

令和 6 年 4 月 26 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02697

研究課題名（和文）2原子間の化学結合に伴う分子軌道形成過程の直接観察

研究課題名（英文）Direct Observation of Molecular Orbital Formation in Chemical Bonds Between Two Atoms

研究代表者

稲見 栄一（Inami, Eiichi）

高知工科大学・システム工学群・准教授

研究者番号：40420418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：原子間力顕微鏡/走査トンネル顕微鏡の複合装置(AFM/STM)と超短電圧パルス技術を組み合わせ、2原子の化学結合に伴う分子軌道の形成を追跡する超短電圧パルストンネル分光法(USVP-STs)を開発した。Si(111)-(7x7)表面での実験から、USVP-STsが従来のSTMと同等の局所分光を行えることを確認した。また、電圧パルスの遅延制御で探針-試料間距離を変化させると、得られる電流電圧曲線の形状も変化することを確認した。この変化は表面原子の電子構造が孤立原子から2原子分子の状態へ遷移する過程に対応し、USVP-STsが、分子軌道形成過程をエネルギースケールで追跡できることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子間の化学結合の直接観察は、近年、国内外で精力的に行われてきた。しかし、化学結合で重要な役割を担う電子の挙動は、直接観察が困難であるため理論研究が主であった。本研究で開発したUSVP-STsは化学結合に伴う分子軌道形成を直接追跡できるため、従来、理論的考察が主であった化学結合理論を実証し、その本質的理解に迫れる。さらに、USVP-STsはAFMによる化学結合力の精密測定法と融合させることで、原子間の化学結合に関してナノ力学物性とナノ電子物性の双方からの情報が得られ、それを分子軌道計測に基づく新たな材料評価技術へ展開できる。

研究成果の概要（英文）：We developed an ultrashort voltage pulse tunneling spectroscopy (USVP-STs) by combining an atomic force/scanning tunneling microscopy (AFM/STM) with ultrashort voltage pulse to track the formation of molecular orbitals during the chemical bonding of two atoms. Experiments on the Si(111)-(7x7) surface confirmed that USVP-STs can perform local spectroscopy comparable to conventional STM. Additionally, by controlling the delay of the voltage pulse, we altered the distance between the probe and the sample, which resulted in changes in the shape of the current-voltage curves. These changes correspond to the transition of the electronic structure of surface atoms from isolated atoms to a diatomic molecular state, demonstrating that USVP-STs can track the molecular orbital formation process on an energy scale.

研究分野：薄膜・表面界面物性

キーワード：走査プローブ顕微鏡 原子・分子物理 化学結合 表面・界面物性 機能性ナノ材料

1. 研究開始当初の背景

2 原子間の相互作用は基本的な化学結合であり、その詳細の理解は、物質の存在様式を根源から解明するという点で、物質科学全般にまたがる基礎学術課題である。また 2 原子の結合を計測・制御できれば、産業上重要な機能性材料（光触媒・人工光合成材料など）の開発でも、原子レベルから有用な設計指針が得られる。従来、化学結合の研究対象は原子の集団（ガス・粉末・溶液の反応）に限られていたが、近年、原子間力顕微鏡と走査トンネル顕微鏡の複合装置（AFM/STM）により、2 原子を対象とした実験が可能になった。AFM/STM では、導電性の針が取り付けられたカンチレバーで、針先 1 原子と表面 1 原子の化学結合を力として、さらに表面 1 原子の局所電子状態（原子軌道）をトンネル電流として検出できる（図 1）。このような「結合力とトンネル電流」の情報から 2 原子の結合に伴う電子の挙動が間接的に得られるが、詳細は理論的な推察に留まっている。電子挙動の詳細な知見を実験で得るには、2 原子の結合に伴う原子軌道から分子軌道への遷移をエネルギースケールで追跡する必要がある。しかしながら、AFM/STM では原子軌道の検出までが限界（分子軌道を検出できない）であり、新しい原理のプロブ顕微鏡法の開発が強く望まれる。

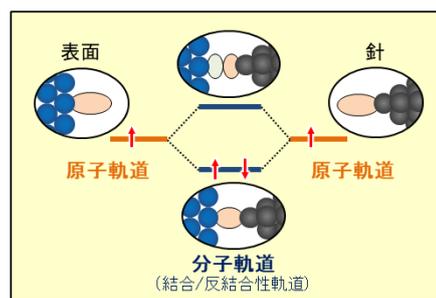


図 1 AFM/STM 複合装置による化学結合の計測(概念図)

