

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04100

研究課題名（和文）金属ナノ構造体における光励起状態の時空間コヒーレント制御と光伝播制御への応用

研究課題名（英文）Spatio-temporal coherent control of excited states in metal nanostructures and its application to control of light propagation

研究代表者

井村 考平（Imura, Kohei）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80342632

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：物質機能とエネルギー伝達を精緻に制御することは、科学技術における究極的な課題の一つです。これを実現することで、エネルギーの効率的利用や演算処理・情報伝達に新手法が構築され、エネルギーや環境問題の解決に貢献することが期待されます。本研究では、この目標を実現するために、ナノ物質の機能を時間と空間の両軸で制御する基本原理を明らかにしました。また、光エネルギーの伝達制御法を明らかにしました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物質機能やエネルギー伝達を精緻に制御することは、科学技術において重要な課題の一つとなっています。これを実現することで、エネルギーの効率的利用や演算処理・情報伝達に新手法が構築されます。そして、これにより、エネルギー問題や環境問題など人類が抱えているさまざまな問題解決に貢献することが期待されます。また、学術的には、物質の機能化とエネルギー伝達制御を基軸とする物質科学、情報科学、量子演算処理の新学理が構築され、これらの分野において新展開が期待されます。

研究成果の概要（英文）：Precise control of material functions and energy transfer is one of the ultimate challenges in science and technology. This enables to develop new methods for efficient use of energy, arithmetic processing, and information technology, and will contribute to solving energy and environmental problems. In this study, we clarified the basic principle to control the function of nanomaterials in both time and space manner. In addition, we have achieved active control of light propagation.

研究分野：物理化学

キーワード：金属ナノ構造体 コヒーレント制御 励起状態 エネルギー伝達

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ構造体に光励起されるプラズモンは、光を時間と空間の両軸で閉じ込めて光電場を増強する。増強場は、分子センサーの高感度化や化学反応効率の向上、さらには電子演算システムの微小化・大容量化を実現することなどから、多様な分野においてプラズモンの研究が精力的に進められていた。申請者は、プラズモンを多様な応用に利用するためには、プラズモンの動的空間構造を可視化し理解することが本質的であると考えて、動的近接場顕微分光法の開発と高度化に取り組んでいた。プラズモンの可視化の重要性は、国内外で認識され、電子顕微鏡を基礎として、静的可視化法を用いたプラズモン研究が進展していた。例えば、金ナノロッドを対象とした研究から、ロッド長軸に沿って周期的に振動する特徴的な空間構造が可視化されること、これが自由電子の定在波を基礎に理解できることが明らかとなっていた。また、プラズモンの動的空間構造を観測した結果、複数の素励起モードが同時に励起されるときにモード間の干渉が明瞭に観測されることを見いだしていた。この結果は、光励起状態の空間構造を光励起パルスの特性により制御できることを示す。一方で、プラズモンの寿命は通常数 fs と非常に短いため、これを光化学反応など実用性の高い応用に繋げていくためには、その寿命の制御も不可欠である。プラズモンの寿命を決定する主な要因は、電子間の摩擦と輻射損失である。前者は、励起状態の特性を光励起により変調することで改善することができる。一方、後者は、構造体の形状を工夫し双極子許容モードと禁制モードを選択的に励起することで改善することができる。光エネルギーの効率的利用においては、光励起状態失活後に発生する熱エネルギーの制御が重要である。申請者は以上のような背景のもと、金属ナノ構造体に誘起される光励起状態の時空間構造を制御し、これにより光エネルギーの空間伝播制御法を構築する研究に着手した。

2. 研究の目的

光と物質の相互作用の制御は、光エネルギーの効率的利用や高速光情報通信において極めて重要な課題である。金属ナノ構造体に光励起される自由電子の共鳴モードは、電子と光場が時間的また空間的に結合した強結合状態である。複数の光-電子結合モードを同時励起し、その重ね合わせ状態をコヒーレントに制御することで、光励起状態を時間と空間の両軸で制御することが可能である。本研究では、金属ナノ構造体に誘起される光励起状態の時空間コヒーレント制御を実現し、光と熱の伝播制御法を構築することを目的とした。また、励起状態間の相互作用や干渉を利用し、微視的な状態制御をマクロな伝播制御へと展開することを目指した。以上の研究により、励起状態の長寿命化、エネルギー伝播の動的制御を実現し、光と物質の相互作用における自由度と柔軟性を格段に向上させることを最終目標とした。

3. 研究の方法

ナノ構造体における光励起状態の特性を評価するためには、励起された動的空間構造の可視化が不可欠である。励起状態は、空間スケール数十 nm、寿命十数 fs 程度であることが多く、これを可視化するためには、時間分解超解像顕微鏡の利用が有効である。申請者は研究着手時点で、チタンサファイアレーザーと近接場光学顕微鏡を組み合わせ、空間分解能 50 nm、時間分解能 20 fs を同時に達成する顕微鏡を開発していた。しかし、当時、安定的な運用することは容易ではなかったため、まずその安定性の向上に取り組むこととし、この装置を用いて、光励起状態の可視化と制御を計画した。次に、励起状態を長寿命化させることで、光励起状態と物質系との相互作用を格段に向上させることを計画した。研究を進める過程で、光励起状態の動的空間特性を本質的に理解するためには、その空間構造を 2 次元的にだけでなく 3 次元的に可視化する必要があるとの結論に至った。そのため、光近接場の立体的可視化法をあらたに構築するとともに、近接場から遠方場への遷移過程を実空間で可視化する手法の開発を計画した。上記の研究に加えて、近接場光の相互作用を用いて光伝播制御を達成することや光励起状態失活後の熱伝播を可視化するために光熱イメージング手法の開発を計画した。最終的に、微視的な光学特性を精密に操作し、これを巨視的な特性制御を実現する方法へと発展させる計画とした。

