

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24241041

研究課題名(和文)薬物・毒物の分析を可能とする表面支援レーザー脱離イオン化質量分析システム

研究課題名(英文)Surface Assisted Laser Desorption Ionization Mass Analysis System for Drugs and Toxic Molecules

研究代表者

米澤 徹 (Yonezawa, Tetsu)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90284538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、SALDIに適したナノ粒子を合成し、それをイオン化支援材として基板上に塗布して用い、薬物・毒物分析が容易なレーザー脱離イオン化法の確立とそのメカニズムの解明を目的とした。同じ粒子では大きな粒子のほうがソフトイオン化能が高いことが分かり、ナノ粒子のレーザーによる昇温が穏やかな場合が適していると考えられた。また、Naをドーブした酸化チタンが優れたSALDI能を示すことから、LDIではレーザーによって基板表面から脱離される中性分子は十分にあり、表面支援材であるナノ粒子のイオン附加能を引き上げることによって、検出イオンの量を増やすことができることを明らかとした。

研究成果の概要(英文)：The aims of this study are to prepare suitable nanoparticles for surface-assisted desorption ionization mass spectroscopy and to understand the ionization mechanism by laser irradiation. Larger nanoparticles showed better soft-ionization ability. Therefore, milder increasing of the nanoparticle temperature is important for soft ionization. Also, sodium ion doped TiO₂ nanoparticles showed a very high SALDI ability. This result strongly suggest that desorption of molecules by laser irradiation is quite effective and increasing of ionization ability of nanoparticles is an important key to obtain higher sensing ability of SALDI-MS systems.

研究分野：ナノ材料科学

キーワード：ナノ粒子 金属酸化物 質量分析 レーザー脱離イオン化 表面 イオン化 ナトリウム 脱離

1. 研究開始当初の背景

レーザー脱離イオン化法による質量分析(LDI-MS)は、サンプルプレートに塗布された有機化合物試料にレーザーを照射し、真空中で急速加熱させることで、試料を脱離・イオン化させて、質量分析を行う手法であり、非常に広く使われている方法である。

その中でも、安息香酸系化合物をマトリクスとして試料に共存させた状態で、紫外パルスレーザーを照射し、そのレーザーエネルギーをこのマトリクス分子が効率的に熱に代え、また同時に試料にプロトンを供給しイオン化する方法をマトリクス支援レーザー脱離イオン化法(MALDI法)と呼び、高分子量有機化合物、そのなかでもタンパク質などの生体関連の高分子量化合物や、熱に弱い物質を分解せずにイオン化する方法として注目されている。こうした、分子を分解させずイオン化する方法をソフトイオン化法という。この手法の発表によりプロテオミクス分野が急速に進展したことは言うまでもない。

しかしながら、測定時に必ず有機マトリクス分子を共存させるため、このマトリクス分子がイオン化し、そのピークが試料のピークを妨害するという問題があり、低分子量試料の質量分析にはMALDI法は適さないとされてきた。実際、有機マトリクス分子の分子量と、分析を要する薬物・毒物・環境汚染物質や材料に含まれる可塑剤などの添加剤の分子量はほぼ500以下であるため、こうした重要な低分子化合物の分析にMALDI法は不適である。また、MALDI法では、有機マトリクスと試料との混合結晶を作成して試料プレートに塗布する必要があるが、混合状態によりサンプルのイオン化挙動に差が出る(スイートスポット)ことがよく知られており定量性に欠ける。そのため、有機マトリクスを用いないLDI-MS法の開発が強く期待される。

それに対し我々はこれまで様々な金属および金属半導体ナノ粒子を用いたSALDI-MSの検討を行ってきた。具体的には、金(Anal. Chem. 2008)、白金(J. Phys. Chem.. 2007, Chem. Eur. J., 2010)、CuO(日本・米国特許出願)などのナノ粒子を試料プレート上に塗布し、ナノレベルの凹凸を持つ表面を作成し質量分析に利用してきた。

2. 研究の目的

これまでSALDIに用いられる基板表面にレーザーを照射したときにどのように化合物の脱離・イオン化が起こっているのかは不明であった。しかし、これらの研究結果から考察すると、レーザー照射は主にナノ粒子基板表面からの化合物の脱離を制御しており、イオン化は基板表面からの H^+ や Na^+ 、 K^+ の附加によって行われていると結論付けることができる。そして、この結果をもとに我々は新たなカチオン内蔵ナノ粒子を用いる高効率SALDIと、イオナイザをもつ新規なSALDI+I-MSシステムのアイデアにたどり着いた。

