

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：33919

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25600031

研究課題名(和文)液相エピタキシャル成長法による高品質グラフェンの作製

研究課題名(英文)Fabrication of high-quality graphene by liquid phase epitaxial growth

研究代表者

丸山 隆浩 (Maruyama, Takahiro)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：30282338

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)：本研究では、液相エピタキシャル成長法によるサファイア基板上へのグラフェンの直接成長を試みた。液体金属であるGaをメルトに用い、SiC粉末およびアモルファスカーボン膜を炭素原料として実験を行った。作製した試料をラマン分光およびX線光電子分光により評価を行ったところ、SiC粉末を用いた場合、均一性は悪いものの数層程度のグラフェン膜を得ることができた。また、アモルファスカーボン膜を原料に用いた場合、G/D比が大きく、結晶性の良好な1-2層程度のグラフェン膜を作製することができた。

研究成果の概要(英文)：We carried out direct growth of graphene layers on sapphire substrates by liquid phase epitaxial growth (LPE) using Ga as melts. In this growth, we used SiC powders and amorphous carbon layers as source materials, and the grown graphene layers were characterized by Raman and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Even when SiC powders were used, graphene with several layers were grown. When amorphous carbon layers (1.3 nm in thickness) were used, good quality graphene layers were obtained. The thickness of the graphene layers were estimated to be 1-2 nm.

研究分野：ナノ材料

キーワード：グラフェン LPE法 ガリウム

1. 研究開始当初の背景

グラフェンは高い電子移動をもち、可視光の透過率も高いことから、ITO に代わる透明電極材料として期待されている[1]。しかし、通常用いられる作製法である化学気相成長(CVD)法や SiC の熱分解法では、ドメインサイズが数百 μm 程度と小さく、結晶性の向上が課題であった。また、CVD 法では触媒金属膜上にグラフェンが形成されるため、デバイス作製時には転写プロセスが必要となるなどの課題があった。

2. 研究の目的

従来の気相成長法や SiC 表面の熱分解法では、グラフェンのドメインサイズを劇的に拡大することが困難であった。そこで、本研究では、熱平衡に近い条件下での結晶成長が可能な液相エピタキシャル成長(LPE)法を用いて、絶縁体基板上へのグラフェン膜の直接成長について検討を行った。熱平衡状態に近い条件下で結晶成長を行うと、欠陥の少ない高品質の結晶が成長することが知られている。本研究では、LPE 法によるグラフェン作製が可能かどうかについて、炭素源として、安価な SiC 粉末を用いた場合と、膜厚均一性の高いグラフェン膜作製を目指しアモルファスカーボン膜を用いた場合の 2 つに対して検討を行った。

3. 研究の方法

サファイア基板を $6 \times 8 \text{ mm}$ に劈開し、超音波洗浄を行った後、炭素源を堆積させた。この基板を加熱炉内にセットし、さらに Ga を基板上に置いた状態で、以下の加熱シーケンスに基づいて、グラフェンの作製を行った。炭素源には SiC 微粒子とアモルファスカーボン膜を用いた。アモルファスカーボンは電子ビーム蒸着法により、サファイア基板上に堆積させた。また、作製したグラフェン膜は、ラマン分光法、X 線光電子分光(XPS)法、および、SEM 観察により評価を行った。

