

ディビジョン番号	10
ディビジョン名	分析化学

大項目	1. 分析化学
中項目	1-12. 顕微鏡
小項目	1-12-4. 走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM)

概要 (200字以内)

走査型近接場光学顕微鏡は光学顕微鏡の限界を打ち破る革命的な走査プローブ顕微鏡であり、物質からのラマン散乱や蛍光を、ナノメートルの分解能でカラー画像として提供する。金属探針や光ファイバーが走査プローブとして用いられる。最近では、非線形光学効果やプローブによる加圧効果との融合によって、顕微鏡の高分解能化および多機能化が進んでいる。

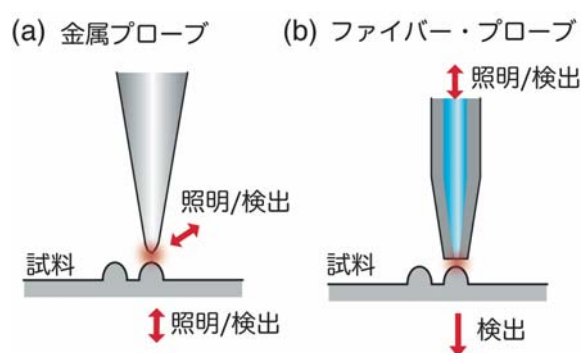


図1 走査型近接場顕微鏡の原理図

現状と最前線

近接場顕微鏡は先端を先鋭化した光ファイバーに金属を塗布し先端に開口を設けるいわゆる開口型がかつては商品化されたが、ファイバー伝送中の光損失が著しく大きく観察像にチップアーティファクトがあり、普及しなかった。これに対して、外部からの光の照明と検出が可能である無開口型(散乱型)の金属探針は、光損失がないため現在では近接場プローブの主流となりつつある。近接場顕微鏡の空間分解能は金属探針の先端径で決まり、15ナノメートル程度の分解能が信頼できるデータの限界である。

波長を超えた分解能は、金属の表面近傍での自由電子の集団的振動である表面プラズモンポラリトンの局在モードを金属探針先端に発生させ、それに伴う光の場をナノスポットとして形成することを原理とする。表面プラズモンは共鳴現象であるので、ナノスポットは入射場と比べて著しく増幅される。このような金属ナノ構造とフォトンの相互作用の科学は、プラズモニクスと呼ばれ、ナノフォトニクス的重要研究分野として著しい研究進展が見られる [1, 2]。

1999年に先端増強ラマン散乱近接場顕微鏡(Tip-enhanced Raman scattering near-field microscopy; TERS-NSOM)が考案され、近接場顕微鏡研究は新しい時代に突入した [3]。ラマン散乱はレーリー散乱に埋もれて著しく弱い散乱プロセス (10^{-30}cm^{-2}) であるため、ナノ領域のラマンイメージングは全く不可能であった。これを、金属探針を使うことによって表面増強ラマン散乱(SERS)効果によって、高感度のラマン散乱ナノ・イメージングが可能となった。DNA塩基分子やカーボンナノチューブ、半導体量子ドットなどのナノ材料の分析に

TERS-NSOM の応用が報告されている。

2006年には、金属探針先端で試料分子に圧力を印加することによって測定対象分子や格子の歪みを、ラマン散乱光の振動数や光強度の変化として検出する近接場顕微鏡が提案されている(図3)。これは探針加圧ラマン散乱顕微鏡(Tip-pressurized Raman scattering NSOM; TPRS-NSOM)と呼ばれ、近接場顕微鏡にさらなるブレークスルーを与えるものとして期待される。

引用文献

[1] S. Kawata, "Near-field Optics and Surface Plasmon Polaritons" (Springer, 2001).

[2] S. Kawata and H. Masuhara, "Nanoplasmonics" (Elsevier, 2006).

[3] S. Kawata and V. Shalaev, "Tip Enhancement" (Elsevier, 2007d).

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

—金属プローブ製造技術の開発(製造方法の開拓・形状・寿命・材料の検討)

—非線形分光との融合(CARS、SHG、他)

—数理的な分析(主成分分析などによるラマンスペクトル解析)

—プローブの多機能化(電圧、イオンコンダクタンス、熱、圧力など)

—分子科学、バイオサイエンス及び半導体デバイス開発分野での分析・評価・測定装置としての実用化

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

—高速化(ビデオレート以上の速度で近接場ラマンイメージング)

—3次元化(表面計測ではなく3次元計測)

—工場内でのイン・プロセス計測、病院での病理診断、創薬開発でのルーチン測定などでの実用化

・ 近接場顕微鏡は、物質のナノ分析には他のプローブで実現できない優位性を持つが、メモリやリソグラフィへの応用は他の技術(AFM、電子ビーム)に優るメリットは現時点では見当たらない。

キーワード

近接場光学、走査プローブ顕微鏡、表面プラズモン、ラマン散乱、ナノ・イメージング

(執筆者: 河田 聡)