

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21119

研究課題名（和文）単原子磁石と磁気結合したトポロジカル近藤絶縁体のスピン偏極表面状態

研究課題名（英文）Spin-polarized surface states of topological Kondo insulator coupled with magnetic single atoms

研究代表者

宮町 俊生（Miyamachi, Tosiho）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授

研究者番号：10437361

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では近藤絶縁体であるSmB6のトポロジカル表面状態を、表面構造と電子相関（近藤効果）の観点から走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて調べた。加熱処理温度の精密制御によって $p(1 \times 1)$ 、 $c(2 \times 2)$  and  $(3 \times 1)$ 表面格子を持つSmB6(001)表面を作製し、表面構造の違いがSmB6のバンドギャップや表面状態のバンド分散に及ぼす影響をSTM分光測定により実空間・波数空間からより明らかにした。さらに、SmB6(001)表面にCo単一原子を吸着させて、両者の磁気相互作用強度の表面構造依存性から電子相関がトポロジカル表面状態発現に担う役割を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究でトポロジカル近藤絶縁体候補物質であるSmB6の金属表面状態をSTMによる原子分解能観察により詳細に調べ、表面構造や磁気相互作用により制御できる可能性が示された。得られた結果から、強相関電子系特有の新奇量子現象の発現の鍵を握るトポロジカル近藤絶縁体のトポロジカル物性の発現機構を理解することによって、超低消費電力で飛躍的に高い電子移動度を持つスピンドバイス創製につながる事が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We investigated topological surface states of Kondo insulator SmB6 in terms of surface structures and electronic correlation (Kondo effect) by scanning tunneling microscopy (STM). By controlling annealing temperature during sample preparation, we successfully prepared SmB6(001) surfaces with  $p(1 \times 1)$ ,  $c(2 \times 2)$  and  $(3 \times 1)$  lattices. STM spectroscopic measurements revealed impacts of surface structures on the band gap and band dispersion of surface states both from real- and k-spaces. Furthermore, the role of the electronic correlation on the emergence of topological surface states was investigated from surface-structure dependence of the magnetic interaction between Co single atoms and SmB6(001) surfaces.

研究分野：表面科学、ナノ磁性

キーワード：トポロジカル絶縁体 走査トンネル顕微鏡 近藤効果 スピン

## 1. 研究開始当初の背景

強い電子相関（近藤効果）により低温で金属-絶縁体転移を起こす近藤絶縁体  $\text{SmB}_6$  は近年トポロジカル絶縁体と理論的に予測され、トポロジカル近藤絶縁体として再び注目を集めている。 $\text{SmB}_6$  のトポロジカル絶縁体としての物性を明らかにするために多くの研究が今日、精力的に行われているが、極低温環境下でバンドギャップ中に現れる金属的な状態がトポロジカル表面状態に由来するかどうかについては未だ明確な結論が出ていない。さらに、トポロジカル表面状態発現において強い電子相関が担う役割に至っては多くの点が未解明である。また、先行研究ではへき開によって作製した  $\text{SmB}_6$  (001)表面がこれまで用いられてきた。へき開表面には複数の構造が存在し、各構造の被覆率もへき開毎に異なるため、マクロ物性評価手法でトポロジカル表面状態の詳細を議論することは困難であった。へき開表面の走査トンネル顕微鏡 (STM) 観察も行われているが、各構造の面積が小さいことに起因して測定精度が低く、ディラック電子状態の議論は進んでいなかった。近年、研究代表者はアルゴンスパッタリングとその後の加熱処理により大面積で均一な  $\text{SmB}_6$  (001)表面を作製できることを STM による原子分解能構造観察によって見出した。さらに、STM 分光測定から極低温環境下でバンドギャップ中に現れる金属的な状態が表面状態であり、トポロジカル絶縁体としての特徴を強く反映していることを明らかにした [T. Miyamachi et al., *Sci. Rep.* **7**, 12837 (2017).]。そこで、本研究ではこれまでの研究を進展させ、加熱温度の精密制御により様々な構造を持つ  $\text{SmB}_6$  (001)表面を作製して表面構造の違いがその電子状態に及ぼす影響を STM 分光イメージングにより調べ、 $\text{SmB}_6$  のトポロジカルな性質（ディラック電子状態）を実空間のみならず波数空間からもアプローチして根源的に解明することを目的とした。さらに、 $\text{SmB}_6$  (001)表面上に磁性単一原子を吸着させ、両者の間に働く磁気相互作用を利用して近藤効果（強い電子相関）が  $\text{SmB}_6$  のトポロジカル表面状態の発現にどのように関係しているかを明らかにすることを試みた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、STM 分光測定により表面構造を制御した  $\text{SmB}_6$  の本質的なトポロジカル表面状態を観測し、さらに、磁性単一原子の吸着によって  $\text{SmB}_6$  (001)表面の近藤状態を局所的に空間変調させ、トポロジカル表面状態と近藤状態の相関を原子分解能で調べることにより強相関トポロジカル状態の発現機構を理解することである。

