

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360021

研究課題名（和文） タンパク質分子の固体表面への吸着機構解明と分子構造識別

研究課題名（英文） Study on separation of protein molecules based on their selective adsorption to solid surfaces

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

研究成果の概要（和文）：特定の条件で処理したサファイア表面には疎水ドメインと親水ドメインが共存する。この相分離表面を用いて、タンパク質分子と固体表面の相互作用の解明を図った。まず、疎水ドメインと親水ドメインの液中での性質を明らかにするため、走査プローブ顕微鏡を用いてポリスチレン等のコロイドプローブとドメイン表面との吸着力を測定し、液中においても明瞭な化学状態の差が保存されていることを確認した。次いで、異なる電荷をもつタンパク質の吸着を系統的に調べ、選択吸着の第一の要因は静電相互作用にあることを明らかにした。さらに、吸着したのちは静電相互作用だけでなく、非可逆的な疎水性相互作用もかかわることを示唆する結果を得た。

研究成果の概要（英文）：Single-crystalline sapphire surfaces treated under particular conditions exhibit a phase separation into hydrophilic and hydrophobic domains. Using this surface, we have studied interactions between solid surfaces and biomolecules. To clarify the chemical properties of the domain surfaces, we used scanning probe microscopy equipped with colloidal probes and measured adhesion forces between the probe colloids and the solid surfaces. We observed distinct differences in the chemical states between the hydrophilic and the hydrophobic domains. Then, we investigated the adsorption mechanism of various protein molecules and found that the major force in the molecule adsorption is electrostatic one. But, some experimental results suggest that hydrophobic interaction is also involved in the adhesion of proteins after their adsorption.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 ・ 薄膜・表面界面物性

キーワード：固体表面、タンパク質分子、分子認識、走査プローブ、ナノ構造

1. 研究開始当初の背景

近年、バイオテクノロジーと表面科学の発展により、従来は接点を持たなかった固体表面と生体表面の界面制御への関心が高まっ

てきた。極めて安定で制御性が良い固体表面に生体分子機能を固定することにより、新しいバイオセンサや固体/生体融合デバイスの可能性が広がっている。一方、抗原抗体反応の検出や、将来の医療技術の革新が期待され

る生体内デバイスにおいては、信号検出を阻害する非特異的な吸着が問題であり、ネガティブな側面としても固体と生体分子の相互作用の解明は重要である。従来の固体とタンパク質分子の界面研究においては、大別して、タンパク質分子の活性を維持しつつ固体表面に固定する界面の研究と、疎水相互作用を主とする固体表面への吸着を抑制する材料の開発に重点が置かれていた。しかし、固体表面を機能として積極的に用い、新しいセンサや生体複合デバイスを作製しようとする試みはなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サファイア基板表面のドメイン形成機構とタンパク質分子との相互作用を解明することである。本報告者は、サファイア基板の熱処理温度・基板の傾斜方向などの条件を選ぶと、図1に示すような疎水的と親水的で特徴付けられるドメイン構造が形成することを発見した。一般にタンパク質は疎水性が強いと吸着が起こりやすいとされているが、上記のように、タンパク質の構造によっては逆の吸着パターンも現れる。本計画では、ドメインの構造と選択性の機構を解明することを目的とした。

次に、ドメインの生体分子吸着選択性に基づいてタンパク質選別チップの基礎技術を確認することを目的とした。従来、タンパク質分子の選別は、電気泳動のような分子量や形状による分離方法が用いられてきた。本研究では、タンパク質分子の構造的特徴に基づいて選別する技術の開発を目指した。産業的には、信号処理系と一体にチップ化でき、安価で加工特性に優れた Si 基板の使用が望ましい。研究期間内に、Si 表面での生体分子選択的吸着技術も検討することとした。既に

