

令和元年6月11日現在

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26102013

研究課題名(和文) 単一 造形システムの物性解明

研究課題名(英文) Investigation on the property of the single pi-systems

研究代表者

木口 学 (Kiguchi, Manabu)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：70313020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 39,520,000円

研究成果の概要(和文)：単一 造形分子の電気伝導特性と熱電特性の解明に成功した。特に反芳香族分子であるノルコロールを用いて顕著な成果を得る事ができた。ノルコロール、比較対象として類似の構造をもつ芳香族分子ポルフィリンについて、走査型トンネル顕微鏡を用いた電気伝導度計測をした。結果、ノルコロールは20倍近く電気伝導度が高いことが分かった。電気化学電位を制御した電子輸送特性依存性及び、理論計算と組み合わせることによりノルコロールでは電子輸送をになう軌道とフェルミエネルギーとの差が小さく、電子輸送の際の障壁が小さいことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では単一 造形分子の電気伝導特性と熱電特性の解明及び、単一 造形分子の物性制御に成功した。例えば 造形分子の特性を用いる事に従来よりもはるかに高い電気伝導性を示す単分子回路の作製に成功した。また、単一 造形分子に機械的な応力を加えることで反応障壁を減少させ反応を誘起させることに成功した。本研究により発見された単一 造形分子の物性は新たな分子素子の創製や反応場の設計に役立つ知見である。

研究成果の概要(英文)：We investigated the electron transport and thermal transport property of the single molecule junctions of the pi molecules. For example, we were able to fabricate the highly-conducting molecular circuits based on antiaromaticity. We measured the electron transport property of antiaromatic norcorrole-based Ni(II) complex (Ni(nor)) and porphyrin-based aromatic counterpart (Ni(porph)) using scanning electron microscope (STM). As a result, the electron transport property of Ni(nor) was drastically improved compared with Ni(porph). Single-molecule current voltage measurements and ab initio transport calculations reveal that this results from a reduced energy gap and a frontier molecular resonance closer to the Fermi level in the antiaromatic species. The conductance of the antiaromatic complex is further modulated electrochemically, demonstrating its potential as a high-conductance transistor.

研究分野：機能物性化学

キーワード：分子 単分子接合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の有機エレクトロニクスはシリコン中心の無機物質に代わる新しい物質として注目を集めており、実用化に向けて活発に研究がなされている。その発展を支えているのは電子系の科学であり、今後有機エレクトロニクス科学を進展させるためには革新的な電子系の発展が必要不可欠であった。特に、電子に固有な性質に基づく機能(Intrinsic- ), 電子系の動的特性に基づく機能(dynamic- ), 電子の力学的・機械的特性に基づく機能(Elastic- )を引き出すことにより、従来にはない電子系の科学を開拓する事ができる。単分子接合は2つの金属-分子界面を有する1次元ナノ構造体であり、バルクにはない新規物性の発現、分子エレクトロニクスへの応用が期待され注目を集めている物質相である。金属電極間に直接電子系を持つ分子を架橋させることにより、分子の機能を引き出し、新たな機能の発現が期待される。我々は分子をはじめ様々な分子の単分子接合を作製、接合構造の同定、電子輸送特性の計測を通して、単分子の電子輸送特性の解明を行ってきた。一方で、共役分子を分子レベルで整列させることや、機能発現が期待される造形分子を電極に接続する事は困難であったため、分子間の物質輸送や単一造形分子の物質輸送の解明が困難な状況であった。

### 2. 研究の目的

本研究では様々な造形分子(造形システム)に対し、申請者が確立してきた単一分子計測技術を適用することで、単一分子から少数の造形システムに特徴的な Intrinsic, Elastic, Dynamic- 機能の発現させ、その機能発現機構の解明を目指した。A01, A02 班に所属する合成系の研究者と緊密に連携をとることにより、機能発現が期待される単一造形システムの構築を行い、物性計測を行う。特に、分子間の相互作用に由来する特異な電気、磁気的特性の発現が期待される造形システムについて、申請者の確立してきた単分子計測技術を適用することで、孤立造形システムに特徴的な Intrinsic- 機能の発現機構の解明を試みた。続いて、孤立造形システムに、光、電場、磁場、機械的応力などの外部摂動を加えることにより、Intrinsic - 機能を自在に制御し、更に特異な Elastic, Dynamic- 機能を発現させることを目指した。

