

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基礎研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19310085

研究課題名 (和文) 数層グラフェン薄膜のナノスケール伝導特性の解明

研究課題名 (英文) Investigation of nano-scale conductance properties of few layer graphene films

研究代表者

永瀬 雅夫 (NAGASE MASAO)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・主任研究員

研究者番号：20393762

研究成果の概要 (和文)：

SiC 上に熟成長したグラフェンの局所電子物性の解明を目的に研究を進めた。低エネルギー電子顕微鏡を用いることにより精密な層数制御に成功した。さらに、層数制御を行った高品質なグラフェン薄膜に対して、独自に開発した集積化ナノギャップ電極プローブを用いてその局所電子物性の計測を行った。その結果、ナノグラフェンにおいては閉じこめ効果に由来するコンダクタンスの幅依存性が観察できた。また、均一グラフェンにおいてはステップ部での導電率変調を見いだした。今後のグラフェンの電子デバイス応用に関して有益な知見が多く得られた。

研究成果の概要 (英文)：

A main purpose of this study is an investigation of nano-scale conductance properties of few layer graphene films on SiC substrate. A precise control of layer numbers of graphene has been realized using low-energy electron microscopy. The local conductances of few layer graphene were measured using an integrated nanogap probe which was newly developed for this study. The measured results revealed a confinement effect in graphene nano-islands and a conductance modification near atomic step in continual graphene sheets. A lot of useful knowledge for future graphene electronics has been obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学 ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ材料、マイクロ・ナノデバイス、計測工学、グラフェン

1. 研究開始当初の背景

2004年にマンチェスター大学のグループにより初めてその特異な電子物性が計測されたグラフェンは、その優れた各種物性が多く

の研究者の興味を引き、研究が活発となっていた。優れた電子物性によりポストシリコン材料として期待されているグラフェンではあるが、大規模な薄膜形成法は実現されてい

なかった。特に、大規模なエピタキシャルグラフェン薄膜を形成出来る可能性がある SiC 基板上の熱成長グラフェンについては、その層数制御技術、及び、局所電子物性評価技術が確立されておらず、その詳細な電子物性等も明らかにされていなかった。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、グラフェンの優れた電子物性をポストシリコン向けのデバイスとして活用することにある。そのために、まず、高品質で高均一なグラフェン薄膜を得る必要がある。さらに、その局所電子物性を制御してデバイス化の路を探索する。

3. 研究の方法

従来のデバイスプロセスとの整合性が高い、SiC 上の熱成長エピタキシャルグラフェンを研究対象として、各種の顕微鏡的手法を駆使して、高均一・高品質なグラフェン薄膜の形成法を確立する。具体的には、(1)低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) による、層数同定手法により、高均一なグラフェン形成の条件を見いだす。また、(2)集積化ナノプローブにより局所電子物性評価を行い、その高品質化を推進する。(3)ミクロスコピック成長過程を実験と理論を対比させて明らかにする。(4)検討を通して確立した試料作成法、評価を活用して、高均一・高品質グラフェンのデバイス化を行う。さらに、デバイスの機能化に繋がる局所電子物性の変調手法の探索も行う。

4. 研究成果

(1) SiC 上グラフェンの層数同定

LEEM を用いた層数同定手法を確立して、他に先駆けて高均一・高品質なエピタキシャルグラフェン薄膜の実現を行った。図 1 は、SiC

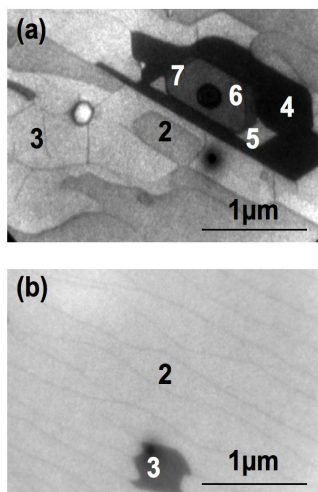


図1 SiC 上数層グラフェン LEEM 像
(a)最適化前、(b)最適化後

上数層グラフェンの LEEM 像であり、図中の数字は層数同定技術により特定した層数である。当初作製したグラフェンは、図 1(a) の様に不均一であったが、作製条件の最適化により (b) に示すような均一グラフェン薄膜を実現した。

