

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26600044

研究課題名(和文) 太陽炉を用いた反応性超高温処理によるグラフェン形成法の研究

研究課題名(英文) Graphene synthesis by ultrahigh temperature process in reactive environment using solar furnace

研究代表者

小林 慶裕 (Kobayashi, Yoshihiro)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30393739

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)：太陽炉を用いて得られる超高温(～1800℃)の反応性雰囲気中で酸化グラフェンを処理し、化学剥離過程で生成する欠陥を修復することにより、高結晶性のグラフェンを形成する技術の開発を進めた。エタノール雰囲気中で処理した酸化グラフェン薄膜から得られたラマンスペクトルで、Dバンド/Gバンド強度比として0.1、2Dバンド/Gバンド強度比として0.7が観測され、従来の不活性雰囲気と比べ著しく構造修復が進行することを明らかにした。さらに、2Dバンド形状の解析から、不活性雰囲気中で進行するグラファイト化が抑制され、単層グラフェンに類似した物性が得られる乱層グラフェンが生成するという全く新奇な現象を見出した。

研究成果の概要(英文)：The restoration of graphitic structures from defective graphene oxide (GO) was examined in a reactive ethanol environment at ultrahigh temperatures up to 1800°C. The processed GO thin films exhibit much better features of D- and G-bands in Raman spectra than that for GO processed in inert (N₂ or Ar) environment. The stacking order of the processed GO was analyzed by 2D-band shape in Raman spectra. The volume ratio of Bernal stacking in the GO processed in ethanol gave rise to the ratio of ~30%, which is much smaller than that for the GO processed in inert environment. This result means that ethanol effectively suppresses unfavorable GO graphitization at ultrahigh temperatures and turbostratic structures are preferentially formed. GO thin films processed in ethanol at ultrahigh temperature should be promising process for fabricating turbostratic graphene towards application such as quasi single-layer electronics in future studies.

研究分野：ナノ材料工学

キーワード：グラフェン 酸化グラフェン 超高温プロセス 構造修復 乱層構造 太陽炉

1. 研究開始当初の背景

低次元ナノカーボン材料であるグラフェンは、従来のバルク材料にはない優れた特性が実証されている。ナノデバイス材料としては、高キャリア移動度や電界効果が観測され、バリスティック伝導や超高速FETへの研究が進展している。さらに、極めて高い電気・熱伝導性や可視光透過性、機械的強度、比表面積を併せ持つという他の材料にはない特長も見出されている。これらの革新的な特性をもつグラフェンは、エレクトロニクス応用だけではなく、ITOを代替する透明導電膜、リチウムイオン電池や空気電池などの2次電池電極、樹脂・金属との複合材など応用技術のための次世代材料として有望視されている。

グラフェン作製法として用いられているグラファイト剥離法や金属上CVD成長法では高品質なグラフェンは得られるが、大量製造への展開が課題となる。一方、多量に製造する方法として、安価なグラファイトの酸処理でグラフェンを得る化学剥離法の研究が活発化している。この手法では、剥離プロセス中に酸素との結合や炭素欠損などの欠陥が多く生成し、 π 電子系が破壊される。単純な加熱処理や低温の化学プロセスでは欠陥修復が不十分のため、グラフェン本来の性能が得られず、物性的な優位性を発揮できない。このように、従来技術ではグラフェンの高生産性と高品質化が両立できておらず、生活に深く関わるバルクスケール応用には新たな製造方法の創成が求められている。

これまでに我々はアルコールを炭素源とした化学気相成長(CVD)条件で化学剥離(酸化)グラフェンの構造回復が効率的に進行する現象を見出した。そのプロセスでは、処理温度の上昇とともに欠陥修復が進行し、結晶性が向上する。しかし、通常のCVD成長装置で常用できる上限温度である1100°Cにおいても結晶性の向上は飽和していない。より結晶性の高いグラフェンを得るためには従来条件以上の超高温での検討が必要であることが認識されていた。

