

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：13801
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H02804
研究課題名(和文) 高機能・多機能材料表面を実現する革新的プラズマプロセス技術の開発とその応用

研究課題名(英文) Development of innovative plasma process technologies to realize high-performance and multi-functional material surfaces and their applications

研究代表者
永津 雅章 (NAGATSU, Masaaki)

静岡大学・電子工学研究所・特任教授

研究者番号：20155948
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高度科学技術社会の実現に向けて様々な産業分野からニーズが高まっている環境に優しい高機能・多機能表面プロセスの実現を目的として、(1)従来困難とされたフッ素系樹脂材料の表面修飾技術、(2)フッ素樹脂材とアルミ等の異種材料間の接着技術、(3)3次元半導体デバイス開発に必要とされるSi基板の接合技術、さらに(4)医療・環境分野において注目される高機能ナノ微粒子合成技術を取り上げ、これらを実現するプラズマプロセス技術の開発およびプラズマ科学の学理探求を行った。得られた研究成果は、学術論文誌13編、著書(分担執筆)3編、国内学会・国際会議21件の発表を行い、3件の特許出願を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究のテーマとした先進的プラズマプロセスを活用した各種材料表面の高機能化・多機能化は、様々な産業分野においてその技術開発が求められており、我が国における未来の産業創造と社会変革の実現に不可欠な重点課題の一つである。本研究で得られた成果は、エレクトロニクス分野、環境・エネルギー分野、バイオ・医療分野など、わが国の幅広い産業界における科学技術イノベーションの創出に大きく貢献するとともに、基礎から応用までの基盤的な学理の構築に貢献できると考えており、本研究成果の学術的、社会的意義は極めて大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：Aiming at the realization of environmentally-friendly highly-functional and multi-functional surface process, demanded from various industry fields for future high-tech society, in this research, we have carried out the development of plasma process technology and quest for plasma science, which will enable us to perform the following items; (1)surface modification of fluorine resin materials, which is conventionally considered to be difficult to perform, (2)adhesion technique between different materials, such as fluorine resin and aluminum, (3) adhesion technique of Si substrates required for development of three dimensional semiconductor devices, and (4)synthesis technology of high-functional nanoparticles received the attention in medical/environmental fields. As the research achievements, we published 13 journals, 3 books (partial contribution), 21 domestic and international conference presentations, and 3 patent applications.

研究分野：プラズマエレクトロニクス

キーワード：プラズマプロセス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、エレクトロニクス分野、環境・エネルギー分野、バイオ・医療分野などの産業分野において、様々な高機能・多機能表面特性を有する材料の開発が求められている。これらの材料プロセスでは、従来、主に化学反応を利用したウェットプロセスによる表面改質が行われてきたが、化学薬品の廃液処理などの環境面の問題や、局所的な材料表面処理にマスク処理が必要とされるなどのプロセスの煩雑性やコスト面が課題となっている。一方、ウェットプロセスに替わる方法として注目されているプラズマプロセスでは、基板材料の加熱を必要とせず、環境に優しい大気圧下での低温プロセスが可能であることなどの多くの優れた特徴を有している。

本研究では、プラズマ中で生成される粒子種と材料表面との物理的・化学的相互作用を活用し、これまで技術的に困難とされてきた各種材料の高機能化・多機能化を実現する先進的プラズマプロセス技術の開発を目的としており、産業界におけるイノベーション創出のみならず、プラズマエレクトロニクス分野における新たな学理の構築を目指している。

2. 研究の目的

近年、高度科学技術社会の実現に向けて、様々な産業分野から環境に優しい高機能化・多機能化表面処理プロセスのニーズが高まっている。特に樹脂や金属などの各種材料のバルク物理特性は保持したまま、表面のみを改質することにより、従来にない高機能・多機能を有する材料を創出することが産業界から求められている。本研究では、具体的な高機能・多機能表面処理技術として、1)従来困難とされたフッ素系高分子材料の表面修飾技術、2)フッ素樹脂材とアルミ等の異種材料間の接着技術、3)3次元半導体デバイス開発に必要とされるSi基板の接合技術、4)医療・環境分野において注目される新規ナノ微粒子の合成技術を取上げ、これらを実現する革新的プラズマプロセス技術の開発およびプラズマ科学の学理探求を目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、上記の研究目的を達成するため、下記に掲げた4つの研究項目を実施した。

(1)フッ素樹脂材の大気圧プラズマを用いた複数官能基の表面化学修飾技術:

ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) などのフッ素樹脂材について、アミノ基、カルボキシル基等の表面修飾実験を実施し、それらの表面特性を XPS や水接触角計測等を用いて解析するとともに、大気圧プラズマジェットでの放電パラメータとの定量的な関係を明らかにする。本研究では、以下の2種類の大気圧プラズマを用いてフッ素樹脂材の表面修飾に関する実験を行った。

基板バイアスを用いた大気圧プラズマジェットによるフッ素樹脂材の表面処理

平行電極型大容積誘電体バリア放電によるフッ素樹脂材の表面処理

(2)低圧マイクロ波プラズマを用いたシリコン基板の表面修飾技術:

シリコン基板を接合する方法としては、接着層を用いず直接基板どうしを接合する「直接接合」が広く用いられており、高真空中で基板表面にイオンビームなどをあて、表面にダングリングボンドを形成し、活性化した面同士を張り合わせる常温接合などが主な技術となっている。本研究では、低圧プラズマ照射によるシリコン基板表面の活性化およびアミノ基や水酸基などの官能基修飾技術に関する研究を行う。

(3)アルミ基板表面のプラズマ表面修飾による樹脂などの異種材料との接着技術:

アルミ材と樹脂材の密着性の実現には、従来、化学試薬を用いたアルミ表面のエッチングによる方法が用いられてきた。しかし、環境面での問題などから、本研究では RF 励起大気圧プラズマジェットを用いたアルミ表面の官能基修飾を行うことにより、フッ素樹脂との密着性の向上を図る。

(4)表面プラズモン特性を有する官能基修飾金微粒子添加磁気ナノ微粒子のプラズマ合成技術:

本研究では、表面プラズモン特性を有し、表面修飾が可能なグラファイト層で被覆された機能性金属ナノ微粒子のプラズマ合成技術の開発を行うことを目標としている。具体的には、金や銅などの表面プラズモン特性を示す金属粉末をグラファイト電極に埋め込んだ電極を用い、DC アーク放電時の背景ガスのヘリウムガスに微量のアンモニアガスを添加することによって、アミノ基修飾したグラファイト被覆金属ナノ微粒子のワンステップ合成を実現する。

4. 研究成果

本研究で掲げた4つの研究課題について得られた主な研究成果を以下に記述する。

(1)フッ素樹脂材の大気圧プラズマを用いた複数官能基の表面化学修飾技術:

基板バイアスを用いた大気圧プラズマジェットによるフッ素樹脂材の表面処理[-]

実験に用いた二電極型大気圧プラズマジェット装置の構成を図1に示す。アミノ基修飾には、He ガスに流量約 10 sccm の NH₃ ガスを微量添加して行った。プラズマ処理した PTFE 表面のアミノ基修飾の確認には、アミノ基と選択的に結合する蛍光色素 (Alexa Fluor® 488 5-SDP Ester)

を用い、蛍光顕微鏡による蛍光パターンを観察する方法を用いた。合計の照射時間が 180 秒と一定となるように、前処理の照射時間を 0~30 秒（後処理時間は 180~150 秒に対応）まで変化させた場合の結果を図 1(a)~(d)に示した。

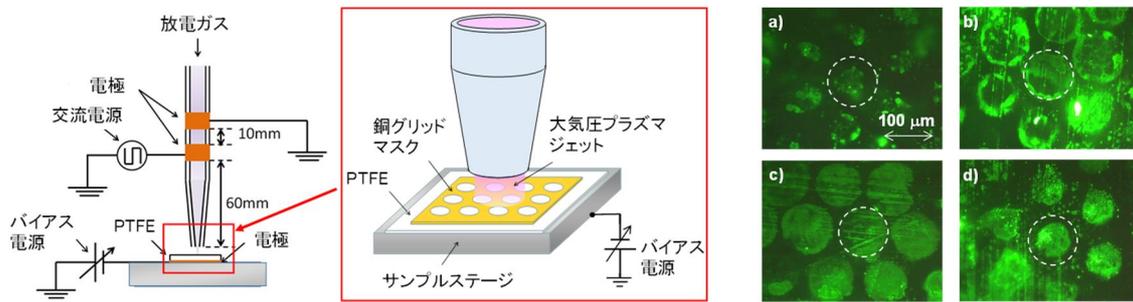


図 1 二電極型大気圧プラズマジェット実験装置の概略図および PTFE 表面のアミノ基修飾蛍光パターン; (a) 前処理なし、(b)前処理時間 10 s、(c) 20 s、(d) 30 s [-]