4. 研究成果

(1) 光励起状態の可視化と制御：金属ナノ構造体の形状を精密に設計することで比較的狭いスペクトル領域に複数の共鳴モードを誘起することができる。このような特性を示す金属ナノ構造体に超短パルス光を照射すると複数の共鳴モードが同時(コヒーレント)に励起される。励起パルスの時間特性を精密に操作することで、個々の共鳴モードを励起するタイミングを精密に調節することができる。これにより、多様な光励起初期状態を創りだすことが可能である。一次元ナノ構造体に誘起される光励起状態の空間分布は、粒子内部に生成する定在波ととらえることができる。しかし二次元ナノ構造体では、その次元性から光励起状態の空間特性が非常に複雑となり、その理解が容易ではなかった。近接場透過イメージングを用いて金プレートを研究した結果、形状、サイズ、また観測波長に応じて特徴的な空間構造が可視化されること、構造形状と同じポテンシャル井戸中に存在する自由粒子の固有状態を考えるとその空間特性が説明できることが明らかとなった。したがって、さらにサイズの大きな構造体では、複数のモードが比較的狭いスペクトル領域において励起できると考えられる。サイズの大きい金プレートの近接場透過スペクトルと近接場像をそれぞれ図 1 (b, c) に示す。図 1 (a) は、プレートの走査電子顕微鏡 (SEM) 像、図 1 (d-f) は、自由粒子の波動関数の二乗振幅像を示す (Imaeda *et al.*, *J. Phys. Chem.*

C 122, 7399 (2018).)。図 1 (g) は、図 1 (d-f) の重ね合わせ像を示す。図 1 (b) から、プレートの分光特性が周期的な共鳴を示すこと、また構造の内部の位置により、そのスペクトル特性が相補的に変化することがわかる。図 1 (c) の透過像から、三角プレートの辺に沿って、周期的な暗部が観測される一方、内部には明瞭な周期構造が観測されないことがわかる。計算から、波長 820 nm 近傍には、図 1 (d-f) に示す複数の共鳴モードが励起されると考えられる。これらを重ね合わせて得られる空間構造 (図 1 (g)) は、観測結果を定性的に再現する。つまり、サイズの大きいプレートを用いれば、狭い範囲に複数の共鳴を示し、コヒーレントな制御が実現される。また、波長を変化させて計測した近接場透過像から、短波長側にシフトするにしたがって、辺に沿って観測される暗点の数が增多することが明らかとなった。このことは、励起パルスの短波長化により、高精度な空間制御が実現することを示す。以上のように、金属ナノ構造体に誘起される光励起状態の空間構造の動的制御に取り組み、その基礎的知見と微視的制御法を明らかにした。

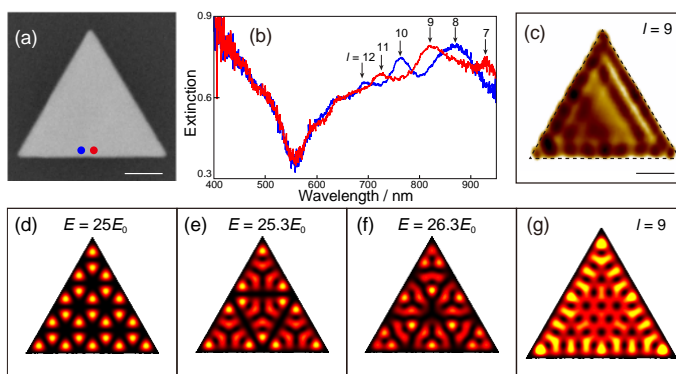


図 1. 金三角プレート (一辺 1900 nm, 厚み 35 nm) の (a) SEM 像, (b) 近接場透過スペクトル (プレート内部の測定点は, (a) の丸印の位置), (c) 近接場透過像 (波長 820 nm)。スケールバー: 500 nm。(d-f) 三角形ポテンシャル中の自由粒子の波動関数の二乗振幅像。図中の数値は、最低次のモードの固有エネルギーを基準 (E_0) とした固有エネルギー、(g) (d-f) の加算像。

(2) 光励起状態の動的可視化と励起状態の長寿命化: 金属ナノ構造の光励起状態の寿命は、数 fs から数十 fs である。これを長寿命化することで、光励起状態と物質系との相互作用を格段に向上させることができる。光励起状態の寿命を決める主要因は、物質固有の電子摩擦であり、通常これを制御することは困難である。金ナノ構造体は、近赤外パルス光の二光子吸収により可視域に発光を示す。この二光子誘起発光を利用すれば、光励起状態をより明瞭に可視化することができる。また、二光子励起過程を用いれば、ポンプ・プローブ測定により、励起状態の動的過程を追跡することができる。金属ナノ構造を用いた研究から、単一モードの励起では、試料表面で観測される光励起状態の寿命が均一となることが明らかとなった。また、プレートを用いた研究から、避雷針効果を示す場合においても、寿命像に顕著な空間位置依存性が観測されないことが明らかとなった。複数のモードが同時に励起される場合については、不明な点が多数あった。これを解明するため、適切に設計された金ナノプレートを対象として光励起状態の動的空間構造の可視化に取り組んだ

(Imaeda et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 9, 4075 (2018)).