## 3. 研究の方法

### (1) 加熱処理温度の精密制御による $\text{SmB}_6$ (001)表面作製法の確立

本研究目的を達成するためには高品質な  $\text{SmB}_6$  表面作製法の確立が必須である。これまでに研究代表者は表面の不均一性の問題を抱えていた  $\text{SmB}_6$  の構造制御に取り組み、アルゴンスパッタリングとその後の加熱処理によって大面積で均一な  $\text{SmB}_6$  (001)表面を作製できることを示した。その中で、 $\text{SmB}_6$  (001)表面の原子欠陥密度がアルゴンスパッタリング後の加熱処理温度の上昇に伴い減少することを明らかにしている。しかし、これまでに試料作製に使用していた加熱機構で得られる最大加熱温度 ( $\sim 1050^\circ\text{C}$ ) では表面に 10% 程度の原子欠陥が存在していた。そこで、より高い温度での加熱処理 ( $\sim 1200^\circ\text{C}$ ) を行うことができるように現有加熱機構を改良し、 $\text{SmB}_6$  (001)表面の構造制御に取り組んだ。

### (2) STM 分光測定による $\text{SmB}_6$ (001)表面のトポロジカル表面状態観測

$\text{SmB}_6$  のトポロジカル絶縁体としての性質を明らかにするためには、波数空間においてフェルミ準位近傍に存在する金属的な表面状態（ディラック電子状態）のバンド分散を評価する必要がある。そこで、トポロジカル物質の STM 研究に用いられてきた STM 分光イメージングを用いて研究を進める。STM 分光イメージングでは STM 分光スペクトルを測定領域内の全ての点（メッシュ）で測定して、場所とエネルギーについて 3 次元的に STM スペクトルを取得する。そして、試料表面の散乱体によって誘起される各エネルギーでの局所状態密度の空間変調をフーリエ変換して得られる弾性散乱ベクトルのエネルギー分布から占有・非占有状態のバンド分散を議論することができる (STM を用いた局所準粒子干渉測定)。本研究では  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6$  (001)表面の STM 分光イメージングを行い、角度分解光電子分光測定や STM 観察によりバンド分散が報告がされている  $p(1 \times 1)$ - や  $(2 \times 1)$ - $\text{SmB}_6$  (001)表面の結果と比較し、表面構造の違いが  $\text{SmB}_6$  のディラック電子状態に及ぼす影響を議論する。

### (3) 磁性単一原子と磁気相互作用した $\text{SmB}_6$ (001)表面電子状態の実空間原子分解能観測

$\text{SmB}_6$  (001)表面の STM 分光測定の結果から、表面構造の違いによってバンドギャップの大きさ、すなわち電子相関（近藤効果）の様子が異なることが示唆された。そこで、近藤効果により生じる  $\text{SmB}_6$  のバンドギャップがトポロジカル表面状態の発現に果たす役割を明らかにする

