

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H02003

研究課題名(和文) 刺激応答性分子探針による界面特性の単一分子スケール計測法の開発

研究課題名(英文) Single-molecule analysis of interfacial properties based on stimuli-responsive molecular tips

研究代表者

西野 智昭 (Nishino, Tomoaki)

東京工業大学・理学院・准教授

研究者番号：80372415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、優れた機能を有するナノスケールの微小構造体が盛んに開発されており、その化学的特性、物性の評価に向け、高い空間分解能を有する分析法を開発することが喫緊の課題となっている。そこで本研究では、走査型トンネル顕微鏡の刺激応答性分子探針を開発し、単一分子スケールにて、界面特性を計測できる新規手法を開発した。単一分子スケールでの界面特性の評価法を開発することによって、機能性微小デバイスの実用化に貢献できる。また、開発した手法は新奇現象の探索を可能とし基礎科学の開拓につながる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の電子デバイス開発においては、原子を用いた量子効果に基づく論理演算回路の動作が実証されるなど急速な微小化が遂げられている。熱特性の評価は微小スケールの電子デバイスにおいても性能を担保するために必須であり、本研究で開発した計測手法は、今後の原子、分子デバイスの研究開発において極めて有用である。また、原子レベルの熱伝導では、伝導電子とフォノンの各々の寄与の度合いがバルクとは異なること等が理論計算により予測されており、これまで知られていなかった原子スケールにおける熱伝導について基礎的知見を多数明らかにでき、新たな基礎科学の開拓においても大きく貢献する。

研究成果の概要(英文)：In recent years, nanoscale microstructures with superior functionalities have been extensively developed, and the development of analytical methods with high spatial resolution for the evaluation of their chemical and physical properties has become an urgent issue. In this project, we developed a novel method to measure interfacial properties at the single molecule scale by using a stimuli-responsive molecular tip of a scanning tunneling microscope. This development will contribute to realization of practical functional microdevices. In addition, the developed method will enable us to explore novel phenomena.

研究分野：分析化学

キーワード：単分子 温度計測 走査型トンネル顕微鏡 分子探針 ナノ科学

### 1. 研究開始当初の背景

近年、ナノ科学・テクノロジーへの興味の高まりとともに、自己組織化に基づくボトムアップ技術や微細加工技術の著しい進展によって、優れた機能を有するナノスケールの微小構造体が盛んに開発されている。これに伴い、微小構造体の化学的特性、物性の計測を可能とする、高い空間分解能を有する分析法が強く求められている。しかし、従来の分析法ではそのような局所的な計測ができないため、新たな分析法の開発が喫緊の課題となっている。その具体例として、温度計測法が挙げられる。現在、電子デバイスでは、原子を用いた量子効果に基づく論理演算回路の動作が実証されるなど急速な微小化が遂げられている。しかし、微小領域における温度センシング法が欠如している。マクロスケールと同様に、ナノスケールの電子デバイスにおいても熱特性の評価は不可欠であるが、計測法の欠如のためそのような検討はされていない。

一方、我々はこれまで、STM の探針を機能性有機分子で化学修飾した探針(分子探針)を創案し、単分子に対する種々の新規分析法を開発してきた。ごく最近では、分子探針を用いた、単分子 - 単分子間に生起する電子移動の直接検出法を開発した。近年、分子エレクトロニクスに対する興味の高まりから、単分子を通じた電子輸送の計測が多数報告されている。しかし単分子とこれに近接した他の単分子との間に生じる電子移動を計測することはできず、本手法が初めてのものである。また、このような伝導度計測が単一分子のきわめて高い感度、および空間分解能を有していること、さらに、伝導度が計測対象分子の化学構造やその化学的環境に依存することに着目し、伝導度計測の分析化学応用を着想した。

