Title	超原子周期律による精密層界面の機能物性科学
Sub Title	Functional physical and chemical properties for precisely layered interfaces by superatomic periodicity
Author	中嶋, 敦(Nakajima, Atsushi)
Publisher	
Publication year	2022
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2021.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究では、従前の原子･分子単位の蒸着集積法の限界を超えて、原子数を峻別して精密に集合構造化させた金属内包シリコンケージナノクラスターM@Si16の超原子と呼ばれる擬球形のナノクラスターを対象として、ナノ物質科学の重要な未踏領域である、超原子周期律による精密層界面の機能物性科学の構築を行った。マグネトロンスパッタナノクラスター合成装置を用いて、3族から9族の金属原子Mを内包させたM@Si16超原子をC60などの有機基板に担持させ、X線光電子分光、および紫外線光電子分光による電子物性の評価し、その安定性を電荷状態や酸素曝露による化学反応性を系統的に比較し、M@Si16超原子の周期律を解明した。 In this study, functional physical and chemical properties for precisely layered interfaces were explored by superatomic periodicity using a spherical superatom of a metal-atom encapsulating silicon cage nanocluster, M@Si16, in which accurate number of atomic aggregates is sharply layered beyond the limit of the conventional atomic/molecular vapor deposition method. With a magnetron sputtering nanocluster source, M@Si16 superatoms, containing group 3 to 9 metal atoms M, are monodispersively immobilized on an organic substrate such as C60, and the electronic properties were measured by X-ray photoelectron spectroscopy and ultraviolet photoelectron spectroscopy. The physical and chemical stabilities were systematically investigated in terms of the charge state and the chemical reactivity against oxygen exposures, revealing the periodicity of the M@Si16 superatom.
Notes	研究種目 : 基盤研究 (A) (一般) 研究期間 : 2019～2021 課題番号 : 19H00890 研究分野 : 機能物性化学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_19H00890seika

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　 ６ 月　 ２ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(A)（一般）
研究期間：2019～2021
課題番号：１９Ｈ００８９０

研究課題名（和文）超原子周期律による精密層界面の機能物性科学

研究課題名（英文）Functional physical and chemical properties for precisely layered interfaces by superatomic periodicity

研究代表者

中嶋　敦（Nakajima, Atsushi）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：３０２１７７１５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　35,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、従前の原子・分子単位の蒸着集積法の限界を超えて、原子数を峻別して精密に集合構造化させた金属内包シリコンケージナノクラスターM@Si16の超原子と呼ばれる擬球形のナノクラスターを対象として、ナノ物質科学の重要な未踏領域である、超原子周期律による精密層界面の機能物性科学の構築を行った。マグネトロンスパッタナノクラスター合成装置を用いて、3族から9族の金属原子Mを内包させたM@Si16超原子をC60などの有機基板に担持させ、X線光電子分光、および紫外線光電子分光による電子物性の評価し、その安定性を電荷状態や酸素曝露による化学反応性を系統的に比較し、M@Si16超原子の周期律を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究ではこれまでのクラスター科学を、超原子を対象とするナノクラスターの合成化学へ展開して、表面科学との融合を図ることによって、超原子の集積で形成された精密層界面の機能について、新たな物理的、化学的な視点を拓いた。精密な層界面の構築には、基板上に予め有機分子を蒸着することで、超原子との局所的な電荷相互作用を誘起することが可能となることを明らかにするなど、クラスター科学における新たな分子論的な物質観を表面科学と融合できることを示した。金属原子数を少数とすることで、すべての構成原子を表面に露出させ、希少資源の金属原子でも、さらに少量の触媒で高活性を実現できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, functional physical and chemical properties for precisely layered interfaces were explored by superatomic periodicity using a spherical superatom of a metal-atom encapsulating silicon cage nanocluster, M@Si16, in which accurate number of atomic aggregates is sharply layered beyond the limit of the conventional atomic/molecular vapor deposition method. With a magnetron sputtering nanocluster source, M@Si16 superatoms, containing group 3 to 9 metal atoms M, are monodispersively immobilized on an organic substrate such as C60, and the electronic properties were measured by X-ray photoelectron spectroscopy and ultraviolet photoelectron spectroscopy. The physical and chemical stabilities were systematically investigated in terms of the charge state and the chemical reactivity against oxygen exposures, revealing the periodicity of the M@Si16 superatom.

