

ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3.1 計測
小項目	3-1-5. STM

概要（200字以内）																	
<p>STM と分光または他の顕微鏡との複合化が今後益々進展して行く一方、探針そのものや計測の高感度・高速化など基盤技術の開発が益々重要となっている。</p> <p>表に示すように今後進展するであろうSTMの開発動向を示した。STM 本体では、小型化や多探針および関連技術の開発によるナノ構造の立体的識別や物性計測が、また、分光との融合では1分子における光励起現象の時間分解計測が可能になっていくことが予想される。</p>	<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>2005</th> <th>2010</th> <th>2015</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1980年～ STMの開発 STSの開発</td> <td>STMの小型化、マルチ化 @多探針の有機的制御 @ナノチューブ多探針の確立 @ナノデバイスの計測</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1990年～ STMによる原子操作 各種顕微鏡との複合化 STM非弾性トンネル分光 STM発光分光 光励起STM</td> <td></td> <td>@グリーン関数マッピング @トンネル電子位相STM @パルステック電子STM @ナノ構造内の計測 @多探針マニピュレーション @ナノサーフェリー</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2000年～ 多探針STM</td> <td>STM分光 @振動分光の室温計測 @全振動計測による分子識別 @立体的分子の計測 @振動・電子励起による1分子反応制御 @DNA塩基配列の計測 @波長可変光変調トンネル分光法の確立 @光機能分子の分子内励起マッピング @ピコ秒時間分解トンネル分光の確立 @フェムト秒時間分解トンネル分光 @1分子の光励起現象測定</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		2005	2010	2015	1980年～ STMの開発 STSの開発	STMの小型化、マルチ化 @多探針の有機的制御 @ナノチューブ多探針の確立 @ナノデバイスの計測			1990年～ STMによる原子操作 各種顕微鏡との複合化 STM非弾性トンネル分光 STM発光分光 光励起STM		@グリーン関数マッピング @トンネル電子位相STM @パルステック電子STM @ナノ構造内の計測 @多探針マニピュレーション @ナノサーフェリー		2000年～ 多探針STM	STM分光 @振動分光の室温計測 @全振動計測による分子識別 @立体的分子の計測 @振動・電子励起による1分子反応制御 @DNA塩基配列の計測 @波長可変光変調トンネル分光法の確立 @光機能分子の分子内励起マッピング @ピコ秒時間分解トンネル分光の確立 @フェムト秒時間分解トンネル分光 @1分子の光励起現象測定		
	2005	2010	2015														
1980年～ STMの開発 STSの開発	STMの小型化、マルチ化 @多探針の有機的制御 @ナノチューブ多探針の確立 @ナノデバイスの計測																
1990年～ STMによる原子操作 各種顕微鏡との複合化 STM非弾性トンネル分光 STM発光分光 光励起STM		@グリーン関数マッピング @トンネル電子位相STM @パルステック電子STM @ナノ構造内の計測 @多探針マニピュレーション @ナノサーフェリー															
2000年～ 多探針STM	STM分光 @振動分光の室温計測 @全振動計測による分子識別 @立体的分子の計測 @振動・電子励起による1分子反応制御 @DNA塩基配列の計測 @波長可変光変調トンネル分光法の確立 @光機能分子の分子内励起マッピング @ピコ秒時間分解トンネル分光の確立 @フェムト秒時間分解トンネル分光 @1分子の光励起現象測定																
現状と最前線																	
<p>STMに関する項目は多技に渡っているのので、ここでは、とくに化学分野にとって重要と思われる次の3つのナノ計測技術、</p> <p>(1) STM 非弾性トンネル分光 (2) 多探針 STM (3) 光励起 STM</p> <p>について現状と最前線及び将来予測について述べることにする [1, 2]。</p> <p>(1) STM 非弾性トンネル分光</p> <p>【現状と最前線】1990年代に米国のHoらのグループにより初めて単一分子の振動分光に成功して以来、これまでの研究は極低温での高感度測定とその安定性が重要なポイントであった。アセチレンなど低分子だけでなくポルフィリンやフタロシアニンまたはフラレン・カーボンナノチューブなど大きな系で単一分子振動分光（極低温）に成功している。また、系を選べば、自己組織化膜では液体窒素温度で、トンネルデバイスでは室温で、それぞれ振動分光に成功している。しかしながら、測定の選択則および励起メカニズムについては、統一的な解釈が得られていないのが現状である。また、伸縮振動など高いエネルギーの振動モードしか測定できていない。</p> <p>【将来予測と方向性】単一分子の化学分析レベルに到達するためには、すべての振動モードを測定する必要があり、そのためには更なる低温化、機械精度の向上のみならず測定系の改良が必要であろう。将来的には平坦分子ではなく立体的な巨大分子系への適用を踏まえた測定技術の開発が重要となってくる。また、振動励起による単一分子の反応制御など、分子加工技術を用いたナノ構造化学への展開が期待できる。</p>																	

