

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 10 月 2 日現在

機関番号：32663

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656148

研究課題名(和文) 臨界流体中における新規ナノ構造の低温/室温創成

研究課題名(英文) Creation of novel nano structures at room/low temperature utilising critical fluids

研究代表者

前川 透 (Maekawa, Toru)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：40165634

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)：臨界流体の特異性を利用した機能性炭素ナノ構造合成方法を開発した。流体(ベンゼン・アセトン)にメタロセンを溶解させ、紫外線レーザーを照射することにより、自己集積化により金属ナノ粒子内包炭素粒子・炭素ナノファイバー・炭素ナノコイル・磁性カーボンナノチューブが合成された。金属の酸化が抑えられるため磁化率の高いナノ粒子が形成された。流体の臨界点温度は低く、ナノ材料の低温合成方法が実現された。

研究成果の概要(英文)：New methodologies for synthesising functional carbon nano materials via self-assembly utilising critical fluids were developed. Metal-filling carbon nanoparticles, carbon nano fibres, carbon nano coils and magnetic carbon nanotubes were synthesised by mixing metallocenes with critical fluids such as benzene and acetone and irradiating a UV laser into the fluids. The operational temperature was low since the critical temperature of the fluids is relatively low. The present synthetic methodologies are so simple that they can easily be applied to the production of other types of functional nano materials such as magnetic fullerene and graphene.

研究分野：Nanoscience/nanotechnology

キーワード：Critical fluids Nanostructures Nano materials Carbon nanotubes Self-assembly

1. 研究開始当初の背景

ナノ構造は、いわゆるトップダウン超微細加工技術[1,2]により形成されるが、バイオ系に習い、ボトムアップ自己集積化過程によってもナノ構造の形成は可能である[2,3]。フーラレン、カーボンナノチューブ、グラフィン等のカーボンナノ構造は、一般に、アーク放電、レーザーアブレーション、化学気相成長法によって作製されているが、それらの操作温度は高い[4]。

流体の気液共存線には終点があり、臨界点と呼ばれている。臨界点近傍流体中では、大きな分子クラスターが形成され、入射光が透過できない(臨界タンパク光現象)。近年、臨界流体を溶媒としてナノ構造が生成できることが明らかにされてきた[5-12]。

2. 研究の目的

上述のように、流体の臨界点近傍では大きな分子クラスターが形成するために、入射光子が散乱され、光が流体を透過することができない[13]。また、比熱や圧縮率等の物性値が発散することが知られている。非平衡輸送現象に注目すると、低熱拡散率と高圧縮率のために温度擾乱が音波として高速に伝搬され(ピストン効果)、低熱拡散率・高体膨張率に起因し、重力下では強い浮力対流が発生する[14-16]。超臨界流体は化学工業・エレクトロニクス・環境分野のみならずナノテクノロジーの分野にも応用されつつある。一般に、超臨界流体中では、化学反応が促進され[17]、化学物質が抽出でき[18]、半導体デバイスの洗浄等[19]が行われている。さらに最近では、ナノ構造・ナノ材料の合成溶媒として注目されている[5-12]。本研究では、臨界流体中における溶質分子の自己集積化過程を積極的に利用したナノ構造合成法を開発する。特に、臨界点近傍ベンゼン・アセトン中において、カーボンオニオン・カーボンファイバー・磁性カーボンナノチューブを合成する。通常の方法作製温度に比べ、流体の臨界温度は低い(ベンゼン: 289.0 °C, アセトン: 235.5 °C)、カーボンナノ構造体の低温合成法が実現される。

3. 研究の方法

(1) 臨界ベンゼン中における磁性金属内包カーボンナノ粒子の合成

臨界点近傍ベンゼン中における鉄内包カーボンオニオン・コバルト内包カーボンオニオンの低温合成法を開発した。実験系の概要を図1に示す。メタロセン(フェロセンおよびコバルトセン)をベンゼンに溶解させ、ステンレススチール製の円筒容器に封入した。メタロセンの質量濃度を 3.52, 11.76, 17.64, 23.52 mg ml⁻¹ とし、ベンゼンの質量密度を臨界密度に設定した。容器の周りに設置したヒーターおよび容器壁内に設置した温度計および温度制御装置により、流体温度を亜臨界状態(気液二層領域: 25.0 °C)から上昇させ、

