

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21179

研究課題名（和文）メソ物質における電気磁気双極子遷移の可視化と光学特性制御への応用

研究課題名（英文）Visualization and optical control of electromagnetic resonances in mesostructures

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） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：サブ波長サイズのメソ物質では、光電磁場を格段に増強させることで新しい光物性を実現できる可能性がある。しかし、そのためには、メソ物質と光電磁場の相互作用を深く理解する必要がある。本研究では、超精密なナノ顕微分光計測を実現し、メソ物質に誘起される光電磁場の空間特性から、光とメソ物質の相互作用を明らかにした。さらに、光と物質に新しい相互作用の機構を導入することで光応答の制御を達成した。これらの成果は、今後、メソ物質の新機能創出につながると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、物質の光学特性の新評価法を導入するとともに、従来にない方法で物質の光応答を増強する方法を開発した。これらの成果は、今後、物質の新機能創出につながるとともに、新しい研究の源流となることが期待される学術的な意義がある。また、光応答の増強法は、光エネルギーの効率的利用をはじめ、光センサや発光デバイスなどの開発につながることが期待されることから、社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：In the subwavelength scale meso-materials, electromagnetic fields are significantly amplified by elementally excitations, and consequently novel optical properties can be realized. However, for that purpose, deep understanding of the electromagnetic fields induced in the meso-material is indispensable. In this study, we performed ultra-precise nano-imaging of the meso-materials and clarified spatial characteristics of the electromagnetic fields in the materials. In addition, we achieved giant optical response of the meso-material by using new light-matter interaction. The developed methods are promising for creating new functions in the meso-materials.

研究分野：物理化学

キーワード：メソ物質 電気双極子遷移 磁気双極子遷移 近接場光学顕微鏡 光学特性制御

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光の波長と同じ空間スケールのメソ物質は、素励起の共鳴効果により、光と物質の相互作用に新しい機構をもたらすことが可能である。例えば、素励起の共鳴効果により、メソ物質は、光を物質の内部に時間的また空間的に閉じ込めて光電磁場を増強する。メソ物質の光学特性を特徴づける光増強場の空間特性は、光の回折限界のため、通常の光学顕微鏡では可視化できない。我々は、これまでに、ナノメートルの空間分解能を実現する近接場光学顕微鏡と分子分光法を組み合わせた顕微分光手法を開発し、これを用いてメソ物質近傍の光状態密度の空間特性を明らかにしていた。例えば、二次元メソ物質である金メソプレートを用いた研究から、プレートに励起される固有モードが、励起波長により大きく変化すること、またその空間分布が二次元の井戸型ポテンシャル中の自由粒子の波動関数の空間的特徴と定性的に一致することを明らかにしていた。さらに、プレート内部にループ状の変位電流が誘起されると解釈される空間構造が可視化されることを見出していた。この結果は、プレートの面外方向に磁気分極モードが発生していること、メソ物質では変位電流の励起により光電磁場が増強し磁気分極モードが顕在化することを示唆していた。電気双極子モードに磁気双極子モードを相互作用させることにより、これまで困難であった光物性を実現する可能性がある。これを達成するためには、磁気双極子モードを可視化し理解することが本質的に重要である。このような研究背景から、光電場と光磁場応答の両方を可視化し、電気双極子-磁気双極子相互作用を利用した新しい光応答制御法を実現することを着想した。

### 2. 研究の目的

サブ波長サイズのメソ物質は素励起の共鳴効果により光と強く相互作用し、光を時間的・空間的に閉じ込め増強する。増強場では、電場勾配が大きくなるとともに光磁場も増強する。通常、物質の光学特性は、物質に誘起される電気双極子モーメントと光電場の相互作用により理解される。これは、光磁場と磁気双極子モーメントの相互作用は小さく無視できるためである。しかし、メソ物質では、形状によりバルクと比べて格段に増強した光磁場や磁気双極子を誘起することができる可能性がある。メソ物質に誘起される光増強場や電気双極子と磁気双極子との相互作用により、従来の枠組みを超える光特性制御が可能となる。しかし、これを実現するためには、メソ物質に誘起される光電磁場の特性を深く理解する必要があり、そのためには光電場と光磁場に由来する光応答の可視化が本質的に重要となる。本研究では、物質と光電場・光磁場との相互作用を可視化し、メソ物質における光電磁場応答の増大機構を解明すること、また、電気双極子と磁気双極子の相互作用を利用した新しい光応答制御を実現することを目的とした。