ため、表面構造の異なる  $p(1 \times 1)$  構造と  $c(2 \times 2)$  表面再配列構造が共存する  $\text{SmB}_6(001)$  表面を作製し、その上に磁性 Co 単一原子を吸着させて両者の間に働く磁気相互作用を STM 分光測定により調べた。 $\text{SmB}_6(001)$  表面は Co 単一原子近傍では磁気相互作用により近藤状態は変調されると考えられる。Co 単一原子との磁気近接効果に伴う  $\text{SmB}_6(001)$  表面の近藤状態の空間変調の様子が表面構造の違いによってどのように異なるかを STM 分光測定によって原子スケールで観測することによって、 $\text{SmB}_6$  のトポロジカル表面状態の安定性を議論し、強い電子相関(近藤効果)が  $\text{SmB}_6$  のトポロジカル表面状態の発現に担う役割を解明するための知見を得る。

#### 4. 研究成果

##### (1) 加熱処理温度の精密制御による $\text{SmB}_6(001)$ 表面作製法の確立

アルゴンスパッタリング後の加熱温度を上昇させ、 $\text{SmB}_6(001)$  表面の原子欠陥を減少させることを試みた。約  $1050^\circ\text{C}$  で 10 分間の加熱処理では 10% 程度の原子欠陥が存在するが大面積・均一な  $p(1 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面が得られることをこれまでに明らかにしている。本研究ではまず、加熱温度を  $1150^\circ\text{C}$  (加熱時間 10 分) 上げて  $\text{SmB}_6(001)$  表面に現れる変化を STM 構造観察により調べた。結果、加熱温度の上昇によって Sm 原子が脱離し、表面構造が  $p(1 \times 1)$  から  $(3 \times 1)$  表面再配列構造に変化することがわかった (図 1a)。表面再配列構造として  $(2 \times 1)$  構造が  $\text{SmB}_6(001)$  劈開表面でこれまでに報告されているが、 $(3 \times 1)$  構造は本研究で初めて観測された。また、 $(3 \times 1)$  構造は数十～数百 nm 程度のドメインサイズで観測されたことから、STM 分光イメージングによって波数空間における電子状態を高い精度で議論可能なことを確認した。 $(3 \times 1)$  構造の作製と並行して、 $\text{SmB}_6(001)$  表面の加熱温度・加熱時間依存性を調べた。試料加熱による Sm 原子の脱離を抑制しながら、加熱時間を延ばして表面原子拡散を十分に促すことを目的に、 $900^\circ\text{C}$  で 30 分加熱した  $\text{SmB}_6(001)$  表面の STM 観察を行った。結果、 $p(1 \times 1)$  表面と  $c(2 \times 2)$  表面再配列構造の 2 種類の表面構造が作製できることがわかった (図 1b)。

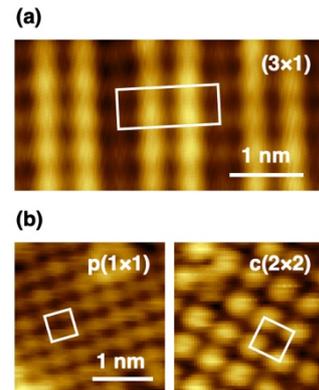


図1：STM原子分解能像。(a)  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面。(b)  $p(1 \times 1)$ -および  $c(2 \times 2)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面。

##### (2) STM 分光測定による $\text{SmB}_6(001)$ 表面のトポロジカル表面状態観測

Omicron 社製 超高真空・極低温 STM 装置を使用して  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の STM 分光イメージングを行った。STM 分光スペクトルはロックインアンプを用いて取得した。まず、通常の STM 分光測定を行い  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の電子状態を評価した。結果、フェルミ準位下  $170 \text{ meV}$  付近にブロードなピーク構造が観測され、過去の光電子分光測定の結果との比較から Sm 末端表面の Sm 4f 軌道に由来するピーク構造であることが明らかになった (図 2a)。さらに、フェルミ準位近傍では研究代表者がこれまでに STM 分光測定を行っている  $p(1 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面同様にバンドギャップが観測されたが、ギャップの大きさが  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の方が約  $10 \text{ meV}$  大きかったことから構造の違いによって表面近傍の電子相関の様子が異なることが示唆される (図 2b)。次に  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の STM 分光イメージングを行い、バンドギャップ中に存在すると考えられるトポロジカル表面状態の検出を試みた。