このように「結合力とトンネル電流」の情報から 2 原子の結合に伴う電子の挙動が間接的に得られるが、詳細は理論的な推察に留まっている。電子挙動の詳細な知見を実験で得るには、2 原子の結合に伴う原子軌道から分子軌道への遷移をエネルギースケールで追跡する必要がある。しかしながら、AFM/STM では原子軌道の検出までが限界（分子軌道を検出できない）であり、新しい原理のプロブ顕微鏡法の開発が強く望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、AFM/STM と申請者独自のパルス AFM 技術を融合させて、2 原子の化学結合に伴う分子軌道の形成過程をエネルギースケールで検出可能な超短電圧パルストンネル分光（USVP-STS）装置を開発した。具体的には、USVP-STS 装置の構築・動作検証と併せて、Si (111)-(7x7) 表面をテスト試料に用いた計測を行い、USVP-STS 法の測定原理の検証を行った。

3. 研究の方法

2 原子の結合に伴う分子軌道形成過程の検出には、トンネル電流を試料電圧と針-表面間距離の関数として測定する必要がある。通常の AFM/STM では、カンチレバーを表面近傍で振動させることで、針が表面に近接した僅かな時間（100 ナノ秒程度）に試料電圧（直流電圧）に依存したトンネル電流が流れる。一方、USVP-STS では、試料電圧としてカンチレバー振動に同期させた超短電圧パルスを用いる。パルス時間幅をカンチレバー振動周期より十分に短くすると、パルス印加中は、振動する針が特定位置に留まっていると近似できる。この状況でパルス電圧の振幅・遅延を系統的に変えると、トンネル電流が試料電圧と針-表面間距離の関数として検出され、そこから分子軌道を反映した局所状態密度のデータセットが解析的に得られる。

4. 研究成果

(1) AFM/STM 複合装置をベースに USVP-STS 装置の構築を行った。装置は、①AFM/STM 複合装置、②超短電圧パルス出力システムから構成される（図 2）。①では光干渉方式の超高真空 AFM/STM を用いた。また測定の原理上、カンチレバーの振動方式には、周波数変調モードを採用した。一方、②は、超短電圧パルス出力システムに任意波形発生器、信号検出用のデータ収集デバイス、さらに任意波形発生器の制御と信号表示・保存を担うコントローラ（自作から構成される。

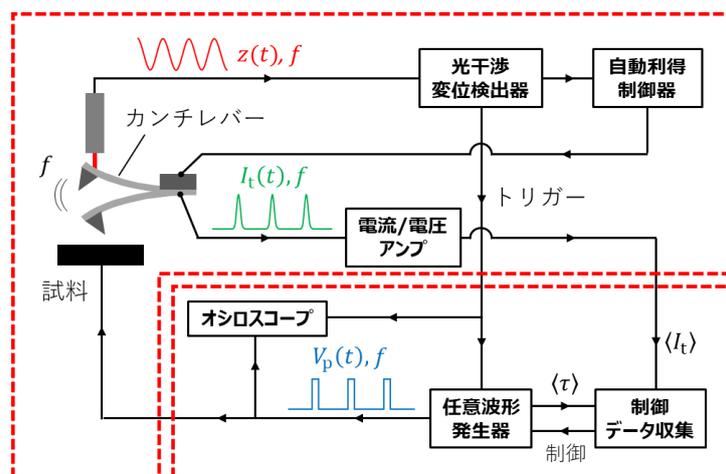


図 2 USVP-STS システムの構成

(2) (1) で構築した USVP-STS システムを用いて計測原理の妥当性を検証した。テスト試料には代表的な半導体再構成表面である Si (111)-(7x7) 表面を使用した。この表面では大規模な再構成により、最表面の原子 (adatom) 間距離は 0.8nm 程度と長い。また、adatom は第二層原子と 3 配位し、z 方向に sp^3 様のダングリングボンドを形成する。そのため、adatom のダングリングボンド

は、表面に担持された疑似的な孤立原子の電子状態とみなせ、そこへ探針を近づけることで、探針先端原子と化学結合し、疑似的な 2 原子分子の状態および分子軌道を形成させることができる(図 3 参照)。