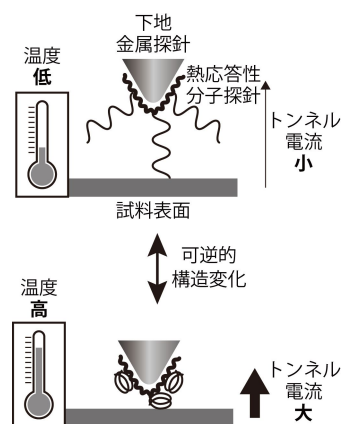


図1. 刺激応答性分子探針による界面特性のナノ計測。温度計測の場合を例示した。

### 2. 研究の目的

上述の背景をもとに、本研究では、単一分子スケール、すなわちサブ nm オーダーのごく微小領域において、様々な界面の化学的特性、物性を計測できる革新的手法を開発することを目的とする(図1)。これまで開発した分子探針を用いる走査型トンネル顕微鏡(STM)を大きく発展させ、刺激応答性高分子を分子探針として用い、新規ナノ計測法を開発する。

これまで、STM の探針を機能性有機分子で化学修飾した探針(分子探針)を創案し、単一分子に対する種々の新規分析法を開発した。本研究では、これを大きく発展させ、試料表面の化学的特性や物性を単分子スケールの局所的に計測できる新規分析法を開発することを目的とする。計測対象となる化学的特性や物性の変化に応じて構造相転移を示す刺激応答性高分子をSTMの探針に修飾し、機能化することによって上述の計測を実現する。始めに、種々の界面特性の中でも特にナノスケールでの計測が求められている温度計測法を開発する。(図1)。熱応答性高分子をSTMの探針に修飾することによって、熱応答性分子探針を作製する。熱応答性高分子は、温度変化に反応して伸縮する構造変化を示す。本研究では、熱応答性分子探針を試料表面に接触させ熱平衡下にて生じるトンネル電流を計測する。単一分子を介したトンネル電流がその分子長に著しく依存することを利用し、熱応答性高分子の温度変化に付随する構造変化をトンネル電流を介して検出することによって単一分子スケールにおける初めての温度計測法を開発する。

### 3. 研究の方法

熱応答性高分子を設計、合成し、これを Au 製 STM 探針に修飾することによって熱応答性分子探針を作製する。熱応答性高分子として最も広汎に用いられているポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)(PNIPAm)等を利用する。チオール基を導入した高分子を合成し、その化学吸着を利用して Au 製 STM 探針に固定する。熱応答性高分子はある温度(下限臨界溶液温度, LCST)でコイル-グロビュール転移により構造変化を示す。幅広い温度領域における温度測定を可能とするために、種々の共重合体を作製し、様々な LCST を有する熱応答性分子探針を作製する。また、PNIPAm は LCST 付近の狭い温度領域で鋭敏に構造変化を示す。これを探針として温度計測を行った場合、感度が高い一方ダイナミックレンジが狭いと考えられる。これを拡大するために、オリゴエチレングリコール誘導体等、LCST 付近における構造変化が緩やかな熱応答性高分子についても同様に合成し、熱応答性分子探針として測定に供する。測定対象や目的に応じて、

高感度、または広いダイナミックレンジを有する熱応答性分子探針を使用できるように開発を行う。

作製した熱応答性分子探針を用いて単一分子スケールにおける温度計測法を開発する。最近、分子探針単一分子を介した電子トンネリングの測定法を開発し、これを基に DNA 単一分子検出法などを開発した(図2)。本研究ではこれらの成果に立脚し、革新的な温度計測法の開発へと大きく展開する。本手法では、従来の STM による表面観察とは異なり、探針を走査せずに試料表面に接触させた状態にて生じるトンネル電流を計測する。熱平衡下において、探針分子は試料温度に応じた熱収縮を示す。その結果トンネル電流の経路長が温度に依存して変化するため、トンネル電流の顕著な距離依存性により、計測されるトンネル電流値が温度に依存して変化する(図1)。従って、トンネル電流をもとに温度計測が実現できる。

温度を計測する領域は、探針のごく先端に位置し試料と接触する熱応答性高分子の側鎖 1 本であるため、単一分子スケールでの温度計測が実現される。本手法は単一分子スケールにおける初めての温度計測法である。また、単一分子の刺激応答に起因する電気伝導変化をセンシングへと応用する方法論はこれまでの分子探針 STM に関する研究実績に基づき独自に発想されたものであり独創性が高い。様々な温度の Au(111)表面を試料として用い、温度 - トンネル電流の相関を明らかにし単一分子スケールにおける温度計測法を確立する。

