

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05420

研究課題名(和文) 金ナノ粒子接合を利用した並列回路分子における軟X線誘起電子移動

研究課題名(英文) Soft X-ray-induced electron transfer in parallel circuit molecular condition assembled on gold nanoparticles

研究代表者

和田 真一 (Wada, Shin-ichi)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・准教授

研究者番号：60304391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：軟X線を用いた内殻電子励起によって、原子レベルで局所的に電荷を発生させることができる。そしてその電荷の緩和は、オージェ崩壊やイオン脱離の変化として計測できる。我々は、このような内殻励起による反応ダイナミクスを解析することで、有機分子の導電性を評価し得ることを見出した。そこで本申請研究では、電極に接合した分子デバイスをモデル化した系として、末端に軟X線吸収部位をもつ芳香鎖チオール分子の自己組織化単分子膜を金ナノ粒子上に作成し、内殻共鳴励起によるオージェ電子分光および脱離イオン計測を実施した。内殻正孔寿命に匹敵する数フェムト秒程度の超高速な電荷移動ダイナミクス情報を計測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、内殻共鳴励起による反応ダイナミクスを解析することで、分子デバイスの電荷移動情報を数フェムト秒程度の超高速な時間領域で計測することが可能であることが分かった。次世代有機デバイス材料の導電性を非接触に光で評価する新たな手法を明らかにしたという点で、物質科学や電子工学の分野における学術的意義は高いと考える。またこのような分子レベルでの電荷移動の理解は、電子デバイスの微細化や高速化が進む中で、次世代の電子デバイス設計に貢献し得る。エネルギー効率の高い電子デバイスの開発が進む中で、本研究成果を踏まえた分子レベルの電荷輸送情報は、今後のエネルギー問題の解決にも寄与し得ると期待している。

研究成果の概要(英文)：Core-electron excitation using soft X-rays can induce local charge generation at the atomic level. The relaxation of the charge to metal substrate can be measured as a change in Auger decay and ion desorption. We have found that the conductivity of organic molecules on metal surfaces can be evaluated by analyzing the reaction dynamics induced by such core-excitations. In this study, self-assembled monolayers of thiol molecules with aromatic chains and absorption sites at the ends were prepared on gold nanoparticles as a system modelling a molecular device bonded to an electrode. From the analysis of Auger electron spectroscopy and desorbed ion measurement by resonant core-excitations, information about ultrafast charge-transfer dynamics with a few femtoseconds, comparable to the core-hole lifetime, was successfully measured.

研究分野：物理化学

キーワード：内殻励起 共鳴オージェ電子分光 Core-hole clock法 自己組織化単分子膜(SAM) 非接触導電性計測 金ナノ粒子 パルスレーザーアブレーション

1. 研究開始当初の背景

電極間に接合させた電子輸送機能をもつ単分子やその集合体である分子アンサンブルは、次世代分子エレクトロニクスへの応用が期待される重要な研究領域である。多くの分子接合研究では、直接接触による導電性計測によって、ナノレベルでの電子輸送過程の詳細な理解が進められている。しかしながら原子レベルで均一な分子接合を作成することの困難さや計測再現性に課題があり、これらは接合分子を直接接触して計測しなくてはならないことによる本質的な問題でもある。

一方、本研究では軟X線放射光を用いた内殻電子励起に着目する。その最大の特徴は、内殻励起は価電子励起とは異なる局所的な電子遷移であり、分子内の特定の原子を選択的に励起して局所的に電荷を発生させることができる点にある(図1(a))。内殻共鳴励起するとオージェ崩壊と呼ばれる電子放出を伴った電子緩和が速やかに起こり、イオン状態に至る。この時、測定する分子が、接する金属基板と電子的に強い相互作用を持つ場合には、共鳴励起によって局所的に生成された励起電子が分子を介して基板に移動することになる。この電子移動が内殻正孔寿命(酸素の場合で4フェムト秒)と競合する程度に速い場合は、通常おこる共鳴オージェ電子の放出が抑制されて異なるエネルギーのオージェ電子が放出される。したがって共鳴オージェ電子の収量比を計測することで、このような速い電子移動速度を内殻正孔寿命を基準に決定することができる(core-hole clock (CHC)法、図1(c))。

