

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26286015

研究課題名(和文) 成長駆動力制御を利用したナノダイヤモンドからのカーボンナノチューブ高効率合成

研究課題名(英文) Efficient synthesis of carbon nanotube from nanodiamond nuclei by controlling growth driving force

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) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：非金属ナノ粒子であるナノダイヤモンド(ND)を核とした単層カーボンナノチューブ(CNT)の成長において、金属触媒とは異なる成長機構を踏まえて合成プロセスを高効率化し、高純度CNT材料としての優位性を検証した。NDを高速液体クロマトグラフィー法でサイズ分離し、シングルnmサイズのND調整に成功した。CNT前駆体が形成される成長初期段階とその後の定常成長段階での成長駆動力を成長ガス圧力等で独立に調整するアプローチにより、CNT成長を高効率化し、サイズ分布が狭い極薄ND層からのCNT成長を可能とした。CNT薄膜を用いたバイオセンサでの高感度・広帯域な動作から電子材料としての優位性を実証した。

研究成果の概要(英文)：Growth of single-walled carbon nanotube (CNT) from nanodiamond (ND) nuclei, non-metallic nanoparticle, was investigated to overcome the difficulty of very narrow growth condition and consequent low growth efficiency, resulting in demonstration of the advantage for practical use of high-purity CNT materials synthesized from ND. Single nm ND with very narrow size distribution was prepared by separation processes using high performance liquid chromatography. Driving force of CNT growth was optimized independently for the initial growth stage of CNT precursor formation and for the steady growth stage thereafter by adjusting the growth gas pressure and composition. Consequently, CNT growth efficiency was significantly improved to grow CNTs from very thin ND layer with narrow size distribution. Biosensor devices fabricated using high-purity CNT films grown from ND was shown to detect biomolecules selectively in very high sensitivity and wide range of their concentration.

研究分野：ナノ材料工学

キーワード：カーボンナノチューブ ナノダイヤモンド 成長駆動力 成長制御 バイオセンサー ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

単層カーボンナノチューブ(単層CNT、以下単層を省略)は、1次元ナノ材料であり、極めて高い機械的特性や金属よりも高い熱・電気伝導性など3次元バルク材料にはない優れた特性をもつ。CNTの優れた特性を活かして実用的な材料とするには、高純度・低欠陥、しかも構造制御されたCNTの合成プロセス技術が不可欠である。

しかし、金属を触媒に用いた通常の合成法ではこれら課題の解決は難しい。構造制御の困難性は、化学気相成長(CVD)法の機構(図1(a)、Vapor-Liquid-Solid(VLS)成長機構)に由来する。CNTの構造は、金属ナノ粒子表面から炭素が析出して形成されるCNT前駆体(キャップ構造)で決まる。CVD成長温度では金属触媒粒子は流動的な状態であり、その上に形成するキャップ構造も必然的にランダムであるため、構造の制御は極めて困難となる。一方、CNTの高純度化には、触媒金属を合成後に除去する必要がある。そのコスト上昇や除去プロセスによるCNTの品質低下が問題となり、しかも金属の完全(0.1%以下)除去は困難である。このように、現状のCNT合成法では構造制御性向上と不純物低減が解決困難な課題として顕在化しており、金属触媒を使用しない新たな成長機構に基づく合成法の確立が求められていた。

この背景のもとで、我々は非金属固体を成長核としたCNT合成技術の開拓を進め、半導体ナノドットやナノダイヤモンド(ND)など金属以外の固体粒子からCNT成長が可能であることを示した。この場合のCNT成長は、金属触媒でのVLS機構(図1(a))ではなく、固体粒子表面での吸着・拡散過程によるVapor-Solid-Solid(VSS)機構(図1(b))という新たなスキームで進行する。そのため、CNT成長が可能な処理条件が極めて狭いことがCNT合成技術としての課題となっていた。

