

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25600096

研究課題名(和文) グラフェンナノ細孔分子ゲートデバイスによるタンパク質単分子検出

研究課題名(英文) Detection of protein molecules by graphene nanopores for molecular gates

研究代表者

荻野 俊郎 (Ogino, Toshio)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70361871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：グラフェンナノ細孔を用いる分子ゲートデバイスの実現へ向けて、原子間力顕微鏡による制御性の極めて優れたナノ細孔形成技術を確立した。キーとなるアイデアは、Agコート探針をグラフェンに接触させ、通電により発生するジュール加熱とAgの触媒作用によってグラフェンを酸化することである。タッピングモードにおいて、探針の最も低い位置を一定として反応を自己停止させ、再現性良く探針形状に応じた細孔を形成することに成功した。シャープな探針の採用により、20nm程度の細孔も指定した位置に形成できる。また、高分子ポリマーを生体分子に見立て細孔を通過するときのイオン電流のドロップを観測した。

研究成果の概要(英文)：Toward realization of a graphene nanopore gate device, we have established a new technique for nanopore fabrication on graphene sheets using atomic force microscopy (AFM). An Ag-coated AFM tip taps the graphene sheet surface and simultaneously the graphene sheet is locally heated around the contact area of the tip by a current between the tip and the graphene surface. By this Joule heating, the graphene sheet reacts with oxygen in the atmosphere and vaporized, resulting nanopore formation. By keeping the lowest position of the tip during the tapping, the reaction is automatically stopped. Using a super-sharp tip, pores as small as 20 nm has been successfully fabricated. In nanopore devices, we have detected drop-peaks in ion current using polymer beads as model biomaterials.

研究分野：総合理工

キーワード：表面・界面物性 グラフェン加工 ナノ細孔 分子ゲート 生体分子

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

タンパク質を分離・検出する技術に対する要求は、生命科学や医療を中心にますます高まっている。とりわけ、微量サンプルから高効率で短時間で分離する技術は、プロテオームと呼ばれるタンパク質の網羅的な理解、再生医療、癌などの早期診断、等、幅広い領域で進展が望まれている。代表的なタンパク質分離技術として電気泳動法がある。これは、タンパク質を電界中におき、等電点の違いと質量による移動速度の差を利用して分離する方法である。この方法は確立されていて広く使われているが、微量分析が困難なこと、分離に時間がかかること、分離後の検出・同定が煩雑なこと、などの欠点があった。一方、DNAの塩基配列を解析する技術として、ナノスケールの細孔(通称ナノポア)を用いて一本のDNAから配列を直接読み取る手法が提案されている。しかし、この方法をタンパク質に応用するには、様々な大きさや電荷をもつタンパク質分子に適用する細孔形成技術が必要であり、これまでほとんど試みられていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、グラフェンナノ細孔を用いる分子ゲートの開拓と、固体表面への生体分子の選択的吸着に基づく分子の検出により、生体分子を溶液空間中で認識し固体表面で単分子レベルまで検出する生体分子ゲートデバイスを実現することを目的とした。

この目標へ向けての基盤技術として、グラフェンのナノ細孔加工技術、グラフェン表面の分子修飾、異なる化学的性質を示すドメインに相分離した固体表面での分子識別、ゲートデバイスの設計と試作、等が挙げられる。本研究では、特に中枢的な役割を担うグラフェンナノ細孔形成技術に重点をおき、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy, AFM)による制御性の極めて優れたナノ細孔形成技術を実現した。