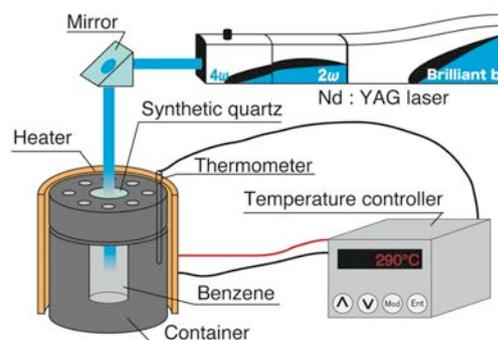


図1 実験系の概略

フェロセンあるいはコバルトセンを溶解させたベンゼンを円筒容器に封入した。流体温度は容器表面に設置したヒーターと温度制御系により制御した。波長 266 nm のレーザービームを溶液に照射した。

150 °C (亜臨界), 200 °C (亜臨界), 250 °C (亜臨界), 290 (超臨界) °C に保持した。波長 266 nm の紫外線レーザービームを Nd:YAG レーザー発信器より容器内の溶液に 50000 パルス照射した。ただし、レーザービーム径は 10 mm で、レーザーパワー密度を 5.2 mW mm⁻² に設定した。レーザーパルスの持続時間は 4.3 ns であり、パルス発生周期は 10 Hz である。

(2) 臨界ベンゼン中におけるカーボンファイバーおよび金属内包ナノ粒子の合成

臨界点近傍ベンゼン中 (290 °C) に、Nd:YAG レーザー発信器により波長 532, 355, 266 nm のレーザービームを照射し、カーボンナノ構造の形成について解析した。基本的な実験系は図1に示した概略図と同様である。ただし、ベンゼン中に円柱(鉄・クロム・ニッケルから構成される合金)を触媒として設置した。レーザー照射実験後、温度を室温まで下げ、合成されたナノ構造体の分析を行った。

(3) 臨界アセトン中における磁性カーボンナノチューブの合成

多層カーボンナノチューブをあらかじめアーク放電法で作製し、磁性ナノ粒子で表面修飾することにより磁性カーボンナノチューブを合成した。ニッケロセン、硫黄、多層カーボンナノチューブを臨界密度に設定したアセトンに溶解させ、流体を亜臨界状態(気液二層領域, 25 °C)から温度を上昇させ (18.0 °C min⁻¹)、100, 200, 240 °C に 1 時間保持した。実験終了後、温度を 25 °C まで下げ、合成された構造体の分析を行った。

4. 研究成果

(1) 臨界ベンゼン中における磁性金属内包カーボンナノ粒子の合成

流体温度が 200 °C 以下の場合、アモルファスカーボン粒子と金属内包アモルファスカーボン粒子が形成された。250, 290 °C の場合には、アモルファスカーボン粒子と金属内包ア

モルファスカーボン粒子に加え、カーボンオニオンおよび金属内包カーボンオニオンが形成された。フェロセン/ベンゼン溶液中に形成されたカーボンナノ構造の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像、制限視野電子回折 (SAED) 像、エネルギー分散型 X 線分析 (EDS) マッピングを図 2 に示す。フェロセンとコバルトセンの質量濃度の違いによらず、250 °C と 290 °C の場合に、鉄内包カーボンオニオンとコバルト内包カーボンオニオンが形成された。鉄内包カーボンオニオンおよびコバルト内包カーボンオニオンの合成量は温度 (250, 290 °C) によらず一定であったが、当然のことであるが、メタロセンの溶解濃度を増加させることにより、合成量は増加した。