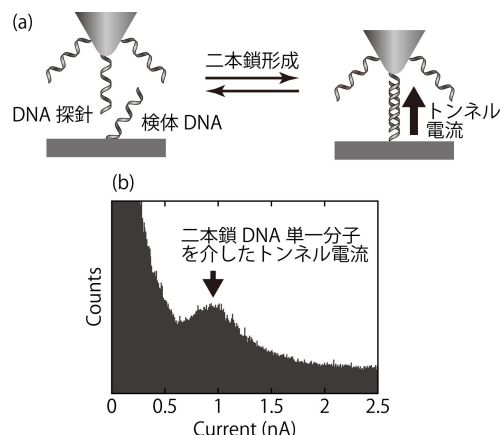


図2.(a) DNA 探針による DNA の単分子検出。(b) 電流ヒストグラム。

#### 4. 研究成果

熱応答性分子探針として熱応答性ポリマーに着目した。熱応答性ポリマーは、温度変化に応答した相転移により、伸展・収縮する構造変化を示す。単一分子を介したトンネル電流がその分子長に著しく依存することを利用し、熱応答性ポリマーの温度変化に付随する構造変化をトンネル電流を介して検出することによって単一分子スケールにおける初めての温度計測法を開発する。

熱応答性ポリマーとして広く用いられているポリ(N-イソプロピルアクリルアミド) (PNIPAM) を用いた。この高分子に Au 表面への結合性官能基としてチオール基を 10% 導入したものを合成した。Au 表面に強固に吸着することを走査型トンネル顕微鏡により確認したのち、その伝導度を計測した。室温付近、および相転移温度以上で大きな伝導度変化は見られなかった。これはチオールと Au との強固な結合が Au 表面における PNIPAM の相転移を妨げたためであると考えられる。

上記の結果を踏まえ、次に PNIPAM にチオールよりは Au への結合強度が小さいピリジン基を導入した高分子を合成し、伝導度変化を計測した。室温では、 $2.0 \times 10^{-5} G_0$  ( $G_0$  は量子化コンダクタンス)であったのに対し、相転移温度以上では、 $8.6 \times 10^{-5} G_0$  と大きな伝導度変化が観察された(図3)。相転移により分子長が収縮したためトンネル電流が流れやすくなり、伝導度が増加した、すなわち、熱応答性ポリマーの温度変化に付随する構造変化をトンネル電流を介して検出できたと結論づけた。相転移温度付近では上記の 2 つの伝導度の観測確率が温度によって異なっており、これを用いて温度計測できる可能性が示唆された。

さらに、応用研究として、より単純な構造を有する高分子、poly(vinylpyridine) (PVP) を用いて、高分子接合の伝導特性について検討した。実験は、STM を用いたトンネル電流計測を行った。高分子を吸着させた Au 基板と Au 探針との距離を固定し、自発的な単分子接合の形成と破断を評価した。結果として、高分子の接合は対応するモノマーに比べ、6 倍以上の接合時間を有することを見出した。加えて、高分子の接合はモノマーよりも電流ノイズが小さいことがわかった。以上の成果は、高分子を用いた単分子接合が、新たな機能性単分子デバイス開発のための有効な手段となることを強く示唆している。

