

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01146

研究課題名(和文) 強相関トポロジカル結晶のスピンの表面状態のSTM及びSARPESによる研究

研究課題名(英文) STM and SARPES study of the surface states on highly-correlated topological crystals

研究代表者

小森 文夫 (Komori, Fumio)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：60170388

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：トポロジカル近藤絶縁体候補のSmB6とYbB12単結晶表面を清浄化する手法を開発し、その局所構造依存トンネル分光および準粒子干渉測定を行った。SmB6では表面状態の存在を示す電子エネルギーに依存した干渉パターンと、YbB12では局所電子状態密度の表面構造依存性を明らかにした。また、SmB6表面にCo単原子を蒸着し、表面電子状態変化を見出した。

11eVレーザーを用いたスピン角度分解光電子分光(SARPES)測定装置を完成し、トポロジカル絶縁体のスピン偏極バンド構造を20meVの分解能で測定した。時間分解SARPESの開発も行い、時間分解能2psecでその表面電子状態の寿命を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子力学の確立とともに強磁性の理解が大きく進みその社会実装も進んできた。さらに、最近では、電子のもつ磁性であるスピンが偏極した電子状態の理解も進み、強磁性だけでなく多様なスピン偏極電子状態の社会的利用が提案されている。しかしながら、新しい物質においては、その物性の学術的理解はまだ不十分であり、確たる証拠に基づいていない議論もある。本研究では、原子レベルで評価された良質表面試料作製法を開発し、スピン偏極電子状態に関する実験研究を行い、その定量的学術研究発展への道筋をつけたことに意義がある。今後の基礎研究の進展により学術的理解を深め、スピン偏極電子状態の社会応用への新しい発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：We developed a method for cleaning the surfaces of topological Kondo insulator candidates SmB6 and YbB12, and performed local structure-dependent tunnel spectroscopy and quasiparticle interference measurement. In SmB6, the interference pattern depending on the electron energy indicating the existence of the surface state was clarified, and in YbB12, the surface structure dependence of the local density of states was clarified. In addition, a Co single atom was deposited on the surface of SmB6, and a change in the electronic state of the surface was found. We completed a spin angle-resolved photoelectron spectroscopy (SARPES) measuring device using an 11eV laser, and measured the spin polarization band structure of a topological insulator with a resolution of 20 meV. We also developed a time-resolved SARPES and investigated the lifetime of its surface electronic state with a time resolution less than 2 psec.

研究分野：表面物性

キーワード：表面状態 トポロジカル近藤絶縁体 スピン偏極

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

3次元トポロジカル絶縁体(3dTI)やワイル半金属(WSM)など強いスピン軌道相互作用がある結晶において、そのバルク電子状態の対称性に依存して、表面にヘリカルにスピン偏極した金属表面電子状態が現れることが指摘されてきた。実際、いくつかの3dTIでは清浄な規則表面がへき開で容易に得られ、スピン角度分解光電子分光(SARPES)のみならず走査トンネル顕微鏡(STM)を用いたトンネル分光(STS)と準粒子干渉(QPI)測定によっても詳細なスピン依存電子状態が研究されてきた。この分野の研究は大きな広がりを見せ、電子相関が強いことによってフェルミエネルギー付近にギャップが開いている近藤絶縁体(TKI)や超伝導体さらには磁性をもつWSMにおいても、系の対称性に依存してスピンと運動量が結合した特異なスピン構造をもつ金属的表面バンドが存在することが議論されてきた。しかしながら、これらの強相関物質の多くはへき開性が悪く、定量的な研究に不可欠な均一で清浄な規則表面を容易に得ることができない。そのために、スピン偏極表面電子状態の理解に不可欠な定量的実験結果を得ることが困難な場合が多い。そこで、これらの物質について原子レベルで平坦でマクロスケールで均一な表面を用い空間平均手法も駆使した定量的な実験研究が強く望まれていた。また、グラフェンの実験的研究で急速に進展した原子層研究においても、電子相関が強い2次元系や強いスピン軌道相互作用によるスピン偏極電子状態が注目され始めていた。

