

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「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」
研究課題「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」

研究終了報告書

研究期間 平成 20 年 10月～平成 26 年 3月

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 教授)

§1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本プロジェクトは、生体超分子の様々な特長を活かして、高機能なナノシステムを創成するものである。チームの構成としては、基幹グループの浦岡 G が、フェリチンやタバコモザイクウイルスといった様々なタンパクを用いて、システムに応用可能なナノ構造体を作製し、ナノシステムを創成する各グループと連携することで、高機能化ナノシステムの試作、実証を行った。同時に、ナノ構造体を作製するメカニズムを渡部 G が解明した。その高機能化ナノシステムを創成するグループとしては、電子デバイス(浦岡 G)、光学素子(渡部 G, 富田 G)、MEMS 素子(磯野 G, 熊谷 G)、バイオセンサー(芝 G)の4つのグループから構成された。

まず、基幹グループの浦岡 G は、様々な新しいナノ構造体を作ることに成功した。まず、球状タンパク(フェリチンタンパクや DPS)や棒状のタンパク(TMV など)の中に、Fe、Ni、Co、Pt、Taなどの無機材料を内包させ、ナノドットやナノワイヤーの形成を行った。また、金属粒子を絶縁膜で覆ったコアシェル状構造体、その周りに球状タンパクを吸着させたサテライト構造体、異なる金属を内包したタンパクが互いに吸着したダイマー構造、周囲にタンパクが吸着されたCNT構造などの様々なナノ構造体の形成を行った。さらに、それらの構造体を半導体基板や絶縁基板の上に、高密度配置、規則的配置、選択配置、V 溝配置、積層配置、分散配置などが可能な配置方法を確立した。

それらの構造体形成を可能にしたタンパクの持つ無機材料認識能力のメカニズムについて、渡部 G が解明した。様々な組み合わせ条件にて吸着実験を実施した結果、タンパクは自身が負電位であるため、基板が負電位の場合は静電反発力により吸着しないが、TBF は Ti ペプチドのアルギニンとアスパラギン酸の局所的な電荷により、負電位基板でもアルギニンの正電荷と基板間で静電相互作用が主要因となって吸着することが明らかとなった。

形成されたナノ構造体を使って、電子デバイス応用を目指す浦岡 G は、高性能メモリやディスプレイ用 TFT、色素増感太陽電池の試作を行った。Bio-LBL 法に形成された3次元構造を活用して積層構造ナノドットをゲート絶縁膜の中に埋め込んだフローティングゲートメモリ、ナノドットを電極にもつ抵抗変化型メモリは、超微細高集積の可能性をしめしたばかりでなく、高信頼性も実証した。Ni ナノドットを核として、結晶化された Si 薄膜や Ge 薄膜は、配置の整った大きな粒径を得ることを可能にし、高性能、低リークの薄膜トランジスタの実証につながった。また、この薄膜を MEMS に応用した熊谷 G は、高い Q 値をもつ共振器や、プリン角の大幅な向上につながった。同時に、薄膜の結晶化条件と MEMS デバイスの特性の相関について詳細な検討を行った結果、学術的にも興味深い結果を得ることとなった。

浦岡 G によって形成されたナノ構造体を使って、光学デバイス応用を目指す渡部 G は、金の微粒子にアンテナとセンシングの両方の機能を持たせた新しいセンサーの概念を提案した。電極や電極間に配置した金ナノ粒子によってプラズモン共鳴した特定の波長の光は、電流の変化を大幅に増強することで、高い感度をもつバイオセンサーの出現を予期させた。また、メタマテリアル応用を目指す富田 G は、表面に金のナノ粒子を析出させたタバコモザイクウイルスを用いて、円偏光2色性(CD)を測定したところ、可視光領域で、金ナノ粒子の局在表面プラズモンに起因する吸収によって誘起される CD ピークを確認した。このカイラルメタ分子は複合体が、可視光域での負の屈折をもたらす可能性を示唆している。

MEMS 応用を目指す磯野 G は、MEMS 共振器の特定の部分に CNT を選択成長させた質量センサーを試作・評価した。MEMS 上にタンパクを高密度に吸着する手法を提案し、そのタンパクのコアを核として、CVD 法による CNT 成長させた。H₂ガスや N₂ガスを流して、ガス分子の検出実験を行った結果、ガス分子の識別や質量を高い精度で検出することが可能となった。また、マイクロ振動子とガス分子との衝突面積の増加のために、SiNW 集積

MEMS 共振器デバイスの開発を行った。

バイオセンサー応用を目指す芝Gは、生体超分子の医療分野での利用(センサーなど)で鍵を握る「センサー分子」としての「ペプチド・アプタマー」に関して、それをナノ粒子と複合化した場合の問題点を明らかにし、その解決策を提示することに成功した。すなわち、ターゲットの認識に関わらないペプチド・アプタマーの部分領域を導き出し、ここを合理的に改変することで、ナノ粒子複合体の物理的性質を制御する方法を定式化した。今後の生体超分子の進展における、基本開発戦略として活躍することが期待される。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. Versatile protein-based bifunctional nano-systems (encapsulation and directed assembly): Selective nanoscale positioning of gold nanoparticle-viral protein hybrids, B. Zheng, N. Zettsu, M. Fukuta, M. Uenuma, T. Hashimoto, K. Gamo, Y. Uraoka, I. Yamashita and H. Watanabe, Chem.Phys. Lett. 506, 76-80, (2011)

概要:これまでフェリチンの中の生成が困難とされてきた金ナノ粒子をフェリチンサブユニットで囲み、半導体基板上への配置制御を行った。フェリチンサブユニットN末端、C末端にそれぞれにチタン結合ペプチドと金結合ペプチドを導入し、金とチタン両方結合できる bi-functional フェリチン TFG を作製した。TFG-AuNPs を外部に出ていると考えられるチタン結合ペプチドを使って、チタン表面へ配置制御を行ったところ、非常に高い配置選択性と高密度吸着性を確認した。

2. Electrical detection of surface plasmon resonance phenomena by a photoelectronic device integrated with gold nanoparticle plasmon antenna, Tatsuya Hashimoto, Yurie Fukunishi, Bin Zheng, Yukiharu Uraoka, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, Appl. Phys. Lett. 102, 083702 (2013)

概要: 生体超分子援用プロセスの基軸となる基板表面への選択吸着機構の理解に向けて、無機材料表面の局所電荷分布状態を制御して、選択吸着機構を原子レベルで解明すると共に、これらの知見に基づいて新規チタン結合ペプチドの荷電部位を設計し、界面活性剤非存在下での生体超分子のナノスケール選択吸着を実現した。さらに生体超分子援用プロセスを、局在表面プラズモン共鳴現象を利用したプラズモニクデバイス作製技術へと発展させ、新しいコンセプトの光電子デバイスの動作実証に成功した。

3. Chiral meta-molecules consisting of gold nanoparticles and genetically engineered tobacco mosaic virus, M. Kobayashi, S. Tomita, K. Sawada, K. Shiba, H. Yanagi, I. Yamashita, Y. Uraoka, Optics Express 20 (2012) 24856-24863.

概要: 生体超分子を用いた光学メタマテリアルの基礎的研究を行った。タバコモザイクウイルスに金ナノ粒子を複合させると、可視光域での円偏光二色性が誘起できることを見出した。海外で報告されている DNA 折り紙を用いた金ナノ粒子アレイは不要で、自然界のカイラリティと吸収性を融合させれば良いことが明らかになった。このカイラルメタ分子の創成は、3次元カイラルメタマテリアルの実現に向けた大きな一歩である。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. Three-Dimensional Nanodot-Type Floating Gate Memory Fabricated by Bio-Layer-by-Layer Method, Kosuke Ohara, Bin Zheng, Mutsunori Uenuma, Yasuaki Ishikawa, Kiyotaka Shiba, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka,

Applied Physics Express, 4 (2011) 085004

概要: Bio LBL 法を用いて、積層されたCoナノドットを絶縁膜に埋め込んだ三次元フローティングゲートメモリの試作を行った。このデバイスにおいて、積層数に依存したヒステリシスや、保持特性、信頼性など優れたメモリ特性が確認され、本手法がメモリデバイス作製に有効であることを実証した。

2. Guided filament formation in NiO-resistive random access memory by embedding gold nanoparticles, Mutsunori Uenuma, Bin Zhen, Kentaro Kawano, Masohiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita and Yukiharu Uraoka, Applied Physics Letters, 100, 083105 (2012).

概要: バイオの技術により形成された金の微粒子を用いることで、抵抗変化型メモリにおけるフィラメントの位置を制御できることを実証した。直径 15nm の金微粒子をポータータンパクで修飾することで、希望の位置に吸着できた。導伝型 AFM を使って、任意の位置のメモリを選択的に動作させることができた。

3. Adsorption Density Control of Ferritin Molecules by Multistep Alternate Coating, I. Hanasaki, Y. Isono, B. Zheng, Y. Uraoka, and I. Yamashita, Japanese Journal of Applied Physics, vol.50, 065201 (2011).

概要: バイオ-MEMS 融合プロセスの確立により、CNT 集積 MEMS 共振器デバイスの新開発と、それを用いたガス種識別センシングに成功した。本デバイスは、共振状態にある MEMS 振動子上の CNT 群と振動子周りのガス分子との衝突に伴う減衰特性が、ガス分子量、圧力、および CNT 表面積に比例することを利用している。この減衰特性を、共振周波数の変化、および減衰係数の変化として検出することで、圧力を計測すること無しに、水素ガスと窒素ガスを識別することが可能となった。このことは、二重構造を有する水素貯蔵タンクのリークモニタリングシステムに有効である。

4. Improving the quality factor of polycrystalline Si thin-film microelectromechanical systems resonators by metal-induced lateral crystallization using biomineralized Ni nanoparticles, Shinya Kumagai, Takashi Tomikawa, Syohei Ogawa, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, and Minoru Sasaki, Applied Physics Letters, vol. 103, 223103 (2013)

概要: Niフェリチンを用いた金属誘起横方向結晶成長によって、多結晶 Si 薄膜における結晶粒径の拡大と結晶粒界の位置制御を実現し、MEMS 振動子の動作効率を大きく向上させた。従来の高温アニール処理では結晶成長核の発生がランダムに起こり、薄膜に含まれる結晶粒界でのエネルギー損失による MEMS デバイスの動作特性低下を避けることが困難であった。本手法は Si 薄膜デバイスにおける結晶化構造を設計・制御でき、単結晶に近い多結晶 Si 薄膜デバイスを実現するものといえる。

§2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

本プロジェクトの目標は、生体超分子の魅力的な性質を使って、半導体素子のプロセス、デバイスを革新的に変更し、あらたな機能を追加することである。この目標に向けて、6つのグループが丸となって研究を推進してきた。基幹グループである浦岡 G は、その他のグループに生体超分子材料の供給やハンドリングの指導を行いながら研究結果をフィードバックする役割と、一方で、メモ

リをはじめとする半導体素子への展開を図ってきた。浦岡 G の当初の目標は、3次元フローティングゲートメモリの実証や高性能薄膜トランジスタの実証により、生体超分子を利用することの優位性を確認することであった。

渡部Gは、本研究組織のコア技術となる生体超分子援用プロセスの機構解明、特に無機材料基板表面への選択吸着機構の解明を目指す。従来研究が生体超分子の構造や設計に注目してきたのに対して、無機材料基板の表面状態を原子レベルで精密制御することで、生体超分子と無機材料間の相互作用を決定する要因を明らかにする。さらに、これらの知見をベースとして、選択吸着反応を制御し、ナノデバイス作製プロセスと融合することで、新規超分子ナノ構造体作製技術を提案する。

磯野 G は、安全で安定した水素貯蔵のための MEMS 検知システムの開発を目指した。本研究で開発目標とした MEMS ガス種識別センサーは、マイクロ共振子上に配置された CNT(カーボンナノチューブ)にガス分子が衝突することで生じる振動減衰を、振動子の共振周波数の変化および Q 値の変化として検出するものである。これにより、単なる圧力センサーとは異なり、水素ガスとその他のガス(たとえば窒素)という、二種類のガスを識別することが可能となる。また、CNT を用いることにより振動子の表面積が飛躍的に増大し、ガス衝突による粘性減衰をより敏感に検出することが期待できる。研究開始時の目標は、研究の開始当初は、CNT 集積 MEMS 共振器型質量センサーの実現を目指していた。しかしながら、常温、常圧下での CNT 群上へのガス分子吸着が少なことから、ガス分子種識別センサーの構築をターゲットとし、センサーデバイスの開発を進めることとした。

熊谷 G は、Ni フェリチンを用いた金属誘起横方向結晶成長 (Metal-Induced Lateral Crystallization, MILC) によって、シリコン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内の応力状態を制御することで、シリコン薄膜 MEMS デバイスの高性能化を目指した。Ni フェリチンを用いた MILC の処理条件を変えて、大きな結晶化誘起応力(引張応力)が得られる条件を検討した。その後、MEMS デバイスの試作に取り組み、動作特性の評価を行う計画で進めた。

芝 G は、生体超分子を用いたナノシステムが最も活躍できる場の1つとして「バイオセンサー」の開発をめざした。生体分子には、高い特異性と広いダイナミックレンジで特定の分子をセンシングする能力がある。生体系ではこの「特定分子のセンシング」は、細胞内、あるいは細胞間のシグナル伝達や、あるいは神経系への情報変換として処理されている。「生体超分子のバイオセンサーへの応用」では、この「特定分子のセンシング」をダイレクトに物理的シグナルに情報変換することを目指している。すなわち、「バイオの目」をもち「エレクトロニクス」の頭をもったハイブリッドなシステムを構築するのを研究のねらいとした。

富田Gは大規模かつ均一で“バルク”な光学メタマテリアルの実現を目指した。そのためにまず、タンパク質など生体超分子をテンプレートとして、ナノサイズの貴金属光共振器構造を作製することを試みた。更にそれらを自己組織化的手法により三次元的に組み合わせて光学メタマテリアルを作製することを目指した。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想

① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

中間評価の他、本チームは毎年夏に一泊の研修会を開催し、グループの進捗や方向性を確認する機会を設けてきた。その時に総括や技術参事、領域アドバイザーの先生方にも参加いただき、数々のご指摘をいただいた。そのつど、その指摘に従って、毎年、研究の方向性に修正を加えてきた。その中で重要な指摘は以下の3項目であった。

- (1) 本チームが様々な分野の研究者が集うことで、発散してしまわないように、ということであった。そこで、チームの編成を見直し、軸を絞った。
- (2) 実用化に近い研究内容については、企業との連携を強化し、量産化を視野にいれた研究計画を行うように指摘があった。これに対しては、企業訪問活動や PR を強化し、味の素株式会社など数社と共同研究を開始した。また、知的財産の強化を行っ

た。

- (3) 研究総括は、特に電子デバイス応用について「研究のステップアップには、半導体デバイスの専門家と直接討論して、研究の方向性や可能性について意見をいただくことが有効」というものであった。この助言を受け、浦岡は曾根研究総括とともに、半導体デバイスの企業研究者が集結する研究拠点「超低電圧デバイス技術研究組合 (LEAP)」を訪問することになった。この訪問はとても有意義なもので、「メモリ技術では応用によって要求される特性や仕様が異なってくるので、ねらいを絞ったほうが良い」というコメントや「半導体関係の専門家向けの会議で積極的に発表すべきだ」との励ましの言葉をいただいた。



超低電圧デバイス技術研究組合 (LEAP) を訪問した。

http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/pdf/2011/2011_06_p16.pdf

中間審査において、MEMS ガスセンサーに関して、以下の 2 点を指摘いただいた。1) 既存の水素センサーと比較して本デバイスがどのような利点があるのか、2) ガス種識別原理の明確化、である。1) に関して、研究の開始当初は、既存水素センサーと同様に、水素ガスのみの検出を目指していた。しかしながら、常温、常圧下での CNT 群上へのガス分子の吸着量が極めて少ないことから、センサーとしての機能が見込めないことが明らかとなった。このため、本デバイスをガス分子種識別センサーとしての利用へと目標変更した。2) については、機械運動状態にあるマイクロ振動子とガス分子流れとの連成問題を解くことにより、減衰振動における Q 値がガス分子量、圧力、およびガス分子と振動子の衝突面積に比例することが定量的に解明できた。これにより、ある一定の圧力下において、共振周波数と減衰係数とを同時計測することで、圧力計測すること無しに 2 種類のガス種を識別することができることを理論的に示すことができた。

- ② 中間報告書 §2. 当初の研究計画に対する進捗状況「(3) 今後の進め方、および研究成果の見通し」の記載事項に関し、研究を進めた結果について

中間報告書に記載した成果の見通しについては、各項目においてほぼ達成することができた。ただ、同時に新たな課題についても見つかったため、この研究期間を終わっても引き続き解決策をさぐることにした。電子デバイス応用 (浦岡 G) では、積層 3 次元フローティングゲートメモリにおいて、新しい種類の超小型のナノドットを利用することで、ナノドットの高密度がはかられた。また、半導体薄膜の低温結晶化については、Ge 薄膜の結晶化にも成功し、品質の高い Ge 薄膜形成が可能となった。さらに、抵抗変化型メモリについては、単一ナノドットの充放電を確認することができ、論文・学会発表に限らず、今後はプレスリリースも行う予定である。

MEMS ガスセンサー (磯野 G) においては、「ボトムアップ形成で実装する CNT の密度や長さの設定」に関して、マイクロ振動子上でボトムアップ形成する CNT の密度を変化させたデバイス開発を実施した。その結果、CNT 密度の増加がセンシング感度向上に寄与することが明らかとなった。

MEMS 振動子 (熊谷 G) の開発においては、両端固定のねじり振動子デバイスで動作特性を評

価していた。振動の効率を評価する値として Q 値がある。 Q 値は振動系に蓄えられたエネルギーと 1 周期あたりの損失エネルギーとの比で定義され、実験では共振周波数をその共振特性曲線の半値幅で除した値として算出される。MILC 処理によって、作製されたねじり振動子の Q 値は向上した。しかしながら、MILC による結晶性の向上は Q 値の増大につながるが、結晶化誘起応力の増大による共振周波数の増加の効果との切り分けが十分ではないとの指摘を受けた。そこで、応力の影響が小さいカンチレバー型 MEMS 振動子を試作し、共振特性を評価した。MILC による結晶性の向上が動作特性の向上に寄与していることを示した。

バイオセンサーを目指す芝 G は、以下の結果を得た。フェリチン分子上にいろいろなペプチド・アプタマーを提示する系は、ナノテクノロジー分野で広く使われている「鍵ツール」ともいえる素材である。フェリチン分子表面にセンシング分子としての「ペプチド・アプタマー」を実装していく過程で、「凝集性の獲得」が、当初予想していた以上に大きな問題となることが明らかとなった。そこで、このような「場の変化」による「ペプチド・アプタマー」の機能変化に対処するために、「センシングに重要でない領域の合理的な改変」で対処する一般的戦略を考案し、これがうまくいくことを実証した。「凝集性の獲得」と「その回避法」は、世界中で今後広まるであろう、生体超分子を用いたナノテクノロジー開発研究において、重要なガイドとなることが期待できる。実生体超分子応用の汎用性を広げる重要な展開である。

光学メタマテリアルへの応用(富田 G)に関しては以下の成果が見られた。リング状蛋白質 TRAP の変異体と金ナノ粒子を混合させるだけで、カプセル状構造が形成される実験結果が興味深いという指摘を受け、研究を進めた。具体的には、生体超分子として、11 量体が、外径 8nm で内径 2nm のリング構造を持つ蛋白質 (TRAP) の 35 番目のリシン残基 (K) をシステイン残基 (C) に置換した変異体蛋白質 (K35C-TRAP) を作製した。直径 1.4nm の金ナノ粒子を高濃度で混合させた場合、直径 20nm 程度の蛋白質カプセルが形成された。これが中空のカプセル構造であることは、低温 TEM および AFM で確認した。また蛋白質に対する金ナノ粒子の比率を増加させると、比較的小さいサイズのカプセルが形成され、二峰性 (bimodal) のサイズ分布となることが分かった。つまり、蛋白質カプセルのサイズは離散的に変化する。このような結果は、球状ウイルスの蛋白質球殻 (ウイルスカプシド) との類似性を想像させるため、我々は「人工カプシド」と呼ぶ。このような人工カプシドは薬物輸送・遺伝子輸送への応用が期待される。また「球状ウイルスがなぜ球状になったか」というウイルスの進化に関してもアプローチできるかもしれない。このような結果は当初予定されていなかったが、重要であると考えている。これらの結果は、論文発表を行った。

③ 上記①②以外で生まれた新たな展開について

電子デバイス応用を目指す浦岡 G にとって、新たな展開は、産総研の右田主任研究員との共同研究である。産総研では、これまで微細化に向けて、様々な取り組みが行われてきたが、その新たな取り組みとして我々のプロジェクトと共同で、無接合トランジスタメモリの開発を行うこととなった。自己組織化材料を利用した世界最短ゲートを持つメモリの作製方法は、次世代半導体プロセスの根幹となる技術を提案するものであり、新たな半導体技術の展開と呼べるものである。すでに、その実証データが出始めている。このプロジェクトが終わっても、実用化のステージにステップアップするまで、あきらめずに、挑戦したい。

また当初の研究目標であった生体超分子の選択吸着機構の解明(渡部 G)は順調に進み、当該研究期間の後半では、班内連携によってポータープロテインを用いたプラズモニクデバイス作製技術への応用展開と、その動作実証に取り組むなどの新展開が見られた。研究代表者のグループ(奈良先端大)で新規に開発されたポータープロテイン技術は、分担者(阪大: 渡部 G)が提案する生体超分子援用プロセスを用いた局在表面プラズモン共鳴応用デバイスの作製手法として大きな優位性を有することが示された。この新しい研究提案に関しては、中間報告会を含めた議論で研究統括の了承を得ると共に、提案するプラズモニクデバイスの応用分野を明確にすべきであるとの指摘を受け、期間後半においてセンサーデバイスとしての動作実証に注力し、基本動作を確認するに至った。

MEMS ガスセンサー開発(磯野 G)は、マイクロ振動子とガス分子との衝突面積の増加のために、ナノ材料である CNT を選択したが、振動子と CNT との機械的な密着強度が新たな問題となっている。これを解決する方法として、金ナノ粒子を触媒にしたシリコンナノワイヤ (SiNW) の形成が有効であると考えられる。SiNW は、シリコン製マイクロ振動子から結晶界面を有することなく単結晶化して成長させることができることから、密着強度の問題を取り除くことが期待できる。現在、SiNW 集積 MEMS 共振器デバイスの開発は推進中である。

MEMS 振動子(熊谷 G)の開発においては、アモルファスシリコン薄膜を予めエッチング加工しておき、Ni シリサイドの拡散方向に構造的な制約を加えることで、結晶化の向上を試みた。カンチレバー型振動子に対して、固定端側または自由端側に Ni フェリチンの吸着領域をパターンニングした。シリコン薄膜材料は軸方向にのみ存在するため、MILC 成長はその軸方向に進むことになる。カンチレバーの幅が狭くなるにつれ、Ni フェリチンの吸着領域から成長してくる結晶粒が選択され、ほぼ一つの結晶粒からの成長で占められるようになり、均一な結晶化状態になった。カンチレバー振動子本体における欠陥構造(結晶粒界、空孔、転位)が減少するため、High-Q デバイスへの展開が期待される。腫瘍細胞を認識する直交センシング分子を、がん細胞が体液中に放出するエクソソームのセンシングに使うといった、新しい展開の道筋をつけることに成功し、今後の展開が期待される。

本プロジェクトにおける研究項目において、浦岡 G が最も新しく着手したテーマとして、色素増感型太陽電池の試作を行った。リステリア菌由来のカゴ状タンパク質 Dps の遺伝子を改変し、カーボンナノチューブ (CNT) 結合性ペプチドとチタン析出性ペプチドを同時にタンパク質表面に提示できる新規なカゴ状タンパク質 CDT1 を設計し大腸菌で量産化した。この CDT1 は CNT に吸着し分散させると共に、その周囲を、多数のナノサイズの空孔を持つチタン化合物膜で覆うことができた。これらの反応工程は、従来のような CNT への酸処理や界面活性剤処理は不要であることから CNT の高い導電性は維持され、その複合体を加熱処理して得られる CNT-酸化チタン複合体は、光電極の抵抗を低減させ DSSC の性能向上に成功した。CNT-酸化チタンナノ複合体と酸化チタンナノ粒子を混合したペーストを用いて太陽電池の光電極を印刷作製した結果、太陽電池の出力は 20% 向上した。本研究成果は農芸化学会でトピックス賞を受賞した。また、その成果日刊工業新聞に掲載された(2014.3.24)。

§3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「浦岡・山下」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
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	教授	H20.10～H26.3
山下一郎	同上	客員教授	H20.10～H26.3
石河泰明	同上	准教授	H21.4～H26.3
上沼睦典	同上	CREST研究員	H21.3～H26.3
鄭 彬	同上	CREST研究員	H20.10～H25.3
堀田昌宏	同上	助教	H21.4～H26.3
東条陽介	同上	専任 RA	H20.10～H24.3
小原孝介	同上	学生 (D1-D3)	H20.10～H24.3

(参加者多数のため、主なメンバーのみ記述した)

研究項目

- ・ 三次元フローティングゲートメモリの研究
- ・ ナノドットを用いたシリコン薄膜の低温結晶化
- ・ ナノドットを用いた抵抗変化型メモリ
- ・ プラズモン効果を目指したナノ構造制御

②「渡部」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
渡部 平司	大阪大学大学院 工学研究科	教授	H20.10～
志村 考功	同上	准教授	H20.10～
細井 卓治	同上	助教	H20.10～
是津 信行	同上	助教	H21.7～H25.3
福田 めぐみ	同上	特任助教	H22.1～H23.3
孕石 晶子	同上	技術補佐員	H24.6～
上沼 睦典	同上	特任助教	H25.5～H25.8

研究項目

- ・ 生体超分子選択吸着メカニズムの解明
- ・ 新規生体超分子援用プロセスの開発
- ・ ポータープロテインを用いたプラズモニックデバイス作製技術への展開
- ・ 生体超分子援用プロセスによる新規プラズモニックデバイスの創成

②「磯野」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
磯野 吉正	神戸大学大学院・ 工学研究科	教授	H20.10～
花崎 逸雄	同上	助教	H21.4～H24.8
菅野 公二	同上	助教	H25.4～
吉村 典子	同上	技術補助員	H23～H25.10
呉 銜珍	同上	学術推進研究員	H21.4～H23.3

研究項目

- ・ フェリチン分子を触媒とした CVD 法による MWCNT の密度制御
- ・ CNT 実装 MEMS 共振器デバイスの開発とガスセンサー応用

①「熊谷」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
熊谷慎也	豊田工業大学・大学院工学 研究科	准教授	H21.4～
佐々木実	同上	教授	H21.4～

研究項目

- ・ フェリチンを利用した結晶化による MEMS 用シリコン薄膜中の残留応力の制御
- ・ フェリチンを利用した MEMS 用シリコン薄膜中の結晶化領域の位置制御
- ・ フェリチンを利用した結晶化シリコン薄膜を用いた MEMS デバイスの試作および動作特性評価