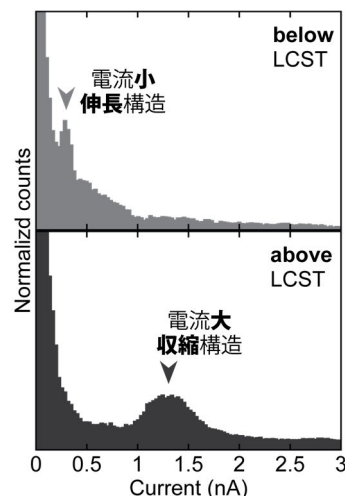


図3. 微視スケールにおける温度計測。温度変化に付随する相転移をトンネル電流計測により検出できた。

## 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 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Aiba A., Kaneko S., Tsuruoka T., Terabe K., Kiguchi M., Nishino T.	4. 巻 117
2. 論文標題 Effects of water adsorption on conductive filaments of a Ta2O5 atomic switch investigated by nondestructive electrical measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 233104 ~ 233104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028013	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 S., Kaneko S., Kiguchi M., Tsukagoshi K., Nishino T.	4. 巻 11
2. 論文標題 Tolerance to Stretching in Thiol-Terminated Single-Molecule Junctions Characterized by Surface-Enhanced Raman Scattering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6712 ~ 6717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c01526	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 Fujii Shintaro, Iwane Madoka, Furukawa Shunsuke, Tada Tomofumi, Nishino Tomoaki, Saito Masaichi, Kiguchi Manabu	4. 巻 124
2. 論文標題 Hybrid Molecular Junctions Using Au-S and Au- Bindings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9261 ~ 9268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11725	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 Isshiki Yuji, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 22
2. 論文標題 Selective formation of molecular junctions with high and low conductance states by tuning the velocity of electrode displacement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 4544 ~ 4548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP06487G	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 Kaneko Satoshi, Watanabe Shuhei, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 10
2. 論文標題 The practical electromagnetic effect in surface-enhanced Raman scattering observed by the lithographically fabricated gold nanosquare dimers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025301 ~ 025301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126981	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 Fukuzumi Risa, Kaneko Satoshi, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 21
2. 論文標題 Structure and Electron Transport at Metal Atomic Junctions Doped with Dichloroethylene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 175 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201900988	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 Hasegawa Yusuke, Harashima Takanori, Jono Yuki, Seki Takumi, Kiguchi Manabu, Nishino Tomoaki	4. 巻 56
2. 論文標題 Kinetic investigation of a chemical process in single-molecule junction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 309 ~ 312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC08383A	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 Harashima Takanori, Hasegawa Yusuke, Kaneko Satoshi, Jono Yuki, Fujii Shintaro, Kiguchi Manabu, Nishino Tomoaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Elementary processes of DNA surface hybridization resolved by single-molecule kinetics: implication for macroscopic device performance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 2217 ~ 2224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC04449K	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 Isshiki Yuji, Nishino Tomoaki, Fujii Shintaro	4. 巻 125
2. 論文標題 Electronic Structure and Transport Properties of Single-Molecule Junctions with Different Sizes of $\pi$ -Conjugated System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3472 ~ 3479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c05478	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 Imaizumi Takaki, Takehara Ryosuke, Yamashita Yuichiro, Yagi Takashi, Ishiwari Fumitaka, Shoji Yoshiaki, Wang Xiaohan, Murakami Yoichi, Nishino Tomoaki, Fukushima Takanori	4. 巻 60
2. 論文標題 Thermal transport properties of an oriented thin film of a paraffinic tripodal triptycene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 038002 ~ 038002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe340	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 Yoshihara Yuki, Fujii Shintaro, Higashibayashi Shuhei, Kiguchi Manabu, Nishino Tomoaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Single-Molecule Electric Switching Induced by Acid-base Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	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) 10.1246/cl.210088	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 Yashiro Atsushi, Tanaka Yuya, Tada Tomofumi, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Akita Munetaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Organometallic Molecular