

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03882

研究課題名（和文）プラズモニックナノ渦場を用いた分子光ダイナミクス制御

研究課題名（英文）Control of molecular photo-dynamics using plasmonic nano-vortex field

研究代表者

笹木 敬司（Sasaki, Keiji）

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：00183822

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、光の「大きさ」をナノサイズまで小さくするだけでなく、光の「形」も制御する、新奇なナノプラズモニックシステムの創製に向けた要素技術の開発を行った。数値解析的に金ナノ多量体構造を用いることで複雑な角運動量を持つ光渦をナノ領域に集光できることを示し、ギャップ部中心に配置した擬似キラル構造のCDスペクトルが増強されることを示した。また、ギャップ部のナノ光渦場を用い、直径50nmのダイヤモンドナノ粒子がギャップ部を中心に数十nmの軌道回転運動を明確に観測することに成功した。また、塩素酸ナトリウムの結晶化プロセスにナノ光渦場が強く作用し、50%を超える巨大なCEE値を実現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、光を単にナノサイズに絞りに絞るだけでなく、分子・分子集合体の波動関数と光のナノ形状をマッチングさせることにより、禁制遷移の選択励起・許容遷移の完全抑制・均質媒質の第二高調波発生など、これまでの常識を打ち破る物質の光励起ダイナミクスや光反応プロセスが実現できると期待される。また、医薬品・農薬・香料の開発等、様々な分野において重要な課題となっているキラリティーの識別などの分野において光のナノ形状の制御により個々の分子・分子集合体を超高感度に計測する新規センシング技術に繋がるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a technique for creating novel plasmonic systems that not only focusing a light into the nanoscale region but also control the shape of light at the nano-scale. From our numerical analysis, we showed that gold trimer or tetramer structures can be used to focus optical vortex beam with complex angular momentum in the nano-region, and the CD spectra of the pseudo-chiral structure placed at the center of the gap area are enhanced. Based on the numerical results, we experimentally succeeded to observe the nano-scale orbital rotation of a trapped nanoparticle by using a nano-sized circularly-polarized optical field induced at the nano-gap. Additionally, we showed that the nano-sized circularly-polarized optical field has a strong effect on the crystallization process of sodium chlorate, resulting in a giant (greater than 50%) crystal enantiomeric excess (CEE).

研究分野：光計測操作

キーワード：光渦 局在プラズモン 光の角運動量 禁制遷移 分子光ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

近年、局在プラズモンを利用して光と物質の相互作用を増強する研究が活発に進められており、常温の分子系における光強結合状態の実現など新しい研究領域が拓かれつつある。光子と分子が相互作用する確率は、分子の吸収断面積(大きいもので $\sim 1 \text{ nm}^2$)と光子のモード面積(回折限界として $\sim 1 \mu\text{m}^2$)のサイズミスマッチにより高々 10^{-6} 程度と極めて小さいのに対し、金属ナノ構造体の電子集団振動と光のカップリングにより生成する局在プラズモンポラリトンは、光をナノサイズの空間に絞り込む機能(光ナノアンテナ効果)があり、分子の励起確率を5桁以上増強して光反応プロセスや非線形光学過程、放射圧発生の超高効率化を実現することができる。しかし、光子と分子のサイズだけをマッチングしても、分子の励起ダイナミクスを自在に制御することはできない。例えば、電気双極子遷移はサイズマッチングした光子によって高効率に誘起できる(許容遷移)が、高次多重極子遷移(禁制遷移)は、光子をナノサイズまで小さくしても、光子と分子の波動関数の形状ミスマッチにより励起することはできない。

本研究では、このミスマッチを解消するための方法として、光渦ビームに着目した研究を進めている。光渦は、等位相面が螺旋状に回転するビームであり、その光子は軌道角運動量を持っている。また、円偏光光渦はラゲールガウスビームとも呼ばれ、スピン角運動量を併せ持つ光子である。この光渦の回転対称な分布は分子の電子軌道の形状と同等であり、分子の波動関数と同じスピン・軌道角運動量を持つ光渦モードを形成することが可能である。しかし、回転対称性は同じ(相似)であっても、回折限界によって光渦ビームのサイズはサブマイクロメートルに対して分子の波動関数の拡がりやナノメートルスケールであり、光子から電子軌道への角運動量転写の効率は極めて低く、分子の光遷移ダイナミクスを制御することは非現実的であった。

