

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25年 4月20日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22244072

研究課題名（和文）

プラズマで拓くナノカーボンバイオトロニクス of 基盤確立

研究課題名（英文）Foundation Establishment of Plasma-Exploited Nanocarbon Biotronics

研究代表者

畠山 カ三 (HATAKEYAMA RIKIZO)

東北大学・大学院工学研究科・名誉教授

研究者番号：00108474

研究成果の概要（和文）：新概念のプラズマ生成・制御法を開発・活用することによって、中空等のナノスペースが超精密制御された新奇の内包フラーレン(C₆₀)、内包カーボンナノチューブ(CNT)、被内包DNAを創製した。次に、これら各々の新機能電気・磁気・光学・分子認識特性発現を明らかにして、エネルギー、非Si(無機)半導体、磁性半導体、超伝導、バイオ・メディカルに関する次世代ナノバイオエレクトロニクスデバイスシステムを構築できることを原理実証し、ナノカーボンバイオトロニクスの基盤を確立した。

研究成果の概要（英文）：We have created novel atoms- or molecules-encapsulated fullerenes and carbon nanotubes, and DNA containing atoms or molecules in the fashion of extremely precise control of their inner- or surface-nanospaces by developing and exploiting plasma production and control techniques of new concept. Then, by clarifying their new functionality of electrical, magnetic, optical, and molecule recognition properties, we have demonstrated that a next-generation nanobioelectronics-device system can be constructed, which covers energy, non Si (inorganic) semiconductor, magnetic semiconductor, superconductivity, and biomedical fields, establishing the foundation of nanocarbon biotronics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	15,400,000	4,620,000	20,020,000
2011年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2012年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
年度			
総計	33,300,000	9,990,000	43,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：新概念プラズマ、ナノバイオ融合、内包ナノカーボン、被内包DNA、ナノバイオエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

当時、本来は異分野であったナノテクノロジーは必然的にバイオテクノロジーに融合していき、ナノバイオ融合の新しい生命関連科学技術研究が展開されつつあった。そこで、

プラズマで拓くナノカーボン・バイオ融合科学の創成、具体的には中空等ナノスペース制御の超高次構造 C₆₀・CNT・生体高分子 DNA によるナノカーボンバイオトロニクスの基盤確立を目指す研究を開始した。

2. 研究の目的

新概念の気体及び液体プラズマの生成・制御法を駆使して、最先端のナノテクノロジーに直結する炭素のみから成る C_{60} と CNT を主とするナノカーボンと、炭素を基本組成としてバイオテクノロジーの根幹を成す DNA 及びコロイド・イオン液体の間の、すなわちナノカーボンネットワークの革新的な物質融合を推進・実現し、ナノカーボンバイオロニクス¹の基盤を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

まず、先進プラズマ源を開発・制御して希少原子内包 C_{60} の合成実証・多量合成、精密構造制御された CNT の合成、ナノ粒子搭載 DNA の合成を実現する。次に、斬新な気体、液体プラズマプロセス制御によりこれらの物質融合を図り、高次構造ナノカーボンを創製する。最後に、電気・磁気・光等物性を測定してナノバイオデバイス原理を実証する。

4. 研究成果

(1) 希少原子内包 (@) C_{60} 及び高品質構造制御 CNT の合成: プラズマシャワー法による $Li@C_{60}$ の大量合成実現に続いて、 $N@C_{60}$ の多量合成に注力した。ダブルプラズマ電子ビーム装置パラメータの中で、窒素分子イオン化の電子ビームエネルギーと空の C_{60} への照射窒素イオンエネルギーをそれぞれ決定するグリッドバイアスと基板バイアスの最適値を策定し、更に C_{60} 粒子の昇華状態をクラスターから個別粒子状にするべくオープン温度を $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上まで上げた結果、空の C_{60} に対する $N@C_{60}$ の合成純度を従来の圧倒的世界最高値を更に 0.83% まで引き上げた。