290 °C で合成した鉄内包カーボンオニオンの鉄粒子直径は 7.5 ± 5.2 nm で、コバルト内包カーボンオニオンのコバルト粒子直径は 7.2 ± 3.6 nm であった。内包粒子を囲むカーボンオニオンの平均厚さは、鉄内包カーボンオニオンとコバルト内包カーボンオニオンで差異はなく 3.2 nm であった。

鉄内包カーボンオニオンとコバルト内包カーボンオニオンの磁化率 - 磁場曲線を図 3 に示す。両者とも、超常磁性の特性を有することがわかった。鉄内包カーボンオニオンの場合、飽和磁化はフェロセンの溶解量の増加とともに上昇したが、コバルト内包カーボンオニオンの場合、コバルトセンの溶解濃度が 17 mg ml^{-1} を超えると、過飽和状態になるため、飽和磁化の上昇は見られなかった。なお、鉄とコバルトの超常磁性は、それぞれ体心立方 (bcc) 構造、六方最密充填 (hcp) 構造の場合に発現する。コバルトの結晶性が鉄のそれより良いため、コバルト内包カーボンオニオンの飽和磁化は、鉄内包カーボンオニオンのそれより高くなった。

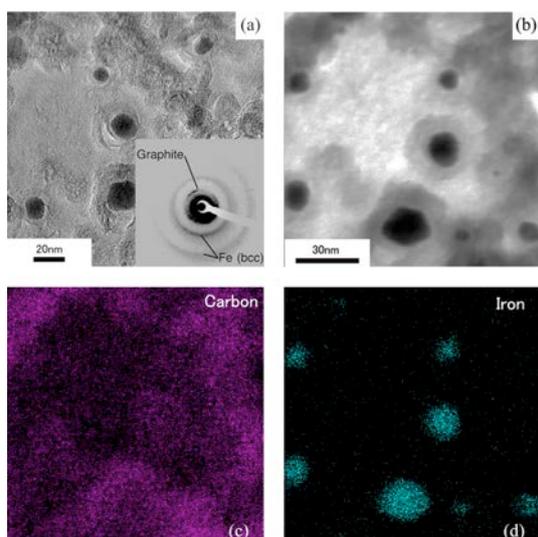


図 2 鉄内包カーボンオニオンの TEM 像・SAED 像・EDS マッピング
(a) 鉄内包カーボンオニオンの TEM 像・SAED 像;
(b) 鉄内包カーボンオニオンの TEM 像; (c) EDS マッピング (カーボン); (d) EDS マッピング (鉄)。

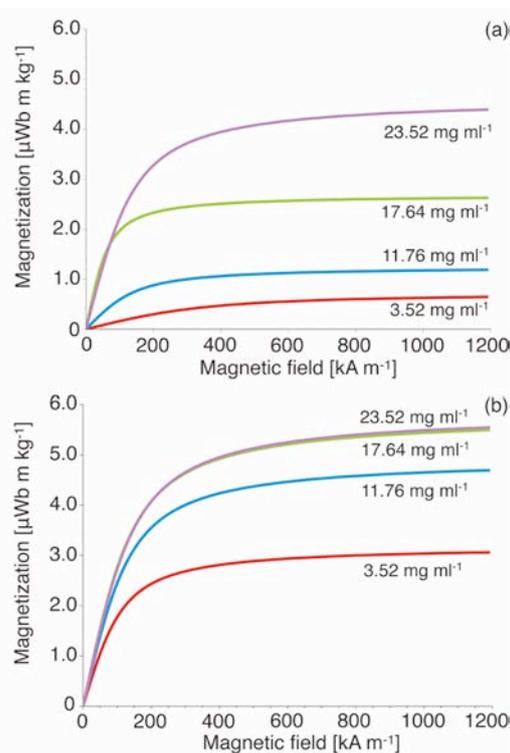


図 3 磁化 - 磁場曲線

(a) 鉄内包カーボンオニオンの磁化曲線。飽和磁化はフェロセンの質量濃度の増加とともに上昇した。
(b) コバルト内包カーボンオニオンの磁化曲線。コバルトセンの質量濃度が 17 mg ml^{-1} 以上になると、飽和磁化の上昇は見られなかった。鉄内包カーボンオニオンおよびコバルト内包カーボンオニオンの磁化曲線には、ヒステリシスは観測されなかった。