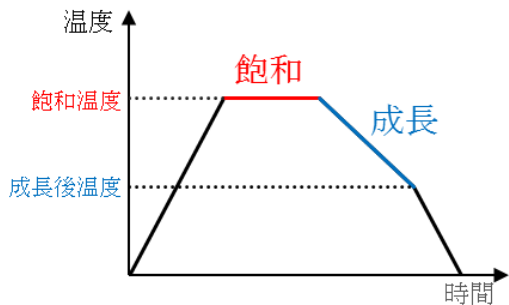


図1 LPE 法によるグラフェン作製時の加熱シーケンス

4. 研究成果

(1) SiC 粉末を用いたグラフェン成長

飽和温度 2 時間、成長温度 2 時間と固定し、飽和温度を $600 \sim 1000$ と変え、炭素源に SiC 粉末を用いてグラフェン作製を行った。成長実験終了後、基板には SiC 粉末は残留しておらず、灰色の膜状の物質が観察された。XPS 測定からは、この物質から Si ピークは検出されず、炭素のみが存在することがわかった。すなわち、SiC 粉末のうちの Si 成分が Ga 中に溶出し、炭素が基板上に残留・堆積したことがわかった。各試料のラマンスペクトルを図 2 に示す。飽和温度が 800 以上で G バンドピークと 2D ピークが観測されたことから、残留炭素のグラファイト化が生じていることがわかる。一般に 2D ピークと G バンドピークの強度比は、グラフェンの層数の指標となることが知られている。飽和温度・成長温度とも 1000 の場合の試料(4 時間 1000 を保った試料)の場合、2D ピーク強度と G バンドピーク強度がほぼ同じであることから、2~4 層程度のグラフェンが成長している可能性がある。

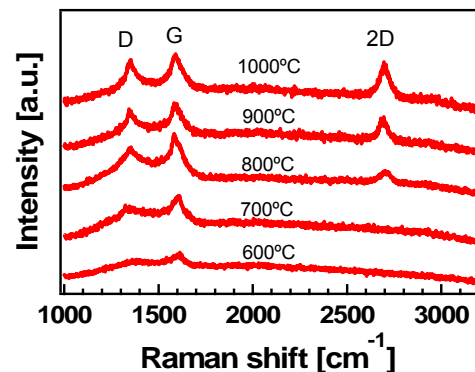


図2 SiC 粉末を用いて作製したグラフェン膜のラマンスペクトルの飽和温度依存性

(2) アモルファスカーボンを用いたグラフェン成長

グラフェンの面内均一性の向上を目指し、サファイア基板上に堆積させたアモルファスカーボン膜を炭素源に用いたグラフェン作製について検討を行った。膜厚 1.3 nm 堆積させたアモルファスカーボン膜に対し、成長時間 2 時間、飽和時間 2 時間、飽和温度 1000 、成長後温度 900 と固定し、成長時間を $1 \sim 3$ 時間の間で変化させて実験を行った。作製した試料のラマンスペクトルを図 3 に示す。成長時間が長くなるほど、G バンドピーク強度が強くなり、グラフェン膜が成長している様子がみられた。また、欠陥に由来する D バンドの相対強度が、成長時間が長くなるほど減少していることから、結晶性も向

上していることがわかる。さらに、成長時間3時間の試料では、Gバンドピークに対する2Dピークの強度は2倍近くとなっていることから、1~2層程度のグラフェンが成長していると考えられる。

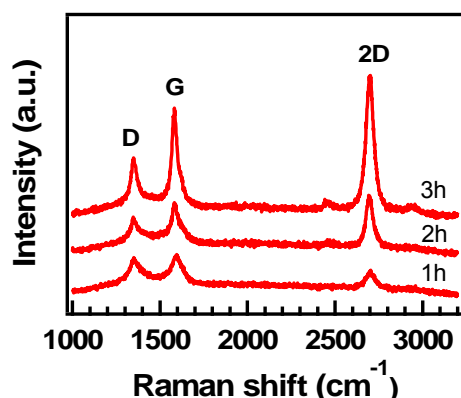


図3 アモルファスカーボン膜を原料に用いて作製したグラフェン膜のラマンスペクトルの成長温度依存性

<引用文献>

[1] K. S. Novoselov et al. Science 306 (2004) 666.