図 2 (a) はプレートの SEM 像を、図 2 (b) は二光子励起像を示す。図から、光励起確率がプレートの頂点および辺中央に局在する特徴的な空間構造を示すことがわかる。この空間構造は、単一モードで帰属することはできず、面内に分極したモードと面外に分極したモードの重ね合わせで帰属できることが明らかとなった。図 2 (c) に、面内モードと面外モードを重ね合わせた空間構造を示す。この結果は、観測結果を比較的良く再現する。金プレート上で計測した二光子発光の自己相関波形は、用いた励起パルスの相関波形と比べて、時間的に広がることを確認される。これは、プラズモンの位相緩和が有限であり、

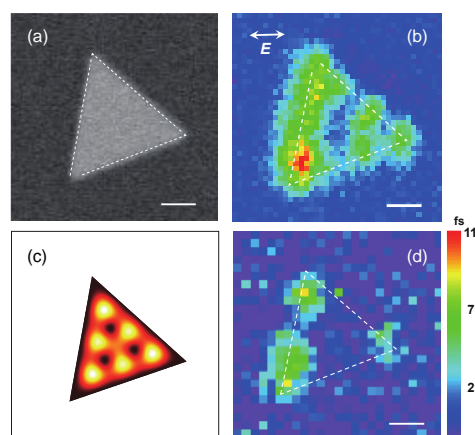


図 2. 金三角プレート (一辺 660 nm, 厚み 45 nm) の (a) SEM 像, (b) 近接場二光子発光励起像, (c) 三角形ポテンシャル中の自由粒子の波動関数の二乗振幅像の加算像。(d) プラズモンの位相緩和マップ。スケールバー: 200 nm。

相関波形計測において無視できないためである。プラズモンの位相緩和時間を抽出するために、試料上で観測された自己相関波形をフーリエ変換し、周波数スペクトルとしたところ、3つの周波数成分 ($0, \omega, 2\omega$) が観測された。基本周波数成分 (ω) にプラズモン応答が重畳していると考えられることから、この周波数成分を抜き出し、再度フーリエ変換を行い、時間応答波形とした。この波形をガウス関数でフィットし、位相緩和時間を決定した。同様の測定と解析をプレート面上のすべての点で行い可視化した光励起状態の位相緩和分布を図 2 (d) に示す。三角プレートの頂点近傍で位相緩和 (寿命) が長くなることがわかる。また、図 2 (b) と図 2 (d) の空間分布が一致しないことがわかる。この違いは、励起した二つの固有モードの励起状態の寿命を反映していると考えられる。図 2 (d) で可視化される空間分布は、面外モードの空間特性と定性的に一致する。このことは、面内モードに比べて、面外モードの寿命が長いこと、通常、励起禁制なモードを局在励起することで光励起状態の長寿命化が達成されることを示す。この研究で明らかにした面外モード (禁制モード)、輻射モードの制御を利用した長寿命化法は、他のナノ構造体にも適用可能な光励起状態の時空間制御法となることが期待される。

(3) 光近接場の立体的可視化法の開発と近接場から遠隔場への遷移過程の解明：複数の共鳴モードがエネルギー的に近接してくると固有モード間のオーバーラップが大きくなり、周波数スペクトル上で分離することが困難となる。また、金属ナノ構造体に誘起される増強場は、構造体近傍に局在するため、その空間的広がりがどの程度か評価することは、光増強場の有効利用や設計において非常に重要である。従来の近接場分光イメージング手法は、試料表面と近接場プローブ先端の距離を一定に保ちつつ試料を光照射し、その光応答を検出するため、基本的に二次元的なイメージ測定に限定される。試料表面と近接場プローブ先端の距離をさまざまに変化させながら、二次元イメージ測定を繰り返せば、それらをもとに三次元イメージを再構成することが可能である。しかし、この距離を数十 nm から数百 nm にわたり精密に安定的に制御することは困難である。距離は、ピエゾステージを利用することで精密な制御が可能で一方、これを長時間保持することはできない。これは、装置周囲の温度揺らぎにより、数百 nm にわたり距離が変化するためである。本研究では、測定時間の短縮と装置周囲の温度安定化により、近接場三次元可視化装置を構築した。これを用いて、金六角プレートの近接場透過像の 3 次元可視化を行った (Matsuura *et al.*, *J. Phys. Chem. Lett.* 10, 819 (2019)). 図 3 (a) は、プレート先端近傍で測定した近接場透過スペクトルを示す。実測 (Obs.) のスペクトルは非常にブロードである。透過像測定の結果をもとに共鳴エネルギーを算出し、成分分解した結果を A_1, B_1, E_1, E_2 のスペクトル線で示す。比較的狭い波長範囲に複数の成分があることがわかる。これらの成分の加算スペクトル (Fit.) は実測の結果を良く再現する。観測される透過スペクトルは、プレート上の観測位置に依存して大きく変化する。これは、多数の共鳴モードが存在し、それぞれが特徴的な空間特性をもつことを示唆する。