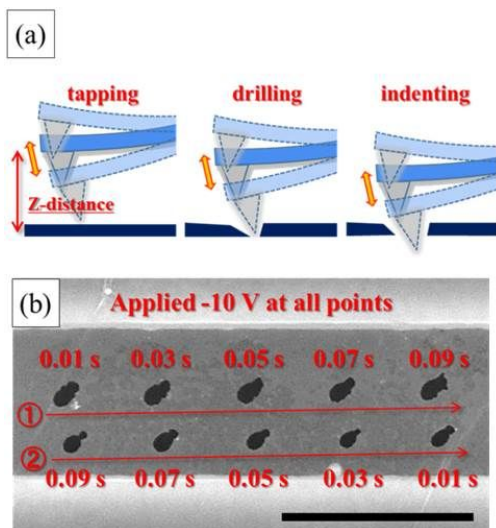


図1. 銀微粒子をコーティングしたAFM探針による架橋グラフェンの加工。(a) AFM探針の位置(高さ)制御、(b) 架橋グラフェンの細孔形成。

3. 研究の方法

本研究では、架橋したグラフェンにナノ細孔をあける方法として、銀(Ag)の触媒作用を用いて銀微粒子と接した部分でグラフェンが酸化され気化する方法を採用した。架橋グラフェンはCu触媒CVD法により成長させたグラフェン薄膜をSiパターン基板上に貼り合わせて作製した。用いた反応は大きく分けて、(1) 銀微粒子分散液の架橋グラフェン表面への塗布と大気中熱処理によるAg-グラフェン反応、(2) AgコートAFM探針からのAg微粒子形成と大気中(酸素雰囲気中)熱処理による反応、(3) Agコート探針をグラフェンに接触させ、通電させて発生するジュール加熱によって誘起される反応、の3種類である。以下、順に説明する。

(1) Ag微粒子分散

本方法により容易にAg微粒子をグラフェン表面に形成することができ、熱処理で細孔を形成することはできる。しかし、分散液を用いているため微粒子位置は全く制御できず、偶然に頼る方法であり、ナノ細孔ゲート形成には不向きであった。

(2) AgコートAFM探針からのAg微粒子形成

本方法では、AFM探針の位置を指定し、電界印可によってAg微粒子をグラフェン上に移すことは可能であった。しかし、指定した位置には多数のAg微粒子が堆積され、さらに熱処理中にその位置が移動することが判明し、最終的なナノ細孔位置は制御困難であると判断された。

(3) AgコートAFM探針とジュール熱による加工

最終的に本方法が最も優れていることが判明した。4. 研究成果にその詳細を述べる。

4. 研究成果

まず、AgコートAFMとジュール熱による加工について述べる。

AFMによる加工方法を探針位置に注目すると、図1(a)のように分類される。tappingは観察するときのモード、drillingは一定の高さに保って探針先端を接触させるモード、indentingは力を一定に保って探針を接触させるモードである。このうち、indentingは穴あけと同時に探針が押し込まれ、再現性良く穴開けができないため、drillingモードを採用した。次に、架橋グラフェンに通電加熱しながらdrillingモードで反応を誘起させて形成したナノ細孔の走査電子顕微鏡(scanning electron microscopy, SEM)像を図1(b)に示す。穴が真円ではないのは、AFM探針先端に二つの突起があるためであるが、逆に先端形状に忠実な加工が可能であることを示している。図2(a)~(c)に用いたAFM探針先端のSEM像を示す。本方法では、Ag探針は触媒であると同時にジュール熱発生機構も担うため、図2(c)のような探針が要求される。図2(d)は加工中の探針とグラフェンの位置関係で、タッピングモードの下端を一定にしているため、ある程度加工が進むと接触しなくなるため加工は停止する。

さらに安定してナノ細孔を形成するため特に鋭利な探針(super sharp tip)を採用し(図3(a)と(b)を比較)、ここまでの成果を盛り込んだ加工例を図3に示す。2層グラフェンに対しては図3(c)に示すように加工は行われるが、探針から分離したAg微粒子が1層目だけをエッチングしながら移動していることも観察される。一方、単層グラフェンに対しては図3(d)(e)に示すように真円のナノ細

