

令和 3 年 4 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06327

研究課題名(和文)原子間力顕微鏡を用いた絶縁体表面でのナノ構造体構築と気体反応メカニズム解明

研究課題名(英文) Assembly of nanostructure on insulating surfaces and investigation of gas reaction mechanism using atomic force microscopy

研究代表者

菅原 康弘 (SUGAWARA, Yasuhiro)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：40206404

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 140,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、原子間力顕微鏡を駆使して、まず、絶縁性のアルミナAl₂O₃(0001)表面上に構築されたパラジウムPdのナノ構造体への一酸化炭素CO分子の吸着現象を検討した。その結果、CO分子が、Pdナノ構造体の周縁付近に吸着する現象を原子分解能で観察することに成功した。また、その吸着に伴い、ナノ構造体全体の接触電位差が減少するとともに、CO分子の吸着位置において局所的に接触電位差が増加した。この結果は、Pdナノ構造体へのCO分子吸着に伴い、ナノ構造体の電子がCO分子に移動したことを示唆している。さらに、二酸化チタン(TiO₂(110))表面に解離吸着した酸素原子は、様々な電荷状態を取りうることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1)絶縁体表面上にナノ構造体を構築し、その新奇な物性を探索することにより、新たな機能を見いだせると期待される。このような学問分野は、世界的にみても未開拓の学問分野であり、学術的な研究課題の宝庫である。本研究により、「絶縁体表面上のナノ構造体の物理・化学」という学問分野の開拓が期待される。

(2)本研究により得られる絶縁体表面上のナノ構造体に関する貴重な知見は、触媒表面での様々な課題や燃料電池の電極表面での課題を解決すると期待される。また、革新的な高感度ガスセンサーなどの開発につながる。したがって、このような研究は、21世紀の環境・エネルギー分野の発展を支える基礎的研究として必要不可欠である。

研究成果の概要(英文)：We investigated the charge transfer phenomena between defects on insulating surfaces and nanostructures by using AFM operating in various environments First, CO molecules on the Pd nanostructures on Al₂O₃(0001) surface was investigated. As a result, we succeeded in observing the adsorption of CO molecules near the periphery of the Pd nanostructure with atomic resolution. In addition, the contact potential difference of the entire nanostructure decreased with the adsorption, and the contact potential difference increased locally at the adsorption position of CO molecules. This result suggests that the electrons in the nanostructure were transferred to the CO molecules upon adsorption of CO molecules onto the Pd nanostructure. In addition, the charge state of the O₂ molecule adsorbed on TiO₂(110) surface was investigated, and the dissociated O atoms were successfully identified at the atomic level as having various charge states.

研究分野：走査型プローブ顕微鏡

キーワード：原子間力顕微鏡 ナノ構造体 電荷移動 気体反応メカニズム

1. 研究開始当初の背景

絶縁体表面上のナノ構造体の物性解明は、センサー、触媒、電子デバイスへの応用に際して極めて重要である。原子数個から数十個からなるナノ構造体は、強い量子サイズ効果を示し、閉じ込められた電子のエネルギー状態は、バルク材料のものとは全く異なる。他方、絶縁体表面の欠陥は、不飽和な結合サイトであり、電荷の供与体あるいは受容体として作用する。そのため、絶縁体表面上のナノ構造体の電荷状態は、表面欠陥との電荷移動により大きく影響を受ける。実際、絶縁体表面上のナノ構造体の物理・化学的性質は、表面の欠陥構造により劇的に変化する。従って、新しい機能を有するナノ構造体を思い通りに設計するには、絶縁体表面の欠陥とナノ構造体との間の電荷移動を含めた相互作用の理解が本質的に重要である。

これまで、絶縁体表面上のナノ構造体の特性解明には、チャージアップの問題が生じない光電子分光法や赤外吸収分光法が用いられてきた。しかし、これらの方法は、マクロな領域の特性を平均化したものであり、原子スケールでの理解は不可能である。電子顕微鏡や走査トンネル顕微鏡は、原子分解能で表面を観察できるが、電流を検出するため厚い絶縁体には適用できない。力学的手法に基づく原子間力顕微鏡は、原子分解能で絶縁体表面の構造と電荷状態を観察でき、次世代のツールとして期待されている。しかし、これまでは、反応ガスの含まない系に限られており、反応条件下での物理・化学的振る舞いを説明しているかどうかは疑問である。

2. 研究の目的

本研究は、様々な環境（極低温・超高真空中、および、室温・反応ガス中）で動作する非接触原子間力顕微鏡を駆使して、絶縁体表面の欠陥とナノ構造体との間の電荷移動現象を解明するとともに、ナノ構造体の構造と電荷状態が触媒メカニズムにどのように関係するかを原子スケールで解明することを目的とする。

3. 研究の方法

平成28年度は、まず、試料表面の静電ポテンシャルの3次元分布を導出する3次元静電気力分光法の開発を行う。また、原子操作や電荷状態測定を高精度に行うため、原子間力顕微鏡の高感度化・高分解能化を行う。さらに、原子間力顕微鏡と3次元静電気力分光法を用いて、絶縁体表面の欠陥構造と電荷状態を明らかにする。平成29年度以降は、まず、ナノ構造体の局所電荷状態への表面欠陥の影響を解明する。次に、反応ガス中におけるナノ構造体の局所電荷状態を解明する。また、ナノ構造体表面上の吸着ガスの局所吸着状態を解明する。最後に、触媒化学的な考察を加えて、絶縁体表面上でのナノ構造体の触媒メカニズムを解明する。

