

令和元年6月9日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26246036

研究課題名(和文) プラズマを用いたナノ粒子精密配置制御の学術基盤創成

研究課題名(英文) Precise control of nanoparticle deposition using plasma

研究代表者

白谷 正治 (Shiratani, Masaharu)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：90206293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,800,000円

研究成果の概要(和文)：プラズマナノ粒子プリンティングの学術基盤を確立することを目的として、以下の成果を得た。

(1) プラズマ中ナノ粒子のサイズ分布の単分散化と凝集制御を目指して、プラズマとナノ粒子の相互作用とそのゆらぎ機構を明らかにした。(2) ガス流下におけるナノ粒子の輸送機構を検討し、ガス流によるナノ粒子の選択堆積が可能であることを明らかにした。(3) ナノ粒子付着について、粒子のサイズ・構造と付着機構・付着後の膜物性の相関を明らかにした。(4) ナノ粒子その場計測法として、プラズマ中微粒子の光捕捉に世界で始めて成功し、微粒子の振る舞いからプラズマポテンシャルゆらぎの超高感度計測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、プラズマを用いたナノ粒子の生成から輸送、堆積までを精密に制御するために欠かせない学術基盤を構築するものであり、ナノ構造体作製のボトムアッププロセスの実現に資するものである。プラズマ分野としては、プラズマゆらぎに関する新しい計測・解析法を提供した。加えて、応用面においては、プラズマを用いた、次世代太陽電池やCO2メタン化などエネルギー・環境関連技術の発達に貢献する成果を得ている。

研究成果の概要(英文)：To establish plasma nanoparticle printing technology, we have obtained the following results.

(1) The fluctuation of interaction between plasma and nanoparticles has been revealed. Controlling the fluctuation is a key to generate nanoparticle with narrow size dispersion. (2) Nanoparticle transport using gas flow has been discussed. Selective nanoparticle deposition can be realized by using gas flow. (3) Selective deposition of Si nanoparticles and higher order silane molecules has been succeeded. Deposition kinetics of higher-order silane and their influence on the film characteristics have been revealed. (4) Optical trapping of a fine particle in plasmas has been firstly succeeded. Ultra high sensitive measurement of plasma potential has been succeeded by observing the behavior of the trapped particles.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：プラズマ ゆらぎ ナノ粒子 電気・電子材料 3Dプリンティング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ナノテクノロジーは、バイオテクノロジー、グリーンテクノロジー、エレクトロニクスなど、様々な分野で応用され、非常に急速な成長を予測されている。重要な基盤技術の1つであるナノシステムの作製プロセスでは、ナノインク印刷技術や3次元集積化技術を用いたエレクトロニクスなどに進展は見られるが、原子・分子や超微粒子から出発してナノシステムを構築するボトムアッププロセスは、実用的にはまだ先が見えない。本研究では、従来技術の課題をブレークスルーするために、申請者のこれまでの研究を進展させて、プラズマ中のナノ粒子についての研究を基に、プラズマ中のナノ粒子を精密に基板へと輸送し、超高空間分解能、高スループットを実現するプラズマナノ粒子プリンティングの学術基盤を確立する。

2. 研究の目的

プラズマナノ粒子プリンティングの学術基盤を創成するために、解決すべき技術的課題としては、1. ナノ粒子単分散化、2. ナノ粒子凝集制御 3. コアシェル作製、4. 高速輸送、5. 位置決め、6. ナノ粒子固着がある。これらに関連して、申請者は、反応性プラズマ中で発生するナノ粒子について研究を進めており、項目1から3については要素技術の創出に成功している。いずれも世界で唯一の研究成果である。申請者は、これらの研究成果を進展させることで、プラズマナノ粒子プリンティングの学術基盤を確立することが可能であると着想した。

5年感の研究期間内に、プラズマ中微粒子を対照として、以下の研究項目について検討した。

- (1) ナノ粒子単分散化と凝集制御の実現に寄与するプラズマ中ナノ粒子量ゆらぎ機構検討
- (2) ナノ粒子高速輸送と位置決めの実現のためのナノ粒子輸送機構検討
- (3) ナノ粒子固着に関連するナノ粒子付着機構検討
- (4) ナノ粒子の定量的検討に欠かせないナノ粒子その場計測法確立