2. 研究の目的

本申請研究は、金属アンテナにより光スポットをナノサイズまで小さくするとともに、スポット内の光電場振幅・位相分布をシングルナノスケール($< 10 \text{ nm}$)で制御する、すなわち、光子の形状をナノ空間でコントロールすることにより、これまでの常識を打ち破る分子の光遷移ダイナミクスや光反応プロセスの実現に挑戦する。

光ナノ成形を実現するアイデアとして、デザインした金属多量体ナノギャップ構造に角運動量を持つ光渦ビームを照射して多重極プラズモンモードを励振し、光渦のモードを制御して多重極モードの近接場干渉をコントロールすることにより、ナノ局在光の振幅・位相の3次元空間分布が自在に成形できることを我々は理論的に実証している。すなわち、光渦ビームの運動量(波数)・スピン角運動量(円偏光)・軌道角運動量(螺旋波面)を局在プラズモンに転写し、光形状情報を保持しながら回折限界を超えてナノサイズのプラズモンニックナノ渦場を実現することができる。

このプラズモンニックナノ渦場を用いれば、禁制遷移の高効率・選択的な励起が可能となるだけでなく、光渦形状によって許容遷移を禁制にすることもでき、選択則を完全に打ち破って光励起ダイナミクスを自在に制御する新奇な手法が創製できる。禁制な励起状態は放射ロスが小さく寿命が長いので、全く新奇な超高効率光反応プロセスへの展開が期待できる。また、第二高調波発生(SHG)や多光子吸収プロセスは物質に非対称な構造が必要とされるが、光電場がナノスケールで非対称であれば、対称構造の物質でも高効率なSHG・非線形プロセスが誘起できる。さらに、ナノ局在光の形状とマッチングする立体構造の分子・分子集合体は実効屈折率が変化してプラズモン共鳴周波数がシフトすることを利用した新しい光分子認識センシングを実現する。円偏光や螺旋波面のナノ成形光を利用すれば、キラル分子や液晶分子の構造に依存した共鳴スペクトルが観測され、単一あるいは少数分子の高感度キラリティー分析に応用できる。

3. 研究の方法

金属多量体構造のナノギャップ部に擬似分子を配置して光渦を照射したときの3次元電磁界分布および分子励起プロセスを高分解・高精度に数値計算する新しいシミュレーション解析手法を開発する。本手法を用い、分子の電気四重極子、電気六重極子、磁気双極子等の禁制遷移の励起効率、および双極子遷移の抑制効果について、金属ナノ構造の形状・対称性・サイズをパラメータとして解析を行い、分子遷移ダイナミクス制御に最適な金属ナノ構造をデザインする。

電子線描画装置を用いたリソグラフィ技術により、設計した金属多量体ナノギャップ構造を製作するとともに、空間位相変調器を用いてガウス光を光渦にモード変換し、金ナノ構造体に集光するシステムを構築する。また、研究室既存のシングルナノメートル($< 10 \text{ nm}$)の空間分解能を有する散乱型近接場顕微鏡を用いてギャップ部における光電場の強度分布、偏光状態、スペクトル特性を高感度・高精度に計測し、計算で予測された局在場が実際に誘起されるかどうかを確認する。

この試作した光ナノ成形制御システムによる新奇な光励起ダイナミクス・非線形光学プロセスを確認するため、四重極子・高次多重極子の選択励起による励起し、ラマン散乱測定による近接場顕微鏡のカーボンナノチューブプローブの禁制遷移励起や、金ナノギャップ構造体上に修飾した発光性ポルフィリン多量体の禁制遷移・許容遷移の光励起コントロール性能を実証する。さらに、本システムを、キラル構造を持つ分子・分子集合体に利用することにより、単一分子・単一ナノ構造体のキラル認識センシングや光ナノ渦場の放射圧を利用した選択的構造形成プロセス技術の開発に挑戦する。

