

光局在場を利用した分子集合構造の計測と制御



笹木 敬 司*

Measurement and Control of Molecular Assembling Structures with Localized Optical Fields

Key Words : Microspherical lasing, Optical manipulation, Near field spectroscopy

1. はじめに

空調のファンの音だけが鳴り響く暗い地下の実験室におかれた顕微鏡、その接眼レンズの向こうに広がる真っ暗な視野の中に、日食で浮かび出されたコロナの如くリング状にきらめくオレンジ色の光、あの微小球レーザー発振の美しい輝きをこの目ではじめて観て感動したのは、もう5年も前のことである^{1),2)}。毎日調整だけで半日を費やしてしまう市販のパルスレーザーを尻目に、表面張力によって最もシンプルな形「球」が自然に成形されたマイクロメートルオーダーの微粒子は、光共振器の働きをして、いとも簡単にレーザー発振の振る舞いを見せるのである。図1に色素をドーブした高分子微小球のレーザー発振現象の写真を示すが、あの美しさは実際に暗い実験室で顕微鏡を覗いてみなければ理解できないであろう。この微小球レーザーの魅力に引かれ、その輝きの中に潜む物理と輝きが導く新しいテクノロジーの研究を進めてき

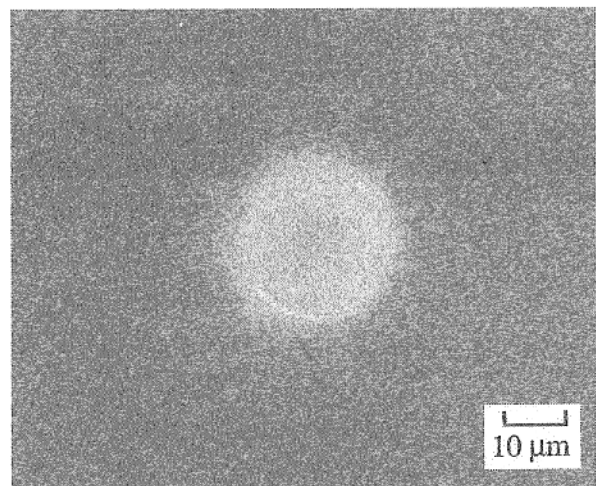


図1 色素をドーブした高分子微粒子のレーザー発振現象

たが、昨年2月、科学技術振興事業団の独創的個人研究育成事業「さきがけ研究21」に標題のテーマで採り上げられ、科研費等とは少し違った研究支援体制で自由に研究を進めさせて頂いている。以下、本研究の展望について最近の実験結果を交えながらご紹介する。

2. 微小球レーザー発振

微小球光共振器には、きれいに磨き上げた金属ミラーや誘導体多層膜は一枚も使われない。その代わりに屈折率の異なる界面で起こる全反射現象が光共振器を形成するのに重要な役割を担う。球形微粒子の中で色素をポンプして光らせると、微粒子の表面に浅い角度で入射した発光は全反射される。反射光は再び同じ角度で界

* Keiji SASAKI
1958年9月23日生
大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻、助教授、工学博士、光計測制御
TEL 06-879-7839
FAX 06-879-7840
E-Mail sasaki@ap.eng.osaka-u.ac.jp



面に入射するので全反射が繰り返され、微小球の縁に沿ってぐるぐると回りはじめる。この円形の光路を一周して位相がちょうど揃う波長の発光は共振して場が増強し、誘導放出が誘起されてレーザー発振に至る。微小球表面が湾曲しているため、全反射の際、球外部にしみだした発振光がごく僅かに界面接線方向に放射され、図1の様なりんぐ状のレーザー光として観測される。微小球共振器の閉じこめの指数(Q値)は $10^4 \sim 10^8$ にも達することが理論的、実験的に明らかにされている。

3. 微小球レーザープローブ型近接場顕微鏡

この微小球レーザー発振は微小領域に特有な現象として発光の動的過程そのものに興味を持たれるだけでなく、微小レーザー光源として反応の制御や微細修飾・加工等に应用することができる。さらに、高いQ値の光共振を利用すると微小空間における光物理・光化学現象を高感度・高精度に計測する新しい手法の開発も可能である³⁾。その一つの例として、ここでは微小球レーザーをプローブとして用いた近接場顕微鏡について述べる。近接場顕微鏡とは、光を使いながら光の波長より小さい数十ナノメートルの微細構造を観測できる顕微鏡として最近注目されている新しい計測手法である。従来の光学顕微鏡の空間分解能は回折によって光の波長程度、数百ナノメートルに制限されるのに対し、近接場顕微鏡では光ファイバーの先端を尖らせ金属でコートして波長より小さい微小開口を作り、これを試料に近接することにより回折限界を越える解像度を得る。しかし、このプローブでは波長より細くなったファイバーの先端部を通るときにレーザー光が急激に減衰するので、光が試料まで到達する効率が 10^{-4} から 10^{-6} と極めて低いという問題がある。また、金属コートの熱的な損傷を避けるために入射レーザーパワーが制限され、プローブ先端ではnWオーダーの光強度しか得られず、十分な精度で蛍光や吸収を測定することが困難である。