### 3. 研究の方法

研究開始当初、開口型近接場光学顕微鏡を用いて二次元メソプレートに励起される局在モードを可視化すると、プレート内部にループ状の変位電流が誘起されると考えられる空間構造が可視化されることを見出していた。これは、磁気分極モードと解釈される空間モードである。しかし実際には、近接場測定では光磁場そのものを直接検出することはできず、これを光電場に変換し検出しているため、観測結果のみからでは、磁気分極モードを観測していると断定することができていなかった。本研究では、開口型近接場プローブ内部に発生する局在光電場と光磁場が、開口からの距離に対して異なる減衰特性を示すことに注目し、開口と試料間の距離をわずかに変化させながら透過光を偏光分離してスペクトル測定を行うことで光電場と光磁場に由来する近接場信号の分離を実現する計画とした。物質の近接場領域で観測される信号は、光電場と光磁場に由来する場合、電気双極子モードのみが励起される場合は、二つの偏光の強度比( $|E_y|^2/|E_x|^2$ )は開口と試料表面間の距離に緩やかに依存する一方、磁気双極子モードが励起される場合は、二つの偏光の強度比( $|E_y|^2/|E_x|^2$ )は開口と試料間の距離に強く依存すると考えられる。したがって、偏光強度比の開口と試料間の距離依存性の計測から、電気双極子モードと磁気双極子モードを分離できる可能性がある。本研究では、物質内部に励起される局在モードと光電場・光磁場との相互作用を可視化しメソ構造における光電磁場の増強効果を理解すること、また、電気双極子と磁気双極子の相互作用を利用し新しい光応答制御を実現することを目的に、(1) Si ナノ粒子および金メソドーナツ構造を用いた光電磁場応答評価、(2) 金メソプレートおよび金ダイヤモンド構造を用いた光電磁場応答の偏光分離計測、(3) 電気双極子-磁気双極子相互作用による増強光電磁場の創出の研究を行った。Si ナノ粒子と金メソドーナツを用いた研究から、近接場信号における光電場と光磁気応答の評価を、金メソ構造を用いた研究から、光電磁場応答の偏光分離計測評価を計画した。さらに、Si ナノ粒子と金ナノワイヤのハイブリット構造を用いた研究から、電気双極子-磁気双極子相互作用による光電磁場、また光学応答の増強を計画した。金メソドーナツ構造および金ダイヤモンド構造は、北海道大学三澤弘明教授、上野貢生教授、押切友也助教(当時)の協力により作製した。

### 4. 研究成果

(1) 金メソドーナツ構造および Si ナノ粒子を用いた光電磁場応答評価：これまでの研究から、

金メソドーナツ構造の近接場透過スペクトルは、可視から近赤外のスペクトル領域において、複数の共鳴ピークを示すこと、ドーナツの中心(空洞)部分において、透過光がわずかに増強する波長が存在することが明らかとなっていた。金メソディスク構造では、このような透過光増強を示さないことから、金メソドーナツ構造では、開口内部において光電磁場の増強が起こると考えられる。このような着想のもと、金メソドーナツ構造を研究対象とし、微小開口内部の光電場と光磁場の特性を評価した。まず、電磁気学計算を用いて、内径の異なる金メソドーナツ構造の光電磁場解析を行った。その結果、形状によりドーナツ内部において電場が10倍以上増強すること、また、同様に光磁場も数倍程度増強することが明らかとなった。次に、開口型近接場光学顕微鏡を用いて、微小開口内部の光電場と光磁場に起因する信号成分を分析するため、近接場プローブ先端とドーナツ構造の距離をわずかに変化させて近接場透過測定を行った。その結果、サイズや共鳴モードにより近接場信号の距離依存性が変化することが明らかとなった。

