

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04942

研究課題名(和文) Microspot光電子顕微鏡による表面プラズモンのイメージング

研究課題名(英文) Imaging of surface plasmons with a microspot photoelectron microscopy

研究代表者

渋田 昌弘 (Shibuta, Masahiro)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70596684

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：次世代のフォトニクスやエレクトロニクスを支える無輻射の物理現象である表面プラズモンポラリトン(SPP)は、金属-誘電体の界面で光速に近い速度で伝搬する電荷の集団振動であり、これを精密に可視化する技術が求められている。本研究では先端パルスレーザー光源と光電子顕微鏡とを巧みに組み合わせることでSPPの伝搬を可視化するとともにレーザー照射条件を制御したイメージを解析することで、SPP伝搬速度などの物理特性を極めて正確に評価できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速情報通信や高効率光電変換(太陽電池)などの分野においては、SPPの効果を駆使したデバイス(プラズモニックデバイス)等の設計が不可欠である。本研究で確立したSPPの可視化と精密物性評価の方法論は、より高度なプラズモニックデバイス等の設計指針を得る上で極めて重要な基盤技術であり、当該分野の発展を更に加速させるものである。

研究成果の概要(英文)：Surface plasmon polaritons are non-radiative electromagnetic waves propagating at an interface between metal and dielectric media. To utilize the SPPs for photonics or electronics in the next generation, it is crucial to visualize SPPs with some microscopic method. In this research, the propagating SPPs has been successfully imaged by combining an advanced pulsed laser source and a photoelectron emission microscopy. Furthermore, it has been demonstrated that the physical properties of SPPs, e.g. propagating SPP velocity, can be precisely characterized by analyzing the images taken with different laser conditions.

研究分野：物理化学

キーワード：表面プラズモンポラリトン 光電子顕微鏡 フェムト秒レーザー プラズモニックデバイス

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光とプラズモンの結合量子状態である、表面プラズモンポラリトン (SPP) は、金属と誘電体の界面を伝搬する電子の集団振動 (伝搬型 SPP) であり、光エネルギーの高効率利用、センシング、情報伝達手段など、次世代フォトニクスとエレクトロニクスを支える基盤技術 (プラズモニクス) として研究が加速している。SPP の励起効率や伝搬様式は金属のナノ構造や誘電体の誘電率や膜厚に極めて敏感であることが知られているものの、SPP 励起を発端とした光エネルギーの時間・空間発展やそれに伴う他の量子系との相互作用といった機能の本質は未だ十分に理解されていないのが現状である。SPP を応用したデバイス (プラズモニックデバイス) 等の高機能化を進めるためには、光励起された SPP の伝搬、減衰様式を観測するとともに、その物理特性を明らかにすることが不可欠である。しかし SPP は無輻射過程であり通常の光学顕微鏡などでは観測することが難しいため、これを高精度で捉える新しいイメージング技術の確立が強く求められている。

2. 研究の目的

本研究では、SPP の可視化と波動物理特性の評価をフェムト秒レーザーと光電子顕微鏡を高度に組み合わせた時間分解光電子顕微鏡を開発することによって達成する。プラズモニック基本構造を施した金属 - 誘電体界面を対象に、レーザー光の照射条件、波長、遅延時間を巧みに制御した精密評価を実現し、当該手法をプラズモニックナノデバイスの高精度評価の方法論として確立することが目的である。

3. 研究の方法

SPP を活用したプラズモニックナノデバイスの基本構造は金属表面上の SPP カブラ (ドットや溝構造など) と誘電体薄膜で形成されている。誘電体薄膜の種類や膜厚は SPP の伝搬特性を大きく変調させるため、膜の均一性や膜厚の精密制御が不可欠である。本研究では真空蒸着や液相での自己組織化法により、分子レベルで制御された結晶性の高い有機誘電体薄膜を金 (Au) 基板上に作製することで、プラズモニックナノデバイスのモデル試料を作製した。