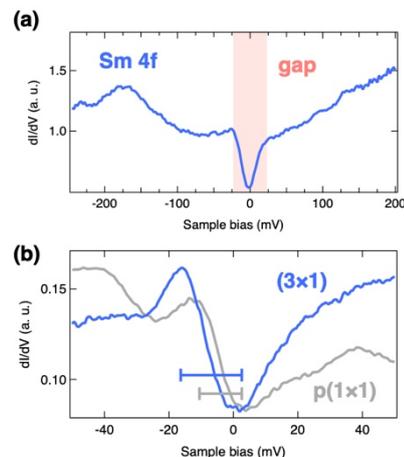


図2：(a)  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の STM 分光スペクトル。(b) フェルミ準位近傍の  $p(1 \times 1)$ -および  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面の STM 分光スペクトル。

フェルミ準位近傍  $\pm 40 \text{ meV}$  のエネルギー領域において、局所状態密度の空間変調を  $1 \text{ meV}$  ステップでマッピングし、それらのフーリエ変換から占有・非占有状態のバンド分散を抽出した。結果、非占有状態からフェルミ準位に向けて線形分散が観測されたことから金属的な表面状態の存在が示唆される。また、本研究で得られた  $(3 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面のバンド分散は先行研究で報告されている  $(2 \times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$  表面のバンド分散と様子が異なることから、STM 分光測定の結果同様、表面構造の違いがトポロジカル表面状態に影響を及ぼしていると考えられる。

##### (3) 磁性単一原子と磁気相互作用した $\text{SmB}_6(001)$ 表面電子状態の実空間原子分解能観測

Co 単一原子が  $\text{SmB}_6$  の近藤状態と表面電子状態に及ぼす影響を明らかにするため、 $\text{SmB}_6(001)$  表面上に  $p(1 \times 1)$  構造と  $c(2 \times 2)$  表面再配列構造を共存させ、それぞれの領域上に Co 単一原子を極低温その場蒸着により吸着させた (図 3)。まず、STM 分光測定により  $\text{SmB}_6(001)$  表面に吸着した Co 単一原子のフェルミ準位近傍の電子状態を調べた。結果、ファノ関数で再現される形状

をもつ STM 分光スペクトルが Co 単一原子で観測された。このことは Co 単一原子が近藤共鳴状態を形成していることを示している。また、 $p(1\times 1)$ 領域上と  $c(2\times 2)$ 領域上の Co 単一原子では異なるスペクトル形状が観測されたことから、 $\text{SmB}_6(001)$ 表面の構造の違いによって Co 単一原子との磁気相互作用強度（混成強度）が異なることがわかった。次に、Co 単一原子近傍の  $\text{SmB}_6(001)$ 表面の STM 分光測定を行い、 $p(1\times 1)$ 領域と  $c(2\times 2)$ 領域で  $\text{SmB}_6(001)$ 表面電子状態の空間変調の様子を原子分解能で調べた。結果、 $p(1\times 1)$ 領域に比べ  $c(2\times 2)$ 領域では Co 単一原子の電子状態がより広範に  $\text{SmB}_6(001)$ 表面電子状態に滲み出し、スペクトル形状を変調させていることが明らかとなった。得られた結果から  $p(1\times 1)$ - $\text{SmB}_6(001)$ 表面電子状態の高い安定性が示唆される。

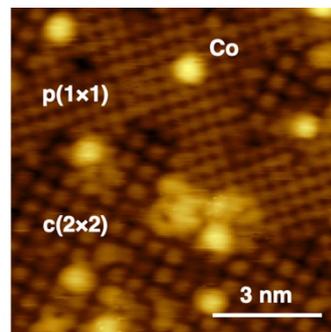


図3 :  $p(1\times 1)$ -および  $c(2\times 2)$ - $\text{SmB}_6(001)$ 表面上の Co 単一原子の STM 像.