一方、このような電荷移動は、オージェ崩壊と競争して起こるイオン性解離反応にも影響を与える。我々はこれまで、内殻励起の元素選択性を利用して選択的な化学結合の切断が可能であることを見出してきた。中でも軟X線吸収部位である末端官能基が最表面に配列した自己組織化単分子膜(SAM)を利用すると、イオン性解離の選択性がより顕著になるが、その選択性の良し悪しは励起サイトから金属基板への電荷移動のしやすさ、すなわち分子鎖の導電性に強く依存することが分かった(図1(b))。

申請者はこのCHC法による電子移動速度計測や選択的解離イオン計測が、分子鎖の導電性と良い相関関係を示すことを見出した。この結果は、軟X線による内殻励起ダイナミクスの詳細計測を利用することで、導電性分子(CHC計測)から絶縁性分子(解離イオン計測)に至る $10^{-6} \sim 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ の広範囲な電気伝導特性を非接触に評価することが可能であることを示唆している。今後、様々な分子系に適用することで本手法の有効性を検証することが望まれている。

2. 研究の目的

このような内殻共鳴励起を利用したダイナミクス計測を用いると、SAM構成分子の末端で発生した電荷が分子を介して反対側の接合金属に緩和する様子を捉えることができる。すなわち、2つの電極間に架橋させなくても、一様な分子膜形成手法が確立している片端のみ金属接合したSAM(図2(a))を用いることで、分子の導電ダイナミクスが計測できる。そこで本研究では、電極間に架橋した分子をモデル化した系として金ナノ粒子表面に構成された有機単分子膜(図2(b))を研究対象として、そのナノ粒子集積膜(図2(c))でもCHC計測やイオン計測といった内殻

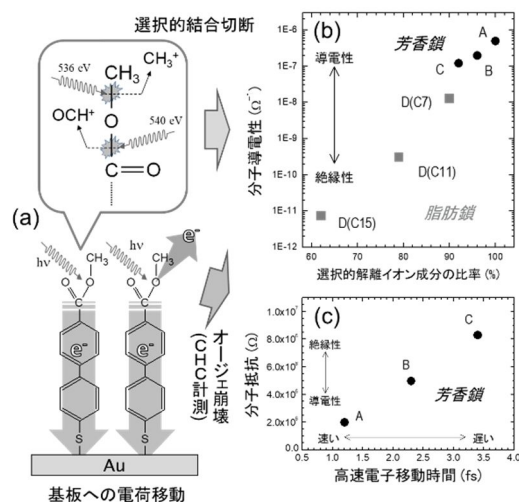


図1 これまでの研究成果。(a)エステル修飾SAMの内殻励起によって誘起されるオージェ崩壊とサイト選択的結合切断反応は、競争する基板への電荷移動によって影響を受ける。(b)これまでに導電性が異なる分子鎖をもつ種々のSAMで観測された、選択的に解離する成分の比率と分子導電性との広い範囲にわたる相関性。(c)高導電性分子では、CHC法による高速な電子移動時間が分子導電性に相関して計測できる。

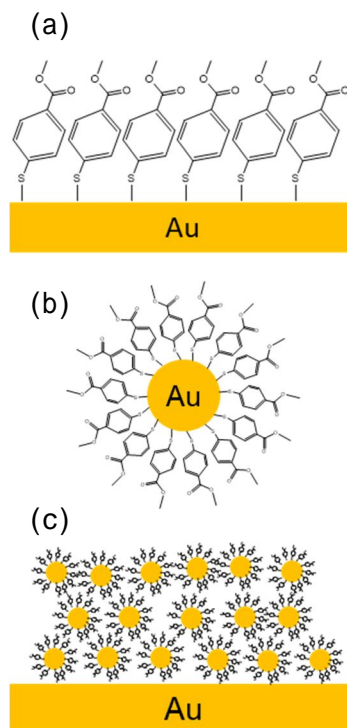


図2 本研究で用いた試料の模式図。(a)末端にメチルエステルをもつ芳香鎖SAM。(b)金ナノ粒子に形成したSAM。(c)SAM形成ナノ粒子の集積薄膜。

励起ダイナミクスが、分子導電性とよい相関性をもって計測できることを検証する。

3. 研究の方法

本研究では、末端に軟X線吸収部位であるメチルエステルをもつ芳香鎖分子に着目する。その分子で金ナノ粒子表面を修飾したSAM形成金ナノ粒子を研究対象とし、内殻共鳴励起によるオージェ電子分光CHC計測と脱離イオン計測を実施した。

