

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04589

研究課題名(和文) 金属を担持した光触媒系界面反応の高分解能 in-situ 計測

研究課題名(英文) In-situ measurements of photocatalytic interfacial reactions using gold nanoparticles loaded titanium dioxide substrate

研究代表者

上野 貢生 (Ueno, Kosei)

北海道大学・電子科学研究所・准教授

研究者番号：00431346

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、酸化チタン基板上に金ナノ粒子を担持することにより金ナノ微粒子から酸化チタン電子伝導帯へのホットエレクトロントランスファーを利用した光触媒反応系を構築した。各種分光法や透過電子顕微鏡を用いて光触媒反応過程を計測し、界面におけるホットエレクトロントランスファーのダイナミクスや正孔による反応機構について議論するとともに、高効率な光触媒の設計指針を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed photocatalytic reaction systems utilizing hot electron transfer from gold nanoparticles to the conduction band of titanium dioxide based on the gold nanoparticles-loaded titanium dioxide substrate. We measured the photocatalytic reaction process using various spectroscopic methods and transmission electron microscopy for elucidating the dynamics of hot electron transfer at the interface as well as discussing the reaction scheme by the remained holes and clarified the design guidelines for highly efficient plasmon-induced photocatalytic reactions.

研究分野：光化学

キーワード：プラズモン 金ナノ粒子 光触媒 電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ粒子を担持した酸化物半導体は、光触媒反応の高効率化と長波長化を実現する方法論の一つとして研究が盛んに行われてきた。1978年くらいから Bard らが中心となって、白金を担持した酸化物半導体の光触媒反応活性の高効率化に関する研究が行われ、日本でも 1980 年に米山らが電気化学的手法を用いて原理を追及した。2000 年代に入って Kamat らは電気化学的手法と分光計測を組み合わせ、紫外光照射に伴って半導体が励起された後に、金属(フェルミ準位)に電子がトラップされ、電荷分離の長寿命化とそれに基づく光触媒反応活性の高効率化が誘起されるというこれまで考えられてきた原理を支持する実験結果を得た。なお、金属ナノ粒子への電子の注入や放出は局在表面プラズモン共鳴スペクトルの波長シフトにより確認されている。

一方、1996 年に横尾らは、2004 年に立間らは局在表面プラズモン共鳴を示す金属ナノ粒子を TiO_2 粒子に担持させ、プラズモン共鳴が励起される波長域(可視光)において、半導体を直接励起するのではなく、金ナノ粒子/ TiO_2 におけるプラズモン励起に基づく電荷分離を誘起し、光電変換が可視光化されることを明らかにした。つまり、本系では色素増感太陽電池の色素の代わりにプラズモン共鳴を示す金属ナノ粒子が増感剤として振る舞っている。さらに、三澤らは、同様の原理を利用して近赤外波長への光電変換の長波長化や可視・近赤外光照射により水の 4 電子酸化反応が効率的に誘起される現象を明らかにした。

これらの金属ナノ粒子を担持した酸化物半導体の光触媒反応系においては、金属/半導体光触媒界面において光誘起電子移動反応が誘起されており、紫外光照射では半導体から金属へ、可視・近赤外光照射では金属から半導体へ電子注入が行われているメカニズムが考えられている。これらの実験的な検証は、光電気化学測定による光電流の測定や光触媒反応産物の追跡(分解量の定量も含む)あるいは時間分解計測・分光計測(プラズモン共鳴スペクトルの波長シフトを含む)などが挙げられるが、確かに光誘起電子移動反応は誘起されているものの、電子源や電子移動の詳細なメカニズムやダイナミクスについては明らかになっていない点が多かった。

2. 研究の目的

本研究では、金属ナノ粒子を担持した光触媒反応系における界面反応を各種分光法や透過電子顕微鏡を用いて計測し、界面における光誘起電子移動反応の機構について議論するとともに、高効率な光触媒の設計指針に役立たせることを目的とする。