### 3. 研究の方法

単一造形システムの電子物性計測のため電気化学走査型トンネル顕微鏡(STM)システムの改良を行い、低伝導度を示す単一造形分子の物性探索が可能になるようにした。除振機構を新たに構築し、高精度の電流増幅アンプを新たに組み込んだ。A01 班,A02 班との議論を通し、単一造形分子システムの設計を行った。構築した計測システムを造形分子に適用し造形システムに特徴的な電子物性計測を行った。更に、電気化学ポテンシャルの変調や力学的応力を印加させた際の単一造形分子の物性計測を行い、新奇造形分子の物性探索とその機能の発現機構の解明を行った。

単一分子の観測及び、単分子接合の作製には STM を用いた。STM の高い空間分解能と高精度の電流検出機能を用い単分子の電流の検出を行った。単分子接合の作製には break junction 法を用いた。基板上に造形分子の自己組織化膜を形成させたのち探針を基板上に近づけ繰り返し破断させることにより作製した。

### 4. 研究成果

単一造形分子の電子物性及び熱電特性を中心に研究を展開した。単分子接合の電子輸送特性および熱電計測に関する計測システムを構築し、様々な単一造形分子に適用することで様々な造形分子の Intrinsic, Elastic, Dynamic- 機能の発現を観測し、機構解明を行う事に成功した。特に単一造形分子の電子物性制御及び、単一造形システムの物性の力学的変調特性について顕著な成果が得られたため以下に報告する。

(単一造形分子の電子物性制御)

単一造形分子の電気伝導特性と熱電特性の解明および電気伝導特性制御を行った。特に分子を集積させたスタック分子と反芳香族分子を用いて顕著な成果を得る事ができた。スタック分子に関しては Au イオンを含む積層分子(イオンワイヤ)の電気伝導特性について一定の成果を得た。STM を用いた単分子の電気伝導度計測により、単分子接合の電気伝導度を  $3.9 \times 10^{-4} G_0$  (AuAg\_wire 1)、 $1.6 \times 10^{-4} G_0$  (AuAg\_wire 2)と決定した。ここで量子化コンダクタンス  $G_0$  は、 $G_0 = 2e^2/h$  ( $77.5 \times 10^{-6} S$ ) である。一方、Ag イオン挿入前の Au イオンワイヤの電気伝導度は  $5.7 \times 10^{-3} G_0$  (Au\_wire 1)、 $5.1 \times 10^{-3} G_0$  (Au\_wire 2)である。Au イオンワイヤに Ag イオンを挿入することで、電気伝導度が一桁以上低下することが分かった。数ナノスケールの分子接合にお

いて、その電気伝導度  $G$  は  $G \sim \exp(-L/\lambda)$  ( $\lambda$ : 減衰定数、 $L$ : ワイヤ長) で表される。減衰定数は電子の輸送し易さの指標であり、その値が小さいほど、より遠くまで電気を流し易い。AuAg バイメタルイオンワイヤでは  $\lambda$  の値は 0.25 で、Au イオンワイヤでは  $\lambda$  の値は 0.05 となり、 $\lambda$  の値が Ag イオン挿入により大きく増加している。異種金属挿入により、電気伝導パスである Au イオンワイヤの原子間距離が開き伝導軌道の重なりが小さくなったため、電気伝導度が減少するとともに減衰定数が増加したと考えられる。以上より、金属イオンを含む 分子間の電子輸送特性の解明を行うことに成功した。