4. 研究成果

(1) 3次元静電気力分光法の開発に成功

表面での電荷移動現象を高感度に解明するためには、表面の3次元的な静電ポテンシャル分布を導出することが重要である。そこで、3次元的な静電ポテンシャル分布を導出する関係式を導出するとともに、それに基づく測定システムを開発した(図1)。具体的には、探針・試料間に交流電圧を印加し、静電的相互作用によるカンチレバーの周波数シフトの変調成分を測定することにより、探針・試料間の静電的相互作用だけを高感度に分離測定できるようにした。次に、探針・表面間の距離を変えながら、周波数変シフトの変調成分を3次元的に測定し、導出した関係式に基づき、静電ポテンシャルを導出できるようにした。

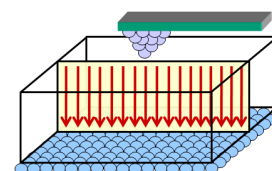


図1 3次元静電気力分光法

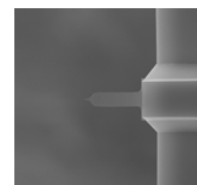


図2 小型で堅いカンチレバー

(2) 力検出の高感度化・高分解能化に成功

原子間力顕微鏡の高感度化と高分解能化を実現した。具体的には、カンチレバーの変位検出計における光検出回路の低ノイズ化・広帯域化を図り、ばね定数が大きく、共振周波数の高いカンチレバー ($k=2,000\text{N/m}$, $f=1.3\text{MHz}$) (図2) を使用できるようにした。その結果、カンチレバーの小振動振幅(0.1nm程度)での安定動作が可能となった。探針・試料間の相互作用時間が長くなることにより、力の検出感度が一桁以上向上した。また、短距離力に対する感度が向上し、空間分解能も向上した。

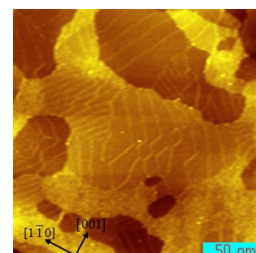


図3 Al₂O₃表面のAFM像

(3) 線欠陥のあるアルミナAl₂O₃(0001)表面の作製に成功

ニッケルアルミニウムNiAlの(110)表面を熱酸化させ、絶

縁体表面であるアルミナ $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 表面を作製することに成功した(図3)。この表面をAFMで高分解能に観察した結果、原子レベルで平坦なテラス、ドメイン境界の直線欠陥構造やジグザグ欠陥構造、ステップ構造など、様々な欠陥構造を観察することができた。

(4) 絶縁性 Al_2O_3 表面でのナノ構造体の帯電状態

アルミナ $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 表面上に構築されたパラジウムPdのナノ構造体の構造と電荷状態について検討した(図4)。ナノ構造体は、ドメイン境界の直線欠陥やジグザグ欠陥、ステップに吸着しやすいことが分かった。他方、ナノ構造体と探針との間の接触電位差は、ジグザグ欠陥に吸着したナノ構造体、直線欠陥に吸着したナノ構造体、ステップに吸着したナノ構造体、テラスに吸着したナノ構造体の順番で大きな値を示した。この結果は、 $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 表面上の欠陥とナノ構造体の間で電荷移動現象が生じていることを示唆している。

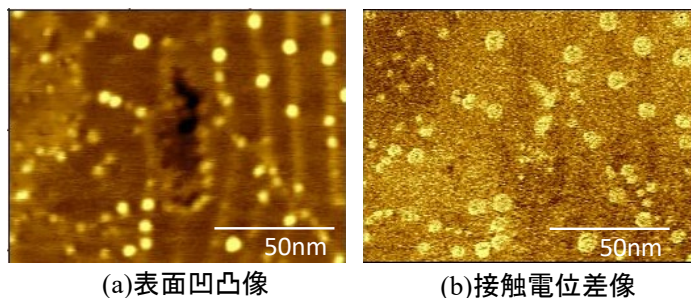


図4 Al_2O_3 表面のAFM像とKPFM像

(5) 表面状態による表面電位とバルク状態による表面電位を区別できるヘテロダインケルビンプローブ力顕微鏡の開発に成功

表面状態による表面電位とバルク状態による表面電位を区別するために、MHz帯のバイアス電圧を印加可能な新しいケルビンプローブ力顕微鏡(KPFM)(ヘテロダインKPFMと呼ぶ)を開発した(図5)。この方法は、カンチレバーの機械的振動とacバイアスによる静電気力振動との間のヘテロダイン効果(周波数変換)に基づいている。具体的には、カンチレバーの共振周波数の2倍の周波数からわずかにずれた周波数のacバイアスを印加することにより、カンチレバーの周波数シフトに低周波数の変調成分を生じさせる。また、低周波数のバイアス電圧を印加するKPFMと高周波数のバイアス電圧を印加するヘテロダインKPFM圧を用いることにより、表面状態による表面電位とバルク状態による表面電位を原子分解能で区別できるようになった。