②「芝」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
芝清隆	(公財)がん研究会 がん研究所 蛋白創製研究部	部長	H20.10～
松村幸子	同上	嘱託研究員	H20.10～
柏木健一	同上	嘱託研究員	H20.10～ H20.12
河村秀樹	同上	嘱託研究員	H20.10～H21.3
國分克寿	同上	嘱託研究員	H20.10～
南澤宝美后	同上	研究助手	H20.10～
菅加奈子	同上	嘱託研究助手	H20.10～
金田祥平	同上	CREST 研究員	H21.1～H21.9
小林未明	同上	CREST 研究員	H22.4～H24.3
須藤拓真	同上	嘱託研究助手	H24.4～H25.3
橋本和彦	同上	専任 RA	H20.12～H22.9
佐瀬瑞穂	同上	研究生	H22.4～H24.3
足立絵瑠	同上	嘱託研究助手	H23.7～H24.3
日比野和浩	同上	嘱託研究助手	H23.9～
吉田光孝	同上	研究生	H24.4～
岩井千弥	同上	研究生	H24.10～

研究項目

- ・ バイオセンサーへの応用

②「富田」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
富田 知志	奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科	助教	H20.10～
Ali Malay	同上	CREST 研究員	H.20.10～23.3

研究項目

- ・ リング状蛋白質 TRAP を用いた光学メタ分子の実現
- ・ タバコモザイクウイルスを用いたカイラルメタ分子の光学活性
- ・ 三次元化カイラルメタマテリアルの実現
- ・ リング状蛋白質 TRAP を用いた人工ウイルスカプシドの創成

§4 研究実施内容及び成果

4.1 生体超分子を用いた電子デバイスの研究(奈良先端科学技術大学院大学 浦岡・山下グループ)

(1)研究実施内容及び成果

① 研究の目的と実施方法

本研究は、生体超分子が持つ優れた機能である自己組織化能力、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。本項目では、これらの機能をフルに活かした電子デバイスを動作実証することを目指した。具体的には、フローティングゲートメモリ、シリコンの低温結晶化、抵抗変化型メモリの試作と性能評価を行った。その性能評価結果から、本材料を導入することによって得られた効果について議論した。また、その製品化を目指した課題について検証した。

本研究の主体は、奈良先端科学技術大学院大学で行われてきたが、Bio-LBL 法は、癌研・芝 G の指導の下に行われてきた。また、半導体薄膜の低温結晶化におけるゲルマニウム薄膜の供給及びその実験結果に対する評価については、大阪大学の渡部 G の協力によるものである。さらに、シリコン薄膜の結晶性の評価(EBSP 法)については、豊田工業大学の熊谷 G の協力の下に行われてきた。このように、この研究項目の実施に当たっては、多くの研究グループの綿密な連携によって実施された。

② 得られた成果と成果の位置づけ

(1)BioLBL 法を用いた三次元メモリの作製

本研究では吸着密度の増大およびメモリ特性の向上を目的に、フェリチンの積層化手法である Bio-Layer-by-Layer (Bio-LBL)法を利用したナノドット積層構造の形成およびナノドット積層構造を埋め込んだ積層ナノドット型フローティングゲートメモリの作製を行った(図 1-1)。Bio-LBL 法には、Titanium-Binding Ferritin (TBF)と呼ばれる、Ti、Ag および Si に対して特異的に吸着する能力と、 SiO_2 を析出するバイオミネラリゼーションの能力を持つフェリチンを利用した。コバルト粒子(Co-BND)を内包した TBF の選択吸着能力と SiO_2 バイオミネラリゼーション能力を交互に繰り返す事によって、トンネル酸化膜となる SiO_2 上に TBF の積層構造を形成した。積層構造形成後、500 °C の窒素雰囲気中で熱処理を 1 時間行い、タンパク質を完全に除去し、Co-BND の積層構造をトンネル酸化膜上に形成した。その後、MOS 構造を形成し、電極を形成する事で積層ナノドット層が埋め込まれたフローティングゲートメモリを作製した。

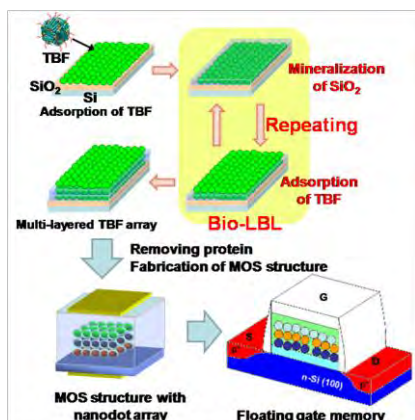


図 1-1 積層ナノドット型フローティングゲートメモリ

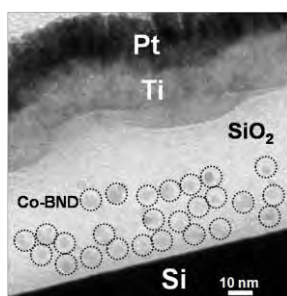


図 1-2 断面 TEM

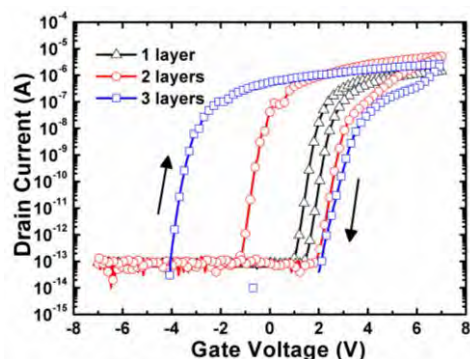


図 1-3 I_D - V_G 特性

作製したメモリの断面 TEM 像を図 1-2 に示す。Bio-LBL 法によって、Co-BND の積層構造をトンネル酸化膜上に形成可能である事を確認した。作製したメモリの I_D - V_G 特性を図 1-3 に示す。全ての素子において、ヒステリシスの存在する I_D - V_G 特性が確認され、ヒステリシス幅が Co-BND 層の数に比例して拡大していることが確認された。Co-BND 層が積層されるにつれて、トンネル酸化膜上に存在する Co-BND の密度が増大し、注入される電荷量が増加することでヒステリシス幅が拡大したと考えられる。さらにメモリの保持特性や書き込み特性、信頼性など詳しく調査した結果、本メモリの優位性を確認することができた。

(2)Niを内包するフェリチンタンパクを用いたSi薄膜の低温結晶化

ニッケル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。多結晶シリコン薄膜トランジスタは、シリコンの良好な電気特性から、画素駆動以外の高度な周辺回路への応用も期待されている。この様な用途に向けて、高品質な多結晶シリコン薄膜の作製手法として、我々は生体超分子内部で合成した金属ナノ粒子を利用する Bio Nano Crystallization (BNC)という手法を提案してきた。本研究においては、薄膜トランジスタ作製プロセスに適用することを考え、生体超分子表面の電荷を利用し、基板との間の静電相互作用によって金属ナノ粒子の位置制御、並びに結晶粒の位置を制御することを目指した。また、この手法を従来の薄膜トランジスタ作製プロセスに適用することによって、高性能な薄膜トランジスタを簡単に作製できる手法を確立できると考える。

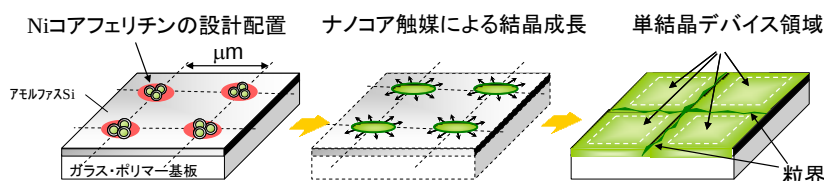
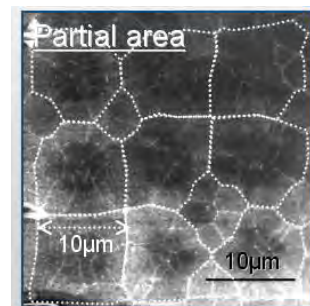


図 1-4 位置制御されたシリコン薄膜の結晶粒



非晶質のシリコン薄膜の上に、パターニングされた APTES 膜を形成し、この薄膜上にニッケルを内包した生体超分子を吸着させた。オゾン処理によって、外側のタンパクを除去し、500 度程度の熱処理または 740 度のパルス加熱処理を行った。その結果、以下の 3 点を確認した。①Ni ナノドットのパターニング手法の確立によって、図 1-4 に示すように位置の制御された結晶粒を初めて確認した。②この基板を用いて薄膜トランジスタの試作を行い、図 1-5 に示すように良好な基本性能を確認した。③Ge 薄膜の 400℃以下の低温結晶化を基板全面で確認した。本研究成果は、ディスプレイ応用だけでなく、太陽電池用薄膜の形成法としても非常に有用である。

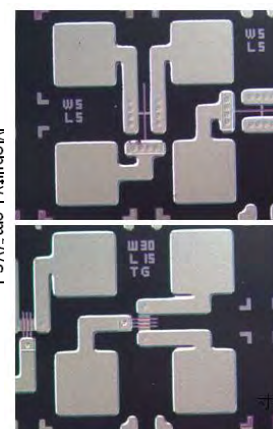
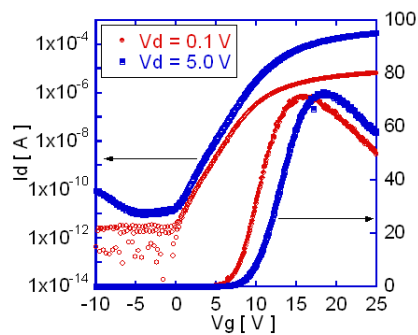
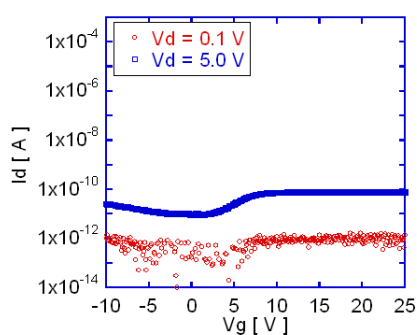


図 1-5 試作した薄膜トランジスタの伝達特性(左)タンパクなし、(中)タンパクを用いたもの、(右)作製した薄膜トランジスタの顕微鏡写真

(3) 自己組織化ナノ構造の位置制御と抵抗変化型メモリへの応用

次世代不揮発性メモリとして研究されている抵抗変化型メモリ(ReRAM)は、NiO などの抵抗膜中に形成されたナノスケールの導電パス(フィラメント)が切断・再形成されることにより動作していると考えられている。しかしながらナノスケールのフィラメントはランダムに無数形成されるため、動作の安定化や低電圧化にはフィラメントのナノレベル制御が必須である。また、ReRAM は、構造が単純であることから、トップダウン手法によって微細化された、ナノスケールのメモリ構造が、近年報告され始めている。ナノ構造形成技術であるバイオナノプロセスを用いることでさらなる微小メモリ形成と動作実証が可能である。

本研究では、生体材料を利用することで、フィラメントの位置制御およびナノ粒子を用いた微小 ReRAM の作製を目的とした。金属ナノ粒子を抵抗変化膜中に配置し、ナノ粒子への電界集中を利用することでフィラメントパスの位置制御を行った。

Au 及び Ti を認識するポータープロテインを利用し 400 nm 間隔で配置を行った Au ナノ粒子(GNP)上に NiO 膜を堆積し C-AFM によりフィラメントの形成位置を測定した結果、GNP を配置した NiO 上に電流スポットの形成が見られた(図 1-6)。さらに単一の電流スポットに対してスイッチング現象が確認され、この結果よりフィラメントの位置制御が可能であることが初めて明らかとなった。

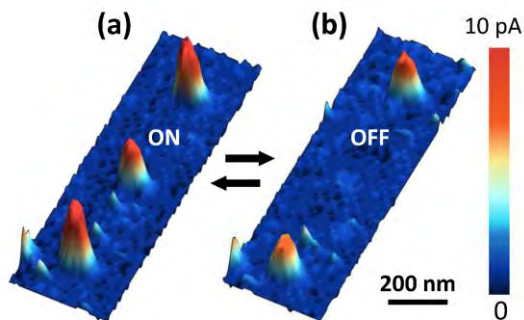


図 1-6 Au ナノ粒子を埋め込んだ酸化ニッケルの表面電流像。(a) ON状態、(b)中心のドットをOFFにした場合。

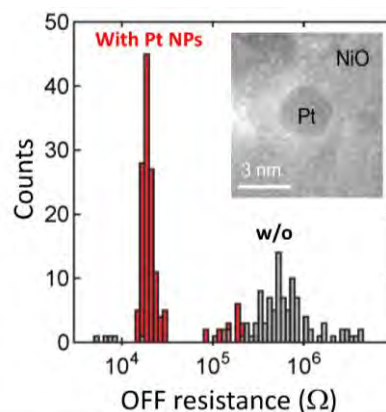


図 1-7 白金を埋め込んだ酸化ニッケルの OFF 抵抗のヒストグラム。ばらつきの低減が顕著である。

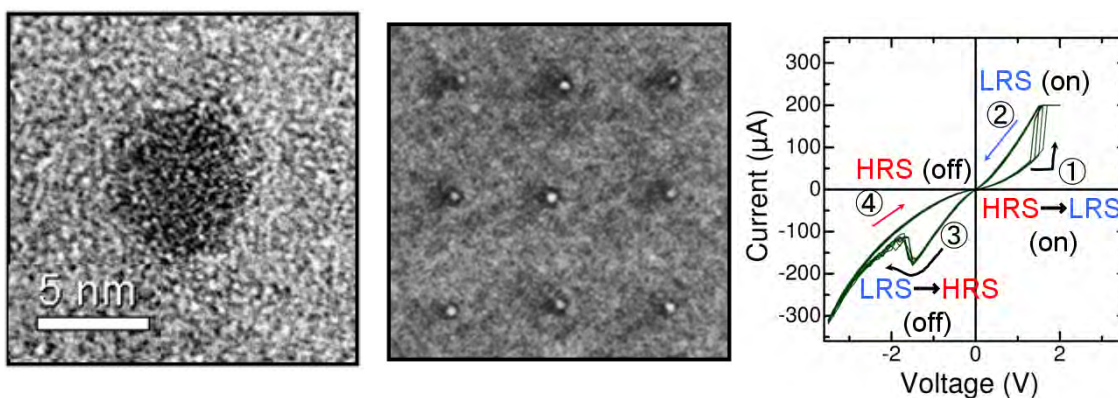


図 1-8 単一の TaOx ナノドットを用いた抵抗変化型メモリの実証実験結果。(左)TaOx ナノドットの TEM 像、(中)単一配置、(右)単一ナノドットの抵抗変化。

GNP を配置した ReRAM を作製した結果、フォーミング電圧の低減も可能であることが示された。また、NiO 膜中にフェリチンタンパク質により形成した Pt ナノ粒子を埋め込むことでスイッチング特

性が繰返し動作に対し安定化された。特に OFF 抵抗値についてはバラツキに大きな改善が見られた(図 1-7)。図 1-8 に示すように、フェリチンタンパクを用いて直径 6 nm の TaOx ナノ粒子を形成し微小 ReRAM の動作検証を行った結果、フェリチン内部に初めて TaOx のナノ粒子を形成できることを確認した。さらに、ナノ粒子の選択配置技術を用いてメモリ動作実証を行った結果、単一ナノドットにおいて、メモリ効果を示すことに成功した。繰返し回数など、信頼性の検証を行った結果、十分な信頼性を確認できた。

(4) 生体超分子を利用した色素増感型太陽電池

酸化チタンに吸着した色素に光照射した時に発生する電子と正孔を分離し、それぞれカソード電極や電解液に集めることで発電させる色素増感太陽電池は、液体プロセスで比較的容易に作製可能な湿式太陽電池として、注目が集まっているが、まだ発電効率に問題がある。そこで、受光する表面積を増やせば、効率の向上は期待できると考えた。本研究では、透明電極上に配置されたナノドットを核として成長させたカーボンナノチューブ (CNT) に、特異的に吸着するフェリチンを使って、表面電極面積の飛躍的な向上を実現することで効率の向上を狙った(図1-9)。

CNT の表面に高密度に吸着したフェリチンの周りに析出した酸化チタンを低温熱処理によって、アナターゼとして用いることで、ポーラスな電極膜が期待した(図 1-9)。また、色素で発生した電子を低抵抗な CNT を使って電極に運搬することで、ロス低減を狙った(図 1-10、1-11)。さらにプラズモン粒子の吸着によって、光閉じ込め効果を利用し、効率のさらなるアップを期待した。本研究テーマは、平成 24 年度より始まったテーマであり、試作条件には課題が残るものの、従来の方法に比べて、大幅な効率アップが確認されつつある(図 1-12)。

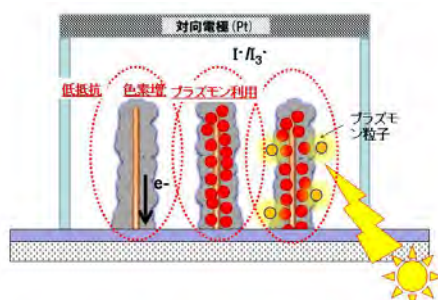


図 1-9 光電極に生体超分子を利用した色素増感型太陽電池。透明電極上に成長した CNT に特異的に吸着するフェリチンを用いた。

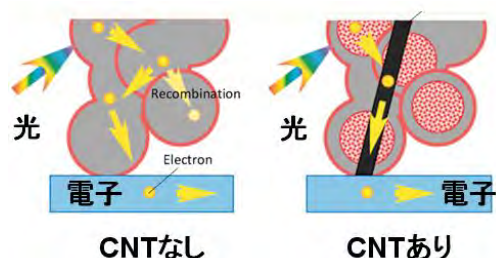


図 1-10 色素で発生した電子を低抵抗な CNT を使って電極に運搬することで、ロス低減を狙う。

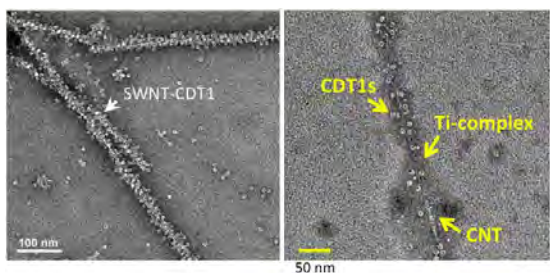


図 1-11 CNT の周りに、高密度に吸着したタンパクの CDT1 (左)。CDT1 の周りに析出した酸化チタン (TiO₂) を低温熱処理によってアナターゼ化した (右)。

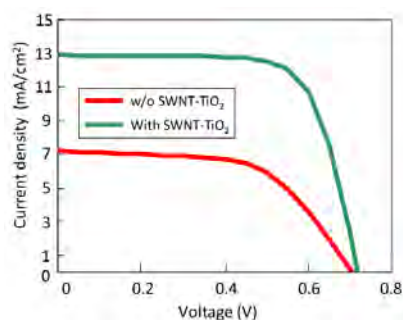


図 1-12 試作した色素増感型太陽電池の電気特性。CNT を用いることで、大幅な電気特性の向上を確認した。

(5) ジャンクションレス V 字型メモリ

V 型の溝に、ナノドットを埋め込んだ無接合トランジスタメモリの試作に成功した。共同研究先の産総研は、面方位 (100) の SOI を異方性エッチングし、V 溝を形成した基板に絶縁膜を堆積し、

電極を形成することで、ゲート長 3nm の世界最短ゲートの無接合型(ジャンクションレス)のトランジスタの実証に成功している(図 1-13)。この絶縁膜の中に、ナノドットを埋め込むことで、極微メモリの試作と評価を行った(図 1-14)。その結果、V 溝中に埋め込まれたナノドット中への電子の充放電が確認された。Ballistic 伝導機構で働くトランジスタを活用した電子の充放電現象を解明した。

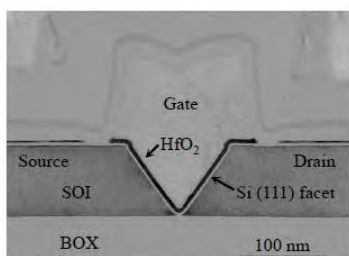


図 1-13 世界最短ゲートを持つ V 溝型トランジスタ



図 1-14 V 溝に埋め込まれたナノドット

4. 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 (大阪大学 渡部グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究の目的と実施方法

生体超分子援用プロセスでは、特定の固体表面を認識するペプチドで修飾したフェリチン蛋白質を用いて、各種ナノ粒子を選択配置することを要素技術としている。代表的な Ti 認識ペプチド修飾フェリチン(TBF)を中心に、吸着素過程を理解すると共に、その選択吸着メカニズムを解明し、生体超分子援用プロセスのさらなる高度化を図ることを目的とした。本グループでは、研究期間の前半で吸着基礎データを取得し、選択吸着モデルを構築した。また、これらの知見をベースに、デバイス作製に有利なナノ吸着プロセスの開発、加えて後述のポータープロテインの概念を新たに提案した。さらに研究期間の後半では、新規プラズモニックデバイス応用に向けた新規テーマを追加し、生体超分子援用プロセスの高度化と、センサーデバイスの動作実証に成功した。研究推進にあたっては、研究代表者が所属する奈良先端大学から各種生体超分子の提供を受け、大阪大学にて機能性基板の作製と吸着素過程の評価、ならびに吸着モデル構築を行った。また、フェリチンを利用した新規ポータープロテインの開発は奈良先端大学が主体的に実施し、これを応用した生体超分子援用プロセスの高度化とプラズモニックデバイス作製は大阪大学にて実施した。

② 研究実施内容と得られた成果

大阪大学と奈良先端大学との連携により、生体超分子選択吸着機構解明に向けた吸着基礎データ取得とナノ吸着プロセス開発に加え、ポータープロテインの配置制御およびこの新技術を応用したプラズモニックデバイス開発を推進した。以下、その代表的な研究成果の概要を示す。

(1) Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの選択吸着機構解明

Ti 認識ペプチド(TBP)の選択吸着機構としては、ペプチドを構成するアスパラギン酸とアルギニンの局所電荷と、両性酸化物である TiO_x 表面に存在する $\cdot\text{O}$ や $\cdot\text{OH}^{2+}$ との静電相互作用の効果が提案されているが、その詳細なメカニズム解明には至っていない。本研究では、固体表面の状態制御、吸着時の溶液条件、界面活性剤依存性、さらにはペプチド内の局所電荷を制御した様々な条件下での吸着データを取得した。

無機基板表面への TBF 及び未修飾フェリチン(FerO)の吸着実験を種々の条件下で実施した。pH が高い条件では TBF 及び FerO は全体として負のゼータ電位を示すが、TBF の Ti 認識ペプチドにはアルギニンとアスパラギン酸由来の正・負両方の局所電荷が存在する。また各基板のゼー

タ電位も pH 条件に依存するために、TBF あるいは Fer0 吸着実験に際しては、基板表面と生体超分子のゼータ電位ならびにペプチドに局在する両極電荷の影響が重畳するが、TBF の選択吸着現象を支配する主要因については不明であった。今回、様々な組み合わせ条件にて吸着実験を実施した結果、Fer0 は pH5~9 では自身が負電位であるため、基板が負電位の場合は静電反発力により吸着しないが、TBF は Ti ペプチドのアルギニンとアスパラギン酸の局所的な電荷により、負電位基板でもアルギニンの正電荷と基板間で静電相互作用が主要因となって吸着することが明らかとなった。さらに、種々の両性酸化物でも同様の吸着機構が働くことを確認し、生体超分子援用プロセスに利用可能な基板材料の拡張に成功した (Fukuta *et al.*, Colloid and Surfaces B: Biointerfaces, 102, 435 (2013))。

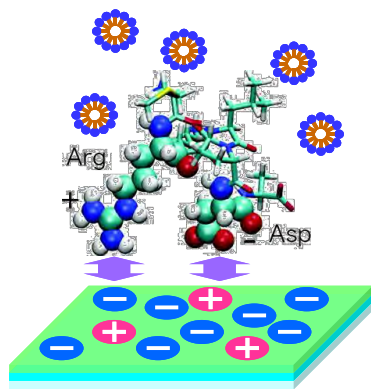


図 2-1 Ti 認識ペプチドの両性酸化物表面への吸着機構の模式図

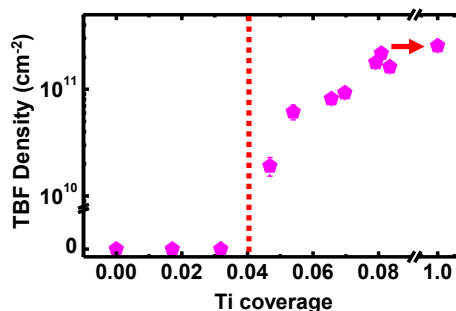


図 2-2 原子層 Ti 堆積 SiO₂ 基板表面への Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの吸着

通常、選択吸着実験では Ti 連続膜を用いるが、選択性発現に要求される膜厚や、原子層以下の Ti 原子が分散した状態での吸着現象については報告がない。本研究では単層以下の Ti 被覆率を有した SiO₂ 基板上での TBF 吸着実験を通じて選択吸着機構の解明と、新プロセス構築への展開を試みた。右図は Ti 被覆率と TBF 吸着量の相関を示し、被覆率 0.02 程度では TBF 吸着は観測されないが、被覆率 0.04 前後を閾値として TBF 吸着が生じ、僅か 0.08 程度の Ti 被覆率で連続膜と同程度の吸着密度が確認された。これらの結果は、TBF の選択吸着において Ti 連続膜は必ずしも必要ではなく、基板上に分散した Ti 原子或いはクラスターであっても、Ti 認識ペプチドとの静電相互作用が十分に働くことを意味する。一方、応用面では、ナノスケールのパターン形成や、SiO₂ 層の絶縁性を保持したままでのナノ粒子選択配置への可能性が開けた (T. Hashimoto *et al.*, Appl. Phys. Lett., 99, 263701 (2011))。

(2) ペプチド内局所荷電状態制御による界面活性剤非存在下でのナノ選択吸着の実現

従来の TBF 選択吸着は界面活性剤 (TWEEN20) 存在下で発現するが、デバイス試作において界面活性剤は汚染源であり、またよりシンプルな条件下での選択吸着の実現が望まれる。そこで TBP 内荷電アミノ酸の一部を、電荷を持たないアラニンに置換した種々のペプチドを用いて TiO_x/SiO₂ 選択配置を試みた。TBP の荷電アミノ酸をアラニン置換したペプチドを組み込んだ4種類のフェリチンを作製し、吸着実験を実施した結果、TBP の局所荷電状態と Ti 表面への吸着特性に明瞭な相関関係が確認され、両性酸化物への吸着反応に支配的なアミノ酸を特定することに成功した。さらに、特定のアラニン置換 TBF において TWEEN20 非存在下においても、右図に示すように TiO_x/SiO₂ ナノパターン上での選択吸着を達成した (論文投稿中)。

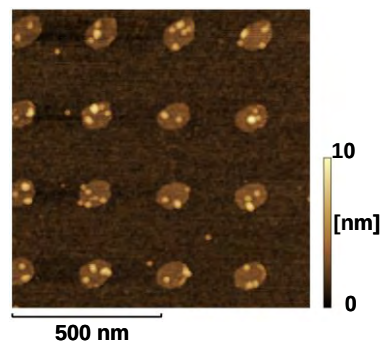


図 2-3 アラニン置換ペプチドを用いた界面活性剤非存在下でのナノパターンへの選択吸着

(3) ポータープロテイン技術の提案と選択ナノ配置技術

プラズモニックデバイスへの TBF 応用を考えた場合、様々なサイズや形状のナノ粒子を、デバイスの所望の位置に配置することが要求される。本研究ではフェリチン蛋白の分解と再構成による任意形状のナノ粒子内包と、その選択配置が可能なポータープロテインの概念を新たに提唱し、原理実証に取り組んだ。フェリチンサブユニットの N および C 末端に、Ti と金をそれぞれ認識するペプチド提示した変異体 TFG を作製した。TFG フェリチンの分解再構成の過程では、サブユニットが金ナノ粒子を捕獲して覆いながら外側にチタン認識ペプチドを提示する(右図)。この TFG/金ナノ粒子複合体を精製した後、チタン表面への選択配置を行った結果、良好な選択吸着を示した。さらにナノスケールのパターンを用いて単一粒子の任意配置にも成功した(B. Zheng *et al.*, Chemical Physics Letters、506、76 (2011))。