2. 研究の目的

- (1) 本研究では、スピン偏極表面状態が注目されるTKIなどの電子相関が関与するトポロジカル物質単結晶表面を対象に、表面科学手法を用いて原子レベルで均一に清浄化・平坦化する方法を開発すること、さらに系の対称性を操作するために、清浄表面に異種原子を吸着させた表面を作製することを第一目的とした。
- (2) 作製方法が確立した試料を用いて、表面スピン偏極電子構造をSTS・QPIと光電子分光手法を駆使した系統的に測定結果をもとに、特徴的な表面スピン電子構造を解明することが第二の目的である。
- (3) 同時に発展してきた原子層の研究において、表面構造を原子レベルで規定した試料での電子状態にも注目し、スピン偏極電子状態や電子相関によるバンド変形を解明することも第三の目的とした。

3. 研究の方法

- 本研究では、研究グループをA,B班二つに分けそれぞれSTMとSARPESを中心に実験を行う。
- (1) A班はSTM像観察によって原子レベルで表面清浄化法を開発し、QPIのフーリエ変換像が波数空間で十分な分解能が得られるように50nm四方以上の原子平坦面(テラス)を実現し、その準備手法、表面の低速電子回折パターンとオージェ電子スペクトルをB班に提供する。電子間相互作用が表面電子状態に特徴的に現れる物質を対象に、広いテラスを有する清浄表面を準備し、極低温STMを用いて、バルクバンドギャップ中に存在する占有非占有表面状態の軌道分別STSとQPI測定を行う。また、磁性探針を用いたスピン検出STMでは、表面状態におけるスピン散乱の情報を得る。
 - (2) B班は、A班が清浄法を確立した表面を対象に、既設の7eVのレーザーSARPES装置を利用し、偏光依存SARPES測定によって特徴的なスピン偏極表面電子構造を明らかにする。光電子の3次元スピン方向の偏光依存計測を駆使し、スピン依存バンド分散だけでなく、それを構成する波動関数の情報も得る。また、装置改良として、10.7eVパルスレーザー光を新たに利用できるようにし、測定できる波数空間を広げて光学遷移過程の自由度も増やすとともに、パルス強度との繰り返し周波数を最適化して時間分解SARPES手法を開発する。これらにより、試料に応じて光電子放出断面積が大きな光源波長を選び、定量的な偏光依存性スピン分解測定を短時間で行う。加えて、これらレーザー光では光電子放出断面積が小さい試料に対しては、放射光を利用したSARPES測定および清浄規則表面作製のための内殻分光による表面分析を行う。

4. 研究成果

(1) Co表面近藤効果の基板格子歪依存性

固体表面に吸着した単一磁性原子が示す近藤効果はSTSによって調べられてきた。そこで、Cu(001)清浄表面上のCo単原子の近藤温度の基板格子歪依存性を調べた。局所的な銅清浄表面の格子圧縮は部分窒素吸着によって実現した。個々のCo原子上でのSTS測定により、圧縮された表面ではCo原子の近藤温度が広い清浄表面に比べて低くなることが明らかとなった。第一原理計算の結果、銅格子圧縮によって吸着したCo原子と基板銅原子間の距離が長くなることがわかった。この距離の変化のために、sd相互作用が小さくなり近藤温度が低くなったと結論した。

(2) 構造制御された近藤絶縁体表面の金属的な電子状態

トポロジカル近藤絶縁体候補のSmB₆とYbB₁₂単結晶表面の清浄化規則化方法を開発した。研究開始以前に、スパッターアニール法で作製した試料ではLEED測定により超構造が現れることが明らかになっていた。STMで詳細に調べたところ、表面欠陥密度と異なる構造の共存比がアニール条件に依存することが明らかとなった。そこで、STM観察によりアニール条件を構造に応じて最適化し、欠陥が少なく広い面積で同じ構造を示すドメインを作製する方法を開発した。その局所構造依存トンネル分光(STS)

およびQPI測定を行った。その結果、 SmB_6 では表面金属状態の存在を示す電子エネルギーに依存した干渉パターンが観測された。一方、 YbB_{12} では電子散乱が弱く電子エネルギーに依存した干渉パターンは観測できなかったが、局所電子状態密度の表面構造依存性が観測された。これらの特徴とトポジカル近藤絶縁体の電子状態予測との関係を調べた。また、 SmB_6 表面にコバルト単原子を蒸着したところ、Co原子の周囲の局所状態密度が清浄面のものとは異なっており、スピン依存するトポジカル表面電子状態の変化が示唆される。

