

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05053

研究課題名(和文) 局在プラズモンが示す近接場円偏光による光不斉化学反応場の開拓

研究課題名(英文) Asymmetric photoreaction field using circular polarized light of localized plasmon

研究代表者

押切 友也(Oshikiri, Tomoya)

北海道大学・電子科学研究所・特任准教授

研究者番号：60704567

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究を通して、円偏光照射下での近接場特性について、多光子光電子顕微鏡を用いてその空間分布およびスペクトル、緩和時間を高い空間・エネルギー・時間分解能で定量的に計測することに成功した。アキララな金ナノ長方形近傍の近接場のキララな空間分布が直線方向のプラズモンモード同士の干渉に基づくものであり、円偏光による外因的なものであることが明らかとした。また、直交する金ナノロッドダイマーを用いて近接場緩和時間の計測を行った。直交金ナノロッドダイマーに左右円偏光を各々励起される励起される反対称・対称モードの位相緩和時間計測から近接場のフェムト秒スケールでのキララ光学応答過程を明らかにする直接的な証拠を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を遂行するに当たり、多光子光電子顕微鏡を用いてその空間分布およびスペクトル、緩和時間を高い空間・エネルギー・時間分解能で計測する手法を開発した。これは今後の近接場キラリティーの研究のモデルケースとなる方法論である。さらに、近接場キラリティーの発現起源について、モード間干渉という新たな解釈を提案した。これは本研究に限定されるものではなく、種々のプラズモンモードの近接場キラリティーの理解に貢献する。

研究成果の概要(英文)：We have observed the chiral near-field distribution and the spectra on the series of achiral gold nano-rectangular structures (Au-NRs) under the circularly polarized light (CPL) irradiation by using multi-photon photoemission electron microscopy (MP-PEEM). We propose an interpretation that the chiral NF distribution is extrinsically generated on an achiral metallic nanostructure by the interference between two plasmonic modes by combining the state-of-the-art MP-PEEM techniques and classical oscillator model.

Additionally, by using time-resolved PEEM, the origin of chirality in plasmonic nanostructures could be directly revealed in the space and time domains with nanofemto scale resolution. The dynamic information on plasmonic modes, such as the resonance frequency and dephasing time for left and right CPL excitations were obtained by applying the interferometric time-resolved pump-probe technique, providing direct evidence for the spatiotemporal origin of chirality.

研究分野：光化学

キーワード：プラズモン 近接場イメージング 光電子顕微鏡 キラリティー 近接場スペクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金をはじめとする金属ナノ構造に光を照射した際に誘起される局在プラズモンは光を時間的・空間的に閉じ込め可能であり、局所的に高い増強電場を生じることから、光と物質の相互作用を効果的に利用可能な新奇な光化学反応場として大きく期待されている。これまでに、プラズモンの化学反応への応用例は数多く報告されているが、そのほとんどがプラズモンによる電場の増強という量的な変化を利用したものである。また、構造そのものがキラリティーを有した構造が示すプラズモンの近接場特性についても研究されてきた(H. Giessen et al., Phys. Rev. X, 2, 031010 (2012))。一方、Okamotoらは長方形の金ナノ構造に円偏光を照射すると、構造自身にキラリティーがなく遠方場では光学不活性であるにもかかわらず近接場では局所的にキラリティーが観測されることを近接場イメージングを用いて報告している(H. Okamoto et al., J. Phys. Chem. C, 118, 22229 (2014))。

この局所キラリティー発現の原理解明は未解明の命題であり、近接場キラリティーの起源はどこにあるのかを明らかにすることはプラズモニクスの発展の為に不可欠である。さらに、化合物の立体配置を制御する不斉反応は、医薬品や食品の生体適合性を決定し、生命の起源にもせまる重要な反応であることから、プラズモン増強された近接場円偏光を物質と相互作用可能な光不斉反応場として用いたときの現象を明らかにすることは、極めて重要である。しかしながら、現時点では研究例が限られておりその解明がほとんど進んでいない重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、第一にプラズモンナノ構造が示す近接場キラリティーの起源を明らかにすることであり、そのために円偏光照射下における近接場光の計算、及び可視化を行った。具体的には、ナノ構造の形状因子と近接場キラリティーとの関係を理論的、実験的に系統的に評価することで近接場キラリティー誘起の必要条件について検討した。円偏光照射によって誘起される近接場キラリティーは遠方場では観測できないため、円偏光照射下での近接場特性について、多光子光電子顕微鏡(MP-PEEM)を用いてその空間分布およびスペクトル、緩和時間を高い空間・エネルギー・時間分解能で定量的に求め、ナノ構造が形成する近接場キラリティーの系統的な評価を行うことを目指し、研究を行った。