これらの結果から、前処理時間の増加とともに円形孔の中心部にプラズマジェットによるイオン衝撃効果により修飾が中心まで広がり、アミノ基修飾の修飾がより均一化されることが分かる。なお、化学的誘導体化反応を利用した光学光度法によるアミノ基数の解析から、PTFE 表面のアミノ基修飾面密度が約 5.4 nmol/cm^2 と評価され、この値は PTFE 表面全体にほぼ密に修飾されていることを明らかにした。また水接触角の測定では、図 2 に示したように He プラズマジェットによる前処理時間を 120 秒まで増加することにより、4 分間の He/NH₃ プラズマジェット処理後の水接触角が未処理の約 120° から 約 35.7° まで減少することを示した。最後に、アミノ基表面修飾した PTFE とアルミ基板との接着性を調べる実験の結果、プラズマ未処理の PTFE サンプル引っ張りせん断強度がほぼ 0 であったのに対して、本研究によりアミノ基修飾した PTFE サンプルでは約 8.6 MPa が得られており、PTFE 表面の密着性の向上に本手法が有効であることを示した。

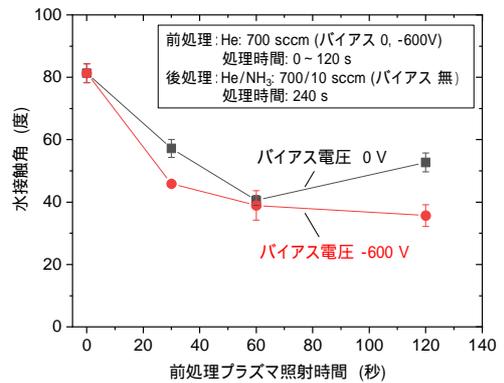


図 2 He/NH₃ プラズマジェット処理による PTFE 表面の水接触角の変化

平行電極型大容積誘電体バリア放電によるフッ素樹脂材の表面処理 [,]

上記の大気圧プラズマジェットを用いたフッ素系樹脂材の表面修飾では、処理面積が小さいため、大面積な樹脂材の表面処理には不向きである。このため、本研究では厚さのある大面積な樹脂材に適用可能なプラズマ源として、平行電極型大容積誘電体バリア放電装置の開発を行った。[,] 図 3 は本研究で開発を行った長さ 20 cm、幅 5 cm、電極間距離 5~10 mm の平行電極型誘電体バリア放電電極を示している。下側の電極面に PTFE シートを設置し、プラズマ照射を行った実験では、PTFE シートと対向する電極面に配置したシリコン基板表面の XPS 解析の結果から、図 4 に示したように F 1s および C 1s スペクトルに CF₂成分が検出されることが確認された。これらの結果より、プラズマ照射時のイオン照射によって PTFE 表面のエッチングが生じ、PTFE 表面の CF₂ 分子切断によるダングリングボンドが形成され官能基修飾が起きることを裏付ける結果となっている。

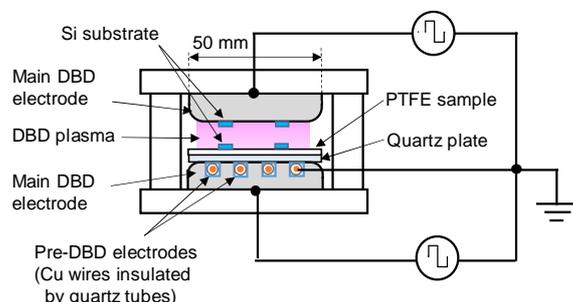


図 3 平行電極型大容積誘電体バリア放電装置の概略図

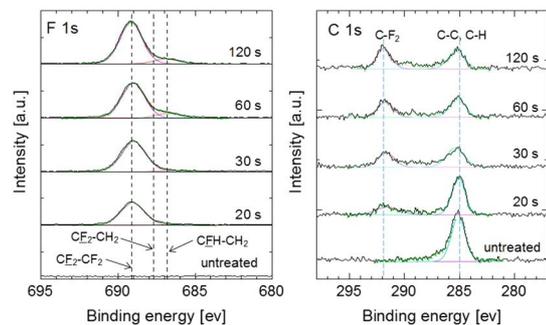


図 4 対向電極面上の Si 基板の XPS 解析結果

(2) 低圧マイクロ波プラズマを用いたシリコン基板の表面修飾技術:

