

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17350064
 研究課題名（和文） 金属ナノ粒子のプラズモン光電気化学過程の解明とデバイスへの応用
 研究課題名（英文） Mechanisms and applications of plasmon resonance based photoelectrochemistry of metal nanoparticles
 研究代表者
 立間 徹（TATSUMA TETSU）
 東京大学・生産技術研究所・教授
 研究者番号：90242247

研究成果の概要：金や銀のナノ粒子のプラズモン共鳴に基づく光吸収により、金属ナノ粒子から酸化チタンなどの半導体への電子移動が起こることを明らかにした。この電子移動を利用した光電変換デバイスや可視光応答光触媒、親水・疎水表面パターンニング法、還元エネルギー貯蔵型光触媒、光応答膨潤-収縮ゲルを用いたアクチュエータを開発した。また、銀ナノ粒子-酸化チタン系の多色フォトクロミズムでは、その色変化に銀ナノ粒子の粒径・形状変化が関与していることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,100,000	0	3,100,000
2006年度	2,900,000	0	2,900,000
2007年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2008年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
総計	14,600,000	2,580,000	17,180,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質科学

キーワード：プラズモン共鳴・金属ナノ粒子・酸化チタン・光電変換・フォトクロミック現象・アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

(1) ナノポーラス酸化チタンに銀ナノ粒子を複合させた膜において、単色光を照射するとその色に着色し、紫外光を照射すると元に戻る、というマルチカラーフォトクロミック現象が見出された。その原理は未解明であったが、銀ナノ粒子中の電子が、特定の色の光とのプラズモン共鳴により励起され、銀の酸化反応と酸素の還元反応を引き起こすために起こるらしいことがわかりつつあった。

(2) 上記の現象は、金属ナノ粒子と酸化チタンをそれぞれ陽極・陰極として、電気分解を

起こすようなものであり、ナノメートルスケールで引き起こされる、プラズモン光電気化学と呼ぶべき新しい反応であることがわかってきていた。

(3) 金属ナノ粒子は近年、非常に注目されてきており、特殊な形状のナノ粒子の作製やそのキャラクターゼーションなどについて、Nature、Science などの誌上に、国内外のグループから多くの報告がされている。とくに金属の種類・大きさ・形状によりさまざまな色を示すことが注目されているが、それを光増感剤として、直接光電気化学反応と結びつ

けている例はなかった。

2. 研究の目的

(1) プラズモン光電気化学反応の機構を解明し、金属ナノ粒子上でプラズモン励起された電子の振る舞いや、金属ナノ粒子-酸化チタン（またはその他の半導体）界面におけるバンド構造に関する知見を得る。また、適用可能な金属・半導体材料の条件を明確にする。

(2) 同反応の応用として、(a) 太陽電池（盛んに研究されている色素増感型より安価・安定にできる可能性が高く、色を自在に選べる意匠性もある）、(b) 光センサ、(c) 光燃料電池（光エネルギーを利用し、エタノールや糖類を燃料として常温で作動する燃料電池。色素と酵素を利用した従来型より、安定性や許容条件の広さが利点）、(d) 化学センサ（現在の表面プラズモンセンサと同様、誘電率変化に应答するが、直接電気信号に変換できるのが利点）などへの応用を図る。

(3) その他の応用・展開の可能性について調べる。

3. 研究の方法

(1) プラズモン光電気化学過程の解明は以下のように行った。

酸化インジウム-スズ(ITO)電極上に作製したナノポーラスTiO₂膜に塩化金酸または硝酸銀の溶液を含浸させ、紫外光照射による光触媒反応によってナノポア内に金または銀のナノ粒子を析出させた。この電極を用いて光電気化学セルを構成し、開回路光電圧や短絡光電流を測定した。電解液には、鉄イオンやハロゲン化物イオン、アルコールなどの電子ドナーまたは電子ドナー/アクセプターを加えた。これらの存在・非存在下や回路の開閉状態での可視光照射前後の金属ナノ粒子-TiO₂膜の光吸収スペクトルを測定し、電子移動に伴う吸光度変化からプラズモン光電気化学過程の解明を行った。