3. 研究の方法

プラズモンナノ構造は電子線リソグラフィ-リフトオフ法を用い、基板の上に数 nm の加工分解能で作製した。本研究では金ナノ長方形構造と、直交ナノロッドダイマー構造を作製した。

円偏光照射下で近接場において形成される光電場は、PEEM 真空チャンバー中に設置した金属ナノ構造に円偏光を照射し、放出される光電子を検出することで行った。PEEM で金属の仕事関数以上のエネルギーの光を照射すると金属構造全体からの光電子像が観測されるが、より小さいエネルギーのパルス光を照射するとプラズモンの増強電場でのみ多光子励起により光電子が放出され、近接場増強の空間分布を可視化可能である。また、近接場スペクトルは光電子強度の入射光エネルギー依存性から求めた。

また、パルス幅 ~ 7 fs、中心波長 800 nm のパルスレーザーをマッハ・ツェンダー干渉計によりポンプビームとプローブビームに分割して光電子顕微鏡に導入することで、近接場の緩和過程を観測した。キラルなポンプ・プローブ光によってそれぞれ励起された LSPR 同士の干渉により、フェムト秒オーダーでの近接場の緩和の時間変化を観測した。

図 1 に本研究で用いた PEEM の入射光学系を示す。

4. 研究成果

該当研究期間(2018~2020年度)を通して、LSPR の近接場およびそれを用い

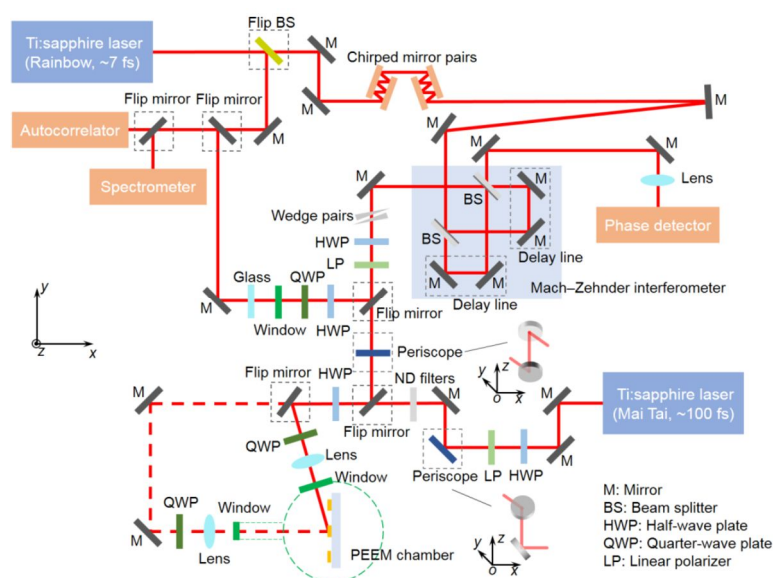


図 1. PEEM の入射光学系。

た光化学反応系について、様々な研究成果が得られたがここでは以下 4-、4- について紹介する。

4 -) アキラルな金属ナノ構造近傍に生じるキラルな近接場分布の観測とその起源の解明

我々は、LSPR のモードの位相に着目し、各モードの位相差がモード間の干渉に関係し、特定の条件下で近接場円偏光を誘起していると考えた。プラズモンモードと LSPR を励起する光の周波数を考えた時、励起光の周波数によって LSPR モードとの間に位相差が生じる。励起光に対する LSPR の位相は、その共鳴波長よりも短波長側では高い光の周波数に対して位相が遅れ、光の周波数が十分低い長波長側では同位相に近づいていく。

このような LSPR の位相角を考える際に、共振器の原理を適用することで、式(1)を用いて近接場スペクトルから共鳴波長に対する LSPR モードの位相角を求められる。

$$\zeta = \frac{\Delta f}{2f_0} = \frac{1}{2Q}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2} \quad (1)$$

