21110 微小液滴中固体微粒子のレーザマニピュレーション

Laser Manipulation of Solid Micro Particles in Water

○麻 暁偉 (首都大学東京・大学院)
吉田 真 (首都大学東京)

正 太田 正廣 (首都大学東京)

Gyouyi Ma, Tokyo Metropolitan University
Ota Masahiro, Tokyo Metropolitan University
Makoto Yosida, Tokyo Metropolitan University

The laser trapping of untransmissive solid particles are discussed in this paper. Photon can generate the momentum to the untransmissive particles by diffraction and reflection on the surface of the particles. We tried laser trapping of untransmissive particles using an attractive force caused by the diffraction and radiation force caused by reflection. The laser trapping system contains CW YAG laser, which has 1.064 μm in wave length and an optical microscope. The motions of particles were monitored by a CCD camera on the top of the microscope and recorded by PC connected to a CCD camera.

Key Words: Laser manipulation, Laser trapping, Optical tweezers, Micro manipulation, Micro sphere

1 緒言

光の放射圧を利用したレーザトラッピング技術は、1970年に、A. Ashkin 博士に開発されて以来、様々な改良がなされ^[1]、多くの分野で利用されている。従来のレーザトラッピング研究では、光を透過する微粒子へ光を進入させ、そのときの光子の運動量変化を利用している。

本研究では、微粒子の構成材料として金属を選択し、これを捕捉対象としたレーザトラッピングの研究を行う。従来のトラッピング原理と異なる方法で、金属粒子のマニピュレーション、微粒子の捕捉を行い、また、実験装置の特徴であるレーザ照射点の走査を利用することで単独微粒子、複数微粒子の捕捉、操作を行う。

2 実験原理 装置

Fig.1 (a)は光透過性粒子に光子が照射された図である^[2]。この場合、光子は粒子内部への進入時と出射時に屈折により進行方向が変化する。光子の進行方向の変化により生じた運動量が粒子に誘起される。Fig.1 (b)は光不透過材料表面にて光子が及ぼす影響を表している。粒子表面では光子は回折により進行方向が変化することにより、粒子に対し運動量を誘起させることができる。Fig.1 (c)では粒子表面で起こる光子の反射によって光軸から離れる方向への運動量の誘起を表している。Fig. 2にレーザ照射時の金属微粒子に生じる力を表す。レーザ照射境界面において二つの力の均衡を保持することができるために、粒子を捕捉することが可能になる。

実験装置の概略を Fig.3 に示す。光源には Nd : YAG レーザ (波長 1064nm) を用いた。レーザ光はビームエクステンダによりビーム径を5倍に拡大している。顕微鏡に入射したレーザ光はダイクロックミラーにより下方に反射され、対物レンズを通過し、集光されて対象物に照射される。トラッピング対象物はモータを搭載したステージ上に置かれ、ステージを移動させることで操作を可能としている。また、ガルバノスキャナに鏡を設置することで光軸を微小変動させることを可能にしており、レーザの顕微鏡下での照射点を任意に走査することができる。微粒子の操作の様子は、光学顕微鏡頭部に設置した CCD カメラを通してモニタに出力している。CCD カメラに映された動画像は PC に入力し保存する。ステージに設置したスライドガラス上の水液滴中にニッケル粒子 (直径 2~10 μm , 密度 $\rho = 8.9\text{g/cm}^3$) を散布し、そこへ集

光させたレーザ光を照射する。

Fig.1 A schematic drawing of laser trapping of different materials of particles

Fig.2 A qualitative view of the optical trapping of a metallic particle.

3 実験結果 考察

実験はレーザ光軸を固定し、ステージを移動させることで、レーザ照射点付近の水滴にあるニッケル微粒子の挙動を観察した。Fig.4は光源の出力を2.5Wにしており、実験ステージ上に418mWのレーザ光を照射させた時の記録動画を撮影したものである。ステージは右方向に3.9 $\mu\text{m/s}$ で動かしている。矢印で示した二つの粒子は、ステージの動作方向に対して照射境界面の後ろに位置しながらも、3sec後の右の画像よ

り、照射境界面上に保持されていることがわかり、光の回折による光軸方向へ引き付ける力にて粒子を捕捉したことを確認できる。ステージの移動による媒質からの抵抗値から、トラッピング力は0.11pNほどである。

その後光源の出力を4.0W、実験ステージ上に668mWのレーザ光を照射させ、実験ステージを左に12.8 $\mu\text{m/s}$ で動かしている時、3 μm ほどのニッケル微粒子がトラッピングされ、トラッピング力は0.361pN以上である。

出力3Wのレーザ光をQ-switchにより30kHz発振させたときの実験では、平均レーザ光強度は7.5Wほどであり、ステージ上にはおよそ1.25Wで照射される。実験ステージを右に12.8 $\mu\text{m/s}$ で動かし、照射境界面下部にある直径4 μm ほどの微粒子がステージの移動に対し光軸に引き付ける力によって捕捉されていた。

三つの実験結果から、レーザの出力が高いほど捕捉力も増加することがわかる。

Fig.3 Schematic drawing of optical system for laser trapping.

