

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19205004

研究課題名（和文） 光導波路分光法による担持有機金属ナノクラスターの光物性の解明

研究課題名（英文） Study on Optical Properties of Organometallic Nano-clusters on a Substrate Using Optical Wave Guide Spectroscopy

研究代表者

中嶋 敦 (NAKAJIMA ATSUSHI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：30217715

研究成果の概要（和文）：

ソフトランディング単離法を用いて、低次元ネットワーク構造を有する有機金属ナノクラスターを単離・担持し、配向を含めた吸着構造を制御するとともに、有機金属ナノクラスターの光物性を解明した。この研究のために、光導波路分光システムなどを新しく設計製作し、有機金属クラスターの担持状態を評価した。希土類有機金属サンドイッチクラスターの大量合成手法を確立し、発光特性を蛍光分光法により検証してユウロピウム有機金属クラスターに可視光応答性を見出した。

研究成果の概要（英文）：

Organometallic clusters having low dimensional network structures were size-selectively deposited with soft-landing technique, and the optical properties of isolated clusters were revealed. In this study, some experimental techniques, such as an optical wave-guide method, were newly developed, and the structures of deposited clusters were observed spectroscopically. Large-scale synthesis of lanthanide organometallic clusters was developed to measure optical properties with fluorescence spectroscopy, and optical response for europium organometallic clusters in the visible light region

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2008年度	15,000,000	4,500,000	19,500,000
2009年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2010年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
総計	38,200,000	11,460,000	49,660,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：分子分光、ナノクラスター、ソフトランディング、光導波路、有機金属

1. 研究開始当初の背景

ナノスケールの物質科学研究の重要なターゲットの一つは、ナノサイズでの新奇的な物性をもつ物質創製であり、この20年来新奇的なナノ物質を創り出す多くの活発な研究がなされてきた。しかし、現在、応用

の対象として開発がなされようとするナノ物質は、スモーリー(Smalley)らのC₆₀(*Nature* 318, 165 (1985)) および飯島らのカーボンナノチューブ(*Nature*, 354, 56 (1991))に限定されているのが実情である。その理由は、ナノ物質の機能を予測するための評

価法が十分でないこと、機能実証のために十分な量を合成するのが困難であること、さらにはナノ物質を分離・固定する手法が未開発であったことなどである。

私たちは、さまざまな新奇なナノクラスター（主に2成分複合クラスター）を気相合成し、独自に開発した実験手法を使って、その電子構造、幾何構造および安定性に関する研究を展開してきた。この10年余りの間に、異種原子の混合や金属原子と有機分子の複合化などによって、フラーレンに続く多様な安定ナノクラスターを気相反応場において発見してきた。さらに、そのユニークな構造や物性を量子化学計算とともに明らかにしてきており、近年、この複合化の視点は、欧米の研究者にも急速に広がりつつある。また、ナノクラスターを材料化する基本的方策として「基板へのソフトランディング手法の開発研究」を世界的な競争の中で推進し、自己組織化単分子膜を用いるソフトランディング法を確立した (*J. Phys. Chem. B* 110, 2968 (2006))。現在、ナノクラスターの先端的研究の重点は、ナノクラスターが孤立条件下でいかなる幾何構造や電子状態を有するかという基本的な問題の解明から転じて、どのようにナノクラスターの大量合成・単離を実現させ、その光応答性や磁気特性などの物性評価を行いながら、材料化への展開を図っていくかに移りつつある。これらの研究において、ナノクラスターの構造や特性を損なうことなく基板表面上に集積・固定化することは不可避な課題であり、固体表面とナノクラスターとの相互作用ならびに接合状態を詳細に理解し、ナノクラスターを基本骨格とした表面・界面ナノ構造の構築とその物性制御への指針を得ることが、基礎科学として極めて重要である。