2. 研究の目的

太陽炉を用いて得られる2000°C近傍の超高温で、しかも反応性ガス雰囲気での熱プロセスにより、高結晶性のグラフェンを形成する技術を開拓することが本研究の目的である。グラファイトの化学的剥離で大量に製造可能な酸化グラフェンを原材料とした高結晶性グラフェン形成はクリーンな超高温・反応性プロセスにより達成することを目指す。化学剥離で得られる酸化グラフェンに存在する欠陥を効果的に構造修復するには、これまでに報告された1000°Cでの処理を遥かに超える超高温での処理に加え、アルコールという炭素含有ガス雰囲気中で積極的に炭素を供給する処理を行うことがこれまでにない本手法の新規なポイントである。炭素材料にとって1000°C程度は”低温”であり、その構造を変換するにはそれを大きく上回る温度とすることが本質的に重要である。この超高温処理と我々が見出した積極的な炭素供給による欠陥修復効果との相乗作用により本研究の目標が達成されれば、グラフ

エン実用化の課題となっている高性能なグラフェン薄膜を大量に製造する基盤技術への新たなルートが切り拓かれる。その技術の活用により、がんやアレルギー診断への応用が期待されるバイオセンサ等の材料としてグラフェンを用いた実用化研究が加速すると期待される。

本課題の2年の研究期間では、超高温プロセスによる高結晶性グラフェン製造技術の基盤を築くことに重点を置き、その後のスケールアップした本格的な製造技術開発へと結びつける起爆剤とする。具体的な課題は以下の3点である。

- (1) 太陽炉によるグラフェン超高温処理装置の構築: 太陽炉を用いて2000°C近傍の超高温処理をおこなう反応炉やガス導入系を設計・構築し、不活性・真空雰囲気中で化学剥離グラフェンの超高温処理が可能であることを実証する。
- (2) 反応性雰囲気での超高温処理によるグラフェン構造修復の検証: 開発した超高温反応炉を用いて炭素源ガス中で酸化グラフェンを処理し、高品質グラフェン形成の可能性を検証する。
- (3) グラフェン薄膜性能解析: 得られたグラフェン膜について、ラマン分光法等による構造解析や物性評価の結果から、実用的な材料としてのポテンシャルを実証する。

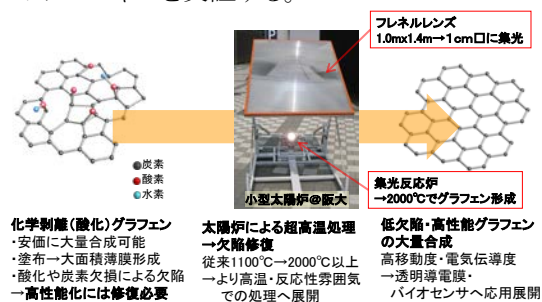


図1: 本研究の目的と期待される発展性

3. 研究の方法

本研究では、太陽炉を利用した反応性雰囲気での超高温処理により大量製造可能な酸化(化学剥離)グラフェンから高品質なグラフェンを形成するという新たな技術を開発する。これまでに確立している太陽光集光装置をベースに、制御した雰囲気中で酸化グラフェンの超高温処理を行うための反応炉システムを新たに構築した。その基本構成の模式図を図2に示す。太陽光は大き

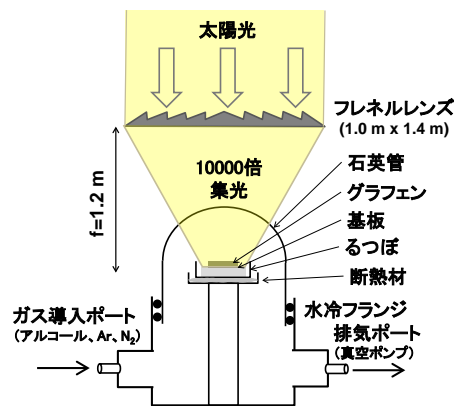


図2: 太陽炉を用いた超高温加熱処理系の基本構成

さが1.0mx1.4mのフレネルレンズを用いて集光され、石英管内に配置された試料上で焦点を結ぶ。レンズの焦点距離は1.4m、試料位置での集光径は1cm程度である。日照条件がよい場合は焦点位置において2000℃程度の超高温が得られる。このような超高温が得られることは高融点金属の融解を直接観測することにより確認した。

試料に用いた酸化グラフェンは単層に剥離した酸化グラフェンを凝集・乾燥させてフレック状にしたものである。この試料をグラファイトのつぼに入れて、様々な雰囲気中で超高温処理を行った。超高温に耐える材料としてよく使用されるサファイアやジルコニアは、炭素との間で還元反応を起こし、グラフェンに損傷を与えるため、超高温での基板としては使用できない。そのため、酸化グラフェンフレックをグラファイトのつぼで処理するという構成を採用した。