3. 研究の方法

金ナノ微粒子/酸化チタンの界面の原子レベルの構造や結晶構造(電子状態)を走査型透過電子顕微鏡(STEM)および電子エネルギー損失分光法(EELS)によって確認した。光電流の測定は、3 極系の光電気化学測定法を用い、金ナノ微粒子酸化チタンを作用極、白金線や飽和カロメル電極をそれぞれ対極と参照電極として計測を行った。また、光電気化学測定を行いながら、顕微吸収分光法によりプラズモン共鳴スペクトルを測定し、金ナノ微粒子のフェルミ準位の変化を追跡した。また、時間遅延を設けた 2 本のレーザーパルスで光電極基板に照射して反応ダイナミクスの計測も行った。

4. 研究成果

はじめに、ニオブドープ酸化チタン単結晶基板表面に金ナノ微粒子を原子レベルで完全に接触させて作製する方法を模索した。アニール温度や雰囲気によって金ナノ微粒子と酸化チタン界面の密着性が変化し、高温でアニールするほど密着性が向上した。しかし、 800°C よりさらに高温にするとニオブの濃度分布が変化し、電気伝導率が極端に低くなったことから 800°C の温度条件を使用した。STEM および EELS により金ナノ微粒子/酸化チタン界面を高分解能に観察するため、集束イオンビーム(FIB)により透過電子顕微鏡測定用サンプルを作製した。透過電子顕微鏡観察から、窒素ガスをフローして基板をアニールすることにより、酸化チタン表面上に数原子層分の還元層を作製することが可能であることがわかった。さらに、酸化剤により金ナノ微粒子/酸化チタン界面や酸化チタン表面の酸化状態を制御することが可能であることを明らかにした。一方、金属ナノ粒子を担持した酸化チタン基板上への紫外光照射によって誘起される金属への電子注入を高分解能に計測する方法論を明らかにするために、EELS を使用して酸化チタン電子状態(Ti^{3+} と Ti^{4+} の比率)を追跡する計測法を明らかにした。EELS による点分析を行うことで、1 nm の分解能で界面や酸化チタン表面の電子状態の空間分解計測が可能であることを明らかにした。

次に、分光測定により金酸化チタン界面の電子移動について検討を行った。透明導電性電極基板上に原子層堆積装置を用いて酸化チタン(アナターゼ)を成膜し、その上に金のスパッタリング成膜(3 nm) およびアニール法によって金/酸化チタン電極を作製した。光電気化学測定により電流-電位曲線、光電流のアクションスペクトル、そして光電変換効率を測定した。また、同時に任意の波長の光を金/酸化チタン電極表面に照射した条件下で、プラズモンの分光特性を検討した。まず、光誘起電子移動反応に基づいて金ナノ粒子のフェルミ準位が変化し、局在表面プラズモンの共鳴波長がシフトすることを確かめるため、酸化チタンの吸収がある紫外

光を照射してスペクトル変化を追跡した。その結果、金ナノ粒子内の自由電子と酸化チタンのホルムの結合に基づいて、金ナノ粒子のフェルミ準位が正側にシフトし、プラズモン共鳴スペクトルが長波長シフトすることが明らかになった。一方、可視光を照射して同様の測定を行ったところ、プラズモン共鳴スペクトルのシフトは観測されなかった。これは、可視光を照射した場合には、形成された正孔により水が酸化されるためであると考えられるが、紫外光を照射して形成した正孔では水の酸化は現在のところ観測されていない。同様の結果は、酸化チタン単結晶(ルチル)でも得られた。アニールの温度により酸化チタン/金ナノ粒子の界面を制御し、透過電子顕微鏡/EELSを用いて分析した結果と光電流、および分光測定の結果を比較して考察したところ、プラズモン励起/ホットエレクトロン電子移動に基づいて形成した増強場近傍の酸化チタン表面準位にトラップされた正孔が水の酸化反応を誘起しているこれまでの考察を支持する実験結果が得られた。