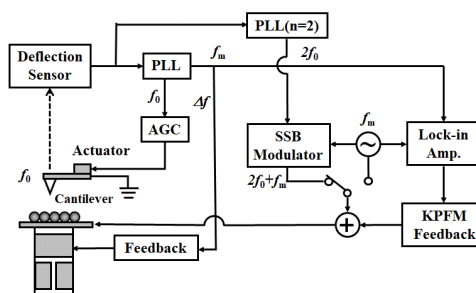


図5 ヘテロダイン KPFM の構成

(6) ナノ構造体へのCO分子の吸着に伴う帯電状態の変化の観察に成功

アルミナ $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 表面上に構築されたパラジウム Pd のナノ構造体への一酸化炭素 CO 分子の吸着現象を検討した(図6)。その結果、CO分子が、Pdナノ構造体の周縁付近に吸着する現象を高分解能に観察することに成功した(図6)。また、その吸着に伴い、ナノ構造体全体の接触電位差が減少するとともに、CO分子の吸着位置において局所的に接触電位差が増加した。この結果は、Pdナノ構造体へのCO分子吸着に伴い、ナノ構造体の電子がCO分子に移動したことを示唆している。

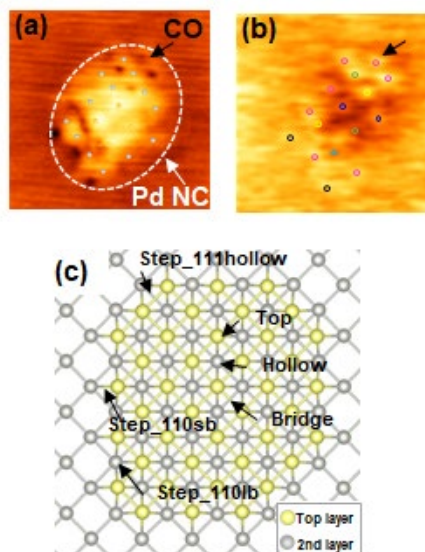


図6 Pdナノ構造体上のCO分子 (a)AFM像,(b)KPFM像,(c)構造モデル

本研究課題のヒアリング審査において、「絶縁体表面のナノ構造体の電荷移動現象だけでなく、二酸化チタン TiO_2 のような実用的に極めて重要な系の触媒活性の解明や動的過程の解明が望まれる」、とのコメントを受けている。そこで、二酸化チタン TiO_2 表面についても検討を行った。以下は、その研究成果である。

(7) 二酸化チタン表面の吸着酸素原子の電荷状態の観察に成功

二酸化チタン $\text{TiO}_2(110)$ 表面を酸素分子 (O_2) で暴露し、解離した2個の吸着酸素原子 (O_{ad} アドアトム) を原子間力顕微鏡とケルビンプローブ力顕微鏡で高分解能に観察した。両者の画像のコントラストを詳しく調べた結果、3種類のコントラストが存在することが分かった。まず、原子間力顕微鏡 (図7) 像においては、2個の O_{ad} アドアトムが共に低く観察される場合 (タイプ I)、一方の O_{ad} アドアトムが高く観察される場合 (タイプ II)、2個の O_{ad} アドアトムが共に高く観察される場合 (タイプ III) があった。この原子間力顕微鏡像のコントラストの原因は、 O_{ad} アドアトムの電荷と探針上のイメージ電荷の間の静電気力引力が変化するためである。他方、ケルビンプローブ力顕微鏡像においては、2個の O_{ad} アドアトムの電位は共に低い場合 (タイプ I)、一方の O_{ad} アドアトムの電位が高くなる場合 (タイプ II)、さらには、2個の O_{ad} アドアトムの電位が共に高くなる場合 (タイプ III) があった。これらの結果は、 TiO_2 表面上の O_{ad} アドアトムには、様々な電荷状態が存在することを示唆している。なお、 O_{ad} アドアトムの電荷状態を原子レベルで明瞭に区別できたのは、本研究が初めてである。

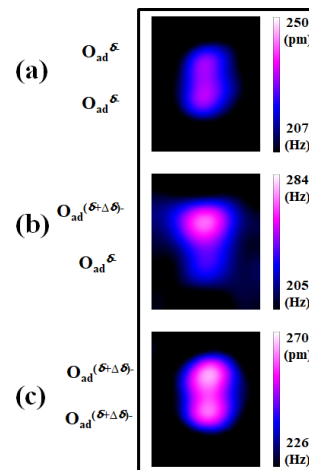


図7 $\text{TiO}_2(110)$ 表面の AFM 像

(8) 二酸化チタン表面に吸着した酸素原子の電荷状態の操作に成功

$\text{TiO}_2(110)$ 表面に吸着した1個の酸素原子 (O_{ad} アドアトム) (図8) 上で探針・試料間のバイアス電圧を変化させながら、カンチレバーの周波数シフトを観察した。その結果、バイアス電圧を走査すると、周波数シフトに急激な増加と減少が観察された。この周波数シフトの急激な増加と減少は、 O_{ad} アドアトムの帯電状態が急激に変化したことを意味している。このように、表面に吸着した O_{ad} アドアトムの電荷状態を操作できることが判明した。