## 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 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ono Hiroki, Umeda Yoshitaka, Yoshida Kaito, Tsutsui Kenzaburo, Yamamoto Kohei, Ishiyama Osamu, Iwayama Hiroshi, Nakamura Eiken, Yokoyama Toshihiko, Mizuguchi Masaki, Miyamachi Toshio	4. 巻 127
2. 論文標題 Intermolecular Interaction Induced Magnetic Decoupling at an Organic-Inorganic Interface	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 23935 ~ 23940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05966	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, Miyamachi Toshio, Kajiwara Takashi, Mase Kazuhiko, Tanaka Satoru, Komori Fumio, Nakatsuji Kan	4. 巻 35
2. 論文標題 Width-dependent band gap of arm-chair graphene nanoribbons formed on vicinal SiC substrates by MBE	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 455002 ~ 455002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/aced30	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 Ono Hiroki, Umeda Yoshitaka, Yoshida Kaito, Tsutsui Kenzaburo, Yamamoto Kohei, Ishiyama Osamu, Iwayama Hiroshi, Nakamura Eiken, Yokoyama Toshihiko, Mizuguchi Masaki, Miyamachi Toshio	4. 巻 127
2. 論文標題 Intermolecular Interaction Induced Magnetic Decoupling at an Organic-Inorganic Interface	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 23935 ~ 23940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05966	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, Miyamachi Toshio, Kajiwara Takashi, Mase Kazuhiko, Tanaka Satoru, Komori Fumio, Nakatsuji Kan	4. 巻 35
2. 論文標題 Width-dependent band gap of arm-chair graphene nanoribbons formed on vicinal SiC substrates by MBE	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 455002 ~ 455002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/aced30	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 Kawaguchi K., Miyamachi T., Gozlinski T., Imori T., Takahashi Y., Hattori T., Yamamoto K., Koitaya T., Iwayama H., Ishiyama O., Nakamura E., Kotsugi M., Wulfhekel W., Yokoyama T., Komori F.	4. 巻 61
2. 論文標題 Layer-resolved magnetic moments in N-surfactant assisted FeNi ordered alloy thin films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SL1001-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac66c1	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 Fukuma Kohei, Visikovskiy Anton, Imori Takushi, Miyamachi Toshio, Komori Fumio, Tanaka Satoru	4. 巻 6
2. 論文標題 Formation of graphene nanoribbons on the macrofacets of vicinal 6H-SiC(0001) surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 124003-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.124003	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 Koichiro Ienaga, Sunghun Kim, Toshio Miyamachi, Fumio Komori	4. 巻 104
2. 論文標題 Structural and electrical characterization of the monolayer Kondo-lattice compound CePt6/Pt(111)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.165419	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 T. Miyamachi, C. Surgers, W. Wulfhekel	4. 巻 14
2. 論文標題 Resolving the spin polarization and magnetic domain wall width of (Nd,Dy)2Fe14B with spin-polarized scanning tunneling microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115504 ~ 115504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac2a56	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 Takushi Iimori, Anton Visikovskiy, Hitoshi Imamura, Toshio Miyamachi, Miho Kitamura, Koji Horiba, Hiroshi Kumigashira, Kazuhiko Mase, Kan Nakatsuji, Satoru Tanaka, Fumio Komori	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
