

集光レーザービームの光圧に特有の集合構造をもつ 分子材料の設計

Photon-force controlled molecular systems and materials

増原 宏 (Hiroshi MASUHARA)

大阪大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

近赤外レーザーを顕微鏡下に集光し、その光圧のより溶液中の高分子、 dendroliマー、 ナノ粒子などを捕捉集合させる。形成された集合体の性質を明らかにするとともに、集合ダイナミクスとメカニズムを解明し、光圧特有の分子材料設計に道を開いた。また溶液中で一粒ずつナノ粒子を調べる分光法とナノ粒子のパターンを形成する手法を開発した。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

光化学／化学、機能・物性・材料／光圧化学、レーザー捕捉、単一ナノ粒子、分子集合体

1. 研究開始当初の背景・動機

光圧効果にもとづく光マニピュレーション法をルーツとして利用しようとする研究は、工学、医学、生物学の分野で急速に増えつつあるが、その大部分の対象は目に見える μm サイズの微粒子、結晶、細胞、DNAであり、力学的機械的解析が圧倒的に圧倒的である。我々は対象を分子系におき、一貫して分子論、電子論のレベルで光圧効果により誘起される現象を探索し、解明し、これにより新しいサイエンスを開きたいと考えた。

2. 研究の目的

顕微鏡下の集光レーザービームと、溶液中高分子、 dendroliマー、 コロイド、 ナノ結晶など各種ナノ粒子との相互作用により生じる光圧を、分子凝縮系に対する新しい外部摂動と捉え、その光学的、光物理的、光化学的效果を実験的に明らかにする。

- (1) 分子材料の設計にむけて光圧特有の新しい集合構造を形成し、それを基板に植えつけ、新しい摂動としての光圧効果と分子パラメーターとの相関を明らかにする。また、この新しい集合体を基板に移し取る。
- (2) 光圧のために顕微鏡下に高出力光を集光するとき、必ず相伴って起こる光物理・光化学過程を明らかにする。

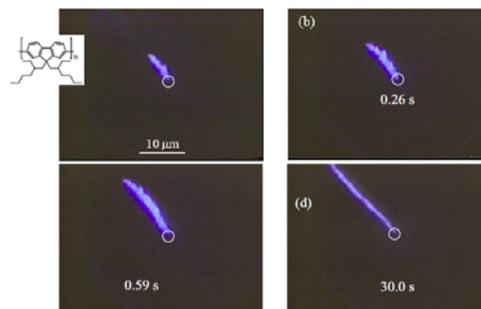
3. 研究の方法

集光近赤外レーザービームが結う記する光捕捉の手法に CW 近赤外光による多光子励起法、可視紫外吸収分光法、蛍光相関分光法を導入し、単一ナノ粒子レベルの分光とダイナミクスの系統的測定を可能にした。そのために、バイオスコープ、マイクログリーンレーザー、LD 励起機固体 IR レーザー、シングルフォトンカウンティングモジュールの設備を購入した。

4. 研究の主な成果

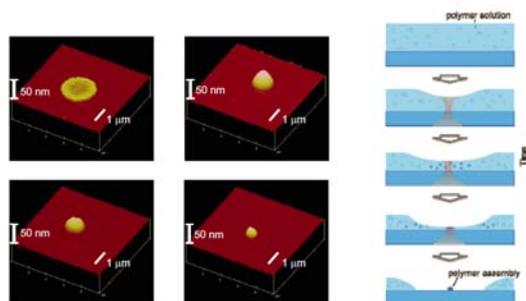
1. 高分子ファイバー状集合体の室温溶液中作製とその基板への移し取りに成功

溶媒をゆっくり蒸発させながら過飽和状態を作り、光圧に固有の不可逆的な集合体を析出させる新しい手法の提案につながった。



2. 集光レーザービームの作る非平衡場を利用した分子集合体形成法の提案

液膜にレーザー光を集光させ、局所的な液膜の形状変化を誘起し、光圧を変化させながら集光位置にドット状の析出物を形成した。



[4. 研究の主な成果 (続き)]