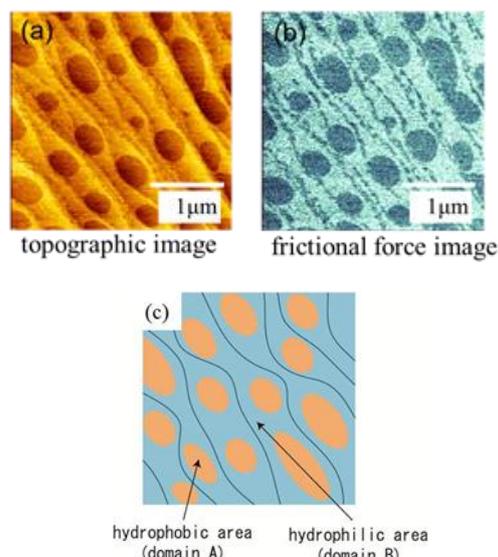


図1. サファイア(0001)面のドメイン構造。(a)形状像、(b)摩擦像(親水性の度合い)、(c)基板のステップバンチとドメインの関係のスケッチ。

SPMによるSi陽極酸化において、酸化電圧による表面化学状態制御に成功しており、生体分子吸着への適用を検討することとした。

3. 研究の方法

① サファイア表面の液中状態評価

本提案の基礎となっているのは、ステップ配列制御したサファイア表面に現れるドメイン構造である。図1は、本提案の発端となったサファイア表面の走査プローブ顕微鏡(SPM)像で、(a)は凹凸像、(b)は摩擦力像、(c)はスケッチである。楕円形(ここでは円形に近い)の領域(Domain A)は周辺(Domain B)と比べて摩擦が小さく(暗く)観察される。これは、他の実験結果も合わせて、吸着水が少ない、すなわち疎水的領域が形成されていることが確認されている。このドメイン化表面を酸処理すると、タンパク質分子の活性を維持するためのバッファ溶液中で、非常に特徴的なタンパク質吸着特性を示す。本研究において、このサファイア表面の溶液中での状態を解明する。方法として、ナノスケールのドメインを評価する必要があることから、分解能の高いSPM技術を用いる。コロイドプローブを用いて表面のドメインの性質を解析する。

② 選択的吸着の機構解明

本提案の中核は、タンパク質分子の固体表面への選択的吸着である。従来の考え方では、親水性表面ではタンパク質分子と基板の表面の水和層が斥力となって吸着は起こりにくく、疎水性表面ではタンパク質分子の疎水部が疎水性表面と接触して吸着するとされていた。しかし、同じサファイア表面でも明瞭に逆の吸着現象が観察されており、新しいモデルの構築が必要である。サファイア表面状態の解析に基づき、選択的吸着の機構を明らかにする。吸着に関わる力として、基板とタンパク質分子表面の電荷による静電相互作用がある。電荷の効果については、溶液中のpHや塩濃度により制御可能である。これらにより、タンパク質分子の吸着機構を明らかにする。併せてSiベースの吸着選択チップの可能性を探る。

4. 研究成果

① サファイア表面の液中状態評価

液中でのドメインの相分離を検出するため、AFMによる吸着力測定を行った。AFMチップの位置を固定し、基板表面に接触させて荷重をかけた後、再びチップを離していく過程でカンチレバーの曲がりにはジャンプが観察される。これは、チップ先端が基板表面から急激に離れることに相当する。相分離表面の場合、探針と表面の材質は同じものであるから、吸着力の差はそれぞれの表面の水和構造を反映したものになると想像される。ここで、吸着力はチップ先端の形状(実効接触面積)に依存するため、コロイドプローブを用いると再現性が良い。コロイドプローブは先端形状の揃った1 μ m径程度の球であり、材質

を選ぶことによって吸着力を調整できる。空間分解能は劣るが、測定位置を特定するのに十分な分解能は得られる。吸着力は、図 2 に示すように、疎水ドメインで大きく、親水ドメインでは相対的に小さい。測定された吸着力は各点ごとに大きく異なっているが、一点に固定して複数回測定を繰り返したときのばらつきは小さい。すなわち、同じドメイン内であってもプローブ先端とサファイア表面との吸着力が場所によって異なることがわかる。疎水性ドメインでは、疎水性のポリスチレンと疎水性のサファイア表面間の吸着力であるため、一度吸着すると水を排除する力が働く。一方、親水性ドメイン上では表面は水和構造に戻ろうとするために吸着力は弱くなる。また、この相分離表面の疎水ドメインは表面の平坦性が極めて高く均一な表面であるため場所ごとのばらつきも小さくなっている。表面平坦性の劣る親水ドメインでは場所ごとのばらつきが大きい、これはステップ密度の差などが原因と考えられる。