研究分野：機能物性化学

キーワード：ナノクラスター　超原子　超原子周期律　超原子集積膜　ヘテロ接合界面

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

本研究の学術的背景は、従来の集積単位としての原子・分子の枠を破り、表面上で原子・分子が集合体を形成する過程を物質任せにせず、新たな自由度としての擬球形の超原子単位の集積薄膜の創製とその機能物性の学理の構築にあった。たとえば、有機薄膜太陽電池などのエネルギーデバイスでは、界面構造とその電子物性が重要である。しかし、個々の有機分子をｐ型様(低いイオン化エネルギー)、n 型様(高い電子親和力)として精密設計しているものの、その界面は乱雑である方が有利との経験則がデバイスの開発指針である。この理由の 1 つが分子形状の低い対称性にあり、配向による異方性が大きいことにある。バルクシリコンへの原子ドーピングによるｐ型、n 型の半導体では原子分布が不均一になることは避けられない上、この精密な分子設計を用いても、原子・分子集積の低い制御性は界面の大きな課題である。このように、超原子薄膜がもたらす機能物性の解明は、物質科学の未踏領域であり、波及効果の大きい学理となると考えた。

２．研究の目的

本研究では、申請代表者が開発した独自のパルスマグネトロンスパッタリング (HiPIMS) 法によるナノクラスターの精密気相合成法を基礎に、従前の原子・分子単位の薄膜形成法の限界を超えて、精密に構造化させた金属内包シリコンケージナノクラスター$M@Si_{16}$による擬球形の超原子を、気相で予め選択的に生成させて、$M@Si_{16}$超原子周期律の化学の構築と$M@Si_{16}$超原子層の電気伝導特性などを明らかにすることで、新たなナノ機能物質科学を構築することを目的とした。

３．研究の方法

（１）$M@Si_{16}$超原子の気相合成

HiPIMS 法によるナノクラスター生成源を用いて、遷移金属内包超原子の合成条件の精密化とによって、3 族から 5 族の金属原子を内包させた$M@Si_{16}^-$ (M=Sc,Lu), $M@Si_{16}(0)$ (M=Ti), $M@Si_{16}^+$ (M=V,Ta) 等のハロゲン様(p 型)、希ガス様、アルカリ金属様(n 型)の超原子に加えて、後期遷移金属原子を内包した$M@Si_{16}$超原子を合成した。合成された$M@Si_{16}$イオンを四重極質量選別器を用いて質量選択的に基板上にソフトランディングさせ、中心金属の異なる M@Si16 超原子層を作製した。超原子層の構造を X 線光電子分光(XPS)と紫外光電子分光(UPS)を用いて評価した。

（２）$M@Si_{16}$超原子層の電気伝導特性

また、5 族金属原子である V, Nb, Ta のいずれかを内包させた$M@Si_{16}^+$をナノクラスター生成源を用いて合成し、くし型金電極を表面に予めパターンニングさせておいたシリコン基板上に、10 層程度以上の層数で質量選択的にソフトランディングさせた。作製した集積膜を嫌気搬送して、電流-電圧測定を 90～300 K の範囲で行い、超原子層の電気電導度の温度依存性を評価した。