孔が探針位置に形成される。

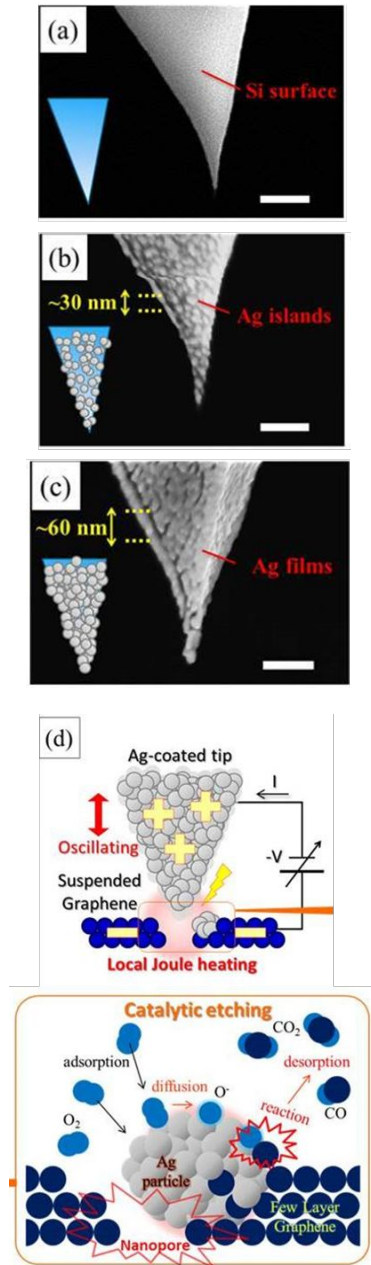


図2. グラフェンナノ細孔形成に用いたAgコート探針と加工原理。(1) Ag蒸着前の探針先端、(b) Ag蒸着量が不十分な先端、(c) ジュール熱を発生させることができるAgコート探針、(d)加工原理と反応過程。

以上からの、グラフェンゲートナノ細孔ゲートの最も基本となる細孔形成技術が確立された。

次にナノポアデバイスの基本確認について述べる。

図4にナノ細孔ゲートデバイスの動作確認の方法と結果を示す。動作確認は図4(a)に示すデバイスで高分子ビーズの通過を用い、図4(b)に示すようなドロップピークの発生を観測した。以上より、グラフェン分子ゲートデバイスへの基盤技術が確立された。

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13件)

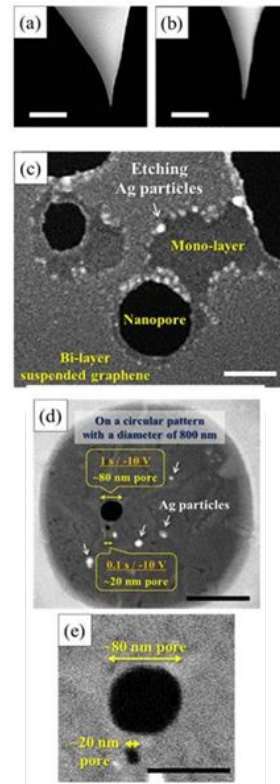


図3. 本研究のすべての要素を取り込んだナノ細孔形成結果。(a) 通常探針、(b) 特に鋭利な探針、(c) 2層グラフェンの加工の様子、(d)(e) 20nmまで縮小した加工。

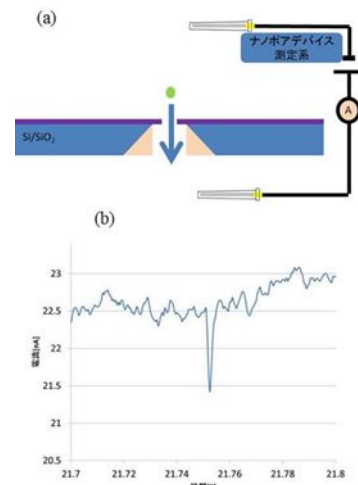


図4. ナノ細孔ゲート基本動作確認。(a) デバイス構造、(b) ドロップピーク。

1. D. Mashiyama, T. Tobe, T. Ogino, Nano-patterning of suspended graphene films by local catalytic etching using atomic force microscopy equipped with an Ag-coated probe, J. Phys. Chem.2015 .DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b00884
2. D. Yamaura, K. Takeuchi, Z. Lu, Y. Arai, T. Ogino, Height reversal of Si micro-dot and well patterns during Si nanowire formation by Ag-assisted chemical etching, Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 055203-1-5. DOI: 10.7567/JJAP.54.055203