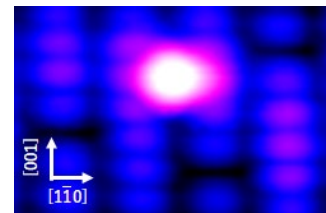


図8 $\text{TiO}_2(110)$ 表面に吸着した1個の酸素原子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計39件（うち査読付論文 39件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yuuki Adachi, Hongqian Sang, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 4
2. 論文標題 Single hydrogen atom manipulation for reversible deprotonation of water on a rutile TiO ₂ (110) surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 5(1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-020-00444-4	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 Shanrong Zou, Yasuhiro Sugawara, and Yan Jun Li	4. 巻 125
2. 論文標題 Oxygen Adsorb-induced Charge State Change of Pd Nanocluster on Al ₂ O ₃ /NiAl(110) Surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 446-451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c08743	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 Quanzhen Zhang, Huan Fei Wen, Rui Xu, Zhihai Cheng, Yasuhiro Sugawara, Yan Jun Li	4. 巻 124
2. 論文標題 Electrically-induced manipulation of the Au nanoclusters on oxidized rutile TiO ₂ (110) surface by atomic force microscopy at 78K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 28562-28568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c08843	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 Tatsuya Yamamoto, Ryo Izumi, Kazushi Miki, Takahiro Yamasaki, Yasuhiro Sugawara, and Yan Jun Li	4. 巻 11
2. 論文標題 Direct observation of Si (110)-(16×2) surface reconstruction by atomic force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Beilstein J. Nanotechnol.	6. 最初と最後の頁 1750-1756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjnano.11.157	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 Hidemasa Yamane, Junsuke Yamanishi, Nobuhiko Yokoshi, Yasuhiro Sugawara, and Hajime Ishihara	4. 巻 28
2. 論文標題 Theoretical Analysis of Optically Selective Imaging in Photoinduced Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 34787-34803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.409986	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 Shanrong Zou, Hiroataka Yokoyama, Yasuhiro Sugawara, Yan Jun Li	4. 巻 124
2. 論文標題 Size dependence of charge state of Pd nanoparticles on Al ₂ O ₃ /NiAl(110) surface determined by Kelvin probe force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 21641 - 21645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07488	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 Yuuki Adachi, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 11
2. 論文標題 Atomic Scale Three Dimensional Au Nanocluster on Rutile TiO ₂ (110) Surface Resolved by Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 7153-7158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02042	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 Huan Fei Wen, Hongqian Sang, Yasuhiro Sugawara, and Yan Jun Li	4. 巻 22
2. 論文標題 Imaging Oxygen Molecular Adsorption and Dissociation on TiO ₂ (110) Surface with Real Configuration at 78 K by Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 19795-19801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp03549a	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 Huan Fei Wen, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 10
2. 論文標題 Multi-Channel Exploration of O Adatom on TiO ₂ (110) Surface by Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 051602(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano10081506	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 Yasuhiro Sugawara, Masato Miyazaki, and Yan Jun Li	4. 巻 4
2. 論文標題 Surface potential measurement by heterodyne frequency modulation Kelvin probe force microscopy in MHz range	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 075015(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-6528/aba477	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 Yuuki Adachi, Yasuhiro Sugawara, and Yan Jun Li	4. 巻 124
2. 論文標題 Remotely Controlling the Charge State of Oxygen Adatoms on Rutile TiO ₂ (110) Surface using Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 12010-12015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03117	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 Yuuki Adachi, Huan Fei Wen, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 2
2. 論文標題 Elucidating Charge State of an Au Nanocluster on Oxidized/Reduced Rutile TiO ₂ (110) Surfaces using non-contact atomic force microscopy and Kelvin probe force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 2371-2375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9na00776h	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 Yuuki Adachi, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 -
2. 論文標題 Remotely Controlling the Charge State of Oxygen Adatoms on Rutile TiO ₂ (110) Surface using Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Part C	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03117	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 Yuuki Adachi, Huan Fei Wen, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li	4. 巻 -
2. 論文標題 Elucidating Charge State of an Au Nanocluster on Oxidized/Reduced Rutile TiO ₂ (110) Surfaces using non-contact atomic force microscopy and Kelvin probe force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Royal Society of Chemistry, Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9na00776h	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 H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Sugawara, Y. J. Li	4. 巻 505
2. 論文標題 Contrast inversion of O adatom on rutile TiO ₂ (110)-(1×1) surface by atomic force microscopy imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 144623-144627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2019.144623	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 H. F. Wen, Y. Adachi, Q. Zhang, M. Miyazaki, Y. Sugawara and Y. J. Li	4. 巻 123
2. 論文標題 Identification of Atomic Defects and Adsorbate on Rutile TiO ₂ (110)-(1×1) Surface by Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 25756-25760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b07949	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 Q. Zhang, H. F. Wen, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Sugawara, R. Xu, Z. H. Cheng, Y. J. Li	4. 巻 123
2. 論文標題 Electrical Engineering of the Oxygen Adatom and Vacancy on Rutile TiO ₂ (110) by Atomic Force Microscopy at 78 K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 28852-28858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10304	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 Q. Zhang, H. F. Wen, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Sugawara, R. Xu, Z. H. Cheng, Y. J. Li	4. 巻 123
2. 論文標題 Characterization and Reversible Migration of Subsurface Hydrogen on Rutile TiO ₂ (110) by Atomic Force Microscopy at 78 K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 22595-22602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b05744	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. Miyazaki, H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Adachi, J. Brndiar, I. Stich, Y. J. Li and Y. Sugawara	4. 巻 10
2. 論文標題 Imaging the surface potential at the steps on the rutile TiO ₂ (110) surface by Kelvin probe force microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Beilstein Journal of Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 1228-1236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjnano.10.122	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 Y. Adachi, H. F. Wen, Q. Zhang, M. Miyazaki, Y. Sugawara, L. Kantorovich, I. Stich, Y. J. Li	4. 巻 13
2. 論文標題 Tip-Induced Control of Charge and Molecular Bonding of Oxygen Atoms on the Rutile TiO ₂ (111) Surface with Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS nano	6. 最初と最後の頁 6917-6924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b01792	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 R. Turansk, K. Palots, J. Brndiar, Y. J. Li, Y. Sugawara, and I. Stich	4. 巻 30
2. 論文標題 Subatomic-scale resolution with SPM: Co adatom on p(2×1)Cu(110):0	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 95703-95707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aaf6dc	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 李艶君, 安達有輝, 菅原康弘	4. 巻 62
2. 論文標題 AFM/KPFSによる二酸化チタン表面に吸着した酸素原子・分子の電荷状態の原子レベル解析と電荷操作	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 9-14
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 -