①上記、構築システムを利用して、電圧パルスの振幅を一定(-1V)に固定し、遅延のみを系統的に変化させながら、トンネル電流を計測した。その結果、探針が試料表面に近接した状態でトンネル電流が急落する現象を捉えることができた(図 4)。このような電流値の急落は、これまでも STM 測定で報告されている現象であり、探針先端原子と表面原子が化学結合を形成することで、電子状態が変調を受けていることが原因だと考えられている。本システムでは、このようなトンネル電流の急落を探針の状態を安定に保ちながら計測することができた。

②、電圧パルスの遅延を特定の 2 点で固定した状態で、振幅を-2V から 2V へ系統的に変化させながら、トンネル電流を計測した。この測定により、特定の探針-試料間距離で局所分光測定(電流-電圧特性の取得)

が可能となる。探針が試料から十分離れた状態(ただしトンネル電流が検出可能な領域)で電圧パルスを印可するように遅延時間を設定し、局所分光計測を行った結果、従来の STM で得られるものと同様の電流電圧曲線(IV 曲線 A)が得られることが確認できた。一方、探針が試料に近接した状態(トンネル電流の急落が生じる領域)で電圧パルスを印可した結果、得られる電流電圧曲線(IV 曲線 B)の形状は、IV 曲線 A と異なることを確認できた。この結果は、探針が試料に近接することで、探針先端原子と試料表面原子の間に化学結合が形成され、その結果、電子構造が孤立原子から 2 原子分子の状態へ遷移したことに対応している。以上の結果は、本研究で提案する USVP-STIS が分子軌道形成過程をエネルギースケールで追跡できることを示している。これにより、研究目的の一つである USVP-STIS の測定原理の実証は達成された。

③測定で得られた電流-電圧曲線のノイズレベルが大きいため、その微分値である微分コンダクタンス、およびそれをトンネル遷移確率で規格化した規格化微分コンダクタンスに関して、信頼性の高いデータを得ることができなかつた。最終年度には、この問題を解決すべく、計測システムの制御系に焦点を当て、改善を試みた。その結果、ノイズレベルを改善前に比べて低減させることができたものの、上記データに関しては、依然、信頼性の高いデータは得られなかつた。ノイズレベルの要因の 1 つには、室温環境での測定が挙げられる。したがって、今後、この課題については、極低温環境での計測により解決できると期待される。

(3)本研究では、USVP-STIS により、化学結合に伴う分子軌道形成を直接追跡できることが実証できた。一方で、データ解析により分子軌道による局所状態密度の変化を追跡するまでには至らなかつた。今後、ノイズレベルのさらなる低減化し、上記の問題を解決できれば、本装置を、理論的考察が主であった化学結合理論を、直接観察により、その本質的理解に迫ることができる。さらに、USVP-STIS は AFM による化学結合力の精密測定法と融合させることで、原子間の化学結合をナノ力学物性とナノ電子物性の双方から議論可能となり、分子軌道計測に基づく材料評価技術へ展開できる。

