

科学的研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007-2010

課題番号：19049005

研究課題名（和文） 光-分子強結合反応場の創成

研究課題名（英文） Strong Photon-Molecule Coupling Fields for Chemical Reactions

研究代表者

三澤 弘明 (MISAWA HIROAKI)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：30253230

研究成果の概要（和文）：金属表面における局在プラズモンを「光-分子強結合反応場」として利用し、「微弱光による空間選択的な 2 光子重合等特異な反応の発見」、「可視・近赤外光による光電交換の達成」、「光電場増強効果を実現するための測定技術の開発」、および「高い空間分解能を有するナノ加工技術の創出」等の成果を上げた。プラズモン場の創成機構の解明という基礎研究から、その太陽電池などの開発につながる応用研究まで、組織的な研究が推進された。

研究成果の概要（英文）：

This project for the creation of “Strong Photon-Molecule Coupling Field” focused on the investigation of the chemical and physical consequences of light-field enhancement by nanostructures prepared by top-down and/or bottom-up methods using various materials, such as metals, semiconductors, polymers, transparent glasses, etc. Research groups succeeded in the establishment of the novel field of photochemistry for various phenomenon based on the photochemical enhancement effects, such as two-photon polymerization, photocurrent generation by near-infrared light, ultra-sensitive molecule detection, and novel photolithography with high special resolution, etc.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,100,000	0	9,100,000
2008 年度	13,600,000	0	13,600,000
2009 年度	13,600,000	0	13,600,000
2010 年度	13,600,000	0	13,600,000
年度			
総計	49,900,000	0	49,900,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：金属ナノ構造体，光電場増強，フォトニック結晶，光の捕捉・局在化，光化学反応場

1. 研究開始当初の背景

近年、光電場と構造体を強くカップリングさせて光を微小空間に束縛、閉じ込める機能を有するナノ・マイクロ構造体が見出されている。このような微小空間においては、入射光

の $\sim 10^6$ 倍にも及ぶ著しい光電場増強を達成することが可能になるため、2光子吸収などの非線形光学現象を微弱な光を用いても容易に観測することができる。このようなエネルギー密度の制御は光化学反応制御におい

が必要不可欠であるが、それに加えて光反応制御に極めて重要となる波長、位相、偏光などの様々なパラメーターをも任意に制御することが可能となる。本特定領域は、これまでフォトニック結晶や、金属ナノ構造体の表面プラズモンの化学的展開を目指して先導的な研究を進めてきた研究者（三澤弘明、益田秀樹、山田 淳）をコアメンバーとして、様々な独創的な発想によって理論的、および実験的研究を推進してきた若手研究者が中心となっている。化学系のみならず物理系のバックグラウンドを有する、光化学、電気化学、表面物理化学、コロイド化学、光物性物理、応用光学など、幅広い専門研究分野の知識、経験を有するこれらのメンバーがそれぞれの得意分野の研究をさらに推進しつつ、相互に問題意識と先端情報を共有することによってまったく新しい飛躍的な進展が期待される。それぞれの計画班がフィードバックを掛け合い、有機的に連携することによって日本発の新しい学問分野である「光-分子強結合反応場」に関する発信を行うことが可能となる。

2. 研究の目的

光触媒、太陽電池、光メモリー、フォトレジストなど、光をエネルギー源・駆動源とした様々な光化学の研究は、これまでの科学技術、社会の発展に大きく貢献してきた。しかし、従来の光化学の研究では、光と分子の相互作用を大きくすることは限界に近づいており、極めて少ない光子によって高効率に分子を励起するプロセスを実現することは難しい。少ない分子数によって効率良く光吸収を可能にするシステムを構築するためには、

(1) 光の回折限界を越えるナノ空間に光を局在化させること、(2) そのようなナノ空間に光をある程度の時間、閉じ込めること、すなわち、光を空間的・時間的に閉じ込めて分子と強く結合させるといふ新しい概念による「光-分子強結合反応場」が必要である。本領域においては、光子を捕捉・局在化させる機能を有するナノ・マイクロ構造を設計・構築して「光-分子強結合反応場」を創出するとともに、本反応場において新たに出現する光子と分子/物質系の極めて強いエネルギー・空間選択的な相互作用に関する学理の探求とその応用技術への展開を目的とする。