(3) CePt_5 二原子層の近藤効果

バルク CePt_5 が低温で反強磁性を示すことと対照的に、 $\text{Pt}(111)$ 表面上の CePt_5 薄膜は低温で近藤格子となることが報告されていた。そこで、最小ユニット高さの超薄膜を作製し、その構造と電子状態をSTM/STS/QPIで調べた。その結果、表面第一層は、バルク結晶の CePt_5 結晶のPt面の構造よりもPt原子が少し多く存在し、 $\text{Pt}(111)$ 面と同様な構造になっていることがわかった。そして、純粋なPt表面と同様に非占有表面状態があることが明らかとなった。表面下第一の原子層は CePt_5 結晶の CePt_5 面と同様と考えられる。したがって、この二原子層膜は $\text{Pt}(111)$ 面基板上的 CePt_5 二原子層とみなせる。フェルミエネルギー付近には、近藤格子と解釈可能な dI/dV 曲線が観測された。

(4) 10.7 eV レーザーによるトポジカル表面状態の偏光依存SARPES

10.7 eV パルスレーザー励起のスピン分解光電子分光装置を開発し、3dTIである Bi_2Se_3 表面スピン偏極状態を始状態とする光電子スピン向き偏光依存を調べた。これまでの7eVの結果とは異なり、光エネルギーに依存したパラメタをもつ光学遷移過程が明らかとなった。また、ポンプローブ時間分解SARPES測定装置も開発し、 Bi_2Se_3 表面スピン偏極状態の時間分解測定を行った。

(5) 強誘電体GeTeのスピン偏極電子状態

スピン軌道相互作用が強い場合には、スピン偏極した電子状態が存在し、スピン偏極電流の実現が期待されている。しかし、一般にはスピン偏極率は100%ではなく、その系がスピントロニクスへの応用に適していると判断するためには、高いスピン偏極度があることを明らかにする必要がある。それを調べるために、海外の研究者とともに、強誘電体GeTeのスピン偏極電子状態に注目して偏光依存SARPESの研究を行った。その結果、バルク状態のフェルミエネルギー付近のスピン偏極度が100%であることがわかった。理論計算と比較することにより、その条件は全角運動量が異なる状態との間に混成がないことであると結論した。

(6) 対称性の違いによる窒化鉄強磁性単原子層膜の局所電子状態と磁性の変化

$\text{Cu}(111)$ 基板上と $\text{Cu}(001)$ 基板上での正方格子の Fe_2N 原子層膜の電子状態や磁性の違いをSTSと軟X線吸収分光(XAS)および磁気円二色性測定(XMCD)を用いて調べた。その結果により、どちらの基板上でも Fe_2N 原子層膜が8 Kで強磁性を有することがわかった。総和則を用いてスピン磁気モーメントを算出すると、 $\text{Cu}(111)$ 基板上の Fe_2N 原子層のFeのスピン磁気モーメントは、 $\text{Cu}(001)$ 基板上に比べて、半分以下になることがわかった。また、局所的な電子状態を、STSを用いて調べると、 $\text{Cu}(111)$ 基板と $\text{Cu}(001)$ 基板上の窒化鉄膜では、鉄の電子状態が大きく異なることがわかった。これらの結果より、原子層とCu基板との混成の違いが、窒化鉄の磁気モーメントの大きさに影響を及ぼしていることを結論した。

(7) 窒素サーファクタント効果により作製したFeNi規則合金強磁性超薄膜の構造と磁気状態

強い一軸磁気異方性を持ちレアメタルフリーな新規強磁性材料である $L1_0$ 型FeNi規則合金($L1_0$ -FeNi)薄膜の作製では、FeとNiを交互に単原子層積層することが試みられてきた。しかし、これまでは結晶規則度が低く、強い一軸磁気異方性の実現は困難であった。そこで、結晶規則度の低下要因となる積層時の界面原子拡散を、図1のように $\text{Cu}(001)$ 面における窒素サーファクタント効果により解決した。そして、その2原子層FeNi試料のXMCDによる磁化曲線を測定することにより、表面垂直方向に大きな磁気異方性エネルギーをもつことを明らかにした。これは窒素サーファクタント効果を利用して多層膜成長した $L1_0$ -FeNi薄膜では、一軸磁気異方性の強さが大きく改善されることを示唆する結果である。