本研究では、シリコン基板表面の活性化およびアミノ基や水酸基などの官能基修飾の検証を行うため、低圧マイクロ波励起表面波プラズマ装置を用いて照射実験を行った。マイクロ波表面波プラズマ照射実験では、放電ガスとして Ar、NH₃、H₂ ガスを用い、ガス圧力 10 Pa、マイクロ波パワー 500 W の条件でプラズマ生成を行った。図 5 は未処理基板とそれぞれのガス雰囲気下で 10 分間のプラズマ照射を行ったシリコン基板表面の XPS 解析結果を示している。これらの結果から、NH₃ プラズマではアミノ基 (-NH₂) が、Ar プラズマでは水酸基 (-OH) が修飾されていると考えられる。また H₂ プラズマでは、Si 2p 成分に Si-H 結合によると見られる広がりが観測されていることから、水素終端されている可能性が考えられる。このように、低圧プラズマによるシリコン表面の選択的な化学修飾がガス種を変えることにより可能であることを確認した。

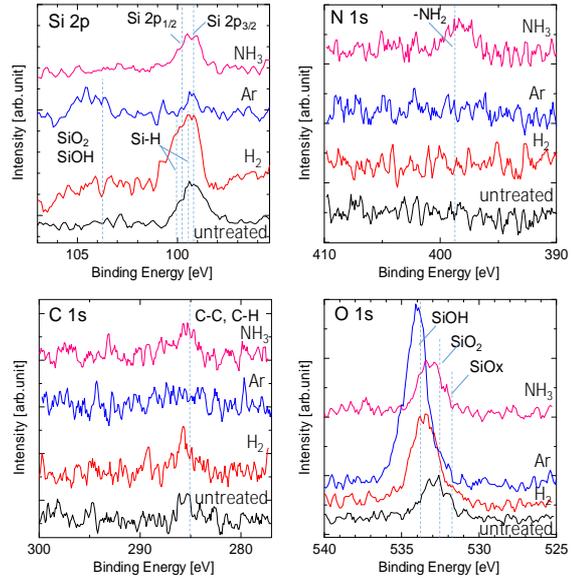


図 5 Si 基板表面の XPS スペクトル解析結果

(3) アルミ基板表面のプラズマ表面修飾による樹脂などの異種材料との接着技術:

本研究では、アルミニウム基板に水蒸気添加 He プラズマジェット処理を行い、基板表面に水酸基修飾を行うことにより炭素繊維強化熱可塑性樹脂 (CFRTP) との密着性を向上させることを目的として実験を行った。図 6 はプラズマ処理時間を 5 分間とし、流量 950sccm の He ガスに添加する He/水蒸気混合ガスの流量を変化させた際の結果を示しており、50sccm のとき最大の引っ張りせん断強度 40 MPa が得られた。この結果は、XPS 解析において流量変化を行った際の O 1s スペクトルの OH 成分が最大となる結果と対応している。このことから、密着性の向上には、アンカー効果とは別に水酸基表面修飾が非常に有効であると考えられる。

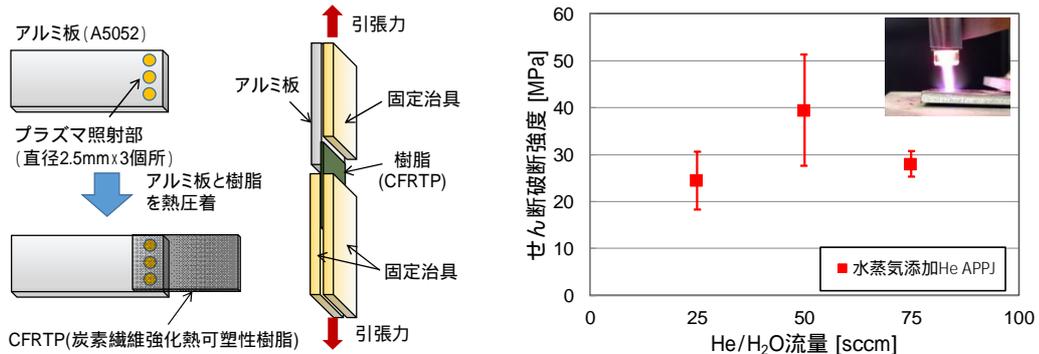


図 6 RF 大気圧プラズマジェット処理した Al 表面と CFRTP 材の接着および引張強度試験

(4) 表面プラズモン特性を有する官能基修飾金微粒子添加磁気ナノ微粒子のプラズマ合成技術:[,]

