

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：51501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05101

研究課題名(和文) 大気圧  $\mu$  プラズマによるAuNPs@CNTバイオセンサーのオンチップ合成

研究課題名(英文) Synthesis of an AuNPs@CNT biosensor on a chip by an atmospheric-pressure microplasma

研究代表者

吉木 宏之 (Yoshiki, Hiroyuki)

鶴岡工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00300525

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：粒径3-5 nmの金ナノ粒子(AuNPs)は常温CO酸化の気相反応やグルコースやエタノール酸化等の液相反応に対して高い触媒活性を示す。本研究では、注射針にHeガスを導入して高周波(13.56 MHz)励起することで大気圧Heマイクロプラズマ流を生成して、カーボンナノチューブを分散した塩化金酸水溶液100-300  $\mu$ Lに照射することで、オンサイト・ワンステップ、短時間にAuNPsを担持したカーボンナノチューブ(AuNPs@CNT)を合成した。特に、金イオン濃度0.5-0.8 mM、プラズマ照射時間1-3分の合成条件で、AuNPs粒径が2-6 nmに分布するAuNPs@CNTを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

血糖値を測定するグルコースセンサーはグルコースオキシダーゼ等の生体高分子を用いるが、金ナノ粒子(AuNPs)はグルコース酸化触媒活性を有するので無機材料から成るグルコースセンサーの作製が期待される。通常、AuNPsは塩化金酸水溶液等の化学的還元で得られるが、還元剤を用いた多段階ウェットプロセスであるため、簡便かつ粒径制御が容易なプラズマ還元法は有効である。研究成果では、少量(数百 $\mu$ L)のカーボンナノチューブ(CNTs)分散塩化金酸水溶液に大気圧マイクロプラズマを照射するため、オンサイト・ワンステップかつ短時間でAuNPs@CNTを合成可能でグルコースセンサーのチップ化への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Gold nanoparticles have great potential for applications in catalysts, medical imaging, drug delivery systems and electronic devices. In this study, the on-site, one-step and short-time synthesis of gold nanoparticle/carbon nanotube composites (AuNPs@CNT) by atmospheric-pressure He micro-plasma irradiation to a mixture of a HAuCl<sub>4</sub> aqueous solution and a single-walled CNTs dispersed ethanol has been attained. The micro-plasma is generated at a tip of a narrow surgical-needle electrode by RF (13.56 MHz) excitation. The size of AuNPs was controlled by varying plasma irradiation time to a small amount of HAuCl<sub>4</sub>/CNTs solution of 100-300  $\mu$ L. AuNPs with an average diameter of 5.3 nm and a standard deviation of 2.6 nm were successfully synthesized on the surface of CNTs at an Au ion concentration of 0.5-0.8 mM and a plasma treatment time of 1 min. Both an average diameter and a standard deviation of AuNPs became larger with increasing plasma treatment time.

研究分野：プラズマ応用科学

キーワード：大気圧マイクロプラズマ プラズマ還元 金ナノ粒子 単層カーボンナノチューブ 複合ナノ材料 オンサイト・ワンステップ合成 粒径制御

### 1. 研究開始当初の背景

化学的に安定な金も直径 10 nm 以下の金ナノ粒子 (AuNPs) になると高い触媒活性を示す。特に、AuNPs は常温 CO 酸化のような気相反応だけでなく、グルコース酸化やエタノール酸化のような液相反応に対しても高い触媒活性を示すことが報告されている。<sup>1-4)</sup> そこで、優れた電気伝導度、化学的安定性、高い機械強度、高比表面積を有する単層カーボンナノチューブ (SWNTs) に AuNPs を担持した AuNPs@CNT を作用電極とするバイオセンサー (例えば、グルコースセンサー) が提案されている。<sup>5,6)</sup> これまでに、AuNPs@CNT は親水化処理した CNTs を添加した塩化金酸水溶液 (HAuCl<sub>4</sub>) の化学的還元や、CNTs と HAuCl<sub>4</sub> を含むイオン液体への減圧プラズマ照射等で合成されている。<sup>7)</sup> しかし、硫酸/硝酸を用いた CNTs の親水化処理や還元剤を用いた AuNPs の作製は多段階プロセスを必要とする上、廃液等による環境負荷も課題となる。近年、表面処理やナノ材料合成において注目されている大気圧プラズマを金イオンの還元や CNTs 表面親水化に利用することで、複合ナノ材料 AuNPs@CNT をオンサイト・ワンステップかつ短時間で合成する手法を確立することは汎用・安価なオンチップ・グルコースセンサー等の医療用診断装置の開発に有効である。