LEEM によるグラフェン層数同定技術により SiC 上グラフェンの研究が飛躍的に進歩した。本成果は、波及効果が非常に大きく多く引用されている。

(2) グラフェン局所電子物性計測

図 2 に示すような、独自に開発した集積化

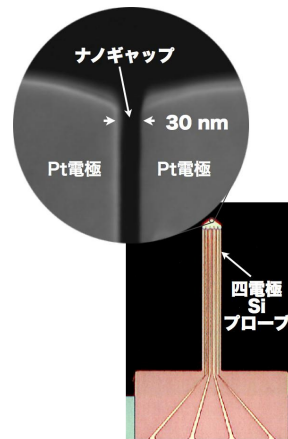


図2 集積化ナノギャップ
電極プローブ

ナノギャップ電極プローブを用いて、作製した SiC 上数層グラフェンの局所電子物性を計測した。

層数制御技術によりグラフェンのナノ島を形成した試料に対して、本プローブを適用することにより、リソグラフィを用いることなく、ナノ島の導電

特性の計測に成功した。(図 3) 高い分解能で像観察が可能で、さらに個別の島の特性の把握が可能であった。導電率像を定量的に解析することにより層数分布と導電率に対する閉じ込め効果の影響を明確化することが出来た。

さらに集積化ナノギャップ電極プローブ

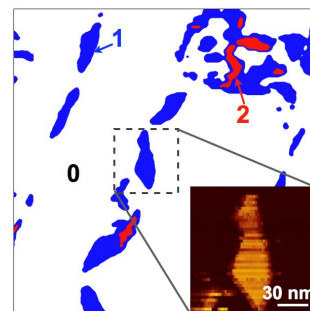


図3 グラフェンナノ島の導電率像

を用いて、均一なグラフェンの局所電子物性の把握を試みた。図 1 (b) のような均一なグラフェンの導電率像を観察した結果、ステップ構造に由来する導電率の変調が観察された。(図 4 (a)) 断面 TEM 観察の結果、図 4 (b) に示すように、ステップ部でもグラフェンは

途切れることなく成長していることが判った。このことはステップ部での導電率変調は、膜の不連続性では無く、下地との相互作用の違いに由来すると推定される。この知見は、グラフェンの局所電子物性を基板との局所的な相互作用の変調により制御できる可能性を示唆しており、本研究の次のステップである、局所電子物性制御について重要な指針を与えている。

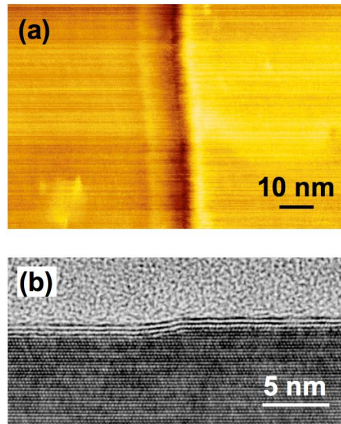


図4 ステップ付近の二層グラフェン
(a)導電率像、(b)断面 TEM 像

本検討を通して、集積化ナノギャップ電極プローブの有用性を示すことが出来た。また、グラフェンの局所電子物性に関する重要な知見を得ることが出来た。

(3) SiC 上グラフェンの成長機構解明

LEEM や集積化プローブで得られた知見を理解し、さらに、より高品質なグラフェンを実現するには、その成長過程を理解する必要がある。この目的で、第一原理計算を用いてグラフェンの成長過程の解明を進めた。その結果、新たなカーボン層(2nd carbon layer)が既存のカーボン層(1st carbon layer)の下に形成されることを発見した。(図5(a))さ

