

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19360336
 研究課題名 (和文) 超熱分子ビームによる次世代ナノファブリケーションの実空間“その場”観察
 研究課題名 (英文) In-situ real-space observation in next-generation nano-processes by using hyper-thermal molecular beams
 研究代表者
 吉越 章隆 (YOSHIGOE AKITAKA)
 独立行政法人 日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究副主幹
 研究者番号：00283490

研究成果の概要 (和文) : 超熱分子ビームによる次世代ナノプロセスの走査型プローブ顕微鏡を用いた実空間“その場”観察法を開発した。放射光光電子分光と相補的に利用することで、超熱分子ビームによる表面反応選択性の空間情報を検証することを試みた。放射光ビームラインにおいて Si(111)-7×7 表面等の原子像観察に成功するとともに、Si(111)-7×7 表面の室温酸化反応における酸素分子の並進運動エネルギーに依存した表面形状の違いを見出した。

研究成果の概要 (英文) : We developed in-situ real-space observation method by using scanning tunneling microscope for applying next-generation nano-processes. With the complementary use of synchrotron radiation photoelectron spectroscopy, we have tried to confirm the spatial selectivity in the surface reactions induced by hyper-thermal molecular beam. We succeeded to obtain the atomic resolved-images of Si atoms of the surface such as Si(111)-7×7. It was also found that surface topography and morphology depending on translational kinetic energy of O₂ in the oxidation of Si(111)-7×7 surface at room temperature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2009 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：超熱分子ビーム, ナノプロセス, 実空間“その場”観察, 吸着, 反応選択性, プローブ顕微鏡, 表面反応ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

電子デバイスの超高集積化に伴い、薄膜の厚さは数 nm に達しており、組成や膜厚を特定領域に原子・分子レベルで高度に制御する

ことが不可欠となっている。超熱分子ビームは、照射領域に限定して並進運動エネルギーの選別ができることや、ストッパーによってデジタル的な切り替えが可能であることか

ら、低温、低損傷、高指向性、反応の空間、時間および元素選択性と言った多くのナノプロセスに不可欠な特徴を有する。我々は、平成17年度科研費・萌芽研究（「超音速分子ビームによる機能性極薄膜形成プロセスの研究」）を行い、多くの機能性材料の並進運動エネルギーによる特徴的な酸化反応等を、放射光光電子分光を用いて見出した。しかし、光電子分光は組成や化学結合状態の表面の“平均”情報であるため、空間的な反応選択性を検証できなかった。そこで、走査型プローブ顕微鏡による”その場“観察技術を開発して表面形状の実空間観察を実現すれば、総合的な観点から表面反応が理解でき、次世代ナノファブリケーションの技術開発に大きく貢献できると着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、超熱分子ビームによる表面ナノプロセスの実空間“その場”観察の実現である。放射光光電子分光測定から示唆された超熱分子ビームによる反応選択性に関する空間情報を、走査型プローブ顕微鏡を用いた実空間“その場”観察によって明らかにする。実施期間においてシステムの開発・整備を行い、超熱分子ビームによる表面反応の検証に挑戦する。

3. 研究の方法

1 mm以下の精度で超熱分子ビーム照射が可能なシステムの開発を行い、走査型プローブ顕微鏡を融合した超高真空“その場”観察システムを構築する。精密照射後、スムーズに“その場”観察するための試料搬送系など総合的なシステム開発を行う。振動・電気ノイズを考慮して、放射光施設という特殊実験環境に対応する。HOPG、Siなど単結晶固体表面を対象にシステム全体の動作・性能確認および分子ビームの照射実験を行った。

4. 研究成果

(1)平成19年4月～平成20年3月

①超熱分子ビーム精密照射システムの開発

超高真空 (10^{-8} Pa以下) で液体He温度から1200°Cまで制御でき、放射光および超熱分子ビームを1 mm以下で位置調整可能な精密照射システムを開発した。2000°C以上に対応する電子ビーム試料加熱システムを付加した。