### 2. 研究の目的

直径 1 mm 以下の金属パイプ電極 (例えば、注射針) に高周波電力 (13.56 MHz) を印加することで生成した大気圧 He マイクロプラズマを、<sup>8)</sup> HAuCl<sub>4</sub> 水溶液と CNT 分散エタノールを混合した微量溶液 (100-300 μL) に照射することで、AuNPs 粒径が 2~10 nm に制御された AuNPs@CNT の合成条件を明らかにする。また、オンチップ・バイオセンサー作製への応用としてガラス基板上での AuNPs@CNT オンサイト・ワンステップ合成手段を探索する。

### 3. 研究の方法

#### 3-1. プラズマ還元法による AuNPs@CNT の合成

金ナノ粒子合成に用いた実験装置の概略を **図 1 (a)** に示す。φ0.90 mm、長さ 2 cm の SUS 細管注射針を電極として、He ガスを導入すると同時に、注射針電極に整合回路を介して高周波電力 (13.56 MHz) を印加して大気圧 He マイクロプラズマ流を生成する。He ガス流量: 550 sccm、投入電力: 4 W とする。HAuCl<sub>4</sub> 水溶液の Au モル濃度は 0.80 mM/L、エタノール 10 mL に対して SWCNT を 1 mg 添加して超音波洗浄機を用いて 30 min 間超音波分散を行うことで CNT エタノール分散溶液を作製する。HAuCl<sub>4</sub> 水溶液と CNT エタノール分散液の混合液に大気圧 He マイクロプラズマを照射している様子を **図 1 (b)** に示す。CNT はゼオンナノ社製の単層カーボンナノチューブ (ZEON NANO SG101) を使用した。SG101 は、金属触媒等の不純物を含まず、高純度であるという特徴を有している。CNT エタノール分散溶液とその TEM 観察結果を **図 2 (a), (b)** にそれぞれ示す。金属触媒等は見られず高純度であることが確認された。金ナノ粒子合成手順を **図 3** に示す。96 穴マイクロウェルに HAuCl<sub>4</sub> 水溶液を 100 μL と作製した CNT エタノール分散溶液 200 μL を混合して、大気圧 He マイクロプラズマを照射する。プラズマ照射後のサンプルは遠心分離してその沈殿物を透過型電子顕微鏡 (TEM, JEOL JEM-2100) で観察した。また、得られた TEM 画像から粒子形状・粒径分布測定する。

#### 3-2. 気液界面プラズマ照射の流体解析シュリーレン法

大気圧マイクロプラズマ発生時のガスおよび液体の流れを可視化する為のシュリーレン装置の構成および測定の様子を **図 4 (a), (b)** にそれぞれ示す。φ0.9 mm の細径 SUS 電極に He ガスを導入し、整合回路を介して高周波電力 (13.56 MHz) を印加して大気圧 He マイクロプラズマ流を生成する。生成したプラズマ流を石英ガラスセル内の純水に照射して、細径ノズルからのマイクロ

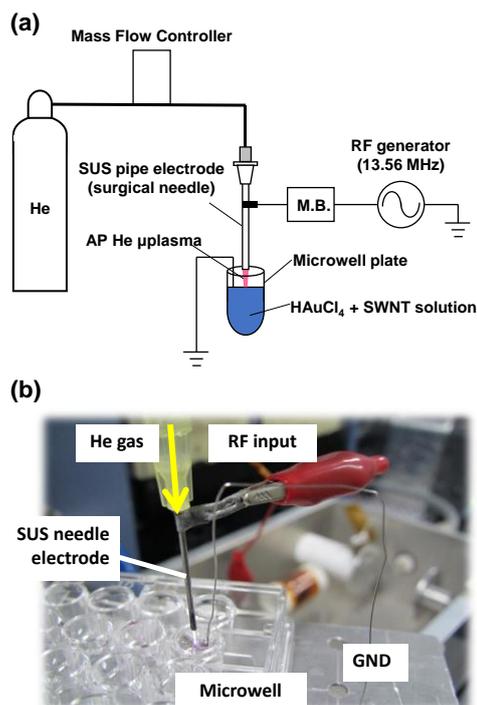


Fig. 1 (a) Schematic diagram of the experimental setup. (b) Photograph of the microplasma irradiation to a HAuCl<sub>4</sub> + SWNT solution.

