平成 20 年度
実績報告

「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製」
平成 20 年度採択研究代表者

浦岡 行治

奈良先端科学技術大学院大学　物質創成科学研究科　准教授

# 生体超分子援用フロンティアプロセスによる高機能化ナノシステム

## 1. 研究実施の概要

本研究は、生体超分子のみが持つ優れた機能、自己組織化機能、無機材料認識能力を活用し、それによってのみ可能となるナノシステムを提案するものである。ここでは、主にケージタンパクなどを用いて、電子デバイスだけでなく、MEMS、フォトニクス、バイオ、医療など様々な方面において、その機能が、“本物かどうか”を見極める。今年度は、研究設備の新規導入や新規雇用者を含めた推進体制の構築を行うとともに、研究の根幹となる基礎的データを取得し始めている。特に、今年は、High-K 膜上に展開したナノドットによるメモリ機能の大幅な向上や、配列したナノドットによる半導体薄膜の結晶化に成功した。また、MEMS 共振器の設計手法の確立や、癌細胞をセンシングするペプチドアプタマーの固相化に成功した。今後、無機材料特異的認識能力のメカニズムの解明を並行して行うなど強力に推進する。

## 2. 研究実施内容

目的: 本研究は、生体超分子のみが持つ優れた機能である、自己組織化能、特異的無機材料認識能力を活用し、それによって可能となるナノシステムを提案するものである。ここでは、主にタンパクやペプチドなどを用いて、電子デバイスだけでなく、MEMS、フォトニクス、バイオ、医療など様々な方面において応用し、その機能の本質を見極めることを目的とする。

1. 生体超分子を用いた電子デバイスの研究

1.1　BioLBL を用いた三次元メモリの作製

自己組織化材料を用いた電子デバイス応用として、フェリチンコアを電子ノードとした三次元フローティングゲートトランジスタの作製を試みている。今年度は、ゲート絶縁膜に、High-K 膜を応用したメモリの試作を行った。まず、High-K 膜の上に、フェリチンタンパクの高密度吸着を確認した。シランカップリング材の静電相互作用を利用することで、最大吸着密度の 80%の高密度を実現した。従来のシリコン酸化膜と比較して、

約１桁以上大きな電子閉じ込め効果を確認し、さらに良好な電荷保持特性を確認した（図１）。

1.2　薄膜トランジスタを目指した Si 薄膜の低温結晶化

Ni などの金属コアを内包したフェリチンタンパクを利用してシリコン薄膜の低温結晶化を目指している。本年度は、シリコン酸化膜中に Co ナノドットを埋め込み、熱処理によるコアの変化を観測し、併せて電気特性の変化を調査した。その結果、初期段階では酸化コバルトであったコアは、水素雰囲気の中での熱処理によって、金属 Co に変化した。電気特性評価においても、還元状態に対応した電荷保持機能性を確認することができた。

2. 機能性基板/生体超分子界面反応メカニズムの解明とその制御技術の研究

タンパクやペプチドの特異的認識機能のメカニズムを解明することを目的として、半導体基板とタンパク間の相互作用について、調査を行っている。本年度は、各種機能性基板上に、フェリチンを吸着する実験を行った。その結果、シリコン基板上での窒化膜、酸窒化膜への吸着状態を調査したところ、基板処理に依存して、吸着状態は変化し、静電相互作用の可能性を示唆する結果を得た。

3. 生体超分子のバイオセンサー応用

特定のタンパクを認識するバイオセンサーの検討を実施する。特定の DNA やタンパクを認識する DNA キャプチャープローブやアプタマーと特定の無機材料を認識するペプチドを利用して、悪性腫瘍などをセンシング可能なバイオセンサーを提案する。特定の材料を認識する自己組織化材料ならではの原理を活用したマルチバイオセンサーである。本年度は新たな無機材料に対するペプチドアプタマーや悪性腫瘍をセンシングするアプタマーの創製に成功した。

