

# 多探針 STM と光技術の融合で拓ける世界

筑波大学 数理物質系  
茂木裕幸, 重川秀実

## 1. はじめに

当たり前の風景として流れる日々の暮らしを見直すと、かつては映画やアニメーションの物語として描かれていたことの多くが現実となり生活に組み込まれている日常に気づき、驚かされる。こうした世界を支える基盤技術の一つがナノテクノロジーである。例えば、エレクトロニクス・オプトエレクトロニクス分野の発展は素子の微細化・集積化によるところが大きく、将来的には分子/原子単位のデバイスの実現が期待されている。また、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を発展させたナノメカニクス等の動力学分野への応用や、医療分野でも患部へ薬剤を効率的に運ぶドラッグデリバリーシステムへの応用等、ナノテクノロジーの重要性は高まるばかりである。

ナノスケール科学の進展にとって、原子スケールの極微細な構造や現象を観たり操作することが可能な種々のプローブ技術が果たしてきた役割は計り知れない。その代表的な手法の一つが走査トンネル顕微鏡法 (Scanning tunneling microscopy, STM) である<sup>1)</sup>。図 1 に STM の模式図を示す。導電性物質 (金属・半導体) の表面、あるいはそれら材料上の吸着原子/分子に対して、鋭く尖った探針を $\sim 1\text{nm}$  まで近づけると、量子力学的なトンネル効果により探針-試料間の真空障壁を電子がトンネルすることで電流  $I_{\text{tunnel}}$  が流れる。このトンネル電流は探針と試料間距離に指数関数的に依存するので、探針先端が原子一個に対応する構造の場合、探針直下の $\sim 1\text{\AA}$  ( $1\text{\AA}=0.1\text{nm}=10^{-10}\text{m}$ ) 領域の局所情報が反映される。従って、例えば、トンネル電流が一定になるように探針-試料間距離を精密に調整しながら、探針位置を面内方向に走査すると、試料の形状や局所状態密度を原子レベルの空間分解能で可視化できることになる。トンネル電流がプローブなので、電子状態を調べられるのが特徴である。STM 技術を基盤とした多種多様な手法が開発されており、非常に多くの成果が得られてきた。幾つかの手法を組み合わせることで可能性も広がる。目的に応じて使い分けられたい<sup>2,3)</sup>。

本稿では、多探針 STM (MP-STM) 技術、及び MP-STM に量子光学の先端技術を組み合わせることで拓ける新しい世界を紹介する。

## 2. MP-STM とは

単一探針の STM では探針直下の情報しか得られず、例えば、面内方向の異方的な伝導特性などを計測することは難しかった。そこで、MP 技術の応用が注目された。図 2a に示すように、近接させた複数の探針を試料へ接合させ、探針間に流れる電流を評価することで任意の位置・スケールの伝導特

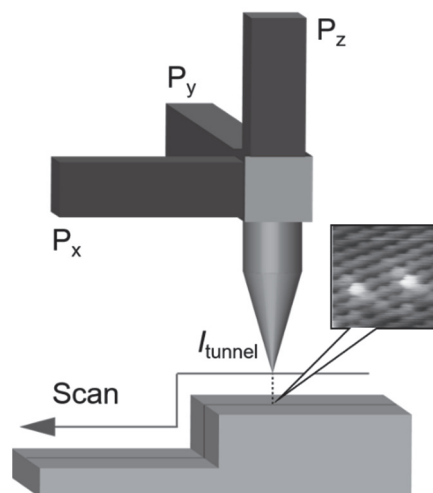


図 1 走査トンネル顕微鏡の模式図  
 $P_{x,y,z}$  は各軸のピエゾ素子、挿入図の明るい点は  $\text{WS}_2$  中の Mo 置換原子