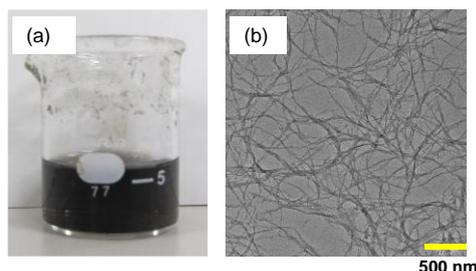


Fig. 2 (a) CNT dispersion solution, (b) TEM image of SWNTs.

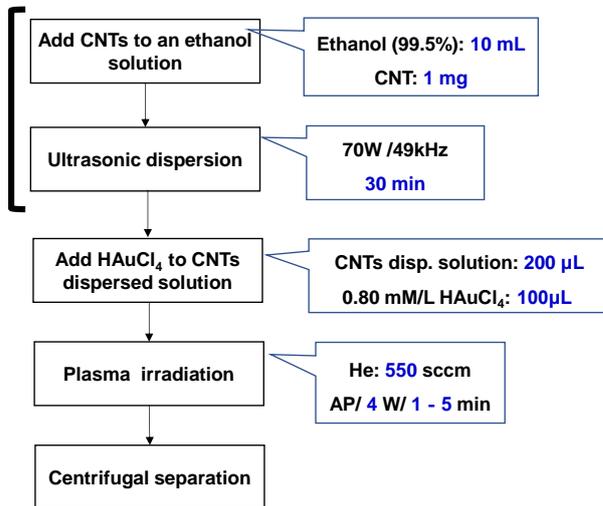


Fig. 3 Synthesis procedure of AuNPs@CNT composites.

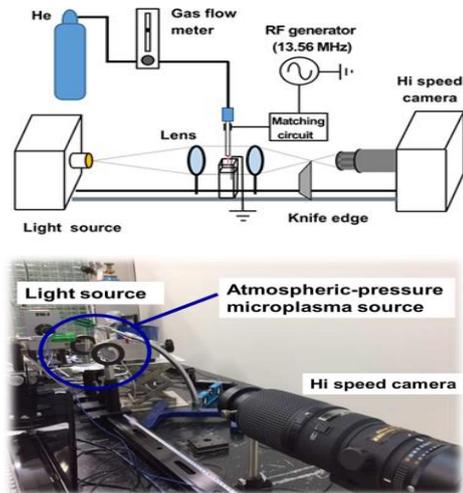


Fig. 4 (a) Schematic diagram of the Schlieren method. (b) Photograph of the experimental apparatus.

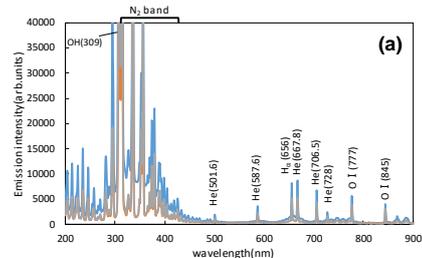
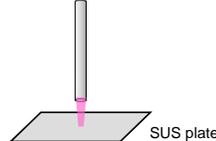
ラズマ流および気液界面の液体の流れをシュリーレン法で観察する。この時、He ガス流量：600 sccm, 細径ノズル - 液面間距離  $d$  : 3.3 mm, RF 電力 : 8 W とした。ハイスピードカメラは FASTCAM SA5 (Photron) を用い、フレームレートは 10000 fps とした。

## 4. 研究成果

### 4-1. プラズマ発光分光分析

(a) 電極-基板放電, (b) 電極-液面放電における大気圧マイクロプラズマの発光スペクトルを図 5(a), (b) にそれぞれ示す。777 nm, 845 nm に O I ピークが, 501.6 nm, 587.6 nm, 667.8 nm, 706.5 nm, 728 nm に He I ピークが, 656 nm に水素ラジカル  $H^*$  のピークが, 309 nm に OH ピークが, さらに 300-450 nm に 2nd positive  $N_2$  バンドが確認できる。これは空気中の  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  分子がプラズマ中の電子, イオンと衝突して励起や解離した為である。また, (a) と (b) を比較すると, 電極-液面放電

(a) Electro-substrate discharge



(b) Electro-liquid discharge

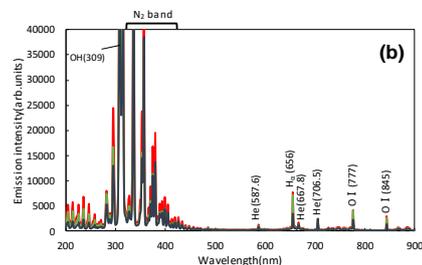
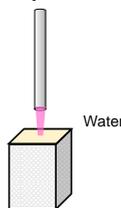


Fig. 5 Optical emission spectra from (a) electrode-metal plate discharge, (b) electrode-liquid discharge.