４．研究成果

（１）$M@Si_{16}$超原子の周期律

$M@Si_{16}$超原子の蒸着後の XPS スペクトルから、内包させた金属原子 M の内殻準位、および、Si 内殻準位 2p に由来するピークが明瞭に観測され、その強度比は、それぞれの検出感度を勘案すると蒸着時の組成に一致したことから、$M@Si_{16}$超原子が基板上に非破壊でソフトランディングされていることを確認した。また、$M@Si_{16}$超原子を蒸着する前後で、蒸着基板に対する UPS スペクトルを測定したところ、C_{60}を蒸着した基板では、C_{60}に由来する最高被占有準位 (HOMO)、およびさらに深い被占有準位 (HOMO-1) のピーク位置は、$M@Si_{16}$超原子の蒸着によって、ともに低束縛エネルギー側にシフトしており、$M@Si_{16}$超原子からC_{60}基板に電子が供与されることがわかった。さらに、このシフトの大きさには、$M@Si_{16}$超原子の中心金属原子の族依存性があり、$M@Si_{16}$超原子の価電子の総計が 68 電子となって電子閉殻による安定化と、C_{60}が電子受容性であることが複合して基板上での安定化が図られることを明らかにした。

$M@Si_{16}$超原子の化学的安定性の比較を、酸素分子気体に曝露した際の$M@Si_{16}$超原子の Si 内殻準位 2p の XPS スペクトルから行った。XPS ピークの解析から Si ピークの非酸化成分と酸化成分とを区別して、その非酸化成分の割合を$M@Si_{16}$超原子の化学的安定性の指標として、中心金属原子の族依存性を評価した。C_{60}基板上では 5 族のタンタル(Ta)原子を内包した$Ta@Si_{16}$が最も高い安定性を示すとともに、C_{60}基板の負電荷によっても酸素分子の基板吸着が促進されことがわかった。後期遷移金属原子を内包した$M@Si_{16}$超原子では中心金属原子の族が大きくなるほど単調に安定性が低下し、これは電子閉殻が満たされない効果と幾何的歪みの効果とが協同して作用しているためであると考えられる。これらの結果から、対称性の高い構造を取りうるSi_{16}ケージの内部空間に適合した金属原子が内包されることが、$M@Si_{16}$超原子の安定化させる要因の 1 つであることを明らかにした。

（２）$M@Si_{16}$超原子層の電気伝導特性

本項目では、$M@Si_{16}$超原子において、内包する金属の種類によって幾何構造を保ったまま多様な電子物性を発現できる特徴を用いて、その集積膜の電気伝導特性を評価した。まず、$M@Si_{16}$超

原子集積膜の作成方法とともに、嫌気搬送する蒸着試料の搬送、そして、その電気伝導特性評価の手法を確立した。

5族金属(M = V, Nb, Ta)を内包した M@Si_{16} 超原子集積膜における電気伝導度の温度依存性を評価した結果、縦軸を電気伝導度(G)の自然対数(ln G)、横軸を温度の-1/2乗($T^{-1/2}$)としたプロットが比例関係にあることを見出した。この電気伝導度の温度依存性から、電気伝導機構が5族金属の種類によらず、Efros-Shklovskii の広域ホッピング(ES-VRH)であることを明らかにした。この伝導機構では、電荷キャリアが局在した電子状態を強い電子相関を感じつつ伝導する機構であり、M@Si_{16} 超原子の局在した電子状態が隣接する M@Si_{16} 超原子と重なる程度と、電荷キャリア移動に伴う活性化障壁、の2つの要因が協奏して伝導度が変化することを示している。また、M@Si_{16} 超原子に局在した電子状態を、局在長として特徴づけると、M@Si_{16} 超原子集積膜での局在長は、5族金属のいずれにおいても M@Si_{16} 超原子の幾何的大きさよりも数倍程度大きいことがわかった。したがって、M@Si_{16} 超原子の電子状態は個々の超原子に局在しているのではなく、いくつかの M@Si_{16} 超原子から成る電子の非局在化が可能な集合体を形成していることを示唆している。さらに、電気伝導度の温度依存性のプロットの傾きに着目すると、5族金属の種類に依存していることを見出した。M@Si_{16} 超原子はほぼ同一のケージ構造体であることから、中心金属原子の d 電子の混成の度合いも局在長を変化させる要因であることが示唆された。

