

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25706012

研究課題名(和文) バイオ・ナノ界面における電氣的相互作用の探索

研究課題名(英文) Investigation of electrical interactions between biomolecules and nanomaterials

## 研究代表者

早水 裕平 (Hayamizu, Yuhei)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80443216

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、グラフェンや二硫化モリブデンに代表される2次元ナノシートを基板として使用し、その表面にペプチドの自己組織化構造を形成することによる、生体分子とナノシートの間の電氣的相互作用について理解することを目的とした。まず、2次元ナノシート上におけるペプチドの自己組織化機構を理解するため原子間力顕微鏡を用いた観測を重点的に行なった。その結果、ペプチドの表面への吸着、拡散、自己組織化の各表面過程を分離して観測に成功した。続いて、二硫化モリブデンのトランジスタ構造を用いた光電気計測を行い、ペプチドによるナノシート内の電子状態への影響を調査し、ペプチドによるナノシートへの化学ドーピングが観測された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was to understand the electrical interactions between biomolecules and 2-dimensional nanosheets by using peptides and layered materials such as graphene and MoS<sub>2</sub>. First, we have focused on understanding the fundamentals of peptide self-assembly on nanomaterials. Especially, the self-assembly of graphite binding peptides has been investigated comprehensively. Then, the electrical interactions between peptides and nanosheets have been investigated using MoS<sub>2</sub> FETs. The observations indicate that chemical doping by peptides on 2D nanosheets plays a significant role for the modification of the electrical and optical properties of 2D nanosheets.

研究分野：生体分子と固体の界面科学

キーワード：ナノシート ペプチド 自己組織化 グラフェン 二硫化モリブデン

### 1. 研究開始当初の背景

固体表面における生体材料の研究は、固体の生体親和性の制御を目指して、再生医療の分野において広くなされてきた。また、生体材料によって修飾された電極を用いたバイオセンサ等の分野が幅広く研究されている。中でも、タンパク質は自己組織化、分子認識、高次構造体形成と様々な機能を有し、生命活動に欠かせない物質の一つであり、国内外で広く研究が進められている。タンパク質の多様な機能と固体表面での相互作用のメカニズムを微視的に理解し、制御することが可能になれば、所望のバイオ・固体界面の作製が可能となり、さらには、電子状態をナノスケールで制御したバイオナノセンサーの開発が可能となる。固体表面でのたんぱく質/ペプチドの自己組織化についての研究は、これまで広く行われ近年ではタンパク質/ペプチドをエネルギー分野やエレクトロニクスと融合する研究が始まっている。さらに、ヨーロッパや中東では自己組織化したたんぱく質/ペプチドの三次元構造の形成について精力的に研究が進んでいる。

### 2. 研究の目的

これまでの研究は、タンパク質の固体表面における自己組織化を力学的もしくは熱力学的な手法で理解するものに集中し、タンパク質の電子状態と固体表面の電子状態を考慮したバイオ・固体界面の基礎研究は希少であった。特に、タンパク質を構成するアミノ酸は天然中に20種もあるにもかかわらず、現状では、数個のアミノ酸を単純に組み合わせた繰り返し構造によって、より大きな構造を形成する技術が主であり、種々のアミノ酸を駆使し、より複雑で高次の構造や機能を有する界面の設計は行われておらず、たんぱく質の秘めている可能性を全て引き出しているとは言えない。

天然中では、特定のアミノ酸、もしくは、複数のアミノ酸と固体表面が同時に相互作用することによって自己組織化が行われていると考えられる。それを模倣するには、天然の表面吸着タンパク質(アミノ酸配列が100個以上)の向きや構造の理解は非常に困難で、その電子状態を理解することは、さらに困難であり、次のステップに進むには、電子状態を制御可能な固体表面と、アミノ酸配列が比較的少なく且つタンパク質の多様性を併せ持ったシステムを用いて電子状態を制御する研究が求められる。

本研究では、上記の問題を解決するため、電子状態を制御しやすいグラフェンに代表されるナノシート上に、アミノ酸10個程度からなる機能性ペプチドの周期的ナノ構造を足場として用いて、タンパク質の位置や配置を制御した生体分子ナノ構造体を形成し、それらをエレクトロニクスの要素として活用することを目指した研究を行った。