における  $H^*$  ピークが He I ピークよりも顕著に表れている事が分かる。  $H^*$  は還元作用があることが知られており, プラズマによる水和電子に加えて  $H^*$  が金ナノ粒子の還元に寄与している事が示唆される。<sup>9)</sup>

### 4-2. プラズマ照射時の気液界面の流体解析

溶液に対しプラズマ照射を行った際の変化の様子を図 6 (a) に示す。細径パイプ内の流速は 35 m/s であり, 注射針の内径  $\phi$  0.70 mm 内の非圧縮流体を仮定してレイノルズ数  $Re$  は 1913 である。  $Re < 2100$  においては層流状態である為, シュリーレン画像からも気体の揺らぎは見られない。一方, プラズマ照射により溶液表面の密度変化が確認

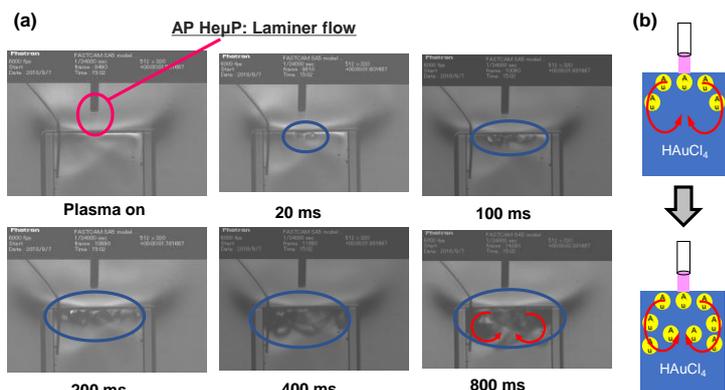


Fig. 6 (a) Schlieren photography of a gas-liquid interfacial plasma, (b) schematic drawing of particle transport by convection.

された。これは、プラズマによって He ガスが瞬間的に加速され溶液に衝突することや、気液界面プラズマ照射による溶液上層部の温度勾配により対流が発生したためと考えられる<sup>10)</sup>。図 6 (b)の模式図に示す様に、この対流により溶液下部からプラズマ照射部へ Au<sup>+</sup>が供給されて金ナノ粒子合成が進むと考えられる。

#### 4-3. 吸光度スペクトル

吸光度スペクトルのプラズマ照射時間依存性を図 7 に示す。表面プラズモン共鳴による 540 nm 付近のピークが観測された。光は電界を伴っていることから金属の中にある自由電子の動きに影響を与える。自由電子が集団振動している状態のことをプラズモンといい、このプラズモンはある条件のもとに光の振動と共鳴することがある。

540 nm は光の三原色 (RGB) のうちの緑色成分にあたり、金の内部の電子と共鳴し吸収され残った赤色成分だけが透過・反射する為、溶液が赤色を呈する。一般的に粒径 50 nm 以下の AuNPs が生成されている場合、溶液が赤色を呈すとされているので 50 nm 以下の AuNPs が合成されていることが確認できる。

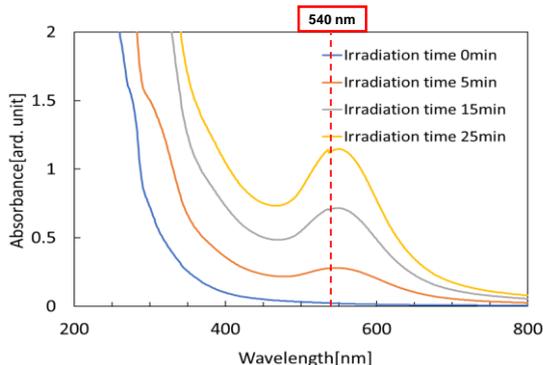


Fig. 7 Absorbance spectra of the He microplasma irradiated HAuCl<sub>4</sub> solution as a function of plasma irradiation time.