1. 著者名 R. Turansky, K. Palotas, J. Brndiar, Y. J. Li, Y. Sugawara, I. Stich	4. 巻 30
2. 論文標題 Subatomic-scale resolution with SPM: Co adatom on p(2x1)Cu(110):0	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 095703(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aaf6dc	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 Q. Zhang, Y. J. Li, H. F. Wen, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Sugawara, R. Xu, Z. H. Cheng, J. Brndiar, L. Kantorovich, and I. Stich	4. 巻 140
2. 論文標題 Measurement and Manipulation of the Charge State of Adsorbed Oxygen Adatom on Rutile TiO ₂ (110)-1×1 Surface by nc-AFM and KPFM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15668-15674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b07745	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 H. F. Wen, M. Miyazaki, Q. Zhang, Y. Adachi, Y. J. Li, and Y. Sugawara	4. 巻 20
2. 論文標題 Direct observation of atomic step edges on the rutile TiO ₂ (110)-(1×1) surface using atomic force microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 28331-28337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8cp06156d	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 H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Naitoh, Y. J. Li, and Y. Sugawara	4. 巻 122
2. 論文標題 Direct visualization of Oxygen Reaction with Paired Hydroxyl on TiO ₂ (110) Surface at 78 K by Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17395-17399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06289	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 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Adachi, E. Arima, Y. Kinoshita, H. Nomura, Z. M. Ma, L. Kou, Y. Naitoh, Y. Sugawara, R. Xu, Z. H. Cheng	4. 巻 191
2. 論文標題 Stable Contrast Mode on TiO ₂ (110) Surface with Metal-Coated Tips Using AFM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 51-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultramic.2018.04.003	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. Arima, H. F. Wen, Y. Naitoh, Y. J. Li, and Y. Sugawara	4. 巻 29
2. 論文標題 KPFM/AFM imaging on TiO ₂ (110) surface in O ₂ gas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 105504 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aaa62c	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 J. Yamanishi, Y. Naitoh, Y. J. Li and Y. Sugawara	4. 巻 9
2. 論文標題 Heterodyne Frequency Modulation Technique in Photoinduced Force Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Appl.	6. 最初と最後の頁 024031(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.9.024031	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 Eiji Arima, Huanfei Wen, Yoshitaka Naitoh, Yanjun Li, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 29
2. 論文標題 KPFM/AFM imaging on TiO ₂ (110) surface in O ₂ gas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 105504 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aaa62c	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 Junsuke Yamanishi, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 9
2. 論文標題 Heterodyne Frequency Modulation Technique in Photoinduced Force Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica Review Applied	6. 最初と最後の頁 024031(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.9.024031	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 Yukinori Kinoshita, Yan Jun Li, Satoru Yoshimura, Hitoshi Saito and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 28
2. 論文標題 Magnetic resonance force microscopy using ferromagnetic resonance of a magnetic tip excited by microwave transmission via a coaxial resonator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 485709(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aa90f4	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 Eiji Arima, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 29
2. 論文標題 Separation of Atomic-Scale Spin Contrast on NiO(001) by Magnetic Resonance Force Microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 404001(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/aa815d	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 Yoshitaka Naitoh, Robert Turansky, Jan Brndiar, Yan Jun Li, Ivan Stich, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 13
2. 論文標題 Subatomic-scale force vector mapping above a Ge(001) dimer using bimodal atomic force microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 663-667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/NPHYS4083	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 Yan Jun Li, Seung Hwan Lee, Yukinori Kinoshita, Zong Min Ma, Huanfei Wen, Hikaru Nomura, Yoshitaka Naitoh, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 27
2. 論文標題 Growth models of coexisting p(2×1) and c(6×2) phases on an oxygen-terminated Cu(110) surface studied by noncontact atomic force microscopy at 78 K	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 205702(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0957-4484/27/20/205702	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 Eiji Arima, Huanfei Wen, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 87
2. 論文標題 Development of Low Temperature Atomic Force Microscopy with an Optical Beam Deflection System Capable of Simultaneously Detecting the Lateral and Vertical Forces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 093113(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4962865	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 Yukinori Kinoshita, Robert Turansky, Jan Brndiar, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li, Lev Kantorovich, Yasuhiro Sugawara, and Ivan Stich	4. 巻 16
2. 論文標題 Promoting atoms into delocalised long-living magnetically modified state using Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 7490-7494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.6b03203	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 Lili Kou, Yan Jun Li, Takeshi Kamijo, Yoshitaka Naitoh, and Yasuhiro Sugawara	4. 巻 27
2. 論文標題 Investigation of the surface potential of TiO ₂ (110) by frequency-modulation Kelvin probe force microscopy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 505704(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0957-4484/27/50/505704	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 Huan Fei Wen, Yan Jun Li, Eiji Arima, Yoshitaka Naitoh, Yasuhiro Sugawara, Rui Xu, and Zhi Hai Cheng	4. 巻 28
2. 論文標題 Investigation of tunneling current and local contact potential difference on the TiO ₂ (110) surface by AFM/KPFM at 78 K	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 105704(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aa5aef	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58件 (うち招待講演 38件 / うち国際学会 36件)