グラフェンを処理する気相雰囲気としては、窒素あるいはアルゴンからなる不活性雰囲気と、エタノールを導入した反応性雰囲気を比較した。これらのガスの導入はマスフローコントローラーを用いることにより高い精度でおこなった。導入したガスの排気にはロータリーポンプを用いた。

4. 研究成果

(1) 小型太陽炉によるグラフェン超高温処理システムの構築

太陽炉及びガス導入・排気系の設計・構築に関して、これまでに実施してきた予備検討の経験を踏まえ、より安定した処理が可能なシステムを新たに構築した。特に太陽炉について、太陽の高度・方位の2軸方向の変化に伴う集光系の追尾を高精度に行える装置を新たに導入した。これにより長時間プロセスを行う場合の照射条件の安定性が著しく向上した。

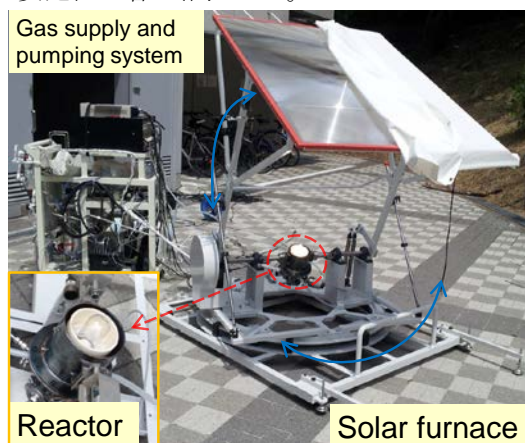


図3 新たに構築した改良型小型太陽炉
集光レンズの方位と高さ方向の角度を調整可能

(2) 不活性雰囲気での超高温処理の検討

小型太陽炉超高温処理システムを用いて、不活性ガス(窒素、アルゴン)や真空雰囲気中でGOを処理し、構造に及ぼす効果を検証した。予備検討で使用したサファイアやジルコニアなどの高融点酸化物基板は超高温でグラフェンと反応することが判明したため、基板にはグラファイトを使用した。得られたグラフェンの構造についてラマ

ン分光法を用いて解析した。その典型的な結果を図4に示す。結晶性に敏感なDおよび2Dバンド強度の挙動から、高温かつ低圧力の場合にGOの還元・構造修復が進行し、より結晶性の高いグラフェンが形成することがみてとれる。特に圧力依存性について、430Paまでの範囲では雰囲気ガス中不純物による超高温での欠陥形成によることがわかった。より高純度・低圧力でのプロセスにより、結晶性がさらに向上することが期待される。

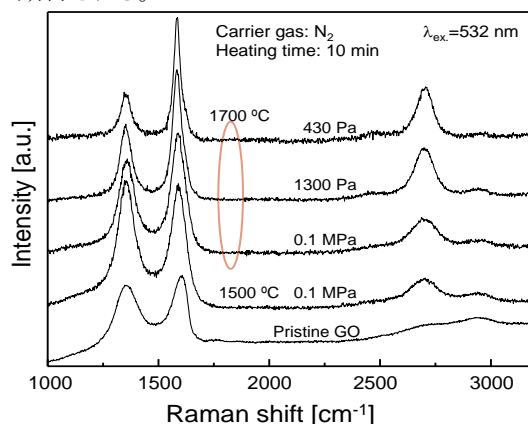


図4 不活性窒素雰囲気中で加熱処理した酸化グラフェン膜から観測されたラマンスペクトル

(3) 反応性アルコール雰囲気中での超高温プロセスの検証

研究背景で述べたように、アルコール雰囲気中で酸化グラフェンを加熱処理すると不活性雰囲気と比べて欠陥の修復が著しく進行する。太陽炉による局所加熱系という特長を活かして、試料である酸化グラフェン周辺のみを超高温することにより、反応性のアルコール雰囲気での超高温処理をおこなった。様々な条件の処理で得られたグラフェンから観測されたラマンスペクトルを図5に示す。Dバンド強度の対比から、不活性雰囲気と比較して、200℃程度低い温度で同等の構造修復が進行していることがわかる。特に、今回の処理条件では最高温度となる1800℃においては結晶性の指標であるI(G)/I(D)比が12程度に向上することを見出した。これはグラフェンの実用的な製造方法である化学気相成長法(CVD法)のグラフェン膜に迫る結晶性である。