3. T. Uehara, M. Yoshihara, T. Ogino, Morphological evolution from a rough to biphased surface on TiO₂(100)", *Appl. Surf. Sci.* 324 (2015) 499-504.
 4. F. Nakamura, K. Kumeta, T. Hida, T. Isono, Y. Nakayama, E. Kuramata-Matsuoka, N. Yamashita, Y. Uchida, K. Ogura, K. Gengyo-Ando, S. Mitani, T. Ogino, Y. Goshima, Amino and carboxyl terminal domains of Filamin-A interact with CRMP1 to mediate Sema3A-signaling, *Nat. Commun.* 5, 5325 (2014) 1-14. DOI: 10.1038/ncomms6325
 5. Y. Kamiya, K. Yamazaki, T. Ogino, Protein Adsorption to Graphene Surfaces Controlled by Chemical Modification of the Substrate Surfaces, *J. Colloid and Interface Science*, 431 (2014) 77-81. DOI: 10.1016/j.jcis.2014.06.023
 6. K. Yokota, A. Toyoki, K. Yamazaki, T. Ogino, Behavior of raft-like domain in stacked structures of ternary lipid bilayers prepared by self-spreading method, *Jpn. J. Appl. Phys.* 53 (2014)05FA11(1-5)pp. DOI: 10.7567/JJAP.53.05FA11
 7. T. Takami, T. Ito, T. Ogino, Self-Assembly of a Monolayer Graphene Oxide Film Based on Surface-Modification of Substrates and its Vapor-Phase Reduction, *J. Phys. Chem. C*, 118 (2014) 9009-9017. DOI: 10.1021/jp500797x
 8. K. Saito, T. Ogino, Direct Growth of Graphene Films on Sapphire (0001) and (11-20) Surfaces by Self-Catalytic Chemical Vapor Deposition, *J. Phys. Chem. C*, 118 (2014) 5523-5529. dx.doi.org/10.1021/jp408126e
 9. T. Takami, R. Seino, K. Yamazaki, T. Ogino, Graphene film formation on insulating substrates using polymer films as carbon source, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47 (2014) 094015 (7pp) DOI: 10.1088/0022-3727/47/9/094015
 10. K. Yamazaki, S. Kunii, T. Ogino, Characterization of Interfaces between Graphene Films and Support Substrates by Observation of Lipid Membrane Formation, *J. Phys. Chem. C* 117 (2013) 18913-18918. DOI: 10.1021/jp404458g
 11. K. Yamazaki, K. Shinke, T. Ogino, Selective adsorption of bilirubin against albumin to oxidized single-wall carbon nanohorns" *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 112 (2013) 103-107. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2013.07.064
 12. T. Kase, T. Ogino, Periodic strain in graphene sheets attached to a porous alumina membrane *J. Phys. Chem. C* 117 (2013) 15991-15995. DOI: 10.1021/jp4013834
 13. Y. Iida, K. Yamazaki, T. Ogino, Graphene nano-cutting using biologically derived metal nanoparticles, *CARBON*, 63 (2013)133-139. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.06.050
- 〔学会発表〕(計 55 件) 内招待講演 7 件、国際会議 29 件
国際会議招待講演
1. T. Ogino, Growth and Assembly of Graphene Thin Films on Insulating Substrates, 2nd Int. Conf. on Nanojoining and Microjoining, Dec. 7-10, 2014, Emmetten, Switzerland, [招待講演] 発表 Dec. 9, 2014.
 2. T. Ogino, "Surface Engineering of the Substrates for Graphene Film Fabrication and Applications", The 4th International Symposium on Graphene Devices (ISGD-4) (2014, Velleuve, 米国) [招待講演] 発表 August 23, 2014
 3. T. Ogino, T. Takami, Self-Shaping Deposition of Monolayer Graphene Oxide Flakes on Chemically Modified Surfaces, The Joint Symposium of 8th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 5th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, p. 15, Sendai, [招待講演]発表 March 5-2014
 4. T. Ogino, T. Takami, Self-Assembly of a Monolayer Graphene Oxide Film Based on Surface-Modification of Substrates, 7th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration", Jan. 27-28, 2014, Sendai.[招待講演]
 5. T. Ogino, K. Saito, Y. Iida, T. Kase, K. Yamazaki, Characterization of the Interfaces of Graphene Films on Sapphire Substrates and its Application to Bioelectronics, Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics 2013 Feb., Sendai [招待講演]発表 2013-2-28