高い比表面積や特異な電気特性を持った

ナノシートの原子平坦表面にペプチドの長周期ナノ構造を作製し、これまでのランダムな構造に比して、高次の秩序を有した構造のバイオ・ナノ材料界面は、その物理現象の観測を、より正確に行うことを可能にする。また、ナノシートは周囲の変化に非常に敏感であることから、その表面上のタンパク質の自己組織化は、新規バイオセンサ開発の核心となることが期待される。センサー表面のプロブ分子やタンパク質を2次元、もしくは3次元的に配置することが可能になれば、センサーの感度や効率の大幅な向上が期待される。本研究によって得られる知見によって、これまで、包括的に理解されていたとは言えないバイオ・固体界面の科学が前進し、これまでにない機構を有するバイオナノセンサー、例えばナノ空間に複数のバイオ探針を複合的に使用する高次のセンサーなどの開発が可能となると考えられる。

### 3. 研究の方法

本研究では、この機構を理解するため、グラフェンの仲間である様々なナノシートを使用する。特に、グラフェンが金属であるのに対して、直接型半導体である $\text{MoS}_2$ (二硫化モリブデン)の単一層は、電気注入や光励起によって発光するので、ナノシートとペプチドの相互作用によって生じる電子状態をエネルギーレベルで調査するのに適した材料である。また、グラフェンの仕事関数が4.6eV程度であるのに対して、 $\text{MoS}_2$ は4.7eV程度と、電気化学的な特徴として重要な化学ポテンシャルに近い材料である。さらには、 $\text{MoS}_2$ の半導体特性は、バイオセンサ応用により適している。最近の研究から、吸着分子によって $\text{MoS}_2$ の発光特性を変調することが報告されている。これらのメカニズムを、ペプチドに利用しその機構を理解するため、本研究では、アミノ酸配列を変化させた種々のペプチドを用いて、ペプチドと $\text{MoS}_2$ の相互作用がどのアミノ酸を経由して行われているのかを伝導測定、発光測定、ナノプローブを用いて複合的に実験調査した。また理論計算も並行して推進する。最終的にはペプチド・ナノシート間の電荷移動もしくは電荷カップリングの機構を明らかにすることを目指した。

### 4. 研究成果

研究目的を達成するために、まず、バイオインフォマティクスや遺伝工学的手法を用いたペプチドの設計・開発を専門とするアメリカの共同研究者と協力して、新たなペプチドのデザインおよび合成を行い、本研究目的に適したペプチドの開発を行った。さらに、走査プローブ顕微鏡を用いた液中でのペプチドの自己組織化の“その場”観察、そして、電気化学的手法を用いたバイオ・ナノ界面の特性評価、また、ナノ材料の電気伝導測定、さらには、これらと光学測定を組み合わせた研究を用いた。これらの手法により、ペプチ

ド・ナノ材料間のエネルギー移動機構および電子状態を理解し、より効率的に電子状態を制御する方法を探索した。

### (1) ペプチド自己組織化機構の理解

様々なナノシート表面上での超分子構造を形成するペプチドを、新たなアミノ酸配列を設計することによって探索した。研究の成果として、グラフェンのみならず、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、二セレン化モリブデンなど、二次元ダイカルコゲナイドといわれる層状物質上で規則正しい構造へと自己組織化する種々のペプチドの開発に成功した。

これらのペプチドを使用し、液中原子間力顕微鏡による自己組織化現象の観察から、高空間分解の自己組織化ペプチドの顕微鏡観測が可能となった。これにより、ペプチド自己組織化構造の固体表面に於ける空間的周期性が理解された。また、ナノシートに熱化学合成法によりシリコン基板上に直接合成された単層二硫化モリブデンの単結晶を用いることにより、そのファセット面を目印としてペプチドナノ構造の二硫化モリブデン上の結晶方位を決定することに成功した。これらにより、ペプチド自己組織化構造と二硫化モリブデンの周期性の空間的なマッチングの結果、ペプチドが一定の結晶方位に自己組織化構造を形成していることが解った。