3. 研究の方法

本研究では、容量結合型プラズマが用いられた。図1に本研究において中心的な検討課題となったナノ粒子量ゆらぎ機構検討で用いた実験装置の概要図を示す。Ar と DM-DMS ($\text{Si}(\text{CH}_3)_2(\text{OCH}_3)_2$) を、それぞれガス流量 40sccm, 2sccm で装置内に導入し、圧力を 166.3Pa とした。周波数 60 MHz、電力 30W の高周波電圧を放電電極に印加してプラズマを生成した。プラズマゆらぎがナノ粒子成長に与える影響について調べるため、放電電力に変調度 30%、変調周波数 100Hz の正弦波で振幅変調を加え、プラズマ密度に摂動を加えた。ナノ粒子成長に関する情報を得るため、2次元レーザー散乱光(LLS)法を用いた。この方法では、シート状の YAG レーザー(入射パワー 2.0W, 波長 532 nm)を、上部接地電極と放電電極間に電極に平行に入射して、ナノ粒子によるレイリー散乱光強度を干渉フィルタつき高速度カメラで測定した。また、高速電子やラジカル生成レートに関する情報を得るために、干渉フィルタと高速度カメラを用いて、Ar I (波長 750.4, 811.5nm)の発光強度を計測した。(発表論文 20)

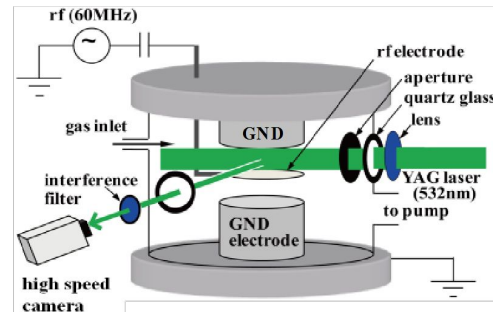


図1. プラズマ装置概要。

4. 研究成果

- (1) プラズマ中ナノ粒子量ゆらぎ機構(発表論文 3, 20)

振幅変調プラズマにおけるナノ粒子成長を2次元レーザー散乱法を用いて検討し、以下の結果を得た。

- ・ 振幅変調時のナノ粒子成長の理論的検討から、ナノ粒子の成長方程式におけるラジカルとナノ粒子のカップリングに関わる非線形項の寄与が振幅変調により大きくなり、ナノ粒子のサイズ分布が狭分散化することを見出した。
- ・ ナノ粒子量ゆらぎに対してプラズマ中乱流解析で用いられているバイスペクトラム解析を適用した。ナノ粒子量に現れるゆらぎにおいて、理論的検討で予想されたゆらぎの 60Hz 成分のトータルバイコヒーレンスからこのゆらぎが非線形結合から来るものであることを明らかにした。この結果は、ナノ粒子とラジカルの非線形結合による成長が存在することを世界で初めて示したものである。
- ・ プラズマからの発光強度とナノ粒子量の時空間計測結果の比較より、ナノ粒子とプラズマの相互作用によりナノ粒子の成長と共にプラズマのマクロスコピックな構造も変化することを明らかにした。ナノ粒子とプラズマのミクロスコピックな相互作用がプラズマのマクロスコピックな構造と相互作用することを示唆するものである。
- ・ ナノ粒子ゆらぎを周波数分解し、特定の周波数のゆらぎに対してエンベロープ解析を行った。エンベロープ解析結果は、ナノ粒子量揺らぎで現れる特定周波数の揺らぎについて、2次元空間+時間の3次元時空間構造を解析し、相互作用揺らぎの時間発展を初めて明らかにした。(図2)
- ・ ナノ粒子ゆらぎに現れるゆらぎの周波数成分について、60Hz と 40Hz に現れる揺らぎの基

本周波数 100Hz に対する相互相関を調べ、ナノ粒子量揺らぎに現れる相互作用揺らぎの時空間伝搬過程が、周波数により変化することを明らかにした。

- ナノ粒子の散乱光強度や発光強度のゆらぎについてスペクトル解析を進め、得られた相互作用ゆらぎ同士の結合状態についての情報を得る事に成功した。
- ナノ粒子の散乱光強度（ナノ粒子量）や発光強度のゆらぎのスペクトル解析から得られた 2 つの結合ゆらぎ（相互作用ゆらぎ）の 2 次元空間構造のクロスコヒーレンス解析から相互作用ゆらぎ同士の結合状態を定量的に評価することに成功した。