ここで、 ζ は減衰比、 φ は位相角、 Δf は半値全幅、 f_0 はピーク波長、 ω は角周波数、 Q は共振の鋭さを示す。

以上をもとに、金ナノ長方形における円偏光照射時の LSPR の応答は図 2 のように可視化される。T、L モードを直線偏光で同時に励起したとき、その位相角は $2/\square$ 異なるため、図 2(b) のように 2 つのモードは干渉せず金ナノ長方形の 4 つの角に電場増強が起こる。一方、左円偏光 (LCP) 照射下では L モードの位相が $\pi/2$ 遅れて励起されるため、T モードとの位相差が 0 になる波長が存在する。そのような波長では、図 2(a) のように T と L モードの干渉が起こり、金ナノ長方形の右上左下の対角で電場増強が起こる。一方、右円偏光 (RCP) 照射下の L モードは位相が $\pi/2$ 進んで励起されることで T モードとの位相差が π となる波長が存在し、図 2(c) のように LCP と鏡対称の左上右下の対角で電場増強が起こる。

上記仮説検証のために、金ナノ長方形の円偏光照射下での近接場差 (DNF) スペクトルの測定を行った (図 3)。その結果、DNF スペクトルのピーク波長は、T および L 方向に直線偏光を照射した際の近接場スペクトルのピークとは異なる位置に観測された。また、円偏光照射下での T、L モードの位相角を式(1)より求めたところ、DNF スペクトルのピーク波長は、T、L モードの位相差が 0 となる波長とほぼ一致した。これは、図 2a に示す LSPR モード間の干渉に由来する結果であると考えられる。シミュレーション結果も同様の結果を示し、また、異なるアスペクト比を持つ金ナノ構造の測定結果も仮説を支持するものであった。

上記の一連の検討により、アキラルな金ナノ長方形近傍の近接場のキラルな空間分布

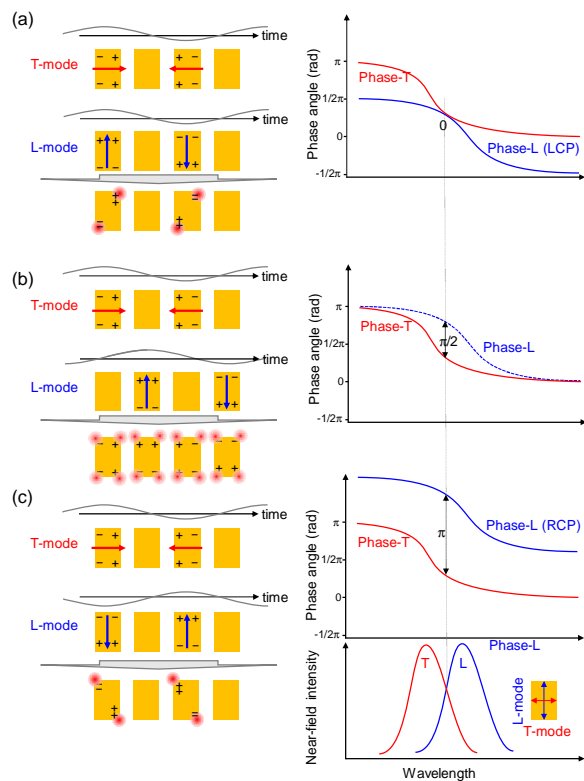


図 2. T、L モードの位相差が 0(a)、 $\pi/2$ (b)、 π (c) の時の金ナノ長方形上での電子振動と電場増強分布。右図は近接場スペクトルおよびその位相角。

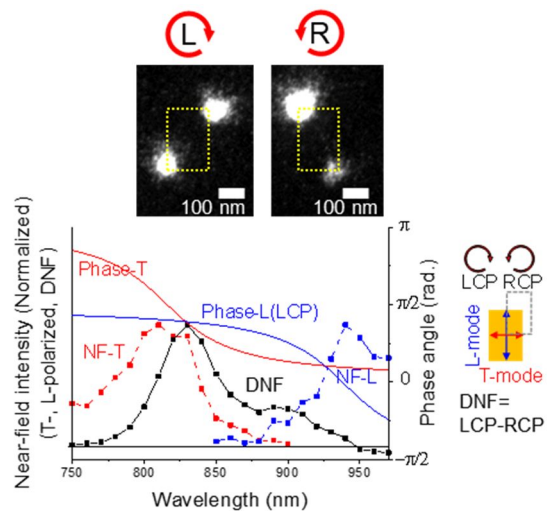


図 3. 金ナノ構造 (160 × 240 nm) へ左右円偏光を照射した際の近接場分布 (上) と近接場の T・L モードと DNF のスペクトル (下)。点枠線は電場増強のモニター領域。各モードの位相は式(1)から求めた。

