

戦略的創造研究推進事業
研究領域「新しい物理現象や動作原理に
基づくナノデバイス・システムの創製」
研究課題「非線形ナノフォトニクス」

研究終了報告書

研究期間 平成13年12月～平成18年11月

研究代表者氏名 河田聡
(大阪大学・教授)
(理化学研究所・主任研究員)

1. 研究テーマ

- (1)研究領域 : 新しい物理現象や動作原理に基づくナノデバイス・システムの創製
- (2)研究総括 : 梶村 皓二
- (3)研究代表者 : 河田 聡
- (4)研究課題名 : 非線形ナノフォトニクス
- (5)研究期間 : 平成13年12月～平成18年11月

2. 研究実施の概要

低エネルギーでBose粒子であるフォトンを用いて、ナノ構造を見たり操ったり刻んだりすることができれば、他のナノプローブ技術では実現し得ない優しいナノ計測加工や高度なナノ物質分析が可能となる。しかし、フォトンはその波動性によって回折するため、従来の光学原理では数百nmの波長のフォトン为数nmのスケールに閉じこめることはできない。このいわゆる波長の壁を超えるブレイクスルー概念として、申請者は長年、虚数の運動量成分を用いるフォトンのトンネリング現象の利用（近接場光学）と、複数のフォトン応答過程あるいは、すなわち、光に対する物質の非線形な応答過程（多光子過程）の利用を提案してきた。

本『非線形ナノフォトニクス』プロジェクトでは、研究代表者自らが長年開拓してきた近接場光学技術と、やはり研究代表者自身が展開してきた非線形分光技術を融合させ、新しい概念である「非線形ナノフォトニクス」を打ち立てて、その基礎技術の開発と応用研究を目指した。近接場光学については、1994年に研究代表者自身が金属プローブ先端に局所的なプラズモンを励起しそれをナノ光源とする散乱型の近接場（ニアフィールド）顕微鏡を世界で初めて提案し実現している。また、このアイデアを表面増強ラマン分光法と組み合わせることによって、分子を染色することなくナノスケールの分解能で観察あする、のナノ分光イメージングに世界で初めて成功している。さらに、非線形応答効果としては、物質の光励起に対する相転移などによる閾値効果や、瞬間的にフォトン密度の高いパルスが発生する近赤外フェムト秒レーザー技術による多光子励起過程が活用できる。研究代表者らはこの分野においても世界を先導しており、2光子メモリや2光子光重合、2光子細胞刺激などすべてを、世界で最初に提案し成功に導いてきた実績がある。これらの成果をもとに、分解能、感度に優れたプラズモン電場増強効果を有するナノプローブ技術と、近赤外フェムト秒レーザー技術により励起する非線形効果を駆使して、カーボンナノチューブや生体蛋白分子などの非線形分子振動ナノ・スペクトロスコピーに挑戦した。また、最近進展の著しい非線形有機光材料を用いることによって、従来のシリコン加工技術では実現し得なかった3次元微細構造の形成、その医療用マイクロマシンやオプトエレクトロニクスデバイスとしての応用、新しいコンセプトである3次元ランダムアクセス大容量光メモリの開発等を試み、従来の光技術や従来のプローブ顕微鏡では実現不可能なナノサイエンス&テクノロジーを開拓した。

本プロジェクトでは光を用いて分子を観て操作する技術の開拓を主題としている。AFMやSTMが原子・分子像を精密に描き出すナノ・イメージング装置であるのに対して、光のプローブ顕微鏡である近接場（ニアフィールド）顕微鏡が果たす役割は、ナノ・スペクトロスコピーである。形状を観る見るのではなく、スペクトルをナノスケールで見る観る。とくに赤外及びラマンスペクトルは分子振動情報を正確に与え、分子構造が分かる。本研究により、将来、分子一つひとつが空間分離されてそれを構成する結合が観察できるようになり、STM、AFMを超える画期的な分子観察装置として、サイエンスへの貢献はもとよりナノ材料構造解析に必須の装置となると予想される。また、光の波動性によって分解能に限界のある現在のフォトリソグラフィや光記録などに対しても、非線形ナノフォトニクスは、大きなブレークスルーを与えることものと確信する。

本「非線形ナノフォトニクス」プロジェクトでは、フォトンを用いて物質をナノスケールで“観る”、“操る”、“創る”技術の開拓を目指し、A)分子イメージング研究グループ、B)機能化複合材料研究グループ、C)ナノマシン・ナノデバイス形成研究グループ、D)細胞刺激・加工研究グループのワーキンググループを組織して研究推進に当たった。

分子イメージング研究グループでは、3次非線形効果であるコヒーレントアンチストークスラマン散乱(CARS)を金属探針先端の局所増強電場で励起することに初めて成功し、世界初の近接場CARS顕微鏡を実現した。探針先端における局所プラズモン増強電場と非線形効果が組み合わさったことで、この手法で得たDNAネットワークのCARSイメージ(アデニンの五員環伸縮モードを可視化)では、世界最高の15nmの空間分解能を達成した[T. Ichimura, Phys. Rev. Lett. 2004]。

また、我々の予想を超える成果として、観察分子と探針表面の金属原子とが機械的・物理化学的な相互作用を及ぼすことで分子振動の振動数がシフトする現象を見いだした。量子化学計算に基づく理論解析を行った結果、探針が分子を変形させる効果（力学的効果）[H. Watanabe, Phys. Rev. B 2004]と、探針先端の金属と分子が金属錯体を形成することによる電荷移動（化学的効果）[H. Watanabe, J. Phys. Chem. B 2005]の2種類の近接的相互作用が、振動数シフトを引き起こしていることが明らかとなった。例えばカーボンナノチューブ(CNT)の場合、探針の機械的圧力によりCNT自体が変形することで、特定のラマンバンドが低振動数側にシフトする。これらの探針-分子間の近接効果は、探針先端に存在する数分子、数原子レベルオーダーの局所領域で発現しており、この非線形な近接効果を積極的に利用することで、いっそうの分解能の向上、さらには、分子配向の可視化や化学結合状態の測定が可能となる。将来的には、単一分子レベルの分解能実現へと発展させられる予備的結果として注目している。

機能化複合材料研究グループでは、金属ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料の開発に成功した。この新たな機能性材料から2光子重合を用いて作製したフォトニック結晶は、材料の屈折率差が大きいために光閉じこめ効果が高く、同じ構造で金属ナノ粒子を含まないものと比較して20%程度の光閉じこめ効率の向上を確認した。また、同様の手法を応用して作製した半導体ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料では、ポリマー中にドーピングした

CdSナノ粒子の粒径を高精度に制御することで、発光波長が制御可能であるフォトリソニック結晶の作製に成功した。以上の成果を通じて、ナノ粒子の持つ量子サイズ効果と三次元微細構造自体のもつフォトリソニック結晶効果を複合的に機能融合させるアプローチの有効性を実証できた。

ナノマシン・ナノデバイス形成研究グループでは、フェムト秒レーザーを用いて励起する多光子過程を用いた三次元ナノファブリケーション法を確立した。波長780nmのチタンサファイアレーザーを用いて、体長わずか5 μ mの牛の彫刻を造形するなど、他の方法では作製不可能な複雑な三次元造形物の作製に成功した。この方法の最小加工分解能は100nm程度であり[K. Takada, Appl. Phys. Lett. 2005]、さらに、光硬化性樹脂の組成や温度、収縮率の検討を行った結果、直径65nmの細線の三次元的造形にまで成功した。この方法は従来の積層型造形法では不可能であった複雑な三次元構造を自由に形成できる点に特徴があり、本手法を用いて作製した三次元ログパイル型フォトリソニック結晶では実際にフォトリソニックバンドギャップを観測している。また、本手法を多焦点光学系を用いたマルチスポット同時加工法に発展させ、メタマテリアル等で重要な周期構造の高精度な作製に威力を発揮する手法に拡張し、実用研究にも成果を残した。その他、作製した三次元構造をメタルコートしたプラズモニクナノストラクチャーの作製や、プラズモニクバンドギャップレーザー[T. Okamoto, Appl. Phys. Lett. 2005]、金属ナノレンズ[A. Ono, Phys. Rev. Lett. 2005]、プラズモニク・メタマテリアルを提案[A. Ishikawa, Phys. Rev. Lett. 2005]するなど、三次元的な金属ナノ構造の有する特性を積極的に利用したナノデバイスの提案を多数行った。

細胞刺激・加工研究グループでは、空間選択性を備えた細胞内機能分子制御法として独自に、多光子励起によるレーザー分子不活性化(Chromophore-assisted laser inactivation; 多光子CALI)を考案した[T. Tanabe, Nature Methods 2005]。従来の方法では、主としてDNAやRNAなどのターゲットに作用するため空間分解能がなく、細胞の局所で目的分子の機能を選択的に活性化・不活性化させることができなかった。考案した手法は、非線形過程である多光子励起を用いることにより、三次元分解能が得られ高い空間選択性を有す。

以上のように、近接場光学と非線形光学の融合により光を用いてナノスケールを観て、操って、創る、ナノフォトリソニック技術の新しいコンセプトを提案し、世界に先駆けて実現した。

3. 研究構想

本研究課題では、分子イメージング研究グループ、細胞刺激・加工研究グループ、機能性複合材料グループ、ナノマシン・ナノデバイス研究グループの4つの研究グループを組織し、各グループが

” “観る：分子イメージング研究グループ” ”

” “操る：細胞刺激・加工研究グループ” ”

” “創る：機能化複合材料/ナノマシン・ナノデバイス研究グループ” ”

のそれぞれの分野で” “非線形ナノフォトニクス” ”という言葉キーワードとして研究を展開し、お互い機能的に相補し合うかたちで研究を推進してきた。以下に各グループの研究項目とその概要を示す。

A. 分子イメージング研究グループ

大阪大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 (河田聡)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスによる分子イメージング

概要：近接場光学技術と非線形分光法を融合した非線形ナノフォトニクスを用いて1つ1つの分子をひとつひとつ観る方法を確立する。非線形光学現象を誘起するピコ秒レーザーを光源とし、局所電場増強効果を有する金属プローブ探針を用いた近接場光学顕微鏡により、非線形光学現象による空間分解能の向上や、ナノ領域での分子と光子との非線形な相互作用の解明により、非線形分光イメージングの物理的・化学的検討を行う。

研究計画：光子はその波動性によって回折するため、従来の光学原理では数百nmの波長の光子を数nmのスケールに閉じこめることはできなかった。この波長の壁を超えるブレークスルーとして、虚数の運動量成分を用いる光子のトンネリング現象（近接場光学）を利用し、これに複数の光子応答過程あるいは非線形な光に対する物質の応答過程（非線形分光技術）を融合させることで、カーボンナノチューブや生体タンパク分子などの非線形分子振動ナノ・スペクトロスコピーを実現する。プラズモン電場増強効果を有するナノプローブ探針の作製・制御技術と近赤外フェムト秒レーザー技術を駆使し、従来のプローブ顕微鏡では実現不可能なナノサイエンスならびにナノテクノロジーの開拓を目指す。

B. 機能化複合材料研究グループ

中国科学院 理化技術研究所 (段宣明)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスのための機能化複合材料

概要：多光子過程などの非線形光学現象を用いて、半導体粒子をポリマーに導入した機能性半導体ナノ粒子複合材料および金属イオンの錯体を含む光硬化性材料に対して、ナノスケールでの加工・形成を施す技術を確立する。半導体ナノ粒子の特異な電子・光物性を利用して、作製されるマイクロ・ナノマシンに新たな機能性を付加し、その光物性を評価する。

研究計画：構造自身の機能性に加え、材料の機能性も含む新しい物理現象や効果を発現させるために、光で重合可能な金属イオンの錯体を合成した上で、光硬化性樹脂中に導入し、2光子光重合による光造形の後、形成された3次元ポリマー構造中にナノ粒子を合成するというアプローチを提案する。さらに、機能性ナノ粒子複合材料を2光子光加工用材料として合成・加工する方法を開発し、それを用いた様々なナノマシン、ナノデバイスの形成法およびその特性を検討する。多光子過程等の非線形光学現象を用いて、機能性ナノ粒子複合材料に対してナノスケールでの加工・形成を施す技術確立し、半導体ナノ粒子の特異な電子・光物性を利用し、作製されるマイクロ・ナノマシンに新たな機能を付加する。

C. ナノマシン・ナノデバイス形成研究グループ

理化学研究所 ナノフォトニクス研究室 (河田聡)

研究実施項目：ナノマシンとナノデバイス形成

概要：多光子過程等の非線形光学現象と近接場光学を用いて、機能性有機材料に対してナノスケールでの加工・形成を施す技術確立する。ナノスケールの形状を自由に形成することで、材料自身を持つ機能性に加えて、ナノ構造が誘起する近接場効果をも機能として有するナノマシン、ナノデバイスを作製することを試みる。

研究計画：多光子過程等の非線形光学現象とプラズモニクスを含む近接場光学を用い、3次元かつナノスケールで材料を加工する技術確立と、ナノマシン・ナノデバイス形成への応用を目指す。我々が、これまでに提案・開発してきた、多光子光重合によるポリマーミクロ・ナノ構造造形技術を基盤技術とし、新たな造形技術の開発やデバイス形成への発展を図る。材料として金属イオン・半導体ナノ微粒子などをドーピングした光硬化性樹脂を用いることで、機能性を有するナノデバイス、例えば、周期的な微細金属ナノ構造によるプラズモニックデバイスを形成する。ナノスケールの形状を自由に形成することで、材料自身を持つ機能性に加えて、ナノ構造が誘起する近接場効果、さらには近接場効果が誘起する非線形光学効果をも機能として有するナノマシン、ナノデバイスを作製することを試みる。また、汎用の3次元モデリングデータ(CAD等)を立体構造作製に利用できるよう、3次元構造作製のためのソフトウェアの開発も新規に行い、多様な構造をもつナノデバイス形成のための技術確立する。

D. 細胞刺激・加工研究グループ

京都府立医科大学 医学部医学科 (高松哲郎)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスによる細胞刺激と加工

概要：光を用いて細胞を非接触で生化学的に刺激し、加工する技術確立する。細胞中の物理・化学・電気反応、例えば、イオン波の発生と伝搬、分子配向の変化、膜電位信号の伝達等を、フェムト秒レーザーと非線形光学を駆使した新しい手法により、ナノスケールでかつミリ秒の時間分解能で明らかにする。さらに、単細胞から組織、臓器スケールへと

機能の関連を明らかにする。

研究計画：構造自身の機能性に加え、材料の機能性も含む新しい物理現象や効果を発現させるために、光で重合可能な金属イオンの錯体を合成した上で、光硬化性樹脂中に導入し、2光子光重合による光造形の後、形成された3次元ポリマー構造中にナノ粒子を合成するというアプローチを提案する。さらに、機能性ナノ粒子複合材料を2光子光加工用材料として合成・加工する方法を開発し、それを用いた様々なナノマシン、ナノデバイスの形成法およびその特性を検討する。多光子過程等の非線形光学現象を用いて、機能性ナノ粒子複合材料に対してナノスケールでの加工・形成を施す技術を確立し、半導体ナノ粒子の特異な電子・光物性を利用し、作製されるマイクロ・ナノマシンに新たな機能を付加する。これまでの生細胞内機能分子の制御法は、主にDNAやRNAに作用するため空間分解能がなく、対象とした細胞の局所で目的分子の機能を選択的に活性化あるいは不活性化することは不可能であった。近年、光を使って細胞内分子の機能を不活性化する方法が報告されたが、手技の煩雑さ、非特異的不活性化などの問題により普及していない。そこで、われわれは、非線形光学を駆使した新しい手法により、生細胞内機能分子の機能制御方法の開発を目指す。さらに、開発した手法を用いて、標的分子の機能をナノスケールでかつミリ秒の時間分解能で明らかにする。その上で、ナノスケールでの機能制御が、細胞全体や、多細胞から構成される組織や臓器にどのような影響を与えるかを明らかにする機能化複合材料研究グループのところと同じです。

4. 研究成果

A. 分子イメージング研究グループ

大阪大学 大学院工学研究科 応用物理学専攻 (河田聡)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスによる分子イメージング

(1) 研究内容及び成果

研究計画：光子はその波動性によって回折するため、従来の光学原理では数百nmの波長の光子を数nmのスケールに閉じこめることはできなかった。このいわゆる波長の壁を超えるブレイクスルー概念として、虚数の運動量成分を持った光子の利用（近接場光学）と、複数の光子応答過程あるいは、すなわち、光に対する物質の非線形な応答過程の利用（非線形分光学）を提案し研究を進めてきた。本研究グループでは、これら近接場光学技術と非線形分光技術を融合させ、プラズモン電場増強効果を有するナノプローブ探針の作製・制御技術と近赤外フェムト秒レーザー技術を駆使することで、カーボンナノチューブや生体タンパク分子などの非線形分子振動ナノ・スペクトロスコピーを実現し、従来のプローブ顕微鏡では実現不可能なナノサイエンスならびにナノテクノロジーの開拓を目指した。以下、実施した研究課題について、内容および成果を述べる。

1. 近接場CARS顕微鏡による分子振動ナノイメージング

超解像性を有する近接場顕微鏡および非線形光学、およびさらに、分子を識別できるラマン散乱分光の3つを組み合わせ、ナノメートルスケールでの分子分光イメージング手法の確立を図った。ラマン散乱分光法は、蛍光分光法のように目的分子を蛍光標識することなく分子の識別を行ったり、や構造情報を得ることができる。しかしながらレーザー光をレンズ等で集光しても、そのスポットサイズは回折限界によってレーザー光の波長の半分程度に制限されるため、従来のラマン散乱顕微鏡ではその空間分解能がサブミクロン程度であった。この空間分解能の限界（回折限界）は、近接場顕微鏡を用いることによって超えることができる。我々は、先鋭化した金属プローブ探針に光を照射することにより、プローブ探針先端の近接領域に局在増強電場を誘起し、ナノ光源を形成する方法を世界に先駆けて提案した。この効果は局在プラズモン共鳴であり、この局所電場をラマン散

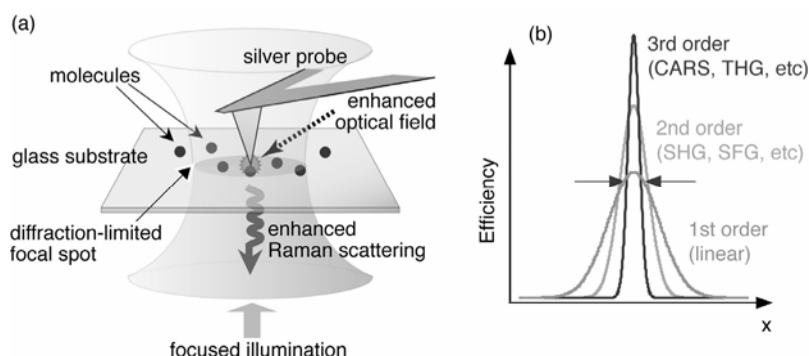


図1 (a) 近接場プローブによるラマン散乱の局所増強. (b) 非線形効果の励起効率の局在化.

乱の励起光源として用いることで、プローブ探針先端径程度の空間分解能を実現できる（図1 a）。一方、多光子過程を介して光と物質が相互作用（非線形光学効果）するとき、その相互作用領域は1光子過程による相互作用領域に比べて小さくすることができる（図1 b）。したがって、金属プローブ探針

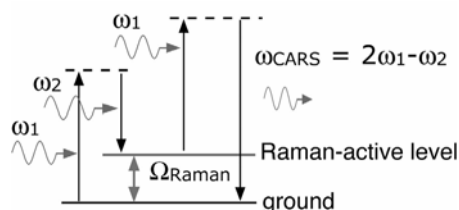


図2 CARS過程のエネルギー遷移図.

による局所電場増強と非線形光学効果を組み合わせたラマン散乱分光を達成できれば、従来にない高い空間分解能と高感度な分子分析能力を持った計測が実現できると考えた。

この考えに基づいて、三次の非線形ラマン散乱の1つであるCARS(coherent anti-Stokes Raman scattering)を金属プローブ探針で局所増強するナノイメージング技術、近接場CARS顕微鏡を提案した。CARSでは、通常の2つの異なる振動数(ω_1, ω_2 ; $\omega_1 > \omega_2$)を持った2つのレーザー光を試料に照射し、 $2\omega_1 - \omega_2$ の振動数を持った三次の非線形分極を誘起する。この振動数差($\omega_1 - \omega_2$)が分子振動数(ω_R)に一致するときに、この過程が共鳴過程となり強いCARS光が放出される。CARS分光法は、(1)試料を非染色で分析可能であり、(2)信号が試料からの蛍光に阻害されることがなく($\omega_{CARS} > \omega_1, \omega_2$)、(3)コヒーレント過程であるため強い信号が得られることが特徴である。通常のラマン散乱と同様に分子振動の情報が得られるうえ、高感度な分光を実現できる。

図3に、近接場CARS顕微鏡の装置図を示す。励起光源として、2台のモードロックTi:Sapphireレーザー(パルス幅 ~ 5 ps、スペクトル幅 ~ 4 cm $^{-1}$ 、繰り返し周波数 ~ 80 MHz)を用いた。2本のパルス列を時間的および空間的に重ね、原子間力顕微鏡(AFM)を搭載した倒立顕微鏡に導入し、対物レンズ($NA = 1.4$ 、油浸)により試料表面に集光した。プローブ探針として、AFM用のシリコンカンチレバーに銀を20 nm真空蒸着したものをを用いた。フォーカス内にプローブ探針先端を接触させ局所領域のCARS分極を誘起し、この散乱光を対物レンズで集め励起光除去フィルターとモノクロメーターを通して、シリコン(Si)アバランシェフォトダイオード(APD)により光子計数した。また、パルスピッカーを顕微鏡の手

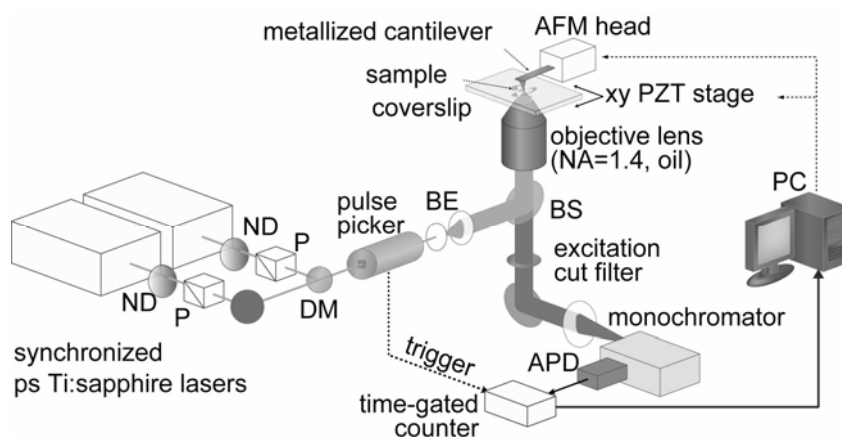


図3 近接場CARS顕微鏡の装置.

前に配置し、パルスの繰り返し周波数を800 kHzに下げた。これにより、非線形効果の効率を維持しながら試料やプローブ探針に対する熱ダメージを抑えた。また、フォトンカウンタにパルスピッカーのタイミングで時間ゲートをかけることにより、熱雑音の影響を大幅に軽減した。

試作した装置を用いてDNA分子、およびカーボンナノチューブを試料として、それぞれに特有の振動数での近接場CARSイメージングを行った。DNA試料では、アデニン(A)とチミン(T)のみを含むDNA分子(poly(dA-dT))をガラス基板上で数十ナノメートルの大きさに凝集させた。2色の励起光の振動数を、 $w_1 = 12710 \text{ cm}^{-1}$ (波長 = 786.77 nm)と $w_2 = 11373 \text{ cm}^{-1}$ (879.25 nm)に合わせ、その振動数差($w_1 - w_2$)を 1337 cm^{-1} に固定した。これは、アデニンに特徴的なラマン活性分子振動、五員環リングブリージングモードの固有振動数に一致する。この共鳴条件下でイメージングした後、 w_2 を変化させ、振動数差をどの分子振動にも共鳴しない 1278 cm^{-1} に合わせた。このDNA試料の自発ラマン散乱スペクトルを図4に示す。

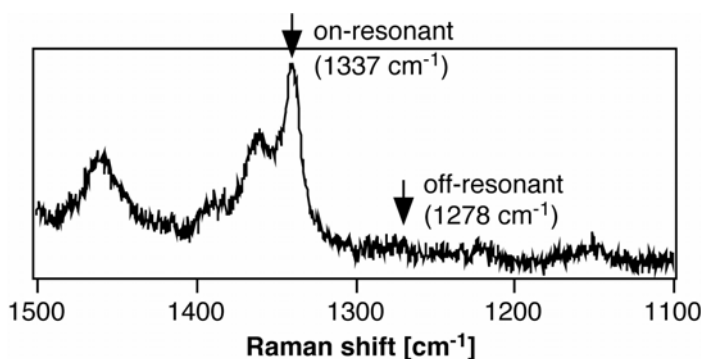


図4 DNAネットワークの近接場ラマンスペクトル。

この試料を近接場増強CARSイメージングした。共鳴条件下($w_1 - w_2 = 1337 \text{ cm}^{-1}$)で取得した近接場CARS像と、同時取得したAFM像をそれぞれ図5(a)、5(b)に示す。図5(a)では、100 nm程度の大きさのDNAクラスターが、CARS光で可視化できた。また、中央に160 nm程度離れて分布する二つのクラスターが、CARS像上で空間的に分離されている。これは、従来のCARS顕微鏡の回折限界で制限される二点分解能を超えており、銀チップを用いたことで超解像を実現できたことを示している。図5(c)-(d)は、非共鳴条件($w_1 - w_2 = 1278 \text{ cm}^{-1}$)において得られた光学像を異なるグレースケールで示したものである。図

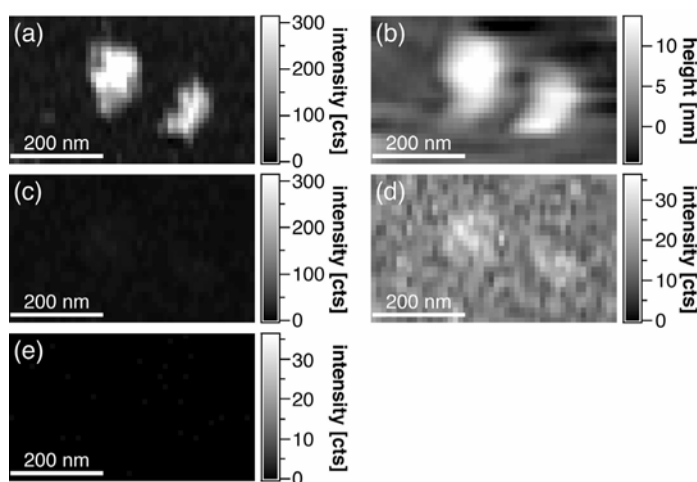


図5 (a) 共鳴条件下($w_1 - w_2 = 1337 \text{ cm}^{-1}$)で測定したDNAのクラスターの近接場CARS像. (b) (a)と同時取得したAFM像. (c) 同じ場所を非共鳴条件 ($w_1 - w_2 = 1278 \text{ cm}^{-1}$)で測定した近接場CARS像. (d) (c)をカレースケールを拡大して表示した. (e) プローブを引き離れた状態で測定したファーフールドCARS像 (共鳴条件下). 1点あたり100msの露光時間で500nm x 300nmの範囲を走査した. w_1 と w_2 の励起光強度は、それぞれ30 μW と15 μW とした.

5(a)と比較して、CARS光強度は劇的に弱くなった。このことから、図5(a)で得られた像が、励起光の振動数差に依存する像、すなわち分子振動に共鳴した像であることを確認した。銀チップによるCARSの増強度は、別の実験で見積もったDNAのCARS効率との比較から、単位体積あたりで106のオーダーと見積もられた。また、図5(d)では、構造に一致する信号が背景光に埋もれている。この背景光は、図5(a)でも同程度の強度で観察された。銀プローブ探針を基板から遠ざけ、同様のイメージングを行ったところ、信号強度はほぼゼロであった(図5(e))。これらのことから、この背景光はプローブ探針の銀または基板のガラスからの非線形発光によるものであると言える。

さらに、本システムの空間分解能と検出限界を評価するために、より微細な構造を観察した。試料としては、DNAのネットワーク構造を用いた。アデニンとチミンのみを含んだDNA二重螺旋構造が十数本程度の束になって、網目状に自己組織化したものである。試料のAFM像を図6(a)に示す。構造の高さは2.5 nm程度であり、これは一本のDNA二重螺旋構造と同程度である。この試料を、さきほどと同様に共鳴および非共鳴の振動数条件でイメージングした([図6(b)-(c)])。DNAネットワークの微細構造がCARS光でイメージングできた。これらの像の矢印で示した一行のラインプロファイルを、図6(d)に示す。チップを基板から遠ざけて取得したラインプロファイルも併せて示す。ここから明らかなように、非共鳴

の条件下では構造からの信号がほとんど得られず、チップを遠ざけると背景光ともども信号強度はゼロになる。また、このラインプロファイルの右のピークの半値幅は15 nm程度であった。これは、これまでに我々がチップ増強の自発ラマン散乱で達成した空間分解能(~ 30 nm)に比べて優れており、分子振動イメージングの空間分解能としては過去に例のないものである(近接場CARS観測と同時にAFM観測できるが、同時観測AFMでは観測にかからないほど厚さが低く、実際の試料の幅が分からないため、少なくとも15nmの分解能があるものと考えている。)。この実験結果は、非線形効果による空間分解能の向上(図1b)を裏付けるものであると言える。さらに、得られた空間分解能15 nmと、構造の高さ2.5 nmから、信号に寄与

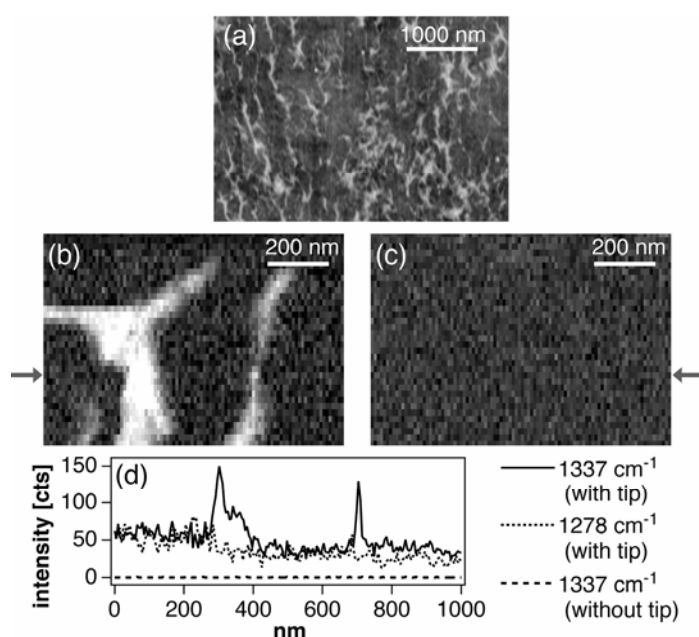


図6 (a) DNAネットワーク試料のAFM像. (b) 共鳴条件下($w_1 - w_2 = 1337 \text{ cm}^{-1}$)で測定したDNAネットワークの近接場CARS像. (c) 同じ場所を非共鳴条件 ($w_1 - w_2 = 1337 \text{ cm}^{-1}$)で測定した近接場CARS像. (d) 矢印で示したラインのCARS強度プロファイル. 1点あたり100msの露光時間で1000nm x 800nmの範囲を走査した. w_1 と w_2 の励起光強度は、それぞれ45 μW と23 μW とした.

するDNAの体積をzeptolitter(= 1000 nm³)のオーダーと見積もることができる。現在の測定条件下でサブzeptolitterの大きさのDNAを検出できると考えられる。

2. 金属ナノ微粒子による局所増強CARS分光

上記1の研究に先立って、その予備実験として金属ナノ微粒子による局所増強CARSを実験的に示した。

金属ナノ微粒子に光を照射すると粒子近傍に局在した増強場が形成され、この電場増強効果を利用することで微弱なラマン散乱光を増強することができる。これは表面増強ラマン散乱(SERS)として広く用いられており、近接場ラマン散乱顕微鏡の基礎となる現象である。この研究では、非線形効果であるCARSが金属ナノ微粒子によって増強されることを確認することを目的としている。さらに、高感度なナノ分光分析法としての応用を目指す。

実験では、直径約60nmの金微粒子をガラス基板上に孤立して分散させた上に、DNA塩基の1つであるアデニン分子の薄膜(~20nm)を形成したものを試料として用い、多焦点走査型のCARS顕微鏡で観察した。2本のモードロックTi:Sapphire レーザー(パルス幅:~5ps)の周波数差をアデニン分子の五員環のリングブリージングモード(~1330 cm⁻¹)に共鳴するように調整し([$\lambda_{11}(w_1)$: ~785nm, $\lambda_{12}(w_2)$: ~877nm])、パルスを同軸に重ねて、対物レンズ(NA: 0.65)で試料上に集光した。試料から散乱されたCARS光は、透過側に配置した対物レンズ(NA: 0.65)により集められ、マイクロレンズアレイと二次元検出器(ICCD)を用いた多焦点光学系によりCARS像を取得した。

図7に、得られた30 μ m x 30 μ mの領域の局所増強CARS像を示す。矢印で示した明るいスポット(A~C)はそれぞれ孤立した単一金微粒子によって局所増強されたCARS光である。金微粒子のない場合のアデニンのCARS光強度との比較から、単一金微粒子により最大で10³を超える増強効果が得られたことを確認した。さらに、一方のレーザーの周波数(w_2)を掃引することで、局所増強CARSスペクトルを取得した。図8に、図7のA~Cにおける局所増強CARSスペクトルを示す。これらのCARSスペクトルは自発ラマンスペクトルによく対応している(実線)。以上より、金属ナノ構造の局所増強効果により、ナノスケール領域の分

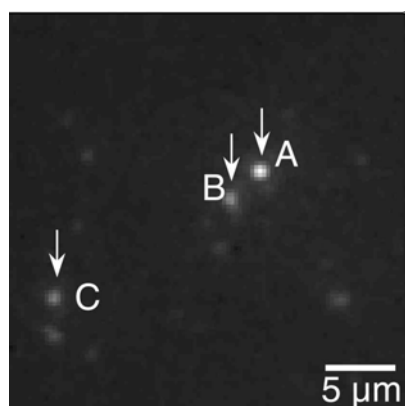


図7 アデニン(~1330cm⁻¹)の局所増強 CARS 像

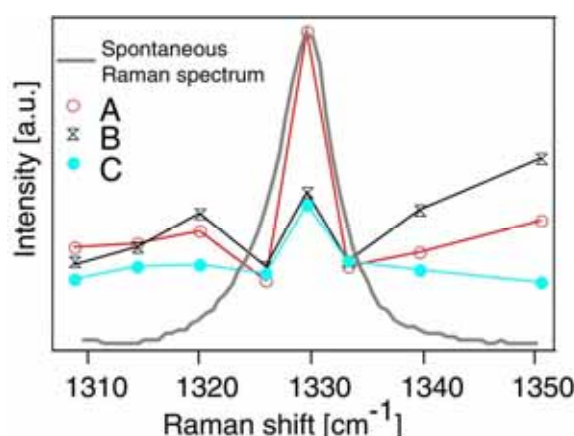


図8 図1のA~Cにおけるアデニンの局所増強 CARS スペクトル

子の高感度振動分光分析が実現できることを示した。

3. チップ-分子間の相互作用によるラマンスペクトル変化の観察とスペクトル解析

銀プローブ探針を用いた近接場ラマン分光測定において、アデニン分子のラマンピークの振動数がシフトすることを見いだした。図9(a)に、DNA塩基分子の1つひとつであるアデニンのナノ微結晶のTERSスペクトルを示す。試料は、アデニンのエタノール溶液(0.1 mM)をカバーガラス上に滴下し、空気大気中乾燥したものを用いた。また、励起レーザーとしては、波長532 nmのNd:YVO₄レーザーを用い、露光時間1分で測定した。図9(a)では、幾つかの強いラマンピークが観察される。とくに739 cm⁻¹と1328 cm⁻¹に観察される2つの強いバンドは、全分子のRing breathing mode (RBM)および五員環の伸縮モードに帰属される。これに対して、銀微粒子を用いて測定した表面増強ラマン散乱(SERS)スペクトルを図9(b)に、金属チップを用いずに測定したファーフィールドラマン散乱スペクトルを図9(c)に示す。図9(a)では、739 cm⁻¹に観測されたRBMは、図9(b)のSERSスペクトルでは733 cm⁻¹付近に、図9(c)のファーフィールドラマン散乱スペクトルでは723 cm⁻¹付近に観測された。

密度汎関数法に基づく分子軌道計算により、この振動数シフトは、プローブ探針先端の銀原子とアデニン分子の化学的な相互作用(化学効果)と、プローブ探針により分子に圧力が加えられて分子構造が歪む効果(力学効果)の両方に起因することが分かった。金属-分子間の化学的な相互作用と力学的な相互作用の両方によって引き起こされていると考えられる。化学的な相互作用では、チップ先端の金属が分子に近接することにより分子軌道に摂動をもたらし、その結果分子振動モードが変化する。さらに、金属-分子間で電荷移動が起こり、電荷移動を介して擬似的な共鳴ラマン散乱効果も起こる。これによりラマン散乱強度が増大する(化学的増強)。このような化学的效果は、SERSにおいてもまたTERSにおいても起こる。図9(b)のSERSスペクトルでの振動数シフトは、この化学的な相互作用によって生じたものと考えられる。さらにTERSにおいては、化学的相互作用に加えて力学的な相互作用が起こる。チップ先端から分子に対して応力が印加され、金属と分子間の距離が平衡位置からさらに押し縮められ、これにより分子構造が変化し、これに伴いスペクトルも変化する。図9(a)のTERSスペクトルでの振動数シフトは、化学的な相互作用お

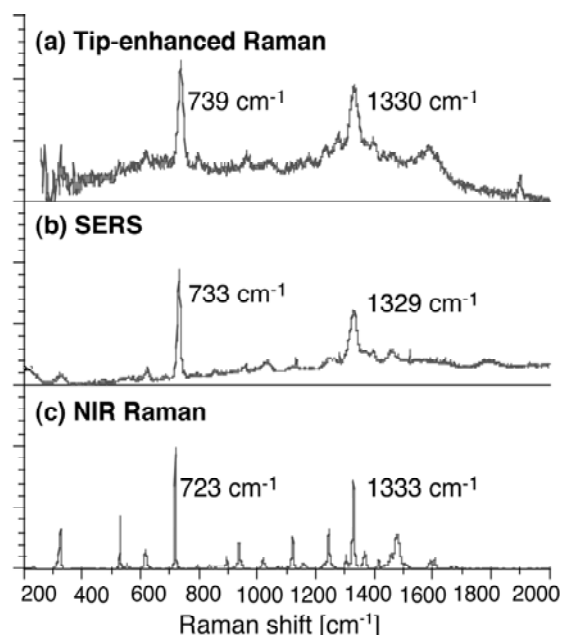


図9 アデニン微結晶の (a) TERSスペクトル, (b) SERSスペクトル, および (c) ファーフィールドラマン散乱スペクトル。

よび力学的な相互作用により引き起こされたものと推測される。

化学的および力学的な相互作用によるスペクトルシフトを、アデニンと銀原子(四量体)で構成される錯体をモデルとして、量子化学計算により解析した。銀原子がアデニン分子内の3番目の窒素原子(N_3)に配位結合しているモデルを用いた([図10(a)-(b)])。このような錯体構造の分子軌道を密度汎関数を用いて計算し、得られた最適構造の分子振動モードを調べた。これにより化学的な相互作用によるスペクトルシフトを解析した。さらに、力学的な相互作用を解析するために、銀原子と窒素原子間の結合長を変化させて、それぞれの構造について振動計算を行った([図10(c)])。計算により、RBMの振動数(ν_{RBM})は、結合長を縮めると高波数シフトすることがわかった。このことは、TERSスペクトル測定において高波数に観測された実験結果と一致するした。とくに、結合長を5%収縮したときの値とよく一致するした。

我々の実験では、アデニン微結晶はチップから1分子あたり1~5 pN程度の力を受けていると見積もられる。一方、結合長が5%収縮するときの1分子あたりの斥力は、結合による振動を調和振動と仮定した場合、6 pN程度と見積もられる。つまりこの場合、この時、チップから印加される外力と結合の斥力がほぼ同程度になる。この結果は、振動数シフトが力学的な相互作用により生じているという我々の主張を支持するものである。

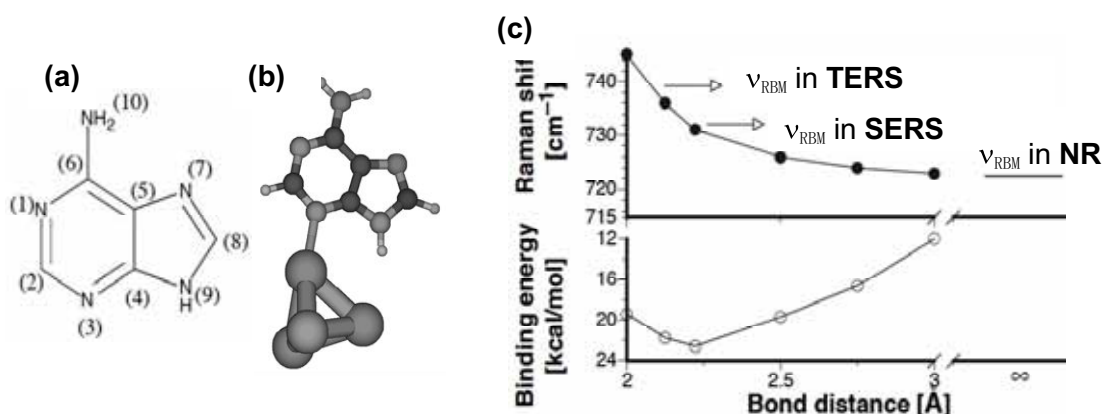


図10 (a) アデニン分子の構造と各原子の番号. (b) 計算に用いたアデニン-銀四量体の錯体構造モデル (Ad-N3構造). (c) 計算により得られたRBMの振動数(ν_{RBM})と銀-窒素原子間の結合エネルギー.

これらのチップ-分子間の近接効果は、チップ先端近傍に存在する数分子、数原子オーダーの極めて局所的な領域で発現する。チップ先端の局在電場の空間的な広がりと比較すると、さらに小さい領域に閉じ込められた効果である。すなわち、このような近接効果を制御して利用できれば、空間分解能を向上できると考えられている。また、空間分解能の向上に加えて、近接分子の配向を可視化したり、化学結合状態を分析したりすることが可能となる。以上のように、チップ-分子間の近接効果は、金属チップを用いたナノラマン顕微鏡の性能の向上を図る上で、重要な要素と見なされていると考えている。

4. 単層カーボンナノチューブのナノラマンイメージングと力学的効果によるスペクトル

変化

近接場ラマン分光法を単層カーボンナノチューブのナノイメージングに応用した。さらに、チップから印加される応力により、スペクトルが劇的に変化する現象をはじめて見出した。

図11aに、単層カーボンナノチューブ(SWCNT)バンドルのAFM像を示す。このSWCNTバンドルを金属チップを用いてナノラマンイメージングした。プローブ探針には銀を蒸着コートしたAFM用のカンチレバープローブ探針を用い、励起レーザーは波長532 nmのNd:YVO₄レーザーを用いた。図11b-dに3つの異なるラマン振動数でイメージングして得られたラマン像を示す。この振動モードはRadial breathing modeで、チューブ径を反映するモードである。ここでは、195 cm⁻¹、244 cm⁻¹、278 cm⁻¹の3つの振動数でイメージングした。これらの振動数は、直径と振動数の関係式、 $d = 232/(\omega - 6.5)$ を用いて、それぞれ直径1.23 nm、0.97 nmおよび0.85 nmに換算される。すなわち、図11b-dは、それぞれ各直径を有するSWCNTの、バンドル構造内での空間分布を表している。このようなバンドル構造内での直径分布イメージングは、AFMやSTMといった他のナノ観察ツール、たとえばAFMやSTMではなし得ないものであり、金属チップを用いたナノラマン計測法により初めて実現できた。

図11の測定では、チップから試料に与えられる応力はコンタクトモードAFMにより一定に保たれていた。これに対し、印加応力を最大2.4 nNまで変化させたとき、ラマンスペクトルの強度および振動数が変化する現象を観察できた。この結果を図12a-cに示す。

1500~1600 cm⁻¹領域の一連のバンドはG-bandと呼ばれるが、G-bandを構成する低波数側のピーク(円周に沿った振動モード)が、最大で18 cm⁻¹もシフトし、さらにピーク強度が強くと増強される様子が観察された。これに対し、高波数側のピーク(動径方向の振動モード)にはほとんど変化が見られなかった。ピークシフトは、チップ応力による動径方向の歪みによって、振動モードが変化した事によると考えられる。また、ピーク強度の増強の現象は、

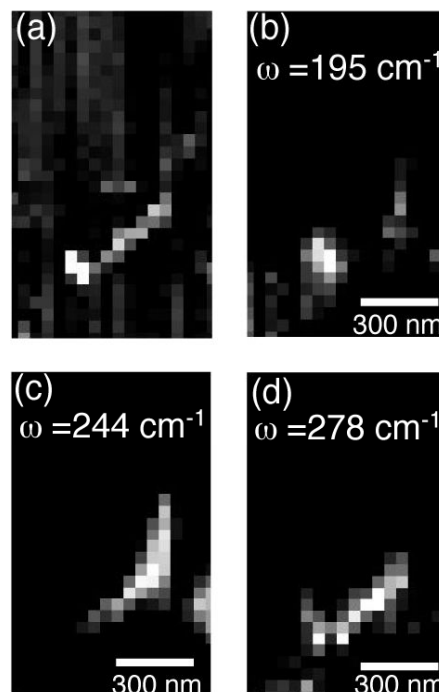


図11 (a) SWCNTバンドルのAFM像。(b) 195 cm⁻¹、(c) 244 cm⁻¹、および(d) 278 cm⁻¹で得られたTERS像。

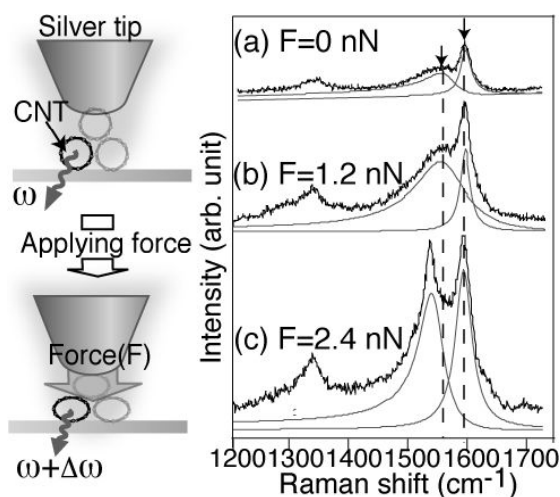


図12 印加応力を変化させながら測定したSWCNTバンドルのTERSスペクトル。

やはり動径方向の歪みのより、電子構造が変化し、その結果エネルギーバンドギャップが励起レーザーのエネルギーに近づく方向にシフトしたことが要因として考えられる。

5. ローダミン6Gの近接場ラマンスペクトルの特異な形状

ローダミン6Gの近接場ラマン散乱測定において、チップの金属とローダミン6G分子の化学的な相互作用により、特異なスペクトル形状が観察されることを見出した。試料には、銀を蒸着コート（膜厚：約8nm）したカバーガラスに、ローダミン6G分子（図13）のエタノール溶液（2 mM）を滴下・乾燥したものを用いた。これを、近接場分光システムにより観察した。励起光として、発振波長488 nmのアルゴンレーザー（92 μ W）を用いた。本実験では銀薄膜を蒸着したガラス基板を用いることで、ローダミン6Gの蛍光をクエンチさせ、その蛍光のラマン測定への影響を軽減した。また、この銀薄膜は電場増強効果も有することから、基板側においてもSERS効果を誘起する。したがって本実験では、銀ナノ探針と銀薄膜の両方による電場増強効果（すなわち、TERSとSERS）が生じている。もちろん、ナノスケールの空間分解能を実現するのは、ナノ探針での局所増強効果による。

銀ナノ探針を接触させて増強したラマンスペクトルを図14aに示す。試料表面から離れたときのラマンスペクトル、すなわち通常のSERSスペクトルを、図14bに併せて示す。図14aとbを比較すると、銀ナノ探針がある場合には、探針先端での電場増強効果によりラマンスペクトル強度が増大していることがわかる。この増大分こそが、探針先端直下の約40nm程度の領域内で誘起されたラマン散乱スペクトルであり、TERSスペクトルと呼べるものである。図14aとbの差をとったTERSスペクトルを図14cに示す。TERSスペクトルを一次元的にマッピングした結果を図17に示す。試料ステージを30nm間隔で走査し、aからj点までの各点においてラマンスペクトルを取得した。図15中で細線で示されるスペクトル-a, -b, -c, -d, -h, -i

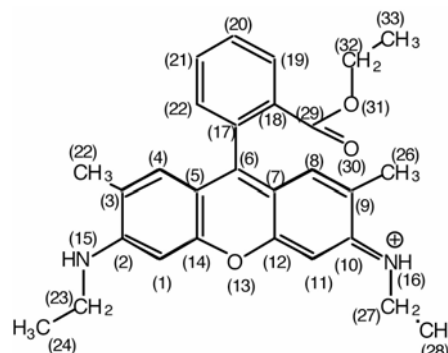


図 13 ローダミン 6G の分子構造

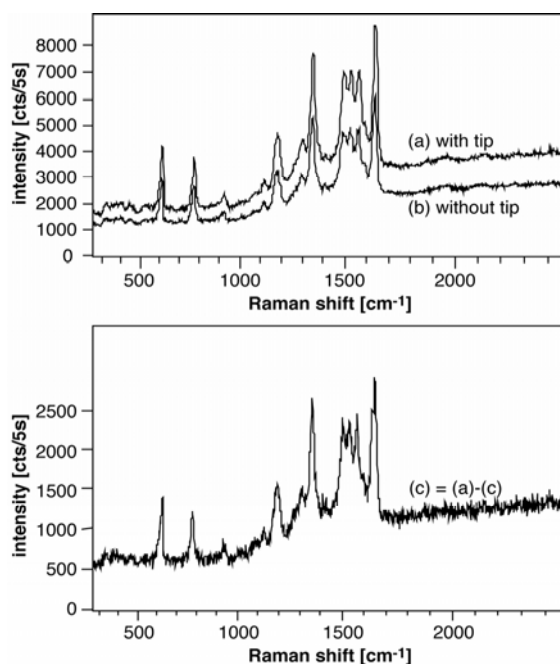


図14 (a) 銀プローブを近接させて測定したローダミン6Gのラマンスペクトル. (b) プローブを引き離して測定したスペクトル. (c) (a)から(b)を差し引いて得られた“近接場ラマンスペクトル”.