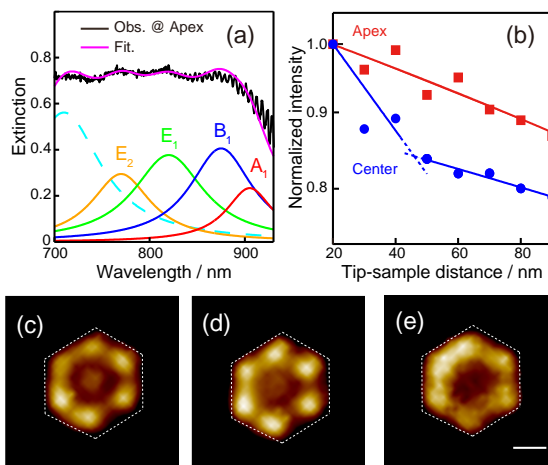


図 3. (a) 金六角プレート (一辺 400 nm, 厚み 40 nm) の頂点近傍で測定した近接場透過スペクトル。(b) プレートの頂点近傍と中央で観測した消費強度の試料表面と近接場プローブ先端の間の距離依存性。(c-e) 波長 900 nm 近傍で観測した金六角プレートの近接場透過像。距離は、c: 20 nm, d: 40 nm, e 90 nm。スケールバー: 200 nm。

プレート先端近傍と中央部において、試料表面と近接場プローブ先端の間の距離を変化させて測定した消費強度の距離依存性を図 3 (b) に示す。位置により減衰特性が異なること、中央部では先端近傍に比べ、減衰が急激であることがわかる。この結果は、プレート中央部で励起されるモードの光閉じ込め効果が大きいことを示す。試料とプローブ間の距離を変化させて測定した近接場透過像を図 3 (c-e) に示す。明部は、消費強度が大きいことを示す。距離は、(c) 20 nm, (d) 40 nm, (e) 90 nm である。図 3 (c) から、プレートの頂点近傍と中央部において、励起確率が高くなることがわかる。また、図 3 (d, e) から、試料とプローブ間の距離が長くなると、中央部の励起確率が相対的に下がることわかる。図 3 (c) の空間特性は、面内モードと面外モードの重ね合わせとして再現できる。面外モードは、プレート中央部で励起確率が高くなることから、面外モードは面内モードよりも強い光閉じ込め効果を示すことがわかる。この結論は、時間分解計測で得られた結果と一致する。近接場透過像の 3 次元可視化は、このように空間的、エネルギー的にオーバーラップしているために可視化が困難であった固有モードの観測を可能とすることが明らかとなった。

微視的な応答を巨視的な応答制御に繋げていくためには、近接場の情報がどのように遠隔場に伝播していくのか理解する必要がある。この目的を達成するためには、近接場から遠隔場への遷移を可視化することが本質的である。本研究では、光近接場の 3 次元可視化法を拡張し、さらに広範囲に光学像の可視化を実現するシステムを構築した。本項目での目的を達成するためには、励起モードの知見がすでに得られており、可視化像の解析が比較的容易である必要がある。これらを両立する試料として、こ

こでは金ナノロッドを測定対象とした (Suzuki *et al.*, *J. Chem. Phys.* 152, 014708 (2020)). 試料の透過スペクトル測定から、波長 830 nm と 930 nm 近傍に共鳴ピークを示すことがわかる。これらの共鳴波長で観測した近接場透過像を図 4 (a, b) にそれぞれ示す。これらは試料表面-プローブ間距離 10 nm で測定した。暗部は、励起確率が高い部分を示す。可視化される透過像は、ロッド長軸方向に暗部が周期的に振動する特徴的な空間特性を示す。ロッドに励起される最低次のモードを $m = 1$ とする

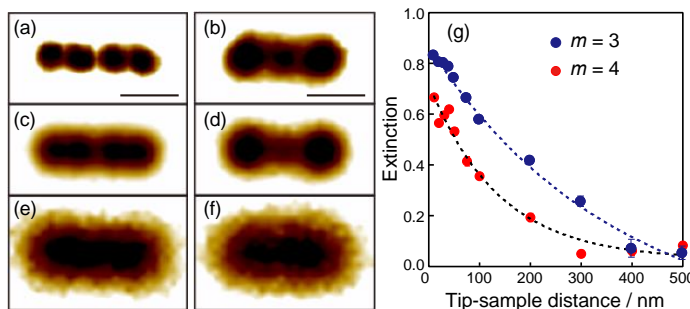


図 4. 金ナノロッド (長さ 600 nm, 幅 120 nm, 高さ 20 nm) の近接場透過像。観測波長: (a, c, e) 830 nm, (b, d, f) 930 nm。試料-プローブ間の距離: (a, b) 10 nm, (c, d) 50 nm, (e, f) 200 nm。スケールバー: 300 nm。(g) 消費強度の試料-プローブ間の距離依存性。数値は、最低次のモードを 1 としたときの励起モード次数。