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13件)

- 1) Hoshimitsu Kiribayashi, Seigo Ogawa, Akinari Kozawa, Takahiro Saida, Shigeeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Low-temperature growth of single-walled carbon nanotubes using $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3$ multilayer catalyst by alcohol gas source method at high vacuum”, Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2016) 06GF04. 査読有
DOI: <http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.55.06GF04>
- 2) Akinari Kozawa, Hoshimitsu Kiribayashi, Seigo Ogawa, Takahiro Saida, Shigeeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Single-walled carbon nanotube growth on SiO_2/Si using Rh catalysts by alcohol gas source chemical vapor deposition”, Diamond Relat. Mater. 63 (2016) 159-164. 査読有 DOI: [10.1016/j.diamond.2015.11.003](https://doi.org/10.1016/j.diamond.2015.11.003)
- 3) Takahiro Maruyama, Hiroki Kondo, Ranajit Ghosh, Akinari Kozawa, Shigeeya Naritsuka, Yoko Iizumi, Toshiya Okazaki, Sumio Iijima, “Single-walled carbon nanotube synthesis using Pt catalysts under low ethanol pressure via cold-wall chemical vapor deposition in high vacuum”, Carbon 96 (2016) 6-13. DOI: [10.1016/j.carbon.2015.09.010](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.09.010)
- 4) Takahiro Saida, Takahiro Kogiso, Takahiro Maruyama, “Synthesis of Carbon Composite Spheres from Graphene Oxide”, Chem. Lett. 45 (2016) 330-332. 査読有 DOI: <http://doi.org/10.1246/cl.151088>
- 5) Takahiro Maruyama, Shigeeya Naritsuka, Kenta Amemiya, “In Situ High-Temperature NEXAFS Study on Carbon Nanotube and Graphene Formation by Thermal Decomposition of SiC ”, J. Phys. Chem. C 119 (2015) 26698-26705. 査読有 DOI: [10.1021/acs.jpcc.5b05854](https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b05854)
- 6) Akinari Kozawa, Hiroki Kondo, Takahiro Saida, Shigeeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Single-Walled Carbon Nanotube Growth from Pt catalysts using Alcohol Gas Source Method: Comparison with Co catalysts”, Trans. Mater. Res. Soc. 40 (2015) 405-408. 査読有 DOI: <http://doi.org/10.14723/tmrj.40.405>
- 7) Akinari Kozawa, Takahiro Saida, Shigeeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Synthesis of single-walled carbon nanotubes from Pd catalysts by gas source method using ethanol in high vacuum”, Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2015) 01AE02. 査読有 DOI: <http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.55.01AE02>
- 8) Ranajit Ghosh, Takahiro Maruyama, Hiroki Kondo, Koji Kimoto, Takuro Nagai, Sumio Iijima, “Synthesis of single-walled carbon nanotubes on graphene layers”, Chem. Commun. 51 (2015) 8974-8977. 査読有 DOI: [10.1039/C5CC02208H](https://doi.org/10.1039/C5CC02208H)
- 9) Pourya Ayria, Ahmad R. T. Nugraha, Eddwi H. Hasdeo, Thomas R. Czank, Shin-ichiro Tanaka, Riichiro Saito, “Photon energy dependence of angle-resolved photoemission spectroscopy in graphene”, Phys. Rev. B 92 (2015) 195148. 査読有 DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.92.195148>
- 10) Takahiro Maruyama, Hiroki Kondo, Naoya Fukuoka, Shigeeya Naritsuka, “Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes from Pt catalysts by the Alcohol Gas Source Method under Low Ethanol Pressure: Growth Temperature Dependence”, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn. 38 (2014) 585-588. 査読有 DOI: <http://doi.org/10.14723/tmrj.38.585>
- 11) Hiroki Kondo, Naoya Fukuoka, Ranajit Ghosh, Shigeeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, Sumio Iijima, “Low-Temperature Single-Walled Carbon Nanotube Growth from Pt Catalysts Using Alcohol Gas Source Method in High Vacuum”, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013)