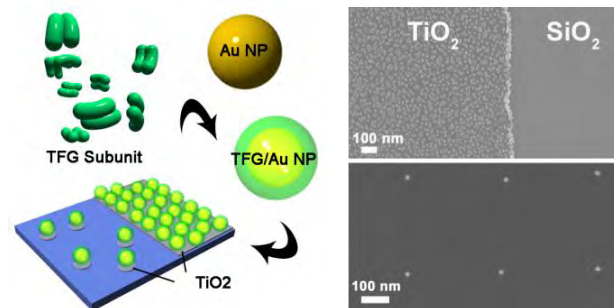


図 2-4 ポータープロテイン技術の概念図と Ti パターン上への選択吸着実験結果

(4) プラズモニックデバイス創成に向けたポータープロテイン援用技術の高度化

金ナノ粒子等に発現する表面プラズモン共鳴は、バイオセンサーに利用されているだけでなく、光導波路や高発電効率太陽電池など光電子デバイスへの応用も期待されている。本研究ではポータープロテイン技術を用いて様々な材料・サイズ・形状の金属ナノ粒子をデバイスの必要な部位に配置し、新規プラズモニックデバイスを創成することを後期の目標として設定した。TFG/金ナノ粒子複合体では、サブユニットは Ti 認識ペプチドを外側に提示しているため、サブユニットがスペーサーとして働き、粒子同士が接触することがない。従って、基板表面上に高密度配置しても粒子同士の凝集によるプラズモン吸収ピークの劣化を回避できる(次頁中段左図参照)。直径 15nm の金ナノ粒子(GNP)を TFG で覆った TFG/GNP 複合体を Ti パターン上に選択配置してプラズモニック特性を比較した結果、Ti パターン上では TFG/GNP が高密度で単層吸着しているにもかかわらず、波長 540nm 付近に液中と同様の金ナノ粒子起因のプラズモンピークが観測されたが、TFG で覆われていない GNP は凝集によりブロードな吸収ピークとなった。本結果は、ポータープロテインによるナノ粒子配置技術の優位性を実証するものである。

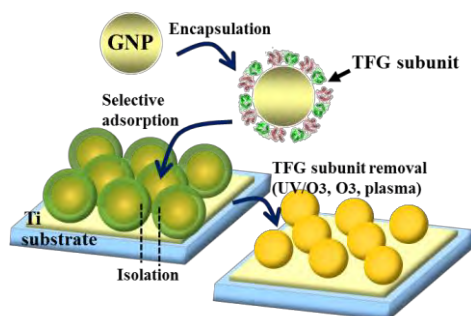


図 2-5 ポータープロテイン技術を応用したプラズモニックデバイス作製の概念図

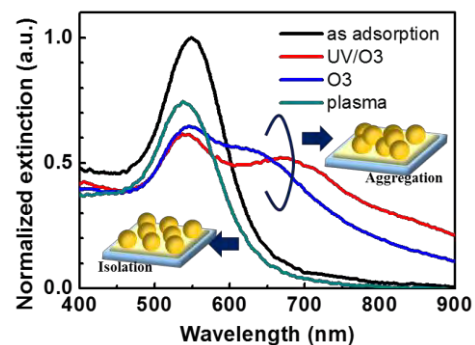


図 2-6 TFG/GNP 複合体サブユニット剥離後のプラズモニック特性評価結果

一方、デバイス作製に際しては、GNP 周囲のサブユニットを剥離する必要がある。これまで、蛋白除去方法としては、オゾン(O₃)或いは UV/O₃ 処理が用いられてきたが、GNP の凝集に伴う特性劣化が懸念される。そこで本研究では、粒子同士の凝集を回避する高効率な蛋白除去手段として、大気圧プラズマ処理法を検討した。右下図は蛋白除去前後の透過率測定結果であり、UV/O₃ や O₃ 処理を施した試料では粒子同士の凝集で長波長側に新たな吸収ピークが観測されるのに対して、大気圧プラズマ処理試料では特性劣化が観測されない。さらに誘電率が異なる溶媒中での透過率測定の結果、周囲の誘電率変化に対応した吸収波長シフトを観測し、プラズモニックデバイス創成に向けたポータープロテインならびに大気圧プラズマ処理技術の優位性を確認した(T. Hashimoto *et al.*, Appl. Phys. Lett., 101, 073702 (2012))。

(5) ポータープロテイン技術を用いた新規プラズモニックデバイスの提案と動作実証

本研究では、ポータープロテイン技術の応用したプラズモニックデバイスの動作実証として、金ナノ粒子をプラズモンアンテナとして用いたセンサーデバイスの作製に取り組んだ(左下図参照)。このデバイスでは、可視光に対して透明な酸化物半導体(Nb ドープ TiO₂) 上にポータープロテイン技術を用いて金ナノ粒子を高密度配置し、チャンネル間を流れる電流を表面プラズモン効果によって変調する構造である。このデバイス構造によって、従来ではプラズモン効果を透過光等の強度変化として捕らえていたものが、直接電気信号として取り出すことが可能となる。右下図は電極間に金ナノ粒子を高密度配置したデバイスと、粒子を配置していないものについて、電極間の光電流の波長依存性を測定した結果である。金ナノ粒子を配置した構造では、光照射によって波長 640nm 付近で顕著な電流増大が確認された。これは、金ナノ粒子の効果により、Au/Nb-TiO₂ 界面でのショットキー障壁を超えるホットキャリア数がチャンネル内で増大したことに対応しており、チャンネルを流れる電流をモニタリングすることで、金ナノ粒子由来のプラズモン信号を電氣的に直接検出することに成功した(T. Hashimoto *et al.*, Appl. Phys. Lett., 102, 083702 (2013))。

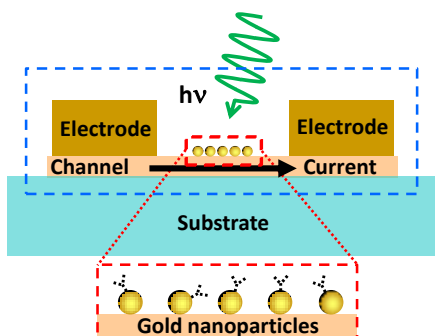


図 2-7 ポータープロテイン技術を用いて作製したプラズモニックデバイスの模式図

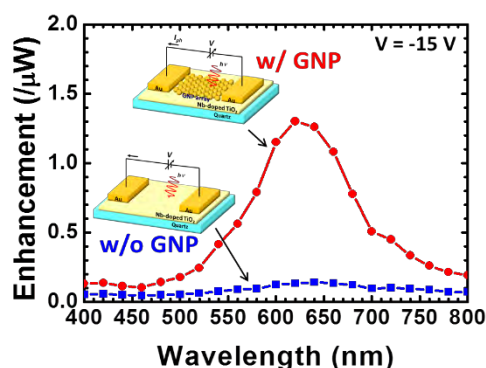


図 2-8 プラズモニックデバイスの光応答特性

4. 3 バイオ・MEMS 融合プロセスによる RF-MEMS 型水素ガスセンサーの開発(神戸大・磯野グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

①研究実施内容および方法

本研究では、バイオ・MEMS 融合プロセスの確立を通して、CNT がマイクロ振動子上に高密度かつ局所的に集積された、MEMS 共振器型ガスセンサーの開発を目的としている。同センサーを開発するに当たっての具体的な研究実施方法は、以下の通りである。

(1)フェリチン分子の高密度化および局所選択的吸着技術の確立

デバイス開発の第一段階として、高密度に密度制御されたフェリチンタンパクを局所選択的に配

置させるための技術を確立する。また、数値シミュレーションにより同タンパクの高密度化メカニズムの解明を併せて実施する。

(2)フェリチン分子を触媒とした高密度 CNT 成長技術の確立

高密度な CNT 集積のための CVD 条件を抽出する。ここでは、前処理条件、温度、圧力およびガス流量を系統的に変化させることで、デバイス試作に対して合理的な条件を見いだす。

(3)MEMS 共振器デバイスの設計/開発技術の確立

MEMS 共振器デバイス内には変断面振動子を設置する。このため、マイクロ機械構造物としての振動子の構造設計と回路設計とを組み合わせ、簡易設計手法を確立する。また、併せてデバイスプロセス技術を確立する。

(4)バイオ・MEMS 融合プロセス技術による MEMS 型水素センサーの試作と評価実験

上記 3 項目で構築した技術を組み合わせ、フェリチンタンパク分子を保持しながら MEMS プロセスを実行するための技術構築と、それに基づくデバイス試作、評価を実施する。

②研究成果

当初計画した内容から若干変更があったが、研究項目で設定した各要素技術および目標となる研究成果は概ね得られた。これらについては、幾つかの学会発表ならびに論文発表を行った。②項に挙げた研究実施方法別に、研究進捗状況ならびに得られた成果を示す。

(1)フェリチン分子の高密度化および局所選択的吸着技術の確立

Titan-binding peptide を表面修飾した、弱正電荷を帯びたフェリチン分子 (TBF) と、8 個のアミノ基を取り除くことで弱負電荷に帯電させたフェリチン分子 (Fer8S) を準備し、それらを交互に多段階塗布することで、基板上に $4500/\mu\text{m}^2 \sim 9200/\mu\text{m}^2$ の範囲でフェリチン密度を制御することが可能となり、かつ大幅な高密度化に成功した (図 3-1)。さらに、レジストパターン上へフェリチン分子の多段階塗布した後、リフトオフプロセスを実施することで、高密度なフェリチン分子の局所選択的吸着技術を確立した (図 3-2)。

具体的には、①フォトリソを基板上に塗布し、②露光・現像によりパターンを作製した状態で、③フェリチン溶液を滴下してから純水洗浄し水分を除去した後、④加熱してフェリチンを基板上に定着させる。その後、⑤剥離液によってレジストを除去すると⑥フェリチンが局所的に塗布された状態が得られた。なお、ここで得られた技術については特許出願した。

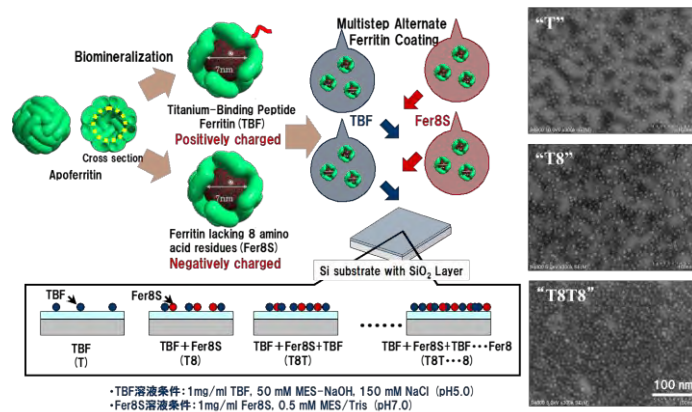


図 3-1 多段階交互塗布プロセスによるフェリチンタンパクの高密度吸着制御技術

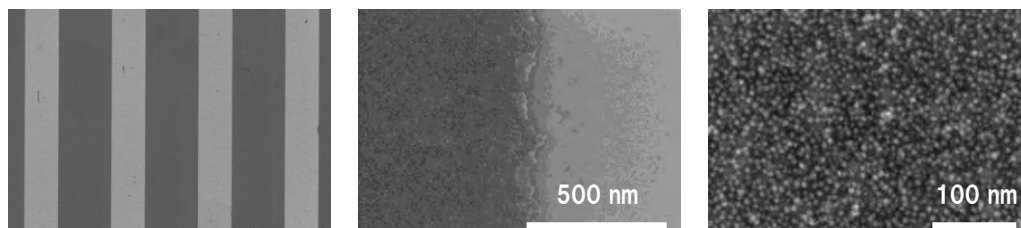


図 3-2 リフトオフプロセスによるフェリチン分子の高密度局所選択的吸着結果

(2)フェリチン分子を触媒とした高密度 CNT 成長技術の確立

(1)の手法により密度制御しながら配置したフェリチンタンパクを触媒として、MWCNT

(Multi-Wall Carbon Nanotubes) の CVD 成長条件を抽出した。具体的には、①TBF フェリチン分子のみを触媒として、 C_2H_2/H_2 ガス流量および成長温度を変化させながら、高密度 CNT 形成条件を同定した。②その後、TBF、Fer8S をそれぞれ2回交互塗布した(計4回塗布した)フェリチン分子に対して、①で得られた形成条件を用いて CNT 形成実験を実施した。その結果、CVD 温度 $700^{\circ}C$ 、 $C_2H_2/H_2=300/150sccm$ の下で高密度 CNT 形成条件を見いだすとともに、同条件の下で、フェリチン密度の増加に伴って CNT 密度も増加させることに成功した(図 3-3)。

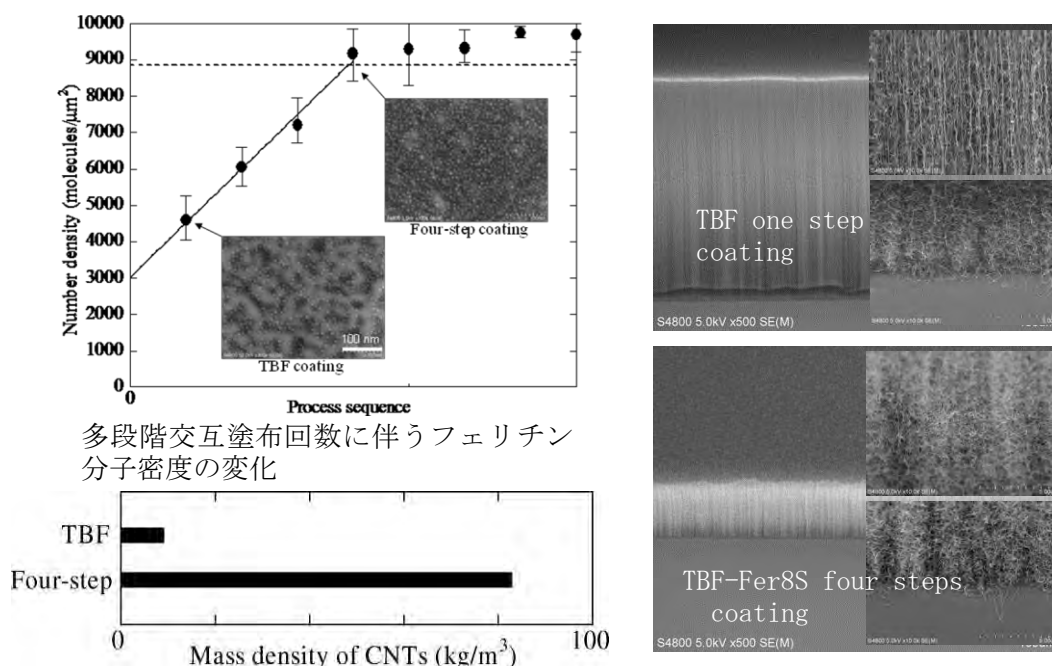


図 3-3 交互塗布したフェリチン分子をそれぞれ触媒としたときの CNT 密度の比較結果

(3)MEMS 共振器デバイスの設計/開発技術の確立

本研究で開発予定のガスセンサーは、変断面両端固定梁で構成されるマイクロ振動子を有する MEMS 共振器を、基本デバイス構造として採用した。数 MHz～数十 MHz 帯域の共振周波数を実現できるマイクロ振動子を設置するため、振動子断面形状の変化に伴うコンプライアンス変化を考慮した簡易設計手法を確立した。これにより、設計コストの低減と迅速なデバイス形状の変更が可能となった。

(4)バイオ・MEMS 融合プロセス技術による MEMS 型水素センサーの試作と評価実験

(1)～(3)項で確立したバイオプロセス技術、CNT 形成技術、および MEMS 設計・プロセス技術を融合することで、CNT 実装 MEMS 型水素ガスセンサーを試作した。具体的には、共振部には変断面を有する両端固定梁からなる振動子上の任意の場所に、フェリチンタンパク分子を高密度に配置するバイオ・MEMS 融合プロセスを構築するとともに、振動子上にのみ CNT 成長させるものである。試作したデバイスの一例を図 3-4 に示す。ここでは、基板から独立して架橋されている振動子の変断面部にだけ CNT が実装されていることが確認された。

試作した同デバイスを用いて、水素および窒素ガスの識別実験を試みた。図 3-5 にデバイス評価実験システムとデバイス周波数特性評価結果、および図 3-6 に規格化された共振周波数および減衰パラメータの変化を、それぞれ示す。0.02Pa～0.9Pa までの圧力範囲において、水素ガス、窒素ガス環境下で規格化された共振周波数ならびに減衰パラメータを評価したところ、圧力の増加に伴って両パラメータともに減少することが明らかとなった。とくに、減衰パラメータの変化においては、理論のそれと比較的良く一致し、本デバイスの検出原理の妥当性を支持するものであった。

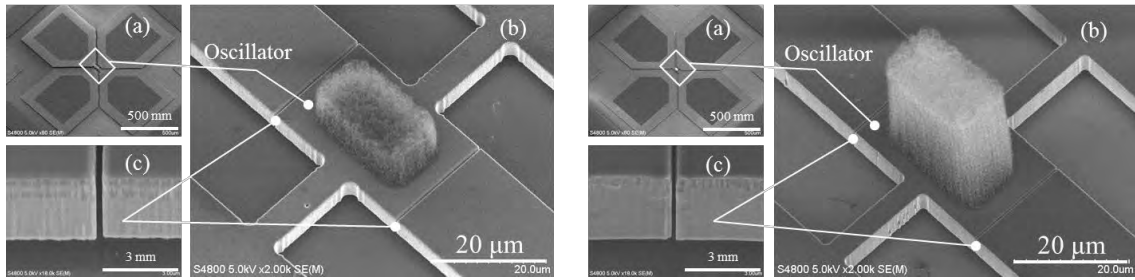


図 3-4 試作した CNT 実装 MEMS 型ガスセンサーの外観写真

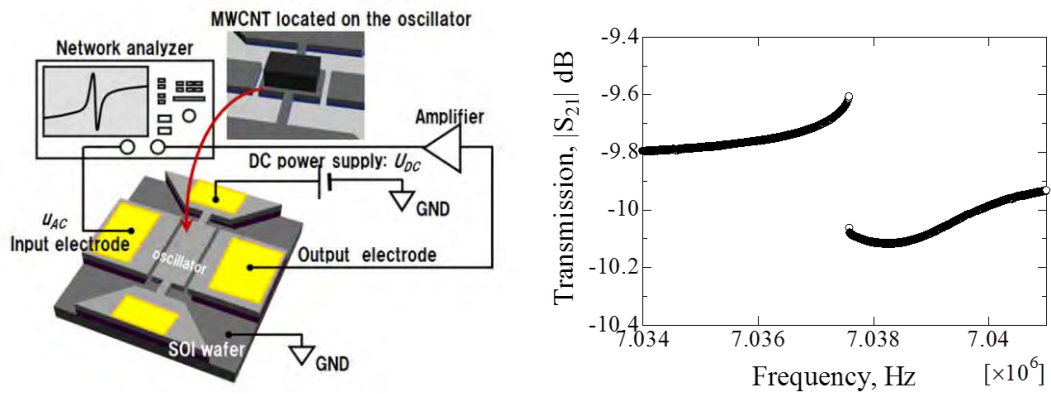


図 3-5 水素ガス検出実験システム図と伝送係数 S_{21} の検出例

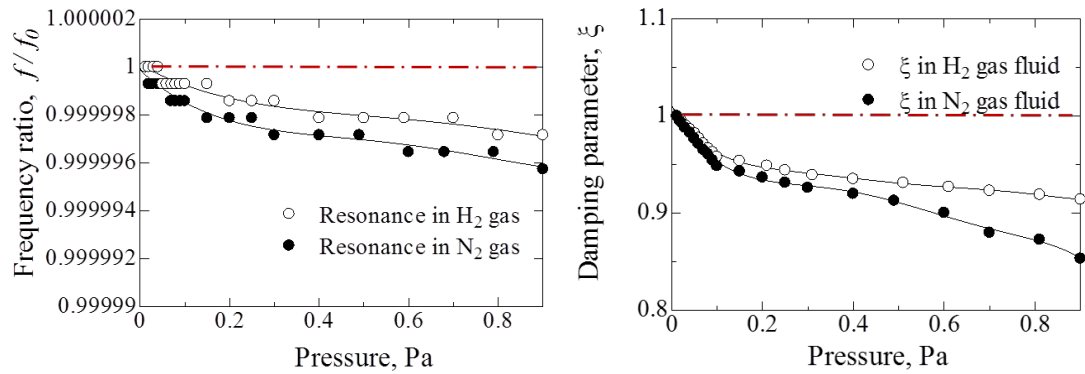


図 6 圧力増加に伴う規格化された共振周波数および減衰パラメータの変化

③ 成果の位置づけや類似研究との比較

本研究の成果は、ガス分子によるマイクロ共振器の減衰振動特性が、ガス種の識別やガス流量を検出することが可能であることを示唆するものであり、既存のガス検出センサーやガス流量センサーの検出原理とは全く異なる。これまで、ガス流体環境下におけるマイクロ振動子の減衰特性については、理論的、実験的研究はなされてきたが、低圧力下でのガス分子量の変化(ガス種)に伴う減衰振動特性については未解明であった。本研究では、バイオプロセスを援用することにより、振動子上にナノ材料であるCNTを集積し、減衰振動特性のガス分子量依存性を定量的に検出することに初めて成功している。

4. 4 膜応力制御型 MEMS デバイスへの応用 (豊田工業大学 熊谷グループ)

(1)研究実施内容及び成果

①研究のねらい

本研究項目では 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フェリチンを利用して合成された Ni ナノ粒子を吸着配置し、そのナノ粒子を成長核とする金属誘起横方向結晶成長(Metal-Induced Lateral Crystallization)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引張応力(結晶化誘起応力)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 デバイスを実現することがねらいである。熊谷グループにて担当した。

②研究実施方法

Ni フェリチンを用いた MILC プロセスを図 4-1 に示す。LPCVD 法により、酸化膜を有するシリコン基板(熱酸化膜厚: $3\mu\text{m}$)にアモルファスシリコン薄膜(膜厚: 600nm)を堆積させた。そのアモルファスシリコン薄膜上に Ni ナノ粒子を内包したフェリチンを含む溶液を滴下し、Ni フェリチンを吸着させる。酸素雰囲気中 500°C の熱処理によってフェリチンのタンパクを除去した後、アルゴン雰囲気中に置換し、アニールを行った。フェリチンのコアの Ni ナノ粒子がシリコン薄膜と反応して、Ni シリサイドを形成し、そのシリサイドが結晶成長核となって、結晶成長が進む。結晶化後の状態を電子後方散乱回折(Electron BackScatter Diffraction、EBSD)法で分析した。シリコン薄膜中の応力は MEMS 応力モニタを制作して、応力値を評価する。Ni フェリチンを用いて結晶化を促進したシリコン薄膜で MEMS デバイスを試作し、動作特性を評価した。

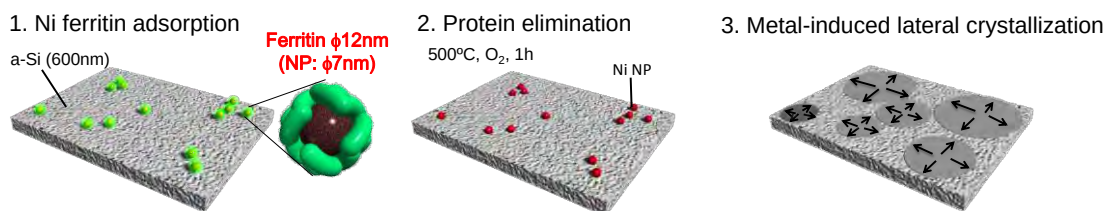


図 4-1 Ni フェリチンを用いた金属誘起横方向結晶成長による結晶粒径の拡大。

③研究成果

(1)金属誘起横方向結晶成長とシリコン薄膜中の応力の相関

LPCVD 法により成膜したアモルファスシリコン基板(膜厚: 600nm)に Ni フェリチンを吸着した後、 500°C 、1 時間の熱処理によってフェリチンのタンパク質部分を除去した。続いて、アニール炉温度 800°C に設定し、1.5 時間処理を行った。EBSD 分析によって結晶粒径の評価を行った。Ni フェリチンを吸着せずにアニール処理を行ったサンプルである。結晶粒径は $1\text{-}2\mu\text{m}$ 以下であった。これに対して、Ni フェリチンを吸着して MILC を行ったサンプルでは、粒径サイズは $20\text{-}30\mu\text{m}$ にまで成長した。

シリコン薄膜内の応力状態を評価するために、MEMS 応力モニタを試作した[図 4-2(a)]。応力モニタはアンカー部で基板と固定されているが、それ以外の部分は基板からリリースされている。応力状態による薄膜 Test Beam の伸縮変位を、

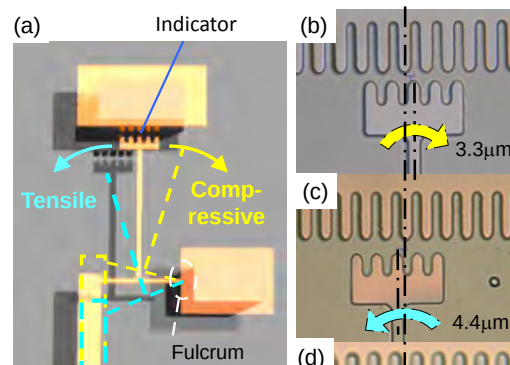


図 4-2 (a)MEMS 型応力モニタの構造。(b) アニール処理なし、(c) Ni フェリチンを吸着せずにアニール、(d) Ni フェリチンを吸着してアニール。

梘子の原理を利用して、回転変位に変換する。シリコン薄膜を堆積後、アニール処理せずに作製したマイクロ歪みゲージでは、Indicator Beam が右に $3.3\mu\text{m}$ 変位し、圧縮応力状態を示した[図 4-2(b)]。シリコン薄膜のヤング率を 130GPa とすると、圧縮応力値は 67MPa と計算される。Ni フェリチンを吸着せずにアニール処理を行ったサンプルでは Indicator Beam が左に $4.4\mu\text{m}$ 変位し、 90MPa の引張応力状態を示した[図 4-2(c)]。Ni フェリチンを吸着しアニールを行ったサンプルでは (MILC を行ったサンプル) では、Indicator Beam は左に $10.0\mu\text{m}$ 変位し、 205MPa の引張応力状態を示した[図 2(d)]。MILC を行うことで引張応力値は 2 倍以上に大きくなった。結晶化アニール条件を検討し、 680°C アニールで応力値が最大 350Pa になることが分かった。応力検出 test beam 部のサイズを $500\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ に縮小すると、観測される応力値は 690Pa まで増加した。ひとつの結晶粒の中では大きな引張応力が発生しており、結晶粒界部分での応力の損失が大きいと考えられる。