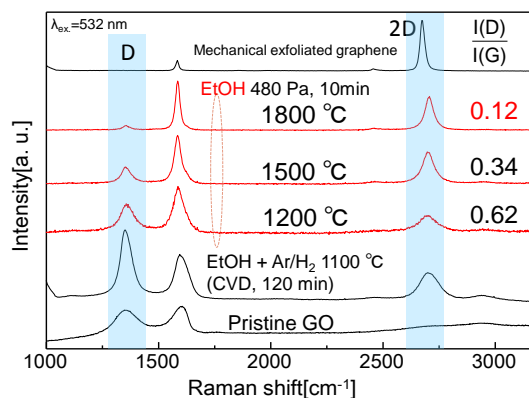


図5 反応性エタノール雰囲気中で加熱処理した酸化グラフェン膜から観測されたラマンスペクトル

超高温を得るための手段として、これまでに整備してきた太陽炉に加えて、電気炉(昇温上限温度:1600°C)による加熱系の整備をおこなった。これにより、天候に左右されず幅広い条件での超高温処理実験の遂行や、次項目で述べるX線回折測定に必要な試料量の確保が可能となった。試料周辺の局所加熱である太陽炉とhot wall型の電気炉では気相中での熱分解過程が異なるはずであるが、エタノール濃度を最適化した場合に、温度が同じ場合の酸化グラフェン構造修復の進行は両者で同程度であることを見出した。これから、超高温でのエタノールの熱分解反応が極めて短時間のうちに進行し、定常的な処理雰囲気が形成されることが判明した。

(4)グラフェン薄膜構造解析

超高温処理で得られたグラフェン積層膜の構造解析をラマン分光法とX線回折法で詳細に進めた。これまで示したラマンスペクトルの結果(図4, 5)からわかるように、エタノール中で酸化グラフェンの構造修復は著しく進行し、最適化条件で処理した酸化グラフェンからは、Dバンド/Gバンド強度比が0.1、2Dバンド/Gバンド強度比が0.7が観測された。これは、本研究での当初の目標を達成し、金属触媒上でCVD成長したグラフェン薄膜に匹敵する性能が得られたことを示す。

グラフェンの層数や積層構造に敏感な2Dバンドの形状に着目すると、不活性雰囲気およびエタノール雰囲気中で処理したグラフェンからのラマンスペクトルでは大きく異なっており、積層構造に相違があることが示唆される。そこで、2Dバンド形状を詳細に解析した結果を図6に示す。2次元成分からなる単一の信号と、3次元成分からなる2つの信号の組み合わせで観測された2Dバンドの形状がよく再現されている。両者の強度比からグラファイト化率、すなわち2次元構造のグラフェンからAB積層した3次元構造のグラフェンに転移した割合を評価できる。解析した結果から、不活性雰囲気ではこれまでも報告されているようにグラファイト化が進行するのに対して、エタノール雰囲気処理では乱層構造が保持されるという新規な現象を発見した。ただし、X線回折法による構造解析との対比から、この現象は酸化グラフェン薄膜の表面近傍(10層程度)のみで

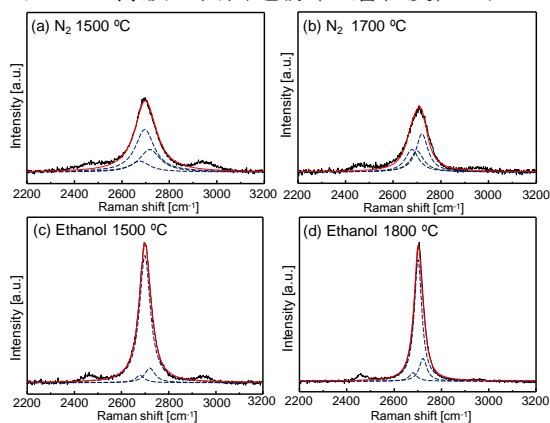


図6 窒素(a,b)およびエタノール(c,d)雰囲気中で加熱処理した酸化グラフェン膜から観測されたラマンスペクトルにおける2Dバンド形状解析

進行し、残りの大部分は不活性雰囲気と同様にグラファイト化(AB積層構造)していることがわかった。以上の結果は、酸化グラフェンから単層グラフェンに類似した物性が期待される乱層構造積層膜を作製する指針を与えるものである。

