広域な光捕捉ナノ粒子集団における円偏光に起因した粒子の回転運動

Rotation of nanoparticles due to the circular polarization in a widely optical trapped assembly

阪大院基礎工 [1], 大阪府大院工 [2]

○(D)垰 幸宏 [1], (M2)松浦 朋輝 [2], 横山 知大 [1], 石原 一 [1,2]

Osaka Univ. [1], Osaka Pref. Univ. [2]

°Y. Tao[1], T. Matsuura[2], T. Yokoyama[1], H. Ishihara[1,2]

E-mail: tao.y@opt.mp.es.osaka-u.ac.jp

物質をナノスケールにすると量子サイズ効果によって従来の材料とは異なる電気的・光学的な特性が得られる。その性質は大きさや形状に敏感に依存し、精度良く制御することで新奇材料としての多機能性につながる。しかし、制御の高精度化は難しく、表面処理や静電的な相互作用を用いた方式が主流であり、種々のナノ粒子の特性を利用した捕捉・輸送・配置・配向操作は重要な課題である。

光が物質に力を及ぼすことは古くから知られている。A. Ashkin らは集光レーザーを用いてマイクロサイズの誘電体球を捕捉、操作することで、光圧による非接触な微小サイズ物質の操作が可能であることを実証した[1]。光捕捉の対象をナノスケールにまで小さくすると、光圧が弱くなるために技術的な困難さが現れる一方で、量子サイズ効果による特異的な光学応答に起因した多様な光捕捉が期待される。我々の目的は、その様なナノ物質の光捕捉におけるナノ粒子集団の集団運動と配列構造の形成過程を明らかにすることである。

T. Kudo らは最近の実験で、単一の集光レーザースポットにおけるポリスチレンビーズ[2]と金ナノ粒子[3]の光捕捉を行い、多数粒子の集団的な光捕捉とその際のスポットサイズを超えた広域的秩序構造形成を報告した。この現象はナノ物質の効率的な光制御という観点からも魅力的である。我々は前回の講演会にて、単一の集光レーザースポットに捕捉された１つの粒子とスポット外の粒子との間での光電場の多重散乱に着目し、この多重散乱が集光スポット外での光捕捉とレーザーの偏光に依存した粒子配列をもたらすことを明らかにした。

本講演では、円偏光による光捕捉に着目し、円偏光の角運動量に起因したナノ粒子集団の回転運動の数値計算による解析結果を報告する。ナノ粒子集団の回転運動は、ガウシアンビームの入射に対して、T 行列に基づいて全粒子の配置を考慮した散乱光電場分布を計算し[4]、Maxwell Stress Tensor を用いて光誘起力を求め、それを駆動力として動力学計算を行うことにより計算した。その結果、円偏光入射に対して、集光ビームの周辺に粒子が移動、捕捉され、隙間を空けつつ偏光と同じ方向に公転する挙動を観察した。その際、図１の様に６つ以上でも同時に公転するという結果を得た。報告では、公転速度や捕捉可能な粒子数について、その光強度依存性や波長、粒径依存性などの詳細を議論するとこで、本現象のメカニズムや配列形成の効率化に向けた指針を検討する。

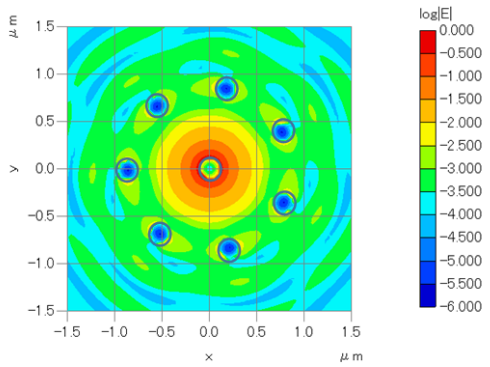

図１．集光位置付近の電界強度分布
色は電場強度を表す。赤が高く、青が低い。
○は、金微粒子の位置を示す。
入射光　波長 1064nm ビームウェスト 0.4um
焦点座標　(x,y)=(0,0)
偏光　　（左回り）円偏光
微粒子　直径 200nm の金微粒子　(○にて図示)

[1] A. Ashkin *et al.*, Opt. Lett. **11**, 288 (1986).
[2] T. Kudo, *et al.*, Nano Lett. **16**, 3058 (2016).
[3] T. Kudo, *et al.*, Nano Lett. **18**, 5846 (2018).
[4] D. W. Mackowski and M. I. Mishchenko, J. Opt. Soc. Am. A **13**, 2266 (1996).

© 2019年 応用物理学会