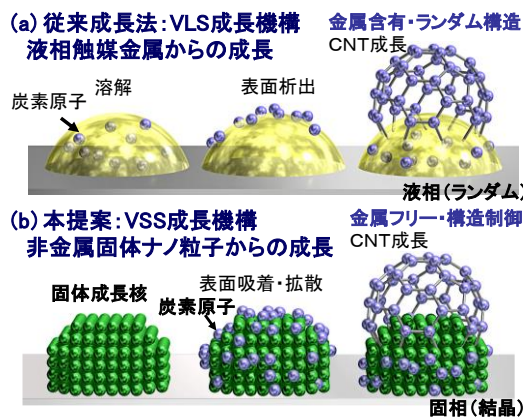


図1: 金属と固体粒子からのCNT成長初期過程

2. 研究の目的

本研究の目的は、非金属結晶ナノ粒子であるナノダイヤモンドを核とした単層CNTの成長において、金属触媒とは全く異なる成長機構の理解に基づき、合成プロセスを高効率化して成長可能条件が狭いという困難を克服し、高純度CNT材料としての優位性を検証することにある。目標達成のため、CNT前駆体が形成される成長初期段階とその後の定常的な成長段階での成長駆動

力を成長ガス圧力・組成により独立に調整するアプローチに重点的に取り組む。成長核であるナノダイヤモンドの調整にも踏み込み、高純度化・可溶化、高速液体クロマトグラフィー法によるサイズ分離・単分散化技術を確立する。得られたサイズ分離ナノダイヤモンドからのCNT合成による構造選択性を検証する。合成されたCNT薄膜の電気化学系電極や薄膜トランジスタ材料としての優れた性能を示すことにより、広く社会への波及効果を目指す。

3. 研究の方法

ナノダイヤモンド(ND)からのCNT成長では、成長初期と定常成長ではCNT形成に適した条件は大きく異なる。この相違は成長駆動力という観点から統一的に理解できる。図2(a)にNDからのCNT形成過程でのエネルギーダイアグラムを示す。気相中炭素種と生成物であるCNT中炭素の化学ポテンシャルの差 $\Delta\mu$ が成長駆動力となる。気相中の炭素種はND表面に吸着・拡散し、活性化状態を経て生成物であるCNTとなる。 $\Delta\mu$ は以下の式で表される:

$$\text{駆動力} \Delta\mu = \Delta\mu^0 + \frac{1}{2} k_B T \ln(\text{相対圧力}) - \frac{\text{定数}A}{(\text{CNT径})^2}$$

歪効果の定数AはCNTよりもキャップ構造の方が大きく、 $\Delta\mu$ は成長途中で変化する。歪による駆動力減少を補うためキャップ構造形成に適した高いガス圧とすると、歪効果が低減するCNT成長段階では駆動力過剰となり、成長は終端する(図2(b))。一方、定常成長に適した圧力では、キャップ構造形成には駆動力が低すぎ、成長効率は低下する。このジレンマを解決するため、本研究では成長途中で成長種圧力を変化させ、成長駆動力を最適に制御す手法を検証する。具体的

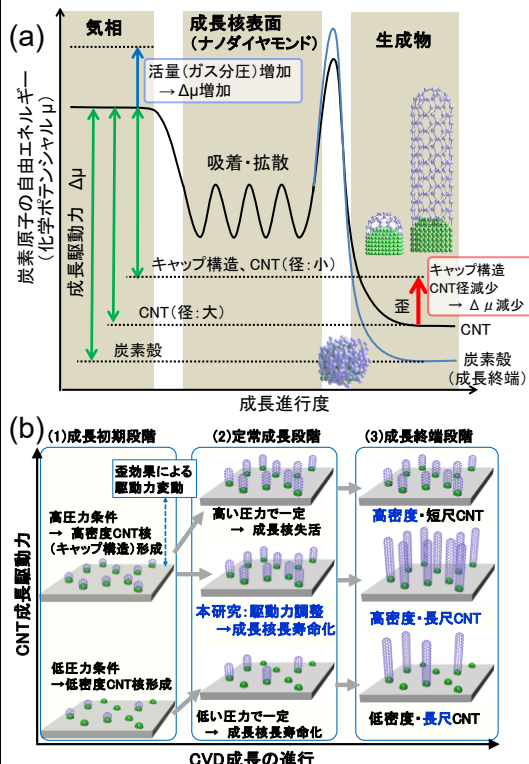


図2: CNT成長での成長駆動力のモデル図(a)と本研究における駆動力制御のアプローチ(b)