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　5件）

1．著者名	4．巻
Kamoshida Toshiaki 、Shibuta Masahiro、Ohta Tsutomu、Eguchi Toyoaki、Nakajima Atsushi	126
2．論文標題	5．発行年
Molecularly Designed Cluster-Surface Interaction for Halogen-like and Alkali-like Metal Encapsulating Silicon Cage Superatoms on n- and p-type Organic Substrates	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
The Journal of Physical Chemistry C	-
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acs.jpcc.2c02196	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

1．著者名	4．巻
Ohnuma Akira、Takahashi Koki、Tsunoyama Hironori、Inoue Tomoya、Zhao Pei、Velloth Archana、Ehara Masahiro、Ichikuni Nobuyuki、Tabuchi Masao、Nakajima Atsushi	12
2．論文標題	5．発行年
Enhanced oxygen reduction activity of size-selected platinum subnanocluster catalysts: Ptn (n = 3-9)	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Catalysis Science and Technology	1400～1407
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1039/D1CY00573A	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

1．著者名	4．巻
Shibuta Masahiro、Huber Maximilian、Kamoshida Toshiaki、Terasaka Kazuya、Hatanaka Miho、Niedner-Schatteburg Gereon、Nakajima Atsushi	126
2．論文標題	5．発行年
Size-Dependent Oxidative Stability of Silicon Nanoclusters Mixed with a Tantalum Atom	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
The Journal of Physical Chemistry C	4423～4432
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acs.jpcc.1c10895	有
オープンアクセス	国際共著
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	該当する

1．著者名	4．巻
Shibuta Masahiro、Inoue Tomoya、Kamoshida Toshiaki、Eguchi Toyoaki、Nakajima Atsushi	13
2．論文標題	5．発行年
Al13- and B@Al12- superatoms on a molecularly decorated substrate	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Nature Communications	1336
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1038/s41467-022-29034-9	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名	4．巻
Hirata Naoyuki、Katsura Yui、Gunji Hiroyuki、Tona Masahide、Tsukamoto Keizo、Eguchi Mika、Ando Toshihiro、Nakajima Atsushi	11
2．論文標題	5．発行年
Platinum nanocluster catalysts supported on Marimo carbon via scalable dry deposition synthesis	2021年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
RSC Advances	39216～39222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1039/D1RA07717A	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名	4．巻
Yokoyama Takaho、Chiba Tatsuya、Hirata Naoyuki、Shibuta Masahiro、Nakajima Atsushi	125
2．論文標題	5．発行年
Electrical Conduction of Superatom Thin Films Composed of Group-V-Metal-Encapsulating Silicon-Cage Nanoclusters	2021年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
The Journal of Physical Chemistry C	18420～18428
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acs.jpcc.1c03591	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

1．著者名	4．巻
Shibuta Masahiro、Yamamoto Kazuo、Ohta Tsutomu、Inoue Tomoya、Mizoguchi Kaito、Nakaya Masato、Eguchi Toyoaki、Nakajima Atsushi	15
2．論文標題	5．発行年
Confined Hot Electron Relaxation at the Molecular Heterointerface of the Size-Selected Plasmonic Noble Metal Nanocluster and Layered C60	2021年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
ACS Nano	1199～1209
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acsnano.0c08248	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名	4．巻
Inoue Tomoya、Shibuta Masahiro、Suzuki Toshiyasu、Nakajima Atsushi	124
2．論文標題	5．発行年
Occupied and Unoccupied Levels of Half-Fluorinated and Perfluorinated Rubrene Thin Films Probed by One- and Two-Photon Photoemission	2020年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
The Journal of Physical Chemistry C	12409-12416
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acs.jpcc.0c01162	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

