

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02592

研究課題名（和文）光誘起ドーピングによる局所電子状態制御 - トポロジカルpn接合の創出 -

研究課題名（英文）Controlling the local electronic state by photo-induced doping; creation of topological pn junction

研究代表者

坂本 一之 (SAKAMOTO, Kazuyuki)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：70261542

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：n型トポロジカル絶縁体への光照射で試料に精度良くホールがドーブされることを明らかにし、光誘起ドーピングによる同試料を用いたスピントロニクス素子の創出に不可欠であるナノメートルスケールで電子状態制御にも成功した。このドーピングが、不純物吸着でわずかに正に帯電した試料表面上に水を曝露し後、最外層原子の内殻準位を光励起することで生じることと、光の照射量を変えることでn型トポロジカル絶縁体をp型に変えられることも明らかにした。また、原子層超伝導体のスピン偏極電子バンドの起源を解明するとともに、有機分子吸着によるそのバンドのエネルギー準位の調整のできることで、トポロジカル超伝導体の創出の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として、これまで報告のないトポロジカル絶縁体への全く新しいドーピング機構の解明がまず挙げられる。異種原子の吸着などによるドーピングはこれまで報告されているが、そのいずれも安定性やドーブ量の制御に問題があった。光誘起ドーピングは、この両方の問題を解決している。また、原子層物質のスピン偏極電子の起源が軌道角運動量であることを示した結果も同物質の物性研究に大きく貢献するものであり、学術的意義が高い。社会的意義に関しては、現代社会において喫緊の課題である日々爆発的に増加している情報量の処理ができるデバイスの創出に関し、得られた研究結果が道筋をつけたことが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：The research team has demonstrated that holes can be precisely doped in n-type topological insulators by photoirradiation, and has also succeeded in controlling the electronic state on nanometer scale, which is essential for the creation of spintronics devices using these materials. They also found that this doping is caused by photoexcitation of the inner shells of the outermost layer atoms, e.g., Se atom in case of Bi₂Se₃, after the sample surface, which is slightly positively charged due to impurity adsorption, is exposed to water. Furthermore, the team found that n-type topological insulators can be converted to p-type by changing the amount of light irradiation. Together with the research on topological insulators, the origin of the spin-polarized electron bands in atomic layer superconductors was elucidated, and the possibility of creating topological superconductors was demonstrated by tuning the energy level of those bands by adsorption of organic molecules.

研究分野：応用物理学

キーワード：トポロジカル物質 原子層物質 光誘起ドーピング スピン偏極電子バンド スピン軌道相互作用 空間反転対称性 光電子分光 超伝導体

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

トポロジカル絶縁体(TI)は、スピンと軌道が織りなす興味深い新奇物性の発現など基礎科学的興味を有するのみでなく、高速化・低エネルギー消費化など従来型のデバイスを凌駕する次世代デバイスの材料として期待されていることから応用的展開も望める研究対象である。TIのエッジ状態(3次元TIの場合は表面電子状態)は、理想的にはブリルアンゾーンの Γ 点にディラック点を持ち、スピンの向きが表面平行方向で波数に対して垂直なヘリカルスピン構造を示すことから、非磁性体不純物による後方散乱が起こらない高効率スピン流の半導体スピントロニクスデバイス材料として期待される。しかし、現実のTIでは原子欠損などの欠陥によって清浄なTIでも電子(もしくはホール)がドーピングされ、フェルミ準位がバルクバンド中に存在してバルクの電子状態が金属的となる。この金属的なバルクの電子状態は、表面のみを流れるはずのスピン偏極電子を散乱によってバルク中に拡散させてしまうため、TIを用いたスピントロニクスデバイスの実現を困難にしている大きな要因の1つとなっている。

