共鳴非線形光学応答によるナノ微粒子の光圧スイッチ

Switching of Optical Force on Nano-objects by Resonant Nonlinear Optical Response

阪大基工[1]，府大工[2]　石原一[1,2]

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

E-mail: ishi@mp.es.osaka-u.ac.jp

Ashkin らよって発明された光ピンセットはマイクロ物質を捕捉対象とし、それに結びつけた生体分子等の微視的な力学過程の解明に威力を発揮してきた。一方で近年、光圧によって直接ナノ物質の運動を制御しようとする新しいアプローチが注目されている。

ナノ物質の光圧捕捉については、表面プラズモンポラリトンによる強い勾配力を用いる手法や、電子遷移への共鳴条件を用いる手法[1]が研究されている。特に我々のグループでは、局在プラズモン共鳴と電子的共鳴の協奏効果を利用して光圧操作の自由度を高めることに注目している。共鳴条件では光学非線形性が現れやすく、これを利用することで力の方向のスイッチやナノ空間での回転操作とそのスイッチなどが可能となる。本講演ではこれらの研究例を紹介する。

超解像捕捉：通常のガウスビームでナノ粒子を捕捉する場合、回折限界のため光波長程度の広がりを持つ集光点内で多くの粒子が捕捉される。一方、我々はこれに重ねて、ドーナッツビームを同軸で照射する超解像捕捉を提案した[2]。配列した光アンテナでナノ微粒子を捕捉するが、ガウスビームとドーナツビームの光電場の重なったところでは非線形性のため光圧の方向が反転し、その結果ドーナッツビームの軸近辺のみで粒子が捕捉されることになる。この機構により、超解像蛍光顕微鏡(STED 顕微鏡)とのアナロジーのある超解像捕捉が可能となると期待される。

超解像回転スイッチ：金属ナノ構造を適切に配置することで円偏光を照射するだけでナノ微粒子に対しナノ空間内で回転方向へ力を与えることが出来る（図)。特に興味深いのは、非線形効果により金属ナノギャップ近辺で力の方向が反転するため、粒子がギャップに捕捉されることなく回転方向に運動することである。本理論提案では、照射する円偏光の組み合わせによりナノギャップへの捕捉と回転運動をスイッチすることが可能となる。

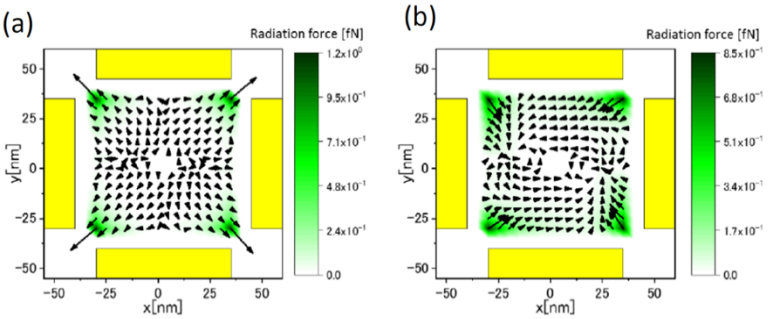


図　金属ナノ構造により誘起される回転運動。矢印は誘起される力の方向を表す。(a) 3準位分子にポンプ光、マニピュレーション光共に同じ円偏光とした場合、ギャップ方向への強い引力が働く。(b) 逆円偏光にした場合、ギャップ近辺の力が斥力へとスイッチし、回転運動が誘起される。

参考文献

[1] T. Iida and H. Ishihara, Phys. Rev. Lett. **90**, 057403 (2003)

[2] M. Hoshina, N. Yokoshi, H. Okamoto and H. Ishihara, ACS Photon. **5**, 318 (2018)

© 2019年 応用物理学会