と、図4 (a,b) はそれぞれ4次 ($m=4$) と3次 ($m=3$) のプラズモンモードに帰属される。試料-プローブ間距離 50 nm, 200 nm で測定した近接場透過像をそれぞれ図4 (c, d) と図4 (e, f) に示す。図4 (a, c, e) の観測波長は 830 nm, 図4 (a, c, e) は 930 nm である。これらの像から、試料表面-プローブ間距離が 10 nm において明瞭に観測された円形の暗部が、距離が大きくなるにしたがって、その輪郭が不明瞭となることがわかる。また、距離の増大とともに像が全体的に広がることわかる。 $m=4$ と $m=3$ のモードでの振る舞いの違いを調べるため、消衰強度の試料-プローブ間の距離依存性をプロットした結果を図4 (g) に示す。 $m=4$ と $m=3$ のモードは、距離とともに強度が減衰することがわかる。また、 $m=3$ に比べて $m=4$ の強度変化が急激であることがわかる。これらの振る舞いは、プレートで観測された傾向と一致する。これら減衰挙動と透過像の観測結果から、近接場から遠隔場への遷移過程が近接場像で観測される暗点を起点として球面波が発生し、それが遠方で全体として重なり波となり伝播することがわかる。このことは、球面波の発生源を適切に制御することで巨視的な伝播制御が達成されることを示す。

(4) 熱伝播の可視化とナノ構造体を利用した巨視的応答制御：金属ナノ構造体では、光励起状態失活後、数百 fs 以内の時間で光エネルギーは自由電子の熱エネルギーに変換される。金の場合、自由電子の熱エネルギーは、時間 100 fs で空間 100 nm を伝播する。これはバルクと比べて1桁以上高速な伝導である。光励起エネルギーの制御を実現するためには、光励起後の電子温度の空間分布の可視化が不可欠である。本項目では、近接場光学顕微鏡に熱分光手法を組み合わせることで熱伝播過程を理解することを目的とした。過渡現象の追跡法として、ポンプ・プローブ法が有効である。屈折率変化を利用した計測の高精度化により、金属ナノ構造体内部の温度分布の可視化が達成されることを確認したが、感度と安定性に向上の余地があった。そこで、あらたな手法として、発光計測を利用した温度計測法の開発を計画し、自由電子のラマン散乱や金属の一光子および二光子誘起発光を利用する方法について検討した。これらの方法は、いずれもナノ構造体の温度計測を可能としたが、特に二光子発光を用いた方法により高感度化が達成されることを明らかにした。さらに、蛍光色素を用いた、蛍光寿命計測により熱拡散の空間分布を可視化できることを明らかにした。研究協力者の飯田 G では金属ナノ薄膜の光吸収局所加熱による熱伝導や周囲媒質への影響の理論解析で大きな進展があった (S. Tokonami, T. Iida, et al., *Sci. Adv.* (2020))。

ナノ構造体を用いた巨視的光応答制御として、二つの研究に取り組んだ。一つは、金属ナノ構造体を用いた発光特性制御で、もう一方は、半導体ナノ構造体を用いた放射方向制御である。ここでは、前者を例に、ナノ構造体を利用した巨視的光応答制御の概要を述べる。金属ナノ粒子の二量体では、粒子間の結合方向と一致する偏光を入射すると、二量体の接合部 (ギャップ) において著しい光電場増強が起こる。このことは、近接場光の相互作用を制御することで、放射光の強度や偏光特性を制御できることを示唆する。本項目では、このような着想のもと、金属ナノ粒子集合体を空間選択的かつ外形を制御して作製することで、近接して存在する発光体の強度と偏光特性の制御を達成することを目的とした。この目的のために、電子線誘起化学反応を利用し、ガラス基板上に金ナノ粒子とカーボンドットのハイブリット構造を作製した。また、そのハイブリット構造を構成要素とするワイヤ構造を作製した (Suzuki et al., *J. Phys. Chem. C*. 124, 7370 (2020))。図5 (a, b) にハイブリット構造の透過電子顕微鏡像とワイヤ構造の二光子励起像をそれぞれ示す。図5 (a) で黒く観測されるのは、金ナノ粒子、その周りの薄膜がカーボンドットである。発光計測から、ワイヤ上において発光が励起されること、また発光がギャッププラズモンにより増強されることが明らかとなった。ワイヤからの二光子発光の入射偏光依存性を図5 (c) に示す。図から、ワイヤと直交する方向において効率的に発光が励起されることがわかる。これは、ワイヤ内に存在する金ナノ粒子集合体のプラズモンカップリングの共鳴波長がワイヤ長軸方向と短軸方向で違うことを示す。したがって、ワイヤの短軸と長軸の比、長さ一定のもとでは、ワイヤの幅を調整することで、偏光特性が制御可能である。偏光度のワイヤ幅依存性を測定した結果 (図5 (d)) は、微視的制御により、発光特性と偏光特性の制御が達成されることを示す。これ以外に、半導体ナノ球を用いた研究から、近接場光と試料の散乱光を干渉させることで、散乱方向を制御可能であることも明らかにした。