および-jは、いずれも同一のスペクトル形状を与え、探針を試料に近づけない状態で測定されるSERSスペクトルとよく一致した。一方、図中で太線で示されるスペクトル-e、-fおよび-gは、スペクトル-aなどで見られたバンドに加え、付加的に幾つかのラマンバンドが増強されている。

図15で示したローダミン6GのTERSスペクトル形状変化の原因を明らかにするために、ローダミン6Gのラマンバンドについて、密度汎関数法による基準振動計算を行い、振動モードを帰属した。特定のラマンバンドの強度変化を解析することによって、銀薄膜表面における吸着構造ならびにナノ探針先端との相互作用について考察した。

一連のローダミン6GのTERSスペクトルのうちで、SERSスペクトルと類似の形状を与えたスペクトルの1つひとつ(図15-a)を図16aに、特異な形状を示したスペクトルの1つひとつ(図15-e)を図16bに示す。図16aのスペクトルに対して強い増強が見られた6本のバンドについて、その振動数を図中に示す。また、非共鳴条件(励起波長：1064 nm)で得られた通常のラマン(NRS: normal Raman scattering) スペクトル(図18c) および、基準振動計算より得られた計算ラマンスペクトル(図16d)を示す。計算ラマンスペクトルの各モードの振動数は、実測のNRSスペクトルのそれと誤差15 cm^{-1} 以内でよく一致し、すべてのバンドの振動モードを帰属することができた。図17に、強度の増強がみられる86本のラマンバンドについて、帰属された振動モードを示す。

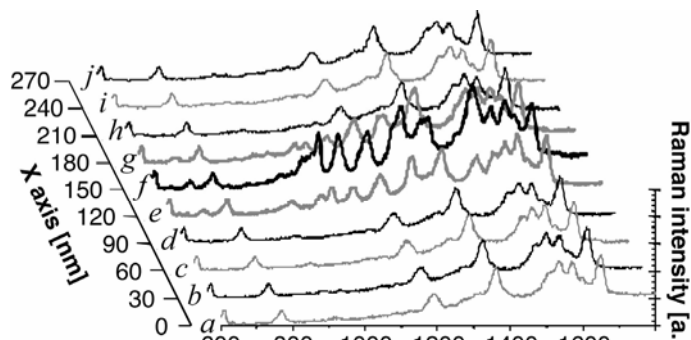


図15 近接場
テップで走査

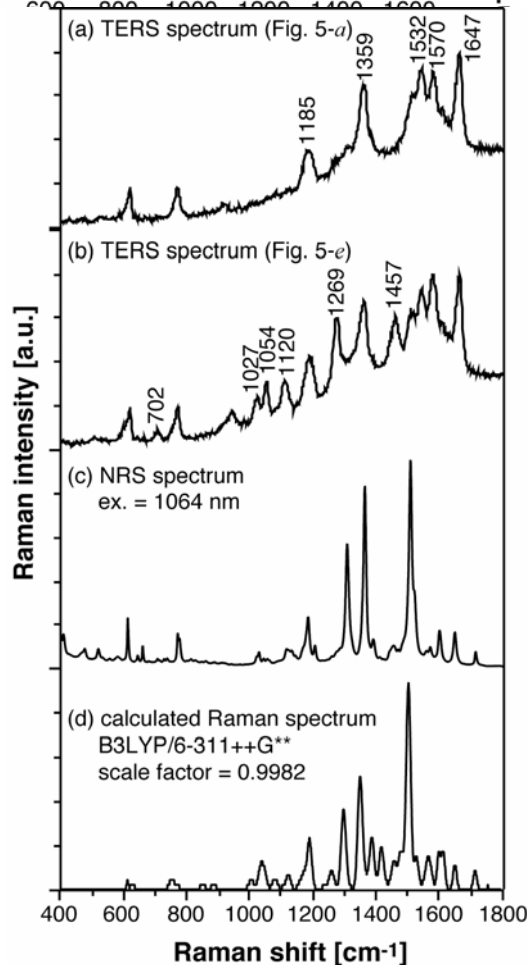


図16 (a) SERSスペクトルと類似の形状を与えた近接場ラマンスペクトル. (b) 特異なスペクトル形状を示した近接場ラマンスペクトル. (c) 通常のラマンスペクトル. (d) 量子化学計算により得られたラマンスペクトル.

格子振動領域の低振動数側のSERSスペクトル測定においてAg-N結合の伸縮振動と帰属される235 cm⁻¹の振動線)が得られたことから、ローダミン6Gはアミノ基部位で銀表面に吸着していることが示唆された。加えて、同じラマンバンドのNRSスペクトルでの振動数と比較してほとんど振動数変化が見られないことから、その吸着構造は、たとえばピリジンなどで見られる吸着角度までも規定されるような強い結合様式)ではないと考えられる。

一方、図16bのTERSスペクトルにおいて強い増強の見られた6本のバンドのうち702 cm⁻¹、1054 cm⁻¹、および1269 cm⁻¹の振動線はキサンテン環とは直交するベンゼン環の振動モードに、1027 cm⁻¹、1457 cm⁻¹の振動線はキサンテン環のメチル基の振動モードに、1120 cm⁻¹の振動線はアミノ基のNH変角振動とキサンテン環の骨格振動の結合振動モードにそれぞれ帰属された。6本のいずれの振動線も、銀表面に吸着していると思われるアミノ基とは反対側にある部分構造の寄与の大きい振動モードであることがわかった。

SERSスペクトルに対するTERSスペクトルの平均的な増強効果の程度としては、銀ナノ探針の接触、非接触時でのラマン強度比と、探針先端径(40 nm)、照射光のスポット径(400 nm)を考慮して約1 × 10²倍と見積もられた。一方、TERSスペクトル中で特異的なラマン強度の増強を示す振動線([たとえば、ν₃(1054 cm⁻¹)]では、増強度は約2 × 10⁴倍となることがわかった。TERS分光におけるラマン散乱強度の増強効果のメカニズムは、2章で述べた、金属ナノ探針先端での局在プラズモンポラリトンによる電磁気学的(EM)機構)に加えて、SERSと同様金属ナノ探針先端部との化学的相互作用(吸着)による電荷移動(CT)機構)も存在する。先に見積もった平均的なラマン散乱強度の増強度は、EM機構に基づく実質的な励起光量の増大によってもたらされ、特定のラマン振動線における特異的な散乱強度の増大は、探針先端部の銀原子とローダミン6G分子間のCT機構によるものと考えられる。したがって、ローダミン6GのTERS測定におけるCT機構による寄与分は2 × 10²と見積もられる。この値はSERSでいわれているCT機構による増強効果の程度)とよく一致している。

CT機構によるラマン強度の増強がみられるローダミン6Gの6本の振動線は、先に述べたように、分子構造的にアミノ基(=吸着サイト)の反対側に位置する領域に局在化した振動モードである。CT機構によるラマン強度の増大とは、入射光で生じる金属表面のフェルミレベルから吸着分子種の空軌道への(あるいは逆向きの)CT遷移によってもたらされる、一種の共鳴ラマン効果と解釈されている。TERS分光においては、銀ナノ探針先端の銀原子と吸着分子種の間の分子軌道の重なりによる近距離の相互作用によるものと考えられる。

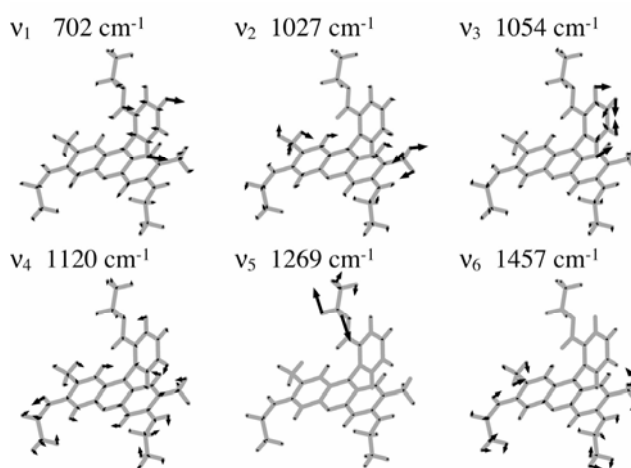


図17 近接場ラマン測定で強い増強を示したローダミン6Gの分子振動モード

ができる。今回の測定システムの構成では、銀ナノ探針は、試料基板側の銀薄膜表面に吸着したローダミン6G分子にむかって基板とは反対側から接近、接触する配置をとっている(22, 23)。したがって、ナノ探針先端の銀原子は、ローダミン6G分子の銀薄膜表面への吸着位置であるアミノ基とは反対側の部位と相互作用すると考えられる。先述したように、SERSスペクトルより得られるローダミン6Gの銀薄膜表面への結合様式としては、吸着角度が規定できる強い結合様式ではない(ローダミン6G分子は銀表面ではアミノ基を吸着部位としてランダムな配向構造をとる)ことから、アミノ基の反対側の部位は平均的な描像となり、探針先端の銀原子との特定の部位の相互作用は見られないはずである。一方、特異的なTERSスペクトルを示す領域におけるローダミン6G分子は、探針先端の方向に強く並び、探針先端の銀原子とベンゼン環の分子軌道およびメチル基と強く相互作用していると推定される。つまり、特異的なTERSスペクトルを示す領域では、ローダミン6G分子が、たとえば会合や凝集によって、高次の配向性を有していると考えられる。

これらの議論よりローダミン6Gの銀薄膜表面への吸着構造および銀ナノ探針との関係は以下のように推定される。ガラス基板上に蒸着した銀は、海島構造をとり薄膜を形成していることがAFM観察より確認されている。銀薄膜表面へ吸着したローダミン6G分子は、その分子構造をアミノ基(N)、キサンテン環(直線)およびベンゼン環(六角形)で表した場合、アミノ基部位で吸着している。本測定においては、銀ナノ探針を図上方から試料基板に接触した状態で横方向にスキャンして近接場ラマンスペクトル(図15)を取得した。測定されたTERSスペクトルにおいて、SERS類似のスペクトル(図15-a, b, c, d, h, i, j)を与えた領域では、ローダミン6G分子は特定の配向構造をとらない(ランダムな)状態である一方で、一部の特異なラマン強度の増強を示すスペクトル(図15-e, f, g)を与えた領域では、たとえば図中央に示すような分子会合あるいは凝集状態を示していると推察した。以上のように、近接場ラマン分光では、ナノメートル領域での分子イメージが得られるだけでなく、ナノメートル領域での表面における配向や凝集のような高次構造情報をも明らかにできることを見出した。

6. CARS顕微鏡の安定化を目的としたパルス同期法の開発

我々の近接場CARS顕微鏡システムでは、ピコ秒モードロックTi: Sapphireレーザー2台を光源として用いている。これらのレーザーは、可動なキャピティエンドミラーとPLLループ回路により繰り返し周波数を一致させ、光学遅延によりタイミングを同期している。しかしながら、市販されているレーザー同期システムでは2ふたつのレーザーからのパルス光間に約1 psの時間的な揺らぎ(タイミングジッター)が生じてしまう。CARSは多光子過程であり、その信号強度は入射パルスの強度に依存するため2つのパルス光のタイミング

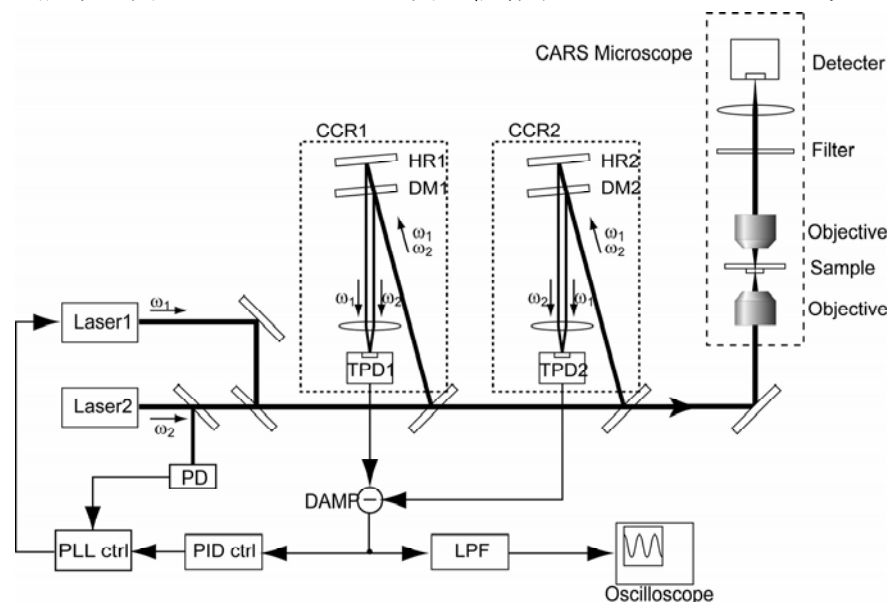


図 18 バランス相互相関器を用いたパルス制御システムを搭載した CARS 顕微鏡。

ジッターは信号の揺らぎ、つまりイメージの劣化を引き起こす。従ってタイミングジッターをfsオーダーにまで抑えると共に、熟練した操作を要するCARSイメージングのための安定な高精度同期レーザーシステムの開発が必要となる。本研究では、2光子検出器とダブルミラーペアを用いたバランス相互相関器を用いたレーザーパルス同期システムを開発した。また実際にCARS測定へ適用し、イメージング結果の比較検討を行った。さらに、CARS顕微鏡におけるタイミングジッターの影響を理論的に考察した。

図18にレーザーパルス同期システムを用いたCARS顕微鏡を示す。このシステムでは、2つのピコ秒モードロックレーザー、バランス相互相関器、デジタルPIDコントローラ、CARS顕微鏡で構成されている。バランス相互相関器とは、2つの相互相関器 (CCR1, CCR2) と差動増幅器 (DAMP) で構成されている。相互相関器はダイクロイックミラー (DM1/DM2)、高反射率ミラー (HR1/HR2)、レンズ、2光子検出器 (TPD1/TPD2) (GaAsPフォトディテクタを用いており、Ti:Sapphireレーザーの2光子吸収のみを検出できる。) で構成されている。空間的に重ね合わせた2つのレーザー光 (ω_1 光, ω_2 光) の一部をレーザー制御用バランス相互相関検出器へ入射し、ダイクロイック・全反射ミラーペア (TMP1:DM1-HR1 / TMP2:DM2-HR2) によって一方のパルスに時間遅れを与え、2光子検出器で検出する。2つのパルス光のうち、一方のレーザーパルスはダイクロイックミラーにより反射し、他方は高反射率ミラーで反射する。即ち、ミラーペアによって2つのレーザーパルス光に時間差が生じ、

ミラーペアの間隙を変えることでその時間差を調整することができる。CCR1では ω_1 光は ω_2 光より遅れ、CCR2では ω_2 光は ω_1 光より遅れる。そして、2光子検出器によりそれぞれの相互相関信号を得る。 ω_1 光は ω_2 光が時間的に完全に一致しているときには、これら相互相関信号の差動信号はゼロになる。このことを利用して、デジタルPIDコントローラにより差動信号がゼロになるようにパルスの時間遅れをフィードバック制御し、タイミングジッターを抑制する。2つのピコ秒レーザーパルスは、ダイクロイックミラーで空間的に重ねあわせられ一部をタイミングジッターのフィードバック制御に用い、残りをCARS顕微鏡へ入射しイメージングに用いる。

この装置を用いて、PET (poly(ethylene terephthalate)) フィルムのCARS顕微画像計測を行った。図19に、制御前後のイメージング結果を示す。観測ラマンシフトは 1292 cm^{-1} であり、PETのベンゼン環とC=O伸縮が複合した振動に帰属される。画像は、レーザー光をガルバノミラーによりラスタ走査して得ている。このため、制御前のCARSイメージング図19aでは、タイミングジッターによってCARS信号が揺らぎ、横縞状の雑音が見られることがわかる。一方、制御後のCARSイメージング図19bでは、横縞の雑音が消え、非常に良質なイメージが観測されていることが分かる。また、図19cは、レーザー光の走査を止め試料上の1点でのCARS光信号の変化を、パルス同期制御の前後に渡って観測した結果を示している。制御前はSN比が5であったCARS信号が、制御後(at 10s)では43に改善されていることがわかる。この結果より、開発したシステムにより、タイミングジッターを飛躍的に向上することができたと言える。

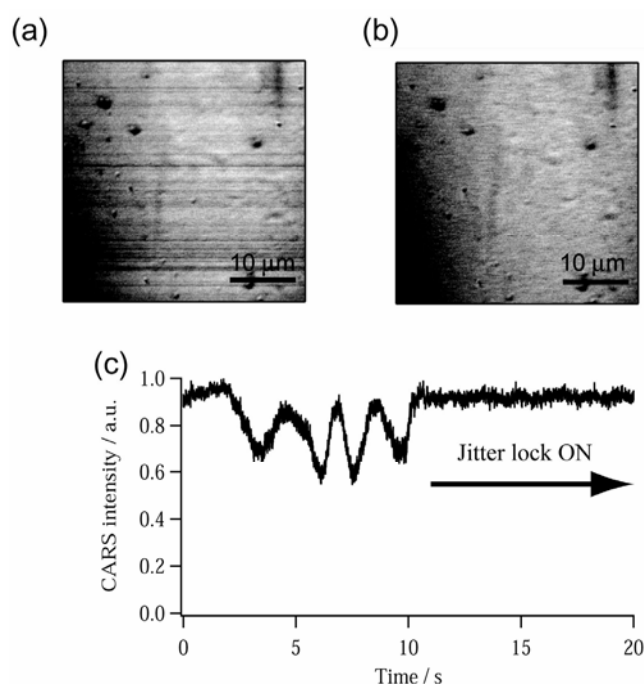


図19 パルス同期システムによるPETのCARSイメージングの安定化．(a)パルス同期制御システム動作開始前。(b) パルス同期制御システム動作開始後。(c) パルス同期システム動作開始によるタイミングジッターの安定化。

7. オプティカルパラメトリック増幅器を用いた近接場赤外吸収分光装置の開発

赤外吸収分光法は、分子によって赤外光の吸収スペクトルが異なることを利用して分子種を同定する手法であり、ラマン散乱分光と同様に、不純物検査や生体・有機材料の定性分析法として広く用いられている。特に近年の半導体集積化技術の急速な微細化や、ナノマテリアル開発競争の激化に伴い、今後の材料評価に分子種の空間分布を高い空間分解能で得ることのできる赤外分光評価技術が求められている。

そこで、波長が数マイクロメートルから数10マイクロメートルの赤外光を光源に用い、サブマイクロメートルの空間分解能で赤外吸収分光を行うことを目指した近接場赤外吸収分光装置の開発を行った。近接場赤外吸収分光では、先端に微小開口を備えた開口プローブを用いる。プローブ開口に赤外光を集光し、開口を抜けてプローブ先端に局在する微小な赤外光源を試料に近接させて分光分析を行うことで、1 μm以下の空間分解能を実現する。

開口型プローブを用いた近接場赤外吸収分光装置の分光領域は、光源の波長範囲やプローブの透過分光特性によって決まる。そのため、従来の赤外透過ファイバーを用いた近接場赤外吸収分光装置の分光領域は、波長 $3\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内に制限されていた。この領域に吸収をもつ分子種はC-H結合やO-H結合等であり、これらの分子種はポリマーやレジストに多く含まれる。そのため、近接場赤外吸収分光の観察対象はこれらの有機材料に限定されていた。一方、

生体分子のアミド結合(C=O結合、N-H結合)等の吸収は指紋領域にあるので、これらの分子種の分布及び構造変化を高分解能で評価するためには、光源、プローブの改善が必要となる。そこで、光パラメトリック増幅及び差周波発生を用いて波長 $3\text{--}9\text{ }\mu\text{m}$ の範囲で掃引可能な高輝度赤外パルス光を生成し、これを赤外光源に用いた。また、中赤外領域で高い光学的スループットを有する微小開口型カンチレバーを設計し作製した。これらの光源、プローブを用いて試作した近接場赤外吸収分光装置の構成を図20に示す。

赤外光源からの赤外パルス光（ビーム径は3mm程度）は、CaF₂レンズを用いてビームを5倍に拡大した後、赤外顕微鏡に入射する。赤外顕微鏡内のカセグレン対物鏡(NA=0.58, 15倍)を用いて微小開口型カンチレバーの開口部に集光することで、プローブ先端に開口径程度の近接場赤外光を形成する。

微小開口型カンチレバーと試料とを近接させる際は、赤外光と開口とのカップリング効率が最大となるよう、カンチレバー開口部と赤外光の集光位置を高精度に位置決めしながら、PZTを用いて試料を上下に微小変位させることで距離制御を行う。またカンチレバーと試料との間の距離の変化によって近接場強度が変化することを防ぐため、コンタクトモードで距離制御を行いながら試料を走査する。

カンチレバーと試料が近接するとチップ先端に局在した近接場赤外光は試料と相互作用して伝搬光に変換される。この伝搬光は試料を透過する際、特定の分子による赤外吸収を受ける。試料を透過する伝搬光をカセグレン対物鏡で集光し、MCT検出器に集光して吸収の量を測定する。カンチレバー開口部と共役となるように共焦点系を構築し、不要な迷

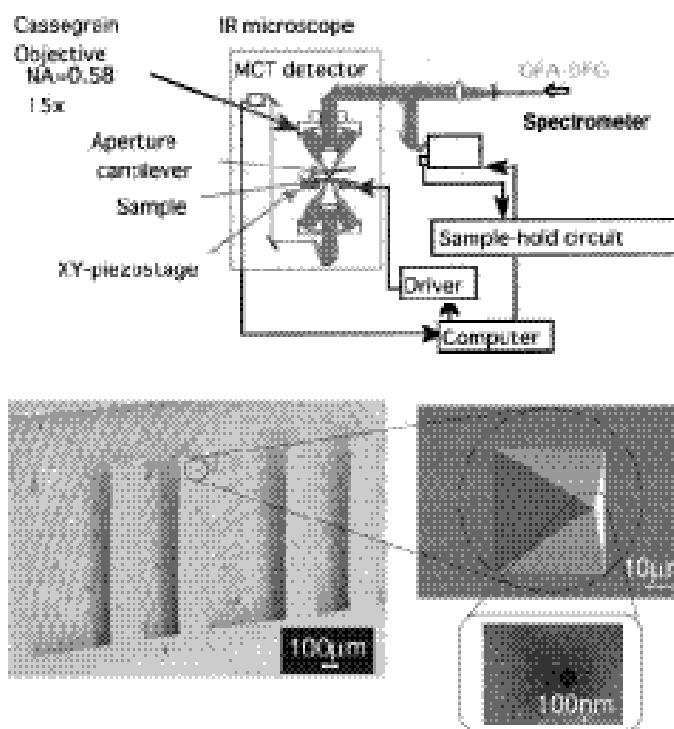


図20 近接場赤外吸収分光装置（上）装置構成図
（下）作製した高スループット微小開口カンチレバーのSEM画像

光成分を除去した。なお、イメージングを行う際はPZTステージを用いて試料を2次元走査しながら試料透過光を検出する。他方、スペクトルを測定する際は光源の波長を掃引しながら各波長での近接場強度を測定する。

差周波発生によって得られる赤外パルス光は、パルス毎に強度が変動している。近接場光で吸収測定を行う際は、光源から射出された赤外パルス光の一部を、ビームスプリッターを用いて取り出して参照信号とし、試料を透過した近接場信号と参照信号の比を取ることでパルス毎の強度揺らぎを補正した。

試作した装置を用いて、PMMAフィルムグレーティングの近接場赤外吸収画像を測定した。スピコート法によりBaF₂基板上に厚さ800nmのPMMAフィルムをコートし、電子線露光装置(エリオニクス社, E1S-3700)を用いてフィルム上に2 μ mライン/スペースのグレーティングを形成した。赤外光の波長をC=O伸縮振動に起因する赤外吸収バンドである波長5.78 μ mにチューニングし、得られたPMMAグレーティングの近接場赤外吸収画像を図21(a)に示す。測定に用いた開口プローブの直径は800nm、走査範囲は8 μ m \times 8 μ mで、データ点数は32 \times 32、各点において5000パルスを積算した。図21(a)において透過光強度の高いスペース部と透過光強度の低いライン部が明瞭に識別されており、分子による赤外吸収によりコントラストが得られている。また、グレーティングのピッチは用いた赤外光の波長よりも短いことから、微小開口プローブを用いて得られた赤外吸収画像は、回折限界を超える超解像が実現できた。一方、PMMAに吸収のない波長5.55 μ mで同様に測定した近接場赤外吸収画像を図21(b)に示す。この場合は赤外吸収によるコントラストが消失している。

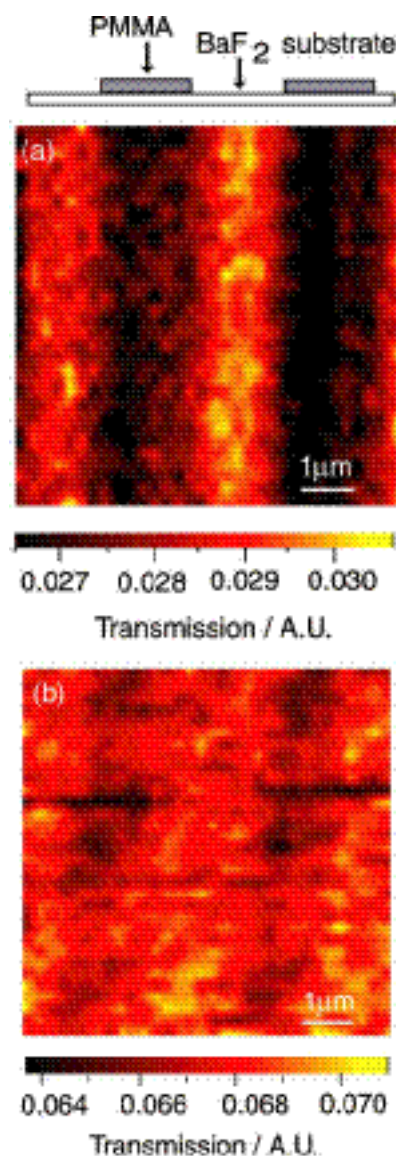


図21 PMMAフィルムグレーティングの近接場赤外吸収画像 (a)波長5.78 μ m (b)波長5.55 μ m

8. 多光子解離した分子の近接場赤外分光イメージング

動脈硬化症の原因物質であるオレイン酸コレステリルに対して、赤外多光子解離による分子選択的除去を試みた。特定の分子結合に共鳴する赤外多光子解離を引き起こすため、

広い波長範囲で波長のチューニングが可能な高輝度中赤外光源である赤外自由電子レーザー(FEL)を用いた。

オレイン酸コレステリル[図22(a)]を四塩化炭素に溶かした溶液をBaF₂基板に塗布し、膜厚2 μ mのオレイン酸コレステリル薄膜を作製した。得られた薄膜のFT-IRスペクトルを測定した結果、オレイン酸コレステリルのエステル結合に相当する吸収ピークが波長5.75 μ mに存在し、赤外光を約20%吸収することを確認した[図22(b)]。

次に、波長5.75 μ mにチューニングしたFEL光をカセグレン対物鏡(NA-0.58, 15倍)により集光し、ステージを走査させながらオレイン酸コレステリルに照射した。FEL光のパワー密度は7W/cm²、繰り返し周波数3Hz、パルス幅1 μ s、バンド幅20nであり、集光したスポットサイズは直径12.1 μ mであった。

FEL照射後の薄膜表面のAFM像を図23(a)に示す。図の両側がFEL光照射領域であり、図の中央部がFEL光を照射していない領域である。オレイン酸コレステリル薄膜自体の持つ

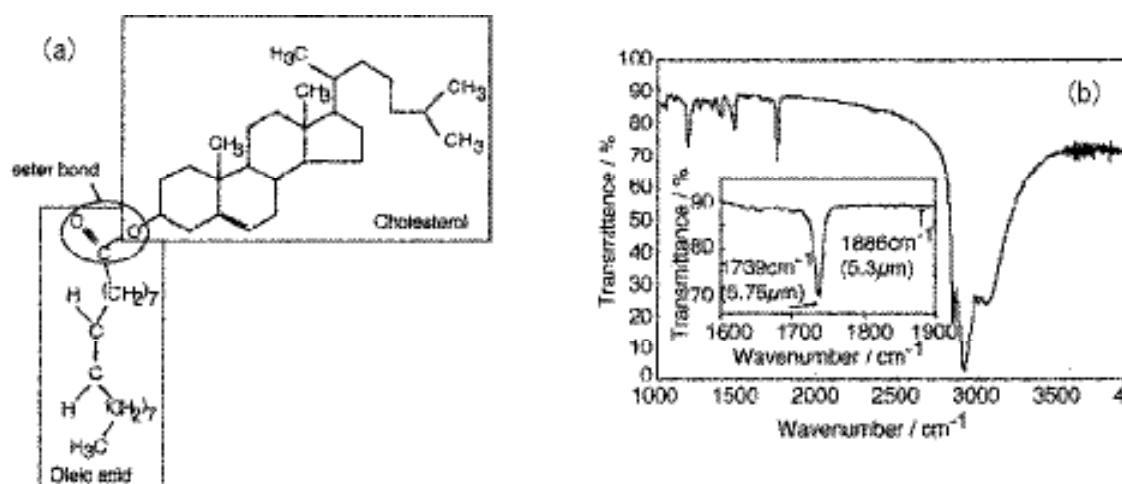


図 22 (a) オレイン酸コレステリルの分子構造 (b) オレイン酸コレステリル薄膜のFT-IR スペクトル

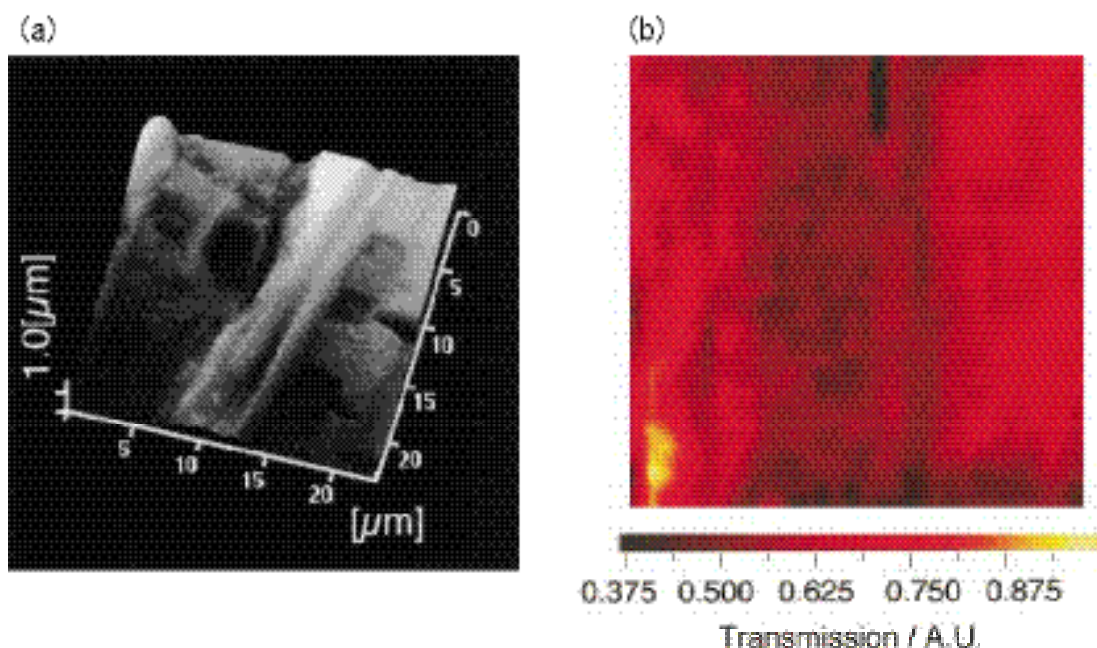


図23 (a) FEL光照射後のオレイン酸コレステリル薄膜のAFM像 (b) オレイン酸コレステリル薄膜の近接場赤外吸収画像 (波長5.75 μ m)。画像サイズ20 μ m×20 μ m。

表面粗さは200nmであったから、FEL光照射領域は非照射領域よりも約1 μ m窪んでいた。これは照射したFEL光のパワー密度がエステル結合を切断するために必要なパワー密度に十分に達しており、FEL光照射領域の表面下の一部が力学的なアブレーションを起こして飛散したためと考えられる。この窪みのエッジレスポンスは約2 μ mであり、照射した波長以下であったことから、この窪みに形成には非線形な吸収による効果が発現していると考えられる。

FEL光の照射に対して、どの程度の範囲で分子構造変化が起こったかを調べるため、AFM測定領域と同じ領域を、近接場赤外吸収分光装置を用いて超解像赤外分光イメージングを行った。光パラメトリック増幅と差周波発生により得られた赤外光の波長を、エステル結合の吸収ピークに相当する波長5.75 μ mにチューニングした。得られた近接場赤外吸収像を図23(b)に示す(パワー密度：1W/cm²、繰り返し周波数：1kHz、パルス幅：1~2ps、バンド幅：40nm、カンチレバー開口径2 μ m)。AFM像に示されたFEL光照射領域では吸収が弱く、中央部のFEL光非照射部において吸収が強い。この透過光強度の比はFT-IRスペクトルに見られるエステル結合の吸収量に一致しており、FEL光照射領域においてエステル結合が切断され、オレイン酸コレステリルが分解していることが画像化できている。近接場赤外吸収画像のエッジレスポンスはおよそ2.5 μ mであり、実際の試料構造を良く反映している。

(2)研究成果の今後期待される効果

光学領域のフォトンを用いた分析法は、フォトンエネルギーを選択することによって、大気中、水分を含んだままで、物質の分析ができるところに特長があり、真空装置を必要とする電子線技術などと比較して格段に使い勝手がよく応用範囲が広い。本CRESTプロジェクトで開発してきた非線形ナノフォトニクス技術により、顕微分光をナノレベルで行うことが可能になれば、生物学、生物物理学、化学、材料学、量子物理学などの最先端科学に、新しい進歩をもたらすことが期待される。とりわけ、ラマンスペクトルを中心とした振動分光法は、試料中の分子振動情報を正確に与えるので、分子構造に関する情報を得ることができる。さらに、本プロジェクト内で我々が発見したプローブ-分子間の近接効果(力学的効果および化学的効果)は、プローブ先端近傍に存在する数分子、数原子オーダーの極めて局所的な領域で発現する効果であり、この効果を制御して利用できれば、近接場ラマン散乱顕微鏡の空間分解能を向上できるうえ、近接分子の配向を可視化したり、化学結合状態を分析したりすることまで可能となることが予想される。これらナノスケールでの分子イメージング技術により、分子を同定しながら空間的に分離できるようになれば、画期的な分子観察装置として、サイエンスへの貢献はもとより産業におけるナノ材料構造解析に必須の装置となりえる。

B. 機能化複合材料研究グループ

中国科学院 理化技術研究所 (段宣明)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスのための機能化複合材料

(1) 研究内容及び成果

研究計画：構造自身の機能性に加え、材料の機能性も含む新しい物理現象や効果を発現させるために、光で重合可能な金属イオンの錯体を合成した上で、光硬化性樹脂中に導入し、2光子光重合による光造形の後、形成された3次元ポリマー構造中にナノ粒子を合成するというアプローチを提案した。さらに、機能性ナノ粒子複合材料を2光子光加工用材料として合成・加工する方法を開発し、それを用いた様々なナノマシン、ナノデバイスの形成法およびその特性を検討した。多光子過程等の非線形光学現象を用いて、機能性ナノ粒子複合材料に対してナノスケールでの加工・形成を施す技術確立し、半導体ナノ粒子の特異な電子・光物性を利用し、作製されるマイクロ・ナノマシンに新たな機能の付加を目指した。以下に研究成果を列挙する。

1. ポリマー3次元構造体の材料機能化手法開発

2光子重合によるポリマー3次元構造作製に用いる光硬化性樹脂は3次元構造を維持させる役割を果たしているが、その樹脂自身が特殊な機能性を持たないため、材料面から3次元構造に新しい物理現象や効果の発見に貢献できない。3次元構造自身の機能性に加え、

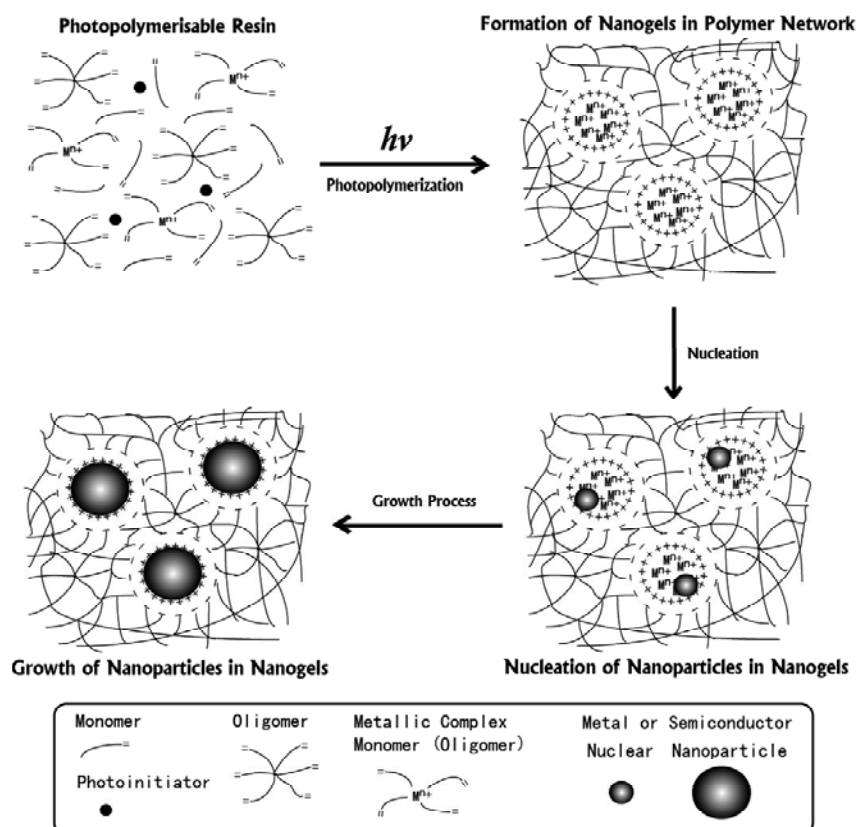


図24 3次元ポリマー構造体中における半導体や金属ナノ粒子のIn-Situ合成の概念図。

材料の機能性も含む新しい物理現象や効果を発現させるために、2光子重合による3次元ナノファブリケーションに適用できる半導体及び金属ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料を合成するアプローチを提唱し、その新しい材料機能化手法開発に成功した。

図27に示すように、まず、目的に合わせた金属イオンを重合性モノマーと反応させ、重合性のある金属錯体を光硬化性樹脂にドープした。合成した樹脂に対して、2光子重合によって3次元構造を作製した。さらに、ポリマーの3次元構造に閉じ込められた金属イオンを反応させ、半導体や金属ナノ粒子をIn-Situ合成させた。われわれが提案したこのポリマー3次元構造体の材料機能化手法は半導体や金属ナノ粒子を凝集せず、均一に3次元構造体に分散させることができる。それによって構造体の光物性の向上が期待できる。

2. 酸化チタンナノ粒子／ポリマーコンポジット材料の開発

光閉じ込め効率の高いフォトニック結晶作製のためには、屈折率差の大きな微細構造の形成が鍵となる。高い屈折率を持つ酸化チタンのナノ粒子を含んだポリマーナノコンポジットによる高屈折率を示す光硬化性樹脂を得る手法およびその高分子ナノ複合材料の3次元構造作製法を開発した。

まず、重合性のあるチタンイオン錯体を合成し、他のモノマーやオリゴマーと混合し、2光子重合によるフォトニック結晶構造を作製する。構造に取込まれたチタンのイオンを反応させ、酸化チタンの粒子を樹脂中で形成した。この手法では、ナノサイズの酸化チタン微粒子が空間的に均一に樹脂中で形成され、ムラのない酸化チタンナノ粒子／ポリマーコンポジットが得られる。この手法を用いてダイヤモンド型の3次元フォトニック結晶を作製した。作製した構造の走査型電子顕微鏡像を図25(a)に示す。フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップを測定したところ、同じ構造をもつ酸化チタンのナノ微粒子を含まない純粋な樹脂の構造体と比べて、20%程度の光閉じこめ効率の向上を確認した（図25(b)）。また、同時にバンドギャップの移動も観測された。しかし、その移動方向は短波長方向であり、予想と反する。この原因については現在検討中であるが、一つの可能性

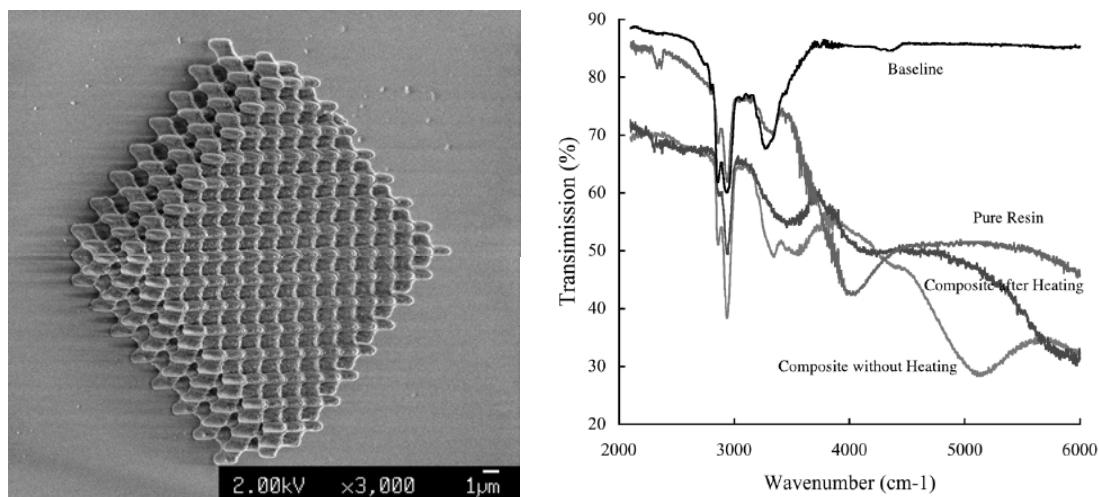


図25 (左) 酸化チタンナノ粒子／ポリマーコンポジットのダイヤモンド型3次元フォトニック結晶のSEM画像と、(右) フォトニックバンドギャップ測定結果。

として、ナノ微粒子における量子閉じ込め効果とフォトリック結晶構造における光子の閉じ込め効果の協同作用（電子と光子を同時に閉じ込める二重的な閉じ込め効果）によると考えている。

3. 半導体ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料の開発

同様の手法でCdSのナノ粒子を含む有機高分子ナノ複合材料の合成を行った。まずCdイオンを光硬化性樹脂中にドーブし3次元微細加工を行う。その後、未硬化樹脂を洗い流した後、硫化水素ガス雰囲気中にさらすと、樹脂中のCdと硫化水素が反応しCdSナノ粒子が形成する。この方法によって、図26に示したように、数ナノメートルのCdSのナノ粒子を有機高分子樹脂に凝集することなく分散できる。従来のCdSのナノ粒子を樹脂中に分散する方法ではナノ粒子の凝集によって均一な分散が困難であったが、本手法では空間的に均一にCdS粒子を析出することができた。また、合成条件を変えCdSナノ粒子のサイズをコントロールすることが可能で、量子サイズ効果による発光スペクトルのシフトも観測できた。図27は、CdSナノ粒子のサイズ効果による異なる色発光を有する3次元構造である。