 6. T. Ogino, K. Saito, Y. Iida, T. Kase, K. Yamazaki, Characterization of the Interfaces, Direct Growth and Patterning of Graphene Films on Sapphire Substrates, 6th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, 2013, Sendai. [招待講演]発表 2013-2-22
 7. T. Ogino: "Structural control of single-crystalline metal oxide surfaces toward bioapplications" KVS-JVS-SSSJ joint symposium on 19 February, The 44th Winter Conference of The Korean Vacuum Society, 2013 Pyongchang, Korea [招待講演]発表 2013-2-19
国際会議一般講演
 8. T. Ogino, K. Yokota, Type Classification of Exosome Adsorption to Solid Surfaces by Atomic Force Microscopy in Aqueous Environment, The Joint Symposium of 9th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 6th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, March 2-4 (2015, Sendai, Japan) 発表3-2-2015.
 9. D. Mashiyama, T. Ogino, Nanopatterning of Suspended Graphene Films by Local Catalytic Etching Using an Ag-Coated Atomic Force Microscopy Probe, The 22nd International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM22), (2014) S4-48, 発表 12-11-2014.
 10. T. Nakayama, A. Isobe, T. Ogino, Observation of selective adsorption of bio-molecules on polarization domain patterns on ferroelectric crystal surfaces, The 22nd International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM22), (2014) S7-3, 口頭発表 12-12-2014.
 11. B.D. Muhammad Zikri, H. Imai, R. Seino, T. Takami, T. Ogino, Control of Graphene Oxide Film Formation by Surface Modification of Substrates and the Morphological Changes during Methane-assisted Thermal Reduction, The 22nd International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM22), Atagawa, Shizuoka, (2014) S1-4, 口頭発表 12-11-2014.
 12. R. Seino, M. Zikri, D. Mashiyama, T. Ogino, Agglomeration Control of Catalyst Films by Patterned Substrate in Graphene Chemical Vapor Deposition, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 6PN-34, 発表11-6-2014.
 13. K. Ito, D. Yamaura, Z. Lu, T. Ogino, Fabrication of germanium nanostructures by wet chemical etching for lithium ion batteries, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 4PN-32, 発表 11-4-2014.
 14. D. Mashiyama, K. Yokota, R. Seino, M. Zikri, T. Ogino, Fabrication of Nanopores on Suspended Graphene Films Using Catalyst Nanoparticles Deposited by Atomic Force Microscopy, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 3pE1-4, 発表 11-3-2014.
 15. D. Yamaura, K. Ito, T. Ogino, Fabrication of Si nanostructures for anode material of lithium ion battery, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 3PN-57, 発表11-3-2014.
 16. T. Nakayama, A. Isobe, T. Ogino, Observation of spontaneous polarization domains on LiTaO₃ surfaces, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 3PN-29, 発表11-3-2014.
 17. K. Yokota, S. Matsumura, K. Suga, K. Shiba, T. Ogino, Observation of Exosomes Adsorbed to Solid Surfaces using Atomic Force Microscopy, 7th Int. Symp. on Surface Science (ISSS-7) (Matsue, Shimane, Japan, 2014) 3PN-28, 発表11-3-2014.
 18. K. Yamazaki, T. Ogino, Selective Formation of Lipid Membranes on Graphene Films by Surface Engineering of Supported Substrates, 2013 MRS Fall Meeting, Boston, USA, 2013/12/4, RR15.38
 19. S. Kajigaya and T. Ogino, "Electric-field-assisted AFM deposition of Au nanorods on graphene surfaces", ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 8PN-9 発表2013/11/8
 20. K. Takeuchi, K. Yamazaki, Z. Lu, D. Yamaura, Y. Arai, T. Ogino, Robust structure of Porous Silicon Nanowires by Carbon Nanotube Binder for Li-ion battery electrode, ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 8PN-9 発表2013/11/8
 21. K. Yokota, K. Yamazaki and T. Ogino, Direct observation of phase separation in a lipid bilayer by self-spreading method, ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013)