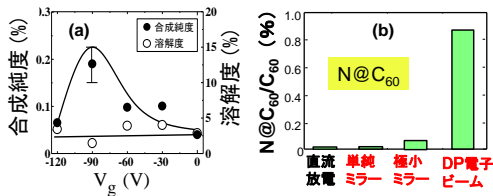


図1: $N@C_{60}$ の合成純度の V_g 依存性と変遷。

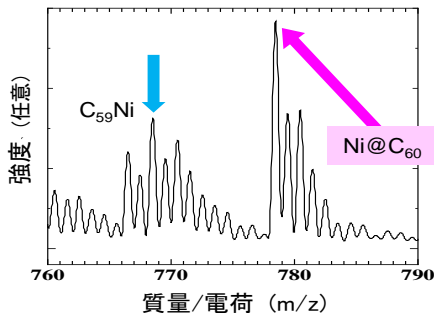


図2: 質量スペクトルに $Ni@C_{60}$ のピーク出現。

また、開放ミラー磁場中 ECR 放電プラズマを用いるハイブリッドスパッタリング法により、 C_{60} への照射 Ni^+ イオンエネルギーを $35\sim 40\text{ eV}$ とした場合に $Ni@C_{60}$ の質量分析スペクトル検出強度が最大となることを観測し、 $Ni@C_{60}$ の世界で初めての合成を確信するに至った。

一方、強磁性金属触媒が残留しない高品質単層カーボンナノチューブ (SWNT) の合成を目指し、非磁性金属触媒である Au を利用して拡散プラズマ CVD 中で微量の水素添加を行ったところ、(6,5)SWNT が支配的なカイラリティ分布の極めて狭い SWNT の選択合成に世界で初めて成功した。また、非磁性金属触媒を使わない場合においても、プラズマ CVD 中の SWNT 成長時間を精密に制御した結果、SWNT の成長初期過程ではカイラリティ分布が極めて狭くなることを発見した。更に、SWNT 合成時に効果的に水素イオンを導入することにより、各カイラリティに対する核成長過程でのインキュベーションタイムの差を増大させることに成功した。この結果を踏まえて、新たな SWNT 合成法であるパルスプラズマ CVD を考案・開発し、これにより SWNT の直径分布を維持した状態で合成量の増加が可能であることを明らかにした。ここで、パルスプラズマ CVD 中のオフ時間を制御することにより、(6,5)SWNT の純度を約 36% まで向上させることができた。

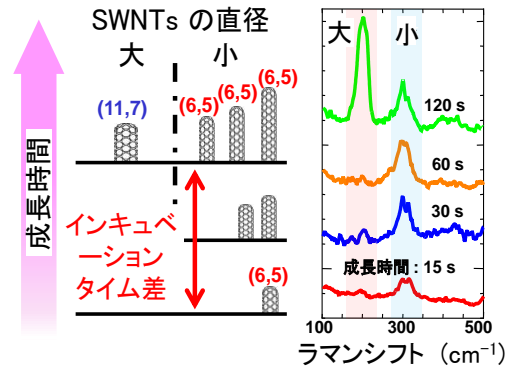


図3: SWNT のインキュベーションタイム差。

(2) 高次構造ナノカーボン創製: SWNTに加えて、二層カーボンナノチューブ (DWNT) も対象にした。イオン性プラズマ中の基板バイアスイオン注入法により、光電変換エネルギーデバイスや n 型薄膜トランジスタ対応の $K@SWNT$ 、 $Cs@SWNT$ 、pn 接合内蔵の $(Cs/I)@SWNT$ 、 $(Cs/C_{60})@SWNT$ 、同じく内包 DWNT、磁性半導体デバイス対応の $Fe@SWNT$ 、超伝導デバイス対応の $Ca@SWNT$ を創製した。準ペアフラーレンイオンプラズマにより、非 Si 半導体・光デバイス対応の $C_{60}@SWNT$ 、 $C_{59}N@SWNT$ 、 $(Li@C_{60})@SWNT$ 、

また完全電離 DNA プラズマにより、ナノパイオデバイス対応の高品質 DNA@SWNT、DNA@DWNT を創製した。

(3) 電気・磁気・光等物性及びナノパイオデバイス特性：希少原子@C₆₀ については、スピン活用 N@C₆₀ の高効率合成が達成されたので、量子コンピュータへの応用に向けて先ずはその物性解明を目的に紫外可視光吸収特性を測定した。その結果、光吸収スペクトル上に空の C₆₀ では現れない 330 nm と 345 nm に N@C₆₀ 特有の新しい吸収ピークが出現し、それらの強度が N@C₆₀ の純度の増加とともに増大することが観測された。