(8) $\text{Cu}(111)$ 基板上の三角格子窒化鉄単原子層の構造と電子状態

$\text{Cu}(111)$ 基板上に三角格子の窒化鉄原子層を作製する条件をみいだした。その原子分解能でのSTM観察により、表面には窒化鉄膜とCu基板との格子

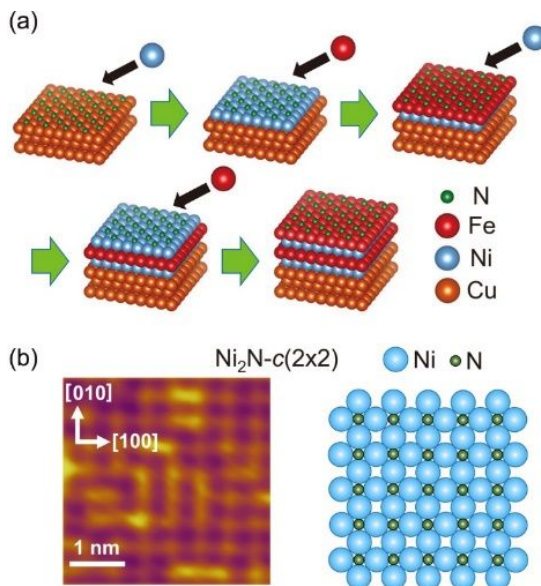


図1(a) 窒素サーファクタント効果による数原子層 FeNi 試料作製過程の模式図。(b) 単原子層 Ni_2N の STM 像 (左) と模式図 (右)。

定数との差によって、図2のようにモアレパターンが存在することがわかった。Cu(111)基板上に三角格子の窒化鉄原子層を作製する条件をみだした。その原子分解能でのSTM観察により、表面には窒化鉄膜とCu基板との格子定数との差によって、図2のようにモアレパターンが存在することがわかった。原子層格子の局所的かつ微小な変化に対して、モアレパターンはその十倍程度大きく変化するため、モアレパターンの周期性からのずれを精密に解析することにより、窒化鉄原子層膜における5 pm程度の局所格子歪みでも検出することができる。その結果、この単原子層に生じている格子歪の2次元的な分布を明らかにした。また、STS測定によって、電子状態がこれまでの知られている窒化鉄原子層膜とは異なる絶縁体であり、それが格子歪に依存して変化することを明らかにした。

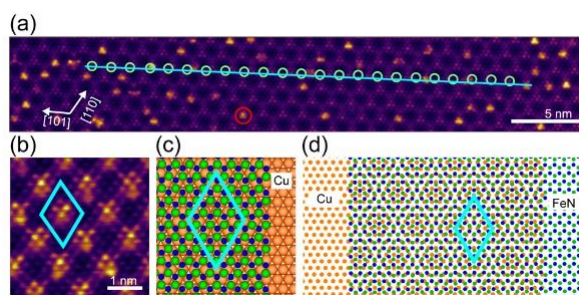


図 2(a,b) 三角格子窒化鉄原子層の STM 像。モアレパターンがみえている。(c)窒化鉄原子層の原子模型。(d)原子模型によるモアレパターンの模式図。

(9) ツイストグラフェンの電子状態のツイスト角度依存性

相互に面内回転する 2 つのグラフェンシートを積み重ねたツイスト 2 層グラフェン(TBG)は、特異な電子状態を示す。特にツイスト角が小さく 2 層間の電子間相互作用が強い場合には、大きな状態密度を持つフラットバンドが実現され、その電子的性質が注目されている。そこで、 3.9° および 3.2° 回転大面積 TBG の電子状態を ARPES によって調べた。 3.9° 回転 TBG の ARPES バンド像およびモアレ模様がみられる STM 画像を図3に示す。ARPES 測定では、2 つのグラフェン層由来のディラックバンドが変形し、さらに光電子強度の小さい複数のレプリカバンドが観察された。バンド形状の2次元マッピングの解析により、回転角の減少につれてディラック速度の異方的減少と部分的フラットバンドの存在が顕著となることを明らかにし、それらの特徴は電子状態計算によって確認した。