06GD02. 査読有

DOI:<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.52.06GD02>

- 12) Takatoshi Yajima, Satoshi Sakakibara, Shigeya Naritsuka, Hiroyuki Yamane, Nobuhiro Kosugi, Takahiro Maruyama, “Formation of Carbon Nanotube/n-type 6H-SiC Heterojunction by Surface Decomposition of SiC and Its Electric Properties”, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 06GD01. 査読有

DOI:<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.52.06GD01>

- 13) Shin-ichiro Tanaka, Masaharu Matsunami, Shin-ichi Kimura, “An investigation of electron-phonon coupling via phonon dispersion measurements in graphite using angle-resolved photoelectron spectroscopy”, Sci. Rep. 3 (2013) 3031. 査読有
DOI: 10.1038/srep03031

[学会発表](計3件)

- 1) Yuki Ueda, Jumpei Yamada, Itsuki Uchibori, Masashi Horibe, Shinichi Matsuda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “CVD-growth of Highly-uniform Multilayer Graphene using Au/Ni Catalysts”, ISPlasma2016/IC-PLANTS2016, 09aD03O, Nagoya University, Nagoya, Japan, March 6-10 (2016).
- 2) Yasuhiro Kusakabe, Yuichi Nagatsu, Shogo Suzuki, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, Kazuo Shimizu, “Low-pressure Microplasma Treatment of GaN Surface for Improvement of Reproducibility of Micro-scale Growth”, ISPlasma2016/IC-PLANTS2016, 09aP42, Nagoya University, Nagoya, Japan, March 6-10 (2016).
- 3) Takuya Natsume, Masahiro Murabe, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Growth of h-BN on Graphene Formed by Thermal Decomposition of SiC Si-Face”, ISPlasma2016/IC-PLANTS2016, 09aP50 Nagoya University, Nagoya, Japan, March 6-10 (2016).
- 4) Ranajit Ghosh, Takahiro Maruyama, Hiroki Kondo, Iijima Sumio, “Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes on Graphene Layers by Alcohol Catalytic CVD”, Materials Research Society (MRS) Fall Meeting Q9.06, Boston, Massachusetts, USA, November 29-December 4 (2015).
- 5) Akinari Kozawa, Hoshimitsu Kiribayashi, Seigo Ogawa, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Single-Walled Carbon Nanotube Growth at Low Temperature from Rh Catalysts by Alcohol Gas Source Method”, Materials

Research Society (MRS) Fall Meeting Q13.28, Boston, Massachusetts, USA, November 29-December 4 (2015).

- 6) Jumpei Yamada, Manabu Suzuki, Yuki Ueda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Precipitation of high-quality multilayer-graphene using Al₂O₃ barrier and Au cap layers”, Materials Research Society (MRS) Fall Meeting Q3.09, Boston, Massachusetts, USA, November 29-December 4 (2015).
- 7) H. Kiribayashi, S. Ogawa, A. Kozawa, T. Saida, S. Naritsuka, T. Maruyama, “Single-Walled Carbon Nanotube Growth Using Pd Catalyst by Alcohol Gas Source Method in High Vacuum”, 13P-11-24, 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Toyama International Conference Center, Toyama, November 10-13 (2015).
- 8) Shin-ichiro Tanaka, Masaharu Matsunami, Kiyohisa Tanaka, Takahiro Maruyama, “Momentum-resolved detection of the electron-phonon scattering in graphene by using ARPES”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P184, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
- 9) Yuki Ueda, Jumpei Yamada, Manabu Suzuki, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Nucleation control of multilayer graphene by precipitation method using diffusion barrier and two-step annealing”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P136, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
- 10) Jumpei Yamada, Yuki Ueda, Manabu Suzuki, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Precipitation of high-quality multilayer graphene using alumina barrier and Au capping layers”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P135, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
- 11) Takahiro Maruyama, Fusashi Ikuta, Akinari Kozawa, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Yoko Iizumi, Toshiya Okazaki, Sumio Iijima, “Alcohol catalytic CVD synthesis of small-diameter single-walled carbon nanotubes from Pt catalysts”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P39, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
- 12) Seigo Ogawa, Akinari Kozawa, Hoshimitsu Kiribayashi, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama,