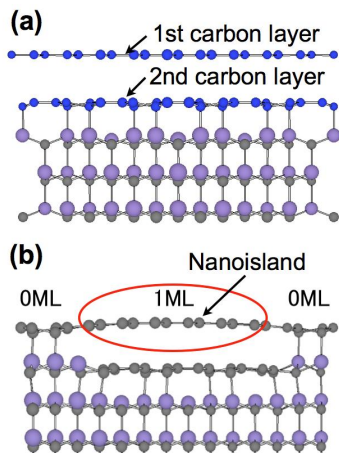


図5 SiC 上グラフェン原子構造モデル
(a)1層グラフェン、(b)グラフェンナノ島

らに、図3で示した、グラフェンナノ島の構造が、図5(b)に示すような、これまで知られていない新たなナノ構造であることを明らかにした。

本成果は、今後の高均一グラフェンの実現に需要であるのみならず、新たなナノ構造の提案、さらにその機能発現に関して多くの示唆的な知見を含む。

(4) top-gate デバイス技術の開発

本検討と通して実現した高均一グラフェン薄膜の特性の把握を主な目的に、top-gate 技術の開発を行った、HSQ をゲート絶縁膜、および、層間絶縁膜として用いるデバイスプロセスを実現して、電界効果特性の計測に成功した。グラフェン膜質の定量的な把握は今後の課題であるが、その目的に必要なデータの蓄積は開始することが出来た。

本研究課題の最大の目標であるグラフェンのナノスケール伝導特性の計測は実現し多くの知見が得られた。また、そのデバイス化への路も開くことができ、当初の目的はほぼ達成した。また、検討の過程で当初、予測した以上の、多くの有用な知見を得ており、今後のグラフェン研究の発展に多いに寄与することが出来る。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計16件)

- (1) H. Hibino, H. Kageshima, and M. Nagase, Epitaxial few-layer graphene: toward single crystal growth, J. Phys. D, 査読有, , 2010, in press
- (2) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Contact Conductance Measurement of Locally Suspended Graphene on SiC, Appl. Phys. Express, 査読有, 3, 2010, 045101
- (3) 永瀬雅夫, 炭素材料グラフェン(寄稿記事)、工業材料, 査読無, 58, (2010) 44-45
- (4) H. Kageshima, H. Hibino, M. Nagase, and H. Yamaguchi, Epitaxial Graphene Growth Studied by Low-energy Electron Microscopy and First-principles, Materials Science Forum, 査読有, 645-648, 2010, 597-602
- (5) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local Conductance Measurement of Double-layer Graphene on SiC Substrate, Nanotechnology, 査読有, 20, 2009, 445704
- (6) H. Hibino, S. Mizuno, H. Kageshima, M. Nagase, and H. Yamaguchi, Stacking domains of epitaxial few-layer graphene on SiC(0001), Phys. Rev. B, 査読有, 80, 2009, 085406
- (7) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima, and H. Yamaguchi, Metrology of microscopic properties of graphene on SiC, 信学技報, ED2009-61, 査読無, SDM2009-56, 47-52
- (8) K. TAMARU, K. NONAKA, M. NAGASE, H. YAMAGUCHI, S. WARISAWA, and S. ISHIHARA, Direct

Actuation of GaAs Membrane with the Microprobe of Scanning Probe Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 48, 2009, 06FG06

- (9) H. Kageshima, H. Hibino, M. Nagase, and H. Yamaguchi, Theoretical Study of Epitaxial Graphene Growth on SiC(0001) Surfaces, Appl. Phys. Express, 査読有, 2, 2009, 065502
- (10) 永瀬雅夫, グラフェンのエレクトロニクスへの展開、未来材料、査読無, 9, 2009, 38-45
- (11) 永瀬雅夫, グラフェンのミクロスコピックな物性の解明(寄稿記事)、セラミックス、査読無, 44, 2009, 181-182
- (12) H. Hibino, H. Kageshima, M. Kotsugi, F. Maeda, F.-Z. Guo, and Y. Watanabe, Number-of-layers dependence of electronic properties of epitaxial few-layer graphene investigated by photoelectron emission microscopy, Phys. Rev. B, 査読有, 79, 2009, 125437
- (13) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, In-plane conductance measurement of graphene nanoislands using an integrated nanogap probe, Nanotechnology, 査読有, 19, 2008, 495701
- (14) H. Hibino, H. Kageshima, F. Maeda, M. Nagase, Y. Kobayashi, and H. Yamaguchi, Thickness Determination of Graphene Layers Formed on SiC Using Low-Energy Electron Microscopy, e-J. Surf. Sci. Nanotech., 査読有, 6, 2008, 107-110.
- (15) K. Nonaka, K. Tamaru, M. Nagase, H. Yamaguchi, S. Warisawa, and S. Ishihara, Height Dependence of Young's Modulus for Carbon Nano-pillars Grown by Focused-Ion-Beam-Induced Chemical Vapor Deposition, Jpn. J. Appl. Phys. 査読有, 47, 2008, 5116-5119
- (16) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local conductance measurement of few-layer graphene on SiC substrate using an integrated nanogap probe, J. Phys: Conf. Series, 査読有, 100, 2008, 052006