Wires with Thioacetylene Backbones, trans $\{RS(C)C\}_n$ 2Ru(phosphine)4: High Conductance Through Non Aromatic Bridging Linkers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	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) 10.1002/chem.202100828	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 Zhang Lu, Kaneko Satoshi, Fujii Shintaro, Kiguchi Manabu, Nishino Tomoaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Single-molecule determination of chemical equilibrium of DNA intercalation by electrical conductance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	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/d0cc08348h	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 Hasegawa Yusuke, Harashima Takanori, Jono Yuki, Seki Takumi, Kiguchi Manabu, Nishino Tomoaki	4. 巻 56
2. 論文標題 Kinetic investigation of a chemical process in single-molecule junction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 309 ~ 312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC08383A	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 Fukuzumi Risa, Kaneko Satoshi, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 21
2. 論文標題 Structure and Electron Transport at Metal Atomic Junctions Doped with Dichloroethylene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 175 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201900988	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 Kaneko Satoshi, Watanabe Shuhei, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 10
2. 論文標題 The practical electromagnetic effect in surface-enhanced Raman scattering observed by the lithographically fabricated gold nanosquare dimers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025301 ~ 025301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126981	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 Isshiki Yuji, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 22
2. 論文標題 Selective formation of molecular junctions with high and low conductance states by tuning the velocity of electrode displacement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 4544 ~ 4548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP06487G	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 Fujii Shintaro, Iwane Madoka, Furukawa Shunsuke, Tada Tomofumi, Nishino Tomoaki, Saito Masaichi, Kiguchi Manabu	4. 巻 124
2. 論文標題 Hybrid Molecular Junctions Using Au <sub>2</sub> S and Au <sup>+</sup> Bindings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9261 ~ 9268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11725	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 Fujii Shintaro, Koike Masato, Nishino Tomoaki, Shoji Yoshiaki, Suzuki Takanori, Fukushima Takanori, Kiguchi Manabu	4. 巻 141
2. 論文標題 Electric-Field-Controllable Conductance Switching of an Overcrowded Ethylene Self-Assembled Monolayer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 18544 ~ 18550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b09233	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 Harashima Takanori, Hasegawa Yusuke, Kaneko Satoshi, Kiguchi Manabu, Ono Tomoya, Nishino Tomoaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Highly Reproducible Formation of a Polymer Single Molecule Junction for a Well Defined Current Signal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9109 ~ 9113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201903717	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 Shiigi Hiroshi, Tomiyama Tomohiro, Saito Maki, Ishiki Kengo, Nguyen Dung Q., Endo Tatsuro, Yamamoto Yojiro, Shan Xueling, Chen Zhidong, Nishino Tomoaki, Nakao Hidenobu, Nagaoka Tsutomu	4. 巻 5
2. 論文標題 Smart Golden Leaves Fabricated by Integrating Au Nanoparticles and Cellulose Nanofibers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 581 ~ 585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201800643	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 Aiba A., Koizumi R., Tsuruoka T., Terabe K., Tsukagoshi K., Kaneko S., Fujii S., Nishino T., Kiguchi M.	4. 巻 11
2. 論文標題 Investigation of Ag and Cu Filament Formation Inside the Metal Sulfide Layer of an Atomic Switch Based on Point-Contact Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 27178 ~ 27182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b05523	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 Yasuraoka K., Kaneko S., Fujii S., Nishino T., Tsukagoshi K., Juhasz G., Kiguchi M.	4. 巻 123
2. 論文標題 Effect of Bias Voltage on a Single-Molecule Junction Investigated by Surface-Enhanced Raman Scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15267 ~ 15272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b02286	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 Kaneko Satoshi, Montes Enrique, Suzuki Sho, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Tsukagoshi Kazuhito, Ikeda Katsuyoshi, Kano Hideaki, Nakamura Hisao, V?zquez H?ctor, Kiguchi Manabu	4. 巻 10