金属内包カーボンオニオンの場合、金属ナノ粒子が酸化されないため、磁化特性の劣化が抑制される。また、カーボンオニオンにより金属毒性が抑えられ、生体整合性を有するようになるため、本研究で合成した磁性カーボンオニオンは、非常に実用的なナノ粒子であると考えられる。さらに、合成温度が低いことにより、粒子凝集が抑えられる点においても実用性が高い。今後、金属内包カーボンオニオンのナノエレクトロニクス・ナノマグネティクス・バイオ化学・バイオ医療科学技術分野への応用が十分に期待される。

(2) 臨界ベンゼン中におけるカーボンファイバーおよび金属内包ナノ粒子の合成

波長 532, 355, 266 nm のレーザービームを臨界点近傍ベンゼン (合金触媒を設置) に照射後、アモルファスカーボン・グラファイト・カーボンファイバー・鉄/クロム内包カーボンナノ粒子が形成されることを確認した。TEM 像・EDS マッピングの結果 (図 4 参照)、ニッケルナノ粒子が触媒となり、カーボンファイバーが形成されることがわかった。また、鉄/クロムから構成されるナノ粒子が内包されているカーボンナノ粒子も合成された。カーボンの構造は多くの場合アモルファスである。波長が 532 nm の場合、ベンゼン中に設置した合金のレーザーアブレーション

により多くのナノ粒子が形成され、カーボンファイバー（ニッケルナノ粒子が核となっている）と鉄/クロム内包カーボンナノ粒子が効率良く合成された。

銅錯体 ($\text{Cu}(\text{tbaoc})_2$) を臨界点近傍ベンゼン (290 °C) に溶解させ、波長 532, 355, 266 nm のレーザービームを照射することによりカーボンコイルが形成されることがわかった (図 5 参照)。EDS マッピングによると、銅ナノ粒子が核となりカーボンコイルが形成された。特に、ベンゼンが効率良く分解されるために、波長が 355, 266 nm のレーザービームを照射した場合に多くのカーボンコイルが合成されることがわかった。カーボンコイルの直径は、触媒である銅ナノ粒子の径が減少するため、レーザー波長が短くなるに従い減少することがわかった。

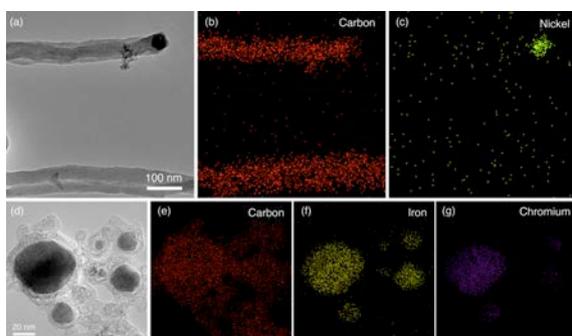


図 4 波長 532 nm のレーザービーム照射により形成されたカーボンファイバーと金属内包カーボンナノ粒子の TEM 像と EDS マッピング

(a) カーボンファイバーの TEM 像; (b) TEM 像(a)に対応する EDS マッピング (カーボン); (c) TEM 像(a)に対応する EDS マッピング (ニッケル); (d) 鉄/クロム内包カーボンナノ粒子の TEM 像; (e) TEM 像(d)に対応する EDS マッピング (カーボン); (f) TEM 像(d)に対応する EDS マッピング (鉄); (g) TEM 像(d)に対応する EDS マッピング (クロム);