これまでの平板上SAM試料での結果を踏まえて、本研究では分子鎖の導電性を変えたモノフェニルおよびビフェニル芳香鎖のチオール分子を対象分子とした。軟X線吸収部位には、これまでの平面SAM試料で用いてきたメチルエステル基(-COOCH₃)を採用する。金ナノ粒子表面にチオレート結合させることでSAMを形成し、その集積薄膜を測定試料とする。この一連の試料作成手法を、本研究で確立させる。

測定は2つの放射光源、広島大学放射光科学研究所のHiSORと高エネルギー加速器研究機構のPFを用いて実施した。合成した金ナノ粒子やその集積薄膜は、HiSORの軟X線吸収および光電子計測で評価した。酸素吸収端の各共鳴励起状態でオージェ電子分光測定を精密に行い、得られる共鳴オージェ電子の収量比から金ナノ粒子へ失活する電子移動速度をCHC解析で決定した。一方、PFでは、ハイブリッド運転に含まれる高強度パルス成分だけをチョッピングすることで得られるパルス放射光を利用して、脱離イオンの飛行時間型イオン質量分析計測を実施した。炭素および酸素内殻励起領域での吸収スペクトル、全イオン収量スペクトル、脱離イオン種毎の収量スペクトルを測定し、申請者が独自に考案した解析手法でイオン脱離の選択性を定量的に求めた。

4. 研究成果

(1) SAM形成金ナノ粒子集積膜の作成

金ナノ粒子表面に対象分子を吸着させて分子修飾(SAM形成)を行うためには、サイズが均一で分子被覆のない裸の金ナノ粒子を用意する必要がある。市販の金ナノ粒子は、分子被覆で保護された状態で販売されているものがほとんどである。そこで本研究では、金基板の液中パルスレーザーアブレーション法を用いることで、ナノ粒子を合成することにした。エタノール中に設置した金基板に緑色パルスレーザーを長時間集光照射することで、被覆のない金ナノ粒子を合成することに成功した。強度や集光条件を整えることで、図3のSEM画像に示すような7nm程の均一なナノ粒子合成手法を確立した。このナノ粒子分散液とチオール分子溶液とを高速攪拌しながら混合することで、金-硫黄結合による分子吸着したナノ粒子を作成した。

この分子修飾したナノ粒子分散液の遠心濃縮と分散を繰り返すことで、吸着しなかった余剰なチオール分子を除去し、その後、金基板上に滴下乾燥させることでSAM形成金ナノ粒子の集積膜を得た。得られた薄膜試料については、広島大学の放射光施設HiSORのBL-13で軟X線分光測定を実施することで評価した。軟X線吸収スペクトルのスペクトル形状や偏光依存性、またX線光電子分光(XPS)スペクトルについて、平面金基板上に作成したSAMと対比させることで、ナノ粒子表面上に化学吸着していることや、粒子の集積化でも分子の電子状態は影響を受けていないことを確認した。

(2) オージェ電子分光・CHC計測

上記手法で作成した芳香鎖分子修飾金ナノ粒子集積膜について、HiSOR BL-13でオージェ電子分光計測を行った。対比参照のため、モノフェニル鎖とビフェニル鎖の2種類のチオール分子について、平面基板上SAMと共に測定した。図4に末端にメチルエステルをもつビフェニル鎖チオールの(a)平面SAMと(b)ナノ粒子修飾SAMで得られた結果を示す。01s²(C=O)内殻共鳴励起で得られたオージェ電子スペクトルを○線で示している。このスペクトルを再現したものがオレンジ線になるが、これは電荷移動がおこらない絶縁性の高い長脂肪鎖メチルエステルで得られた共鳴オージェスペクトル(緑線)と、電荷移動後のオージェ崩壊で想定されるノーマルオージェスペクトル(紫線)の和によって再現されている。これらの成分比率から内殻正孔寿命(酸素の約4フェムト秒)を基準とした高速な電荷移動時間が得られた。このCHC解析から、SAM形成ナノ粒子の集積薄膜での電荷移動時間は平面SAMと同一であり、また分子鎖に依存した電荷移動時間の変化が得られた。CHC解析で得られる電荷移動情報は超高速で起こっている現象のた