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 Kazuyuki Sakamoto, Hirotaka Ishikawa, Takashi Wake, Chie Ishimoto, Jun Fujii, Hendrik Bentmann, Minoru Ohtaka, Kenta Kuroda, Natsu Inoue, Takuma Hattori, Toshio Miyamachi, Fumio Komori, Isamu Yamamoto, Cheng Fan, Peter Kruger, Hiroshi Ota, Fumihiko Matsui, Friedrich Reinert, Jose Avila, Maria C. Asensio	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hitoshi Imamura, Anton Visikovskiy, Ryosuke Uotani, Takashi Kajiwara, Hiroshi Ando, Takushi Iimori, Kota Iwata, Toshio Miyamachi, Kan Nakatsuji, Kazuhiko Mase, Tetsuroh Shirasawa, Fumio Komori, Satoru Tanaka	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 75004
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 K. Kawaguchi, T. Miyamachi, T. Iimori, Y. Takahashi, T. Hattori, T. Yokoyama, M. Kotsugi, F. Komori	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 54403
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 M. Yamada, K. Ienaga, Y. Takahashi, T. Miyamachi, and F. Komori	4. 巻 700
2. 論文標題 Hexagonal iron nitride monolayer on Cu (001): zigzag-line-in-trough alignment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 121679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2020.121679	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 T. Hattori, N. Kawamura, T. Iimori, T. Miyamachi, F. Komori	4. 巻 6
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
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 T. Kawagoe, R. Oka, T. Miyamachi, S. Suga	4. 巻 103
2. 論文標題 Odd spin frustration in Cr(001) films thinner than three nanometers revealed by spin-polarized scanning tunneling microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 85427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.085427	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48件（うち招待講演 3件／うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Toshio Miyamachi
2. 発表標題 Atomic-scale surface and interface magnetism based on ferromagnetic monatomic layer iron nitrid
3. 学会等名 第47回 日本磁気学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Miyamachi, S. Nakashima, Y. Takagi, T. Yokoyama, and F. Komori
2. 発表標題 Local strain induced structural and electronic inhomogeneity in Fe thin films on Cu(001)
3. 学会等名 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Miyamachi, Y. Umeda, H. Ono, K. Kawaguchi, T. Gozkinski <sup>3,4</sup> , T. Imori, K. Yamamoto, W. Wulfhekel, T. Yokoyama, F. Komori, and M. Mizuguchi
2. 発表標題 Atomic-scale interface structures of FeCo alloy thin films on Cu(001) grown by nitrogen surfactant epitaxy
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2023 (ICMaSS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 筒井健三郎, 小野広喜, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 界面磁気結合を利用したPd/Ni薄膜ヘテロ構造の磁気特性制御
3. 学会等名 第84回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 H <sub>2</sub> Pc/γ-Fe <sub>4</sub> N 有機-無機ハイブリッド界面磁気結合の膜厚依存性
3. 学会等名 第84回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 有機-無機ハイブリッド界面磁気結合に及ぼす分子間相互作用の影響の評価
3. 学会等名 UVSOR Symposium2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Ono, Y. Umeda, K. Yoshida, K. Tsutsui, K. Yamamoto, O. Ishiyama, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題 Impacts of magnetic ion in Pc molecules on the magnetic coupling with iron nitride substrate
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2023 (ICMaSS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Yoshida, H. Ono, Y. Umeda, K. Tsutsui, K. Yamamoto, O. Ishiyama, Y. Matsuo, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題 Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy in Co nano-islands by the formation of C70-Co organic-inorganic hybrid interface
