

ディビジョン番号	11
ディビジョン名	電気化学

大項目	4. 電気化学計測／電気化学反応
中項目	4-1. 電気化学計測
小項目	4-1-8. ナノ電気化学

概要（200字以内）

温度や光など、他のエネルギーに比べて、固液界面の電気化学的界面ポテンシャル(電位)は、精密かつ自由自在に制御可能であり、固液界面での分子配列制御技術として有効であることが明らかにされてきた。今後、この技術が、より大きなナノパーツ(超分子やタンパク質、クラスターなど)の制御技術へ応用されていくことで、ナノ界面・ナノ材料の構造制御技術として大きく発展することが期待される。

現状と最前線

リソグラフィーやカスケード反応のようなプロセス制御によるナノ構造構築とは別に、自発的な構造形成が、ボトムアップ型ナノテクノロジーとして材料科学分野において注目されている。自発的な構造形成(自己組織化)は、古典的な結晶成長から非平衡開放系での散逸構造まで多岐な現象が知られており、水素結合などの非共有結合性の比較的弱い相互作用を利用して生体系に匹敵する複雑な高次構造を人工的に作りだそうとする研究が、盛んに行われている。

有機分子の吸着構造・挙動は、古くから様々な分野で盛んに研究が行われてきたが、近年、STM、AFMなどの走査型プローブ顕微鏡とその関連技術の発展により、大きく進歩した。特に電気化学STMは、分子のありのままの姿を溶液中で観察するための最も優れた手法のひとつであり、STM観察に適した高配向の有機超薄膜を原子レベルで平坦な固体基板上に形成し、電気化学条件下水溶液中で観察する手法が、ほぼ確立されている。現在では、固液界面での有機分子の吸着分配平衡を制御することで多様な分子配列の制御が可能となり、単純な二次元結晶構造状態に留まらず、多成分系からなる多様な規則配列などが生み出され、サブナノスケールの高解像度観察によって目で見える超分子構造として、広く注目を集めている。

このような高次分子配列の多くは、液相から固液界面への分配・吸着平衡など、相反する相互作用バランスの上に成り立つ熱力学的平衡系において生み出されている。相互作用バランスが釣り合っている条件では、普段は隠れている非常に弱い相互作用がクローズアップされ、ほんの少し相互作用バランスを動かすことによって、特異で多様な秩序性を有した配列構造が自

発的に現れる。この際、相互作用バランスを精密にかつ可逆的に制御するスライダーとして、電気化学制御は極めて優れている。多くの吸着系は、電気化学制御下では電位により吸着の強さを変化させることができる。光・温度などのエネルギー、溶液組成など、様々な要素がスライダーとなりうるが、電気化学制御は、エネルギーレベルを精密かつ自由自在に変化させようという点で、大きな利点を有しており、ナノ材料科学の分野においても、もっと利用されるべきであろう。相互作用バランス制御による自発的構造の発現と制御は、分子に限られるわけではない。より大きな構造単位においても、なんらかの平衡に基づいて構造が制御されている場合には、バランスをほんの少し動かすだけで、多様な構造の制御が可能であると期待される。例えば、分子とは全くスケールの異なるサブミクロン単分散粒子の配列制御が検討されている。適当な条件で単分散粒子をキャストすると、粒子が等間隔で孤立したり、1次元的につながった（パーコレーション構造）を取ることが、ナノ材料分野で注目され検討されている。現在行われている単純な吸着法では、ほとんど精密な制御は望むべくもないが、電位制御することで、より精密かつ多様な配列を制御できる可能性がある。

将来予測と方向性

光・温度などのエネルギー、溶液組成など、様々な要素がスライダーとなりうるが、電気化学制御は、エネルギーレベルを精密かつ自由自在に変化させようという点で、大きな利点を有しており、ナノ材料科学の分野においても、もっと利用されるべきであろう。分子に留まらず、コロイド、タンパク質などのナノ粒子、高分子、ナノチューブなど、より大きな構造体の自発形成・制御技術に、meV 単位で自由に変化させよう電気化学的界面ポテンシャル制御制御がナノ材料分野で発展していくことが期待される。

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

溶液中ノンコンタクト AFM の解像度の向上（サブナノスケールの解像度と信頼性の向上）

- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

機能性を有した超分子からなる二次元・三次元超分子配列構造の構築

分子デバイス、分子機械への展開

キーワード

電気化学を利用したナノパーツ精密配列制御

目で見える二次元超分子構造

階層的分子構造の構築

(執筆者： 國武 雅司)