

プラズモン共鳴トラップ - 分子からソフトマター -

Plasmon-based Resonant Optical Trapping: From molecules to Soft Matters

北大院理¹, JST さきがけ² °坪井 泰之^{1, 2}

Hokkaido Univ.¹, JST-PRESTO², °Yasuyuki Tsuboi^{1,2}

E-mail: twoboys@sci.hokudai.ac.jp

【はじめに】 金属内の自由電子の共同的なプラズマ振動をプラズモンと呼ぶ。微細な構造を有する金属表面や、極めて小さい金属微粒子に共鳴励起光を照射すると(Localized Surface Plasmon, LSP 共鳴), 貴金属表面には入射光が増強した電場が局在化する(電場増強効果)。特に、ナノギャップ構造(プラズモニック光アンテナ)は、その著しい光電場増強能に基づき輻射力も増強し、ナノ粒子をナノギャップ近傍に効率よく捕捉できることがある(図1にその概念図を示した)。このようプラズモニック光ピンセットは、従来の集光レーザービームを用いた光ピンセットに比べ、①安定な捕捉に必要な光強度がおよそ一万分の一程度で済む、②捕捉の空間分解能が回折限界よりもはるかに小さいナノギャップのサイズにまで小さくすることができる、などの大きな利点を有する。しかし、その実験的研究は2008年に報告されて以来、まだ極めて少ない。プラズモン光ピンセットの確立に向け、学術的に理解されなければならないことも、技術的に乗り越えなければならないことも多いが、魅力ある若い研究テーマであると考えている。

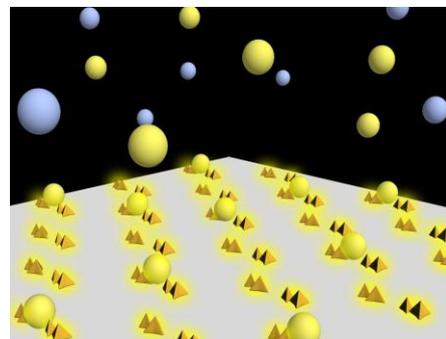


図1. 光ナノアンテナによる微粒子光捕捉の概念図

【私たちの取り組み】 我々は、ポリマーナノ粒子のようなミクロな“剛体球”微粒子のみならず、ポリマーゲルや直鎖ポリマーなどの、“ソフト”な微粒子を対象に、そのプラズモン光捕捉を実現し、その挙動と機構を分光学的手法と理論計算(大阪府立大・石原 一 先生グループと共同研究)により解析する研究を進めている。現在まで、以下のようなことが明らかにしている。

- (1) 金ナノピラミッドダイマー構造(図1)により、直径100nm以下の半導体ナノ結晶⁽¹⁾や直径50~500nmのポリスチレンナノ粒子を捕捉でき⁽²⁾、捕捉の光強度には最適値が存在する。
- (2) プラズモンを励起すると、輻射圧(引力)が増強するのみならず、局所的な温度上昇と温度勾配による熱泳動力(斥力)や熱対流も発生し、この三つの力が競争する。
- (3) このような複数の力の効果のためか、ソフトなゲル微粒やポリマー鎖を子プラズモン捕捉すると、散逸構造のようなマイクロパターンが現れることがある⁽³⁾。
- (4) 励起光がプラズモンのみならず、ナノ粒子をも共鳴電子励起するような共鳴条件下では、輻射圧のさらなる増大が観測され、光捕捉が促進される⁽⁴⁾。
- (5) プラズモン励起光が連続光の場合とパルス光の場合では、時に捕捉挙動に大きな差が現れる。

以上、いずれも単純な現象ではなく、注意深い考察が必要であり、現在解析中である。講演では、全体の概略を紹介した後に、特に上記の(4)の、光共鳴条件下の捕捉について報告する。

【文献】(1) Y. Tsuboi et al. *J. Phys. Chem. Lett.* 1 (2010) 2327-2333.

(2) T. Shoji et al. & Y. Tsuboi, *J. Phys. Chem. C* 2012, DOI: 10.1021/jp306405j. (in press).

(3) M. Toshimitsu et al. & Y. Tsuboi, *J. Phys. Chem. C* 116 (2012) 14610-14618.

(4) T. Shoji et al. and Y. Tsuboi, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 51, No. 9 (2012) 092001.

(5) T. Shoji, T et al., & Tsuboi, Y, *J. Phys. Chem. Lett.* Submitted.