4. 研究成果

(1) 光ナノ渦場における分子励起プロセスのシミュレーション解析

電磁場の空間構造は、光と物質の相互作用の特性を決定することができる。近接場における光の強い勾配は、電気四重極遷移のような、平面波遠方場照明ではほとんど観測されない双極子禁制の原子遷移を励起することが可能である。高次の軌道角運動量状態を持つ構造化光は、原子がスピンからの角運動量とビームの空間構造からの角運動量の2つの量子を吸収できる選択則を変調する可能性もある。このためには光の分布関数を電子の波動関数へ近づけ、光の位相変化を電子が感じられるようにする必要があり、光渦やベクトルビームの分布をナノメートル程度に非常に小さくしなければならない。本研究では、局在表面プラズモンを用いて光渦やベクトルビームの分布をナノ空間に局在させる構造の検討を行い、高次の軌道角運動量状態を持つ構造化光が近接場において強く集光されることを数値解析的に示した。具体的には、高次の軌道角運動量状態を持つ構造化光として四重極子状の空間分布を持つ円筒形ベクトルビームを金ナノ四量体構造に照射すると、数十ナノメートルのギャップ領域内にベクトルビームと同じ形状のナノサイズの四重極子場(局在プラズモン光渦場)を閉じ込められることを数値解析的に示した(図1(a),(b))。さらに、金ナノディスクの周期構造で構成されるプラズモニック結晶に囲まれた金ナノ四量体構造に光渦やベクトルビームを照射すると(図1(e),(f))、金ナノディスクの周期構造がアンテナアレイの役割を果たし、照射ビームのエネルギーを四量体構造中心へ効率的に導くため、金ナノ四量体構造中心のギャップ領域により増強された四極子場を形成するだけでなく、入射ビームと金ナノ四量体構造のアライメントのずれに対する高い耐性を持つアンテナ効果を得ることができることを示した。

この数値解析手法を用いて、キラル分子の立体異性体を高感度にセンシングするプラズモニック構造の検討を行った。局在場の電場ベクトルと遠方場の消滅スペクトルを高精度に数値解析する手法を開発し、2次元ナノギャップ金属構造体(金ナノ三量体構造)における円偏光場の局在特性(ナノ局在場におけるスピン角運動量)を解析すると共に、ナノギャップに疑似キラル分子(金属不斉ナノ構造体)を配置することによる円偏光二色性(CD)の増強効果について定量的に明らかにした。計算では、疑似分子としてクロスする金属ナノバー構造を用い、金ナノ三量体構