3. 研究の方法

本研究の推進のために3つの計画班を組織し、それぞれ以下に示す研究項目を設ける。また4人のメンバーからなる実施グループと4名の評価グループから成る総括班を組織し、特定領域全体の運営ならびに計画研究班内、ならびに班間の共同研究を積極的に推進するように配慮、運営する。

計画班の研究内容は以下の通りである。

(1) A01 班：光-分子強結合反応場による新奇反応の開拓：シングルナノメートルオーダーの精度により構造サイズや構造間距離を制御したナノギャップ金構造体、ナノ金属微粒子超格子、半導体-金属ヘテロナノ界面などの作製、およびそれらの光学特性を明らかにするとともに、それらを反応場として新しい非線形光化学反応を誘起させる。また光と分子の量子化学的なインタープレイに関する理論的検討を展開することに加え、その実験的検証を行い理論にフィードバックする。

(2) A02 班：高次機能性構造による光-分子強結合反応場の創成：光電場増強が可能なナノ・マイクロ次元の構造を自己組織化などのボトムアップ的手法や、半導体加工法によるトップダウン的手法によって構築する手法を開発するとともに、それらの手法を融合した新しいナノ構造作製手法を検討する。これによりデバイス化のための方向性を検討する。ボトムアップ、トップダウン技術を融合して光-分子強結合反応場を分子制御の場として自在応用可能とする。

(3) A03 班：光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクス：高度な物質合成技術によって光-分子強結合反応場として機能する単位構造体の形成し、さらに先端計測技術によって、その反応過程や光応答性の詳細を高い時間・空間分解能をもって検討する。素過程の詳細を明らかとすることによって分子強結合反応場の根源的支配原理の探求を行う。

研究経過ならびに成果については積極的に公開する。方法としては、従来の論文発表、国内外での国際学会での積極的な成果発信に加えて、web ページ上でのニュースレター発行、研究内容説明、動画発信、キーワード検索におけるヒット回数向上対策などの最新インターネット技術の利用を検討する。さらに公開シンポジウム、研究会、セミナーを開催し、領域外の研究者への発信に努める。

4. 研究成果

(1) A01 班 「光-分子強結合反応場による新奇反応の開拓」班長・三澤弘明（北海道大学電子科学研究所）を中心に、光-分子強結合反応場における新奇反応の発見・応用を目的に、理論・実験両面から検討を行うことによって、高い効率にて多光子励起などの非線形光化学プロセスを実現し、新しい光エネルギー変換システムを提案することに成功した。

平成 19 年度には、理論検討により、金属ナノギャップ中分子の光学禁制遷移、高効率もつれ合い光子対生成、キラル分子の円偏光レーザーによる輻射力発現、円環状分子配列構造のエネルギー移動、などのエキゾチックな現象が光-分子強結合反応場にて誘起される可能性が示された（石原）。また実験で

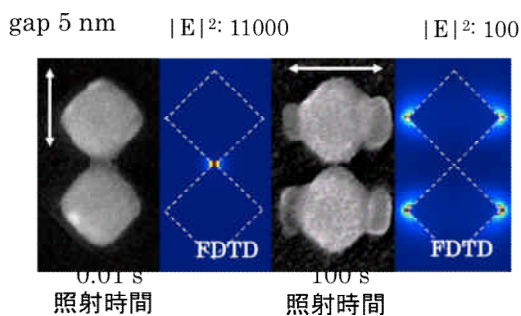


図 1. 金属ナノギャップにおける
ナノ空間選択的多光子重項反応 (三澤) .