金ナノ粒子のサイズ依存性では、TiO₂膜に直径15、40、100 nmの金ナノ粒子をそれぞれ吸着担持させて電極を作製した。光電変換デバイスの全固体化は、上記の電極上にポリビニルカルバゾール等のホール輸送剤を積層、さらに金スパッタして対極とした。

金ナノ粒子とTiO₂の積層順序を従来の系とは逆にした電極を作製し、光電流および光電位応答の極性について検討した（図1）。ITO電極上に金ナノ粒子を電解析出させ、TiO₂膜で被覆した。電解液にはFe²⁺/Fe³⁺を含む水溶液を、対極には金スパッタ膜を用い、二電極系で光電気化学測定を行った。

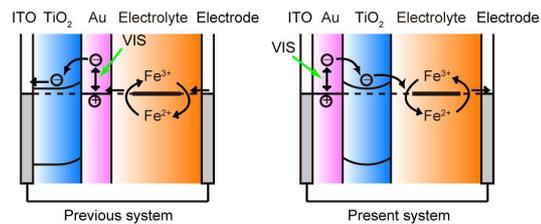


図1 ITO/TiO₂/Au電極とITO/Au/TiO₂電極を用いた光電変換デバイス

金ナノ粒子や金ナノ構造は、溶液中での還元析出や電極上での電解析出により作製した。溶液中での還元析出は、セチルトリメチルアンモニウムイオンなどの保護剤共存下、テトラクロロ金酸をテトラヒドロホウ酸ナトリウムにより還元させた。また、ITO電極を用いてシステインなどの保護剤共存下、テトラクロロ金酸ナトリウムを電極電位や析出時間を制御して電解析出させた。

(2) 光触媒によるパターンングや可視光による還元エネルギー貯蔵光触媒の開発は以下のように行った。ITO電極上にTiO₂をスピンコート法またはディップコート法で成膜し、金ナノ粒子または銀ナノ粒子コロイド溶液を吸着担持させた。金(銀)-TiO₂電極にオクタンチオール等を修飾して撥水性とし、可視光照射による接触角の減少を検討した。還元エネルギー貯蔵材料として、酸化タングステン膜をスピンコート法で作製し、さらにTiO₂膜を積層し、金ナノ粒子を吸着させた。

(3) 銀ナノ粒子-TiO₂系が示す多色フォトクロミズムの解析は以下のように行った。

電気化学的な解析では、ITO電極に成膜した酸化チタン多孔膜に硝酸銀のエタノール溶液を用いて銀ナノ粒子を光触媒還元析出または電解析出させた。この銀ナノ粒子担持TiO₂多孔膜電極を白金対極とつなぎ、硝酸カリウム水溶液に浸けて可視光を照射した。

TiO₂単結晶上に銀ナノ粒子を光触媒還元析出させた。湿度制御下、様々な単色可視光を照射し、その前後における銀ナノ粒子のサイズ変化を原子間力顕微鏡(AFM)により直接観察し、光学特性変化との相関について調べた。また、銀ナノ粒子をTiO₂単結晶上に析出させる際に、同時に可視光(場合によっては線形偏光)を照射して、析出した銀ナノ粒子の光学特性とサイズ・形状を評価した。

TiO₂多孔膜や単結晶に硝酸銀のエタノール溶液を用いて銀ナノ粒子を光触媒還元析出させた。硝酸銀濃度や照射光強度、照射時間などを制御し、析出する銀ナノ粒子のサイズや形状について検討した。さらに、析出した銀ナノ粒子のプラズモン共鳴誘起酸化溶