さらに、2本のレーザーパルスに遅延時間を設けることにより、時間分解計測系を構築した。金ナノ粒子を担持した酸化チタン光電極にトリエタノールアミン存在下と非存在下での時間分解計測を行った。トリエタノールアミンは電子ドナーとしてよく用いられるため、プラズモン誘起電荷分離を利用した有機分子の光触媒反応を評価する上で適している。ポンプ光として波長565 nmのレーザーパルスを金ナノ粒子に照射して局在プラズモン共鳴を励起し、酸化チタン電子伝導帯のポピュレーションを光学遅延させたプローブパルス(波長950 nm)により計測した。トリエタノールアミンの有無によって減衰カーブは顕著に時定数が異なり、トリエタノールアミン存在下では緩和時間が非存在下に比べて遅くなることが明らかになった。これは、酸化チタン電子伝導帯から金ナノ粒子への逆電子移動反応が、トリエタノールアミンの存在下で抑制されたことを示唆している。重要なのは本計測結果には立ち上がり成分があり、その時定数は100 fsであった。金ナノ粒子のプラズモン共鳴波長の変化に基づいてフェルミ準位の変化を追跡したところ、同様に100 fsの時間スケールでプラズモン共鳴の長波長シフトが観測されたことから、金ナノ粒子から酸化チタンへのホットエレクトロントランスファーが100 fsの時間スケールで誘起されていると考察した。さらに、本研究では、追加で酸化チタン薄膜を成膜して金ナノ粒子を酸化チタンに若干埋め込めると近接場強度が増大し、光電変換効率が向上することを明らかにした。この金ナノ粒子/酸化チタン界面を高分解能STEMとEELSにより解析すると、金ナノ粒子の高さまで埋め込めると光電変換効率は逆に落ちてしまうが、直径12 nmの金

ナノ粒子に対して7 nmほど埋め込めると最も高い効率で光電変換が誘起されることを明らかにした。このように、本研究では、2本のレーザービームを導入した反応計測系を構築して時間分解計測を行うとともに、電子顕微鏡計測を駆使して高効率に光触媒反応を促進する光電極設計の最適化を達成した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計29件)

1. K. Ueno, T. Oshikiri, Q. Sun, X. Shi, H. Misawa, "Solid-state plasmonic solar cells", *Chem. Rev.*, 査読有, **118**, 2955-2993 (2018).
Doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00235
2. K.-L. Lee, P.-G. Tsai, M.-L. You, M.-Y. Pan, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa, P.-K. Wei, "Enhancing surface sensitivity of nanostructure-based aluminum sensors using capped dielectric layers", *ACS Omega*, 査読有, **2**, 10, 7461-7470 (2017).
Doi: 10.1021/acsomega.7b01349
3. C. V. Hoang, K. Hayashi, Y. Ito, N. Gorai, G. Allison, X. Shi, Q. Sun, Z. Cheng, K. Ueno, K. Goda, H. Misawa, "Interplay of hot electrons from localized and propagating plasmons", *Nat. Commun.*, 査読有, **8**: 771 (2017).
Doi: 10.1038/s41467-017-00815-x
4. J. Guo, K. Ueno, J. Yang, X. Shi, J. Li, Q. Sun, T. Oshikiri, H. Misawa, "Exploring the near-field of strongly coupled waveguide-plasmon modes by plasmon-induced photocurrent generation using a gold nanograting-loaded titanium dioxide photoelectrode", *J. Phys. Chem. C*, 査読有, **121**, 21627-21633 (2017).
Doi: 10.1021/acs.jpcc.7b07707
5. A. E. Shalan, S. Narra, T. Oshikiri, K. Ueno, X. Shi, H.-P. Wu, M. M. Elshanawany, E. W.-G. Diau, H. Misawa, "Optimization of a compact layer of TiO₂ via atomic layer deposition for high-performance perovskite solar cells", *Sustainable Energy & Fuels*, 査読有, **1**, 1533-1540 (2017).
Doi: 10.1039/C7SE00220C
6. J. Yang, Q. Sun, H. Yu, K. Ueno, H. Misawa, Q. Gong, "Spatial evolution of the near-field distribution on planar gold nanoparticles with the excitation wavelength across dipole and quadrupole modes", *Photon. Res.*, 査読有, **5**, 187-193 (2017).
Doi: 10.1364/PRJ.5.000187
7. H. Yu, Q. Sun, J. Yang, K. Ueno, T. Oshikiri, A. Kubo, Y. Matsuo, Q. Gong, H. Misawa, "Near-field spectral properties of coupled plasmonic nanoparticle arrays", *Opt. Express*, 査読有, **25**, 6883-6894 (2017).
Doi: 10.1364/OE.25.006883
8. R. Takakura, T. Oshikiri, K. Ueno, X. Shi, T. Kondo, H. Masuda, H. Misawa, "Water splitting using a three-dimensional plasmonic photoanode with titanium dioxide nano-tunnels", *Green Chem.*, 査読有, **19**, 2398-2405 (2017).
Doi: 10.1039/C6GC03217F