内包 CNT デバイス関連では、C₆₀@SWNT、(Li@C₆₀)@SWNT、C₅₉N@SWNT を伝導チャネルとした電界効果トランジスタ(FET)の伝達特性は、各々強固な p 型、n 型領域を含む両極性型、強固な n 型伝導を示した。従って、高次構造ヘテロ (pn) 接合内包 CNT の候補としては、(C₅₉N/C₆₀)@CNT、(Li@C₆₀/C₆₀)@CNT (CNT=SWNT、DWNT) が有意であることが明らかになり、その形成を継続中である。なお、C₅₉N@SWNT の n 型伝導特性の機構は、通常のキャリア輸送理論とは異なることが他大学の理論家との共同研究で明らかになった。

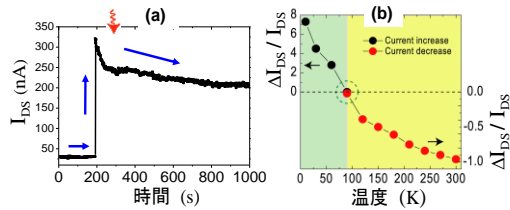


図4: C₅₉N@SWNT の光照射電気伝導特性。

ここで、N@C₆₀ のプラズマ合成時に同時に多量合成されるアザフラーレン(C₅₉N) の光照射による電気伝導特性の変化が、温度により異なる光スイッチ特性を示すことが見出されたので、C₅₉N@SWNT の光照射電気伝導特性の温度依存性について実験的に調べた。C₅₉N@SWNT の FET 伝導特性評価としては高真空 (10⁻⁴~10⁻⁵ Pa) 下で、温度を 10~300 K の範囲で変化させ、キセノンランプ (LSX-2501) (波長: 400~1100 nm、強度: 50 mW/cm²) を用いた光照射の有無による変化を測定した。

室温での C₅₉N@SWNT への紫外光照射による電気伝導度の極端な低下というこれまでの結果に対し、新たに 10 K という低温下においては、C₅₉N@SWNT の伝導が光照射により増大することが判明した。この場合、ソースドレイン電流 (I_{DS}) はゲート電圧 (V_G) を一定にして測定している。興味深いことに、光誘起電流 (ΔI_{DS}/I_{DS}) は温度に反比例し、温度を 10 K から 90 K に増加した場合に光誘起電流が徐々に無視できる程度に減少する

ことが明らかとなった。更に温度を継続的に増加させるに従い、光照射により極端に伝導電流が減少することが確認された 10~300 K の範囲において、10~90 K までの条件では光照射に伴い光誘起電流が増加し、それ以上の温度範囲では電流が減少した。このような温度変化に伴う光誘起電流変化現象を利用すると、C₅₉N@SWNT の光誘起電流を測定することによって局所的な温度計測に応用できると考えられる。この発見は、新たな C₅₉N@SWNT という材料により光スイッチあるいは光検出器を作成する新方法を提案している。実際、低温ではより高感度に可視、赤外にかかわらずパルス光を照射するという簡単な方法により温度測定が可能である。