は、局所プラズモンで禁制励起を誘起する系を検証するために、粒径数 nm から 100 nm 程度のサイズ領域において粒径、結晶系、光学特性の制御された金属微粒子構造を用いて超構造を形成するボトムアップ構造形成技術確立した (寺西)。また、有機 金属ヘテロナノ界面における表面プラズモン励起反応を例証するためのハイブリッドナノ構造体の創成にも成功した (及川)。さらにトップダウン型形成した Au ダイマー・ロッド構造において、ナノ空間選択的に多光子重合反応が進行することが世界で初めて実証された (三澤・図 1)。Ag ナノ粒子/酸化チタン界面を利用した多色フォトクロミズム素子、光電気化学アクチュエーターなどの全く新しい光エネルギー変換システムが提案された (立間)。

ついで公募班の参加が開始された平成 20 年度には、理論検討では、光電磁場、物質波動関数双方の空間構造のインタープレイを考慮することによって、金属ナノギャップ中分子の光学禁制遷移誘起などの新しい現象の取扱が可能となった (石原)。また実験では、粒径数 nm から 100 nm 程度の非常に広いサイズ領域において粒径、結晶系、光学特性の制御された金属微粒子を単位構造としてボトムアップ型高次構造形成技術が確立された (寺西)。またナノ空間選択的に二光子励起固相重合反応を誘起する銀ナノ粒子-ジアセチレン (DA) 結晶ハイブリッドナノ構造体が創出された (及川)。

さらにトップダウン型形成した Au ダイマー・ロッド構造を用いたナノ空間選択的多光子重合反応系において、パターンのサイズ、形状、或いは空間分布を任意制御することが可能となった (三澤)。金ナノ粒子と酸化チタンからなる積層構造材料を用いたプラズモン誘起光電変換系においては、そのメカニズムが明らかとなった (立間)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によってプラズモニック結晶など新しい構造体が提案、応用される (岡本 (隆)) と共に、金属プラズモンを利用したテラヘルツ電場増強 (萩行)、X線発生 (畑中) が検証され、さらに光触媒

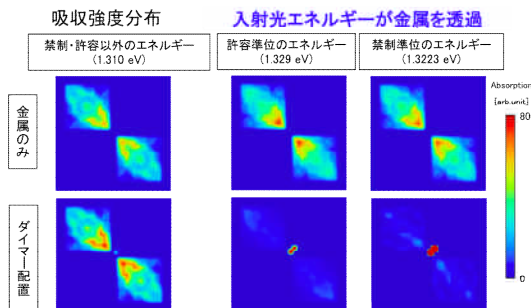


図 2. 金属ナノギャップ近傍における分子会合体の光学応答についての理論計算 (石原) .

反応の加速 (大谷)、タンパク光誘起結晶化 (奥津) などの新しい応用発展例が示された。

次いで平成 21 年度以降において、理論検討においては、光電磁場、物質波動関数双方の空間構造のインタープレイを考慮し、金属ナノギャップ近辺に配置された分子会合体の光学応答を検討した。会合体は通常の光学許容モードの他、光学禁制なモードを有するが、ナノギャップ近辺では配置の条件により全てのモードが同程度の大きさで励起されることが明らかとなった (石原・図 2)。また実験では、トップダウン手法で立体的な金属ナノ多重構造を形成することによって、三光子励起場の構築を達成した (三澤)。粒径 100 nm 程度で粒径が厳密に制御された粒子を電子顕微鏡下にて空間配置することによって、許容・禁制のプラズモンを実験的に観測することに初めて成功した (寺西)。また二光子励起固相重合反応を誘起する銀ナノ粒子-誘起結晶ハイブリッド系において、反応対象分子を拡張した (及川)。酸化チタン基板表面において金属微粒子のプラズモンモードの選択励起によって光誘起電子過程が制御されることを見出した (立間)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって表面増強ラマンの電磁場機構の包括的解明が進展 (伊藤) し、分子との相互作用を積極的に制御する理論構築の試み (岡本 (隆)) が成されると同時に、高効率なプラズモニック光電変換 (池田)、光誘起タンパク結晶化 (奥津)、X線発生 (畑中) が検証され、さらに光触媒反応の加速 (大谷)、ナノ光加工 (橋本、辻) などの新しい応用発展例が示された。

(2) A02 班 「高次機能性構造による光一分子強結合反応場の創成」

班長・益田秀樹 (首都大学東京大学院都市環境科学研究科) を中心に研究が推進され、光分子強結合反応場の自在応用とデバイス化を目的に、高度に幾何学的立体構造が制御された光局在空間を構築する手法を確立し、形成された高次機能構造を利用することにより、光と分子の強結合に基づく反応場をデバイス応用することに成功した。