[学会発表] (計41件)

- (1) 影島博之, SiC上エピタキシャルグラフェンの原子構造と電子状態”(招待講演)、日本物理学会 2010年春季第65回年次大会, 2010.3.22, 岡山大学/岡山市
- (2) 日比野浩樹, SiC上に成長したエピタキシャルグラフェンの構造と電子特性の表面電子顕微鏡による解析”(招待講演)、日本物理学会 2010年春季第65回年次大会, 2010.3.21, 岡山大学/岡山市
- (3) 田邊真一, 関根佳明, 永瀬雅夫, 日比野浩樹, SiC上グラフェントランジスタの電気特性評価、2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010.3.19, 東海大学/平塚市
- (4) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司、

SiC(0001)面上に形成されるグラフェン島の理論検討、2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010.3.18, 東海大学/平塚市

- (5) 日比野浩樹, 影島博之, 永瀬雅夫, 山口浩司、炭化反応が駆動する少数層グラフェン上のSiナノ粒子の移動、2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010.3.18, 東海大学/平塚市
- (6) 永瀬雅夫, 日比野浩樹, 影島博之, 山口浩司、SiC上数層グラフェンの断面TEM観察、2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 2010.3.18, 東海大学/平塚市
- (7) 永瀬雅夫, グラフェン開発の現状と極限材料応用の可能性について(招待講演)、平成21年度第2回理工学研究所講演会(日本大学), 2010.3.1, 日本大学理工学部駿河台校舎, 東京都
- (8) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司、SiC(0001)上グラフェン成長のエナージェティクス(招待講演)、第2回九州大学応用力学研究所グラフェン研究会「エピタキシャルグラフェンの形成と物性」、2010.1.29, 神戸国際会議場/神戸
- (9) 永瀬雅夫, 炭素新材料グラフェン(招待講演)、第5回表面技術会議「環境対応の先端ナノ構造」、2010.2.18, 東京ビックサイト, 東京都
- (10) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司、SiC単結晶基板上的エピタキシャルグラフェン形成と基礎物性—デバイス展開を目指して—(招待講演)、第18回SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会, 2009.12.18, 神戸国際会議場/神戸
- (11) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima, and H. Yamaguchi, Microscopic characterization of few-layer graphene on SiC using an integrated nanogap probe [Invited], 17th Int. Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM17), 2009.12.12, Atagawa-Height/Higashi-izu/Japan
- (12) H. Hibino, H. Kageshima, and M. Nagase, Microscopic Evaluations of Structure and Electronic Properties of Epitaxial Graphene [Invited], 7th Int. Symp. Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices (ALC'09), 2009.12.9, The Westin Maui Resort & Spa/Maui/Hawaii/USA
- (13) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima, and H. Yamaguchi, Microscopic characterization of few-layer graphene on SiC [Invited], Int. Symp. Advanced Nanodevices and Nanotechnology (ISANN2009), 2009.12.3, Sheraton Maui Resort and Spa, Kaanapali/Hawaii/USA
- (14) 影島博之, グラフェンの基礎物性とその理論—デバイス応用の観点から—(招待講演)、早稲田大学大学院先進理工学研究科第82回QMSセミナー, 2009.11.20, 早稲田大学/新宿区