上述した結果は、プラズマ中で発生するナノ粒子のサイズ分布の狭分散化に重要な相互作用ゆらぎを明らかにする重要な知見であるとともに、相互作用ゆらぎのプラズマ領域全体での振る舞いを明らかにするものである。

(2) ナノ粒子輸送機構（発表論文 2, 7, 9, 12, 23）

ナノ粒子の輸送に関してガス流による基板へのナノ粒子輸送とその堆積について、得られた結果を以下に示す。

- マルチホロー放電プラズマ CVD 法を用いて、ガス流と放電電力をパラメータとしてナノ粒子の輸送と堆積をレーザー散乱法と水晶振動子膜厚計法(QCM)を用いて評価した(図3(a))。低ガス流速条件において、放電開始直後に

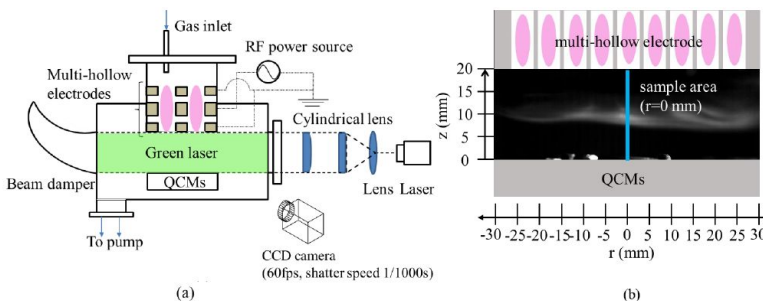


図3 . (a)ガス流によるナノ粒子輸送に関する実験に用いたマルチホロー放電プラズマ CVD 法の概要と、(b) 低ガス流速条件でのナノ粒子雲形成のレーザー散乱光イメージ。

下流領域の電極近傍にナノ粒子群が形成し、ナノ粒子が堆積が顕著に抑制されることを明らかにした(図3(b))。この結果は、ナノ粒子輸送・配置制御においてガス流とプラズマ生成領域およびその時空間ダイナミクスが重要であることを示唆する。

- 基板へのナノ粒子輸送と堆積に対するガス流速依存性を調べたところ、ガス流速とともに堆積するナノ粒子サイズが減少し、高速ガス流条件において、ナノ粒子が堆積しないことを明らかにした。このとき、ガス流は基板に対して垂直に近い方向から流入するため、基板前面においてガス流の向きが急激に変化する。サイズが大きい場合にはナノ粒子の慣性により基板へと輸送されるが、サイズが小さい場合にはガス流とともに排気されると考えられる。この結果は、ガス流によるナノ粒子の選択堆積の可能性を示唆している。

(3) ナノ粒子付着機構(発表論文 5-7, 9, 11-18, 21-23)

- ダブルプラズマを用いたコアシェルナノ粒子の作製と基板へのランダム配置を行い、量子効果を活用したマルチエキシトン型太陽電池への応用が可能であることを示した。
- シランプラズマを用いたアモルファスシリコン薄膜堆積で、ガス流を用いた基板堆積粒子の選択堆積を実現した。Si 原子が 4 個程度以下の高次シラン分子の表面マイグレーションが SiH₃ ラジカルと同様であるものの、膜中の水素結合状態や Si 原子同士の結合状態に影響を与える事を明らかにした(図4)
- ガス流を用いたナノ粒子射出において、電場によるナノ粒子の基板付着について検討し、電場印加が重要であることを明らかにした。

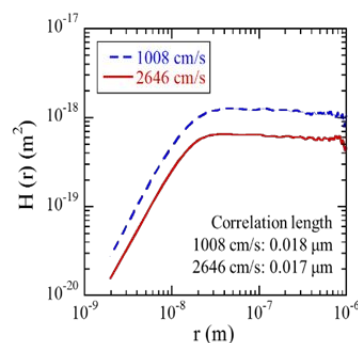


図4 . SiH₃ ラジカルと高次シラン分子の同時堆積（破線）と SiH₃ ラジカルのみでの堆積（実線）での AFM 像から得た相間長はほぼ同じであり、高次シラン分子の表面マイグレーションは SiH₃ ラジカルと同等であることを明らかにした。