3. 学会等名 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Umeda, H. Ono, K. Yamamoto, O. Ishiyama, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題 Annealing temperature dependence of magnetic properties in FeCo ordered alloy thin films fabricated using the nitrogen surfactant effect
3. 学会等名 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 CoPc/ $\gamma$ -Fe4N 有機-無機ハイブリッド薄膜磁気状態に及ぼす構造粗さの影響
3. 学会等名 IEEE Magnetism Society 名古屋支部若手研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 筒井健三郎, 小野広喜, 河添理央, 山本航平, 石山修, 徐玉均, 中辻寛, 高木康多, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 雰囲気制御型硬X線光電子分光によるPd/Ni 薄膜ヘテロ構造の水素吸蔵特性その場観察
3. 学会等名 第71回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 池田優, 宮町俊生, 水口将輝
2. 発表標題 強磁性絶縁体マグネティック結晶におけるスピン波干渉
3. 学会等名 IEEE Magnetism Society 名古屋支部若手研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 梅田佳孝, 小野広喜, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 窒素サーファクタント効果を用いた FeCo 規則合金薄膜の原子レベル界面制御
3. 学会等名 IEEE Magnetism Society 名古屋支部若手研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 辻本卓哉, 宮町俊生, 水口将輝
2. 発表標題 CoGe ナノ構造薄膜における異常ネルンスト効果の変調
3. 学会等名 IEEE Magnetism Society 名古屋支部若手研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Toshio Miyamachi
2. 発表標題 Atomic-scale surface and interface magnetism based on ferromagnetic monatomic layer iron nitride
3. 学会等名 第47回 日本磁気学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Miyamachi, S. Nakashima, Y. Takagi, T. Yokoyama, and F. Komori
2. 発表標題 Local strain induced structural and electronic inhomogeneity in Fe thin films on Cu(001)
3. 学会等名 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Miyamachi, Y. Umeda, H. Ono, K. Kawaguchi, T. Gozkinski <sup>3,4</sup> , T. Iimori, K. Yamamoto, W. Wulfhekel, T. Yokoyama, F. Komori, and M. Mizuguchi
2. 発表標題 Atomic-scale interface structures of FeCo alloy thin films on Cu(001) grown by nitrogen surfactant epitaxy
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2023 (ICMaSS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 筒井健三郎, 小野広喜, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 界面磁気結合を利用したPd/Ni薄膜ヘテロ構造の磁気特性制御
3. 学会等名 第84回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 H2Pc/ $\gamma$ -Fe4N 有機-無機ハイブリッド界面磁気結合の膜厚依存性
3. 学会等名 第84回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 有機-無機ハイブリッド界面磁気結合に及ぼす分子間相互作用の影響の評価
3. 学会等名 UVSOR Symposium2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Ono, Y. Umeda, K. Yoshida, K. Tsutsui, K. Yamamoto, O. Ishiyama, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題 Impacts of magnetic ion in Pc molecules on the magnetic coupling with iron nitride substrate
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2023 (ICMaSS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	K. Yoshida, H. Ono, Y. Umeda, K. Tsutsui, K. Yamamoto, O. Ishiyama, Y. Matsuo, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題	Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy in Co nano-islands by the formation of C70-Co organic-inorganic hybrid interface
3. 学会等名	31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Y. Umeda, H. Ono, K. Yamamoto, O. Ishiyama, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, T. Miyamachi
2. 発表標題	Annealing temperature dependence of magnetic properties in FeCo ordered alloy thin films fabricated using the nitrogen surfactant effect
3. 学会等名	31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	小野広喜, 梅田佳孝, 吉田海斗, 筒井健三郎, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題	CoPc/ $\gamma$ -Fe4N 有機-無機ハイブリッド薄膜磁気状態に及ぼす構造粗さの影響
3. 学会等名	IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会
4. 発表年	2024年

