

ナノメートルという極めて小さな単位で、原子や分子を自由に操作・制御し、物質の新しい機能や優れた特性を創造する技術ナノテクノロジー。その技術は、大きな物質から小さなものを生成するトップダウンストラクチャリングと、小さな物質から作りあげていくボトムアップストラクチャリングの2種類のアプローチに分けることができる。

KARCナノ機構グループの田中主任研究员らは、ボトムアップストラクチャリングによってナノスケールのデバイス構成技術を研究している。近年のナノテクノロジーの技術進化で、物質やデバイスを1個ずつ任意に生成することが可能となったが、膨大な数の原子からなる物質のひとつひとつを並び替えて目的の構造体を生成するには時間と手間が掛かる。

グループでは有機分子構造体の自己組織化機能を利用しようとする試みが行われている。これは、目的とする機能構造体を個々の原子を精密に組み合わせ分子レベルのユニットまでを有機合成により作成し、その分子ユニットを自己組織化という性質を利用し、基板上にナノスケールの構造を形成するというものだ。

現在、分子間及び、分子と基板との間での相互作用をバランスさせ、分子ユニットの凝縮拡散様式を単一分子レベルで制御する研究で成果をあげている。

ナノ機構グループ・主任研究员 博士(理学)

田中 秀吉

SHUKICHI TANAKA Ph.D.



●たなか しゅうきち

最終学歴

1996年 3月 博士(理学) (名古屋大学)

職歴

1994年~1996年 日本学術振興会特別研究員

1996年~1997年 佐賀大学理工学部助手

1997年~2002年 同助教授

1997年~2002年 同大学院工学系研究科助教授

1999年~ジュネーブ大学固体物理学研究科客員研究員

2002年~現職

研究分野：走査プローブ顕微鏡の開発と運用、物性物理、強相関電子系、ニアフィールド相互作用のモデリングと数値シミュレーション

研究内容：走査型プローブ顕微鏡およびその関連技術による、特異な物性を示す物質の探索と解釈。それらを用いた新規デバイス実現の可能性の探求とナノファブリケーションプロセスの確立。

ナ

ノスケールで制御する

非接触原子間力顕微鏡技術を確立し、有機分子の自己組織機能を

NANO TECHNOLOGY GROUP

分子の操作を可能にした 原子間力顕微鏡の精度技術

炭素や水素といった軽元素からなる有機分子を、ナノスケールで観測・調整する実験手段に求められる要件とは、半導体に比して壊れやすい有機分子を非接触かつ非破壊な条件下で高空間分解能にて取り扱えることである。現時点でこれに最も適合する手段は走査型トンネル顕微鏡 (STM) や、原子間力顕微鏡 (AFM) といったナノプローブ技術ということになる。なかでもSTMは技術的にもほぼ確立した手法であり、市販装置そのまま極めて高い空間分解能が得られるため広く使われている。しかし、分子をデバイスとして使う場合、電気伝導性があるもののみを観測対象とするSTMは実験手段として最適とは言えない。そこで、絶縁性基板の対象物にも適用可能なAFM (図1) を使用することになるのだが、既存のAFM手法では、分子をSTMほど鮮明に見るに至らず、そのための技術確立が必要だ。

ナノ機構グループでは、既存のSTM・AFM技術をベースとして、その検出感度を最適化した独自の非接触AFM (NC-AFM) により世界最高レベルの分解能画像を得ることに成功している (図2)。同時にその実験過程を通じて分子自体に、基板上的ポテンシャルのうねりを認識して特定の位置に自己組織化する機能を組み込むことにも成功している。

「これにより基板の上にマーキングを施し、そこに分子ユニットをひとつひとつ自発的に並べて高次構造を作ることも可能です。」

世界で初めて、絶縁基板上の 単一分子を捉える技術を確立

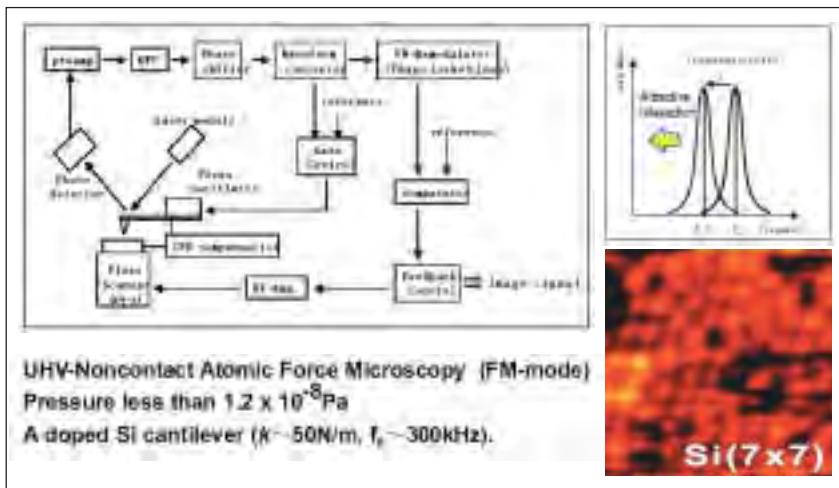
分子ユニットと基板との相互作用を最適化することが、AFMの性能を発揮させるポイントであることに注目し、絶縁体上の分子ユニットの直接観測に挑む。絶縁基板の素材には後のデバイス化を考慮し、クリーンルームプロセスがほぼ確立されている希土系酸化物を用いる。さらに、素材表面の化学活性を原子レベルで考察しデバイス作成に最適な分子ユニットを設計し、合成する。また、既存プロセスのレベルでは極めて平坦とみなされていた基板表面も、数ナノメートルの分子ユニットにとってはまだ大きく荒れた状態であるので、それを原子レベルでより平坦な状態に加工する必要も出てくる。