### (2) 水溶液中で安定なペプチド自己組織化構造の開発

これまでに使用したペプチドは、ファージ・ディスプレイ法と言われる遺伝工学的手法で実験的に選択されたアミノ酸配列を有するものであった。これらのペプチドは特定の固体に特異的な吸着を示すという点で有用なものであったが、一方でその自己組織化構造が電解質水溶液などのバイオセンサを使用する際の環境に置かれた場合に不安定になる問題を抱えていた。本研究では、この問題を解決するために、絹糸を構成するタンパク質の一つであるフィブロインのアミノ酸配列に注目し、その基本アミノ酸配列を使用した $\beta$ シート構造を形成するペプチドを用いて、ナノシート上に規則正しいペプチド自己組織化構造を形成することに成功した。このペプチドは、一旦自己組織化構造を形成すると、電解水溶液中で洗浄を行ってもその構造が変化しないことが原子間力顕微鏡による観測によって確認された。これにより、ペプチドを足場としてバイオセンサなどの液中で電気化学的な環境でナノシートとペプチドの電気的な相互作用を調査することが可能となった。

### (3) 大気中および液中におけるペプチドとナノシートの電気的相互作用

まず最初に、ナノシートの液中における

電気化学ポテンシャルを変調することにより、ペプチドの自己組織化にどのような影響が出るかを検証した。具体的には、電荷を有するアミノ酸を工学的に設計したペプチドを用意し、それらがグラファイト基板の電気化学的ポテンシャルに対してどのように応答し、その自己組織化構造を形成するかを調査した。その結果、アミノ酸の電荷の正負によって、著しく電気化学ポテンシャルに対する応答が変化することがわかった。

次に、異なる電荷を有するアミノ酸を付加したペプチドを新規合成し、グラフェンや二硫化モリブデンといったナノシート・トランジスタにどのような電気特性変調を来すかをペプチド自己組織化膜のモルフォロジーとトランジスタの電動特性をあわせて観測することによって検証した。

その結果、ペプチドの自己組織化の進展具合によって、敏感にナノシート・トランジスタの電気特性が変化することがわかった。特に、半導体ナノシートである二硫化モリブデンでは電気特性だけではなく、発光特性の変調を観測したことにより、ペプチドとナノシートの相互作用を多角的に観測することに成功した。

上記実験は、自己組織化完了後に乾燥した自己組織化膜の観測であったが、さらに液中でのペプチドの自己組織化の観測、そして電気特性の変調を観測した。液中では乾燥中と異なり、ナノシートの電気特性変調がより顕著にみられることがわかった。

より具体的には、単層二硫化モリブデンに吸着するペプチドによって、二硫化モリブデンからの発光スペクトルがどのように変調を受けるのかを検証した。異なる電荷を有するアミノ酸を有する2種類のペプチドを用意し、それらの吸着によって、発光スペクトルの変調の様子が異なることを発見した。詳細には、二硫化モリブデン中に光励起によって生成される自由励起子と荷電励起子の割合が、吸着するペプチドの種類によって異なり、また荷電励起子はペプチドの吸着によって空間的に束縛されていることが示唆される実験結果が得られた。トランジスタ構造をもつ二硫化モリブデンで同様の実験を行い、電気伝導特性と発光特性の両面からペプチドによる二硫化モリブデンの電子状態の変調について調査を行ったところ、ペプチドによって二硫化モリブデンに誘起する電子濃度の量に差異があることがわかった。またその傾向は、上記の荷電励起子の発光スペクトルから得られる発光エネルギーと相関を持っていることがわかった。この、液中での観測はバイオ・ナノ界面における電気的相互作用を理解する上で非常に重要なものであり、それに成功したことは今後の研究展開を拓げる意味で大きなステップとなる。

### (4) ペプチドを足場としたグラフェン・バイオセンサの実証

これまで開発したペプチドを足場として、ビオチンをペプチド自己組織化膜に結合することによって、アビジンを検出するグラフェン・バイオセンサの実証に成功した。滴下するアビジンの濃度に応じてグラフェン・トランジスタの伝導度が変化し、ラングミュアの等温吸着式によく合う結果が得られた。電気伝導度の変化から見積もられたアビジンとビオチンの結合系数は知られている値からかなり低い値となり、表面上でアビジンが結合可能なビオチンの有効数が比較的小さいことが原因として考えられる。実証には成功したものの、ビオチンなどのプローブが足場ペプチドと組み合わせで使用された場合の構造最適化は今後の課題である。