平成 19 年度では、規則ポーラス構造を利

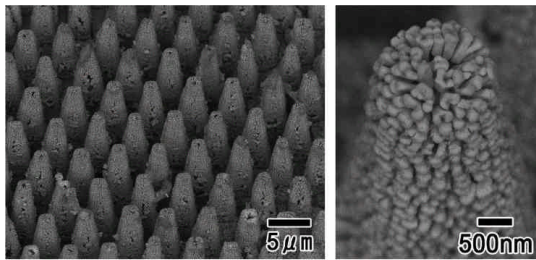


図 3. 階層構造を有する金属微小構造 (益田) .

用した 3 次元光電場増強場の構築や、大面積にて数十マイクロメートル以下のサイズ領域での階層構造を有する金属微小構造基板形成に成功した (益田・図 3)。光強結合場をリソグラフィ技術として確立するために、可視光応答性のある単分子膜レジストの露光特性、ナノプローブ微細加工の空間加工分解能の実験的検証を行った (杉村)。また、回折格子結合表面プラズモン共鳴場を用いた蛍光増強に成功し、実用レベルにある顕微蛍光イメージング基板を構築した (西井)。光子と分子の強結合状態を形成するため、メガヘルツの周波数分解能とサブマイクロメートルの 3 次元空間分解能をあわせ持つ顕微分光システムを開発し、光子あるいは光子と電子がカップリングした状態を微小空間に閉じ込める系の検証を行った (笹木)。単一のナノ粒子近傍におけるフォトクロミック反応の LSPR 光電場増強効果を実証する系の構築に成功した (朝日)。

次いで平成 20 年度では公募班とともに、微小球、金属微細構造体における光局在状態をシミュレーション解析と共に、狭帯域レーザー顕微分光イメージングシステムを拡張して、光閉じ込め状態の詳細な解析を行うとともに、光反応増強効果への適用を検討した (笹木)。ガラス基板上に固定化した色素・金属ナノ粒子系において単一単位構造レベルでの光異性化過程を顕微分光計測することを可能とした (朝日)。トップダウン型の微細加工技術に自己組織化過程を組み合わせることで効率的な高分解能空間加工を実現した (杉村)。規則ポーラス構造を利用して二次元、三次元金属超配列構造を形成する技術を確認し、光電場制御が大面積にて高い精度と再現性で可能となることを実証した (益田)。表面プラズモン励起増強蛍光分光を可能とする基板を光インプリントなどによって高精度かつ効率的に形成することに成功した。(西井)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって非金属ナノ構造による増強場構築 (林)、カイラルフォトリック欠陥構造を利用したレーザー発振波長の外場制御 (尾崎 (雅))、高分子ナノ集積体による SHG 光発生制御 (三ツ石) などの新しい系や現象の提案、実証が成されると同時に、アキシコンプリズムを利用した表面プラズ

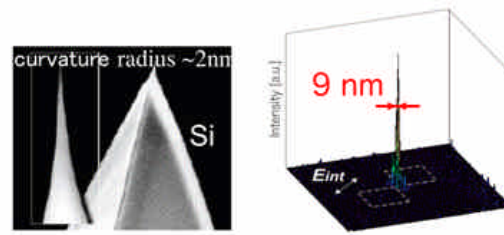


図 4. 散乱型近接場顕微鏡プローブと分光イメージ (笹木) .

モン顕微鏡 (川田)、プラズモニック結晶基板による燃料電池電極の活性評価 (八木) など応用的価値の高い反応場の利用例が示された。

平成 21 年度以降は、規則ポーラス構造をテンプレートとした立体的金属規則構造形成手法をさらに発展させ、二次元多角格子構造、立体積層構造、ワイヤー構造などを自在に構築する技術を確認した (益田)。また、散乱型近接場顕微鏡を用いたプラズモン光局在場の分光イメージングシステムを構築し、シングルナノメートルオーダーの電場空間分解能を達成した (笹木・図 4)。単一粒子計測が可能な共焦点光散乱分光によって、シングルサイトにおけるフォトクロミック反応の高感度計測に成功した (朝日)。単分子リソグラフィ技術によって光-分子強結合反応場パターンニングの可能性を見出した (杉村)。表面プラズモン励起増強蛍光基板をさらに改良し、背面照射をはじめとした汎用デバイスとしての利用手段を提案した。