アミノ基修飾グラファイト被覆金ナノ微粒子を用いた液中銅イオンの高感度検出に関する研究成果を示す。本研究では、アミノ基修飾金ナノ微粒子の表面プラズモン共鳴を利用した比色検出法を用いることにより、高感度な銅イオン検出技術の開発を行った。図 7 に本手法による銅イオンの検出原理を示す。図 7 に示したようにアミノ基と銅イオンとのキレート反応によりアミノ基修飾金ナノ微粒子と銅イオンが結合し、沈殿することにより、溶液中の金ナノ微粒子の吸光度が減少する比色検出法を用いている。実験では、図 7 に示したようにステップ 1 においてエタノール溶液中に分散させたアミノ基修飾金ナノ微粒子の吸光スペクトルの波長 552 nm での吸光度 A_{blank} を基準値として求め、次に異なる濃度の銅イオン溶液を混ぜ合わせて沈殿後の吸光度 A_{552} を測定し、吸光度の減少分 $(A_{blank} - A_{552})$ を基準値 A_{blank} に対する比 $(A_{blank} - A_{552}) / A_{blank}$ として求めている。図 7 から銅イオン濃度が約 10 nM から 500 nM の範囲において、吸光度の変化が銅イオン濃度と線形な関係が得られており、これを検量線として用いることで極めて低濃度の銅イオンを高感度、かつ選択的に検出が可能である[-]。

本方法による銅イオン検出の選択性については、銅イオンと高濃度5000 nMの他金属イオン (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe²⁺, Co²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Hg²⁺等のイオン) が共存する液中においても、銅イオンに対する選択性が極めて優れていることを実験で確認している[-]。

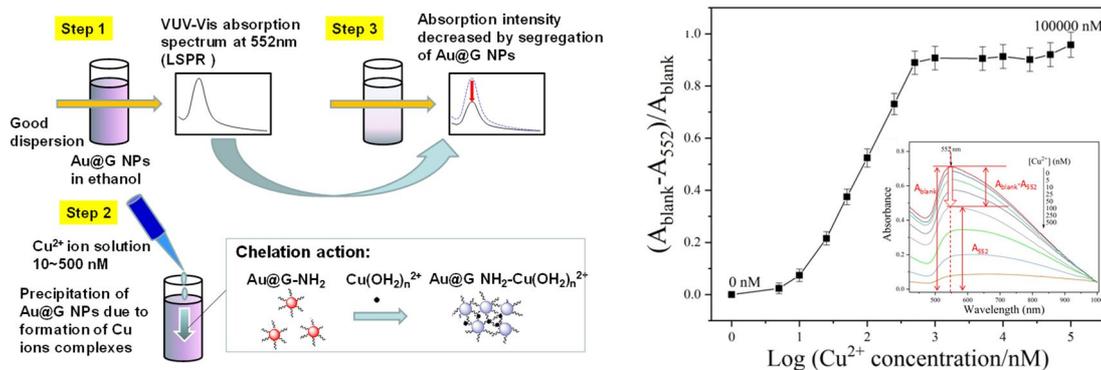


図7 アミノ基修飾金ナノ微粒子を用いた液中銅イオン検出の説明図[-]

最後に、本研究の研究項目として挙げた4つの研究課題について、上記の通り当初の研究計画通り、概ね順調に達成することができた。紙面の都合で割愛したが、表面プラズモン特性および触媒特性を有する多機能アミノ基修飾銅ナノ微粒子の合成に関する研究では、液中の低濃度の銅イオンを高感度で選択的に検出および有機廃液からの高効率有機物分解が可能であることを明らかにした。また、直流アーク放電により作製したアミノ基修飾磁気ナノ微粒子を用いたロタウイルスや大腸菌の高感度検出に関する研究では、低濃度ウイルス/大腸菌の高感度検出および捕集したウイルス/細菌の高効率増殖が可能であることを明らかにした[-]。さらに低圧表面波プラズマを用いた表面修飾に関しては、カーボンナノチューブ[]、蛍光材料として注目されるZnO薄膜[]、各種ポリマー材料[-]の表面修飾に関する研究を実施し、官能基修飾の物理的メカニズムを明らかにし、修飾効率を最大にするプラズマ放電条件を明らかにした。

以上のように、各種材料の高機能化・多機能化を実現する先進的プラズマプロセス技術に関する数々の有益な成果を得ており、本研究の成果は国内外でも高く評価されている学術論文や学会誌に発表を行った。