以上に述べたとおり、光励起状態の空間制御、励起状態の長寿命化、エネルギー伝播の巨視的制御を目標とし研究を遂行した。これらの研究から、物質機能の制御法や光伝播の時空間制御法の基礎が構築され、光と物質の相互作用の自由度と柔軟性を格段に向上された。これらを基軸として、さらに高度に機能制御・伝達制御へと発展させることが可能である。これらの研究は、物理化学研究の新しい学理の基礎となるとともに、材料科学、光デバイス開発、光エネルギーの効率的利用に大いに貢献するものと期待される。

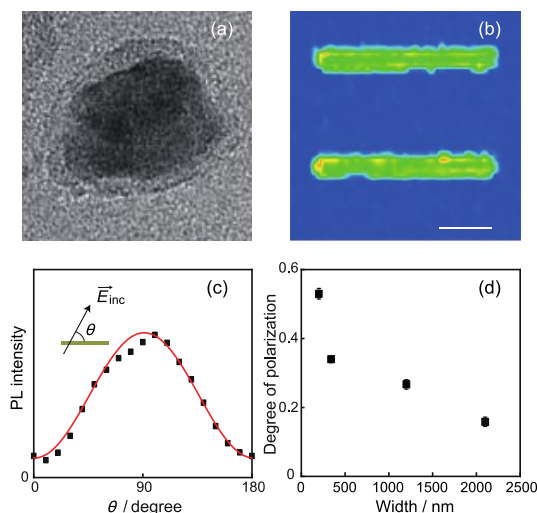


図5. (a) 作製した金ナノ粒子 (GNP) とカーボンドット (CD) のハイブリット構造の透過電子顕微鏡像。イメージサイズ: 40 nm × 40 nm。 (b) ワイヤ状に作製した GNP-CD ハイブリット構造の二光子発光励起像。スケールバー: 10 μm 。 (c) ワイヤ構造の二光子発光の入射偏光依存性。挿入図に、入射角 θ を定義。 (d) 偏光度のワイヤ幅依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Y. Kamura, K. Imura	4. 巻 124
2. 論文標題 Enhanced and Polarized Photoluminescence from Carbon Dot - Metal Nanoparticle Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 7370-7377
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.0c00248	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 H. Suzuki, K. Imaeda, H. Mizobata, K. Imura	4. 巻 152
2. 論文標題 Spatial characteristics of optical fields near a gold nanorod revealed by three-dimensional scanning near-field optical microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 14708
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5131709	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. Imaeda, K. Tawa, K. Imura	4. 巻 48
2. 論文標題 Nanosopic Visualization of Fluorescence Excitation Probability on Two-Dimensional Periodical Gold Nanohole Array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1119-1121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl.190370	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. Imaeda, W. Minoshima, K. Tawa, K. Imura	4. 巻 123
2. 論文標題 Direct Visualization of Near-Field Distributions on a Two-Dimensional Plasmonic Chip by Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 10529-10535
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.8b12495	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 今枝佳祐, 井村考平	4. 巻 50
2. 論文標題 二次元プラズモンの空間と分光の共鳴特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 光化学	6. 最初と最後の頁 193-195
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 -