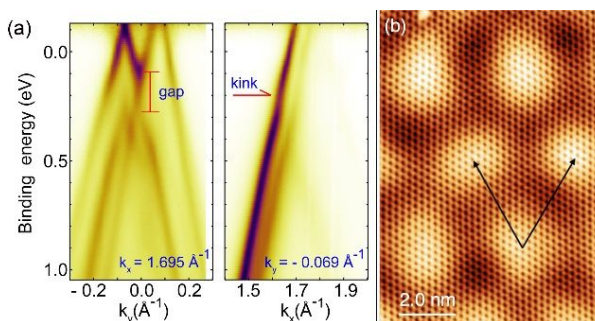


図 3(a) 3.9° 回転 TBG の ARPES バンド像。左図が上下 2 層の K 点を含む面でのバンド断面、右図が上層の K 点を含み左図に垂直なバンド断面。(b) STM 像。

(10) スズ原子層のスピンの偏極電子状態

三角格子の2次元系であるスズ単原子層をグラフェンとシリコンカーバイド基板の界面にインターカレーションすることにより作製した。そしてスピン偏極電子状態を、SARPESを用いて詳細に調べた。その結果、図4のように、波数空間の同じ対称点付近にラシュバ型とゼーマン型の2種類のスピン偏極バンド構造が共存することを明らかにした。従来、結晶対称性に依存して同じ対称点には一つの種類の型のスピン偏極バンドがあると考えられてきたが、実験結果はこれとは異なる。該当する電子状態密度の空間分布を理論的に調べた結果、従来の結晶対称性による考え方は間違いであり、電子状態密度の空間分布の対称性に依存してスピン偏極バンド構造が決まることが明らかとなった。これは、スピン分裂の型は結晶構造の対称性を考えるだけでは決められない場合があり、該当する電子状態を形成する結晶ポテンシャルの対称性を考えなければならないことを意味する。