が直線方向のプラズモンモード同士の干渉に基づくものであり、円偏光による外因的なものであることが明らかとなった（論文投稿準備中）。

4 -)フェムト時間秒スケールでのプラズモン構造のキラル光学応答の計測

4 - で述べた、円偏光照射下の近接場の空間分布及びスペクトルに加えて、そのキラル光学応答の緩和過程の計測は近接場のキラリティーを理解する上で極めて重要である。本研究では、図4a に示互いに直交する金ナノロッドダイマーを用いて近接場緩和時間の計測を行った。直交金ナノロッドダイマーに 74° の斜角で左右円偏光を照射すると、反対称・対称モード励起に基づき大きなキラル光学応答が観測される。

3 で述べたキラルなポンプ・プローブ光を用いた時間分解 PEEM 測定から、その近接場強度の緩和過程を計測した（図 4b,c）。これを減衰調和振動子モデルを用いてフィッティングしたところ、左円偏光で励起される反対称モード、右円偏光で励起される対称モードの位相緩和時間はそれぞれ 4.8 fs と 5.0 fs と見積もられた。以上から、近接場分布だけで無く、近接場のフェムト秒スケールでのキラル光学応答過程を明らかにする直接的な証拠を得ることに成功した（Nano Lett. , published on the web, DOI: 10.1021/acs.nanolett.1c01322）