一方、私たちが気相反応場での生成に成功している一次元サンドイッチ構造の有機金属ナノクラスター (*J. Am. Chem. Soc.* 126, 13202 (2004))、金属内包型シリコンクラスター MSi_{16} (*J. Am. Chem. Soc.* 127, 4998 (2005))、アルミニウム-シリコンクラスター Al_{12}Si (*J. Phys. Chem. A* in press (2006)) などの複合ナノクラスターの場合には、それ自体が安定な機能単位であるので、表面からの強い摂動はナノクラスターの有している構造や機能を失わせることが懸念される。したがって、このような機能性ナノクラスターの場合には、ナノクラスターの構造や特性を損なうことなく基板表面上に集積・固定化することが重要である。これまでに申請者らは、磁気機能単位として有望な一次元サンドイッチ構造の有機金属ナノクラスターを、自己組織化単分子膜によって表面をソフト化した固体基板上

に蒸着することによって、非破壊的に固定化・単離する技術（有機マトリックスによるソフトランディング単離法）の開発を行ってきた。この方法では、有機マトリックスの剛性を温度によって自在に制御することが可能であり (*J. Phys. Chem. B* 110, 16008 (2006))、新しい気相クラスター単離・担持技術として現在、国際的に注目を集めている。

2. 研究の目的

本研究では、我々が独自に開発した単離法を駆使して、種々の低次元ネットワーク構造を有する有機金属ナノクラスターを有機マトリックス上あるいは内部に非破壊的に単離・担持し、吸着構造（吸着配向）が制御された有機金属ナノクラスターの光吸収特性ならびに発光特性の解明を行なうことを目的とする。

この目的のために、本研究では新たな機能評価法として、光導波路を利用した電子スペクトル測定法を開発し、有機金属ナノクラスターの吸着構造と光応答性の相関を明らかにする。本研究で対象とする遷移金属原子あるいは希土類金属原子を π 電子系有機分子と複合化したナノクラスターでは、低次元構造に基づく擬似バンド構造の形成 (*J. Phys. Chem. A* 106, 10777 (2002)) や長さが 10 nm 程度にまで及ぶ一次元錯体の形成 (*J. Phys. Chem. A* 109, 9 (2005)) が明らかにされている。このようなナノクラスターを有機マトリックスによってソフトランディング単離し、その光吸収・発光特性を明らかにできれば、階層的な低次元ネットワーク構造に由来した特異的な「光応答機能」が新たに見いだされるものと考えられる。さらに、この光応答機能はナノ量子デバイスに大きな波及効果をもたらすことが期待される。

3. 研究の方法

(1) 光導波路分光システムの開発と感度評価

本研究では、超高真空装置であるソフトランディング装置（現有設備）のナノクラスター蒸着部に光導波路システムを組み込むことを目的として光導波路分光システムを構築する。薄膜導波路に外部から光をカップリングする方法には、光のカップリング効率の良いプリズム法を採用し、入射白色光の導波路内伝搬後の出射光量の波長依存性を CCD 分光器によって検出することによって、測定可能な波長域の最適化を行なう。さらに、高感度化を目指した分光感度の評価を行なうために、導波路内での光の全反射回数を多くすること、および 1000 W クラスの非常に高輝度な Xe ランプ光源を用いることなどの効果を検証する。

(2)有機金属クラスターの担持状態の評価

超高真空装置であるソフトランディング装置によって蒸着された有機金属ナノクラスターの担持状態を走査型トンネル顕微鏡によって可視化し、光導波路分光システムへの導入に向けた種々の基本的な評価・検討を行なう。基板には自己組織化単分子膜を用いて、有機金属ナノクラスターの基板上での集合状態を評価する。また、ソフトランディング後に表面拡散する可能性もあることから、走査型トンネル顕微鏡で表面画像を観測して、自己組織化単分子膜の設計にフィードバックしてナノクラスターの単分散状態の実現を進める。また、基板上での有機金属クラスターの配向状態の評価を、有機金属クラスターの次元異方性と赤外振動モードの対称性との相関を利用して行ない、クラスターの配向を均一化する基板設計の方策を確立する。