#### 4-4. プラズマ還元による AuNPs@CNT の合成

図 8 (a)にプラズマ照射後のマイクロウェル内の (HAuCl<sub>4</sub> + CNT 分散) 混合溶液の様子を示す。溶液は薄ピンク色を呈しており AuNPs の生成が期待される。TEM 観察の結果、図 8 (b)に示す様に CNTs の表面に多数のナノ粒子の生成が確認された。これらナノ粒子単体の TEM 画像を図 9 に示す。格子間隔を測定した結果 2.4 Åであった。これは、金の結晶のミラー指数 (111) と一致しており、合成された粒子は金ナノ粒子であることが確認された。また、生成された金ナノ粒子が、SWCNT 表面上に選択的に合成されている。CNT の分散及び、CNT 表面上への金ナノ粒子担持において、官能基であるカルボキシル基

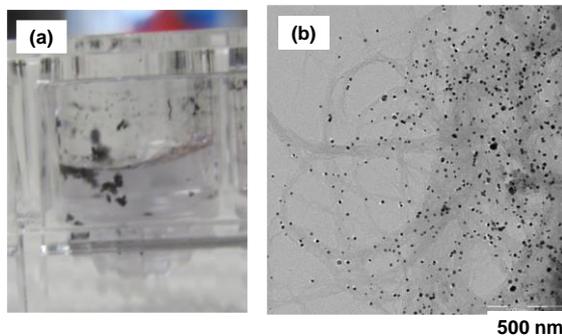


Fig. 8 (a) He microplasma irradiated HAuCl<sub>4</sub> solution in a microwell, (b) TEM image of microparticles deposited on SWCNT surface.

(-COOH) やアミノ基 (-CH) の導入が必要であると広く知られている。分散剤として用いたエタノールに大気圧マイクロプラズマを局部的に照射したことによって、エタノール (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) が解離・分解し、-COOH、-CH が導入されたと示唆される。また、プラズマ照射時間の増加に伴い、粒径が成長していることが、確認できる。いずれも、金ナノ粒子の形状は球状が過半数を占めているが、図 10 (a)、(b)に示す様に柱状・多角形等の様々な形状のナノ粒子も確認された。ナノ粒子の場合、特に特定の安定化を図らない限り、多くの場合、球形に近い形状をとると広く知られている。プラズマ還元法においても、多くが球形に近い形状を取る事が確認された。

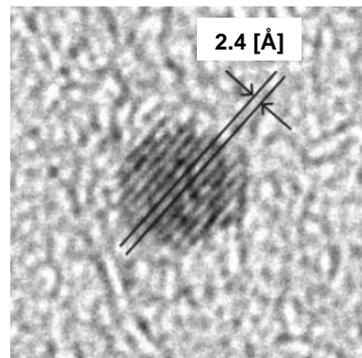


Fig. 9 TEM image of a synthesized AuNP.

図 11 に合成した AuNPs@CNT の TEM 画像のプラズマ照射時間依存性を示す。プラズマ未照射では AuNPs は確認されなかった。AuNPs はプラズマ還元により CNT 表面に合成されて、プラズマ照射時間と共に AuNPs の粒径が増加していることが分かる。

図 12 に金ナノ粒子の粒径分布のプラズマ照射時間依存性を示す。プラズマ照射時間の増加に伴い、粒径が大きな粒子が増加すると共にピークの推移が確認された。それぞれ平均粒径を算出した所、照射時間の短い方から、5.29 nm, 6.09 nm, 13.97 nm となった。これは、プラズマ照射後に金ナノ粒子が生成され、生成された核を中心として、核成長や凝集が発生し粒径成長が起こった為であると考えられる。

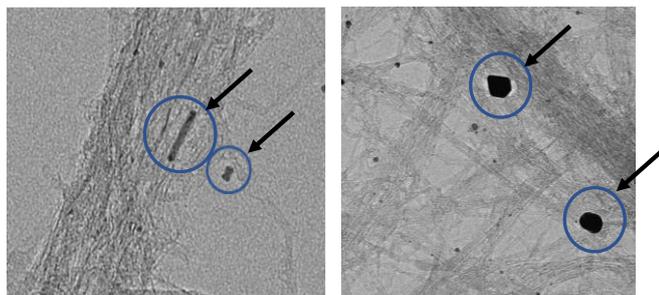


Fig. 10 (a) rod-shaped AuNPs and (b) polygonal AuNPs.