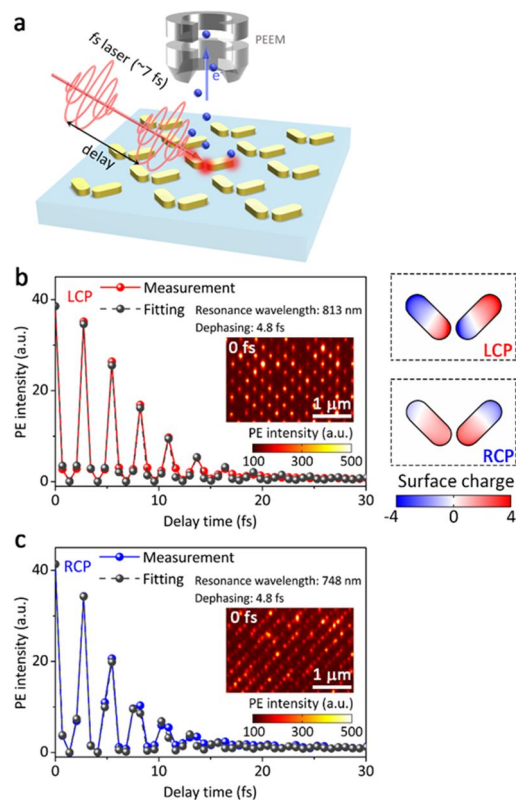


図 4 時間分解 PEEM の模式図(a)と左右円偏光下での近接場強度の緩和過程(b,c)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Cao Yanfeng, Shi Xu, Oshikiri Tomoya, Zu Shuai, Sunaba Yuji, Sasaki Keiji, Misawa Hiroaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Near-field engineering for boosting the photoelectrochemical activity to a modal strong coupling structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 524 ~ 527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC07335K	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 Nakamura Keisuke, Oshikiri Tomoya, Ueno Kosei, Ohta Hiromichi, Misawa Hiroaki	4. 巻 50
2. 論文標題 Hot-carrier Separation Induced by the Electric Field of a p-n Junction between Titanium Dioxide and Nickel Oxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 374 ~ 377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200790	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 Shi Xu, Li Xiaowei, Toda Takahiro, Oshikiri Tomoya, Ueno Kosei, Suzuki Kentaro, Murakoshi Kei, Misawa Hiroaki	4. 巻 3
2. 論文標題 Interfacial Structure-Modulated Plasmon-Induced Water Oxidation on Strontium Titanate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 5675 ~ 5683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00648	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 Okazaki Megumi, Suganami Yoshiki, Hirayama Naoki, Nakata Hiroko, Oshikiri Tomoya, Yokoi Toshiyuki, Misawa Hiroaki, Maeda Kazuhiko	4. 巻 3
2. 論文標題 Site-Selective Deposition of a Cobalt Cocatalyst onto a Plasmonic Au/TiO ₂ Photoanode for Improved Water Oxidation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 5142 ~ 5146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00857	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 Oshikiri Tomoya, Shi Xu, Misawa Hiroaki	4. 巻 2020
2. 論文標題 Enhancement of Selective Fixation of Dinitrogen to Ammonia under Modal Strong Coupling Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1396 ~ 1401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201901260	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 Oshikiri Tomoya, Sawayanagi Hiroki, Nakamura Keisuke, Ueno Kosei, Katase Takayoshi, Ohta Hiromichi, Misawa Hiroaki	4. 巻 152
2. 論文標題 Arbitrary control of the diffusion potential between a plasmonic metal and a semiconductor by an angstrom-thick interface dipole layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 034705 ~ 034705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5134900	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 Wang Yaguang, Shi Xu, Oshikiri Tomoya, Zu Shuai, Ueno Kosei, Misawa Hiroaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Plasmon-induced electron injection into the large negative potential conduction band of Ga2O3 for coupling with water oxidation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 22674 ~ 22679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NR06319C	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 押切友也・三澤弘明	4. 巻 55
2. 論文標題 ワイドギャップ半導体であるSrTiO3やTiO2を用いた可視光による選択的アンモニア合成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 287 ~ 289
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 無
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 Oshikiri Tomoya, Shi Xu, Misawa Hiroaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement of Selective Fixation of Dinitrogen to Ammonia Under Modal Strong Coupling Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	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) 10.1002/ejic.201901260	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 Oshikiri Tomoya, Sawayanagi Hiroki, Nakamura Keisuke, Ueno Kosei, Katase Takayoshi, Ohta Hiromichi, Misawa Hiroaki	4. 巻 152
2. 論文標題 Arbitrary control of the diffusion potential between a plasmonic metal and a semiconductor by an angstrom-thick interface dipole layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 034705 ~ 034705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5134900	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 Cao Yanfeng, Oshikiri Tomoya, Shi Xu, Ueno Kosei, Li Jie, Misawa Hiroaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Efficient Hot Electron Transfer under Modal Strong Coupling Conditions with Sacrificial Electron Donors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 1008 ~ 1014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.201900178	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 Oshikiri Tomoya, Ueno Kosei, Misawa Hiroaki	4. 巻 21
2. 論文標題 Ammonia photosynthesis via an association pathway using a plasmonic photoanode and a zirconium cathode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 4443 ~ 4448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9GC01658A	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 K. Ueno, J. Yang, Q. Sun, D. Aoyo, H. Yu, T. Oshikiri, A. Kubo, Y. Matsuo, Q. Gong, H. Misawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Control of plasmon dephasing time using stacked nanogap gold structures for strong near-field enhancement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Mater. Today	6. 最初と最後の頁 159-165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2018.12.004	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 J. Yang, Q. Sun, K. Ueno, X. Shi, T. Oshikiri, H. Misawa, Q. Gong	4. 巻 9
2. 論文標題 Manipulation of the dephasing time by strong coupling between localized and propagating surface plasmon modes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 4858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-07356-x	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 X. Shi, K. Ueno, T. Oshikiri, Q. Sun, K. Sasaki, H. Misawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Enhanced water splitting under modal strong coupling conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Nanotechnol.	6. 最初と最後の頁 953-958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41565-018-0208-x	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. Nakamura, T. Oshikiri, K. Ueno, T. Katase, H. Ohta, H. Misawa	4. 巻 122