には、成長ガス(アセチレン、および酸素によるエッチング作用のあるエタノール)の圧力に着目して最適化することでNDからの高効率CNT成長を実現する。

4. 研究成果

(1)CNT成長用単分散ナノダイヤモンド形成爆発法で作製した一次粒子径が5~10nmのNDに加えて、よりサイズが大きく金属不純物を含まない高温・高圧法によるNDについても高速液体クロマトグラフィー法によるサイズ分離を行った。ナノダイヤモンドをポリグリセロール(PG)修飾で可溶化してから分離し、フラクションごとの径分布についてDLSとSTEMで評価した。5~50nmの範囲でサイズのそろったND分散液を得ることに成功した。例えばCNT成長核として利用可能な平均径14nmの場合に20nm以下の分率が90%であった。さらに一次粒子径10nmのND製品からの処理条件を最適化して得られた径分布が6.6nm±1.6nmのNDからCNT成長を確認した(図3)。

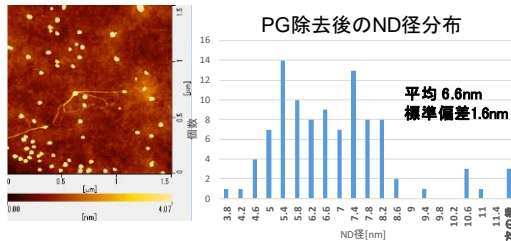


図3: サイズ分離NDの径分布と成長CNTのAFM像

(2)成長駆動力調整による成長の効率化

・極薄ND層からのCNT成長: 成長制御性の検証には、SEMやAFMを用いてCNTの長さ・径や成長に寄与したNDのサイズの解析が重要となる。そのためには、数10層のNDからCNTを成長していた従来技術よりも成長効率を高め、数層のNDからのCNT生成が必要である。炭素源ガス種や分圧を調整し、成長駆動力を径分布の狭い極薄ND層からの成長に最適化した。炭素源としてエタノールを使用し、成長中の圧力を調整することにより、1~数層NDからのCNT成長技術を確立した(図4)。さらに水晶基板を用いて、数層ND層から水平配向CNTを成長することに成功した。この結果を基に成長駆動力変調がCNT成長効率・構造に及ぼす効果の検証が可能となった。

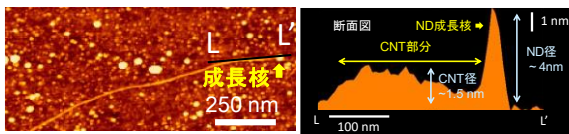


図4: 1層のNDから成長したCNTのAFM像

・成長駆動力が成長効率・構造に及ぼす効果の検証: 上記の極薄ND層からの成長技術を活用し、成長条件とCNT長・核活性化効率の解析を進めた。得られた試料をAFM観察でCNT径とND径の相関を詳細に解析したところ、成長前のND径とCNT径には強い相関があることや、成長に寄与したNDの径が成長後に特異的に肥大化する現象を見出した。駆動力を調整した場合と一定の場合を対比した結果、これまではラマン分光で間接的に観測していた駆動力調整による高密度・