(2) 結晶粒界位置を制御した MEMS デバイスの試作と動作特性評価

Ni フェリチンを用いて結晶化を促進したシリコン薄膜を用いてマイクロミラーデバイスを試作した(図 4-3)。静電駆動型デバイスの動作特性は、静電引力と構造を支えるバネ力のつり合いによって定まる。電極間のギャップが小さくなり、静電引力が優勢になるとミラーは駆動用電極に引き寄せられ、接触する。この現象は pull-in と呼ばれ、デバイス動作を制限する。試作した MEMS ブレーズ回折格子のような回転型デバイスの場合、電極ギャップの初期値の 44%を超えてさらにギャップを小さくすると、pull-in が発生する。このトーションバー部分に強い張力を加えると、ハードスプリング効果によってトーションバーのバネ特性が增強され、回転可能な角度範囲を拡大できると考えられる。トーションバー近傍に Ni フェリチンを吸着配置し、MILC を行った。結晶粒界の位置を制御することで、デバイス作製の歩留まりが 50%から 92%へと大きく向上した。

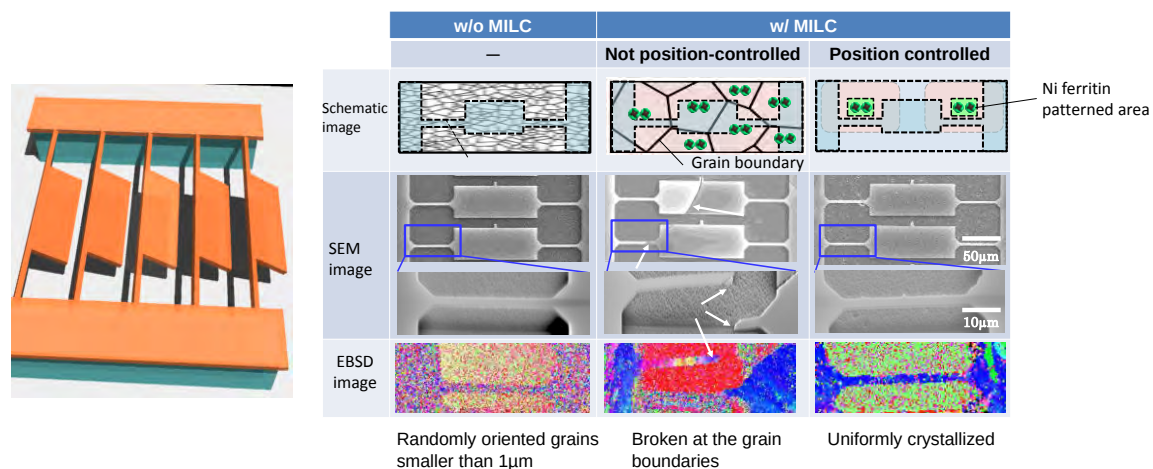


図 4-3 試作したマイクロミラーデバイスの結晶化状態。

MILC 処理をしていないサンプルは $1\mu\text{m}$ 以下の微結晶状態になっている。MILC 処理を行うことで、結晶粒は大きく成長するが、結晶粒界部での破損が見られる。マイクロミラーの構造に対して適切に粒界位置を設計したデバイスでは均一に結晶化され、作製の歩留まりが向上した。

ミラーの駆動電圧を徐々に増加させながら、ミラーの変位を白色干渉法により測定した(図 4-4)。結晶化をしていないデバイスでは、 1.96° (初期ギャップの 26%に相当)で pull-in が発生した。一方、結晶化をしたデバイスでは、初期ギャップの 44%に相当する角度 3.38° を超えて、 3.56° で pull-in が発生した。結晶化によってミラーの回転角範囲の拡大を実現した。

マイクロミラーの動作特性をさらに向上させるため、結晶化状態の一層の改善を試みた。マイク

ロミラー形状をエッチング加工によって先に作り、トーションバー支持部付近にパターン配置した Ni フェリチンから MILC を行う[図 4-5(a)]。マイクロミラー形状が先にできているために、Ni シリサイドの拡散に物理的な制約が加えられて、トーションバーに沿う方向に結晶化が進展することになる。EBSD によって評価したところ、均一な結晶化状態が得られた[図 4-5(a)(b)(c)]。

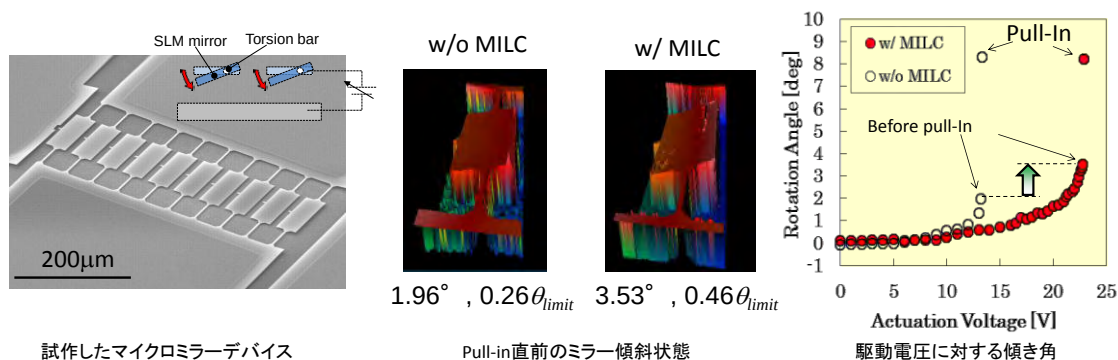


図 4-4 試作したデバイスの動作特性。

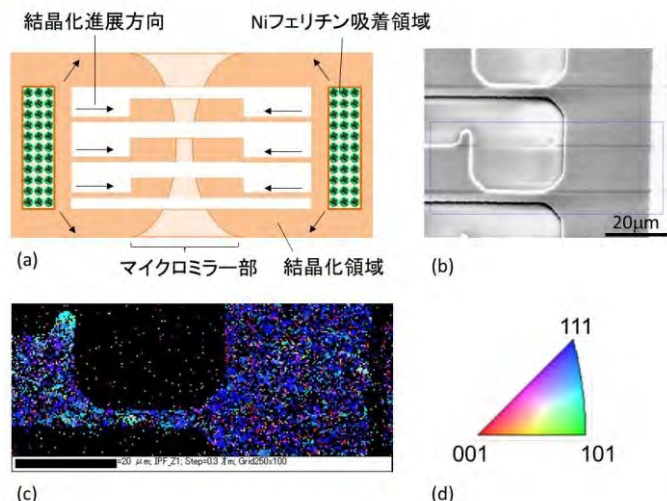


図 4-5 (a) 均一結晶化状態に向けた結晶化手法。Si 薄膜を事前にエッチングし、マイクロミラー形状をつくり、その後、パターン配置された Ni フェリチンから MILC を行う。(b) 本手法によって試作したマイクロミラー構造。(c) (b)において囲まれた部分の EBSD 像。(d) 結晶方位マップ。

(3) 結晶粒界位置の制御による振動子の動作効率の向上

ポリシリコン薄膜は MEMS の試作に広く使用されるが、結晶粒界等の欠陥を含む。デバイスを駆動させた際に結晶粒界部での内部摩擦によって、駆動エネルギーの損失が起こる。結晶化状態と動作特性との相関を、 Q 値(振動系に蓄積されるエネルギーと振動の 1 サイクルにおいて損失するエネルギーとの比)を指標として評価した。Si 薄膜振動子に対して、結晶化領域の位置制御を行い、共振特性から Q 値を算出した。

MILC 処理を行っていない参照サンプルでは、 Q 値は 12100 を示した(図 4-6)。最大の Q 値は振動子の長軸方向に結晶化を行ったもので現れ、26200 となった。約 2 倍の向上が見られた。一方、振動子の短軸方向に結晶化させたサンプルでは、結晶粒は大きく成長したものの、 Q 値の変化はそれほど大きくなく、意図的に粒界を形成させたサンプルでは、逆に Q 値の低下が見られた。

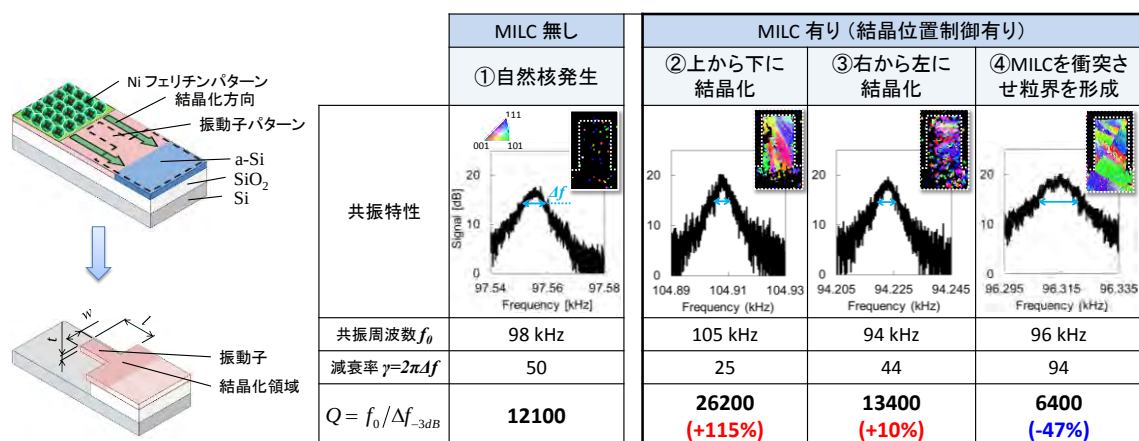


図 4-6 結晶化状態とカンチレバー型振動子の共振動作特性。

4. 5 生体超分子のバイオセンサーへの応用 (がん研究会 芝グループ)

①研究のねらい

生体超分子を用いたナノシステムが最も活躍できる場の1つとして「バイオセンサー」がある。生体分子には、高い特異性と広いダイナミックレンジで特定の分子をセンシングする能力がある。生体系ではこの「特定分子のセンシング」は、細胞内、あるいは細胞間のシグナル伝達や、あるいは神経系への情報変換として処理されている。「生体超分子のバイオセンサーへの応用」では、この「特定分子のセンシング」をダイレクトに物理的シグナルに情報変換することを目指した。すなわち、「バイオの目」をもち「エレクトロニクス」の頭をもったハイブリッドなシステムを構築するのが研究のねらいである。

このような生体高分子を用いたセンサー開発には、一般的に抗体分子が用いられる。抗体分子は特異的で強い標的分子の認識に長けており、抗体分子を用いたいろいろなセンサーが提案されているのが現状である。しかしながら、抗体分子は、生体分子の中では極めて分子量の大きな仲間の1つである。無機材料との融合を考える場合、この大きさはしばしば障害となることがある(固体界面から、センシング地点までの距離が10数 nm になってしまい、例えば表面プラズモン共鳴などに応用することが難しくなる)。そこで、この研究項目では、特に、10数アミノ酸からなる小さな特異的結合ペプチド(ペプチド・アプタマー)に焦点をあて、ペプチドを中心としたナノセンシングシステムの開発をめざした。

②実施方法とその成果

体液中のがん細胞をセンシングするシステムの開発を念頭におき、センシングペプチドとしては、細胞に特異的に結合するペプチドを用いることにした。このため、試験内進化工学系を用いて、細胞表面に特異的に結合するペプチドの創製を試みた。細胞としては、組織球性リンパ腫から樹立されたヒト単球様細胞株、U937 を用い、この細胞に強く結合し、他の調べた細胞には結合しない U81 ペプチドを創製することに成功した。

得られた U81 ペプチドは、いろいろなモジュールと組み合わせてセンサー化することが可能であるが、ここでは、他のグループでも頻用させている生体超分子、フェリチンにこの U81 アプタマーを実装することを目指した。フェリチンの中にはいろいろな金属や半導体ナノ粒子を導入することができるために、センサー開発の幅が広がるからである。

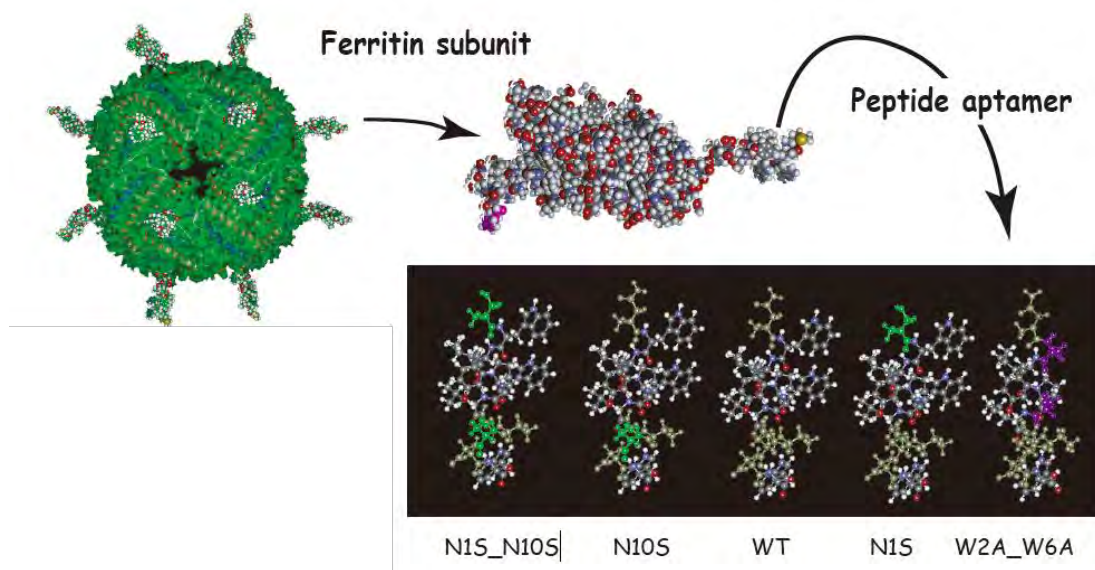


図 5-1 変異体解析から結合に関与しない残基を親水性のセリン(図中緑色)に変えた派生株を作製し、フェリチンの凝集性に与える影響を調べた。図中紫色は結合に関与する残基に変異をいれた派生株。

U81 ペプチドのフェリチンへの実装は、組み換え手法を用いておこなった。すなわち、フェリチンのサブユニットをコードする遺伝子に、U81 ペプチドをコードする遺伝子を挿入し、ペプチド:フェリチンの融合タンパク質を作った。ところが、設計通りの融合タンパク質が合成できたものの、野生型 U81 分子を提示したフェリチンは、塩存在下で凝集するといった予期せぬ性質を獲得していた。そこで、この凝集問題を回避するために、U81 ペプチドの結合に関与しない残基を合理的に改変して、凝集を回避する可能性を探った。そのため、U81 ペプチドの各位置を性質の穏やかなアラニン残基に系統的に変換する「アラニン・スキャニング法」を用い、結合に重要な残基を決定した。結合に関与しないと考えられる残基を親水性残基であるセリンに変更した変異体を作製したところ、そのうちのいくつかは、塩存在下でも分散性を維持しながら、U937 細胞に対する結合能力も示した。この成功は、ペプチド・アプタマーの、結合に関与していない残基を操作することで、さらに高機能化できることを示しており、生体超分子援用技術の新しい指針を与える成果である。

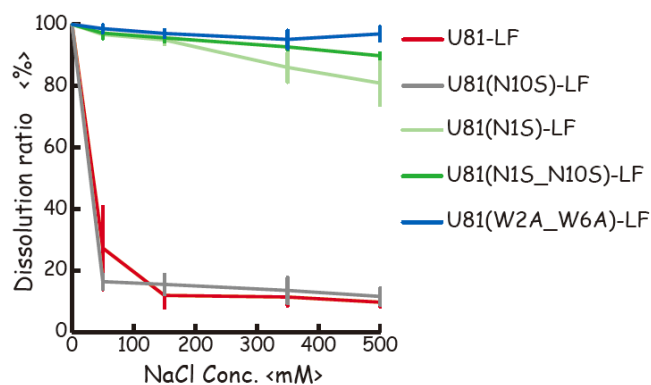


図 5-2 ペプチドアプタマーの、結合に関与していない部分に変異を入れたフェリチンの凝集性。「N1S」「N1S, N10S」変異体では、塩濃度依存的な凝集が回避できている。

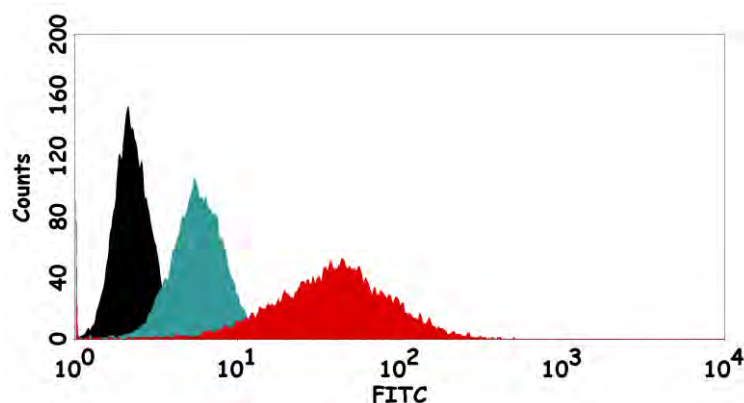


図 5-3 U81を実装したフェリチン分子の示す細胞センシング能力。蛍光標識した U81 提示フェリチンの細胞への結合を赤色で示す。右にシフトするほど、センシング能力が高い。緑色は結合能力を失ったペプチドを提示したフェリチン。黒色は細胞のみ。

この U81 ペプチドを実装したフェリチン分子に金属ナノドットを内包させるのが、生体超分子バイオセンサー開発の次のステップである。ここでは、浦岡 G の鄭研究員らが開発したポータータンパク質のシステム技術を取り入れた。しなわち、低pH 条件で容易にダイマーサブユニットに解離するフェリチン誘導体をベクターとし、その N 末に U81 ペプチドを提示した一連のフェリチン誘導体を組換えレベルで作製した。得られた誘導体は予想通りの細胞結合能力を示したので、低pH で解離させ、金粒子を内容させる実験へと進んだ。

上記、ポータータンパク質システムには、金粒子との結合を強めるために、「金結合ペプチド」が実装されている。このような「材料結合ペプチド」の材料認識の分子機構に関して十分な知見を与えることも本プロジェクトの大きなテーマである。この目的のために、ジルコニアに対する結合ペプチドを新たに取得した。予想外のことではあるが、得られたジルコニア結合ペプチドは、12 残基のペプチドが3つ連結した大きなものであった。そのため、既存の 12 残基からなるチタン結合ペプチドとの比較実験を進めることが難しくなったが、応用面では材料認識ペプチドのツールを拡張できたのは大きな成果であった。

東京大学大学院工学部の藤田誠研究室との共同研究では、このような材料結合ペプチドの提示密度と結合力の関係に関する基礎的な知見を得ることができた。すなわち、直径 4nm 程度の自己集合化合物にチタン結合ペプチド minTBP-1 をコンジュゲートしてみた(図 5-3)。驚いたことに、この直径 9nm の minTBP-1 提示ケージ分子は、チタンは表面に強く結合し、通常条件では解離しなかった(図 5-4)。

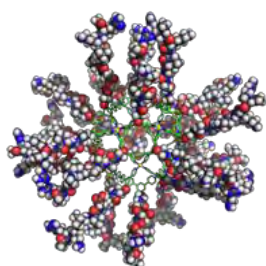


図 5-4 ペプチド提示超微粒子

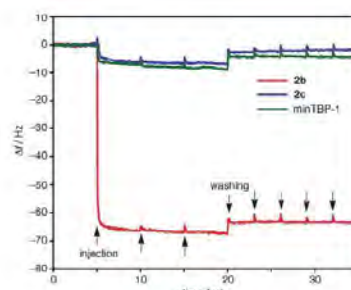


図 5-5 極めて遅い解離速度の実現

過去の実験で、ペプチド・アプタマーを、フェリチンなどのナノ粒子表面多価で提示することで、結合力を上げることが分かっていたが、それでも水中ではゆっくりと解離していた。今回の分子も、フェリチンも、どちらも 24 本の minTBP-1 を提示しているわけだが、今回の分子がフェリチンに比べて 1/3 程度の直径しかないことから、より高密度の minTBP-1 提示が可能となり、これが極めて遅い解離を実現しているものと思われる。アプタマーを中心とした選択配列を重視する、生体超分子緩用技術にとって、極めて重要な新知見である。

④ 成果の位置づけ

生体超分子を用いたバイオセンサーの開発にとって、何よりも大切なのが高性能のセンシング分子を手にしておくことである。これまでのセンサー開発では、もっぱら抗体分子がセンシング分子として用いられてきたが、その大きな分子量がゆえに、材料科学分野との融合に限界が存在している。本研究では、センサー分子として、人工進化系で創製されたペプチド・アプタマーを用いる計画をたてた。ペプチド・アプタマーは、およそ 12 残基からなる小さな分子で、いろいろな材料との複合化が容易なために、センサー開発における主力ツールとして活躍されることが期待されている。一方で、「人工進化系」で創出された分子は、創製環境においては期待した機能を発揮するものの、環境が変わると、とたんに機能を失ってしまうといった環境に対する脆弱性をもっている。最終的な出口環境においても十分なセンシング能力を持つ(＝直交性の高い)センサー分子を創製することが、本課題の目的であった。具体的なセンシング対象として「がん細胞」を選び、がん細胞に対して強いセンシング能力をもつ人工ペプチドの創製を目指した。また、センサーシステムとしては、いろいろな金属ナノドットの組合せが想定されたため、「フェリチン上に提示されても直交性を失わないアプタマー」の創製を目指し、実際に抗体と同じ能力でがんマーカーをセンシングするナノ粒子を作製することに成功した。汎用性の高いセンシング分子の作製法を確立した。

フェリチン分子上にいろいろなペプチド・アプタマーを提示する系は、今後も広くバイオと工学系材料との融合分野で使われていく中心手法である。われわれが経験した「凝集性の獲得」と「その回避法」は、このような生体超分子をハンドリングする上で、重要なガイドとなることが期待できる。実際、生体超分子は、その表面のわずかな変化で、性質を大きく変えることが多い。予期せぬ望ましくない性質を獲得した場合でも、「結合に関与する残基を同定」して、「結合に関与しない残基を合理的に改変」することで、生体超分子の性質をコントロールできることが分かった。生体超分子応用の汎用性を広げる重要な展開である。

また、東大藤田研との共同研究からは、材料結合ペプチドを高密度でナノ粒子に提示することで、見かけ上「非可逆的」に標的材料に結合するシステムが構築できることが明らかとなった。これまで、ペプチド・アプタマーの「可逆的」な標的材料への結合が、水中での長時間の構造維持に限界を与えるのではないかと指摘されていたが、この高密度提示システムをもちいることにより、水中でも安定して標的材料に結合させることが可能となった。この発見も、同じように、生体超分子応用の汎用性を広げる重要な展開である。

現在、医療現場では、安価で迅速、ロバストなバイオセンサーのニーズが急速に高まっており、今後、センサー関連のバイオテクノロジー研究にはこれまで以上の期待が集まってくると思われるが、本プロジェクトの成果として得られたこれらの新知見が、これら新時代のバイオセンサーに活かされていくものと期待している。

4. 6 生体超分子の光学メタマテリアルへの応用 (奈良先端科学技術大学院大学 富田グループ)

①研究のねらい

光の波長よりも十分小さな金属ナノ光共振器などの構成要素からなり、自然界には存在しない負の屈折率などの特異な光学応答を示す人工物質(材料)は、光学メタマテリアルと呼ばれる。波長数百 nm の可視光領域での光学メタマテリアルは、構成要素が数十 nm と極微小になるため、現在の最先端のトップダウン型微細加工技術を用いても、容易には作製できない。ましてや3次元メタマテリアルの実現は困難を極める。そこで我々は生体超分子の助けを借りて金属ナノ構造を作

製し、この壁を打ち破ることを目的としている。

本研究ではまず、生体超分子として、11 量体が、外径 8nm で内径 2nm のリング構造を持つ蛋白質 (TRAP) を用いた。TRAP のリング構造をテンプレートとして、その外側に金を析出させることでリング状ナノ光共振器の作製を目指した。特に 35 番目のリシン残基 (K) をシステイン残基 (C) に置換した変異体蛋白質 (K35C-TRAP) を作製し、C に金を析出させ、リングの外側だけに選択的に金を析出させるねらいであった。このような研究は、将来的な可視光域での負屈折率メタマテリアルの実現に繋がると期待される。

更に生体超分子として、直径 18nm で長さ 300nm の螺旋チューブ構造を持つタバコモザイクウイルス (TMV) を用いた。これをテンプレートとして金属を析出させ、光学メタマテリアルの構成要素であるナノ光共振器 (メタ分子) を作製することを目的とした。特に、特定の金属を選択的に析出させると言われているペプチドを TMV 表面に融合させた変異型 TMV を作製し、TMV の表面状態を変化させることで金属の析出を制御することに精力を注いだ。金属としては、可視光との相互作用が強い金を用いた。また作製した「メタ分子」の、紫外・可視光 (UV-Vis.) 吸収や円偏光二色性 (CD) などの光学特性を調べた。このような研究は、将来的な可視光域での負屈折率カイラルメタマテリアルの実現に繋がると期待される。

②研究実施方法

TRAP を用いた実験では、分子生物学的手法を用いて、K35C-TRAP の遺伝情報を担うデオキシリボ核酸 (DNA) を合成し、複製した。合成した DNA で大腸菌を形質転換し、蛋白質を発現させたのち、精製することで K35C-TRAP を作製した。

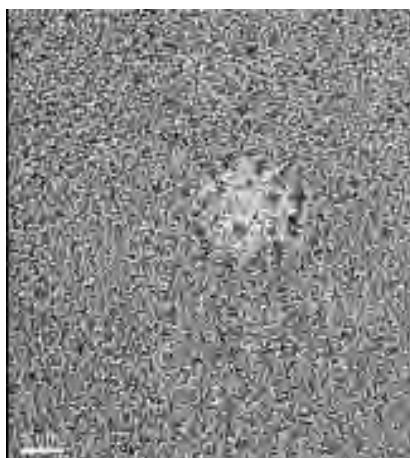


図 6-1 ネックレス状に配列した金ナノ粒子 (サイズバーは 5nm)

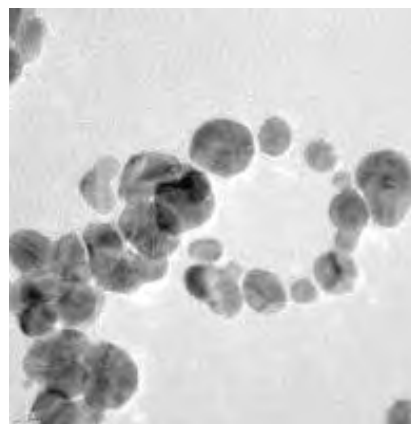


図 6-2 金析出により作製した金ナノリング (サイズバーは 5nm)

TMV を用いた実験では、分子生物学的手法を用いて、各変異体 TMV の遺伝情報を担うリボ核酸 (RNA) を合成した。具体的には、チタンの核形成を促進するチタン結合ペプチド (TBP) を表面に提示する TBP-TMV、金の析出を選択的に促進する金結合ペプチド (GBP) を表面に提示する GBP-TMV、システイン残基 (C) とセリン残基 (S) を提示する CS-TMV、などを翻訳する RNA を合成した。発芽から 1 カ月ほど経過したタバコ葉 (*Nicotiana Benthiana*) に、合成した RNA を接種した。接種から 2 週間後に、タバコ葉を回収し、精製することで、変異型 TMV を得た。対照実験には野生型 TMV (WT-TMV) を用いている。酢酸水溶液中の WT-TMV もしくは変異型 TMV に、塩化金酸を加え、水素化ホウ素ナトリウムで還元することで、金ナノ構造を作製した。作製したウイルス-金ナノ構造複合体を、透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察し、その形態を調べた。また UV-Vis. 吸収測定、CD 測定などから光学応答を調べた。