②走査型プローブ顕微鏡システムの整備

走査型プローブ顕微鏡を融合した超高真空“その場”観察システムを開発した。超熱分子ビーム照射後にスムーズに“その場”観察するために、試料搬送系などのシステムの高度化も行った。放射光施設という特殊な実験環境を考慮してノイズ対策をした。また、プローブ探針の製作、評価技術に取り組んだ。さらに、システム開発に平行して、具体的な

観察対象としてSi(111)-7×7とGe単結晶表面の酸化における酸素分子の並進運動エネルギー効果を放射光光電子分光によって調べた。反応前のGe表面処理技術の確立に成功した。

(2)平成20年4月～平成21年3月

①精密照射システムの性能評価

精密ビーム照射システムの性能評価を行い、放射光および分子ビームをさまざまな温度条件 (1500K から数十 K) で1mm以下の精度で照射できることを確認した。

②実空間“その場”観察システムの評価

実空間”その場”観察システムの基礎データの集積とシステムの改良を行った。測定結果と比較しながらノイズ対策を行った。プローブ探針の材料選定・作成方法とその評価法を確立した。清浄表面作成の条件を決定した。走査型トンネル顕微鏡を用いて HOPG および Si(111)-7×7 の原子像観察に成功した。

③実空間観測の対象の放射光リアルタイム光電子分光観察実験

放射光光電子分光によってプローブ顕微鏡では測定不可能な吸着元素、吸着量、化学結合状態などの相補的な情報を測定した。Si(111)-7×7, Ge 単結晶表面の室温酸化反応を対象に、実空間観測を念頭に並進運動エネルギー、反応時間依存性を測定した。

(3)平成21年4月～平成22年3月

①精密照射システムを用いた超熱分子ビーム照射実験

放射光リアルタイム光電子分光によって Si(111)-7×7 および Ge 単結晶表面などの酸化反応に関する並進運動エネルギー、反応時間、反応温度、酸素圧力依存性を具体的に決定した。

②実空間“その場”観察

放射光光電子分光で特徴ある反応条件を見出した Si(111)-7×7 の室温酸化の実空間”その場”観察に取り組んだ。並進運動エネルギーによる表面形状および表面吸着サイトの違いを見出すことに成功した。

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 24 件)

(1) K. Yokota, M. Tagawa, A. Kitamura, K. Matsu moto, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Belin; ” Si-doping for the protection of hydrogenated diamond-like carbon films in a simulated atomic oxygen environment in low earth orbit”, Trans. JSASS Space Tech. Japan (査

読有), Vol. 7, 2009, p. 37.

(2) K. Yokota, M. Tagawa, A. Kitamura, K. Matsu moto, A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "A diamond-like carbon film by hyperthermal atomic oxygen exposures", Appl. Surf. Sci. (査読有), Vol. 255, 2009, p6710.

(3) M. Tagawa, K. Yokota, K. Maeda, A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "Atomic layer fluorination of highly oriented pyrolytic graphite during hyperthermal atomic fluorine beam", Appl. Phys. Express (査読有), Vol. 2, 2009, p. 066002-1.

(4) K. Moritani, M. Okada, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, T. Kasai; "Kinetics of oxygen adsorption and initial oxidation on Cu(110) by hyperthermal oxygen molecular beams", J. Phys. Chem. A (査読有), Vol. 113, 2009, p. 15217.

(5) 吉越章隆, 寺岡有殿; "放射光リアルタイム光電子分光で観たSi(111)表面の酸化過程", The papers of Technical Meeting on Optical and Quantum Devices, IEE Japan (査読無), OQD-09-56, 2009, p. 67.

(6) M. Suemitsu, Y. Yamamoto, H. Togashi, Y. En ta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "Initial oxidation of Si(100) as studied by real-time synchrotron-radiation x-ray photoemission spectroscopy", J. Vac. Sci. and Tech. (査読有), B27, 2009, p. 549.