次に、反芳香族分子ノルコロール、比較対象として類似の構造をもつ芳香族分子ポルフィリンについて STM を用いて単分子計測を行った。単分子伝導度の統計的解析から反芳香族分子の伝導度は  $4.2 \times 10^{-4} G_0$ 、芳香族分子の伝導度は  $1.7 \times 10^{-5} G_0$  と求まった。以上の計測から、反芳香族分子が芳香族分子と比較して 20 倍近く電気伝導性が高いことが分かった。さらに、反芳香族分子の高い電子伝導性の起源を実験的に明らかにするために、電流電圧特性を計測した。単分子の電流 電圧特性の解析から分子軌道と金属電極のフェルミ準位のエネルギー差を求めることが出来る。芳香族分子のポルフィリンでは分子軌道がフェルミ準位から 0.8 eV の位置にあるのに対し、反芳香族分子であるノルコロールでは 0.5 eV と、フェルミ準位により近い位置にあることが分かった。単分子を流れる電子は、分子軌道とフェルミ準位のエネルギー差に相当する障壁を感じて伝導する。このことから、反芳香族分子の方が障壁が低く、効率的に電子を伝導したことになる。並行して、第一原理計算に基づいた電子輸送シミュレーションを行い、実験的に求めた電子状態、伝導特性を定量的に再現することができた。次に電気化学を利用することで電気伝導度の変調を試みた。電気化学では、電気化学電位により電極のフェルミ準位を上下させ、分子軌道とフェルミ準位のエネルギー差を制御することで、著しく電気伝導度が増大した。以上、反芳香族分子の優れた電子伝導特性を単分子レベルで解明と制御に世界で初めて成功した。

(単一 造形分子の物性変調)

造形分子の物性変調に関しては特にスマネン分子を用いて顕著な成果を得る事ができた。STM を用いて、Au 表面上にスマネン分子が自己集積化した単分子膜を形成する事が分かった。また STM 像がバイアス電圧に依存して、ハチの巣構造と六角形の構造に変化する様子が観察された。理論計算を行い、状態密度、波動関数の空間分布、吸着エネルギー等を求め、実験結果と比較する事で、スマネン分子は上向きの配向 "Bowl-up" で Au 表面上に吸着している事、吸着サイトとして atop と hollow が混在する超構造を形成している事が明らかとなった。更に観測された輝点を詳細に解析する事で、明るい輝点と暗い輝点の 2 種類の輝点が存在する事が明らかとなった。理論計算と比較する事で、明るい輝点は下向きの配向 "Bowl-down" の吸着構造になっている事が分かった。続いて、探針誘起の吸着構造制御に挑戦した。探針をスマネン単分子に近づける事で安定な "Bowl-up" の状態から "Bowl-down" へ、逆に "Bowl-down" の状態から "Bowl-up" の状態へ可逆的にスイッチ出来た。興味深い事に、このスイッチ現象はバイアス電圧を小さくする程頻繁に観測された。この結果はスマネン分子における二つの状態間におけるスイッチング現象が電子による振動励起などによって誘起されるのではなく、探針 - 分子間相互作用の増加により誘起された事を示している。バイアス電圧を小さくすると、トンネル電流を一定に保とうとするので探針 - 分子間の距離が小さくなり、探針 - 分子間相互作用が増加する。理論計算により、反転に伴う活性化エネルギーを評価したところ、表面上に吸着した状態から探針を近づけたことによって、反転の活性化障壁が低減する事が明らかとなった。

以上より単分子計測により 造形分子に特徴的な機能を発現させ、更に動的な電子物性の制御に成功した。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 41 件)