4.　生体超分子の MEMS 応用

4.1　バイオ･MEMS 融合プロセスによる RF-MEMS 型水素ガスセンサの開発

本研究開発項目は、多種のバイオ材料を自己組織化的、かつ、選択的に Si 製 RF-MEMS 共振子アレイ上に配置することで、多種のタンパク分子やガス分子の質量を同時計測できる『RF-MEMS 型分子質量センサーアレイ』の開発を目指すものである。Si を基板とした RF-MEMS 共振子は、デバイスをマイクロスケールにまで微小化できるだけでなく、MEMS プロセス技術を利用することで、RF-MEMS 振動子を１チップ上に高精度にアレイ化することができ、単体の共振子では計測が困難であった超微小物質に対して高精度な質量計測が可能な分子質量センサーの実現が期待できる。本年度は、静電駆動式 MEMS 共振器の簡易設計手法を確立した。変動面振動子の共振解析法を構築し、試作によってその有効性を確認した。また、シリコン基板上の SAM 膜上で、タンパクの高密度二次元配列を確認した。さらに、熱 CVD 法による CNT 形成の基礎的実験を開始した。

4.2　生体超分子を利用した膜応力制御 MEMS デバイスの研究

本研究では MEMS の構造材料として使用されているシリコン薄膜の上に生体超分子を利用して合成された触媒ナノ粒子を吸着配置する。その触媒ナノ粒子を成長核とする金属誘起横方向結晶成長によって、薄膜がアモルファスからポリシリコンへと結晶化する際に発生する応力を利用して、薄膜中の応力状態の制御を行う。そして、その応力制御された薄膜を利用して高性能な MEMS デバイスの実現を目指す。

本年は、Ni を内包したフェリチンを用いて、シリコンの低温結晶化を行った。その結果、10μmを越える大粒径の結晶粒を持つ多結晶シリコン薄膜の形成を確認した（図２）。

5. 生体超分子の光学メタマテリアルへの応用

光学メタマテリアルとは、電磁波の波長よりも十分小さな構成要素を組み合わせることで、自然界にはない電磁気学的特性（光応答特性）を実現させる人工構造物質（材料）である。特に負の屈折率や物質の不可視化などの手段として、現在注目が集まっている。この材料に、トラップタンパクなど生体超分子を利用して、光共振器を作製し、可視光の領域で、その光学特性を実現することを目指している。本年度は、外周に 11 個のシステイン基をもつトラップタンパクの合成、金ナノ粒子を吸着させることに成功した。

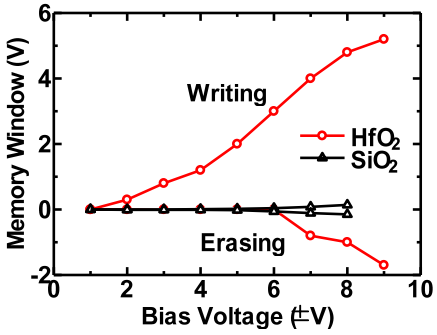


図１　High-K 膜を利用したメモリ

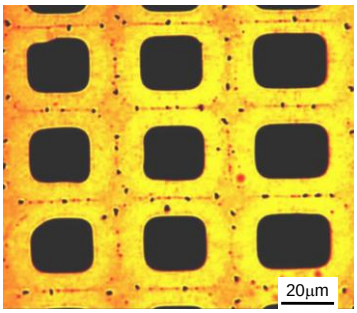


図２　Ni ナノドットを用いた多結晶シリコン薄膜

## 3. 研究実施体制

(1)「浦岡」グループ

①研究分担グループ長：浦岡　行治（奈良先端科学技術大学院大学、准教授）

②研究項目

生体超分子を用いた電子デバイスの研究

(2)「冨田」グループ

①研究分担グループ長：冨田　知志（奈良先端科学技術大学院大学、助教）

②研究項目

生体超分子の光学メタマテリアルへの応用

(3)「渡部」グループ

①研究分担グループ長： 渡部　平司 （大阪大学、教授）

②研究項目

機能性基板/生体超分子界面反応メカニズムの解明とその制御技術の研究

(4)「芝」グループ

①研究分担グループ長： 芝　清隆 （財団法人癌研究会 癌研究所、部長）

②研究項目

生体超分子のバイオセンサーへの応用

(5)「磯野グループ」

①研究分担グループ長： 磯野　吉正 （神戸大学、教授）

②研究項目

バイオ・MEMS 融合プロセスによる RF-MEMS 型水素ガスセンサの開発