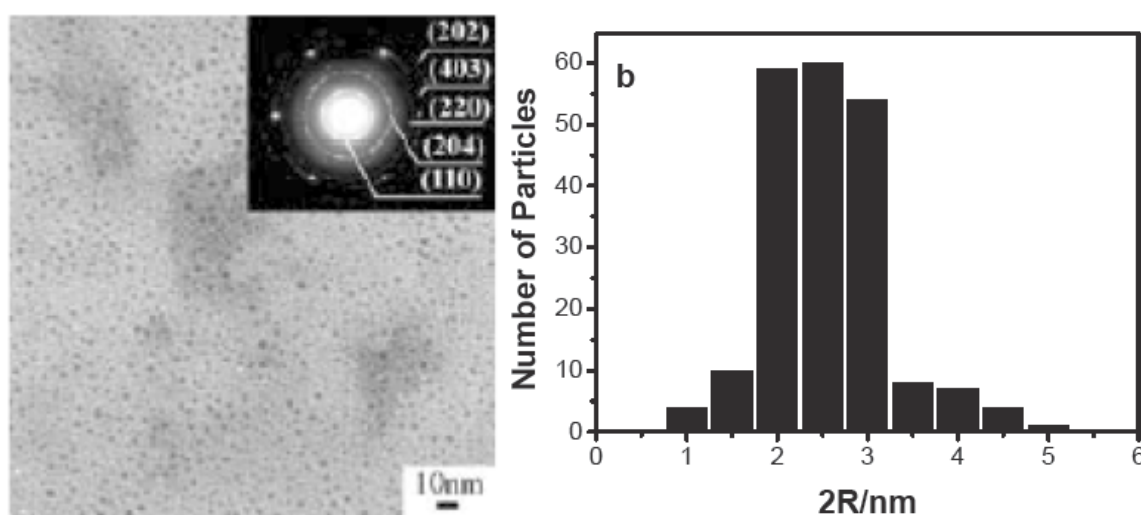


図26 CdSナノ粒子／ポリマーコンポジット中のCdSナノ粒子のTEM画像(a)およびサイズ分散状況(b)。

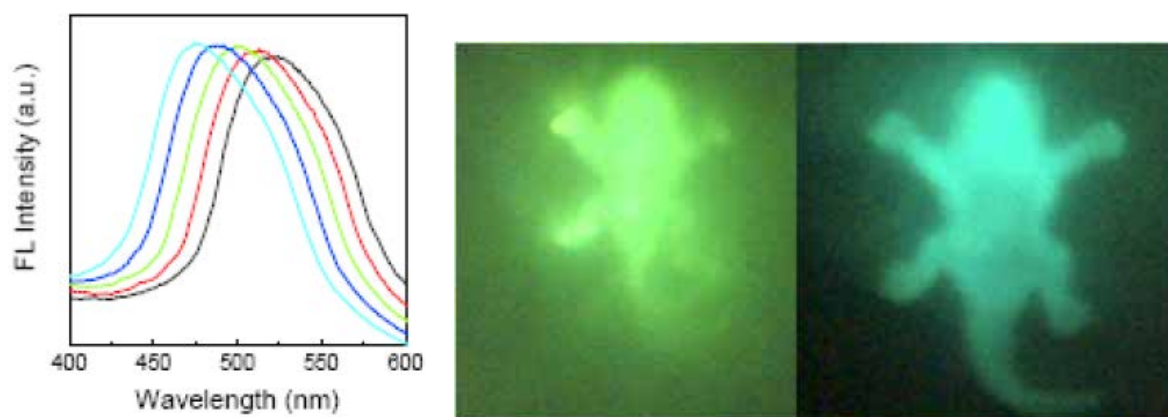


図27 CdSナノ粒子／ポリマーコンポジット中のCdSナノ粒子のサイズコントロールによって発光スペクトルの変化(左)。異なるCdSナノ粒子サイズのポリマーナノコンポジット材料で作製した3次元構造の蛍光顕微鏡の画像(右)。

また、この手法でWood-Pile 3次元フォトニック結晶を作成した。Cdイオンを含んだフォトニック結晶では、明確なフォトニック結晶のバンドギャップを確認することが難しいであったのに対して、CdSナノ粒子を生成された場合、図28に示したようにバンドギャップは明確に現れ、光閉じこめ効率の向上を確認した。このようなCdSナノ粒子を含むフォトニック結晶は発光特性を持っているため、将来に発光デバイスとしても期待される。さらに、数十パーセントという高濃度のAuとCdSのナノ粒子を同時に含みながらナノスケールで分散されている有機高分子樹脂による透明フィルムの作製にも成功している。そのナノ粒子の組成や構造は現在検討中ではあるが、複合ナノ粒子である可能性もあり、さらなる特異な光物性の発現も期待している。

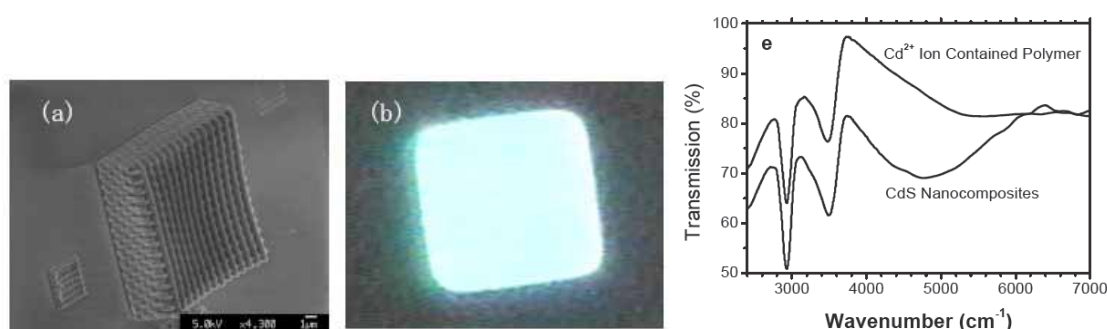


図 28 (a)CdS ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料で作製した 3 次元フォトニック結晶。(b)構造中の CdS ナノ粒子からの発光。(c)Cd イオンを含むポリマーおよび CdS ナノ粒子／ポリマーナノコンポジットの 3 次元フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップ測定結果。

4. 高い 2 光子吸収断面積を持つ光重合開始剤の開発

2 光子光重合加工法において、加工分解能と重合反応効率の向上をめざし、2 次元構造を有する V 型イオン性 2 光子光重合開始剤を設計・合成した。合成した V 型イオン性分子は、これまで報告されている同じ基本分子構造を持つイオン性線形分子より数倍大きい、15000 GM の 2 光子吸収断面積を有していることを実験測定より確認した。この V 型イオン性 2 光子光重合開始剤は、高い 2 光子吸収断面積を維持したまま、吸収ピークは他の 2 光子吸収用中性分子やイオン性線形分子よりも短い波長域に設定しており、有機分子に存在する非線形光学特性と吸収との Trade-Off 関係を打破する新しい分子設計のアプローチを確

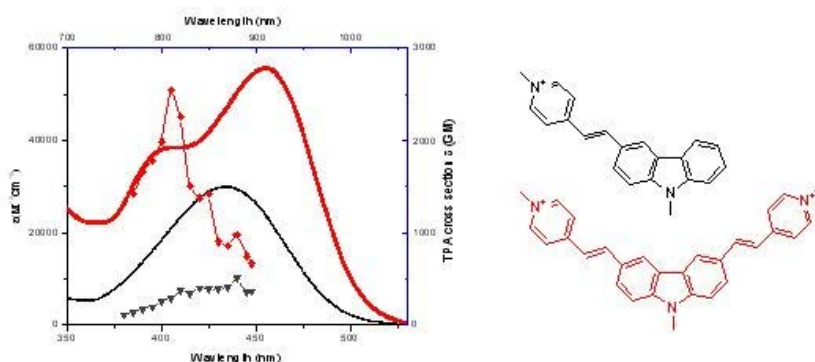


図 29 開発した光重合開始剤の 1 光子／2 光子吸収スペクトルと、開始剤の化学構造式。

立する可能性を示した。また、本研究で合成したV型イオン性分子の量子発光効率は今までの高い2光子吸収断面積を有する分子よりも低く、2光子重合開始剤として高い効率が期待できることを示した。この重合開始剤はナノマシン・ナノデバイス形成研究グループに提供し、2光子光重合加工法における加工分解能への影響について実験検証を行った。

5. オパールフォトニック結晶の作製とマイクロレーザー発振

SiO₂のナノ粒子を合成し、オパール型フォトニック結晶を自己組織化手法によって作製し、マイクロメートル厚さを有するレーザー共振器を製作して、レーザー発振を観測した。図30に直径253nmのSiO₂ナノ粒子を用いて作製したオパール型フォトニック結晶のSEM画像を示した。スペクトル測定により560 nm近辺でフォトニックバンドギャップを確認した。そのバンドギャップに合わせ、550 nm近辺に発光ピークを持つ蛍光色素allyl-FLを合成した。ポリマーに蛍光色素のドーピング率を上げるために、図31に示したCarbosilaneデンドリマーを設計・合成し、そのデンドリマーを用いてPMMA中の蛍光色素ドーピング率を5.3wt%まで上げた。2枚のオパール型フォトニック結晶と蛍光色素ドーピングしたPMMAフィルムを用いて、図32に示したマイクロメートル厚さを有するレーザー発振器を製作し、レーザー発振実験を行った。100mm直径の範囲に励起光を集光し、レーザー発振現象を観察した。このレーザー共振器は15mJ/PulseのThreshold、589nmの波長に1.7nmの半値幅を持っていることを実験で確認した。また、フォトニック結晶のスーパープリズムによる特殊な角度のみでのレーザー発振も実験的に実証した。

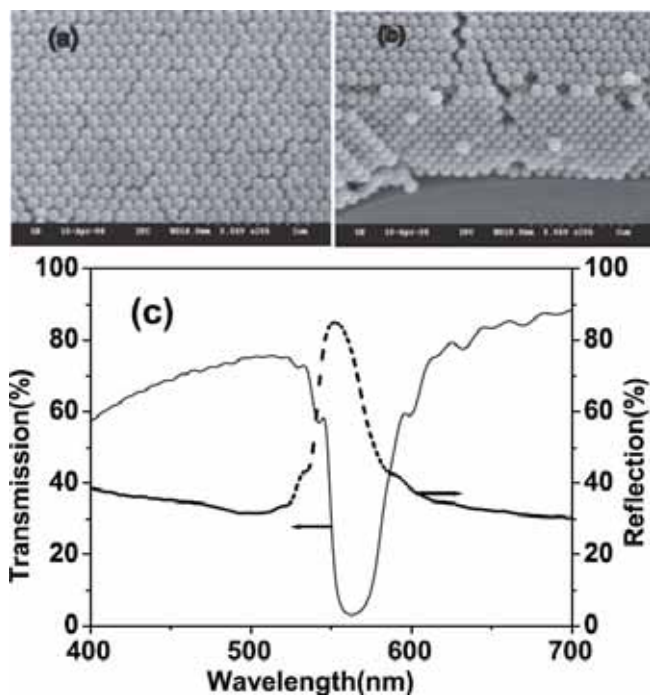


図30 作製したオパール型フォトニック結晶でSEM画像(a, b)およびそのスペクトル(c)。

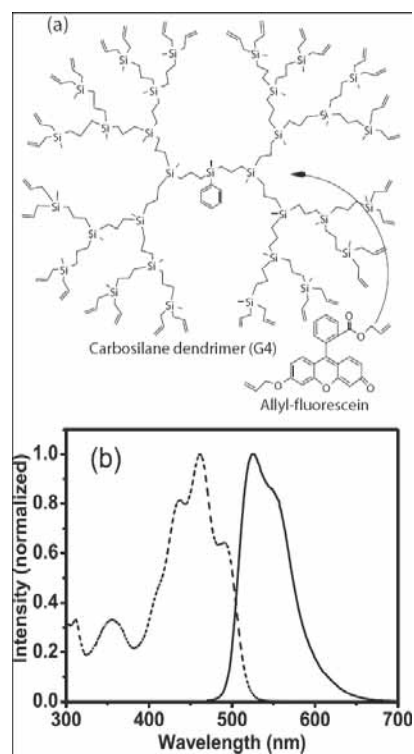


図31 合成したデンドリマーと蛍光色素の分子構造(a)とドーピングされたPMMAフィルムの吸収および発光スペクトル(b)。

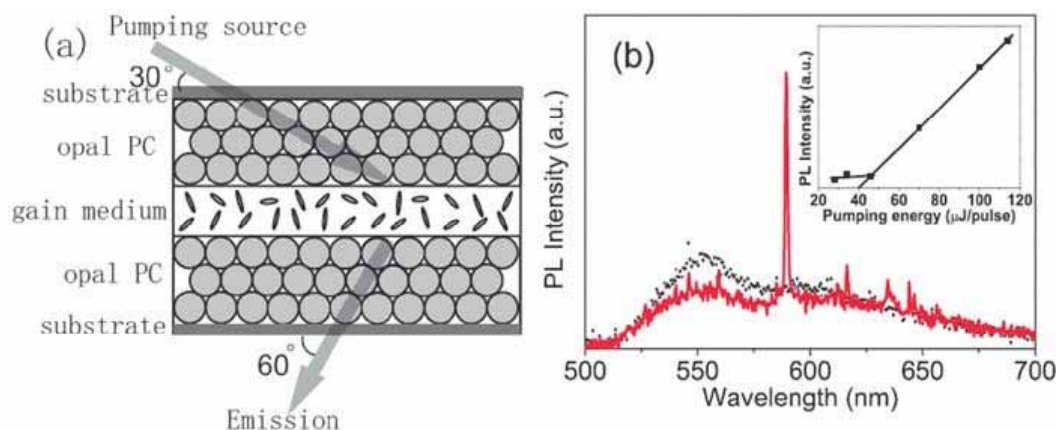


図 32 (a) オパール型フォトニック結晶で構成したレーザー共振器の構成。(b) レーザー発振スペクトル。

(2) 研究成果の今後期待される効果

半導体や金属を始めとするナノ粒子は、近年のナノサイエンス・ナノテクノロジー研究の発展に伴い非常に注目を集めている。特に、ナノ粒子独特のサイズ効果による発光、吸収特性は非常に興味深い。本研究で開発した半導体ナノ粒子、金属ナノ粒子の合成法は我々独自のオリジナルの手法であり、粒径をコントロールできるほか、ポリマーマトリックスの内部に均一に単一分散した状態で高濃度に形成することができる。本研究では主に、高屈折率ポリマーの開発を目的にナノ粒子合成を研究したが、プラズモニクス応用にも非常に有効な手法である。ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究には材料面からのアプローチが不可欠である。本研究プロジェクトでは、我々のグループが他の3グループと機能的に共同し、各グループの研究において材料面からのサポート役を果たせたと考えている。今後も本プロジェクトで築いた研究ネットワークを継続し、ナノ粒子／ポリマーコンポジット材料を始め、様々な機能性ナノ材料の開発を推進したい。

C. ナノマシン・ナノデバイス形成研究グループ

理化学研究所 ナノフォトニクス研究室 (河田聡)

研究実施項目：ナノマシンとナノデバイス形成

(1) 研究内容及び成果

研究計画：多光子過程等の非線形光学現象とプラズモニクスを含む近接場光学を用い、3次元かつナノスケールで材料を加工する技術の確立と、ナノマシン・ナノデバイス形成への応用を目指した。また我々が、これまでに提案・開発してきた、多光子光重合によるポリマーミクロ・ナノ構造造形技術を基盤技術とし、新たな造形技術の開発やデバイス形成への発展を目指した。材料として金属イオン・半導体ナノ微粒子などをドーピングした光硬化性樹脂を用いることで、機能性を有するナノデバイス、周期的な微細金属ナノ構造によるプラズモニックデバイスを開発した。ナノスケールの形状を自由に形成することで、材料自身が持つ機能性に加えて、ナノ構造が誘起する近接場効果、さらには近接場効果が誘起する非線形光学効果をも機能として有するナノマシン、ナノデバイスを作製することを試みた。また、汎用の3次元モデリングデータ(CAD等)を立体構造作製に利用できるよう、3次元構造作製のためのソフトウェアの開発も新規に行い、多様な構造をもつナノデバイス形成のための技術の確立を目指した。

1. 多光子過程を用いた3次元ナノファブリケーション法の確立

フェムト秒の時間内に光子を閉じ込めることによって、非常に高密度な光の場を形成することができる。たとえば平均出力が1W、繰り返し周波数100MHzのフェムト秒レーザーの場合、時間的に凝集された光子(光)のピーク強度は約100kWにも達する。さらにこのような光を対物レンズで空間的にも絞り込むと、さらに大きな光密度を達成することができる。平均強度がわずか10mWのレーザー光を対物レンズで絞り込むことにより、約1GW/cm²の光密度を得ることができる。このような光密度下で誘起される光化学反応や光物理効果は、低い光密度下で見られる現象とは異なり、入射する光強度に対して線形的な応答として現れない。入射光(電場)による非線形な分極による第2高調波発生やコヒーレント・アンチストークスラマン散乱などの非線形光学現象が、入射光の強度のべき乗に比例して得られる。

光重合樹脂は、光照射するとモノマー分子が重合し高分子化することによって液体から固体へ変化する材料である。一般的に、フォトリソグラフィーのレジスト材料、ステレオリソグラフィー、製版、歯科用材料、表面被覆剤など、半導体、医療、光コンピューティングなど多岐にわたる工業分野で用いられている。光重合反応は図33に示すような過程で進行する。光重合材料に光を照射すると光重合開始剤が光子を吸収しラジカル(カチオン重合の場合はカチオン)に変化する。このラジカルがモノマー、オリゴマーと重合反応を連鎖的に起こす。また、それら同士がお互いに橋かけ反応を起こす。最後にラジカル同士が結合することで連鎖反応が停止し、そうして形成された高分子どうしが3次元の複

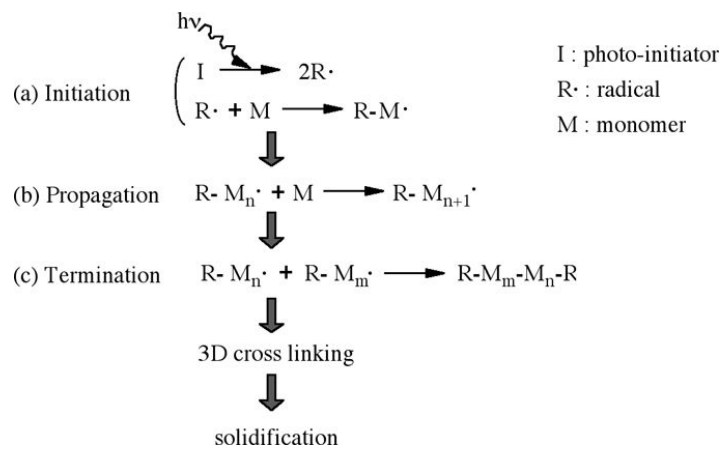


図 33 ラジカル重合反応のプロセス

雑な網目構造をつくることによって樹脂が硬化する。

一般に光重合樹脂は紫外光を吸収するが、2光子光重合では樹脂の吸収波長からは遠い近赤外光を入射する。普通なら樹脂は近赤外光を吸収しないため重合反応は生じない。しかし、フェムト秒レーザー光を高い開口数 (NA) の対物レンズで回折限界までフォーカスし、空間的・時間的に光子密度を凝集すると、2つの光子を同時に吸収する2光子吸収が生じる。近赤外の2つの光子の足し合わせはちょうど紫外光のエネルギーに相当するため、樹脂は重合反応を起こし硬化する。2光子吸収の起こる確率は光強度の2乗に比例し、光子密度の高くなった焦点位置の僅かな領域でのみ2光子吸収は誘起される。図34(a)は、光重合樹脂中にチタンサファイアレーザー (波長780nm、パルス幅80fs) からの光をNA1.4の油浸対物レンズで集光したとき、焦点で形成された硬化樹脂である。入射高強度と照射時間によって硬化樹脂のサイズは変化し、最小で僅か100nmのサイズのナノドットが形成されていることが分かる。このナノドットの大きさは、レーザー光の焦点のサイズよりも遥かに小さい。

2光子吸収の非線形性に加え、光重合樹脂の特性も大きく影響する。光重合樹脂中には、さきに挙げた3つの成分のほかにラジカル消光剤と呼ばれる分子も存在する。これは、意

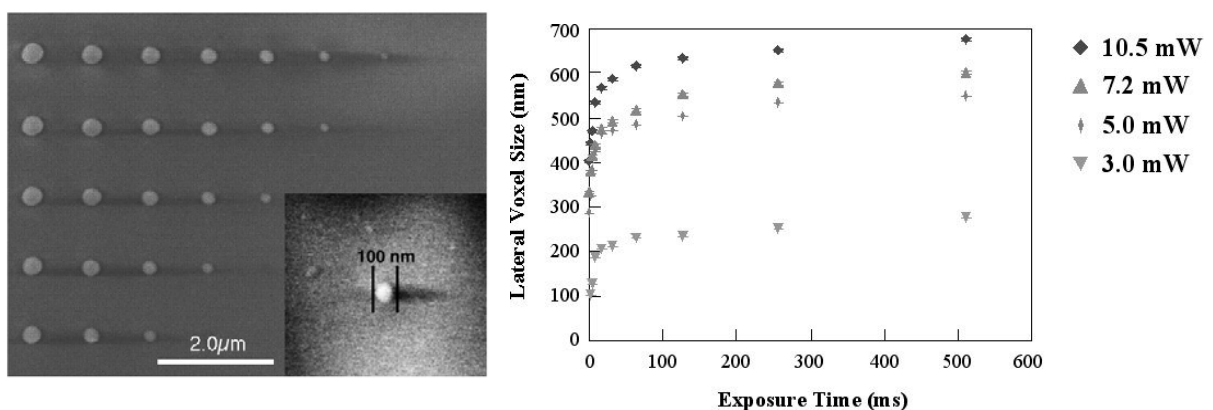


図 34 (a) フェムト秒レーザー光の焦点で硬化した樹脂 (b) 照射時間・入射高強度と硬化樹脂のサイズの関係

図的にある特定の分子を混合してある場合もあるが、樹脂中に含まれる活性酸素もその働きをする。2光子吸収によって発生したラジカルの中のいくらかはこれらラジカル消光剤に打ち消される。そのため実際に重合反応によって硬化するのは光強度があるしきい値を超え、発生するラジカル濃度がラジカル消光剤に打ち勝つ限られた領域のみとなる。入射光強度を調節することによって図のような100nmの3次元的な微小領域だけで樹脂を硬化させることに成功した。

図35に2光子光重合加工のシステムを示す。チタンサファイアレーザー（波長780nm、パルス幅80fs）からの光をビームエキスパンダーによって広げたあと、2基のガルバノミラー、リレーレンズを経由してNA1.4の油浸対物レンズに導き、光重合樹脂内に集光した。2基のガルバノミラーによって焦点を樹脂中のフォーカス面内で移動させた。また光軸方向には、ピエゾステージによって試料台を走査した。この2基のガルバノミラーとピエゾステージをコンピューター制御し、樹脂中で焦点を3次元的に走査しながらシャッターの開閉で露光を行った。露光後、溶媒によって未硬化の樹脂を取り除いたのち乾燥させ、硬化した立体構造を取り出した。3次元構造はまず、CADソフトウェアでモデリングし、その3次元モデルデータを独自に開発したソフトウェアで読み込むと、3次元データはガルバノミラー、ピエゾステージ、シャッターの開閉の信号に変換され、自動的にデザインし

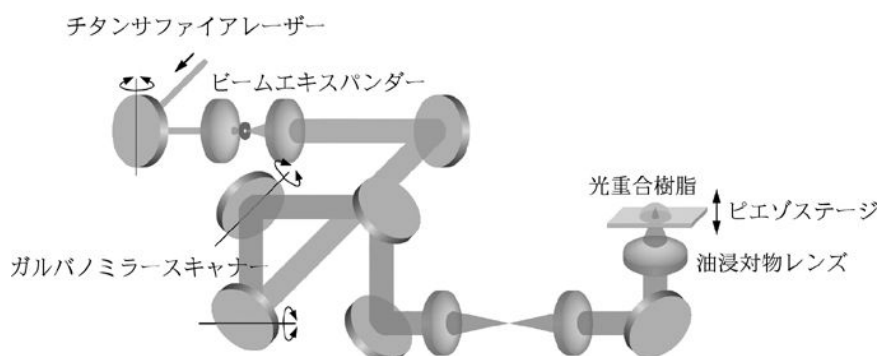


図3 2光子光重合加工システム

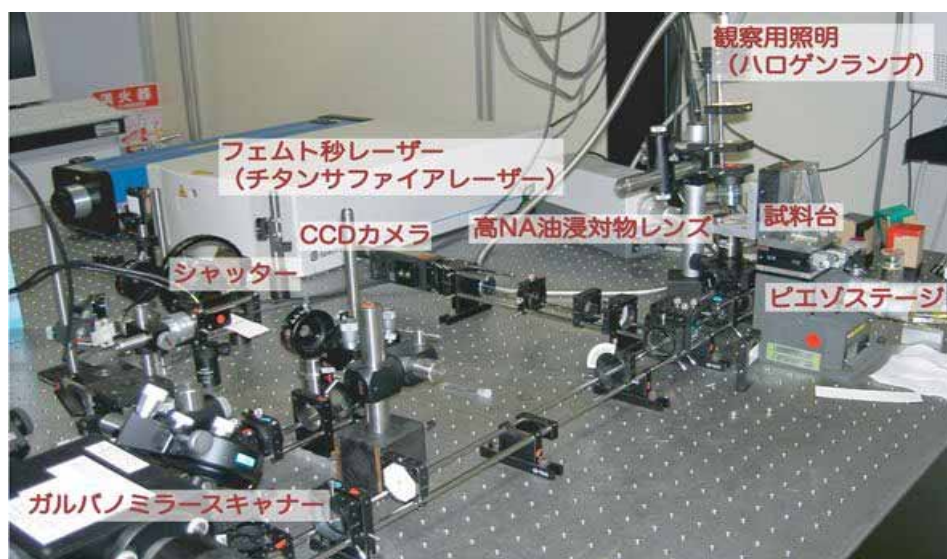


図1. 235 2光子光重合微細加工システム

た構造を加工することができる。図 35(下)は実際の光学系の写真である。

図 36はこのシステムによって作製したギア、チェーン、牡牛の立体彫刻等、様々な 3 次元構造体である。加工分解能は約 100nm とレーザー光の波長よりもはるかに小さいため、作製した 3 次元構造体は光学顕微鏡でははっきりと観察することができない。そのためこれらの構造は電子顕微鏡によって観察した。光源に近赤外光を用いることから、樹脂の硬化に伴う屈折率変化や散乱の影響が小さい。したがって樹脂の内部深い位置でもレーザー光の波面の歪みや収差が小さく、高精度に 3 次元構造を作製することができる。

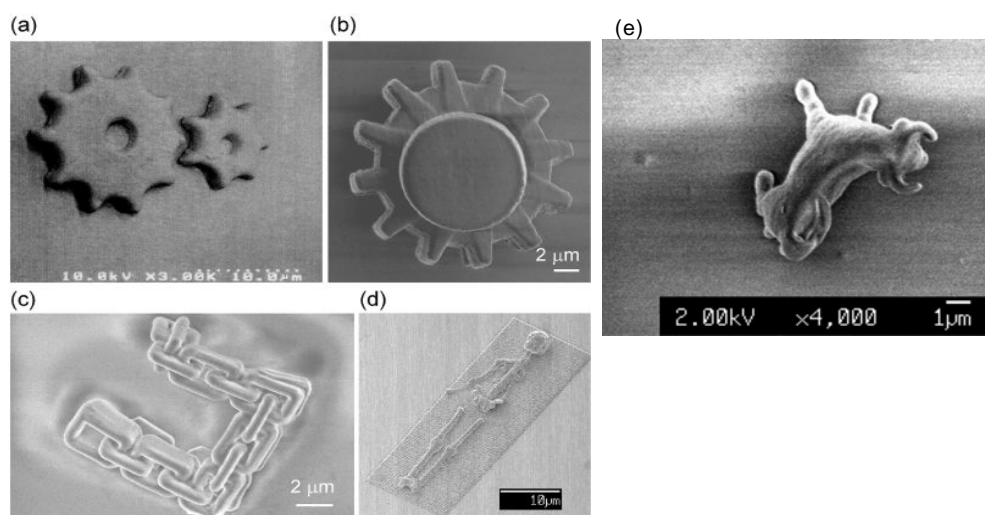


図 36 2 光子光重合加工法によって作製した立体構造物（電子顕微鏡写真）

2. 加工分解能 65 nm

加工分解能のさらなる向上を目指して、光重合開始剤および重合禁止剤の異なった割合を持つ光硬化性樹脂を用いて、近赤外フェムト秒レーザー光照射による光重合反応の硬化特性を調べた。ラジカル重合で硬化する光硬化性樹脂 (SCR-500, JSR Co. Ltd) と、SCR500 にラジカル末端の拡散を防ぐ禁止剤を 0.8wt.% 添加した樹脂と、SCR500 に 2 光子吸収断面積の大きい光重合開始剤を 0.1wt.% 添加した樹脂を試料として用いた。入射光強度、露光時間を変化させて樹脂を点硬化させた。入射光強度が 10.5mW の場合、硬化スポットの大きさはそれぞれ 150nm, 100nm, 450nm であった (図 37)。これより、禁止剤を添加することが加工分解能向上に有益であることが分かった。

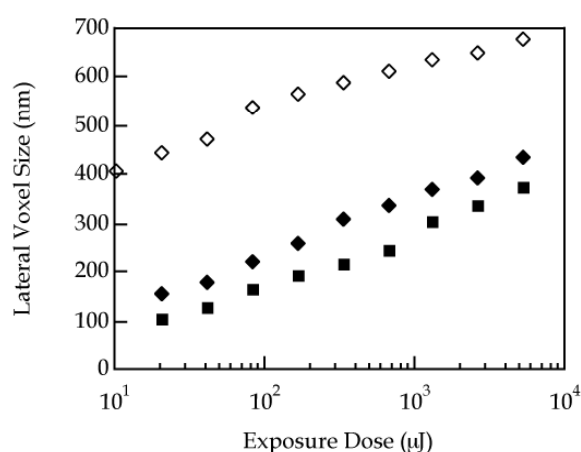


図 37 光重合開始剤および禁止剤が与える加工分解能への効果。入射光強度は 10.5mW。◇は開始剤を添加した SCR-500、◆は SCR-500 のみ、■は禁止剤を添加した SCR-500。

また、光重合反応の反応速度は系の温度に依存することから、光重合反応と加工分解能の温度依存性について調べた。温度制御可能な顕微鏡用冷却・加熱ステージ(LK-600, ジャパンハイテック株式会社)を2光子加工システムに組み込んだ実験装置を構築した。試料はSCR500を用いた。冷却・加熱ステージにより樹脂の温度を -60°C から 80°C まで変化させ、開口数0.55の対物レンズを用いて近赤外フェムト秒レーザー光を集光し、入射光強度一定の元で露光時間と樹脂の温度を変化させ樹脂を点硬化させた(図38)。露光時間が32ms以上の場合、樹脂の温度上昇に伴い硬化スポットのサイズが減少した。これは樹脂の温度上昇によって、ラジカルの連鎖移動反応に伴う重合停止反応が支配的になったためだと考えられる。しかし、実験系で得られた最小の硬化スポットのサイズは温度に依存しなかった。この結果から、系の温度は加工分解能に大きな影響を与えないと結論づけられた。

さらに、樹脂の重合反応によって引き起こる体積的な収縮と2光子重合加工法の加工精度の影響について検証した。構造の収縮は、レーザー光照射後の見硬化樹脂洗浄のプロセスの前後で顕著であり、樹脂の重合度や構造物の形状によって大きく依存することが分かった。重合樹脂の収縮率は、構造が微細であるほど大きく、最大で40%に及ぶことが分かった。また、構造の曲率とそのときに生じる歪曲率との関係を実験から明らかにした。構造の収縮は、重合反応による材料の密度変化と、構造洗浄のプロセスでポリマーネットワークに絡まっているモノマーや短いポリマー鎖が溶媒と共に洗い流れ出ることによると

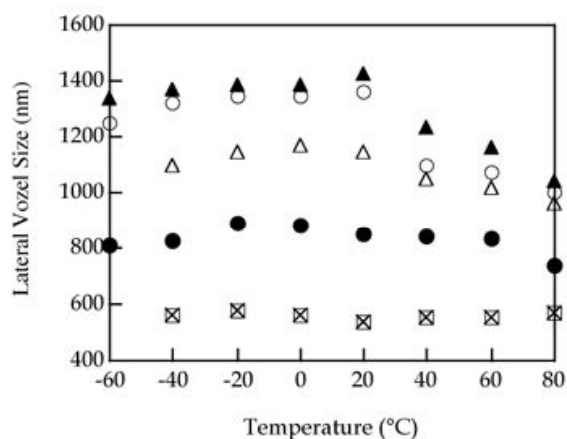


図38 加工分解能の温度依存性。入射光強度は40mW、照射時間は上から512, 128, 32, 8, 2ミリ秒。

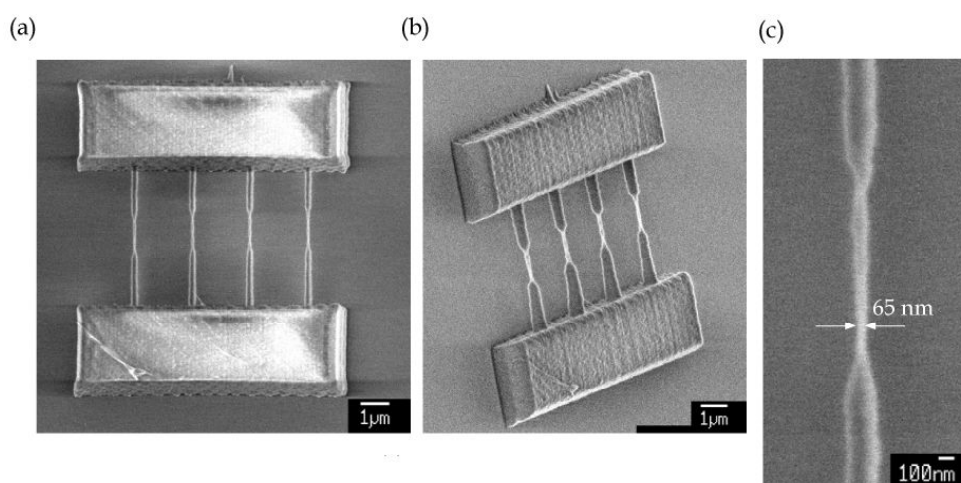


図39 ファイバーアレイ構造の電子顕微鏡像。(a) 上方からの観察像、(b) 試料を傾斜させて観察した像。スケールバー:1 μm 。(c) 線幅65nmのファイバーの拡大像。スケールバー:100nm。

考えられる。樹脂の収縮の特性を積極的に応用することによって、現段階では、これまでの加工分解能よりも細い直径65nmの細線を3次的に形成することに成功している。図39は、線幅65nmで形成した細線の電子顕微鏡写真である。

3. 3次元フォトニック結晶の開発

フォトニック結晶は誘電率が光の波長の間隔で3次元に周期配列された人工のナノ材料で、この構造が持つ特異な光学特性は近年大変注目され理論・実験両面から現在研究が世界中で進められている。このような構造中でのフォトン状態密度は強く変調され、ある周波数領域の電磁モードが存在できない。このような周波数領域はフォトニックバンドギャップと呼ばれている。我々が開発した2光子吸収光重合は現在、任意の3次元の微細形状をマイクロ／ナノサイズで自由に加工できる唯一の技術である。我々は、開発した加工システムを用いて20 x 20 x 7.5 mmの3次元ログパイル型フォトニック結晶を作製した。収縮による構造の変形を防ぐために、事前に逆補正を形状に掛け構造を作製した。格子定数を1.1, 1.3, 1.5, 1.7 mmと変化させ透過スペクトルを測定し、それぞれ5000, 4885, 4465, 4320 cm^{-1} 付近にフォトニックバンドギャップを観測した。実験結果は、理論計算によって得られたバンドギャップのピークと一致した。

図740(a)は、2光子光重合加工によって作製された直径500nmのロッドで構成されたダイヤモンド型3次元フォトニック結晶である。結晶の格子間隔は2.5 μm 、結晶を形成する近接格子点の間隔は1.1 μm である。図740(b)に、フォトニック結晶の透過スペクトルを示す。波長2.6 μm 付近に構造の周期性によるフォトニックバンドギャップの効果が現れた。2光子加工法を用いると、フォトニック結晶内部に欠陥構造を作製することも容易に可能である。また、樹脂中へ半導体ナノ粒子や金属ナノ粒子をドーピングしたり、ポリマーの表面に金属被覆を施すなど材料面からの機能性向上を図り、材料の高屈折率化とフォトニックバンド効果の向上

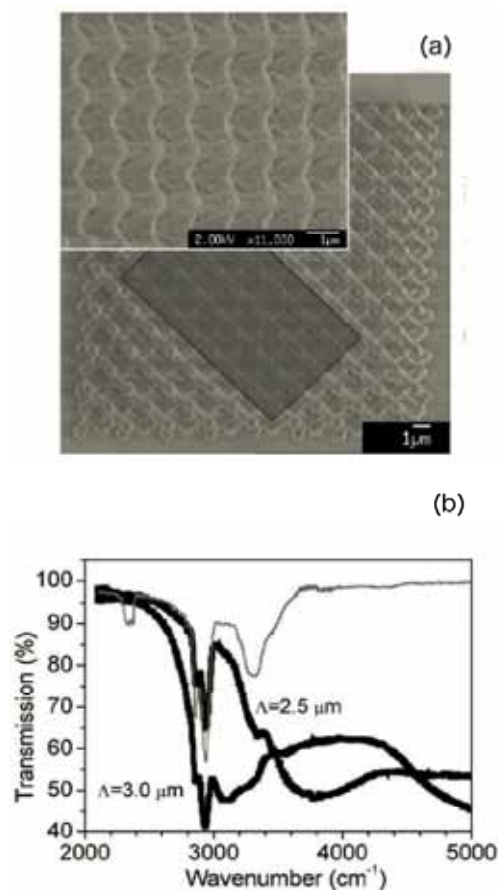


図740 500nm 細線からなるダイヤモンド型3次元フォトニック結晶 (a)電子顕微鏡写真と (b)透過スペクトル。

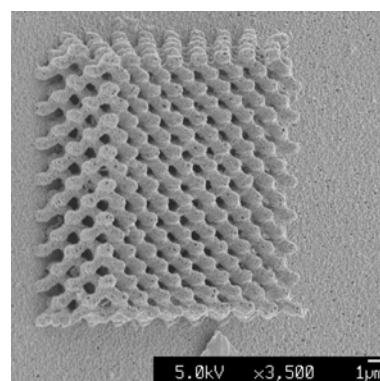


図741 金属コートしたダイヤモンド型3次元フォトニック結晶。ポリマーのみの場合に比べて強いフォトニックバンド効果を示す。

を試みた。図 41 は、表面を金属コートしたダイヤモンド型 3 次元フォトニック結晶の電子顕微鏡写真である。

3. 多焦点光学系によるマルチスポット同時加工法

マイクロレンズアレイを用いて多焦点光学系を構築し、これに我々が提案した 2 光子吸収による光ナノ造形を行うことで、同時・並列に多数の微小構造物を造形する手法を開発した。図 8 42 に示すように、無限系の顕微光学系により、マイクロレンズアレイの焦点群を樹脂内に縮小投影し、試料ステージを 3 次元に走査することで、2 光子光造形を行うシステムを構築した。実験では、再生増幅したレーザー光を拡大し、中央の均一な光強度分布を持つ領域をマイクロレンズアレイに照射し、最適な光照射条件を決定することで、マルチスポットによる同時・並列光造形を行った。空間分解能 200nm で、5 μ m 間隔のポリマー構造体を一度のレーザービーム走査で同時に 800 個作製することに成功した。図 9 43 に、文字 'N' の 2 次元パターンおよび 3 次元のスプリング構造を同時に約 200 個造形した例を示す。この方法では、これまでの 2 光子加工法による生産効率を向上させることができるだけでなく、複雑な形状を単位構造として等間隔に配列させた周期構造を高精度に形成することができる。この手法を応用し、後述する金属周期構造やメタマテリアルの実験的検証を行った。

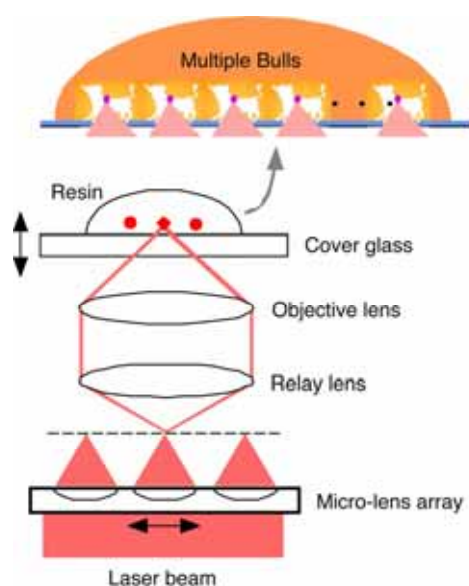


図 8 42 マルチスポット光造形用光学系

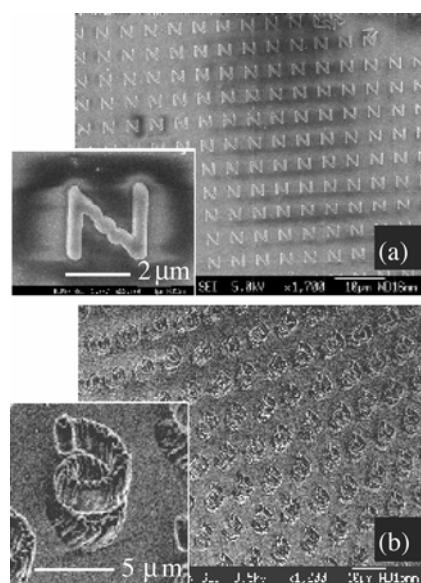


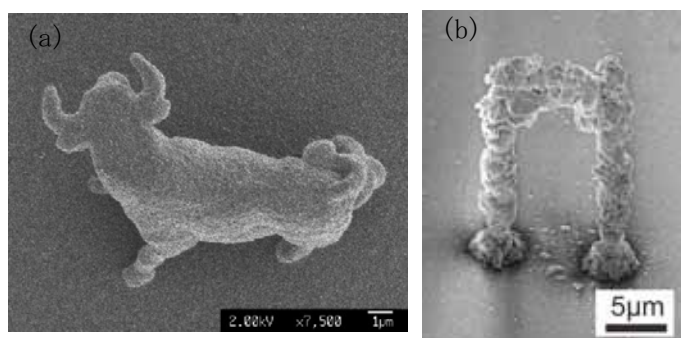
図 9 43 マルチスポット光造形の例
(a) 文字 'N', (b) 自立スプリング構造

4. 金属 3 次元ナノ構造の作製

2 光子重合加工法によって作製した 3 次元構造の表面に金属をコートし、金属の 3 次元構造を作製した。無電解メッキ技術を応用し、2 光子吸収光重合反応により 3 次元微細構造作製後、構造の表面に還元剤としてすず(II)イオンを塗布した。構造を銀イオン溶液に浸して銀イオンを還元させ、構造表面に銀薄膜を形成した。図 44(a) は、この方法で作

製した銀の3次元構造である。金属のコートには上記の化学的な液相還元法の他に、蒸着による手法も試みた。SEM観察によって、液相還元法の方が均一に金属被覆されることが分かった。また、ポリマー構造の特定の箇所を選択的に金属コーティングする手法も独自に開発した。特に金属が付き易いように改良した樹脂と従来の樹脂の2種類の樹脂を用いて作製した微細構造体に金属を還元し、選択的に改良樹脂部分に金属を析出させることに成功した(図?44(c))。

また、フェムト秒チタンサファイアレーザーを用いた多光子光還元を用いる手法を開発した。この方法では、サブミクロンオーダーの金属体を直接レーザーによって形成する。400nmの加工分解能で3次元的な金属構造体を作製することに成功した。この手法で作成できる微細金属体の導電率は、バルク金属の導電率と比較して高々3倍程度であり、十分な電気伝導性をもった微細金属構造を作成できることを実験的に実証した(図?44(b))。このようなナノ金属微細構造に光を照射すると、表面プラズモンによって増強されたナノサイズの局所電場分布を誘起することができる。作製した金属構造を基板に用いて、生体分子の表面増強ラマン顕微分光を行った。2光子光重合法と金属コートによって金属構造を高精度に制御することによって、所望の局所的増強電場を得ることができることを実証した。またこの実験をもとに、近接場プローブ顕微鏡の探針先端に銀コロイドを付着させる新しい方法を開発し、高感度かつ高空間分解能での近接場ラマン分光を可能にした。また、金属フォトニック結晶の開発、プラズモニック応答に起因する負屈折率現象などのメタマテリアル機能の実験的検証を行った。



図?44 金属3次元ナノ構造。(a)液相還元法によって作製した銀のマイクロ牡牛。(b)2光子光還元によって形成したアーチ構造。(c)選択的金属コーティング。特に金属が付着しやすい樹脂で形成されたリングのみが銀コーティングされている。

5. プラズモニック結晶とプラズモニックバンドギャップレーザーの開発

表面プラズモンは金や銀などの貴金属と誘電体界面に局在し、界面を伝搬する表面電磁波である。この金属表面に2次元表面レリーフ格子を刻むと、表面プラズモンはブラッグ反射を受けるため、ある周波数領域においては、どの方向にも表面プラズモンの伝搬は禁

制となる。この周波数領域はプラズモニック・バンドギャップと呼ばれ、このような特性をもたらす金属周期構造はプラズモニック結晶と呼ばれる。このバンド端では、群速度が0になるため、プラズモンが面内方向にも閉じこめられる。我々は、このプラズモニック・バンドギャップを応用したレーザーの開発を行った。

次のような手順でプラズモニック結晶作製を試みた。ガラス基板上にフォトレジストを堆積し、波長325 nm のHe-Cd レーザーを用いてホログラフィックに1次元格子を露光し、さらに、この基板をその法線に関して60° 回転して、2度目の露光を行った後、現像した。これにより2次元の三角格子を作製した。フォトレジスト上に作製した構造のAFM像を図1 0 45に示す。解像度の高いフォトレジストを用いたところ、格子内に欠陥があることが観察された。このような欠陥は結晶格子上にある密度で分布している。この上に、銀薄膜を蒸着することで2次元プラズモニック結晶を得た。さらにその上にDCM 色素を蒸着した。図1 1 46に、プラズモニック結晶によって増強されたDCM色素の蛍光スペクトルを示す。格子ピッチがそれぞれ、550 nm、600 nm、および、700 nmのプラズモニック結晶の上に厚さ100 nm のDCM 色素を蒸着したものを比較した。いずれも格子がない場合と比較して、蛍光が大きく増強されていることがわかる。有限差分時間領域法(FDTD)法および、より正確な解が得られる座標変換法を用い、プラズモニック結晶のモード解析によって実験結果の解析を行った。ロングレンジモードの表面プラズモンを励起することで、金属による損失を低減できることを明らかにした。