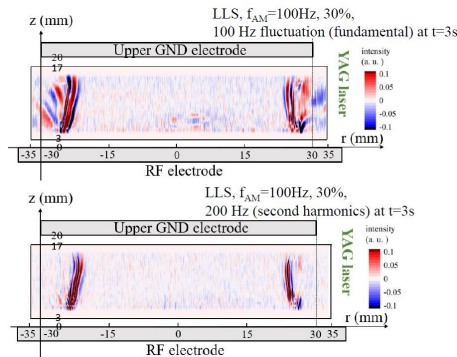


図2 . プラズマ中ナノ粒子量の揺らぎの時空間構造を始めて明らかにした。

(4) ナノ粒子その場計測法開発 (発表論文 10, 17)

- ・ 平行平板がたプラズマ発生装置に微粒子を導入し、プラズマシース境界領域に捕捉された微粒子に対してレーザーを照射し、プラズマ中微粒子の光捕捉に成功した。
- ・ 光捕捉した微粒子の高速カメラ計測により、プラズマポテンシャルゆらぎの超高感度計測に成功した。プラズマとナノ粒子の相互作用ゆらぎを定量評価する際に必要な低侵襲かつ局所的なプラズマ評価法としてプラズマ中微粒子をプローブとして用いる事が可能であることを示している。

(5) その他 (発表論文 4)

- ・ ナノ粒子プラズマの応用として CO₂ メタン化について検討し、プラズマによる室温のガス温度で 90% の CO₂ 変換率を実現した。プラズマと触媒を併用した反応の活性化エネルギーが従来触媒法の 1/3 であり、プラズマによる材料分子の分解・励起が寄与している事を示唆する結果を得た。加えて、ナノ粒子プラズマの応用として CO₂ メタン化について検討し、プラズマと触媒の相互作用における律速段階を明らかにした。この結果は触媒のナノ構造化による高スループット化に重要な知見を与えるものである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 24 件)

1. L. Shi, K. Tanaka, H. Hara, S. Nagaishi, D. Yamashita, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani, Effect of Higher-Order Silane Deposition on Spatial Profile of SiH₂/SiH Bond Density Ratio of a-Si:H Films, Plasma and Fusion Research, 査読有, 2019, in press.
2. S.H. Hwang, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga and M. Shiratani, Effects of Gas Pressure on Size Distribution and Structure of Carbon Nanoparticles Using Ar + CH₄ Multi-Hollow Discharged Plasma Chemical Vapor Deposition, Plasma and Fusion Research, 査読有, 2019, in press.
3. R. Zhou, K. Mori, H. Ohtomo, D. Yamashita, H.W. Seo, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Cross-Correlation Analysis of Fluctuations of Interactions between Nanoparticles and Low Pressure Reactive Plasmas, Materials Science Forum, 査読有, 941 巻, 2018, 2104-2108.
4. S. Toko, R. Katayama, K. Koga, E. Leal-Quiros, and M. Shiratani, Dependence of CO₂ Conversion to CH₄ on the CO₂ Flow Rate in a Helicon Discharge Plasma, Science of Advanced Materials, 査読有, 10 巻, 2018, 655-659.
5. S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, T. Kojima, H.W. Seo, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Hysteresis in volume fraction of clusters incorporated into a-Si:H films deposited by SiH₄ plasma chemical vapor deposition, Surf. Coat. Technol., 査読有, 326 巻, 2017, 388-394.
6. H.W. Seo, V.V.M. Gopi Chandu, H.J. Kim, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Performance enhancement of quantum dot-sensitized solar cells based on polymer nano-composite catalyst, Electrochimica Acta, 査読有, 249 巻, 2017, 337-342.
7. 古閑一憲, 徐鉉雄, 板垣奈穂, 白谷正治, 低温プラズマによるナノ粒子の合成と太陽電池への応用, 信学技報 (IEICE Technical Report), 査読なし, 117 巻, 2017, 5-9.
8. 徐鉉雄, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治, 色素増感太陽電池のポリマー対向電極における触媒反応の活性化, 信学技報 (IEICE Technical Report), 査読なし, 117 巻, 2017, 27-29.
9. K. Koga, H.W. Seo, A. Tanaka, N. Itagaki, M. Shiratani, Synthesis of Nanoparticles Using Low Temperature Plasmas and Its Application to Solar Cells and Tracers in Living Body, ECS Transactions, 査読有, 77 巻, 2017, 17-24.
10. M. Shiratani, M. Soejima, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, Fluctuation of Position and Energy of a Fine Particle in Plasma Nanofabrication, Materials Science Forum, 査読有, 879 巻, 2016, 1772-1777.
11. H.W. Seo, M. K. Son, S. Hashimoto, T. Takasaki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Surface Modification of Polymer Counter Electrode for Low Cost Dye-sensitized Solar Cells, Electrochimica Acta, 査読有, 210 巻, 2016, 880-887.
12. H. Seo, D. Ichida, S. Hashimoto, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, S. H. Nam and J. H. Boo, Improvement of Charge Transportation in Si Quantum Dot-Sensitized Solar Cells Using Vanadium Doped TiO₂, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, 16 巻, 2016, 4875-4879.
13. H. Seo, M. Shiratani, K. Seneekatima, R. Pornprasertsuk, Catalytic Improvement on Counter Electrode of Dye-Sensitized Solar Cells Using Electrospun Pt Nano-Fibers, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, 16 巻, 2016, 3332-3337.
14. S. Toko, Y. Torigoe, W. Chen, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Effects of cluster incorporation into hydrogenated amorphous silicon films in initial discharge phase on film stability, Thin Solid Films, 査読有, 587 巻, 2015, 126-131.
15. K. Keya, Y. Torigoe, S. Toko, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Raman spectroscopy of PIN hydrogenated amorphous silicon solar cells, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, LW1.132.