解挙動を光吸収スペクトルおよびAFMにより検討した。

(4) アクチュエータの開発では、銀イオンとTiO₂粒子を内包させたポリアクリル酸ゲルを合成した。水中でゲルに紫外光や可視光を照射し、その膨潤・収縮挙動を観察した。

4. 研究成果

(1) サイズの揃った金平糖状金ナノ粒子の合成や樹枝状の金ナノ構造の電解析出を行い、それらのプラズモン共鳴特性を明らかにした。

表面に凹凸のある金ナノ粒子はこれまでも報告があったが、今回、任意のサイズの、径の揃った金平糖状金ナノ粒子を合成する手法を開発した。表面がなめらかな金ナノ粒子よりもプラズモン共鳴波長が長くなることを、実験および理論計算の両方から明らかにした。光電変換やSERSなどへの応用が期待される。

電解析出による金ナノ粒子、ナノ構造の作製はこれまでも報告があったがその光学特性は検討されていなかった。今回、透明導電性基板を用いて金ナノ粒子、ナノ構造を電解析出することにより、それらのプラズモン共鳴特性について明らかにすることができた(図2)。とくに樹枝状に析出した金ナノ構造は可視光から近赤外光の広い波長範囲において強い光吸収を示し、光電変換への応用が期待される。

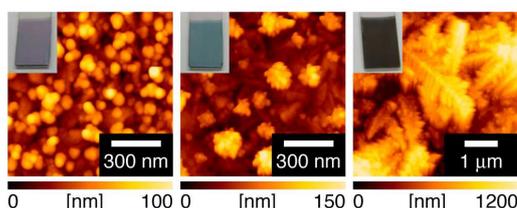


図2 電解析出した金ナノ粒子・ナノ構造の形状と光学特性

(2) これまでにTiO₂上に金ナノ粒子を吸着させた電極(ITO/TiO₂/Au)でプラズモン共鳴による光吸収によりアノード光電流および負の光電位が得られることを明らかにしてきたが、金ナノ粒子とTiO₂の積層順序を逆にした電極(ITO/Au/TiO₂)では、光電流および光電位の極性が反転することを明らかにした。このことによりプラズモン共鳴による光吸収により金ナノ粒子からTiO₂に電子移動が起こることが裏付けられた。また、TiO₂で被覆したことにより金ナノ粒子が電解液に接触するのを防ぐことができるため、従来よりも高い安定性が期待でき、より卑の金属ナノ粒子を用いた光電変換デバイスの開発が可能である。

(3) 金ナノ粒子をTiO₂に吸着させた電極で、直径15 nmの金ナノ粒子を用いると検討した中では最大の光電流が得られる一方、光電変換の量子収率は金ナノ粒子サイズが大きくなるにつれて高くなることを明らかにした。また、この電極をポリビニルカルバゾールなどのホール輸送剤で被覆した全固体化セルでも動作することを確認した。これらの検討は、光電変換デバイスとして効率向上のための設計指針を与え、また、全固体化により安定・安全な光電変換デバイスの開発につながる。

(4) 金属ナノ粒子とTiO₂を組み合わせたデバイスは、可視光応答光触媒に応用できることを示した。金属ナノ粒子をチオール修飾して撥水性にしたものに部分的に可視光を照射すると、チオールの酸化分解によりひかりを照射した部分のみ親水化できることを明らかにし、親水・疎水パターンングが可能であることを示した。また、光触媒の還元反応や酸化反応を夜間にも利用できるエネルギー貯蔵型光触媒をこれまでに開発してきたが、還元エネルギー貯蔵材料である酸化タングステンに金-TiO₂電極を組み合わせることにより、可視光で機能する還元エネルギー貯蔵型光触媒を開発した。