1. 発表者名 宮崎雅大、菅原康弘、李艶君
2. 発表標題 クラスター分析による表面の化学種の自動識別
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福澤哉太、山本達也、合田公平、王佳浩、菅原康弘
2. 発表標題 ペンタセン分子膜の作成と低温・超高真空光誘起力顕微鏡による表面の観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福澤哉太、山本達也、合田公平、王佳浩、菅原康弘
2. 発表標題 低温・超高真空光誘起力顕微鏡によるペンタセン分子膜の観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 バルク状態による表面電位と表面状態による表面電位を分離可能なケルビンプローブ力顕微鏡 (KPFM) の開発
3. 学会等名 ナノ理工学情報交流会「ナノ領域の先進分析技術」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Adachi, Y. Sugawara and Y. J. Li
2. 発表標題 Resolving CO Adsorption on Oxidized Rutile TiO ₂ (110) Surface
3. 学会等名 28th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy(ICSPM28) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)
3. 学会等名 応用物理学会KOSEN SC第2回VR学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 MHz帯のバイアス電圧を印加可能なヘテロダインFM-KPFMの開発 - パルク状態による表面電位と表面状態による表面電位の分離 -
3. 学会等名 日本学術振興会ナノプローブテクノロジー第167委員会第95回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安達有輝、菅原康弘、李艶君
2. 発表標題 原子間力顕微鏡によるルチル型TiO ₂ (110)表面上の吸着酸素原子とCO分子の観察
3. 学会等名 表面・真空学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 合田公平、山本達也、王佳浩、菅原康弘
2. 発表標題 LT-UHV光誘起力顕微鏡によるAg基板上のペンタセン分子膜の観察
3. 学会等名 表面・真空学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 ケルビンプローブ力顕微鏡(KPFM)による金属酸化物表面に吸着した酸素原子・分子の電荷状態に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮崎雅大、菅原 康弘、李艶君
2. 発表標題 クラスター分析による表面の異なる化学種の自動識別
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安達有輝、菅原康弘、李艶君
2. 発表標題 原子間力顕微鏡によるルチル型TiO ₂ (110)表面上の吸着酸素原子とCO分子の観察
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本達也、合田公平、王佳浩、菅原康弘
2. 発表標題 単一有機分子内の遷移双極子モーメント測定に向けた極低温超高真空-光誘起力顕微鏡の開発
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 ケルビンプローブ力顕微鏡(KPFM)による半導体表面における原子スケール表面電位計測の進展
3. 学会等名 日本物理学会第75年次大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuuki Adachi, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Synthesis and characterization of molecular oxygen on rutile TiO ₂ (110) surface using atomic force microscopy
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Elucidation of Property of Next Generation Functional Materials and Surface/Interface (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Adachi, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Huan Fei Wen, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Synthesis and characterization of molecular oxygen on rutile TiO ₂ (110) surface using atomic force microscopy
3. 学会等名 The 27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li
2. 発表標題 Kelvin Probe Force Microscopy with Atomic Resolution
3. 学会等名 Nanoscience and Graphene Nanotechnology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li
2. 発表標題 Separation of Atomic-Scale Spin Contrast on NiO(001) by Magnetic Resonance Force Microscopy
3. 学会等名 International Conference and Expo on nanotechnology and Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Atomic-Scale Spin Imaging on NiO(001) by Magnetic Resonance Force Microscopy (MRFM)
3. 学会等名 ChinaNano 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yan jun Li
2. 発表標題 Study of the charge state of adsorbed O adatoms on rutile TiO ₂ (110) surface by nc-AFM and KPFM at 78 K
3. 学会等名 ChinaNano 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Separation of Atomic-Scale Spin Contrast on NiO(001) by Magnetic Resonance Force Microscopy (MRFM)
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Test and Measurement (ISTM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yan jun Li
2. 発表標題 Study of the charge state of adsorbed O adatoms on rutile TiO ₂ (110) surface by nc-AFM and KPFM at 78 K
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Test and Measurement (ISTM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yan jun Li
2. 発表標題 Study of the charge state of adsorbed oxygen adatoms on rutile TiO ₂ (110)-1 × 1 surface by nc-AFM and KPFM
3. 学会等名 The 7th China-Japan Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li
2. 発表標題 Separation of Atomic-Scale Spin Contrast on NiO(001) by Magnetic Resonance Force Microscopy (MRFM)
3. 学会等名 The collaborative conference on Materials Research (CCMR) 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Sugawara, Masato Miyazaki, Yuuki Adachi, Yan Jun Li
2. 発表標題 Atomic Resolution Imaging of Surface Potential without Band-bending Effect on TiO ₂ (110) Using Heterodyne FM-KPFM
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Non-contact Atomic force Microscopy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuki Adachi, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Huan Fei Wen, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Tip-induced Control of Molecular Bonding and Molecular Rotation of Oxygen Adatoms on Rutile TiO ₂ (110)