16. Y. Torigoe, K. Keya, S. Toko, H. Seo, N. Itagaki, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, Effects of electrode structure on characteristics of multi-hollow discharges, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, LW1.129.
17. D. Yamashita, M. Soejima, T. Ito, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Laser trapped single fine particle as a probe of plasma parameters, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, LW1.104.
18. R. Katayama, K. Koga, D. Yamashita, K. Kamataki, H. Seo, N. Itagaki, M. Shiratani, N. Ashikawa, M. Tokitani, S. Masuzaki, K. Nishimura, A. Sagara, LHD Experimental Group, Deposition rate and etching rate due to neutral radicals and dust particles measured using QCMs together with a dust eliminating filter, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, LW1.101.
19. S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Cluster Incorporation into A-Si:H Films Deposited Using H₂+SiH₄ Discharge Plasmas, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, GT1.152.
20. T. Ito, M. Soejima, D. Yamashita, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, T. Kobayashi, S. Inagaki, Cross correlation analysis of plasma perturbation in amplitude modulated reactive dusty plasmas, Proc. 68th GEC/9th ICRP/33rd SPP, 査読なし, 60 巻, 2015, GT1.49.
21. S. Toko, Y. Torigoe, K. Keya, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Effects of Gas Flow Rate on Deposition Rate and Amount of Si Clusters Incorporated into a-Si:H Films, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 55 巻, 2015, 01AA19.
22. H. Seo, D. Ichida, S. Hashimoto, G. Uchida, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Photovoltaic application of Si nanoparticles fabricated by multihollow plasma discharge CVD: Dye and Si co-sensitized solar cells, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 54 巻, 2015, 01AD02.
23. H. Seo, D. Ichida, S. Hashimoto, G. Uchida, N. Itagaki, K. Koga, and M. Shiratani, Performance enhancement of dye and Si quantum dot hybrid nanostructured solar cell with TiO₂ barrier, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 査読有, 39 巻, 2014, 321-324.
24. S. Iwashita, E. Schungel, J. Schulze, P. Hartmann, Z. Donko, G. Uchida, K. Koga, M. Shiratani, U. Czarnetzki, Dust Hour Glass in a Capacitive RF Discharge, IEEE Trans. Plasma Science, 査読有, 42 巻, 2014, 2672-2673.