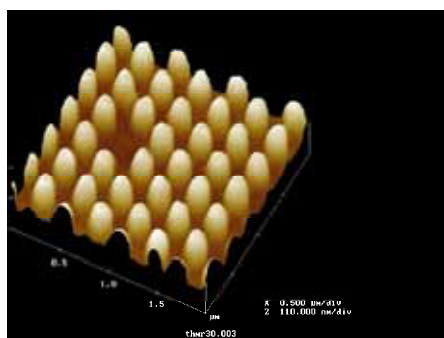


図1 0 45 欠陥のある2次元三角格子のAFM像

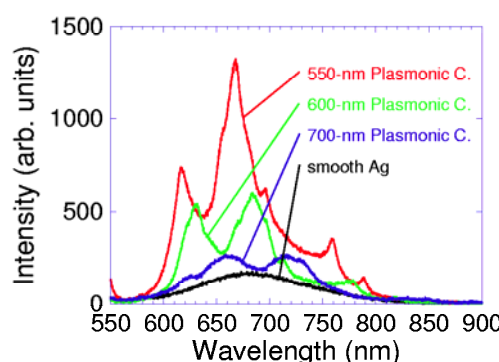
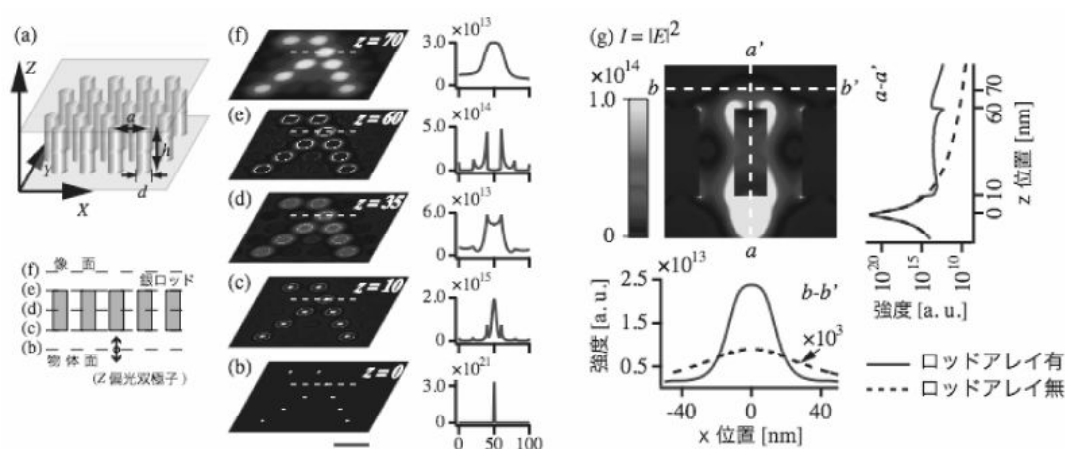


図1 1 46 プラズモニック結晶上の DCM の蛍光スペクトル

6. 金属ナノレンズの提案

金属ナノロッドをアレイに配列した3次元構造による超解像イメージングシステムを提案した。設計した“ナノレンズ”は、図47(a)に示すように、直径20nm、長さ50nmの金の細線を束ねた構造である。観察対象の分子あるいは生体試料をナノレンズの先端から20nm以内に配置し、試料の裏側から照明光を照射すると、試料によって発生した近接場光がナノレンズにあたり、近接場光は金ナノロッドによって表面プラズモンに変換され、ロッド表面を伝搬しナノレンズの反対側の端面で再び近接場光として試料の像を形成する(図47(b-f))。試料からの電磁波を金属ナノロッド内にプラズモンモードとしてカップリ

ングすることによって、レンズやミラーといった通常の光学素子をいっさい用いることなく、反対側のナノロッドアレイ端面に電磁場分布を伝搬させることができる(図47(g))。金属ナノロッドが伝える光学情報はその太さの範囲の試料情報であるため、波長による回折限界を遙かに超えた兆候解像度のイメージを作り出すことができる。有限差分時間領域法(FDTD法)を用いて解析した結果、40nmの空間分解能が得られることを理論的に示した。この原理では、試料のスペクトル情報も表面プラズモンを介して再現されるため、試料の同定もナノサイズの分解能で可能である。この新しいナノを観察する方法が、半導体の集積回路(IC)製造における光リソグラフィや新素材の開発、バイオサイエンス研究に応用されれば、従来の光技術の限界を超える新しい技術革新になると期待される。



図？47 金属ナノロッドアレイによる近接場イメージング。(a)ナノロッドアレイの構成、(b-f)アレイ下端に置かれた“λ”の文字パターンで配置された双極子振動子光源のナノロッドアレイによるイメージ伝送。図中のスケールは50nm。(g) ナノロッドにおける局在SPPと近接場光との共鳴結合と伝搬の様子

7. プラズモニック・メタマテリアルの理論的研究

物質中を光が伝搬するとき、その光学特性は“屈折率”によって表現され、“誘電率(ϵ)”と“透磁率(μ)”が共に負であるとき屈折率は負となる。しかし、自然界に存在する物質は光周波数領域において磁気応答を示さない($\mu=1.0$)ため、自然界には負の屈折率を示す物質が存在しない。一方、マイクロナノメートルサイズの切れ目のある金属コイルを母材となる物質中に三次元アレイ状に配列した“メタマテリアル”を用いると、光周波数領域において磁気応答を示す人工媒質を実現することができる。これまで、マイクロ波帯をはじめTHz帯～赤外域における負の透磁率を示すメタマテリアルの検証が行われていたが、可視光領域における磁気応答は金属のオーミックロスが増大のため、実現不可能と信じられてきた。しかし我々は、無限に増大すると信じられてきたオーミックロスが、実は有限の値をもつことを証明し、銀あるいは金の三次元金属ナノ構造でできたメタマテリアルを用いることで可視域においても負の透磁率、負の屈折率が実現可能であることを世界

で初めて理論的に示した。具体的には、図48に示すように、リング径80nm、線幅20nmの銀でできたマイクロ共振器をアレイ状に3次元的に配列すると、赤外から近紫外までの全可視光領域をカバーする周波数帯域において、光波の磁場成分に対して応答を示し透磁率を人工的に制御できる物質が実現できることを確認した(図49)。そして、この光学領域において磁気応答を持つメタマテリアルの応用技術として、s 偏波に対するBrewster現象の発現の可能性を見出し、この現象を用いた偏光無依存Brewster素子の提案を行った(図 4 50)。この素子を用いることにより、これまで物質の境界面において生じていた光の反射がなくなり、物質境界面を反射ロスなく光を透過させることが可能となる(図 5 51)。

8. 液晶フォトニックレーザーの開発

キラルネマチック液晶のように光学活性分子を含む液晶相が螺旋周期構造を自発的に形成することで自然に形成されるフォトニック構造を利用し、バンドギャップのバンド端でのレーザー発振を試みた。試料は、低エネルギー側のバンド端を608nmに調整したキラルネマチック液晶に、レーザー色素(DCM)を添加したものを用いた。25 μ m厚の水平配向セルに注入し、これにフェムト秒レーザー増幅システムの基本光をOPAで波長変換した540nmおよび1000nmのパルスを用いて、1光子および2光子励起レーザー発振を試みた。

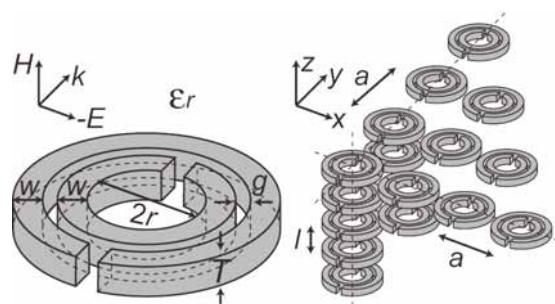


図 48 設計したスプリットリング共振器

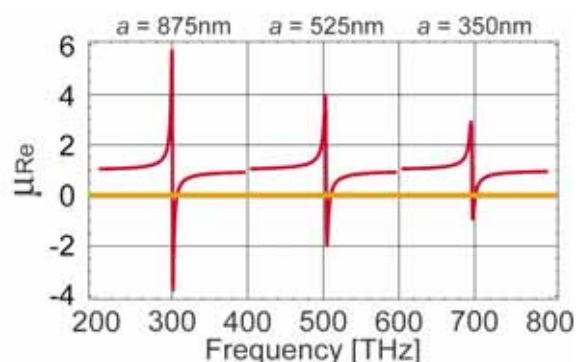


図 49 スプリットリング共振器の透磁率周波数応答

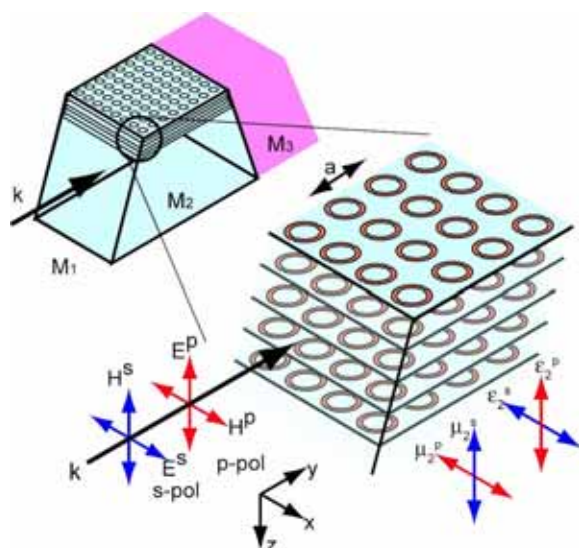


図 50 p 波 s 波両方にブリュースター現象を示す異方性メタマテリアル

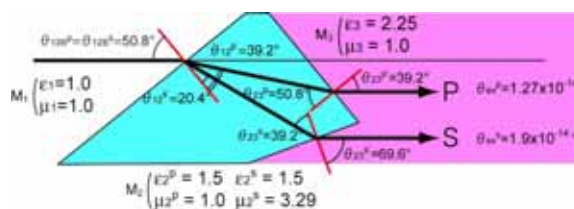


図 51 空気とガラスとの間にメタマテリアルでできたプリズムを挿入すると、光の反射が無くなる。

作製した試料は、可視、近赤外のいずれの励起波長においても閾値をもってレーザー発振を起こした。これらは共に低エネルギー側のバンド（誘電バンド）端でレーザー発振している。また、閾値以下の近赤外光で励起した際の蛍光強度は、入射光強度の1.9乗に比例しており、2光子吸収による蛍光であることを示している。以上のことから、1000nmで励起した際に609nmで起きるレーザー発振は、誘電バンド端における2光子励起アップコンバージョンレーザー発振であると結論付けることができる。また、温度のコントロールによって波長チューニングが可能であることを示した。

さらに、屈折率が3次元的に変調する青色相(Blue phase;BP)を利用することを考案した。高カイラル剤濃度の液晶試料を等方相から徐冷するとBPIIを経てBPIが出現する。この過程においてBP Iの(110)面を基板面内に規制し、結晶ドメインを51.9℃にて成長させた。

レーザー色素(Pyrromethene597)をドーピングした青色相(BP I)の(110)面を成長させ、センチメートルオーダーの3次元フォトニック構造試料を作製し、フェムト秒OPAシステムからの波長530nmのレーザーパルスにより励起したところ、図52に示すグラフのように発振波長597nmでバンド端でのレーザー発振に成功した。3次元フォトニック構造を持つ青色相での発振閾値は1次元のキラルネマチック相に比べ、約半分にまで低減できた。

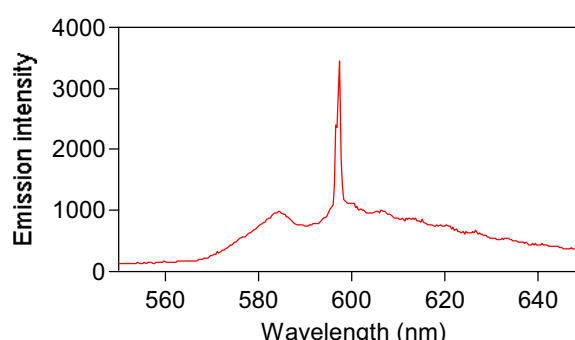


図52 青色相を応用した液晶フォトニック結晶レーザーの発振スペクトル。波長597nmで強い発振が観測された。

9. 生体適合性材料を用いた細胞培養3次元構造の作製と細胞形態制御

光硬化性ゼラチンを用いて2次元、3次元光造形を行い、造形した微細構造を用いた細胞形態および機能の制御を試みた。これらの材料は生分解性を示すので、構造上での細胞培養や生体内への埋め込み時に加水分解により分解するため、新しい生体材料として期待されている。図253(a-d)に作製した微細構造を示す。光硬化性ゼラチンを用いて作製した縞状構造を細胞の成長する足場とし、細胞制御を試みた。図253(e)は、ゼラチンの幅10 μm 、ゼラチン間の間隔20 μm の縞状構造上で培養した心筋細胞を示している。ゼラチン上に接着した心筋細胞の約7割は、構造の長軸方向に伸展し、また同一方向に収縮することを確認した。これにより得られた細胞形態は構造の存在しない場合と大きく異なっており、微細構造を利用した細胞形態および制御の可能性が確認できた。

また、光硬化性を示す材料で作製した微細構造上での細胞接着性の検討を行った。多光束干渉を用いて作製した周期構造上における細胞接着を調べた(図354)。以下、TTMP(細胞接着性光硬化性材料)、ATP200(細胞非接着性光硬化性材料)、KC1077B(光硬化性樹脂)、SU-8(ネガ型フォトリソグレイス)について同様の実験を行い、TTMPの利用が有効であるという結果が得られた。1, 2, 4, 8 mmの間隔の縞状構造上でラット心筋細胞の培養を行った結

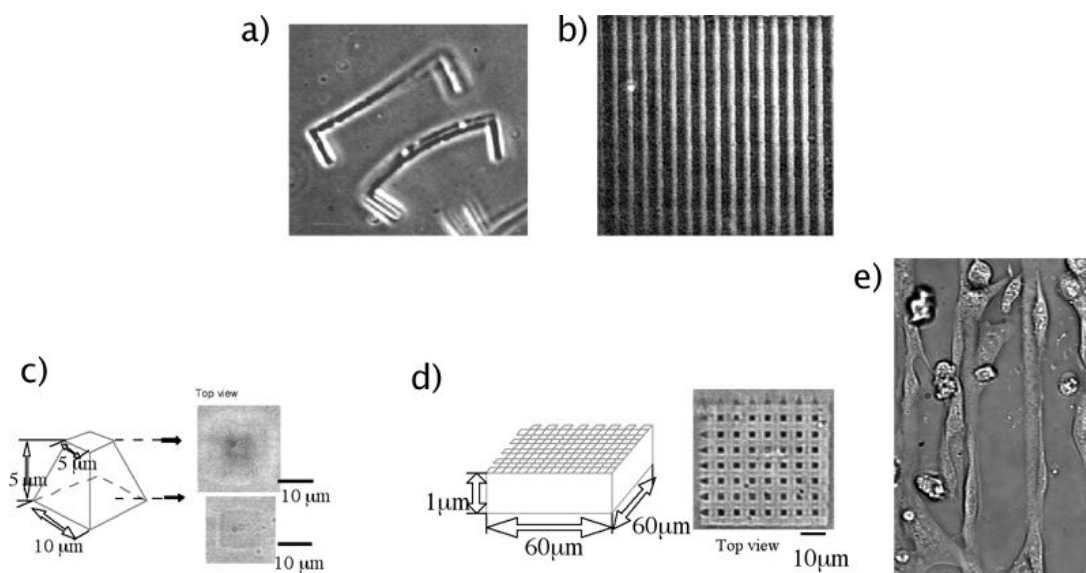


図 253 a) 光硬化性ゼラチンを用いて作製したハードル構造、b) 縞状構造、c) 台形構造台形構造、d) 格子構造。e) 縞状構造上で培養した心筋細胞。スケールバー = 10 μ m。

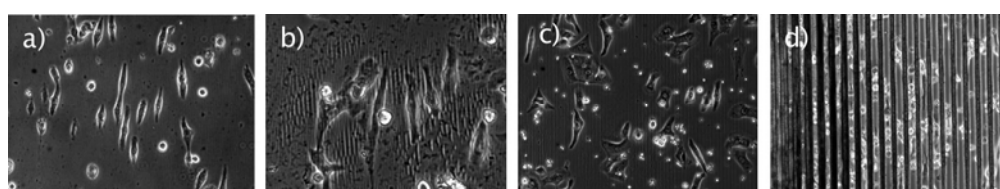


図 354 微細構造上で培養したラット心筋細胞。a) TTMP(細胞接着性光硬化性材料)、b) ATP200(細胞非接着性光硬化性材料)、c) KC1077B(光硬化性樹脂)、d) SU-8(ネガ型フォトレジスト)。

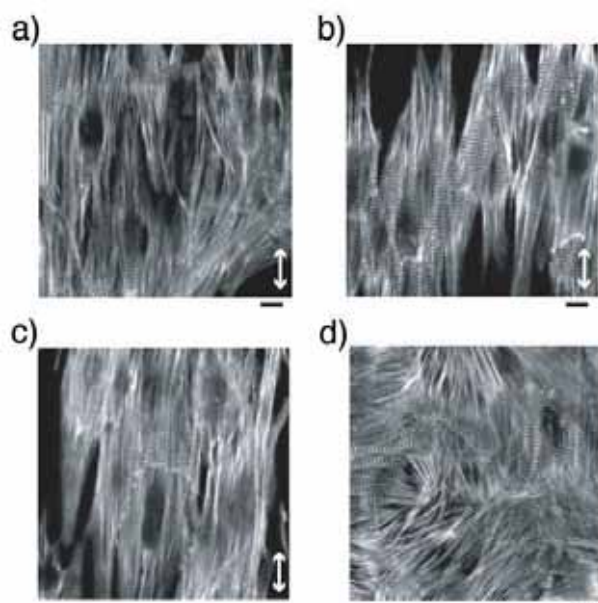


図 55. 縞状構造上で培養したラット心筋細胞のアクチン繊維の分布. 構造の縞間隔: (a) 8 μ m, (b) 4 μ m, (c) 2 μ m, (d) 構造なし. 矢印は構造の向きを示す. スケールバー: 10 μ m.

果, それぞれ約75, 65, 50, 40%の細胞が構造の長軸方向に伸展し, 配向した。また, アクチンを蛍光染色し, レーザ顕微鏡で観察した結果, 構造に沿った細胞骨格が形成されていることを確認した(図 55)。 微細周期構造上で培養中のHeLa細胞を経時観察し, 細

胞形態の時間変化を追跡した。その結果、細胞が縞状構造に沿って進展していく様子、またその方向に移動する様子を確認した。この場合の細胞の短軸方向の幅は、縞構造の幅に限定された。

これら結果は、細胞培養を行う基板の表面形状をうまくデザインすれば、細胞形態だけでなく、その運動をも制御できることを示している。

(2)研究成果の今後期待される効果

プラズモニクス分野の研究は近年ますます盛んになってきており、発表される論文の数も一貫して増加している。プラズモニック・メタマテリアル、ナノ金属レンズ、近接場非線形分光、液晶レーザーといった分野は、いずれも欧米を中心に盛んに研究が進められているが、我々のチームはこれらの分野において常に世界をリードしており、その成果はそれぞれのコミュニティにおいて広く認知されている。いずれの研究も単なるサイエンティフィックな興味に留まらず、産業応用を見据えて研究を行っている。プラズモニック・メタマテリアルの研究では、ナノサイズの金属共振器アレイをホストとなる物質中に作り込むことで、物質のもつ物理量を人工的に制御し、自然界には存在しないような物質を作り出すことを目的にしている。このような人工材料はこれまでに無い新しい光学素子へと直接応用することが可能である。我々は既にこのような技術・物質の応用例の1つとして、光の偏光状態にかかわらず物質境界面でBrewster条件を満足させるような光学素子を提案した。この素子は、例えば光通信などにおける光制御デバイスの中に利用することにより、フレネルロスに代表される光損失の問題を解決できると考えている。ナノ金属レンズは、我々が独自に提案した全く新しいイメージング素子で、ナノサイズの直径を持つ微細金属ロッドを剣山状に束ねたものである。これを観察したい試料表面の近傍に近づけると、試料が持つナノサイズの構造が、光の波長の限界を越えてイメージングされる。このレンズは、試料を構成する分子の情報を光のスペクトルとして保持しながらも、光の限界を超えた高い解像力を持つ新しいイメージング法として注目されている。これ以外の近接場非線形分光や液晶レーザーも、従来の光計測法や光デバイスでは実現できなかった新しい機能を実現できる全く新しいフォトニクス技術として注目されており、科学技術分野のみならず産業界への波及効果も大きいと考えている。

D. 細胞刺激・加工研究グループ

京都府立医科大学 (高松哲郎)

研究実施項目：非線形ナノフォトニクスによる細胞刺激と加工グループ

(1) 研究内容及び成果

研究計画：これまでの生細胞内機能分子の制御法は、主にDNAやRNAに作用するため空間分解能がなく、対象とした細胞の局所で目的分子の機能を選択的に活性化あるいは不活性化することは不可能であった。近年、光を使って細胞内分子の機能を不活性化する方法が報告されたが、手技の煩雑さ、非特異的不活性化などの問題により普及していない。そこで、われわれは、非線形光学を駆使した新しい手法により、生細胞内機能分子の機能制御方法の開発に取り組んだ。以下、実施した研究課題について、内容および成果を述べる。

1. 多光子CALI法の開発

多光子励起によるレーザ分子不活性化 (Chromophore-assisted laser inactivation: 多光子CALI)を独自に考案した[Nature Methods (2:503-505, 2005)]。この方法では、生細胞内機能蛋白質を蛍光蛋白質 enhanced green fluorescent protein (EGFP)との融合蛋白質として細胞に発現させ、フェムト秒近赤外レーザ光の照射による多光子励起で、EGFPより活性酸素を発生させ、蛋白質の機能を抑制する。とくに、非線形過程である多光子励起を用いることにより、3次元分解能が得られるので、高い空間選択性が期待できる。提案した多光子CALIの有効性を示すために、細胞膜タンパク質の1つであるコネキシンを標的として実験を行った。コネキシンによって形成されるギャップ結合は、直径7 nm、高さ25 nmの細胞間を連絡するチャンネルで、ナノスケールでの制御に最適な大きさである。また、パッチクランプ法により、ギャップ結合を介して細胞間に流れる電流(ギャップ電流)を直接測ることで、ギャップ結合の機能を評価できる。ギャップ結合にレーザーを照射するためにはギャップ結合を可視化する必要があり、そのため蛍光タンパク質を使用する。多種類の蛍光タンパク質が存在するが、最も頻用されており、最も量子収率および吸光係数の高いEGFP(Enhanced green fluorescent protein)を用いる。

コネキシン (Cx)とEGFPとの融合タンパク質をコードするDNAをHeLa細胞に遺伝子導入し、恒常的にCx-EGFPを発現する細胞株を樹立した。Cx-EGFPで形成されたギャップ結合の機能を、パッチクランプ法によりナノ秒の時間分解能でギャップ電流を計測する実験系を確立し、Cx-EGFPで形成されたギャップ結合がこれまでに報告されているギャップ結合の機能とほぼ同じであることを確認した。

次に、Cx-EGFPで形成されたギャップ結合の機能をパッチクランプ法で測定しながら、ギャップ結合に種々のパワーで850 nmのレーザーを一点照射し、EGFPを2光子励起した。2光子顕微鏡での観察に必要である試料面での平均パワー (2~3 mW)ではギャップ結合の機能に影響を及ぼさなかったが、7.8 mW以上のレーザーを照射したところギャップ結合は不活性化され、15.7 mWではその機能が約400 msのレーザー照射で80%以上低下した(図？

56、図?57)。

さらに、EGFPを高パワーで2光子励起することによってギャップ結合の機能が不活性化するメカニズムを解析するために、フリーラジカル消去剤であるアジ化ナトリウムおよびエダラボン存在下に同様の実験を行ったところ、レーザー照射によるギャップ結合不活性化の程度が有意に減弱した(図?3)(図58)。また、コネキシンをEGFPとは異なる蛍光タンパク質(monomeric red fluorescent protein、mRFP)に融合されたギャップ結合(Cx-mRFP)に対して同様の実験を行ったところ、Cx-EGFPで見られたギャップ結合の不活性化は認められなかった(図?4)。

以上の結果は、EGFPが高パワーの850 nmのレーザーで2光子励起されるとフリーラジカルが発生し、そのフリーラジカルによりコネキシンの機能が阻害されたことを示す。これまで、フリーラジカルは作用半径は生体内で3~4 nmと報告されている。本研究は蛍光タンパク質であるEGFPを光によるフリーラジカル製造機として利用するというアイデアにより、光の非線形効果だけでは不可能であった数nmオーダーの分子不活性化が可能となった。

一方、フリーラジカル消去剤存在下でも、ギャップ結合の不活性化は完全には抑制されなかったため、フリーラジカル以外のメカニズムが不活性化に関わっている可能性も否定できない。EGFPの2光子励起による機能分子不活性化の詳細なメカニズムの解明は、今後の課題である。さらに、850 nmのレーザー照射を行っても、吸収スペクトルの異なるmRFPでは分子不活性化は起こらないという実験結果(図?3)は、2光子励起と種類の異なる蛍光タンパク質を用いることにより、複数の機能分子間の相互作用を生細胞内で明らかにするための、細胞内局所ナノ機能制御システムの構築という新たな可能性を示している。

また、細胞分裂の中期に染色体に現れるタンパク質(Aurora B)の多光子CALIによる機能阻害を試みた。試料には、培養イヌ腎上皮細胞(MDCK細胞)を用いた。図59(a)に、細胞分裂中期におけるAuroraBの分布を示す蛍光像を示す。図59(b)はレーザー照射後の蛍光

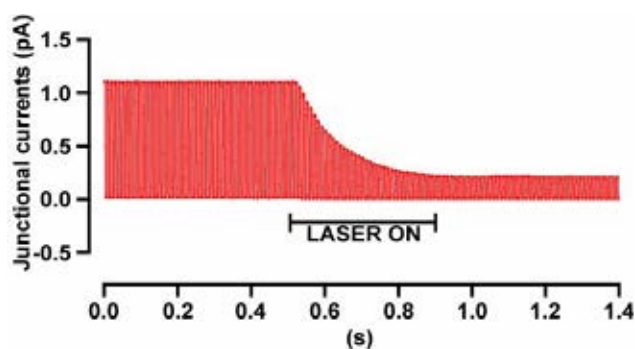


図 1 2 56 パルス光照射(波長:850 nm、強度:15.7 mW)によるギャップ電流の低下

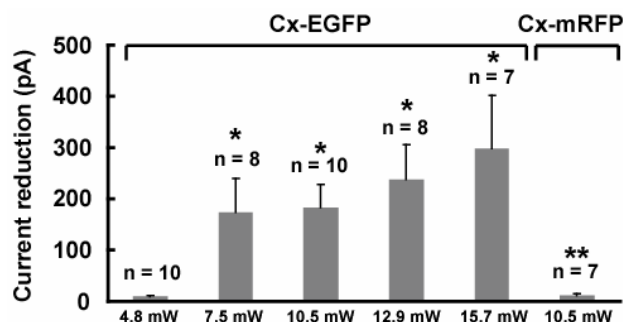


図 1 3 57 ギャップギャップ電流減少量の光強度依存性

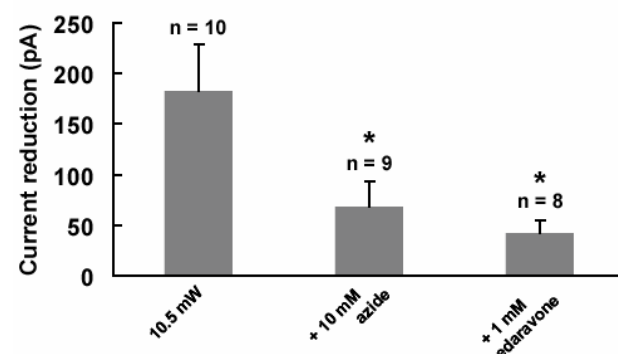


図 1 4 58 フリーラジカル消去剤存在下でのギャップ電流減少量

像であり、EGFPの蛍光が消失していることが分かる。図59(c)はレーザー照射から30分後に細胞を固定し、 α チューブリン、およびDNAを免疫染色して観察した結果である。通常、細胞分裂中期から30分以内で細胞分裂は終了するが、図59(c)では、CALIの結果、レーザー照射時から分裂が進行しなかったことが分かる。分裂中期以外の細胞やEGFPを導入していない細胞に対してレーザー照射を行っても、通常と同じように細胞分裂が観られたことから、EGFPを介したCALIによりタンパク質の不活性化が行われたこと、AuroraBが細胞分裂中期に機能していることが示唆された。

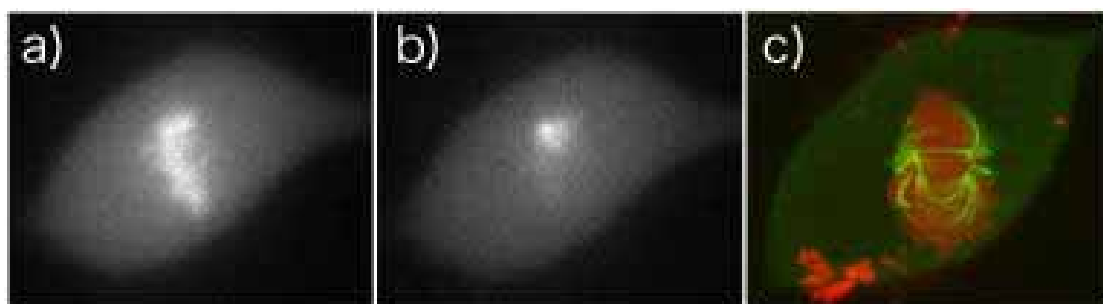


図 59 EGFP で標識した Aurora B の多光子 CALI。(a)培養イヌ腎上皮細胞の細胞分裂中期における Aurora B の分布を示す蛍光像、(b)レーザー照射後の蛍光像、(c)レーザー照射から 30 分経過した細胞内の α チューブリン及び DNA の分布の蛍光観察像。レーザー照射から 30 分後に細胞を固定し、 α チューブリン、及び DNA を免疫染色している。

吸収スペクトルの異なる蛍光タンパク質は、年々その数が増加し、入手可能となってきた。それらの蛍光タンパク質について、2光子励起による分子不活性化が、どのような波長と条件で起こるかを明らかにすることによって、複数の機能分子を高空間・時間分解能で選択的に不活性化するシステムの構築が可能となり、機能分子間の相互作用を生細胞内で解明するための画期的なデバイスを創造できると考える。

2. 細胞内内因性蛋白分子を用いたCALI法の検討

多光子CALIの有効性を示す結果の多くは、元々その蛋白質を有しない培養細胞にEGFPとの融合蛋白質として発現させて得られたものであった。生細胞内での蛋白質の機能解析に広く用いるためには、多光子CALIが元々細胞で発現している内因性蛋白質の機能をも阻害できることが重要となる。そこで、多光子CALIにより内因性蛋白質の機能阻害が可能か否かを検討した。

具体的には、上記の報告と同様に、機能阻害の標的蛋白質として、ギャップ結合細胞間チャンネルを構成するコネキシン蛋白質(Cx)のひとつであるCx43を用いた。ギャップ結合は、隣接する細胞同士のCx 6量体が結合することによって形成される。Cx43-EGFPがCx 6量体の中に何個存在すれば、機能阻害が可能であるかを検討した。内因性蛋白質の機能阻害が可能かを確かめるため、元々ギャップ結合を有しないHeLa細胞に、内因性蛋白質として野生型Cx43を、外因性蛋白質としてCx43-EGFPの発現ベクターの比率を変えて遺伝子導入を行い、多光子CALIによる機能阻害を解析した。その結果、野生型Cx43:Cx43-EGFP=5:1の条件での遺伝子導入すると、Cx43-EGFPを含むギャップ結合プラークが細胞間に観察された

(図60(A), 矢印)。このギャップ結合プラークに対して、850 nm のフェムト秒パルスレーザーで多光子励起すると、EGFPは素早く退色した (図60(B), 矢印)。その直後に、ギャップ結合を通過可能な蛍光色素であるAlexa 594 (分子量 759) を単一細胞 (図60(C), 矢印) に微小注入すると、7/8例で、隣接細胞へのAlexa 594の移行が起らず、ギャップ結合機能が阻害された (図60(C), 星印)。

以上の結果は内因性蛋白質 (野生型Cx43) にEGFPを融合した外因性蛋白質 (Cx43-EGFP) を導入することによってギャップ結合の機能を阻害できることを示しており、多光子CALIにより内因性蛋白質の機能阻害が可能であることを確認できた。

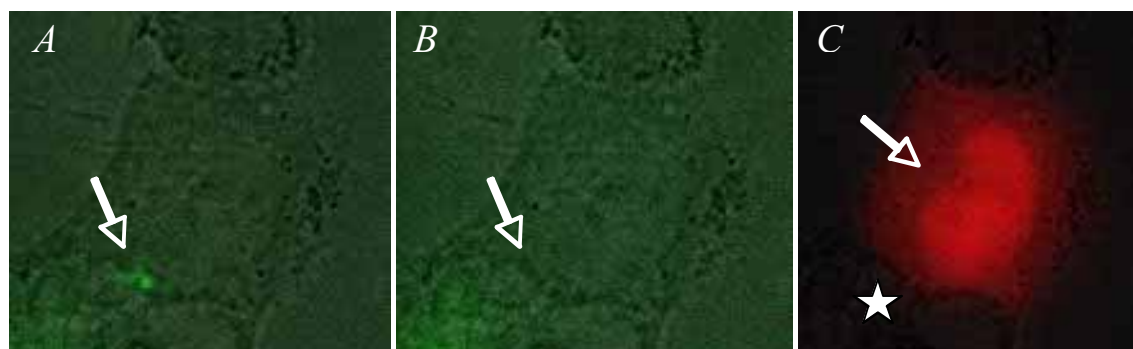


図 60 多光子 CALI による内因性蛋白質の機能阻害。(A) 細胞間に形成された Cx43-EGFP を含むギャップ結合プラークを示す蛍光像 (B) レーザー照射後 (C) 一つの細胞に注入された Alexa594 の分布を示す蛍光像。Alexa594 が隣接細胞へ移行しない。多光子 CALI によってギャップ結合が阻害されたことを示している。

3. レーザー刺激による神経細胞内カルシウムイオン波の誘起

非線形光学効果は複数の光子が同時に作用して得られるため、光強度の高い場合のみに観察される。対物レンズで微小空間に光を集束させると、その焦点部位でのみ非線形光学効果を得ることができる。これを利用すれば、細胞内の特定の部位に非線形光学効果 (多光子吸収) による光吸収を誘起し、レーザー集光点内部を破壊・刺激することが可能になる。我々は、神経細胞 (PC12) に超短パルスレーザー光を照射した際の細胞の挙動を、細胞内カルシウムイオン濃度の空間分布の変化により、観察した。細胞内カルシウムイオン濃度の変化を観察するために、カルシウムイオン濃度変化に応じて発光強度が変化する蛍光分子を細胞内に導入した。図 61 は、神経細胞内に約 8 ミリ秒間波長 780 nm の超短パルスレーザーを集光した結果観察されたカルシウムイオン動態である。レーザー光による細胞

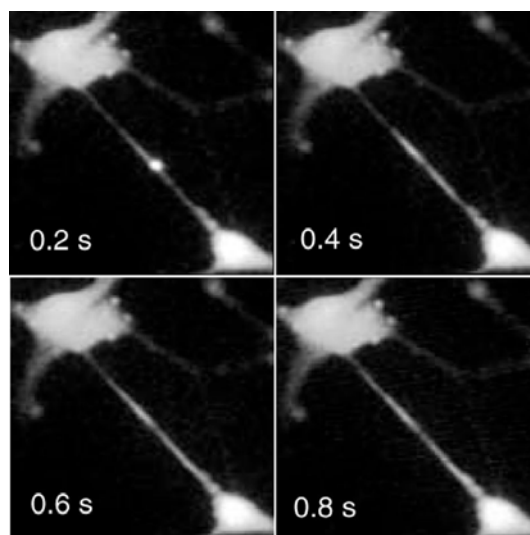
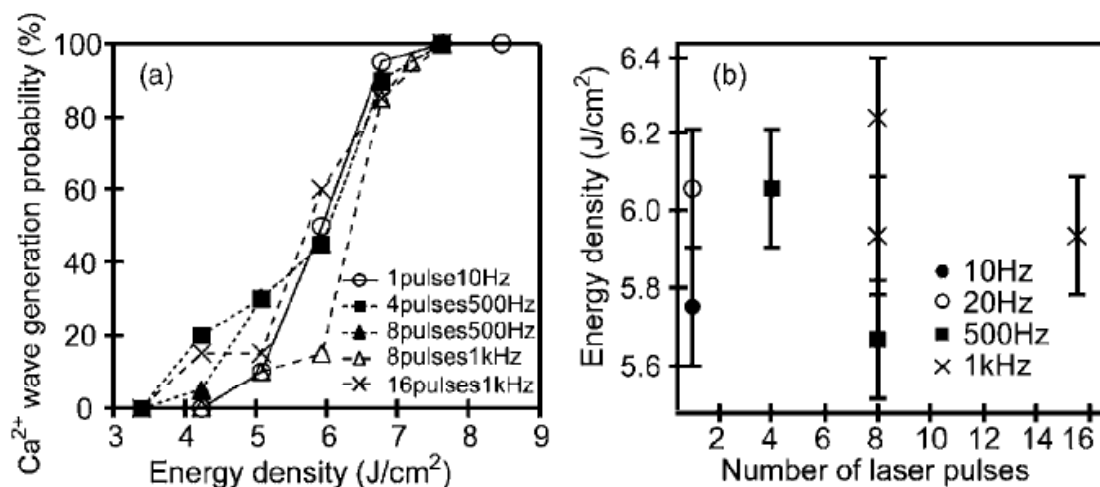


図 61 超短パルスレーザーによる細胞シグナリングの誘起。神経細胞内のカルシウムイオン濃度がレーザー照射部位を機転として上昇している。

内小器官の局所的な破壊がカルシウムイオン濃度を変化させそれが伝搬する様子を観察することに成功した。刺激部位に拘らず、カルシウムイオン波が神経細胞の軸索を伝わって伝搬することを確認した。また、刺激を受けた細胞に隣接して、軸索が接続しているのにも拘らず、カルシウムイオン濃度の上昇が生じる細胞と生じない細胞が存在した。このことは、(1)神経細胞間の情報伝達が、軸索とその末端にあるシナプスを介してのみ行われていること、(2)軸索の情報伝達が一方通行であり、シナプスが情報伝達物質の放出のみを行い、受容することがないという仮説を裏付けている。以上の結果から、非線形光学効果を利用すれば、細胞内の特定の部位において生体を刺激し、生体活動を誘起できることが言える。とくにこの実験により、神経細胞間の情報伝達の機構の解明に役立つことを示すことができた。

4. 単一ピコ秒パルスによる細胞内カルシウムイオン波の誘起

単一の極短パルス光により細胞内を局所的に刺激し、カルシウムイオン波の挙動をはじめて調べた。HeLa細胞（ヒト子宮頸癌細胞）に1.7 psのパルスを集光した。光源にはフェムト秒Ti:Sapphireレーザー励起のピコ秒再生増幅器を用い、波長は775 nmとした。パルス数を1～16個の間で変化させ、発生したカルシウムイオン波を観察した。図？62(a)に、露光時間と繰り返し周波数を調節して、パルス数を変化させたときの、細胞内カルシウムイオン波の発生確率を示す。また、図62(b)には、各パルス数において、カルシウムイオン波を50%の確率で発生するために必要なパルスエネルギー密度をプロットした。図？62(a-b)は、カルシウムイオン波の発生確率や、発生に必要なエネルギー密度が、パルス数にほとんど依存しないことを示している。すなわち、少なくともこのエネルギー密度レベルにおいては、パルス列の一番先頭のパルスのみが細胞内のカルシウムイオン波発生に寄与していることを示唆している。この結果は、カルシウムイオン波がパルス列のトータルのエネルギーにより引き起こされるという従来の仮説に反するものである。単一パルス光



図？62 (a) HeLa 細胞の細胞質にパルスレーザーを集光したときの、細胞内カルシウムイオン波の発生確率。露光時間と繰り返し周波数を調節して、パルス数を変化させた。(b) パルス数1～16個のときの、カルシウムイオン波を50%の確率で発生するために必要なパルスエネルギー密度。

を用いれば、余分な温度上昇やダメージを与えることなく、カルシウムイオン波を発生させることができるため、今後、生命機能観察への応用が広がることが期待される。

(2) 研究成果の今後期待される効果

多光子CALIについての報告は、国際的に注目を集め、一流雑誌の総説に引用されている (Science 312:217, 2006; Nature Methods 3:594, 2006) が、類似の多光子CALIの報告は現在のところ無い。本研究で開発された多光子CALIは、今のところ培養細胞に利用が限られているが、今後は動物の個体レベル、さらに生体への応用へと発展が期待される。さらにそれらの発展は、蛋白質の新しい機能の発見、そして、新たな治療法へ繋がる可能性がある。

4. 1 ナノ分子イメージング研究グループ

(1) 研究内容及び成果

“実施した研究内容及び得られた研究成果の内容を具体的にまとめる。（図、表、写真等を多用して分かりやすい記述とする。）”

(2) 研究成果の今後期待される効果

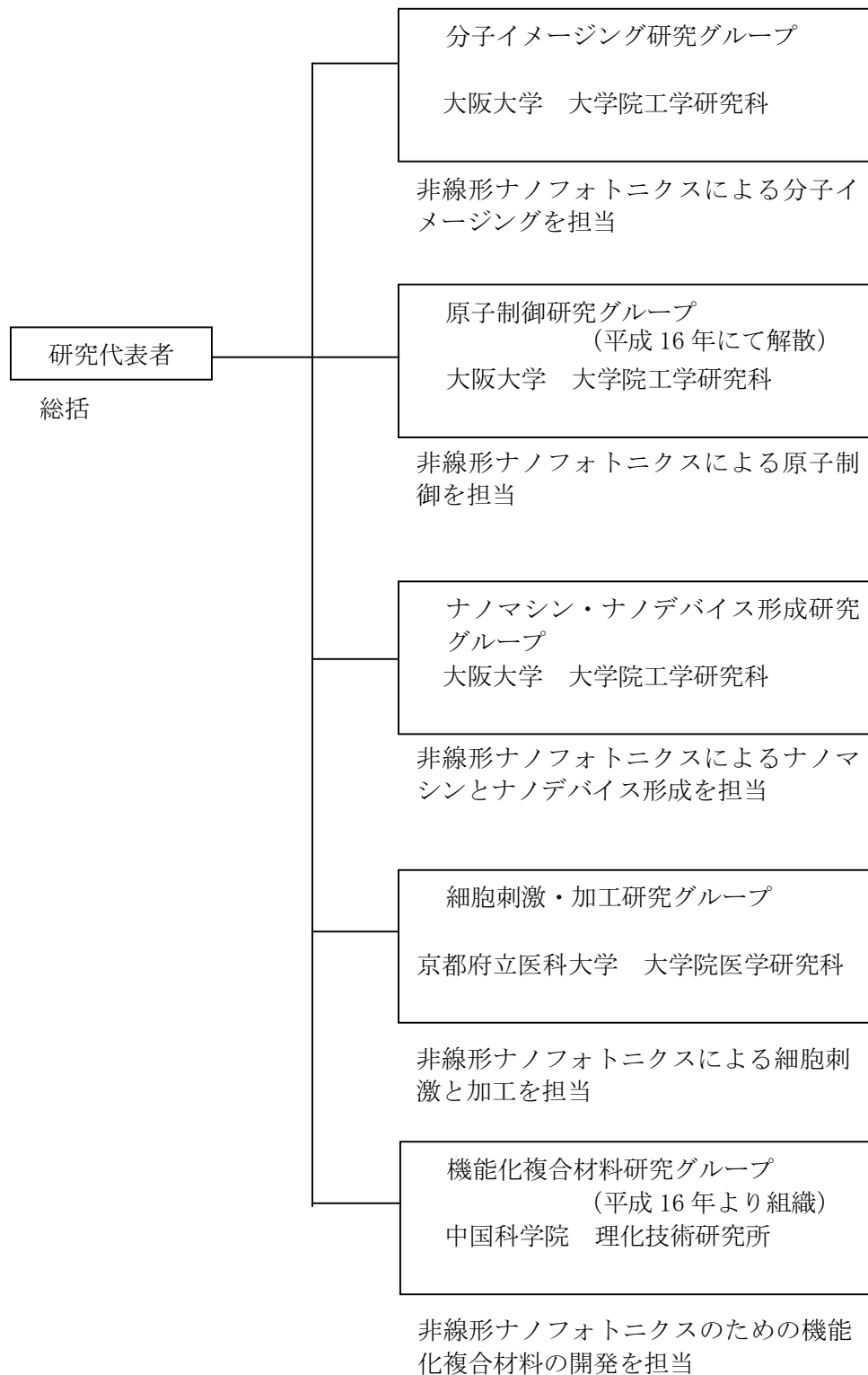
“類似研究の国内外の動向、成果の今後の展開見込、科学技術や社会への考えられる波及効果についても併せて記述する。”

5. 研究実施体制

(1) 体制

研究チームの構成が簡単に分かるように、図で示す。

(研究グループ毎の研究機関は必ず分かるように明記する。)



(2) メンバー表

① 分子イメージング研究グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
河田 聡	大阪大学・工学 研究科/理化学 研究所	教授 /主任研究員	研究の総括	H13, 12～
井上康志	大阪大学・生命 機能研究科	教授	ニアフィールド光学 系の設計	H13, 12～
橋本 守	大阪大学・基礎 工学研究科	助教授	CARS 分光システムの 開発	H13, 12～
岡本隆之	理化学研究所	研究員	金属プローブの最適 化とその検証	H14, 4～
早澤紀彦	理化学研究所	博士研究員	ニアフィールド光学 系の開発	H13, 12～H16, 3 H16, 4～
段 宣明	中国科学院・理 化技術研究所	教授	磁気光学トラップ技 術の開発	H14, 4～H15, 11
SMITH Nick	大阪大学・生命 機能研究科	助手	ナノ生体分子イメー ジング	H13, 12～H15, 7 H15, 7～
庄司 暁	科学技術振興 機構	研究員	ナノデバイスマシン 用材料の評価	H17, 4～
Prabhat Berma	科学技術振興 機構	研究員	半導体ナノ材料、ナ ノカーボンの分光分 析	H18, 4～
Remo Proietti Zaccaria	科学技術振興 機構	研究員	近接場プローブの設 計	H17, 8～
市村垂生	日本学術振興 会	特別研究員	非線形分光イメージ ング	H14, 4～H16, 3 H16, 4～H18, 3
田口 敦清	大阪大学・生命 機能研究科	特任研究員	生体分子イメージン グプローブの評価と 作製	H16, 4～H18, 3
太田泰輔	大阪大学・生命 機能研究科	博士研究員	ニアフィールド光学 系の開発	H14, 4～H15, 3 H16, 4～H17, 3
小野篤史	大阪大学・工学 研究科	博士後期課 程学生	生体分子イメージン グプローブの評価	H15, 4～H18, 3
矢野隆章	大阪大学・工学 研究科	博士後期課 程学生	ラマン分光イメージ ング	H16, 4～H18, 3
松井良太	大阪大学・工学 研究科	博士後期課 程学生	近接場原子分子制御	H16, 4～
Thomas Cameron Rodgers	大阪大学・工学 研究科	博士後期課 程学生	ニアフィールド光学 系の開発	H18, 4～
Almar Palonpon	大阪大学・工学 研究科	博士後期課 程学生	近接場非線形分光イ メージング	H18, 4～
下出 愛	科学技術振興 機構	研究補助員	研究補助	H13, 12～
野村沙千	科学技術振興 機構	研究補助員	研究補助	H14, 4～
山口崇子	科学技術振興 機構	研究補助員	事務業務	H14, 4～

真崎竜弘	大阪大学・工学研究科	博士後期課程学生	生体分子イメージングプローブの作製	H14, 4～H16, 3
------	------------	----------	-------------------	---------------