アルカリ金属イオン含有ナノ粒子を用いる

SALDI: レーザー照射による物質の表面からの脱離を考えると、少ないエネルギーで基板表面からの脱離を可能とするには、試料と基板との相互作用力を減らすことが重要である。また、試料に H^+ や Na^+ 、 K^+ イオンを容易に附加できる基板は、イオン化を促進できると考えられる。しかし、アルカリ金属塩は水に易溶であり、乾燥時にサンプル基板の上で大きな結晶となる。また、MALDIでタンパクの分析をする場合には、一般に脱塩したほうがよいと言われている。そこで、水に不溶なナノ粒子に Na^+ を混在させたものを用いれば、こうした弊害なく Na^+ が附加したイオンを効率的に放出することが期待される。例えば、水に不溶で、アルカリ金属イオンをもつタングステンブロンズ(例： Na_nWO_{3-n} ; $n=0.3\sim 0.9$)ナノ粒子などは有力な候補である。こうしたナノ粒子を形状制御して合成し、フラクタル様なサンプル基板を作成すれば、高効率なソフトイオン化が可能となる。

警視庁科学捜査研究所の浅野貴志研究者らと薬物・毒物のLDIについて実験したところ、薬物・毒物には、アセチルサリチル酸のようにMALDIでイオン化できない物質が多くあることが分かった。しかし、アセチルサリチル酸と似た構造を有する化合物の多くはMALDIでは脱離・イオン化できており、アセチルサリチル酸分子のみが脱離できないとは考え難く、脱離されても H^+ や Na^+ などが附加されにくいものと考えられる。つまり、上記の2つのSALDI-MSに関するアイデアが実現されれば、これまで検出できなかった薬物・毒物の検出がSALDI-MSで可能となり、国民の安心・安全の向上に寄与できるほか、ドーピング検査などの迅速化にも役立つ新しい質量分析システムを実現できる。これは分子科学との融合によって実現される新しいナノテクノロジーの応用となる。

3. 研究の方法

本研究では、レーザー波長に適応して効率よく試料を脱離するナノ粒子と、試料のイオン化を容易にする Na^+ 、 K^+ 含有ナノ粒子を開発する。こうしたナノ粒子を用いて基板からのSALDI-MSによる高効率イオン化を達成し、薬物・毒物を検出できる新システムとする。また、形状・状態の最適化を行う。

こうしたナノ粒子の合成には、マイクロ波液中プラズマ法を用いる。ワイドギャップ半導体については WO_3 と TiO_2 をターゲットとする。これにドーピングなどを行い、より効果的なSALDI-MS用ナノ粒子の構築を行う。

まず最初に、 TiO_2 ナノ粒子によるSALDI-MSを検証し、 TiO_2 の形状・結晶構造とSALDI-MSイオン化能との相関を明らかにする。対象となる化合物は、薬物・毒物の代表的なものを選択し、MALDI-MSでは検出できないもの(アセチルサリチル酸、バルビツール酸など)も含むようにする。実際に分

析に用いられる薬物・毒物の付着量は非常に少量である上に、試料は貴重であるため、高感度な質量分析システムを構築する必要がある。そこで、本研究におけるナノ粒子基板の高効率脱離能をもつものを選択する。これまでも警視庁 科学捜査研究所の浅野貴志氏と共同で、ナノ粒子を用いた SALDI-MS の薬物・毒物への応用について研究を行っており、本研究においても浅野氏と共同して、さらに多くの薬物・毒物の検出について可能となる高効率イオン化のためのナノ粒子の設計・合成を行う。

これらの新しいナノ粒子を用いる SALDI-MS システムの研究は、レーザー照射によるナノ構造基板からの有機化合物の脱離ならびにイオン化のメカニズム、特にナノ粒子の構造、表面状態の影響について分子科学的見地からも明確にできる実験系である。

「レーザー脱離イオン化法」の抱える学術的にもっとも重要な未解明部分である。これを明らかとすることは、分子科学者らの基礎研究にも大きなインパクトを与えるとともに、質量分析を実用性をさらに高めるためにも役立つ。

