in incommensurate TlInSe ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 161575-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5011337	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 Shinya Hosokawa, Jens Rudiger Stellhorn, Hiroyuki Ikemoto, Kojiro Mimura, Kazuki Wakita, and Nazim Mamedov	4. 巻 215
2. 論文標題 Lattice Distortions in TlInSe2 Thermoelectric Material Studied by X-Ray Absorption Fine Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 1700416-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201700416	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 YongGu Shima, Yoshiaki Itoha, Kazuki Wakita, Nazim Mamedov	4. 巻 421
2. 論文標題 Anisotropic optical constants and inter-band optical transitions in layered semiconductor TlGaSe2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 788-793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2016.11.005	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 Kazuki Wakita, Tseng Po-Han, Ryo Yoshida, Issei Kyan, and Yong-Gu Shim	4. 巻 14
2. 論文標題 Composition-ratio control of CuInS2 films using PLD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi C	6. 最初と最後の頁 1600214-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssc.201600213	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 Raul Paucar, YongGu Shim, Kojiro Mimura, Kazuki Wakita, Oktay Alekperov, and Nazim Mamedov	4. 巻 14
2. 論文標題 Temperature dependence of low-frequency polarized Raman scattering spectra in TlInS2	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi C	6. 最初と最後の頁 1600214-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssc.201600214	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 Masahiro Kotani, Hiroki Miura, Yong-Gu Shim, and Kazuki Wakita	4. 巻 14
2. 論文標題 Composition ratio control of CZTS films deposited by PLD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi C	6. 最初と最後の頁 1600212-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssc.201600212	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

[学会発表] 計31件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Y. Yasui, T. Onodera, T. Shyouji, K. Mochizuki, Y. G. Shim, N. Mamedov, K. Wakita
2. 発表標題 Photoluminescence properties of TlBr crystals for radiation detectors
3. 学会等名 International Conference on Ternary and Multinary Compounds ICTMC-21 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuta Goto, Masahiro Kotani, Yong-Gu Shim, Kazuki Wakita
2. 発表標題 Composition-ratio control of CZTS films deposited by PLD
3. 学会等名 International Conference on Ternary and Multinary Compounds ICTMC-21 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Wakita, Raul Pauca, Yong-Gu Shim, and Nazim Mamedov
2. 発表標題 Surface analysis of CZTS films by tip-enhanced Raman scattering
3. 学会等名 International Conference on Ternary and Multinary Compounds ICTMC-21 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuki Wakita
2. 発表標題 Surface analysis of photovoltaic films of CuInS ₂ and CZTS
3. 学会等名 Modern Trends in Condensed Matter Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Anzai, Suzuna Ishihara, Hiroto Shiono, Kojiro Mimura, Toshiaki Iwazumi, Hitoshi Sato, Tao Zhuang, Keisuke T. Matsumoto, and Koichi Hiraoka
2. 発表標題 YbLIII -edge x-ray absorption spectroscopy in YbInCu ₄ and YbCdCu ₄
3. 学会等名 International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroto Shiono, Suzuna Ishihara, Kojiro Mimura, Hitoshi Sato, Eike F. Schwier, Kenya Shimada, Masaki Taniguchi, Shin-ichiro Ideta, Kiyohisa Tanaka, Tao Zhuang, Keisuke T. Matsumoto, Koichi Hiraoka, and Hiroaki Anzai
2. 発表標題 Electronic band structure of YbCdCu ₄ studied by angle-resolved photoemission spectroscopy
3. 学会等名 International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naomi Kawamura, Yusuke Hirose, Ryohei Shimokasa, Fuminori Honda, Naoki Ishimatsu, Masaichiro Mizumaki, Hiroshi Doto, and Kojiro Mimura
2. 発表標題 Pressure-dependent uranium valence states in UPd ₂ Cd ₂₀ probed by high-energy resolution x-ray absorption spectroscopy
3. 学会等名 International Conference on Magnetism (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Ryohei Shimokasa, Naomi Kawamura, Takayuki Matsumoto, Koki Kawakami, Taku Kawabata, Takayuki Uozumi, Akihiro Mitsuda, Hirofumi Wada, Masaichiro Mizumaki, and Kojiro Mimura