(7) Y. Teraoka, A. Yoshigoe, J. R. Harries; "Synchrotron radiation photoemission spectroscopy for native oxide layer on Vanadium and VCrTa", J. Surf. Anal. (査読有), Vol. 15, 2009, p. 303.

(8) 寺岡有殿, 吉越章隆; "Al(111)表面における超音速N₂ビームによる極薄AlN膜形成", 電子学会論文誌C 電子・情報・システム部門誌 (査読有), Vol. 129, 2009, p. 294.

(9) 宗和誠, 山崎大地, 岡田美智雄, 吉越章隆, 寺岡有殿, 笠井俊夫; "Cu₃Au表面自然酸化のシンクロトン放射光を用いた光電子分光研究", 電子学会論文誌C 電子・情報・システム部門誌 (査読有), Vol. 129, 2009, p. 229.

(10) S. Takahashi, S. Hatta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, T. Aruga; "High resolution X-ray photoelectron spectroscopy study on initial oxidation of 4H-SiC(0001)-(√3x

√3)R30° surface", Surf. Sci. (査読有), Vol. 603, 2009, p. 211.

(11) A. Tokura, F. Maeda, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, D. Takagi, Y. Homma, Y. Watanabe, Y. Kobayashi; "Hydrogen adsorption on single-walled carbon nanotubes studied by core-level photoelectron spectroscopy and Raman spectroscopy", Carbon (査読有), Vol. 46, 2008, p. 1903.

(12) Y. Yamamoto, H. Togashi, A. Kato, Y. Takahashi, A. Konno, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Asaoka, M. Suemitsu; "SR-XPS and STM observation of metastable chemisorption state of oxygen on Si(110)-16 × 2 Surface", Appl. Surf. Sci. (査読有), Vol. 254, 2008, p. 6232.

(13) K. Moritani, M. Okada, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, T. Kasai; "Reconstruction of Cu(111) induced by a hyperthermal oxygen molecular beam", J. Phys. Chem. C. (査読有), Vol. 112(2), 2008, p. 8662.

(14) Y. Teraoka, A. Yoshigoe, K. Moritani; "Mechanisms of Concurrent SiO Desorption with Oxide Layer Formation at Si(001) Surface", Electrical Engineering in Japan (査読有), Vol. 164, 2008, p. 60.

(15) 山本喜久, 富樫秀晃, 今野篤史, 松本光正, 加藤篤, 斎藤英司, 末光真希, 寺岡有殿, 吉越章隆; "Si(110)面上熱酸化膜形成におけるSiサブオキサイド時間発展のXPSリアルタイム測定", 信学技報 (査読有), Vol. 53, 2008, p. 65.

(16) Y. Yamamoto, H. Togashi, A. Kato, Y. Takahashi, A. Konno, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Asaoka, M. Suemitsu; "SR-PES and STM observation of metastable chemisorption state of oxygen on Si(110)-16 × 2 surface", Appl. Surf. Sci. (査読有), Vol. 254, 2008, p. 6232.

(17) M. Suemitsu, H. Togashi, A. Kato, Y. Takahashi, A. Konno, Y. Yamamoto, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Asaoka; "XPS and STM studies on initial oxidation of Si(110)-16 × 2", MRS the Symposium H Proceedings.

(18) S. Takahashi, Y. Fujimoto, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, H. Okuyama, T. Aruga "Vibrationally-assisted dissociative adsorption of oxygen on Ru(0001)-p(2 × 1)-0", Jpn. J. Appl. Phys. (査読有), Vol. 46, No. 4B, 2007,

p. 1888.

(19) K. Moritani, M. Tsuda, Y. Teraoka, M. Okada, A. Yoshigoe, T. Fukuyama, T. Kasai, H. Kasai; "Effects of vibrational and rotational excitation on the dissociative adsorption of O₂ on Cu surfaces", J. Phys. Chem. (査読有), Vol. 111, 2007, p. 9961.