その結果、これまで分析できなかった薬物・毒物などの化合物の SALDI-MS による分析が可能となり、国民の安心・安全に寄与することももちろんのこと、バイオ・環境・材料分野で用いられる高感度でハイスループットな万能質量分析システムの実用化に大きく貢献できる。

4. 研究成果

半導体粒子とされる GaP ナノ粒子を用いて SALDI-MS を検証していたが、本研究開始後もさらに検討を進めた。

GaP ナノ粒子を PEG 高分子などを試料として SALDI-MS に用いた。その結果、赤色の PEG ナノ粒子では、ソフトイオン化が可能であったが、黄色い部分のナノ粒子では、高分子が分解されていることが明確に示された。GaP は 2.22 eV (559 nm) に間接遷移に対応するバンドギャップ、2.78 eV (446 nm) に直接遷移に対応するバンドギャップを持ち、それが色に表れている。

こうして得られた GaP ナノ粒子を用いて PEG の SALDI-MS を検討した結果、比較的大きな赤色の GaP ナノ粒子では PEG は分解せず、 $m/z = 44$ の一定間隔でピークを示しており、これは $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$ に対応する。(図 1) そのため、ソフトイオン化できていることが分かるが、黄色の GaP ナノ粒子を用いた場合には、分解ピークばかりが観察されており、ソフトイオン化できていないことが分かる。

337 nm の波長をもつ窒素レーザーのエネルギーはどちらの粒子を通して熱に変換される。ただ、小さなナノ粒子のほうが速く昇温される可能性があり、その分フラグメントイオン(分解生成物イオン)の発生する可能性が高くなる。それはたとえば銀ナノ粒子

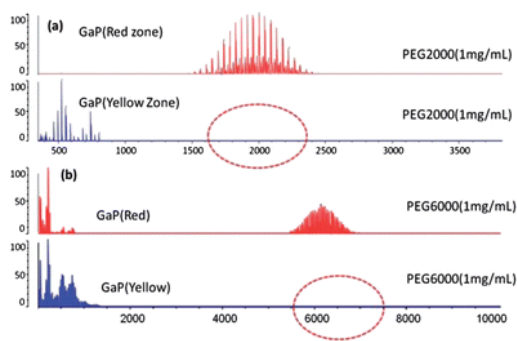


図 1 GaP ナノ粒子を用いた PEG2000、PEG6000 の SALDI-MS スペクトル。(a,c)赤色の GaP ナノ粒子、(b,d)黄色の GaP ナノ粒子。

の SALDI-MS においても、大きな粒子のほうがソフトイオン化能が高かったのと同様であると考えられる。

こうした、GaP ナノ粒子のソフトイオン化能は、他の無機ナノ粒子よりも相当高く、ほぼ MALDI-MS と同程度であることが示された。SALDI-MS の隠れた性能を示すものとなった。

さらに、金属酸化物である TiO_2 について SALDI-MS 性能を詳細に調査した。そのために、できるだけ多くの薬物・毒物試料を取り扱うことにした。そのなかでも、アスピリンとバルビタールは MALDI-MS では検出されない化合物である。こうした化合物が SALDI-MS で容易に検出されれば、SALDI-MS の優位性を示すことが可能である。

用いるチタニアナノ粒子は市販のもので、粒子径と結晶組成の異なるものを選択した。まず、 TiO_2 を用いた場合には、紫外光のレーザーを照射した場合、SALDI-MS 特性を示すものの、可視光領域のレーザーを照射しても対応する分子のピークを検出できず、脱離・イオン化が生じていないことが分かった。これにより、SALDI-MS は何らかの光吸収がその脱離・イオン化に対し重要であることが示された。

これらの分子はほぼすべての場合、 TiO_2 を用いた脱離・イオン化が可能であり、SALDI-MS の高い有効性を示した形になっている。MALDI-MS と異なり、SALDI-MS では、プロトン附加体が検出されず、 Na^+ 附加体が主に、さらに K^+ 附加体が検出されることが多かった。

特に、アスピリン、バルビタールは SALDI-MS でのみ検出が可能であった。

いずれの TiO_2 ナノ粒子を用いたいずれの化合物の SALDI-MS においても、化合物のフラグメントイオンはほぼみられなかった。一方で MALDI-MS の場合はマトリクスに対応する分子イオンのピークが散見され、同定が難しくなっていた。それに対し、SALDI-MS スペクトルでは、非常に検出・同定がしやすい質量スペクトルが得られている。