3. 高分子ナノ粒子の光集合と会合体形成の時間発展の解明

初期には数十のナノ粒子が独立してブラウン運動しているが、閉じ込められた空間内に捕捉された粒子が増えてくるとお互い会合し、会合すると光圧は増し、さらに会合は促進され、拡散運動は遅くなる。会合がさらに進行し約 1000 個の粒子が集合する。このような会合体への時間発展が上記の析出過程のモデルと考えている。

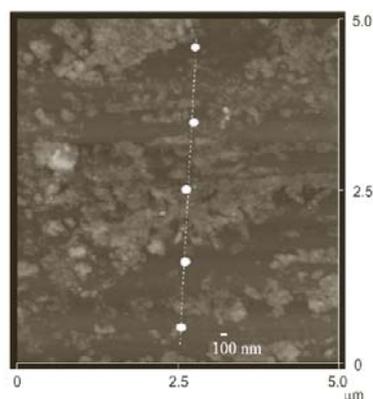


4. 光捕捉・分光によるナノ粒子の会合の新しいダイナミクスの解明

顕微鏡下の可視紫外吸収分光により、金ナノ粒子の表面プラズモン共鳴バンドを測定し、分光学的に金ナノ粒子の会合状態を光圧の関数として明らかにした。

5. 数十nmの空間分解能をもつナノ粒子の室温溶液中パターンニング法の開発

金ナノ粒子分散液を顕微鏡下において YAG レーザーの集光スポットに直径 80 nm の単一金ナノ粒子を光捕捉し、基板に押しつける。そこに紫外パルスレーザーを照射し、光熱変換による瞬間溶解を引き起こし接着させることに成功した。室温溶液中で高分子、デンドリマー、蛋白質固体などの配列にも適用でき、バイオ技術への応用に見通しが明るい。



5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

(1) 下記の国内外の受賞に本基盤研究(S)の成果が含まれている。

1. 第58回 日本化学会賞, 2006.03.28
2. Porter Medal 2006 (European, Inter-American, and Asian Photochemistry Societies), 2006.04.07
3. 名誉学位 Ecole Normale Supérieure Cachan (フランス), 2006.11.07

(2) 本研究を院生として担いその仕事で学位を取得した下記の2人がその経験を生かし、平成18年よりさががけ研究者に選ばれている。これは本研究が新しい分野創成に寄与していることを示すものである。

増尾貞弘 (京都工芸繊維大学・助教)
細川千絵 (産業技術総合研究所・研究員)

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- 1 Laser Deposition of Polymer Micro- and Nanoassembly from Solution by Focused Near-Infrared Laser Beam
Yu Nabetani, Hiroyuki Yoshikawa, Andrew C. Grimsdale, Klaus Müllen, and **Hiroshi Masuhara**
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 1, pp. 449-454 (2007)
- 2 Two-Photon Fluorescence Spectroscopy of Individually Trapped Pseudoisocyanine J-Aggregates in Aqueous Solution
Yoshito Tanaka, Hiroyuki Yoshikawa, and **Hiroshi Masuhara**
J. Phys. Chem. B., Vol.110, No. 36, pp.17906-17911 (2006)
- 3 Cluster Formation of Nanoparticles in an Optical Trap Studied by Fluorescence Correlation Spectroscopy
Chie Hosokawa, Hiroyuki Yoshikawa, and **Hiroshi Masuhara**
Phys. Rev. E, Vol. 72, pp.021408_1-021408_7 (2005)
(selected for the September 12, 2005 issue of Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology and the September 1, 2005 issue of Virtual Journal of Biological Physics Research)
- 4 Assembling and Orientation of Polyfluorenes in Solution Controlled by a Focused Near-Infrared Laser Beam
Sadahiro Masuo, Hiroyuki Yoshikawa, Heinz-Georg Nothofer, Andrew C. Grimsdale, Ullrich Scherf, Klaus Müllen, and **Hiroshi Masuhara**
J. Phys. Chem B, Vol. 109, No. 15, pp. 6917-6921 (2005)
- 5 Photochemical Fixation of Individual Polymer Nanoparticles on Glass Substrates in Solution at Room Temperature
Syoji Ito, Hiroyuki Yoshikawa, and **Hiroshi Masuhara**
Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 43, pp. L885-L887 (2004)

ホームページ等

<http://www.masuhara.jp/>