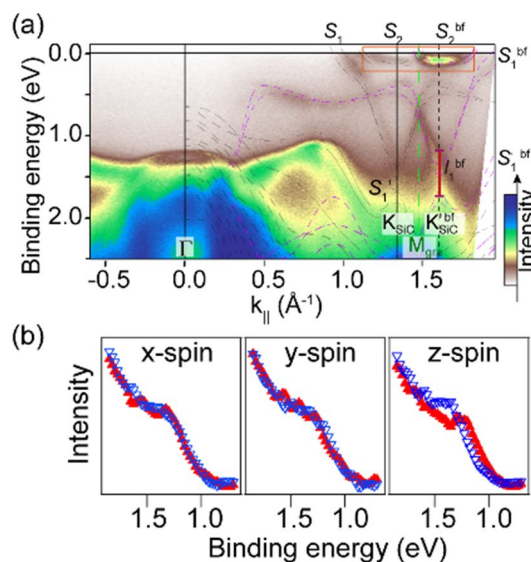


図 4 (a)スズ原子層の ARPES バンド像。(b)フォールディングした対称点 K^{bf} 付近のゼーマン型スピン偏極バンド構造を示す SARPES の結果。Z 方向スピンだけ赤と青の反対のスピン向きの光電子強度が異なる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawaguchi Kaishu, Miyamachi Toshio, Iimori Takushi, Takahashi Yuki, Hattori Takuma, Yokoyama Toshihiko, Kotsugi Masato, Komori Fumio	4. 巻 4
2. 論文標題 Realizing large out-of-plane magnetic anisotropy in L10-FeNi films grown by nitrogen-surfactant epitaxy on Cu(001)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 054403、1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.4.054403	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 Imamura Hitoshi, Visikovskiy Anton, Uotani Ryosuke, Kajiwara Takashi, Ando Hiroshi, Iimori Takushi, Iwata Kota, Miyamachi Toshio, Nakatsuji Kan, Mase Kazuhiko, Shirasawa Tetsuroh, Komori Fumio, Tanaka Satoru	4. 巻 13
2. 論文標題 Twisted bilayer graphene fabricated by direct bonding in a high vacuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075004、1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ab99d1	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 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 Hattori Takuma, Kawamura Norikazu, Iimori Takushi, Miyamachi Toshio, Komori Fumio	4. 巻 21
2. 論文標題 Subatomic Distortion of Surface Monolayer Lattice Visualized by Moire Pattern	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 2406 ~ 2411
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.nanolett.0c04408	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 Iimori Takushi, Visikovskiy Anton, Imamura Hitoshi, Miyamachi Toshio, Kitamura Miho, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Mase Kazuhiko, Nakatsuji Kan, Tanaka Satoru, Komori Fumio	4. 巻 5
2. 論文標題 Electronic structure of 3°-twisted bilayer graphene on 4H-SiC(0001)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 L051001, 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.L051001	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 Hattori Takuma, Miyamachi Toshio, Yokoyama Toshihiko, Komori Fumio	4. 巻 31
2. 論文標題 Electronic and magnetic properties of the Fe2N monolayer film tuned by substrate symmetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 255001, 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ab0fbc	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 Krepasky Juraj, Fanciulli Mauro, Nicolai Laurent, Minar Jan, Volfova Henrieta, Caha Ondej, Volobuev Valentine V., Sanchez-Barriga Jaime, Gmitra Martin, Yaji Koichiro, Kuroda Kenta, Shin Shik, Komori Fumio, Springholz Gunther, Dil J. Hugo	4. 巻 2
2. 論文標題 Fully spin-polarized bulk states in ferroelectric GeTe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013107, 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.013107	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 Iwata Kota, Miyamachi Toshio, Minamitani Emi, Komori Fumio	4. 巻 116
2. 論文標題 Sensing surface lattice strain with Kondo resonance of single Co adatom	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 051604, 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5142064	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 Yaji Koichiro, Visikovskiy Anton, Imori Takushi, Kuroda Kenta, Hayashi Singo, Kajiwara Takashi, Tanaka Satoru, Komori Fumio, Shin Shik	4. 巻 122
2. 論文標題 Coexistence of Two Types of Spin Splitting Originating from Different Symmetries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 126403, 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.126403	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66件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 川口海周, 黒田健太, Zhigang Zhao, 原沢あゆみ, 矢光光一郎A, 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 10.7 eV レーザーを用いた時間・スピン・角度分解光電子分光装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会秋季分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮町俊生, 菅滋正, 飯盛拓嗣, 伊賀文俊, 小森文夫
2. 発表標題 構造制御されたSmB6(001) 表面の金属的な電子状態
3. 学会等名 日本物理学会秋季分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯盛拓嗣、宮町俊生、服部琢磨、中辻寛、北村未歩、堀場弘司、間瀬一彦、梶原隆司、Visikovskiy Anton、田中悟、小森文夫