(20) M. Tagawa, K. Yokota, C. Sogo, A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "Direct insertion of oxygen atoms into the backbonds of subsurface Si atoms using translational energies of oxygen atom beams", Appl. Phys. Lett. (査読有), Vol. 91, 2007, p. 033504.

(21) M. Suemitsu, A. Kato, H. Togashi, A. Konno, Y. Yamamoto, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, Y. Narita, Y. Enta; "Real-time observation of initial thermal oxidation on Si(110)-16 × 2 surfaces by 0.1 s photoemission spectroscopy using synchrotron radiation", Jpn. J. Appl. Phys. (査読有), Vol. 46, No. 4B, 2007, p. 1888.

(22) S. Ogawa, A. Yoshigoe, S. Ishizuka, Y. Teraoka, Y. Takakuwa; "Si(001) surface layer-by-layer oxidation studied by real-time photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation", Jpn. J. Appl. Phys. (査読有), Vol. 46, No. 5B, 2007, p. 3244.

(23) 寺岡有殿, 吉越章隆, 盛谷浩右; "Si(001)表面における酸化膜形成過程とSi脱離の共存機構", 電気学会論文誌C (査読有), Vol. 127, 2007, p. 133.

(24) 小川修一, 高桑雄二, 石塚真治, 吉越章隆, 寺岡有殿, 盛谷浩右, 水野善之; "超音速酸素分子ビームによる並進運動エネルギー誘起Ti(0001)表面酸化反応", 電気学会論文誌C (査読有), Vol. 127, 2007, p. 140.

[学会発表] (計 135 件)

(1) 吉越章隆, 寺岡有殿; "酸素分子線照射量に依存したSi(111)表面の形状変化のSTM観察—並進運動エネルギーを2.2 eVとした場合—", 2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010年3月17日, 東海大学(湘南キャンパス).

(2) 吉越章隆, 寺岡有殿; "超音速酸素分子線によるSi(111)-7×7表面の室温酸化後のSTM観察", 2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010年3月17日, 東海大学(湘

南キャンパス).

(3) 吉越章隆, 寺岡有殿; "表面反応分析装置への走査型プローブ顕微鏡の導入—実空間—その場"観察の実現—", 第23回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2010年1月6日, イーグレ姫路(姫路).

(4) 吉越章隆, 寺岡有殿; "Si(111)-7×7表面の室温酸化の放射光XPS、LEEDおよびSTMによるリアルタイム観察", 第23回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2010年1月6日, イーグレ姫路(姫路).

(5) 吉越章隆, 寺岡有殿; "酸素分子の並進運動エネルギーによるSi(111)-7×7表面の酸化反応の促進", 第23回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2010年1月6日, イーグレ姫路(姫路).

(6) 吉越章隆, 寺岡有殿; "SPRING-8 BL23SUの表面化学反応分析装置(SUREAC2000)における実空間"その場"観察の実現", 第50回真空に関する連合講演会, 2009年11月4日, 学習院大学, 東京.

(7) 吉越章隆, 寺岡有殿; "Si(111)-7×7表面酸化の促進と酸素分子の並進運動エネルギーの関係", 第29回表面科学学術講演会, 2009年10月27日, タワーホール舟堀, 東京.

(8) 吉越章隆, 寺岡有殿; "放射光表面化学反応分析装置に導入した走査型プローブ顕微鏡", 第29回表面科学学術講演会, 2009年10月27日, タワーホール舟堀, 東京.

(9) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "Real-time observation of oxidation of Si(111)-7×7 surface at 300 K by using synchrotron radiation XPS, LEED and STM", International Workshop on Electronic Spectroscopy for Gas-phase molecules and solid surfaces (IWES2009), ICES 11 satellite workshop hosted by IMRAM, Tohoku University, 2009年10月12日, Hotel Taikanso, Matsushima, Sendai.