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 4件)

1. T. Ishida, Y. Miyata, Y. Shinoda and Y. Kobayashi, “Anomalous restoration of graphitic layers from graphene oxide in ethanol environment at ultrahigh temperature using solar furnace” *Appl. Phys. Exp.* **9** (2016) 025103. 査読あり
<http://dx.doi.org/10.7567/APEX.9.025103>
2. H. Tanaka, R. Arima, M. Fukumori, D. Tanaka, R. Negishi, Y. Kobayashi, S. Kasai, T. Yamada, T. Ogawa “Method for Controlling Electrical Properties of Single-Layer Graphene Nanoribbons via Adsorbed Planar Molecular Nanoparticles”, *Sci. Rep.* **5** (2015) 12341. 査読あり doi:10.1038/srep12341
3. Y. Kobayashi, T. Ishida, Y. Miyata and Y. Shinoda, “Highly crystalline graphene formation from graphene oxides by ultrahigh temperature process using solar furnace” *MRS Proc.*, **1786** (2015) 31-36. 査読あり doi:10.1557/opl.2015.765.
4. R. Negishi and Y. Kobayashi, “Extraordinary suppression of carrier scattering in large area graphene oxide films” *Appl. Phys. Lett.* **105** (2014) 253502. 査読あり doi: 10.1063/1.4905087

[学会発表](計36件)

1. R. Negishi, M. Matsuzaki, M. Akabori, S. Yamada, T. Ito, Y. Watanabe and Y. Kobayashi, “Band-like transport properties of reduced graphene oxide films” 15th Int. Conf. on the Science and Application of Nanotubes (NT-15), Nagoya, Japan, (June 28- July 2, 2015).
2. H. Kase, R. Negishi, M. Arifuku, N. Kiyoyanagi and Y. Kobayashi, “Improvement response of thin film transistor biosensors by controlling synthesis conditions of carbon nanotube channel”, NT-15, Nagoya, Japan, (June 28- July 2, 2015).
3. A. Hayashi, R. Shiina, M. Arifuku, N. Kiyoyanagi, Y. Kobayashi, “Structural analysis of single-walled carbon nanotubes synthesized from very thin nanodiamond layers”, NT-15, Nagoya, Japan, (June 28- July 2, 2015).
4. T. Ishida, Y. Miyata, Y. Shinoda and Y. Kobayashi, “Efficient restoration of highly crystalline graphene from graphene oxide by ultrahigh temperature process under reactive environment”, NT-15, Nagoya, Japan, (June