上で述べたように、一点に固定して測定したときのばらつきは小さいが、場所ごとのばらつきは大きい。このことは、単に疎水ドメインと親水ドメインの区別だけでなく、同一種類のドメインでも場所による違いが検出できていることを意味する。大気中の評価では「メニスカス」というマクロな力の測定により化学状態を評価できるが、水和構造を直接反映している溶液中の力の方が、表面化学状態に敏感であることが示唆される。したがって、本手法は、表面を末端する官能基の分布測定などに幅広く適用可能である。

② 選択的吸着の機構解明

相分離したサファイア(0001)表面ではタンパク質分子の選択的な吸着が起こる。これは本誌でもすでに紹介しているので、ここでは要点のみ述べる。様々な等電点(Isoelectric point、水溶液中で電気的に中性となる pH の値)をもつタンパク質を pH が 7 程度の溶液中で吸着させると、大雑把には等電点によって吸着パターンが決定され、等電点の低いタンパク質(フェリチンやアルブミン)は電荷の弱い疎水ドメインに、等電点の高いタンパク質(アビジン等)は負電荷をもつ親水ドメインに

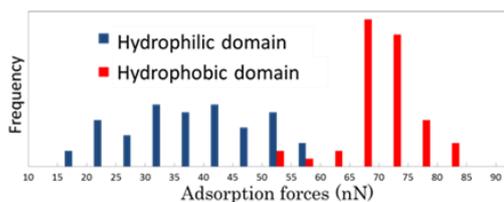


図 2. 親水・疎水ドメインにおける吸着力の分布。

選択的に吸着する。この実験結果から、吸着の選択性にはタンパク質の電荷が最も大きく寄与すると結論付けられる。

この相分離表面はタンパク質吸着における固体と生体分子の界面の性質を調べるのに非常に有力である。図 3 は、アビジン分子の吸着パターンが pH の変化に対してどのように変わるかを観察したものである。静電相互作用だけが関わっているときは、pH の変化に対して吸着力が変化するためパターン(あるいは吸着量)も変化するはずである。アビジンの場合は、吸着後に pH を静電相互作用が強くなるように変化させると、吸着していた分子は脱離する。一方、フェリチンを吸着させた場合は、同様に静電相互作用を強めてもほとんど脱離は起きない。この結果は、吸着までの相互作用は遠距離力である静電相互作用が支配的であっても、吸着後は別の力が関わる場合とそうでない場合があることを示唆する。吸着後はタンパク質の変性によってタンパク質の疎水部が基板と接触し、疎水性相互作用が支配的になる場合があり、フェリチンではそのようなになっている可能性がある。しかし、固体と生体分子の界面はまだ未解明なことが多く、相分離表面が吸着機構解明に有用であると考えている。

③ その他の成果

(1) チタニア表面の化学ドメイン

サファイアで発見した酸化物表面の相転移現象の機構解明と、そのより広いバイオテクノロジーへの展開を図るために、生体適合性の観点からバイオ適用範囲の広い TiO₂ の化学ドメインを検討した。その結果、TiO₂ (100)面を大気中で熱処理すると、ステップ/テラス構造が崩れ、ストライプ状に変化するとともに、親水性の高いドメインが成長し最終的に短冊状ドメインが現れることを見出した。短冊状の領域は親水ドメイン、すなわち表面の終端状態の異なる化学ドメインである。この表面に OTS-SAM 膜を堆積すると、親水性の高い短冊状ドメインに OTS 膜が形成され、表面の親水性コントラストが OTS 膜形成により反転することが観察された。すなわち、この相分離は、OH 基密度の異なるドメインへの分離である。この結果か

