

電子材料界面のナノ構造評価と界面分光に基づく、 高感度イオンセンシング分子機構の設計

Developing ion-sensitive biomolecular surfaces based on surface molecular and ion environment

東京科学大学 関 貴一



特定のイオンを検出・分離することは、精度の高い環境測定や医療診断、そして海水の脱塩機構構築のための基盤技術となる。この実現のためには、電極界面でのイオン環境を理解し、高感度に検出する機構の構築が不可欠である。このイオン検出機構の1つとして、生体分子のイオンや金属・ミネラルへの親和性を利用する方法が挙げられる。生体分子の中でもペプチドは、このようなターゲットに対する認識能を有するだけでなく、グラフェンや二硫化モリブデンなどの電子材料表面に規則的な集積が可能であり、高感度な電界効果トランジスタ型センサーの電子特性を変調することや、高感度なタンパク質のセンシングが可能であることが報告されている。このように材料科学的知見から機能性生体分子を用いたセンサー開発が行われている一方で、これまでの生体材料によるナノ電子材料の機能化は、電子材料界面における分子描像の欠如から、デバイスの光電子特性値や分子情報の欠如したプローブ顕微鏡像などによって得られる観測に基づく経験則に大きく依存した界面設計方針に留まっているのが現状であり、さらなる機能化のために合理的な界面機能設計の指針の構築が望まれている。本研究期間では、界面における「水分子・イオン、そして生体超分子の三体問題」を系統的に理解し、高感度なバイオイオンセンサーを構築する初期検討として、(1) イオン応答性自己組織化ペプチドの設計とナノ構造形成の評価、(2) 界面分子環境の可視化のための新規分光システムの構築を目標として設定した。

項目(1)においては、亜鉛イオン親和性の高い自己組織化ペプチドの設計をターゲットとして研究に着手した。亜鉛イオンは、生体内で鉄イオンの次に豊富なイオンであり、遺伝子発現機構に関わる Zinc finger タンパクの活性調整を行う電解質として生体機能の維持に必須のイオンとされている。Zinc finger タンパクのアミノ酸配列に着想を受け、 $-C-X-X-C/-H-X-H$ (X:は任意のアミノ酸)を基本モチーフとした3種類のペプチドを合成した。原子間力顕微鏡を用いて、グラファイト・二硫化モリブデン表面への吸着特性や集積化ナノ構造の評価を行った。この被覆率変化を、Langmuir 吸着等温線を用いて吸着定数を求めると、これらのペプチドは、グラファイト表面において、既報のグラファイト吸着ペプチド(IMVTESSDYSSY)と比べて10倍ほど高い吸着特性を示した一方で、基板の格子を認識したエピタキシャル様なナノ構造形成については課題があることが判明した。項目(2)においては、表面分子構造や界面水和・イオン環境を解析するためのラマン顕微鏡と和周波発生(SFG)顕微鏡の構築に取り組んだ。ラマン顕微鏡の構築については、狭帯域化CWレーザーや高感度検出系を導入し構築を完了した。SFG顕微鏡においては、高輝度・高繰り返しのYb系フェムト秒パルスレーザーを導入し、構築を進めた。現在は、このSFG顕微システムを用いた界面物性評価法の実装に取り組んでいる。成果報告会では、これらの詳細と課題等について報告をする。

【キーワード】イオン認識, 自己組織化, 生体超分子, 界面水, 界面分光, 振動分光

【参考文献】

・表面と真空 Vol. 67, No. 10, pp. 489–494, 2024,

https://www.jstage.jst.go.jp/article/vss/67/10/67_20181358/_pdf

・ACS Appl. Mater. Interfaces 2023, 15, 11, 14058–14066, <https://doi.org/10.1021/acsami.2c23227>