SPP 観測のために開発した時間分解光電子顕微鏡は、近赤外 (NIR) フェムト秒光パルスを用いたナノスケールの SPP カブラ構造に集光し、もう 1 つの同じ波長の光パルスと励起した SPP とが干渉することで生じる表面局所分極を、紫外プローブパルスにより放出される光電子の空間分布として検出する。このシステムは本研究で独自に構築したものであり、応用の観点から SPP の利用価値が高い NIR 波長領域での SPP を光電子で検出することを可能にしている。

4. 研究成果

(1) プラズモニック光電変換素子として変換効率の向上が期待されている金属 - 有機機能性半導体界面を伝搬する SPP に注目して研究を推進した。本成果では、電子輸送材料として用いられるフラレン (C_{60}) を金 (111) 基板上に蒸着し、時間分解光電子顕微鏡により観測したところ、界面において伝搬する SPP を明瞭に観測した。分子層の厚さを変えて観測を行うと、SPP の伝搬特性が分子 1 層分の膜厚変化でも変調する様子が観測された。さらに、イメージングの励起波長依存性および時間分解計測から SPP の分散、位相速度、群速度といった波動物理特性を精密に評価できることを示した。これらのことから、時間分解光電子顕微鏡により SPP 伝搬の可視化と波動物理特性の評価が極めて高精度で実現できることを示した。

(2) さらに、 C_{60} の膜厚が大きくなると (20 nm)、光電子の信号が殆ど観測されなくなり、時間分解光電子顕微鏡では厚い誘電体に「埋もれた界面」の SPP 評価が困難となることが分かった。この課題を解決するために、試料の表面に SPP イメージングの増感剤として気相合成した銀ナノクラスターを僅かに蒸着して観測を行ったところ、銀ナノクラスターから放出される強い光電子信号により、「埋もれた界面」を伝搬する SPP を可視化できることを世界で初めて実証した (図 1)。この成果は SPP のイメージングにおいて表面からの光電子を検出するという本手法の本質的な制約を克服し、プラズモニック試料の観測対象を画期的に拡げることに繋がっており、プラズモニクス研究の新しい潮流を生み出している。

(3) 上記の成果においてみられた銀ナノクラスター担持による光電子増強のメカニズムを明らかにするために、 C_{60} 薄膜上の銀ナノクラスター担持試料につ

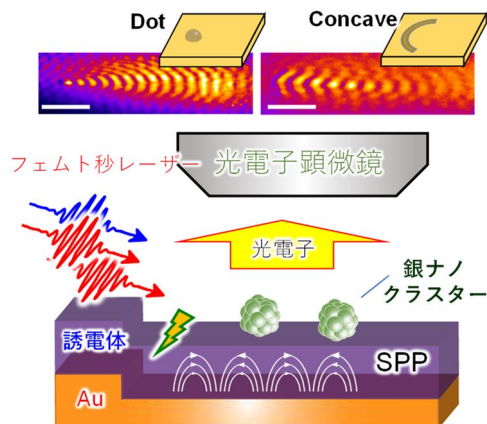


図 1. 時間分解光電子顕微鏡による SPP 可視化の模式図。(上) SPP カブラ (ドットや凹レンズ構造) 構造から光の入射方向に沿って SPP が界面を伝搬の様子が観測された。