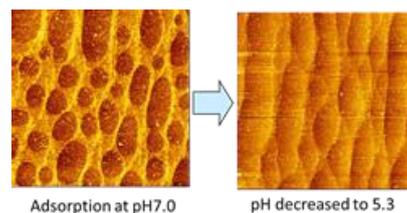


図 3. アビジン吸着の pH 依存性。アビジンは可逆的に脱離が起こる。

ら、化学的相分離が Al と Ti 酸化物表面で共通する現象であることが明らかとなった。

(2) Si 酸化膜上での化学的性質の制御

走査プローブ顕微鏡を用いる陽極酸化により、Si 表面に微細な酸化膜を形成できる。この方法において、酸化電圧を変えることにより、形成する酸化膜表面の親水性も異なることを見出した。この発見をもとに、異なる親水性をもつ酸化膜を同一表面上に成長させることができた。この表面が化学的に異なることを自己組織化単分子膜の選択的形成により確認し、タンパク質選別が Si チップによっても実現可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

雑誌論文 (計 20 件)

- (1) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Fabrication of three-dimensional porous alumina microstructures using imprinting method", J. Electrochem. Soc. (査読付き), **159** (2012) C155-C159. DOI: org/10.1149/2.038204jes
- (2) T. Tsukamoto, K. Yamazaki, H. Komurasaki, and T. Ogino, "Effects of Surface Chemistry of Substrates on Raman Spectra in Graphene" J. Phys. Chem. C (査読付き), **116** (2012) 4732-4737. DOI:org/10.1021/jp2113158
- (3) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Graphene etching controlled by atomic structures on the substrate surface", CARBON (査読付き) **50** (2011) 674-679. DOI:10.1016/j.carbon.2011.09.026
- (4) M. Nakamura and T. Ogino, "Selective deposition of lipid membranes on locally anodic-oxidized silicon surface", e-J Surf. Sci. Nanotech. (査読付き), **9**, (2011) 357-362. DOI:org/10.1380/ejsnt.2011
- (5) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Control of graphene etching by atomic structures of the supporting surfaces", J. Phys. Chem. C (査読付き), **115** (2011) 8580-8585. doi:10.1021/jp1094933
- (6) K. Yamazaki, T. Ikeda, T. Isono, and T. Ogino, "Selective adsorption of protein molecules on phase-separated sapphire surfaces". J. Colloid and Interface Science (査読付き), **361** (2011) 64-70. DOI:org/10.1016/j.jcis.2011.05.016
- (7) M. Nakamura and T. Ogino, "Universal Model for Local Anodic Oxidation Based on Surface Chemistry of the Oxide Islands", Jpn J. Appl. Phys. (査読付き), **50** (2011) 035202-1 - 035202-6. DOI:10.1143/JJAP.50.035202
- (8) 塚本貴広、加瀬貴之、荻野俊郎: "ポーラスアルミナ三次元マイクロ構造体", 表面技術(査読なし、総説) **62** (2011) 330-334. <http://wwwsoc.nii.ac.jp/sfj/>
- (9) T. Isono, T. Ikeda, R. Aoki, K. Yamazaki and T. Ogino, "Structural- and Chemical-Phase Separation on Single Crystalline Sapphire (0001) Surfaces", Surf. Sci. (査読付き), **604** (2010) 2055-2063. DOI:10.1016/j.susc.2010.08.020