- 7PN-74 発表2013/11/7
22. Y. Kamiya, K. Yamazaki, T. Ogino, Protein Adsorption and Agglomeration on Graphene Surfaces Attached to Chemically Modified Substrates, ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 7PN-73 発表2013/11/7
23. T. Uehara, M. Yoshihara, T. Ogino, Morphological Evolution from a rough to biphasic surface of TiO₂(100), ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 6pA2-4 発表2013/11/6
24. K. Yamazaki, T. Ogino, Characterization of Graphene Films in Liquid Environment by Observation of Lipid Membrane Formation, ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 5PN-68 発表2013/11/5
25. T. Takami, T. Ito and T. Ogino, Control of Graphene Oxide Film Formation on Surface-Modified Substrates and its Morphological Changes during Reduction ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013) 5pD2-7 発表2013/11/5
26. K. Yokota, A. Toyoki, K. Yamazaki, T. Ogino, Difference in morphology of lipid-raft-like domains between unilamellar and multilamellar membranes, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia (2013, Kyoto) 19p-PM5-7 発表2013/9/19
27. K. Yamazaki, T. Ogino, Characterization of graphene films in liquid environment for bio-applications, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia (2013, Kyoto) 19p-M8-12 発表2013/9/19
28. T. Takami, R. Seino, T. Ogino, Direct growth of graphene films on insulating substrates using metal catalyst overcoated with a SOG layer, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia (2013, Kyoto) 18p-M8-10 発表2013/9/18
29. D. Mashiyama, T. Ogino, Fabrication of controlled catalyst nanoparticles on graphene films using AFM equipped with an Ag-coated probe, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia (2013, Kyoto) 18p-M8-7 発表2013/9/18
- 国内会議
30. 茂木俊憲、山崎憲慈、荻野俊郎、手老龍吾、人工脂質膜内分子拡散への支持基板効果による非対称性と異方性の発現、Asymmetry and Anisotropy on Molecular Diffusion in Artificial Lipid Membrane Emerged by Supported Substrate、日本化学会 第95春季年会 (2015)
31. 大和田永作、横田圭司、仲山智明、坂口直駿、荻野俊郎、垂直磁気ドメインを有する強磁性体表面へのタンパク質の吸着、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 11p-D5-8 発表3月11日
32. 磯部亜紀子、仲山智明、荻野俊郎、バイオセンサへに向けたLiTaO₃表面における自発分極ドメインの観察、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 11p-D5-7 発表3月11日
33. 仲山智明、磯部亜紀子、荻野俊郎、強誘電体基板でのタンパク質の選択的吸着の観察、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 12a-P10-6 発表3月12日
34. 伊藤和希、呂志強、山浦大地、荻野俊郎、リチウムイオン電池負極材料に向けたゲルマニウムナノワイヤ形成法へのウェットエッチング法の導入、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 13p-P12-9 発表3月13日
35. 山浦大地、荻野俊郎、マイクロ構造とナノ構造が融合したリチウムイオン電池負極、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 12a-D12-5 発表3月12日
36. 坂口直駿、横田圭司、仲山智明、木村僚佑、木村康男、平野愛弓、荻野俊郎、金ナノ粒子を含む脂質二重膜の液におけるAFM評価、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 11a-D5-5 発表3月11日
37. 茂木俊憲、山崎憲慈、荻野俊郎、手老龍吾、固体基板表面による人工脂質膜内分子拡散への非対称性と異方性の発現、応用物理学会春季学術講演会(神奈川、2015) 11a-D5-3 発表3月11日
38. 仲山智明、横田圭司、増山大祐、ムハンマドジクリ、村松幸子、菅加奈子、芝清隆、荻野俊郎、エクソソーム検出に向けたグラフェンナノポアデバイスの設計、第34回表面科学学術講演会 (2014, くにびきメッセ) 6P57 発表11月6日
39. 山浦大地、呂志強、伊藤和希、荻野俊郎、リチウムイオン電池負極へのSiナノ構造の導入、第34回表面科学