9. K.-L. Lee, H.-Y. Hsu, M.-L. You, C.-C. Chang, M.-Y. Pan, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa, P.-K. Wei, "Highly sensitive aluminum-based biosensors using tailorable Fano resonances in capped nanostructures", *Sci. Rep.*, 査読有, **7**, 44104 (2017).
Doi: 10.1038/srep44104
 10. H. Mizobata, K. Ueno, H. Misawa, H. Okamoto, K. Imura, "Near-field spectroscopic properties of complementary gold nanostructures: applicability of Babinet's principle in the optical region", *Opt. Express*, 査読有, **25**, 5279-5289 (2017).
Doi: 10.1364/OE.25.005279
 11. J. Guo, T. Oshikiri, K. Ueno, Xu Shi, H. Misawa, "Plasmon-induced photoelectrochemical biosensor for in situ real-time measurement of biotin-streptavidin binding kinetics under visible light irradiation", *Anal. Chim. Acta.*, 査読有, **957**, 70-75 (2017).
Doi: 10.1016/j.aca.2016.12.025
 12. A. E. Shalan, T. Oshikiri, H. Sawayanagi, K. Nakamura, K. Ueno, Q. Sun, H.-P. Wu, E. W.-G. Diau, H. Misawa, "Versatile plasmonic effects at the interface of inverted perovskite solar cells", *Nanoscale*, 査読有, **9**, 1229-1236 (2017).
Doi: 10.1039/C6NR06741G
 13. 押切 友也, 上野 貢生, 三澤 弘明, "局在表面プラズモンの基礎とその光化学反応への展開", *色材協会誌*, 査読無, **90**, 408-413 (2017).
Doi: 10.4011/shikizai.90.408
 14. 押切 友也, 上野 貢生, 三澤 弘明, "局在プラズモンの人工光合成への展開", *機能材料*, 査読無, **37**, 40-49 (2017).
 15. A. E. Shalan, T. Oshikiri, S. Narra, M. M. Elshanawany, K. Ueno, H.-P. Wu, K. Nakamura, X. Shi, E. W.-G. Diau, H. Misawa, "Cobalt oxide (CoO_x) as an efficient hole-extracting layer for high-performance inverted planar perovskite solar cells", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 査読有, **8**, 33592-33600 (2016).
Doi: 10.1021/acsami.6b10803
 16. H. Yu, Q. Sun, K. Ueno, T. Oshikiri, A. Kubo, Y. Matsuo, H. Misawa, "Exploring coupled plasmonic nanostructures in the near field by photoemission electron microscopy", *ACS Nano*, 査読有, **10**, 10373-10381 (2016).
Doi: 10.1021/acsnano.6b06206
 17. K. Ueno, Q. Sun, M. Mino, T. Itoh, T. Oshikiri, H. Misawa, "Plasmon optical antennae in the infrared region with high resonant efficiency and frequency selectivity", *Opt. Express*, 査読有, **24**, 17728-17737 (2016).
Doi: 10.1364/OE.24.017728
 18. J. Li, K. Ueno, H. Uehara, J. Guo, T. Oshikiri, H. Misawa, "Dual strong couplings between TPPS J-aggregates and aluminum plasmonic states", *J. Phys. Chem. Lett.*, 査読有, **7**, 2786-2791 (2016).
Doi: 10.1021/acs.jpcclett.6b01224
 19. Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, T. Tanaka, "Spectroscopic properties of gold curvilinear nanorod arrays", *Photonics*, 査読有, **3**, 18 (2016).
