

令和元年6月11日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04285

研究課題名(和文) プラズモニクスと物性誘起物質輸送に基づく超高効率ナノ反応界面の創生

研究課題名(英文) Effective nano-interface based on plasmonics and property-induced mass transport

研究代表者

元祐 昌廣 (Motosuke, Masahiro)

東京理科大学・工学部機械工学科・准教授

研究者番号：80434033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノ粒子集合体やナノ構造体において発現する電場増強現象である表面増強プラズモン共鳴を用いて、増強電場による光放射圧を用いた分子トラップ、並びに光熱効果による熱泳動や誘起流といった現象を工学的に応用するべく、金ナノ粒子固定化基板を作成し、光照射に伴うナノ粒子の輸送現象を計測し、光強度や添加物質に依存した多彩な輸送現象を明らかにした。また、これら現象を評価するための熱流動計測法の開発もあわせて行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で観察した多彩なナノ物質輸送現象は、光の回折限界を超えた空間分解能を持ちながら、その有効範囲がマイクロメートルオーダーと広いため、近年特に重要視されている単一分子やナノ物質の分析感度の飛躍的な向上に貢献できるものである。今後のナノ物質ハンドリング技術のさらなる進展が期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop an advanced transportation method for nanomaterials by exploring molecular trapping by optical radiation pressure or plasmothermal processes, thermophoresis and property-gradient-induced flow, induced by the surface enhanced plasmon resonance around metal nanostructures. A plasmic substrate with gold nanoparticles was fabricated and migration phenomena of nanoparticles in laser irradiation was evaluated. Also, novel temperature and velocity measurement techniques to characterize the plasmic transport were developed.

研究分野：ナノ・マイクロ熱流体工学

キーワード：物性分布 ナノ粒子 プラズモニクス 光熱効果

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な分野において、センシング対象は微小化し、単一分子・原子の振る舞いを特徴付けるナノ領域の界面への関心が集まっている。表面増強プラズモン共鳴を用いたラマン散乱やプラズモンピンセットは、光の回折限界を超えた極微小空間への物質操作・センシングが可能であり、高い空間分解能を有する一方、局在空間での現象を利用するために反応空間も狭い、といった難点も存在し、100 nm 以上離れた物質は捕集できず、より高効率なセンシングを実現するためには、広い空間から狭い領域への物質操作、が要求される。

2. 研究の目的

本研究では、ナノ粒子集合体やナノ構造体において発現する電場増強現象である表面増強プラズモン共鳴を用いて、増強電場による光放射圧を用いた分子トラップ、並びに光熱効果による物性分布誘起流を複合的に利用し、固液界面反応の効率を飛躍的に向上させ、界面反応の迅速化・高効率化を実現する。光放射圧および物性分布を利用した熱物質輸送技術を駆使することで、高空間分解能と広い反応領域を両立する、新規ナノ反応制御に寄与する熱流動制御技術体系を確立させる。

3. 研究の方法

(1) プラズモンを利用するための金属ナノ粒子集合体を固定化する基板作成を行う。クエン酸還元法を用いて金ナノ粒子を合成し、これを自己組織化によりガラス基板上に固定させる。固体化の評価は吸収分光計測にて行う。

(2) ナノ構造体周辺の熱流動場を計測する技術の開発を行う。光熱効果や物性分布が誘起する流動を計測する、新たな計測技術を開発し、その性能を検証する。

(3) ナノ粒子固定化基板にレーザ光を集光照射し、増強プラズモンによる光放射圧ならびに光熱効果を観察し、光熱効果由来の熱泳動現象の評価を行い、ナノデバイスを開発する。

4. 研究成果

(1) ナノ粒子の合成プロセスを様々なパラメータにおいて調査し、DLS で粒径を測定し、20 nm 程度の均一な金ナノ粒子の合成に成功した。合成分散液中の金ナノ粒子を、シランカップリング剤を用いた自己組織化処理を施して基板上に固定し、パターンニングが可能であることを確認した。なお、固定化された粒子は SEM で評価した。

(2) 温度場計測法として、蛍光発光の偏光特性の変化から温度分布を求める手法を開発した。速度分布に関しては、これまでに開発済の、3次元マイクロ PTV を用いて評価することができることを確認した。