(西井)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって、非金属ナノ構造による高効率蛍光増強場の構築 (林)、高分子ナノ集積体による SHG 光発生の高効率化 (三ツ石)、干渉リソグラフィによる強結合反応場の効率的形成 (瀬川)、プラズモニック結晶基板を用いた d 金属 SERS 活性評価 (八木) など新規な拡張的展開研究が進展した。

(3)A03 班 「光-分子強結合反応場の素過程ダイナミクス」班長・山田 淳 (九州大学大学院工学研究院) を中心に研究を推進し、光分子強結合反応場の素過程ダイナミクスの検討を目的に、強結合場として機能する単位構造の構築法を確認し、高い空間・時間分解能を有する先端計測により、強結合反応場における根幹的支配原理が明らかとなった。

平成 19 年度では、電場増強ナノ・マイクロ金属電極構造をボトムアップ法で構築する手法を確認し、光電場誘起による電子移動反応における分光特性の精査によって、光電変換特性を支配する要因の一つを明確にした (山田)。近接場光学顕微鏡を用いて球状金微粒子を 2 次元、単層に配列した集合体について増強電場のイメージングを行い、金属微粒子とその集合体による形成される光電場の空間構造の特徴を高い空間分解能で明

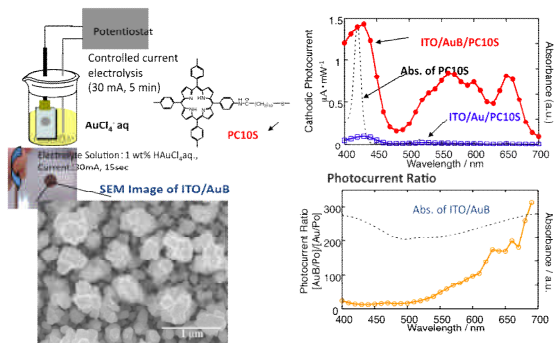


図 5. ボトムアップ構築による光電変換デバイス (山田) .

らかとした (岡本)。また、金属粒子-半導体粒子複合系を構築し、金属粒子の表面プラズモン励起による光電場増強場によって、半導体ナノ粒子の光励起を高効率に誘起する系を構築した (鳥本)。エアロゾルやマイクロ液滴、ポリマービーズを微小共振器ポリパビーズ微小共振器として、多光子吸収により光化学反応を達成できる系を探索・検証した (坪井)。表面増強ラマン散乱 (SERS) 強度を微小場における光電場形成の指標として用い、高い SERS 活性を有する金属ナノ構造基板を形成し、高効率にて二光子光化学反応を実現するとともに (坪井)、室温における分子トラッピングの可能性を検討した (村越)。

平成 20 年度では公募班とともに、電場増強ナノ・マイクロ金属電極構造をボトムアップ法で構築する手法を進展させ、光電変換デバイスの動作原理の精査を行った (山田・図 4)。円形金属ナノディスク配列構造、ナノボイド構造などの増強電場を近接場イメージング計測により高い空間分解能で明らかとした (岡本)。また、金属粒子-半導体コアシェル粒子複合系を構築し、光触媒反応を高効率に誘起する系を構築した (鳥本)。電場集中が高密度に実現できる金属ナノ構造基板を構築し、多光子フォトリソグラフィ反応を誘起することに成功した (坪井)。金属界面構造を分子レベルで制御することによって単一分子ラマン計測を実現し、その光共鳴プロセスの詳細を明らかとした (村越)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって表面プラズモンが伝播する表面における単一原子レベルの磁気双極子放射の理論的検討 (田丸)、新規なプラズモン相互作用を示す異種金属コアシェルナノドット構造の構築 (新留)、フェムト秒分光による金ナノドットのプラズモン緩和過程の検討 (玉井) やプラズモンによる光誘起電子移動ダイナミクスの検討 (古部)、表面増強ラマン散乱活性の支配因子 (尾崎 (幸))、表面プラズモンによる赤外・ラマン振動増強の相関 (大澤)、またプラズモン増強光触媒系の初期過程 (野坂) などに関する検討が進められた。