(3)有機金属クラスタービームの高強度化

ソフトランディングさせるための有機金属ナノクラスターとして、マグネトロンスパッタリング法を用いた連続ビームによる高強度クラスター源の開発を行なう。磁性材料のスパッタリングが可能な手法を用いて、遷移金属ならびに有機金属を蒸発させ、有機配位子との化学反応によって、有機金属ナノクラスター連続ビーム法を開発する。これによって、従来の1桁以上イオン量が多く、また、大きなサイズの有機金属ナノクラスターの生成を可能とする。生成させた有機金属ナノクラスターを自己組織化単分子膜基板にソフトランディングさせ、光導波路分光システムと走査型トンネル顕微鏡で、それぞれ電子状態と表面画像を観測して、単分子膜上での有機金属ナノクラスターの単分散状態を実現させる。

(4)有機金属ナノクラスターの大量合成法の確立

真空下・低温という環境下において生成される有機金属ナノクラスターの電子状態間の遷移に基づく光吸収・発光特性を、光導波路法を利用しながら集合状態の機能創出の観点から明らかにするために、液相合成法を利用した大量合成法を確立する。

4. 研究成果

ソフトランディング単離法を用いて、低次元ネットワーク構造を有する有機金属ナノクラスターを非破壊的に単離・担持し、配向を含めた吸着構造を制御するとともに、有機金属ナノクラスターの光物性の解明を進めた。この研究のために、19年度に光導波路分光システム、20年度に走査型トンネル顕微鏡、21年度にマグネトロンスパッタリング源を、それぞれ設計製作し、有機金属ナノクラスタービーム源と担持状態評価システムの統合化と

スペクトル測定、および大量合成された有機金属ナノクラスターの光吸収・発光特性の解明などについて研究を推進した。各研究項目の研究成果は以下の通りである。

(1)光導波路分光システムの開発と感度評価

真空装置に導入する上での種々の基本的な評価・検討する目的で、大気下において光導波路分光システムを構築した。薄膜導波路に外部から光をカップリングする方法には、光のカップリング効率の良いプリズム法を採用し、入射白色光の導波路内伝搬後の出射光量の波長依存性をCCD分光器によって検出した。また、感度を向上させるために導波路を薄膜化による全反射回数の増大を進めた。波長特性では800 nm以上の長波長側と370 nmより短波長側で、ピーク強度の10%以下になった。この要因は長波長側では光源の特性によって、短波長側は散乱光の影響のためであると結論した。また、短波長側の改善にはプリズムとのカップリングに油浸法を用いることが有効ではあったが、真空装置内への導入では真空システムとの整合性に課題があることがわかった。

また、担持状態評価システムの統合化とスペクトル測定への展開として、可視光透過性と導電性をもつ酸化物表面を気相クラスターで修飾する手法を考案した。酸化スズ表面にヘキサデカン酸の自己組織化単分子膜を形成し、クロム-ベンゼンクラスターをソフトランディングさせた。クラスターは気相での幾何構造を保持したまま単分子膜内に単離され、さらにクラスターが配向することが明らかとなった。

(2)有機金属クラスターの担持状態の評価

ソフトランディング実験では、蒸着基板の多様化を進め、カルボキシル基の導入による気相クラスターの捕捉とクラスター配向挙動の解明を行った。末端がアルキル基の単分子膜ではクラスターイオンが、アルキル分子鎖の秩序構造を融解状態にしながら自己組織化単分子膜 (SAM) 内部に侵入し、再び秩序化によって捕捉される。ところが、SAM 膜の末端をカルボキシル基に置換すると、カルボキシル基間の水素結合ネットワークが形成されるので、ソフトランディングしてもクラスターは単分子膜内部に侵入せず、膜表面に物理吸着していることがわかった。この手法は、SAM 膜上のクラスターの深さ制御を可能とする成果である。