長尺CNT成長の挙動をSEM・AFM像として直接捉えることに成功した(図5)。

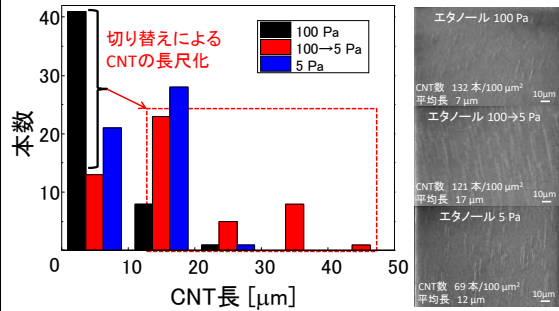


図5: 駆動力調整によるCNT高密度・長尺化成長の直接観察

・サイズ分離NDからのCNT成長: 駆動力調整にCNT成長法を項目(1)で得られたシングルnm径の高温高圧NDに適用した。前処理で平均径を1.9nm±0.9nm及び3.2nm±1.5nmとしたNDからのCNT成長を確認した。CNT径はND径よりも大きいなど爆発法NDと同様の成長挙動であった。

・水添加による成長駆動力制御効果の検証: 成長雰囲気へエッチング成分を含む水を添加し、駆動力を調整する効果を検討した。歪みの大きなキャップ構造は微量の水で容易に破壊されることが判明した。そこで、高い成長駆動力を必要とする成長初期段階とCNT壁構造が伸張する定常成長段階で水濃度を調整した結果、成長量や結晶性が大幅に向上した。

・同位体ラベリングによるVSS成長挙動解析: 炭素源となるエタノールを通常品と¹³C品で切り替えた成長させたCNTで¹²C-¹³C界面組成をラマンイメージング法で解析した。その結果、固体成長核におけるVSS成長機構で期待される金属触媒よりも遙かに急峻な界面が形成していることを明らかにした。

(3)CNT薄膜のトランジスタ応用の検討

成長駆動力調整で従来法よりも長尺・高密度化したCNT薄膜を活用し、バイオセンサ動作検証を実施した。NDから成長したCNT薄膜は金属触媒を含まず、電気化学系でも安定動作した。ND量でCNT密度を調整し、キャリア移動度を向上さ

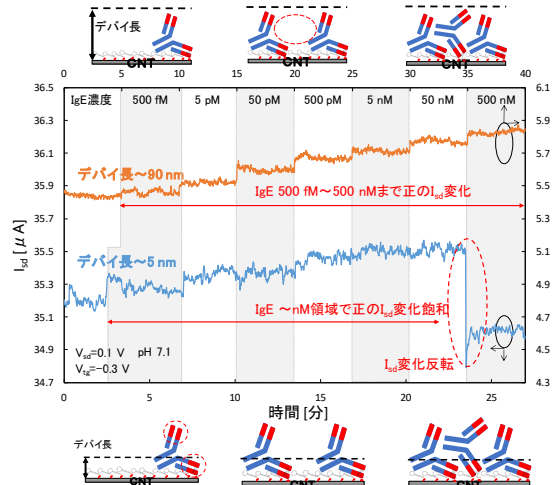


図6: CNT-TFTをもちいたIgEバイオセンサ動作におけるデバイ長依存性

せた。その結果、生体物質 (IgE) の高感度検出に成功し、チャンネルへの吸着密度により信号方向が反転する現象を見出した。さらに、イオン強度減少によるチャンネル表面でのデバイ長の延伸や抗原抗体反応を利用した検出部位の密度調整を進めた。それにより、定量分析の障害となる反転現象を抑制し、極めて広い濃度範囲でIgEを定量検出することに成功した(図6)。IgEに加えて、よりもサイズの小さなトロンピンアプタマーを用いたバイオセンサ動作の検証にも着手した。しかし、アプタマーとリンカー分子との結合形成の挙動がIgEとは大きく異なり、CNT表面へのアプタマー固定方法について今後の検討が必要と判明した。

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 10 件)