[学会発表](計 180 件)内国際学会招待講演 15 件を下記に記載。

1. M. Shiratani, K. Koga, Cross correlation analysis of fluctuation of interactions between nanoparticles and low pressure reactive plasmas, 10th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials Processing, Fabrication, Properties, Applications (THERMEC 2018)(招待講演)(国際学会), 2018.
2. K. Koga, K. Kamataki, N. Itagaki and M. Shiratani, A deep insight of plasma-nanoparticle interaction, 19th International Congress on Plasma Physics(招待講演)(国際学会), 2018.
3. M. Shiratani, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, IoT-oriented solar cells fabricated using plasma-based nanotechnology (Invited), ISPlasma2018/IC-PLANTS2018(招待講演)(国際学会), 2018.
4. M. Shiratani, K. Koga, H. Seo, N. Itagaki, Thin film deposition using low temperature plasmas: past, present, and future (Plenary), 4th International Workshop on Advanced Plasma Technology and Applications (The 4th IWAPTA workshop)(招待講演)(国際学会), 2018.
5. H. Seo, D. Sakamoto, B. Zhang, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, Strategy for the commercialization of dye-sensitized solar cells, 5th Korea-Japan Joint Symposium on Advanced Solar Cells 2018, 2nd International Symposium on Energy Research and Application(招待講演)(国際学会), 2018.
6. K. Koga, K. Mori, R. Zhou, H. Seo, N. Itagaki, M. Shiratani, A new insight into nanoparticle-plasma interactions (Invited), JP-KO dust workshop(招待講演)(国際学会), 2017.
7. M. Shiratani, K. Koga, Fine Particle Plasma and Plasma Process (Invited), 18th Workshop on Fine Particle Plasmas(招待講演)(国際学会), 2017.
8. M. Shiratani, K. Koga, H. Seo, N. Itagaki, Novel Fabrication Methods of Thin Films using Low Temperature Plasmas (Invited), Taiwan Association for Coating and Thin Film Technology (TACT) 2017(招待講演)(国際学会), 2017.
9. M. Shiratani, H. Seo, N. Itagaki, K. Koga, Spatial Structure of Interactions between Nanoparticles and Low Pressure Plasmas (Invited), 11th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2017)(招待講演)(国際学会), 2017.
10. K. Koga, H. Seo, A. Tanaka, N. Itagaki, M. Shiratani, Synthesis of Nanoparticles Using Low Temperature Plasmas and Its Application to Solar Cells and Tracers in Living Body (Invited), 231st Meeting of Electrochemical Society (ECS)(招待講演)(国際学会), 2017.
11. M. Shiratani, K. Koga, Fluctuation of position and energy of a fine particle in plasma nanofabrication (Invited), Intl' Conf. on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'2016)(招待講演)(国際学会), 2016.
12. K. Koga and M. Shiratani, Potential fluctuation evaluation using binary collision of fine particles

- suspended in plasmas (Invited), 第16回微粒子プラズマ研究会(招待講演)(国際学会), 2015.
13. K. Koga and M. Shiratani, Control Of Nanoprticle Transport And Their Deposition For Porous Low-k Films By Using Plasma Pertubation (Invited), The 10th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2015)(招待講演)(国際学会), 2015.
 14. G. Uchida, H. Seo, K. Koga, M. Shiratani, Fabrication Of Ge Nanoparticle Composite Films By Reactive Dusty Plasma Process For Next Generation Energy Devices (Invited), The 10th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE2015)(招待講演)(国際学会), 2015.
 15. M. Shiratani, K. Koga, Nanopartilce Composite Plasma CVD Films and Some Applications, 2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting(招待講演), 2014.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：カーボンナノ粒子の製造方法

発明者：古閑一憲、白谷正治、黄成和、米澤健、太田裕己、高橋希世美、中谷達行、呉準席、伊藤昌文

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2018-158138

出願年：2018

国内外の別：国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

プラズマ工学研究室 <http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：古閑一憲

ローマ字氏名：Kazunori Koga

所属研究機関名：九州大学

部局名：システム情報科学研究所

職名：准教授

研究者番号(8桁): 9 0 3 1 5 1 2 7

研究分担者氏名：内田儀一郎

ローマ字氏名：Giichiro Uchida

所属研究機関名：大阪大学

部局名：接合科学研究所

職名：准教授

研究者番号(8桁): 9 0 4 2 2 4 3 5

(2)研究協力者

なし。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。