また、標準偏差は、照射時間 1 分、3 分、5 分と短い方からそれぞれ 2.63, 6.19, 3.50 となった。プラズマ照射 1 分の場合が、最もばらつきが小さく粒径がそろっていた。さらに、微粒子が過剰成長してしまう為ではないかと考えられる。さらに、プラズマ照射時間 1 min においては、10 nm 以下の粒子が 94%、

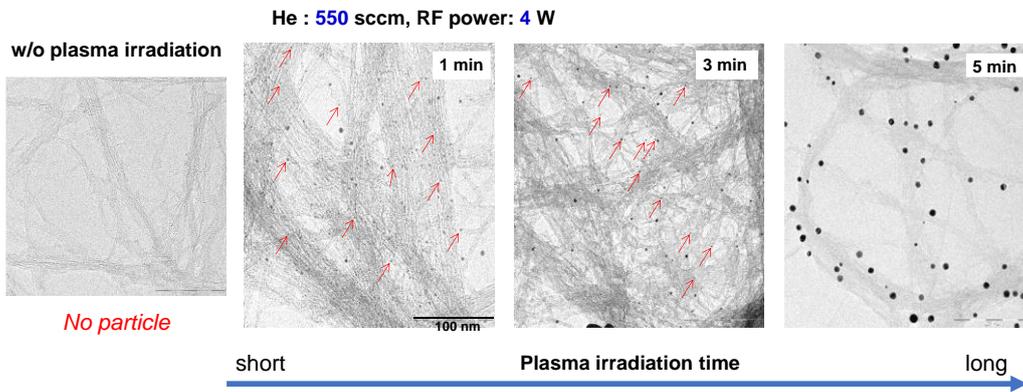


Fig. 11 TEM images of AuNPs@CNT as a function of plasma irradiation time.

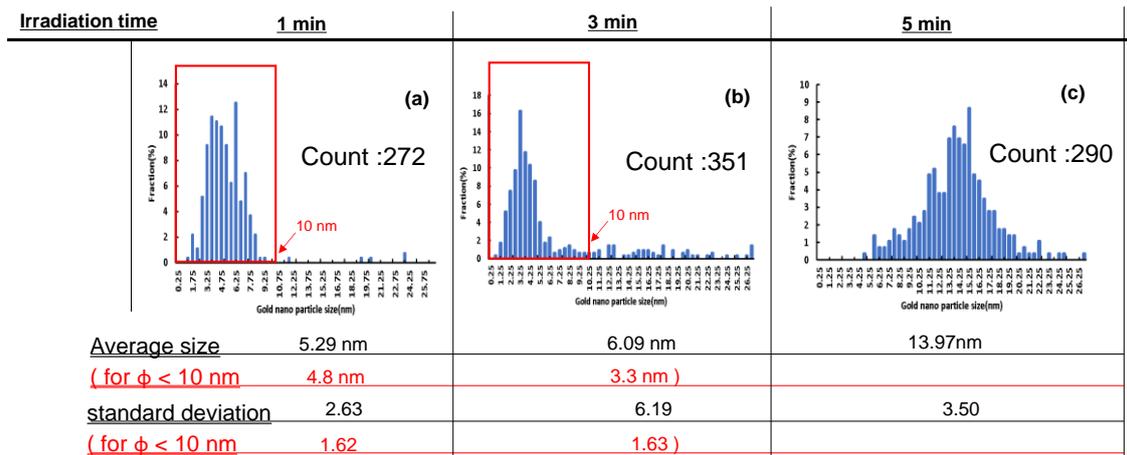


Fig. 12 AuNPs size distributions for plasma irradiation time of 1 min (a), 3 min (b) and 5 min (c).

3 min においては、85%を占めている。プラズマ照射時間 1, 3 分においての平均粒径と、標準偏差を算出した所、平均粒径は、4.8nm, 3.3 nm, 標準偏差は 1.62, 1.63 となった。短時間照射は粒子の成長抑制に有効的である。

微量の塩化金酸水溶液(100  $\mu$  L)に短時間(1min)のプラズマ照射を行うことによって、総数の 78%を占める 2-10 nm の金ナノ粒子の合成に成功した。