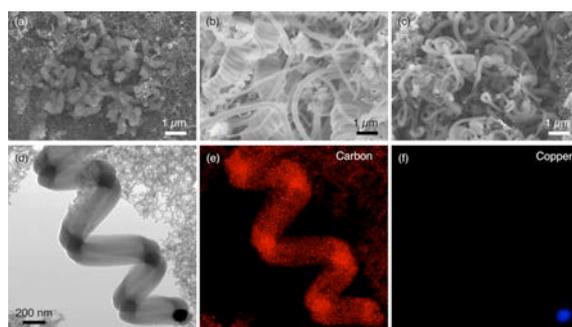


図 5 波長 532, 355, 266 nm のレーザービームを照射した後に形成されたカーボンファイバーの SEM 像・TEM 像・EDS マッピング

臨界点近傍ベンゼン (290 °C) に銅錯体 ($\text{Cu}(\text{tbaoc})_2$) が溶解されている。(a) 波長 532 nm のレーザービーム照射により形成されたカーボンファイバーの SEM 像; (b) 波長 355 nm のレーザービーム照射により形成されたカーボンファイバーの SEM 像; (c) 波長 266 nm のレーザービーム照射により形成されたカーボンファイバーの SEM 像; (d) 波長 355 nm のレーザービーム照射により形成されたカーボンファイバーの TEM 像; (e) TEM 像(d)に対応する EDS マッピング (カーボン); (f) TEM 像(d)に対応する EDS マッピング (銅)。

(3) 臨界アセトン中における磁性カーボンナノチューブの合成

図 6 に、流体温度が 200 °C と 240 °C の場合に合成された多層カーボンナノチューブ/ナノ粒子ハイブリッド構造体の TEM 像を示す。多層カーボンナノチューブの表面はナノ粒子で修飾されている。合成温度の上昇とともに、粒子径と粒子数が増加した。一方、流体温度が 100 °C 以下の場合には粒子は形成されなかった。EDS 解析によると、粒子はニッケルと硫黄で構成されておりカーボンの層で覆われている。多層カーボンナノチューブの表面もカーボン層で覆われている。SAED 解析によると、ナノ粒子は NiS と Ni_3S_2 から構成されており、カーボンの層で覆われている。

磁性カーボンナノチューブの磁化 - 磁場曲線を図 7 に示す。200 °C と 240 °C で合成した場合にのみ磁化されており、軟強磁性の性質を示した。ナノ粒子と多層カーボンナノチューブは、カーボン皮膜により接着したものと考えられる。また、硫黄を溶解させない場合、ナノ粒子は形成されなかった。つまり、ナノ粒子はニッケロセンの熱分解により生

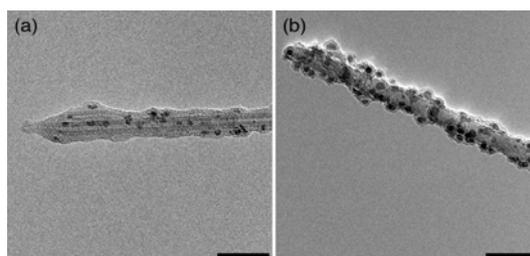


図 6 ナノ粒子で修飾された多層カーボンナノチューブの TEM 像

(a) 200 °C で合成された多層カーボンナノチューブ/ナノ粒子ハイブリッド構造体; (b) 240 °C で合成された多層カーボンナノチューブ/ナノ粒子ハイブリッド構造体。スケールバー: 50 nm。合成温度の上昇によりナノ粒子の径と数が増加した。200 °C と 240 °C で合成した内包ナノ粒子径はそれぞれ 6.6, 10.3 nm であった。カーボン層の厚さは、4.0 nm (200 °C)、4.3 nm (240 °C)である。