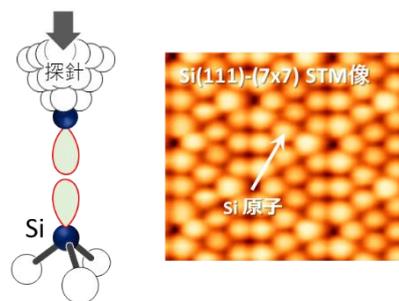


図 3 Si(111)-(7x7)表面の特徴

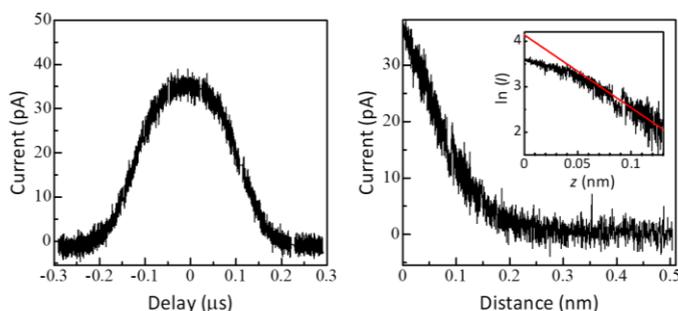


図 4 トンネル電流の遅延依存性(左)、および探針試料間距離依存性(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Inami Eiichi, Nishioka Keita, Kanasaki Jun'ichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Atomic-scale view of the photoinduced structural transition to form sp ³ -like bonded order phase in graphite	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21439:1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-47389-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 Katsube Daiki, Origuchi Naoki, Maeda Motoyasu, Abe Masayuki	4. 巻 131
2. 論文標題 Scanning tunneling microscopy observation of Fe deposited SrTiO ₃ (100)-(13 × 13)-R33.7° surface	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 665~668
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2109/jcersj2.23068	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 勝部 大樹, 大野 真也, 稲見 栄一, 吉越 章隆, 阿部 真之	4. 巻 65
2. 論文標題 超音速酸素分子線を用いたアナターゼ型TiO ₂ (001)表面の酸素欠損の修復	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 表面と真空	6. 最初と最後の頁 526-530
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1380/vss.65.526	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 Katsube Daiki, Ohno Shinya, Takayanagi Shuhei, Ojima Shoki, Maeda Motoyasu, Origuchi Naoki, Ogawa Arata, Ikeda Natsuki, Aoyagi Yoshihide, Kabutoya Yuito, Kyungmin Kim, Linfeng Hou, Fengxuan Li, Tsuda Yasutaka, Yoshida Hikaru, Nishi Shizuka, Sakamoto Tetsuya, Inami Eiichi, Yoshigoe Akitaka, Abe Masayuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Oxidation of Anatase TiO ₂ (001) Surface Using Supersonic Seeded Oxygen Molecular Beam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 12313~12317
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.langmuir.1c01752	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 Katsube Daiki, Shimizu Ryota, Sugimoto Yoshiaki, Hitosugi Taro, Abe Masayuki	4. 巻 122
2. 論文標題 Identification of OH groups on SrTiO ₃ (100)-(13 × 13)-R33.7° reconstructed surface by non-contact atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 071602:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0139493	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 Abe Masayuki, Katsube Daiki, Yamashita Hayato, Inami Eiichi, Custance Oscar	4. 巻 61
2. 論文標題 Method and Applications for New Material Science on Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 645 ~ 650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.61.645	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 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Wakana Yokouchi, Takuro Tanizawa, Eiichi Kobayashi, and Eiichi Inami,
2. 発表標題 Structural and chemical compositional changes of SBR and EPDM during thermal degradation
3. 学会等名 Materials Research Society 2023/International Union of Materials Research Societies - International Conference in Asia (MRM2023/IUMRS-ICA2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seiga Koga, Ahmed Mohamed Sayed Aly, Linfeng Hou, Daiki Katsube, Masayuki Abe, and Eiichi Inami
2. 発表標題 Structural and electrical properties of lattice-work structure formed on a rutile TiO ₂ (001) surface studied by scanning probe microscopy
3. 学会等名 Materials Research Society 2023/International Union of Materials Research Societies - International Conference in Asia (MRM2023/IUMRS-ICA2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Daiki Katsube, Tatsuya Yokoi, Eiichi Inami, Fengxuan Li, Katsuyuki Matsunaga, Masayuki Abe
2. 発表標題	Non-contact atomic force microscopy imaging of line defect on rutile TiO ₂ (110)-(1x2)