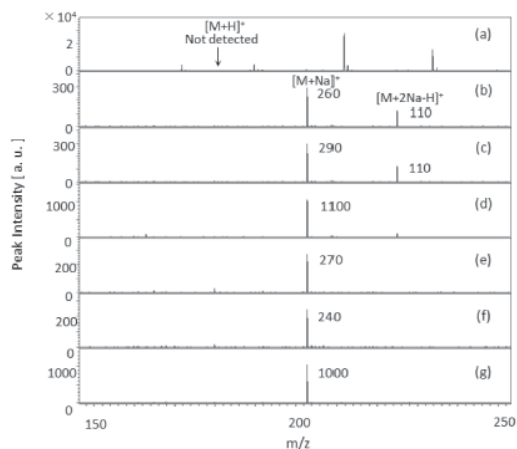


図 2 アスピリン (180 Da) の質量スペクトル。(a) CHCA MALDI、(b) PT301、(c) PT401L、(d) PT401M、(e) MC50、(f) MC90、(g) MC150 SALDI

アスピリンの質量スペクトルを図 2 に示した。いずれの場合も、MALDI-MS では、プロトン附加体のピークを含め、分子量関連ピークはみられないことが分かる。一方で、いずれの TiO₂ ナノ粒子を用いた場合にも、Na⁺ 附加体、2Na⁺ 附加体のピークが見られ、物質が同定できることが示されている。

こうして得られた結果をまとめると、一つはナノ粒子の純度、チタニアの場合はルチル結晶の比率、そして粒子サイズが大きく脱離イオン化能に影響することが明確となった。このようにナノ粒子の性質と光による脱離イオン化との相関が解明されてきつつある。

つぎに、こうして得られるチタニアナノ粒子のドーピングについて検討するとともに、液中プラズマ法によって SALDI-MS に適切なナノ粒子の合成を行った。

液中プラズマ法では、チタン、タングステン棒を用いてチタニア、酸化タングステンの合成が可能である。水中でマイクロ波を集中させてプラズマを発生させ、それにより金属棒から金属原子・クラスターを蒸発させて、プラズマ中で酸素ラジカルなどと反応させ、金属酸化物を得ることが可能である。また、金属棒先端のガス雰囲気を変えることで、金属酸化物の酸化状態を変化させることもできる。いずれの合成条件でも、ほぼ直径 10 nm 程度の酸化タングステンナノ粒子が得られた。電極周りのガス条件によって得られる粒子の粒子径は徐々に変化し、酸素が多くなると粒子径が大きくなることが示された。これは、酸素存在下で反応が加速するからであると考えられる。

得られた酸化タングステンナノ粒子は、紫外光のみならず可視光領域にも吸収があることが示され、いわゆる酸素欠損が生じて、タングステンブロンズ様になっていることが示唆された。不活性雰囲気、水素を導入した雰囲気では可視光領域の吸収が高くなり、

酸素欠損があるものと考えられる。また、XRD による評価では、一般の酸化タングステンの合成法ではあまり見られない ε-WO₃ の結晶に対応するピークが見られるようになった。これは、プラズマの中で成長した酸化タングステンが水中で急冷されることによって生成したと考えられる。

こうした酸素欠損を持った金属酸化物ナノ粒子は、広い領域での光吸収が見られることから、SALDI-MS により適切であると考えられる。また、さらに Ti 棒からもブラック酸化チタンが得られており、今後、その応用が期待できる。

金属酸化物へのドーピングも本研究で行なった。液中プラズマ法を用いれば、いくつかの金属がドーピング可能である。例えば、酸化チタンナノ粒子に Sr³⁺ のようなイオン半径が大きなイオンもドーピング可能であることが示された。

こうして、金属酸化物ナノ粒子に他の金属イオンのドーピングがマイクロ波液中プラズマ法で可能となったことから、SALDI-MS に適切なナノ粒子を合成するために、Na⁺ イオンを TiO₂ ナノ粒子にドーピングすることを試みた。NaCl もしくは NaOH 溶液中に TiO₂ ナノ粒子を懸濁させ、その状態で液中プラズマを照射した。得られた TiO₂ ナノ粒子の XPS スペクトルを調査したところ、Na⁺ がドーピングされていることが分かった。