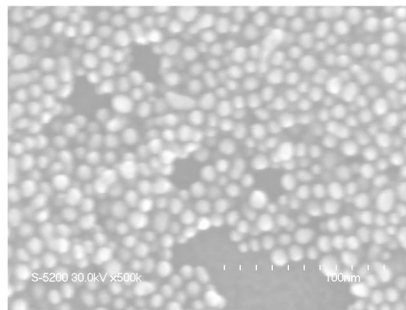


図3 パルスレーザーアブレーション法で合成した金ナノ粒子の走査型電子顕微鏡(SEM)写真。平均粒径は7 nm。

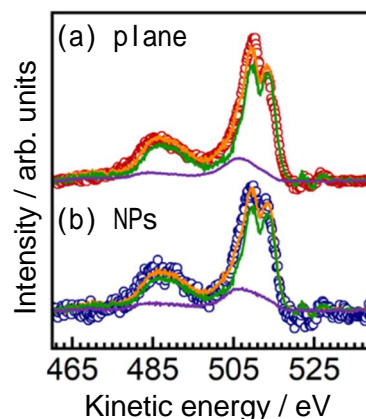


図4 (a)平面SAMおよび(b)ナノ粒子表面上のビフェニルチオールで得られたオージェスペクトルのCHC解析。○:計測データ、緑線:共鳴オージェ成分、紫線:ノーマルオージェ成分、オレンジ線:緑線と紫線の和で再現された計測データのフィッティング結果。

め、分子環境が異なっても本質的に観測されるダイナミクスには影響がないことを示している。すなわち、ナノ粒子の集積膜条件でも CHC 法では電荷移動が正確に評価できることが分かった。

(3) 脱離イオン計測

PF ハイブリッド運転での飛行時間型脱離イオン質量計測では、修飾分子の末端最表面に位置するメチルエステル部位から脱離するメチルイオンの励起エネルギー依存性（励起状態依存性）を調べた。図5にナノ粒子に修飾したビフェニル鎖 SAM での吸収 (TEY) スペクトルと各種脱離イオンの収量スペクトルを示す。末端メチルエステル基から脱離した CH_n^+ ($n=0-3$) イオンが H^+ イオンに次いで多く観測されるが、その収量スペクトルは TEY スペクトルとは異なって特定の励起状態でのみ、収量の増大が観測された。これは、 C1s^* ($\text{O}-\text{CH}_3$) 共鳴励起によって $\text{O}-\text{CH}_3$ 間の結合性が著しく低下したことによるもので、内殻共鳴励起特有のサイト選択的な局所的反応が誘起されていることによる。この場合、高速な解離反応が要因となるため、余剰エネルギーの大半が脱離する CH_3^+ イオンに蓄積され、激しい断片化をもたらす。したがってこの CH_n^+ イオンの断片化割合を解析することで、競争する金属表面への電荷移動の割合を間接的に評価できることになる。ナノ粒子集積膜の場合は、作成した試料状態によって断片化が大きく変化して計測されるが、適正な解析を施すことでイオン脱離計測でも平面 SAM と同一の電荷移動ダイナミクス情報を抽出できることが分かった。すなわち、集積膜下でのイオン計測であっても、電子計測の場合と同様に超高速電荷移動情報を抽出できることが分かった。

以上のように本申請研究を通して、10nm 以下の被覆のない金ナノ粒子の合成から、分子被覆、その集積膜化、そして放射光を利用した電荷移動ダイナミクス計測に至るまでの一連の研究スキームを構築することに成功した。