田中主任研究員らは、AFM観測装置、分子堆積装置、基板表面を原子レベルで平坦加工しパターニングする装置を一連の真空装置の中に組み込むことで基板表面を最適な条件に保ったまま全ての加工プロセスが可能なシステムを新規に開発した。こうして作成された超平坦基板上に分子ユニットを堆積して観測すると、過去の例とは異なり、各々の分子が基板上に理想的に分散配置されていることがわかる (図3)。その画像をさらに倍率を上げてその大きさや形状を計測すると、ひとつひとつのスポットそれぞれが単一の分子に対応していることが理解される (図4)。こうした田中主任研究員らの実験成果は、世界で初めて絶縁性の基板上で単一のナノスケール分子体を見た例となった。

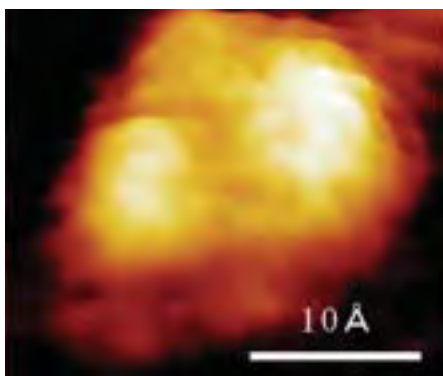
現在はAFMの精度と機能をさらに向上させ、絶縁性の基板上で分子ひとつひとつを積極的に再精密配置するためのプローブマニピュレーション技術の開発に取り掛かっているという。

「分子の精密配置と観測技術はすでに佳境を越えているでしょう。今後はより高度な機能性を分子内に作りこみ、複数の分子が連携して情報処理プロセスに関与するようなシステムの実現を目指すことになります。」

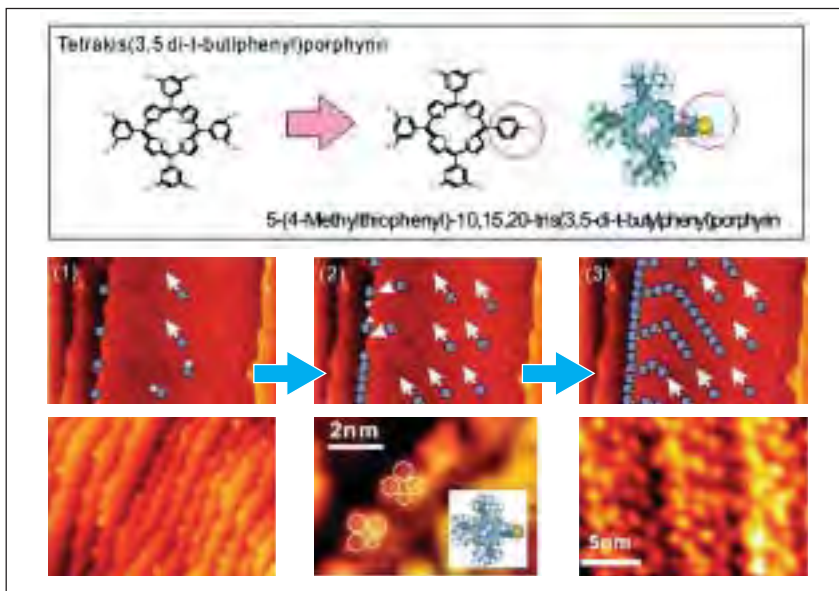
分子単位で機能を作りこみ、それらの相互作用・協調動作によってより高次な機能を構成し段階的に発展させていく手法は、人間が分子によって構成され活動していることと概念的に同じだという。次世代の新しい情報通信デバイスを考える上でのヒントは生物のしくみにもあるのだろう。



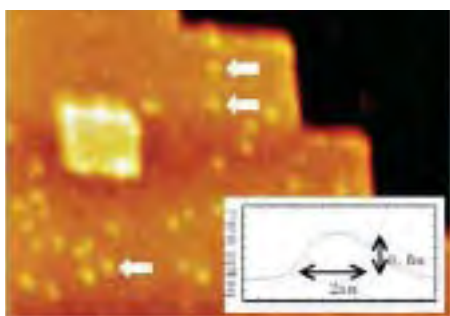
(図1) 非接触原子間力顕微鏡の動作ダイアグラム



(図2) 金基板上ポリピリジン分子の高分解能NC-AFM像



(図3) 基板上分子の分散配置



(図4) 絶縁基板上の単一のナノスケール分子体