<引用文献>

- 1) 春田監修, 金ナノテクノロジー CMC 出版 (2014).
- 2) M. Valden *et al.*, Science, **281**(1998) 1647.
- 3) T. Ishida, Maruta, Angew. Chem. Int .Ed., **46**, (2007)7154.
- 4) D. A. H. Cunningham, T. Kobayashi, N. Kamijo & M. Haruta Catalysis Letters volume **25**(1994) 257–264.
- 5) H. Papa, M. Gaillard, L. Gonzalez and J. Chatterjee, “Fabrication of Functionalized Carbon Nanotube Buckpaper Electrodes for Application in Glucose Biosensors”, Biosensors **4** (2014) 449-460.
- 6) N. A. Kumar, S. H. Kim, J. S. Kim, J. T. Kim and Y. T. Jeong, “Functionalization of Multi-Walled Carbon Nanotubes with Cysteamine for the Construction of CNT/Gold Nanoparticle Hybrid Nanostructures”, Surface Review and Letters **16** (3) (2009) 487-492.
- 7) T. Kaneko and R. Hatakeyama, “Creation of Nanoparticle-Nanotube Conjugates for Life-Science Application using Gas-Liquid Interfacial Plasmas”, Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 11pJ03 (6 pages).
- 8) H. Yoshiki, K. Taniguchi and Y. Horiike, “Localized Removal of a Photoresist by Atmospheric Pressure Micro-plasma Jet using RF Corona Discharge”, Jpn. J. Appl. Phys. **41**(9) (2002) 5797-5798.
- 9) M.A. Bratescu, S-P Cho, O.Takai and N. Saito, “Size-Controlled Gold Nanoparticles Synthesized in Solution Plasma”, J. Phys. Chem. **C115** (2011) 24569-24576.
- 10) T. Shimizu, Y. Iwafuchi, G. E Morfill and T. Sato, New J. Phys. **13** (2011) 053025 (10 pages).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 R. Nishimura and H. Yoshiki	4. 巻 30 (1)
2. 論文標題 Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition of Hydrogenated Diamond-Like Carbon Films by Atmospheric-Pressure Micro Plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 プラズマ応用科学 (Applied Plasma Science)	6. 最初と最後の頁 26-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村和弘, 吉木宏之, 遠田明宏	4. 巻 21 (6)
2. 論文標題 プラズマガス気泡化処理装置による1,4-ジオキサンの分解	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 環境浄化技術、日本工業出版	6. 最初と最後の頁 38-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉木宏之、乙坂謙次、佐藤岳彦、中嶋智樹、上原聡司	4. 巻 45
2. 論文標題 細径金属パイプ電極から噴出する大気圧Heマイクロプラズマの流れの可視化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 120-121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiki Hiroyuki, Sasaki Taizo, Mitsui Toshiaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Inner-wall modification of a commercial polymeric microfluidic chip using pulsed He/O <sub>2</sub> and Ar/O <sub>2</sub> $\mu$ plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 126202 ~ 126202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.126202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計29件(うち招待講演 0件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 H. Yoshiki and K. Otsuka
2. 発表標題 Size controlled synthesis of gold nanoparticle/carbon nanotube composites by atmospheric- pressure microplasma
3. 学会等名 75th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC 2022)/ 11th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-11) (Sendai, Oct. 3-7, 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村和弘、吉木宏之、遠田明広
2. 発表標題 空気プラズマガス気泡化による1,4-ジオキサンの分解処理
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会(上智大学 四谷キャンパス, 2023.3.15)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉木宏之、中村和弘、遠田明広、高橋宏之
2. 発表標題 空気プラズマガス気泡化による1,4-ジオキサンの分解処理
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉木宏之、中村和弘、遠田明広、高橋宏之
2. 発表標題 空気プラズマガス気泡化処理による1,4-ジオキサンの分解
3. 学会等名 第39回プラズマプロセッシング研究会(SPP-39)/第34回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM34)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Otosaka and H. Yoshiki
2. 発表標題 Carbon Nanotube-Gold Nanoparticle Composites Synthesized by Gas-Liquid Interfacial He Microplasma Irradiation
3. 学会等名 13th ISPlasma 2021 / 14th IC-PLANTS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村涼汰、三田村啓嵩、吉木宏之、荒船博之
2. 発表標題 大気圧プラズマ合成によるダイヤモンド状炭素膜の高硬度化の研究
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉木宏之、西村涼汰
2. 発表標題 大気圧マイクロプラズマを用いたDLC薄膜合成の研究
3. 学会等名 第38回プラズマプロセッシング研究会(SPP-38) / 第33回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM33)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yoshiki and K. Otosaka
2. 発表標題 Gold Nanoparticles Synthesis on CNTs by an Atmospheric-pressure Microplasma
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西村涼汰、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧におけるDLCのプラズマ化学気相成長の研究
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉木宏之、乙坂謙次、西村涼汰、佐藤岳彦、中嶋智樹、上原聡司