- “Single-walled carbon nanotube growth on graphene oxide using Pt catalysts by alcohol gas source method”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P30, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
- 13) Akinari Kozawa, Hoshimitsu Kiribayashi, Seigo Ogawa, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Growth of single-walled carbon nanotubes with narrow chirality distributions from Rh catalysts by alcohol gas source method in high vacuum”, The Sixteenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT15), P28, Nagoya University, Nagoya, Japan, June29-July 3 (2015).
 - 14) 夏目 拓弥, 村部 雅央, 才田 隆広, 成塚重弥, 丸山 隆浩, “SiC表面上のエピタキシャルグラフェン上へのBN成長の検討”, 第63回応用物理学会春季学術講演会 20a-P4-61, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 15) 小澤 顕成, 桐林 星光, 小川 征悟, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山 隆浩, “Rh触媒を用いたアルコールガスソース法による400 以下での単層カーボンナノチューブ成長” 第63回応用物理学会春季学術講演会 21a-S421-1, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 16) 桐林 星光, 小川 征悟, 小澤 顕成, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山 隆浩, “Rh触媒を用いた単層カーボンナノチューブ成長におけるAl₂O₃バッファ層作製法の検討” 第63回応用物理学会春季学術講演会 21a-S421-2, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 17) 山田 純平, 上田 悠貴, 丸山 隆浩, 成塚重弥, “Wキャップ層を用いた析出法により直接成長した多層グラフェンの結晶性向上に関する検討” 第63回応用物理学会春季学術講演会 20p-S011-18, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 18) 小川 征悟, 小澤 顕成, 桐林 星光, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山 隆浩, “酸化グラフェン上への単層カーボンナノチューブ成長: Pt, Fe, Co触媒の比較” 第63回応用物理学会春季学術講演会 20a-P4-1, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 19) 上田 悠貴, 山田 純平, 内堀 樹, 堀部 真史, 松田 晋一, 丸山 隆浩, 成塚重弥, “サファイア基板上へのグラフェンの無触媒CVDにおける成長時間依存性”, 第63回応用物理学会春季学術講演会 20a-P4-19, 東京工業大学, 東京都大田区, 3月19日—22日, 2016年.
 - 20) Jumpei Yamada, Yuki Ueda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Direct growth of patterned multi-layer graphene by precipitation method using patterned W capping layer”, The 50th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, The University of Tokyo, 1P-23, Feb. 20-22 (2016).
 - 21) Yuki Ueda, Jumpei Yamada, Itsuki Uchibori, Masashi Horibe, Shinichi Matsuda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Study of non-catalytic CVD of graphene on sapphire substrate ----- Effect of growth temperature on nucleation -----”, The 50th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 1P-25, The University of Tokyo, Feb. 20-22 (2016).
 - 22) Shin-ichiro Tanaka, Takahiro Maruyama, Kiyohisa Tanaka, Shin-ichiro Ideta, Hiroyuki Yamane, “Direct probing of the electron-phonon scattering in the single-layered epitaxial graphene”, The 50th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 3-1, The University of Tokyo, Feb. 20-22 (2016).
 - 23) 小澤顕成, 桐林星光, 小川征悟, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山隆浩, “低エタノール圧力下におけるPt触媒からの単層カーボンナノチューブ生成過程の解明”, 第45回結晶成長国内会議 (NCCG-45) 20pS26 北海道大学, 10月19日—21日, 2015年.
 - 24) 上田 悠貴, 山田 純平, 内堀 樹, 堀部 真史, 松田 晋一, 丸山 隆浩, 成塚重弥 “Au/Ni 触媒を用いた CVD 法による高品質多層グラフェン合成のための水素流量の検討” 第76回応用物理学会秋季学術講演会 16a-PA2-13, 名古屋国際会議場, 愛知 9月13日-16日, 2015年.
 - 25) 小澤顕成, 桐林星光, 小川征悟, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山隆浩, “Rh触媒を用いたアルコールガスソース法による単層カーボンナノチューブ低温成長” 第76回応用物理学会秋季学術講演会 14a-2U-1, 名古屋国際会議場, 愛知 9月13日-16日, 2015年.
 - 26) 丸山隆浩, 成塚重弥, 雨宮健太 “NEXAFS その場測定を用いたSiC表面分解法によるカーボンナノチューブ生成初期過程の解明” 第76回応用物理学会秋季学術講演会 14a-2U-2, 名古屋国際会議場, 愛知 9月13日-16日, 2015年.
 - 27) 山田純平, 上田悠貴, 丸山隆浩, 成塚重弥, “Wキャップ層を用いた析出法における多層グラフェンの直接成長” 第76回応用物理学会秋季学術講演会16a-PA2-12, 名古屋国際会議場, 愛知 9月13日-16日, 2015年.
 - 28) 小澤顕成, 桐林星光, 小川征悟, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山隆浩, “Rh触媒を用いたアルコールCVD法による単層カー