(3) 金ナノ粒子固定化基板に波長 640 nm のレーザ光を集光照射した結果、照射光強度を変化させると、増強電場ピンセットによる捕捉モードから、温度分布による熱泳動モードへと変化する様子が計測され、その動的な濃度分布変化を定量化した (図 1)。このモード遷移は、輸送するナノ粒子径に依存して変化し、粒径が 100 nm ではプラズモン放射圧の影響が強くなり、より小さい数十 nm サイズの粒子では泳動モードへの遷移が起きやすいことを見出した。さらに、プラズモン加熱場における熱泳動に関して、溶媒に高分子を添加すると、熱泳動の方向が反転する現象が確認された。高分子の分子量と濃度を様々に変化させて輸送現象を可視化した結果、30 nm サイズの粒子に対しては高分子量の方が反転効果が大きく、100 nm の粒子では分子量が 4000 程度で最も高い濃縮が得られる、といった傾向を確認した。また、生体サンプルの輸送可能性を検証するため、ヒト由来タンパク質である IgG を輸送対象として実験を行い、1 μ m 程度の領域にタンパク質を濃縮することが可能であることを示した。

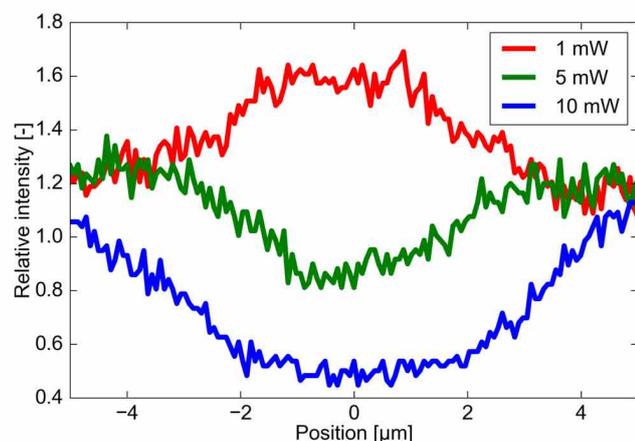


図 1 ナノ粒子濃度分布の照射光強度依存性。弱い場合には集光領域 (0 μ m) に集積され、強くすると、光熱効果による正の熱泳動により、粒子は周辺で集積される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

1. Y. Ichikawa, K. Yamamoto, M. Yamamoto, M. Motosuke, Three-dimensional flow velocity and wall shear stress distribution measurement on a micropillar-arrayed surface using astigmatism PTV to understand the influence of microstructures on the flow field, *Microfluid. Nanofluid.*, Vol. 22, No. 73, pp. 1199-1205 (2018)
2. Y. Ichikawa, K. Yamamoto, M. Yamamoto, M. Motosuke, Near-hydrophobic-surface flow measurement by micro-3D PTV for evaluation of drag reduction, *Phys. Fluid.*, Vol. 29, No. 9, 092005 (2017)
3. M. Muto, Y. Ayako, K. Yamamoto, M. Yamamoto, Y. Kondo, M. Motosuke, Photochemical migration of liquid column in a glass tube, *Eur. Phys. J.*, Vol. 226, pp. 1199-1205 (2017)

〔学会発表〕 (計 57 件)