2. 研究の目的

(1) TIバルクの電子状態を絶縁体に戻すためには、逆符号の電荷を注入して欠陥などにより生成される電荷を補償する必要がある。そこで、本研究目的は、研究代表者が見出した「光誘起ドーピング」という全く新しい技法を用いてTIの局所電子状態を制御する方法を確立し、TIを用いた従来型のデバイスを凌駕する次世代デバイスの具現化への道筋を明示することである。TIをはじめとするトポロジカル物質に発現する量子現象を利用した半導体スピントロニクスデバイスは未だ実用化には至っておらず、その具現化には簡便で安定なドーピング方法によってスピン流を高効率で抽出することとスピン流のon-off機能を備えることが不可欠である。具体的には、スピン・角度分解光電子分光(SARPES)と走査トンネル顕微鏡(STM)、および理論解析により光誘起ドーピング機構とその普遍性を解明、ナノメートルスケールでの電子状態制御法を確立し、同手法を用いた電子状態のパターニングをすることで、次世代デバイスの有力候補であるトポロジカルpn接合の実現の可能性を議論する。

(2) TIと同様に興味深いスピン物性を示す、固体表面上に作製した厚さが1から数原子層の原子層結晶のスピン偏極電子バンドの起源を解明するとともに、原子層結晶が超伝導性を示す原子層超伝導体を用いたトポロジカル超伝導体の創出を目指す。

3. 研究の方法

SARPES や STM を用いて固体表面上の原子層物質のスピン物性研究を遂行してきた研究代表者と、トポロジカル絶縁体を作製に秀でた研究分担者、電気伝導測定と STM の経験が豊富な研究分担者、および独自の SOC コードによる第一原理計算による理論的検証が行える研究分担者によって研究を遂行した。電子物性実験・電気伝導実験・試料作製・理論研究のチームでそれぞれの専門分野の知識を活かし、緊密に連絡を取り合うことでトポロジカル絶縁体への光ドーピング機構の解明が初めて可能となった。また、新奇トポロジカル物質の創成を視野に入れた研究として、原子層超伝導体の創出とその物性解明も今回の 4 つのチームが組むことによって可能となった。ARPES、SARPES 測定は大阪大学で所有する装置のみでなく、国内外研究協力者の装置や国内外の放射光施設を利用した。STM 測定と伝導測定は研究分担者の装置を用いて遂行した。

4. 研究成果

(1) TI への光誘起ドーピング機構の解明

トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 に真空槽内に存在する酸素を含む気体 (H_2O 、 CO 、 CO_2) を曝露し、異なる光エネルギーでディラックコーンの変化を観測したところ、光誘起ドーピングが図 1 に示すように、I. 清浄な Bi_2Se_3 表面ではドーピングが起こらず、II. Bi_2Se_3 表面への微量の不純物炭素の吸着により炭素吸着部近傍の電荷状態がわずかに正に帯電することで、III. 同表面に吸着した水分子の吸着構造が変化して負に帯電している酸素原子が表面と相互作用するようになり、IV. 最外層の Se 原子の内殻準位を励起してホールを生成することで O と Se 間で強いクーロン引力が生じて引き起こされることを明らかにした。また、 Bi_2Se_3 ではディラック点のシフトを外挿することで n 型 TI を p 型にできることを示した。しかし、 Bi_2Se_3 のバルク価電子帯のトップがディラック点よりも上に位置するため、p 型 Bi_2Se_3 のバルクは必ず金属的な電子状態となってしまう、次世代デバイスとして有力なトポロジカル pn 接合を作製することができない。そこで、広いバルクバンドギャップを有し、ディラック点はそのバンドギャップの真ん中付近にある TlBiSe_2 で光誘起ドーピングを試したところ、光の照射時間を制御することでバルクが絶縁体である n 型と p 型の両方の TlBiSe_2 を作ることに成功した。 TlBiSe_2 の表面構造が Bi_2Se_3 と異なることから、この試料に関しても光誘起ドーピング機構を解明するために光エネルギーに依存した光電子分光測定を行った結果、両試料でのドーピング機構に違いがないことも明らかにした。