Si ナノ粒子を研究対象として同様の計測を行った。Si ナノ粒子は、粒子内部にループ状の変位電流が誘起され、その鉛直方向に磁気分極モードが誘起される。Si ナノ粒子の暗視野散乱スペクトルは、可視から近赤外域に電気四極子、磁気四極子、電気双極子、磁気双極子遷移に起因する共鳴ピークを示す。近接場プローブ開口先端と試料の距離をわずかに変化させて近接場透過測定を行ったところ電気双極子モードと磁気双極子モードで異なる開口-試料間距離依存性を示すことが明らかとなった(図1)。これらの結果は、電気分極モードと磁気分極モード、光電場と光磁場の可視化に近接場光学顕微鏡が有効であることを示す。

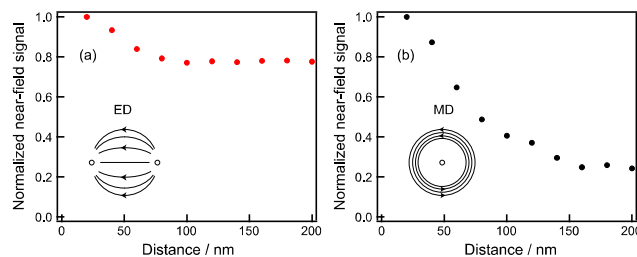


図1. Si ナノ粒子に共鳴励起される近接場光学応答の近接場プローブ開口-試料間距離依存性:(a)電気双極子モード,(b)磁気双極子モード。

(2) 金メソプレートと金メソダイヤモンド構造を用いた偏光分離計測評価: 金メソプレートと同形の二次元ポテンシャル井戸中の粒子の固有エネルギー計算とプレートが属する点群を用いた解析から、対称性がAとEに帰属される固有モードが存在することが明らかとなっている。Eモードは、構造面内で分極する固有モードで光学許容である。一方、Aモードには面内で分極が円環状になるモードと面外に分極するモードが存在し面直方向からの光照射では光学禁制である。金メソプレートの近接場消衰スペクトルは、可視域から近赤外域に複数の共鳴ピークを示す。また、これらの波長で観測される近接場透過イメージは、特徴的な空間特性を示す。固有モード計算との比較から、可視化される空間特性は、単一の固有モードではなく、複数の固有モードの重ね合わせで再現される。したがって、金メソプレートでは、AモードとEモードの相互作用により、Aモードを励起することができると考えられる。これらのモードに由来する信号の減衰特性は異なると予想される。開口と試料間の距離をわずかに変化させながら透過光を偏光分離してスペクトル測定を行った結果、構造内部の位置に依存して顕著なプローブ-試料間距離依存性を示す共鳴モードが存在することが明らかとなった。

金メソダイヤモンド(菱形)構造は、その構造の対称性から固有エネルギーが偶然縮退する場合があると考えられる。ダイヤモンドと同形のポテンシャル井戸中の粒子の固有エネルギー計算から、対称性の異なるA<sub>2</sub>とB<sub>1</sub>モードの固有エネルギーが一致する場合があることが明らかとなった。鉛直方向からの光照射に対し、A<sub>2</sub>モードは光学禁制であり、B<sub>1</sub>モードは光学許容である。ダイヤモンド構造では、このように光学許容モードと光学禁制モードが縮退する場合があるため、光学許容なモードを光励起して光学禁制なモードを誘起し、その結果、光閉じ込め効果を高めて光電磁場を増強させることができる。金メソダイヤモンドの近接場消衰スペクトル(図2(c))は可視域に複数のピークを示し、共鳴波長近傍での近接場透過イメージは、特徴的な空間特性を示す。メソプレート同様、開口と試料間の距離をわずかに変化させながら透過光を偏光分離してスペクトル測定を行った結果、近接場信号は共鳴により異なる開口-試料間距離依存性を示すことが明らかとなった。

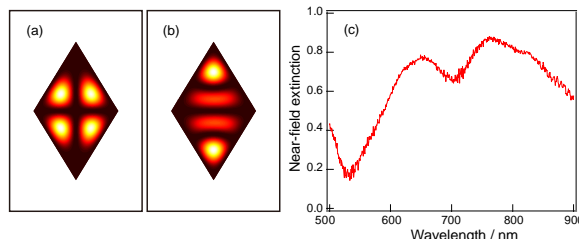


図2. ダイヤモンド構造の固有モードの例:(a)A<sub>2</sub>モード,(b)B<sub>1</sub>モード,(c)金メソダイヤモンド構造の近接場消衰スペクトル。