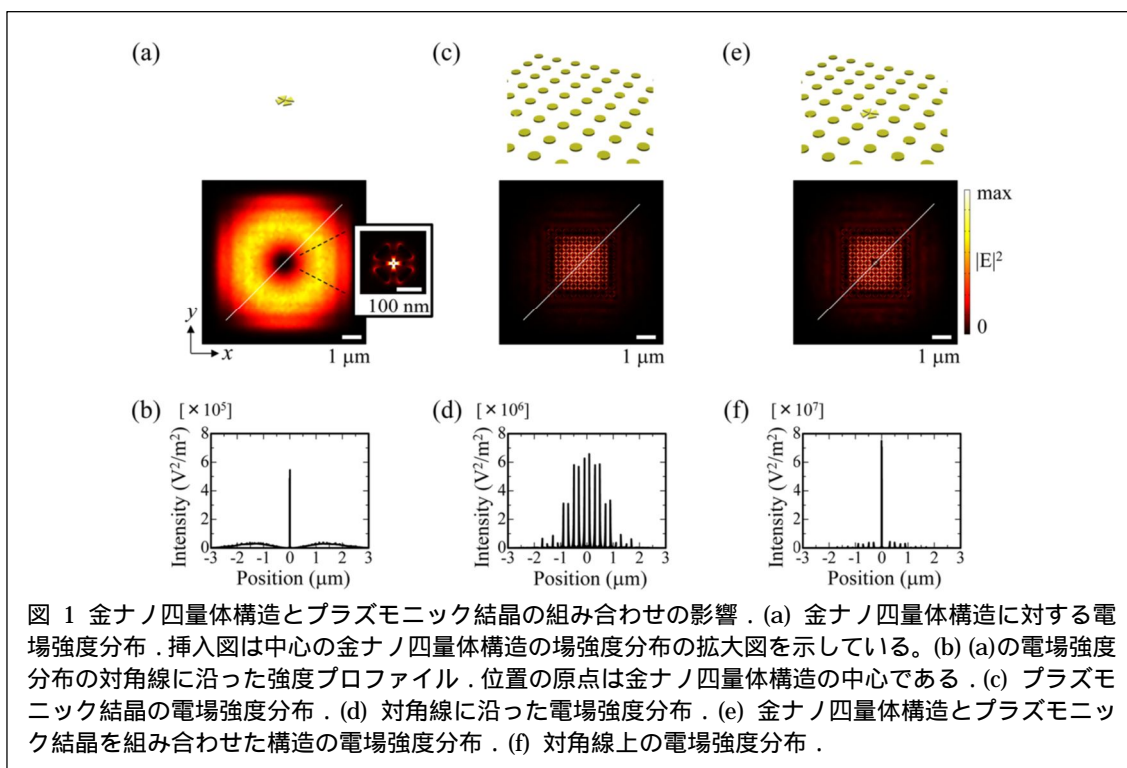


図 1 金ナノ四量体構造とプラズモニック結晶の組み合わせの影響。(a) 金ナノ四量体構造に対する電場強度分布。挿入図は中心の金ナノ四量体構造の場強度分布の拡大図を示している。(b) (a)の電場強度分布の対角線に沿った強度プロファイル。位置の原点は金ナノ四量体構造の中心である。(c) プラズモニック結晶の電場強度分布。(d) 対角線に沿った電場強度分布。(e) 金ナノ四量体構造とプラズモニック結晶を組み合わせせた構造の電場強度分布。(f) 対角線上の電場強度分布。

造内のギャップ部に擬似分子を配置した時と、金ナノ構造がない時の CD スペクトルの計算結果の比較を行った。この構造に円偏光を照射すると、図 2(a)に示す結果から、ギャップ直径 16 nm という極微小領域に円偏光場を誘起できることがわかる。また、円偏光場が無い場合とある場合の擬似分子の CD スペクトルを比較すると、このナノ円偏光場が疑似キラル分子の CD を増幅する効果を生じさせ、310 倍という大きな増幅値が得られた(図 2(b),(c))。本解析結果は、キラル分子を単一分子レベルでセンシングや選択的合成を行う、新手法の提案に繋がる可能性を有している。

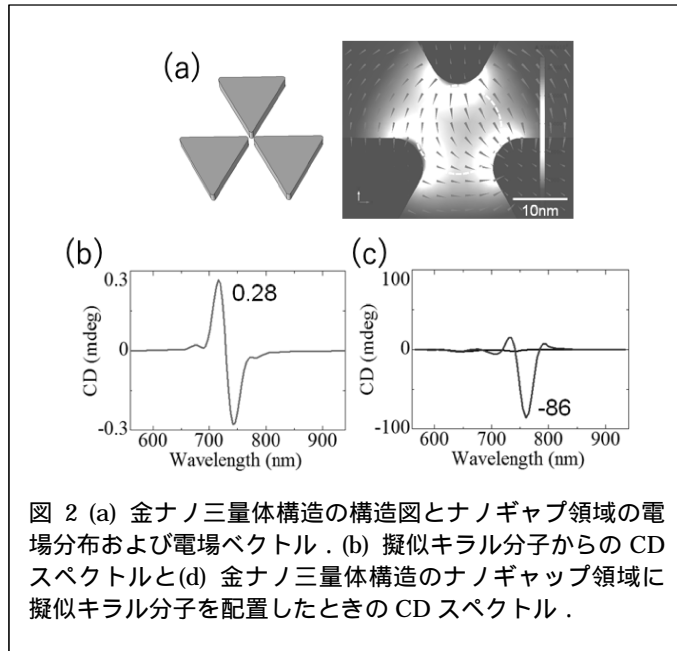


図 2 (a) 金ナノ三量体構造の構造図とナノギャップ領域の電場分布および電場ベクトル . (b) 擬似キラル分子からの CD スペクトルと(d) 金ナノ三量体構造のナノギャップ領域に擬似キラル分子を配置したときの CD スペクトル .