2. 論文標題 Identifying the molecular adsorption site of a single molecule junction through combined Raman and conductance studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6261 ~ 6269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC00701F	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 Fujii Shintaro, Cho Haruna, Hashikawa Yoshifumi, Nishino Tomoaki, Murata Yasujiro, Kiguchi Manabu	4. 巻 21
2. 論文標題 Tuneable single-molecule electronic conductance of C60 by encapsulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 12606 ~ 12610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP02469G	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 S., Kaneko S., Fujii S., Nishino T., Tsukagoshi K., Kiguchi M.	4. 巻 21
2. 論文標題 Stretch dependent electronic structure and vibrational energy of the bipyridine single molecule junction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 16910 ~ 16913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP01442J	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 Kaneko Satoshi, Watanabe Shuhei, Kasai Shinya, Nishino Tomoaki, Tsukagoshi Kazuhito, Kiguchi Manabu	4. 巻 9
2. 論文標題 Near-infrared-light-induced decomposition of Rhodamine B triggered by localized surface plasmon at gold square dimers with well-defined separation distance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035153 ~ 035153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5093763	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 Fujii Shintaro, Ishiwari Fumitaka, Komoto Yuki, Su Lixinzhu, Yamagata Yuto, Kosaka Atsuko, Aiba Akira, Nishino Tomoaki, Fukushima Takanori, Kiguchi Manabu	4. 巻 58
2. 論文標題 Control of molecular orientation in a single-molecule junction with a tripodal triptycene anchoring unit: toward a simple and facile single-molecule diode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 035003 ~ 035003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0436	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 Koizumi R, Aiba A, Kaneko S, Fujii S, Nishino T, Kiguchi M	4. 巻 30
2. 論文標題 Investigation on the formation process of metal atomic filament for metal sulfide atomic switches by electrical measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 125202 ~ 125202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aafc79	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 Fujii Shintaro, Ishiwari Fumitaka, Komoto Yuki, Su Lixinzhu, Yamagata Yuto, Kosaka Atsuko, Aiba Akira, Nishino Tomoaki, Fukushima Takanori, Kiguchi Manabu	4. 巻 58
2. 論文標題 Control of molecular orientation in a single-molecule junction with a tripodal triptycene anchoring unit: toward a simple and facile single-molecule diode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 035003 ~ 035003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0436	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 Koizumi R, Aiba A, Kaneko S, Fujii S, Nishino T, Kiguchi M	4. 巻 30
2. 論文標題 Investigation on the formation process of metal atomic filament for metal sulfide atomic switches by electrical measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 125202 ~ 125202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aafc79	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 Isshiki Yuji, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 140
2. 論文標題 Fluctuation in Interface and Electronic Structure of Single-Molecule Junctions Investigated by Current versus Bias Voltage Characteristics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3760 ~ 3767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b13694	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 Isshiki Y., Fujii S., Nishino T., Kiguchi M.	4. 巻 20
2. 論文標題 Impact of junction formation processes on single molecular conductance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 7947 ~ 7952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP00317C	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 Fukuzumi Risa, Kaneko Satoshi, Fujii Shintaro, Nishino Tomoaki, Kiguchi Manabu	4. 巻 122