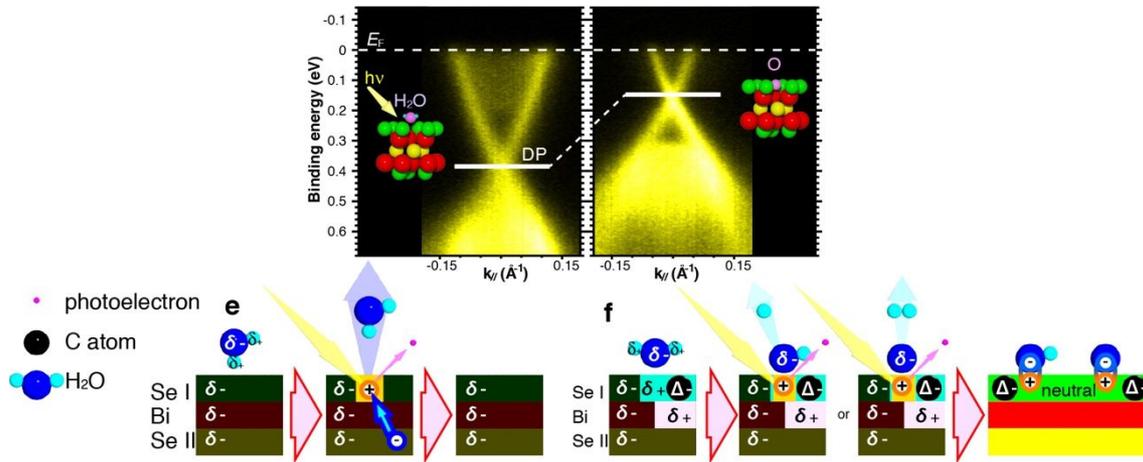


図1 (上) 光誘起ドーピングによる Bi_2Se_3 のディラック点のシフトと、
(下) 光誘起ドーピングのメカニズム。

(2) 原子層物質でのスピン偏極電子バンドの新たな発見機構

固体表面上に作製された原子層物質の電子バンドは、表面垂直方向の空間反転対称性の破れとスピン軌道相互作用によってスピン偏極することが知られている。これはラシュバ効果と呼ばれ、理想的な2次元電子ガスではスピンの向きが表面に平行で運動量に対して垂直方向を向く。このような理想的なラシュバ効果は、例えば $\text{Au}(111)$ の表面状態で観測されている。しかし、多くの原子層物質ではスピンの向きが理想的なラシュバ効果より予想される向きからズレており、その要因として原子構造の対称性や面内の空間反転対称性の破れなどが考えられてきた。本研究では、 $\text{Si}(111)$ 表面上に In 2層からなる原子層結晶を作製してその電子構造を測定したところ、スピン分裂している2つの金属的なバンドを初めて観測した(図2)。1つのバンド(図2の右側の円形フェルミ面)のスピンの向きは理想的なラシュバ効果で説明できるが、もう1つのバンド(破線)のスピンの向きは表面と運動量の両方にほぼ平行で、これまで報告されてきたような要因でも説明できない。理論計算による電荷分布などから、表面と運動量の両方にほぼ平行なスピンだけでなく、ラシュバ型のスピンも電子の軌道角運動量で説明できることを明らかにした。これは、原子層物質・固体表面で長らく論じられてきたスピン偏極電子バンドの要因を解明するための大きな成果と言える。

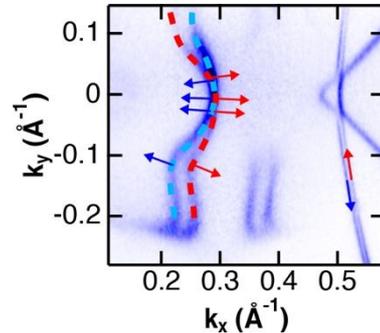


図2 In 原子層のフェルミ面と SARPES よりもとまったスピンの向き。

(3) 有機分子吸着による原子層超伝導体の物性制御

$\text{Si}(111)$ 表面上の In 原子層は約 3 K 以下で超伝導状態となることがわかっている。また、この In 原子層上に有機分子を蒸着することにより、転移温度が変化することが報告されている。特に、吸着種として銅フタロシアニン (CuPc) を用いた時は転移温度が約 5% 上昇するとの報告がある。そこで、この転移温度の上昇の要因を解明するため、ARPES を用いて CuPc の蒸着量に依存した電子状態を測定した。その結果、図3に示すように円形のフェルミ面の波数が CuPc の蒸着量に依存して変化することがわかった。フェルミ面の大きさからドーブされたホール量を見積もると、 CuPc の蒸着量が 1 ML の時に In 1 原子あたり 0.05 ホールドープされたことがわかった。この、ドーブされたホール量の変化が超伝導転移温度の変化と一致することから、転移温度の変化が有機分子からのホールドーブであると結論した。この結果は、有機分子を用いることで原子層物質のバンド形状を大きく変えることなく、荷電状態を変化させることができることを意味している。トポロジカル超伝導体創出にはフェルミ準位のチューニングが不可欠であることから、本成果は原子層物質を用いたトポロジカル超伝導体の具現化に向けた有益なものである。