- 28- July 2, 2015).
5. Y. Kobayashi, T. Ishida, Y. Miyata and Y. Shinoda, “Highly crystalline graphene formation from graphene oxides by ultrahigh temperature process using solar furnace”, MRS spring Meeting, San Francisco, USA (April 6-10, 2015).
 6. R. Negishi, M. Matsuzaki, M. Akabori, S. Yamada and Y. Kobayashi, “Improvement of electrical performance in the reduced graphene oxide films prepared by thermal treatment in ethanol vapor toward sensor applications”, 27th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC), Fukuoka Japan, (November 4-7, 2014).
 7. R. Negishi, T. Murata, J. Takeya and Y. Kobayashi, “Fabricating very short channels in organic field effect transistors by dielectrophoresis technique”, Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM), Tsukuba, Japan, (September 9-11, 2014).
 8. 根岸 良太, 伊藤 孝寛, 赤堀 誠志, 渡辺 義夫, 小林 慶裕, “酸化グラフェンからの高結晶性グラフェン薄膜におけるバンド伝導の起源”, 21a-S011-10, 第63回応用物理学会春季学術講演会(東工大, 2016年3月19-22日)
 9. 加瀬 寛人, 松井 祐司, 根岸 良太, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “カーボンナノチューブ薄膜を用いたIgE検出における吸着サイト効果”, 21p-S421-5, 第63回応用物理学会春季学術講演会(東工大, 2016年3月19-22日)
 10. 疋田 裕也, 石田 俊, 篠田 佳彦, 小林 慶裕, “酸化グラフェンのエタノール中超高温加熱処理で生成したグラフェンの積層構造解析”, 22a-S011-1, 第63回応用物理学会春季学術講演会(東工大, 2016年3月19-22日)
 11. 林 明生, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “ナノダイヤモンドから成長したカーボンナノチューブの密度・長さに及ぼす成長駆動力の効果”, 21a-S421-4, 第63回応用物理学会春季学術講演会(東工大, 2016年3月19-22日)
 12. 根岸 良太, 伊藤 孝寛, 赤堀 誠志, 渡辺 義夫, 小林 慶裕, “光電子分光測定による還元した酸化グラフェン薄膜の電子構造解析”, 第11回放射光表面科学研究部会顕微ナノ材料科学研究会 合同シンポジウム (Spring 8, 2016年3月14-15日)
 13. 根岸 良太, 赤堀 誠志, 伊藤 孝寛, 渡辺 義夫, 小林 慶裕, “還元した酸化グラフェン薄膜のキャリア伝導機構解析”, 応用物理学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター, 2015年9月30日)
 14. 山元 克真, 根岸 良太, 田中 啓文, 福森 稔, 小川 琢治, 松本 和彦, 小林 慶裕, “乱層構造を持つ多層グラフェンナノリボンの合成とキャリア伝導機構解析”, 応用物理学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター, 2015年9月30日)
 15. 加瀬 寛人, 根岸 良太, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “カーボンナノチューブ薄膜トランジスタを用いた広濃度領域におけるIgEの定量センシング”, 応用物理学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター, 2015年9月30日)
 16. 谷川 祥子, 根岸 良太, 小林 慶裕, “酸化グラフェン薄膜の高温還元処理”, 応用物理学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター, 2015年9月30日)
 17. 松井 祐司, 根岸 良太, 小林 慶裕, “センサー高感度化に向けたピレン吸着密度定量解析”, 応用物理学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター, 2015年9月30日)
 18. 加瀬 寛人, 根岸 良太, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “デバイ長拡張によるカーボンナノチューブ薄膜バイオセンサの定量動作”, 14p-2U-6, 第76回応用物理学会秋季学術講演会(名古屋国際会議場, 2015年9月13-15日)。
 19. 山元 克真, 根岸 良太, 田中 啓文, 福森 稔, 小川 琢治, 松本 和彦, 小林 慶裕, “グラフェン層成長により合成した多層グラフェンナノリボンのキャリア伝導における温度依存性”, 15p-2T-10, 第76回応用物理学会秋季学術講演会(名古屋国際会議場, 2015年9月13-15日)。
 20. 石田 俊, 篠田 佳彦, 小林 慶裕, “酸化グラフェンの超高温・反応性雰囲気での構造修復過程における反応ガス熱分解領域の効果”, 14a-2T-4, 第76回応用物理学会秋季学術講演会(名古屋国際会議場, 2015年9月13-15日)。
 21. Y. Matsui, R. Negishi and Y. Kobayashi, “Evaluation of pyrene density on graphene oxide films: toward sensor applications”, The 49th Fullerene-Nanotubes- Graphene General Symposium, Tokyo, Japan, (September 7-9, 2015).
 22. 松井 祐司, 根岸 良太, 小林 慶裕, “バイオセンサー応用に向けたグラフェン上ピレン吸着密度制御の検討”, 第62回応用物理学会関係連合講演会(東海大学, 2015年3月11-14日)。
 23. 加瀬 寛人, 根岸 良太, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “ナノダイヤモンドから成長したカーボンナノチューブ薄膜の密度・長さ制御とバイオセンサー応用”第62回応用物理学会関係連合講演会(東海大学, 2015年3月11-14日)。
 24. 林 明生, 椎名 諒, 有福 達治, 清柳 典子, 小林 慶裕, “ナノダイヤモンドからのカーボンナノチューブ成長”第62回応用物理学会関係連合講演会(東海大学, 2015年3月11-14日)。
 25. 石田 俊, 篠田 佳彦, 小林 慶裕, “太陽炉を用いた超高温・反応性雰囲気での酸化グラフェン処理による高結晶性グラフェン形成”

