

ナノ寸法の微小構造を光励起すると、その表面近傍には近接場光が普遍的に発生します(図1)。この光はナノ領域での光と物質の相互作用に基づく局在エネルギー場として定義され、波長の概念をもたない、いわゆる「伝播しない光」として知られています¹⁾。回折限界以下の分解能を実現する走査型近接場光学顕微鏡(scanning near-field optical microscopy; SNOM)は、散乱体としての微小プローブと観察試料との間の相互作用により、この局在場を伝播光に変換することで「伝播しない光」を間接的に観測可能とするものです²⁾。このとき、微小プローブを縦横二次元的に走査することで、試料表面の構造とともに表面近傍に発生する近接場光分布の二次元マップをあわせて取得できます。

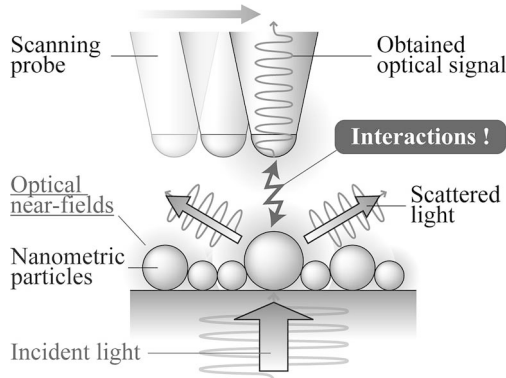


図1 光励起による近接場光の発生とプローブ走査による検知(集光モード)。

図1に示したような原理をもとに、観測系と制御系とがパッケージングされた「SNOM システム」が日本分光(株)等から市販されていますが、制御系や走査機構を用意することにより、自前で組み上げることも可能です。本稿では、実例に基づいて、市販の機器を組み合わせた「カスタム SNOM」の構成と動作確認の結果について紹介します。

1. 構成要素と動作原理

今回カスタム SNOM の組み上げに用いたおもな構成機器は以下のとおりです。

- ・プローブステーション (SII, SPI3800N)
- ・ロックインアンプ (Stanford Research Systems, SR830)
- ・XY 軸ピエゾステージ (メステック, ML-90XYL)
- ・Z 軸ピエゾアクチュエーター (メステック, MJ150-10ZDC22)
- ・ネットワークアナライザ (アンリツ, MS4630B)
- ・光電子増倍管 (浜松ホトニクス, R3896)
- ・チューニングフォーク

図2にカスタム SNOM の構成図を示します。本構成における二次元走査は、XY 軸ピエゾに取り付けた試料ステージ自体を動かすことで行います。今回用いた XY 軸ピエゾおよび Z 軸ピエゾのステージ

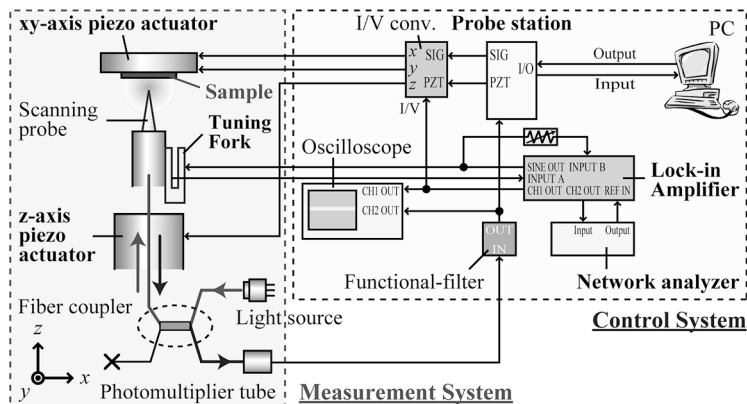


図2 近接場光学顕微鏡 SNOM の構成例。

分解能は、それぞれ 0.2 nm, 0.3 nm となっています。プローブステーションは、PC と各ピエゾステージとの間に伸介し、微小プローブが試料に衝突しないよう Z 軸ピエゾにフィードバックをかけます。同時に、このフィードバック信号をもとに「形状像」を作製します。微小プローブを介してファイバー内を伝播してきた光信号は光電子増倍管により検知されますが、そこからの出力信号をもとにした「光学像」の作製も「形状像」の作製と同時にプローブステーション上で行われます。なお、微小プローブはチューニングフォークに接着して用い、試料表面-微小プローブ間の距離は、その間に発生する分子間力に起因するチューニングフォークの共振振動数の変化により検知されます。微小プローブの動作状況はネットワークアナライザーが発振する共振信号の振動数付近で励振されるチューニングフォークからの反射電力で示唆され、オシロスコープおよびネットワークアナライザーによりリアルタイムでモニタリングされます。システムの空間分解能はおもに微小プローブ先端の曲率半径に依存しますが、取得画像の明瞭性は微小プローブの振動に依存します。微小プローブの共振振動数は先端の構造およびチューニングフォークとの接合具合に起因し、その性能は Q 値としてある程度定量的に評価可能です。 Q 値が小さすぎると走査時に微小プローブが試料表面の凹凸に追従できず、細かい構造を検知できません。一方、 Q 値が大きすぎると微小プローブの挙動が過敏になり、信号ノイズが多くなります。他の実験条件にもよりますが、本構成例では 1,000~3,000 程度の Q 値であれば十分な空間分解能で二次元画像を所得できます。

2. 動作確認

動作確認として、ガラス基板表面に Au 薄膜を蒸着し、FIB (集束イオンビーム) 加工装置を用いて矩形形状を加工した実験サンプルを作製し、カスタム SNOM で観測してみました。今回は、市販のガラスファイバーの先端をフッ酸溶液でエッチングすることにより作製した微小プローブを用いて、基板

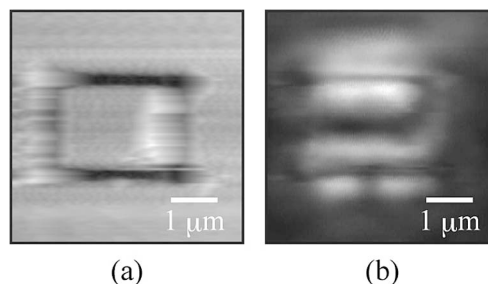


図3 実験サンプルの観測により得られた (a) 形状像と (b) 光学像。

背面から光を入射させ試料表面に発生する近接場光分布を取得する「集光モード」で観測を行いました。図3 (a) が形状像、図3 (b) が同じ箇所の光学像です。加工した構造のエッジ部位に沿って発生した表面プラズモン (近接場光学応答) の分布が検知できています。

一般に、SNOM システムの性能を決定する最も重要な要素は、微小プローブであるといえます。高精度で機能する微小プローブさえあれば、今回ご紹介したようないわゆる寄せ集めのシステムでも、実用上十分な性能を出すことができます。カスタム SNOM のメリットとして、測定の際に試料のサイズや形状などを選ばないこと、用途に応じて装置構成を自在に変更できること、微小プローブとして多種多様な光ファイバーを使用できることなどが挙げられ、オンデマンド測定において非常に有用です。

今回の企画におきましては、東京大学・野村航特任助教にご協力いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。(東京大学 豎直也)

文 献

- 1) 大津元一：ナノフォトニックデバイス・加工 (オーム社, 2008) pp. 15-45.
- 2) S. Mononobe: *Near-field Nanono/Atom Optics and Technology* (Springer-Verlag, Berlin, 1998) pp. 31-69.