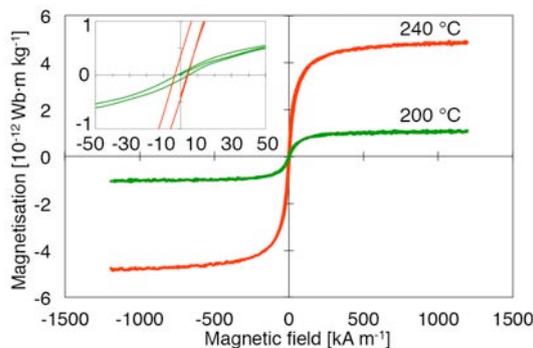


図 7 磁性カーボンナノチューブの磁化 - 磁場曲線

200 °C と 240 °C で合成された磁性カーボンナノチューブは、ともに軟強磁性の磁気特性を有している。合成温度の増加とともに、飽和磁化、残留磁化が上昇した。保磁力は合成温度によらず一定であった。

成されたニッケルと、溶解している硫黄の自己集積により形成されたものと考えられる。カーボン層は、ニッケロセンの分解による(cp)リングが不規則に並んで形成されたものと考えられる。合成温度の上昇とともに熱分解が促進されるために、ナノ粒子の径と数が増加した。

臨界流体中における自己集積化過程を利用した機能性カーボンナノ構造体の新規合成法を開発した。臨界温度は比較的低いので、材料合成温度は従来のそれと比べるとかなり低い。本研究で開発した合成法は、非常に簡便であるため、様々な機能性ナノ材料(磁性フーラレン、磁性グラフィン)の合成に適用できる。本カーボンナノ構造体は、生体分子(DNA、タンパク質等)による表面修飾により、水分散性や生体整合性を高めることが可能で、バイオ分野への応用が期待される。特に、生体整合性磁性ナノ構造体は医療テクノロジー(バイオイメージング、ハイパーサーミア、ドラッグデリバリー等)に応用することが可能である。

文献

- N. Sun, J. Chen, C. Jiang, Y. Zhanf and F. Shi, *Ind. Eng. Chem. Res.* **51**, 788 (2012).
- C. Mijatovic, J.C.T. Eijkel and A. van den Berg, *Lab. Chip.* **5**, 492 (2005).
- H.K. Chan and P.C.L. Kwok, *Adv. Drug Deliv. Rev.* **63**, 406 (2011).
- Y. Wu, T. Yu and Z. Shen, *J. Appl. Phys.* **108**, 071301 (2010).
- T. Fukuda, K. Ishii, S. Kurosu, R. Whitby and T. Maekawa, *Nanotechnology* **18**, 145611 (2007).
- T. Fukuda, T. Maekawa, T. Hasumura, N. Rantonen, K. Ishii, Y. Nakajima, T. Hanajiri, Y. Yoshida, R. Whitby and S. Mikhalovsky, *New J. Phys.* **9**, 321 (2007).
- T. Fukuda, N. Watabe, R. Whitby and T. Maekawa, *Nanotechnology* **18**, 415604 (2007).
- N.J.K. Rantonen, T. Toyabe and T. Maekawa, *Carbon* **46** 1225 (2008).
- T. Hasumura, T. Fukuda, R.L.D. Whitby, O. Achenbrenner and T. Maekawa, *Chem. Phys. Lett.* **492**, 304 (2010).
- T. Hasumura, T. Fukuda, R.L.D. Whitby, O. Achenbrenner and T. Maekawa, *J. Nanopart. Res.* **13**, 53 (2011).
- S. Kurosu, Y. Fukuda, Y. Shibuya and T. Maekawa, *Nanoscale Res. Lett.* **6**, 80 (2011).
- T. Fukuda, Y. Katsube, N. Watabe, S. Kurosu, R.L.D. Whitby and T. Maekawa, *J. Supercrit. Fluids* **58**, 407 (2011).
- H.E. Stanley, *Introduction to Phase Transition and Critical Phenomena* (Oxford: Oxford University Press) (1971).
- A. Onuki, H. Hao and A. Ferrell, *Phys. Rev. A* **41**, 2256 (1990).
- K. Ishii, T. Maekawa, H. Azuma, S. Yoshihara and M. Onishi, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 16 (1998).
- T. Maekawa, K. Ishii, Y. Shiroishi and H. Azuma, *J. Phys. A: Math. Gen.* **37**, 7955 (2004).
- W. Qian, L. Wei, F. Gao, Q. Chen and W. Qian, *Carbon* **44**, 1298 (2006).
- E.M. Vaquero, S. Beltrán and M.T. Sanz, *J. Supercrit. Fluids* **37**, 142 (2006).
- C.W. Wang, R.T. Chang, W.K. Lin, R.D. Lin, M.T. Liang, J.F. Yang and J.B. Wang, *J. Electrochem. Soc.* **146**, 3485 (1999).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