クラスターと SAM 基板との化学的相互作用を介した新たな吸着形態の実現を図るため、カルボキシル基を末端に有するアルカンチオール SAM (COOH-SAM) を導入し、カルボキシル基による水素結合ネットワークの存在が蒸着したクラスターの吸着状態に及ぼす効果について検証した。クロム金属-ベンゼ

ンの有機金属クラスター $\text{Cr}(\text{benzene})_2^+$ を気相中で生成し、5–20 eVの衝突エネルギーでC16-COOH-SAM基板(200K)にソフトランディングしたところ、Fig. 1のような赤外スペクトルが得られた。Fig. 1aは $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ の固体試料をKBr錠剤法にて測定した赤外スペクトル、Fig. 1b, 1cはそれぞれC18-SAM、C16-COOH-SAM基板上に $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ をソフトランディングした際の反射赤外スペクトルである。Fig. 1より、両SAM基板において $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ 由来の3本のピークが観測されており、ソフトランディングされた $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ は両SAM基板上でサンドイッチ構造を保持していることがわかった。ピークの相対強度が変化しているが、これは表面選択律により、両基板の間で $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ の吸着配向性が変化していることを示している。

さらに、有機金属サンドイッチクラスターのベンゼン環にアミノ基を導入してソフトランディングしたところ、カルボキシル基末端とアミド結合を形成して、クラスターが単分子膜上に固定されることがわかった。

また、自己組織化単分子膜の多様化として炭化水素の水素原子をすべてフッ素化した単分子膜へのソフトランディングを行った。フッ素化した単分子膜では、炭化水素の場合と吸着配向が約90度異なることがわかった。

さらに、有機金属クラスターの担持状態を評価として、蒸着された有機金属ナノクラスターの担持状態を走査型トンネル顕微鏡による可視化に成功し、単分散状態を確認するとともに表面上でのクラスターの高さや長さを測定した。

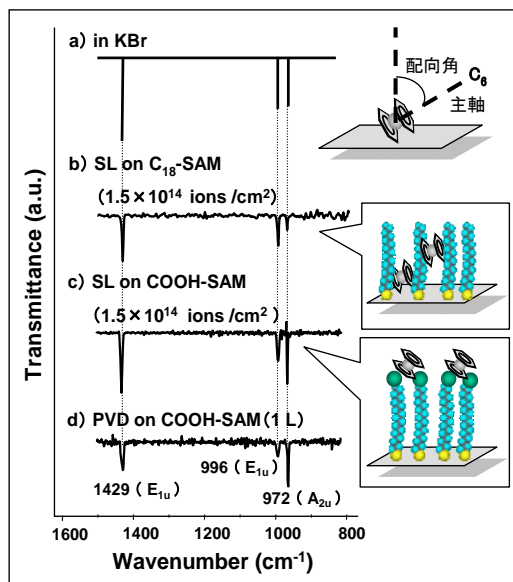


Fig.1 $\text{Cr}(\text{benzene})_2$ の赤外吸収スペクトルと吸着構造

(3)有機金属クラスタービームの高強度化ソフトランディングさせるための有機金属ナノクラスターとして、マグネトロンスパ

ッターリング法を用いた連続ビームによるクラスター源の開発を行なった。非磁性ならびに磁性を有する金属ターゲットに加えて、絶縁体ターゲットもスパッターリングが可能な手法を、電源モードを直流のみならず交流にも対応できるように生成源を設計、製作した。マグネトロンスパッターリング法によって生成させたクラスターの生成分布は、飛行時間型質量分析計ならびに四重極質量分析器を用いて測定し、スパッターリング条件を最適化できるようにした。この結果、非磁性金属ターゲットを直流モードでスパッターリングした際に、100量体程度まで金属クラスターが生成できることを飛行時間型質量分析計によって確認することができた。