そこで我々が開発しているのがレーザー発振微小球プローブである⁴⁾。レーザー発振微小球の表面近傍には全反射した発振光がエバネッセ

ント場を形成するので、ナノメートル微粒子を接着すると場が散乱され光局在場が発生する。この微小球をレーザーマニピュレーション技術により走査し近接場顕微鏡の微小光源として用いるのがレーザー発振微小球プローブである。このプローブは、レーザー光源が導波路を介さずに光局在場を形成するので効率が高く高強度の光局在場が得られるという特徴がある。また、光局在場から試料へのフォントンネリングにより微小球共振器のロスが僅かに増加しただけでレーザー発振光の強度が非線形に大きく減少するので、高感度なフォントンネリングの検出が可能である。さらに、マイクロメートルサイズの共振器長である微小球レーザーはピコ秒パルス光の発生が可能であり、高速時間分解分光へ応用することもできる。

図2は、フォントンネリングを確認するた

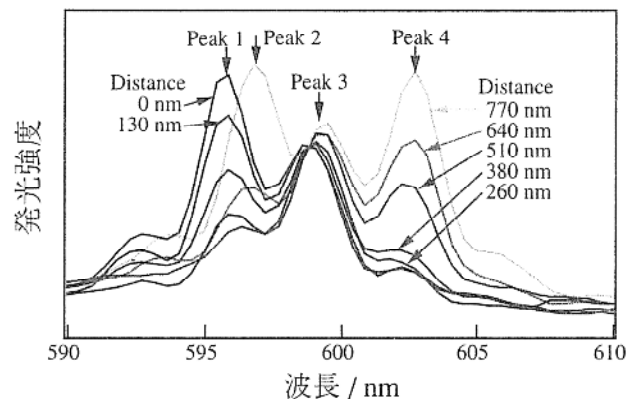


図2 フォントンネリングによるレーザー発振スペクトルの変化

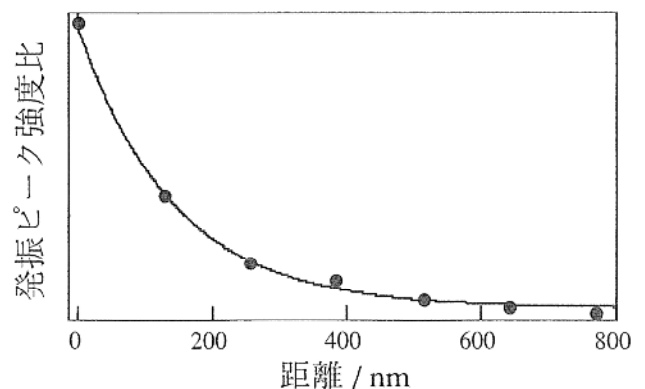


図3 発振ピーク強度比(ピーク1 / ピーク2)の距離依存性

めに、色素をドープした高分子微小球を水中でレーザー捕捉し、電動レンズを動かしてスライドガラス基板との距離を徐々に近づけたときの発振スペクトルの変化を観測した結果である⁵⁾。図中に示した発振ピーク2と4は距離が近づくと強度が減少するのに対し、発振ピーク1は増加しており、ピーク3はほとんど変化が見られない。これは、微小球共振器の動径方向の固有モードによってフォトンネリングのロスに敏感なモードとそうでないものがあり、Q値の減少によって発振するモードが変化すると考えられる。図3は、図2の発振ピーク1と2の強度比を距離に対してプロットしたものである。約140 nmの減衰定数で指数関数的に変化しており、高分子と水の屈折率から計算したエバネッセント場の侵入長とほぼ一致することから、レーザー発振微小球とガラス基板の間で光局在場を介したフォトンネリングが起こっていることが確認できる。

4. おわりに

光計測・制御の研究は光の波長・マイクロメー

トルの壁を越え、ナノメートルの世界に到達しつつある。しかし、空間分解能が向上するに伴い、要求される感度・精度はどんどん高くなり、従来の検出手法をそのままナノメートル計測手法に適用しても実現できなくなっている。ここで紹介した微小球レーザー発振プローブは、バルクでは観られない微小領域に特有な現象を利用することによってナノメートル計測の感度・精度の限界を越えようとする試みである。このような技術が光物理・光化学の研究に新しい道を拓くことを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 増原極微変換プロジェクト編：マイクロ化学(化学同人, 1993).
- 2) H. Masuhara, et al., ed : Microchemistry (Elsevier, Amsterdam, 1994).
- 3) 笹木敬司：化学と工業, 47, 1545 (1994).
- 4) 笹木敬司：レーザー研究, 24, 744 (1996).
- 5) K. Sasaki, H. Fujiwara, and H. Masuhara : Appl. Phys. Lett., 70, 2647 (1997).