(5) 銀ナノ粒子担持TiO₂多孔膜に電解液中で可視光を照射するとアノード光電流が得られ、プラズモン励起された銀からTiO₂への電子移動が起きていることを明らかにした。また、この電子移動には銀ナノ粒子の担持材料がn型半導体であり、界面におけるショットキー接合により電荷分離させる必要があることを明らかにした。この結果はフォトリソミック現象の機構解明や応用展開に重要な知見を与えるものであり、色の変化速度や保持性といった機能向上にもつながる。

(6) 銀ナノ粒子担持TiO₂単結晶に様々な波長の単色光を照射すると、照射波長に選択的な吸光度の減少とそれ以外の波長域での吸光度の増大が起こり、粒径の異なる銀ナノ粒子数が増減することを明らかにした。粒子数の増減と対応する共鳴波長での吸光度の増減には相関が見られ、多色フォトリソミック現象の着消色機構を説明する非常に重要な本質的な知見が得られた。また、本現象の発現にはTiO₂表面上に銀イオン伝導性を付与できるだけの吸着水が必要であることを明らかにし、銀ナノ粒子の光誘起変化が光電気化学的機構に基づいていることを確かめた。以上の結果は、これまでに提唱してきた反応機構を支持するものであり、粒子サイズの的確な制御により発色特性の向上につながることを示した。

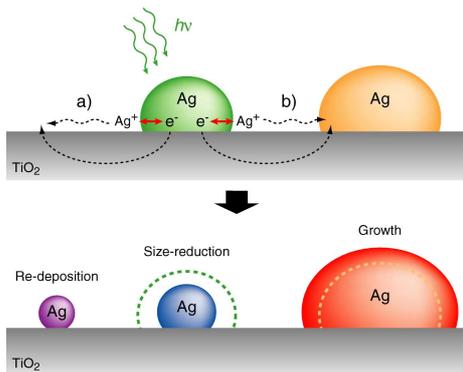


図3 銀ナノ粒子の可視光照射に伴う粒径変化の模式図

(7) 紫外光と任意波長の可視光を同時に照射して銀ナノ粒子を TiO_2 上に析出させると、銀ナノ粒子の光触媒還元析出とプラズモン誘起酸化溶解が同時に起こり、粒子サイズと共鳴波長を任意に制御することができることを明らかにした。また、紫外光と線形赤色偏光を同時照射すると、偏光方向と直角を成す方向に沿って銀ナノロッドが配向析出することを見出した。以上の結果は、高い発色特性を示す、より高性能なフォトクロミック材料や、偏光特性を利用した新規光メモリの開発につながる。

(8) 凹凸のある TiO_2 膜に銀ナノ粒子を光触媒析出させると、紫外光強度や銀イオン濃度の制御により基板に対してほぼ垂直に三角形や六角形の銀ナノプレートが成長し易いことを見出した。さらに、偏光を照射すると偏光と平行なナノプレートが選択的に転倒し、プラズモン共鳴特性が変わることを明らかにした。また、転倒したナノプレートはプラズモン共鳴特性により溶解するものと成長するものがあり、それぞれアノード、カソードとして働くことが示された。このような銀ナノプレート担持 TiO_2 膜は、高偏光特性を持つ新規フォトクロミック材料への展開が期待でき、また銀 - 銀イオン間におけるレドックス反応場の光制御が可能な新規デバイスとして応用できる可能性がある。

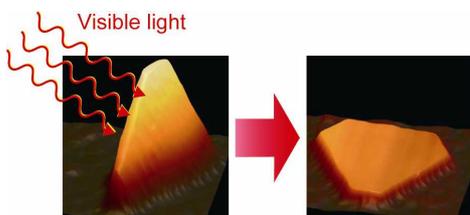


図4 直立した銀ナノプレートのプラズモン励起による転倒挙動

(9) 銀イオンと TiO_2 を内包したポリアクリル酸ゲル中で、紫外光照射による銀イオンの光触媒還元析出とプラズモン励起による銀

ナノ粒子の酸化溶解が起こることを利用した、紫外光照射により膨潤し、可視光照射により収縮するアクチュエータを開発した。ゲルの一部に光照射を行うことで部分的にゲルを膨潤・収縮することも可能で、さまざまな応用が期待できる。