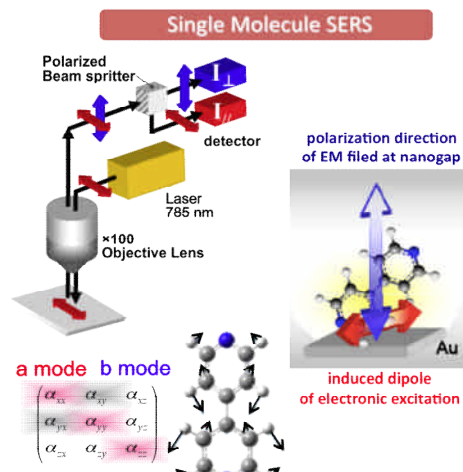


図 6. 偏光表面増強ラマン計測による振動モードの完全帰属 (村越) .

平成 21 年度以降は、金属ナノ構造と導電性高分子を組み合わせた複合系の構築により、高効率なプラズモン光電変換デバイスに必要な分子レベルでの構造制御の指針が得られた (山田)。また、金属粒子-半導体コアシェル粒子複合系を構築し、光触媒反応を高効率に誘起する系の最適化を達成した (鳥本)。金属ナノ構造基板を最適化することによって、半導体量子ドットのプラズモン場におけるオプティカルトラッピング現象を実験的に検証することに成功した (坪井)。表面増強ラマン計測に偏光解消計測を導入することによって、単分子ラマン計測の信頼性を大きく向上させた (村越・図 6)。また、近接場顕微鏡により微小開口からの透過光が増強するという現象が新たに見出され、世界中から関心を集めた (岡本)。これら計画班研究の成果に加えて、公募班によって、光電子顕微鏡とフェムト秒レーザーを組み合わせた計測系による金属表面の進行プラズモンのダイナミクス可視化の実現 (久保)、プラズモン励起による芳香族環直接官能基化反応の加速 (吉田)、近赤外蛍光増強系の確立 (長村)、銀ナノシェルを有する異方性の制御された金ナノロッド微粒子の効率合成技術の確立 (新留) などが達成された。

上記の各班にて行われた研究項目に加えて多くの班内・班間連携の研究が推進された。

- (1) 新規光機能・光エネルギー変換システムの設計・構築
- (2) 独創的ナノ構造作成技術に基づく光子捕捉・局在場構築
- (3) ナノ空間選択的励起を実証する革新的計測技術の開発

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 1334 件)