国際論文 (査読有り)

- T. Fukuda, Y. Hayasaki, T. Hasumura, Y. Katsube, R.L.D. Whitby and T. Maekawa, Low temperature synthesis of carbon fibres and metal-filling carbon nanoparticles with laser irradiation into near-critical benzene, *RSC Adv.* **5**, 12671-12677 (2015).
DOI: 10.1039/C4RA15709E
- A. Baliyan, Y. Nakajima, T. Fukuda, T. Uchida, T. Hanajiri and T. Maekawa, Synthesis of an ultradense forest of vertically aligned triple-walled carbon nanotubes of uniform diameter and length using hollow catalytic nanoparticles, *J. Am. Chem. Soc.* **136**, 1047-1053 (2014).
DOI: 10.1021/ja410794p
- Y. Katsube, T. Fukuda and T. Maekawa, Synthesis of magnetic carbon nanotubes: Functionalisation of carbon nanotubes with nickel/sulphur nanoparticles via self-assembly in near-critical acetone, *J. Supercrit. Fluids* **83**, 1-5 (2013).
DOI: 10.1016/j.supflu.2013.08.008
- A. Baliyan, T. Fukuda, Y. Hayasaki, T. Uchida, Y. Nakajima, T. Hanajiri and T. Maekawa, CoFe₂O₄ nanoparticles as a catalyst: synthesis of a forest of vertically aligned CNTs of uniform diameters by plasma-enhanced CVD, *J. Nanopart. Res.* **15**, 1693 (2013).
DOI: 10.1007/s11051-013-1693-3
- S. Kurosu, T. Fukuda and T. Maekawa, Quick synthesis of highly aligned or randomly oriented nano fibrous structures composed of C₆₀ molecules via self-assembly, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* **4**, 025003 (2013).
DOI: 10.1088/2043-6262/4/2/025003
- A. Baliyan, Y. Hayasaki, T. Fukuda, T. Uchida, Y. Nakajima, T. Hanajiri and T. Maekawa, Precise control of the number of walls of CNTs of a uniform internal diameter, *J. Phys. Chem. C* **117**, 683-686 (2013).
DOI: 10.1021/jp309894s
- O. Aschenbrenner, T. Fukuda, T. Hasumura, T. Maekawa, V.M. Gun'ko, S.V. Mikhalovsky, A.B. Cundy, and R.L.D. Whitby, Creation of 3-dimensional carbon nanostructures from UV irradiation of carbon dioxide at room temperature, *J. Supercrit. Fluids* **72**, 1-6 (2012).
DOI: 10.1016/j.supflu.2012.07.017
- Y. Hayasaki, T. Fukuda, T. Hasumura and T. Maekawa, Creation of metal-containing carbon onions via self-assembly in metallocene/benzene solution irradiated with an ultraviolet laser, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* **3**, 035010 (2012).
DOI: 10.1088/2043-6262/3/3/035010
- O. Aschenbrenner, T. Fukuda, T. Hasumura, T. Maekawa, A.B. Cundy and R.L.D. Whitby, Creation of spherical carbon nanoparticles and clusters from carbon dioxide via UV dissociation at the critical point, *Green Chem.* **14**, 1196-1201 (2012).
DOI: 10.1039/C2GC16593G
- A. Baliyan, T. Uchida, T. Fukuda, Y. Nakajima, T. Hanajiri and T. Maekawa, Synthesis of a forest of double/triple walled CNTs of uniform

diameters by plasma enhanced CVD using monodisperse iron oxide nanoparticles, *J. Mater. Chem.* **22**, 5277-5280 (2012).
DOI: 10.1039/C2JM16437J