(4)有機金属ナノクラスターの大量合成法の確立

気相中では、レーザー蒸発法によってランタノイド金属(Ln)と1, 3, 5, 7-シクロオクタテトラエン(COT)分子が交互に積層したイオン結合性の一次元多層サンドイッチ有機金属クラスター(Ln_n(COT)_m)が生成されることが知られており、その低次元性に由来した新しい電子物性や光応答の発現が期待されている。しかし、クラスターのデバイス化を目指す上で、これまでの気相合成法ではその生成量が著しく少ないという問題点があった。そこで、有機金属ナノクラスターの大量合成を液相合成によって確立することを試み、振動分光法と磁気測定法を利用することで生成した有機金属クラスターの構造評価を行った。生成したEu(COT)の赤外吸収スペクトルを測定したところ、600–900 cm⁻¹の領域に強い2本のピークが観測され、これらが平面環状構造を有するCOT²⁺の吸収ピークと一致していることから、Eu(COT)クラスター内においてCOT²⁺が存在することが明らかとなった。また、金属元素を希土類原子にした有機金属クラスターでは、有機金属ネットワーク内で孤立化された希土類金属原子によって発現する可視光応答性を見出した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

1. T. Nakamura, N. Hirata, Y. Sekino, S. Nagaoka, and A. Nakajima, "Photoemission enhancement induced by near-fields via local surface plasmon resonance of silver nanoparticles on a hydrogen-terminated Si(111) surface", J. Phys. Chem. C, Vol. 114, pp.16270-16277 (2010). (査読有)

2. T. Nakamura, K. Miyajima, N. Hirata, T. Matsumoto, H. Tada, Y. Morikawa, and A. Nakajima, "Electronic structure of hydrogen-terminated silicon surfaces [H-Si(111)] studied by two-photon

photoemission”, Applied Physics A, Vol.98, pp.735-743 (2010). (査読有)

3. A. Sugiyama, Y. Taguchi, S. Nagaoka, and A. Nakajima, “Size-dependent magnetic properties of naked and ligand-capped nickel nanoparticles”, Chemical Physics Letters, Vol. 485, pp. 129-132 (2010). (査読有)

4. T. Nakamura, N. Hirata, S. Nagaoka, and A. Nakajima, “Two-photon photoemission spectroscopy for silver nanoparticles on a hydrogen-terminated Si(111) surface: Metal nanoparticle-enhanced photoemission”, Chemical Physics Letters, Vol. 489, pp. 69-74 (2010). (査読有)

5. K. Ikemoto, S. Nagaoka, T. Matsumoto, M. Mitsui, and A. Nakajima, “Soft-landing experiments of Cr(benzene)₂ sandwich complexes onto a carboxyl-terminated self-assembled monolayer matrix”, J. Phys. Chem. C Vol. 113, pp. 4476-4482 (2009). (査読有)

6. T. Matsumoto, S. Nagaoka, K. Ikemoto, M. Mitsui, M. Ara, H. Tada, A. Nakajima “Characterization of alkyl monolayer covalently bonded to Si(111) and soft-landing of vanadium-benzene sandwich clusters onto the alkyl monolayer substrate”, The European Physical Journal D (EPJ D) Vol. 52, pp. 99-102 (2009). (査読有)

7. S. Nagaoka, K. Ikemoto, K. Fujio, K. Hiehata, A. Sasahara, M. Mitsui, H. Onishi, and A. Nakajima, “An atomic force microscope study of vanadium-benzene sandwich clusters soft-landed on self-assembled monolayers”, The European Physical Journal D (EPJ D) Vol. 52, pp. 103-106 (2009). (査読有)

8. S. Nagaoka, K. Ikemoto, T. Matsumoto, M. Mitsui, and A. Nakajima, “Thermal and hyperthermal collision-energy depositions of transition metal-benzene sandwich complexes onto a self-assembled n-octadecanethiol monolayer”, J. Phys. Chem. C. Vol. 112, pp. 6891-6899 (2008). (査読有)