- (10) T. Tsukamoto and T. Ogino, "'Graphene-on-Insulator" Fabricated on Atomically Controlled Solid Surfaces", J. Phys. D: Appl. Phys. (査読付き), **43** (2010) 374014-37401. DOI:10.1088/0022-3727/43/37/374014-19
- (11) K. Takanishi, T. Isono, T. Oya, and T. Ogino, "Fabrication of directionally aligned carbon nanotube thin films on solid surfaces using chemical patterns", e-J Surf. Sci. Nanotech. (査読付き), **8**, (2010) 207-210. DOI:org/10.1380/ejsnt.2010.207
- (12) T. Isono, T. Ikeda and T. Ogino, "Evolution of supported planar lipid bilayers on step-controlled sapphire surfaces", Langmuir (査読付き), **26** (2010) 9607-9611. DOI:10.1021/la100179g
- (13) K. Shinke, K. Ando, T. Koyama, T. Takai, S. Nakaji, and T. Ogino, "Properties of various carbon nanomaterial surfaces in bilirubin adsorption", Colloids and Surfaces B: Biointerfaces (査読付き) **77** (2010) 18-21. DOI:org/10.1016/j.colsurfb.2009.12.024
- (14) 荻野俊郎, 塚本貴広, "構造制御した固体基板上グラフェンの評価と加工", 日本結晶成長学会誌(査読なし、総説), **37** (2010) 35-41. <http://www.jacg.jp/jacg/japanese/journal/index.html>
- (15) T. Saito, H. Chiba, T. Ito and T. Ogino, "Growth of carbon hybrid materials by grafting on pre-grown carbon nanotube surfaces", CARBON (査読付き) **48** (2009) 1305-1311. DOI:org/10.1016/j.carbon.2009.12.005
- (16) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Control of the spatial distribution of porous alumina micro-domes formed during anodic oxidation", Electrochimica Acta (査読付き) **54** (2009) 4712-4717. DOI:org/10.1016/j.electacta.2009.03.038
- (17) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Morphology of Graphene on Step-Controlled Sapphire Surfaces", Applied Physics Express (査読付き), **2**, (2009) 075502-1-3. DOI:10.1143/APEX.2.075502
- (18) Y. Ono and T. Ogino, "Observation of suspended carbon nanotube configurations using an atomic force microscope tip", Jpn. J. Appl. Phys. (査読付き) **48** (2009) 081601-1-5. DOI:10.1143/JJAP.48.081601
- (19) Y. Kashiwase, T. Ogino, "Control of Hydrophilicity in Aqueous Environment in Local Anodic-Oxidation of Si", Jpn. J. Appl. Phys. (査読付き), **48** (2009) 056512-1 - 056512-6. DOI:10.1143/JJAP.48.056512
- (20) 松崎典弥, 明石満, 高井まどか, 石原一彦, 荻野俊郎, "生体ヘテロ界面のナノスケール制御" (査読なし、総説), 表面科学