1. Fumika Nagasawa, Mai Takase, Hideki Nabika, and Kei Murakoshi, "Polarization Characteristics of Surface-enhanced Raman Scattering from a Small Number of Molecules at the Gap of a Metal Nano-dimer", *Chem. Commun.*, 47, 4514-4516 (2011). (査読有)
 2. Kazuyuki Nishio and Hideki Masuda, "Anodization of Gold in Oxalate Solution to Form a Nanoporous Black Film", *Angew. Chem. Int. ed.*, 50(7), 1603-1607 (2011). (査読有)
 3. Takahiro Yokoyama, Akito Masuhara, Tsunenobu Onodera, Hitoshi Kasai, and Hidetoshi Oikawa, "Silver Nanoparticles-Accelerated Photopolymerization of a Diacetylene Derivative", *J. Phys. Chem. C*, 115, 22121-22125 (2011). (査読有)
 4. Yoshito Tanaka, Hiroyasu Ishiguro, Hideki Fujiwara, Yukie Yokota, Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, and Keiji Sasaki, "Direct Imaging of Nanogap-Mode Plasmon-Resonant fields", *Opt. Exp.*, 19(8), 7726-7733 (2011). (査読有)
 5. Tsukasa Torimoto, Hiroki Horibe, Tatsuya Kaneyama, Ken-ichi Okazaki, Shigeru Ikeda, Michio Matsumura, Akira Ishikawa, and Hajime Ishihara, "Plasmon-Enhanced Photocatalytic Activity of Cadmium Sulfide Nanoparticle Immobilized on Silica-Coated Gold Particles", *J. Phys. Chem. Lett.*, 2(16), 2057-2062 (2011). (査読有)
 6. Emiko Kazuma, Nobuyuki Sakai, and Tetsu Tatsuma, "Nanoimaging of Localized Plasmon-Induced Charge Separation", *Chem. Commun.*, 47, 5777-5779 (2011). (査読有)
 7. Motoaki Bamba, and Hajime Ishihara, "Entangled-Photon Generation in Nano-to-Bulk Crossover Regime", *Phys. Rev. Lett.* 105, 123906 (1-4) (2010). (査読有)
 8. Xiaqiang Cui, Keiko Tawa, Hironobu Hori, and Junji Nishii, "Tailored Plasmonic Gratings for Enhanced Fluorescence Detection and Microscopic Imaging", *Adv. Funct. Mater.*, 20, 546-553 (2010). (査読有)
 9. Masayuki Kanehara, Hayato Koike, Taizo Yoshinaga, and Toshiharu Teranishi, "Indium Tin Oxide Nanoparticles with Compositionally Tunable Surface Plasmon Resonance Frequencies in the Near-IR Region", *J. Am. Chem. Soc.*, 131(49), 17736-17737 (2009). (査読有)
 10. Taichi Arakawa, Takatoshi Munaoka, Tsuyoshi Akiyama, and Sunao Yamada, "Effects of Silver Nanoparticles on Photoelectrochemical Responses of Organic Dyes", *J. Phys. Chem. C*, 113(27), 11830-11835 (2009). (査読有)
 11. Yasuyuki Tsuboi, Ryosuke Shimizu, Tatsuya Shoji, and Noboru Kitamura, "Near-Infrared CW Light can Drive 2-Photonic Photochromism with a Great Help from Localized Surface Plasmon", *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 12623-12627 (2009). (査読有)
 12. Kosei Ueno, Saulius Juodkazis, Toshiyuki Shibuya, Yukie Yokota, Vyantas Mizeikis, Keiji Sasaki, and Hiroaki Misawa, "Nanoparticle Plasmon-assisted Two-Photon Polymerization Induced by Incoherent Excitation Source", *J. Am. Chem. Soc.*, 130(22), 6928-6929 (2008). (査読有)
 13. Om P. Khatri, Jiwon Han, Takashi Ichii, Kuniaki Murase, and Hiroyuki Sugimura, "Self-Assembly Guided One-Dimensional Arrangement of Gold Nanoparticles: A Facile Approach", *J. Phys. Chem. C*, 112, 16182-16185 (2008). (査読有)
- [学会発表] (計 1220 件)
1. Hiroaki Misawa, "Photochemical reactions on gold nanoparticles", 215th ECS Meeting, San Francisco Hilton, USA, 2009年5月25日 [図書] (計 171 件)
 1. Kosei Ueno, Hiroaki Misawa, "Strong photon-molecule coupling fields for chemical reactions", *Photochemistry*, 39, 228-255 (2011). [産業財産権] (計 60 件出願)
- 名称: 光電変換装置、光検出装置、及び光検出方法
 発明者: 三澤 弘明、西島 喜明、上野 貢生、村越 敬
 権利者: 北海道大学
 種類: 特許
 番号: PCT/JP2010/065052
 出願年月日: 2010年9月2日
 国内外の別: 外国
 [その他]
 ホームページ: <http://photomolecule.net/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 三澤 弘明 (MISAWA HIROAKI)
 北海道大学・電子科学研究所・教授
 研究者番号: 30253230
 - (2) 研究分担者
 益田 秀樹 (MASUDA HIDEKI)
 首都大学東京・都市環境科学研究科・教授
 研究者番号: 90190363
 (H20-H22: 連携研究者)
 山田 淳 (YAMADA SUNAO)
 九州大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号: 30136551
 (H20-H22: 連携研究者)
 村越 敬 (MURAKOSHI KEI)
 北海道大学・大学院理学研究院・教授
 研究者番号: 40241301
 (H20-H22: 連携研究者)
 - (3) 連携研究者
 該当なし