いてフェムト秒レーザー励起で検出される光電子の運動エネルギー分布を観測したところ、銀ナノクラスターの局在表面プラズモン励起が光電子増強に強く関与していることが分かった。さらに、ナノクラスターを構成する銀原子の数を制御した質量選別ナノクラスター蒸着機構を用いた光電子計測により、構成原子数が9個（9量体）以上において局在プラズモン応答に由来する光電子増強が確認された。このことから、原子が凝集し「集合体」としての物性である表面プラズモン特性が現れる原子数閾値を初めて明らかにした。この成果は SPP と局在表面プラズモンを融合したプラズモニックデバイスの更なる高度化への指針を与えるものであり、本研究の推進により当初の計画をさらに発展させた研究を展開することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shibuta Masahiro, Yamamoto Kazuo, Ohta Tsutomu, Inoue Tomoya, Mizoguchi Kaito, Nakaya Masato, Eguchi Toyoaki, Nakajima Atsushi	4. 巻 15
2. 論文標題 Confined Hot Electron Relaxation at the Molecular Heterointerface of the Size-Selected Plasmonic Noble Metal Nanocluster and Layered C60	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 1199 ~ 1209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c08248	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 Shibuta Masahiro, Takano Ryota, Nakajima Atsushi	4. 巻 124
2. 論文標題 Interfacial Oxidation of Ta-Encapsulating Si16 Cage Superatoms (Ta@Si16) on Strontium Titanate Substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 28108 ~ 28115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c08813	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 Stallberg Klaus, Shibuta Masahiro, Hoefer Ulrich	4. 巻 102
2. 論文標題 Temperature effects on the formation and the relaxation dynamics of metal-organic interface states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 121401-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.121401	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 Inoue Tomoya, Shibuta Masahiro, Suzuki Toshiyasu, Nakajima Atsushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Occupied and Unoccupied Levels of Half-Fluorinated and Perfluorinated Rubrene Thin Films Probed by One- and Two-Photon Photoemission	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry 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.0c01162	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 Yamagiwa Kana, Shibuta Masahiro, Nakajima Atsushi	4. 巻 14
2. 論文標題 Visualization of Surface Plasmons Propagating at the Buried Organic/Metal Interface with Silver Nanocluster Sensitizers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 2044 ~ 2052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b08653	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 Shibuta Masahiro, Yamamoto Kazuo, Guo Hongli, Zhao Jin, Nakajima Atsushi	4. 巻 124
2. 論文標題 Highly Dispersive Nearly Free Electron Bands at a 2D-Assembled C60 Monolayer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 734 ~ 741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10006	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 Shibuta Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Study on Electron Dynamics at Nanoscale Functional Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Science	6. 最初と最後の頁 A0105 ~ A0105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3175/molsci.13.A0105	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 Eguchi Toyooki, Hirata Naoyuki, Shibuta Masahiro, Tsunoyama Hironori, Nakajima Atsushi	4. 巻 122
2. 論文標題 Formation of Highly Ordered Semiconducting Anthracene Monolayer Rigidly Connected to Insulating Alkanethiolate Thin Film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 26080 ~ 26087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b08907	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 Tsunoyama Hironori, Ito Haruchika, Komori Masafumi, Kobayashi Ryota, Shibuta Masahiro, Eguchi Toyoaki, Nakajima Atsushi	4. 巻 8
2. 論文標題 Liquid-phase catalysis by single-size palladium nanoclusters supported on strontium titanate: size-specific catalysts for Suzuki-Miyaura coupling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 5827 ~ 5834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8cy01645c	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 Shibuta Masahiro, Niikura Toshiaki, Kamoshida Toshiaki, Tsunoyama Hironori, Nakajima Atsushi	4. 巻 20
