

ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-3. 空間分解分光
小項目	1-3-8. レーザートラッピング・分光

概要（200字以内）

レーザートラッピングを利用することにより、液中に分散したナノ粒子を集光位置に捕捉して一粒子ずつ分光測定でき、溶液中において粒子ごとに異なる光化学的性質や分光特性を、集団平均を取り除いて解析できる。一方、複数の高分子やナノ粒子を集光位置に捕捉して集合体を作製すると、特有の分光特性を示す現象も見出され、例えば銀ナノ粒子の場合、吸着分子からの表面増強ラマン散乱を測定することもできる。

現状と最前線

ナノ粒子や微結晶、会合体などが分散したコロイド溶液を分光測定する場合、通常、測定結果は複数のコロイド粒子の集団平均になる。希薄なコロイド溶液中に、近赤外レーザー光を高開口数のレンズで強く集光すると、コロイド粒子の屈折率が媒質よりも高い場合、集光スポット内に1個の粒子を光捕捉（レーザートラッピング）することが出来る。他の励起光や白色光を同じ位置に集光することによって、1個のコロイド粒子の蛍光、レイリー散乱、ラマン散乱などを分光測定し、組成、光物性、電子状態、励起状態ダイナミクスなどを集団平均を取り除いて解析できる。

トラッピング力はレーザー強度と粒子の分極率に比例する。高強度のレーザー光を集光すると、光学部品の破損や温度上昇、熱対流、気泡の発生などの影響があるため、通常用いられるレーザー強度は1W程度以下に制限される。一方、分極率は物質の体積に比例するため、粒子が小さくなるとトラップ力は小さくなる。分光測定できる十分な時間、集光位置に捕捉される必要があるため、1粒子分光が可能な粒子サイズは数十ナノメートル以上となる。

レーザートラッピングを利用した分光測定が必要不可欠な測定対象として、分子溶液中に析出した結晶や会合体がある。これらは高濃度溶液中で単量体や二量体、構造の異なる結晶や会合体などと平衡状態にあり、溶液中に分散している状態から変化を与えずに取り出すことは難しい。そこで、レーザートラッピングによって溶液中で非接触、非破壊的に1粒子ずつ捕まえ

て分光することが重要となる。実際に、高濃度のシアニン系色素溶液中に析出したJ会合体を、1個ずつ蛍光スペクトル測定し、溶液中に構造の異なる2種類のJ会合体が存在することが見出されている。

その他近年では、レーザートラッピングを利用して、1個ずつではなく複数の分子やナノ粒子を捕捉し、集光位置に出来る集合体を分光測定する研究が行われている。例えば複数の金ナノ粒子をトラッピングして分光測定することにより、表面プラズモン特性がレーザー強度に依存することが見出されている。また、ポリイソプロピルアクリルアミドやポリフルオレンなどいくつかの高分子は、レーザートラッピングによって集光位置に特有の高分子凝集体を形成し、特有の構造や光物性を示すことが蛍光やラマン散乱スペクトルから分かる。これらの研究では、レーザートラッピングは単に集光位置に粒子を留めておくためではなく、集合体特有の物性を発現させるために使われている。

最新の研究として、銀ナノ粒子のレーザートラッピングを利用した、溶液中分子の表面増強ラマン散乱(SERS)測定がある。SERSは1分子レベルの感度をもつラマン散乱分光法として近年注目されているが、従来法では金や銀などの金属ナノ構造や凝集体を基板上や溶液中に作製し、そこに測定対象分子を吸着させる必要があった。測定対象分子と共に分散させた銀ナノ粒子をレーザートラッピングすることによって、溶液中のレーザー集光位置に銀ナノ粒子凝集体を作製し、吸着分子からのSERSが得られるため、分子溶液系の全く新しいタイプの高感度分光分析法として期待できる。

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
液中単一ナノ結晶の円二色性吸収スペクトル測定によるキラル解析
バイオチップ、マイクロ流路内における高感度分光計測への応用
生体高分子の液中、in vivo 単一機能計測
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
レーザートラッピング SERS による溶液中1分子ラマン散乱分光
液中に分散した単一ナノ粒子の吸収スペクトル測定

キーワード

レーザートラッピング、ナノ粒子、蛍光、ラマン散乱、表面増強ラマン散乱

(執筆者： 吉川 裕之)