- (15) H. Hibino, H. Kageshima, and M. Nagase, Structure and Electronic Properties of Epitaxial Graphene grown on SiC Studied by Surface Electron Microscopy [Invited], 22nd Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf. (MNC2009), 2009.11.18, Sheraton Sapporo Hotel/Sapporo/Japan
- (16) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司, SiC上グラフェン島の理論検討, 東京大学物性研究所短期研究会, 2009.10.24, 東大物性研/柏市
- (17) H. Kageshima, H. Hibino, and M. Nagase, Study of Epitaxial Graphene Growth using LEEM and First-principles [Invited], 13th Int. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials, (ICSCRM2009), 2009.10.12, Nurnberg/ Germany
- (18) H. Hibino, Surface electron microscopy studies of structure and electronic properties of epitaxial few-layer graphene grown on SiC, 2009 RIEC Cooperative Research Project on "Control and Elucidation of Growth Mechanism of Graphene for device applications in the next generation", 2009.10.6, RIEC/Tohoku Univ./Sendai/ Japan
- (19) H. Kageshima, First-principles study on energetics of C aggregation on SiC surfaces for understanding epitaxial graphene growth mechanism, 2009 RIEC Cooperative Research Project on "Control and Elucidation of Growth Mechanism of Graphene for device applications in the next generation", 2009.10.6, RIEC/Tohoku Univ./Sendai/Japan
- (20) M. Nagase, Microscopic conductance measurement of few-layer graphene on SiC, 2009 RIEC Cooperative Research Project on "Control and Elucidation of Growth Mechanism of Graphene for device applications in the next generation", 2009.10.6, RIEC/Tohoku Univ./Sendai/Japan
- (21) 永瀬雅夫, 日比野浩樹, 影島博之, 山口浩司, "SiC上グラフェンへの導電性プローブのコンタクト特性(2)", 2009年秋季・第70回応用物理学会学術講演会, 2009.9.9, 富山大学/富山市
- (22) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司, SiC(0001)面上グラフェン形成の第一原理計算-吸着原子・原子空孔の影響-, 2009年秋季・第70回応用物理学会学術講演会, 2009.9.8, 富山大学/富山市
- (23) 日比野浩樹, 前田文彦, 影島博之, 永瀬雅夫, 広沢一郎, 渡辺義夫, エピタキシャルグラフェン/SiC界面構造のX線CTR散乱による解析, 2009年秋季・第70回応用物理学会学術講演会, 8p-G-7, 2009.9.8, 富山大学/富山市
- (24) 永瀬雅夫, "エピタキシャル・グラフェンの走査プローブ顕微鏡による物性評価" (招待講演)、有機バイオSPM研究会2009「先端材料をプローブ顕微鏡で観る・測る」, 2009.9.4, 幕張メッセ国際展示場/千葉市
- (25) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima, and H. Yamaguchi, Metrology of microscopic properties of graphene on SiC [Invited], 2009 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2009), 2009.6.24 Haeundae Grand Hotel/Busan/ Korea
- (26) 永瀬雅夫, グラフェンの現状と宇宙エレベータテザーとしての可能性について" (招待講演)、(社)宇宙エレベータ協会 第3回ワークショップ, 2009.5.24, 日本大学理工学部駿河台キャンパス/東京都
- (27) 永瀬雅夫, SiC上グラフェンの物性評価 (招待講演)、有機デバイス研究会 第77回研究会「グラフェンの最新技術動向と展望」, 2009.4.24, 静岡大学浜松キャンパス/浜松市
- (28) 永瀬雅夫, 日比野浩樹, 影島博之, 山口浩司, SiC上グラフェンへの導電性プローブのコンタクト特性, 2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009.4.1, 筑波大学/つくば市
- (29) 影島博之, 日比野浩樹, 永瀬雅夫, 山口浩司, SiC(0001)面上エピタキシャルグラフェン形成に関する第一原理計算, 2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009.3.31, 筑波大学/つくば市
- (30) 日比野浩樹, 水野清義, 影島博之, 永瀬雅夫, 山口浩司, SiC上に成長したエピタキシャルグラフェンの積層ドメイン構造", 2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 2009.3.31, 筑波大学/つくば市
- (31) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Novel microscopies for graphene on SiC [Invited], 2009 RCIQE Int. Seminar on "Advanced Semiconductor Materials and Devices", 2009.3.2, Hokkaido Univ./Sapporo/ Japan
- (32) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local Conductance of Deformed Graphene Near Atomic Steps on SiC, Int. Symp. Nanoscale Transport and Technol. (ISNTT2009), 2009.1.23, NTT Atsugi R&D Center/Atsugi/Japan
- (33) 永瀬雅夫, SiC上のグラフェン-走査プローブ顕微鏡による評価技術- (招待講演)、学振ナノプローブテクノロジー第167委員会 第53回研究会, 2009.1.8, キャンパスプラザ京都/京都市
- (34) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local conductance measurement of deformed double-layer graphene on atomic step-structures of SiC substrate, 13th Advanced Heterostructures and

Nanostructures Workshop (AHNW2008),
2008.12.10, Hapuna Beach Prince Hotel/Big
Island of Hawaii/USA