以上の観測結果は、近接場測定において光電場と光磁場に由来する信号を検出していることを示唆する。しかし、近接場信号は波長ごとに非常に複雑な開口-試料間距離依存性を示すことから、複雑な解析が必要となり光電場と光磁場に由来する信号の分離には至っていない。現在、多変量解析を用いた信号分離に取り組んでいる。

(3) 電気双極子-磁気双極子相互作用による増強光電磁場の創出: 構造内部にループ状の変位電流を誘起することができれば、その鉛直方向に光磁場が誘起される。Si ナノ粒子では、このようにして磁気双極子が誘起される。本研究では、Si ナノ粒子に誘起される磁気双極子モードと金ナノ構造に誘起される電気双極子モードとの相互作用により、光電磁場の増強と光伝播制御を

実現することを目的とした。Si ナノ粒子は、Si 基板のレーザーアブレーションにより作製した。Si 粒子をガラス基板に分散後、Si 粒子近傍において空間選択的に金イオンを還元して Si ナノ粒子と金ナノワイヤ構造のハイブリッド構造を作製した。Si ナノ粒子およびハイブリッド構造の線形および非線形光学特性を評価した。また、電磁気学計算により光電磁場の評価を行った。Si ナノ粒子と金ナノワイヤとのハイブリッド構造に近赤外光パルスを照射したところ、可視域に発光が観測されることが明らかとなった。発光スペクトルには、磁気四極子と電気四極子共鳴に帰属される波形が観測された。また、第二高調波発生に帰属されるピークが観測された。ハイブリッド構造からの非線形発光は、二光子励起されること、Si ナノ粒子と金ナノワイヤ構造のそれぞれの単体の発光の積分強度に比べて増強されていることが明らかとなった。さらに、発光強度は、入射偏光状態に非常に強く依存すること、電磁気学計算との比較から、発光増強が電気四極子-磁気四極子相互作用に起因することが明らかとなった。電磁気学解析からは、特徴的な散乱分布を示すことも明らかとなった。これらの結果は、ハイブリッド構造により散乱光の伝播方向の制御が可能であることを示唆する。