2. 論文標題 Nitric oxide oxidation of a Ta encapsulating Si cage nanocluster superatom (Ta@Si16) deposited on an organic substrate; a Si cage collapse indicator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 26273 ~ 26279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8cp05580g	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 Shibuta Masahiro, Kamoshida Toshiaki, Ohta Tsutomu, Tsunoyama Hironori, Nakajima Atsushi	4. 巻 1
2. 論文標題 Oxidative reactivity of alkali-like superatoms of group 5 metal-encapsulating Si16 cage nanoclusters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 50-1 ~ 50-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-018-0052-9	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 Tsunoyama Hironori, Shibuta Masahiro, Nakaya Masato, Eguchi Toyoaki, Nakajima Atsushi	4. 巻 51
2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Metal-Encapsulating Si16 Cage Superatoms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 1735 ~ 1745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.8b00085	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32件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 横山高穂, 千葉竜弥, 平田直之, 洪田昌弘, 中嶋敦
2. 発表標題 気相精密大量合成とソフトランディング法による超原子ナノクラスター集積膜の作製とその電気特性評価
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Inoue, M. Shibuta, T. Suzuki, A. Nakajima
2. 発表標題 Occupied and Unoccupied Levels of Half- and Per- Fluorinated Rubrene Thin Films Probed by One- and Two- Photon Photoemission
3. 学会等名 表面・界面スペクトロスコピー2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺坂一也, 洪田昌弘, 中嶋敦
2. 発表標題 前期5d遷移金属内包シリコンケージナノクラスターの有機表面上における化学的的特性の比較
3. 学会等名 表面・界面スペクトロスコピー2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Mizoguchi, T. Inoue, M. Shibuta, A. Nakajima
2. 発表標題 Localized surface plasmonic resonances of size-selected silver nanoclusters (Ag _n) soft-landed on an organic substrate
3. 学会等名 表面・界面スペクトロスコピー2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉竜弥, 横山高穂, 平田直之, 渋田昌弘, 角山寛規, 中嶋敦
2. 発表標題 遷移金属内包シリコンケージナノクラスター薄膜の作製と電気伝導機構の解明
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺坂一也, 鴨志田寿明, 新倉寿希, 渋田昌弘, 角山寛規, 中嶋敦
2. 発表標題 6族金属内包シリコンケージ超原子の表面担持状態における化学特性評価
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝口凱斗, 井上朋也, 渋田昌弘, 中嶋敦
2. 発表標題 有機基板上にソフトランディングした単一サイズ銀ナノクラスター(Ag _n)の電子物性評価
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山高穂, 千葉竜弥, 平田直之, 角山寛規, 渋田昌弘, 中嶋敦
2. 発表標題 遷移金属内包シリコンケージクラスター薄膜の電気伝導特性
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 T. Yokoyama, T. Chiba, N. Hirata, H. Tsunoyama, M. Shibuta, A. Nakajima
2. 発表標題 Fabrication and Electrical Characterization of Metal-Encapsulating Si16 Cage Nanocluster Assembled Thin Films
3. 学会等名 Symposium on Size Selected Clusters (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Shibuta, K. Yamamoto, H. Guo, J. Zhao, A. Nakajima
2. 発表標題 Highly Dispersive Nearly Free Electron Bands at a 2D-assembled C60 Monolayer
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Inoue, M. Shibuta, A. Nakajima
2. 発表標題 Chemical Stabilization of Aluminum Superatoms on Controlled Organic Substrates
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yokoyama, N. Hirata, H. Tsunoyama, T. Eguchi, Y. Negishi, A. Nakajima
2. 発表標題 赤外反射吸収分光によるAu(111)表面に修飾した自己組織化単分子膜及び配位子保護金ナノクラスターの構造評価
3. 学会等名 表面・界面分光顕微鏡2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺坂一也, 鴨志田寿明, 渋田昌弘, 角山寛規, 中嶋敦
2. 発表標題 6族金属内包シリコンケージ超原子の表面担持状態における化学特性評価
3. 学会等名 表面・界面分光ロスコピー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Niikura, T. Kamoshida, M. Shibuta, H. Tsunoyama, A. Nakajima
2. 発表標題 Fabrication and Characterization of Metal Encapsulating Si16 Cage Superatom (M@Si16) Heterolayer Film
3. 学会等名 表面・界面分光ロスコピー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shibuta
2. 発表標題 Characterization and optimization of cluster-surface interaction: metal-encapsulating Si16 nanocluster superatoms on organic substrates