Fig.4 Photos of nickel particles in a water drop let irradiated by a laser beam of 418mW.

Fig.5 Photos of nickel particles on a slide glass irradiated by a laser beam of 600mW.

Fig.5 は空气中ガラスステージ上にあるニッケル微粒子のレーザトラッピング実験で、光源の出力を2.1Wにし、Q-Switchを30kHzにし、実験ステージ上に600mWのレーザ光を照射させた時の記録動画を撮影したものである。ステー

ジは右方向に12.8 $\mu\text{m/s}$ で動かしている時、8 μm ほどのニッケル微粒子がトラッピングされ、トラッピング力は0.96pN以上である。

その後それぞれ光源の出力を2.1W、Q-Switchを10kHzにし実験ステージ上に500mWのレーザ光を照射させ実験と光源の出力を3.1W、Q-Switchを30kHzにし実験ステージ上に1.25Wのレーザ光を照射させ、実験ステージを左に5 $\mu\text{m/s}$ で動かす実験がおこなわれ、6 μm と9 μm ほどのニッケル微粒子がトラッピングされ、トラッピング力は0.28pNと0.42pN以上である。三つの実験結果から、空气中のレーザトラッピングがレーザの出力が高いほど捕捉力も増加することがわかる。

スライドガラス上水滴中にあるニッケル微粒子のレーザトラッピングについて、光の回折による光軸に引き付ける力を利用したレーザトラッピング法と反射による光軸から押しされる力を利用したレーザトラッピング法により、ニッケル微粒子を捕捉することができた。粒子の捕捉力は照射レーザ光の強度によって異なり、光強度が強いほど引き付ける力は強まり捕捉することが容易になる、反射によりトラッピング力のほうが回折トラッピング力より高い。

空气中ガラスステージ上にあるニッケル微粒子のレーザトラッピングについて、光の反射による光軸から押しされる力を利用したレーザトラッピング法により、ニッケル粒子を捕捉することができた。粒子の捕捉力は光強度が強いほど押しされる力は強まり捕捉することが容易になる。

4 結言

スライドガラス上水滴中と空气中にあるニッケル微粒子のレーザトラッピングでは、水滴中光の回折、反射による光軸に引き付ける力を利用したレーザトラッピング法と空气中光の反射による光軸から押しされる力を利用したレーザトラッピング法を比べると、水滴中反射を利用したレーザトラッピングの方が捕捉する粒径が大きくて、捕捉率が高い。

参考文献

- (1) A.Ashkin, Acceleration and trapping of particles by radiation pressure, *Physical Review Letters*, 24, 156 (1970)
- (2) H.Furukawa, I.Yamaguchi, Optical trapping of metallic particles by a fixed Gaussian beam, *Opt. Lett.*, 23 (1998) pp.216-218.
- (3) Wright, W.H., Sonek, G. J., and Berns, M. W., Radiation trapping forces on microspheres with optical tweezers, *Applied Physics Letters*, Vol. 63-6(1993), 715-717.
- (4) A.Ashkin, J.M.Dziedzic, T.Yamane, Optical trapping and manipulation of single cells using infrared laser beams, *Nature*, 330 (1987) pp.769-771.
- (5) H.Kojima, E.Muto, H.Higuchi, T. Yamagata, Mechanics of Single Kinesin Molecules Measured by Optical Trapping Nanometry, *Biophysical Journal*, 73 (1997) pp.2012-2022.
- (6) Hofkens, J.Hotta, K.Sasaki, H.Masuhara, K.Iwai, Molecular Assembling by the Radiation Pressure of a Focused Laser Beam: Poly (N-isopropylacrylamide) in Aqueous Solution, *Langmuir*, 13 (1997) pp.414-419.
- (7) A.Ashkin, J.M.Dziedzic, Optical Levitation by Radiation Pressure, *Appl. Phys. Lett.*, 19 (1971) pp.283-285.
- (8) Makoto Shimoda, Laser trapping on solid metal particles composed of different material, JSME annual meeting (in Japanese), (2006-9)