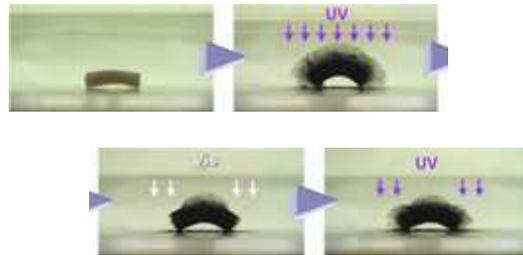


図5 紫外光照射による膨潤と可視光照射による収縮挙動

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15件)

松原一喜、K. L. Kelly、坂井伸行、立間徹、Plasmon Resonance Based Photo-electrochemical Tailoring of Spectrum, Morphology and Orientation of Ag Nanoparticles on TiO_2 Single Crystals, J. Mater. Chem., 印刷中、査読有

田邊一郎、松原一喜、S. D. Standridge、数間恵弥子、K. L. Kelly、坂井伸行、立間徹、Photocatalytic Growth and Plasmon Resonance Assisted Photo-electrochemical Toppling of Upright Ag Nanoplates on a Nanoparticulate TiO_2 Film, Chem. Commun., 印刷中、査読有

坂井伸行、藤原祐輔、新井道郎、于克鋒、立間徹、Electrodeposition of Gold Nanoparticles on ITO: Control of Morphology and Plasmon Resonance Based Absorption and Scattering, J. Electroanal. Chem., 628, 7-15, 2009年、査読有

坂井伸行、藤原祐輔、高橋幸奈、立間徹、Plasmon Resonance Based Generation of Cathodic Photocurrent at Electrodeposited Gold Nanoparticles Coated with TiO_2 Films, ChemPhysChem, 10, 766-769, 2009年、査読有

高橋幸奈、立間徹、Visible Light-Induced Photocatalysts with Reductive Energy Storage Abilities, Electrochem. Commun., 10, 1404-1407, 2008年、査読有

于克鋒、K. L. Kelly、坂井伸行、立間徹、Morphologies and Surface Plasmon Resonance Properties of Monodisperse

Bumpy Gold Nanoparticles, Langmuir, 24, 5849-5854, 2008年、査読有
 松原一喜、K. L. Kelly、坂井伸行、立間徹、Effects of Adsorbed Water on Plasmon-Based Dissolution, Redeposition and Resulting Spectral Changes of Ag Nanoparticles on Single-Crystalline TiO₂, Phys. Chem. Chem. Phys., 10, 2263-2269, 2008年、査読有
 于克鋒、坂井伸行、立間徹、Plasmon Resonance-Based Solid-State Photovoltaic Devices, Electrochemistry, 76, 161-164, 2008年、査読有
 松原一喜、立間徹、Morphological Changes and Multicolor Photochromism of Ag Nanoparticles Deposited on Single-crystalline TiO₂ Surfaces, Adv. Mater., 19, 2802-2806, 2007年、査読有
立間徹、高田主岳、宮崎太地、UV Light-Induced Swelling and Visible Light-Induced Shrinking of a TiO₂-Containing Redox Gel, Adv. Mater., 19, 1249-1251, 2007年、査読有
立間徹、鈴木健太郎、Photoelectrochromic Cell with a Ag-TiO₂ Nanocomposite: Concepts of Drawing and Display Modes, Electrochem. Commun., 9, 574-576, 2007年、査読有
 于克鋒、田陽、立間徹、Size Effects of Gold Nanoparticles on Plasmon-Induced Photocurrents of Gold-TiO₂ Nanocomposites, Phys. Chem. Chem. Phys., 8, 5417-5420, 2006年、査読有
 田陽、H. Liu、G. Zhao、立間徹、Shape-Controlled Electrodeposition of Gold Nanostructures, J. Phys. Chem. B, 110, 23478-23481, 2006年、査読有
 川原敬祐、鈴木健太郎、大古善久、立間徹、Electron Transport in Silver-Semiconductor Nanocomposite Films Exhibiting Multicolor Photochromism, Phys. Chem. Chem. Phys., 7, 3851-3855, 2005年、査読有
 田陽、野津英男、立間徹、Visible-Light-Induced Patterning of Au- and Ag-TiO₂ Nanocomposite Film Surfaces on the Basis of Plasmon Photoelectrochemistry, Photochem. Photobiol. Sci., 4, 598-601, 2005年、査読有