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 Tsunoyama Hironori、Ohnuma Akira、Takahashi Koki、Velloth Archana、Ehara Masahiro、Ichikuni Nobuyuki、Tabuchi Masao、Nakajima Atsushi	4．巻 55
2．論文標題 Enhanced oxygen reduction activity of platinum subnanocluster catalysts through charge redistribution	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Chemical Communications	6．最初と最後の頁 12603-12606
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c9cc06327g	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 Yokoyama Takaho、Hirata Naoyuki、Tsunoyama Hironori、Eguchi Toyoaki、Negishi Yuichi、Nakajima Atsushi	4．巻 124
2．論文標題 Vibrational Spectra of Thiolate-Protected Gold Nanocluster with Infrared Reflection Absorption Spectroscopy: Size- and Temperature-Dependent Ordering Behavior of Organic 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 363-371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.9b07550	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26件（うち招待講演　7件／うち国際学会　13件）

1．発表者名 Atsushi Nakajima
2．発表標題 Nucleation and Growth of Small Atomic Aggregates into Superatom Nanoclusters
3．学会等名 The 241st Spring Electrochemical Society Meeting（招待講演）（国際学会）
4．発表年 2022年

1．発表者名 Atsushi Nakajima
2．発表標題 Plasmonic Silver Nanoclusters for Sensitizing Surface Plasmon Polaritons Propagating at Buried Organic/Metal Interfaces
3．学会等名 Symposium on Cluster Surface Interaction (CSI2022)（招待講演）（国際学会）
4．発表年 2022年

1．発表者名 井上朋也、中嶋 敦
2．発表標題 有機表面上に担持された13族超原子の化学的反応性
3．学会等名 日本化学会 第102 春季年会(2022)
4．発表年 2022年

1．発表者名 Atsushi Nakajima
2．発表標題 Superatom Chemistry of Metal-Encapsulating Silicon Cage Nanoclusters
3．学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2020 (Pacifichem 2020)（国際学会）
4．発表年 2021年

1．発表者名 横山 高穂，千葉 竜弥，中嶋 敦
2．発表標題 金属内包シリコンケージ超原子集積薄膜における電気伝導特性と電子状態
3．学会等名 第15回分子科学討論会
4．発表年 2021年

1．発表者名 井上 朋也，渋田 昌弘，中嶋 敦
2．発表標題 有機基板とサイズによる表面担持されたアルミニウムナノクラスターの反応性制御
3．学会等名 第15回分子科学討論会
4．発表年 2021年

1．発表者名 四ノ宮 康，井上 朋也，中嶋 敦
2．発表標題 有機分子基板上に担持したパラジウムナノクラスターの電荷状態と反応性
3．学会等名 第15回分子科学討論会
4．発表年 2021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させた単一サイズ銀ナノクラスターの局在表面プラズモン共鳴
3．学会等名 第15回分子科学討論会
4．発表年 2021年

１．発表者名 Atsushi Nakajima
２．発表標題 Superatom Chemistry of Metal-Encapsulating Silicon Cage Nanoclusters
３．学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021（国際学会）
４．発表年 2021年

１．発表者名 横山高穂，千葉竜弥，平田直之，渋田昌弘，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 春季年会
４．発表年 2021年

１．発表者名 Tomoya Inoue, Masahiro Shibuta, Toshiyasu Suzuki, Atsushi 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 第14回 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 Kaito Mizoguchi, Tomoya Inoue, Masahiro Shibuta, Atsushi Nakajima
２．発表標題 Localized surface plasmonic resonances of size-selected silver nanoclusters (Agn) soft-landed on an organic substrate
３．学会等名 第14回 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，渋田昌弘，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特性の比較
3．学会等名 第14回 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 Atsushi Nakajima
2．発表標題 Silver Nanocluster Sensitizers to Visualize Surface Plasmons Propagating at the Buried Organic-Metal Interface
3．学会等名 Symposium on Size Selected Clusters (S3C)（招待講演）（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Takaho Yokoyama, Tatsuya Chiba, Naoyuki Hirata, Hironori Tsunoyama, Masahiro Shibuta, Atsushi 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 Tomoya Inoue, Masahiro Shibuta, and Atsushi Nakajima
2．発表標題 Chemical Stabilities of Aluminum Superatoms on Organic Substrates
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
Koki Takahashi, Hironori Tsunoyama, Akira Ohnuma, Archana Velloth, Masahiro Ehara, Nobuyuki Ichikuni, Masao Tabuchi, Atsushi Nakajima