本研究では、近接場光学顕微鏡の高精度位置制御に偏光分光測定を組み合わせることで、光電場と光磁場に由来する光応答の可視化を達成すること、これにより、磁気四極子モードの精密評価や磁気四極子-電気四極子の相互作用による光電磁場増強を目指した。これまでに、さまざまな形状のメソ構造を用いた研究から、固有モードの共鳴特性と空間特性が異なることを明らかにした。また、Si ナノ粒子と金ナノワイヤのハイブリッド構造を用いた研究から、磁気四極子と電気四極子の相互作用による光電磁場の増強と磁気四極子遷移の増強機構の基礎原理を明らかにした。光電磁場と電気磁気分極モードの相互作用の機構解明は、メソ物質の特性評価と制御に新しい展開をもたらすと同時に、物質の新機能創出にもつながると期待される。本研究から、新しい研究の源流となる波及効果の大きい成果が得られつつあり、今後、物理化学研究のあらたな基軸となることが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Atsuko Jimbo, Yui Nishikado, Kohei Imura	4. 巻 94
2. 論文標題 Optical field and chemical environment near the surface modified gold nanoparticle assembly revealed by two-photon induced photoluminescence and surface enhanced Raman scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 2272, 2278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210160	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 Seiju Hasegawa, Keisuke Imaeda, Kohei Imura	4. 巻 125
2. 論文標題 Plasmon-Enhanced Fluorescence near Single Gold Nanoplates Studied by Scanning Near-Field Two-Photon Excitation Microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 21070, 21076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c0646	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 Asami Yokozawa, Seiju Hasegawa, Keisuke Imaeda, Kohei Imura	4. 巻 125
2. 論文標題 Visualization of Plasmon-Exciton Interactions by Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 24515, 24520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c07745	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 Observation of the Plasmon Mode Transition from Triangular to Hexagonal Nanoplates	4. 巻 156
2. 論文標題 Keisuke Imaeda, Seiju Hasegawa, Kohei Imura	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 44702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0078371	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 Tomoya Nagasue, Takeha Shinohara, Seiju Hasegawa, Kohei Imura, Keiko Tawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Nanoantenna effect dependent on the center structure of Bull 's eye-type plasmonic chip	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 7526, 7538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.452468	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 Seiju Hasegawa, Kohei Imura	4. 巻 126
2. 論文標題 Photoluminescence Properties of Gold Nanorod and J-Aggregate Hybrid Systems Studied by Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5944, 5949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c00513	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 Hidetoshi Mizobata, Seiju Hasegawa, Mamoru Tamura, Takuya Iida, Kohei Imura	4. 巻 155
2. 論文標題 Near-field transmission and reflection spectroscopy for revealing absorption and scattering characteristics of single silver nanoplates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Chem. Phys	6. 最初と最後の頁 144703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0025328	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 Yoshio Kamura, Kohei Imura	4. 巻 5
2. 論文標題 Photoluminescence from Carbon Dot-Gold Nanoparticle Composites Enhanced by Photonic and Plasmonic Double Resonant Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 29068-29072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c03588	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 長谷川 誠樹, 今枝 佳祐, 井村 考平
2. 発表標題 近接場光学顕微鏡によるプラズモン-エキシトン強結合状態の空間特性の可視化
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神保 敦子, 井村 考平
2. 発表標題 金ナノ粒子薄膜における多光子励起白色光発生
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Time-resolved and three dimensional near-field imaging of plasmons in gold mesoplates
3. 学会等名 ASIANALYSIS XV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深田 将史, 白山大樹, 井村 考平
2. 発表標題 位相ステップング法を用いた顕微吸収散乱分光法の開発
3. 学会等名 2021年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nagisa Miwa, Kohei Imura
2. 発表標題 Optical Characteristics of Gold Nanoplate Assemblies Studied by Two-Photon Excitation Microscopy
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 Plasmons in Two-Dimensional Metal Mesostuctures and Their Applications to Surface Enhanced Optical Processes
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井村 考平
2. 発表標題 Plasmons visualized by near-field optical microscopy
3. 学会等名 ナノ学会合同部会シンポジウム ( 招待講演 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Imura
2. 発表標題 High order plasmons in metal nanostructures for surface-enhanced spectroscopy
3. 学会等名 Pacifichem 2021 ( 国際学会 )
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 長谷川 誠樹, 井村 考平
2. 発表標題 近接場光学顕微鏡を用いたプラズモン-エキシトン強結合状態の光学特性の究明
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊東 雅典, 井村 考平
2. 発表標題 金薄膜上の金ナノプレートに励起される高次プラズモン結合
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 陸, 香村 惟夫, 井村 考平
2. 発表標題 局在表面プラズモンとフォトニック結晶を用いたカーボンドットの発光増強
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾形駿, 井村 考平
2. 発表標題 二硫化モリブテンナノ薄膜における発光特性と形状変化の励起光強度依存性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 乙部隼也・井村考平
2. 発表標題 金ナノキューブに励起されるプラズモンモードの近接場分光特性
3. 学会等名 2020年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板東廣朗・長谷川誠樹・井村考平
2. 発表標題 Au-Cu <sub>20</sub> ナノハイブリッド構造の発光特性のサイズ依存性
3. 学会等名 2020年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川嶋健哉・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金ナノロッドの光学特性における化学的及び物理的效果
3. 学会等名 2020年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川誠樹・今枝佳祐・井村考平
2. 発表標題 金メソプレート近傍における励起場と放射場の増強
3. 学会等名 2020年度日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsuko Jimbo, Kohei Imura
2. 発表標題 Interaction of gold nanoparticle assembly with dye molecules at liquid-liquid interface
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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 <a href="http://www.chem.waseda.ac.jp/imura/">http://www.chem.waseda.ac.jp/imura/</a>
---

#### 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	三澤 弘明  (Misawa Hiroaki)  (30253230)	北海道大学・電子科学研究所・教授   (10101)	
研究協力者	上野 貢生  (Ueno Kosei)  (00431346)	北海道大学・理学研究院・教授   (10101)	
研究協力者	押切 友也  (Oshikiri Tomoya)  (60704567)	東北大学・多元物質科学研究所・准教授   (11301)	

#### 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
---------	---------