3. 学会等名	Materials Research Society 2023/International Union of Materials Research Societies - International Conference in Asia (MRM2023/IUMRS-ICA2023) (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Tatsuyoshi Takahashi and Eiichi Inami
2. 発表標題	Machine Learning-Assisted Analysis of Atomic-Scale Vacancies in STM Images of InP(110)-(1x1) Surface
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	Eiichi Inami, Keita Nishioka, and Jun'ichi Kanasaki
2. 発表標題	Primary Processes of Photoinduced Graphite to Diaphite Phase Transition by Femtosecond Laser Excitation
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	Emiko Murata, Hibiki Hikasa, Daiki Katsube, Masayuki Abe, and Eiichi Inami
2. 発表標題	Measurement of Absolute Value of Local Work Function using Voltage Pulse Scanning Probe Microscopy", Emiko Murata, Hibiki Hikasa, Daiki Katsube, Masayuki Abe, and Eiichi Inami
3. 学会等名	24th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2023) (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 赤松 瞬, 市川 稜, 石井 榛, Wulfhekel Wulf, Haghghirad Amir-Abbas, 益井 絵美里, 稲見 栄一, 山田 豊和
2. 発表標題 Fe ₃ GeTe ₂ 原子層磁石の表面電子構造研究
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 勝部 大樹, 横井 達矢, 稲見 栄一, 李 豊?, 松永 克志, 阿部 真之
2. 発表標題 非接触原子間力顕微鏡によるルチル型TiO ₂ (110)-(1×2)表面のline defectの研究
3. 学会等名 2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村田 笑子, 日笠 響貴, 勝部 大樹, 阿部 真之, 稲見 栄一
2. 発表標題 パルスSPM法による局所仕事関数の絶対値測定
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第62期総会・講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 古賀 清河, アリ アハマドモハメドサイド, ホウ リンフォン, 勝部 大樹, 阿部 真之, 稲見 栄一
2. 発表標題 走査型プローブ顕微鏡を用いたルチルTiO ₂ (001)階段状格子構造の解析
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第62期総会・講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 中瀬古 純一, 稲見 栄一, 阿部 真之, 橋本 雅美, 北岡 諭
2. 発表標題 ケルビンプローブフォース顕微鏡を用いたTiNO膜表面の電荷分布計測
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第54回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋 遼真, 横内 若菜, 谷澤 卓朗, 小林 英一, 稲見 栄一
2. 発表標題 EPDM及びSBRの熱劣化に伴う化学組成変化の解析
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第54回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤 祐吉, 村田 笑子, 日笠 響貴, 勝部 大樹, 阿部 真之, 稲見 栄一
2. 発表標題 パルス走査プローブ顕微鏡による金表面の仕事関数計測
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第54回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daiki Katsube, Tatsuya Yokoi, Eiichi Inami, Fengxuan Li, Katsuyuki Matsunaga, Masayuki Abe
2. 発表標題 Non-contact atomic force microscopy study of line defect on rutile TiO ₂ (110)-(1×2) reconstructed surface
3. 学会等名 2023年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Emiko Murata, Hibiki Hikasa, Daiki Katsube, Masayuki Abe, Eiichi Inami
2. 発表標題 Simultaneous measurement of local barrier height and local contact potential difference by voltage pulse scanning probe microscopy
3. 学会等名 2023年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 豊和, 稲見 栄一, クリュウガー・ピーター
2. 発表標題 Fe(110)上のMn超薄膜に生じるストライプ構造
3. 学会等名 第47回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲見 栄一, 西岡 圭太, 金崎 順一
2. 発表標題 フェムト秒レーザー光励起によるグラファイト-ダイヤモンド構造相転移
3. 学会等名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 龍吉, 稲見 栄一
2. 発表標題 機械学習を用いたInP表面STM像の解析精度向上化
3. 学会等名 日本機械学会 2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横内 若菜, 谷澤 卓朗, 稲見 栄一
2. 発表標題 合成ゴムの熱劣化に伴う構造・化学組成変化の解析
3. 学会等名 日本機械学会 2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古賀 清河, アリ アハマドモハメドサイド, 勝部 大樹, 阿部 真之, 稲見 栄一
2. 発表標題 走査プローブ顕微鏡を用いたルチルTiO ₂ 階段格子構造の解析
3. 学会等名 2023年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲見 栄一
2. 発表標題 光照射による新規カーボン材料の創製
3. 学会等名 2022年度日本複合材料学会西部支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日笠 響貴, 村田 笑子, 勝部 大樹, 阿部 真之, 稲見 栄一
2. 発表標題 電圧パルス走査プローブ顕微鏡を用いた局所仕事関数の計測