② 機能化複合材料研究グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
段 宣明	中国科学院・理化技術研究所	教授	研究の総括	H14, 4～H15, 11
陳 偉強	中国科学院・理化技術研究所	助教授	二光子関係材料の分子設計と合成	H15, 11～H16, 10～
董 賢子	中国科学院・理化技術研究所	助手	ミクロン構造の作製と光学特性評価	H16, 4～
孫 正濱	中国科学院・理化技術研究所	博士課程大学院生	ナノ複合機能性材料	H16, 4～
刑 金峰	中国科学院・理化技術研究所	博士課程大学院生	二光子重合用重合開始剤の合成	H16, 9～
亜 琪	中国科学院・理化技術研究所	博士課程大学院生	フォトクロミック材料合成	H16, 9～
谷 杰	中国科学院・理化技術研究所	博士課程大学院生	二光子蛍光プローブ分子の合成	H16, 9～

③ ナノマシン・ナノデバイス形成研究グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
河田 聡	大阪大学・工学研究科/理化学研究所	教授/主任研究員	研究の総括	H13, 12～
SEKKAT Zouheir	大阪大学・工学研究科	教授	機能性分子の設計	H13, 12～
田中拓男	理化学研究所	研究員	光メモリ	H13, 12～H15, 3
加藤純一	理化学研究所	研究員	ナノデバイス・マシンの検討	H15, 4～H14, 4～
城田幸一郎	理化学研究所	研究員	微細構造体作製・評価	H14, 4～
後藤和也	大阪大学・工学研究科	研究員	超微細加工	H13, 12～H14, 3
石飛秀和	大阪大学・工学研究科	博士後期課程学生	機能性分子の設計	H13, 12～H14, 3
庄司 暁	科学技術振興機構	研究員	超微細光造形	H13, 12～H14, 3
高田健治	大阪大学・工学研究科	博士後期課程学生	ナノデバイスマシンの製作	H16, 4～H17, 3
中西紗奈	大阪大学・工学研究科	博士後期課程学生	ナノデバイスマシンの設計・評価	H15, 4～
金子浩司郎	大阪大学・	博士後期課程	ナノデバイスマシン	H14, 4～H17, 3

佐藤理恵子	工学研究科 科学技術振興機構	程学生 研究補助員	の設計 研究補助	H14, 7～H17, 3
-------	-------------------	--------------	-------------	---------------

④ 刺激・加工研究グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
高松 哲郎	京都府立医大	教授	研究の総括	H13, 12～
小山田 正人	京都府立医大	助教授	細胞内カルシウムイオン伝搬	H13, 12～
中村 収	大阪大学・生命機能研究科	教授	多光子イメージング	H13, 12～H17, 1
藤田 克昌	大阪大学・工学研究科	助手	多光子過程による細胞刺激	H13, 12～H14, 3
金子 智行	東京大学・総合文化研究科	助手	細胞間シグナル伝達	H14, 10～
Dai Ping	京都府立医大	助手	細胞膜電位イメージング	H13, 12～
小林 実	日本学術振興会	特別研究員	細胞間シグナル伝達	H14, 8～H16, 3
岩永 茂樹	大阪大学・工学研究科	博士後期課程学生	細胞ナノ刺激	H16, 4～
新岡宏彦	大阪大学・生命機能研究科	博士課程学生	細胞ナノ刺激	H14, 4～H17, 3
藤田晶子	大阪大学・生命機能研究科	博士課程学生	細胞ナノ加工	H17, 4～H18, 3
浜田啓作	大阪大学・生命機能研究科	博士課程学生	細胞ナノ加工	H15, 4～H18, 3
			ラマン分光イメージング	H18, 4～
				H16, 4～H18, 3
				H17, 4～

6. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
15. 11. 10	チーム研究会	千里ライフサイエンスセンタービル6階	13人	平成15年度の研究内容発表
16. 4. 27 ～28	研究チーム主催 シンポジウム	淡路夢舞台国際会議場	57人	非線形ナノフォトニクスに関するワークショップ

17.4.5 ～6	研究チーム主催 シンポジウム	淡路夢舞 台国際会議 場	72人	非線形ナノフォト ニクスに関するワ ークショップ
18.4.4 ～5	研究チーム主催 シンポジウム	淡路夢舞 台国際会議 場	66人	非線形ナノフォト ニクスに関するワ ークショップ
18.7.6 ～8	第3回国際ナノ フォトンクスシ ンポジウム阪大	大 阪 大 学・銀杏会 館	76人	CREST領域横断企 画・徳永史生研究 チームとの共同シ ンポジウム

(2) 招聘した研究者等

氏 名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Booth, Martin J. (オックスフォード大学・研究員)	微細加工技術の高解像度化の共同研究	大阪大学大学院 工学研究科	14.3.26～ 14.4.7
Shao, Jin-Yu (ワシントン大学セントルイス・助教授)	ナノマシンの特性評価に関する共同研究	大阪大学大学院 工学研究科	15.5.13～ 15.6.11
董賢子(Dong Xianzi) (中国科学院・研究院)	機能化複合材料に関する共同研究	大阪大学大学院 工学研究科	17.2.24～ 17.4.27
孫 正濱(Sun Zhengbin) (中国科学院・博士課程)	機能化複合材料に関する共同研究	大阪大学大学院 工学研究科	17.2.24～ 17.4.27
Karsten Konig (Fraunhofer Institute for Biomedical Engineering・教授)	第3回国際ナノフォトンクスシンポジウム阪大での講演	大阪大学大学院 工学研究科	18.7.3～ 18.7.9
Paul J. Campagnola (University of Connecticut Health Center・助教授)	第3回国際ナノフォトンクスシンポジウム阪大での講演	大阪大学大学院 工学研究科	18.7.3～ 18.7.9

7. 主な研究成果物、発表等

(1)論文発表 (国内50件、海外107件)

海外原著論文

1. P. Verma, Y. Inouye, S. Kawata, "Tip-enhanced near-field Raman scattering: Fundamentals and new aspects for molecular nanoanalysis/identification," *Topics in Applied Physics*, 103, 241-260(2006).
2. T.-A. Yano, Y. Inouye, S. Kawata, "Nanoscale uniaxial pressure effect of a carbon nanotube bundle on tip enhanced near-field Raman spectra," *Nano Letters*, 6, 1269-1273(2006)
3. S. Iwanaga, T. Kaneko, K. Fujita, N. Smith, O. Nakamura, T. Takamatsu, S. Kawata, "Location-dependent photogeneration of calcium waves in HeLa cells," *Cell Biochemistry and Biophysics*, 45, 167-176(2006).
4. P. Verma, K. Yamada, Y. Inouye, S. Kawata, "The effect of tip-enhancement in near-field Raman scattering of C60," *Proc. SPIE*, 6106, 61061x(2006).
5. H.-B. Sun, S. Kawata, "Three-dimension micro-nanofabrication with a femtosecond laser," *Proc. SPIE*, 6344, 634416(2006).
6. K. Takada, H.-B. Sun, S. Kawata, "The study on spatial resolution in two-photon induced polymerization," *Proc. SPIE*, 6110, 61000A(2006).
7. Fujita, K. Fujita, O. Nakamura, T. Matsuda, S. Kawata, "Control of cardiomyocyte orientation on a microscaffold fabricated by photopolymerization with laser beam interference," *Journal of Biomedical Optics*, 11, 021015(2006).
8. S. Shoji, R. P. Zaccaria, H.-B. Sun, S. Kawata, "Multi-step multi-beam laser interference patterning of three-dimensional photonic lattices," *Optics Express*, 14, 2309-2316(2006).
9. T.-A. Yano, P. Verma, S. Kawata, Y. Inouye, "Diameter-selective near-field Raman analysis and imaging of isolated carbon nanotube bundles," *Applied Physics Letters*, 88, 093125(2006).
10. P. Verma, K. Yamada, H. Watanabe, Y. Inouye, S. Kawata, "Near-field Raman scattering investigation of tip effects on C60 molecules," *Physical Review B*, 73, 1-6(2006).
11. S. Iwanaga, N. Smith, K. Fujita, S. Kawata, "Slow Ca²⁺ wave stimulation using low repetition rate femtosecond pulsed irradiation," *Optics Express*, 14, 717-725(2006).
12. T. Masaki, Y. Inouye, S. Kawata, "Submicron-resolving infrared absorption spectroscopy and analysis in fingerprint region utilizing a free electron laser," *Chemical Physics Letters*, 417, 410-413(2006).
13. Akiko Masuda, Ushida Kiminori, and Takayuki Okamoto, "New fluorescence correlation spectroscopy (FCS) suitable for the observation of anomalous diffusion in polymer solution: Time and space dependences of diffusion coefficients," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 183, 304-308 (2006)
14. Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Improvement in the reduction of silver ions in aqueous solution using two-photon sensitive dye," *Appl. Phys. Lett.* 89, 113102 (2006)
15. Michael Schwertner, Martin Booth, Takuo Tanaka, Tony Wilson, and Satoshi Kawata, "Spherical Aberration Correction System Using an Adaptive Optics Deformable Mirror," *Optics Communications* 263, 147-151 (2006)
16. Hidekazu Ishitobi, Zouheir Sekkat, and Satoshi Kawata, "Photo-orientation by multiphoton photoselection," *J. Opt. Soc. Am. B* 23, 868-873 (2006)
17. Y. Saito, M. Motohashi, N. Hayazawa, M. Iyoki, and S. Kawata, "Nanoscale characterization of strained silicon by tip-enhanced Raman spectroscopy in reflection mode" *Appl. Phys. Lett.*, 88, 143109 (2006).
18. Florian Formanek, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, Kenta Chiyoda, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata, "Selective electroless plating to fabricate complex three-dimensional metallic micro/nanostructures," *Appl. Phys. Lett.* 88, 083110 (2006).
19. Atsushi Ishikawa, and Takuo Tanaka, "Negative magnetic permeability of split ring resonators in the visible light region" *Opt. Commun.* 258, 300 (2006).
20. K. Inoue, M. Oyamada, S. Mitsufuji, T. Okanoue, and T. Takamatsu, "Different Changes in the Expression of Multiple Kinds of Tight-Junction Proteins during Ischemia Reperfusion Injury of the Rat Ileum." *Acta Histochem. Cytochem.* 39, 35-45 (2006).
21. T. Matsunami, T. Suzuki, Y. Hisa, K. Takata, T. Takamatsu, and M. Oyamada, "Gap junctions

- mediate glucose transport between GLUT1-positive and -negative cells in the spiral limbus of the rat cochlea." *Cell Commun. Adhes.*, 13, 93-102 (2006).
22. Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata, "Subwavelength Optical Imaging through a Metallic Nanorod Array," *Phys. Rev. Lett.* 95, 267407 (2005). (This paper is selected for Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology 13, 2 (2006).)
 23. W.-Q. Chen, Q. Ya, X.-M. Duan, "N-(4-Hydroxyphenyl)acrylamide", *Acta Cryst. E*, 62, o145 (2006).
 24. T. Minamikawa, N. Tanimoto, M. Hashimoto, T. Araki, M. Kobayashi, K. Fujita, S. Kawata, "Jitter reduction of two synchronized picosecond mode-locked lasers using balanced cross-correlator with two-photon detectors," *Appl. Phys. Lett.* (in press)
 25. K. Yoshiki, M. Hashimoto, and T. Araki, "SHG microscopy excited by polarization controlled beam for three-dimensional molecular orientation measurement," *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, vol. 6290, p.62900F(2006).
 26. Zheng-Bin Sun, Wei-Qiang Chen, Xian-Zi Dong, Xuan-Ming Duan, "A Facile Size-control Method of CdS Nanoparticles In-situ Synthesized in Polymer Matrix by Adjusting Ration of Acidic Acid with Metallic Complex in Acrylate Photoresist Resin" *Chemistry Letters*, in press (2006).
 27. F. Jin, C.-F. Li, X.-Z. Dong, W.-Q. Chen, X.-M. Duan, "Laser emission from dye-doped polymer film in opal photonic crystal cavity" *Applied Physics Letters*, in press (2006).
 28. Z.-B. Sun, X.-Z. Dong, S. Nakanishi, W.-Q. Chen, X.-M. Duan, S. Kawata, "Log-pile photonic crystal of CdS-polymer nanocomposites fabricated by combination of two-photon polymerization and in-situ synthesis" *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, in press (2006).
 29. J. Gu, W. Yulan, W.-Q. Chen, X.-Z. Dong, X.-M. Duan, S. Kawata, "Carbazole-based 1D and 2D hemicyanines: synthesis, TPA properties and application for TPP 3D lithography" *New Journal of Chemistry*, in press, published online on Oct. 4 (2006).
 - 26.30. M. Oyamada, Y. Oyamada, and T. Takamatsu, "Regulation of connexin expression," *Biochim. Biophys. Acta –Biomembranes-*, 1719, 6-23 (2005).
 - 27.31. M. Ishii, M. Iwai, Y. Harada, T. Morikawa, T. Okanoue, T. Kishikawa, Y. Tsuchihashi, K. Hanai, and N. Arizono, "A role of mast cells for hepatic fibrosis in primary sclerosing cholangitis," *Hepatol. Res.*, 31, 127-131 (2005).
 - 28.32. T. Mizuno, K. Shiga, Y. Nakata, J. Nagura, T. Nakase, Y. Ueda, Y. Takanashi, K. Urasaki, Y. Oyamada, S. Fushki, J. Nishikawa, M. Yasuhara, K. Nakajima, and J. Nakagawa, "Discrepancy of clinical and pathological diagnosis of CBD and PSP –What is a distinctive border between CBD and PSP?," *J. Neurol.* 252, 687-697 (2005).
 - 29.33. Tanabe T, Oyamada M, Fujita K, Dai P, Tanaka H, Takamatsu T., "Multiphoton excitation-evoked chromophore-assisted laser inactivation using green fluorescent protein." *Nature Methods*, vol.2 pp503-505(2005).
 - 30.34. Tanaka H, Hamamoto T, Takamatsu T., "Toward an integrated understanding of the Purkinje fibers in the heart: The functional and morphological interconnection between the Purkinje fibers and ventricular muscle." *Acta Histochem Cytochem*, vol.38 pp257-265, (2005).
 - 31.35. Hamamoto T, Tanaka H, Mani H, Tanabe T, Fujiwara K, Nakagami T, Horie M, Oyamada M, Takamatsu T. "In situ Ca²⁺ dynamics of Purkinje fibers and its interconnection with subjacent ventricular myocytes." *J Mol Cell Cardiol* vol.38 pp561-569, (2005)
 - 32.36. Ota T, Fukuyama H, Ishihara Y, Tanaka H, Takamatsu T., "In situ fluorescence imaging of organs through compact scanning head for confocal laser microscopy". *J Biomed Opt* vol.10 24010-1-4, (2005).
 - 33.37. Jing Feng, Takayuki Okamoto, and Satoshi Kawata, "Highly directional emission via coupled surface-plasmon tunneling from electroluminescence in organic light-emitting devices," *Appl. Phys. Lett.* 87, 241109 (2005). (This paper is selected for Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology 12, 25 (2005).)
 - 34.38. Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata, "Negative magnetic permeability in the visible light region," *Phys. Rev. Lett.* 95, 237401 (2005).
 - 35.39. Akiko Masuda, Kiminori Ushida, and Takayuki Okamoto, "Direct observation of spatiotemporal dependence of anomalous diffusion in inhomogeneous fluid by sampling-volume-controlled fluorescence correlation spectroscopy," *Phys. Rev. E* 72, 060101 (2005).
 - 36.40. Jing Feng, Takayuki Okamoto, and Satoshi Kawata, "Enhancement of electroluminescence through a two-dimension corrugated metal film via grating-induced surface-plasmon cross coupling," *Opt. Lett.* 30, 2302-2304 (2005).

- 37.41. Akiko Masuda, Kiminori Ushida, and Takayuki Okamoto, "New fluorescence correlation spectroscopy enabling direct observation of spatiotemporal dependence of diffusion constants as an evidence of anomalous transport in extracellular matrices," *Biophys. J.* 88, 3584-3591 (2005).
- 38.42. N. Takeyasu, T. Tanaka and S. Kawata, "Metal deposition deep into microstructures by electroless plating," *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2.* 44, (35)L1134-L1137 (2005).
- 39.43. N. Hayazawa, M. Motohashi, Y. Saito, and S. Kawata, "Highly sensitive strain detection in strained silicon by surface enhanced Raman spectroscopy," *Applied Physics Letters* 86, 263114 (2005).
- 40.44. T. Tanaka and S. Kawata, "Real-time observation of birefringence by laser-scanning surface plasmon resonance microscope," *Optics Express* 13, 6905-6911 (2005).
- 41.45. S. Iwanaga, N. I. Smith, K. Fujita, S. Kawata, and O. Nakamura, "Single-pulse cell stimulation with a near-infrared picosecond laser", *Appl. Phys. Lett.* 87, 243901 (2005).
- 42.46. Y. Saito, N. Hayazawa, H. Kataura, K. Tsukagoshi, T. Murakami, Y. Inouye, and S. Kawata, "Polarization measurements in tip-enhanced Raman spectroscopy applied to single-walled carbon nanotubes," *Chem. Phys. Lett.* 410, 136-141 (2005).
- 43.47. M. Hashimoto, T. Asada, T. Araki, Y. Inouye, and S. Kawata, "Automatic pulse duration control of picosecond laser using two photon absorption detector," *Jpn. J. Appl. Phys.* 44, 3958-3961 (2005).
- 44.48. Y. Saito, T. Murakami, Y. Inouye, and S. Kawata, "Fabrication of silver probes for localized plasmon excitation in near-field Raman spectroscopy," *Chem. Lett.* 34, 920-921 (2005).
- 45.49. M. Kobayashi, K. Fujita, O. Nakamura, S. Kawata, "Time-gated imaging for multifocus second-harmonic generation microscopy," *Rev. Sci. Instru.* 76, 073704 (2005).
- 46.50. Hiroyuki Watanabe, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "DFT vibrational calculations of Rhodamine 6G adsorbed on silver: Analysis of tip-enhanced Raman spectroscopy," *J. Phys. Chem. B* 109, 11, 5012-5020 (2005).
- 47.51. Hong-Bo Sun, Atsushi Nakamura, Koshiro Kaneko, Satoru Shoji, and Satoshi Kawata, "Direct laser writing defects in holographic lithography-created photonic lattices," *Opt. Lett.* 30, 8, 881-883 (2005).
- 48.52. K. Takada, H. -B. Sun, S. Kawata: "Improved spatial resolution and surface roughness in photopolymerization-based laser nanowriting," *Appl. Phys. Lett.* 86, 071122 (2005).
- 49.53. J. Kato, N. Takeyasu, Y. Adachi, H. -B. Sun, and S. Kawata: "Multiple-spot parallel processing for laser micronanofabrication," *Appl. Phys. Lett.* 86, 044102 (2005).
- 50.54. Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Tip-Enhanced Coherent Anti-Stokes Raman Scattering for Vibrational Nanoimaging," *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 92, No. 22, pp. 220801-1 – 220801-4 (2004).
- 51.55. Hiroyuki Watanabe, Yasuhito Ishida, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field Raman analysis of tip-pressurized adenine molecule," *Phys. Rev. B*, Vol. 69, pp. 155418-1-155418-11 (2004).
- 52.56. Norihiko Hayazawa, Taro Ichimura, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Amplification of coherent anti-Stokes Raman scattering by a metallic nano-structure for a high resolution vibration microscopy," *J. Appl. Phys.*, Vol.95, No.5, pp.2676-2681, (March 1, 2004).
- 53.57. Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Application of tip-enhanced microscopy for nonlinear Raman spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, No. 10, pp. 1768-1770 (March 8, 2004).
- 54.58. Takayuki Okamoto, Fekhra H'Dhili, and Satoshi Kawata, "Towards plasmonic bandgap laser," *Appl. Phys. Lett.* (to be published, Vol. 85, No. 19 (2004)).
- 55.59. Tatsuhiro Masaki, Kazuya Goto, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Near-field infrared imaging of molecular changes in cholesteryl oleate by free electron laser infrared ablation," *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 1, pp. 334-338 (January 1, 2004).
- 56.60. Koichiro Shirota, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Two-photon lasing of dye-doped photonic crystal lasers," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, No. 10, pp. 1632-1634 (March 8, 2004).
- 57.61. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Two-photon polymerization of metal ions doped acrylate monomers and oligomers for three-dimensional structure fabrication," *Thin Solid Films*, Vol.453-454, pp.518-521 (April 1, 2004).
- 58.62. Makoto Maeda, Hidekazu Ishitobi, Zouheir Sekkat and Satoshi Kawata, "Polarization storage by nonlinear orientational hole burning in azo dye-containing polymer films," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 85, No. 3, pp. 351-353.(2004).
- 59.63. Hong-Bo Sun, Toru Suwa, Kenji Takada, Moon-Soo Kim, Kwang-Sup Lee and Satoshi

- Kawata, "Fidelitible two-photon laser writing of 3D photonic lattices," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, (2004).
- 60.64. Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Two-photon photopolymerization and 3D lithographic microfabrication," *Adv. Polymer Sci.*, Vol. 84, No. 10, pp. 1632-1634 (March 5, 2004).
 - 61.65. Hidekazu Ishitobi, Yoshifumi Mizuhara, Zouheir Sekkat and Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Polarization sensitivity of a diarylethene molecule observed by waveguide spectroscopy," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.43, No.2, pp.814-816 (February 15, 2004).
 - 62.66. Zouheir Sekkat, "Isomeric orientation by two-photon excitation: a theoretical study," *Opt. Commun.*, Vol. 229, pp. 291-303 (January 2, 2004).
 - 63.67. Satoshi Kawata, Satoru Shoji and Hong-Bo Sun, "Pinpoint writing and interferential patterning of three-dimensional photonic crystals," *IEICE Trans. Elect.*, Vol. 87-C, No. 3, pp. 378-385 (March 2004).
 - 64.68. Guangyong Zhou, Michael James Ventura, Martin Straub, Min Gu, Atsushi Ono, Satoshi Kawata, Xuehua Wang, and Yuri Kivshar, "In-plane and out-of-plane band-gap properties of a two-dimensional triangular polymer-based void channel photonic crystal," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, No. 22, pp. 4415-4417 (May 31, 2004).
 - 65.69. Masanori Fukushima, Hisao Yanagi, Shinji Hayashi, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Microfabrication of gold dots in SiO₂/TiO₂ glass films by two-photon absorption," *Physica E*, Vol. 21, Issue 2-4, pp. 456-459 (March 2004).
 - 66.70. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Microfabrication of two and three dimensional structures by two-photon polymerization," *J. Photopol. Sci. Technol.*, Vol.17, No.3, pp.393-396 (2004).
 - 67.71. H. K. Yang, M. S. Kim, S. W. Kang, K. S. Lee, S. H. Park, D. Y. Yang, H. J. Kong, H. B. Sun, S. Kawata and P. Fleitz, "Recent progress of lithographic micro fabrication by the TPA-induced photopolymerization," *J. Photopol. Sci. Technol.*, Vol. 17, No. 3, pp. 385-392 (2004).
 - 68.72. M. Tormen, L. Businaro, M. Altissimo, F. Romanato, S. Cabrini, F. Perennes, R. Proietti, Hong-Bu Sun, Satoshi Kawata, E. Di Fabrizio, "3D patterning by means of nanoimprinting, X-ray and two-photon lithography," *Microelectron. Eng.*, Vol. 73-74, pp. 535-541, Sp. Iss. SI (June 2004).
 - 69.73. H. Hirakawa, S. Okajima, T. Nagaoka, T. Kubo, T. Takamatsu, M. Oyamada, "Regional differences in blood-nerve barrier function and tight-junction protein expression within the rat dorsal root ganglion," *NeuroReport*, 15,405(2004).
 - 70.74. Satoshi Kawata, Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, and Yasushi Inouye, "Nano-Imaging of Molecules with Plasmonic Nonlinear Raman Scattering," *Imaging & Microscopy*, Vol. 6, pp. 43-45 (March 2004).
 - 71.75. Norihiko Hayazawa, Takaaki Yano, Hiroyuki Watanabe, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Detection of an individual single-wall carbon nanotube by tip-enhanced near-field Raman spectroscopy," *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 376, pp. 174-180 (July 2003).
 - 72.76. Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Local enhancement of coherent anti-Stokes Raman scattering by isolated gold nanoparticles," *J. Raman Spectrosc.*, Vol. 34, No. 9, pp. 651-654 (September 2003).
 - 73.77. Satoshi Kawata and Hong-Bo Sun, "Two-photon photopolymerization as a tool for making micro-devices," *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 208, pp. 153-158 (March 15, 2003).
 - 74.78. Satoru Shoji, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Photofabrication of wood-pile three-dimensional photonic crystal using four-beam laser interference," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 4, pp. 608-610 (July 28, 2003).
 - 75.79. Hong-Bo Sun, Makoto Maeda, Kenji Takada, James W. M. Chon, Min Gu, and Satoshi Kawata, "Experimental investigation of single voxels for laser nanofabrication via two-photon photopolymerization," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 5, pp. 819-821 (August 4, 2003).
 - 76.80. Hong-Bo Sun, Kenji Takada, Moon-Soo Kim, Kwang-Sup Lee, and Satoshi Kawata, "Scaling laws of voxels in two-photon photopolymerization nanofabrication," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 6, pp. 1104-1106 (August 11, 2003).
 - 77.81. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Two-photon photoreduction of metallic nanoparticle gratings in a polymer matrix," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 7, pp. 1426-1428 (August 18, 2003).
 - 78.82. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Submicron diamond-lattice photonic crystals produced by two-photon laser nanofabrication," *Appl. Phys.*

- Lett., Vol. 83, No. 11, pp. 2091-2093 (September 15, 2003).
- 79.83. Hong-Bo Sun, Atsushi Nakamura, Satoru Shoji, Xuan-Ming Duan and Satoshi Kawata, "Three-Dimensional Nanonetwork Assembled in a Photopolymerized Rod Array," *Adv. Mater.* 15 (23), pp. 2011-2014, (December 2003).
 - 80.84. Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Two-Photon Laser Precision Microfabrication and Its Applications to Micro-Nano Devices and Systems," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 21, No. 3, pp. 624-633 (March 2003).
 - 81.85. Taisuke Ota, Satoshi Kawata, Tadao Sugiura, Martin J. Booth, Mark A. A. Neil, Rimas Juskaitis, and Tony Wilson, "Dynamic axial-position control of a laser-trapped particle by wave-front modification," *Opt. Lett.*, Vol. 28, No. 6, pp. 465-467 (March 15, 2003).
 - 82.86. Taisuke Ota, Tadao Sugiura, Satoshi Kawata, Martin J. Booth, Mark A. A. Neil, Rimas Juskaitis, and Tony Wilson, "Enhancement of laser-trapping force by spherical aberration correction using a deformable mirror," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, Part. 2, No. 6B, pp. L701-L703 (June 15, 2003).
 - 83.87. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, and Satoshi Kawata, "Two-photon isomerization and orientation of photoisomers in thin films of polymer," *Opt. Commun.*, Vol. 222, pp. 269-276 (July 1, 2003).
 - 84.88. Eiji Tsujii, Hideo Tanaka, Masahito Oyamada, Katsumasa Fujita, Tetsu Hamamoto, and Tetsuro Takamatsu, "In situ visualization of the intracellular Ca²⁺ dynamics at the border of the acute myocardial infarct," *Mol. Cel. Biochem.*, Vol. 248, No. 1, pp. 135-139 (June 2003).
 - 85.89. Osamu Oshiro, Kentaro Kato, Yoshihiro Yasumuro, Tadao Sugiura, Kunihiro Chihara, and Satoshi Kawata, "An Ultrasound Catheter Using Laser-Induced Breakdown," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, Part 1, No. 5B, pp. 3233-3236 (May 2003).
 - 86.90. S. Iwanaga, N. Smith, K. Fujita, T. Kaneko, M. Oyamada, T. Takamatsu, and S. Kawata, O. Nakamura, "Stimulation of living cells by femtosecond near-infrared laser pulses," *Proc SPIE*, Vol. 4978, pp. 122-128 (2003).
 - 87.91. Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, Zouheir Sekkat, and Satoshi Kawata, "Near-field Raman Imaging of Organic Molecules by an Apertureless Metallic Probe Scanning Optical Microscope," *J. Chem. Phys.*, Vol.117, No.3, pp.1296-1301, (2002).
 - 88.92. Norihiko Hayazawa, Alvarado Tarun, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Near-field enhanced Raman spectroscopy using a side illumination optics," *J. Appl. Phys*, Vol.92, No.12, pp. 6983-6986 (2002).
 - 89.93. Alvarado Tarun, Marlon Rosendo H. Daza, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Apertureless optical near-field fabrication using an atomic force microscope on photoresists," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.80, No.18, pp.3400-3402, (2002).
 - 90.94. Tatsuhiro Masaki, Atsushi Ono, Kazuya Goto, Yasushi Inouye, Satoshi Kawata, and Haruo Kuroda, "Apertured cantilever probes for infrared near-field scanning optical microscopy," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.41, No.1, pp.71-72, Supplement.
 - 91.95. Minoru Kobayashi, Katsumasa Fujita, Tomoyuki Kaneko, Tetsuro Takamatsu, Osamu Nakamura and Satoshi Kawata, "Second-harmonic-generation microscope with a microlens array scanner," *Opt. Lett.*, Vol.27, No.15, pp.1324-1326, (2002).
 - 92.96. Tomokazu Tanaka, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Rapid sub-diffraction-limit laser micro/nanoprocessing in a threshold material system," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.80, No.2, pp.312-314 (2002).
 - 93.97. Satoru Shoji, Satoshi Kawata, Andrey A. Sukhorukov, and Yuri Kivshar, "Self-written waveguides in photopolymerizable resins," *Opt. Lett.*, Vol.27, No.3, pp.185-187, (2002).
 - 94.98. Hong-Bo Sun, Tomokazu Tanaka, and Satoshi Kawata, "Three-dimensional Focal Spots Related to Two-photon Excitation," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.80, No.20, pp.3673-3675, (2002).
 - 95.99. Taisuke Ota, Tadao Sugiura, and Satoshi Kawata, "Surface-force measurement with a laser-trapped microprobe in solution," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.80, No.18, pp.3448-3450, (2002).
 - 96.100. Zouheir Sekkat, Daisuke Yasumatsu, and Satoshi Kawata, "Pure Photoorientation of Azo Dye in Polyurethanes and Quantification of Orientation of Spectrally Overlapping Isomers," *J. Phys. Chem. B*, Vol.106, No.48, pp.12407-12417, (2002).
 - 97.101. Satoshi Kawata and Hong-Bo Sun, "Two-photon photopolymerization of functional micro-devices," *J. Photopolym. Sci. Tec.* Vol 15, No. 3, pp. 471-474 (2002).
 - 98.102. Kazuya Goto, Tetsuya Nakagawa, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Transcutaneous photocoupler for transmission of biological signals," *Opt. Lett.*, Vol.27, No.20, pp.1797-1799, (2002).
 - 99.103. Mark A. A. Neil, Rimas Juskaitis, Martin J. Booth, Tony Wilson, Tomokazu Tanaka, and

- Satoshi Kawata, "Active Aberration Correction for the Writing of Three-dimensional Optical Memory Devices," Appl. Opt., Vol.41, No.7, pp.1374-1379 (2002).
- 100.104. Jose Omar Amistoso, Min Gu, and Satoshi Kawata, "Characterization of a Confocal Microscope Readout System in a Photochromic Polymer under Two-Photon Excitation," Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41, Part.1, No.8, pp.5160-5165, (2002).
- 101.105. Y. Oyamada, W. Zhou, H. Oyamada, T. Takamatsu, M. Oyamada, "Dominant-negative connexin43-EGFP inhibits calcium-transient synchronization of primary neonatal rat cardiomyocytes" Exp. Cell Res. Vol. 273, pp. 85-94 (2002).
- 102.106. Andrey A. Sukhorukov, Satoru Shoji, Yuri Kivshar, and Satoshi Kawata, "Self-written Waveguides in Photosensitive Materials," J. Nonlinear Optical Physics & Materials, Vol.11, No.4, pp.391-407 (2002).
- 103.107. Hiromitsu Furukawa and Satoshi Kawata, "Near-field optical microscope images of a dielectric flat substrate with subwavelength strips," Opt. Commun., Vol.196, pp.93-102 (2001).

国内原著論文（解説論文を含む）

1. 市村垂生, 井上康志, 河田聡, "近接場CARS顕微鏡によるDNA分子イメージング," レーザー研究, Vol. 34, No. 3, pp. 219-223 (2006年3月)
2. 河田聡, "プラズモニク・レーザーの可能性: ナノスケールの金属表面構造から生まれるレーザー," 科学, Vol. 76, No. 5, pp. 474-478 (2006年5月)
3. 河田聡, "レーザー顕微鏡の常識: キーワード集," 光アライアンス, Vol. 17, No. 7, pp. 1-4 (2006年7月)
4. 田中拓男, 河田聡, "メタマテリアルによる新奇物質の創製," 化学工業, Vol. 57, No. 7, pp. 8-13 (2006年7月)
5. 河田聡, "ナノ光学で生体を見る -ナノスケールの分解能をもつ光学顕微鏡の開発と分子イメージング-, " ビオフィリア, Vol. 2, No. 3, pp. 8-13 (2006年9月)
6. 岡本隆之, "プラズモニク・バンドギャップ・デバイス," 化学工業 57, 7, 502-506 (2006)
7. 岡本隆之, "プラズモニクバンドギャップレーザー," レーザー研究 34, 5, 358-362 (2006)
8. 橋本守, 吉木啓介, 荒木勉, "分子の3次元的な無機を観測する偏光分布制御顕微鏡" レーザー加工学会誌, vol.13, 140-143 (2006).
9. Tanaka H, Takamatsu T. Spatiotemporally non-uniform dynamics of intracellular Ca^{2+} in the heart. J Kyoto Pref Univ Med 115(2):53-63, 2006
10. 田邊卓爾, 高松哲郎. 光による機能分子の制御. 日本レーザー医学会誌 26: 333-337, (2006)
11. 河田聡, "細胞を染めずに分子を見分けるCARS顕微鏡," Bionics (2005年2月).
12. 井上康志, 市村垂生, 渡辺裕幸, 河田聡, "チップ増強型近接場ラマン散乱分光によるナノイメージング", 表面科学, Vol.26, No.11, pp. 667-674 (2005年11月).
13. 井上康志, 矢野隆章, 市村垂生, 河田聡, "局在プラズモンをナノ光源とした近接場ナノラマン分光・イメージング", レーザー加工学会誌, Vol.12, No.3, pp.35-40 (2005年7月).
14. 藤田克昌, "第2高調波顕微鏡による生体イメージング," 分光研究, Vol.54, No.1, pp.13-17 (2005).
15. 岡本隆之, "プラズモニク結晶によるルミネッセンス増強" 光アライアンス, vol.16, 15-19 (2005).
16. 岡本隆之, "ナノプラズモニクス" 分光研究, vol.54, 225-237 (2005).
17. 田中拓男, "8. 光応用計測" 光学, vol.34, 187-188 (2005).
18. 橋本守, 浅田崇裕, 荒木勉, "10fsレーザー用自己相関計の製作" 分光研究, vol.54, 32-34 (2005).
19. 田中秀央, 高松哲郎. 心筋細胞のカルシウムハンドリングと不整脈 カレントセラピー 23:231-235 (2005)
20. 小山田正人, 小西英一, 小山田ゆみ子: ギャップ結合と病態発生. 細胞 37: 29-33 (2005)

21. 垣内 孟、勝目 紘、木谷輝夫、谷村伸一、林 英夫、土井邦弘、中川 潤、藤原哲司、安河内秀幸、明石勤之助、余 昌英、宮本 昭、多田 寛、亀山久子、八田 告、佐々木亨、松原弘明、原田義規、小山田正人、高松哲郎. 第25回CPC 急速に進行する心不全症状を合併した維持透析患者の一例. 京都医学会雑誌 52:1-24 (2005)
22. 河田聡, “石鹼の効能,” 表面科学, Vol. 26, No. 11, p. 1 (2005年11月). 井上 康志, 河田 聡, “入門ナノテクノロジー: 総論,” ぶんせき, No. 1, pp. 2-10, (January 2004)
23. 田中 拓男, 河田 聡, “3次元多層ビット記録型光メモリ,” レーザー研究, Vol. 32, No. 1, pp. 11-16 (2004年1月号),
24. 井上 康志, “近接場光と非線形光学,” O plus E, Vol. 26, No. 4, pp. 385-391 (2004年4月号)
25. 河田 聡, 岡本 隆之, “近接場プラズモニクス,” O plus E, Vol. 26, No. 4, pp. 399-405 (2004年4月号)
26. 井上 康志, “今からでも遅くない物理入門,” 細胞工学, Vol. 23, No. 6, pp. 703-707 (2004年6月号)
27. 藤田克昌, “第二高調波顕微鏡,” 光学, Vol. 33, No. 12, pp. 715-717 (2004),
28. 藤田克昌, 中村 収, “今からでも遅くない物理入門(8) 回折と結像: 顕微鏡の分解能,” 細胞工学, Vol. 23, No. 5, pp. 573-579 (2004),
29. 藤田克昌, 中村 収, “非線形光学効果を用いた細胞機能の観察と制御,” オプトロニクス, Vol. 23, No. 2, pp. 107-111 (2004)
30. 河田 聡, “ナノの世界を見る・測る・加工するナノフォトニクス,” OHM, Vol. 90, No. 4, pp. 10-11 (April 2003)
31. 河田 聡, “虚数の光,” 数理科学, Vol. 41, No. 8, pp. 51-55 (August 2003)
32. 河田 聡 “光でつくるミクロの牛,” 週刊ナノテク, No. 1139, pp. 12-13 (November 2003)
33. 河田 聡, 井上 康志, “近接場赤外顕微分光・イメージング,” レーザー研究, Vol. 31, No. 12, pp. 829-834 (December 2003)
34. 井上 康志, “近接場ラマン分光を用いた分子イメージング,” 精密工学会誌, Vol. 69, No. 2, pp. 158-161, (2003).
35. 藤田 克昌, 中村 収, “リアルタイム非線形光学顕微鏡の開発と生物細胞の動的観察,” レーザー研究, Vol. 31, No. 6, pp. 370-374 (June 2003)
36. 藤田 克昌, 河田 聡, 高田 健治, “フェムト秒レーザを用いたナノ構造の観察・制御・加工,” 電子情報通信学会誌, Vol. 86, No. 8, pp. 618-624 (August 2003)
37. 藤田 克昌, “非線形光学効果のレーザー顕微鏡への活用,” 分光研究, Vol. 52, No. 1, pp. 33-34 (2003)
38. 河田 聡 “波長の壁を越える光ナノテクノロジー,” 阪大Now, No. 43, pp. 1-2, (2001).
39. 河田 聡, “近接場光学と表面プラズモンポラリトン,” O plus E, 2002年1月号, pp. 34-41
40. 河田 聡, “ナノフォトニクス,” 機能材料, Vol. 22, No. 1, pp. 35-38, (2002),
41. 河田 聡, “2030年光メモリの予測,” オプトロニクス, No. 241, p. 48, (2002),
42. 河田 聡, 後藤 和也, “医療用マイクロマシンの体外駆動,” O plus E, Vol. 24, No. 3, pp. 307-312 (2002)
43. 中村 収, 岡本 隆之, 田中 哲, 初澤 毅, “光応用計測,” 光学, Vol. 31, No. 4, pp. 37-39, (2002)
44. 河田 聡, “三次元光造形,” 光学, Vol. 31, No. 4, pp. 88-90, (2002).
45. 河田 聡, 井上 康志, “近接場と非線形のナノフォトニクス,” 応用物理, Vol. 71, No. 6, pp. 653-663 (2002)
46. “Two-Photon Absorption Enables Microfabrication,” PHOTONICS, pp. 30-32, (2002).
47. 中村 収, 川田 善正 “細胞機能の光センシング,” 応用物理, Vol. 71, No. 6, pp. 755-756, (2002)
48. 井上 康志, 河田 聡 “金属プローブ先端での局所増強電場による近接場ラマン分光・イメージング,” 分光研究, Vol. 51, No. 6, pp. 276-285 (2002)
49. 井上 康志, 河田 聡 “近接場光学と微細加工への応用,” 光学, Vol. 31, No. 10, pp. 724-731, (2002).
50. 井上 康志, “金属探針先端に生成する局所増強場を用いた近接場ラマンイメージング,” まてりあ, Vol. 41, No. 12, pp. 868-869, (2002).

書籍 (海外)

1. Kenichi Iga and Yasuo Kokubun (Ed.) "Encyclopedic Handbook of Integrated Optics," (CRC Press - Taylor & Francis Group, USA, 2006), S. Kawata, Y. Inouye and H. B. Sun, "Nanophotonics," pp.165-185.
2. Toshiyuki Furukawa (Ed.), "Biological Imaging and Sensing," (Springer-Verlag, 2004), Satoshi Kawata, Osamu Nakamura, Tomoyuki Kaneko, Mamoru Hashimoto, Kazuya Goto, Nicholas I. Smith, Tadao Sugiura, Iwao Fujimasa and Hiroshi Matsumoto, "Biological Imaging and Sensing from Basic Techniques to Clinical Application," pp. 1-67.
3. "Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology," (Marcel Dekker, Inc. 2004), Satoshi Kawata, and Yasushi Inouye, "Near-Field Raman Spectroscopy : Enhancing Spatial Resolution Using Metallic Tips," pp. 2695-2702.
4. "170 Advances in Polymer Science NMR・3D Analysis・Photopolymerization," (Springer, 2004), Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Two-Photon Photopolymerization and 3D Lithographic Microfabrication," pp. 169-273.
5. Hiroshi Masuhara and Satoshi Kawata (Eds.), "Nanophotonics -Integrating photochemistry, Optics and Nano/Bio Materials Studies -," (Elsevier B.V., Amsterdam, 2004) H. Ishitobi, M. Maeda, Z. Sekkat and S. Kawata, "Two-photon isomerization and orientation of photochromic chromophores in polymeric thin films," pp. 71-88.
6. Y. Inouye, N. Hayazawa, P. Verma and S. Kawata, "Near-field nano-Raman spectroscopy for molecular analysis and imaging," pp. 121-138.
7. H.-B. Sun, S. Shoji, X. M. Duan and S. Kawata, "Laser micro-nanofabrication for functional photonic crystals," pp. 275-292.
8. T. Ota, T. Sugiura and S. Kawata, "Pico-newton force-measurement of biomolecular interaction using laser trapping," pp. 359-376.
- 10.9. K. Fujita, N. Smith and O. Nakamura, "Nonlinear optical imaging and stimulation of living cells," pp. 395-410.
10. Lanza R, Gearhart J, Hogan B, Melton D, Pedersen R, Thomson J, West M(eds.) "Handbook of Stem Cells. Volume 1, Embryonic"(Elsevier Academic Press, USA, 2004), M. Oyamada, Y. Oyamada, and T. Takamatsu, "Regulation of gap junction protein genes in differentiating ES cells," pp. 101-109.
11. Heinz W. Siesler, Yukihiro Ozaki, Satoshi Kawata, H. M. Heise (eds.), "Near-Infrared Spectroscopy," (WILEY-VCH, Weinheim, 2002).
12. Satoshi Kawata, Motoichi Ohtsu, and Masahiro Irie (eds.), "Nano-Optics," (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2002).
13. Zouheir Sekkar, Wolfgang Knoll (eds.), and Satoshi Kawata (Co-writer), "Photoreactive Organic Thin Films," (Academic Press, San Diego, 2002)
14. Satoshi Kawata, and Yasushi Inouye, "Handbook of Vibrational Spectroscopy," John M. Chalmers (ed.), (John Wiley & Sons, UK, 2002).
15. S. Kawata ed., "Near-field Optics and Surface Plasmon Polaritons" (Springer-Verlag , Berlin Heidelberg, 2001). S. Kawata, "Near-field microscope proves utilizing surface plasmon polaritons," pp.15-27, Y. Inouye, "Apertureless metallic probes for near-field microscopy," pp.29-48, T. Sugiura, "Laser trapping of a metallic probe for near field microscopy," pp.143-161,
16. H. W. Siesler, Y. Ozaki, S. Kawata and H.M.Heise ed., "Near-Infrared Spectroscopy" (WILEY-VCH, Weinheim, 2001).
17. M. Oyamada, Y. Oyamada, T. Kaneko and T. Takamatsu, (分担執筆) "Regulation of Gap Junction Protein (Connexin) Genes and Function in Differentiating ES Cells" in "Methods in Molecular Biology, Vol.185: Embryonic Stem Cells :Methods and Protocols," Edited by K. Turksen, pp.63-69 (Humana Press Inc., Totawa, NJ, 2001).