1. **M. Kiguchi**, A. Aiba, S. Fujii, S. Kobayashi, "Surface enhanced Raman scattering on molecule junction", *Appl. Mater. Today*, 14, 76-83 (2019). (DOI: 10.1016/j.apmt.2018.10.008) (査読有)
2. S. Kaneko, K. Yasuraoka, **M. Kiguchi**, "Bias Voltage Induced SERS Enhancement on the Single Molecule Junction", *J. Phys. Chem. C*, 123, 6502-6507 (2019). (DOI: 10.1021/acs.jpcc.8b11595) (査読有)
3. S. Fujii, F. Ishiwari, Y. Komoto, L. Su, Y. Yamagata, A. Kosaka, A. Aiba, T. Nishino, T. Fukushima, **M. Kiguchi**, "Control of Molecular Orientation in Single-Molecule Junction with Tripodal Triptycene Anchoring Unit: Toward Simple and Facile Single-Molecule Diode", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 58, 035003 (2019). (DOI: 10.7567/1347-4065/ab0436) (査読有)
4. F. Ishiwari, G. Nascimbeni, E. Sauter, H. Tago, Y. Shoji, S. Fujii, **M. Kiguchi**, T. Tada, M. Zharnikov, E. Zojer, T. Fukushima, "Triptycene Tripods for the Formation of Highly Uniform and