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Non-contact Atomic force Microscopy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. J. Li, Y. Adachi, H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Sugawara
2. 発表標題 Charge states of O ₂ adsorbed on rutile TiO ₂ surface by AFM/KPFS
3. 学会等名 5th Global Nanotechnology Congress and Expo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Sugawara and Y. J. Li
2. 発表標題 Scanning probe microscopy for nanoscience and technology
3. 学会等名 9th Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)
3. 学会等名 第66回表面科学基礎講座 表面・界面分析の基礎と応用 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen Q. Z. Zhang, Y. Adachi, and Y. Sugawara
2. 発表標題 Reversible bond formation between Oxygen atoms vis charge manipulation on rutile TiO ₂ (110) surface
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Symposium on Solid Surfaces & Cross-Strait Symposium on Solid Surfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sugawara
2. 発表標題 Scanning probe microscopy for functional materials
3. 学会等名 7th Summer Course and Workshop on “Emergent Functional Matter Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sugawara and Y. J. Li
2. 発表標題 Atomic Resolution Imaging of Topography, Surface Potential and Dipole Moment on TiO ₂ (110) Surface with Double-OH Defects
3. 学会等名 The 6th Japan-China Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sugawara, H. F. Wen, Y. Naitoh, and Y. J. Li
2. 発表標題 Atomic Resolution Imaging of Topography and Surface Charge by Kelvin Probe Force Microscopy
3. 学会等名 The 24th World Nano Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2 . 発表標題 The study of local dipole moment and contact potential difference on TiO ₂ (110) surface by AFM
3 . 学会等名 24th World Nano Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Sugawara, H. F. Wen, Y. Naitoh, and Y. J. Li
2 . 発表標題 Atomic Resolution Imaging of Topography, Surface Potential and Dipole Moment on TiO ₂ (110) Surface with Double-OH Defects
3 . 学会等名 7th Multifrequency AFM Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen and Y. Sugawara
2 . 発表標題 The measurement of local dipole moment and local contact potential difference on rutile TiO ₂ (110) surface by AFM
3 . 学会等名 13th International Conference and Exhibition on Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Q. Zhang, H. F. Wen, Y. Adachi, M. Miyazaki, Y. Naitoh, Y. J. Li and Y. Sugawara
2 . 発表標題 Study of the charge states of oxygen adatoms on rutile TiO ₂ (110) by nc-AFM and KPFM at 78 K
3 . 学会等名 21st International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Miyazaki, H. F. Wen, Q. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh, Y. J. Li, Y. Sugawara
2 . 発表標題 Imaging of the Electric Distribution on the Stepped Surface on Rutile TiO ₂ (110) using AFM/KPFM
3 . 学会等名 21st International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Adachi, H. F. Wen, Q. Zhang, M. Miyazaki, Y. J. Li, Y. Sugawara, J. Brndiar, I. Stich, L. Kantrovich
2 . 発表標題 Reversible Bond Formation between Oxygen Atoms via Charge Manipulation on Rutile TiO ₂ (110) Surface
3 . 学会等名 21st International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2 . 発表標題 he study of local dipole moment and contact potential difference on TiO ₂ (110) surface by AFM
3 . 学会等名 23rd International Conference on Nanomaterials and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yasuhiro Sugawara and Yan Jun Li
2 . 発表標題 Kelvin probe force microscopy with atomic resolution
3 . 学会等名 22nd International Conference and Expo on Nanoscience and Molecular Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2. 発表標題 Local dipole moment on rutile TiO ₂ (110) surface by electrostatic force microscopy
3. 学会等名 2nd World Congress and Expo on Graphene & 2D Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2. 発表標題 The investigation of Au cluster on TiO ₂ (110) surface by Kelvin probe force microscopy
3. 学会等名 The 5th China-Japan Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Huan Fei Wen, Quan Zhen Zhang, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li, and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Simultaneous Characterization of Tunneling Current and Local Contact Potential Difference on TiO ₂ (110) Surface
3. 学会等名 Energy Materials Nanotechnology (EMN) Europe Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2. 発表標題 The investigation of Au cluster on TiO ₂ (110)-1x1 surface by KPFM