[学会発表] (計 116 件)

- (1) T. Uehara, S. Hachuda, K. Yamazaki, M. Yoshihara, T. Ogin, "Observation of adsorption characteristics of peptides to single-crystalline solid surface", 21st Academic Symp. on MRS-Japan. Int. Session, Yokohama, Q-P05-B (2011/12/20).
- (2) A. Toyoki, T. Isono, and T. Ogin, "Phase separation in ternary-system membranes formed by self-spreading method", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (3) T. Wada, K. Yamazaki, and T. Ogin, "Characterization of the phase-separated sapphire substrate in liquid by AFM force measurement", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (4) K. Yamazaki, T. Wada, H. Komurasaki, and T. Ogin, "Control of protein adsorption to graphene surfaces by the support substrate properties", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (5) T. Kase, T. Tsukamoto, and T. Ogin, "Raman spectroscopy study of graphene sheets on porous alumina membranes", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (6) Y. Iida, T. Tsukamoto, and T. Ogin, "Fabrication of well-ordered graphene nanoribbons using ferritin as a catalyst source in graphene etching", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (7) K. Saito, T. Tsukamoto, and T. Ogin, "Graphene growth on sapphire surfaces", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (8) T. Tsukamoto, H. Komurasaki, K. Yamazaki, and T. Ogin, "Investigation of graphene/substrate interface with Raman spectroscopy", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (9) H. Komurasaki, T. Tsukamoto, K. Yamazaki, and T. Ogin, "Characterization of interfacial materials between graphene and the substrate using AFM", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (10) S. Taguchi, H. Komurasaki, and T. Ogin, "Fabrication of comb-shaped nanostructures on sapphire (1-102) surfaces by the scratch process", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (11) M. Yoshihara, T. Isono, H. Komurasaki, and T. Ogin, "Atomic processes in self-assembly of chemical nanodomains on TiO₂(100)", Int. Symp. on Surf. Sci., Tokyo, (2011/12/13).
- (12) K. Yamazaki, Y. Iida and T. Ogin, "Role of Supported Substrates on Protein Adsorption to Graphene Surfaces", Mat. Res. Soc. Fall Meeting, Boston (2011/11/29).
- (13) T. Tsukamoto, Y. Iida Mat. Res. Soc. Fall Meeting, and T. Ogin, "Effects of the Atomic Structure of a Substrate on Raman Spectra in Graphene", Mat. Res. Soc. Fall Meeting, Boston (2011/11/29).
- (14) T. Isono, K. Yamazaki, T. Wada, and T. Ogin, "Self-assembly of Artificial Lipid Raft Patterns on Phase-Separated Sapphire Surfaces", Int. Conf. on Biomaterials Sci., Tsukuba, (2011/3/15).
- (15) K. Yamazaki, T. Isono, T. Wada and T. Ogin, "Selective Adsorption and detection of Protein Molecules on Multi-Phased Sapphire Surfaces", Int. Conf. on Biomaterials Sci. 2011, Tsukuba, (2011/3/15).
- (16) K. Yamazaki, T. Isono, and T. Ogin; "Selective adsorption of protein molecules on multi-phased sapphire surfaces", 2010 MRS Fall Meeting, Boston, (2010/12/2).
- (17) T. Tsukamoto and T. Ogin; "Effect of the supporting substrate on graphene etching using Fe nanoparticles", 2010 MRS Fall Meeting, Boston, (2010/11/29).
- (18) T. Isono, K. Yamazaki, T. Wada, and T. Ogin; "Self-assembly of artificial raft structures introduced in supported lipid bilayers on step-controlled sapphire surfaces", 2010 MRS Fall Meeting, Boston, (2010/12/2).
- (19) M. Nakamura, Y. Kashiwase, and T. Ogin; "A model for chemical processes on oxide island surfaces formed by local anodic oxidation", 18th Int. Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka, Japan (2010/12/10).
- (20) T. Isono, K. Yamazaki, T. Wada, A. Toyoki, and T. Ogin; "Formation of artificial lipid raft patterns on phase-separated sapphire surfaces", ISSP Int. Workshop on Soft Matter Physics, Aug., Tokyo, (2010/8/25).
- (21) M. Yoshihara, T. Ogin, " Spontaneous assembly of chemical nanodomain arrays on TiO₂ Surfaces", Asian Conf. on Nanoscience and Nanotechnology, Tokyo (2010/11/2).
- (22) T. Tsukamoto, T. Ogin, " Control of graphene etching by atomic structures of the supporting substrate surfaces ", Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Tokyo (2010/11/2).
- (23) H. Komurasaki, T. Isono, Tsukamoto, T. Ogin " Self-organization of striped nanodomains characterized by hydrophilicity on sapphire surfaces ", Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Tokyo (2010/11/2).
- (24) T. Isono, Kenji Y. and T. Ogin, "Phase-Separation of Chemical States on Single Crystalline Sapphire (0001) Surfaces, Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Tokyo (2010/11/2).
- (25) T. Wada, K. Yamazaki, T. Isono and T. Ogin, "Control of non-specific adsorption of protein molecules on solid surfaces", 6th Int. Symp. on Organic Molecular Electronics, Chiba (2010/06/11).