1. R. Negishi, K. Yamamoto, H. Kitakawa, M. Fukumori, H. Tanaka, T. Ogawa and Y. Kobayashi, "Synthesis of very narrow multilayer graphene nanoribbon with turbostratic stacking", Appl. Phys. Lett. (2017) in press. 査読あり
2. M. Fukumori, P. R. Raj, T. Fujiwara, A. T. Yousefi, R. Negishi, Y. Kobayashi, H. Tanaka, T. Ogawa, "Chirality dependence of Longitudinal Unzipping of Single-Walled Carbon Nanotube to obtain Graphene Nanoribbon", Jpn. J. Appl. Phys. (2017) in press 査読あり
3. 根岸 良太, 小林 慶裕, "Synthesis of highly crystalline graphene films showing band-like transport from the defective graphene oxide", ナノ学会会報 15(2017)39-45 査読なし
4. 根岸 良太, 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の合成とバイオセンサー応用", MATERIAL STAGE 17(2017)1-6 査読なし
5. R. Negishi, Y. Matsui and Y. Kobayashi, "Improving sensor response using reduced graphene oxide film transistor biosensor by controlling the pyrene adsorption as an anchor molecules", Jpn. J. Appl. Phys. 6(2017)06GE04/1-4 査読あり
6. R. Negishi, M. Akabori, T. Ito, Y. Watanabe and Y. Kobayashi, "Band-like transport in highly crystalline graphene films from defective graphene oxides", Sci. Rep. 6(2016)28936/1-10 査読あり doi:10.1038/srep28936
7. 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>
8. 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
9. 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.
10. 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 5 0 件)

1. 大畑惇貴、有福達治、清柳典子、仙波弘樹、小林慶裕、"カーボンナノチューブのVLS・VSS成長機構における成長核中炭素挙動の同位体ラベリング解析", 第64回応物学会春季講演会(パシフィコ横浜、2017年3月15日)
2. 根岸良太、赤堀誠志、伊藤孝寛、渡辺義夫、小林 慶裕、"酸化グラフェン薄膜からの高結晶性グラフェン形成とそのバンド伝導、第64回応物学会春季講演会(パシフィコ横浜、2017年3月16日)
3. 石田俊、大畑惇貴、小林慶裕、"エタノール雰囲気加熱による酸化グラフェン中炭素原子交換過程の支配要因"、第64回応物学会春季講演会(パシフィコ横浜、2017年3月16日)
4. 根岸良太、赤堀誠志、伊藤孝寛、渡辺義夫、小林慶裕、"放射光分光による還元・構造修復させた酸化グラフェン薄膜の構造とその伝導機構解析"、第36回表面科学学術講演会(名古屋国際会議場、2016年11月29日)
5. R. Negishi, Y. Matsui, Y. Kobayashi, "Effects of pyrene adsorption density as anchor molecules on biosensor response using reduced graphene oxide thin film transistor", 29th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (ANAクラウンプラザホテル京都、2016年11月10日)
6. 大畑惇貴、林明生、仙波弘樹、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における水添加効果"、第77回応物学会秋季講演会(朱鷺メッセ 2016年9月15日)
7. 石田俊、大畑惇貴、中村慎悟、小林慶裕、"¹³C同位体ラベリングによる酸化グラフェン構造修復過程のラマン分光解析"、第77回応物学会秋季講演会(朱鷺メッセ2016年9月16日)
8. R. Negishi, M. Akabori, T. Ito, M. Nakatake, Y. Watanabe and Y. Kobayashi, "Band-like transport in highly crystalline graphene thin films from defective graphene oxide materials", 16th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials (NT-16) (ウイーン