11. A. Baliyan, T. Fukuda, T. Uchida, Y. Nakajima, T. Hanajiri and T. Maekawa, Synthesis of diameter controlled carbon nanotubes using self-assembled catalyst nanoparticles, *Chem. Phys. Lett.* **519-520**, 78-82 (2012).
DOI: 10.1016/j.cplett.2011.11.036

[学会発表](計 10 件)

国際学会等での基調講演(Plenary)・招待講演(Invited)

1. (Plenary) T. Maekawa, Nanoscience and nanotechnology: their application to biomedical studies, *International Nanotechnology Seminar, College of Science, Sultan Qaboos University* (2014), Muscat, Sultanate of Oman.
2. (Plenary) T. Maekawa, Nanotechnology: its application to biomedicine, *International Seminar on Bio-Nano Technology in Medicine, King Abdulaziz Medical University, Ministry of National Health Guard Affairs* (2014), Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
3. (Plenary) T. Maekawa, Self-organisation and self-assembly of molecules and particles on nano scales, *International Conference on Advancements in Materials, Health and Safety towards Sustainable Energy and Environment (MHS 2014)* (2014), Chennai, India.
4. (Invited) T. Maekawa, Creation of nanostructures via self-assembly and their application to bio-medical studies, *MANA Special Seminar, International Center for Materials Nanoarchitectonics, National Institute for Materials Science* (2013), Tsukuba, Japan.
5. (Plenary) T. Maekawa, Nanomaterials: low temperature synthesis via self-assembly and their application to biomedical studies, *International Conference on Frontiers in Energy, Environment, Health and Materials Research (EEMR-2013)* (2013), Bhubaneswar, India.
6. (Plenary) T. Maekawa, Creation of nanostructures via self-organisation and self-assembly and their application to biomedical technology, *Workshop on New Opportunities for Interdisciplinary Research in Bio-Nano-Science, Institute of Biology Bucharest, Romanian Academy* (2013), Bucharest, Romania.
7. (Plenary) T. Maekawa, Nanotechnology: application to bio-medical study, *India-Japan Symposium on Frontiers in Science & Technology: Successes and Emerging Challenges, Indian Embassy Auditorium* (2012), Tokyo, Japan.
8. (Invited) T. Maekawa, Creation of nanostructures at low temperature via self-assembly and their application to bio-medical studies, *Begbroke Science Forum, Begbroke Science Park, University of Oxford* (2012), Oxford, UK.
9. (Plenary) T. Maekawa, Low temperature creation of carbon nanostructures via self-assembly, *NanoteC2012: Nanotechnology in Carbon and Related Materials* (2012), Brighton, UK.
10. (Plenary) T. Maekawa, Creation of nanostructures via self-assembly and their application to bio-medical research, *International Workshop on Nanoparticles and Complex Nanostructures for Biotechnology, Biomedicine and Microfluidics, Romanian Academy, Politehnica University of Timisoara* (2012), Timisoara, Romania.

[産業財産権]

特許

Applications

Method of decomposing carbon-containing compound, method for producing carbon nano/micro structure and method for producing carbon thin film

1. US Patent
Application number: 12/675361
Application date: 25th February 2012
2. Indian Patent
Application number: 888KOLNP/2010
Application date: 27th March 2012
3. European Patent
Application number: 08792703.4
Application date: 29th April 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 透 (MAEKAWA, Toru)
東洋大学理工学部・教授
東洋大学バイオ・ナノエレクトロニクス研究センター
センター長
東洋大学大学院学際・融合科学研究科
教授
研究者番号 : 40165634

(2) 研究協力者

勝部 喜博 (KATSUBE, Yoshihiro)
東洋大学大学院学際・融合科学研究科
博士後期課程
Raymond Whitby
School of Pharmacy and Biomolecular Sciences
University of Brighton, UK