(2)金ナノ三量体構造中の局在プラズモン場を用いたナノ粒子回転運動

3次元光ナノ成形制御システムを用いた初期的実験として、光ナノ渦場とナノ粒子の角運動量相互作用について実験解析を実施した。単一ナノ粒子や分子の動きを制御する能力は、現在、科学技術上の大きな課題の一つである。プラズモニック・ナノピンセットの分野では目覚ましい進展があったが、プラズモニック・ナノギャップ・アンテナに捕捉されたナノ粒子のナノスケールでの制御された操作はまだ報告されていない。ここでは、円偏光を照射した金ナノ三量体構造に捕捉された単一蛍光ナノダイヤモンドの軌道回転運動の制御を実証した。実験では、電子線描画装置を用いたリソグラフィー技術により作製した波長 1064 nm に共鳴を持つ金ナノ三量体構造(図 3(a))に円偏光ビームを照射し、ギャップ部に誘起される増強ナノ円偏光場に捕捉されたダイヤモンドナノ粒子(直径 50 nm)が回転する様子を確認し、その回転運動の解析を行った。その結果、ナノ粒子がギャップ部を中心に数十ナノメートルスケールの軌道回転運動を明確に観測することに成功し、その向きが照射する円偏光の向きと逆向きになることを確認した(図 3(b),(c))。この逆転現象は、直線偏光を回転させると金ナノ三量体構造を構成する個々のナノ

三角形が偏光の回転方向とは逆の順番で順次励起されることに由来することを数値的に示した。また、金ナノ三量体構造に円偏光を照射すると、ギャップ部に強いナノ光渦場が誘起されるだけでなく、その周辺のポインティングベクトル場が渦状の分布を示すことを数値解析的に示し、このポインティングベクトル渦を介してナノ粒子の軌道回転運動が誘起されることを明らかにした(図 3(d))。この結果は、ギャップ部のナノサイズの領域に光を集光するだけでなく、ナノサイズの円偏光場を形成できていることを示唆する重要な結果を示しており、数値計算で示されているような光

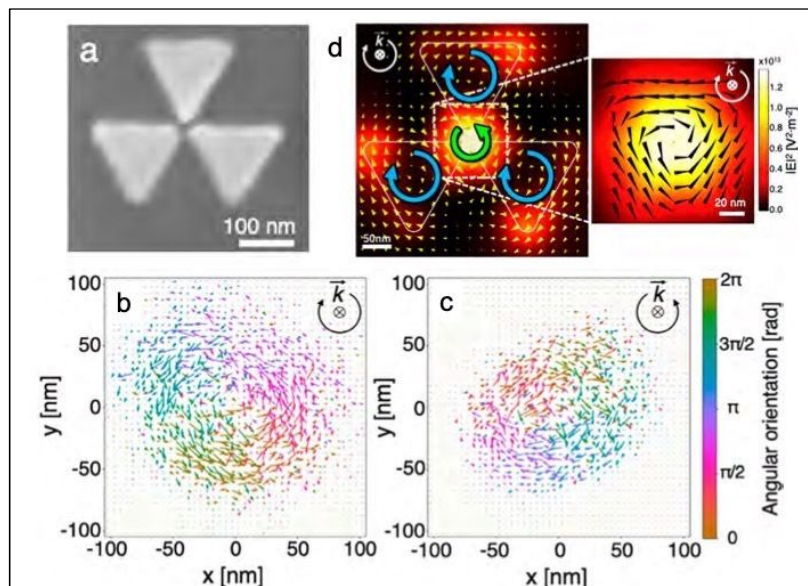


図 3 (a) 金ナノ三量体構造の電子顕微鏡画像 . (b)右円偏光と(c)左旋円偏光に対する捕捉されたナノダイヤモンド粒子の局所変位量の分布 . 矢印は正の x 軸に対して反時計回りの方向によって色分けしている . (d) 右円偏光を照射した時の金ナノ三量体構造の電界強度分布とポインティングベクトル場分布(黄色と黒色の矢印).青と緑の矢印はポインティングベクトル渦の位置と回転方向を示す . 右の挿入図 . ナノギャップ直上のポインティングベクトル渦を示す中央部の拡大図 .