3. 学会等名 The 76th Fujihara Seminar: International Workshop on Designer Nanocluster Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Niikura, M. Shibuta, H. Tsunoyama, A. Nakajima
2. 発表標題 Fabrication and Characterization of M@Si16 Hetero Layer Film
3. 学会等名 The 76th Fujihara Seminar: International Workshop on Designer Nanocluster Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shibuta, K. Yamagiwa, A. Nakajima
2. 発表標題 Visualization of surface plasmon polaritons propagating at dielectric/metal interfaces by 2P-PEEM
3. 学会等名 11-th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上朋也, 渋谷昌弘, 角山寛規, 中嶋敦
2. 発表標題 Charge State Dependence of Oxidative Reactivity for Aluminum Superatoms Deposited on Organic Substrate
3. 学会等名 第35回化学反応討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shibuta
2. 発表標題 Visualization of surface plasmons propagating at the buried organic-metal interface
3. 学会等名 SFB Organics Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Shibuta
2. 発表標題 Photoexcited electron dynamics at nanoscale functional films studied by 2PPE spectroscopy and microscopy
3. 学会等名 International Symposium on Spectroscopy and Dynamics at Surface and Interface (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Nakajima, Masahiro Shibuta, Toyoaki Eguchi, Hironori Tsunoyama, Naoyuki Hirata
2. 発表標題 Size evolution and electron dynamics in organic molecular assembly
3. 学会等名 第34回化学反応討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiki Niikura, Toshiaki Kamoshida, Masahiro Shibuta, Hironori Tsunoyama, Atsushi Nakajima
2. 発表標題 Chemical reaction dynamics of metal-encapsulating silicon cage nanocluster (M@Si16) film
3. 学会等名 第34回化学反応討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiaki Kamoshida, Masahiro Shibuta, Tsutomu Ohta, Hironori Tsunoyama, Atsushi Nakajima
2. 発表標題 Chemical Characterization of Group 3-5 Metals Encapsulating Si16 Cage Nanoclusters on Organic Surfaces
3. 学会等名 Cluster-Surface Interaction workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 洪田 昌弘
2. 発表標題 時間分解顕微光電子分光による有機ナノ薄膜表面・界面の電子ダイナミクス計測
3. 学会等名 第61回 極限コヒーレント光科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 洪田 昌弘, 山元 一生, 太田 努, 中嶋 敦
2. 発表標題 フラーレン基板にソフトランディングした銀ナノクラスターによる2光子励起光電子のプラズモニック増強効果
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鴨志田 寿明, 洪田昌弘, 太田 努, 角山 寛規, 中嶋 敦
2. 発表標題 Chemical Stability of 3-5 Group Transition Metal-Encapsulating Si16 Cage Nanocluster Superatoms on Organic Molecular Substrates
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Shibuta
2. 発表標題 Spectroscopy and Imaging of Photocarriers in Organic Functional Films Probed by Two-Photon Photoemission
3. 学会等名 9 th Workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鴨志田 寿明, 洪田昌弘, 太田 努, 角山 寛規, 中嶋 敦
2. 発表標題 Charge State Optimization of Group 3-5 Metals Encapsulating Si16 Cage Superatoms on Organic Surfaces
3. 学会等名 表面・界面スペクトロスコピー2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新倉 寿希, 洪田昌弘, 鴨志田 寿明, 角山 寛規, 中嶋 敦,
2. 発表標題 金属内包シリコンケージナノクラスター(M@Si16)集積薄膜の作製と化学反応特性の解明
3. 学会等名 表面・界面スペクトロスコピー2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鴨志田 寿明, 洪田 昌弘, 太田 努, 角山 寛規, 中嶋 敦
2. 発表標題 クラスター表面相互作用の有機分子制御による超原子の酸化反応性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 朋也, 洪田 昌弘, 角山 寛規, 中嶋 敦
2. 発表標題 表面担持された典型元素ナノクラスター超原子の化学的安定性の評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Inoue, Masahiro Shibuta, Hironori Tsunoyama, Atsushi Nakajima
2. 発表標題 Charge State Dependence of Oxidative Reactivity for Aluminum Superatoms Deposited on Organic Substrate
3. 学会等名 第35回化学反応討論会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪市立大学工学研究科ナノマテリアル工学研究室
<http://ocunano.xsrv.jp/>
慶應義塾大学理工学部化学科中嶋研究室
<http://www.chem.keio.ac.jp/~nakajima-lab/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Philipps-Universitaet			
中国	Univ. of Sci. and Technol. of China	Chinese Academy of Sciences		
ドイツ	カイザーズラウテルン大学			