- 学術講演会 (2014, くにびきメッセ) 6P29 発表11月6日
40. 横田圭司、坂口直駿、松村幸子、菅加奈子、芝清隆、荻野俊郎、固体基板上に吸着させたエクソソームのAFM評価、第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014 北海道) 20a-A3-9 発表9月20日
41. 仲山智明、磯部亜紀子、荻野俊郎、LiTaO₃表面における自発分極ドメインの観察、第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014 北海道) 19a-A3-2 発表9月19日
42. 山浦大地、伊藤和希、荻野俊郎、ナノ構造化したSiを負極材料に用いたリチウムイオン電池、第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014 北海道) 19a-A23-4 発表9月19日
43. 増山大祐、横田圭司、清野亮介、Muhammad Zikri、荻野俊郎、井戸型パターン絶縁基板上へのグラフェン転写、第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014 北海道) 18a-PA3-32 発表9月18日
44. 増山大祐、荻野俊郎、銀コートAFM探針を用いた架橋グラフェンへの触媒微粒子形成制御、第75回応用物理学会秋季学術講演会 (2014 北海道) 17p-B1-9 発表9月17日
45. 山崎憲慈、上原知之、荻野俊郎、TiO₂(100)表面における相分離表面の形成、第61回応用物理学会春季学術講演会 (2014 神奈川) 20a-F7-8 発表3月20日
46. 呂志強、竹内孝二、荻野俊郎、リチウムイオン電池負極に向けたポーラスシリコンナノワイヤの銅薄膜への転写、第61回応用物理学会春季学術講演会 19p-PA3-5 (2014 神奈川) 発表3月19日
47. 山浦大地、新井勇樹、荻野俊郎、リチウムイオン電池の負極材料に用いるSiナノ構造の作製、第61回応用物理学会春季学術講演会 (2014 神奈川) 19p-F4-6 発表3月19日
48. M. zikri, 高見俊志、伊藤智昭、荻野俊郎、基板表面修飾による酸化グラフェン薄膜形成と気相還元による変化、第61回応用物理学会春季学術講演会 19p-E2-13 (2014 神奈川) 発表3月19日
49. 高見俊志、清野亮介、伊藤智昭、荻野俊郎、基板表面修飾を用いた酸化グラフェン単層膜パターンニング、第61回応用物理学会春季学術講演会 18a-E2-7 (2014 神奈川 青山学院) 発表3月18日
50. 横田圭司、荻野俊郎、自発展開法を用いた脂質ラフトモデル生体膜の構築、バイオエレクトロニクス・バイオテクノロジー研究討論会(2013, 東京) (電子情報通信学会) P19 発表12月16日
51. 山浦大地、山崎憲慈、竹内孝二、新井勇樹、荻野俊郎、初期表面マイクロ構造によるSi基板のナノ構造制御、2013年真空・表面科学合同講演会 (2013 つくば) 28Dp09 発表11月28日
52. 山崎憲慈、荻野俊郎、リンカー分子固定化によるグラフェン表面への繋ぎ止め膜形成、2013年真空・表面科学合同講演会 (2013 つくば) 26Dp04 発表11月26日
53. 高見俊志、伊藤智昭、李世奎、荻野俊郎、基板表面修飾による酸化グラフェン薄膜形成制御と銅蒸気還元、第74回応用物理学会秋季学術講演 (2013, 京都) 16p-P7-17 発表9月16日
54. 神谷康敬、山崎憲慈、荻野俊郎、液中及び大気中におけるグラフェン表面上でのタンパク質吸着評価、第74回応用物理学会秋季学術講演 (2013, 京都) 17p-P5-1 発表9月17日
55. 山崎憲慈、荻野俊郎、グラフェン表面への脂質膜形成に対する構成分子依存性、第74回応用物理学会秋季学術講演 (2013, 京都) 17a-C6-4 発表9月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 <http://oginolab.ynu.ac.jp/index.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

荻野 俊郎 (Ogino Toshio)
横浜国立大学・工学研究院・教授
研究者番号：70361871

(3)連携研究者

宇理須恒雄 (Urisu Tsuneo)
名古屋大学・工学系研究科・教授
研究者番号：50249950