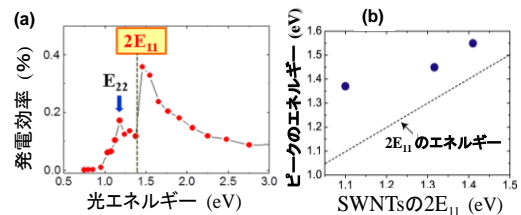


図5: C₆₀@SWNT/n-Si 薄膜の光電変換特性。

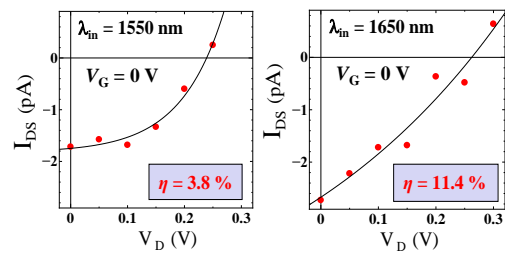


図6: pn 接合内蔵 SWNT 一本の光電変換特性。

次に、現在主に用いられている Si に比べて CNT のバンドギャップが狭いことに着目して、n 型シリコン (n-Si) と p 型 SWNT 薄膜あるいは強固な p 型の C₆₀@SWNT 薄膜から成る pn 接合を用いる、赤外光領域の新しい光電エネルギー変換素子機能を創出すべく系統的实验を行った。n 型 Si 基板上にスピコートにより SWNT を薄膜状に塗布し、上部に SiO₂ の絶縁層を挟んで Au/Cr 電極を配置した。この太陽電池の電極配位のもとで、SWNT が赤外光 (1550 nm) を電気エネルギーに変換可能であることを実証し、更に C₆₀@SWNT を利用することで空の SWNT に比べ赤外光に対するエネルギー変換効率が二桁増大することを初めて見出した。ここで、光エネルギーが SWNT のバンドギャップの 2 倍 (2E₁₁) 以上の場合変換効率が最大となることが観測され、1 個の光子で 2 個以上の電子—正孔対が形成される多重励起子生成 (MEG) の可能性を示唆する結果が得られた。また、直径の異なる SWNT を用いてこの MEG 効果に対する

SWNT のバンドギャップの依存性を調べた結果、バンドギャップの増大に伴い MEG の生じる入射光エネルギーの値も比例して増大することが分った。更に、アルカリ金属原子の部分内包 SWNT や電子ドナー・アクセプタの原子分子列内包 SWNT 一本を用いて作製された pn 接合内蔵 SWNT 光電変換素子は、波長 1550 nm と 1650 nm の赤外領域の光入射に対して、各々変換効率 3.9 % と 11.4 % の高効率で光起電力を発生することを初めて実証した。

CNT の超伝導現象に関しては、Ca@SWNT を用いて、その薄膜電気伝導特性評価を FET 配位のもとで行った。コンダクタンスの温度変化に関するアレニウスプロットの結果から、Ca を内包することで超伝導への転移温度が空の SWNT に比べ数 K 程度上昇する傾向があることが判明した。

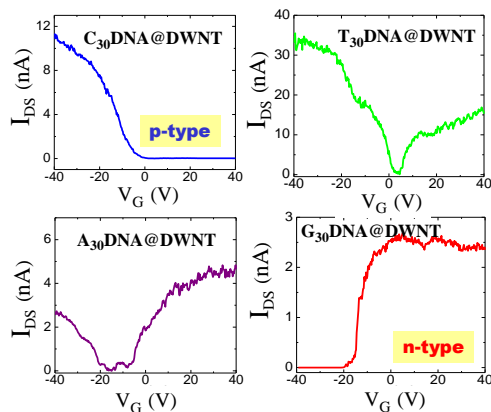


図7: 4種類のDNA@DWNT-FETの伝達特性。

本項の最後に、最も典型的なナノバイオ融合物質といえる DNA@CNT のデバイス特性を実験的に精査するために、SWNT に続いて DWNT を用いた測定を行った。先ず、紫外光電子分光法で仕事関数を測定したところ、グアニン(G) 4.69 eV < DWNT 4.85 eV < シトシン(C) 4.90 eV なる大小関係が判明した。そこで、異なる電気特性(酸化還元電位)を

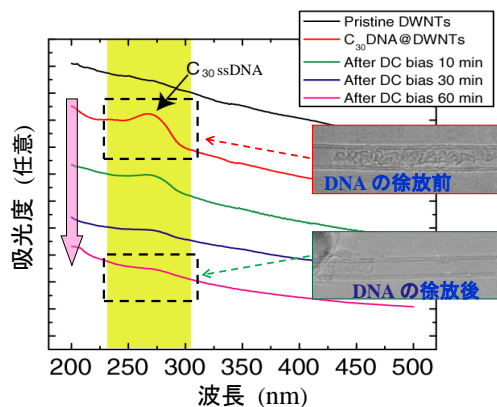


図8: DWNT 内部からの DNA 徐放の時間経過。

持つ塩基の種類を変えて創製された、アデニン(A)とチミン(T)を含む4種の一重螺旋 DNA 内包 DWNT の FET 特性を調べた。その結果、空の DWNT は両極性伝導であったのが C₃₀DNA@DWNT では純粋の p 型、T₃₀DNA@DWNT は p 型優勢の両極性、A₃₀DNA@DWNT は n 型優勢の両極性、G₃₀DNA@DWNT は純粋の n 型伝導に変化した。また、紫外可視域の照射下 FET 特性を測定した結果、例えば G₃₀DNA@DWNT の場合、その伝達特性が n 型を助長する方向に閾値電圧シフトする光誘起電子輸送現象が初めて発見された。