#### (5) 関連する発見

上記のペプチドとナノシートの電氣的相互作用を観測する手段を構築する過程で、液中で動作する二硫化モリブデンのトランジスタ構造の作製に注力した。そのデバイスの発光測定を行っていたところ、二硫化モリブデンの多層膜がレーザーによって液中で選択的に腐食する現象を発見した。この技術を用いて、多層膜から単層膜を形成するレーザー加工技術を構築することができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文] (計7件)

1. K. Sunamura, T. R. Page, K. Yoshida, T. Yano and Y. Hayamizu, "Laser-induced electrochemical thinning of MoS<sub>2</sub>" J. Mater. Chem. C, 4, 3268-3273 (2016). 査読有
2. T. A. Yano, K. Yoshida, Y. Hayamizu, T. Hayashi, F. Ohuchi, & M. Hara, "Probing edge-activated resonant Raman scattering from mechanically exfoliated 2D MoO<sub>3</sub> nanolayers" 2D Materials, 2(3), 035004 (2015). 査読有
3. 磯田盛夫, 早水裕平. "グラファイト表面におけるペプチド自己組織化単分子膜の熱力学的評価." 表面科学 36.9 (2015): 480-485.
4. D. Khatayevich, T. Page, C. Gresswell, Y. Hayamizu, W. Grady, and M. Sarikaya, "Selective detection of target proteins by peptide-enabled graphene biosensor" Small 10 (8), 1505-1513 (2014) 査読有
5. Y. Wang, Y. Hayamizu, and H. Akiyama, "Spectroscopic study of firefly oxyluciferin in enzymatic environment on the basis of stability monitoring" J. Phys. Chem. B 118, 2070-2076 (2014) 査読有
6. S. Chen, M. Yoshita, A. Ishikawa, T. Mochizuki, S. Maruyama, H. Akiyama, Y.

Hayamizu, L. N Pfeiffer, K. W West, "Intrinsic radiative lifetime derived via absorption cross section of one-dimensional excitons" Scientific Reports 3 1941 (2013). 査読有

7. T. Yamada, Y. Yamamoto, Y. Hayamizu, A. Sekiguchi, H. Tanaka, K. Kobashi, D. N. Futaba, and K. Hata, "Torsion-Sensing Material from Aligned Carbon Nanotubes Wound onto a Rod Demonstrating Wide Dynamic Range", ACS Nano, 7, 3177-3182 (2013). 査読有

##### [学会発表] (計39件)

1. 2016/2/17 Yuhei Hayamizu "Engineering Bio-Nano Interfaces on 2D Nanomaterials by Self-Assembled Peptides" TMS 2016, Nashville TN. (依頼講演)
2. 2015/11/27 Yuhei Hayamizu "Engineering of Self-Assembled Peptides on Two-Dimensional Nanomaterials" Sweden-Japan Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation, Stockholm, Sweden. (依頼講演)
3. 2015/11/17 Yuhei Hayamizu "Engineering of bio-nano interfaces on 2D nanomaterials by self-assembled peptides" Uppsala-Tokyo tech Joint Symposium, Ookayama Tokyo. (依頼講演)
4. 2015/7/2 Yuhei Hayamizu "Engineering of Bio-Nano Interfaces on 2D Nanomaterials by Self-Assembled Peptides" 12<sup>th</sup> International Conference Advanced Carbon Nanostructures (ACNS2015), Saint-Petersburg, Russia. (依頼講演)
5. 2015/6/4 Yuhei Hayamizu "Engineering of bio-nano interfaces on 2D nanomaterials by self-assembled peptides" International Symposium on Intercalation Compounds (ISIC18), Strasbourg, France. (依頼講演)
6. 2014/12/9, Yuhei Hayamizu BI-TuM-1, "Engineering of Bio-Nano Interfaces with Self-Assembled Peptides", Pacsurf2014, Hawaii, USA. (依頼講演)
7. 2016/3/30, "Crystallographic Orientation of Self-Assembled Peptides on CVD MoS<sub>2</sub> Single Crystal", Linhao Sun, Kohei Sakuma, Shohei Tsuchiya, Hiroto Fukata, Mehmet Sarikaya, and Yuhei Hayamizu, SM4.2.08 Materials Research Society (MRS2016 March meeting) Phoenix Arizona. (Oral)
8. 2016/3/30, "In Situ Observation of Fluorescent-Tagged Peptides Diffusing on Boron Nitride by Single Molecule Tracking", Peiyang Li, Shuzo Hirata, Martin Vacha, Mehmet Sarikaya, and Yuhei Hayamizu, SM4.2.09 Materials Research Society (MRS2016 March meeting)