(10) 吉越章隆, 寺岡有殿; "Si(111)-7×7表面の室温酸化のLEED、STMおよび放射光XPSによるリアルタイム観察", 2009年(平成21年)秋季第70回応用物理学学会学術講演会, 2009年9月8日, 富山大学 五福キャンパス.

(11) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; "Role of translational kinetic energy of O₂ in adsorption process on Si(111)-7×7 surface at room temperature", European

Conference on Surface Science 26 (ECOSS 26), 2009年8月30日, Parma, Italy.

(12) 吉越章隆, 寺岡有殿; “放射光リアルタイム光電子分光で観たSi(111)表面の酸化過程”, 電気学会光・量子デバイス研究会, 2009年5月7日, 神戸大学(神戸市).

(13) Y. Teraoka, A. Yoshigoe, J. R. Harries; “Synchrotron radiation photoemission spectroscopy for native oxide layer on Vanadium and VCrTa”, The International Workshop for Surface Analysis and Standardization '09 (ISAS-09), 2009年3月15日, Okinawa Convention Center.

(14) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)-7×7への室温での酸素吸着過程に及ぼす酸素分子の並進運動エネルギーの役割”, 2009春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, 筑波大学.

(15) 吉越章隆, 寺岡有殿; “SPRING-8 BL23SUの表面化学反応分析実験ステーションにおける走査型プローブ顕微鏡”, 2009春季第56回応用物理学関係連合講演会, 2009年3月30日, 筑波大学.

(16) 吉越章隆, 寺岡有殿; “酸素分子の並進運動エネルギーによるSi(111)-7×7表面への吸着促進機構の放射光リアルタイム光電子分光観察”, 第22回放射光学会年会・合同シンポジウム, 2009年1月9日, 東大本郷キャンパス.

(17) A. Yoshigoe, Y. Teraoka, J. R. Harries; “Enhancement of O₂ adsorption on Si(111)-7×7 by translational kinetic energy of O₂ revealed by real-time XPS using synchrotron radiation”, The 5th International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5), 2009年11月9日, Waseda University.

(18) Y. Teraoka, A. Yoshigoe, J. R. Harries; “Photoemission Analyses on Oxides at Single Crystal Vanadium Surfaces”, The 5th International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5), 2009年11月9日, Waseda University.

(19) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Time-resolved observation of trapping-mediated O₂ adsorption on Si(111)-7×7 by synchrotron radiation photoelectron spectroscopy”, 2008 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices Science

and Technology (IWDTF2008), 2008年11月5日, Tokyo Institute of Technology.

(20) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)-7×7への前駆的吸着状態を経由した酸素分子の吸着過程のリアルタイム放射光光電子分光観察”, 2008年(平成20年)秋季第69回応用物理学学術講演会, 2008年9月2日, 中部大学(春日井市).

(21) 吉越章隆, 寺岡有殿; “直接吸着機構による酸素分子のSi(111)-7×7への吸着促進”, 2008年(平成20年)秋季第69回応用物理学学術講演会, 2008年9月2日, 中部大学(春日井市).

(22) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Real-time observation of Si(111)-7×7 by using synchrotron radiation photoelectron spectroscopy”, 4th International Workshop on reactions involving oxidation & hydrogen-Global COE Forum 2008-, 2008年8月22日, Osaka University.]

(23) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Real-time monitoring of rest atoms during oxidation at 300 K of Si(111)-7×7 using synchrotron radiation photoelectron spectroscopy”, 25th European Conference on Surface Science (ECOSS-25), 2008年7月27日, University of Liverpool.

(24) 吉越章隆, 寺岡有殿; “酸素分子によるSi(111)-7×7の酸化反応ダイナミクスと初期吸着確率の表面温度依存性”, 第55回応用物理学学術講演会, 2008年3月27日, 日大理工, 千葉.

(25) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)-7×7表面の室温酸化におけるレストアトムの放射光XPSによるリアルタイム観察”, 第55回応用物理学学術講演会, 2008年3月27日, 日大理工, 千葉.