- 第62回応用物理学会関係連合講演会(東海大学、2015年3月11-14日)。
26. 北川 治樹、根岸 良太、田中 啓文、福森 稔、小川 琢治、小林 慶裕，“グラフェン層成長により形成した多層グラフェンナノリボンの電気伝導特性”第62回応用物理学会関係連合講演会(東海大学、2015年3月11-14日)。
27. R. Negishi, M. Akabori, S. Yamada, T. Ito, Y. Watanabe and Y. Kobayashi, “Band-like transport in reduced graphene oxide films” The 48th Fullerene-Nanotubes- graphene General Symposium, Tokyo, Japan, (February 21-23, 2015).
28. 根岸 良太、赤堀 誠志、山田 省二、小林 慶裕，“還元・構造修復に伴う酸化グラフェン薄膜のキャリア伝導機構変化” 第75回応用物理学会秋季学術講演会(札幌 北海道大学、2014年 9月17 - 20日)。
29. 加瀬 寛人、根岸 良太、有福 達治、清柳 典子、小林 慶裕，“ナノダイヤモンドから成長した金属フリーカーボンナノチューブの薄膜トランジスタ特性とセンサー応用” 第75回応用物理学会秋季学術講演会(札幌 北海道大学、2014年 9月17 - 20日)。
30. 松井 祐司、根岸 良太、小林 慶裕，“バイオセンサー高感度化に向けたグラフェン上ピレン吸着密度定量解析” 第75回応用物理学会秋季学術講演会(札幌 北海道大学、2014年 9月17 - 20日)。
31. 松崎 通弘、根岸 良太、大野 恭秀、前橋 兼三、松本和彦、小林 慶裕，“酸化グラフェン薄膜トランジスタを用いたフラグメント抗体によるタンパク質の選択的検出” 第75回応用物理学会秋季学術講演会(札幌 北海道大学、2014年 9月17 - 20日)。
32. 福森 稔、田中 啓文、根岸 良太、小林 慶裕、田中 大輔、小川 琢治 “単層カーボンナノチューブアンジップの構造依存性” 第75回応用物理学会秋季学術講演会(札幌 北海道大学、2014年 9月17 - 20日)。
33. H. Kitakawa, R. Negishi, H. Tanaka, M. Fukumori, T. Ogawa and Y. Kobayashi, “Synthesis of graphene layers over multilayer graphene nanoribbon templates likely to that on graphene” The 47th Fullerene -Nanotubes-graphene General Symposium, Nagoya, Japan, (September 3-5, 2014).
34. S. Tanikawa, R. Negishi, M. Matsuzaki, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Matsumoto and Y. Kobayashi, “Selective Detection of Immunoglobulin M Using Reduced Graphene Field-Effect Transistors Modified with Fragments” The 47th Fullerene -Nanotubes-graphene General Symposium, Nagoya, Japan, (September 3-5, 2014).
35. R. Shina, A. Hayashi, R. Negishi, M. Arifuku, N. Kiyoyanagi and Y. Kobayashi, “Carbon nanotube synthesis from thin nanodiamond layers” The 47th Fullerene-Nanotubes-graphene General Symposium, Nagoya, Japan,

(September 3-5, 2014).

36. R. Negishi, M. Matsuzaki and Y. Kobayashi, “Development of field effect transistors based biosensor using reduced graphene oxide films as a channel material” The 47th Fullerene -Nanotubes- graphene Satellite Symposium, Nagoya, Japan, (September 2, 2014).

[図書] (計 1件)

小林慶裕「酸化グラフェンの熱的・化学的な還元によるグラフェン作製技術」
新谷 紀雄 (監修)「グラフェンコンポジット」
p.31-p48、S&T 出版、2014 年 7 月

[産業財産権]

○出願状況(計 2件)

名称:グラフェン薄膜の製造方法、並びにグラフェン薄膜を備えた電子素子およびセンサ
発明者:根岸 良太、小林 慶裕、松崎 通弘
権利者:大阪大学
種類:特許
番号:特願 2014-172628
出願年月日:2014 年 8 月 27 日
国内外の別: 国内

名称:電界効果トランジスタおよびそれを用いたセンサ

発明者:小林 慶裕、根岸 良太、加瀬 寛人、有福 達治、清柳 典子、森野 富夫
権利者:大阪大学、日本化薬
種類:特許
番号:特願 2014-162737
出願年月日:2014 年 8 月 8 日
国内外の別: 国内

○取得状況(計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小林 慶裕(Kobayashi, Yoshihiro)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号:30393739

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

根岸 良太(Negishi, Ryota)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号:30381586

篠田 佳彦(Shinoda, Yoshihiko)

若狭湾エネルギー研究センター・研究開発部・研究員
研究者番号:60421468