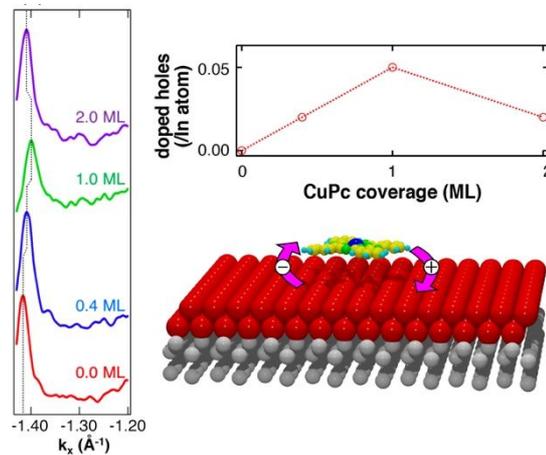


図3 In 原子層への CuPc 蒸着による電子状態の変化。(左)フェルミ波数の変化(右上)と、蒸着量に依存した In 原子 1 個あたりにドーブされたホール量。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kobayashi Takahiro, Nakata Yoshitaka, Yaji Koichiro, Shishidou Tatsuya, Agterberg Daniel, Yoshizawa Shunsuke, Komori Fumio, Shin Shik, Weinert Michael, Uchihashi Takashi, Sakamoto Kazuyuki	4. 巻 125
2. 論文標題 Orbital Angular Momentum Induced Spin Polarization of 2D Metallic Bands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 176401-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.176401	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 Sagehashi Ryunosuke, Kobayashi Takahiro, Uchihashi Takashi, Sakamoto Kazuyuki	4. 巻 705
2. 論文標題 Tuning the Fermi surface of In/Si(111)-(7×3) by CuPc adsorption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121777-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2020.121777	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 Yoshizawa Shunsuke, Kobayashi Takahiro, Nakata Yoshitaka, Yaji Koichiro, Yokota Kenta, Komori Fumio, Shin Shik, Sakamoto Kazuyuki, Uchihashi Takashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Atomic-layer Rashba-type superconductor protected by dynamic spin-momentum locking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1462-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-21642-1	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 -