- Densely Packed Self-Assembled Monolayers with Controlled Molecular Orientation”, *J. Am. Chem. Soc.*, 141, 5995-6005 (2019). (DOI: 10.1021/jacs.9b00950) (査読有)
5. **M. Kiguchi**, “Studies on the single molecule bridging metal electrodes: development of new characterization technique and functionalities”, *Proc. Jpn. Aca. B*, 94, 350-359 (2018). (DOI: 10.2183/pjab.94.023) (査読有)
  6. M. Iwane, T. Tada, T. Osuga, T. Murase, M. Fujita, T. Nishino, **M. Kiguchi**, S. Fujii, “Controlling Stacking Order and Charge Transport in pi-Stacks of Aromatic Molecules Based on Surface Assembly”, *Chem. Commun.*, 54, 12443-12446 (2018). (DOI: 10.1039/C8CC06430J) (査読有) (**Inside front cover に採択**)
  7. Y. Tanaka, Y. Kato, T. Tada, S. Fujii, **M. Kiguchi**, M. Akita, ““Doping” of Polyynes with An Organometallic Fragment Leads to Highly Conductive Metallapolyne Molecular Wire”, *J. Am. Chem. Soc.*, 140, 10080-10084 (2018). (DOI: 10.1021/jacs.8b04484) (査読有)
  8. Y. Matsuzawa, S. Kaneko, S. Fujii, T. Nishino, K. Tsukagoshi, **M. Kiguchi**, “Photochemical Reaction Using Aminobenzenethiol Single Molecular Junction”, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 16, 137-141 (2018). (DOI: 10.1380/ejssnt.2018.137) (査読有)
  9. Y. Komoto, Y. Yamazaki, Y. Tamaki, M. Iwane, T. Nishino, O. Ishitani, **M. Kiguchi**, S. Fujii, “Single Ruthenium Tris Bipyridine Molecular Junction having Multiple Joint Configurations”, *Chem. Asian J.*, 13, 1297-1301 (2018). (DOI: 10.1002/asia.201800166) (査読有) (**表紙絵に採択**)
  10. Y. Isshiki, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Fluctuation in Interface and Electronic Structure of Single-Molecule Junctions Investigated by Current versus Bias Voltage Characteristics”, *J. Am. Chem. Soc.*, 140, 3760-3767 (2018). (DOI: 10.1021/jacs.7b13694) (査読有) (**化学工業日報 3月15日、科学新聞 3月23日掲載**)
  11. Y. Isshiki, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Impact of junction formation process on single molecular conductance”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 20, 7947-7952 (2018). (DOI: 10.1039/C8CP00317C) (査読有) (**Back cover に採択**)
  12. Y. Isshiki, Y. Matsuzawa, S. Fujii, **M. Kiguchi**, “Investigation on Single-Molecule Junction Based on Current-Voltage Characteristics”, *Micromachines* 9, 67 (2018). (DOI: 10.3390/mi9020067) (査読有)
  13. Y. Komoto, S. Fujii, **M. Kiguchi**, “Single-molecule junction of  $\pi$  molecule”, *Mater. Chem. Front*, 2, 214-218 (2018). (DOI: 10.1039/C7QM00459A) (査読有)
  14. M. Koike, S. Fujii, H. Cho, Y. Shoji, T. Nishino, T. Fukushima, **M. Kiguchi**, “Single-molecule junction of an overcrowded ethylene with binary conductance states”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 57, 03EG05/1-4 (2018). (DOI: 10.1039/C7QM00459A) (査読有)
  15. S. Fujii, S. Marqués-González, J.-Y. Shin, H. Shinokubo, T. Masuda, T. Nishino, N. P. Arasu, H. Vázquez, **M. Kiguchi**, “Highly-conducting molecular circuits based on antiaromaticity”, *Nat. Comm.*, 8, 15984 (2017). (DOI: 10.1038/ncomms15984) (査読有)
  16. M. Iwane, S. Fujii, **M. Kiguchi**, “Molecular diode studies based on a highly sensitive molecular measurement technique”, *Sensors*, 17, 956 (2017). (DOI: 10.3390/s17050956) (査読有)
  17. S. Kaneko, R. Takahashi, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Process and Atomic Structures of Single Pyrazine Molecular Junction by Tuning the Strength of the Metal-Molecule Interaction”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 19, 9843-9848 (2017). (DOI: 10.1039/c6cp08862g) (査読有)
  18. S. Kaneko, Y. Hashikawa, S. Fujii, Y. Murata, **M. Kiguchi**, “Single Molecular Junction Study on  $\text{H}_2\text{O}@C_{60}$ :  $\text{H}_2\text{O}$  is “Electrostatically Isolated””, *ChemPhysChem*, 18, 1-6 (2017). (DOI: 10.1002/cphc.201700173) (査読有)
  19. Y. Komoto, S. Fujii, **M. Kiguchi**, “Statistical I-V measurements of single-molecule junctions with an asymmetric anchoring group, 1,4-aminobenzenethiol”, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 8, 025007 (2017). (DOI: 10.1088/2043-6254/aa5e24) (査読有)
  20. Y. Komoto, Y. Isshiki, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Evaluation of Electronic Structure of the Single-molecule Junction Based on Current-Voltage Measurement and Thermopower Measurement-Application to  $C_{60}$  Single-molecule Junction”, *Chem. Asian J.*, 12, 440-445 (2017). (DOI: 10.1002/asia.201601392) (査読有)
  21. S. Fujii, M. Ziatdinov, S. Higashibayashi, H. Sakurai, **M. Kiguchi**, “Bowl Inversion and Electronic Switching of Buckybowls on Gold”, *J. Am. Chem. Soc.*, 138, 12142-12149 (2016). (DOI: 10.1021/jacs.6b04741) (査読有)
  22. **M. Kiguchi**, S. Fujii, “Governing the Metal-Molecule Interface: Towards New Functionality in Single-Molecule Junctions”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 90, 1-11 (2016). (DOI: 10.1246/bcsj.20160229) (査読有)
  23. Y. Komoto, S. Fujii, M. Iwane, **M. Kiguchi**, “Single-Molecule Junction for Molecular Electronics”, *J. Mater. Chem. C*, 4, 8842-8858 (2016). (DOI: 10.1039/C6TC03268K) (査読有)
  24. S. M. Gonzalez, S. Fujii, T. Nishino, Y. Shoji, F. Ishiwari, T. Fukushima, **M. Kiguchi**, “Scanning Tunneling Microscopy Analysis of Octameric o-Phenylenes on Au(111)” *Rsc. Adv.*, 6, 55970-55975, (2016). (DOI: 10.1039/C6RA07173B) (査読有)