1. 著者名 R. Takahata, S. Yamazoe, K. Koyasu, K. Imura, T. Tsukuda	4. 巻 140
2. 論文標題 Gold Ultrathin Nanorods with Controlled Aspect Ratios and Surface Modifications: Formation Mechanism and Localized Surface Plasmon Resonance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 6640-6647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b02884	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 Y. Kamura, K. Imura	4. 巻 112
2. 論文標題 Fabrication method of two-photon luminescent organic nanoarchitectures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 243104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5025880	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. Imaeda, S. Hasegawa, K. Imura	4. 巻 9
2. 論文標題 Static and Dynamic Near-Field Measurements of Highly Order Plasmon Modes Induced in a Gold Triangular Nanoplate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 4075-4081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b01671	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 T. Matsuura, K. Imaeda, S. Hasegawa, H. Suzuki, K. Imura	4. 巻 10
2. 論文標題 Characterization of Overlapped Plasmon Modes in Gold Hexagonal Plate Revealed by Three-Dimensional Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 819-824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b03578	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 Y. Kamura, K. Imura	4. 巻 4
2. 論文標題 Space-Selective Fabrication of Light Emitting Carbon Dots in Polymer Films Using Electron-Beam-Induced Chemical Reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 3380-3384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b00085	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 S. Noda, S. Hasegawa, H. Hamada, S. Kobatake, K. Imura	4. 巻 48
2. 論文標題 Plasmon enhanced optical responses of diarylethene molecules adsorbed on gold nanorods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 537-540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190068	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. Imaeda, W. Minoshima, K. Tawa, K. Imura	4. 巻 123
2. 論文標題 Direct Visualization of Near-Field Distributions on a Two-Dimensional Plasmonic Chip by Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 10529-10535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b12495	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 H. Mizobata, S. Hasegawa, K. Imura	4. 巻 121
2. 論文標題 Development of Aperture-Type Near-Field Reflection Spectroscopy and Its Application to Single Silver Nanoplates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 11733-11739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b04027	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. Imaeda, S. Hasegawa, K. Imura	4. 巻 122
2. 論文標題 Imaging of Plasmonic Eigen Modes in Gold Triangular Mesoplates by Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 7399-7409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b00678	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 T. Uchida, Y. Yoshikawa, M. Mamura, T. Iida, K. Imura	4. 巻 7
2. 論文標題 Multiple Resonances Induced by Plasmonic Coupling Between Gold Nanoparticle Trimers and Hexagonal Assembly of Gold-Coated Polystyrene Microspheres	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 3652-3658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.6b01493	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. Imura, H. Mizobata, Y. Makita	4. 巻 89
2. 論文標題 Photobleaching-assisted near-field absorption spectroscopy: its application to single tubular J-aggregates	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1518-1522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20160239bcsj.20160239	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. Imaeda, K. Imura	4. 巻 1246
2. 論文標題 Raman Activity and Dynamics of Plasmons on a Rough Gold Film Studied by Ultrafast Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ACS Books Symposium Series	6. 最初と最後の頁 121-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/bk-2016-1246.ch006	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 M. K. Hossain, M. Kitajima, K. Imura, H. Okamoto	4. 巻 121
2. 論文標題 Interstitial Dependent Enhanced Photoluminescence: A Near-field Microscopy on Single Spheroid to Dimer, Tetramer and Few Particles Gold Nanoassembly	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 2344-2354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.6b10452	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 H. Mizobata, K. Ueno, H. Misawa, H. Okamoto, K. Imura	4. 巻 25
2. 論文標題 Near-field spectroscopic properties of complementary gold nanostructures: applicability of Babinet's principle in the optical region	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 5279-5289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.005279	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58件(うち招待講演 12件/うち国際学会 18件)