- (26) M. Nakamura, T. Isono and T. Ogino, "Selective deposition of lipid bilayers on locally anodic-oxidized silicon surfaces", 6th Int. Symp. on Organic Molecular Electronics, Chiba (2010/06/11).
- (27) T. Ogino and T. Isono, "Structural and Chemical Control of Solid Surfaces for Well-Defined Biointerfaces", 6th Int. Symp. on Organic Molecular Electronics, Chiba (2010/06/11).
- (28) T. Ogino and T. Tsukamoto, "Graphene on Insulator Fabricated on Atomically Controlled Solid Surfaces", 2nd Int. Workshop on Nanostructure & Nanoelectronics, Sendai (2010/3/11)
- (29) M. Nakamura, Y. Kashiwase, T. Isono and T. Ogino, "Control of surface chemistry on a locally-oxidized Si surface and its application to lipid bilayer deposition", Int. Conf. on Scanning Probe Microscopy, Shizuoka, (2009/12/11).
- (30) M. Nakamura, Y. Kashiwase, Y. Isono and T. Ogino, "Control of surface chemistry in biomolecule adsorption by local-oxidation of Si", 19th Academic Symp. of MRS-Japan, Yokohama, (2009/12/8).
- (31) K. Yamazaki, T. Isono, T. Wada and T. Ogino, "Selective adsorption of protein molecules on phase-separated sapphire surfaces", 19th Academic Symp. of MRS-Japan, Yokohama (2009/12/8).
- (32) Y. Takahashi and T. Ogino, "Step and domain arrangement control on sapphire surfaces by scratch and chemical etching", 19th Academic Symp. of MRS-Japan, Yokohama (2009/12/8).
- (33) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Morphology of graphene surfaces on hydrophobic/hydrophilic domain nanopatterns", MRS Fall Meeting, Boston (2009/12/1).
- (34) T. Isono, K. Yamazaki, and T. Ogino, "Selective formation of supported lipid bilayers on step-controlled sapphire surfaces", MRS Fall Meeting, Boston (2009/12/1).
- (35) T. Ogino, K. Nakamura, K. Yamazaki, H. Chiba., T. Tsukamoto, and T. Isono, "Structural and chemical control of solid surfaces for well-defined biointerfaces", 3rd Int. Symp. on Nanomedicine, Okazaki (2009/11/5).
- (36) T. Isono, K. Yamazaki and T. Ogino, "Self-assembly of proteins on well-ordered sapphire surfaces", AVS 56th Int. Symp. & Exhibition, San Jose (2009/11/10).
- (37) H. Chiba, K. Shinke and T. Ogino, "Ab initio study on molecular adsorption onto carbon nanotube surfaces", 3rd Int. Symp. on Nanomedicine, Okazaki (2009/11/5).
- (38) Yamazaki, Y. Isono, T. Wada and T. Ogino, "Separated adsorption of protein molecules on multi-phased sapphire surfaces", 3rd Int. Symp. on Nanomedicine, Okazaki (2009/11/5).

- (39) T. Isono, K. Yamazaki, K. Motomiya, T. Wada and T. Ogino, "Formation-site control of artificial cell membranes on solid surfaces", 3rd Int. Symp. on Nanomedicine, Okazaki (2009/11/5).
- (40) T. Isono, K. Yamazaki, T. Ogino, "Control of Solid/Lipid Bilayer Interfaces by Well-Defined Solid Surfaces", ACSIN 10, Granada Spain (2009/9/23).
- (41) T. Tsukamoto, T. Ogino, "Graphene on a single crystalline sapphire with well-controlled step/terrace structure", ACSIN 10, Granada Spain (2009/9/23).
- (42) T. Tsukamoto and T. Ogino, "Self-assembly of Porus Alumina Micro-scaled Structures", MRS spring meeting, San Francisco, (2009/4/15).

その他、国内会議発表 74 件

[図書] (計 1 件)

- (1) T. Ogino and T. Tsukamoto, Intech, Physics and Application of Graphene (2011) 91 -108
<http://cdn.intechweb.org/pdfs/15271.pdf>

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

(1) 名称: グラフェンリボンを備える単結晶絶縁性基板の製造方法及びグラフェンリボンを備える単結晶絶縁性基板
 発明者: 荻野俊郎、他 3 名

権利者: 横浜国立大学、並木精密宝石(株)
 種類: 特許

番号: 特願 2011-174978

出願年月日: 平成 21 年 9 月 4 日

国内外の別: 国内

(2) 名称: グラフェン基板、グラフェン電子デバイス及びそれらの製造方法

発明者: 荻野俊郎、他 3 名

権利者: 横浜国立大学、並木精密宝石(株)
 種類: 特許

番号: 特願 2009-205126

取得年月日: 平成 21 年 9 月 4 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ: <http://oginolab.ynu.ac.jp/>

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