1. 発表者名	筒井健三郎, 小野広喜, 河添理央, 山本航平, 石山修, 徐玉均, 中辻寛, 高木康多, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題	雰囲気制御型硬X線光電子分光によるPd/Ni薄膜ヘテロ構造の水素吸蔵特性その場観察
3. 学会等名	第71回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年	2024年

1 . 発表者名 T. Miyamachi, S. Suga, T. Imori, F. Iga, and F. Komori
2 . 発表標題 Metallic surface states on structurally controlled SmB6(001)
3 . 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Miyamachi, S. Suga, T. Imori, F. Iga, and F. Komori
2 . 発表標題 Controlling metallic surface states on SmB6(001) by surface reconstruction
3 . 学会等名 the 22nd International Vacuum Congress ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 H. Ono, Y. Umeda, K. Yamamoto, O. Ishiyama, T. Yokoyama, M. Mizuguchi, and T. Miyamachi,
2 . 発表標題 Magnetic properties of CoPc/ ' -Fe4N organic-inorganic hybrid thin films
3 . 学会等名 the 22nd International Vacuum Congress ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Miyamachi, H. Ono, Y. Umeda, K. Kawaguch, T. Gozlinski, T. Imori, K. Yamamoto, M. Kotsugi, W. Wulfhekel ,T. Yokoyama ,F. Komori, and M. Mizuguchi
2 . 発表標題 Structural and magnetic properties of FeNi and FeCo alloy thin films on Cu(001) grown by nitrogen surfactant epitaxy
3 . 学会等名 The 2nd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 小野広喜, 梅田佳孝, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 Structure and magnetic properties of organic-inorganic heterointerface
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 小野広喜, 梅田佳孝, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 CoPc- <sup>2+</sup> -Fe4N有機-無機ハイブリッド界面における電子軌道依存磁気特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 梅田佳孝, 小野広喜, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 窒素サーファクタント効果を用いて作製したFeCo規則合金薄膜の磁気異方性と原子スケール界面構造
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川越毅, 宮町俊生, 菅滋正
2. 発表標題 3nm厚のCr(001)薄膜で観測された特異なスピンプラストレーション
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 家永紘一郎, 金聖憲, 宮町俊生, 小森文夫
2. 発表標題 走査トンネル顕微分光を用いた2次元近藤格子CePt6/Pt(111)の電子状態観測
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 飯盛拓嗣, 今村均, 宮町俊生, 服部琢磨, 中辻寛, 北村未歩, 堀場弘司, 間瀬一彦, Visikovskiy Anton, 田中悟, 小森文夫
2. 発表標題 大面積数度ツイストグラフェンの電子状態
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 家永紘一郎, 金聖憲, 宮町俊生, 小森文夫
2. 発表標題 単層近藤格子CePt2/Pt(111)の構造と電子状態
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 家永紘一郎, 金聖憲, 宮町俊生, 加藤弘一, 小森文夫
2. 発表標題 Pt(111)上のCePt2単原子層の成長と電子状態
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 飯盛拓嗣, 今村均, 宮町俊生, 中辻寛, 北村未歩, 堀場弘司, 間瀬一彦, Visikovskiy Anton, 田中悟, 小森文夫
2. 発表標題 SiC基板上の1度以下のツイスト2層グラフェンの電子状態
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 小野広喜, 梅田佳孝, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 CoPc/ $\gamma$ -Fe4N 有機-無機ハイブリッド薄膜の界面磁気状態
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梅田佳孝, 小野広喜, 山本航平, 石山修, 横山利彦, 水口将輝, 宮町俊生
2. 発表標題 窒素サーファクタント効果により作製した L10-FeCo 規則合金薄膜の界面磁気結合状態の制御
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Fukuda, Toshio Miyamachi, Masaki Mizuguchi
2. 発表標題 Anomalous Nernst effect in Co/Au/Fe trilayer thin films
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Tsujimoto, Toshio Miyamachi, Masaki Mizuguchi
2. 発表標題 Anomalous Nernst and Hall effects in Ge-doped Co thin films
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮町俊生, Wulf Wulfhekel
2. 発表標題 スピン偏極STMによるNdFeB磁石の磁壁幅の実空間・高分解能観察
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshio Miyamachi, Wulfhekel Wulf
2. 発表標題 Resolving the spin polarization and magnetic domain wall width of (Nd, Dy) <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B with spin-polarized scanning tunneling microscopy
3. 学会等名 ICMaSS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshio Miyamachi
2. 発表標題 Challenges in the application of spin-polarized STM to materials science
3. 学会等名 The 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021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2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯盛拓嗣, 今村均, 魚谷亮介, 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2020年秋季大会
4. 発表年 2020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 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021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
---------	---------