

【助成 39-35】

光圧増幅ナノ構造体を用いたナノ物質マニピュレーション法の開発

代表研究者 神奈川大学理学部 准教授 東海林 竜也

〔研究の概要〕

本研究では、光圧増幅ナノ構造体を付与した光ファイバを作製し、ナノチップ増強光ピンセットの開発を目指す。光圧増幅ナノ構造体として、金ナノ粒子自己組織化膜とチタンナノリンクル構造体を試作した。ナノ構造体に近赤外レーザー光を照射することで、溶液中に分散するポリスチレンナノ粒子の光捕捉に成功した。さらに、光ファイバ先端に金ナノ粒子自己組織化膜を転写したナノチップ増強光ピンセットを試作し、ナノ粒子の光捕捉を検討した。今後、本手法を進展させ、液液界面や気液界面に分散するナノ粒子・分子マニピュレーションの実現を目指す。

〔研究経過および成果〕

(1) 金ナノ粒子自己組織化膜を用いたプラズモン光ピンセット法の実証

貴金属ナノ構造体のプラズモン励起光を照射すると、増幅された光圧により溶液中に分散したナノ粒子を光捕捉できる。このプラズモン光ピンセットは、精緻な設計に基づき電子線リソグラフィなどにより作製された貴金属ナノ構造体がこれまで用いられてきた。より簡便かつ容易なナノ構造製造方法として、金ナノ粒子自己組織化膜を用いたプラズモン光ピンセット法を開発した。

クエン酸還元法により直径 30 nm の金ナノ粒子を合成した。リンカーとしてチオール化合物を用いることで金ナノ粒子分散水溶液とヘキサンの液液界面に金ナノ粒子の自己組織化膜を作製した。これをガラス基板上に転写し作製された金ナノ構造体は、走査型電子顕微鏡 (SEM) により金ナノ粒子が密に集積した構造であることがわかった (図 1(a))。この構造体はギャップモード局在表面プラズモンに相当する 600~800 nm にブロード

な消光帯が現れた (図 1(b))。そこで、波長 808 nm の近赤外レーザー光を用いることで、ポリスチレンナノ粒子の光捕捉に成功した (図 1(c))。本研究で用いた自己組織化膜の作製法は、他のナノ粒子にも適用できると考えられる。今後は TiO_2 や SiO_2 などの Mie 共鳴による電場増強効果を示す誘電体ナノ粒子自己組織化膜を用いた新規光ピンセットの道が切り拓けるものと期待できる。

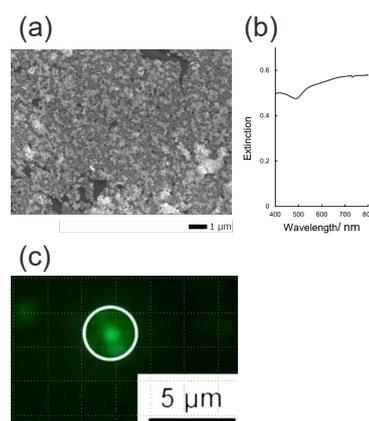


図 1 金ナノ粒子自己組織化膜の(a) SEM像、(b) 消光スペクトル。(c) ポリスチレンナノ粒子を光捕捉した際の蛍光顕微鏡像

(2) チタンナノリンクル構造を用いた NASTiA 光ピンセット法の実証

ナノ構造を付与したチタン（ブラックチタン；B-Ti）に高圧水銀ランプの紫外線を照射すると、高分子ナノ粒子が光 k 捕捉されることが近年わかった。このインコヒーレント光を用いた光ピンセットは前例がほぼ皆無であり、極めて興味深い。我々はこの光捕捉法を、NASTiA (Nanostructured titanium assisted) 光ピンセットと名付け、その機構と特徴を明らかにすることを目指した。

本研究では、酸腐食により B-Ti を作製した。走査型電子顕微鏡により、先端がナノメートルサイズに先鋭化したシワ状模様の微細な構造を観察した（図 2(a)）。我々はこの構造をナノリンクル (nano-wrinkle) 構造と名付けた。図 2(b) に B-Ti を用いたポリスチレンナノ粒子の光捕捉の顕微鏡像を示す。ナノ構造を利用することで、効率的なナノ粒子捕捉法を実現できた。今後、本手法の電場増強メカニズムや捕捉性能評価を明らかにするとともに、化学反応の光圧制御にも挑戦する。

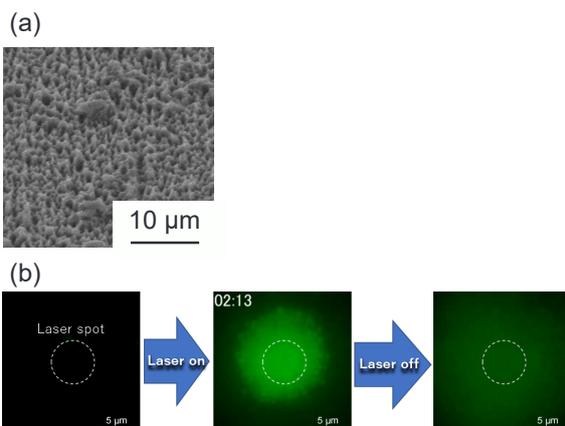


図 2 (a) ブラックチタン(B-Ti)の SEM 像, (b) B-Ti を用いたポリスチレンナノ粒子の光捕捉の顕微鏡像

(3) プラズモン光ファイバピンセットの検討

成果(1)および(2)のようにナノ構造体による電場増強効果を用いることで、従来の集光レーザー型光ピンセットよりも効率的なナノ粒子捕捉を実現できる。このようなナノ構造体を光ファイバ先端に付与させることで、液液界面や気液界面近傍のナノ粒子の運動制御や化学反応制御など、これまでアプローチしづらかった新たな光マニピュレーションの実現が期待できる。そこで、本研究では光ファイバ先端に成果(1)で作製した金ナノ粒子自己組織化膜を転写した、プラズモン光ファイバピンセットの試作とナノ粒子の光捕捉を試みた。

近赤外レーザー光を光ファイバの導入し、光捕捉を観察する独自の光学系システムを構築した。捕捉対象物として 500 nm のポリスチレンナノ粒子の光捕捉を試みた。しかしながら現在までに、ファイバ先端上でのプラズモン光捕捉の実現には至っていない。これは転写した金ナノ粒子が高密度に集積しているため、プラズモン励起に伴い発生する熱が捕捉を阻害しているためと考えられる。転写するナノ粒子の数密度を最適化することで、この問題を解決できると考えられる。さらに、TiO₂ や SiO₂ ナノ粒子自己組織化膜も光ファイバに転写することで、光熱効果を抑えたナノ粒子マニピュレーション法の実現が期待できる。

[発表論文]

1. 東海林 竜也, 浅瀬 有希, 吉田 匡志, 分離技術, 「光ピンセットを用いたナノ粒子の捕集」, 第 53 巻, 第1号 (2023).