[学会発表](計37件)

- 1) 田邊一郎、酸化チタン多孔膜上への銀ナノプレートの垂直成長とプラズモン共鳴に基づく光電気化学的挙動、電気化学76回大会、2009年3月31日、京都
- 2) 高橋幸奈、TiO₂被覆電析 Au ナノ粒子の光

- 電気化学応答、電気化学76回大会、2009年3月31日、京都
- 3) 松原一喜、TiO₂単結晶上における異方性 Ag ナノ粒子のプラズモン共鳴特性を利用した配向制御、電気化学76回大会、2009年3月31日、京都
 - 4) 立間徹、ナノ構造界面に基づく光電気化学的エネルギー変換システムの構築、日本化学会第89春季年会、2009年3月27日、船橋
 - 5) 立間徹、Photoelectrochemistry and Applications of Metal Nanoparticle-Semiconductor Composites、The 2nd Japan-Taiwan Joint Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience、2008年11月5日、京都
 - 6) 高橋幸奈、Plasmon Resonance-Based Photocathodic Responses of Au Nanoparticles Coated with TiO₂、Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRIME) 2008、2008年10月15日、米国
 - 7) 松原一喜、Photoelectrochemical Control of Plasmon Resonance-Based Coloration and Morphologies of Ag Nanoparticles on TiO₂ Single Crystals、Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRIME) 2008、2008年10月15日、米国
 - 8) 坂井伸行、Plasmon Resonance-Based Photoelectrochemical Properties of Size and Shape-Controlled Gold Nanoparticles on TiO₂、Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRIME) 2008、2008年10月14日、米国
 - 9) 立間徹、酸化チタン光触媒の新しい展開、第102回触媒討論会、2008年9月25日、名古屋
 - 10) 数間恵弥子、TiO₂単結晶上への Ag ナノロッドの配向析出とプラズモン共鳴特性、2008年光化学討論会、2008年9月11日、堺
 - 11) 藤原祐輔、ITO上に電解析出させた Au ナノ粒子のプラズモン吸収に基づく電荷分離(2)、電気化学75回大会、2008年3月31日、甲府
 - 12) 松原一喜、酸化チタン単結晶上における銀ナノ粒子の形態とプラズモン共鳴波長の光電気化学的制御、電気化学75回大会、2008年3月31日、甲府
 - 13) 立間徹、ナノ構造界面に基づく光電気化学的エネルギー変換システムの構築、日本化学会第88春季年会、2008年3月30日、東京
 - 14) 高橋幸奈、可視光照射で機能する還元エネルギー貯蔵型光触媒の可能性、第14回

- シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2007年11月4日、川崎
- 15) 藤原祐輔、酸化チタンで被覆した電析 Au ナノ粒子のプラズモン吸収に基づく電荷分離、第14回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2007年11月4日、川崎
- 16) 今後徹、光触媒含有ナノコンポジットゲルの光誘起膨潤および収縮(2)、第14回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2007年11月4日、川崎
- 17) 松原一喜、Correlated Analyses between Multicolor Photochromism and Morphological Changes of Ag Nanoparticles Photocatalytically Deposited on Single-crystalline TiO₂ Surfaces、212th ECS Meeting、2007年10月8日、米国
- 18) 于克鋒、金ナノ粒子のプラズモン共鳴を利用した光電変換の粒子形状依存性、2007年光化学討論会、2007年9月27日、松本
- 19) 藤原祐輔、ITO上に電解析出させた Au ナノ粒子のプラズモン吸収に基づく電荷分離、2007年光化学討論会、2007年9月26日、松本
- 20) 立間徹、有機高分子ゲルを用いた電気化学および光電気化学アクチュエータ、2007年電気化学秋季大会、2007年9月20日、東京
- 21) 藤原祐輔、電解析出による金ナノ粒子の形状制御と光学特性との相関、2007年電気化学秋季大会、2007年9月20日、東京
- 22) 今後徹、光触媒含有ナノコンポジットゲルの光誘起膨潤および収縮、第56回高分子討論会、2007年9月20日、名古屋
- 23) 高橋幸奈、Au-TiO₂光触媒を用いた可視光照射による還元エネルギー貯蔵の可能性、2007年電気化学秋季大会、2007年9月19日、東京
- 24) 立間徹、金属ナノ粒子-半導体複合系が示す光電気化学機能、第68回応用物理学会学術講演会、2007年9月5日、札幌
- 25) 松原一喜、酸化チタン単結晶上の銀ナノ粒子が示す多色フォトクロミズムと形態変化の相関、日本化学会第87春季年会、2007年3月25日、吹田
- 26) 于克鋒、Size effects of gold nanoparticles on plasmon-induced photocurrents of gold-TiO₂ nanocomposites、第13回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2006年12月13日、東京
- 27) 松原一喜、酸化チタン単結晶上に光触媒析出させた Ag ナノ粒子の多色フォトクロミズムに伴う形態変化(2)、第13回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2006年12月13日、東京
- 28) 立間徹、金属-半導体ナノ複合材料のプラズモン共鳴に基づく光電気化学機能、第17回日本 MRS 学術シンポジウム、2006年12

- 月10日、東京
- 29) 于克鋒、プラズモン共鳴を利用した固体光電変換デバイスの開発、2006年電気化学秋季大会、2006年9月15日、京田辺
- 30) 松原一喜、TiO₂単結晶に担持した Ag ナノ粒子の多色フォトクロミズムに伴う形態変化、2006年電気化学秋季大会、2006年9月14日、京田辺
- 31) 立間徹、酸化チタン単結晶表面における銀ナノ粒子の析出と多色フォトクロミズム、第59回コロイド及び界面化学討論会、2006年9月13日、札幌
- 32) 立間徹、プラズモンに基づく光電気化学材料・デバイス、2006年光化学討論会、2006年9月11日、仙台
- 33) 松原一喜、Ag ナノ粒子を担持した TiO₂単結晶における多色フォトクロミズムの解析、電気化学会第73回大会、2006年4月3日、東京
- 34) 鈴木健太郎、銀担持酸化チタン膜が示す多色フォトクロミック特性の制御、第12回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2005年12月5日、東京
- 35) 南高一、酸化チタン-銀ナノ粒子系におけるプラズモン光電気化学、第12回シンポジウム光触媒反応の最近の展開、2005年12月5日、東京
- 36) 立間徹、金及び銀ナノ粒子-半導体系のプラズモン光電気化学に基づくエネルギー変換、2005年光化学討論会、2005年9月12-14日、福岡
- 37) 鈴木健太郎、銀担持酸化チタン膜が示す多色フォトクロミック現象の発色特性の向上と着色速度の制御、2005年光化学討論会、2005年9月12-14日、福岡

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/~tatsuma/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

立間 徹 (TATSUMA TETSU)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90242247

(2) 研究分担者

高田 主岳 (TAKADA KAZUTAKE)

東京大学・生産技術研究所・助手

研究者番号：20361644

坂井 伸行 (SAKAI NOBUYUKI)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：70431822