書籍（国内）

1. 羽根一博, 梅田倫弘 編著, “光ナノテクノロジー,” (アドスリー, 東京, 2005), 井上康志, “光と金属,” pp. 15-19, “チップ増強近接場ラマン散乱スペクトルに及ぼす力学的効果—銀クラスターモデルによる振動解析の高精度化—,” p. 93-104.
2. 佐藤銀平 著, 河田聡 監修, “〈図解〉ナノテクノロジー—しくみとビジネスが3分でわかる本,” (株式会社技術評論社, 東京, 2005).
3. 河田聡 監修, 今中良一 著, “光ディスクの秘密,” (電波新聞社, 東京, 2005).
4. 高松哲郎 編集, “わかる実験医学シリーズ バイオイメージングがわかる” (羊土社, 東京, 2005) 田邊卓爾、高松哲郎, “多光子CALI法によるタンパク質機能阻害法”
5. 日本組織細胞化学会編集, “組織細胞化学2005” 原田義規、高松哲郎. レーザー顕微鏡の基本. pp51-57
6. ナノテクノロジーハンドブック編集委員会 編, “ナノテクノロジーハンドブック,” (株式会社オーム社, 東京, 2003)
7. 阪大フロンティア研究機構 編, “社会と大学は連携から「融合」へ,” (大阪大学出版会, 大阪, 2003)
8. 河田 聡 編, “光でナノテク・ナノサイエンス,” (株式会社クバプロ, 東京 2003)
9. 河田 聡 編著 “科学計測のためのデータ処理入門” (CQ出版, 2002)
10. 阪大FRC 編, (02-B4) “大学改革とナノテクノロジーの未来,” (大阪大学出版会, 2002)
11. 河田 聡 編著, “光とナノテクノロジー,” (クバプロ, 2002)
12. 辻内 順平, 黒田 和男, 大木 裕史, 河田 聡, 小島 忠, 武田 光夫, 南 節夫, 谷田貝豊彦, 山本 公明 編, “光学技術ハンドブック,” (朝倉書店, 2002),
13. 大津 元一, 河田 聡, 堀 裕和 編著, “ナノ光工学ハンドブック,” (朝倉書店, 2002)
14. 河田 聡, 中村 収 (分担執筆), 応用物理学会 編, “応用物理ハンドブック,” (丸善株式, 2002)
15. 河田 聡 (分担執筆), 市村 國宏 監修, “光機能性有機・高分子材料の新局面,” (シーエムシー出版, 2002)
16. 河田 聡 (分担執筆), 古川 俊之 編著, “先端技術が拓く医工学の未来,” (アドスリー, 2002)
17. 藤田 克昌, 中村 収, 高松 哲郎 (分担執筆), 日本組織細胞化学会 編, “組織細胞化学2002,” (学際企画, 2002)
18. 河田 聡 (分担執筆), (社)高分子学会 編, “微細加工技術 [基礎編],” (エヌ・ティー・エス, 2002)
19. 藤田克昌, 河田 聡 (分担執筆) 川合 知二 監修, “ナノテク活用技術のすべて,” (工業調査会, 2002)
20. 河田 聡 編著 “科学計測のためのデータ処理入門” (CQ出版, 東京, 2001)
21. 河田 聡 編著 “ここまできた光記録技術” (工業調査会, 東京, 2001)

招待講演(国内141件、海外152件)

招待講演 (海外)

1. Satoshi Kawata, "Tip effects in near-field Raman/CARS microscopy," Photonics WEST 2006 (San Jose, January 22, 2006).
2. Satoshi Kawata, "Nonlinear near-field Raman imaging of biomolecules in cells," CPT 2006 9th International Symposium on Contemporary Photonics Technology (Tokyo, January 12, 2006).
3. Satoshi Kawata, "Recent Advances in Two-Photon Photopolymeric Micro/Nano Fabrication," ACS-PMSE (Atlanta, March 26, 2006).
4. Satoshi Kawata, "Metallic-rod array for nano-imaging," Focus on Microscopy 2006 (Perth, April 10, 2006).
5. Satoshi Kawata, "Photopolymerization and metalization for fabricating functional and metamaterials," Spring 2006 MRS Symposium (San Francisco, April 10, 2006).
6. Satoshi Kawata, "Nanophotonics for imaging, manipulating and functionalizing of nanostructures," E-MRS IUMRS ICEM 2006 Spring Meeting (Nice, May 30, 2006).
7. Satoshi Kawata, "Plasmon Laser Structures," Gordon Research Conference, Plasmonics (Keene, July 23-28, 2006).
8. Satoshi Kawata, "Nanorod array as nanolens," Optics & Photonics 2006, SPIE Annual Meeting (San Diego, August 13-17, 2006).
9. Satoshi Kawata and Verma Prabhat, "Near-field Raman Microscopy: A Walk Beyond the Traditions," International Conference of Raman spectroscopy (ICORS2006), (August 20-25, 2006, Yokohama)
10. Satoshi Kawata, "Bio-nano-photonics," Finnish Optical Society 10 years Anniversary, Jubileum seminar (Helsinki, August 24-28, 2006).
11. Satoshi Kawata, "Nano-lens made of metallic nano-rods for subwavelength optical imaging," 9th International conference on near-field optics (NFO-9), p.241, (Lausanne, Switzerland, September, 10-15, 2006)
12. Satoshi Kawata, "Raman, CARS, and near-field Raman-CARS microscopy for cellular and molecular imaging," SPIE, Optical Imaging, (Bethesda, Maryland, USA, September, 25-27, 2006)
13. Prabhat Verma, "Tip-enhanced near-field-Raman scattering and imaging of carbon nanostructures," Optics & Photonics 2006, SPIE Annual Meeting (San Diego, August 13-17, 2006).
14. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, Mamoru Tanbe, and Satoshi Kawata, "Molecular orientation and nanofabrication by two- and multi-photon photoselection," International Conference on Organic Photonics and Electronics 2006 (ICOPE2006) & The 9th International Conference on Organic Nonlinear Optics (ICONO'9) (Brugge, Belgium, September 26, 2006).
15. Satoshi Kawata, "Raman, CARS, and Near-Field Raman-CARS Microscopy for Cellular and Molecular Imaging," SPIE Optical Imaging 2006 (Maryland, USA, September 25, 2006).
16. Satoshi Kawata, and Atsushi Ono, "Nano lens made of metallic nano-rods for subwavelength optical imaging," The 9th International Conference on Near-field Nano Optics & Related Techniques (NFO-9) (Lausanne, Switzerland, September 14, 2006).
17. Takuo Tanaka, "Three-dimensional multi-layered optical storage using rhodamine-B/Au³⁺ doped PMMA," Asia-Pacific Data Storage Conference (APDSC'06) (Hsinchu, Taiwan, August 29, 2006).
18. Satoshi Kawata, "Nanophotonics: a walk beyond the traditions," Finnish Optical Society 10 years Anniversary Seminar (Helsinki, Finland, August 25, 2006).
19. Yuika Saito, Norihiko Hayazawa, Satoshi Kawata, "Polarization properties in near-field Raman spectroscopy," ICORS2006 (International Conference on Raman Spectroscopy) (Yokohama, Japan, August 24, 2006).
20. Norihiko Hayazawa, Yuika Saito, Masahi Motohashi, and Satoshi Kawata, "Nanoscale characterization of localized strain in crystals by tip-enhanced Raman spectroscopy in reflection-mode," International Conference on Raman Spectroscopy (The 20th ICORS) (Yokohama, Japan, August 24, 2006).
21. Satoshi Kawata, "Near-field Raman Microscopy: A Walk Beyond the Traditions," ICORS 2006 (Yokohama, Japan, August 21, 2006).

22. Nobuyuki Takeyasu, Florian Formanek, Kenta Chiyoda, Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa and Satoshi Kawata (RIKEN), "Site-selective metal deposition on 3D micro/nanostructures fabricated by two-photon polymerization," SPIE Optics and Photonics (San Diego, USA, August 17, 2006).
23. Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Three-Dimensional Metallic Micro/Nanostructures Fabricated by Two-Photon-Induced Reduction of Metal Ions," SPIE Optics & Photonics (San Diego, USA, August 17, 2006).
24. Satoshi Kawata (RIKEN), "Nano-Rod Array as a Nano-Lens," SPIE Optics and Photonics 2006 (San Diego, USA, August 14, 2006).
25. Norihiko Hayazawa, Yuika Saito, Masahi Motohashi, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Plasmonic Enhanced Raman Spectroscopy for Nanoscale Characterization of Molecular Vibrations," Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS2006) (Tokyo, Japan, August 4, 2006).
26. Jun-ichi Kato, Atsushi Ono, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Plasmonic Imaging: a Novel Function of Metallic Nanostructures," Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2006-Tokyo (Tokyo, Japan, August 4, 2006).
27. Takayuki Okamoto, Jing Feng, and Satoshi Kawata, "Plasmonic crystals as cathodes of organic light emitting devices," PIERS 2006 in Tokyo (Tokyo, Japan, August 4, 2006).
28. Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Plasmonic metamaterials and its application to novel optical devices in the visible light region," Progress in Electromagnetics Research Symposium 2006 (PIERS 2006) (Tokyo, JAPAN, August 4, 2006).
29. Satoshi Kawata (RIKEN), "Plasmon Laser Structures," 2006 Gordon Research Conference (Keene, NH, USA, July 26, 2006).
30. Satoshi Kawata (RIKEN), "Optical nano-imaging and nano-analysis of materials: Peeping through tip-enhanced Raman scattering," Summer Workshop 2006 on: Nanoanalysis (Zurich, Switzerland, July 10, 2006).
31. Satoshi Kawata (RIKEN), "Nanophotonics for imaging, manipulating and functionalizing of nanostructures," E-MRS IUMRS ICEM 2006 spring Meeting (Nice, France, May 30, 2006).
32. Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Subwavelength Imaging through Metallic Nanorod Array," 2006 MRS Spring Meeting (San Francisco, USA, April 20, 2006).
33. Satoshi Kawata (RIKEN), "Metallic-rod array for nano-imaging," Focus on Microscopy 2006 (Perth, Australia, April 10, 2006).
34. M. Hashimoto, "Far and near field CARS microscopy for biomolecular imaging," 20th International Conference on Raman Spectroscopy(ICORS 2006)(Yokohama, August 20-25, 2006)
35. Xuan-Ming Duan, Masanobu Umemoto, Wei-Qiang Chen, Y.-Y. Cao, Yasushi Inouye, Satoshi Kawata, "Plasmon Absorption of Au/Polymer Nanocomposites: Dependence of Size and Shape" PIERS 2006 in Tokyo (Tokyo, Japan, August 4, 2006).
36. Xuan-Ming Duan, Zheng-Bin Sun, Xi-Ming Xia, Xian-Zi Dong, Wei-Qiang Chen, "Optical Properties of Metal and Metal-semiconductor Hybrid Nanoparticles in Polymer Matrix" PIERS 2005 in Hangzhou (Hangzhou, China, August 25, 2005).
- 35.37. Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field CARS microscopy for molecular nano-imaging," BIOS-Photonics West 2005 (San Jose, January 23, 2005).
- 36.38. Satoshi Kawata, "CARS-SHG microscopy for molecular imaging of living cells," ICOPE2005 & ICONO'8, pp. 31-32 (Matsushima, March 8, 2005).
- 37.39. Satoshi Kawata, "Nonlinear and near-field effects of tip-enhanced Raman microscopy for nano-imaging," ACS National Meeting (March 13, 2005).
- 38.40. Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field CARS microscopy," Focus on Microscopy 2005, p. 12 (Jena, March 21, 2005).
- 39.41. Satoshi Kawata, "Nonlinear and near-field nano-imaging of bio-molecules," ISPN'05 International Symposium on Photonics, Biophotonics and Nanophotonics '05 (Nanjing, May 15, 2005).
- 40.42. Satoshi Kawata, "Plasmonic band gap structures as laser," SPP2 Second Surface Plasmon Photonics Conference (Graz, May 26, 2005).
- 41.43. Satoshi Kawata, "Two-photon photopolymerization for photonic, mechanical and meta-material devices," Optics & Photonics 2005 SPIE 50th Annual Meeting (San Diego, August 4, 2005).
- 42.44. T. Okamoto, F. H'Dhili and S. Kawata, "Lasing from a plasmonic bandgap device", Optics & Photonics 2005 SPIE 50th Annual Meeting (San Diego, August 3, 2005).
- 43.45. Satoshi Kawata, "Near-Field Effects in Tip-Enhanced Raman Microscopy," OSA Annual

- Meeting "Frontiers in Optics 2005, Laser Science XXI," (Tucson, October 18, 2005).
- 44.46. Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field Raman microscopy for molecular imaging," German-Argentine Workshop on Nanoscale Science, (Buenos Aires, November 21/22, 2005).
 - 45.47. Satoshi Kawata, "Nanoscale Manipulation and Mega-Enhancement of Light-Utilizing Surface Plasmons," 2005 MRS Fall Meeting (Boston, November 27, 2005).
 - 46.48. Satoshi Kawata, "Metallic Photon Reservoirs for Nano-imaging and Lasing," 2005 MRS Fall Meeting (Boston, November 29, 2005).
 - 47.49. Yasushi Inouye, "Tip-Enhanced Near Field Raman Spectroscopy for Molecular Nano-Imaging," IQEC/CLEO-PR 2005 International Conference on Quantum Electronics and The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (Tokyo, July, 2005).
 - 48.50. Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Nonlinear and Near Field Effects of Tip-Enhanced Raman Microscopy for Nano-Imaging," STM'05 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (Sapporo, July, 2005).
 - 49.51. Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Near-field Raman spectroscopy and imaging utilizing local plasmons," LPHYS'05 14th International Laser Physics Workshop (Kyoto, July, 2005).
 - 50.52. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, Makoto Maeda and Satoshi Kawata, "Molecular Orientation by Two-Photon Isomerization," ICOPE2005 & ICONO'8, pp. 75-76 (Matsushima, March, 2005).
 - 51.53. Z. Sekkat, H. Ishitobi, M. Maeda and S. Kawata, "Molecular Orientation by Two-Photon Absorption: Towards 3 Dimensional Multiplexed Nano-Data Storage," Nanotech 2005 (Anaheim, May, 2005).
 - 52.54. Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Laser micro-nanofabrication based on two-photon induced photopolymerization," Optics & Photonics 2005 SPIE 50th Annual Meeting (San Diego, July 31, 2005).
 - 53.55. Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Metal Nano-shelled Three-dimensional Photonic Lattices," Progress in Electromagnetics Research Symposium PIERS 2005 (Hangzhou, August 25, 2005).
 - 54.56. Hong-Bo Sun, "Femtosecond Laser Rapid Prototyping and Its Applications to micro-Nanodevices," 2nd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping VARP2005 (Leiria, Portugal, September 28 – October 1, 2005).
 - 55.57. Katsumasa Fujita, "Laser scanning Raman microscopy for observation of living biological cells," The 23rd SPP Physics Congress (Iloilo, October 28, 2005).
 - 56.58. Hidekazu Ishitobi and Zouheir Sekkat, "Molecular orientation by two-photon absorption," Optics & Photonics 2005 SPIE 50th Annual Meeting (San Diego, August 3, 2005).
 - 57.59. Taro Ichimura, Yasushi Inouye, "Nonlinear Raman nano-imaging using plasmons localized at a metallic tip," Optics & Photonics 2005 SPIE 50th Annual Meeting (San Diego, August 3, 2005).
 60. Xuan-Ming Duan, "3D Structure Microfabrication of Polymer Nanocomposites by Two-Photon Process" International Symposium 2004 Materials & Processes for Advanced Microlithography and Nanotechnology (Chiba, Japan, June 22-25, 2004)
 - 58.61. Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near field microscopy for nano-imaging of molecules," International Mini-Symposium on Nano-Photonics (Sendai, March 11, 2004).
 - 59.62. Satoshi Kawata, "Nanophotonics; a new breakthrough science and technology," Frontier in Modern Optics, A Scientific Symposium (Erlangen, March 26, 2004).
 - 60.63. Satoshi Kawata, "Plasmon-enhanced near-field Raman spectroscopy and nano-crystals," The 227th ACS National Meeting (Anaheim, March 29, 2004).
 - 61.64. Satoshi Kawata, "Near-field effects and nonlinear effects for nano-scale molecular imaging and spectroscopy," Symposium 20 Years of Nano-Optics (Basel, April 6, 2004).
 - 62.65. Satoshi Kawata, "Nonlinear nano-photonics," Lecture at Chinese Academy of Sciences (Peking, April 20-22, 2004).
 - 63.66. Satoshi Kawata, "Nano optics beyond the diffraction limit," Japan-Germany Gakushin Symposium (Halle, May 14, 2004).

- 64.67. Satoshi Kawata, "CARS, SHG and multiphoton microscopy for three-dimensional bio-imaging," 8 APEM (8th Asia-Pacific Conference on Electron Microscopy) (Kanazawa, June 7, 2004).
- 65.68. Satoshi Kawata, "Nonlinear-optical near-field vibration spectroscopy for nano-material imaging," Swiss-Japan Nanoscience workshop (Nara, June 23, 2004).
- 66.69. Satoshi Kawata, "Near-field CARS and SHG microscopy," ICO'04, International Commission for Optics (Tokyo, July 14, 2004).
- 67.70. Satoshi Kawata, "Plasmonic probe for nonlinear and near-field Raman nano-imaging," INPS 2004, 2nd International Nanophotonics Symposium Handai (Osaka, July 26, 2004).
- 68.71. Satoshi Kawata, "Plasmonic near-field nano-imaging and spectroscopy," The International Society for Optical Engineering, SPIE's 49th Annual Meeting (Colorado, August 3, 2004).
- 69.72. Satoshi Kawata, "Coherent anti-Stokes Raman spectroscopy for nano-imaging with a metallic near-field probe," The International Society for Optical Engineering, SPIE's 49th Annual Meeting (Colorado, August 6, 2004).
- 70.73. Satoshi Kawata, "Nano-plasmonics: new science for imaging fabrication and functioning," OPTICA L MEMS 2004, International Conference on Optical MEMS and Their Applications (Kagawa, August 23, 2004).
- 71.74. Satoshi Kawata, "Nanophotonics for manipulating nano structures," MOC'04, 10th Microoptics Conference (Jena, September 2, 2004).
- 72.75. Satoshi Kawata, "Near-infrared and Nonlinear Nano Imaging," Lecture at Samsung Advanced Institute of Technology (Suwon, September 30, 2004).
- 73.76. Satoshi Kawata, "Nonlinear near-field Raman spectroscopy for nano-imaging," 5th Japan-France Workshop on Nanomaterials, p.18 (Bordeaux, October 12, 2004).
- 74.77. Satoshi Kawata, "Nonlinear near-field Raman spectroscopy for nano-imaging," Korea-RIKEN Workshop on Nanoscience and Nanotechnology (Hanyang, October 2, 2004).
- 75.78. Satoshi Kawata, "Near field and nonlinear spectroscopy for molecular imaging in nanometer resolution," The First Morocco-Korea Bilateral Symposium on Polymers, Materials and Nano-Technology, pp. 14-15 (Ifrane, November 21, 2004).
- 76.79. Satoshi Kawata, "Near-field and nonlinear nano imaging," Third International Symposium on Single-Molecule Bioanalysis and Nano-biodevice (SMBN 2004)/Fourth International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2004) (Takamatsu, November 25, 2004).
- 77.80. Satoshi Kawata, "Three-dimensional color imaging of unstained cardiomyocytes," VIII International Conference on Optics Within Life Sciences - OWLS8 2004 Biophotonics Down Under (Melbourne, November 30, 2004).
- 78.81. Satoshi Kawata, "Future of nanotechnology: metals and photons," 18th OCS Symposium (Kanagawa, December 10, 2004).
- 79.82. Zouheir Sekkat, "Isomeric Orientation by Two-Photon Excitation: Toward Applications in Nano-Photonics," The First Morocco-Korea Bilateral Symposium on Polymers, Materials and Nano-Technology, pp. 16-17 (Ifrane, November 22, 2004).
- 80.83. Yasushi Inouye, "Near field vibrational spectroscopy for molecular nano-imaging," The First Morocco-Korea Bilateral Symposium on Polymers, Materials and Nano-Technology, p. 59 (Ifrane, November 24, 2004).
- 81.84. Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, Satoru Shoji, and Satoshi Kawata, "Functional Photonic Crystals Created by Pinpoint Laser Nanowriting and Multi-Beam Interference Patterning," 2nd International Conference on Photo-Responsive Organics and Polymers (2nd ICPOP), p. 58 (Busan, February 19, 2004).
- 82.85. K. Fujita, "Cell Observation And Manipulation Using Nonlinear Optical Microscopy," 12th International Congress of Histrochemistry and Cytochemistry (San Diego, July 25, 2004).
- 83.86. Norihiko Hayazawa, Taro Ichimura, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Coherent anti-Stokes Raman nano-imaging with metal-tip field enhancement," The 227th ACS National Meeting (Anaheim, March 31, 2004).
- 84.87. Satoshi Kawata, "Nanophotonics: the breakthrough technology to control nanostructure by photons with near field and nonlinear optics," Osaka University • EU • LMU Forum 2003 on Nanoscience and Nanotechnology in cooperation with CeNS, p.14 (Munich, January 16, 2003).
- 85.88. Satoshi Kawata, "Near-field and nonlinear photonics for fabrication, observation, and manipulation of nanostructures," International Symposium on Nanotechnology for Photonics and Optoelectronics (Tokyo, March 5, 2003).

- 86.89. Satoshi Kawata, "Nanophotonics: The Breakthrough Technology to Control Nanostructure by Photons with Near Field and Nonlinear Optics," Lecture at Risoe National Laboratory (Copenhagen, April 11, 2003).
- 87.90. Satoshi Kawata, Norihiko Hayazawa, and Yasushi Inouye, "Tip-enhanced near-field Raman microscopy for molecular imaging," Focus on Microscopy 2003 (FOM2003) (Genoa, April 13, 2003).
- 88.91. Satoshi Kawata, "Nano-imaging of molecules with tip-enhanced near-field Raman microscopy," The International Nanophotonics Symposium Handai (INPS), pp. 28-29 (Osaka, July 24, 2003).
- 89.92. Satoshi Kawata, "Two-photon micromachining for functional photonic crystals," The International Symposium on Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting (San Diego, August 4, 2003).
- 90.93. Satoshi Kawata, "Plasmon-enhanced Near-field Raman microscopy for molecular imaging and analysis," OIE'03, The 5th Japan-Finnish Joint Symposium on Optics in Engineering (Finland, August 8, 2003).
- 91.94. Satoshi Kawata, "Nearfield infrared and Raman spectroscopy," The 2nd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-2) (Nottingham, August 26, 2003).
- 92.95. Satoshi Kawata, "Near field Raman microscopy for nano-structure imaging and analysis," Trends in Nanotechnology (TNT2003) (Salamanca, September 16, 2003).
- 93.96. Satoshi Kawata, "Multiphoton optics to manipulate micro/nano structures," The 87th OSA Annual Meeting (Optical Society of America) (Tucson, October 6, 2003).
- 94.97. Satoshi Kawata, "Plasmonic near-field Raman imaging of molecules and nanocrystals," Progress in Electromagnetics Research System 2003 (PIERS 2003) (Hawaii, October 14, 2003).
- 95.98. Satoshi Kawata, "Plasmon-polaritonic and multi-photonic engineering for nanostructure manipulation," Japan-France Conference on Molecular Photonics and Biophotonics at Micro and Nano-scale (JFC2003), p. 1 (Awaji Island, October 27, 2003).
- 96.99. Satoshi Kawata, Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Mamoru Hashimoto, "Tip-enhanced near-field CARS microscopy," 7th International Conference on Organic Nonlinear Optics/International Conference on Organic Photonics and Electronics, pp. 66-67 (Sorak, November 7, 2003).
- 97.100. Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field microscopy for nano-imaging of molecules," ACOLS03 (Australasian Conference on Optics, Lasers & Spectroscopy 2003) (Melbourne, December 2, 2003).
- 98.101. Satoshi Kawata, "Nano-imaging of biomolecules with near-field Raman microscope," CLEO/PR2003 (The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics) (Taipei, December 17, 2003).
- 99.102. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, Makoto Maeda, and Satoshi Kawata, "Two-photon Orientation of Photoisomers in Polymers and Its Application for Three-dimensional Orientation Data Storage," Japan-France Conference on Molecular Photonics and Biophotonics at Micro and Nano-scale (JFC2003), p5 (Hyogo, October 27, 2003).
- 100.103. Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Locally-Enhanced Near-Field Raman Spectroscopy for Nano-Scale Chemical Analysis/Imaging," Japan-US Symposium on Tools and Metrology for Nanotechnology, p. 31 (New York, January 23, 2003).
- 101.104. Yasushi Inouye, "Nano-observation and analysis using photons confined at a metallic tip, JSPS COLLOQUIUM ON PHOTONICS, pp. 25-26 (Aulan, June 22, 2003).
- 102.105. Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Tip-Enhanced Near Field Raman Spectroscopy for Nano-Observation and Nano-Analysis of Molecules," APNFO-4, The 4th Asia-Pacific International Conference on Near-Field Optics, pp. 13-14 (October 14, 2003).
- 103.106. Yasushi Inouye, "Near-field vibrational spectroscopy for molecular imaging," nanoSPEC2003, International Workshop on Microspectroscopy of Quantum, Magnetic and Biological Nanostructures, p. F2 (Osaka, October 23, 2003).
- 104.107. Hong-Bo Sun, "Laser nanofabrication for functional photonic crystals," Asia-Pacific Optical and Wireless Communications (APOC 2003) (Wuhan, November 2-6, 2003).
- 105.108. Hong-Bo Sun, "Nanostructuring by self-organization, e-beam lithography, and laser atom cooling," The structure and Physical Properties of Nano-Materials Workshop 2003 (Taipei, December 15-17, 2003).
- 106.109. Hong-Bo Sun, "Femtosecond laser nanofabrication," The structure and Physical Properties of Nano-Materials Workshop 2003 (Taipei, December 15-17, 2003).

- 107.110. Osamu Nakamura and Katsumasa Fujita, "Nonlinear Optical Microscopy for Observation of Living Cells," Japan-France Conference on Molecular Photonics and Biophotonics at Micro and Nano-scale (JFC2003) p26. (Hyogo, October 29, 2003).
- 108.111. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, and Satoshi Kawata, "Two-photon Orientation of Isomers in Films of Polymer," 17th Symposium on Optical and Electrical Properties of Organic Materials, pp.94-97 (Kyoto, June, 2003).
- 109.112. Satoshi Kawata, "Molecular-Vibration Imaging with Infrared and Raman NSOM," PITTCON 2002, (New Orleans, March, 2002).
- 110.113. Satoshi Kawata, "Multifocus Second Harmonic Generation Microscopy for Live Cell Imaging," Focus on Microscopy 2002, p.49, (Taipei, April, 2002).
- 111.114. Satoshi Kawata, "Near-Field and nonlinear photonics for fabrication, observation, and manipulation of nanostructures," 4th International Conference on Photonics, Devices and Systems, p.93 (Prague, May, 2002).
- 112.115. Satoshi Kawata, "Two-Photon Photopolymerization as a Tool for Making Microdevices," E-MRS 2002 Spring Meeting, (Strasbourg, June, 2002)
- 113.116. Satoshi Kawata, "Femtosecond-Laser Nanofabrication," The 9th International Workshop on Femtosecond Technology, (Tsukuba, June, 2002).
- 114.117. Satoshi Kawata, "Two-Photon Photopolymerization of Functional Micro-Devices," The 19th Conference of Photopolymer Science and Technology (CPST-19), (Chiba, June, 2002).
- 115.118. Satoshi Kawata and Hong-Bo Sun, "Two-Photon Absorption for Three-Dimensional Micro-Nanofabrication and Data Storage," SPIE's 47th Annual Meeting, (Seattle, July, 2002).
- 116.119. Satoshi Kawata and Satoru Shoji, "Single and Two-Photon Photopolymerization for Micro-Nano Fabrication," Photonic Crystals Down Under, (Canberra, August, 2002).
- 117.120. Satoshi Kawata, "Single-Photon and Two-Photon Photopolymerization for Micro-Nano Fabrication," OSA Topical Meeting on Nonlinear Guided Waves and Their Applications (NLGW '02), (Stresa, September, 2002).
- 118.121. Satoshi Kawata, "Near-Field Plasmon-Enhanced Spectroscopy to Analyze Nanoscale Structures," EL. B. A-Max Planck Forum 2002, p.27, (Mainz, September, 2002).
- 119.122. Satoshi Kawata "Two-Photon Photopolymerization of Sub-Diffraction-Limit Functional Devices," OSA Annual Meeting, (Orlando, October, 2002).
- 120.123. Satoshi Kawata, "Plasmon-Enhanced Nano-Imaging and Nano-Analysis of Molecular Distribution," Riken-Taiwan Workshop, (Saitama, October, 2002).
- 121.124. Satoshi Kawata, "Plasmon-Polaritonic and Multi-photon Engineering for Nanostructure Manipulation," The Workshop on Optical Storage and Communication (WOSC), (Taipei, October, 2002).
- 122.125. Satoshi Kawata, "Recent Topics in Near Field Optics," Korea-Japan Forum 2002 (KJF 2002), (Sendai, October, 2002).
- 123.126. Satoshi Kawata, "Multi-Layer Rewritable Optical Storage Technology," APOC 2002, Asia-Pacific Optical and Wireless Communications (Shanghai, October, 2002).
- 124.127. Satoshi Kawata, "Nano Raman Spectroscopy by Tip-Enhanced Near-Field Microscope," Japan-Taiwan Symposium on Nanophotonics Technology, pp.37-38, (Osaka, November, 2002).
- 125.128. Satoshi Kawata, "Nanophotonics: The Breakthrough Technology to Control Nanostructure by Photons with Near Field and Nonlinear Optics," 2002 International Microprocess and Nanotechnology Science (MNC 2002), (Tokyo, November, 2002).
- 126.129. Satoshi Kawata, "Tip-Enhanced Near-Field Raman Spectroscopy," The 2nd International Workshop on Nano-Scale Spectroscopy and Nanotechnology, (Tokyo, November, 2002).
- 127.130. Satoshi Kawata and Hong-Bo Sun, "Two-Photon Laser Micro-Nano Fabrication, Understanding from Single-Voxel Level," Material Research Society (MRS) Fall Meeting, (Boston, December, 2002).
- 128.131. Satoshi Kawata, "Nanophotonics to Go beyond the Diffraction Limit," Lecture at Cornell University, December, 2002.
- 129.132. Satoshi Kawata, "Tip-Enhanced Raman Nano-Spectroscopy," International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2002, p.60, (Osaka, December, 2002).
- 130.133. Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Molecular Nanoscopy / Nanospectroscopy Using Locally Enhanced Field at a Metallic tip,"
- 131.134. Hong-Bo Sun "Development of Micro/Nanofabrication Technologies and Their Applications to Photonic Crystals," p.105. Focus on Microscopy 2002, (Kaohsiung, April, 2002).
- 132.135. Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "From Electronic Band Engineering to Photonic Band Engineering : Development of Photonic Crystal Fabrication Technologies for Three-dimensional

- Micro-nano Devices," APOC 2002, Asia-Pacific Optical and Wireless Communications (Shanghai, October, 2002).
- 133.136. S. Kawata, "Surface-enhanced Raman imaging and infrared absorption imaging of molecules with near-field microscope," Symposium on Japan-Taiwan Near-Field Optics, (Tokyo, March, 2001)
 - 134.137. S. Kawata, "Two-photon fabrication on macro/nano structures exceeding the diffraction limit in 3D," Technical Digest of FOM2001, p.52 (Amsterdam, April, 2001)
 - 135.138. S. Kawata, "Nano-photonics to observe, manipulate and fabricate nanostructures by using nonlinear and near-field spectroscopies," 5th RIKEN International Conference - Coherent Control in Matter, p. 20 (Hayama, April, 2001)
 - 136.139. S. Kawata, "Multi-photon microscopy for micro/nano photofabrication, high-density data-storage, and cell imaging/surgery," 5th Mediterranean Workshop and Topical Meeting, NOMA (Nonlinear Organic Materials and Applications)(Italy, May, 2001)
 - 137.140. S. Kawata, "Field-enhanced near-field Raman scattering spectroscopy," Tokyo-2001 (Chiba, May, 2001)
 - 138.141. S. Kawata, "Three-dimensional micro-fabrication with two-photon and single-photon polymerization," CLEO/Pacific Rim 2001, pp. I.298-299 (Chiba, July, 2001)
 - 139.142. S. Kawata, "Near-field optics: probes, theories, and applications," CLEO/Pacific Rim 2001, pp.I.244-245 (Chiba, July, 2001)
 - 140.143. S. Kawata, "Plasmon-enhancing near-field Raman microscopy for nano-imaging," International Forum on Nanotechnology : Toward the Organic Photonics (Chitose, September, 2001)
 - 141.144. S. Kawata, "Near-field and nonlinear spectroscopy for nano-scale optical imaging and manipulation," Japanese-Swiss Seminar on Nanoscience II, (Pontresina, September, 2001)
 - 142.145. S. Kawata, "The latest progress in nanophotonics," 4th Japan-Finland Joint Symposium on OPTICS IN ENGINEERING, pp.1-2 (Osaka, October, 2001)
 - 143.146. S. Kawata "Nanophotonics, Micromachine and MEMS" The Seventh International Micromachin Symposium, pp.79-87 (Tokyo, October, 2001)
 - 144.147. S. Kawata, H-B. Sun, and K. Takada, "Two-photon micro-polymerisation : resolution, function and scaling effects," 3rd Asia-Pacific Conference on Near-field Optics, p.27 (Melbourne, November, 2001)
 - 145.148. S. Kawata "Finer features for functional microdevices" Symposium on Advanced Photonic Science, pp.67 (Sapporo, December, 2001)
 - 146.149. S. Kawata, "Two-photon photopolymerization of functional micro-devices," 6th International Conference on Organic Nonlinear Optics (ICONO'6) (Tucson, December, 2001)
 - 147.150. Nakamura, K. Fujita, T. Kaneko "Microscopic observation surgery, and stimulation of living tissues by multiphoton absorption," World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2001) (Orlando, July, 2001)
 - 148.151. H-B, Sun and S. Kawata "Optical MEMS: Multiphoton Processes for a Near 100-nm Accuracy," Optical MEMS 2001(Okinawa, September, 2001)
 149. 152. Y. Inouye, N. Hayazawa, Z. Sekkat, and S. Kawata, "Near-field Raman and IR absorption spectroscopy for molecular imaging," 221st American Chemical Society National Meeting Abstracts of Papers of the American Chemical Society 221: 168-ANYL, Part 1 (April, 2001)

招待講演 (国内)

1. 河田聡, “ナノとフォトンとバイオの未来：近接場光学とレーザー顕微鏡と分光光学の融合,” 高分子懇談会 (東京, 2006年2月2日)
2. 河田聡, “プラズモニクス：レーザーとナノ・メタルが創る新フォトニクス,” レーザー学会学術講演会第26次大会 (埼玉, 2006年2月9日)
3. 河田聡, “光学測定技術の最先端,” ベンチャーサポート勉強会 (大阪, 2006年2月11日)
4. 河田聡, “レーザー走査近接場／CARS顕微鏡による細胞イメージング,” 21世紀のバイオメディカルフォトニクスー分光イメージング (東京, 2006年3月9日)
5. 河田聡, “ナノ光学による分子イメージングーナノスケールの分解能を持つ光学顕微鏡の開発ー,” JSTナノテクノロジー分野別バーチャルラボ成果報告会 「最前線100人の研究者が語るナノテク・ナノサイエンスのフロンティア」 (東京, 2006年7月15日)
6. 齊藤結花, "Near-field Raman Spectroscopy Applied for Carbon Nanotubes and Nano-

- Composite Materials,” 電気学会 電子材料研究会（東京都，2006年9月22日）。
7. 田中拓男，“プラズモニック・メタマテリアル,” 光産業技術振興協会 第2回光材料・応用技術研究会（東京都，2006年9月8日）。
 8. 田中拓男，“プラズモニック・メタマテリアルとその光学素子への応用,” 理研シンポジウム「電磁メタマテリアル」（埼玉県，2006年9月3日）。
 9. 早澤紀彦、齊藤結花、河田聡，“近接場ラマンにおけるラジアル偏光励起と直線偏光励起,” レーザー顕微鏡研究会第32回講演会（埼玉県，2006年6月28日）。
 10. セカット・ズヘアー、石飛秀和、河田聡，“Molecular Orientation by Two- and Multi-Photon Photoselection,” 日本分光学会 春季講演会・シンポジウム（東京都，2006年5月17日）。
 11. 橋本守，“偏光モード変換による顕微鏡下での分子配向観測” 日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会(OPJ 2006)（東京，2006年11月8-10日）
 12. 橋本守，“コヒーレントアンチストークスラマン散乱顕微鏡” レーザー学会学術講演会第26年年次大会（埼玉，2006年2月9-10日）
 13. Xuan-Ming Duan, Zheng-Bin Sun, Feng Jin, Zhong Xiong, Xian-Zi Dong, Wei-Qiang Chen, “Preparation and Microstructure Fabrication of Luminescence Tunable CdS-Polymer Nanocomposites” 中国化学会第25回学術年次会議（長春，July 11-14, 2006）
 13. 14. 河田聡，“第4分科会「競争力のある企業と産業の創造」をテーマに議論,” 第43回関西財界セミナー「関西・日本、新たな発展へーチャンスとリスクへの果敢な対応へ」（神戸ポートピアホテル，2005年2月4日）。
 14. 15. 河田聡，“フォトンでナノを見る・読む,” ナノハイテクシンポジウム（豊田工業大学，2005年2月4日）。
 15. 16. 河田聡，“【1部】ナノフォトニクスとは,” “【2部】ナノとフォトンとバイオの新時代,” 社会人再教育プログラム講義 ナノフォトニクス総論（大阪大学中之島センター，2005年4月15日）。
 16. 17. 河田聡，“ナノ・ラマン分光イメージング,” エクストリームフォトニクス研究（和光，2005年4月28日）。
 17. 18. 河田聡，“光で創るナノの世界,” 第16回プラスチック成形加工学会年次大会（東京，2005年6月9日）。
 18. 19. 河田聡，“社会における大学の役割,” 神戸MOMO（神戸，2005年6月11日）。
 19. 20. 河田聡，“Nano-plasmonics,” 理研カンファレンス バイオテクノロジーのためのナノフォトニクス（長野県飯縄高原，2005年6月23日）。
 20. 21. 河田聡，“超解像から3次元まで：中村収の卒論と修論と学位論文,” SLM-31 レーザー顕微鏡研究会第31回講演会・ワークショップ，pp. 2-3（埼玉，2005年7月1日）
 21. 22. 河田聡（講演・パネルディスカッション），“日本社会の変容と活力,” 関西社会経済シンポジウム（大阪，2005年9月15日）。
 22. 23. 河田聡，“中村収がめざしていたこと,” 顕微分光部会シンポジウム（大阪，2005年9月28日）
 23. 24. 河田聡，“光をナノの世界で利用する,” 名古屋大学21世紀COE物理化学若手研究会（名古屋大学，2005年11月11日）。
 24. 25. 河田聡，“レーザーを用いた3次元マイクロ／ナノ・スケール立体構造の形成装置” 科学技術振興機構 新技術説明会（東京，2005年12月16日）
 25. 26. 河田聡，“産官学の人材交流の課題と打開策について,” 関西経済同好会（中之島，2005年12月14日）
 26. 27. 井上康志 “中村 収先生が挑まれたフォトニクス技術を用いた生命機能の解明：近赤外分光,” 日本分光学会 顕微分光部会シンポジウム「中村 収教授追悼シンポジウム『超解像・光CTからナノ・バイオフィotonicsへ』」（吹田，2005年9月）
 27. 28. 井上康志 “近接場ナノ振動分光法,” 日本分光学会 赤外ラマン分光部会シンポジウム「振動分光の可能性を探る」（大阪，2005年12月）
 28. 29. 井上康志，河田聡，“ナノバイオフィotonics：ナノフォトニクスによる生命機能の解明を目指して,” 日本光学会 Optics Japan 2005（東京，2005年11月）
 29. 30. 藤田克昌，河田聡，“非線形光学効果を利用したバイオイメージング,” 第66回応用物理学会学術講演会（2005年9月8日，徳島大学）。

30. 31.
31. 32. 高松哲郎： 生命機構を可視化する新しい光学顕微鏡技術. 日本病理学会技術講習会、横浜、2005年4月15日
32. 33. 高松哲郎： レーザ顕微鏡を使いこなすための基本 (II) 光学顕微鏡の基礎と応用 第31回レーザ顕微鏡研究会ワークショップ 埼玉 2005年6月29日
33. 34. 高松哲郎： レーザ顕微鏡の基本. 第30回組織細胞化学講習会. 大阪 2005年8月3日
34. 35. 高松哲郎： 光による細胞機能の可視化. バイオイメーjing学会ライブセルイメージング講習会 つくば 2005年10月11日
35. 36. 高松哲郎： 非線形光学顕微鏡を用いたバイオイメーjing. 日本オプトメカトロニクス協会第3回フォトンテクノロジー技術部会招待講演 東京 2005年11月29日
36. 37. 高松 哲郎： 近赤外超短パルスレーザ顕微鏡. 日本顕微鏡学会ニューマイクロスコープ分科会 平成17年度分科会 横浜 2006年3月9日
37. 38. 高松 哲郎： 近赤外光でみるナノバイオ. 京都発 医・工・薬 産学公連携フォーラム 京都 2006年3月20日
38. 39. 高松哲郎： 光による細胞の刺激と加工-生体への応用を目指して-. 再生医療学会ワークショップ「バイオイメーjing」 大阪、2005年3月1-2日
39. 40. 高松哲郎： 2光子を用いた細胞機能分子の解析. 日本顕微鏡学会ニューマイクロスコープ分科会シンポジウム 東京、2005年3月10日
40. 41. 高松哲郎： 二光子吸収による細胞機能の制御. 日本顕微鏡学会第61回学術講演会シンポジウム つくば、2005年4月15日
41. 42. 高松哲郎： 近赤外超短パルスレーザーを用いた細胞機能分子の解析. 第31回レーザ顕微鏡研究会シンポジウム「ナノバイオイメーjingの世界」-中村 収先生の業績とともに-. 埼玉、2005年7月1日
42. 43. 高松哲郎： 非線形光学顕微鏡による生命機能の解明 第26回日本レーザー医学会シンポジウム「レーザー光の未知の可能性」 東京、2005年9月9日
43. 44. 高松哲郎： 中村先生との出会い：三次元顕微鏡. 日本分光学会 顕微分光部会 中村先生追悼シンポジウム、大阪、2005年9月28日
44. 45. 河田 聡, “異分野先端技術融合による新産業の創出の可能性,” 次世代医療システム産業化フォーラム (大阪, 2月13日 2004)
45. 46. 河田 聡, “ナノテクって何ナノ? ~集まれ!未来の創造者たち!~, ” FRE-大学 ナノテク講座, (香川, 2月14日 2004)
46. 47. 河田 聡, “FRCが描く未来図,” 第4回フロンティア・シンポジウム (大阪, 3月8日 2004)
47. 48. 河田 聡, “プラズモニックフォトニクス,” 日本物理学会 第59回年次大会 (福岡, 3月27日 2004)
48. 49. 河田 聡, “ナノフォトニクスと分光学,” 日本分光学会 春期講演会 (東京, 5月19日 2004),
49. 50. 井上 康志, “局所フォトンで見るナノ世界: 近接場分子イメージング,”
50. 51. 2004年度精密工学会春期大会, シンポジウム資料 pp. 6-9 (2004年3月16-18日, 東京)
51. 52. 井上 康志, “局所フォトンで見るナノ世界: プラズモニクスと分子イメージング,” 第13回MAGDAコンファレンス (仙台) 電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス, 予稿集 TF-2-3, pp. 339-342 (2004年3月27日, 仙台)
52. 53. 浅田崇裕, 橋本守, 荒木勉, 井上康志, 河田聡 “二光子吸収検出器を用いたピコ秒Ti:Sapphire レーザーのパルス長自動最短化調整,” 日本光学会 Optics Japan 2004 pp. 128-129 (大阪, 11月4-5日, 2004)
53. 54. 井上康志, 河田聡, “プラズモニック・ナノラマン分光イメージング,” 日本光学会 Optics Japan 2004, pp. 262-263 (大阪, 11月4-5日, 2004)
54. 55. 井上 康志, “局所プラズモンをナノ光源とした近接場ラマン顕微鏡,” 日本分光学会 顕微分光部会講習会 プラズモニクス-基礎から応用まで, 講習会テキスト pp. 13-18 (2004年12月10日, 東京),

55. 56. 中村 収, 藤田克昌, “フェムト秒レーザーの生体への応用: カルシウムイオン波の誘起とイメージングを中心として,” 近畿分析技術研究懇話会 (2004年3月12日, 大阪)
56. 57. 中村 収, 藤田克昌, “第2高調波顕微鏡による生体の観察技術,” 第43回日本エム・イー学会大会 (2004年5月19日, 金沢石川厚生年金会館).
57. 58. 藤田克昌, “顕微鏡の結像光学,” 21世紀COEプログラム - バイオとナノを融合する新生命科学拠点- 第3回細胞生物学ワークショップ (2004年8月12日, 独立行政法人通信総合研究所 関西先端研究センター)
58. 59. 藤田克昌, “第2高調波を用いたバイオイメージング,” 第13回日本バイオイメージング学会学術集会 (2004年11月6日, 京都府立医科大学)
59. 60. 藤田克昌, “生体のSHGイメージング,” 第22回「最近の分光光学の進歩に関する講演会」平成16年度分光学会関西支部講演会 (2004年11月25日, 大阪, 島津製作所関西支社),
60. 61. 藤田克昌, “多光子顕微鏡の基礎と応用,” 21世紀COEプログラム - バイオとナノを融合する新生命科学拠点- 第4回細胞生物学ワークショップ (2004年11月18日, 北海道大学)
61. 62. 河田 聡, “大学改革とナノテクノロジー,” 関西大学先端科学技術シンポジウム (関西大学100周年記念会館, 1月14日, 2003)
62. 63. 河田 聡, “産業が大学を変える仕組み,” 第17回テクノマート大阪 (大阪産業創造館, 1月21日, 2003)
63. 64. 河田 聡, “ナノフォトニクスと医工学,” 公開研究討論会「生体の計測と制御」 (東京, 1月24日, 2003)
64. 65. 河田 聡, “二光子ナノ光重合,” レーザー学会学術講演会第23回次大会, pp. S 23-S24 (浜松, 1月31日, 2003)
65. 66. 河田 聡, “光とナノテクノロジー,” 第36回光学五学会関西支部連合講演会 - ナノ構造と光 -, pp. 1-16 (大阪, 3月7日, 2003)
66. 67. 河田 聡, “50年前の夢・50年後の夢・・・ロボットとの共生・協働,” アトム誕生祝賀記念講演会 (大阪, 4月7日, 2003),
67. 68. 河田 聡, “大学の社会貢献 - 産業創生への阪大FRCの取り組み -, ” CFA研究分科会 (大阪, 4月23日, 2003),
68. 69. 河田 聡, “応物の今・未来,” 応物40周年記念シンポジウム (大阪, 5月3日, 2003)
69. 70. 河田 聡, “Nano-imaging of molecules using tip-enhanced near-field Raman microscopy,” 第1回理研ナノサイエンスシンポジウム (埼玉, 5月26日, 2003),
70. 71. 河田 聡, “レーザー顕微鏡をつかいこなすための基本,” レーザー顕微鏡研究会第29回講演会 (埼玉県, 7月2日, 2003)
71. 72. 河田 聡, “光でナノ構造を見る、作る,” 2003年 旭硝子財団 研究助成成果発表会 ナノ構造の制御と応用, pp. 35-43 (東京, 7月15日, 2003)
72. 73. 河田 聡, “ナノとバイオとフォトンの時代,” 2003 生物物理若手の会 夏の学校, pp. 17-21 (京都, 8月2日, 2003)
73. 74. 河田 聡, “マルチ・フォトン・エンジニアリング,” ポリマー・コンファレンス (東京, 2003年10月21日, 2003)
74. 75. 河田 聡, “ナラでナノを知る,” International Symposium on Optical Memory 2003 (ISOM' 03) (奈良, 11月3日, 2003).
75. 76. 河田 聡, “写真技術とナノテクノロジー,” 2003年度 日本写真学会秋季大会・研究発表会, pp. 2-3 (京都, 11月11日, 2003)
76. 77. 河田 聡, “見えないものをセンシングする: ナノフォトニクスの魔術,” 東大情報理工第5回シンポジウム センシングと制御の最先端 (東京, 11月11日, 2003)
77. 78. 河田 聡, “イントロダクトリートーク: プラズモニクス、ナノフォトニクスと左手系マテリアル,” 第2回 理研ナノフォトニクスシンポジウム 計測自動制御学会第10回センシングフォトニクス部会講演会 左手系マテリアルとナノフォトニクス (埼玉県, 11月25日, 2003)