1. 発表者名 今枝佳祐・田和圭子・井村考平
2. 発表標題 二次元プラズモニックチップの近接場イメージング
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 S. Hasegawa, K. Imaeda, K. Imura
2. 発表標題 Plasmon enhanced molecular fluorescence near single gold mesoplates
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Imaeda, Takuya, Matsuura, Seiju Hasegawa, Kohei Imura
2. 発表標題 Near-Field Optical Imaging of Plasmon Modes Induced in Two-Dimensional Gold Nanoplates
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Spatio-Temporal Responses of Plasmons Excited in Metal Nanostructures
3. 学会等名 The International Symposium on Plasmonics and Nano-photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Hasegawa, K. Imaeda, K. Imura
2. 発表標題 Fluorescence Enhancement by High-Order Plasmon Modes Excited on Single Gold Mesoplates
3. 学会等名 高次複合光応答 最終国際会議・最終公開シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Advanced function control of photochemical reactions using mesoscopic structures
3. 学会等名 Fluorescence Enhancement by High-Order Plasmon Modes Excited on Single Gold Mesoplates (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 単一金メソプレートに励起される高次プラズモン共鳴とその蛍光増強
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島遥・上田 慎二・長谷川 誠樹・井村 考平
2. 発表標題 化学合成金ナノプレートにおけるプラズモン増強第二高調波発生
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横澤旭美・松浦拓哉・長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 近接場分光イメージングによるプラズモン - エキシトン相互作用の究明
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 財間詩乃・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノプレートプラズモンにおける表面ラフネス依存性
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神保敦子・井村考平
2. 発表標題 液-液界面に作製した金ナノ粒子薄膜プラズモンの化学的制御
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 乙部隼也・松浦拓哉・井村考平
2. 発表標題 金ナノキューブにおけるプラズモンモードの立体的評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島健哉・三沢悟・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノロッドの光誘起形状制御
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦拓哉・井村考平
2. 発表標題 シリコンナノ粒子に光励起されるMie共鳴の近接場分光特性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香村惟夫・井村考平
2. 発表標題 カーボンドットの空間選択的合成とその光物性制御
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金属メソプレートにおける高次プラズモンモードの可視化と非線形蛍光分光への応用
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井村考平
2. 発表標題 ナノスケール・マルチ発光パターン作製技術
3. 学会等名 新技術説明会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 啓真・今枝 佳祐・溝端 秀聡・井村 考平
2. 発表標題 金ナノロッドにおける光近接場空間分布の観測
3. 学会等名 2019年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島健哉・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金属ナノ構造体に誘起されるプラズモンの化学的制御
3. 学会等名 2019年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香村惟夫・井村考平
2. 発表標題 電子線照射を利用したカーボンドットの空間選択的生成
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井村考平
2. 発表標題 金属メソ構造の光物性とその制御
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝佳祐・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 金三角形メソプレートにおけるプラズモン固有モードの近接場イメージング
3. 学会等名 平成30年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白山大樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 単一金属ナノ構造の光吸収と散乱特性評価法の検討
3. 学会等名 平成30年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦拓哉・長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 六角金メソプレートのプラズモンの可視化と近接場分光特性
3. 学会等名 平成30年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Spatio-Temporal Responses of Plasmons Excited in Metal Nanostructures
3. 学会等名 The 26th International Conference on Raman Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今枝佳祐・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 金メソプレートに励起される高次プラズモンの時空間特性
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノプレート近傍の蛍光増強におけるプラズモンモード依存性
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦拓哉・長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金属ナノプレートに励起されるプラズモンの対称性とその分光特性
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今枝佳祐・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 金三角形プレートプラズモンの静的および動的空間特性の可視化
3. 学会等名 第79回応用物理学会 秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田 慎二・長谷川 誠樹・市川 陽一・上野 貢生・三澤 弘明・岡本 裕巳・井村 考平
2. 発表標題 群論を用いた金属ナノ構造体の光学特性の解明
3. 学会等名 第79回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川花恵・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 ビッカリングエマルジョン法を用いた金ナノ粒子集合構造体の作製とその光物性の解明
3. 学会等名 第79回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノプレートにおけるプラズモンモードの形状依存性と光電場増強
3. 学会等名 日本化学会第99回春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Imaeda, Kohei Imura
2. 発表標題 Time-resolved near-field imaging on single gold nanoplates
3. 学会等名 The 8th International Conference on Surface Plasmon Photonics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三沢悟・井村考平
2. 発表標題 金属ナノ構造体における光熱変換効果の顕微分光研究
3. 学会等名 平成29年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井村考平
2. 発表標題 プラズモンのナノ分光イメージング金属ナノ構造体における光励起状態の可視化と応用
3. 学会等名 LAC-SYS研究所 (RILACS) 設立記念シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井村考平
2. 発表標題 プラズモンのナノ分光イメージング
3. 学会等名 第12回プラズモニック化学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Visualization of plasmons in single metal nanoplates using advanced near-field imaging methods
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keisuke Imaeda, Seiju Hasegawa, Kohei Imura
2. 発表標題 Static and time-resolved near-field optical imaging on single gold nanoplates
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Hasegawa, K. Imaeda, K. Imura
2. 発表標題 Near-field study of enhanced molecular fluorescence on a single gold nanoplate
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keisuke Imaeda, Seiju Hasegawa, Kohei Imura
2. 発表標題 Near-field visualization of plasmons in single gold nanotriangles
3. 学会等名 The 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三沢悟・井村考平
2. 発表標題 光照射した金ナノ粒子近傍の熱空間分布の可視化
3. 学会等名 第78回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 時間分解蛍光イメージング法を用いたプラズモン-分子相互作用の研究
3. 学会等名 第78回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝端秀聡・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 近接場反射・透過分光測定による金属ナノ構造体の光吸収と散乱特性の評価
3. 学会等名 第11回分子科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノプレートにおける蛍光増強の動的可視化
3. 学会等名 ナノオプティクス研究グループ 第24回研究討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今枝佳祐・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 金三角形プレートに励起されるプラズモンモードの可視化
3. 学会等名 第65回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノプレート近傍における蛍光増強効果の究明
3. 学会等名 第65回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Mizobata, Kohei Imura
2. 発表標題 Near-field reflection spectroscopy of metal nanoplates
3. 学会等名 平成28年度 日本分光学会年次講演会（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kohei Imura, Hidetoshi Mizobata, Keisuke Imaeda
2. 発表標題 Development of Advanced Near-field imaging methods for visualization of plasmon modes in metal nanostructures
3. 学会等名 The 14th International Conference on Near-Field Optics, Nanophotonics and Related Techniques（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Mizobata, Kohei Imura
2. 発表標題 Near-field Reflection Spectroscopy of Metal Nanostructure
3. 学会等名 The 14th International Conference on Near-Field Optics, Nanophotonics and Related Techniques（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keisuke Imaeda, Kohei Imura
2. 発表標題 Dye-assisted nonlinear imaging of plasmon modes excited in single gold nanoplates
3. 学会等名 The 14th International Conference on Near-Field Optics, Nanophotonics and Related Techniques (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 近接場光学検鏡による金ナノ構造体の一光子発光特性の究明
3. 学会等名 第10回分子科学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 香村惟夫・井村考平
2. 発表標題 電子線照射ポリスチレン自己集合体の二光子励起特性の究明
3. 学会等名 第10回分子科学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Ultrafast near-field imaging of plasmon dynamics in single gold nanoparticle
3. 学会等名 Stereodynamics 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Visualization of Plasmon Properties by Advanced Near-field Optical Microscopy
3. 学会等名 9th Asian and Oceanian Photochemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 馬昭明・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金属ナノ構造体における二光子励起過程の顕微分光による研究
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Space and Temporal Properties of Plasmonics in a Single Metal Nanoplate Revealed by Scanning Near-field Optical Microscopy
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会 日英国際シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神保敦子・西角友維・井村考平
2. 発表標題 液液界面に作製した金ナノ粒子薄膜の光学特性と光化学反応性
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬昭明・平柳祐太・井村考平
2. 発表標題 金ナノ粒子二光子発光における励起特性の究明
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>早稲田大学 先進理工学部 化学・生命化学科 光物理化学研究室 http://www.chem.waseda.ac.jp/imura/</p>

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	今枝 佳祐 (Imaeda Keisuke)		
研究協力者	飯田 琢也 (Iida Takuya)		