渦照射により、ナノギャップ部にナノ光渦が形成され、それらの運動量が捕捉された粒子に転写される可能性を示唆する重要な結果である。

(3)光ナノ渦場を利用した選択的構造形成プロセス技術の開発

設計した金ナノ三量体構造を用いたプラズモン場操作により、塩素酸ナトリウム(NaClO_3)の巨大(50%以上)結晶鏡像体過剰率(CEE)が達成された。高エナンチオマー過剰を達成するために、分子と光の間のより強い不斉相互作用が必要とされる。この目的のために特別に設計された金ナノ三量体構造を NaClO_3 の重水飽和溶液に浸漬し、異なる偏光状態(直線偏光、左偏光、右円偏光)の波長1064nmレーザーを照射した。照射開始後数秒でレーザー焦点にアキラルな準安定結晶が形成され、その後さらに照射を続けるとキラル結晶に多形転移することがわかった(図4)。この結晶のキラリティーは円偏光の向きに敏感であり、効率的なエナンチオ選択性を実現することが可能である。この巨大なCEEを実現する機構については2つの可能性が考えられる。1つ目は、溶液中の NaClO_3 の2種類のクラスター核(*l*-体と*d*-体)の屈折率の違いによるギャップ部におけるプラズモントラッピング効率の違いによる可能性である。金ナノ構造体表面で増強されたナノ円偏光場は、円偏光の向きによって*l*-体、*d*-体の屈折率が異なるため、どちらか一方のクラスター核を効率よく捕らえることができる。その結果、1つのクラスター核の濃度が上昇し、エナンチオ選択的に準安定結晶上やその近傍でキラル核形成が起こる。例えば、左円偏光照射では、屈折率の違いから*d*-体が効率的にトラップされ、アキラル準安定結晶の表面/近傍に*d*-体の結晶核生成が起こる。その結果、アキラル結晶とキラル結晶の溶解度の違いから、*d*-体の結晶が成長する。2つ目のメカニズムは、金ナノ三量体構造上で発生した軌道角運動量の準安定結晶への転移による可能性である。金ナノ三量体構造体に円偏光を照射すると、金ナノ構造体表面でスピン角運動量が部分的に軌道角運動量に変換される。この軌道角運動量は機械的トルクを発生させ、準安定結晶の表面に直接作用する。軌道角運動量の方は、アキラル結晶中のナトリウムイオンの八面体構造の非対称な歪みの方向に影響を与え、結果としてキラル結晶の掌性が決定されると考えられる。