< 引用文献 >

- M. Nagatsu, M. Kimpara, R. Hu, T. Abuzairi, J. Photopolym. Sci. Technol., 30 (3) (2017) pp.307-312.
M. Nagatsu, M. Kimpara, T. Abuzairi, Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Cham, Vol. 519 (2017) pp 247-254.
永津 雅章, 金原 正寛, 塗装工学, Vol.53, No.6 (2018) pp.191-197.
永津 雅章, 自動車技術, Vol.72, No.6 (2018) pp.23-30.
永津 雅章(分担執筆), "高分子の表面処理・改質と接着性向上", (株) R&D支援センター, (2019) pp.63-72.
M. Nagatsu, K. Sugiyama, I. Motrescu, et al., J. Photopolym. Sci. Technol., 31 (2018) pp.379-384.
I. Motrescu, M. Ciolan, K. Sugiyama, N. Kawamura, M. Nagatsu, Plasma Sources Sci. Technol., 27 (2018) 115005 (7pp).
R. Hu, T. Furukawa, X. Wang, M. Nagatsu, Adv. Funct. Mater. 27 (2017) 1702232 (10pp).
R. Hu, T. Furukawa, Y. Gong, L. Chen, X. Wang, X. Tian, M. Nagatsu, Adv. Mater. Interfaces, 5 (2018) 180055 (13pp).
永津 雅章, 月刊マテリアルステージ, Vol.18, No.6 (2018) pp.66-70.
永津 雅章, ホソカワ粉体工学振興財団年報, No.25 (2017) pp.89-98.
R. Yamashiro, A. Sakudo, M. Nagatsu, Int. J. Nanomedicine, 14 (2019) pp.1865-1876.
永津 雅章(分担執筆), "カーボンナノチューブの表面処理・分散技術と複合化事例", (株)技術情報協会 (2019) pp.103-112.
M. A. Ciolan, I. Motrescu, K. Sugiura, D. Luca, M Nagatsu, Langmuir, 34 (2018) pp.11253-11263.
Z. Shao, A. Ogino, M. Nagatsu, Int. J. Mod. Phys. B 31 (16-19) (2017) 1744093 (5pp).
永津 雅章(分担執筆), "高分子の表面処理・改質と接着性向上", (株) R&D支援センター, (2019) pp.29-38.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Risa Yamashiro, Akikazu Sakudo, Masaaki Nagatsu	4. 巻 14
2. 論文標題 Efficient recovery and enrichment of infectious rotavirus using separation with antibody-integrated graphite-encapsulated magnetic nanobeads produced by argon/ammonia gas plasma technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Int. J. Nanomedicine	6. 最初と最後の頁 1865-1876
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） http://dx.doi.org/10.2147/IJN.S191784	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Motrescu Iuliana, Ciolan Mihai Alexandru, Sugiyama Kazuya, Kawamura Naohisa, Nagatsu Masaaki	4. 巻 27
2. 論文標題 Use of pre-ionization electrodes to produce large-volume, densely distributed filamentary dielectric barrier discharges for materials surface processing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 115005(7pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1088/1361-6595/aae8fd	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 該当する
1. 著者名 Ciolan Mihai Alexandru, Motrescu Iuliana, Sugiura Kuniaki, Luca Dumitru, Nagatsu Masaaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Tailoring the Surface Functionalities of Radio Frequency Magnetron-Sputtered ZnO Thin Films by Ar/NH ₃ Gas Mixture Surface-Wave Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 11253 ~ 11263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.langmuir.8b01183	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 該当する
1. 著者名 Nagatsu Masaaki, Sugiyama Kazuya, Motrescu Iuliana, Ciolan Mihai Alexandru, Ogino Akihisa, Kawamura Naohisa	4. 巻 31
2. 論文標題 Surface Modification of Fluorine Contained Resins using an Elongated Parallel Plate Electrode Type Dielectric Barrier Discharge Device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 379 ~ 383
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2494/photopolymer.31.379	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Hu Rui, Furukawa Taiki, Gong Yi, Chen Lin, Wang Xiangke, Tian Xingyou, Nagatsu Masaaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Tailoring of Cu@Graphitic Carbon Nanostructures Enables the Selective Detection of Copper Ions and Highly Efficient Catalysis of Organic Pollutants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Materials Interfaces	6. 最初と最後の頁 1800551 ~ 1800551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1002/admi.201800551	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 該当する

1. 著者名 永津 雅章	4. 巻 18
2. 論文標題 表面修飾金属ナノ粒子を用いた病原体および有害物質の高感度検出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊マテリアルステージ	6. 最初と最後の頁 66-70
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 永津 雅章、金原 正寛	4. 巻 53
2. 論文標題 大気圧プラズマによるフッ素樹脂材の表面修飾	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 塗装工学	6. 最初と最後の頁 191-197
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 NAGATSU Masaaki	4. 巻 25
2. 論文標題 Highly-sensitive Virus Detection Using Plasma Functionalized Magnetic Nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hosokawa Powder Technology Foundation ANNUAL REPORT	6. 最初と最後の頁 89 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14356/hptf.15114	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 永津 雅章	4. 巻 72
2. 論文標題 低温プラズマ技術の現状と将来展望	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 自動車技術	6. 最初と最後の頁 23-30
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 Hu Rui, Furukawa Taiki, Wang Xiangke, Nagatsu Masaaki	4. 巻 27
2. 論文標題 Tailoring Amino-Functionalized Graphitic Carbon-Encapsulated Gold Core/Shell Nanostructures for the Sensitive and Selective Detection of Copper Ions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1702232(10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/adfm.201702232	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 該当する