このように Na⁺ を TiO₂ ナノ粒子にドーピングした際、より Na⁺ 附加体ピークが大きく見え、他のピークが全く検出されなかった (図 3) ことから、このドーピングナノ粒子が SALDI-MS に有効であることが分かる。また、同じ粒子を用いた場合には、熱による分子の脱離量がほぼ同じになると考えられることから、Na⁺ ドーピングナノ粒子がイオンの附加を促進し、結果的に検出量を大きくしていると推測できる。

この結果は、LDI は、レーザーによる脱離

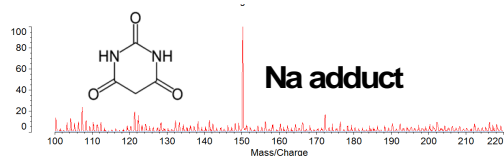


図 3 Na⁺ ドーピングされたチタニアを用いた SALDI-MS で得たバルビツール酸の質量スペクトル。

とイオン化の二つに分けて考えられ、レーザーによって脱離される中性分子は十分にあり、イオン附加能を引き上げることによって、検出イオンの量を増やすことができることを明らかにしている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計16件)

- 1) M. T. Nguyen, H. Shirai, C. Tiankanon, H. Tsukamoto, Y. Ishida, T. Yonezawa, “Reproducible Shape Control of Single-Crystal SnO₂ Micro Particles”, *RSC Adv.*, **6**(32), 26725-26733 (2016). (DOI: 10.1039/c5ra25676c)
- 2) H. Shirai, M. T. Nguyen, Y. Ishida, T. Yonezawa, “A New Approach for Additive-free Room Temperature Sintering of Conductive Patterns Using Polymer-stabilized Sn Nanoparticles”, *J. Mater. Chem. C*, **4**(11), 2228-2234 (2016). (DOI: 10.1039/c6tc00161k)
- 3) T. Yonezawa, T. Asano, M. Matsubara, “Surface assisted laser desorption/ionization mass spectrometry (SALDI-MS) of low-molecular-weight medicines and toxic materials using commercial TiO₂ nanoparticles”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **89**(3), 346-353 (2016). (DOI: 10.1246/bcsj.20150337)
- 4) R. D. Corpuz, Y. Ishida, T. Yonezawa, “Controlling an electrostatic repulsion by oppositely charged surfactants towards positively charged fluorescent gold nanoclusters”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**(13), 8773-8776 (2016). (DOI: 10.1039/c6cp00538a)
- 5) Y. Ishida, C. Lee T. Yonezawa, “A Novel Physical Approach for Cationic-Thiolate Protected Fluorescent Gold Nanoparticles”, *Sci. Rep.*, **5**, 15372 (2015). (DOI:10.1038/srep15372)
- 6) Y.-T. Liao, J. E. Chen, Y. Ishida, T. Yonezawa, W.-C. Chang, S. M. Alshehri, Y. Yamauchi, K. C.-W. Wu, “De Novo Synthesis of Gold-Nanoparticle-Embedded, Nitrogen-Doped Nanoporous Carbon Nanoparticles (Au@NC) with Enhanced Reduction Ability”, *ChemCatChem*, **8**(3), 502-509 (2016). (DOI: 10.1002/cctc.201501020)
- 7) Y. Ishida, Y. Motokane, T. Tokunaga, T. Yonezawa, “Plasma- Induced Tungsten Doping of TiO₂ Nanoparticles for Enhanced Photocatalysis using Visible Light”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**(38), 24556-24559 (2015). (DOI: 10.1039/c5cp03400k)
- 8) Y. Ishida, W. Doshin, H. Tsukamoto, T. Yonezawa, “Black TiO₂ Nanoparticles by a Microwave-induced Plasma over Titanium Complex Aqueous Solution”, *Chem. Lett.*, **44**(10), 1327-1329 (2015). (DOI: 10.1246/cl.150531)
- 9) T. Sumi, S. Motono, Y. Ishida, N. Shirahata, T. Yonezawa, “Formation and Optical Properties of Fluorescent Gold Nanoparticles Obtained by Matrix Sputtering Method with Volatile Mercaptan Molecules in the Vacuum Chamber and Consideration of Their Structures”, *Langmuir*, **31**(14), 4323-4329 (2015). (DOI:10.1021/acs.langmuir.5b00294)
- 10) C. Xue, T. Narushima, Y. Ishida, T. Tokunaga, T. Yonezawa, “Double-Wall TiO₂ Nanotube Arrays: Enhanced Photocatalytic Activity and In

situ TEM Observations at High Temperature”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **6**(22), 19924-19932 (2014). (DOI:10.1021/am505333v)