- 78.79. 河田 聡, “ナノテクとバイオサイエンスのギャップを埋めるフォトンテクノロジー,” イスラエル バイオテクノロジー&医療機器イベント 2003 (神戸, 12月3日, 2003)
- 79.80. 井上 康志, “近接場ラマン分光による分子アナリシス,” レーザー学会学術講演会第23回次大会, pp. 193-194 (浜松, 1月31日, 2003)
- 80.81. 井上 康志, 河田 聡, “金属プローブ先端での局所増強電場による近接場ラマン分光・イメージング,” ナノプローブテクノロジー第167委員会 第30回研究会資料, pp. 24-33 (神奈川, 4月22日, 2003)
- 81.82. 井上 康志, “近接場ナノ加工・計測,” レーザー学会主催 特別セミナー, pp. N-3-1-N-3-4 (横浜, 4月24日, 2003)
- 82.83. 井上 康志, “チップ増強近接場ラマン分光による分子センシング・イメージング,” 光でナノテク原子操作からデータストレージまで, pp. 43-46 (Tokyo, October 27, 2003)
- 83.84. 中村 収, 井上 康志, “マイクロ/ナノ領域における新しい分光イメージング,” 「液液界面ナノ領域の化学」第5回公開シンポジウム, p. 6 (大阪, 12月3日, 2003),
- 84.85. 中村 収, 藤田 克昌, “生きた細胞の非線形光学イメージング,” 応用物理学会春季講演会シンポジウム (2003年3月27日、横浜)
- 85.86. 藤田 克昌, 中村 収, “非線形光学による超解像,” 光反応・電子用材料研究会 (2003年5月14日, 高分子学会主催, 東京工業大学百年記念館),
- 86.87. 藤田 克昌, “フェムト秒レーザを用いた生体観察,” 第2回集積光デバイス技術研究会 (2003年6月13日, 京都大学ベンチャービジネスラボラトリー)
- 87.88. 藤田 克昌, “第2高調波による生体の観察技術,” 第29回レーザ顕微鏡研究会 (2003年7月1日, 理化学研究所 鈴木梅太郎記念ホール)
- 88.89. 藤田 克昌, “第2高調波による生体の観察技術,” 第29回レーザ顕微鏡研究会, p. 9 (埼玉, 7月1-2日, 2003),
- 89.90. 藤田 克昌, “レーザ顕微鏡の基礎と応用,” 21世紀COEプログラム -バイオとナノを融合する新生命科学拠点- 第1回細胞生物学ワークショップ (2003年8月12日, 独立行政法人通信総合研究所 関西先端研究センター, 神戸),
- 90.91. 河田 聡, 井上 康志, 孫 洪波, 藤田 克昌, 早澤 紀彦, “フェムト秒ナノ造形・ナノ刺激・ナノ観察,” 応用物理学会秋季講演会シンポジウム (2003年8月31日, 福岡大学),
- 91.92. 藤田 克昌, “第2高調波顕微鏡を用いた生体観察,” 第24回日本レーザ医学会総会 (2003年11月15日, 長良川国際会議場)
- 92.93. 藤田 克昌, “多光子顕微鏡の基礎と応用,” 21世紀COEプログラム -バイオとナノを融合する新生命科学拠点- 第2回細胞生物学ワークショップ (2003年11月27日, 北大)
- 93.94. 藤田 克昌, “超短パルスレーザを用いた生体観察,” 第5回光波応用技術研究会 (2003年12月12日, 名城大学),
- 94.95. 藤田 克昌, 中村 収, “フェムト秒レーザがもたらす生体観察・制御技術,” 生体医用光学ブレークスルーフォーラム (2003年12月22日, 財団法人光産業技術振興会 A/B会議室)
- 95.96. 河田 聡 “光科学の最近の進歩・・・分子シンクロナイゼーションとの接点” 新しい材料システム構築のための分子シンクロナイゼーション, pp. 15-19 (京都, 1月, 2002)
- 96.97. 河田 聡, “阪大フロンティア研究機構 (Super COE),” 第7回大阪大学研究懇話会, (大阪, 2月, 2002)
- 97.98. 河田 聡, “ナノフォトンクス研究と大阪大学フロンティア研究機構,” 第4回テラ光情報技術研究会, (大阪, 3月, 2002)
- 98.99. 河田 聡 “日本発の産業を創生するために～産業界から感謝される大学を目指して～” Embedded Technology 2002, (大阪, 3月, 2002)
- 99.100. 河田 聡, “ブレークスルー光技術、ナノフォトンクスが拓く世界,” 特別講演会, (横浜, 3月, 2002)
- 100.101. 河田 聡, “大阪大学大学院工学研究科フロンティア研究機構の発足とその産学連携活動,” 大阪大学と産学技術交流会「ソシオ大阪」, (大阪, 4月, 2002)

- 101.102. 河田 聡, “表面増強プローブによる分子振動イメージング,” 日本分光学会シンポジウム, (東京, 5月2002)
- 102.103. 河田 聡, “顕微鏡学が光メモリを進化させる,” 第28回レーザー顕微鏡研究会 (SLM28), (東京, 7月, 2002)
- 103.104. 河田 聡, “光でナノ構造を制御する,” 第1回基礎工学系、物質科学系合同理研シンポジウム, (埼玉, 7月, 2002)
- 104.105. 河田 聡, “Nanophotonics: The Breakthrough Photon Technology to Manipulate Nano-Structure,” 第9回3次元ナノ・マイクロ構造研究会, (大阪, 8月2002)
- 105.106. 河田 聡, “FRCについて+ナノフォトニクス,” ゴム技術フォーラム, (大阪, 10月, 2002)
- 106.107. 河田 聡, “阪大フロンティア研究機構の挑戦-社会に貢献する大学を目指して,” スケジュール・シンポジウム2002, (大阪, 10月2002),
- 107.108. 河田 聡, “フェムト秒・ナノ光造形とナノフォトニクス,” フォトポリマー懇話会, (東京, 10月2002)
- 108.109. 河田 聡, “光ナノテクノロジーと生物工学,” 創立80周年記念 日本生物工学会大会, p. 23, (大阪, 10月2002)
- 109.110. 河田 聡, “ナノフォトニクス: フォトンによるナノ構造形成技術のブレークスルー,” ナノ・インテリジェント材料/システム国際シンポジウム, pp. 7-8, (東京, 10月, 2002)
- 110.111. 河田 聡, “光でナノ構造を見る、書く、操る,” 第34回大阪大学開放講座 夢と未来, (大阪, 10月, 2002)
- 111.112. 河田 聡, “非線形光学ナノフォトニクスが目指すこと,” Optics Japan 2002, pp. 6-7, (大阪, 11月, 2002)
- 112.113. 河田 聡, “波長の限界を超えた光加工技術,” 2002光反応・電子用材料研究会, (大阪, 11月, 2002)
- 113.114. 河田 聡, “非線形ナノフォトニクス,” 第4回先進レーザー応用技術セミナー, (神奈川, 11月, 2002)
- 114.115. 河田 聡, “光ナノテクノロジーが日本の未来を拓く,” 静岡大学 工学部講演会, (静岡, 12月, 2002)
- 115.116. 河田 聡, “光で拓くナノの世界,” 第17回「大学と科学」公開シンポジウム 光でナノテク・ナノサイエンス, (神戸, 12月, 2002)
- 116.117. 井上 康志, “金属プローブによる近接場光の増強と計測・加工への応用,” 日本機化学会講習会 MEMS関連技術の新展開, (東京, 6月, 2002)
- 117.118. 井上康志 “近接場ラマン分光を用いた分子イメージング” 第63回秋季応用物理学会, p. 8 (新潟, 9月, 2002)
- 118.119. 井上康志, 早澤紀彦, 河田聡 “金属探針先端での表面プラズモンの局在を利用した近接場イメージング” 第63回秋季応用物理学会, p. 70 (新潟, 9月, 2002)
- 119.120. 藤田 克昌, “第2高調波顕微鏡,” 第28回レーザー顕微鏡研究会, (東京, 7月, 2002) .
- 120.121. 河田 聡 “10ミクロンの牡牛の作り方” 大阪大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 第6回公開研究発表会 (大阪, 3月, 2001)
- 121.122. 河田 聡 “ナノフォトニクスによる分子イメージングと光記録・光加工” 第8回シンポジウム「原子・分子レベルで制御した材料創製とキャラクタリゼーション」 (大阪, 4月, 2001)
- 122.123. 岡本 憲二, 河田 聡, “近接場の光放射圧による微粒子捕捉の解析,” 平成13年電気学会全国大会, 講演論文集, pp. 523-526, (名古屋, 3月, 2001).
- 123.124. 河田 聡 “これからの光記録技術” 応用物理学会結晶工学分科会 (大阪, 6月, 2001)
- 124.125. 河田 聡 “光エレクトロニクスへの期待” 波動光学研究会 (東京, 8月, 2001)
- 125.126. 河田 聡 “2光子光重合によるマイクロ/ナノ構造形成” 第50回高分子討論会 (東京, 8月, 2001)
- 126.127. 河田 聡 “顕微鏡の基礎の基礎” 第27回レーザー顕微鏡研究会 (大阪, 10月, 2001)

- 01)
127. 128. 河田 聡 “レーザーによる細胞操作” 生産技術振興協会シンポジウム (大阪, 10月, 2001)
 128. 129. 河田 聡 “光が拓くナノの世界” 第16回「大学と科学」公開シンポジウム, pp. 8-11 (東京, 11月, 2001)
 129. 130. 河田 聡 “3次元多層メモリ技術” 第3回 次世代光メモリシンポジウム (東京, 11月, 2001)
 130. 131. 河田 聡、井上康志 “分子振動を直接見るニアフィールド顕微鏡” 大阪大学蛋白質研究所セミナー (大阪, 12月, 2001)
 131. 132. 中村 収 “生体を超短パルスレーザーで測る” 光学5学会, pp. 12-17 (大阪, 2月, 2001)
 132. 133. 中村 収 “フェムト秒レーザーによる多光子刺激と加工” 公開シンポジウム「ナノ工学応用に向けたレーザーと有機物質の相互作用」 (大阪, 2月, 2001)
 133. 134. 中村 収 “多光子顕微鏡の3次元光学” 第2回光波シンセシス研究会, pp. 14-20 (東京, 3月, 2001)
 134. 135. 中村 収 “集光フェムト秒レーザーが開く新しい顕微鏡技術: ミクロからナノへ、細胞から臓器へ、観察から加工へ” シンポジウム「集光フェムト秒レーザーが創る21世紀のナノフォトニクス」 (東京, 5月, 2001)
 135. 136. 中村 収 “細胞内情報伝達のナノ刺激とナノ観察” 第16回「大学と科学」公開シンポジウム pp. 38-40 (東京, 11月, 2001)
 136. 137. 井上康志, 河田 聡 “金属探針先端における電場増強効果と近接場光学” 電子情報通信学会総合大会, SC-1-4 (草津, 3月, 2001)
 137. 138. 井上康志, 早澤紀彦, SEKKAT Zouheir, 河田 聡 “ナノ構造体評価のための近接場振動スペクトロスコピー” 日本機械学会 関東支部第7期講演会 (小金井, 3月, 2001)
 138. 139. 井上 康志, 河田 聡 “近接場振動分光法による分子イメージング” 赤外ラマン研究会 (つくば, 3月, 2001)
 139. 140. 井上 康志 “分子を見る近接場ラマン分光法” 第4回超高密度光記録と関連技術に関する研究会 (つくば, 3月, 2001)
 140. 141. 井上康志, 早澤紀彦, セカットズヘアー, 河田 聡 “分子を観る顕微鏡 - 近接場振動分光イメージング” 第10回近接場光学研究グループ研究討論会, pp. 138-142 (吹田, 6月, 2001)

国際学会

CPT 2006 9th International Symposium on Contemporary Photonics Technology (Tokyo, January 11-13, 2006)

1. Jun-Feng Song, R. Proietti Zaccaria, S. Kawata and Hong-Bo Sun, "2D photonic metallic lattices described by Drude-Lorentz model."
2. Remo Proietti Zaccaria, Jun-Feng Song, Satoru Shoji, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Photonic bands of 2D metal-polymer photonic lattices."
3. SPIE Photonics West, BiOS (Biomedical Optics), (January 21-26, 2006, San Jose, USA)
4. K. Fujita, K. Hamada, M. Kobayashi, M. Roy, S. Kawata. "Slit-scanning confocal Raman microscopy for observation of living cells,"
5. T. Ichimura, Y. Inouye, S. Kawata. "Near-field Raman nano-imaging and analysis of DNA molecules,"
6. Verma, K. Yamada, Y. Inouye, and S. Kawata. "The effect of tip-enhancement in near-field Raman scattering of C-60P."
7. T. Yano, Y. Inouye, and S. Kawata. "Nanoscale vibrational analysis of carbon nanotubes using near-field Raman spectroscopy,"
8. S. Iwanaga, N.I. Smith, K. Fujita, S. Kawata, O. Nakamura. "Location dependence for cell stimulation using a near-infrared femtosecond laser,"
9. K. Takada, H.B. Sun, S. Kawata, "The study on spatial resolution in two-photon induced polymerization,"

The 3rd International Nanophotonics Symposium Handai (INPS3), (Osaka, Japan, July 6-8, 2006)

10. T. Yano, Y. Inouye, and S. Kawata, "Tip-pressurized near-field Raman spectroscopy: uniaxially-deformed carbon nanotubes",
11. K. Fujita, K. Hamada, M. Kobayashi, S. Kawata, "Observation of living cells by using slit-confocal Raman microscopy"
12. S. Nakanishi and S. Kawata, "Evaluating the mechanical property of photopolymer nano-springs by laser trapping force,"
13. A. Fujita, K. Fujita, O. Nakamura, T. Matsuda, S. Kawata, "Photofabrication of microscavolds for cell manipulation,"
14. T. Ichimura, S. Kawata, Y. Inouye, "Single molecule behavior of tip enhanced Raman spectra,"
15. R. Matsui, T. Ichimura, P. Verma, S. Kawata, Y. Inouye, "Nano-scale crystalline analysis of GaN with metal-tip enhanced Raman spectroscopy,"
16. S. Kawano, K. Fujita, M. Kobayashi, S. Kawata, "High-resolution confocal microscopy by using satulated excitation of fluorescence,"
17. R. P. Zaccaria, S. Shoji, J.-F. Song, H.-B. Sun, S. Kawata, "Photonic bands of 2D metal-polymer photonic lattices,"
18. S. Shoji, R. P. Zaccaria, H.-B. Sun, S. Kawata, "Multi-step multi-beam laser interference patterning of three-dimensional lattice polymer structures,"

Gordon Research Conference, Plasmonics (Keene, NH, USA, July 23-28, 2006).

19. Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Subwavelength optical imaging by plasmonic nanorod array,"
20. Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Magnetic Metamaterials in the Optical Frequency Region,"

Laser Physics Workshops (LPHYS'06), (July24-28, 2006, Lausanne, Switzerland)

21. N.I. Smith, S. Iwanaga, K. Fujita, and S. Kawata, "Laser induced Ca^{2+} elevation and oscillation in cardiac cells,"

International Conference of Raman spectroscopy (ICORS2006), (August 20-25, 2006, Yokohama)

22. T. Minamikawa, N. Tanimoto, M. Hashimoto, M. Kobayashi, K. Fujita, S. Kawata, and T. Araki, "Jitter reduction of light source for CARS microscopy,"
23. P. Verma, T.-A. Yano, Y. Inouye, and S. Kawata, "Tip-enhanced Raman scattering from carbon nanostructures,"
24. H. Watanabe, Y. Inouye, and S. Kawata, "Mechanical Effect of Tip-enhanced Near-field Raman Spectroscopy: Vibrational Analysis using a Silver-cluster Model,"
25. T.-A. Yano, Y. Inouye, and S. Kawata, "Nanoscale pressure effects on tip-enhanced Raman

- scattering of carbon nanotubes,”
26. T. Ichimura, Y. Morita, H. Watanabe, S. Kawata, and Y. Inouye, “Time variation of tip enhanced Raman spectra,”
 27. Y. Saito, N. Hayazawa, and S. Kawata, “Polarization Properties in Near-field Raman Spectroscopy,”
 28. N. Hayazawa, Y. Saito, M. Motohashi, and S. Kawata, “Nanoscale characterization of localized strain in crystals by tip-enhanced Raman spectroscopy in reflection-mode,”

9th International conference on near-field optics (NFO-9), (September, 10-15, 2006, Lausanne, Switzerland)

29. T.Okamoto, J.Feng, J.Simonen, and S.Kawata, “Plasmonic bandgap emission devices,” p.5.
30. T. Yano, Y.Inouye, and S. Kawata, “Tip-force effects on near-field Raman scattering of carbon nanotubes,” p.119.
31. Y. Inouye, T. Ichimura, T. Suwa, and S. Kawata, “Detection and indentification of sub hundred DNA base molecules by tip enhanced Raman spectroscopy, ” p.128.
32. Kazuma, Tsuboi, Takayuki Okamoto, and Kotaro Kajikawa, "Second harmonic generation from plasmonic,"
33. Takayuki Okamoto, Jing Feng, Janne Simonen, and Satoshi Kawata, "Plasmonic bandgap emission devices,"
34. Yuika Saito, Masashi Motohashi, Norihiko Hayazawa, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Tip-Enhanced Raman Spectroscopy Applied to Semiconductor Surfaces ,"
35. Norihiko Hayazawa, Hiroyuki Watanabe, Yuika Saito, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Polarization control of tip-enhanced Raman spectroscopy: Towards atomic site selective sensitivity,"

232nd American Chemical Society National Meeting & Exposition (San Francisco, USA, September 14, 2006).

36. Nobuyuki Takeyasu, Florian Formanek, Takuo Tanaka, Atsushi Ishikawa, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Site-Selective Metal Deposition on Polymer Microstructures for Metal/Polymer Composite Materials,"

SPIE Optics & Photonics 2006 (San Diego, USA, August 17, 2006).

37. Florian Formanek, Nobuyuki Takeyasu, Takuo Tanaka, Kenta Chiyoda, Atsushi Ishikawa and Satoshi Kawata (RIKEN), "Three-dimensional fabrication of metallic micro/nanostructures by two-photon polymerization for metamaterials,"
38. Norihiko Hayazawa, Yuika Saito, Masahi Motohashi, Masato Iyoki, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Nanoscale characterization of localized strain in crystals by tip-enhanced Raman spectroscopy in reflection-mode,"
39. Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Subwavelength Optical Imaging by Plasmonic Nanorod Array,"
40. Atsushi Ishikawa, Takuo Tanaka, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Frequency dependence of the magnetic response of split-ring resonators,"

PIERS2006-Tokyo (Tokyo, Japan, August 4, 2006).

41. Atsushi Ono, Jun-ichi Kato, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Plasmonic Nanorod Array for Optical Nanoimaging,"

2006 Photonic Metamaterials: From Random to Periodic (Grand Island, The Bahamas, June 6, 2006).

42. Jun-ichi Kato, Atsushi Ono, and Satoshi Kawata (RIKEN), "Near-field image transfer through a plasmonic nanorod-array,"

21th International Liquid Crystal Conference (Keystone, USA, July 3, 2006).

43. Koichiro Shirota and Satoshi Kawata (RIKEN), "Single- and two-photon lasing properties of dye-doped chiral nematic liquid crystals,"

International Symposium on Frontier of Organic Photonics (Sendai, Japan, March 1-2, 2006).

44. Xuan-Ming Duan, Zheng-Bin Sun, Wei-Qiang Chen, Xian-Zi Dong, Satoshi Kawata, “CdS Nanoparticles/Polymer Composites and Their Laser Microfabrication” International Symposium on Frontier of Organic Photonics (Sendai, Japan, March 1-2, 2006).

Photonics West 2005 (San Jose, January 22-27, 2005)

44. 45. N. I. Smith, S. Iwanaga, T. Beppu, K. Fujita, O. Nakamura and S. Kawata, "Femtosecond laser-induced calcium release in neural-type cells"

International Conference on Organic Photonics and Electronics 2005 & 8th International Conference on Organic Nonlinear Optics (ICOPE2005/ICONO'8) (Matsushima, March 7-11, 2005)

45. 46. Xuan-Ming Duan, Zheng-Bin Sun, Xi-Ming Xia, Xian-Zi Dong, Satoru Shoji, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Two and Three-Dimensional Microfabrication of Polymer Nanocomposite by Laser Lithography," pp.5-6.
46. 47. Jie Gu, Ya Qi, Wei-Qiang Chen and Xuan-Ming Duan, "Ionic Chromophores with Carbazole Moiety for Nonlinear Optics," pp. 153-154.
47. 48. Zheng-Bin Sun, Xian-Zi Dong, Xuan-Ming Duan, Satoru Shoji, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Synthesis, Properties and Microfabrication of Polymer/CdS Nanocomposites by Laser Interference Technique," pp. 251-252.

Focus on Microscopy 2005 (Jena, March 20-23, 2005)

48. 49. Nobuyuki Takeyasu, Jun-ichi Kato and Satoshi Kawata, "Multiple-spot parallel processing for laser micromanufacturing," p. 111.
49. 50. Takuo Tanaka and Satoshi Kawata, "Real-time observation of birefringence by laser scanning surface plasmon microscope," p. 157.
50. 51. Tanabe T and Takamatsu T: "Multiphoton excitation-evoked chromophore-assisted laser inactivation using green fluorescent protein."

SPP2 (Second Surface Plasmon Photonics Conference) (Graz, May 21-26, 2005)

51. 52. J. Feng, T. Okamoto and S. Kawata, "Electroluminescence through Two-Dimensional Corrugated Metal Cathode of Organic Light-Emitting Devices via Surface Plasmon Cross Coupling," p. 106.
52. 53. Y. Inouye, H. Watanabe and S. Kawata, "Perturbative Force Effect on Raman Scattering Induced by Local Plasmon at a Metallic Nano-Tip," p. 109.
53. 54. F. H'hili, T. Okamoto, J. Simonen and S. Kawata, "Investigation of Surface Plasmon Polariton Bandgap Structures for Lasing," p. 118.

14th International Laser Physics Workshop (LPHYS'05), (Kyoto, July 4-8, 2005).

54. 55. J. Simonen, T. Okamoto, F. H'hili, J. Feng, and S. Kawata, "Plasmonic nanostructures for lasing applications."
55. 56. K. Shirota, H. -B. Sun and S. Kawata, "Single- and two-photon pumped lasing from a self-organized photonic bandgap structure in dye-doped chiral liquid crystals."
56. 57. N. Smith, S. Iwanaga, K. Fujita, O. Nakamura and S. Kawata, "Laser-mediated control of cell processes."

International Quantum Electronics Conference 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics 2005 (IQEC/CLEO-PR 2005), (Tokyo, July, 2005)

57. 58. Taka-aki Yano, Yasushi Inouye, Satoshi Kawata, "Tip-Enhanced Near Field Raman Analysis and Imaging of Carbon Nanotubes."

Optics & Photonics 2005 (SPIE 50th Annual Meeting) (San Diego, August 3-4, 2005)

58. 59. A. Ishikawa, T. Tanaka and S. Kawata, "Negative magnetic permeability of split ring resonator in the optical frequency region," Proceeding Vol. 5927, 5927-50.
59. 60. N. Hayazawa, Y. Saito, T. Murakami, Y. Inouye and S. Kawata, "Polarization dependent tip-enhanced Raman spectroscopy for nanoscale analysis of molecular vibrations."

China-Japan Joint Symposium on Nano and Nonlinear (Beijing, September 12-14, 2005)

60. 61. Satoshi Kawata, "Metallic Photon Reservoirs for Nano-imaging and Lasing."
61. 62. Zouheir Sekkat, "Photo-Orientation by Two- and Multi-Photon Photoselection."
62. 63. Prabhat Verma, "Tip-effects on tip-enhanced near-field Raman scattering from C60."
63. 64. Hong-Bo Sun, "Nanofabrication with Femtosecond Lasers."
64. 65. Katsumasa Fujita, "Laser Scanning Raman Microscopy for Biological Cell Imaging."
65. 66. Nicholas Smith, "Optical Interactions with Cells and Organelle-Dependent Cell Stimulation using a Near-Infrared Femtosecond Laser."

66. 67. W. -Q. Chen, J. Gu, X. -Z. Dong, X. -M. Duan and S. Kawata, "Absorption Properties of Charged Carbazole-Based Chromophores and Application in Micro-Fabrication."

The 5th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO5), (Niigata, November, 2005)

67. 68. Taka-aki Yano, Yasushi Inouye, Satoshi Kawata, "Diameter-selective near field Raman imaging of carbon nanotubes."

International Society of Cancer Prevention Symposium, (Kyoto, May 21, 2005)

68. 69. Takamatsu T "In Situ Visualization and Manipulation of Functional Molecules by Nonlinear Optical Microscopy."

Gap Junction Conference 2005, Whistler, (August 13-18, 2005)

69. 70. Suzuki T, Matsunami T, Hisa Y, Takata K, Takamatsu T, Oyamada M "Gap junctions between GLUT1-positive and -negative cells in the cochlea: Their possible roles in intercellular transport of glucose over the blood-inner ear barrier,"
70. 71. Oyamada M, Zhou W, Oyamada Y, Takamatsu T: Changes in connexin43 localization during ultraviolet light-induced apoptosis in HeLa cells expressing Cx43-EGFP:
71. 72. Oyamada Y, Takamatsu T, Oyamada M: Formation of tubular structures containing gap-junction plaques during cell dissociation by trypsinization revealed by time-lapse imaging of cells expressing connexin-GFP,

The American Society for Cell Biology 45th Annual Meeting. (San Francisco, CA, USA, Dec 10-14, 2005)

72. 73. Harada Y, Ota T, Dai P, Tanaka H, Oyamada M, Kawata S, Takamatsu T. Young's modulus of primary cilia measured with optical tweezers.
73. 74. Tanabe T, Oyamada M, Fujita K, Dai P, Tanaka H, Takamatsu T: Multiphoton Excitation-evoked Chromophore-assisted Laser Inactivation Using Green Fluorescent Protein.

Scientific Sessions American Heart Association, Dallas, (USA, November 13-15, 2005)

74. 75. Mani H, Tanaka H, Tanabe T, Nakagami T, Fujiwara K, Dai P, Oyamada M, Takamatsu T: Irreversible myocardial injury by Ca^{2+} paradox induces contraction band necrosis in the working heart by Ca^{2+} influx through the Na^{+} - Ca^{2+} exchanger,

Gordon Research Conference. (Buelton CA, USA, Feb 20-25, 2005)

75. 76. Tanaka H, Hamamoto T, Takamatsu T. In situ confocal visualization of intracellular calcium dynamics at the Purkinje-ventricular interconnection of the Langendorff-perfused rat heart. Cardiac Arrhythmia Mechanism.

International Conference on Nanophotonics (ICONA 2004, Kanagawa, January 10-12, 2004).

76. 77. Z. Sekkat, H. Ishitobi, Makoto Maeda, and S. Kawata, "Two-photon Orientation of Photoisomers in Polymers and its Application for Three-Dimensional Orientation Data Storage," p. 33.
77. 78. H. Ishitobi, Z. Sekkat, and S. Kawata, "Two-photon Isomerization and Orientation of Isomers in Polymeric Thin Films."
78. 79. Hong-Bo Sun, Sana Nakanishi, Koshiro Kaneko, Remo Proietti Zaccaria, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Experimental and theoretical work on atom-photon lattices."
79. 80. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Diamond-lattice photonic crystals produced by pinpoint photopolymerization."
80. 81. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Laser nanofabrication of metallodielectric photonic crystals."
81. 82. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "Enhancement of refractive index contrast in photonic crystals by photoreduction of metal ions."

SPIE Photonics West BIOS 2004, (San Jose, January 24-29, 2004).

82. 83. Akiko Fujita, Katsumasa Fujita, Satoshi Kawata, Takehisa Matsuda, and Osamu Nakamura, "Photofabrication of scaffold for cell-growth using photocurable gelatin."

83. 84. Shigeki Iwanaga, Katsumasa Fujita, Nicholas Smith, Satoshi Kawata and Osamu Nakamura, "Stimulation of living cells by near-infrared ultrashort laser pulses."

LASE 2004, in Photonic West, (San Jose, January 25-31, 2004)

84. 85. Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, Toru Suwa, Xuan-Ming Duan and, and Satoshi Kawata, "Functionalized photonic crystals with complex lattices,"

2nd International Conference on Photo-Responsive Organics and Polymers (2nd ICPOP), (Busan, February 16-20, 2004)

85. 86. Moon-Soo Kim, Hyun-Kwan Yang, Kwang-Sup Lee, P. A. Fleitz, Kenji Takada, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Nano- and Micro-Fabrication by using Phenylenevinylene Derivatives at a TPA Sensitizer," p. 74.
86. 87. Seung-Wan Kang, Joo Yeon Kim, Hyun-Kwan Yang, Kwang-Sup Lee, Fuyiki Hasegawa, Toshiyuki Watanabe, Yoichiro Iwase, Kenji Kamada, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Synthesis and Photophysical Properties of Phenyleneethynylene Derivatives with High Two-Photon Absorption Cross-Section," p. 70.

International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures V (PECS-V), (Kyoto, March 7-11, 2004)

87. 88. Remo Proietti Zaccaria, Hong-Bo Sun, Enzo Di Fabrizio, and Satoshi Kawata, "3D Full Bandgap with Dielectric Contrast less than 2," p. 25.
88. 89. Sana Nakanishi, Hong-Bo Sun, Remo Proietti Zaccaria, Toru Suwa, and Satoshi Kawata, "Improved Logpile Photonic Lattices in Pinpoint Two-Photon Photopolymerization," p. 26.
89. 90. Yuki Kanayama, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "Chiral Photonic Lattices Written by Pinpoint Two-Photon Photopolymerization," p. 27
90. 91. Satoru Shoji, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Multi-Beam Interference Laser Fabrication of an Inverse Structure of Yablonovite Photonic Crystal," p. 34.
91. 92. Atsushi Nakamura, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, Satoru Shoji, and Satoshi Kawata, "Nanonetwork Formation, Donor and Acceptor-Type Defects Induction in Photonic Lattice Produced by Multi-Beam Interference Patterning," p. 35.
92. 93. Sana Nakanishi, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "Atom-Photonic Lattices- A Proposal and Experimental Realization," p. 36.
93. 94. Kenji Takada, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Insight into Voxels for Laser Nanofabrication," p. 38.
94. 95. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Photonic Crystals Containing Metal Components Induced by Photoconversion from Ions," p. 40.
95. 96. Koichiro Shirota, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Two-Photon Pumped Lasing of Photonic Crystal Lasers," p. 239.

The International Symposium 2004 Materials & Processes for Advanced Microlithography and Nanotechnology, 21st Conference of Photopolymer Science and Technology Conference, (Chiba, June 22-25, 2004)

96. 97. Xuan-Ming Duan, "3D Structure Microfabrication of Polymer Nanocomposite by Two-Photon Process,"

2nd International Nanophotonics Symposium Handai, (Osaka, July 26-28, 2004).

97. 98. Takayuki Okamoto, Fekhra H' Dhili, Jing Feng, Janne Simonen, and Satoshi Kawata, "Enhancement of luminescence in plasmonic crystal devices," pp.3-4.
98. 99. Satoshi Kawata, "Plasmonic probe for nonlinear and near-field Raman nano-imaging," pp.7-8.
99. 100. H. Ishitobi, Z. Sekkat and S. Kawata, "Two-photon Orientation of isomers in Films of Polymer," pp. 53-54.
100. 101. Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Plasmon-enhanced coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) microscopy for nano-imaging of biomolecules," pp. 57-58.

101. 102. Satoru Shoji, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Polymer-based Inverse Yablonvite photonic crystals fabricated by multi-beam interference laser patterning," pp. 61-62.
102. 103. Taisuke Ota, Tadao Sugiura, and Satoshi Kawata, "Rupture force measurement of ligand-receptor bonds using laser trapping," pp. 75-76.
103. 104. Hiroyuki Watanabe, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Mechanical pressure effect as the third plasmonic enhancement effect in tip-enhanced Raman spectroscopy," pp. 77-78.
104. 105. Jing-Feng, Takayuki Okamoto, and Satoshi Kawata, "Enhanced electroluminescence of organic light emitting devices with two-dimensional periodic corrugated structure," pp. 81-82.
105. 106. Remo Proietti Zaccaria, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Light Intensity Distribution-Band Gap relation in Diamond lattice Photonic Crystals," pp.83-84.
106. 107. Yasushi Inouye, Tatsuhiko Masaki, and Satoshi Kawata, "Sub-micron near field IR spectroscopy and imaging in fingerprint region," pp. 89-90.
107. 108. Jun-ichi Kato, Atsushi Ono, and Satoshi Kawata, "Near-field image transmission by silver multiple layers," pp. 93-94.
108. 109. Shigeki Iwanaga, Katsumasa Fujita, Nicholas I. Smith, Masahito Oyamada, Tetsuro Takamatsu, Satoshi Kawata, and, Osamu Nakamura, "Cell Stimulation by Femtosecond Near-infrared Laser Pulses," pp. 95-96.
109. 110. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "Gold nanoparticles patterning by two-photon femtosecond laser interference," pp.99-100.
110. 111. Takahiro Asada, Mamoru Hashimoto, and Satoshi Kawata, "Imaging of Red Blood Cell Using Multi-Focus Polarization CARS Microscopy," pp.103-104.
111. 112. Hong-Bo Sun, Atsushi Nakamura, Koshiro Kaneko, Satoru Shoji, and Satoshi Kawata, "Combinative Use of Holographic Lithography and Pinpoint Laser Nanowriting for Functional 3D Photonic Lattices," pp.109-110.

ICO' 04 2004 ICO International Conference, Optics & Photonics in Technology Frontier (Chiba, July, 2004).

112. 113. Kenji Takada, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Laser nanofabrication by two-photon initiated polymerization," 15B3-4.

The 8th International Conference on Near-Field Optics and Related Techniques (NFO8) (Seoul, Korea, September, 2004).

113. 114. Yasushi Inouye, Tatsuhiko Masaki, and Satoshi Kawata, "Sub-Micron Near Field IR Imaging and Spectroscopy Utilizing a Free Electron Laser and an Apertured Cantilever in Fingerprint Region," p. 60.
114. 115. Hiroyuki Watanabe, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Tip-pressurized near-field Raman spectroscopy of DNA base molecule using apertureless metallic probe tip," p. 95.
115. 116. Y. Saito, T. Murakami, Y. Inouye and S. Kawata, "Chemically Coated Silver Probes for Tip Enhanced Raman Spectroscopy," p. 148.
116. 117. Takayuki Okamoto, Jing Feng and Satoshi Kawata, "Enhanced electroluminescence of organic light emitting diodes with a plasmonic crystal," p. 190.
117. 118. N. Hayazawa, T. Ichimura, M. Hashimoto, Y. Inouye and S. Kawata, "Plasmon-enhanced coherent anti-Stokes Raman nanoscopy," p. 232.
118. 119. F. H7Dhili, T. Okamoto and S. Kawata, "Towards lasing in a 2D plasmonic bandgap structure," p. 272.
119. 120. Taro Ichimura, Norihiko Hayazawa, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Molecular nano-imaging with plasmon-enhanced coherent anti-Stokes Raman scattering," p. 278.
120. 121. Taka-aki Yano, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Nano-scale characterization of single wall carbon nanotubes using nano plasmonic light source," p. 293.

5th Japan-France Workshop on Nanomaterials, p.18 (Bordeaux, October 12, 2004)

121. 122. Taro Ichimura, "Coherent anti-stokes Raman imaging analysis of DNA networks,"

The 8th International Conference on Optics within Life Science (Melbourne, December 2004)

122. 123. N. Smith, S. Iwanaga, T. Beppu, K. Fujita, S. Kawata, and O. Nakamura, "Femtosecond laser-induced calcium release in rat neural-type cells."

123. 124. T. Uchiyama, S. Iwanaga, N. Smith, K. Fujita, S. Kawata, and O. Nakamura, "Ultrashort pulsed laser stimulation of patch clamped HeLa cells."

Optoelectronics 2003, in Photonics West 2003, SPIE, (San Jose, January 25-31, 2003)

124. 125. Satoru Shoji, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Photo-fabrication of wood-pile three-dimensional photonic crystal by using laser interference."

125. 126. Sigeki Iwanaga, Nicholas Smith, Katsumasa Fujita, Tomoyuki Kaneko, Masahito Oyamada, Tetsuro Takamatsu, Satoshi Kawata, and Osamu Nakamura, "Stimulation of living cells by femtosecond near-infrared laser pulses."

Focus on Microscopy 2003 (FOM2003), (Genoa, April 13-16, 2003)

126. 127. Katsumasa Fujita, Minoru Kobayashi, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Time-gated imaging for second-harmonic generation microscopy."

127. 128. Shin-ichi Takimoto, Katsumasa Fujita, Satoshi Kawata, and Osamu Nakamura, "Two-photon tomographic microscopy with z-scanning by non-planar wavefronts."

128. 129. Nicholas Smith, Katsumasa Fujita, Shigeki Iwanaga, Osamu Nakamura, Tetsuro Takamatsu, and Satoshi Kawata, "Mechanism and applications of ultrashort pulsed laser interactions with living cells." 2003 Spring meeting of Materials Research Society (MRS), (San Francisco, April 22, 2003)

129. 130. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Generation and formation of gold nanoparticles with spatial control by two-photon femtosecond laser interference." 2003 Spring meeting of European materials Society (E-MRS), (Strasbourg, June 12, 2003)

130. 131. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Two-Photon Polymerization of Metal Ions Doped Acrylate Monomers and Oligomers for 3D Structure Fabrication."

131. 132. Hong-Bo Sun, Toru Suwa, Kenji Takada and Satoshi Kawata, "Laser micro-nanofabrication of photonic crystal structures using two-photon photopolymerization."

The 11th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS'11), (Nara, July 14-18, 2003)

132. 133. Masanori Fukushima, Hisao Yanagi, Shinji Hayashi, Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Microfabrication of gold dots in SiO₂/TiO₂ glass films by two-photon absorption."

The International Nanophotonics Symposium Handai, (Osaka, July 24-26, 2003)

133. 134. Kenji Takada, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Voxel scaling in two-photon photopolymerization nanofabrication."

134. 135. Koshiro Kaneko, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Diamond-lattice photonic crystals produced by two-photon laser nanofabrication."

135. 136. Satoru Shoji, Atsushi Nakamura, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Holographic photofabrication of woodpile three-dimensional photonic crystals."

136. 137. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "3D micro/nano-fabrication of polymer nanoparticles composites by two-photon polymerization."

XXIst International Conferences on Photochemistry, (Nara, July 31, 2003)

137. 138. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "2D and 3D structures fabrication of organic/inorganic hybrid materials by two-photon process."

SPIE 48th Annual Meeting, (San Diego, August 4, 2003)

138. 139. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Fabrication of polymeric 2D and 3D structures containing metal/metal oxides nanoparticles by two-photon processes." IEEE Nano' 2003 --- Third Conf. On Nanotechnology, (San Francisco, August 14, 2003)

139. 140. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Micro/Nanofabrication of Two and Three Dimensional Structures by Two-Photon Polymerization."

IEEE/LEOS Optical MEMS, (Hawaii, August 18-21, 2003)

140. 141. Hong-Bo Sun, Toru Suwa, and Satoshi Kawata, "High-Reproducibility and High-Fidelity Two-Photon Photopolymerization of 3D Photonic Crystals."

The 2nd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, (Nottingham, August 27, 2003)

141. 142. Norihiko Hayazawa, Taro Ichimura, Mamoru Hashimoto, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Application of tip-enhanced near field microscopy to coherent anti-Stokes Raman nano-spectroscopy." Micro and Nano Engineering, MNE 2003, (Cambridge, UK, September 22-25, 2003)
142. 143. Enzo Di Fabrizio, Massimo Tormen, Luca Businaro, Matteo Altissimo, Filippo Romanato, Stefano Cabrini, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "3-D patterning by means of nanoimprinting, X-ray and 2-photon lithography."

Korea-Japan Joint Forum 2002 (KJF2002): Organic Materials for Electronics and Photonics (Sendai, October 22-24, 2003)

143. 144. Hyun-Kwan Yang, Kwang-Sup Lee, Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Lithographic micro-fabrication by using highly efficient two-photon absorbing fluorene derivatives."

Japan-France Conference on Molecular Photonics and Biophotonics at Micro and Nano-scale (JFC2003), Awaji, Hyogo, 26-29 October 2003.

144. 145. Norihiko hayazawa, Takaaki Yano, Yasuhi Inouye, and Satoshi Kawata, "Detection of an individual single-wall carbon nanotube by tip-enhanced near-field Raman spectroscopy."
145. 146. Hidekazu Ishitobi, Zouheir Sekkat, and Satoshi Kawata, "Two-photon Isomerization and Orientation of Isomers in Polymeric Thin Films."
146. 147. Hiroyuki Watanabe, Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Vibrational Analysis for Adsorbed Species in Metallic Tip-Enhanced Near Field Raman Spectra."
147. 148. Nicholas Smith, Shigeki Iwanaga, Katsumasa Fujita, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Interactions of Ultrashort Pulsed Lasers and Living Cells."
148. 149. Yasushi Inouye, Tatsuhiro Masaki, Atsuhiko Ono, and Satoshi Kawata, "Near-field infrared imaging of molecular changes in cholesteryl oleate by free electron infrared laser ablation."
149. 150. Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, Xuan-Ming Duan, and Satoshi Kawata, "Complex photonic lattices towards advanced functions."
150. 151. Katsumasa Fujita, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Realtime Imaging of Living Cells and Organs with a Two-photon Multifocus Confocal Microscope."
151. 152. Taisuke Ota, Tadao Sugiura, Satoshi Kawata, Martin J. Booth, Mark A.A. Neil, Rimas Juskaitis, and Tony Wilson, "Enhancement of laser trapping force and control of trapping position by wave-front modification with Zernike polynomial modes."
152. 153. Satoru Shoji, Atsushi Nakamura, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Multi-beam interference laser fabrication of photonic crystal structures."
153. 154. Xuan-Ming Duan, Hong-Bo Sun, Koshiro Kaneko, and Satoshi Kawata, "Two-photon polymerization of metal ions doped acrylate monomers and oligomers for 3D structure fabrication."
154. 155. Minoru Kobayashi, Katsumasa Fujita, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Multifocus Second-Harmonic Generation Microscopy with Time-Gated Imaging."
155. 156. Ryota Matsui, Shogo Yamazoe, Hong-Bo Sun, Prabhat Verma, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Atomic nanofabrication."
156. 157. Prabhat Verma, Kohei Yamada, Hiroyuki Watanabe, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field Raman scattering from C60 molecules."

7th International Conference on Organic Nonlinear Optics (ICONO'7), (Sorak, November 4-8, 2003).

157. 158. Hong-Bo Sun, Xuan-Ming Duan, Koshiro Kaneko and Satoshi Kawata, "Two-photon microfabrication based on photoreduction of metallic ions."
158. 159. Hong-Bo Sun, Kenji Takada, Makoto Maeda, Satoshi Kawata, Hyun-Kwan Yang, Kwang-Sup Lee, "The scaling law of voxels in two-photon photopolymerization."
159. 160. Seung-Wan Kang, Kwang-Sup Lee, Heayoung Choi, Myoungsik Cha, Kenji Kamada, Koji Ohta, Hong-Bo Sun, Satoshi Kawata, "Ethynylene-phenylene Derivatives with High Two-Photon Absorption Activities."
160. 161. Hyun-Kwan Yang, Kwang-Sup Lee, Hong-Bo Sun, Satoshi Kawata, M. Blanchard-Desce, "3-D Lithographic Micro-fabrication using Fluorene-based Two-Photon Absorbing Chromophores."
161. 162. Moon-Soo Kim, Kwang-Sup Lee, Hyun-Kwan Yang, Heayoung Choi, Myoungsik Cha, Hong-Bo Sun, Satoshi Kawata, "Two-Photon Absorbing Dendritic Molecules Based on Stilbazolium Salts."

SPIE Photonics West BIOS 2002, (San Jose, January, 2002)

162. 163. Minoru Kobayashi, Katsumasa Fujita, Tomoyuki Kaneko, Osamu Nakamura, and Satoshi Kawata, "Real-time Second-harmonic Generation Microscopy for Plasma-membrane Imaging," pp.4620-4634.
163. 164. Osamu Nakamura, Katsumasa Fujita, Tomoyuki Kaneko, Nicholas Smith, Shigeki Iwanaga, Tetsuro Takamatsu, and Satoshi Kawata, "Multiphoton Laser Stimulation of Living Cells," pp.4622-4618.

International Symposium on Infrared Free Electron Laser and Its Application, (Osaka, January, 2002)

164. 165. Y. Inouye, T. Masaki, K. Goto, A. Ono, S. Kawata and H. Kuroda, "Near-Field Infrared Microscope for Nanospectroscopy," p.21.
165. 166. Tatsuhiro Masaki, Kazuya Goto, Katsumi Irokawa, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, "Near-field IR imaging and spectroscopy using FEL-SUT," p.31.

The 3rd International Symposium on Laser Precision Microfabrication, (Osaka, May, 2002)

166. 167. Hongbo Sun, Satoshi Kawata, "Laser Precision Microfabrication, How Precise It Could Be?"

International Symposium 3DM 2002 (New Trends and Future in 3DM Multilayer Memory) (Tokyo, May, 2002)

167. 168. Satoshi Kawata, "Three-Dimensional Memory: The Most Promising Terabyte Optical-Storage Technology," pp.3-4.
168. 169. Takeshi Miki, and Satoshi Kawata, "Performance of CD-R-Used Objective Lens System in Multilayered Optical Data Storage Using Photochromic Materials," pp.39-42.
169. 170. Hidekazu Ishitobi, Akiko Toriumi, and Satoshi Kawata, "Two-Photon Recording in Three-Dimensional Photorefractive and Photochromic Data Storage," pp.49-50
170. 171. Hidekazu Ishitobi, Zouheir Sekkat, and Satoshi Kawata, "Optically Induced Molecular Orientation in Photochromic Isomers," pp.51-52.
171. 172. Takuo Tanaka and Satoshi Kawata, "Comparison of Recording Densities of the Three-Dimensional Multilayered Optical Memory and Angular Multiplexed Holographic Memory," pp.61-64.
172. 173. Kenji Takada, Hong-Bo Sun, and Satoshi Kawata, "Sub-diffraction-limit Three-dimensional laser processing," pp.69-72.

The 7th International Conference on Near-field Optics and Related Techniques (Rochester, August, 2002)

173. 174. Satoshi Kawata, Yasushi Ishida, Norihiko Hayazawa, and Yasushi Inouye, "Detection of an Adenine Molecule by Tip-Enhanced Raman NSOM," p.116.
174. 175. Norihiko Hayazawa, Takaaki Yano, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, "Vibrational Modes of an Individual Single Wall Carbon Nanotube Observed by Near-field Enhanced Raman Spectroscopy," p.143.

175. 176. Norihiko Hayazawa, Yasushi Inouye, Zouheir Sekkat, and Satoshi Kawata, "Near-field Raman Imaging of Organic Molecules by an Apertureless Metallic Probe Scanning Optical Microscope," p.146.
176. 177. Yasushi Inouye, Alvarado Tarun, Norihiko Hayazawa, and Satoshi Kawata, "Near Field Photo-fabrication of Thin Film Using Locally Enhanced Field at a Metallic Tip", p.206

SPIE Photonics Asia (Shanghai, October, 2002)

177. 178. Yasushi Inouye, Yasuhito Ishida, Hiroyuki Watanabe, Norihiko Hayazawa, and Satoshi Kawata, "Tip-enhanced near-field Raman Spectroscopy of an Adenine Molecule,"

Organic Nanophotonics, 64, (Aix-en-Provence, August 2002)

178. 179. Zouheir Sekkat, Hidekazu Ishitobi, and Satoshi Kawata, "Two-Photon Isomerization of Diarylethenes in the Films of Poly-Methacrylate,"

El. B. A - Max Planck - Forum on Nanoscale Science and Technology, (Mainz, September, 2002)

179. 180. Minoru Kobayashi, Katsumasa Fujita, Satoshi Kawata, and Osamu Nakamura, "Multifocus Second-Harmonic Generation Microscopy for Real-Time Observation of Plasma-Membrane," p.57.

Asian Symposium on Biomedical Optics and Photomedicine (BOPM 2002), (Sapporo, October, 2002)

180. 181. Osamu Nakamura, Kazuya Goto, Tetsuya Nakagawa, Taro Ichimura, and Satoshi Kawata, "A Photo-Coupler for Near-Infrared Biotelemetry," pp.208-209.

Symposium on Nanophotonics Technology, (Osaka, November, 2002)

181. 182. Hong-Bo Sun and Satoshi Kawata, "Tailoring Micro-Nano Structures Using Femtosecond Laser from Single Voxels," pp.9-10.
182. 183. Satoshi Kawata, "NanoRaman spectroscopy by tip-enhanced near-field microscopoe," pp.37-38.