9. S. H. Huh, D. H. Riu, C. Y. Kim, Y. Naono, T. Nakamura, A. Sugiyama, and A. Nakajima, “Nanogranular structures formed by combinatorial controlling processes of size-selected metal nanoparticles”, J. Appl. Phys. Vol. 103, 094317 (2008) (7 pages) (査読有)

10. S. Nagaoka, K. Ikemoto, T. Matsumoto, M. Mitsui, and A. Nakajima, “Soft-landing

isolation of gas-phase synthesized transition metal-benzene complexes into a fluorinated self-assembled monolayer matrix”, J. Phys. Chem. C Vol. 112, 15824-15831, (2008). (査読有)

11. K. Koyasu, J. Atobe, M. Akutsu, M. Mitsui, and A. Nakajima, “Electronic and geometric stabilities of clusters with transition metal encapsulated by silicon”, J. Phys. Chem. A Vol. 111, 42-49 (2007). (査読有)

12. S. Nagaoka, T. Matsumoto, K. Ikemoto, M. Mitsui, and A. Nakajima, “Soft-Landing Isolation of Multidecker V₂(benzene)₃ Complexes in an Organic Monolayer Matrix: an Infrared Spectroscopy and Thermal Desorption Study”, J. Am. Chem. Soc. Vol. 129, pp. 1528-1529 (2007). (査読有)

[学会発表] (計 33 件)

(1) 中嶋 敦 “Soft- and Reactive-landing Experiments of Organometallic Sandwich Complexes onto a Self-assembled Monolayer” Symposium on Size Selected Clusters 2011 2011年3月23日 Davos, Switzerland

(2) 中嶋 敦 機能複合クラスターの電子物性とそのソフトランディング分子研研究会 「分光学が係わるクラスター科学および機能性ナノ構造体科学の将来展望」 2011年1月7日 岡崎コンファレンスセンター

(3) 中嶋敦 “Soft- and Reactive-landing of Organometallic Clusters onto a Self-assembled Monolayer”, Molecular Photoscience Research Center International Symposium “New Horizons of Cluster Chemistry” 2010年10月9日 神戸大学

(4) 平田直之、洪田昌弘、長岡修平、中嶋敦 Two-photon Photoemission Study for Alkanethiol Self Assembled Monolayer on Au(111) surface 6th International Workshop on Nano-Scale Spectroscopy & Nanotechnology 2010年10月28日 神戸大学

(5) 堀内一樹、敷島真也、野口裕司、長岡修平、中嶋敦 “有機単分子膜表面への遷移金属-アニリンクラスターの固定化と水素吸着反応性” 第4回分子科学討論会 2010年9月14日 大阪大学豊中キャンパス

(6) 中嶋 敦 ” Electronic properties of binary superatoms” Molecular & Ionic Cluster Conference 2010 2010年9月6日 十日町、新潟

(7) 中村恒幸、平田直之、中嶋敦 Electronic Structure of H-Terminated Silicon Surfaces [H-Si(111)] Studied by Two-Photon

Photoemission, 7th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics 2010年8月24日 Brijuni Islands, Croatia

(8) 中嶋敦 “Soft-landing experiments of organometallic sandwich complexes onto a self-assembled monolayer” The Cluster-Surface Interactions (CSI) Workshop, 2010年7月7日 Stratford-on-Avon, United Kingdom

(9) 長岡修平、敷島真也、堀内一樹、中嶋敦 Adsorption Properties of Organometallic Clusters Soft-Landed on Aliphatic Monolayers Coated on Metal-Oxide Surfaces The Cluster-Surface Interactions (CSI) Workshop 2010年7月7日 Stratford-on-Avon, United Kingdom

(10) 敷島真也、堀内一樹、長岡修平、中嶋敦 Chemical Reactivity of Hydrogen Molecules on Titanium-Aniline Half-Sandwich Clusters Grafted on an Organic Monolayer Surface 第26回化学反応討論会 2010年6月2日 広島大学東広島キャンパス

(11) 中嶋敦 機能ナノクラスターの創成とナノ材料化 ナノ学会第8回大会 2010年5月14日 岡崎コンファレンスセンター

(12) 中嶋敦 “2D Phase Transition of Self Assembled Monolayer Studied by the Softlanding Experiments” 4th Jekyll Island Conference on Clusters and Nanostructures 2010年2月17日 Jekyll Island, Georgia, U.S.A.