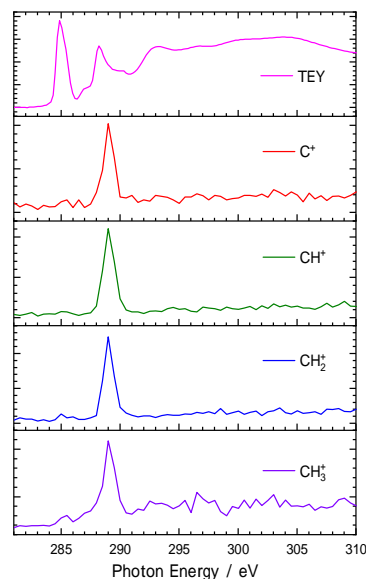


図5 ナノ粒子に修飾したビフェニルチオールで得られた吸収スペクトルと各種脱離イオンの収量スペクトル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kaneyasu T., Hikosaka Y., Wada S., Fujimoto M., Ota H., Iwayama H., Katoh M.	4. 巻 13
2. 論文標題 Time domain double slit interference of electron produced by XUV synchrotron radiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6142(1-8)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-33039-9	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 Hirato Misaki, Yokoya Akinari, Baba Yuji, Mori Seiji, Fujii Kentaro, Wada Shin-ichi, Izumi Yudai, Haga Yoshinori	4. 巻 25
2. 論文標題 Incorporation of a bromine atom into DNA-related molecules changes their electronic properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 14836 ~ 14847
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d3cp01597a	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 Hikosaka Y., Kaneyasu T., Wada S., Kohguchi H., Ota H., Nakamura E., Iwayama H., Fujimoto M., Hosaka M., Katoh M.	4. 巻 13
2. 論文標題 Frequency-domain interferometry for the determination of time delay between two extreme-ultraviolet wave packets generated by a tandem undulator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10292(1-8)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-37449-7	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 Wada Shin-Ichi, Ohta Hiroyuki, Mano Atsushi, Takashima Yoshifumi, Fujimoto Masaki, Katoh Masahiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Young's double-slit experiment with undulator vortex radiation in the photon-counting regime	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22962(1-8)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-49825-4	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 Niozu Akinobu, Fukuzawa Hironobu, Hagiya Toru, Yamamoto Akifumi, You Daehyun, Saito Shu, Ishimura Yudai, Togashi Tadashi, Owada Shigeki, Tono Kensuke, Yabashi Makina, Wada Shin-ichi, Matsuda Kazuhiro, Ueda Kiyoshi, Nagaya Kiyonobu	4. 巻 106
2. 論文標題 Surface explosion and subsequent core expansion of laser-heated clusters probed by time-resolved photoelectron spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 043116(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.106.043116	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 Kumagai Yoshiaki, Motomura Koji, Wada Shin-ichi, Iablonskyi Denys, Umemoto Takayuki, Nicolas Christophe, Miron Catalin, Togashi Tadashi, Ogawa Kanade, Owada Shigeki, Tono Kensuke, Yabashi Makina, Fukuzawa Hironobu, Nagaya Kiyonobu, Ueda Kiyoshi, 他8名	4. 巻 13
2. 論文標題 Ionization of Xenon Clusters by a Hard X-ray Laser Pulse	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2176(1-21)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13042176	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 該当する

1. 著者名 Fuji Takao, Kaneyasu Tatsuo, Fujimoto Masaki, Okano Yasuaki, Salehi Elham, Hosaka Masahito, Takashima Yoshifumi, Mano Atsushi, Hikosaka Yasumasa, Wada Shin-ichi, Katoh Masahiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction of synchrotron radiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 302 ~ 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.477535	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 該当する