Doi: 10.3390/photonics3020018
 20. K. Nakamura, T. Oshikiri, K. Ueno, Y. Wang, Y. Kamata, Y. Kotake, H. Misawa, "Properties of Plasmon-Induced Photoelectric Conversion on a TiO₂/NiO p-n Junction with Au Nanoparticles", *J. Phys. Chem. Lett.*, 査読有, **7**, 1004-1009 (2016).
Doi: 10.1021/acs.jpcclett.6b00291
 21. Q. Sun, H. Yu, K. Ueno, A. Kubo, Y. Matsuo, H. Misawa, "Dissecting the few-femtosecond dephasing time of dipole and quadrupole modes in gold nanoparticles using polarized photoemission electron microscopy", *ACS Nano*, 査読有, **10**, 3835-3842 (2016).
Doi: 10.1021/acsnano.6b00715
 22. T. Oshikiri, K. Ueno, H. Misawa, "Selective dinitrogen conversion to ammonia using water and visible light via plasmon-induced charge separation", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, **55**, 3942-3946 (2016).
Doi: 10.1002/anie.201511189
 23. K. Ueno, T. Oshikiri, H. Misawa, "Plasmon-induced water splitting using metallic nanoparticle-loaded photocatalysts and photoelectrodes", *ChemPhysChem*, 査読有, **17**, 199-215 (2016).
Doi: 10.1002/cphc.201500761
 24. 押切 友也, 上野 貢生, 三澤 弘明, "局在表面プラズモンを活用した人工光合成", *光化学*, 査読無, **47**, 2-8 (2016).
 25. 押切 友也, 上野 貢生, 三澤 弘明, "可視光を用いた空中窒素固定によるアンモニア合成", *月刊ファインケミカル特集 アンモニア合成の最新動向* (シーエムシー出版), 査読無, **45**, 41-46 (2016).
 26. K. Ueno, S. Nozawa, H. Misawa, "Surface-enhanced terahertz spectroscopy using gold rod structures resonant with terahertz waves", *Opt. Express*, 査読有, **23**, 28584-28592 (2015).
Doi: 10.1364/OE.23.028584
 27. K. Ueno, T. Oshikiri, K. Murakoshi, H. Inoue, H. Misawa, "Plasmon-enhanced light energy conversion using gold nanostructured oxide semiconductor photoelectrodes", *Pure Appl. Chem.*, 査読有, **87**, 547-555 (2015).
Doi: 10.1515/pac-2014-1120
 28. Y. Zhong, K. Ueno, Y. Mori, T. Oshikiri, H. Misawa, "Co-catalyst effects on hydrogen evolution in a plasmon-induced water-splitting system", *J. Phys. Chem. C*, 査読有, **119**, 8889-8897 (2015).
Doi: 10.1021/acs.jpcc.5b01720
 29. K. Ueno, T. Oshikiri, Y. Zhong, X. Shi, H. Misawa, "Plasmon-induced artificial photosynthesis", *Interface Focus*, 査読有, **5**, 20140082-1-9 (2015).
Doi: 10.1073/pnas.0603395103
- [学会発表](計40件)
1. K. Ueno, T. Oshikiri, H. Misawa, "Spectral properties of the strong coupling between microcavity and molecular vibrational modes", 日本化学会 第98春季年会 (2018), 3G1-51, 千葉, 3月 (2018).
 2. X. Shi, K. Ueno, T. Oshikiri, Q. Sun, K. Sasaki, H. Misawa, "Strong coupling between Fabry-Perot nanocavity and localized surface plasmon resonance and its application for efficient water splitting", 日