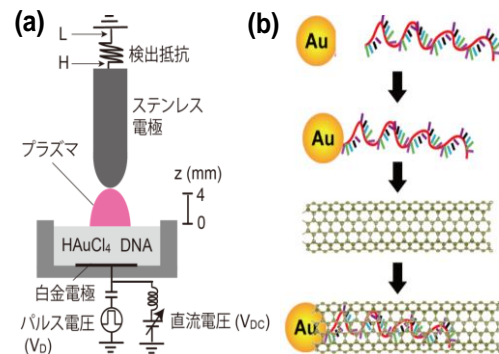


図9: ナノ粒子・DNA@CNT 創製装置と概念。

(4) ナノカーボンバイオエレクトロニクスへの展開:

DNA@CNT を先進的薬剤送達システム(DDS)に応用するためには、内包された DNA を CNT の外部へ引き出すことが必須である。そこで、完全電離 DNA プラズマ中に印加する直流電場の極性を内包時と逆転させると、例えば一重螺旋 C₃₀DNA が DWNT 内部から外部へ時間経過とともに徐放されることが紫外可視光吸収測定で実証された。しかし、実際の生体内での DDS では表面プラズモン共鳴を利用する光マニピュレーションが有効であるので、ナノ粒子搭載 DNA を内包した CNT の創製が要求される。

その第一段階として、完全電離液体プラズマといえるイオン液体中に金塩化物 HAuCl₄・3H₂O を DNA とともに溶解させておき、その上部の気体領域との間で直流放電させ気液界面プラズマを生成すると、環元作用により金ナノ粒子が合成されるとともに、これが DNA と反応し Au ナノ粒子搭載 DNA が合成された。この場合、DNA の塩基と濃度によって DNA に表面修飾された Au ナノ粒子の粒径と粒子間距離を制御できることが判明した。ここで第二段階として、大気圧下パルス DC 放電気液界面プラズマ中の CNT (=SWNT、DWNT) を塗布した電極に直流正電位を重畳すると、Au ナノ粒子搭載 DNA@CNT が初めて創製されたことが透過型電子顕微鏡で観測されている。

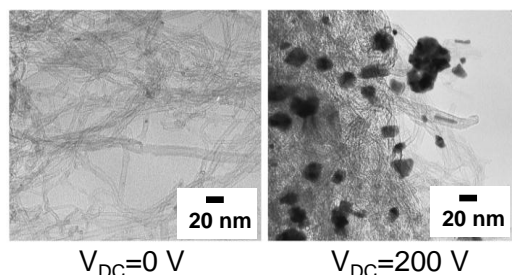


図 10: ナノ粒子・DNA@CNT の電子顕微鏡像。

以上により、本目的の基盤が確立された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 47 件)

- ① Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “C₅₉N Peapods Sensing the Temperature”, *Sensors*, 査読有, Vol. 13, No. 1, pp. 966-974, 2013, DOI: 10.3390/s130100966.
- ② T. Kaneko, S. Takahashi, and R. Hatakeyama, “Control of Nanoparticle Synthesis Using Physical and Chemical Dynamics of Gas-Liquid Interfacial Non-Equilibrium Plasmas”, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 査読有, Vol. 54, No. 12, pp. 124027-1-6, 2012, DOI: 10.1088/0741-3335/54/12/124027.
- ③ H. Okada, T. Komuro, T. Sakai, Y. Matsuo, Y. Ono, K. Omote, K. Yokoo, K. Kawachi, Y. Kasama, S. Ono, R. Hatakeyama, T. Kaneko, and H. Tobita, “Preparation of Endohedral Fullerene Containing Lithium (Li@C₆₀) and Isolation as Pure Hexafluorophosphate Salt ([Li+@C60][PF6-])”, *RSC Advances*, 査読有, Vol. 2, No. 28, pp. 10624-10631, 2012, DOI: 10.1039/C2RA21244G.
- ④ Y. F. Li, S. Kodama, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Performance Enhancement of Solar Cells Based on Single-Walled Carbon Nanotubes by Au Nanoparticles”, *Applied Physics Letters*, 査読有, Vol. 101, No. 8, pp. 083901-1-3, 2012, DOI: org/10.1063/1.4739427.
- ⑤ T. Kato and R. Hatakeyama, “Site- and Alignment-Controlled Growth of Graphene Nanoribbons from Nickel Nanobars”, *Nature Nanotechnology*, 査読有, Vol. 7, No. 10, pp.651-656, 2012, DOI: 10.1038/nnano.2012.145.
- ⑥ S. C. Cho, T. Kaneko, H. Ishida, and R. Hatakeyama, “Highly Efficient Synthesis of Nitrogen-Atom Encapsulated Fullerene by Controlling Plasma Ion Behaviors”, *Applied Physics Express*, 査読有, Vol.5, No. 2, pp.026202-1-3, 2012, DOI: 10.1143/APEX.5.026202.
- ⑦ Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Rapid Synthesis of Water-Soluble Gold Nanoparticles with Control of Size and Assembly Using Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasma”, *Chemical Physics Letters*, 査読有, Vol. 521, pp. 113-117, 2012, doi:10.1016/j.cplett.2011.11.065.
- ⑧ T. Kato, S. Kuroda, and R. Hatakeyama, “Diameter Tuning of Single-Walled Carbon Nanotubes by Diffusion CVD”, *Journal of Nanomaterials*, 査読有, Vol. 2011, pp. 490529-1-7, 2011, DOI: 10.1155/2011/490529.
- ⑨ Y. F. Li, S. Kodama, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Harvesting Infrared Solar Energy by Semiconducting-Single-Walled Carbon Nanotubes”, *Applied Physics Express*, 査読有, Vol. 4, pp. 065101-1-3, 2011, DOI: 10.1143/APEX.4.065101.
- ⑩ Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Characterization of Pulse-Driven Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasmas and Application to Synthesis of Gold nanoparticle-DNA Encapsulated Carbon Nanotubes”, *Current Applied Physics*, 査読有, Vol. 11, No. 5, pp. S63-S66, 2011, doi:10.1016/j.cap.2011.05.022.
- ⑪ N. T. Cuong, M. Otani, Y. Izumi, T. Okazaki, G. Rotas, N. Tagmatarchis, Y. F. Li, T. Kaneko, R. Hatakeyama, and S. Okada, “Origin of the n-Type Transport Behavior of Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, *Applied Physics Letters*, 査読有, Vol. 99, No. 5, pp. 053105-1-3, 2011, doi: 10.1063/1.3619828.
- ⑫ R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Kato, and Y. F. Li, “Plasma-Synthesized Single-Walled Carbon Nanotubes and Their Applications”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 査読有, Vol. 44, No. 17, pp. 174004-1-21, 2011, DOI: 10.1088/0022-3727/44/17/174004.
- ⑬ Y. F. Li, S. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Electrically Moving Single-Stranded DNA into and out of Double-Walled Carbon Nanotubes”, *Chemical Communications*, 査読有, Vol. 47, No. 8, pp. 2309-2311. 2011, DOI: 10.1039/c0cc04227g.
- ⑭ T. Umakoshi, H. Ishida, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, “Encapsulation of Nickel Atom inside Fullerene by Energetic Ion Irradiation”, *Plasma and Fusion Research*, 査読有, Vol. 6, pp. 1206015-1-2, 2011, DOI: 10.1585/pfr.6.1206015.
- ⑮ R. Hatakeyama, Y. F. Li, T. Y. Kato, and T. Kaneko, “Infrared Photovoltaic Solar Cells Based on C₆₀ Fullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, *Applied Physics Letters*, 査読有, Vol. 97, No. 1, pp. 013104-1-3, 2010, http://dx.doi.org/10.1063/1.3462313.
- ⑯ T. Kato and R. Hatakeyama, “Direct Growth of Short Single-Walled Carbon Nanotubes with Narrow-Chirality Distribution by Time-Programmed Plasma Chemical Vapor Deposition”, *ACS Nano*, 査読有, Vol. 4, No. 12, pp. 7395-7400, 2010, DOI:

10.1021/nm102379p.