1. 著者名 Hirato Misaki, Onizawa Misato, Baba Yuji, Haga Yoshinori, Fujii Kentaro, Wada Shin-ichi, Yokoya Akinari	4. 巻 -
2. 論文標題 Electronic properties of DNA-related molecules containing a bromine atom	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Radiation Biology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09553002.2020.1800121	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 K. Nagaya, T. Sakai, T. Nishiyama Hiraki, S. Yase, K. Matsunami, K. Asa, H. Fukuzawa, K. Motomura, Y. Kumagai, W.Q. Xu, S. Wada, H. Hayashita, N. Saito, M. Nagasono, T. Togashi, M. Yabashi, K. Ueda	4. 巻 5
2. 論文標題 Surface plasma resonance in Xe clusters studied by EUV pump-NIR probe experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 015014 ~ 015014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-6528/abdafa	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 Kumagai Yoshiaki, Fukuzawa Hironobu, Motomura Koji, Nagaya Kiyonobu, Wada Shin-ichi, Miron Catalin, Kukk Edwin, Santra Robin, Ueda Kiyoshi 他22人	4. 巻 54
2. 論文標題 Suppression of thermal nanoplasma emission in clusters strongly ionized by hard x-rays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 044001 ~ 044001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/abd878	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 福澤宏宣、永谷清信、和田真一、河野裕彦、上田潔	4. 巻 33
2. 論文標題 X線で誘起される気相分子の超高速反応の観測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 81 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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58件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Takao Fuji, Tatsuo Kaneyasu, Masaki Fujimoto, Yasuaki Okano, Elham Salehi, Masahito Hosaka, Yoshifumi Takashima, Atsushi Mano, Hikosaka Yasumasa, Shin-ichi Wada and Masahiro Katoh
2. 発表標題 Waveform characterization of synchrotron light using spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction
3. 学会等名 Ultrafast Optics XIII (UFOXIII-2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金安達夫, 彦坂泰正, 和田真一, 藤本将輝, 太田紘志, 岩山洋士, 加藤政博
2. 発表標題 極端紫外ダブルパルス放射光による光電子波束の干渉
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣森慧太, 中島伸夫, 下山絢女, 長谷川巧, 和田真一, 高橋修, 間瀬一彦, 小澤健一
2. 発表標題 アナターゼ/ルチル界面における光触媒活性向上の起源: 光触媒活性とバンドベンディングの相関
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田真一
2. 発表標題 放射光軟X線分光で探る有機薄膜の反応・物性
3. 学会等名 日本放射化学会第67回討論会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣森 慧太、中島 伸夫、下山 絢女、長谷川 巧、和田 真一、高橋 修、間瀬 一彦、小澤 健一
2. 発表標題 TiO ₂ 結晶表面のアナターゼ/ルチル界面における光触媒活性向上の起源
3. 学会等名 強的秩序とその操作に関わる研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 彦坂泰正, 金安達夫, 和田真一, 高口博志, 太田紘志, 中村永研, 岩山洋士, 藤本將輝, 保坂将人, 加藤政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータからの光波束対の遅延時間
3. 学会等名 原子衝突学会第48回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田真一
2. 発表標題 Staticな内殻励起分光から探る高速電子緩和
3. 学会等名 自然科学研究機構先端光科学研究分野プロジェクト研究会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keita Hiramori, Nobuo Nakajima, Ayame Shimoyama, Takumi Hasegawa, Shin-ichi Wada, Osamu Takahashi, Kazuhiko Mase, and Kenichi Ozawa
2. 発表標題 Correlation between Enhancement Photocatalytic Activity and Band Bending at the Anatase/Rutile Interface
3. 学会等名 MRM2023(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金安達夫, 彦坂泰正, 和田真一, 藤本將輝, 太田紘志, 岩山洋士, 加藤政博
2. 発表標題 極端紫外ダブルパルスによる光電子波束の干渉
3. 学会等名 UVSORシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高口 博志、金安 達夫、彦坂 泰正、和田 真一、加藤 政博、太田 紘志、鈴木 喜一
2. 発表標題 光電子円二色性の高精度測定と広範囲探索
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 廣森 慧太、下山 絢女、中島 伸夫、長谷川 巧、和田 真一、高橋 修、間瀬 一彦、小澤 健一
2. 発表標題 二酸化チタン界面における光触媒活性向上の起源
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉岡 郭斗、天道 尚吾、仁王頭 明伸、田中 宏和、足立 純一、和田 真一
2. 発表標題 共役性の変化とイオン脱離ダイナミクスの関係性
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 天道 尚吾、仁王頭 明伸、吉岡 郭斗、田中 宏和、足立 純一、和田 真一
2. 発表標題 金ナノ粒子上の芳香族分子膜における軟X線照射後の反応ダイナミクス
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 彦坂 泰正、金安 達夫、和田 真一、高口 博志、太田 紘志、中村 永研、岩山 洋士、藤本 將輝、保坂 将人、加藤 政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータからの光波束対の遅延時間