11) 米澤 徹, 「安定な金属ナノ粒子のコロイド化学・分散とその調製」, 塗装工学, 49(2), 42-50 (2014)

12) 「電子部品・触媒に用いることのできるナノ粒子の新しいグリーン合成法」化学工学, 78(3), 196-198 (2014)

13) T. Yonezawa, H. Tsukamoto, S. Hayashi, Y. Myojin, H. Kawasaki, and R. Arakawa, “Suitability of GaP nanoparticles as a surface-assisted laser desorption/ionization mass spectroscopy inorganic matrix and their soft ionization ability”, *Analyst*, **138**(4), 995-999 (2013). (DOI:10.1039/c2an36738f)

14) T. Yonezawa, T. Asaho, T. Fujino, H. Nishihara, “Cyclodextrin- supported organic matrix for application of MALDI-MS for forensics. Soft-ionization to obtain protonated molecules of low molecular weight compounds”, *Chem. Phys.*, **419**, 17-22 (2013). (DOI:10.1016/j.chemphys.2012.10.003)

15) T. Asano, J. Suzuki, K. Hashimoto, T. Fujino, “Laser Desorption Ionization Mass Spectrometry of Bioactive Substances by Using 2,4,6-Trihydroxyacetophenone on Cation-Substituted Zeolite”, *Anal. Sci.*, **29**, 1035-1039 (2013). (DOI:10.2116/analsci.29.1035)

16) 米澤 徹, 「レーザーイオン化法による質量分析技術の進展」, 光学, 42(11), 562-564 (2013).

〔学会発表〕(計23件)

1) 石田洋平, 元兼康智, 米澤 徹, 「酸化チタンナノ粒子へのプラズマ処理による簡便な可視光応答技術の開発」, 日本化学会 第96春季年会, 2016.3.27-29 (同志社大学, 京田辺キャンパス)

2) 米澤 徹, 塚本宏樹, 本野真悟, 道心 渉, 石田洋平, 徳永智春, 「液中プラズマを用いた金属酸化物の合成」, 日本化学会 第96春季年会, 2016.3.27-29 (同志社大学, 京田辺キャンパス)

3) 米澤 徹, 「常温で導電性を示す金属スズ微粒子」, ナノハイブリッドマテリアルに関する研究会, 2016.1.22 (招待講演, バーデン家 壮鳳)

4) 元兼康智, 石田洋平, 米澤 徹, 「マイクロ波液中プラズマ法を用いた酸化チタンナノ粒子改質による可視光吸収」, 平成27年度公益社団法人日本顕微鏡学会 北海道支部学術講演会, 2015.12.12 (招待講演, 北海道大学)

5) T. Yonezawa, “Metal oxide nanoparticles prepared by plasma in liquid process”, Lecture in CPE Lyon, 2015.12.124 (招待講演, CPE Lyon, France)

6) T. Yonezawa and Hiroki Tsukamoto, “Modification of Titanium Oxide Nanoparticles by Using Plasma in Liquid Process and Their Application to SALDI-MS”, 6th Asian Conference

on Colloid and Interface Science, 2015.11.24-27 (招待講演、Arkas させぼ)

7) T. Yonezawa, "Plasma in liquid process for metal oxide modification", 4th Hokkaido University – Seoul National University Joint Symposium, 2015.11.27(招待講演,ソウル大学)

8) 米澤 徹,「金属酸化ナノ粒子の新奇合成法としての液中プラズマ」,日本ゾルゲル学会 第13回討論会, 2015.11.19-20(招待講演,北海道大学)

9) T. Yonezawa, "Modification of Metal Oxides by Using Microwave-induced Plasma in Liquid Process", MSA International Symposium on Materials Science and Nanotechnology (MSN), International Science and Nature Congress 2015 (ISNac2015), 2015.9.21-23 (招待講演, Putra World Trade Center, Kuala Lumpur, Malaysia)