２．発表標題
Size-selected platinum nanocluster catalysts: catalytic activity for oxygen reduction reaction and structure characterization

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
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(Agn)の電子物性評価

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
竹本英成，家壽英里子，田中克敏，中嶋敦

２．発表標題
超微細マイクロリアクターを用いたポリマー保護金合金ナノクラスターの精密合成

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
Atsushi Nakajima

２．発表標題
Nucleation and growth of small atom clusters into superatom for functional units

３．学会等名
Nucleation & Growth Research Conference (NGRC2019)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Atsushi Nakajima

２．発表標題
Creating Assemblies of Size Selected Clusters on Surfaces by Cluster Beam Deposition

３．学会等名
2019 Gordon Research Conference (GRC) “Clusters & Nanostructures”（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Atsushi Nakajima

２．発表標題
Formation and characterization of metal-encapsulating silicon cage

３．学会等名
The 7th Asian Silicon Symposium (ASiS-7)（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Atsushi Nakajima

２．発表標題
Optimizing cluster-surface interaction with organic substrates

３．学会等名
“Advances in Cluster Beam Deposition” workshop（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2019年

１．発表者名
横山高穂，平田直之，角山寛規，江口豊明，根岸雄一，中嶋敦

２．発表標題
赤外反射吸収分光による金ナノクラスターに配位したチオール誘導体分子の構造評価：配向秩序の空間次元・温度依存性

３．学会等名
ナノ学会第17回大会

４．発表年
2019年

１．発表者名 Takaho Yokoyama, Naoyuki Hirata, Hironori Tsunoyama, Toyoaki Eguchi Yuichi Negishi and Atsushi Nakajima
２．発表標題 Structural characterization of organic thiolate ligands on gold nanoclusters with infrared reflection absorption spectroscopy
３．学会等名 Gordon Research Conference: Clusters and Nanostructures（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 横山高穂、平田直之、角山 寛規、江口豊明、根岸雄一、中嶋　敦
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 第13回分子科学討論会
４．発表年 2019年

〔図書〕　計2件

１．著者名 Tsugunosuke Masubuchi and Atsushi Nakajima	４．発行年 2020年
２．出版社 Springer Nature	５．総ページ数 561
３．書名 Electronic properties of transition metal-benzene sandwich clusters	

１．著者名 Atsushi Nakajima	４．発行年 2019年
２．出版社 Springer Nature	５．総ページ数 404
３．書名 Superatomic nanoclusters comprising silicon or aluminum cages	

〔出願〕　計2件

産業財産権の名称 担持体、担持体の製造装置及び担持体の製造方法	発明者 中嶋敦、角山寛規、江口美佳、郡司浩之、安藤寿浩、他3名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020－99669	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 担持体、及び担持体の製造方法	発明者 大沼　明、中嶋 敦、角山寛規	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019－224979	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕　計0件

〔その他〕

中嶋研究室ホームページ
http://chem.keio.ac.jp/nakajima-lab/index.html

プレスリリース「アルミニウム超原子修飾基板の作成に成功」
https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2022/3/15/28-104705/
プレスリリース「プラズモン現象の最小単位を銀ナノクラスター9量体と決定」
https://www.k2.keio.ac.jp/press/press20210115.html
プレスリリース「銀ナノクラスターの光増感を用いて「埋れた界面」の光伝播の観測に成功」
https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2020/1/31/28-67151/
プレスリリース「高活性な白金サブナノクラスター触媒の創製と構造決定に成功」
https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2019/10/17/28-63895/

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