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、和田真一、藤本將輝、太田紘志、岩山洋士、保坂将人、真野篤志、高嶋圭史、E. Salehi、加藤政博
2. 発表標題 シンクロトロン光源によるアト秒制御ダブルパルスの発生とその利用
3. 学会等名 原子衝突学会第47回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田真一、古賀亮介、小川舞、天道尚吾、仁王頭明伸
2. 発表標題 内殻励起ダイナミクス計測から探る有機界面の非接触導電性評価
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仁王頭明伸、足立純一、田中宏和、和田真一
2. 発表標題 内殻励起反応計測で探るピフェニル単分子膜における 電荷移動ダイナミクス
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田伏真隆、和田真一
2. 発表標題 Soft X-ray polarization analysis of lipid order for phospholipid multilayers supported on hydrophilic surfaces
3. 学会等名 第60回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. E. Castellani, P. Bucksbaum, E. Jones, A. Howard, E. Kukk, Y. Kumagai, H. Lam, R. Minns, J. McManus, K. Nagaya, A. Niozu, J. Niskanen, Z. Phelps, W. Rasmus, D. Rolles, A. Rudenko, J. Searles, A. Venkatachalam, K. Ueda, J. Unwin, S. Wada, T. Walmsley, E. Warne, F. Allum, M. Brouard, R. Forbes, 他12名
2. 発表標題 Time-resolved Coulomb explosion imaging of inner-shell excited state dynamics in CH ₂ I ₂ and CH ₂ BrI
3. 学会等名 Stereodynamics 2022 conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、和田真一、藤本將輝、太田紘志、岩山洋士、保坂将人、真野篤志、高嶋圭史、E. Salehi、加藤政博
2. 発表標題 タンDEMアンジュレータによるアト秒制御ダブルパルスの発生とその利用
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、太田紘志、鈴木喜一
2. 発表標題 イオン化終状態を分離したキラル分子系の光電子円二色性の測定
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仁王頭明伸、田中宏和、足立純一、和田真一
2. 発表標題 内殻励起反応計測によるピフェニル単分子膜の非接触導電性評価
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、太田紘志、鈴木喜一
2. 発表標題 光電子円二色性を示すキラル分子の探索
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 仁王頭 明伸、山本 明史、萩谷 透、福澤 宏宣、D. You、齋藤 周、石村 優大、上田 潔、和田 真一、大和田 成起、登野 健介、富樫 格、矢橋 牧名、松田 和博、永谷 清信
2. 発表標題 レーザー誘起ナノプラズマの時分割電子分光
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田 真一、田伏 真隆
2. 発表標題 基板支持リン脂質積層膜の直線偏光軟X線による相状態解析
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金安 達夫、彦坂 泰正、和田 真一、藤本 將輝、太田 紘志、岩山 洋士、保坂 将人、真野 篤志、高嶋 圭史、E. Salehi、加藤 政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータによる極端紫外ダブルパルスの発生とその利用
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 廣森慧太、中島伸夫、下山絢女、長谷川巧、和田真一、高橋修、間瀬一彦、小澤健一
2. 発表標題 顕微分光測定を用いたアナターゼ/ルチル界面の 光触媒活性と電子構造の評価
3. 学会等名 2022年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Fuji, T. Kaneyasu, M. Fujimoto, Y. Okano, E. Salehi, M. Hosaka, Y. Takashima, A. Mano, H. Yasumasa, S. Wada M. Katoh
2. 発表標題 Waveform characterization of synchrotron light using spectral phase interferometry for direct electric-field reconstruction
3. 学会等名 Ultrafast Optics XIII (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田真一
2. 発表標題 アンジュレータ放射光渦におけるヤングのダブルスリット回折カウンティング実験
3. 学会等名 大阪府立大学物性理論セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Misaki Hirato, Akinari Yokoya, Yuji Baba, Yusaku Kurokawa, Hiroshi Nakatsuji, Seiji Mori, Shin-ichi Wada, Yoshinori Haga, and Kentaro Fujii
2. 発表標題	Photoelectron spectroscopy and quantum-chemistry calculation study of bromine-incorporated DNA and its radio-sensitization mechanism
3. 学会等名	日本放射線影響学会第64回大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	天道尚吾、田中宏和、足立純一、和田真一
2. 発表標題	内殻分光による金ナノ粒子上の芳香族チオール分子における電荷移動ダイナミクスの解明
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	和田真一、太田寛之、真野篤志、藤本將輝、加藤政博
2. 発表標題	アンジュレータ放射光渦によるYoungのダブルスリット干渉カウンティング実験
3. 学会等名	UVSORシンポジウム2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	金安達夫、彦坂泰正、和田真一、藤本將輝、岩山洋士、加藤政博
2. 発表標題	タンデムアンジュレータによる光電子波束干渉
3. 学会等名	UVSORシンポジウム2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、藤本將輝、太田紘志、鈴木喜一
2. 発表標題 光電子円二色性を示すキラル分子の探索
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田真一、太田寛之、真野篤志、藤本將輝、加藤政博
2. 発表標題 アンジュレータ放射光渦のダブルスリット回折カウンティング実験
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田真一、古賀亮介、小川舞、天道尚吾
2. 発表標題 内殻励起ダイナミクス計測から探る有機界面の非接触導電性評価
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 天道尚吾、仁王頭明伸、田伏真隆、田中宏和、足立純一、和田真一
2. 発表標題 金ナノ粒子上の有機導電性分子における電荷移動ダイナミクス