(13) 辻享志、細谷夏樹、深澤駿、長岡修平、中嶋敦 “液相反応による有機-ランタノイドサンドイッチクラスターの大量合成” 第3回分子科学討論会 2009年9月21日 名古屋大学東山キャンパス

(14) 中村恒幸、宮島謙、平田直之、松本剛士、森川良忠、夢田博一、中嶋敦 “2光子光電子分光法による水素終端シリコン基板の電子状態の解明” 第3回分子科学討論会 2009年9月21日 名古屋大学東山キャンパス

(15) 平田直之、中村恒幸、長岡修平、中嶋敦 “Electronic properties of size-selected Ag nanoparticles studied by two-photon photoelectron spectroscopy” 第25回化学反応討論会 2009年6月1日 大宮ソニックシティ

(16) 辻享志、細谷夏樹、長岡修平、中嶋敦 “液相反応による有機-ランタノイドサンドイッチクラスターの大量合成” ナノ学会第7回大会 2009年5月9日 東京大学本郷キャンパス

(17) 長岡修平、池本佳織、三井正明、中嶋敦 “カルボキシル末端有機単分子膜へのアニリン-遷移金属サンドイッチクラスターのソフトランディング” 第2回分子科学討論会 2008年9月26日 福岡国際会議場、福岡

(18) S. Nagaoka, K. Ikemoto, K. Fujio, K. Hiehata, A. Sasahara, M. Mitsui, H. Onishi, A. Nakajima “Soft-Landing Isolation of Transition Metal-Benzene Clusters in Organic Monolayer Matrices” 14th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters 2008年9月16日 バリャドリッド, スペイン

(19) 池本佳織、長岡修平、三井正明、中嶋敦 化学修飾したアルカンチオール自己組織化単分子膜上における有機金属クラスターの吸着状態 第24回化学反応討論会 2008年6月2日 北海道大学学術交流会館

(20) 杉山彰教、田口洋介、長岡修平、三井正明、中嶋敦 “気相中で作製した表面非修飾ニッケルナノ粒子の磁気特性の評価” ナノ学会第6回大会 2008年5月7日 九州大学医学部百年記念講堂

(21) 長岡修平、池本佳織、三井正明、中嶋敦 “有機分子マトリクス基板を利用した有機金属サンドイッチクラスターのソフトランディング単離” 第1回分子科学討論会 2007年9月18日 東北大学、仙台

(22) 池本佳織、長岡修平、松本剛士、三井正明、中嶋敦 “カルボキシル末端アルカンチオール自己組織化単分子膜上における有機金属サンドイッチクラスターの吸着状態” 第23回化学反応討論会 2007年6月13日 神戸大学、神戸

(23) 長岡修平、池本佳織、三井正明、中嶋敦 “有機分子マトリクス基板を利用した気相クラスターのソフトランディング単離法” ナノ学会第5回大会 2007年5月21日 つくば国際会議場、つくば

[その他]

ホームページ等

<http://sepia.chem.keio.ac.jp/Nakalab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中嶋 敦 (NAKAJIMA ATSUSHI)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：30217715

(2) 研究分担者

三井 正明 (MITSUI MASAOKI)
静岡大学・理学部・准教授
研究者番号：90333038

(3) 連携研究者

長岡 修平 (NAGAOKA SHUHEI)
慶應義塾大学・理工学部・助教
研究者番号：60509933