1. 著者名 Ono Ryota, Marmodoro Alberto, Schusser Jakub, Nakata Yoshitaka, Schwier Eike F., Braun Juergen, Ebert Hubert, Minar Jan, Sakamoto Kazuyuki, Krueger Peter	4. 巻 103
2. 論文標題 Surface band characters of the Weyl semimetal candidate material MoTe2 revealed by one-step angle-resolved photoemission theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125139-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.125139	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 Pardede Indra, Yoshikawa Daiki, Kanagawa Tomosato, Ikhsan Nurul, Murata Itsuki, Obata Masao, Oda Tatsuki	4. 巻 500
2. 論文標題 Anatomy of large perpendicular magnetic anisotropy in free-standing Co/Ni (1 1 1) multilayer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166357-1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2019.166357	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 Sakakibara Hirofumi, Kotani Takao, Obata Masao, Oda Tatsuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Finite electric-field approach to evaluate the vertex correction for the screened Coulomb interaction in the quasiparticle self-consistent GW method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205120-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.205120	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 Sasama Yosuke, Kageura Taisuke, Komatsu Katsuyoshi, Moriyama Satoshi, Inoue Jun-ichi, Imura Masataka, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Uchihashi Takashi, Takahide Yamaguchi	4. 巻 127
2. 論文標題 Charge-carrier mobility in hydrogen-terminated diamond field-effect transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 185707-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0001868	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 Tsujiyama Y., Sakamoto M., Yokoi Y., Imamura M., Takahashi K., Hobara R., Uchihashi T., Takayama A.	4. 巻 10
2. 論文標題 Controlling of the Dirac band states of Pb-deposited graphene by using work function difference	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 085314-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0013797	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 Vidal R. C. et al.,	4. 巻 100
2. 論文標題 Surface states and Rashba-type spin polarization in antiferromagnetic MnBi ₂ Te ₄ (0001)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121104(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.100.121104	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 Nitta Jun, Miwa Kazumoto, Komiya Naoki, Annese Emilia, Fujii Jun, Ono Shimpei, Sakamoto Kazuyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 The actual electronic band structure of a rubrene single crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9645-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46080-4	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 Sakamoto Kazuyuki et al.,	4. 巻 21
2. 論文標題 Spatial Control of Charge Doping in n Type Topological Insulators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 4415-4422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c01100	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 Zeleny Martin, Sedlak Petr, Heczko Oleg, Seiner Hanus, Vertat Petr, Obata Masao, Kotani Takeo, Oda Tatsuki, and Straka Ladislav	4. 巻 209
2. 論文標題 Effect of electron localization in theoretical design of Ni-Mn-Ga based magnetic shape memory alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 109917-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2021.109917	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 Uchihashi Takashi	4. 巻 31
2. 論文標題 Surface Atomic-layer Superconductors with Rashba/Zeeman-type Spin-orbit Coupling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AAPPS Bulletin	6. 最初と最後の頁 27-1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43673-021-00028-x	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 Kuroda Kenta, Koichiro Yaji, Noguchi Ryo, Harasawa Ayumi, Shin Shik, Kondo Takeshi, and Komori Fumio	4. 巻 105
2. 論文標題 Visualization of optical polarization transfer to photoelectron spin vector emitted from a spin-orbit coupled surface state	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121106-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L121106	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 内橋 隆, 吉澤俊介, 矢治光一郎, 小林宇宏, 坂本一之	4. 巻 56
2. 論文標題 面原子層超伝導体におけるスピン分裂と動的なスピン運動量ロッキング効果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 723-733
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 -