(2) 多探針 STM

【現状と最前線】 ナノスケールの物体や領域での電気伝導特性を測定するために国内外で10程度のグループが多探針 STM を開発しているが、分解能、探針の位置制御、多探針の駆動系など問題が多く、その真価はまだ発揮されていないのが現状である。最近、4本の探針間隔をミクロン程度まで制御することにより、ナノワイヤやフラーレンポリマーの電気伝導度を正確に測定することに成功している。また、電気伝導度の異方性や原子ステップによって生じる電気抵抗の測定にも成功している。

【将来予測と方向性】 ナノスケール計測機器として確立するためには、4本の探針の座標を制御するための駆動システムの開発と探針間距離をできるだけ近づけるためのナノチューブを利用した探針の開発が必要不可欠である。これら技術的課題を解決し、探針間隔を10 nm程度まで近づけることができれば、1本鎖の DNA、ナノロッドなど個々のナノ構造体の電気特性が測定できるようになる。さらに、探針間隔を電荷キャリアのコヒーレンス長程度まで近づけることができれば、グリーン関数の実空間マッピングという全く新しい計測が可能となり、電子相関まで含めた非局所的なキャリアの伝導特性を明らかにできる。

(3) 光励起 STM

【現状と最前線】 光励起 STM とは、試料を光励起し、それによって生じるトンネル電流変調を検出することで、ナノスケールでの電子状態の情報だけでなく光学情報も同時に測定できる手法である。この計測手法を用いて、半導体の表面起電力、キャリア寿命、量子井戸構造の光学特性、白金欠陥由来のナノスケール光吸収分光、など様々な分野で応用され始めている。しかしながら、探針直下のナノスケール領域でどのように励起されてトンネル電流変調が起こっているのかという原理的な疑問に対しては未だに明確なコンセンサスが得られていない。また、光による熱膨張や光損傷といった問題も解決すべき課題である。

【将来予測と方向性】 期待される応用として、非線形光学応答、波長可変レーザーとの組み合わせによるナノスケール光吸収分光による分子内励起マッピング、超短パルスレーザーとの組み合わせによるナノスケールでの時間分解分光による局所光励起現象の計測など、単一分子の光化学計測が可能になる。

[1] 森田清三編著「走査型プローブ顕微鏡：最新技術と未来予測」丸善(2005)

[2] 重川秀実他著「走査プローブ顕微鏡と局所分光」裳華房(2005)

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

- ナノチューブを利用した多探針 STM によるナノスケール電気伝導計測
- 波長可変レーザー励起 STM による分子内光励起マッピング
- ナノデバイス物性計測

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

- 全振動モード計測による単一分子識別
- グリーン関数マッピング
- 単一分子反応制御
- 立体的ナノ構造計測

キーワード

STM、非弾性トンネル分光、多探針 STM、光励起 STM、ナノスケール物性計測

(執筆：尾上順)