2. 発表標題 細径金属パイプ電極から噴出する大気圧Heマイクロプラズマの流れ解析
3. 学会等名 静電気学会東北・関西・九州支部合同研究会 / 第435回生存圏シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉木宏之、乙坂謙次
2. 発表標題 大気圧プラズマ還元によるSWNT表面への金ナノ粒子の合成
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（北海道大学，2019）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村涼汰、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧マイクロプラズマジェットによるDLC成膜の局所合成
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（北海道大学，2019）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Otsuka, H. Yoshiki, T. Nakajima, T. Sato, S. Uehara
2. 発表標題 Fluid analysis of an atmospheric-pressure $\mu$ plasma ejected from a narrow nozzle
3. 学会等名 The 6th Japan-Taiwan Workshop on Plasma Life Science and Technology (Tsuruoka Metabolome Campus, Tsuruoka, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Nishimura, H. Yoshiki, J. Sato, K. Gando
2. 発表標題 Local synthesis of DLC thin films by atmospheric pressure micro plasma
3. 学会等名 The 6th Japan-Taiwan Workshop on Plasma Life Science and Technology (Tsuruoka Metabolome Campus, Tsuruoka, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 乙坂謙次、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧マイクロプラズマによる金ナノ粒子の局所合成とバイオセンサーへの応用
3. 学会等名 応用物理学会東北支部 第74回学術講演会 (日本大学工学部, 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村涼汰、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧 $\mu$ プラズマによるDLC薄膜の化学気相合成
3. 学会等名 応用物理学会東北支部 第74回学術講演会 (日本大学工学部, 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村涼汰、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧におけるDLC薄膜のプラズマ化学気相成長の研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（上智大学，2020）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yoshiki, K. Otsuka, T. Sato, T. Nakajima, S. Uehara
2. 発表標題 Fluid flow analysis of an atmospheric-pressure microplasma ejected from a narrow nozzle
3. 学会等名 The Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2019, Sendai) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yoshiki, T. Aso, K. Hosoya
2. 発表標題 The effect of the solution pH on E. coli sterilization by the O <sub>2</sub> discharge gas bubbling
3. 学会等名 The 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-11, Kanazawa, 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yoshiki, J. Sato, R. Nishimura and K. Gando
2. 発表標題 Local deposition of diamond-like carbon films by atmospheric pressure pen-like plasma CVD
3. 学会等名 40th International Symposium on Dry Process (DPS 2018, Nagoya Univ.) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshiki, K. Otsuka, T. Sato, T. Nakajima and S. Uehara
2. 発表標題 Fluid flow analysis of an atmospheric-pressure micro-plasma ejected from a narrow nozzle
3. 学会等名 The Eighteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2018, Sendai) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉木宏之、乙坂謙次、佐藤岳彦、中嶋智樹、上原聡司
2. 発表標題 細径ノズルから噴射される大気圧 $\mu$ プラズマの流体解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (東京工業大学, 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yoshiki, N. Saito, K. Sato, Syafiq, Y. Igarashi, F. Ishikawa, K. Kobayashi, K. Sugawara, K. Hosoya, N. Tanae and T. Sugawara
2. 発表標題 Development of a plasma-gas bubbling reactor for water purification
3. 学会等名 The 5th Taiwan- Japan Workshop on Plasma Life Science and Technology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 乙坂謙次、吉木宏之
2. 発表標題 プラズマ還元で合成した金ナノ粒子の粒径制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会 (名古屋国際会議場, 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉木宏之、佐藤順樹、丸藤好恭
2. 発表標題 大気圧 $\mu$ プラズマDLC成膜における基板温度、H <sub>2</sub> 添加の効果
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会（名古屋国際会議場，2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshiki
2. 発表標題 DLC Thin Film Deposition by an Atmospheric Pressure Pen-like Plasma Source
3. 学会等名 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10, Taoyuan, Taiwan) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Yoshiki
2. 発表標題 Study on Water Treatment by the Spark and Streamer Plasma-Gas Bubbling Device
3. 学会等名 The 4th Japan- Taiwan Workshop on Plasma Life Science and Technology (Iwate Univ., Japan)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤順樹、丸藤好恭、吉木宏之
2. 発表標題 大気圧 $\mu$ プラズマCVDによるDLC成膜に於けるH <sub>2</sub> 添加と基板温度の影響
3. 学会等名 応用物理学会東北支部 第72回学術講演会（秋田大学手形キャンパス）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉木宏之、丸藤好恭
2. 発表標題 大気圧ペン型プラズマによるDLCの局所成膜
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会（福岡国際会議場・福岡国際センター）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------