1. 著者名 Z. Shao, A. Ogino, and M. Nagatsu	4. 巻 B31
2. 論文標題 Construction and surface/interface behavior of bio-functional surface layer by microwave-excited Ar/H ₂ O plasma-induced polyethylene glycol polymerization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Int. J. Mod. Phys.	6. 最初と最後の頁 1744093(5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1142/S0217979217440933.	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 該当する

1. 著者名 Masaaki Nagatsu, Masahiro Kimpara, Rui Hu and Tomy Abuzairi	4. 巻 30
2. 論文標題 Surface Modification of Fluorine-containing Polymers by Atmospheric Pressure Plasma Jet with Negative Substrate Biasing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 307-312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.30.307	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 該当する

1. 著者名 Masaaki Nagatsu, Masahiro Kimpara, and Tomy Abuzairi	4. 巻 519
2. 論文標題 Fluorescence analysis of micro-scale surface modification using ultrafine capillary atmospheric pressure plasma jet for biochip fabrication	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Recent Global Research and Education: Technological Challenges	6. 最初と最後の頁 247-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-46490-9_34	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 該当する

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kazuya Sugiyama, Akihisa Ogino, Naohisa Kawamura, Masaaki Nagatsu
2. 発表標題 Development of Large-Area, Wide Gap Dielectric Barrier Discharges with Pre-Ionization Electrodes for Uniform Material Processing
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics(AAPPS-DPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iuliana Motrescu, Mihai Alexandru Ciolan, Masaaki Nagatsu
2. 発表標題 Large volume dielectric barrier discharge with pre-triggering system for non-thermal plasma applications
3. 学会等名 12th International Conference on Physics of Advanced Materials(ICPAM-12) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaaki Nagatsu, Kazuya Sugiyama, Iuliana Motrescu, Mihai Alexandru Ciolan, Akihisa Ogino, Naohisa Kawamura
2. 発表標題 Surface Modification of Fluorine Contained Resins Using an Elongated Parallel Plate Electrode Type Dielectric Barrier Discharge Device
3. 学会等名 35th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-35) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉山和也, 荻野明久, 永津雅章
2. 発表標題 予備電離方式を用いた大面積誘電体バリア放電照射フッ素樹脂の表面特性
3. 学会等名 第36回プラズマプロセッシング研究会/第31回プラズマ材料科学シンポジウム (SPP36/SPSM31)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 将, 森松 大亮, 下村 勝, 荻野 明久, 永津 雅章, 岩田 太
2. 発表標題 ナノピペットを有するプローブ顕微鏡を用いた大気圧プラズマジェットの局所照射による微細堆積加工法の開発
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉山 和也, 荻野 明久, 永津 雅章
2. 発表標題 長尺大面積平行平板電極型誘電体バリア放電を用いたフッ素樹脂の表面処理
3. 学会等名 , 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 作道 章一, 山城 梨沙, 永津 雅章
2. 発表標題 抗体集積化磁性ナノ粒子を用いたロタウイルス濃縮法の開発
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永津雅章
2. 発表標題 低圧から大気圧における各種プラズマ生成/材料表面処理技術
3. 学会等名 日本学術振興会プラズマ材料科学第153委員会 第9回プラズマ材料科学基礎講座(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永津雅章
2. 発表標題 プラズマによる表面処理技術の基礎と応用
3. 学会等名 R & D支援センター(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nagatsu, R. Hu, T. Furukawa, and X. K. Wang
2. 発表標題 Tailoring surface-functionalized graphite-encapsulated metal nanoparticles by plasma processing for biomedical and environmental applications
3. 学会等名 ISPlasma2018/IC-PLANTS2018(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaaki Nagatsu, Rui Hu, Anchu Viswan, Taiki Furukawa, and Xiangke Wang
2. 発表標題 Multi-functionalized Graphite-encapsulated Nanoparticles Prepared by Plasma Technology for Bio-medical and Environmental Applications
3. 学会等名 The 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-10), (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaaki Nagatsu, Masahiro Kimpara and Tomy Abuzairi
2. 発表標題 Surface Functionalization of Fluorocarbon Polymers by Atmospheric Pressure Plasma Jet with Ion Bombardment Effect ”
3. 学会等名 15th International Conference on Quality in Research (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taiki Furukawa, Rui Hu, and Masaaki Nagatsu
2. 発表標題 Surface Plasmon Resonance Property of Surface-aminated Graphite-encapsulated Gold Nanoparticles Fabricated by DC Arc Discharge Method
3. 学会等名 International Union of Materials Research Societies-The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaaki Nagatsu, Rui Hu, Taiki Furukawa, Takuya Omura, Anchu Viswan, and Xiangke Wang
2. 発表標題 Fabrication of Surface Functionalized Nano-structured Materials Using One-step DC Arc Discharge for Environmental and Biomedical Application
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanoscience and Technology (ChinaNANO 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Nagatsu, and M. Kimpara
2. 発表標題 Surface Functionalization of Fluoropolymers with Amino and Carboxyl Groups by Atmospheric Pressure Plasma Jets with Substrate Biasing
3. 学会等名 The XXXIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaaki Nagatsu, Masahiro Kimpara, Tomy Abuzairi
2. 発表標題 Surface Modification of Fluorine-containing Polymers by Atmospheric Pressure Plasma Jet with Negative Substrate Biasing
3. 学会等名 34th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mihai Alexandru Ciolan, Iuliana Motrescu, Masaaki Nagatsu
2. 発表標題 Tailoring Surface Crystallinity and Functionality of Radio Frequency Magnetron Sputtered ZnO Thin Films by Ar/NH3 Gas Mixture Surface-Wave Plasmas
3. 学会等名 プラズマコンファレンス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金原 正寛, 永津 雅章
2. 発表標題 基板バイアスを用いた大気圧プラズマジェットによるフッ素樹脂材料表面の官能基修飾とその定量的解析
3. 学会等名 プラズマコンファレンス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永津 雅章
2. 発表標題 低圧および大気圧プラズマを用いた各種材料の表面修飾とその応用
3. 学会等名 第29回先端プラズマ技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金原 正寛, 永津 雅章
2. 発表標題 He/NH3混合ガス大気圧プラズマジェットを用いたフッ素樹脂表面のアミノ基修飾における基板バイアスの効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永津雅章
2. 発表標題 プラズマによる表面処理技術の基礎と応用
3. 学会等名 R & D支援センター (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 乗松航、中村雅一、中川清晴、松尾豊、三重野哲、清水博、鈴木信三、牧英之、丸山隆浩、永津雅章、太田和親、物部浩達、白須圭一、下位法弘、井上翼、前橋兼三、前田優、大矢嗣剛、英徳丈、野田達夫、他 36名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 456
3. 書名 カーボンナノチューブの表面処理・分散技術と複合化事例 (第3章・第3節「低圧プラズマによるカーボンナノチューブの表面修飾と分散性向上」)	