2. 論文標題 Plasmon-assisted polarity switching of a photoelectric conversion device by UV and visible light irradiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 14064-14071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b01198	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 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 押切友也・石旭・三澤弘明
2. 発表標題 プラズモンとファブリ・ペローナノ共振器との結合を用いた光カソードの構築
3. 学会等名 日本化学会第 102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yen-En Liu, Xu Shi, Tomoya Oshikiri, Shuai Zu, Quan Sun, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Coherent-interaction-enhanced hot-electron generation under modal strong coupling conditions
3. 学会等名 日本化学会第 102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅浪 誉騎、押切 友也、石 旭、三澤 弘明
2. 発表標題 金銀合金ナノ微粒子を用いたモード超強結合電極の構築とその電子移動効率の検討
3. 学会等名 日本化学会第 102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 押切友也・石旭・三澤弘明
2. 発表標題 モード強結合を利用した選択的空中窒素固定による光アンモニア合成
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yen-En Liu, Xu Shi, Quan Sun, Tomoya Oshikiri, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Influence of particle density on modal strong coupling photonics properties between localized surface plasmon and Fabry-Perot nanocavity modes
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiki Suganami, Tomoya Oshikiri, Zu Shuai, Xu Shi, Quan Sun, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Water oxidation under modal ultra-strong coupling condition using Au/Ag alloy nanoparticles and Fabry-Perot nanocavity
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押切友也
2. 発表標題 光アンモニア合成に向けた新規モード強結合光カソードの作製
3. 学会等名 新学術領域「革新的光物質変換」第3回公開シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Oshikiri, Xu Shi, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Fabrication of photocathode using modal coupling between plasmon and Fabry-Perot nanocavity
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yen-En Liu, Xu Shi, Tomoya Oshikiri, Shuai Zu, Quan Sun, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Coherent-interaction-enhanced hot-electron generation under modal strong coupling conditions
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅浪誉騎・押切友也・石旭・三澤弘明
2. 発表標題 金銀合金ナノ微粒子を用いたモード超強結合電極の構築とその電子移動効率の検討
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiki Suganami, Tomoya Oshikiri, Xu Shi, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Modal Ultra-strong Coupling using Au/Ag Alloy Nanoparticles and Fabry-Perot Nanocavity and its application to water oxidation
3. 学会等名 The 21st RIES-HOKUDAI International Symposium 間(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yen-En Liu, Xu Shi, Tomoya Oshikiri, Shuai Zu, Quan Sun, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa
2. 発表標題 Coherent-interaction-enhanced hot-electron generation under modal strong coupling conditions
3. 学会等名 The 21st RIES-HOKUDAI International Symposium 間(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Oshikiri, X Shi, H. Misawa
2. 発表標題 Ammonia photosynthesis from dinitrogen under modal strong coupling conditions
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 押切友也, 孫泉, 山田拓樹, Zu Shuai, 笹木敬司, 三澤弘明
2. 発表標題 円偏光照射下における金属ナノ構造の近接場の観測
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. Oshikiri
2. 発表標題 Ammonia Photosynthesis using Plasmon-induced Charge Separation under Visible Light Irradiation
3. 学会等名 2019 International Symposium of Research Institute for Electronic Science (RIES) and Center for Emerging Functional Matter Science (CEFMS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Oshikiri, X. Shi, Q. Sun, H. Misawa
2. 発表標題 Visible-Light Driven Artificial Photosynthesis via Plasmon-Induced Charge Separation
3. 学会等名 2019 Southwest-Rocky Mountain Regional Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押切友也、山田拓樹、孫泉、笹木敬司
2. 発表標題 光電子顕微鏡を用いた金ナノ構造の近接場円二色性の観測
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Oshikiri, H. Yamada, Q. Sun, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Observation of near-field chirality generation on an achiral plasmonic structure
3. 学会等名 The 11th International Conference on Information Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Oshikiri, H. Yamada, Q. Sun, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Exploring the Mechanism of Near-field Chirality Generation on an Achiral Plasmonic Structure
3. 学会等名 The 29th International Conference on Photochemistry (ICP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押切友也
2. 発表標題 光電子顕微鏡を用いた金ナノ構造の近接場円二色性計測
3. 学会等名 第16回プラズモニック化学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Oshikiri, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Fabrication of High-absorption Plasmonic Photoanode
3. 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Oshikiri, R. Takakura, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Artificial Photosynthesis using Plasmonic Photoanode
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hiroki, T. Oshikiri, Q. Sun, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Exploring Mechanism of Near-field Chirality Generation on Achiral Plasmonic Structure
3. 学会等名 19th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Oshikiri, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa
2. 発表標題 Fabrication of Three-dimensional Plasmonic Photoanode with Through-hole Array
3. 学会等名 19th RIES-HOKUDAI International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 上野貢生、押切友也	4. 発行年 2019年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 216
3. 書名 CSJ カレントレビュー プラズモンと光圧が導くナノ物質科学 ナノ空間に閉じ込めた光で物質を制御する PartII 13章	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 表面増強ラマン散乱分析用基板、その製造方法およびその使用方法	発明者 三澤 弘明、押切 友也、上野 貢生、 石 旭、臧 瀟倩、	権利者 北海道大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-163256	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

北海道大学電子科学研究所 三澤弘明研究室 http://misawa.es.hokudai.ac.jp/

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