1. M. Motosuke, R. Ono, K. Shigeta, K. Yamamoto, All-PDMS cytometer chip with embedded fiber waveguide and optimized 3D hydrodynamics focusing, The 32nd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), (2019)
2. M. Motosuke, Photoactivation of interfacial tension gradient for advanced droplet manipulation, EMN Meeting on Droplet (2018) (招待講演)
3. M. Mizoguchi, K. Yamamoto, B. Shashni, S. Aoki, M. Motosuke, Adhesion-free separation of particles/cells using three dimensional negative dielectrophoretic force, 9th Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT), (2018)
4. K. Fujita, K. Yamamoto, M. Motosuke, Improved nanoparticle concentrator chip using AC electroosmosis, 9th Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT), (2018)
5. Y. Ichikawa, K. Yamamoto, M. Motosuke, Effect of fluid flow–micropillar array interaction on the wall shear stress in a microchannel, 18th International Symposium on Flow Visualization (ISFV), (2018)
6. M. Motosuke, Controlled interfacial flow: principle and its potential future, Water on Materials Surface (WMS), (2018) (招待講演)
7. T. Higaki, M. Hino, K. Yamamoto, M. Motosuke, Improved electrothermal flow manipulation for rapid and sensitive detection of analytes, Water on Materials Surface (WMS), (2018)
8. R. Sakurai, K. Yamamoto, M. Motosuke, Bubble-based dilutor and slit-type RBC agglutination detector for an integrated microfluidic blood typing device using whole blood, Water on Materials Surface (WMS), (2018)
9. M. Muto, K. Yamamoto, M. Motosuke, Development of droplet activation method by photothermal interfacial flow, Water on Materials Surface (WMS), (2018)
10. K. Yasuda, K. Yamamoto, M. Motosuke, Light-induced thermophoretic manipulation of nanoparticles, Water on Materials Surface (WMS), (2018)
11. M. Serita, D. Sakai, K. Yamamoto, M. Motosuke, Single detection of 20-nm particle by heterodyne interferometric microfluidic cytometry, 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2018)
12. T. Higaki, M. Hino, K. Yamamoto, M. Motosuke, Optimized electrode array for enhanced protein binding by electrothermal flow modulation, 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2018)
13. R. Sakurai, K. Yamamoto, M. Motosuke, Whole-blood-based microfluidic blood typing chip with precise dilution and sensitive agglutination level detection, 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2018)
14. K. Yamamoto, R. Sakurai, M. Motosuke, Concentration-adjustable superdilutor chip, 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2018)
15. 市川 拓哉, 野村 彩夏, 山本 憲, 元祐 昌廣, 白血球ローリングによる catch-slip 結合の変移, 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第37回研究会, (2018)
16. 元祐 昌廣, 武田 咲希絵, 執行 悠太, 山本 憲, 固液界面近傍における液体成分の識別および液体温度計測, 第55回日本伝熱シンポジウム, (2018)
17. 武田 咲希絵, 執行 悠太, 山本 憲, 元祐 昌廣, 蛍光異方性による温度測定の高空間分解能化へ向けた検討, 第55回日本伝熱シンポジウム, (2018)
18. 武藤 真和, 山本 憲, 山本 誠, 元祐 昌廣, 光熱効果を用いた非接触液滴ソーティング, 第55回日本伝熱シンポジウム, (2018)
19. 市川 賀康, 山本 憲, 元祐 昌廣, マイクロ流路内ピラーアレイ周りの3次元流動計測, 55回日本伝熱シンポジウム, (2018)
20. 保田 恭輔, 山本 憲, 河合 武司, 元祐 昌廣, プラズモン加熱場における熱泳動の可視化, 第46回可視化情報シンポジウム, (2018)

