

平成 22 年 4 月 27 日現在

研究種目： 特定領域研究  
研究期間： 2007～2010  
課題番号： 19049002  
研究課題名(和文) 超狭帯域レーザー顕微分光イメージングを用いた高次機能性構造の光  
在反応解析  
研究課題名(英文) Analysis of photon-localization within integrated functional  
structures using narrow-band laser microimaging spectroscopy  
研究代表者  
笹木 敬司 (SASAKI KEIJI)  
北海道大学・電子科学研究所・教授  
研究者番号： 00183822

研究代表者の専門分野： 工学

科研費の分科・細目： 応用物理学、工学基礎・応用光学、量子光工学

キーワード： 微小共振器、顕微分光イメージング、金属ナノ構造体、光局在、光反応増強

## 1. 研究計画の概要

光子と分子の強結合状態を形成するためには、フォトニック結晶、微小球、ランダム媒質等の微小共振器や金属ナノ構造体によって、光子あるいは光子と電子がカップリングした状態を微小空間に閉じ込める系が必要であり、そのような共鳴系では時間の不確定性は大きく、スペクトル線幅が極めて狭くなる。本申請研究では、波長可変狭帯域レーザーをコンフォーカル系で顕微鏡に導入し、メガヘルツの周波数 ( $<10^5$  nm 波長) 分解能とサブマイクロメートルの 3 次元空間分解能をあわせ持つ顕微分光システムを世界に先駆けて開発する。本システムにより、光閉じ込めの Q 値が  $10^8$  以上の局在場のイメージングを実現することができるとともに、局在場における光と分子の強結合反応プロセスを高効率に誘起し解析することが可能となる。

また、狭帯域レーザーを非線形結晶に通して量子力学的もつれ合い光子を発生させ、2光子励起プロセスを観測するという我々独自のアイデアに基づき、回折限界を超える超解像分光イメージングを実現する。既に量子相関光子対の空間伝搬特性について新しい理論的な解析法を提案するとともに実験的評価を行い、量子相関光子対投影用光学系の設計指針を得ている。

光を閉じ込めるナノ構造体として、我々が

これまで実績を挙げてきた微小球やランダム媒質を研究対象とすると共に、フォトニック結晶や局在プラズモン構造体の解析を行うために、特定領域内の構造体作製グループや反応解析グループとの共同研究として、光局在場において遷移ダイナミクスの観測や分子間エネルギー移動プロセスの増強効果の解析を実施する。

## 2. 研究の進捗状況

マクスウェル方程式とブロッホ方程式を組み合わせて電磁場中の分子ダイナミクスの空間分布を数理解析する新しい手法を、A01班・理論グループとの共同研究で開発した。本手法を用いて、微小球、ランダム媒質、フォトニック結晶、金属微細構造体における光局在状態を解析し比較評価を行うとともに、分子の遷移ダイナミクスについてシミュレーションを行い、発光・エネルギー移動過程、光反応プロセスの増強を定量的に解析するとともに、様々な光反応に適したナノ構造体の設計指針を得た。成果はA02班・構造体作製グループやA01班・反応解析グループに提供した。

また、理論グループと共同研究で、もつれ合い光子対を用いて回折限界を越える空間分解能を得るシステムを設計した。高出力のCWチタンサファイアレーザーと非線形結晶を用いて量子相関光子を発生させ顕微分光顕微鏡システムに導入し、もつれ合い2光子顕微イメージングシステムを開発している。

微小球共振器における自然放出過程・エネルギー移動過程の増強については既に基礎的実験を実施しているが、光局在の空間分布解析や狭帯域集光レーザーによる高効率な反応の誘起について研究を展開し、A03班・計測グループメンバーとの共同研究として光分子強結合反応場の初期的実験を行った。

さらに、A01班、A02班の構造体作製グループと共同で、枝付き微小球上に金属ナノ構造体を作製し、微小球の光閉じ込め効果とプラズモン増強効果を同時に誘起する全く新しいアイデアに基づく微小デバイスを構築した。狭帯域レーザー顕微分光イメージングシステムを用いて光局在とプラズモン増強効果の相乗効果について実験的解析を行うとともに、シミュレーション解析により極限状態の実現に向けて検討している。本研究は、超高効率・新奇光反応系の実現と共に量子効果が実現する新しい光デバイスへの応用が期待される。

### 3. 現在までの達成度

#### ② おおむね順調に進展している

狭帯域レーザー顕微分光イメージングシステムを用いて光局在とプラズモン増強効果の相乗効果について実験的解析が順調に進展しており、研究目的を達成しつつある。特定領域内の共同研究も成果が挙がり順調に進展している。

### 4. 今後の研究の推進方策

開発したシステムを用いて局在プラズモン場における光反応プロセス、特に多光子プロセスの解析を更に進め、新規な現象の解明を目指す。また、極限的な光マニピュレーションを実現する微小共振器/局在プラズモンカップリング系については、超高効率光量子デバイスへの展開を図る計画である。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

① Y. Tanaka and K. Sasaki : “Selection and transfer of individual plasmon-resonant metal nanoparticles”, Appl. Phys. Lett., 査読有, 96(5), 053117/1-053117/3 (2010)

② H. Fujiwara, Y. Tanaka, H. Ishiguro, A. Saito and K. Sasaki : “Direct observation of localized fields in nanogaps between metal particles using a scattering-type near-field microscope”, Appl. Phys. Exp., 査読有, 2(10) 102002/1-102002/3 (2009)

③ Y. Nishijima, K. Ueno, S. Juodkazis, V. Mizeikis, H. Fujiwara, K. Sasaki and H. Misawa : “Lasing with well-defined cavity modes in dye-infiltrated silica inverse opals”, Opt. Exp., 査読有, 17(4) 2976-2983 (2009)

④ R. Okamoto, J. L. O’Brien, H. F. Hofmann, T. Nagata, K. Sasaki and S. Takeuchi : “An Entanglement Filter”, Science, 査読有, 323 : 483-485 (2009)

⑤ K. Ueno, S. Juodkazis, T. Shibuya, Y. Yokota, V. Mizeikis, K. Sasaki and H. Misawa : “Nanoparticle Plasmon-Assisted Two-Photon Polymerization Induced by Incoherent Excitation Source”, Journal of the American Chemical Society, 査読有, 130(22) : 6928-6929 (2008)

⑥ T. Nagata, R. Okamoto, J. O’Brien, K. Sasaki and S. Takeuchi : “Beating the Standard Quantum Limit with Four Entangled Photons”, Science, 査読有, 316 : 726-729 (2007)

[学会発表] (計 34 件)

[図書] (計 1 件)

[その他]

ホームページ

<http://optsys2.es.hokudai.ac.jp/>