〔学会発表〕 計37件(うち招待講演 3件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 下ヶ橋龍之介、小林宇宏、内橋隆、坂本一之
2. 発表標題 CuPcの吸着量に依存したIn/Si(111)-(7×3)の電子状態
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 板谷亮太、榎原成則、葛西健太郎、中田慶隆、黒田健太、福谷圭祐、山本勇、坂本一之
2. 発表標題 TlBiSe ₂ への光誘起ホールドーピング
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 小林宇宏、中田慶隆、矢治光一郎、坂本一之
2. 発表標題 Ag(111)面上に形成したTI原子層膜のスピンの偏極電子バンド
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 小林宇宏、岩本恵実、坂本一之、松井文彦、菅滋正
2. 発表標題 モーメントマイクロスコープを利用した -Mo4011の電子状態の測定
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石黒 大暉、星野 勝義、水津 理恵、坂本 一之
2. 発表標題 電子分光による金色光沢膜の研究
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉 耕介、水津 理恵、珠玖 良昭、阿波賀 邦夫、坂本 一之
2. 発表標題 スピントロスオーバー錯体薄膜の物性研究
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板谷亮太、榎原成則、葛西健太郎、中田慶隆、黒田健太、福谷圭祐、山本勇、坂本一之
2. 発表標題 TlBiSe ₂ への光誘起ホールドーピング
3. 学会等名 2020年度関西薄膜・表面物理セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林宇宏、中田慶隆、矢治光一郎、獅子堂達也、Daniel Agterberg、吉澤俊介、小森文夫、辛埴、Michael Weinert、内橋隆、坂本一之
2. 発表標題 2次元金属バンドにおける軌道角運動量に誘起されたスピン偏極
3. 学会等名 2020年度関西薄膜・表面物理セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林宇宏、榎原成則、内橋隆、山本勇、坂本一之
2. 発表標題 誘起分子吸着によるIn/Si(111)-(7×3)表面のフェルミ面変調
3. 学会等名 シンクロトロン光応用研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横田健太、吉澤俊介、内橋隆
2. 発表標題 ラッシュバ型原子層超伝導体における動的スピン軌道運動量ロッキング効果の解明
3. 学会等名 NIMS先端計測シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yokota, S. Yoshizawa, T. Kobayashi, Y. Nakata, K. Yaji, F. Komori, S. Shin, K. Sakamoto, T. Uchihashi
2. 発表標題 Electron transport study of atomic layer Rashba-type superconductor
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横田健太、吉澤俊介、小林宇宏、中田慶隆、矢治光一郎、小森文夫、辛埴、坂本一之、内橋隆
2. 発表標題 原子層ラッシュバ型超伝導体の電子輸送研究
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 川口海周、黒田健太、Zhigang Zhao、原沢あゆみ、矢治光一郎、野口亮、谷俊太郎、藤澤正美、辛埴、小森文夫、小林洋平、近藤猛
2. 発表標題 時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発
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 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 谷俊太郎, 原沢あゆみ, 矢治光一郎, 野口亮, 藤澤正美, 辛埴, 小森文夫, 小林洋平, 近藤猛
2. 発表標題 10.7 eV レーザーによるトポロジカル表面状態の偏光依存スピン分解 ARPES
3. 学会等名 (14)日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Sakamoto
2. 発表標題 Spin Structures of Atomic Layers formed on Solid Surfaces
3. 学会等名 The 17th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-17) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Nitta, Y. Shuku, R. Suizu, I. Yamamoto, K. Awaga, and K. Sakamoto
2. 発表標題 Temperature-dependent physical properties of a spin crossover complex $[\text{Fe}(\text{tdap})_2(\text{NCS})_2]$ thin film
3. 学会等名 21st International Vacuum Congress (IVC-21) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本一之
2. 発表標題 原子層物質における新奇スピン偏極電子バンド
3. 学会等名 令和元年度日本表面真空学会九州支部学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sakamoto
2. 発表標題 Spin-Polarized Electronic States of Atomic Layer Materials Formed on Solid Surfaces
3. 学会等名 IMR+MAX IV 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下ヶ橋龍之介、小林宇宏、内橋隆、坂本一之
2. 発表標題 CuPcの蒸着量に依存したIn/Si(111)-(7×3)表面のフェルミ面変化
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. Sakamoto
2. 発表標題 Electronic structures of organic single crystals and organic thin films
3. 学会等名 HeKKSaGOn University Alliance, The 7th German-Japanese University Presidents' Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sakamoto, H. Ishikawa, T. Wake, C. Ishimoto, J. Fujii, H. Bentmann, M. Ohtaka, K. Kuroda, N. Inoue, T. Hattori, T. Miyamachi, F. Komori, I. Yamamoto, C. Fan, P. Krueger, H. Ota, F. Matsui, F. Reinert, J. Avila, and M. C. Asensio
