

光熱電ナノピンセットで粒子捕獲効率改善

米テキサス大オースティンとペンシルバニア州立大およびスペイン、ロサンゼルス、トルコの研究者の協力による光熱電ナノピンセットの開発は、ナノフォトニクスやコロイド粒子科学⁽¹⁾に多くのイノベーションを約束するものである。彼らのナノピンセットは、シンプルなオプティクスを備えており、実用的な可変波長と低消費電力を特徴としている。

ほとんどの光ピンセットは、金属ナノ粒子を操作するために高いレーザーパワーを必要とする(数十から数百mW)。従って表面分子、あるいは金属粒子自体に損傷を与える可能性がある。さらに、レーザー光源によって励起された局所的表面プラズモンにより吸収が増え、それに続いて粒子の加熱、光散乱を起こす可能性があり、これらすべてがトラッピングの不安定性を強める。

逆に、光熱電ナノピンセット(OTENT)はイオン種を周囲の熱源から分離し「熱電場」を作り出すことによってこの加熱(光熱効果、つまりジュール損失)を活用する。この「熱電場」によってナノ粒子は、トラッピングサイトに誘導

され、低レーザーパワー、1粒子分解能でこれができる。

熱プラズモニクス、 表面活性物質と加熱

OTENTにより粒子操作を容易にするために、コロイド金属ナノ粒子は、塩化セチルトリメチルアンモニウム(CTAC)という表面活性物質によって補完されている。CTACは、0.216mW、波長532nm(2 μ mスポットサイズ)のレーザー加熱によって金属ナノ粒子表面で吸収し、熱電場を生成する。溶液は、金の多孔質膜と接触し、溶液・基板界面ができる。界面は、レーザー照射を受けると、局所的加熱が起これ、ローパワーで粒子をトラッピングする。これは、比較的高いレーザーパワーで生成される勾配力を通じて粒子をトラップするほとんどの光ピンセットと異なる点である(図1)。

もっと具体的に言えば、熱プラズマ基板のレーザー照射によりCTACミセルと塩素イオンは、高温域から低温域に移行し、電場を生成する。これが金属ナノ粒子をレーザービームスポットに引

き入れる。トラッピング電場は、推定で50~300V/mである。

レーザー加熱による局所的粒子トラッピングは、金と銀のナノ粒子で実験的に実証されている。これに用いたのは532nmレーザーで、パワーレベルは0.05~0.04mW/ μ m²—従来の光ピンセットで使われる一般的なレーザー強度よりも約2から3ケタ低い。

実験にはその場での分光法、並行および多重粒子トラッピングが含まれていた。この技術により、研究者は固有の光応答に基づき、トラップされた粒子を見て特定することができる。光応答は、トラップ内部の多重粒子結合を制御することで精密に調整することも可能である。OTENTにより、直径20nmの金属ナノ粒子の操作と分析ができる。

「OTENTにより、極小出力レーザービームでナノメートルサイズの対象の精密制御が可能になる。これは以前の光学技術ではかなり難しい」とテキサス大オースティン准教授、プロジェクトリーダー、ユエビン・ツェン氏(Yuebing Zheng)は話している。「非侵襲的方法で低次元物質の光制御は非常に重要である。われわれの次のステップの1つとして、構成要素としてコロイドナノ粒子を使い、機能光デバイスをアセンブリするためにOTENTを使用する。また、生きた細胞や生体分子の操作のために、このプラットフォームの生体適合性を改善する。目的は細胞生物学、早期病気診断、細胞間薬剤送達である」。

(Gail Overton)

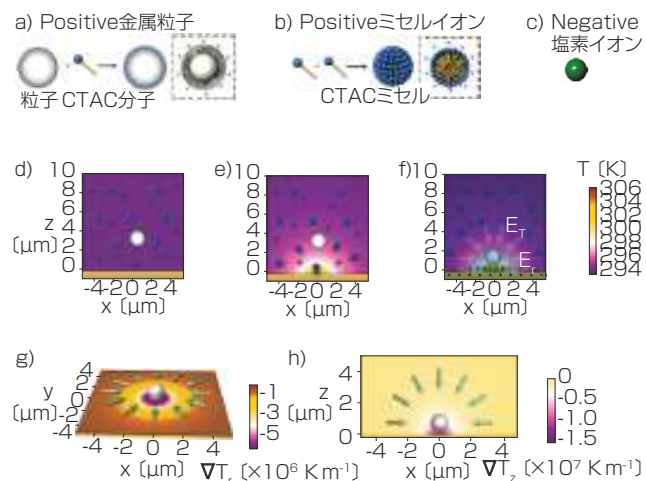


図1 光熱電ナノピンセット(OTENT)の操作は金属ナノ粒子の表面物質で構成される。これは、CTAC吸収(a)とCTACミセル(b)および対イオン(c)によるものであり、これらはレーザー加熱なしでランダムに分布している。レーザー加熱(e)で微粒子熱誘導移動が始まると、熱電場が金属ナノ粒子(f)をトラップし、面内(g)および面外両方のトラッピング力(h)を形成する。(提供: テキサス大オースティン、ツェン研究グループ)

参考文献

(1) L. Lin et al, Nat. Photonics, 12, 4, 195-201 (Apr. 2018).