10)米澤 徹, 長谷川千裕,「チタニアへのドーピングと SALDI - MS への応用」, 第66回コロイドおよび界面化学討論会, 2015.9.10-12 (鹿児島大学)

11)T. Yonezawa, "Tungsten Doping of Titanium Oxide Nanoparticles by Using Plasma in Liquid Process", Post conference of 2015 International Conference of Colloids and Interface Science, 2015.7.25(招待講演, Chung Shan Medical Univg, Taichung, Taiwan)

12)T. Yonezawa, "Doping of Titanium Oxide Nanoparticle Using Plasma in Liquid Process", 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies of the Materials Research Society of Singapore and 16th IUMRS International Conference in Asia, 2015.6.28-7.3 (招待講演, Suntec Singapore)

13)浅野貴志, 米澤 徹,「無機ナノ粒子を用いた SALDI-MS による薬物分析」,第4回CSJ化学フェスタ, 2014.10.14-16(タワーホール船堀)

14)米澤 徹,「液中プラズマを用いた金属酸化物およびその触媒の物性強化」,新技術説明会, 2014.9.8(招待講演, JST 東京)

15)Y. Ishida, M. Porta, Y. Shishino, T. Yonezawa, "Study on titanium oxide and sub-oxide nanoparticle dispersion in liquid produced via molten matrix sputtering", International Symposium on Polymeric Materials Based on Element-Blocks, 2014.5.31, (京都工芸繊維大学)

16)T. Yonezawa, "Finding Detailed Structure of Nanoparticles: EXAFS and STEM", Xingda Presentation (Peking University), 2015.4.24(招待講演)

17)浅野貴志・米澤 徹,「チタニアナノ粒子を用いた SALDI法によるアミノ酸の脱離イオン化効率」, 2014.3.27,「日本化学会第94春季年会(名古屋大学)

18)T. Fujino, "Ionization and desorption process in matrix-assited laser desorption ionization studied by time-resolved mass spectrometry", 8th Asian conference on ultrafst phenomena,

2014.1.20-21(招待講演、ホテル北野プラザ六甲荘(兵庫))

19)T. Fujino, "Femtosecond time-resolved mass spectrometry for the desorption process of teracene ions from teracene-doped anthracene crystals", International Conference and Exhibition on Analytical & Bioanalytical Techniques Las-Vegas, 2013.10.15-17(招待講演, ハンプトンイントロピカーナ、ラスベガス USA)

20)米澤 徹, 長谷川千裕, 七分勇勝, 小西克明,「Na ドープチタニアをイオン化支援に用いた有機分子の質量分析」, 第62回高分子学会年次大会, 2013.5.29-31(京都国際会館)

21)米澤 徹, 長谷川千裕,「アルカリ金属イオン包埋金属酸化物の高効率合成と表面支援レーザー脱離イオン化法への応用」,日本化学会第93回春季年会, 2013.3.22-25(立命館くさつ)

22)米澤 徹,「無機ナノ粒子を用いる SALDI-MS の可能性」,第1回レーザー脱離イオン化合同勉強会, 2012.12.6(招待講演、大阪大学)

23)浅野貴志, 藤野竜也, 米澤 徹,「シクロデキストリンマトリックスを用いた低分子薬物の質量分析」,第1回レーザー脱離イオン化合同勉強会, 2012.12.6(大阪大学)

〔図書〕(計 4件)

1) 米澤 徹・朝倉清高・幾原雄一,「ナノ材料解析の実際」,352 ページ,講談社サイエンスティフィク(2016)

2) 米澤 徹・陣内浩司,「産業応用を目指して無機・有機新材料創製のための構造解析技術」,295 ページ,シーエムシー出版(2015)

3) Tetsu Yonezawa, "Metal Nanoparticles" in "Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials", PP. 1227-1233, Springer(2015)

4) 米澤 徹監修,「金属ナノ・マイクロ粒子の最新技術と応用」,236 ページ,シーエムシー出版(2013)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/limsa>

6. 研究組織

(1)研究代表者
米澤 徹(Tetsu YONEZAWA)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 90284538

(2)研究分担者
藤野 竜也(Tatsuya FUJINO)
首都大学東京・准教授
研究者番号: 20360638

(3)連携研究者
石田 洋平(Yohei ISHIDA)
北海道大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 00726713