③得られた成果と成果の位置づけ

(1) 変異型 TRAP タンパク質を用いたナノ構造の作製

K35C-TRAP と直径 1.4nm の金ナノ粒子(市販)を混合させた。透過型電子顕微鏡(TEM)像を図 6-1 に示す。金ナノ粒子がリング状の K35C-TRAP の外側に、ネックレスのように吸着している様子が見て取れる。これは C の硫黄が金粒子と相互作用した結果と考えられる。ここに塩化金酸を加え、クエン酸で還元することで、金ナノ粒子を核として、金を成長させ、ナノリングを作製することを試みた。その TEM 観察結果を図 6-2 に示す。図より金ナノ粒子が成長し、金ナノリングが形成されていることがわかる。

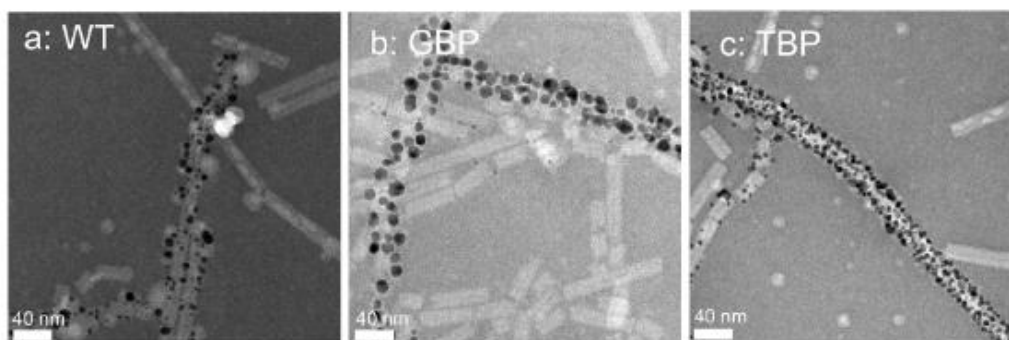


図 6-3 金を析出させた(a)WT-TMV、(b)GBP-TMV、(c)TBP-TMV の TEM 像

(2) ペプチド融合タバコモザイクウイルスを用いた金属ナノ構造の作製と構造制御

TEM 観察から、精製後の TBP-TMV、GBP-TMV、CS-TMV は全て WT-TMV と同様のチューブ構造を持つことが確認できた。ウエスタンブロッティング解析の結果、TBP-TMV、GBP-TMV 共に、TMV コート蛋白質モノマーが約 20 個に対して、ペプチドが 1 個の割合で提示されていることが明らかになった。WT、GBP、TBP-TMV に金を析出させ、マイクログリッド上に滴下し、乾燥させたものの TEM 観察結果を図 3 に示す。白いチューブがウイルス、黒い粒が金粒子である。WT の場合(図 6-3a)、直径 5nm 程度 of 金ナノ粒子が析出していることがわかる。GBP-TMV を用いると(図 6-3b)、金ナノ粒子サイズが少し大きくなり、直径 10nm 程度となった。これに対して、TBP-TMV を用いた場合(図 6-3c)、WT と同様に直径 5nm 程度であるが、そのサイズ分布が小さいことが判る。つまり TBP-TMV をテンプレートに用いること

で、一様なサイズをもつ小さな金ナノ粒子を、TMV 表面に析出できることが明らかになった。これらの違いは、ペプチドの提示による TMV 表面の電荷状態の変化に起因すると考えられる。TMV 表面に析出する金ナノ粒子のサイズが一様であることは、一様な光学特性を持つメタ分子の実現をもたらすため、重要な進歩である。なお、全てのコート蛋白質にペプチドを提示した場合は、ウイルス表面には金ナノ粒子が析出しないことも明らかになった。これらの結果は、2011 年 4 月にプラハ(チェコ)で開催された SPIE Optics Optoelectronics 2011 で発表し、Proceedings of SPIE (Vol. 8070) に論文発表した。

WT-TMV もしくは TBP-TMV に金を析出させたものと、非析出 WT-TMV を、それぞれ石英基

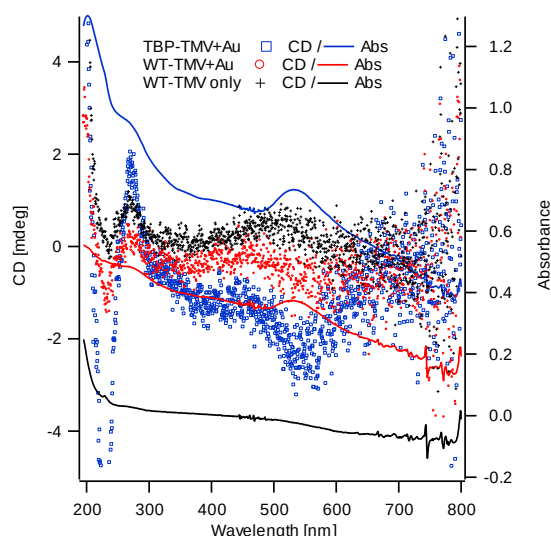


図 6-4 CD スペクトル(マーク)と UV-Vis 吸収スペクトル(実線)

板にキャストし乾燥させたものの CD スペクトルと UV-Vis. 吸収スペクトルを図4に示す。金を析出させた試料の UV-Vis. 吸収スペクトルでは、波長 540nm 付近に吸収ピークが見て取れる。これは金ナノ粒子での自由電子の集団振動である局在表面プラズモン (Fröhlich モード) による吸収ピークである。CD スペクトルでは、この局在表面プラズモンが励起される波長域で、円偏光の回転があることを初めて見出した。金ナノ粒子の析出していない WT-TMV では見られないため、TMV 上に析出した金ナノ粒子の局在表面プラズモンが関連した円偏光二色性と考えられる。この結果は、金ナノ粒子が析出した TMV が、カイラルメタマテリアルの構成要素であるカイラルメタ分子として機能する可能性を示している。これらの結果は、2012 年に Optics Express 誌に発表した[Mime Kobayashi et al., Optics Express, Vol. 20, Issue 22, pp. 24856-24863, October 2012.]。

現在は、カイラルメタ分子や吸収誘起円偏光二色性を用いた、超小型円偏光二色性装置開発のための原理検証を行っている。この研究が成功した暁には、円偏光を用いて生体超分子などを分光する手法に画期的な進展をもたらすものと期待される。

③ 新たな展開があった場合、その内容と展開状況と得られた成果

前述の③-1 は、直径 1.4nm の金ナノ粒子を低濃度で混合させた結果である。ところが高濃度で混合させた場合、全く異なる、大変興味深い結果がえられたので、ここに記す。図 6-5 には、その TEM 観察結果を示す。結果として、K35C-TRAP と金ナノ粒子を混合するだけで、直径 20nm 程度の蛋白質カプセルが形成された。これが中空のカプセル構造であることは、低温 TEM および AFM で確認した。また蛋白質に対する金ナノ粒子の比率を増加させると、比較的小さいサイズのカプセルが形成され、二峰性 (bimodal) のサイズ分布となることが分かった。つまり、蛋白質カプセルのサイズは離散的に変化する。このような結果は、球状ウイルスの蛋白質球殻 (ウイルスカプシド) との類似性を想像させるため、我々は「人工カプシド」と呼ぶ。このような人工カプシドは薬物輸送・遺伝子輸送への応用が期待される。また「球状ウイルスがなぜ球状になったか」というウイルスの進化に関してもアプローチできるかもしれない。このような結果は当初予定されていなかったゆえに、重要であると考えている。これらの結果は 2012 年に NanoLetters 誌で発表した[Ali D. Malay et al., Nano Letters, Vol. 12, Issue 4, pp. 2056-2059, March 2012]。

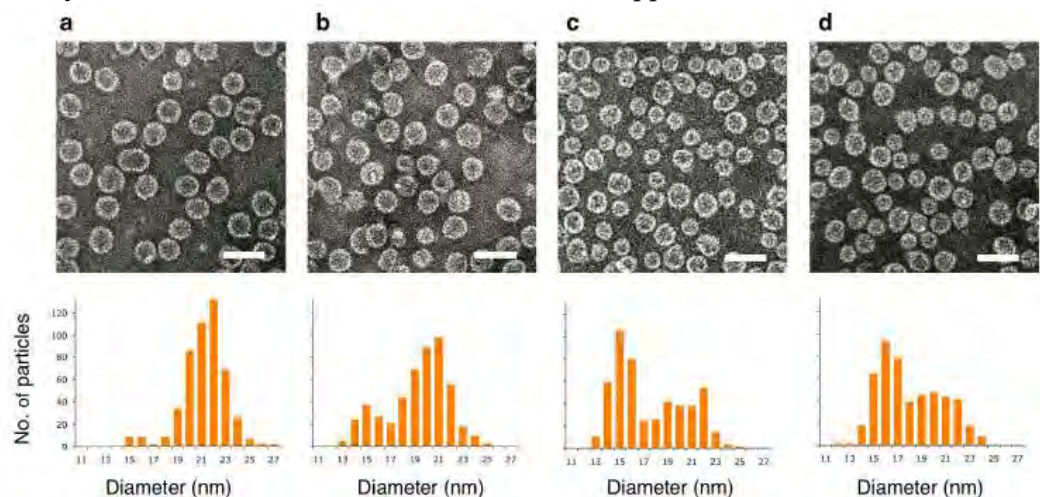


図 6-5 人工カプシドの TEM 観察像(サイズバーは 40nm)とサイズ分布

§5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 74 件)

1. 著者、論文タイトル、掲載誌 巻、号、発行年
1. Megumi Fukuta、 Bin Zheng、 Mutsunori Uenuma、 Naofumi Okamoto、 Yukiharu Uraoka、 Ichiro Yamashita、 Heiji Watanabe、 “Controlled charged amino acids of Ti-binding peptide for surfactant-free selective adsorption”、 Colloids and Surfaces B: Biointerfaces (in press).
2. Yosuke Tojo、 Atsushi Miura、 Yasuaki Ishikawa、 Ichiro Yamashita、 and Yukiharu Uraoka、 “Polycrystalline Silicon Thin-Film Transistor Utilizing Self-Assembled Monolayer for Crystallization”、 Thin Solid Films、 540 (2013) 266-270.
3. Yana Mulyana、 Masahiro Horita、 Yasuaki Ishikawa、 Yukiharu Uraoka、 and Shinji Koh、 “Thermal Reversibility in Electrical Characteristics of Ultraviolet/Ozone-Treated Graphene”、 Appl. Phys. Lett.、 103、 6 (2013) 3107-3111.
4. Yasuaki Ishikawa、 Shinji Araki、 Min Zhang、 and Yukiharu Uraoka、 “Size Control in ZnO Nano-Pillar Fabrication Using a Gel-Nanoimprint Process”、 Applied Mechanics and Materials、 372 (2013) 149-152).
5. Mutsunori Uenuma、 Takahiko Ban、 Naofumi Okamoto、 Bin Zheng、 Yasuhiro Kakihara、 Masahiro Horita、 Yasuaki Ishikawa、 Ichiro Yamashita、 and Yukiharu Uraoka、 “Memristive Nanoparticles Formed Using a Biotemplate”、 Royal Society of Chemical Advances、 3 (2013) 18044-18048.
6. Koji Yoshitsugu、 Masahiro Horita、 Yasuaki Ishikawa、 and Yukiharu Uraoka、 “Characterizations of Al₂O₃ Gate Dielectric Deposited on n-GaN by Plasma-Assisted Atomic Layer Deposition”、 Physica Status Solidi C、 10、 11 (2013) 1426-1429.
7. Satoshi Urakawa、 Shigekazu Tomai、 Yoshihiro Ueoka、 Haruka Yamazaki、 Masashi Kasami、 Koki Yano、 Dapeng Wang、 Mamoru Furuta、 Masahiro Horita、 Yasuaki Ishikawa、 and Yukiharu Uraoka、 “Thermal Distribution in Amorphous InSnZnO Thin-Film Transistor”、 Physica Status Solidi C、 10、 11 (2013) 1561-1564.
8. Yoshihiro Ueoka、 Yasuaki Ishikawa、 Naoyuki Maejima、 Fumihiko Matsui、 Hirosuke Matsui、 Haruka Yamazaki、 Satoshi Urakawa、 Masahiro Horita、 Yasuaki Ishikawa、 Hiroshi Daimon、 and Yukiharu Uraoka、 “Analysis of Electronic Structure of Amorphous InGaZnO/SiO₂ Interface by Angle-Resolved X-Ray Photoelectron Spectroscopy”、 Journal of Applied Physics、 114、 16 (2013) 163713.
9. Juan Paolo Bermundo、 Yasuaki Ishikawa、 Haruka Yamazaki、 Toshiaki Nonaka、 and Yukiharu Uraoka、 “Highly Reliable Polysilsesquioxane Passivation Layer for a-InGaZnO Thin-Film Transistors”、 ECS Journal of Solid State Science and Technology、 3、 2 (2013) Q16.

10. Haruka Yamazaki、Yasuaki Ishikawa、Mami Fujii、Yoshihiro Ueoka、Masaki Fujiwara、Eiji Takahashi、Yasunori Ando、Naoyuki Maejima、Hirosuke Matsui、Fumihiko Matsui、Hiroshi Daimon、and Yukiharu Uraoka、"The Influence of Fluorinated Silicon Nitride Gate Insulator on Positive Bias Stability Toward Highly Reliable Amorphous InGaZnO Thin-Film Transistors"、ECS Journal of Solid State Science and Technology、3、2 (2013) Q20.
11. Yoshihiro Ueoka、Yasuaki Ishikawa、Juan Paolo Bermundo、Haruka Yamazaki、Satoshi Urakawa、Yukihiro Osada、Masahiro Horita、and Yukiharu Uraoka、"Effect of Contact Material on Amorphous InGaZnO Thin-Film Transistor Characteristics"、Japanese Journal of Applied Physics、53、3S1 (2013) 03CC04.
12. Sano、K.、Miura、A.、Yoshii、S.、Okuda、M.、Fukuta、M.、Uraoka、Y.、Fuyuki、T.、Yamashita、I.、& Shiba、K. Nonvolatile flash memory based on biologically-integrated hierarchical nanostructures. Langmuir in press (2013).
13. M. Uenuma、B. Zheng、K. Bundo、M. Horita、Y. Ishikawa、H. Watanabe、I. Yamashita and Y. Uraoka、"Crystallization of amorphous Ge thin film using Cu nanoparticle synthesized and delivered by ferritin"、Journal of Crystal Growth 382 (2013) 31-35.
14. M. Fukuta、N. Zettsu、I. Yamashita、Y. Uraoka、and H. Watanabe、"The adsorption mechanism of titanium-binding ferritin to amphoteric oxide"、Colloid and Surfaces B: Biointerfaces、**102**、435 (2013).
15. M. Uenuma、T. Ban、N. Okamoto、B. Zheng、Y. Kakihara、M. Horita、Y. Ishikawa、I. Yamashita and Y. Uraoka、"Memoristive nanoparticles formed using biotemplate"、RCS Advances、2013.
16. Emi Machida、Masahiro Horita、Koji Yamasaki、Yasuaki Ishikawa、Yukiharu Uraoka、and Hiroshi Ikenoue、"Impact of Underwater Annealing on Polycrystalline Silicon Thin Film Transistor for Inactivation of Electrical Defects at Super Low Temperature"、IEEE Journal of Display Technology、2013.
17. Yumi Kawamura、Masahiro Horita、Yasuaki Ishikawa、and Yukiharu Uraoka、"Effects of Insulator on Thin-Film Transistors With ZnO Channel Layer Deposited by Plasma-Assisted Atomic Layer Deposition"、IEEE Journal of Display Technology、2013.
18. S. Yamamoto、Y. Uraoka、N. Taguchi、T. Nonaka、"Characteristics of distributed-type inorganic electroluminescence panels with comb-shaped electrodes"、Method Appl. Fluoresc. IOP Publishing、1 (2013) 035003.
19. S. Yamamoto、Y. Uraoka、N. Taguchi、T. Nonaka、"Evaluation of Distributed Electroluminescence (EL) Devices with Comb Electrodes"、Trans. Mat. Res. Soc. Japan、38[1] 135-140、2013.

20. Tatsuya Hashimoto, Yurie Fukunishi, Bin Zheng, Yukiharu Uraoka, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, "Electrical detection of surface plasmon resonance phenomena by a photoelectronic device integrated with gold nanoparticle plasmon antenna", *Appl. Phys. Lett.* **102**, 083702 (2013).
21. Mami Fujii, Yasuaki Ishikawa, Ryoichi Ishihara, Johan van der Cingel, Mohammad R. T. Mofrad, Masahiro Horita, and Yukiharu Uraoka, "Low Temperature high-mobility InZnO thin-film transistors fabricated by excimer laser annealing", *Appl. Phys. Lett.* **102**, 122107 (2013).
22. Li Lu, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Yasuaki Ishikawa, Kiyoshi Uchiyama and Yukiharu Uraoka, "Effect of Si and Ti impurities on electrical properties of sol-gel-derived amorphous SrTa₂O₆ thin film by UV/O₃ treatment", *Applied Physics A* (2013) 112:425-430.
23. Satoshi Urakawa, Shigekazu Tomai, Yoshihiro Ueoka, Haruka Yamazaki, Masashi Kasami, Koki Yano, Dapeng Wang, Mamoru Furuta, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, "Thermal analysis of amorphous oxide thin-film transistor degraded by combination of joule heating and hot carrier effect", *Appl. Phys. Lett.* **102**, 053506 (2013).
24. Bin Zheng, Mutsunori Uenuma, Yukiharu Uraoka, Ichiro Yamashita, "Bioconjugates Containing Ferritin and Metal Nanoparticles", *Advanced Materials Research Vols. 463-464* (2012) pp 833-836.
25. Yuuka Kosaka, Kazutaka Egami, Satoshi Tomita, Hisao Yanagi, "Plasmonic circular dichroism using Au fine particles and riboflavin", *physica status solidi (c)*, Vol. 9, No. 12, pp. 2529-2532, October 2012.
26. A. D. Malay, J.G. Heddle, S. Tomita, K. Iwasaki, N. Miyazaki, K. Sumitomo, H. Yanagi, I. Yamashita, and Y. Uraoka, "Gold nanoparticle-induced formation of artificial protein capsids", *Nano Lett.* **12** (2012) 2056.
27. Bin Zheng, Mutsunori Uenuma, Naofumi Okamoto, Ryoichi Honda, Yasuaki Ishikawa, Yukiharu Uraoka, and Ichiro Yamashita, "Construction of Au nanoparticle/ferritin satellite nanostructure", *Chem. Phys. Lett.* **547** (2012) 52.
28. M. Kobayashi, S. Tomita, K. Sawada, K. Shiba, H. Yanagi, I. Yamashita, and Y. Uraoka, "Chiral metal-molecules consisting of gold nanoparticles and genetically engineered tobacco mosaic virus", *Opt. Express* **20** (2012) 24856.
29. Emi Machida, M. Horita, Y. Ishikawa, Y. Uraoka and H. Ikeue, "Crystallization of Polycrystalline Silicon Thin film and Simultaneous Inactivation of Electrical Defects by Underwater Laser Annealing", *Appl. Phys. Lett.* **101**, 252106 (2012).
30. Shinya Kumagai, Hiromu Murase, Syusuke Miyachi, Nobuaki Kojima,

- Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, and Minoru Sasaki, “Improving Crystallinity of Thin Si Film for Low-Energy-Loss Micro-/Nano-Electromechanical Systems Devices by Metal-Induced Lateral Crystallization Using Biomineralized Ni Nanoparticles”, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 11PA03
31. Yumi Kawamura, Mai Tani, Nozomu Hattori, Naomasa Miyatake, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, “Low-Temperature-Processed Zinc Oxide Thin-Film Transistors Fabricated by Plasma-Assisted Atomic Layer Deposition”, Jpn. J. Appl. Phys., 51, 02BF04, 2012
 32. Li Lu, Masahiro Echizen, Takashi Nishida, Yasuaki Ishikawa, K.Uchiyama and Y.Uraoka, “Low-temperature fabrication of solution-processed InZnO thin film transistors with Si impurities by UV/O₃-assisted annealing”, AIP ADVANCE 2, 032111 (2012).
 33. Li Lu, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Yasuaki Ishikawa, Kiyoshi Uchiyama, Tadashi Shiosaki, Yukiharu Uraoka, “Thermally Stimulated Current Analysis of Defects in Sol-Gel Derived SrTa₂O₆ Thin-Film Capacitors”, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 09LA18.
 34. Tatsuya Hashimoto, Nobuyuki Zettsu, Bin, Zheng, Megumi Fukuta, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka and Heiji watanabe, “Practical protein removal using atmospheric-pressure helium plasma for densely packed gold nanoparticle arrays assembled by ferritin-based encapsulation/transport system”, Applied Physics Letters, 101, 073702 (2012).
 35. Mutsunori Uenuma, Bin Zhen, Kentaro Kawano, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita and Yukiharu Uraoka, “Guided filament formation in NiO-resistive random access memory by embedding gold nanoparticles”, Applied Physics Letters, 100, 083105 (2012).
 36. Takashi Nishida, Kazushi Fuse, Mamoru Furuta, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, “Crystallization Using Biomineralized Nickel Nanodots of Amorphous Silicon Thick Films Deposited by Chemical Vapor Deposition, Sputtering and Electron Beam Evaporation”, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 03CA01.
 37. Li Lu, Yuta Miura, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Yasuaki Ishikawa, Kiyoshi Uchiyama, and Yukiharu Uraoka, “Low-Operating-Voltage Solution-Processed InZnO Thin-Film Transistors Using High-k SrTa₂O₆”, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 03CB05.
 38. Koji Yamasaki, Emi Machida, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, “Thin Film Devices Fabricated on Double-Layered Polycrystalline Silicon Films Formed by Green Laser Annealing”, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 03CA03.

39. Takahiro Doe, Yasuaki Ishikawa, Masahiro Horita, Takashi Nishida, and Yukiharu Uraoka, "Size Control of ZnS Nanoparticles Using Electro Spray Deposition Method", Japanese Journal of Applied Physics, 51 03CC02, 2012
40. Li Lu, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Kiyoshi Uchiyama, and Yukiharu Uraoka, "Capacitance-voltage and leakage-current characteristics of sol-gel-derived crystalline and amorphous SrTa₂O₆ thin films", Thin Solid Films, 520, 9, 3620, 2012.
41. M. Uenuma, K. Kawano, B. Zheng, M. Horita, S. Yoshii, I. Yamashita and Y. Uraoka, "Resistive Memory Utilizing Ferritin Protein with Nano Particle", Key Engineering Materials Vol. 470 (2011) pp 92-97.
42. Tatsuya Hashimoto, Kentaro Gamo, Megumi Fukuta, Bin Zheng, Nobuyuki Zettsu, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, and Heiji Watanabe, "Control of selective adsorption behavior of Ti-binding ferritin on a SiO₂ substrate by atomic-scale modulation of local surface charges", Applied Physics Letters, 99, 26, 263701, 2011.
43. Ippei Inoue, Bin Zheng, Kiyoshi Watanabe, Yasuaki Ishikawa, Kiyotake Shiba, Hisashi Yasueda, Yukiharu Uraoka, and Ichiro Yamashita, "A novel bifunctional protein supramolecule for construction of carbon nanotube-titanium hybrid material", Chemical Communications, 47, 47, 12649, 2011.
44. Mutsunori Uenuma, Bin Zheng, Takanori Imazawa, Masahiro Horita, Takashi Nishida, Yasuaki Ishikawa, Heiji Watanabe, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, "Metal-nanoparticle-induced crystallization of amorphous Ge film using ferritin", Applied Surface Science, 258, 8, p.3410, 2011.
45. Li Lu, Takashi Nishida, Masahiro Echizen, Kiyoshi Uchiyama, and Yukiharu Uraoka, "Voltage Linearity and Leakage Currents of Crystalline and Amorphous SrTa₂O₆ Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method", Ferroelectrics, 421, p.82, 2011.
46. B. Zheng, N. Zettsu, M. Fukuta, M. Uenuma, T. Hashimoto, K. Gamo, Y. Uraoka, I. Yamashita, and H. Watanabe, "Versatile protein-based bifunctional nano-systems (encapsulation and directed assembly): Selective nanoscale positioning of gold nanoparticle-viral protein hybrids", Chemical Physics Letters **506**, 76 (2011).
47. M. Uenuma, K. Kawano, B. Zheng, N. Okamoto, M. Horita, S. Yoshii, I. Yamashita and Y. Uraoka, "Resistive random access memory utilizing ferritin protein with Pt nano particle", Nanotechnology 22 (2011) 215201.
48. K. Ohara, B. Zheng, M. Uenuma, Y. Ishikawa, K. Shiba, I. Yamashita, and Y. Uraoka, "Three Dimensional Nanodot-type Floating Gate Memory Fabricated by Bio-layer-by-layer", Applied Physics Express, 4 (2011)

085004.

49. Y. Tojo, A. Miura, I. Yamashita, and Y. Uraoka, "Positional Control of Crystal Grains in Silicon Thin Film Utilizing Cage-Shaped Protein", *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 04DL12.
50. H. Kinoshita, Y. Isono, and N. Ohmae, "Bonding of a Carbon Nanotube Film to a Au Film at Low Temperature and Contact Resistance of the Film under Micronewton Loads", *Tribology Online*, Japanese Society of Tribologists, Vol. 6, No. 4, pp.189-192, (2011).
51. I. Hanasaki, T. Tanaka, Y. Isono, B. Zheng, Y. Uraoka, and I. Yamashita, "Location and Density Control of Carbon Nanotubes Synthesized Using Ferritin Molecules", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.50, 075102 (2011).
52. I. Hanasaki, Y. Isono, B. Zheng, Y. Uraoka, and I. Yamashita, "Adsorption Density Control of Ferritin Molecules by Multistep Alternate Coating", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.50, 065201 (2011).
53. Hashimoto, K., Yoshinari, M., Matsuzaka, K., Shiba, K., & Inoue, T. Identification of peptide motif that binds to the surface of zirconia. *Dent Mater J* 30(6), 935-940 (2011).
54. Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Kiyotaka Shiba, Satoshi Tomita, "Gold nanostructures using tobacco mosaic viruses for optical metamaterials", *Proceedings of SPIE*, Vol. 8070, 80700C, May 2011.
55. Y. Kawamura, M. Horita and Y. Uraoka, "Effect of post thermal annealing of ZnO-TFTs by atomic layer deposition", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 49 no. 49 (2010) 04DF19.
56. K. Ohara, I. Yamashita, Y. Uraoka, "Thin-Film Transistor Type Flash Memory with Biomineralized Co Nanodots on Silicon-on-Insulator", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 49 (2010) 04DJ05.
57. B. Zhen, I. Yamashita, M. Uenuma, K. Iwahori, M. Koayashi and Y. Uraoka, "Site-directed delivery of ferritin-encapsulated fold nanoparticles", *Nanotechnology*, Volume 21, No.4, 045305, 2010.
58. Y. Kawamura, K. Yamasaki, T. Yamashita, Y. Sugawara and Y. Uraoka, "Crystallization by Green-laser Annealing for Three-dimensional Device Application", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 56, No. 5, May 2010, pp. 1456.
59. K. Yamasaki, M. Ochi, Y. Sugawara, I. Yamashita and Y. Uraoka, "Crystallization of an Amorphous Si Thin Film by Using Pulsed Rapid Thermal Annealing with Ni-Ferritin", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol.56, No.3, pp842-845,
60. B. Zheng, M.Uenuma, Y.Uraoka and I.Yamashita, " Construction of a ferritin dimer by breaking its symmetry *Nanotechnology* **21** (2010) 445602

(8pp).