2. 発表標題 SiC(0001) 上のツイストグラフェンの電子状態のツイスト角度依存性
3. 学会等名 日本物理学会秋季分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 服部卓磨、河村紀一、飯盛拓嗣、宮町俊生、小森文夫
2. 発表標題 モアレパターンを利用した窒化鉄膜の局所ひずみ観察
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯盛拓嗣、今村均、VisikovskiyAnton、魚谷亮介、梶原隆司、宮町 俊生、服部琢磨、原沢あゆみ、矢治光一郎、中辻寛、北村未歩、堀場弘司、間瀬一彦、田中悟、小森文夫
2. 発表標題 ツイスト角に依存したツイストグラフェン電子状態のARPESによる研究
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会
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 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮町俊生, 高橋優樹, 飯盛拓嗣, 服部卓磨, 山本航平, 小坂谷貴典, 横山利彦, 小嗣真人, 小森文夫
2. 発表標題 窒素サーファクタント効果により作製したFeCo合金超薄膜の構造と磁気状態
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yaji, S. Hayashi, A. Visikovskiy, S. Shin, S. Tanaka and F. Komori
2. 発表標題 Coexistence of Zeeman-and Rashba-type spin-split bands for a Sn atomic layer on SiC(0001)
3. 学会等名 17th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuma Hattori, Takushi Iimori, Toshio Miyamachi, Toshihiko Yokoyama, Fumio Komori
2. 発表標題 Magnetic properties of the iron nitride monolayers tuned by the symmetry of the substrate
3. 学会等名 IVC-21 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumio Komori, Shuhei Nakashima, Toshio Miyamachi, Yukio Takahashi, Yasutomi Tatetsu, Yoshihiro Gohda, Yasumasa Takagi, Toshihiko Yokoyama
2. 発表標題 Dynamic heterointerface formation in magnetic few monolayers
3. 学会等名 IVC-21 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumio Komori
2. 発表標題 Electron Dynamics in Epitaxial Graphene and Topological Insulator Surface
3. 学会等名 Gordon Research Conference Dynamics at Surfaces 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumio Komori
2. 発表標題 Two types of spin textures in a Sn atomic layer at graphene/SiC(0001) interface
3. 学会等名 IBS conference on Surface Atomic wires (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田孝太, 宮町俊生, 南谷英美, 小森文夫
2. 発表標題 Cu(001)表面上Co単原子の近藤効果のCu格子の歪みに対する応答のSTM測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮町俊生, Thomas Gozlinski, Wulf Wulfhekel, 小森文夫
2. 発表標題 水素修飾による窒化銅表面上のCo単一原子のスピン状態変化
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢治光一郎, Anton Visikovskiy, 飯盛拓嗣, 林真吾, 梶原隆司, 黒田健太, 田中悟, 小森文夫, 辛埴
2. 発表標題 グラフェン/SiC(0001)界面のSn単原子層における異なる型のスピン分裂バンドの共存
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯盛拓嗣, 今村均, 魚谷亮介, 宮町俊生, 中辻寛, 間瀬一彦, 梶原隆司, Visikovskiy Anton, 田中悟, 小森文夫
2. 発表標題 SiC(0001)上のツイストグラフェンの電子状態について
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部卓磨, 飯盛拓嗣, 宮町俊生, 小森文夫
2. 発表標題 Cu(001)基板上の窒化コバルト鉄膜の作製と構造評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口海周, 宮町俊生, 高橋優樹, 飯盛拓嗣, 服部卓磨, 小坂谷貴典, 小嗣真人, 横山利彦, 小森文夫
2. 発表標題 窒素吸着Cu(001)面上のL10-FeNi原子層成長とその磁性
3. 学会等名 応用物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋優樹, 宮町俊生, 飯盛拓嗣, 服部卓磨, 山本航平, 小坂谷貴典, 横山利彦, 小森文夫, 小嗣真人
2. 発表標題 窒素サーファクタント効果を用いた高品質FeCo合金超薄膜の作製
3. 学会等名 磁気学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fumio Komori
2. 発表標題 Electron dynamics in topological surface and twisted bilayer graphene
3. 学会等名 Workshop on Nano and Ultrafast Surface Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshio Miyamachi, Kaishu Kawaguchi, Takushi Iimori, Yuki Takahashia, Takuma Hattori, Toshihiko Yokoyama, Masato Kotsugi, Fumio Komori
2. 発表標題 Magnetic anisotropy of L10-FeNi fabricated by N-surfactant epitaxy
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yaji
2. 発表標題 SARPES Studies of surface states
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Takahashi, Toshio Miyamachi, Takushi Iimori, Takuma Hattori, Takanori Koitaya, Kohei Yamamoto, Toshihiko Yokoyama, Masato Kotsugi, Fumio Komori
2. 発表標題 Toward fabrication of L10-FeCo thin films using the nitrogen surfactant effect
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢治光一郎, VisikovskiyAnton, 飯盛拓嗣, 林真吾, 梶原隆司, 黒田健太, 田中悟, 小森文夫
2. 発表標題 グラフェン/Sn/SiC(0001)のスピン偏極バンドと対称性
3. 学会等名 表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部卓磨, 飯盛拓嗣, 宮町俊生, 小森文夫
2. 発表標題 Cu基板上的3回対称窒化鉄膜
3. 学会等名 表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢治光一郎, 黒田健太, 小森文夫, 辛埴
2. 発表標題 偏光励起SARPESで観測するスピン軌道結合電子状態
3. 学会等名 第33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 2020年