25. Y. Komoto, S. Fujii, H. Nakamura, T. Tada, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Resolving metal-molecule interfaces at single-molecule junctions”, *Sci. Rep.*, 6, 26606/1-9 (2016). (DOI:10.1038/srep26606) (査読有)
26. S. Fujii, S. Kanae, M. Iwane, T. Nishino, T. Osuga, T. Murase, M. Fujita, **M. Kiguchi**, “Effect of the Ag Ion Insertion on Electron Transport through Au Ion Wires”, *Chem. Lett.*, 45, 764-766 (2016). (DOI: 10.1246/cl.160286) (査読有)
27. M. Iwane, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “Single Tripyridyl-Triazine Molecular Junction with Multiple Binding Sites” *J. Phys. Chem. C*, 120, 8936-8940 (2016). (DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12728) (査読有)
28. S. Kaneko, D. Murai, S. Fujii, **M. Kiguchi**, “Surface enhanced Raman scattering of single 1,4-benzendithiol molecular junction”, *Int. J. Mod. Phys. B*, 30, 1642010/1-7 (2016). (DOI: 10.1142/S0217979216420108) (査読有)
29. S. Kaneko, D. Murai, S. M. Gonzalez, H. Nakamura, Y. Komoto, S. Fujii, T. Nishino, K. Ikeda, K. Tsukagoshi, **M. Kiguchi**, “Site selection in single-molecule junction for highly reproducible molecular electronics”, *J. Am. Chem. Soc.*, 138, 1294-1300 (2016). DOI: 10.1021/jacs.5b11559) (査読有)
30. K. Sugimoto, Y. Tanaka, S. Fujii, T. Tada, **M. Kiguchi**, M. Akita, “Organometallic Molecular Wires as Versatile Modules for Energy-Level Alignment of the Metal-Molecule-Metal Junction”, *Chem. Comm.*, 52, 5796-8799 (2016). (DOI: 10.1039/C6CC01705C) (査読有)
31. S. Kaneko, Y. Nakamura, R. Matsushita, S. Marques-Gonzalez, **M. Kiguchi**, “Simultaneous Measurement of Electrical Conductance and Thermopower of Single Benzenedithiol Molecular Junctions”, *Appl. Phys. Exp.*, 8, 065201/1-4 (2015). (DOI:10.7567/APEX.8.065201) (査読有)
32. Y. Komoto, S. Fujii, T. Nishino, **M. Kiguchi**, “High electronic couplings of single mesitylene molecular junctions”, *Beilstein J. Nanotech.*, 6, 2431-2437 (2015). (DOI: 10.3762/bjnano.6.251) (査読有)
33. J. Inatomi, S. Fujii, S. M. Gonzalez, H. Masai, Y. Tsuji, J. Terao, **M. Kiguchi**, “Effect of Mechanical Strain on Electric Conductance of Molecular Junctions”, *J. Phys. Chem. C*, 119, 19452-19457 (2015). (DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b04386) (査読有)
34. S. Fujii, S. Kaneko, L. Chenyang, **M. Kiguchi**, “Single naphthalene and anthracene molecular junctions using Ag and Cu electrodes in ultra high vacuum”, *Appl. Surf. Sci.*, 354, 362-366 (2015). (DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.05.071) (査読有)
35. S. M. Gonzalez, R. Matsushita, **M. Kiguchi**, “Surface enhanced Raman scattering of molecules in metallic nanogaps”, *J. Optics*, 17, 114001/1-14 (2015). (DOI: 10.1088/2040-8978/17/11/114001) (査読有)
36. S. Fujii, T. Tada, Y. Komoto, T. Osuga, T. Murase, M. Fujita, **M. Kiguchi**, “Rectifying electron-transport properties through stacks of aromatic molecules inserted into a selfassembledcage”, *J. Am. Chem. Soc.* 137, 5939-5947 (2015). (DOI: 10.1021/jacs.5b00086) (査読有)
37. C. Liu, S. Kaneko, Y. Komoto, S. Fujii, and **M. Kiguchi**, “Highly conductive single naphthalene and anthracene molecular junction with well-defined conductance” *Appl. Phys. Lett.*, 106, 103103/1-4 (2015). DOI: 10.1063/1.4914501) (査読有)
38. S. Kaneko, Y. Nakamura, **M. Kiguchi**, J. Zhang, X. Yang, J. Zhao, “Formation of Single Cu Atomic Chain in Nitrogen Atmosphere”, *J. Phys. Chem. C*, 119, 862-866 (2015). (DOI: 10.1021/jp510916h) (査読有)
39. S. Fujii, M. Ziatdinov, M. Ohtsuka, K. Kusakabe, **M. Kiguchi**, T. Enoki, “Role of edge geometry and chemistry in the electronic properties of graphene nanostructures”, *Faraday Discussion*, 173, 173-199 (2014). (DOI: 10.1039/C4FD00073K) (査読有)
40. J. Terao, K. Homma, Y. Konoshima, M. Taniguchi, **M. Kiguchi**, Y. Komoto, M. Horikawa, Y. Naito, T. Fujihara, Y. Tsuji, “Molecular Wiring Method Based on Polymerization or Co-polymerization of an Insulated  $\pi$ -Conjugated Monomer”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 87, 871-873 (2014). (DOI: 10.1246/bcsj.20140082) (査読有)
41. **M. Kiguchi**, T. Ohto, S. Fujii, K. Sugiyasu, S. Nakajima, M. Takeuchi, and H. Nakamura, “Single molecular resistive switch obtained via sliding multiple anchoring points and varying effective wire length”, *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 7327-7332 (2014). (DOI: 10.1021/ja413104g) (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. **M. Kiguchi**, “Characterization of Molecular Adsorption Site of Single Molecular Device based on Simultaneous SERS and Electrical Measurement”, *ECOSS34*, Aarhus (Denmark), 2018/8/28.
2. **木口学**, “機械的な力を利用した単分子メモリの開発” 日本化学会第 97 春季年会, 横浜, 2017/3/19. (招待講演).
3. **M. Kiguchi**, “Single Molecular Spectroscopy for Single Molecular Junction”, *Nippon-Taiwan Workshop on Innovation of Emergent Materials*, 関西学院大学, 神戸三田キャンパス, 西宮