61. I. Hanasaki, Jens H Walther, S. Kawano, and P. Koumoutsakos, "Coarse-grained molecular dynamics simulations of shear-induced instabilities of lipid bilayer membranes in water", *Physical Review E*, Vol.82, 051602 (6 pages) (2010).
62. E. M Kotsalis, I. Hanasaki, Jens H Walther, and P. Koumoutsakos, "Non-periodic molecular dynamics simulations of coarse grained lipid bilayer in water", *Computers and Mathematics with Applications*, vol.59, pp.2370-2373 (2010).
63. Masatoshi Ikemi, Takashi Kikuchi, Sachiko Matsumura, Kiyotaka Shiba, Sota Sato and Makoto Fujita, "Peptide-coated, Self-assembled M12L24 Coordination Spheres and Their Immobilization onto an Inorganic Surface", *Chemical Science* vol. 1, pp. 68-71, 2010.
64. M. Fujii, Y. Uraoka, T. Fuyuki, J. S. Jung and J. Y. Kwon, "Experimental and Theoretical Analysis of Degradation in Ga₂O₃-In₂O₃-ZnO Thin-Film Transistors", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 04C091-1~6.
65. Y. Tojo, A. Miura, Y. Uraoka, T. Fuyuki, and I. Yamashita, "Controlled Reduction of Bionanodots for Better Charge Storage Characteristics of Bionanodots Flash Memory", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009).
66. K. Ohara, I. Yamashita, T. Yaegashi, M. Moniwa, H. Yoshimaru, and Y. Uraoka, "Floating gate memory with biomineralized nanodots embedded in High-k gate dielectric", *Applied Physics Express*, 2 (2009) 095001.
67. E. Machida, Y. Uraoka, T. Fuyuki, R. Kokawa, T. Ito, and H. Ikenoue, "Characterization of local electrical properties of polycrystalline silicon thin films and hydrogen termination effect by conductive atomic force microscopy", *Appl. Phys. Lett.* **94**, 182104 (2009).
68. T. Hashimoto, C. Yoshimoto, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Fabrication of Local Ge-on-Insulator Structures by Lateral Liquid-Phase Epitaxy: Effect of Controlling Interface Energy between Ge and Insulators on Lateral Epitaxial Growth", *Appl. Phys. Express* **2**, 066502 (2009).
69. T. Hashimoto, C. Yoshimoto, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Fabrication of Local Ge-on-Insulator Structures by Lateral Liquid-Phase Epitaxy: Effect of Controlling Interface Energy between Ge and Insulators on Lateral Epitaxial Growth", *Appl. Phys. Express* **2**, 066502 (2009).
70. T. Namazu, and Y. Isono, "Fatigue Life Prediction Criterion for Micro-Nanoscale Single-Crystal Silicon Structures", *Journal of Micro Electro Mechanical Systems*, Vol.18, No.1, pp.129-137 (2009).
71. K. Nakamura, Y. Isono, T. Toriyama, and S. Sugiyama, "First-Principles Simulation on Orientation Dependence of Piezoresistance Properties in Silicon Nanowires", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.48, 06FG09 (2009).
72. K. Nakamura, Y. Isono, T. Toriyama, and S. Sugiyama, "Simulation of

piezoresistivity in n-type single-crystal silicon on the basis of the first-principles band structure”, Phys. Rev. B, Vol.80, 045205 (2009).

73. I. Hanasaki, T. Yonebayashi, and S. Kawano, “Molecular dynamics of a water jet from a carbon nanotube”, Physical Review E, Vol.79, 046307 (2009).
74. I. Hanasaki, H. Shintaku, S. Matsunami, and S. Kawano, “Structural and tensile properties of self-assembled DNA network on mica surface”, Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol.46, pp.191-207 (2009).

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 浦岡行治「多結晶シリコン薄膜トランジスタの新規作製技術ならびに解析技術」応用物理学学会学会誌、第 79 巻、第 11 号(2010)
2. 浦岡行治「光ナノ科学への招待」、先端科学技術をやさしく紹介するシリーズ⑩、共著、ケイディーネオブック
3. 浦岡行治「新コーティングのすべて」(株)加工技術協会 2009年10月“タンパク超分子を用いたシリコン薄膜の低温結晶化”共著 p.415
4. 浦岡行治 光アライアンス 11月号「グリーンレーザによる積層シリコンの結晶化」p.4-7
5. 佐野健一、芝 清隆, ”バイオミネラリゼーション研究の新展開—ミネラルの形成と溶解を制御する—”, バイオサイエンスとインダストリー 68巻、5号、pp.336-340、2010
6. Kiyotaka Shiba, “Exploitation of Peptide Motif Sequences and Their Use in Nanobiotechnology”, Current Opinion in Biotechnology, vol. 21, pp. 412–425、2010
7. 富田知志、小林未明、「プラズモン基礎理解の徹底と応用展開～実用化への要求仕様と課題／解決策検討～」第 13 章 第 3 節(p312-318) "プラズモニックメタマテリアル用途への金属ナノ粒子の合成・分散" 情報機構、2011年4月
8. 富田知志、「メタマテリアルⅡ」、第 14 章 "金属ナノ構造との複合体を用いたメタマテリアル"、シーエムシー出版、2012年6月
9. 富田知志、特集 もしも「メタマテリアル」が実現したら "メタマテリアルの光学素子への応用の可能性"、マテリアルステージ 第 141 号(2012年12月号)、pp.7-10.
10. 富田知志、特集 メタマテリアル 光の常識を破る4 "メタマテリアルからメタ分子・メタ界面へ —カイラル構造の光学活性に着目して—", 化学と工業、Vol.66、No.6、pp451-453 (2013).
11. 富田知志、"メタマテリアルから見た光学活性と磁気光学効果"、応用電子物性分科会会誌、Vol.19、No.4、pp121-126 (2013年10月).

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 15 件、国際会議 11 件)
 1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

1. Y. Uraoka, “Reliability of Oxide Thin Film Transistors”, Internatioal Display Manufacturing Conference 2013, Taiwan, Aug. 30, 2013.
2. Y. Isono, “Experimental Nano Mechanics for Silicon & Carbon Nanomaterials Using MEMS Technology”, 25th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2012), Nov. 1, 2012. Kobe, Japan.
3. Y.Uraoka, “Reliability of amorphous IGZO Thin film Transistor”, Inernational Symposium on Transparent Amorphous Oxide Semiconductor TAOS2010”, Tokyo Tech, Jan 25, 2010.

4. Y.Uraoka, "New Functional Device Fabricated using Bio Nano Process", ICSICT 2010, Nov.2, Shanhai, China.
5. Y.Uraoka, "New Functional Device Fabricated using Bio Nano Process", ENGE 2010, Nov.23, Jeju, Korea
6. Y.Uraoka, "Positional Control of Crystal Grains in Silicon Thin Film Utilizing Cage Shaped Protein", MRS Spring Meeting, San Francisco, May 29, 2011.
7. Y.Uraoka, "New Functional Device Fabricated using Bio Nano Process", IMID2011, Oct.12, Seoul, Korea
8. S. Kumagai, "Larger Grain Size of Poly Si Confirmed by MEMS Strain Gauge", The Seventeenth International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, July 6, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
9. Shinya Kumagai, "Metal-Induced Lateral Crystallization using Ni Nanoparticles for Increasing Tensile Stress in Si Thin Film", "The Second International Symposium of Experiment-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics (ECCMF2)", Feb. 23, Sendai, Japan
10. Mime Kobayashi, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, Yuichiro Watanabe, Kiyotaka Shiba and Ichiro Yamashita, "Fabrication of Electronic Nanostructures Using a Tobacco Mosaic Virus Template", International Union of Materials Research Societies - International Conference on Electronic Materials 2010, Seoul, August 25, 2010
11. Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Kiyotaka Shiba, Satoshi Tomita, "Gold nanostructures using tobacco mosaic viruses for optical metamaterials", SPIE Optics Optoelectronics 2011, 18-21 April 2011, Prague Congress Centre, Prague, Czech.
12. 熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、"バイオナノプロセスの MEMS 応用" 2014 年第 61 回応用靴理学会春季学術講演会 分科会企画シンポジウム「ナノバイオマテリアルの最前線」 青山学院大学 相模原キャンパス 2014 年 3 月 18 日.
13. 浦岡行治、上沼睦典、堀田昌宏、石河泰明、山下一郎、"生体超分子を利用した次世代半導体デバイス"、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 2013 年 9 月 16 日.
14. 熊谷慎也、"バイオナノ加工技術の MEMS 応用"、日本真空学会 2013 年 2 月研究例会 「真空・プラズマプロセスが拓く新材料・ナノ構造創成の世界」2013 年 2 月 5 日 名古屋大学 ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー
15. 浦岡行治、技術セミナー 日本テクノセンター主催「TFT・酸化物 TFT の基礎と応用および信頼性向上」平成 22 年 6 月 1 日 東京
16. 浦岡行治、パナソニック技術セミナー 「透明半導体の現状と将来」パナソニック 大阪府茨木市 平成 22 年 7 月 28 日
17. 浦岡行治、豊橋技術科学大学 特別講義「バイオナノプロセスによる新規半導体デバイス」平成 22 年 10 月 20 日 豊橋
18. 浦岡行治、次世代ナノ技術に関する研究専門委員会主催研究会「異種要素の集積化技術」平成 23 年 1 月 12 日 早稲田大学
19. 浦岡行治、技術セミナー「酸化物半導体」平成 23 年 1 月 17 日 東京
20. 浦岡行治、技術セミナー「酸化物半導体 TFT の高性能化技術」平成 23 年 4 月 21 日 東京
21. 浦岡行治、光電相互変換第 125 委員会 「マイクロ波加熱による無機 EL 用蛍光体」平成 23 年 7 月 15 日 東京
22. 芝 清隆、"プログラマブル人工蛋白質からの組織体薄膜構築"、日本学術振興会 薄膜第 131 委員会研究会、大阪、平成 22(2010)年 4 月 22 日
23. 小林未明、"トバモウイルス遺伝子改変体を用いた磁性粒子ナノ構造の作製"、日本磁

気学会第 172 回研究会、東京、平成 22(2010)年 5 月 27 日

24. 富田知志、"生体超分子を用いたメタマテリアル ～“メタ”プロテインを目指して～"、第 1 回 エキゾチック自己組織化材料シンポジウム、2011、年 5 月 28 日、奈良先端科学技術大学院大学 学際融合領域研究棟 2 号館 2 階
25. Satoshi Tomita、"Metallic nanostructures using tobacco mosaic virus for optical metamaterials"、Kickoff Colloquium for Global Interdisciplinary Researches on Life/Ecological Innovations -Biological、Informatics、Materials and Medicinal-Interdisciplinary Frontier Research Center、NAIST、10 December 2010.
26. 富田知志、"金属ナノ構造を用いた光学メタマテリアル"、IEEE Microwave Theory and Techniques Society Kansai Chapter 第 4 回メタマテリアルワークショップ「マイクロ波から EMC、さらに光へ」2010 年 10 月 23 日 京都工芸繊維大学..

② 口頭発表 (国内会議 116 件、国際会議 47 件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

1. Yana Mulyana、Masahiro Horita、Yasuaki Ishikawa、Yukiharu Uraoka、and Shinji Koh、"Oxidation of Graphene by UV/O₃ Treatment and Its Non-Thermal Reduction by UV Irradiation"、22nd European Workshop on Heterostructure Technology"、Glasgow、UK、Sept.10、2013.
2. Satoshi Saijo、Yasuaki Ishikawa、Bin Zheng、Naofumi Okamoto、Ichiro Yamashita、and Yukiharu Uraoka、"Plasmonic Effect of Modified Gold Nanoparticles in Dye-Sensitized Solar Cell"、2013 JSAP-MRS Joint Symposia、Kyoto、Japan、Sept.16、2013.
3. Ippei Inoue、Kiyoshi Watanabe、Hirofumi Yamauchi、Yuki Inoue、Yasuaki Ishikawa、Hisashi Yasueda、Yukiharu Uraoka、and Ichiro Yamashita、"Dye-Sensitized Solar Cells Made with Carbon Nanotube-TiO₂ Nanocomposite by Protein-Based Fabrication Process"、2013 JSAP-MRS Joint Symposia、Kyoto、Japan、Sept.17、2013.
4. Koji Sugano、Ryu Matsumoto、Yukiharu Uraoka、Ichiro Yamashita、and Yoshitada Isono、"MWCNT-Embedded MEMS Resonator Fabricated by Bio-MEMS Compatible Process for Rarefied Gas Sensing"、2013 JSAP-MRS Joint Symposia、Kyoto、Japan、Sept.18、2013.
5. Yoshihiro Ueoka、Yasuaki Ishikawa、Juan Paolo Bermundo、Haruka Yamazaki、Satoshi Urakawa、Yukihiro Osada、Masahiro Horita、and Yukiharu Uraoka、"Unique Property of a-InGaZnO/Ag Interface on Thin-Film Transistor"、20th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices"、Kyoto、Japan、July.7、2013.
6. Haruka Yamazaki、Yasuaki Ishikawa、Yoshihiro Ueoka、Masaki Fujiwara、Eiji Takahashi、Yasunori Ando、and Yukiharu Uraoka、"The Influence of Fluorinated SiNx Gate Insulator in a-InGaZnO Thin-Film Transistors"、20th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices、Kyoto、Japan、July.7、2013.
7. Chao He、Ryoichi Honda、Hiroki Kamitake、Mutsunori Uenuma、Yasuaki Ishikawa、Ichiro Yamashita、and Yukiharu Uraoka、"Distance Controlled Nanoparticles Using PEG-Ferritin for New Functional Devices"、2013 International Meeting for Future of Electron Devices、Kansai、Osaka、Japan、June.5、2013.
8. Seiya Yoshinaga、Yasuaki Ishikawa、Shinji Araki、and Yukiharu Uraoka、

- “Numerical Analysis of Light-Trapping Structure in Nanoimprinted-Textured Silicon Solar Cell”, 2013 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, Osaka, Japan, June.5, 2013.
9. Daisuke Hishitani, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Yosuke Watanabe, Hiroshi Ikenoue, and Yukiharu Uraoka, “Forming of SiO₂ Film by Spin-On Glass and CO₂ Laser Annealing for Gate Insulator of Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors”, 2013 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, Osaka, Japan, June.6, 2013.
 10. Keisuke Kado, Takahiko Ban, Mutsunori Uenuma, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, “Evaluation of TaOx Nanoparticles for Resistive Random Access Memory”, 2013 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, Osaka, Japan, June.6, 2013.
 11. Kyohei Nabesaka, Yasuaki Ishikawa, Takahiro Doe, Nobuyoshi Taguchi, Yoichiro Hosokawa, and Yukiharu Uraoka, “Femtosecond Laser Irradiation to ZnS Phosphor for Inorganic Electroluminescent Displays”, 2013 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, Osaka, Japan, June.6, 2013.
 12. T. Tomikawa, S. Kumagai, I. Yamashita, Y. Uraoka, M. Sasaki, “EXCLUDING GRAIN BOUNDARIES IN THIN SI FILM MEMS/NEMS DEVICES”, Transducers 2013 & EUROSENSORS XXVI, Barcelona, Spain, Jun. 18, 2013.
 13. Itsuo Hanasaki, Yoshitada Isono, Bin Zheng, Yukiharu Uraoka, and Ichiro Yamashita, “Biomolecular Adsorption Control for CNT-domain Fabrication”, 25th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2012), Nov. 2, 2012, Kobe, Japan.
 14. S. Kumagai, T. Tomikawa, S. Ogawa, S. Miyachi, I. Yamashita, Y. Uraoka, M. Sasaki, “A Spatial Light Modulator Fabricated with Bionano-Crystallized Poly-Si Film”, 2012 Optical MEMS & Nanophotonics Conference, Banff, Canada, Aug. 8, 2012.
 15. S. Kumagai, H. Murase, T. Tomikawa, S. Ogawa, I. Yamashita, Y. Uraoka, M. Sasaki, “Controlling Crystallization Structure in Si Thin Film for Improving Characteristics of MEMS Resonator”, 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, California, USA, Apr. 13, 2012.
 16. T. Hashimoto, Y. Fukunishi, Z. Bin, Y. Uraoka, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, “Fabrication and evaluation of photoelectronic devices integrated with gold nanoparticle plasmon antenna”, Fifth International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology, October 22, 2012, Osaka, Japan.
 17. T. Hashimoto, Z. Bin, M. Fukuta, N. Zettsu, K. Gamo, Y. Fukunishi, I. Yamashita, T. Uraoka, and H. Watanabe, “Plasmonic property of high-density gold nanoparticle monolayer arranged using ferritin protein-base encapsulation/transport system”, Fourth International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology, November 2, 2011, Osaka, Japan.
 18. S. Kumagai, H. Murase, S. Miyachi, I. Yamashita, Y. Uraoka, M. Sasaki, “MEMS Resonator Improved by Controlling Generation of Crystallization Nuclei in Si Thin Film Structure”, IDW 2011, Dec. 7-9, Nagoya, Japan

19. K. Yamasaki, E. Machida, M. Horita, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, "Thin Film Transistors and Photo Diodes Fabricated on Double-Layered Polycrystalline Silicon Films Formed by Green Laser Annealing", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
20. T. Doe, M. Horita, T. Nishida, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, "Fabrication of Semiconductor Nanoparticles using Electro Spray Deposition Method", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
21. H.-J. Oh, I. Hanasaki, Y. Isono, S.-W. Han, and H.-J. Lee, "Strain rate dependence of mechanical properties for sub 100 nm-thick Au film using electrostatically actuated nano tensile testing device", MEMS 2011, Cancun, (2011.1.25).
22. Y. Hashimoto, I. Hanasaki, and Y. Isono, "A novel DFM cantilever with tuning function of resonant frequency for biomaterial imaging", MEMS 2011, Cancun, (2011.1.26).
23. Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Kiyotaka Shiba and Satoshi Tomita, "Gold Nanostructures Using Tobacco Mosaic Viruses for Optical Metamaterials", SPIE Optics-Optoelectronics, Prague, April 1X, 2011.
24. Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Kiyotaka Shiba, Satoshi Tomita, "Gold nanostructures using tobacco mosaic viruses for optical metamaterials", SPIE Optics Optoelectronics 2011, 18-21 April 2011, Prague Congress Centre, Prague, Czech.
25. Takuya Hara, Hiroyuki Kishihara, Itsuo Hanasaki, Bin Zheng, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Naoki Matsuzuka, and Yoshitada Isono, "Carbon Nanotubes-embedded MEMS Resonator Device for Hydrogen Gas Sensing System", International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011 (ATEM'11), Sept., 19, 2011, Kobe, Japan.
26. Kosuke Ohara, Bin Zheng, Mutsunori Uenuma, Ichiro Yamashita and Yukiharu Uraoka, "Three Dimensional Floating Gate Memory with Multi-layered Nanodot Array Formed by Bio-LBL", Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 2010, pp790-791.
27. Yumi Kawamura, Yukiharu Uraoka, "ZnO thin film fabricated by plasma assisted atomic layer deposition", Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 2010, pp870-871.
28. T. Hashimoto, N. Zettsu, B. Zheng, M. Fukuta, K. Gamo, I. Yamashita, Y. Uraoka and H. Watanabe, "Ferritin protein-base versatile encapsulation/transport system for selective nanoscale positioning of targeted plasmonic Au nanoparticles", MRS Fall Meeting, Boston, USA, December 2, 2010.
29. Mami Fujii, Ji Sim Jung, Jang Yeon Kwon and Yukiharu Uraoka, "The Unique Phenomenon in the Amorphous In₂O₃-Ga₂O₃-ZnO TFTs Degradation under the Dynamic Stress", Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 2010, pp872-873.
30. Yosuke Tojo, Atsushi Miura, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka,

- “Positional control of crystal grains in silicon thin film utilizing cage shaped protein”, Extended Abstracts of the 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 2010, pp932-933.
31. L. Lu, M. Echizen, T.Nishida, K.Uchiyama and Y.Uraoka. “Dielectric Properties of Sol-gel Derived BaTa₂O₆ Thin Films”, The Seventeen International workshop on Active-matrix Flatpanel Displays and Devices”, Tokyo, p.171, July 5-7, 2010.
 32. Y.Kobayashi, S. Horiguchi, N.Taguchi, M.Susaki, M.Horita and Y.Uraoka, “Improvement of the Optical Property of ZnS-based Inorganic EL Phosphors by Microwave Sintering”, The Seventeen International workshop on Active-matrix Flatpanel Displays and Devices”, Tokyo, p.211, July 5-7, 2010.
 33. B. Zheng, M. Uenuma, I.Yamashita, Y.Uraoka, “Delivery of ferritin-encapsulated gold nanoparticles on disordered surface”, International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, June 3-5, 2010.
 34. M. Uenuma, B. Zheng, K. Kawano, M.Horita, S.Yoshii, I.Yamashita, Y.Uraoka, “Resistive memory utilizing ferritin protein with nano dot”, International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics, Tokyo, June 3-5, 2010.
 35. Y.Kwamura, M.Horita, Y.Uraoka, “Highly Reliable ZnO Thin Film Transistor Fabricated by Atomic Layer Deposition”, IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.64.
 36. T.Imazawa, Y.Toji, M.Uenuma, H.watanabe, I Yamashita, Y.Uraoka, “Low-temperature Crystallization of Ge thin films with Ni ferritins”, IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.72.
 37. Y.Tojo, A.Miura, I.Yamashita, Y.Uraoka, “Location Control of Crystallized Areas in Silicon Films Utilizing Cage Shape Protein”, IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.74.
 38. L.Lu, T.Nishida, K.Uchiyama, Y.Uraoka, “Electrical Properties of SrTa₂O₆ Thin Film Fabricated by Sol-Gel Method”, IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.124.
 39. Y.Kwamura, M.Horita, Y.Uraoka, “Highly Reliable ZnO Thin Film Transistor Fabricated by Atomic Layer Deposition”, IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.64.
 40. B. Zheng, M. Uenuma, I. Yamashita, Y. Uraoka, “Delivery of ferritin-encapsulated gold nanoparticles on desired surfaces”, Nanotech Conference & Expo 2010, Anaheim, June 21-24.
 41. B. Zheng, M. Uenuma, I. Yamashita, Y. Uraoka, “Construction of ferritin-encapsulated nanoparticle dimmer”, International Conference on Nanoscience and Technology (ICN+T 2010), Beijing, Aug 23-27.
 42. B. Zheng, M. Uenuma, Y. Uraoka, I. Yamashita, “Construction of ferritin dimer” The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), Honolulu, 15-20 December, 2010.
 43. Y. Isono, “Experimental Nanomechanics for FIB-CVD Carbon Nanowires Using MEMS Devices”, The 5th International Symposium on Nanoscale Mechatronics & Manufacturing (ISNMM), Center for Nanoscale Mechatronics & Manufacturing (CNMM) of Korea, Seoul, (2010.8.20), pp. 81-98.