- 大学(オーストリア)2016年8月9日)
9. H. Kase, R. Negishi, M. Arifuku, N. Kiyoyanagi and Y. Kobayashi, "Effect of inhomogeneous charge localization in target molecules on biosensor response using carbon nanotube thin film transistor", NT-16 (ウイーン大学(オーストリア)2016年8月8日)
 10. T. Ishida, Y. Hikita, Y. Shinoda and Y. Kobayashi, "Anomalous stacking structures in graphene oxide treated at ultrahigh temperature in ethanol environment", NT-16 (ウイーン大学(オーストリア)2016年8月11日)
 11. 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).
 12. 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).
 13. 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).
 14. 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).
 15. 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).
 16. 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).
 17. 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).
 18. 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"、第63回応物学会春季学術講演会(東工大、2016年3月19-22日)
 19. 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"、第63回応物学会春季学術講演会(東工大、2016年3月19-22日)
 20. 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"、第63回応物学会春季学術講演会(東工大、2016年3月19-22日)
 21. 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"、応物学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター、2015年9月30日)
 22. 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"、応物学会関西支部平成27年度第2回講演会(阪大中之島センター、2015年9月30日)
 23. 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回応物学会秋季講演会(名古屋国際会議場、2015年9月13-15日)。
 24. 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回応物学会秋季講演会(名古屋国際会議場、2015年9月13-15日)。
 25. 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(FNGS), Tokyo, Japan, (September 7-9, 2015).
 26. 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回応物学会関係連合講演会(東海大、2015年3月11-14日)。
 27. 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回応物学会関係連合講演会(東海大、2015年3月11-14日)。
 28. 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回応物学会関係連合講演会(東海大、2015年3月11-14日)。
 29. 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回応物学会関係連合講演会(東海大、2015年3月11-14日)。
 30. 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回応物学会

- 秋季講演会(北大、2014年9月17-20日)。
31. 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回応物学会秋季講演会(北大、2014年 9月17 - 20日)。
 32. 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回応物学会秋季講演会(北大、2014年9月17-20日)。
 33. 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 FNGS, Nagoya, Japan, (September 3-5, 2014).
 34. R. Shina, A. Hayashi, R. Negishi, M. Arifuku, N. Kiyoyanagi and Y. Kobayashi, “Carbon nanotube synthesis from thin nanodiamond layers”, The 47th FNGS, Nagoya, Japan, (September 3-5, 2014).
 35. 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 FNGS, Nagoya, Japan, (September 2, 2014).

その他、国内会議発表15件 合計50件

〔図書〕(計3件)

1. 小林慶裕、奥野義人、尾崎幸洋、中田靖、“ラマン分光法によるグラフェンの構造評価とイメージング”、p142-149、丸山茂夫(監修)「カーボンナノチューブ・グラフェンの応用研究最前線」の分担執筆、2016年9月発行、エヌ・ティー・エス
2. 小林慶裕、“酸化グラフェンの還元法とグラフェン合成 熱還元法”、P22-29、松本泰道(監修)「酸化グラフェンの機能と応用」の分担執筆、2016年4月28日発行、シーエムシー出版
3. 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.31-48、S&T出版、2014年7月

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

1. 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ー
 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
2. 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2件)

1. 名称: 高純度カーボンナノチューブ、その製造方法及びそれを用いた透明導電膜
 発明者: 小林慶裕、郡山翔二、阿形省吾、根岸良太、有福達治、新本昭樹、今泉雅裕、清柳典子
 権利者: 大阪大学、日本化薬
 種類: 特許
 番号: 特許第6091237号
 取得年月日: 平成29(2017)年2月17日
 国内外の別: 国内
2. 名称: HIGH PURITY CARBON NANOTUBE, PROCESS FOR PREPARING THE SAME AND TRANSPARENT CONDUCTIVE FILM USING THE SAME
 発明者: Y. Kobayashi, R. Negishi, S. Koriyama, S. Agata, K. Fujimoto, M. Arifuku, M. Shinmoto, M. Imaizumi, N. Kiyoyanagi
 権利者: 大阪大学、日本化薬
 種類: 特許
 番号: 9440855
 取得年月日: 2016年9月13日
 国内外の別: 国外(米国)

〔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

小松直樹 (Naoki, Komatsu)
 京都大学・人間・環境学研究科・教授
 研究者番号: 302543008

(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

(4) 研究協力者

清柳典子 (Kiyoyanagi, Noriko)
有福達治 (Arifuku, Michiharu)
 日本化薬(株)