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田伏真隆、和田真一
2. 発表標題 直線偏光軟X線を利用した脂質膜評価
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平戸未彩紀、横谷明德、馬場祐治、和田真一、芳賀芳範、藤井健太郎
2. 発表標題 軟X線XPSによるBr-ヌクレオチド分子の価電子状態計測とDNA分子内電荷移動機構
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masataka Tabuse, Akinobu Niozu, and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 Soft X-ray polarization measurements of phospholipid multilayers supported on hydrophilic Si surfaces
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinobu Niozu, Hiroki Sunohara, Shogo Tendo, Masataka Tabuse, and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 Characterization of self-assembled monolayers of methyl-ester terminated naphthalenethiol
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kai Kono, Shin-ichi Wada, and Tetsuji Sekitani
2. 発表標題 NEXAFS study of fullerene adsorbed on aminothiophenol self-assembled monolayer
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinjiro Hayakawa, Joji Oshita, Kei Oshima, Shogo Tendo, Toshinori Tsuru, and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 C K-edge XAFS measurements for detection of unsaturated bonds in organically bridged silica materials
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本華文、彦坂泰正、和田 真一
2. 発表標題 パルスHV型TOFを用いたHiSORでのサイト選択的イオン脱離の測定
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天道尚吾、岡田悠希、和田真一
2. 発表標題 内殻励起分光法による芳香族分子被覆金ナノ粒子の研究
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田伏真隆、和田真一
2. 発表標題 電子軌道配向試料を利用したHiSOR BL-13での軟X線偏光度計測と評価
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永谷清信、仁王頭明伸、萩谷透、松田和博、福澤宏宣、You Daehyun、齋藤周、石村優大、上田潔、和田真一、大和田成起、登野健介、富樫格、矢橋牧名
2. 発表標題 時分割電子分光によるレーザー誘起ナノプラズマの観測
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平戸未彩紀、馬場祐治、和田真一、藤井健太郎、横谷明德
2. 発表標題 軟X線光電子分光法を用いた臭素化DNA関連分子の電子状態の研究
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田真一、垣内拓大、田中宏和、足立純一
2. 発表標題 PFハイブリッドモード用パルスセレクターを用いた内殻励起イオン脱離計測
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田真一、太田寛之、真野篤志、加藤政博
2. 発表標題 アンジュレータ放射光渦のダブルスリット回折カウンティング実験
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamon Yamamoto and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 Electronic relaxation process in fluorinated aromatic monolayers studied by core-excited ion desorption
3. 学会等名 The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masataka Tabuse and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 Soft X-ray polarization measurement and evaluation at HiSOR BL-13 using electron orbitally oriented samples
3. 学会等名 The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shogo Tendo, Yuki Okada, and Shin-ichi Wada
2. 発表標題 Inner shell excitation spectroscopy of gold nanoparticles coated with aromatic molecules
3. 学会等名 The 25th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高口博志、金安達夫、彦坂泰正、和田真一、加藤政博、藤本将輝、鈴木喜一
2. 発表標題 光電子円二色性のエネルギー依存性の測定
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、藤本将輝、岩山洋士、中村永研、和田真一、高口博志、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 周波数・時間領域干渉法によるフェムト秒遅延時間の測定
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、藤本将輝、岩山洋士、中村永研、和田真一、高口博志、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 周波数・時間領域干渉法によるフェムト秒遅延時間の測定
3. 学会等名 原子衝突学会第45回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井出郁央、安倍学、飯沼昌隆、池上弘樹、池田陽一、石黒亮輔、石崎貢平、石元茂、猪野隆、岩田高広、上坂友洋、大友季哉、奥隆之、神田浩樹、北口雅暁、郡英輝、嶋達志、清水裕彦、高橋大輔、高橋義朗、谷口貴紀、藤田全基、堀田大稀、松下琢、三浦大輔、宮地義之、吉川大幹、與曾井優、和田真一、和田信雄、他 NOPTREX collaboration
2. 発表標題 中性子複合核共鳴吸収反応における時間反転対称性の破れの探索に向けた偏極La標的の開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安倍学, 飯沼昌隆, 池上弘樹, 池田陽一, 石黒亮輔, 石崎貢平, 石元茂, 伊東佑起, 井出郁央, 猪野隆, 岩田高広, 上坂友洋, 大友季哉, 奥隆之, 神田浩樹, 北口雅暁, 郡英輝, 嶋達志, 清水裕彦, 高橋大輔, 高橋義朗, 立石健一郎, 谷口貴紀, 広田克也, 藤田全基, 堀田大稀, 松下琢, 三浦大輔, 宮地義之, 和田真一, 他 5人
2. 発表標題 時間反転対称性の破れ探索実験のための偏極La核標的開発の現状
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	天道 尚吾 (Tendo Shogo)	広島大学・理学研究科・博士課程後期 (15401)	

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
---------	---------