3. 学会等名 2017 EMN Meeting on Titanium-Oxides (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Huan Fei Wen, Quan Zhen Zhang, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li, and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Simultaneous Characterization of Tunneling Current and Local Contact Potential Difference on Rutile TiO ₂ (110) surface
3. 学会等名 2017 Collaborative Conference on Materials Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. J. Li, H. F. Wen, Q. Z. Zhang, Y. Adachi, Y. Naitoh and Y. Sugawara
2. 発表標題 The investigation of local dipole moment on TiO ₂ (110) surface by electrostatic force microscopy
3. 学会等名 The Collaborative Conference on 3D & Materials Research 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 SPMの過去から未来まで
3. 学会等名 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会研修セミナー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅原康弘
2. 発表標題 表面形状と表面電位、双極子モーメントを原子レベルで同時測定可能なフォース顕微鏡
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 走査型プローブ顕微鏡分科会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yuuki Adachi, Huan Fei Wen, Quanzhen Zhang, Yoshitaka Naitoh, Yanjun Li and Yasuhiro Sugawara
2 . 発表標題 Charge state and charge manipulation for adsorption oxygen molecular on Rutile TiO ₂ (110)
3 . 学会等名 International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Huan Fei Wen, Quanzhen Zhang, Yuuki Adachi, Yoshitaka Naitoh, Yanjun Li and Yasuhiro Sugawara
2 . 発表標題 Simultaneous Measurement of Tunneling Current and Local Contact Potential Difference on Rutile TiO ₂ (110) by STM/AFM/KPFM
3 . 学会等名 International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ryo Izumi, Yoshitaka Naitoh, Yanjun Li and Yasuhiro Sugawara
2 . 発表標題 Development of AFM-based scanning microwave impedance microscopy using heterodyne technique
3 . 学会等名 International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yuuki Adachi, Quanzhen Zhang, Huan Fei Wen, Yoshitaka Naitoh, Yanjun Li and Yasuhiro Sugawara
2 . 発表標題 in-situ observation of O ₂ molecular dissociation and charge transfer on TiO ₂ (110) surface by STM/AFM/KPFM
3 . 学会等名 International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 YanJun Li, Huan Fei Wen, Yoshitaka Naitoh and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 atomic resolution imaging of topography, surface potential and dipole moment on TiO ₂ (110) surface with double OH defects
3. 学会等名 International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. F. Wen, Y. Naitoh, Y. J. Li, and Y. Sugawara
2. 発表標題 Atomic-scale Imaging of Electronic Properties of the TiO ₂ (110) Surface by Electrostatic Force Microscopy
3. 学会等名 Collaborative Conference on 3D & Materials Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Haunfei Wen, Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara
2. 発表標題 Atomic-resolution Simultaneous Imaging of Topography, Surface Potential and Dipole Moment on TiO ₂ (110) Surface
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Symposium on Solid Surfaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Sugawara
2. 発表標題 Atomic-resolution Simultaneous Imaging of Topography, Surface Potential and Dipole Moment on TiO ₂ (110) Surface
3. 学会等名 2nd International Symposium on Recent Trends in Analysis Techniques for Functional Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 温煥飛、内藤賀公、李艶君、菅原康弘
2. 発表標題 表面形状と表面電位、双極子モーメントを原子レベルで同時測定可能なフォース顕微鏡
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 走査型プローブ顕微鏡分科会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yoshitaka Naitoh, Yan Jun Li and Yasuhiro Sugawara	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Oxford Academic Press	5. 総ページ数 360
3. 書名 Comprehensive Nanoscience and Nanotechnology 2nd Edition	

1. 著者名 Yan Jun Li, Haunfei Wen, Zong Min Ma, Lili Kou, Yoshitaka Naitoh, and Yasuhiro Sugawara	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 521
3. 書名 Kelvin Probe Force Microscopy From Single Charge Detection to Device Characterization	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 振動成分測定装置、ケルビンプローブ力顕微鏡、振動成分測定方法	発明者 菅原康弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020- 56446	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 振動成分測定装置、ケルビンプローブ力顕微鏡、振動成分測定方法	発明者 菅原康弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/012464	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

大阪大学大学院工学研究科物理学系専攻 応用物理学コース ナノ物性工学領域
http://nanophysics.ap.eng.osaka-u.ac.jp
大阪大学大学院工学研究科物理学系専攻応用物理学コース極限計測・ナノサイエンス領域
http://nanophysics.ap.eng.osaka-u.ac.jp/liyanjun/

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	李 艶君 (LI Yan Jun) (50379137)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	内藤 賀公 (NAITOH Yooshitaka) (90362665)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	

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
---------	---------