44. S. Kumagai, S. Miyachi, I. Yamashita, Y. Uraoka, and M. Sasaki, "BIONANO CRYSTALLIZED POLY-SI FILM FOR INCREASING TENSILE STRESS IN MEMS/NEMS DEVICE STRUCTURES", Transducers 2011, Jun. 7, Beijing, China.
 45. S. Kumagai, S. Miyachi, I. Yamashita, Y. Uraoka, and M. Sasaki, "Increasing tensile stress in poly-Si film structure by metal-induced lateral crystallization using ferritin supramolecules with Ni nanoparticles", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, Hawaii, USA, Dec. 15, 2010.
 46. Mime Kobayashi, Katsuya Onodera, Yuichiro Watanabe, Kiyotaka Shiba and Ichiro Yamashita, Fabrication and Location of 3-nm pt Wires onto a Silicon Surface, 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, September 24, 2010.
 47. T. Hashimoto, N. Zettsu, B. Zheng, M. Fukuta, K. Gamo, I. Yamashita, Y. Uraoka and H. Watanabe, "Ferritin Protein-base Versatile Encapsulation/Transport System for Selective Nanoscale Positioning of Targeted Plasmonic Au Nanoparticles", MRS Fall Meeting (Y11.10), Boston, USA, December 2, 2010.
-
1. 上武央季、上沼睦典、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、"球殻状タンパクを利用した積層ナノドット型フローティングゲートメモリの作製"、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月20日
 2. 吉嗣晃治、梅原智明、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、n-GaN 上 ALD-Al₂O₃ 膜に対する高圧水蒸気処理の効果、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月20日
 3. 鍋坂恭平、石河泰明、土江貴洋、田口信義、細川陽一郎、浦岡行治、超短パルスレーザーを照射した無機 EL ディスプレイ用 ZnS 蛍光体の作製、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月18日
 4. 富川崇、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、"Niフェリチンを用いたSi薄膜カンチレバー振動子の均一結晶化"、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日
 5. 菱谷大輔、堀田昌宏、石河泰明、池上浩、渡辺陽介、浦岡行治、スピンオンガラスおよび CO₂ レーザーアニールを用いた多結晶シリコン薄膜上への SiO₂ 薄膜形成、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日
 6. 長田至弘、石河泰明、呂莉、浦岡行治、溶液プロセスで作製したアモルファス InZnO 薄膜トランジスタ特性に対するバックチャネルの影響、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日
 7. 上岡義弘、石河泰明、Juan Paolo Bermundo、山崎はるか、浦川哲、長田至弘、堀田昌宏、浦岡行治、アモルファス InGaZnO TFT における低温水素アニールの影響、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日
 8. 山崎はるか、石河泰明、上岡義弘、浦川哲、藤原将喜、高橋英治、安東靖典、浦岡行治、ゲート絶縁膜中元素がアモルファス InGaZnO 薄膜トランジスタの信頼性に与える影響、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日
 9. 吉永征矢、石河泰明、荒木慎司、姜雲健、堀田昌宏、浦岡行治、サブミクロンサイズのナノインプリントテクスチャにおける光反射シミュレーション、第74回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013年9月17日

10. 浦川哲、石河泰明、堀田昌宏、浦岡行治、高安定性アモルファス InAlZnO 薄膜トランジスタ、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 17 日
11. 浦川哲、筈井重和、上岡義弘、山崎はるか、笠見雅司、矢野公規、Dapeng Wang、古田守、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、酸化物薄膜トランジスタにおける発熱効果および劣化現象のサイズ依存性、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 17 日
12. Yana Mulyana、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、石河泰明、黄晋二、UV/O₃ 処理によるグラフェンの酸化及び UV 照射による非熱的還元、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 17 日
13. 浦岡行治、上沼睦典、堀田昌宏、石河泰明、山下一郎、生体超分子を利用した次世代半導体デバイス、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 16 日
14. 土江貴洋、石河泰明、鍋坂恭平、堀田昌宏、浦岡行治、静電噴霧法による量子ドットの作製、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 16 日
15. 何超、上沼睦典、本田良一、上武央季、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、PEG サイズによるフェリチンの分散配置制御、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学 京田辺キャンパス、2013 年 9 月 16 日
16. 吉永征矢、石河泰明、荒木慎司、浦岡行治、ナノインプリントによる表面テクスチャ構造を有した Si 太陽電池の光散乱シミュレーション、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 30 日
17. 野中俊宏、浦岡行治、田口信義、山本伸一、ストライプ構造型電極を用いた無機 EL の輝度特性、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
18. 七田渡、浦岡行治、田口信義、山本伸一、二層構造を有する分散型無機 EL の輝度特性、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
19. Juan Paolo Bermundo、石河泰明、山崎はるか、野中俊宏、浦岡行治、New Passivation Material for a-IGZO thin film transistor、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
20. 鍋坂恭平、石河泰明、土江貴洋、田口信義、細川陽一郎、浦岡行治、超短パルスレーザーによる微粒化処理を行った ZnS 蛍光体の作製、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
21. 長田至弘、石河泰明、呂莉、浦岡行治、溶液プロセスで作製した InZnO 薄膜トランジスタにおけるチャネル層膜厚依存性、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
22. 浦川哲、筈井重和、上岡義弘、山崎はるか、笠見雅司、矢野公規、Dapeng Wang、古田守、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、酸化物薄膜トランジスタの自己発熱効果における熱劣化解析、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
23. 浦川哲、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、アモルファス酸化物薄膜トランジスタにおける発熱シミュレーション、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
24. 山崎はるか、石河泰明、上岡義弘、藤原将喜、高橋英治、安東靖典、浦岡行治、アモルファス InGaZnO 薄膜トランジスタにおけるゲート絶縁膜中のフッ素が信頼性に与える影響、第 60 回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 29 日
25. 上岡義弘、石河泰明、Jae Gwang Um、Juan Paolo Bermundo、山崎はるか、浦川哲、堀田昌宏、Jin Jang、浦岡行治、IGZO TFT における光照射による劣化

- メカニズムの解析、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月29日
26. 富川崇、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、Ni フェリチンを用いた Si 薄膜振動子の高効率化、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月28日
27. 板倉聡之、浦岡行治、山下一郎、山本伸一、超機能性微粒子を用いたナノ領域の電気特性、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月28日
28. 何超、本田良一、上武央季、上沼睦典、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、PEG 修飾フェリチンの分散配置制御、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月28日
29. 山崎浩司、町田絵美、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、池上浩、三次元構造デバイス応用に向けた CO₂ レーザーアニールによる積層多結晶シリコン薄膜の形成、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月28日
30. 富田知志、小林未明、澤田桂、芝清隆、柳久雄、山下一郎、浦岡行治、金ナノ粒子とウイルスによるカイラルメタ分子の円偏光二色性、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013年3月27日
31. 門圭佑、番貴彦、上沼睦典、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、Conductive-AFM による2次元配列酸化ナノ粒子の評価、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月27日
32. 吉嗣晃治、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、プラズマアシスト原子層堆積法による GaN MIS ゲート絶縁膜用 Al₂O₃ の絶縁特性、第60回春季応用物理学関連連合講演会、神奈川工科大学、2013年3月27日
33. 浦川哲、上岡義弘、山崎はるか、石河泰明、浦岡行治、デバイスシミュレーションによるアモルファス酸化半導体における劣化現象の理論的解析、電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会、京都大学、2012年12月7日
34. 西城理志、石河泰明、鄭彬、山下一郎、浦岡行治、ポータープロテインによる金ナノ粒子配置プロセスとそのプラズモン特性、電子情報通信学会シリコン材料・デバイス研究会、京都大学、2012年12月7日
35. 山崎浩司、町田絵美、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、池上浩、CO₂ レーザーアニールによる多結晶シリコン薄膜の形成、薄膜材料デバイス研究会第9回研究集会、なら100年会館、2012年11月3日
36. 長田至弘、三浦佑太、呂莉、西田貴司、石河泰明、浦岡行治、化学溶液法を用いた InGaZnO 薄膜トランジスタの作製温度依存性、第22回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜ワールドポーターズ、2012年9月24日
37. 山崎はるか、上岡義弘、石河泰明、藤原将喜、高橋英治、安東靖典、浦岡行治、ゲート絶縁膜中元素がアモルファス InGaZnO 薄膜トランジスタの信頼性に与える影響、第73回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012年9月13日。
38. 上岡義弘、前島尚行、松井文彦、山崎はるか、浦川哲、堀田昌宏、石河泰明、大門寛、浦岡行治、二次元光電子分光による IGZO/SiO₂ 界面の解析、第73回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012年9月13日。
39. 上沼睦典、門圭佑、鄭彬、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、局所的静電相互作用による金属薄膜上へのナノ粒子選択配置、第73回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012年9月13日。
40. 番貴彦、岡本尚文、上沼睦典、鄭彬、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、微細化技術応用に向けたタンタル酸化物ナノ粒子の評価、第73回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012年9月13日。
41. 岡本尚文、岩堀建治、浦岡行治、山下一郎、球殻状タンパク質フェリチンによるタンタルナノ粒子の作製、第73回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、

2012年9月13日.

42. 上武央季、上沼睦典、鄭 彬、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、Dps タンパクナノ粒子を利用したフローティングゲートメモリ、第 73 回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 13 日.
43. 橋元達也、福西友里恵、鄭 彬、浦岡行治、細井卓治、志村考功、渡部平司、“金ナノ粒子プラズモンアンテナを利用した光電子デバイスの提案とその実証”、第 73 回応用物理学関係連合講演会予稿集 12p-H4-15、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 12 日.
44. 荒木慎司、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、短時間ゲル・ナノインプリント法によるナノパターン形成とその評価、第 73 回応用物理学関係連合講演会予稿集 12p-H4-15、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 12 日.
45. Yana Mulyana、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、黄晋二、UV/オゾン処理を施したグラフェンの電気伝導特性、第 73 回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 12 日.
46. 吉嗣晃治、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、高圧重水熱処理による Al₂O₃ ゲート誘電膜の改質、第 73 回応用物理学関係連合講演会、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 12 日.
47. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“フェリチンタンパク質によるプラズモニクデバイス作製プロセスにおける大気圧 He プラズマ応用タンパク除去技術の検討”、第 72 回応用物理学関係連合講演会予稿集 1p-V-11、山形大学、2011 年 9 月 1 日.
48. 福田めぐみ、上沼睦典、鄭 彬、岡本尚文、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“界面活性剤非存在下での Ti 認識ペプチド修飾フェリチン選択吸着の実現”、第 72 回応用物理学関係連合講演会予稿集 1p-V-10、山形大学、2011 年 9 月 1 日.
49. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“プラズモニクデバイス作製に向けたフェリチンタンパク質援用金ナノ粒子高密度選択配置技術の開発”、第 58 回応用物理学関係連合講演会予稿集 25a-BV-16(震災のため学会中止).
50. 蒲健太郎、福田めぐみ、橋元達也、是津信行、浦岡行治、渡部平司、“Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの SiO₂ 膜上吸着挙動の膜質ならびに表面状態依存性”、第 58 回応用物理学関係連合講演会予稿集 25a-BV-17 (震災のため学会中止).
51. 福西友理恵、福田めぐみ、蒲健太郎、橋元達也、是津信行、浦岡行治、渡部平司、“分子構造が異なる非イオン性界面活性剤緩衝液中での Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの選択吸着挙動”、第 58 回応用物理学関係連合講演会予稿集 25a-BV-18(震災のため学会中止).
52. 福西友理恵、福田めぐみ、蒲健太郎、橋元達也、是津信行、渡部平司、“Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの選択吸着における Tween20 の機能解明”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-1、長崎大学、2010 年 9 月 15 日.
53. 福田めぐみ、是津信行、渡部平司、“チタン結合ペプチド選択吸着機構の基板種及び表面状態制御による考察”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-2、長崎大学、2010 年 9 月 15 日.
54. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“フェリチンタンパク質を用いた基板上への金ナノ粒子の選択配置とそのプラズモニク特性”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-8、長崎大学、2010 年 9 月 15 日.
55. 蒲健太郎、福田めぐみ、橋元達也、鄭 彬、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“Ti 超薄膜上における Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの吸着挙動”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-9、長崎大学、2010 年 9 月 15 日.
56. 福田めぐみ、菊池純一、渡部平司、山下一郎、“デバイス作製に適した基板汚染のないフェリチン固定基板の開発”、第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-ZF-11、東海大学、

2010 年 3 月 19 日.

57. 浦岡行治、東條陽介、石河泰明、山下一郎、“高性能ディスプレイの実現に向けたシリコン薄膜のラマン分光分析”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、29p-ZB-2
58. 呂利、西田貴司、三浦佑太、石河泰明、内山 潔、浦岡行治、“(BaxSr1-xTa2O6)高誘電薄膜の低温作製と電気的特性”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1a-C-2
59. 谷 真衣、川村悠実、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、“プラズマ ALD 法による ZnO 薄膜の形成および薄膜トランジスタへの応用” 第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1a-N-
60. 鄭 彬、上沼睦典、山下一郎、浦岡行治、“DNA 修飾フェリチンを用いた新規金ナノ粒子集合体の作製”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-V-2
61. 三浦佑太、呂莉、越前正洋、西田貴司、堀田昌宏、石河泰明、内山 潔、浦岡行治、“High- k 材料をゲート絶縁膜に用いた酸化物 TFT の特性”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、31p-C-5
62. 山崎浩司、町田絵美、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、“三次元デバイス応用に向けたグリーンレーザーアニールによる積層構造多結晶シリコン薄膜の同時結晶化技術”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-M-7
63. 西田貴司、旭健史郎、米田安宏、田村和久、松村大樹、木村秀夫、石河泰明、浦岡行治、“強誘電体ナノ結晶評価のためのサファイア上への Pt 原子レベル平坦層の形成 (II)”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、30a-P2-7
64. 青木麻野、池上 浩、町田絵美、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、“水中レーザーアニールによる LTPS-TFT 欠陥不活性化処理中に生成される気泡の挙動観察”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-M-8
65. 上沼睦典、鄭彬、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、“バイポーラ型 NiO 抵抗変化メモリの特性評価”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、31p-ZK-9
66. 藤井茉美、石原良一、Tao Chen、Johan Van Der Cingel、Mohammad R. T. Mofrad、笠見雅司、矢野公規、石河泰明、浦岡行治、“酸化物半導体薄膜へのエキシマレーザーアニール効果”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1a-N-9
67. 分銅衡介、上沼睦典、石河泰明、渡部平司、山下一郎、浦岡行治、“Cu ナノ粒子を用いた a-Ge 薄膜の低温結晶化”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-M-10
68. 小原孝介、鄭 彬、上沼睦典、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、“Bio-LBL 法による積層ナノドット型フローティングゲートメモリの作製”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-V-12
69. 柿原康弘、上沼睦典、岡本尚文、川野健太郎、鄭彬、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、“酸化鉄ナノ粒子の抵抗変化メモリ応用”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-V-13
70. 市川和典、松江将博、赤松 浩、山崎浩司、堀田昌宏、浦岡行治、“High- k 材料を用いた 2 層同時結晶化低温 poly-Si TFT フラッシュメモリの特性評価”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1p-M-15
71. 渡邊 潔、井之上一平、鄭彬、安枝 寿、石河泰明、浦岡行治、山下一郎、“変異球殻状タンパク質を用いた光触媒ナノ構造作製”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、1a-V-1
72. 益山純一、堀口昌吾、紺谷拓哉、須崎昌己、田口信義、浦岡行治、“マイクロ波加熱法により作製された CuCl₂ 添加 ZnS 蛍光体の EL 発光”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、31a-P5-24
73. 野中俊宏、七田 渡、浦岡行治、田口信義、山本伸一、“平面電極構造をもつ分散型無機 EL 素子の発光特性”、第 72 回応用物理学会学術講演会、2011、山形大学、

31a-P5-28

74. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、
“フェリチンタンパク質によるプラズモニックデバイス作製プロセスにおける大気圧 He プラ
ズマ応用タンパク除去技術の検討”、第 72 回応用物理学関係連合講演会予稿集
1p-V-11、山形大学、2011 年 9 月 1 日
75. 福田めぐみ、上沼睦典、鄭 彬、岡本尚文、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“界面活性
剤非存在下での Ti 認識ペプチド修飾フェリチン選択吸着の実現”、第 72 回応用物理学
関係連合講演会予稿集 1p-V-10、山形大学、2011 年 9 月 1 日
76. 宮地修輔、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、“Ni フェリチンを用いた
金属誘起横方向結晶成長による Si 薄膜機械特性の向上”、第 72 回応用物理学学会学術
講演会、2011 年 9 月 1 日、山形大学 小白川キャンパス
77. 村瀬弘、宮地修輔、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、“Ni フェリチン
を用いた金属誘起横方向結晶成長による Si 薄膜機械特性の向上”、第 72 回応用物理
学会学術講演会、2011 年 8 月 30 日、山形大学 小白川キャンパス
78. 呂莉、西田貴司、石河泰明、内山潔、浦岡行治、“アモルファス(BaxSr1-xTa2O6)薄膜
の低温作製と評価”、2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、15p-NJ-15、長
崎大学
79. 上沼睦典、川野健太郎、吉井重雄、山下一郎、浦岡行治、“フェリチンタンパク質により形
成したナノ粒子の抵抗変化メモリ応用” 2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、
15p-NE-9、長崎大学
80. 今澤 孝則、東條 陽介、上沼 睦典、石河 泰明、渡部 平司、山下 一郎、浦岡 行治、
“Ni ナノ粒子を用いた a-Ge 薄膜の低温結晶化、2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学
術講演会、16p-ZD-3、長崎大学
81. 東條陽介、三浦篤志、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、“球殻状タンパク質を用いた Si
薄膜結晶化領域の位置制御” 2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、
15a-ZD-10、長崎大学
82. 西田貴司、米田安宏、田村和久、松村大樹、木村秀夫、石河泰明、浦岡行治、“サファイ
ア基板上の PbTiO3 自己組織化ナノ結晶の放射光 X 線回折による評価” 2010 年秋季
第 71 回応用物理学学会学術講演会、15p-ZR-8、長崎大学
83. 山崎 浩司、町田 絵美、堀田 昌宏、石河 泰明、浦岡 行治、“グリーンレーザーアニー
ルによる 積層多結晶シリコン薄膜の形成と結晶性評価 ” 2010 年秋季 第 71 回応用物
理学会学術講演会、15p-ZD-7、長崎大学
84. 小原孝介、鄭彬、上沼睦典、石河泰明、山下一郎、浦岡行治、“Bio-LBL 法を利用した 3
次元メモリデバイスの作製” 2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、17a-ZE-5、
長崎大学
85. 川野 健太郎、上沼 睦典、鄭 彬、山下 一郎、浦岡 行治、“金ナノ粒子による抵抗変
化型メモリの特性改善 Improvement of Memory Characteristics in Resistive
Memory using Gold Nano Particles”2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、
15a-NE-10、長崎大学
86. 藤井茉美、堀田昌宏、石河泰明、浦岡行治、“a-IGZO TFT の AC 電圧ストレスに
よる不安定性 Instability of the a-IGZO TFT under the AC voltage stress” 2010
年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会、16a-ZJ-5、長崎大
87. 布施 和志、西田 貴司、上沼 睦典、石河 泰明、山下 一郎、浦岡 行治、“Ni 内包フェ
リチンタンパクを用いたシリコン薄膜の低温結晶化 Low Temperature Crystallization
of a-Si film by Ni accommodated ferritin” 2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術
講演会、15p-E-5、長崎大学
88. 鄭彬、山下一郎、浦岡行治、“フェリチンヘテロダイマーの作製” 2010 年秋季 第 71 回
応用物理学学会学術講演会、15p-E-6、長崎大学
89. 西田貴司、米田安宏、田村和久、松村大樹、木村秀夫、堀田昌宏、上沼睦典、内山 潔、

- 浦岡行治、“原子平坦サファイア基板上への PbTiO_3 ナノ結晶アレイの作製と評価”
2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、7p-TR-1、東海大学
90. 川野健太郎、上沼睦典、鄭 彬、山下一郎、浦岡行治、“金ナノ粒子による抵抗変化型メモリ中の導電パスの制御” 2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、20a-TQ-2、東海大学
91. 上沼睦典、川野健太郎、吉井重雄、山下一郎、浦岡行治、“ CoO ナノ粒子の抵抗変化メモリ応用”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、20a-TQ-3、東海大学
92. 旭健史郎、西田貴司、堀田昌宏、上沼睦典、内山 潔、浦岡行治、“ PbTiO_3 ナノ結晶形成のためのサファイア基板上への原子平坦 Pt 膜の作製”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、8p-ZC-1、東海大学
93. 小野寺亮、西田貴司、堀田昌宏、上沼睦典、内山 潔、浦岡行治、“ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 基板上的 BST 薄膜を用いたチューナブルデバイスの作製と評価 II”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、8p-ZC-5、東海大学
94. 呂 莉、越前正洋、西田貴司、内山 潔、浦岡行治、“酸素雰囲気中でアニールした aTa_2O_6 薄膜の電気特性”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、8p-ZC-9、東海大学
95. 一瀬悠里、内山 潔、西田貴司、浦岡行治、“スピノコート法による Y-doped SrZrO_3 の作製及び電気的特性評価”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、8p-ZC-9、東海大学
96. 鄭 彬、山下一郎、浦岡行治、“フェリチンダイマーの作製”2010 年春季第 57 回 応用物理学会関係連合講演会予稿集、9a-ZF-10、東海大学
97. 堀口昌吾、小林祐輔、堀田昌宏、田口信義、浦岡行治、“真空中マイクロ波焼成により作製した ZnS 系 EL 蛍光体の評価”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、20a-TF-7、東海大学
98. 川村悠実、浦岡行治、“原子層堆積(ALD)法による Al_2O_3 および ZnO 薄膜の成膜と薄膜トランジスタへの応用”2010 年春季第 57 回応用物理学会関係連合講演会予稿集、19a-TM-2、東海大学
99. 福西友理恵、福田めぐみ、蒲健太郎、橋元達也、是津信行、渡部平司、“Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの選択吸着における Tween20 の機能解明”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-1、長崎大学、2010 年 9 月 15 日
100. 福田めぐみ、是津信行、渡部平司、“チタン結合ペプチド選択吸着機構の基板種及び表面状態制御による考察”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-2、長崎大学、2010 年 9 月 15 日
101. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“フェリチンタンパク質を用いた基板上への金ナノ粒子の選択配置とそのプラズモン特性”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-8、長崎大学、2010 年 9 月 15 日
102. 蒲健太郎、福田めぐみ、橋元達也、鄭 彬、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“Ti 超薄膜上における Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの吸着挙動”、第 71 回応用物理学関係連合講演会予稿集 15p-E-9、長崎大学、2010 年 9 月 15 日
103. Hyun-Jin Oh 、 Itsuo Hanasaki 、 Yoshitada Isono 、 "Mechanical characterization of sub-100nm-thick Au film by tensile testing device based on MEMS technology"、第 27 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム講演論文集、2010 年 10 月 15 日、松江、pp.68-71.
104. 橋本 佳彦、花崎 逸雄、磯野 吉正、"共振周波数調節機能を備えたダイナミックモード AFM カンチレバーの開発"、第 27 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム講演論文集、2010 年 10 月 15 日、松江、pp.642-645.
105. 花崎 逸雄、田中 利宏、磯野 吉正、鄭 彬、浦岡 行治、山下一郎、"多段階交

- 互塗布による基板上へのフェリチン分子吸着密度制御と高密度化", 第 57 回応用物理学関係連合講演会、平塚、2010 年 3 月、p.(17-064)
106. 呉 銜珍、磯野 吉正、"MEMS 機能デバイスによるナノ厚金薄膜の力学特性評価に関する研究", 日本機械学会関西支部第 85 期定時総会講演会 講演論文集、神戸、2010 年 3 月 16 日、p.1-2.
107. 福田めぐみ、菊池純一、渡部平司、山下一郎、"デバイス作製に適した基板汚染のないフェリチン固定基板の開発", 第 57 回応用物理学関係連合講演会 19a-ZF-11、東海大学、2010 年 3 月 19 日
108. 熊谷慎也、宮地修輔、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、"MEMS 用 Si 薄膜材料の内部応力増強に向けた Ni フェリチンを用いた金属誘起横方向結晶成長", 日本機械学会 2010 年度年次大会、名古屋工業大学、2010 年 9 月 8 日
109. 宮地修輔、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、"Ni フェリチンを用いた金属誘起横方向結晶成長による薄膜内応力の増強", 第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 20 日、東海大学 湘南キャンパス
110. 長谷川慶、小林未明、山下一郎、浦岡行治、柳久雄、富田知志、"タバコモザイクウイルスを用いた金属ナノ粒子列の作製", 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学学会学術講演会 2010 年 9 月 14-17 日 長崎大学文教キャンパス
111. 斉藤正太、細井卓治、渡部平司、是津信行、"液体ナノプロセスによる金属ナノドットアレイ作製技術の開発", 第 70 回応用物理学学会学術講演会 9a-TA-5、富山大学、2009 年 9 月 9 日
112. 橋元達也、吉本千秋、細井卓治、志村考功、渡部平司、"局所横方向液相エピタキシャル成長による絶縁膜上 Ge ワイヤの作製"ゲートスタック研究会—材料・プロセス・評価の物理—(第14回研究会)予稿集 p.97-100、静岡県三島市、2009 年 1 月 23 日
113. 花崎 逸雄(神戸大)、呉 銜珍、鄭 彬、浦岡 行治、山下 一郎、磯野 吉正、"タンパク質のリフトオフプロセスを用いた CNT 形成技術", 精密工学会秋季大会、神戸、2009 年 9 月
114. 原 拓也(神戸大)、松塚 直樹、磯野 吉正、"変断面両端固定梁を有する静電駆動 MEMS 共振器の簡易設計手法の構築", 日本機械学会年次大会、盛岡、2009 年 9 月
115. 斉藤正太、細井卓治、渡部平司、是津信行、"液体ナノプロセスによる金属ナノドットアレイ作製技術の開発", 第 70 回応用物理学学会学術講演会 9a-TA-5、富山大学、2009 年 9 月 9 日.
116. 橋元達也、吉本千秋、細井卓治、志村考功、渡部平司、"局所横方向液相エピタキシャル成長による絶縁膜上 Ge ワイヤの作製"ゲートスタック研究会—材料・プロセス・評価の物理—(第14回研究会)予稿集 p.97-100、静岡県三島市、2009 年 1 月 23 日.

ポスター発表 (国内会議 10 件、国際会議 56 件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日

1. Satoshi Saijo、Yasuaki Ishikawa、Bin Zheng、Ichiro Yamashita、and Yukiharu Uraoka、Improvement of Efficiency in Dye-Sensitized Solar Cell by Plasmon Enhancement Effect Introduced by Modified Gold Nanoparticles、28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition、Paris、France、October 3、2013.
2. Yoshihiro Ueoka、Takahiro Nishibayashi、Yasuaki Ishikawa、Haruka Yamazaki、Yukihiro Osada、Masahiro Horita、and Yukiharu Uraoka、Analysis of Printed Ag Electrode on a-InGaZnO、2013 International Conference on Solid State Devices and Materials、Fukuoka、Japan、September 26、2013.

3. Keisuke Kado, Mutsunori Uenuma, Takahiko Ban, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, Formation of Two-Dimensional Array Using Protein-Derived Nanoparticles, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan.
September 19, 2013.
4. Chao He, Mutsunori Uenuma, Ryoichi Honda, Hiroki Kamitake, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, Control of Separation Distances of Ferritin by PEG, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan.
September 19, 2013.
5. Takahiko Ban, Mutsunori Uenuma, Naofumi Okamoto, Kenji Iwahori, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, Resistive Memory Characteristic of TaOx Nanoparticle Synthesized by Ferritin, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan. September 19, 2013.
6. M. Fukuta, B. Zheng, M. Uenuma, I. Yamashita, Y. Uraoka and H. Watanabe, "Insight of selective adsorption mechanism of titanium-binding peptide", 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan, September 19, 2013..
7. Juan Paolo Bermundo, Yasuaki Ishikawa, Haruka Yamazaki, Toshiaki Nonaka, and Yukiharu Uraoka, Effect of Reactive Ion Etching and Post-Annealing Conditions on the Characteristics and Reliability of a-IGZO Thin-Film Transistors with Polysilsesquioxane Based Passivation Layers, The 13th International Meeting on Information Display, Daegu, Korea, September 17, 2013.
8. Satoshi Urakawa, Shigekazu Tomai, Masashi Kasami, Koki Yano, Dapeng Wang, Mamoru Furuta, Mutsumi Kimura, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, Thermal Degradation and Theoretical Analysis of Amorphous Oxide Thin-Film Transistor, 20th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, Kyoto, Japan, July 4, 2013.
9. Juan Paolo Bermundo, Yasuaki Ishikawa, Haruka Yamazaki, Toshiaki Nonaka, and Yukiharu Uraoka, Reliability of Amorphous InGaZnO Thin Film Transistors Passivated by Polysilsesquioxane-Based Passivation Layer, 20th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, Kyoto, Japan, July 4, 2013.
10. Daisuke Hishitani, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Hiroshi Ikenoue, Yosuke Watanabe, and Yukiharu Uraoka, Forming SiO₂ Thin Film by CO₂ Laser Annealing of Spin-On Glass on Polycrystalline Silicon Thin Film, 20th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, Kyoto, Japan, July 4, 2013.
11. Seiya Yoshinaga, Yasuaki Ishikawa, Shinji Araki, and Yukiharu Uraoka, Light Trapping Effect of Nanoimprinted-Textured Crystalline Silicon Solar Cells, 39th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Tampa, USA, June 18, 2013.
12. Satoshi Urakawa, Shigekazu Tomai, Yoshihiro Ueoka, Haruka Yamazaki, Masashi Kasami, Koki Yano, Dapeng Wang, Mamoru Furuta, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, Thermal Distribution in Amorphous InSnZnO Thin-Film Transistor, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe, Japan, May 21, 2013.