- 本化学会 第 98 春季年会 (2018), 3E3-12, 千葉, 3 月 (2018).
3. J. Li, K. Ueno, Q. Sun, T. Oshikiri, H. Misawa, "Dynamics of electron transfer in gold nanoparticles/titanium dioxide system by transient absorption spectroscopy", 日本化学会 第 98 春季年会 (2018), 1G1-47, 千葉, 3 月 (2018).
 4. 中村圭佑, 押切友也, 石 旭, 上野貢生, 三澤弘明, "ファブリ・ペローナノ共振器-プラズモン強結合を利用した高光吸収太陽電池の電気特性評価", 日本化学会 第 98 春季年会 (2018), 2I1-01, 千葉, 3 月 (2018).
 5. 高倉稜平, 押切友也, 上野貢生, 近藤敏彰, 益田秀樹, 三澤弘明, "3 次元プラズモン光アノードの金属/半導体界面制御", 日本化学会 第 98 春季年会 (2018), 2B5-44, 千葉, 3 月 (2018).
 6. T. Oshikiri, K. Ueno, H. Misawa, "Fabrication of high-absorption plasmonic photoanode with microhole array", 日本化学会 第 98 春季年会 (2018), 3I1-04, 千葉, 3 月 (2018).
 7. M. Eguchi, K. Ueno, H. Misawa, "Plasmonic nanoparticles and the coherent interaction with dye molecules", 日本化学会 第 98 春季年会 (2018), 4S3-06, 千葉, 3 月 (2018).
 8. 上野貢生, "プラズモニクナノ構造の近接場分光特性と光化学研究への展開", 東工大化学系セミナー (招待講演), 東京, 11 月 (2017).
 9. T. Oshikiri, K. Ueno, H. Misawa, "Reaction mechanism on plasmon-induced ammonia synthesis", 2017 年光化学討論会, 3P55, 宮城, 9 月 (2017).
 10. 山田拓樹, 押切友也, 孫 泉, 上野貢生, 三澤弘明, "アクリル構造における近接場キラリティーの観測", 2017 年光化学討論会, 3P53, 宮城, 9 月 (2017).
 11. 中村圭佑, 押切友也, 石 旭, 上野貢生, 三澤弘明, "局在プラズモンとマイクロキャピティとのカップリングを用いた高光吸収プラズモン太陽電池の構築", 2017 年光化学討論会, 3C09, 宮城, 9 月 (2017).
 12. J. Yang, Q. Sun, H. Yu, K. Ueno, Q. Gong, H. Misawa, "Near-field spectral properties and ultrafast dynamics", 2017 年光化学討論会, 3C06, 宮城, 9 月 (2017).
 13. K. Ueno, J. Li, T. Oshikiri, H. Misawa, "Spectral modulations of molecular vibrational modes by infrared localized surface plasmon resonance", 2017 年光化学討論会, 3P52, 宮城, 9 月 (2017).
 14. 高倉稜平, 押切友也, 近藤敏彰, 上野貢生, 益田秀樹, 三澤弘明, "金ナノ粒子を担持した 3 次元プラズモン光アノードの構造・光エネルギー変換特性評価", 2017 年光化学討論会, 1P57, 宮城, 9 月 (2017).
 15. 上野貢生, "プラズモン放射圧による高分子ゲルの体積相転移", 分子研研究会「共鳴条件下における光と分子の力学的相互作用-分子操作への展開-」(招待講演), 愛知, 8 月 (2017).
 16. 上野貢生, "プラズモニクナノ構造の作製と近接場分光特性", 名古屋大学 応用物質化学セミナー (招待講演), 愛知, 8 月 (2017).
 17. K. Ueno, Q. Sun, H. Misawa, "Near-Field Spectroscopy of the Coupled Plasmonic Systems Using Multiphoton Photoemission Electron Microscopy", 9th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICAMT2017) (Invited), Suntec Singapore, Singapore, June (2017).
 18. K. Ueno, Q. Sun, H. Misawa, "Near-Field Spectral Properties of Coupled Plasmonic Systems", Progress In Electromagnetics Research Symposium 2017 (PIERS 2017) (Invited), Park Inn by Radisson Pribaltiyskaya hotel, St Petersburg, Russia, May. (2017).
 19. K. Ueno, S. Nozawa, H. Yu, J. Li, Q. Sun, T. Oshikiri, H. Misawa, "Spectral Properties of Plasmon-Molecule Hybrid States and Coupled Plasmonic Systems", 8th RSC-CSJ Joint Symposium on Recent Developments in Plasmonics (Invited), Keio Univ., Kanagawa, March (2017).
 20. K. Ueno, J. Yang, H. Yu, Q. Sun, X. Shi, T. Oshikiri, A. Kubo, Y. Matsuo, Q.-H. Gong, H. Misawa, "Spectral properties and ultrafast dynamics of localized surface plasmon resonances in metal/insulator/metal nanostructures from the near field", 日本化学会 第 97 春季年会 (2017), 1B3-29, 神奈川, 3 月 (2017).
 21. 上野貢生, 李 潔, 于 瀚, 孫 泉, 押切友也, 三澤弘明, "プラズモニク結合系およびプラズモン-分子強結合系の分光特性" 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「光-物質相互制御 ~制御技術の進展と新しい物理の探求~」(招待講演), 上智大学軽井沢セミナーハウス, 長野, 12 月 (2016).
 22. K. Ueno, S. Nozawa, J. Li, Q. Sun, T. Oshikiri, H. Misawa, "Infrared plasmonic chemistry based on strong coupling between gold nanostructures and molecular/intermolecular vibrational modes", 9th Asian Photochemistry Conference (Invited), D1-1-A2, Nanyang Technological University, Singapore, December (2016).
 23. K. Ueno, S. Nozawa, J. Li, Q. Sun, T. Oshikiri, H. Misawa, "Spectral modulations induced by interactions between molecular vibrational modes and infrared plasmon; strong coupling or electromagnetically induced transparency", 8th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, IWAMSN 2016 (Invited), MEP-I06, Halong Grand Hotel, Halong City, Vietnam, November (2016).
 24. K. Ueno, T. Oshikiri, H. Misawa, "Plasmon-induced water splitting by visible and near infrared light using gold nanostructured oxide semiconductors", Global Artificial Photosynthesis - Breakthroughs for the Sustainocene (Invited), Lord Howe Island, Australia, September (2016).
 25. K. Ueno, H. Misawa, "Surface plasmon-assisted chemical reactions using nano-engineered gold nanoparticles", The 14th International Conference of Near-Field Optics (NFO-14) (Invited), Act City Hamamatsu Congress Center, Shizuoka, September (2016).