2. 発表標題	Temperature-induced valence transition in $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ investigated by high resolution X-ray absorption spectroscopy
3. 学会等名	The 17th International Conference on X-Ray Absorption Fine Structure (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	K. Maeda, H. Sato, Y. Akedo, T. Kawabata, K. Abe, R. Shimokasa, A. Yasui, M. Mizumaki, N. Kwamura, E. Ikenaga, S. Tsutsui, K. Matsumoto, K. Hiraoka, and K. Mimura
2. 発表標題	YbL_3 Resonant Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy of Valence Transition Compound YbInCu
3. 学会等名	International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	M. Ishikawa, T. Nakayama, K. Wakita, Y.-G. Shim, and N. Mamedov
2. 発表標題	Electronic and optical properties of 2-dimensional incommensurate TI-based semiconductors: First-principles studies on TlInS_2 , TlGaSe_2 and TlGaS_2
3. 学会等名	International Conference on The Physics of Semiconductors (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	安井 祐人, 小野寺 敏幸, 庄司 忠良, 望月 勝美, 沈 用球, ナジム マメドフ, 脇田 和樹
2. 発表標題	放射線検出用 TlBr 結晶のフォトルミネセンス特性
3. 学会等名	第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 後藤 優太、小谷 昌大、沈 用球、脇田 和樹
2. 発表標題 PLD法用CZTSターゲットの組成比制御
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 RAUL RAMOS PAUCAR、KAZUKI WAKITA、YONG-GU SHIM、NAZIM MAMEDOV
2. 発表標題 Nanostructure evaluation of CZTS-film surface by tip-enhanced Raman scattering
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三村功次郎
2. 発表標題 共鳴硬X線光電子分光による界面電子状態観測への展望
3. 学会等名 新日鐵住金「放射光・中性子利用技術研究会」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三村功次郎、保井晃、池永英司、河村直己、水牧仁一郎、筒井智嗣、佐藤仁、魚住孝幸、光田暁弘、大原繁 男
2. 発表標題 硬X線領域における共鳴光電子分光計測技術の進展と展望
3. 学会等名 第6回 SPring-8シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 保井晃, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一朗, 筒井智嗣, 三村功次郎
2. 発表標題 共鳴硬X線光電子分光計測技術の開発と展望
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 保井 晃, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一朗, 筒井智嗣, 三村功次郎
2. 発表標題 共鳴硬X線光電子分光計測技術の開発現状とその展望
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 北野 稜汰、沈 用球、脇田 和樹、Mamedov Nazim
2. 発表標題 層状TlGaSe ₂ における光誘起変形のミリ秒過渡応答特性評価
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上 直紀、金 大貴、脇田 和樹、沈 用球
2. 発表標題 多積層CdTeナノ粒子における誘電率スペクトルのサイズ依存性
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板倉 涼介、沈 用球、脇田 和樹、Mamedov Nazim
2. 発表標題 層状3元タリウム化合物における光誘起変形現象の偏光依存性
3. 学会等名 第79回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北野 稜汰、沈 用球、脇田 和樹、Nazim Mamedov
2. 発表標題 層状TlGaSe ₂ における光誘起変形のミリ秒過渡応答特性評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 真人、中山 隆史、脇田 和樹、沈 用球、Nazim Mamedov
2. 発表標題 第一原理計算を用いたTlInS ₂ におけるドーピングによる電子状態解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井 誠司、沈 用球、脇田 和樹、Mamedov Nazim,
2. 発表標題 光照射による3元タリウム化合物の光学定数変化
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川真人, 中山隆史, 脇田和樹, 沈用球, ナジム マメドフ
2. 発表標題 第一原理計算による2次元系TI化合物TlInS ₂ , TlGaSe ₂ , TlGaS ₂ の電子状態と光学特性の解析
3. 学会等名 平成29年応用物理学会多元系化合物・太陽電池研究会年末講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 YUTA GOTO, MASAHIRO KOTANI, YONG-GU SHIM, KAZUKI WAKITA
2. 発表標題 Composition analysis and evaluation of CZTS films deposited by PLD
3. 学会等名 The 27th Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 RAUL PAUCAR RAMOS, RYO YOKOJIMA, Hayime Shimada, YONG-GU SHIM, KAZUKI WAKITA
2. 発表標題 CuInS ₂ THIN FILM GROWTH ON GLASS SUBSTRATE BY PLD METHOD
3. 学会等名 The 27th Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤 優太, 小谷 昌大, 沈 用球, 脇田 和樹
2. 発表標題 PLD法によるCZTS薄膜の組成制御
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 RAUL RAMOS PAUCAR, Ryo Yokojima, Hajime Shimada, YongGu Shim, Kazuki Wakita
2. 発表標題 CuInS ₂ film growth on glass substrate by PLD method
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上 直紀, 金 大貴, 脇田 和樹, 沈 用球
2. 発表標題 半導体ナノ粒子の多積層膜における誘電率スペクトル
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 板倉 涼介, 沈 用球, 脇田 和樹, Mamedov Nazim
2. 発表標題 層状3元タリウム化合物における光誘起変形現象の異方特性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川真人, 中山隆史, 脇田和樹, 沈用球, ナムジ・マメドフ
2. 発表標題 第一原理計算による2次元系Tl化合物半導体 TlInS ₂ , TlGaSe ₂ , TlGaS ₂ の電子状態と光学特性の解析
3. 学会等名 平成29年応用物理学会多元系化合物・太陽電池研究会年未講演会
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
研究 分担者	沈 用球 (Shim Yong-gu) (20336803)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	
研究 分担者	三村 功次郎 (Mimura Kojiro) (40305652)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	
研究 協力者	石川 真人 (Ishikawa Masato)	横河電機株式会社・研究員	
研究 協力者	マメドフ ナジム (Mamedov Nazim)	アゼルバイジャン物理学研究所・所長	