2. 論文標題 Formation of a Chain-like Water Single Molecule Junction with Pd Electrodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4698 ~ 4703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b12605	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 KOZAKAI Takafumi, HARASHIMA Takanori, KIGUCHI Manabu, NISHINO Tomoaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Measurement of Electron Transfer within a Single Supramolecular Assembly Containing a Biological Molecule	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 521 ~ 523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.18C010	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 HARASHIMA Takanori, HASEGAWA Yusuke, KIGUCHI Manabu, NISHINO Tomoaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Evaluation of the Kinetic Property of Single-Molecule Junctions by Tunneling Current Measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 639 ~ 641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.18C011	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 Komoto Yuuki, Yamazaki Yasuomi, Tamaki Yusuke, Iwane Madoka, Nishino Tomoaki, Ishitani Osamu, Kiguchi Manabu, Fujii Shintaro	4. 巻 13
2. 論文標題 Cover Feature: Ruthenium Tris-bipyridine Single-Molecule Junctions with Multiple Joint Configurations (Chem. Asian J. 10/2018)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1230 ~ 1230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201800366	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 Koike Masato, Fujii Shintaro, Cho Haruna, Shoji Yoshiaki, Nishino Tomoaki, Fukushima Takanori, Kiguchi Manabu	4. 巻 57
2. 論文標題 Single-molecule junction of an overcrowded ethylene with binary conductance states	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03EG05 ~ 03EG05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.03EG05	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 S., Kaneko S., Fujii S., Nishino T., Kiguchi M., Tsukagoshi K.	4. 巻 16
2. 論文標題 Dependence of Stretch Length on Electrical Conductance and Electronic Structure of the Benzenedithiol Single Molecular Junction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 145 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2018.145	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 4件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 S. Kobayashi, S. Kaneko, K. Tsukagoshi, T. Nishino
2. 発表標題 The Anchor Dependence of Stretch-Induced Structural Change in Single-Molecule Junction Characterized by Surface Enhanced Raman Scattering
3. 学会等名 MANA international Symposium 2021 jointly with ICYS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Aiba, S. Kaneko, T. Nishino
2. 発表標題 C2H2 molecular junction formed with the Ta2O5 atomic switch
3. 学会等名 MANA international Symposium 2021 jointly with ICYS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Isshiki, S. Fujii, T. Nishino
2. 発表標題 Times Resolved Electronic Structures of Single Molecule Junctions by Fast Current-Voltage Measurements
3. 学会等名 MANA international Symposium 2021 jointly with ICYS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 一色 裕次, 藤井 慎太郎, 西野 智昭
2. 発表標題 単分子接合の破断直前に現れる電子状態の解明
3. 学会等名 第67回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原島 崇徳, 服部 能英, 椎木 弘, 西野 智昭
2. 発表標題 Au(111)表面におけるNa2B12H11SH単層膜の表面拡散の観察
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 吉原 勇輝, 藤井 慎太郎, 東林 修平, 西野 智昭
2. 発表標題 酸 - 塩基応答分子の単分子電気伝導度
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 藤井 慎太郎, 石割 文崇, 小本 祐貴, 蘇 李欣竹, 山形 悠斗, 小阪 敦子, 相場 諒, 西野 智昭, 福島 孝典, 木口 学
2. 発表標題 三脚型トリプチセンを利用した単分子ダイオードの開発
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 Lu Zhang, Tomoaki Nishino
2. 発表標題 Thermodynamic Study of Single-Molecule Reaction by Electrical Measurement
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 竹原陵介, 堀内佐智雄, 西野智昭, 星野哲久, 芥川智行, 庄子良晃, 福島孝典
2. 発表標題 中性 イオン性転移物質TTF-CAの熱伝導度測定
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 一色裕次, 藤井慎太郎, 西野智昭
2. 発表標題 STM-BJ法による単分子接合の界面構造の制御
3. 学会等名 分子科学オンライン討論会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 城之尾 裕樹, 西野 智昭
2. 発表標題 Au(111)に吸着したシトシンの電気化学STM観察
3. 学会等名 分子科学オンライン討論会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原島 崇徳, 江上 喜幸, 小野 倫也, 西野 智昭
2. 発表標題 伝導度計測を用いたペプチドのリン酸化の単一分子検出
3. 学会等名 第58回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子哲, 小林柊司, 西野智昭
2. 発表標題 表面増強ラマン散乱を活用した単分子接合における構造遷移の観測
3. 学会等名 日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相場諒, 金子哲, 西野智昭
2. 発表標題 タンタル酸化物薄膜中における分子接合の形成
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 小泉凌太, 相場諒, 金子哲, 西野智昭
2. 発表標題 一定電圧下での伝導度計測を用いた原子スイッチ内のフィラメント成長過程の追跡
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 小林柊司, 金子哲, 玉木孝, 塚越一仁, 西野智昭
2. 発表標題 主成分分析を用いたスピロピラン単分子接合のラマンスペクトルの解析
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 安楽岡浩司, 金子哲, 西野智昭
2. 発表標題 表面増強ラマン散乱による1,4-ベンゼンジチオール単分子接合の温度計測
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 一色裕次, 藤井慎太郎, 西野智昭
2. 発表標題 共役系サイズ変調による単分子の電気伝導度と電子構造変化
3. 学会等名 日本物理学会2021年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林 柊司, 金子 哲, 王 映樵, 前田 啓明, 福居 直哉, 西原 寛, 塚越 一仁, 西野 智昭
2. 発表標題 テルビリジン誘導体を架橋した単分子接合の電気伝導特性とSERSの計測
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 2020年