- ⑰ Z. Ghorannevis, T. Kato, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, "Narrow-Chirality Distributed Single-Walled Carbon Nanotubes Growth from Nonmagnetic Catalyst", *Journal of the American Chemical Society*, 査読有, Vol. 132, No. 28, pp. 9570-9572, 2010, DOI: 10.1021/ja103362j.
- ⑱ Y. F. Li, T. Kaneko, S. Miyanaga, and R. Hatakeyama, "Synthesis and Property Characterization of C₆₀N Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes", *ACS Nano*, 査読有, Vol. 4, No. 6, pp. 3522-3526, 2010, DOI: 10.1021/nm100745a.

[学会発表] (計 184 件)

- ① T. Kaneko and R. Hatakeyama, "Biocompatible Nanocomposites Synthesized by Gas-Liquid Phases Plasmas (Invited)", *AVS (American Vacuum Society) 59th International Symposium & Exhibition, Florida, USA, 2012 年 10 月 29 日*.
- ② R. Hatakeyama, Y. F. Li, and T. Kaneko, "Electronic Properties of DNA-Encapsulated Carbon Nanotubes by Electrolyte Plasma (Plenary Invited)", 第 24 回プラズマ材料科学シンポジウム, 大阪市, 大阪府, 2011 年 7 月 20 日.
- ③ R. Hatakeyama, T. Kaneko, and Q. Chen, "Gas-Liquid Interfacial Plasmas and Nano-Bio Material Applications (Plenary Invited)", *The 3rd International Conference on Microelectronics and Plasma Technology, Dalian, China, 2011 年 7 月 5 日*.
- ④ R. Hatakeyama, T. Kato, and T. Kaneko, "Plasma Processing Challenge toward Carbon-Nanotube Chirality Control (Plenary Invited)", *The Second International Symposium on Plasma Nanoscience, South Durras, Australia, 2010 年 12 月 13 日*.
- ⑤ R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Kato, Y. F. Li, and Q. Chen, "Plasma Processing Power for Nanocarbon Nanobioelectronics (Plenary Invited)", *The 7th International Conference on Reactive Plasmas and 63rd Gaseous Electronic Conference, Paris, France, 2010 年 10 月 6 日*.

[図書] (計 8 件)

- ① T. Kato and R. Hatakeyama, *InTech*, "Recent Progress of Plasma CVD for Structure Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes"
「Recent Progress in Carbon Nanotube Research」, edited by Satoru Suzuki, pp. 89-108, 2013.
- ② T. Kato, R. Hatakeyama, and Y. Osanai, *CRC Press (Taylor & Francis Group)*, "Fabrication of stable n-type thin-film transistor with Cs encapsulated single-walled

carbon nanotubes", 「Nanoelectronic Device Applications Handbook」, edited by James E. Morris & Krzysztof Iniewski, pp. 499-502, 2013.

- ③ R. Hatakeyama and T. Kato, *CRC Press, Taylor & Francis Group*, "Structure Control of Single-Walled Carbon Nanotubes by Plasma CVD", 「Plasma Processing of Nanomaterials」, edited by R. M. Sankaran, pp. 219-230, 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 6 件)

- ① 名称: 単層カーボンナノチューブの製造方法

発明者: 島山力三、加藤俊顕

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願 2011-225534

出願年月日: 2011 年 10 月 13 日

国内外の別: 国内

- ② 名称: 窒素内包フラーレンの製造装置、及び、製造方法

発明者: 島山力三、金子俊郎、趙順天、笠間泰彦

権利者: 同上

種類: 特許権

番号: 特願 2011-111890

出願年月日: 2011 年 5 月 18 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ、機関リポジトリ

<http://www.plasma.ecei.tohoku.ac.jp>

<http://ir.library.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島山 力三 (HATAKEYAMA RIKIZO)

東北大学・大学院工学研究科・名誉教授

研究者番号: 00108474

(2) 研究分担者

金子 俊郎 (KANEKO TOSHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30312599

加藤 俊顕 (KATO TOSHIAKI)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 20502082

李 永峰 (LI YONGFENG)

中国石油大学・化学工学部・教授

研究者番号: 40400296

(3) 連携研究者

なし