ボンナノチューブ成長” ,第45回結晶成長国内会議 (NCCG-45) 19pC11, 北海道大学, 10月19日—21日, 2015年.

- 29) Junpei Yamada, Yuki Ueda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Study of direct growth mechanism of multi-layer graphene by precipitation method using W capping layer”, The 49th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG), 3P-22, September 8th, 2015, Kitakyushu International Conference Center.
- 30) Hoshimitsu Kiribayashi, Akinari Kozawa, Seigo Ogawa, Takahiro Saida, Shigeya Naritsuka, Takahiro Maruyama, “Single-Walled Carbon Nanotubes Synthesis using $Al_2O_3/Pd/Al_2O_3$ Multilayer Catalysts by Alcohol Gas Source Method in High Vacuum”, The 49th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG), 3P-15, September 9th, 2015, Kitakyushu International Conference Center.
- 31) Yuki Ueda, Junpei Yamada, Itsuki Uchibori, Masashi Horibe, Shinichi Matsuda, Takahiro Maruyama, Shigeya Naritsuka, “Growth temperature dependence of CVD-growth of highly uniform multilayer graphene using Au/Ni catalyst”, The 49th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium (FNTG), 2P-17, September 8th, 2015, Kitakyushu International Conference Center.
- 32) 上田 悠貴, 鈴木 学, 山田 純平, 成塚 重弥, 丸山 隆浩, “2 段階アニール析出法による高品質多層グラフェンの合成” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会東海大学湘南キャンパス 11a-P6-12, 3 月 11 日, 2015 年.
- 33) 山田 純平, 鈴木 学, 上田 悠貴, 丸山 隆浩, 成塚 重弥, “ Al_2O_3 バリア層, Au キャップ層を用いた析出法における高品質多層グラフェン生成に与えるアニール時間の効果” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会東海大学湘南キャンパス 11a-P6-15, 3 月 11 日, 2015 年.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称 : カーボン複合体及びその製造方法
発明者 : 丸山 隆浩, ゴーシ・ラナジット, 飯島 澄男
権利者 : 学校法人 名城大学
種類 : 公開特許公報 (A)
番号 : 特開 2015-151298 (P2015-151298A)
出願年月日 : 平成 26 年 2 月 14 日

国内外の別 : 国内

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 隆浩 (TAKAHIRO MARUYAMA)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号 : 30282338

(2) 研究分担者

成塚 重弥 (SHIGEYA NARITSUKA)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号 : 80282680

(3) 研究分担者

田中 慎一郎 (SHIN-ICHIRO TANAKA)
大阪大学・産業科学研究所・准教授
研究者番号 : 00227141

(4) 研究分担者

才田 隆広 (TAKAHIRO SAIDA)
名城大学・理工学部・助教
研究者番号 : 90710905