3. 学会等名 2022年 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eiichi Inami and Keita Nishioka
2. 発表標題 Morphological Evolution in Photoinduced Graphite-Diaphite Transition Simulated by Kinetic Monte Carlo Method
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Emiko Murata, Hibiki Hikasa, Daiki Katsube, Masayuki Abe and Eiichi Inami
2. 発表標題 Measurement of Local Work Function Using Ultrafast Voltage Pulse Scanning Probe Microscopy
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hibiki Hikasa, Emiko Murata, Daiki Katsube, Masayuki Abe and Eiichi Inami
2. 発表標題 Local barrier-height measurement using scanning probe microscopy with ultrafast voltage pulse
3. 学会等名 14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '22 (ALC '22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 勝部 大樹, 大野 真也, 金 庚民, 津田 泰孝, 稲見 栄一, 吉越 章隆, 阿部 真之
2. 発表標題 アナターゼ型TiO ₂ (001)表面への超音速 NO 分子線の照射
3. 学会等名 2023年 第70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 勝部 大樹, 大野 真也, 高柳 周平, 尾島 章輝, 前田 元康, 折口 直紀, 小川 新, 池田 夏紀, 青柳 良英, 甲谷 唯人, Kim Kyunming, Hou Linfeng, Li Fengxuan, 津田 泰孝, 吉田 光, 西 静佳, 坂本 徹哉, 稲見 栄一, 吉越 章隆, 阿部 真之
2. 発表標題 超音速酸素分子線を照射したアナターゼ型 TiO ₂ (001)表面のX線光電子分光測定
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天木 里奈, 山下 隼人, 勝部 大樹, 稲見 栄一, 阿部 真之
2. 発表標題 高速原子間力顕微鏡による光触媒材料上における脂質混合膜の分解過程の研究
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝部 大樹, 横井 達也, 稲見 栄一, 松永 克志, 阿部 真之
2. 発表標題 ルチル型 TiO ₂ (110)-(1×2)表面の線欠陥の非接触原子間力顕微鏡測定
3. 学会等名 第15回 物性科学領域横断研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiki Katsube, Shinya Ohno, Shuhei Takayanagi, Shoki Ojima, Motoyasu Maeda, Naoki Origuchi, Arata Ogawa, Natsuki Ikeda, Yoshihide Aoyagi, Yuito Kabutoya, Kim Kyungmin, Hou Linfeng, Li Fengxuan, Yasutaka Tsuda, Hikaru Yoshida, Shizuka Nishi, Tetsuya Sakamoto, Eiichi Inami, Akitaka Yoshigoe, and Masayuki Abe
2. 発表標題 X-ray photoelectron spectroscopy study of anatase TiO ₂ (001) using oxygen supersonic seeded molecular beam
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 西岡 圭太, 稲見 栄一
2. 発表標題 分子動力学に基づく動的モンテカルロ法を用いたドメイン形成の計算
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 勝部 大樹, 大野 真也, 高柳 周平, 尾島 章輝, 前田 元康, 折口 直紀, 小川 新, 池田 夏紀, 青柳 良英, 甲谷 唯人, Kim Kyunming, Hou Linfeng, Li Fengxuan, 津田 泰孝, 吉田 光, 西 静佳, 坂本 徹哉, 稲見 栄一, 吉越 章隆, 阿部 真之
2. 発表標題 超音速分子線を照射したアナターゼ型TiO ₂ (001)表面のX線光電子分光による評価
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 Li Fengxuan, Daiki Katsube, Eiichi Inami, Hayato Yamashida, Masayuki Abe
2. 発表標題 In-Situ Observation of Water Adsorption on Rutile TiO ₂ (110)-(1x2) Surface at Room Temperature by Scanning Tunneling Microscopy
3. 学会等名 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keiichi Ueda, Daiki Katsube, Eiichi Inami, Masayuki Abe
2. 発表標題 Accurate Method for Measuring Oscillation Amplitude of Non-contact Atomic Force Microscopy in long-range force region
3. 学会等名 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Li Fengxuan, 阿部 真之, 山下 隼人, 勝部 大樹, 稲見 栄一
2. 発表標題 非接触原子間力顕微鏡/走査型トンネル顕微鏡を用いたTiO ₂ (110)-(1x2)表面における水吸着測定
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Li Fengxuan, 勝部 大樹, 稲見 栄一, 山下 隼人, 阿部 真之
2. 発表標題 In-situ scanning tunneling microscopy observation of water adsorption on rutile TiO ₂ (110)-(1x2) surface
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 阿部 真之, 勝部 大樹, 山下 隼人, 稲見 栄一
2. 発表標題 金属酸化物表面の走査型トンネル顕微鏡/非接触原子間力顕微鏡測定
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会(招待講演)
4. 発表年 2020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	阿部 真之 (Abe Masayuki) (00362666)	大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	勝部 大樹 (Katsube Daiki) (00831083)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・研究員 (82401)	

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