13. Koji Yoshitsugu, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, Insulating Properties of Atomic Layer Deposited Al₂O₃ Gate Dielectric on GaN, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe, Japan, May 20, 2013.
14. Yasuaki Ishikawa, Shinji Araki, Min Zhang, and Yukiharu Uraoka, Sice Control in ZnO Nano-Pillar Fabrication Using a Gel-Nanoimprint Process, The 2nd International Conference on Advance Materials Design and Mechanics, Kuala Lumpur, Malaysia, May 18, 2013.
15. Kyohei Nabesaka, Yasuaki Ishikawa, Takahiro Doe, Nobuyoshi Taguchi, Yoichiro Hosokawa, and Yukiharu Uraoka, Atomization Process Utilizing Femtosecond Laser Irradiation for ZnS Phosphor, International Device Physics Young Scientist Symposium 2013, Nara, Japan, March 4, 2013.
16. Keisuke Kado, Takahiko Ban, Mutsunori Uenuma, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, Evaluation of Oxide Nanoparticles in Two-Dimensional Array by Conductive AFM, International Device Physics Young Scientist Symposium 2013, Nara, Japan, March 4, 2013.
17. Daisuke Hishitani, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Yukiharu Uraoka, Hiroshi Ikenoue, and Yosuke Watanabe, Forming of SiO₂ Film by Spin-On Glass and CO₂ Laser Annealing on Polycrystalline Silicon Thin Film, International Device Physics Young Scientist Symposium 2013, Nara, Japan, March 4, 2013.
18. Chao He, Ryoichi Honda, Hiroki Kamitake, Mutsunori Uenuma, Yasuaki Ishikawa, Ichiro Yamashita, and Yukiharu Uraoka, Controlled Separation Distances of PEGylated Ferritin, International Device Physics Young Scientist Symposium 2013, Nara, Japan, March 4, 2013.
19. Yukihiro Osada, Yasuaki Ishikawa, Li Lu, and Yukiharu Uraoka, Low-Temperature Fabrication of Solution-Process-Derived InZnO Thin-Film Transistors, International Device Physics Young Scientist Symposium 2013, Nara, Japan, March 4, 2013.
20. Juan Paolo Bermundo, Yasuaki Ishikawa, Haruka Yamazaki, Toshiaki Nonaka, and Yukiharu Uraoka, Influence of Polysilsesquioxane-Based Passivation Layer on the Electrical Characteristics and Stability of a-IGZO Thin Film Transistors, 9th International Thin-Film Transistor Conference, Tokyo, Japan, March 1, 2013.
21. Yukihiro Osada, Yasuaki Ishikawa, Li Lu, and Yukiharu Uraoka, Annealing Temperature Effect on Device Performances of Solution-Derived InZnO Thin-Film Transistors, 9th International Thin-Film Transistor Conference, Tokyo, Japan, March 1, 2013.
22. Yana Mulyana, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Yukiharu Uraoka, and Shinji Koh, Electrical Characteristics of UV/Ozone-Treated Graphene, 5th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, Japan, January 29, 2013.
23. Hiroyuki Kishihara, Itsuo Hanasaki, Naoki Matsuzuka, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, and Yoshitada Isono, "Development of MWCNT Embedded Micromechanical Resonator Working as Rarefied Gas Sensor", The 26th IEEE Int. Conf. on MEMS (MEMS 2013), Taipei, TAIWAN, Jan. 20-24, 2013.
24. Toshihiro Nonaka, Yukiharu Uraoka, Nobuyoshi Taguchi, and Shin-ichi Yamamoto, Evaluation of Distributed Inorganic Electroluminescence (EL)

- Devices with Comb Electrodes, The 19th International Display Workshops, Kyoto, Japan, December 7, 2012.
25. Yoshihiro Ueoka, Naoyuki Maejima, Hirosuke Matsui, Fumihiko Matsui, Makoto Morita, Satoshi Kitagawa, Masayoshi Fujita, Kaoru Yasuda, Haruka Yamazaki, Satoshi Urakawa, Masahiro Horita, Yasuaki Ishikawa, Hiroshi Daimon, and Yukiharu Uraoka, Analysis of Electronic-Structural Change in a-InGaZnO by High Pressure Water Vapor Annealing, The 19th International Display Workshops, Kyoto, Japan, December 6, 2012.
 26. Li Lu, Yukihiro Osada, Yumi Kawamura, Takashi Nishida, Yasuaki Ishikawa, and Yukiharu Uraoka, High Performance Indium Zinc Oxide Thin-Film Transistors Fabricated by Solution-Process at Low Temperature, The 19th International Display Workshops, Kyoto, Japan, December 5, 2012.
 27. Y. Fukunishi, T. Hashimoto, Z. Bin, M. Fukuta, N. Zettsu, I. Yamashita, Y. Uraoka, and H. Watanabe, "A protein removal technique with atmospheric-pressure He plasma for fabricating plasmonic device using porter-protein system", 7th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, November 10, 2011, Osaka, Japan.
 28. T. Hashimoto, M. Fukuta, K. Gamo, N. Zettsu and H. Watanabe, "Selective assembly of close-packed gold nanoparticle arrays on substrate by ferritin protein-base encapsulation system and their plasmonic properties", The 5th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP5), May 17, 2011, Busan, Korea.
 29. M. Fukuta, N. Zettsu, Y. Uraoka, and H. Watanabe, "The rule of electric surface state for the specific binding of the ti-recognizing recombinant ferritin with amphoteric oxides and silicon oxide surfaces", Eleventh International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-11), January 25, 2011, Nagoya, Japan.
 30. K. Gamo, M. Fukuta, T. Hashimoto, B. Zheng, N. Zettsu, I. Yamashita, Y. Uraoka, and H. Watanabe, "Critical titanium coverage on SiO₂ for selective adsorption of Ti-binding ferritin", Third International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology, November 24, 2010, Osaka, Japan.
 31. Y. Kawamura, M. Tani, M. Horita, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, "Low Temperature Processed ZnO Thin Film Transistors Fabricated by Plasma Assisted Atomic Layer Deposition", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan
 32. M. Tani, Y. Kawamura, M. Horita, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, "Preparation of ZnO thin films by plasma-assisted atomic layer deposition for the application to thin film transistors", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
 33. T. Kontani, S. Horiguchi, M. Horita, Y. Ishikawa, N. Taguchi, Y. Uraoka, "Impact of Atomization Treatment on ZnS Phosphor for Inorganic EL", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
 34. Y. Kakihara, M. Uenuma, N. Okamoto, K. Kawano, B. Zheng, Y. Ishikawa, I. Yamashita, Y. Uraoka "Application of Endohedral Iron-oxide Ferritin to Resistive Memory", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.

35. T. Nishida, K. Asahi, Y. Miura, L. Lu, M. Echizen, Y. Yoneda, H. Kimura, Y. Ishikawa, Y. Uraoka, "Fabrication of PbTiO₃ and Pt self-organized nanocrystal array structure on atomically flat sapphire", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
36. K. Bundo, T. Imazawa, M. Uenuma, Y. Ishikawa, H. Watanabe, I. Yamashita, Y. Uraoka, "Low-Temperature Crystallization of Amorphous Germanium Thin Films using Metal Nanoparticles", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
37. L. Lu, T. Nishida, M. Echizen, Y. Ishikawa, K. Uchiyama, Y. Uraoka, "Characteristics of Solution-processed TFTs with In₄ZnOx/SrTa₂O₆ Thin Films", 2011 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, May 19, 2011, Osaka, Japan.
38. T. Hashimoto, M. Fukuta, K. Gamo, N. Zettsu and H. Watanabe, "Selective assembly of close-packed gold nanoparticle arrays on substrate by ferritin protein-base encapsulation system and their plasmonic properties", The 5th International Conference on Surface Plasmon Photonics p.287, Busan, Korea, May 17, 2011.
39. Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Kiyotaka Shiba, Satoshi Tomita, "Three dimensional gold nanostructures using tobacco mosaic viruses for optical metamaterials", 5th International Conference on Nanophotonics (ICNP2011) 22-26 May 2011, Fudan University, Shanghai, China.
40. Kazuhiko Hashimoto, Masao Yoshinari, Takashi Inoue and Kiyotaka Shiba, "Isolation of a Peptide Motif for ZrO₂-binding", IADR/AADR General Session & Exhibition, San Diego March, 14-19, 2011.
41. M. Kobayashi, S. Kumagai, K. Shiba, Y. Uraoka, I. Yamashita, "Carbon Nanotube Network Conjugated by Nanoparticles with Defined Nanometer-Scaled Gaps", International Conference on Solid State Devices and Materials, Sep. 29, Nagoya, 2011.
42. S. Kumagai, S. Miyachi, H. Murase, I. Yamashita, Y. Uraoka, M. Sasaki, "Extending Rotation Range of Spatial Light Modulator by Metal-Induced Lateral Crystallization of Amorphous Si Using Ni Ferritin Molecules", International Conference on Solid State Devices and Materials, Sep. 29, Nagoya, 2011.
43. K. Yamasaki, M. Horita, Y. Sugawara, T. Yamashita, Y. Uraoka, "Crystallinity of Doubled-Layered Polycrystalline Silicon Thin Films Formed by Green Laser Annealing", IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.68.
44. T. Imazawa, Y. Toji, M. Uenuma, H. Watanabe, I. Yamashita, Y. Uraoka, "Low-temperature Crystallization of Ge thin films with Ni ferritins", IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.72.
45. Y. Tojo, A. Miura, I. Yamashita, Y. Uraoka, "Location Control of Crystallized Areas in Silicon Films Utilizing Cage Shape Protein", IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.74.
46. L. Lu, T. Nishida, K. Uchiyama, Y. Uraoka, "Electrical Properties of SrTa₂O₆ Thin Film Fabricated by Sol-Gel Method", IMFEDK 2010, May 13-14, 2010, Osaka, p.124.

47. T. Hashimoto, B. Zheng, M. Fukuta, K. Gamo, N. Zettsu, I. Yamashita, Y. Uraoka and H. Watanabe, "Selective Transportation of Gold Nanoparticles Encapsulated with TFG Subunit Dimers and Their Plasmonic Characteristics", Third International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology (pp.118-119), Osaka, November 24, 2010.
48. K. Gamo, M. Fukuta, T. Hashimoto, B. Zheng, N. Zettsu, I. Yamashita, Y. Uraoka and H. Watanabe, "Critical Titanium Coverage on SiO₂ for Selective Adsorption of Ti-binding Ferritin", Third International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology (p.120-121), Osaka, November 24, 2010.
49. Tamiko Minamisawa and Kiyotaka Shiba, "Isolation and Characterization of Artificial Peptide Probe for Cancer Cell", AACR/ Cancer genomics, epigenomics, and the development of novel therapeutics, Hawaii, February 5-9, 2010.
50. Masatoshi Ikemi, Takashi Kikuchi, Sachiko Matsumura, Kiyotaka Shiba, Sota Sato and Makoto Fujita, "Immobilization of an M12L24 Spherical Complex by Peptide Modification", 5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, Nara, June 9, 2010.
51. Mime Kobayashi, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, Yuichiro Watanabe, Kiyotaka Shiba and Ichiro Yamashita, "Fabrication of Electronic Nanostructures Using a Tobacco Mosaic Virus Template", Pacificchem 2010, Hawaii, December 17, 2010.
52. Masatoshi Ikemi, Takashi Kikuchi, Sachiko Matsumura, Kiyotaka Shiba, Sota Sato and Makoto Fujita, "Peptide-coated, Self-assembled M₁₂L₂₄ Coordination Spheres and Their Immobilization onto an Inorganic Surface", Pacificchem 2010, December 18, Hawaii, 2010.
53. Kei Hasegawa, Mime Kobayashi, Ichiro Yamashita, Yukiharu Uraoka, Hisao Yanagi, Satoshi Tomita, "Preparation of Metal Nanostructures Using the Tobacco Mosaic Virus", International Symposium on Molecular Nanotechnology, Nara Prefectural New-Public Hall, 1-2 December 2010.
54. T. Hashimoto, K. Gamo, M. Fukuta, N. Zettu, N. Okamoto, T. Yamashita, Y. Uraoka, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe, "Selective adsorption of Ti-binding ferritin on thin Ti films with various oxidation treatments", 2nd International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology, PO.26, Osaka, November 25, 2009.
55. C. Yoshimoto, T. Hashimoto, T. Hosoi, T. Shimura and H. Watanabe, "Fabrication of Ge Nano-Wires on Insulators Using Lateral Liquid-Phase Epitaxy" 5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, P1-23, Osaka, September 2, 2009.
56. S. Uchida, S. Saito, T. Hosoi, H. Watanabe and N. Zettsu, "Non-volatile Au Nanoparticle Memory Applications Enabled by Precisely Controlled Colloidal Self-assembly" MRS Spring Meeting, San Francisco, CA, USA, 2009.

1. 池見昌敏、菊池 貴、南澤宝美后、松村幸子、芝 清隆、佐藤 宗太、藤田 誠 “ペプチド修飾球状錯体の高い基板認識能を利用したタンパク質の固定”日本化学会第 91 春季年会 平成 23(2011)年 3 月 29 日(横浜)
2. 池見昌敏、菊池 貴・南澤宝美后、松村幸子、芝 清隆、佐藤宗太、藤田 誠 “ペプチド修飾球状錯体の高い基板認識能を利用したタンパク質の無機基板への固定” 第2回分子ナノシステムの創発化学シンポジウム平成 23(2011)年 2 月 4 日(東京)

3. 福田めぐみ、是津信行、渡部平司、“チタン結合ペプチド選択吸着における基板の電荷分布状態の影響”、真空・表面科学合同講演会(第30回表面科学学術講演会講演要旨集/第51回真空に関する連合講演会講演予稿集)p.348、大阪大学、2010年11月5日
4. 橋元達也、鄭 彬、福田めぐみ、蒲健太郎、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“フェリチンタンパク質を用いた基板上への金ナノ粒子高密度選択配置とプラズモニック特性”、真空・表面科学合同講演会(第30回表面科学学術講演会講演要旨集/第51回真空に関する連合講演会講演予稿集)p.145、大阪大学、2010年11月4日
5. 蒲健太郎、福田めぐみ、橋元達也、鄭 彬、是津信行、山下一郎、浦岡行治、渡部平司、“原子層 Ti 被覆 SiO₂ 基板への Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの吸着特性”、真空・表面科学合同講演会(第30回表面科学学術講演会講演要旨集/第51回真空に関する連合講演会講演予稿集)p.147、大阪大学、2010年11月4日
6. 福西友理恵、是津信行、福田めぐみ、橋元達也、蒲健太郎、渡部平司、“Ti 認識ペプチド修飾フェリチンの選択吸着における界面活性剤の寄与”、真空・表面科学合同講演会(第30回表面科学学術講演会講演要旨集/第51回真空に関する連合講演会講演予稿集)p.148、大阪大学、2010年11月4日
7. 池見昌敏、菊池 貴、佐藤宗太、松村幸子、芝 清隆、藤田 誠、“ペプチドを用いた M₁₂L₂₄ 球状錯体の無機基板への固定”、日本化学会第90回春季年会、東大阪、平成22(2010)年3月26日
8. 池見昌敏、菊池 貴、松村幸子、芝 清隆、佐藤 宗太、藤田 誠、“ペプチド修飾 M₁₂L₂₄ 球状錯体の自己組織化構築と基板表面修飾”、第4回バイオ関連化学シンポジウム、大阪、平成22(2010)年9月26日
9. 南澤宝美后、芝 清隆、“ナノ粒子表面改変に伴う予期せぬ凝集能力獲得の解決法”、第33回日本分子生物学会年会、神戸、平成22(2010)年12月9日
10. Jonghyeon Jeong、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、“Study of controlling initial profile of thin-film torsion-bars of vibrational IR sensor” 2014年第61回応用物理学会春季学術講演会 青山学院大学 相模原キャンパス 2014年3月19日

(4)知財出願

①国内出願 (15 件)

1. 人工ペプチドワクチン、伊藤正紀、芝清隆、公益財団法人がん研究会、学校法人慈恵大学、特願 2013-138688、2013年(平成25年)7月2日
2. EpCAMに結合するペプチド・アプタマーとホスホリルコリンポリマー共重合体を含む複合体、芝清隆、日比野和浩、吉田光孝、公益財団法人がん研究会、特願 2013-84393、2013年(平成25年)4月12日
3. 新規ペプチド複合体及びその用途、松村幸子、芝清隆、青木伊知男、公益財団法人がん研究会/独立行政法人科学技術振興機構/独立行政法人放射線医学総合研究所、特願 2013-080782、2013年(平成25年)4月8日
4. 電界効果型トランジスタ、それを備える半導体装置及び電界効果型トランジスタの製造方法、浦岡行治、筈井重和、奈良先端科学技術大学院大学、出光興産 2012-217886、2012年9月28日
5. EpCAMに結合するペプチド、芝清隆、國分克寿、菅加奈子、公益財団法人がん研究会、特願 2012-203464、2012年(平成24年)9月14日
6. FZD10 結合性ペプチド、飯森祐介、山形瑞恵、塩野智隆、芝清隆、HOYA 株式会社/公益財団法人がん研究会、特願 2012-093982、2012年(平成24年)4月17日
7. 被検査物質の電気的検出方法、浦岡行治、鄭 彬、鈴木警吾、桐村浩哉、奈良先端科学技術大学院大学、シスメックス、2011/4/22、2011-096341
8. FZD10 結合性ペプチド、飯森祐介、山形瑞恵、塩野智隆、芝清隆、特願 2011-117411、

2011 年(平成 23 年)5 月 25 日

9. IGF-1R 結合性ペプチド、飯森祐介、山形瑞恵、塩野智隆、芝清隆、HOYA 株式会社/公益財団法人がん研究会、特願 2011-117411、2011.5.25
10. 単一金属酸化物ナノ粒子による抵抗変化メモリおよびその作製方法、浦岡行治、上沼睦典、奈良先端科学技術大学院大学、2010/02/23、特願 2010-037728
11. 金属ナノ粒子の選択配置方法、浦岡行治、山下一郎、鄭 彬、渡部平司、奈良先端科学技術大学院大学、大阪大学、2010/6/14、2010-134731
12. 融合タンパク質、井之上一平、浦岡行治、山下一郎、安枝寿、味の素株式会社、2010/12/22、2010-286470
13. 無機ナノ材料内包タンパク分子の2次元配置方法、磯野吉正、花崎逸雄、浦岡行治、山下一郎、神戸大学、奈良先端科学技術大学院大学、2010/3/9、2010-052413
14. 半導体記録素子製造方法、是津信行、細井卓治、山村和也、国立大学法人大阪大学、2009/7/302009-178350
15. 金属ナノ粒子を有する抵抗変化型メモリ、浦岡行治、上沼睦典、奈良先端科学技術大学院大学、特願 2009-246476、2009.10.207

② 海外出願

1. PEPTIDES THAT BIND TO EPITHELIAL CELL ADHESION MOLECULE、芝清隆、國分克寿、菅加奈子、PCT/JP2013/074655、2013.9.12
2. FZD10-BINDING PEPTIDE、飯盛祐介、山形瑞恵、塩野智隆、芝清隆、PCT/JP2013/060465、2013.4.5
3. IGF-1R-BINDING PEPTIDE、飯盛祐介、山形瑞恵、塩野智隆、芝清隆、PCT/JP2012/062092、2012.5.11
4. FUSION PROTEIN、井之上一平、山下一郎、鄭彬、安枝寿、浦岡行治、石河泰明、PCT/JP2011/079529、2012.12.20
5. FUSION PROTEIN、井之上一平、山下一郎、鄭彬、安枝寿、浦岡行治、石河泰明、US201313923974、2013.10.16
6. FUSION PROTEIN、井之上一平、山下一郎、鄭彬、安枝寿、浦岡行治、石河泰明、11851347.2、2011.12.20
7. FUSION PROTEIN、井之上一平、山下一郎、鄭彬、安枝寿、浦岡行治、石河泰明、KR20137018900、2011.12.20

(5)受賞・報道等

① 受賞

1. Keisuke Kado、Student Paper Award、IEEE/IMFEDK 2013、“Evaluation of TaO_x Nanoparticles for Resistive Random Access Memory”、2013.7
2. Haruka Yamasaki、Best Paper Award、IDW/AD’12、“The Influence of New SiN_x Gate Insulator in a-InGaZnO Thin Film Transistors”、2012.12
3. Emi Machida、Best Paper Award、IDW/AD’12、“Super Low-Temperature Formation of Polycrystalline Silicon Films on Plastic Substrates by Underwater Laser Annealing”、2012.12.
4. Tatsuya Hashimoto、The 5th International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology、Best Poster Award、October、2012.
5. Emi Machida、Best Poster Award、IEEE/AMFPD12、“Crystallization to Polycrystalline Silicon Films by Underwater Laser Annealing and Its Application to Thin Film Transistors”、2012.7
6. Yumi Kawamura、Student Paper Award、IEEE/AMFPD12、“Effects of Gate

- Insulator on Thin Film Transistor with ZnO Channel Layer Deposited by Plasma Assisted Atomic Layer Deposition”、2012.7
7. Mami Fujii、IEEE/SSDM2010、Young Researcher Award、“The Unique Phenomenon in the Amorphous In-Ga-ZnO TFTs Degradation under the Dynamic Stress”、September、2010.9
 8. Yumi Kawamura、Student Award、IEEE/IMFEDK 2011、“Effect of post thermal annealing of ZnO-TFTs by atomic layer deposition”、May、2011.
 9. Yasuhiro Kakihara、Student Award、IEEE/IMFEDK 2011、“Application of Endohedral Iron-oxide Ferritin to Resistive Memory”、May、2011.
 10. Yosuke Tojo、Student Award、IEEE/IMFEDK 2010、“Location Controls of Crystallized Areas in Silicon Films Utilizing Cage Shape Protein”、May、2010.
 11. Kosuke Ohara、Student Award、IEEE/IMFEDK 2009、“Floating Gate Memory Devices Based on Ferritin Nanodots on High-k Gate Dielectrics”、May、2009.
 12. C. Yoshimoto、Young Researcher Best Poster Awards、5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium、September 2009.
 13. 山崎はるか、第 74 回応用物理学会講演奨励賞、2013 年 10 月
 14. 富川崇、熊谷慎也、山下一郎、浦岡行治、佐々木実、2013 年 第 74 回 応用物理学会 秋期学術講演会 Poster Award、“Ni フェリチンを利用した Si 薄膜カンチレバー振動子の均一結晶化”
 15. 渡部平司、第 7 回日本学士院学術奨励賞、日本学士院、2011 年 3 月
 16. 渡部平司、第 7 回日本学術振興会賞、日本学術振興会、2011 年 3 月
 17. 堀田昌宏、第 56 回応用物理学会講演奨励賞、2009 年 10 月
 18. 橋元達也、第 25 回応用物理学会講演奨励賞、2009 年 3 月
 19. 橋元達也、第 14 回ゲートスタック研究会・服部賞(若手奨励賞:プロセス部門)、2009 年 1 月

②マスコミ(新聞・TV等)報道

プレスリリース

- (1) 平成23年7月25日“**世界初！ タンパク質を使うバイオ技術で半導体メモリを作製**” 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 情報機能素子科学研究室の浦岡行治 教授と同大学 同研究科 メゾスコピック科学研究室の山下一郎 教授らの研究グループは、バイオ技術を用いて作製した超高密度のナノ粒子を含むフローティングゲートメモリを動作させることに世界で初めて成功した。ナノメートルサイズの微細構造を作製する技術として、遺伝子工学に基づきタンパク質を使うバイオ技術と半導体微細加工技術とを融合させたものであり、ナノ製造技術の新しい潮流と位置づけられる。この技術により高密度化が進む半導体回路の課題である高速・低消費電力をクリアするとともに、巨大設備がいないバイオの技術により低コストで大量生産する道が開ける。
- (2) 平成 21 年 11 月 26 日“**世界初！ バイオ技術で新メモリの動作に成功**”インターネット社会が発展するに伴い、膨大なデータを素早く記憶処理する超高密度で高性能の次世代半導体メモリの開発が求められている。奈良先端科学技術大学院大学(学長:磯貝彰)物質創成科学研究科の浦岡行治教授、上沼睦典助教らの研究グループは、山下一郎教授らの研究グループとともに、電源を切ってもデータを失わない抵抗変化型のメモリについて、世界で初めてバイオ技術によりナノ粒子を含ませる形で高密度化して作製し、次世代新メモリにふさわしい高性能で動作させることに成功した。

1. 日刊工業新聞「CNT 密度を自在に制御」2009 年 9 月 10 日
2. 日刊工業新聞「電子を閉じ込めるナノ粒子」2009 年 10 月 8 日
3. 科学新聞「CNT 密度自在に」2009 年 10 月 30 日
4. 日経産業新聞「次世代メモリ ReRAM たんぱく質使い作製」2009 年 11 月 27 日
5. 科学新聞「バイオ技術で新メモリー」2009 年 12 月 11 日
6. 日刊工業新聞「100 倍超に大容量化、バイオ技術を応用」2009 年 12 月 28 日
7. 科学新聞「抵抗変化型メモリ大容量化」2010 年 2 月 19 日
8. 毎日新聞「未来の講義」平成 23 年 7 月 12 日
9. 日刊工業新聞「たんぱくでナノ粒子三次元配置」平成 23 年 8 月 8 日
10. 日本経済新聞「たんぱく質使い半導体メモリー」平成 23 年 8 月 8 日
11. 産業経済新聞「たんぱく質立体化で高機能半導体」平成 23 年 8 月 8 日
12. 化学工業日報「超高密度の半導体メモリ」平成 23 年 8 月 23 日
13. 科学新聞「タンパク質使うバイオ技術で超高密度半導体メモリ作製」平成 23 年 8 月 26 日
14. マイナビニュース NAIST、液体プロセスで酸化物半導体で電子移動度 19.5cm²/Vs を実現 2013.4.18
15. 産経新聞 サムスン衝撃—IGZO 性能を倍増、省エネ製造方法 奈良先端大 平成 25 年 5 月 12 日
16. 化学工業日報 朝刊「低温焼成で TFT 動作」平成 25 年 5 月 13 日
17. 産経新聞 “EV 5 倍以上走れます”、平成 25 年 10 月 16 日
18. 日刊工業新聞 “たんぱく質で電極作製”平成 26 年 3 月 24 日

(6)成果展開事例

①社会還元的な展開活動

- (1) 本取り組み内容を、京都府中小企業技術センターで、地元の企業経営者に向けて発信した。(平成 25 年 10 月 9 日)
- (2) イノベーションジャパン 2011・大学見本市(東京・有楽町)にて、本研究成果を発信した。(平成 23 年 9 月 21-22 日)

§6 研究期間中の活動

6.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 23 年 10 月 17-18 日 (予定)	バイオナノプロセスシンポジウム(寒川チーム)と合同	東京大学	50 名	研究成果の発信
平成 21 年 8 月 10-11 日	CRSET 一泊研修(非公開)	湯河原	32 名	チーム内の共同研究の推進及びメンバーのための勉強会
平成 22 年 8 月 5-6 日	CRSET 一泊研修(非公開)	湯河原	30 名	チーム内の共同研究の推進及びメンバーのための勉強会
平成 23 年 8 月 4-5 日	CRSET 一泊研修(非公開)	湯河原	27 名	チーム内の共同研究の推進及びメンバーのための勉強会

平成 24 年 8 月 4-5 日	CRSET 一泊研修(非公開)	湯河原	32 名	チーム内の共同研究の推進及びメンバーのための勉強会
平成 25 年 8 月 9-10 日	CRSET 一泊研修(非公開)	熱海	35 名	チーム内の共同研究の推進及びメンバーのための勉強会

§7 最後に

本研究チームは、6 つのグループから構成されており、各々のグループに、多くの研究員や学生メンバーに参画してもらった。そこで、研究の計画や方向性を確認しあうこと、グループを超えた共同研究を推進すること、さらに、メンバーの基礎知識の向上を目指して、毎年夏に一泊の研修会を開いてきた。

写真は最終回(5 回目)の研修会での集合写真である。研究総括の曾根先生、領域アドバイザーの清水先生、研究領域マネジャーの辻さんにも参加いただき、講演やご指導をいただいた。さらに、海外の研究者や企業の共同研究者をゲストに迎え、特別講演を行っていただくなど、盛りだくさんの内容で、活発な議論が行えた。このような機会を通して、研究開始時には予定していなかった新しい研究テーマが芽生え、研究成果につながったものと考えている。また、研究グループの代表者間だけでなく、研究員同士、学生同士のネットワークが構築され、このつながりをベースとして新しい芽が育っていくことを期待している。



第5回夏の一泊研修会(平成 25 年 8 月 9-10 日)の集合写真

チームの研究の方向性の確認と共同研究促進、メンバーの研修を目的として、毎年、夏に一泊研修会を実施した。曾根総括や清水アドバイザーにも参加いただき、有意義な議論を行った。