- (35) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local conductance measurement of thermally grown graphene on SiC substrate, Int. Symp. on Graphene Devices 2008 (ISGD2008), 2008.11.18, Univ. of Aizu/Aizu-wakamatsu/Japan
- (36) H. Kageshima, H. Hibino, M. Nagase, and H. Yamaguchi, Theoretical study on epitaxial graphene formation on SiC(0001) surface, Int. Symp. on Graphene Devices 2008 (ISGD2008), 2008.11.17, Univ. of Aizu/Aizu-wakamatsu/Japan
- (37) H. Hibino, M. Nagase, C. Jackson, H. Kageshima, Y. Kobayashi, and H. Yamaguchi, Evaluation of the number of graphene layers grown on SiC: SPM and RAMAN spectroscopy studies, Int. Symp. on Graphene Devices 2008 (ISGD2008), 2008.11.17, Univ. of Aizu/Aizu-wakamatsu/ Japan
- (38) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, In-plane conductance images of few-layer graphene on SiC substrate, IEEE Nanotechnology Materials and Devices 2008 (NMDC2008), 2008.10.21, Kyoto Univ./Kyoto/Japan
- (39) 永瀬雅夫, 日比野浩樹, 影島博之, 山口浩司, 二層グラフェン導電率へのSiC基板表面ステップ構造の影響、2008年(平成20年)秋季第69回応用物理学会学術講演会、2008.9.3, 中部大学/春日井市
- (40) M. Nagase, H. Hibino, H. Kageshima and H. Yamaguchi, Local Conductance of Graphene Near Buried Atomic Steps on SiC Substrate, Int. Conf. Nanoscience and Technol. 2008 (ICN+T2008), 2008.7.22, Keystone/CO/USA
- (41) 永瀬雅夫, 日比野浩樹, 影島博之, 山口浩司, SiC上のグラフェン成長と電気特性(招待講演), 第55回応用物理学関係連合講演会、2008.3.28, 日本大学理工学部船橋キャンパス

[図書] (計1件)

- (1) 永瀬雅夫、他、監修：斉木幸一朗、徳本洋志、シーエムシー出版、グラフェンの機能と応用展望、一部(第11章 SiC上のグラフェン成長と電気特性)の執筆を分担、2009, p.147-158

[産業財産権]

○出願状況(計2件)

名称：抵抗可変電子素子
発明者：永瀬雅夫、日比野浩樹、影島博之、山口浩司
権利者：日本電信電話株式会社
種類：特願2008
番号：226923
出願年月日：H20.9.4

国内外の別：国内

名称：グラフェントランジスタおよびその製造方法
発明者：田邊 真一、日比野 浩樹、永瀬 雅夫、関根 佳明
権利者：日本電信電話株式会社

種類：特願2010

番号：37004

出願年月日：H22.2.23

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

- (1) <http://www.br1.ntt.co.jp/people/nagase/>
- (2) 日刊工業新聞、グラフェントランジスタ 次世代素子実用化競う、[コメント掲載]、2009.12.7
- (3) 日本経済新聞、高機能の新炭素材料「グラフェン」、[コメント掲載]、2009.9.7
- (4) GAKKEN MOOK 決定版 ロケットと宇宙開発 (2009.7) p.134、学研、グラフェンの画像(資料提供)
- (5) 日本経済新聞、サイエンス：宇宙旅行、エレベーターで、[コメント掲載]、2009.7.12
- (6) 日刊工業新聞、CNTからグラフェンへ、[コメント掲載]2009.5.26
- (7) 化学と工業 2008年12月号、日本化学会、カーボンナノチューブを越えるか新炭素系材料「グラフェン」、[取材記事]
- (8) 日刊工業新聞、炭素材料「グラフェン」に脚光、[取材記事] 2008.12.1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永瀬 雅夫 (NAGASE MASAO)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・主任研究員
研究者番号：20393762

(2) 研究分担者

日比野 浩樹 (HIBINO HIROKI)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・機能物質科学研究部・主幹研究員
研究者番号：60393740

関根 佳明 (SEKINE YOSHIKI)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・社員
研究者番号：70393783

影島 博之 (KAGASHIMA HIROYUKI)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・主任研究員
研究者番号：70374072

山口 浩司 (YAMAGUCHI HIROSHI)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・部長
研究者番号：60374071

岡本 創 (OKAMOTO HAJIME)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・社員
研究者番号：20350465