26. K. Ueno, "Spectral modulation of molecular/intermolecular vibrational mode by infrared plasmon", Progress in Electromagnetics Research Symposium 2016 (PIERS 2016) (Invited), Shanghai, China, August (2016).
27. K. Ueno, "Infrared and THz plasmonics using nano-engineered gold structures", 7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2016) (Invited), Malaga, Spain July (2016).
28. K. Ueno, T. Oshikiri, H. Misawa, "Plasmon-induced artificial photosynthesis; evolution of hydrogen and ammonia", The 6th Sino-Japan bilateral young chemist forum (Invited), Dalian, China July (2016).
29. K. Ueno, T. Oshikiri, X. Shi, Q. Sun, H. Misawa, "Fabrication of Plasmon-Enhanced Chemical Reaction Fields and Its Application to Light Energy Conversion", International Workshop on Nanostructures-Based Chemistry and Light-Energy Conversion (Invited), Tokyo Metropolitan Univ., Tokyo, June (2016).
30. K. Ueno, "Plasmonic photochemistry using nano-engineered gold particles", The 10th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2016) (Invited), Jeju Island, Korea, May. (2016).
31. K. Ueno, "Plasmon-based physics and chemistry using nano-engineered gold nanoparticles", The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS 2016) (Invited), 1181, Matsushima, Miyagi, Apr. (2016).
32. K. Ueno, "Plasmon-enhanced photochemistry using nano-engineered gold particles", The 9th International Conference on Nanophotonics (ICNP 2016) (Invited), Academia Sinica, Taipei, Taiwan, March (2016).
33. K. Ueno, "Fabrication and plasmonic application of nano-engineered gold particles", International Conference on Materials for the Millennium (MATCON2016) (Plenary), Cochin University of Science and Technology (CUSAT), Cochin, Kerala, India, Jan. (2016).
34. K. Ueno, "Surface-enhanced terahertz spectroscopy using plasmonic structures", City University of Hong Kong—RIES symposium (Invited), City University of Hong Kong, Hong Kong, Dec. (2015).
35. K. Ueno, "Plasmon-induced photochemical reactions using nanoengineered gold particles", The Seventh RIES-CIS Symposium (Invited), National Chia Tung University, Taiwan, Nov. (2015).
36. 上野 貢生, 押切 友也, 三澤 弘明, "金属ナノ微粒子を用いたプラズモン誘起光化学反応", 第5回化学フェスタ2015 (招待講演), タワーホール船堀, 10月 (2015).
37. K. Ueno, "Surface plasmon-enhanced photochemical reactions", XVIIIth International Krutyn Summer School 2015 (Invited), Krutyn, Masurian Lake District, Poland, September 30th (2015).
38. K. Ueno, "Spectral properties and dynamics of plasmon nanostructures", XVIIIth International Krutyn Summer School 2015