(兵庫), 2017/2/20. (招待講演).

4. **木口学**, “界面制御に基づく単分子接合の新機能の開拓およびその発現機構の解明”, *日本化学会第96回年会*, 同志社大学京田辺キャンパス, 京田辺(京都), 2016/3/26 (招待講演).
5. **M. Kiguchi**, “Single Molecular Devices using Supermolecules”, *Pacificchem 2015*, Honolulu, Hawaii, USA, 2015/12/15 (招待講演).
6. **M. Kiguchi**, “Single Molecular Device using STM”, *ECN-2015*, オデッサ, ウクライナ, 2015/9/5 (招待講演).
7. **木口学**, “単分子接合におけるダイオード、スイッチング特性”, *物性研究所短期研究会*, 柏, 2015/6/24 (招待講演).
8. **木口学**, “STM を用いた単分子デバイス計測”, *日本化学会第95回春季年会*, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 船橋 (千葉) 2015/3/26 (招待講演).
9. **M. Kiguchi**, S. Fujii, S. Nakajima, T. Ohto, H. Nakamura, K. Sugiyasu, M. Takeuchi, “Single Molecular Resistive Switch Showing Three Distinct Conductance States” *ECOSS30*, Antalya (Turkey), 2014/9/2 (招待講演).
10. **M. Kiguchi**, “Single Molecular Dynamics Using the Surface Enhanced Raman Scattering” *van der Waals colloquium*, Leiden (Netherlands), 2014/9/5 (招待講演).

[ 図書 ] (計 0 件)

[ 産業財産権 ]

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年 :  
国内外の別 :

[ その他 ]

ホームページ等

<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~kiguti/>

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 (8 桁) :

(2)研究協力者

該当なし

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。