1. 発表者名 藤井 慎太郎, 長 はる菜, 西野 智昭, 木口 学
2. 発表標題 単分子熱起電力の機械的変調
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 2020年

1. 発表者名 金子哲, 安楽岡浩司, 小林柊司, 西野智昭
2. 発表標題 二置換ベンゼン誘導体を用いた単分子接合における表面増強ラマン散乱スペクトルの架橋構造依存性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西野智昭
2. 発表標題 電気伝導度計測に基づく単一分子化学
3. 学会等名 新世代研究所 界面ナノ科学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Harashima, T. Nishino
2. 発表標題 Highly conductive single-molecule junction spontaneously restored by DNA zipper
3. 学会等名 64th Annual Meeting of the Biophysical Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Aiba, R. Koizumi, S. Kaneko, T. Nishino
2. 発表標題 Filament Growth with Water Vapor in the Ta2O5-Based Atomic Switch
3. 学会等名 Functionalization and Flexible Device Application of Atomic Scale Organic and Inorganic Materials A3 Program Joint Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Isshiki, S. Fujii, T. Nishino
2. 発表標題 Development of STM-BJ System to Observe Fluctuation of Metal-Single Molecule Interface
3. 学会等名 Functionalization and Flexible Device Application of Atomic Scale Organic and Inorganic Materials A3 Program Joint Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Harashima, T. Nishino
2. 発表標題 Single-molecule Study of DNA Hybridization through Conductance Measurement for Kinetics on Metal Surface
3. 学会等名 Functionalization and Flexible Device Application of Atomic Scale Organic and Inorganic Materials A3 Program Joint Seminar (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Nishino
2. 発表標題 Single-molecule kinetics explored by conductance measurements using scanning tunneling microscopy
3. 学会等名 International Symposium on Molecular Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原島 崇徳、西野 智昭
2. 発表標題 電気伝導度計測に基づくDNA単分子接合の自己修復特性の開拓
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上 諒, 西野 智昭
2. 発表標題 分子探針を用いたSTM による単一分子のキラル識別
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張 月嬋, 西野 智昭
2. 発表標題 Y字型DNA単分子の電気伝導特性の解明
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上 諒, 西野 智昭
2. 発表標題 キラル分子探針を用いた電気伝導度計測に基づく表面単分子不斉識別
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川 雄祐, 原島 崇徳, 西野 智昭
2. 発表標題 伝導度計測に基づく単分子接合の熱力学的安定性の定量評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上 諒, 西野 智昭
2. 発表標題 キラル分子探針を用いた電気伝導度計測に基づく表面単分子不斉認識
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関 拓海, 西野 智昭
2. 発表標題 単分子スケールにおけるエレクトロクロミック分子の電子輸送特性の計測
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西野 智昭
2. 発表標題 DNA単一分子の相補鎖形成・破断反応の速度論的解析
3. 学会等名 NanoBio第12回若手ネットワーキングシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張月嬋, 西野智昭
2. 発表標題 Y字型DNA単分子の電気伝導特性の解明
3. 学会等名 新領域創成研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川雄祐, 原島崇徳, 西野智昭
2. 発表標題 伝導度計測に基づく単分子接合の熱力学的安定性の定量評価
3. 学会等名 新領域創成研究会2018
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 原島 崇徳, 西野 智昭
2. 発表標題 単分子伝導計測に基づく表面におけるDNAハイブリダイゼーションのダイナミクスの解明
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上 諒, 西野 智昭
2. 発表標題 キラル分子探針を用いた電気伝導度計測に基づく表面単分子不斉認識
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 雄祐, 原島 崇徳, 西野 智昭
2. 発表標題 伝導度計測に基づく単分子接合の安定性の定量的評価
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 雄祐, 原島 崇徳, 西野 智昭
2. 発表標題 伝導度計測に基づく単分子接合の熱力学的安定性の定量評価
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 張 月嬋, 西野 智昭
2. 発表標題 Y字型 DNA 単分子の電気伝導特性の解明
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 原島 崇徳, 西野 智昭
2. 発表標題 高分子による単分子接合の伝導特性評価
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 T. Nishino
2. 発表標題 Single-molecule kinetics explored by conductance measurements using scanning tunneling microscopy
3. 学会等名 International Symposium on Molecular Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Harashima, T. Nishino
2. 発表標題 Highly reproducible formation of polymer single-molecule junction for well-defined current signal
3. 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics (Elecmol) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Harashima, Y. Hasegawa, T. Ono, T. Nishino
2. 発表標題 Highly reproducible formation of polymer single-molecule junction for well-defined current signal
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Murakami, T. Nishino
2. 発表標題 Single-molecule chiral recognition based on conductance measurement using chiral molecular tips
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hasegawa, T. Harashima, T. Nishino
2. 発表標題 Quantitative evaluation of stability of single-molecule junction based on conductance measurement
3. 学会等名 ACSIN-14 & ICSPM26 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本表面真空学会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 576
3. 書名 図説 表面分析ハンドブック	

〔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	椎木 弘  (Shiigi Hiroshi)  (70335769)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授     (24403)	

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