(26) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Real time observation of O₂ adsorption on Si(111)-7x7 at 300K by use of synchrotron radiation O 1s and Si 2p XPS”, Symposium on Surface and Nano Science 2008 (SSNS08), 2008年1月22日, Appi, Iwate.

(27) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)表面の酸化反応ダイナミクスと初期吸着確率の表面温度依存性の関係”, 第21回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム, 2008年1月12日, 立命館大学草津キャンパス.

(28) 吉越章隆, 寺岡有殿; “放射光リアルタイム0 1sおよびSi 2p光電子分光で観た酸素ガスによるSi(111)表面の室温酸化反応”, 第21回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム, 2008年1月12日, 立命館大学草津キャンパス.

(29) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Incident kinetic energy of O₂ and surface temperature dependence of initial sticking probability for Si(111)-7×7 investigated by real-time XPS combined with supersonic molecular beam”, 4th International Symposium on Practical Surface Analysis and 6th Korea-Japan International Symposium on Surface Analysis, 2007年11月25日, 金沢音楽堂.

(30) 吉越章隆, 寺岡有殿; “初期吸着確率の入射運動エネルギーおよびその表面温度依存性にみるSi(111)-7×7表面への酸素分子の吸着ダイナミクス”, 第27回表面科学講演大会, 2007年11月1日, 東大生産技術研究所.

(31) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)-7×7表面への酸素分子の室温吸着過程の放射光光電子分光によるリアルタイム観察-0 1sおよびSi 2pの時間変化およびその相関-”, 第27回表面科学講演大会, 2007年11月1日, 東大生産技術研究所.

(32) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Time resolved 0 1s & Si 2p XPS for oxidation of Si(111)-7×7 at 300K”, 9th International Conference on Atomically controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, 2007年11月11日, 東大生産技術研究所.

(33) Y. Teraoka, A. Yoshigoe; “SR-XPS analysis for AlN layer formed on Al(111) at 473K by supersonic N₂ molecular beams”, 4th International Symposium on Practical Surface Analysis and 6th Korea-Japan International Symposium on Surface Analysis, 2007年11月8日, Sendai in Japan.

(34) 吉越章隆, 寺岡有殿; “Si(111)-7×7表面の室温酸化における0 1sおよびSi 2p光電子スペクトルの時間変化”, 第68回応用物理学学術講演会, 2007年9月4日, 北海道工業大学.

(35) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Observation of metastable O₂ adsorption structure on Si(111)-7×7 at room temperature by

real-time 01s & Si2p XPS using synchrotron radiation”, 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (ECASIA' 07), 2007年9月9日, Brussels -Flagey-.

(36) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “Metastable molecularly chemisorbed oxygen adsorbate on Si(111)-7×7 surface observed by synchrotron radiation real-time photoelectron spectroscopy”, The 3rd International Workshop on Oxidation Reactions, 2007年5月10日, Suita, Osaka.

(37) A. Yoshigoe, Y. Teraoka; “In-situ observation of oxidation on Si(111)-7×7 surface at room temperature by use of synchrotron radiation x-ray photoelectron spectroscopy”, 2nd Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructure, 2007年6月19日, Matsushima, Miyagi.

[産業財産権]
○出願状況 (計 1 件)

名称: グラフェンの形成方法およびグラフェンの形成装置
発明者: 寺岡有殿, 吉越章隆, 吹留博一, 末光眞希, 今泉京
権利者: 独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人東北大学
種類: 特許
番号: 特願 2010-45842
出願年月日: 2010年3月2日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者
吉越 章隆 (YOSHIGOE AKITAKA)
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門・研究副主幹
研究者番号: 00283490

(2) 研究分担者
寺岡 有殿 (TERAOKA YUDEN)
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門・研究主幹
研究者番号: 10343922

(3) 連携研究者
なし