21. 元祐 昌廣, 微小界面流の制御とその応用, 日本学術振興会 水の先進理工学第 183 委員会 第 44 回研究会, (2018) (招待講演)
22. 芹田 真澄, 酒井 大輝, 山本 憲, 元祐 昌廣, 単一ナノ粒子の光干渉検出, 熱工学コンファレンス, (2018)
23. 檜垣 知加, 日野 元貴, 山本 憲, 元祐 昌廣, ジュール加熱を用いた流動制御による界面反応促進, 熱工学コンファレンス, (2018)
24. 太田 慎吾, 山本 憲, 元祐 昌廣, 交流電気浸透流の流速場から体積力場への逆解析, 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 38 回研究会, (2018)
25. 元祐 昌廣, 数値シミュレーションと実験を駆使した最先端熱流体システム開発, COMSOL カンファレンス, (2018) (招待講演)
26. 元祐 昌廣, Advanced Cell/Biomaterial Assay using Micro-optofluidic Technology, 第 28 回日本 MRS 年次大会, (2018) (招待講演)
27. M. Motosuke, Interfacial flow modulation in microfluidic platform, 9th Workshop of Chemical and Biological Micro Laboratory Technology, (2018). (招待講演)
28. M. Motosuke, Ken Yamamoto, Shin Aoki, Microfluidic approach toward highly efficient biomedical interface, 3rd International Biomedical Interface Symposium (IBMI), (2018) (招待講演)
29. M. Motosuke, Fluorescent anisotropy thermometry as liquid temperature imaging technique in microscale, Korea-Japan Joint Seminar on Heat Transfer VII, (2018)
30. Y. Shugyo, K. Yamamoto, M. Motosuke, Fluorescent anisotropy-based thermometry as a microfluidic temperature imaging technique, 12th International Symposium on Particle Image Velocimetry (ISPIV), (2017)
31. K. Fujita, K. Yamamoto, M. Motosuke, Fluidic-force-based nanoparticle concentrator chip, 21st International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2017)
32. Y. Shugyo, K. Yamamoto, M. Motosuke, Visualization of temperature field for aqueous solution in microscale using fluorescent anisotropy, Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TEFC), (2017)
33. M. Motosuke, Simple way of optical manipulation of particles/cells in microfluidic systems, 8th International Conference and Exhibition on Lasers, Optics & Photonics, (2017) (招待講演)
34. Y. Ichikawa, K. Yamamoto, M. Motosuke, Microchannel slip flow structure near superhydrophobic surface, 70th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics, (2017)
35. M. Motosuke, Flexible microfluidic control for highly functionalized LOAC platform, Lab-on-a-Chip & Microfluidics, Point-of-Care Diagnostics & Global Health Asia 2017, (2017) (招待講演)
36. M. Motosuke, Potential of flow modulation for advanced functionality in Lab-on-a-Chip systems, Microfluidics, Liquid Handling and Lab on a Chip, (2017) (招待講演)
37. 市川 賀康, 山本 憲, 山本 誠, 元祐 昌廣, マイクロ流路内コンポジット壁面近傍の 3 次元流動計測, 第 54 回日本伝熱シンポジウム, (2017)
38. 日野 元貴, 山本 憲, 元祐 昌廣, 抗原抗体反応促進のための electrothermal 流による 3 次元流動制御, 第 45 回可視化情報シンポジウム, (2017)
39. 執行 悠太, 山本 憲, 元祐 昌廣, 蛍光異方性の温度依存性に対する溶液粘度の影響, 第 45 回可視化情報シンポジウム, (2017)
40. 元祐 昌廣, 微小スケールにおける界面流動の制御, 日本機械学会 2017 年度年次大会, (2017) (招待講演)
41. 武藤 真和, 山本 憲, 山本 誠, 元祐 昌廣, 光熱バルブによる液滴の軌道制御, 日本流体力学会年会 2017, (2017)
42. 元祐 昌廣, マイクロ流体制御と計測, 第 8 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, (2017) (招待講演)
43. 荻野 哲也, 保田 恭輔, 山本 憲, 元祐 昌廣, 金ナノ二量体周りの熱泳動現象の評価, 日本機械学会関東支部第 23 期講演会, (2017)
44. T. Ogino, K. Yasuda, K. Yamamoto, M. Motosuke, Thermophoresis around dimer of gold spheres for enhancement of trapping force of plasmonic tweezers, The 69th Annual Meeting of The American Physical Society - Division of Fluid Dynamics, (2016)
45. M. Motosuke, Masakazu Muto, Dynamics of microfluidic droplet under optically-induced tension gradient, EMN Droplet 2016, (2016) (招待講演)
46. M. Muto, M. Yamamoto, Y. Kondo, M. Motosuke, Photochemical migration of liquid column in a glass tube, 8th Conference of the International Marangoni Association (IMA), (2016)
47. M. Motosuke, D. Ichimura, M. Hino, K. Yamamoto, Potential of microscale electrical property modulation for controlled liquid manipulation 11th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC), (2016)
48. M. Motosuke, M. Hino, K. Yamamoto, Controlled mixing and surface reaction by microscale property variation of liquid, Fourth International Forum on Heat Transfer (IFHT2016), (2016)
49. Y. Ichikawa, K. Yamamoto, M. Yamamoto, M. Motosuke, Shear stress determination with micron resolution by single-viewing imaging, Fourth International Forum on Heat Transfer (IFHT2016),

- (2016)
50. M. Hino, K. Yamamoto, M. Motosuke, A study on enhancement of interfacial reaction by electrothermal flow, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST), (2016)
 51. T. Ogino, K. Yasuda, K. Yamamoto, M. Motosuke, Enhancement of trapping force of plasmonic tweezers by thermophoresis around gold nanosphere dimer, International Symposium on Micro-Nano Science and Technology 2016 (MNST), (2016)
 52. Y. Ichikawa, M. Yamamoto, M. Motosuke, Micron-resolution shear stress imaging, 20th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Science (micro-TAS), (2016)
 53. 執行 悠太, 相田 拓也, 元祐 昌廣, 蛍光異方性を用いた流体温度マッピング, 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第33回研究会, (2016)
 54. 武藤 真和, 山本 誠, 近藤 行成, 元祐 昌廣, フォトクロミック界面流動の微視的観測, 混相流シンポジウム, (2016)
 55. 元祐 昌廣, マイクロデバイス内熱流動現象の複合計測, 日本機械学会年次大会, (2016) (招待講演)
 56. 市川 賀康, 山本 憲, 山本 誠, 元祐 昌廣, 単視野マイクロ 3DPTV による壁面近傍流動及び壁面せん断応力計測の有効性, 日本流体力学会年会, (2016)
 57. 日野 元貴, 山本 憲, 元祐 昌廣, 高感度検体検出のための electrothermal 流による界面反応の促進, 日本流体力学会年会, (2016)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

研究室ホームページ

日本語 <https://www.rs.tus.ac.jp/motlab/jp/index.html>

英語 <https://www.rs.tus.ac.jp/motlab/en/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：山本 憲

ローマ字氏名：Yamamoto Ken

所属研究機関名：東京理科大学

部局名：工学部

職名：助教

研究者番号 (8 桁)：70749100

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。