- Phoenix Arizona. (Oral)
9. 2016/2/17 “An Electrochemical Approach to Control Surface Behavior of Peptides Self-assembling on Graphite”, Takakazu Seki, Christopher So, Tamon Page, Yuhei Hayamizu and Mehmet Sarikaya, TMS2016, Nashville TN. (Oral)
  10. 2016/2/17 “Thermodynamic Characterization of Self-Assembled Peptides on Graphite”, Shohei Tsuchiya, Morio Isoda, Mehmet Sarikaya, and Yuhei Hayamizu, TMS2016, Nashville TN. (Oral)
  11. 2015/11/30, “The Effect of Temperature on Self-Assembled Peptide at Water-Graphite/MoS<sub>2</sub> Interface” Linhao Sun, Morio Isoda, Mehmet Sarikaya, and Yuhei Hayamizu, M3.22 Materials Research Society (MRS2015 Fall meeting) Boston MA. (Oral)
  12. 2014/1/25, “Modification of graphene conductivity by self-assembled peptides”, Yuhei Hayamizu and Mehmet Sarikaya, The 14th International Symposium on Biomimetic Materials Processing (BMMP-14) Takayama, Gifu (Poster).
  13. 2014/2/1, F5.31 “Self-Organized Peptides on 2-Dimensional Nanomaterials”, Yuhei Hayamizu, Christopher R So, Sefa Dag, Tamon R Page, David Starkebaum, and Mehmet Sarikaya, 2014 MRS fall meeting, Boston, Massachusetts, USA, (Poster)
  14. 2013/9/12, Modification of graphene conductivity by self-assembled peptides, Y. Hayamizu and M. Sarikaya, 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research, Ookayama, Tokyo (Poster)
  15. 2013/9/12, Modification of photoluminescence in a single-layer MoS<sub>2</sub> by self-assembled peptides, T. Page, Y. Hayamizu and M. Sarikaya, 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research, Ookayama, Tokyo (Poster)
  16. 2015/9/15 「2次元ナノ材料上で規則正しく自己組織化するペプチド」 早水裕平 第64回高分子討論会 宮城県仙台市 東北大学 (依頼講演)
  17. 2015/8/5 「2次元ナノ材料上で自己組織化するペプチドによるバイオ・ナノ界面」早水裕平 光科学異分野横断萌芽研究会 蒲郡 愛知県 (依頼講演)
  18. 2015/4/3 「2次元ナノ材料上のペプチド自己組織化~バイオ・エレクトロニクス界面の物性」早水裕平 機能物性融合科学研究会 東京大学物性研究所 千葉県柏市(依頼講演)
  19. 2015/3/5 「2次元ナノ材料に自己組織化するペプチドの顕微イメージング」早水裕平 日本光学会 ナノオプティクス研究 G 研究討論会 山梨県甲府市 山梨大学(依頼講演)
  20. 2013/11/12, 機能性ペプチドとナノマテリアルを用いたバイオ・ナノ界面の制御, 早水裕平, 物性研究所 平成 25 年度後期短期研究会 千葉県柏市 (依頼講演)
  21. 2013/10/18, 自己組織化ペプチドによる2次元ナノ材料の顕微分光, 早水裕平, 第78回表面科学研究会 ナノスケールの振動分光の最前線 東京 大岡山 (依頼講演)
  22. 2013/8/2, 機能性ペプチドとナノマテリアルを用いたバイオ・ナノ界面の制御, 早水裕平, 関東高分子若手研究会サマーキャンプ 勝浦 千葉県 (依頼講演)
  23. 2013/4/13, グラフェン上の自己集合ペプチドによるバイオセンシングに向けた界面状態の制御, 早水裕平, 第249回新規事業研究会 東京 大岡山 (依頼講演)
  24. 2013/2/15, 機能性ペプチドとナノマテリアルを用いたバイオ・ナノ界面の制御, 早水裕平, 分子ナノテクノロジー研究会 京都 (依頼講演)
  25. 2016/3/19 佐久間洸平、深田拓人、早水裕平 「2次元材料表面においてβシート構造を形成する新規機能性ペプチドの開発」応用物理学会 春季学術講演会 大岡山 東京 19a-W323-1
  26. 2016/3/19 増島弘顕、細川竜平、早水裕平、道信剛志 「ボロン酸基を側鎖に有するポリマーを用いたグラフェン・グルコースセンサーの開発」応用物理学会 春季学術講演会 大岡山 東京 19a-W323-9
  27. 2015/12/1 佐久間洸平、深田拓人、早水裕平 「2次元材料表面において自己組織化するβシート型機能性ペプチドの開発」表面科学学術講演会、茨城県つくば市 つくば国際会議場、1Ca03S
  28. 2015/12/1 関 貴一、Page Tamon, 早水裕平 「電気化学的なバイアスによるペプチドの自己組織化挙動の制御」表面科学学術講演会、茨城県つくば市 つくば国際会議場、1Ca04S
  29. 2015/10/26 増島 弘顕、大西 知子、早水 裕平 ”層状物質上におけるグラファイト 結合ペプチドの膜安定性と非特異吸着防止効果の評価” 生物工学会 鹿児島 島、1P-278
  30. 2015/10/26 大西 知子、増島 弘顕、田中 祐圭、大河内 美奈、早水 裕平 ”乳酸菌と親和性を持つグラフェン結合ペプチドの評価 生物工学会 鹿児島、1P-279
  31. 2015/9/15 土屋匠平、磯田盛夫、Mehmet Sarikaya、早水裕平、"界面非平衡系におけるグラファイト吸着ペプチドのモルフロジー変化" 応用物理学会、名古屋