1. 著者名 小川俊夫、田村豊、永津雅章、沖野晃俊、末永祐磨、守屋翔平、高松利寛、神藤高広、宮本栄司、菊池清、奥村康之、高山裕紀、山田保治、佐藤正秀、山辺秀敏、小山雄司、畠山晶、坪川紀夫、廣垣和正、奥村治樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株) R&D支援センター	5. 総ページ数 243
3. 書名 高分子の表面処理・改質と接着性向上 (第2章・第1節「低圧力プラズマによる高分子材料の表面修飾」)	

1. 著者名 小川俊夫、田村豊、永津雅章、沖野晃俊、末永祐磨、守屋翔平、高松利寛、神藤高広、宮本栄司、菊池清、奥村康之、高山裕紀、山田保治、佐藤正秀、山辺秀敏、小山雄司、畠山晶、坪川紀夫、廣垣和正、奥村治樹	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株) R&D支援センター	5. 総ページ数 243
3. 書名 高分子の表面処理・改質と接着性向上(第2章・第4節「大気圧プラズマジェットを用いたフッ素樹脂の表面化学修飾」)	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 プラズマ生成装置	発明者 永津雅章、河村尚寿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-087983	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 プラズマ生成装置	発明者 永津雅章、河村尚寿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-174743	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 プラズマ生成装置	発明者 永津雅章、河村尚寿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-109981	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 プラズマ生成装置	発明者 永津雅章、河村尚寿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-214436	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

永津研究室 http://nagatsu-lab.eng.shizuoka.ac.jp/japan/lab/
--

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
研究 分 担 者	荻野 明久 (OGINO Akihisa) (90377721)	静岡大学・工学部・准教授 (13801)	