2. 発表標題 Spatial Control of Charge Doping in n Type Topological Insulators
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Cheng Fan, Kazuyuki Sakamoto, and Peter Krueger
2. 発表標題 Theoretical investigation of carrier doping of topological insulator Be ₂ Se ₃ by surface adsorption
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Itaya, Y. Toichi, R. Nakanishi, Y. Nakata, K. Kasai, K. Kuroda, M. Arita, I. Yamamoto, K. Fukutani, and K. Sakamoto
2. 発表標題 Investigation of the Origin of Photo-Induced Doping on TlBiSe ₂
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎原成則, 小林宇宏, 稲垣俊輔, 芝野佑哉, 山本勇, 坂本一之
2. 発表標題 有機分子吸着による原子層超伝導体In/Siの電子状態変調
3. 学会等名 令和3年度日本表面真空学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林宇宏, 岩本恵実, 松井文彦, 菅滋正, 坂本一之
2. 発表標題 モーメントマイクロスコープによる -Mo ₄₀ 11の電子状態の測定
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林宇宏, 中田慶隆, 八百板裕智, 岩岡睦生, 古賀真理子, 矢治光一郎, 藤井純, 秋山了太, 長谷川修司, 小野新平, Yasmine Sassa, 坂本一之
2. 発表標題 Ag基板上に成長したTI単結晶薄膜のスピン偏極電子状態
3. 学会等名 2021年度 関西薄膜・表面セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎原成則, 小林宇宏, 稲垣俊輔, 横田健太, 山本勇, Jacek Osiecki, Khadiza Ali, Craig Polley, 内橋 隆, 坂本一之
2. 発表標題 PTCDA吸着原子層超伝導体In/Siの電子状態
3. 学会等名 2021年度 関西薄膜・表面セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣俊輔, 榎原成則, 小林宇宏, 馬地蒼士郎, 山本勇, 坂本一之
2. 発表標題 F4TCNQ吸着によるIn/Si-(7×3)の電子状態変調
3. 学会等名 2021年度 関西薄膜・表面セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本恵実, 小林宇宏, 松井文彦, 菅滋正, 坂本一之
2. 発表標題 擬二次元導電体 -Mo4011のバンド構造
3. 学会等名 2021年度 関西薄膜・表面セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板谷亮太, 戸市裕一朗, 中西龍也, 葛西健太郎, 中田慶隆, 黒田健太, 福谷圭祐, 山本勇, 有田将司, 坂本一之
2. 発表標題 TlBiSe ₂ における光誘起ドーピングの光エネルギー依存性
3. 学会等名 2021年度 関西薄膜・表面セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 板谷亮太, 戸市裕一朗, 福谷圭祐, 山本勇, 有田将司, 坂本一之
2. 発表標題 TlBiSe ₂ への光誘起ドーピング
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣俊輔, 小林宇宏, 榎原成則, 馬地蒼士郎, 横田健太, 山本勇, 内橋隆, 坂本一之
2. 発表標題 有機分子を吸着させたIn/Si-(7×3)の電子状態変調
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横田健太, 小林宇宏, Wenxuan Qian, 稲垣俊輔, 坂本一之, 内橋隆
2. 発表標題 有機分子蒸着によるSi(111)-(7×3)-In超伝導転移温度の変化
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林宇宏, 松井文彦, 岩本恵実, 宮田全展, 小矢野幹夫, 菅滋正, 坂本一之
2. 発表標題 光電子運動量顕微鏡を用いた温度に依存した -Mo4011 の電子状態の解明
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 松井文彦, 菅滋正, 田中慎一郎, 小矢野幹夫, 上野啓司, 小林宇宏, 岩本恵実, 坂本一之
2. 発表標題 光電子運動量顕微鏡によるTaS ₂ のCDW観察
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 板谷亮太, 戸市裕一朗, 中西龍也, 榎原成則, 葛西健太郎, 中田慶隆, 黒田健太, 福谷圭祐, 山本勇, 有田将司, 坂本一之
2. 発表標題 光エネルギーに依存したTlBiSe ₂ への光誘起ドーピング効果
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 横田健太, 小林宇宏, Wenxuan Qian, 稲垣俊輔, 坂本一之, 内橋隆
2. 発表標題 有機分子蒸着によるSi(111)-(7×3)-In超伝導転移温度の変化
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

答えは「電子の動く軌道」！原子層結晶で“電子磁石”が現れる機構を解明
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20201022_3
原子層結晶で電子スピンの現れる仕組みとは？ - 超高分解能測定で探る
https://academist-cf.com/journal/?p=15156&fbclid=IwAR2yUF4LSSfbHy0fBK3QZ-UzRN8UgREutIEV8Rh_y4PM4axGsMdsWUKjhvc
大阪大学大学院工学研究科 坂本グループ ホームページ
<http://snp.ap.eng.osaka-u.ac.jp/Welcome.html>

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	黒田 健太 (KURODA Kenta) (00774001)	東京大学・物性研究所・助教 (12601)	
研究分担者	小田 竜樹 (ODA Tatsuki) (30272941)	金沢大学・数物科学系・教授 (13301)	
研究分担者	内橋 隆 (UCHIHASHI Takashi) (90354331)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・グループリーダー (82108)	

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		
米国	ウィスコンシン大学ミルウォーキー校		
ドイツ	Wuerzburg大学		

共同研究相手国	相手方研究機関			
イタリア	stituto Officina dei Materiali (IOM)-CNR			
韓国	Pohang Accelerator Laboratory			
スウェーデン	Lund大学			
フランス	Synchrotron SOLEIL			