(Invited), Krutyn, Masurian Lake District, Poland, September 30th (2015).

39. 上野 貢生, "プラズモンナノ材料による化学センサーの開発—近赤外光からテラヘルツ波技術へ", 第1回レーザー学会「レーザーバイオ医療」技術専門委員会 (招待講演), 千歳科学技術大学, 6月 (2015).
40. K. Ueno, "Chemical applications of plasmonics using precisely controlled metallic nanostructures", The 7th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP7) (Invited), the Ramada Hotel, Jerusalem, Israel, June (2015).

〔図書〕(計3件)

1. K. Ueno, H. Misawa, "Nanolithography based on surface plasmon", *Handbook of Solid State Chemistry*, edited by Richard Dronskowski, Shinichi Kikkawa, and Andreas Stein, Wiley-VCH Verlag GmbH, Volume 2, 573-588 (2017).
2. 三澤弘明, 上野 貢生, 押切友也, "近赤外捕集アンテナ技術の開発と太陽電池への応用", *近赤外・紫外線・波長変換と光吸収増大による太陽電池の高効率化技術*, 分担執筆(S&T出版), 第2章, 第4節, 130-141 (2015).
3. 押切 友也, 上野 貢生, 三澤 弘明, "可視光を用いた空気中の窒素からの人工光合成によるアンモニア合成", *アンモニアを用いた水素エネルギーシステム*, 分担執筆(シーエムシー出版 監修 小島由継), 102-111 (2015).

〔産業財産権〕

出願状況 (計2件)

名称: 光吸収デバイスおよびその製造方法ならびに光電極
 発明者: 三澤弘明、石 旭、上野貢生、押切友也、孫 泉、笹木敬司
 権利者: 北海道大学
 種類: 特許出願
 番号: 2017-248071
 出願年月日: 2017年12月25日
 国内外の別: 国内

名称: 電気測定型表面プラズモン共鳴センサ及びそれに用いる電気測定型表面プラズモン共鳴センサチップ
 発明者: 鈴木博紀、G. Allison、佐々木雅紀、林弘毅、上野貢生、三澤弘明
 権利者: イムラジャパン株式会社・北海道大学
 種類: 特許出願
 番号: 2017-155187
 出願年月日: 2017年8月10日
 国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.kueno.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野貢生 (UENO, Kosei)
 北海道大学・電子科学研究所・准教授
 研究者番号: 00431346