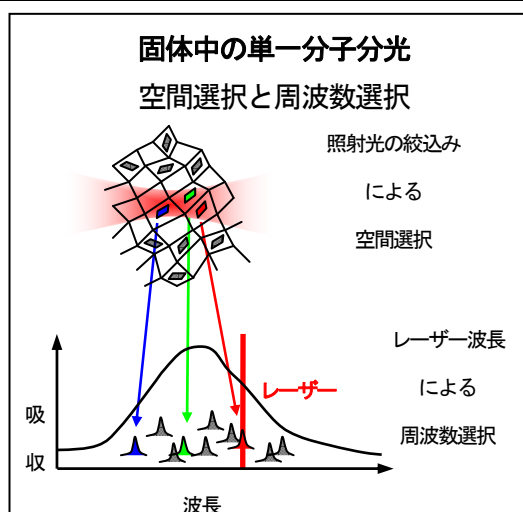


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

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	1-3-1. 単一分子分光

概要（200字以内）

単一分子分光は、通常のアンサンブル測定では平均化されてしまっていて分からない現象、たとえばタンパク質のように複数の安定構造をとる分子やその集合体の構造、固体中や固体表面で分子が感じる局所環境の研究などに威力を発揮している。また、一分子発光における光子のアンチバンチングや単一光子光源としての利用など、量子情報まで含めて幅広い分野で単一分子分光が用いられている。実際の測定では、一分子の発光を検出している。



現状と最前線

凝縮相中の単一分子分光は、液体ヘリウム温度で吸収線が寿命幅まで細くなった固体中の色素分子に対して二重変調分光で一分子の吸収スペクトルが1989年に測定されたことから始まる。これは大変手の込んだ技術を要する観測だったが、翌1990年により単純ではるかに感度が優れた蛍光による一分子検出が行われ、以来蛍光検出の方法が普及・定着した。

一分子の蛍光を検出するには励起光が照射する領域を小さくし(空間選択)、さらに可能なならば照射領域内の複数の分子を励起エネルギーの違いを利用して(周波数選択)、観測している領域内に励起光に共鳴している分子が一個しかない状況を作り出せばよい(table of contents 図参照)。分子一個が単位時間に放出できる光子数は最大で毎秒およそ 10^7 個(波長 500 nm の青緑色の光でおよそ 4×10^{-12} W に相当)に限られているので、技術的には如何に背景光を減らし効率良く信号光を捉えるかが鍵となる。照射領域を小さく絞り込み、標的分子からの発光を大きな立体角で捉えるために、開口数の大きな顕微鏡の対物レンズを用いるのが一般的である。照射と検出に同じ対物レンズを用い、照射している領域から来る光だけを検出するような光学系を持っているのが共焦点顕微鏡であり、一分子分光に適している。

室温の実験では、固体表面や生体膜など2次元の面内の拡散とドメイン構造の研究や、酵素の状態変化の追跡による酵素反応の研究など、アンサンブル実験では同期が取りづらいダイナミクスの解明が大きな潮流の一つである。また、分子結晶にドーピングした芳香族色素分子を用いた単一光子光源の実験やダイヤモンド中の不純物欠陥に付随する電子スピンの磁気遷移の観測などは量子暗号や量子論理演算への応用を切り拓くものである。

低温、主に液体ヘリウム温度の実験では、光合成アンテナ複合体の構造と電子状態励起状態の解明に代表されるように、化学組成的に純粋であっても多数の構造を持ち、室温では熱運動によってそれらの構造の間を絶えず移り変わっているような系の性質を見事に解き明かしている。低温では、室温においてしばしば問題となる観測分子の光酸化による破壊($10^6 \sim 10^8$ 回の光励起で起こると言われている)が起こらなくなり、ほぼ無限に測定を続けることができる。しかしその反面、試料が液体ヘリウムを使った低温装置の中にあるため、室温でのような一分子発光の集光効率の高い光学系は組めない。実験技術的には改善の余地が残っており、近い将来室温に近い条件で観測できるようになるだろう。

総説

- [1] W. E. Moerner and M. Orrit, "Illuminating Single Molecules in Condensed Matter"
Science **283** (1999) 1670 – 1676.

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
液体ヘリウム温度での単一分子分光のための顕微光学系の高効率化
一分子に対して複数の異なる光を使った実験の実現
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
光酸化を受けにくく酵素機能を損なわないタンパク質の標識色素の開発
単一光子光源の実現、単一の結合キュビット系による量子論理演算の実現

キーワード

局所場、量子暗号、キュビット、タンパク質

(執筆者： 松下 道雄)