国内学会

第53回応用物理学関係連合講演会（武蔵野工業大学，2006年3月22-26日）

1. 井上康志 “局在プラズモンによるナノラマン分光・分子イメージング,” p. 80 (24a-ZJ-8).
2. 浜田啓作, 藤田克昌, 小林実, 河田聡 “スリット走査共焦点ラマン顕微鏡による生きたHela細胞の分光イメージング,” p. 1087 (22a-X-6).
3. 矢野隆章, 井上康志, 河田聡 “局所応力場がカーボンナノチューブの近接場ラマンスペクトルにおよぼす影響,” p. 1632 (25a-ZN-11).
4. 南川丈夫, 谷本尚生, 橋本守, 小林実, 荒木勉, 藤田克昌, 河田聡, “光度に制御した2台のモードロックレーザーを用いたCARS顕微計測システムの構築”

平成18年度日本分光学会春季講演会・シンポジウム, (東京, 2006年5月16日-17日)

5. 矢野隆章, 井上康志, 河田聡 “Nano-Raman spectroscopy of carbon nanotubes deformed by atomic force microscope tip, “
6. T. Minamikawa, N. Tanimoto, M. Hashimoto, M. Kobayashi, K. Fujita, S. Kawata, and T. Araki, "Jitter reduction of synchronized two picosecond mode-locked lasers for CARS microscopy,"
7. K. Yoshiki, M. Hashimoto, and T. Araki, "Three-dimensional molecular orientation measurement of liposome"

第67回応用物理学会学術講演会, (滋賀, 2006年8月29-31日) .

8. 矢野隆章, 井上康志, 河田聡 “カーボンナノチューブの近接場ナノラマン分光分析”
9. 金丸亮介, 吉木啓介, 橋本守, 荒木勉, “ラジアル偏光ビームが金属表面に形成する光強度”

分子構造総合討論会2006（グランシップ 静岡，2006年9月20-23日）

10. 市村垂生，渡辺裕幸，河田聡，井上康志，“チップ増強ラマンスペクトルの単一分子の挙動，”
11. 矢野隆章、市村垂生、井上康志、河田聡“近接場ラマン分光法を用いたカーボンナノチューブの局所圧力効果の解析，”

中国化学会第25回学術年次会議（長春，July 11-14，2006）

12. Chun-Fang Li, Feng Ji, Xian-Zi Dong, Wei-Qiang Chen, Xuan-Ming Duan, “Study of optic property of PMMA doped with fluorescein and carbosilane dendrimer”
13. Feng Jin, Chun-Fang Li, Xian-Zi Dong, Wei-Qiang Chen, Xuan-Ming Duan, “The study of the lasing action of the dye-doped polymer based on silica photonic crystals”
14. Mei-Ling Zheng, Wei-Qiang Chen, Chun-Fang Li, Xian-Zi Dong, Xuan-Ming Duan, “Optical Properties of Laser Dyes with Carbosiloxane Dendrimers”

第52回応用物理学関係連合講演会（埼玉大学，2005年3月29-4月1日）

12. 15. 市村垂生，諏訪徹，大塚洋一，井上康志，河田聡，田畑仁，川合知二，“チップ増強ラマン分光法によるDNA塩基分子のサブzeptモル検出，” p. 1170 (29p-YZ-7).
13. 16. Prabhat Verma, Kouhei Yamada, Yasushi Inouye and Satoshi Kawata, “Tip-enhanced near-field Raman scattering from C60,” p. 1170 (29p-YZ-8).
14. 17. 渡辺裕幸，井上康志，河田聡，“チップ増強近接場ラマン散乱スペクトルに及ぼす力学的効果—銀クラスターモデルによる振動解析の高精度化—，” p. 1171 (29p-YZ-9).
15. 18. 高田健治，孫洪波，河田聡，“フェムト秒レーザー照射による光重合反応の温度依存特性，” p. 1290 (31p-YR-6).
16. 19. 矢野隆章，井上康志，河田聡，“ブリージングモードの振動数領域におけるカーボンナノチューブバンドルの近接場ナノラマンイメージング，” p. 1714 (1a-YF-4).

日本分光学会平成17年度春期講演会，（東京工業大学，2005年5月10-12日）.

17. 20. 矢野隆章，井上康志，河田聡，“Tip-enhanced near-field Raman analysis and imaging of carbon nanotubes,” p. 84.
18. 21. 市村垂生，諏訪徹，大塚洋一，田畑仁，川合知二，井上康志，河田聡，“Tip enhanced Raman spectroscopy of DNA molecules,” p. 85.
19. 22. Prabhat Verma, Kouhei Yamada, Yasushi Inouye, and Satoshi Kawata, “Tip-enhanced near-field Raman spectroscopy of Carbon-60,” p. 86.
20. 23. Keisaku Hamada, Katsumasa Fujita, Minoru Kobayashi, Maitreyee Roy and Satoshi Kawata, “Multispectral Raman imaging of living HeLa cells by slit scanning laser microscopy,” p. 73 (poster).

レーザー顕微鏡研究会第31回講演会（2005年7月1日，理化学研究所）

21. 24. 浜田啓作，藤田克昌，小林実，Maitreyee Roy，河田聡，“細胞観察を目的としたスリット走査共焦点ラマン顕微鏡の開発．”
22. 25. 橋本守、金丸亮介、吉木啓介、荒木勉、”ラジアル偏光ビーム集光時に金属表面に形成される電場分布”

生体医工学シンポジウム2005，（大阪，2005年9月）

23. 26. 藤田晶子，藤田克昌，松田武久，中村収，河田聡，“光干渉造形を用いた微細スキャフォールドの作製．”

平成17年度日本分光学会秋季講演会（大阪，11月15~16日，2005年）

24. 27. 石川篤，田中拓男，河田聡，“光学領域における微小金属共振器アレイの磁気応答特性，” p. 46.
25. 28. 小林実，浜田啓作，藤田克昌，太田泰輔，橋本守，河田聡，“生きた細胞のラマン分光イメージング．”

26. 29. 渡辺裕幸, 井上康志, 河田聡, “アデニンナノ結晶のチップ増強近接場ラマンスペクトルに及ぼす力学的効果 —銀クラスターモデルによる理論振動計算—.”

日本光学会 (Optics Japan 2005), (学術総合センター, 東京, 2005年11月23日-25日)

27. 30. 浜田啓作, 小林実, 藤田克昌, 河田聡, “細胞観察を目的としたスリット走査共焦点ラマン顕微鏡の開発,” pp. 30-31.
28. 31. 谷本尚生, 南川丈夫, 橋本守, 小林実, 藤田克昌, 河田聡, 荒木勉, “2光子検出器を用いたバランス相互相関検出による2台のピコ秒モードロックレーザーの高精度同期.”
29. 32. 河田聡, 井上康志, “ナノバイオフィotonics: ナノフotonicsによる生命機能の解明を目指して.”

日本組織細胞化学会第46回総会・学術集会, (京都, 2005年10月1日-2日)

30. 33. 田邊卓爾, 小山田正人, 藤田克昌, 戴平, 田中秀央, 高松哲郎 2光子吸収CALIを用いた機能分子の制御
31. 34. 小山田正人, 鈴木敏弘, 高松哲郎, ギャップ結合の異常と疾患
32. 35. 井上香織, 小山田正人, 光藤章二, 岡上武, 高松哲郎 ラット回腸の虚血再還流障害におけるタイト結合蛋白質の発現変化
33. 36. 佐藤恒, 白石公, 高松哲郎, 浜岡建城 小児先天性心疾患剖検例における心筋細胞のapoptosisおよび幹細胞の評価
34. 37. 鈴木敏弘, 小山田正人, 松波達也, 高松哲郎 蝸牛ラセン縁におけるギャップ結合蛋白質とグルコーストランスポーター1の局在
35. 38. 戴平, 中上拓男, 田邊卓爾, 田中秀央, 高松哲郎 TGF- β シグナル伝達機構におけるCx43の役割
36. 39. 田中秀央, 浜本徹, 万井弘基, 田邊卓爾, 藤原克次, 中上拓男, 小山田正人, 高松哲郎, ラット生体位心プルキンエ線維網におけるカルシウム波の特性
37. 40. 中上拓男, 田中秀央, 戴平, 田邊卓爾, 藤原克次, 万井弘基, 小山田正人, 高松哲郎 心筋細胞におけるギャップ結合蛋白(コネキシン43)とカルシウム動態の同時観察の試み
38. 41. 中野圭明, 若林直樹, 長谷川大祐, 光藤章二, 片岡慶正, 岡上武 大腸腺管の直視的観察方法の検討
39. 42. 中野由起子, 小山田正人, 戴平, 高松哲郎 ラット角膜内皮細胞の創傷治癒過程におけるギャップ結合蛋白質の発現変化と細胞増殖, ポンプ機能
40. 43. 原田義規, 太田泰輔, 田中秀央, 小山田正人, 河田聡, 高松哲郎 光ピンセットを用いた一次繊毛の力学的特性の検討
41. 44. 人見敏明, 戴平, 中上拓男, 小山田正人, 高松哲郎 コネキシン43遺伝子の細胞周期への影響
42. 45. 万井弘基, 田中秀央, 中上拓男, 藤原克次, 小山田正人, 高松哲郎 カルシウムパラドックスによる不可逆的心筋障害のメカニズム
43. 46. 古田博一, 原田義規, 田中秀央, 高松哲郎 量子ドットを用いた舌癌のリンパ節転移検索の試み

第14回バイオイメーjing学会, (東京, 2005年10月26-28日)

44. 47. 田邊卓爾, 高松哲郎 多光子吸収CALIを用いた機能分子の制御
45. 48. 原田義規, 太田泰輔, 河田聡, 高松哲郎 レーザートラッピングを用いた一次繊毛の弾性定数の計測

第94回日本病理学会総会, (横浜, 2005年4月14-16日)

46. 49. 小山田ゆみ子, 小山田正人, 原田義規, 高松哲郎 非腫瘍肝組織に広範な線維化を伴う胆管増生を呈した肝細胞癌例-増生胆管のoriginの検討-
47. 50. 田中秀央, 浜本徹, 小山田正人, 高松哲郎 心室内電導障害におけるプルキンエ線維-心室筋節合部のCa²⁺動態異常
48. 51. 小山田ゆみ子, 小山田正人, 高松哲郎, 細胞解離過程におけるギャップ結合蛋白コネキシンの動態

49. 52. 小山田正人, 周武雄, 小山田ゆみ子, 高松哲郎, 紫外線誘導アポトーシス過程におけるギャップ結合の局在とミトコンドリア膜電位の変化-Cx43-EGFP発現HeLa細胞を用いて-

第28回日本分子生物学学会、(福岡、2005年12月7-10日)

50. 53. 戴 平、中上拓男、田辺卓爾、田中秀央、高松哲郎 TGF- β シグナル伝達機におけるCx43の分子的分割

第4回コネキシン研究会、(京都、2005年12月16-17日)

51. 54. 中野由起子、小山田正人、戴平、高松 哲郎 ラット角膜内皮細胞の創傷治癒過程におけるギャップ結合蛋白質の発現
52. 55. 小山田正人、田邊卓爾、藤田克昌、戴平、田中秀央、高松哲郎 多光子CALI を用いたギャップ結合細胞間コミュニケーションの時空間選択的阻害
53. 56. 鈴木敏弘、松波達也、久育男、小山田正人、高松哲郎 蝸牛内細胞間グルコース輸送におけるギャップ結合の役割 (続報)

第70回日本循環器学会学術集会 (名古屋、2005年3月26日)

54. 57. Mani H, Tanaka H, Tanabe T, Nakagami T, Fujiwara K, Oyamada M, Takamatsu T. SEA0400, a selective inhibitor of sodium-calcium exchanger prevents contraction band formation of the heart induced by calcium paradox.

日本細胞生物学会、(大宮、2005年6月15日)

55. 58. Oyamada M, Zhou W, Oyamada Y, Takamatsu T. Temporal alterations of connexin43 localization and mitochondrial membrane potential during ultraviolet light-induced apoptosis

第50回応用物理学関係連合講演会、(東京、2004年3月28-31日)

56. 59. 岩永茂樹, スミスニコラス, 藤田克昌, 河田聡, 中村收, “近赤外超短パルスレーザーによる生きた細胞の刺激,” p. 1500 (29p-ZQ-15),
57. 60. 市村垂生, 早澤紀彦, 橋本守, 井上康志, 河田聡, “チップ増強非線形ラマン散乱を用いた近接場振動分光,” p. 1142,
58. 61. 市村垂生, 早澤紀彦, 橋本守, 井上康志, 河田聡, “局所プラズモン増強効果を用いた高空間分解CARSイメージング,” p. 1229
59. 62. 金子浩司郎, 孫洪波, 段宣明, 河田聡, “2光子光還元反応を用いたポリマー中における金微粒子の3次元パターン作製,” p. 1254
60. 63. 山岡禎久、高松哲郎 非線形光学現象を利用した組織細胞イメージングのための2光子吸収断面積測定

平成16年度 日本分光学会 春季講演会・シンポジウム (東京、5月18-19日, 2004)

61. 64. 渡辺裕幸, 早澤紀彦, 井上康志, 河田聡, “金属チップ増強近接場ラマン分光で得られる吸着色素種の理論振動解析,” p. 54
62. 65. 矢野隆章, 早澤紀彦, 井上康志, 河田聡, “金属チップ増強場を用いた単層カーボンナノチューブの近接場ラマン分光,” p. 55
63. 66. 市村垂生, 早澤紀彦, 橋本守, 井上康志, 河田聡, “金属プローブを用いた近接場CARSイメージング,” p. 56
64. 67. 井上康志, 真崎竜弘, 河田聡, “高輝度赤外レーザーを光源とする近接場赤外分光イメージング,” p. 57
65. 68. 小林実, 藤田克昌, 河田聡, 中村收, “第二高調波顕微鏡の開発と実時間生体観察への応用,” p. 60
66. 69. 石飛秀和, セカット・ズヘアー, 河田聡, “フォトクロミック分子の2光子誘起分子配向,” p. 63
67. 70. 岩永茂樹, スミスニコラス, 藤田克昌, 河田聡, 中村收, “フェムト秒パルスレーザーによる細胞内カルシウム波の誘起とその観察,” p. 87

68. 71. 岡本隆之, Fekhra H' Dhili, 河田聡, “プラズモニク・バンドギャップ・レーザー,” p. 88,
69. 72. Jing Feng, Takayuki Okamoto and Satoshi Kawata, “Enhanced electroluminescence of organic light emitting devices with two-dimensional periodic corrugated structure,” p. 89.

ナノオプティクス研究グループ第13回研究討論会 (北海道, 7月, 2004)

70. 73. 岡本隆之, Fekhra H' Dhili, 河田聡, “プラズモニク・バンドギャップ・レーザー,” pp. 53-56
71. 74. 矢野隆章, 早澤紀彦, 井上康志, 河田聡, “カーボンナノチューブ・ブリージングモードのプラズモニク・ナノラマン分光,” pp. 77-78,
72. 75. 市村垂生, 早澤紀彦, 橋本守, 井上康志, 河田聡, “チップ増強非線形ラマン散乱による分子振動ナノイメージング,” pp. 79-84
73. 76. 井上康志, 真崎竜弘, 河田聡, 黒田晴雄, “指紋領域でサブミクロン分解能を実現する近接場赤外分光と分子イメージング,” pp. 85-86

第65回応用物理学関係連合講演会, (仙台, 2004年9月1-4日)

74. 77. 井上康志, 真崎竜弘, 河田聡, 黒田晴雄, “FELを光源とした赤外近接場顕微鏡による指紋領域での超解像分子イメージング,” p. 915.
75. 78. 岩永茂樹, 別府太郎, スミスニコラス, 藤田克昌, 河田聡, 中村收, “近赤外超短パルスレーザーによる興奮性細胞の刺激,” p. 906 (1p-ZV-9),
76. 79. 小野篤史, 加藤純一, 河田聡, グミン, “2次元三角格子状ポリマーフォトリック結晶の偏光バンド特性,” p. 924 (2p-ZC-5)

第50回 春季応用物理学会, (横浜, 3月27-30日, 2003)

77. 80. 金子 浩司郎, 段 宣明, 孫 洪波, 河田 聡, “2光子過程によるポリマー中での金ナノ粒子パターン作製,” p. 1216
78. 81. 段 宣明, 孫 洪波, 金子 浩司郎, 河田 聡, “二光子光重合による二酸化チタンを含むポリマー構造の作製,” p. 1227
79. 82. 市村 垂生, 早澤 紀彦, 橋本 守, 井上 康志, 河田 聡, “金属ナノ微粒子による局所増強コヒーレントアンチストークスラマン散乱,” p. 1107
80. 83. 渡辺 裕幸, 早澤 紀彦, 井上 康志, 河田 聡, “近接場ラマンスペクトルの振動解析による金属チップ先端での分子の吸着構造の推定,” p. 1107
81. 84. 高田 健治, 孫 洪波, 河田 聡, “光重合反応を用いた3次元微細加工における加工分解能向上,” p. 1226
82. 85. 石飛 秀和, セッカト・ズヘアー, 河田 聡, “PMMAフィルム中でのジアリールエテンの2光子励起光異性化と分子配向,” p. 1356
83. 86. 諏訪 徹, 高田 健治, 孫 洪波, 河田 聡, “2光子光重合反応を用いた3次元ログピル型フォトリック結晶の作製とその評価” p. 1123
84. 87. 岩永 茂樹, 藤田 克昌, スミス ニコラス, 金子 智行, 小山田 正人, 高松 哲郎, 河田 聡, 中村 收, “近赤外フェムト秒レーザーによる細胞内カルシウム波の誘起とその解析,” p. 1094

ナノ学会創立大会, (神戸, 5月29-31日, (2003)

85. 88. 段 宣明, 孫 洪波, 金子 浩司郎, 河田 聡, “二光子重合による金属酸化物ナノ微粒子を含むポリマー3D構造の作製,”
86. 89. 矢野 隆章, 早澤 紀彦, 井上 康志, 河田 聡, “チップ増強場を用いた単層カーボンナノチューブのナノスケール顕微ラマン分光,” p. 150

第29回レーザー顕微鏡研究会, (埼玉, 7月1-2日, 2003)

87. 90. 市村 垂生, “金ナノ微粒子によるコヒーレントアンチストークスラマン散乱の局所増強,” p. 6

第64回 秋季応用物理学会, (福岡, 8月30日-9月2日, 2003)

88. 91. 藤田 克昌, 小林 実, 河田 聡, 中村 収, “多光子顕微鏡を用いたピコ秒時間ゲートイメージング,” p. 898
89. 92. 矢野 隆章, 早澤 紀彦, 井上 康志, 河田 聡, “チップ増強場を用いた単層カーボンナノチューブの近接場ラマン分光,” p. 924
90. 93. 金子 浩司郎, 孫 洪波, 段 宣明, 河田 聡, “2光子光重合反応を用いたダイヤモンド構造型フォトニック結晶の作製,” p. 952
91. 94. 庄司 暁, 中村 篤, 孫 洪波, 河田 聡, “4光束レーザー光干渉を用いた二次元・三次元フォトニック結晶作製と欠陥構造の導入,” p. 953
92. 95. 高田 健治, 孫 洪波, 前田 誠, 河田 聡, “フィムト秒レーザー照射による光硬化樹脂硬化特性” p. 1013
93. 96. 中村 篤, 孫 洪波, 庄司 暁, 段 宣明, 河田 聡, “多光束干渉フォトニック結晶作成過程における三次元ナノネットワークの自己形成,” p. 1019
94. 97. 真崎 竜弘, 井上 康志, 河田 聡, “近接場赤外顕微分光法によるオレイン酸コレステリルの分子構造変化の高分解能観察,” p. 1226

Optics Japan 2003, (浜松, 12月8日-9日, 2003)

95. 98. 岩永 茂樹, スミス ニコラス, 藤田 克昌, 河田 聡, 中村 収, “近赤外超短パルスレーザーを用いた生きた細胞の刺激,” p. 120

第49回 春季応用物理学会, (平塚, 3月, 2002)

96. 99. 中村 収 “細胞機能の光センシング：第2高周波で細胞膜を観る” p. 1012.
97. 100. 小林 実, 藤田 克昌, 金子 智行, 中村 収, 河田 聡, “多焦点走査型第二高調波顕微鏡による細胞観察,” 予稿集p. 979.
98. 101. 石田康人, 早澤紀彦, 渡辺裕幸, 井上康志, セカッツベア, 河田聡 “金属チップ先端での電場増強効果を用いたアデニン分子の近接場ラマン分光測定” p. 1012
99. 102. 真崎竜弘, 後藤和也, 井上康志, 河田聡, 黒田春雄 “赤外自由レーザーを用いた近接場赤外顕微分光” p. 1012
100. 103. 太田泰輔, 杉浦忠男, 河田聡, Martin J. Booth, Mark A. A. Neil, Rimas Juskaitis, and Tony Wilson, “光面制御による光軸方向のレーザートラップ位置制御” p. 1017
101. 104. Hong-Bo Sun, Tomokazu Tanaka, and Satoshi Kawata, “A Three-Dimensional Photographic Method of Investigation of Focal Spots Related to Two- or Multiphoton Excitation,” p. 1116.
102. 105. 後藤 和也, 中川 哲也, 中村 収, 河田 聡, “近赤外光バイオテレメトリ用フォトカプラー,” p. 1291.

第1回阪大フロンティアシンポジウム, (大阪, 3月, 2002)

103. 106. 岩永 茂樹, スミス ニコラス, 金子 智行, 藤田 克昌, 中村 収, 高松 哲郎, 河田 聡, “細胞内カルシウムイオン波のナノ刺激とナノ観察,”

第55回日本細胞生物学会大会, (2002年5月, 横浜)

104. 107. 藤田 克昌, 小林 実, 金子 智行, 中村 収, 河田 聡, 高松 哲郎, “第2高調波顕微鏡による細胞膜観察,” 講演要旨集p. 74.
105. 108. 岩永 茂樹, 金子 智行, 藤田 克昌, 中村 収, 河田 聡, 高松 哲郎, “近赤外超短パルスレーザーによる細胞内カルシウム波の誘起とその解析,” 要旨集 p. 75.

平成14年度日本分光学会, (2002年5月, 東京)

106. 109. 井上康志, 真崎竜弘, 後藤和也, 小野篤史, 河田 聡, 色川勝己, 能丸圭司, 黒田春雄, “赤外自由電子レーザーを用いた近接場赤外顕微分光法,” p. 98

第11回近接場光学研究グループ研究討論会, (横浜, 6月, 2002)

107. 110. 井上康志, 石田康人, 早澤紀彦, 渡辺弘幸, 河田 聡, “局所増強電場によるDNA塩基分子の近接場ラマンスペクトロスコピー,” pp. 30-31

108. 111. 早澤紀彦, 矢野隆章, 渡辺弘幸, 井上康志, 河田 聡, “単層カーボンナノチューブのチップ増強ニアフィールドドラマン分光法による物性評価,” pp. 32-37

第28回レーザ顕微鏡研究会, (東京, 7月, 2002)

109. 112. 太田泰輔, 杉浦忠男, 河田 聡 “レーザートラップ粒子による表面修飾したガラス基板の表面力センシング,” pp. 26-31
110. 113. 岩永茂樹, スミス ニコラス, 金子智行, 藤田克昌, 中村 収, 河田 聡, 高松哲郎 “ピコ秒再生増幅器による細胞内カルシウム波の発生,” pp. 1-5

第63回秋季応用物理学会 (新潟, 9月, 2002)

111. 114. 瀧本真一, 小林実, 藤田克昌, 中村収, 河田聡 “第二高調波顕微鏡による生体膜の観察とその結像特性” p. 868
112. 115. 加藤健太郎, 杉浦忠男, 河田 聡 “テーパファイバーを用いたレーザー励起ブレイクダウンによるパルス球面超音波発生” p. 886
113. 116. 早澤紀彦, 矢野隆章, 渡辺裕幸, 井上康志, 河田聡 “単層カーボンナノチューブのチップ増強ニアフィールドドラマン分光法による物性評価” p. 890
114. 117. 渡辺裕幸, 早澤紀彦, 井上康志, 河田聡 “密度汎関数法による吸着分子種の近接場ラマンスペクトルの振動解析” p. 891
115. 118. *Hong-Bo Sun, Makoto Maeda, Kenji Takada and Satoshi Kawata, Finer features in two-photon micro-nano fabrication : the role of laser parameters “ p. 985*

第11回自由電子レーザー研究会 (東京, 10月, 2002)

116. 119. 井上 康志, “赤外FELを利用した近接場顕微鏡の開発,”

Optics Japan 2002 (東京, 11月, 2002)

117. 120. 井上康志, 矢野隆章, 渡辺裕幸, 早澤紀彦, 河田 聡, “チップ増強近接場ラマン分光・イメージング,” pp. 166-167

(3)特許出願（国内 2 3 件、海外 1 件）

①国内

発 明 者：河田聡、中村收、藤田克昌、小林実
発明の名称：試料の多点同時計測方法、及び多点同時計測用顕微鏡（特開 2004-212132）
出 願 人：大阪大学長
出 願 日：平成 1 4 年 1 2 月 2 7 日

発 明 者：河田聡、庄司暁
発明の名称：3次元フォトニック結晶を形成する方法（特開 2004-077747）
出 願 人：シー・エー・アイシステム株式会社
出 願 日：平成 1 4 年 8 月 1 6 日

発 明 者：クドゥリヤショフ・イゴーリ、駿河正次、河田聡、中村收
発明の名称：フェムト秒レーザーを用いた特殊光学系（特開 2003-255262）
出 願 人：株式会社東京インスツルメンツ、科学技術振興事業団、河田聡、中村收
出 願 日：平成 1 4 年 3 月 5 日

発 明 者：河田聡、庄司暁
発明の名称：3次元フォトニック結晶を形成する方法（特開 2005-122002）
出 願 人：シー・エー・アイシステム株式会社
出 願 日：平成 1 5 年 1 0 月 2 0 日

発 明 者：河田聡、井上康志、岩佐真行、伊與木誠人、渡辺和俊、鹿倉良晃
発明の名称：近接場光学顕微鏡（特開 2005-121374）
出 願 人：エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社、河田聡
出 願 日：平成 1 5 年 1 0 月 1 4 日

発 明 者：駿河正次、クドゥリヤショフ・イゴーリ、ルツコフスキー・パベル、バイコフ・ビクトル・エー、ゾウニン・セルゲイ・エー、ポルコフ・アレクセイ・ディー、ジジモントフ・アレクセイ・ブイ、ニコイコフ・アレクセイ・ブイ、河田聡、井上康志
発明の名称：走査型プローブ顕微鏡像及びレーザー励起発光分布像測定装置（特開 2004-245694）
出 願 人：株式会社東京インスツルメンツ、独立行政法人科学技術振興機構、河田聡、井上康志
出 願 日：平成 1 5 年 2 月 1 3 日

発 明 者：平井真理子、河田聡、段宣明
発明の名称：高分子フィルム、偏光子、それらの製造方法、偏光板、光学フィルムおよび画像表示装置（特開 2005-250220）
出 願 人：日東電工株式会社
出 願 日：平成 1 6 年 3 月 5 日

発 明 者：藤田克昌、河田聡、中村收、小林実
発明の名称：蛍光顕微鏡及び観察方法（特願 2004-355483）
出 願 人：国立大学法人大阪大学
出 願 日：平成 1 6 年 1 2 月 8 日

発 明 者：藤田克昌、河田聡、中村收、小林実
発明の名称：蛍光顕微鏡及び観察方法（PCT/JP2004/010037）
出 願 人：国立大学法人大阪大学

出 願 日：平成 1 7 年 1 0 月 1 4 日

発 明 者：河田聡、藤田克昌、小林実

発明の名称：特開 2006-258990 光学顕微鏡

出 願 人：財団法人大阪産業振興機構、国立大学法人大阪大学

出 願 日：平成 1 7 年 3 月 1 5 日

発 明 者：段 宣明、孫 洪波、河田 聡

発明の名称：ポリマーマイクロ・ナノデバイス及びその製造方法

出 願 人：科学技術振興機構

出 願 日：平成 1 5 年 7 月 1 5 日

発明の名称：発 明 者：段宣明、孫洪波、河田聡（PCT/JP2004/010037）

発明の名称：Structure and method for producing structure（構造体および構造体の製造方法）

出 願 人：科学技術振興機構

出 願 日：平成 16 年 7 月 14 日

発 明 者：河田聡、加藤純一、小野篤史

発明の名称：近接場光分布伝送素子（特願2005-367201）

出 願 人：（独）理化学研究所

出 願 日：2005/12/20

発 明 者：齊藤結花、村上貴、河田聡、塚越一仁

発明の名称：内包体内包体製造方法及び製造装置（特願2005-258403）

出 願 人：（独）理化学研究所

出 願 日：2005/9/6

発 明 者：武安伸幸、田中拓男、河田聡

発明の名称：3次元金属微細構造体の製造方法（特願2005-257503）

出 願 人：（独）理化学研究所

出 願 日：2005/9/6

発 明 者：田中拓男、 関本芳宏

発明の名称：マルチヘッド露光装置および露光方法（特願2005-185490）

出 願 人：大阪大学、シャープ（株）

出 願 日：2005/6/24

発 明 者：早澤紀彦、河田聡、斎藤結花

発明の名称：結晶表面の歪み測定方法およびその装置（特願2005-184150）

出 願 人：（独）理化学研究所

出 願 日：2005/6/23

発 明 者：田中拓男、 河田聡、

発明の名称：光学材料,それを用いた光学素子およびその作成方法（特願2005-179621）

出 願 人：（独）理化学研究所

出 願 日：2005/6/20

発 明 者：田中拓男、 関本芳宏

発明の名称：露光装置および露光方法（特願2005-176896）

出 願 人：大阪大学、シャープ（株）

出 願 日：2005/6/16

発 明 者：田中拓男， 石川篤， 河田聡，
発明の名称：金属錯イオンの光還元方法（特願2005-139329）
出 願 人：（独）理化学研究所
出 願 日：2005/5/12

発 明 者：岡本隆之、馮晶、河田聡
発明の名称：有機EL素子（特願2005-135278）
出 願 人：（独）理化学研究所
出 願 日：2005/5/6

発 明 者：橋本守、荒木勉
発明の名称：顕微鏡（特願2005-136379）
出 願 人：大阪大学
出 願 日：2005/5/11

発 明 者：橋本守、井上康志、荒木勉、河田聡
発明の名称：ビーム光出力システム、ビーム光出力装置の制御方法、及び制御装置（特願2005-078121）
出 願 人：大阪大学
出 願 日：2005/3/17

②海外

発 明 者：Yuika Saito, Takashi Murakami, Satoshi Kawata, Kazuhito Tsukagoshi, Masato Iyoki
発明の名称：PROBE FOR NEAR-FIELD MICROSCOPE, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME AND SCANNING PROBE MICROSCOPE USING THE PROBE（出願番号196104(海外, U. S. A.)）
出 願 日：2005年 8 月 1 3 日

(4)新聞報道等

①新聞報道

1. マスメディア報道

－ 2006 年 7 月 24 日	読売新聞	ナノサイズの物質みる 光学顕微鏡を開発
－ 2006 年 7 月 7 日	日経産業新聞	近接場項の応用拡大 高密度記録に応用
－ 2006 年 6 月 21 日	日刊工業新聞	色でナノ構造観察 阪大が光学顕微鏡開発 散乱光の変化で物性測定
－ 2006 年 6 月 16 日	日経産業新聞	微小針で押してナノ材料を観察 阪大が観測装置開発
－ 2006 年 5 月 5 日	毎日新聞	精度従来の 100 倍 ナノでも見えます 阪大が顕微鏡開発
－ 2006 年 4 月 18 日	日刊工業新聞	大学ベンチャーの挑戦 86:生きた細胞を 3 次元観察 ラマン散乱光で実現
－ 2006 年 4 月 14 日	科学新聞	物質境界面の光反射ゼロ 理研が新規光学素子開発 光ファイバー光伝搬効率向上へ
－ 2006 年 4 月 10 日	建設通信新聞	光反射せず全部透過
－ 2006 年 4 月 7 日	化学工業日報	無反射透過物質を設計 銀ナノリング活用 異材境界のロス防止
－ 2006 年 4 月 7 日	日経産業新聞	光 100%透過の新材料、理研、通信時の損失防ぐ
－ 2006 年 4 月 7 日	日刊工業新聞	物質境界面の光反射を除去 理研が新光学素子
－ 2006 年 3 月 2 日	日刊工業新聞	金属ナノ構造と光の相互作用で実現
－ 2006 年 3 月号	Newton	ナノサイズの金属がレンズに
－ 2006 年 2 月 23 日	日刊工業新聞	独創研究集団理研の最前線：メタマテリアルで光制御

– 2006 年 1 月 11 日	読売新聞	サイエンス：微細構造を鮮明に画像化
– 2006 年 1 月 5 日	毎日新聞	ナノの世界よく見える
– 2006 年 1 月 1 日	科学新聞	光学系でナノメートルの分解能 理研が世界初
– 2005 年 12 月 22 日	化学工業日報	ナノクラス解像度の金属ナノレンズ
– 2005 年 12 月 22 日	日刊工業新聞	理研が光イメージング技術：金属ナノ構造で” レンズ”
– 2005 年 9 月 11 日	読売新聞	生きた細胞原色で観察 大阪大ベンチャー顕微鏡開発
– 2005 年 9 月 9 日	朝日新聞	細胞 生きたままで観察 阪大発ベンチャーが顕微鏡開発
– 2005 年 9 月 9 日	科学新聞	レーザー走査顕微鏡 阪大発ベンチャーが製品化
– 2005 年 9 月 3 日	朝日新聞	染色いらず 新型顕微鏡 阪大発ベンチャー自然な姿カラー化
– 2005 年 6 月 29 日	読売新聞	タンパク質の働きレーザー光で停止
– 2005 年 6 月 23 日	京都新聞	レーザー照射でタンパク質制御
– 2005 年 6 月 23 日	産経新聞	レーザー光でタンパク質制御
– 2004 年 7 月 19 日	AERA	中国の頭脳にも日本から熱視線
– 2004 年 5 月 7 日	日本経済新聞	河田聡インタビュー 科学技術拠点へ走る大学人 阪大、社会と接点探る(下)
– 2004 年 5 月 6 日	日本経済新聞	河田聡インタビュー 科学技術拠点へ走る大学人 阪大、社会と接点探る(上)
– 2004 年 4 月 30 日	朝日新聞	阪大・河田さん 中国でナノテク指南
– 2004 年 4 月 14 日	日刊工業新聞	英語がペラペラ
– 2004 年 3 月 25 日	日経産業新聞	河田聡インタビュー 「死の谷」越える阪大流
– 2004 年 3 月 9 日	読売新聞	河田聡インタビュー 起業推進 着実に成果
– 2004 年 2 月 25 日	日本経済新聞	東京で狙うチャンス
– 2004 年 2 月 16 日	日本経済新聞	大競争時代 個性決め手
– 2004 年 2 月 5 日	日経産業新聞	阪大発ベンチャーのナノフォトンが装置
– 2004 年 2 月 3 日	読売新聞	世界にない新装置を
– 2004 年 1 月 26 日	日本経済新聞	いつでもどこでも受講 OK 講義を電子保存
– 2003 年 12 月 17 日	日本経済新聞	ナノフォトン 分子膜を観察できる顕微鏡
– 2003 年 10 月 30 日	日経産業新聞	コンテンツ重視の産学連携 “阪大 FRC 社会のための新しい大学創造”
– 2003 年 10 月 26 日	日本経済新聞	赤血球に載る大きさの牛
– 2003 年 9 月 11 日	産経新聞	モノづくり企業の支援拠点へ より密接に産・学・官連携
– 2003 年 8 月	日経サイエンス	青色 LED 誕生を支えた自主独立の経営と開発の精神
– 2003 年 7 月 31 日	読売新聞	おもしろいナノテク、もうかるナノテク 極小の錬金術 “アトム魂” で挑戦
– 2003 年 7 月	Loop	国立大学に投資を呼び込む NPO 活用術
– 2003 年 7 月	日経バイオビジネス	阪大の未来を広げる産学連携 大学も変わらなあかん！
– 2003 年 7 月 1 日	日本経済新聞	起業大学 大阪大 知的財産管理し産学連携
– 2003 年 6 月	経済人	産学連携を成功させるためのキー・コンセプト-ナノテクノロジーを事例として-
– 2003 年 6 月 19 日	日経産業新聞	フォトリソグ結晶 複合材料にレーザー照射 阪大ダイアに似た構造実現
– 2003 年 6 月 18 日	読売新聞	読売関西フォーラム「おもしろいナノテク、もうかるナノテク」
– 2003 年 6 月 6 日	日本経済新聞	研究者よ 夢を語れ 具体性持たせ革新促す
– 2003 年 5 月 24 日	週刊東洋経済	大学からベンチャーが生まれる！国立大学独法人化で産学連携が加速か
– 2003 年 5 月 9 日	日本経済新聞	阪大 ネットでナノテク講義 企業担当者に最先端技術
– 2003 年 5 月	Loop	ナノの世界ではあらゆる学問領域が融合する。大学の研究力を総動員するチャンスだ

– 2003 年 4 月 23 日	朝日新聞	来るか アトムの時代 “研究者も冒険が必要”
– 2003 年 4 月 15 日	ゴム化学新聞	「FRe-大学」が 10 日開校 企業や一般の人を対象に
– 2003 年 4 月 12 日	OHM	ナノの世界を見る・測る・加工する ナノフォトニクス
– 2003 年 3 月 28 日	日本経済新聞	社会と大学は連携から「融合」へ “学問の誕生・成長・老化” (大阪版)
– 2003 年 3 月 14 日	日刊工業新聞	阪大発ベンチャー設立 シーズの製品化を受け皿に
– 2003 年 2 月 6 日	讀賣新聞	最先端研究装置 100%国産で
– 2003 年 2 月 5 日	朝日新聞	河田・阪大教授に島津賞 300 万円贈呈 近接場分光法を研究 (大阪版)
– 2003 年 2 月 4 日	朝日新聞	ネット上でナノテク講義を有料公開する大阪大教授
– 2003 年 2 月 2 日	朝日新聞	ナノ光学で功績 河田教授を表彰 (京都版)
– 2003 年 1 月 24 日	科学新聞	(ひと)ネット上でナノテク講義を有料公開する大阪大教授・河田聡さん
– 2003 年 1 月 24 日	朝日新聞	計測学教室の教授に 新風求めて「海外重視」新研究室の立ち上げと学科改革
– 2003 年 1 月 24 日	朝日新聞	生きた細胞見る顕微鏡開発 学者・技術者協力し起業 (第 1 面)
– 2003 年 1 月 7 日	DAILY YOMIURI	ナノ顕微鏡ベンチャー「独立自主」へ挑戦 (第 3 面)
– 2002 年 12 月 31 日	朝日新聞	Future is 3-D not DVD
– 2002 年 12 月 27 日	日本経済新聞	ナノテク講座 学外公開 ネットで双方向 企業情報吸収し質向上 (大阪版)
– 2002 年 12 月 23 日	日本経済新聞	ナノ講座 学外に有料公開 企業とタッグ 質向上図る (名古屋・東京版)
– 2002 年 12 月 22 日	日本経済新聞	松下・リコー・阪大など 8 機関 大容量光ディスク研究着手 2010 年ごろ製品化めざす
– 2002 年 12 月 13 日	科学新聞	細胞活動 詳細に観察 レーザー顕微鏡開発 阪大教授らが VB
– 2002 年 12 月 4 日	日刊工業新聞	容量 DVD の 300 倍 次々世代光ディスク 松下・阪大など開発へ
– 2002 年 12 月 4 日	京都新聞	近接場分光法とナノフォトニクス 阪大・河田氏に島津賞
– 2002 年 12 月 4 日	日本経済新聞	今年度の島津賞 河田阪大教授に
– 2002 年 12 月 4 日	日本工業新聞	ナノ構造観察の顕微鏡考案 島津賞に河田教授
– 2002 年 12 月 4 日	産経新聞	阪大院教授の河田聡さんに 島津賞
– 2002 年 11 月 28 日	日本経済新聞	河田氏に島津賞
– 2002 年 11 月 18 日	日本経済新聞	阪大院教授の河田聡さんに 島津賞
– 2002 年 11 月 6 日	日本経済新聞	明日の日本のために、阪大 FRC が動きます。
– 2002 年 11 月 6 日	日経産業新聞	ナノテク 前途広大 実用化へ挑戦加速 “企業は大学活用して”
– 2002 年 10 月 13 日	朝日新聞	DNA 極小のレーザー 電子デバイスに負担少なく手術
– 2002 年 10 月 8 日	讀賣新聞	[造形]特殊な膜・結晶 自在に
– 2002 年 10 月	LOOK JAPAN	経営者育成で阪大・企業提携 文・理系融合コース開設へ
– 2002 年 9 月 18 日	日経産業新聞	大学発産業育成 阪大が経営者支援会社と提携 学際交流 今後の課題
– 2002 年 9 月 18 日	日本経済新聞	Microbulls Lead Lasers to New Markets
– 2002 年 9 月 18 日	日本工業新聞	阪大とグロービス提携 大学発 VB の育成支援
– 2002 年 9 月 2 日	日経ビジネス	VC のグロービス 阪大発 VB に投資 数社に 10 億円
– 2002 年 8 月 31 日	日本経済新聞	阪大フロンティア研究機構 大学発 VB 創生へ グロービスと提携
		2002 年日本イノベーター大賞 ナノテク分野で産学協同を進める中心人物
		阪大や京大など 首都圏企業に技術 PR ナノテク・医

- 療 相次ぎ相談会（夕刊）
- 2002 年 8 月 WINDS（Japan Airline 国際線機内誌） The GOOD of SMALL Things
 - 2002 年 8 月 15 日 Nature Breaking down biological borders
 - 2002 年 7 月 22 日 日本経済新聞 微小物質の構造「光」で解析 阪大
 - 2002 年 7 月 19 日 日本経済新聞 産学連携の新潮流 知の改革者たち 大型投資を呼び込む
 - 2002 年 7 月 2 日 朝日新聞 三洋・シャープ・・・阪大機構と知の和 20 社、新ビジネス育ての親に
 - 2002 年 3 月 29 日 日経産業新聞 新産業創出の期待を担う阪大フロンティア研究機構 “弾力的機動的組織で国際的な研究拠点に”
 - 2002 年 3 月 6 日 毎日新聞 微小な新材料を作り出せ 「10 億分の 1」シンポ
 - 2002 年 3 月 5 日 毎日新聞 ナノテクの未来探る 大阪大大学院きょうからシンポ
 - 2002 年 2 月 18 日 毎日新聞 大学から新産業創造を 阪大フロンティア研究機構 規則破り社会貢献
 - 2002 年 1 月 23 日 毎日新聞 大学の国際化 まず教官に外国人を
 - 2002 年 1 月 20 日 大阪大学新聞 組織改革で“未開の地”を拓く 魅力的な研究拠点に 新産業創出で社会貢献

②受賞

- 研究代表者の河田聡が平成 17 年度文部科学大臣表彰「科学技術賞」研究部門を受賞。業績名：近接場ラマン散乱顕微分光によるナノ分子イメージングの研究, 文部科学省, 2005 年 4 月 13 日
- 研究分担者の井上康志が第 2 回堀場政夫賞を受賞。業績名：近接場ナノ振動分光学の開拓研究、堀場製作所, 2005 年 7 月 21 日
- 研究代表者の河田聡（大阪大学大学院工学研究科 教授／理化学研究所 主任研究員）が第 26 回応用物理学会論文賞・解説論文賞を受賞。(2004 年)
- 研究代表者の河田聡が近接場ラマン分光法の研究で島津賞を受賞。(2003 年)
- 研究代表者の河田聡が米国光学会（Optical Society of America）のフェローに選出。(2002 年)

③その他

- 金属ナノ構造による新しいナノ観察用レンズ 0 PLUS E Vol. 28, No. 2, 2006 年 2 月号 p.133
- 理研, 金属ナノ構造によるイメージング技術を開発」オプトロニクス No. 290, 2006 年 2 月号 p. 79.
- DNA の近接場 CARS イメージングが、American Physical Society のウェブジャーナルで紹介された。（“Visualize the Vibe,” Physical Review Focus, <http://focus.aps.org/story/v13/st24>, 4 June 2004）
- 2 光子重合光造形法により作製した体長 8 ミクロンの牛が、世界最小の光造形物としてギネスブックに掲載された。（“Smallest Laser Sculpture,” Guinness World Records 2004, p. 136）
- 2 光子重合光造形法が、米国光学会（Optical Society of America）のニュースジャーナルで紹介された。（“The Future of Solid Imaging,” Optics and Photonics News, May 2002, p. 48）

8. 結び

非線形光学と近接場光学を融合した非線形ナノフォトニクスを確立することを目的とし、フォトンを用いてナノスケールで“観て”、“操って”、“創る”技術開発を推進してきた。非線形ラマン散乱分光であるCARS分光を光学的ナノメートル計測法である近接場顕微鏡と組み合わせて、世界最高峰の空間分解能（ $<15\text{ nm}$ ）で分子の振動を“観る”技術を開発した。細胞内の特定の場所に遺伝子導入によって発現させた蛍光タンパク質のみを多光子過程により励起することで、その蛍光タンパク質の周辺数ナノメートルの機能性タンパク質の機能を阻害する（“操る”）ことに成功した。また、多光子過程を用いて 100 nm 分解能で同時に複数の3次元構造物や光ナノデバイスを“創る”技術や、このナノ加工技術に最適なナノ微粒子（ TiO_2 や CdS ）を高濃度に含む機能性複合材料を“創る”技術を確立した。近接場光学技術と非線形分光技術の融合と、従来の光技術や従来のプローブ顕微鏡では実現不可能なナノサイエンス&テクノロジーの開拓という「非線形ナノフォトニクス」プロジェクトの当初の目的は、基礎科学研究の観点からも実用的な観点からも、達成できたと考える。

さらに、プローブ／試料間の化学的効果によるラマンスペクトルの変化、力印可にともなうラマンバンド振動数のシフト検出と分子レベルの超高分解能化、生きたままの細胞の3次元ラマン顕微分光、金属3次元ナノ構造による負屈折率構造の探求、プラズモニックバンドギャップレーザー、金属ナノレンズなど、当初の目標を遙かに超える新たな研究テーマと成果が各グループから生まれた。またグループ間の連携では、分子イメージンググループと細胞刺激・加工研究グループの連携から多光子CALIによるaurora Bの不活性化と細胞分裂のコントロールを実現したほか、細胞刺激・加工研究グループとナノマシン・ナノデバイス研究グループの連携から微細構造による細胞の成長ダイナミクスのコントロールを可能にし、機能化複合材料研究グループからは数々



CREST China-Japan Joint Symposium on Nonlinear Nanophotonicsにて。

（2005年9月12～14日 北京）

の機能性材料をナノマシン・ナノデバイス研究グループに提供した。いずれの成果も、非線形光学と近接場光学の技術の融合を追求する中でいわば必然的に到達した成果であり、本プロジェクトの研究課題と戦略が極めて独創的であり、また本プロジェクトで組織したサブグループがお互いに機能的に寄与しあいながら研究を推進することができたことの証明であると自負している。

今後もさらに空間分解能の向上を追求し続け、我々の夢である、1分子を分解して観察することができる近接場光学顕微分光法を目指したい。特に、力印可によるラマンバンドシフトの誘起は、これまでの空間分解能($<15\text{ nm}$)のブレークスルーとなる要素の一つであると考えている。また、負の屈折率を持つ材料や、光波領域の電磁波に対して負の磁気応答を示す材料など、自然界に存在しない光学特性を示す材料、いわゆる”メタマテリアル”は、金属ナノ構造と光子の相互作用を原理とするナノ材料であり、本プロジェクトを推進する中で我々が到達した新しいナノフォトニクス研究である。実現にはナノサイズの3次元金属構造の精密加工という大きなハードルがあるが、本プロジェクトで得た光加工技術を駆使して克服し、さらに探求していきたい。



2004年度研究チーム主催シンポジウムにて。
(2004年4月27～28日 淡路夢舞台国際会議場)



2005年度研究チーム主催シンポジウムにて。
(2005年4月5～6日 淡路夢舞台国際会議場)