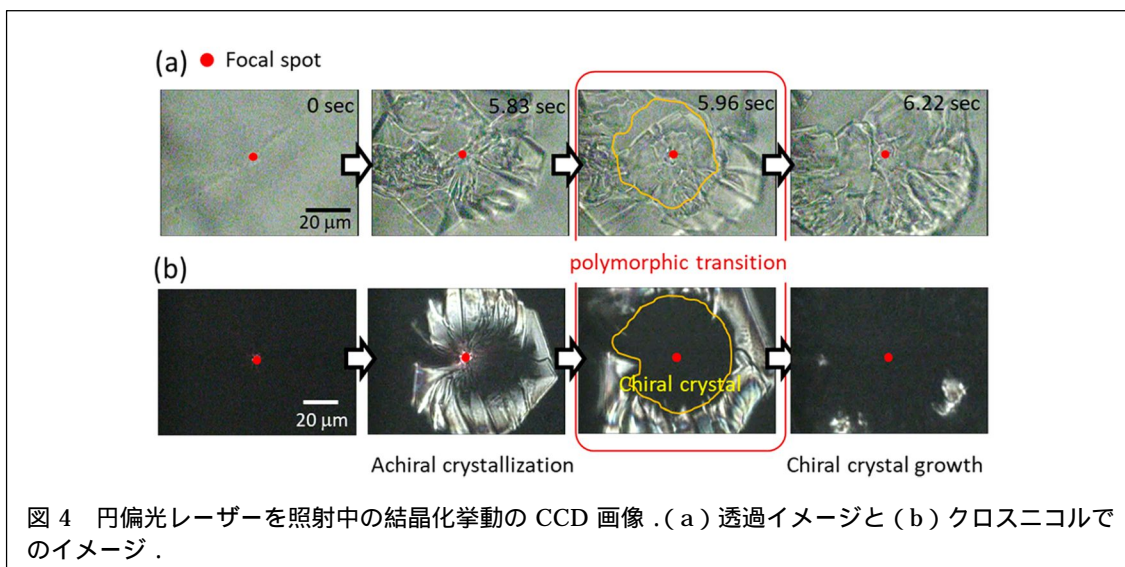


図4 円偏光レーザーを照射中の結晶化学動の CCD 画像。(a)透過イメージと(b)クロスニコルのイメージ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 C. L. Pin, R. Otsuka and K. Sasaki	4. 巻 3(5)
2. 論文標題 Optical Transport and Sorting of Fluorescent Nanodiamonds inside a Tapered Glass Capillary	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 4127-4134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c00274	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 該当する
1. 著者名 H. Fujiwara, T. Suzuki, C. L. Pin, K. Sasaki	4. 巻 20(1)
2. 論文標題 Localized ZnO Growth on a Gold Nanoantenna by Plasmon-Assisted Hydrothermal Synthesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Lett.	6. 最初と最後の頁 389-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b04073	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 C. L. Pin, R. Otsuka, H. Fujiwara, K. Sasaki	4. 巻 215
2. 論文標題 Optical transport of fluorescent diamond particles inside a tapered capillary	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 16002/1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201921516002	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 C. L. Pin, G. Takahashi, S. Fujikawa, K. Sudo, T. Fukaminato, K. Sasaki	4. 巻 11141
2. 論文標題 Optical trapping of nanoparticles using dimer and trimer plasmonic nanogap antennas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 84-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2535563.full	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 C. L. Pin, R. Otsuka, H. Fujiwara, K. Sasaki	4. 巻 11141
2. 論文標題 Optical propulsion of fluorescent diamonds inside a tapered capillary	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 46-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2535563.full	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 C. Pin, S. Ishida, G. Takahashi, K. Sudo, T. Fukaminato, K. Sasaki	4. 巻 3
2. 論文標題 Trapping and Deposition of Dye - Molecule Nanoparticles in the Nanogap of a Plasmonic Antenna	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 4878-4883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b00282	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 H. Fujiwara, R. Niyuki, K. Sasaki	4. 巻 2
2. 論文標題 White light induced photo-thermal switching in a graphene-flake-mixed ZnO nanoparticle random laser	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 35022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-6528/aab2d3	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. Sakai, T. Yamamoto, K. Sasaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Nanofocusing of structured light for quadrupolar light-matter interactions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-26175-0	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 H. Fujiwara H. Kaiju, J. Nishii, K. Sasaki	4. 巻 113
2. 論文標題 Magnetic response of random lasing modes in a ZnO nanoparticle film deposited on a NiFe thin film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 131108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040720	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. Fujiwara, K.Sasaki	4. 巻 113
2. 論文標題 Amplified spontaneous emission from a surface-modified GaN film fabricated under pulsed intense UV laser irradiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 171606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040551	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15件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Linear and Angular Momentum Transfer In Nano- Scale Fields
3. 学会等名 The International Symposium on Plasmonics and Nanophotonics (iSPN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Optical manipulation based on linear and angular momenta of nanogap plasmon
3. 学会等名 SPIE Photonics Asia: Plasmonics IV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Nano-Sized Whispering-Gallery-Mode Plasmonic Cavities
3. 学会等名 The International Workshop on Ultrafast Micro/Nano Photonics and Photochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Poynting Vector Analysis of Multipolar Plasmonic Fields
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics, Plasmonics: Design, Materials, Fabrication, Characterization, and Applications XVII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Rotational Manipulation of Nanoparticles Using Plasmonic Nano-Vortex Fields
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics Optical Trapping and Optical Micromanipulation XVI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Interference of Multipolar Lattice Resonances in Plasmonic Crystal Excited by Structured Light
3. 学会等名 The 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Selective Trapping and Transport of Nanoparticles using Optical Forces
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Organic and Inorganic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NAN02019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 英樹
2. 発表標題 ランダムレーザーの作製・制御技術の展開
3. 学会等名 高密度励起ナノ・マイクロ光材料研究会 スタートアップ集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 英樹、パン クリストフ、笹木 敬司
2. 発表標題 プラスモン支援水熱合成による酸化亜鉛-金ナノハイブリッド構造の作製
3. 学会等名 電子材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Optical Manipulation with Linear and Angular Momenta in Nano-Space
3. 学会等名 The International Symposium on Plasmonics and Nanophotonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Nano-Space Manipulation with Designed Optical and Plasmonic Fields
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Nano-Material Optical Manipulation
3. 学会等名 The 7th Summer Course and Workshop on "Emergent Functional Matter Science" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Interactions of Plasmonic Nano-Vortex Fields with Nanoparticles and Molecules
3. 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sasaki
2. 発表標題 Conversion and Inversion of Plasmonic Angular Momenta in Nano-Space
3. 学会等名 SPIE Optics & Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Fujiwara, K. Sasaki
2. 発表標題 Localized field control by plasmonic mode interference
3. 学会等名 8th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 分光装置	発明者 笹木 敬司、藤原 英樹、石原 一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-163206	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
研究分担者	藤原 英樹 (Fujiwara Hideki) (10374670)	北海学園大学・工学部・教授 (30107)	

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
---------	---------