1. 発表者名 服部 卓磨、 宮町 俊生、 小森文夫
2. 発表標題 三角格子を有する窒化鉄単原子層膜の成長と電子状態
3. 学会等名 日本表面科学会第3回関東支部講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Komori, K. Yaji, S. Hayashi, A. Visikovskiy, S. Shin, S. Tanaka
2. 発表標題 Laser-SARPES study of spin-texture of Sn atomic layer at graphene/SiC(0001) interface
3. 学会等名 EVC-18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumio Komori
2. 発表標題 Emerging challenges in Surface Science
3. 学会等名 VASSCA-9 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Komori, S. Nakashima, T. Miyamachi, Y. Tatetsu, Y. Takahashi, Y. Takagi, Y. Gohda, T. Yokoyama
2. 発表標題 Iron spin-reorientation transition by dynamic interface alloy formation with Mn
3. 学会等名 VASSCA-9 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichiro Yaji, Anton Visikovskiy, T. Iimori, K. Kuroda, S. Hayashi, T. Kajiwara, S. Tanaka, F. Komori, S. Shin
2. 発表標題 Spin-polarized band structure of a Sn atomic layer at graphene/SiC(0001) interface
3. 学会等名 ECOSS-34 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部卓磨, 宮町俊生, 飯盛拓嗣, 高木康多, 上村洋平, 横山利彦, 小森文夫
2. 発表標題 対称性の違いによる窒化鉄単原子層膜の局所電子状態と磁性の変化
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田孝太, 宮町俊生, 南谷英美, 小森文夫
2. 発表標題 STMによる近藤効果の測定を通じた格子歪みの評価
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口海周, 高橋優樹, 服部卓磨, 宮町俊生, 小嗣真人, 小森文夫
2. 発表標題 窒素吸着Cu(001)表面上でのFeNi原子層成長の蒸着時温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Iwata, T. Miyamachi, E. Minamitani and F. Komori
2. 発表標題 Effect of Lattice Distortion on Kondo Resonance of Single Co Atoms on Cu(001) Measured by Scanning Tunneling Microscopy
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小森文夫, 服部琢磨, 家永紘一郎, 宮町俊生
2. 発表標題 対称性の異なる銅基板上に成長した窒化鉄原子層の周期的電子状態変調
3. 学会等名 日本表面真空学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Miyamachi, K. Iwata, T. Imori, Y. Ohtsubo, S. Kimura, F. Iga, and F. Komori
2. 発表標題 Atomic-scale structural and electronic properties of YbB12(001) surfaces
3. 学会等名 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋優樹, 川口海周, 服部卓磨, 飯盛拓嗣, 宮町俊生, 小嗣真人, 小森文夫
2. 発表標題 窒素吸着Cu(001)表面上でのFeNi原子層成長における作製条件の最適化
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯盛拓嗣, 今村均, 魚谷亮介, 宮町俊生, 中辻寛, 間瀬一彦, 梶原隆司, Visikovskiy Anton, 田中悟, 小森文夫
2. 発表標題 SiC(0001)表面上のツイスト2層グラフェンの電子状態
3. 学会等名 物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮町俊生, 岩田孝太, 飯盛拓嗣, 大坪嘉之, 木村真一 伊賀文俊, 小森文夫
2. 発表標題 YbB12(001)単一表面の軌道敏感STM観察
3. 学会等名 物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田孝太, 宮町俊生, 南谷英美, 小森文夫
2. 発表標題 Cu(001)に吸着したCo単原子の近藤効果のCu格子の圧縮による変化
3. 学会等名 物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部卓磨, 飯盛拓嗣, 宮町俊生, 小森文夫
2. 発表標題 Cu(111)基板上の三角格子窒化鉄薄膜の構造と電子状態
3. 学会等名 物理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口海周, 高橋優樹, 服部卓磨, 宮町俊生, 飯盛拓嗣, 小坂谷貴典, 横山利彦, 小嗣真人, 小森文夫
2. 発表標題 窒素吸着Cu(001)面上のFeNi原子層成長とその磁性
3. 学会等名 物理学会年会
4. 発表年 2019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	宮町 俊生 (Miyamachi Toshio) (10437361)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教 (12612)	
研究分担者	矢治 光一郎 (Yaji Koichiro) (50447447)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・先端材料解析研究拠点・主任研究員 (82108)	

	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
研究協力者	飯盛 拓嗣 (Iimori Takushi)	東京大学・物性研究所・技術職員 (12601)	

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	University of Wisconsin-Milwaukee			
韓国	Sungkyunkwan University			
フランス	Synchrotron SOLEIL			
スイス	Paul Scherrer Institut	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne		
チェコ	University of West Bohemia	Masaryk University		
ドイツ	Ludwig Maximilian University	Elektronenspeicherring BESSY II		
オーストリア	Johannes Kepler University			
ウクライナ	National Technical University			
ポーランド	Institute of Physics			
スロベニア	Institute of Physics			