- 屋,15a-2A-4
32. 2015/9/15, 関貴一, Tamon Page, 早水裕平, "電気化学的なバイアスによるペプチドの自己組織化挙動の制御", 応用物理学会, 名古屋, 15a-2A-5
  33. 2015/9/15, 李佩瑩, 野田紘志, 平田修造, Martin Vacha, Mehmet Sarikaya, 早水裕平, "蛍光一分子追跡法を用いた窒化ホウ素上を拡散するペプチドのその場観測", 応用物理学会, 名古屋, 15a-2A-6
  34. 2014/9/18, [18p-B1-16] "グラフェンにおける化学ドーピングと有機分子の仕事関数との相関" 増島弘顕, 森健彦, 早水裕平 (東工大院理工), 第75回応用物理学会秋季学術講演会、北海道キャンパス、口頭発表
  35. 2014/9/19, [19p-A3-11] " 蛍光修飾した自己組織化ペプチドのその場観察" 李佩瑩, 野田紘志, 平田修造, Martin Vacha, Mehmet Sarikaya, 早水裕平, 第75回応用物理学会秋季学術講演会、北海道キャンパス、口頭発表
  36. 2014/9/19, [19p-A3-16] " ペプチド修飾された MoS<sub>2</sub>FET の液中電気特性評価" 砂村海斗, Tamon Page, Mehmet Sarikaya, 早水裕平, 第75回応用物理学会秋季学術講演会、北海道キャンパス、口頭発表
  37. 2014/9/19, [19p-A3-10] " The crystallographic orientation of self-assembled peptides on CVD-grown MoS<sub>2</sub> single crystal" Linhao Sun, Fukata Hiroto, Peiyang Li, Mehmet Sarikaya, Yuhei Hayamizu, 第75回応用物理学会秋季学術講演会、北海道キャンパス、口頭発表
  38. 2014/11/7, "二次元材料上におけるペプチド自己集合の温度依存性" 磯田盛夫, 深田拓人, 早水裕平, 第34回表面科学学術講演会、松江・島根県立産業交流会館、口頭発表
  39. 2014/11/7, "二次元材料上において安定な単分子膜を形成する新規架橋性ペプチドの開発" 深田拓人, 早水裕平, 第34回表面科学学術講演会、松江・島根県立産業交流会館、口頭発表

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：自己組織化ペプチド及びその利用

発明者：早水裕平 深田拓人

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2015-81761

出願年月日：2015年1月14日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

早水 裕平 (HAYAMIZU, Yuhei)