

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26390094

研究課題名(和文) マイクロ波励起マイクロプラズマ散逸ソリトンの高密度化とその応用

研究課題名(英文) High density micro plasma dissipative solitons generated by microwave and the applications

研究代表者

向川 政治 (MUKAIGAWA, Seiji)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：60333754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイクロ波励起によって空間対称性を有し局在性の高い自己組織構造である散逸ソリトンを生成し、プラズマフォトリック結晶の実現に向けて持続時間の向上と、フィラメント密度の増大化について研究を行い、以下の成果を得た。1. 駆動周波数の増加に伴い、自己組織化構造の維持時間とフィラメントの密度は増加する。2. フィラメントの空間配置が六角構造の場合、電子密度 $6.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以上、または圧力200 Pa以下において電磁波禁制帯が形成される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have generated dissipative solitons which are highly localized self-organized structure having spacial symmetry, improved the duration of the self-organized discharge and the density of filaments. We have obtained following results.1. When the operating frequency increases the duration and density of the self-organized discharge increases.2. In the case of the hexagon structure of filament configuration, the forbidden band of electromagnetic wave is formed in more than $6.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ in electron density, or less than 200 Pa in pressure.

研究分野：プラズマ工学

キーワード：マイクロプラズマ 自己組織化 散逸ソリトン プラズマフォトリック結晶 マイクロ波

1. 研究開始当初の背景

マイクロプラズマの性質を独創的に応用したプラズマフォトニック結晶デバイスが京都大の研究グループから提案されて以来、プラズマフォトニック結晶をマイクロプラズマで実現することは放電プラズマ研究者にとってチャレンジングなテーマとなっている。マイクロギャップ誘電体バリア放電の形態には、空間的対称性の高い自己組織構造が存在するので、これをプラズマフォトニック結晶とみなすことが考えられる。大気圧放電の自己組織化の研究については、実験・理論の両面からの体系的な研究として、ドイツの H.-G. Purwin らのグループが精力的に行っている。平行平板型の短ギャップ放電はチューリングモデル(反応拡散方程式)として記述され、また、均一構造から自己組織構造が発現するとき、例えば、グロー放電からフィラメントの二次元的配列(六角構造)やストライプ構造へ転移するときは、チューリング型の不安定性が物理的なメカニズムとして背後にあることが知られている。特に、局在性の高いフィラメント(スポット)の自己組織構造は、散逸ソリトンと呼ばれており、チューリング型の不安定性によって発生することが知られている。

マイクロギャップ誘電体バリア放電における自己組織パターンについては、本研究の代表者は、先行研究において、自己組織構造の発現条件を詳細に調査して相図を作成した。ストライプ形状の放電などの一見スポットを成していない構造であってもフィラメントが高速運動していることや、チューリング構造の固有波数 k を大きくする手立てがわかっていた(若手研究 B)。フィラメントの安定生成については、その維持時間を長くするために複数の放電装置を並列化しデジタル制御することで正味の維持時間の増大化に成功した。また、誘電体表面に酸化マグネシウム層を導入することで印加電圧 1 周期あたりの放電回数を増加し放電維持時間を延ばすことに成功した(基盤研究 C, H23-25)。

プラズマの自己組織構造がプラズマフォトニック結晶として機能するためには、誘電率の異なる領域が明白に分かれていなければならない。例えば、格子定数(フィラメントの間隔)が数 mm のプラズマフォトニック結晶では、制御対象となる電磁波の周波数は数 10GHz ~ 100GHz、必要とされるプラズマ密度は 10^{13} 個/cm³ と概算されていたが、我々の先行研究で得られたプラズマ密度は高々 10^{11} 個/cm³ であり、事実上禁制帯の発現を評価できるようなレベルに達していなかった。また、我々の実験環境において、電磁波禁制帯の現れる条件を具体的に評価できておらず、単なるパラメータサーベイによる探査が行われていた。また、現実的な実験環境において現れる複雑な放電様相に関する知見に乏しく、特に、気流や電圧の変化に対する放電様相の不安定性の問題は、結晶状

放電様相を生成する上で障害であったが、その機構は不明であった。

2. 研究の目的

本研究では、マイクロギャップ放電をマイクロ波によって励起し、これを用いて空間対称性を有し局在性の高い自己組織構造である散逸ソリトンを生成し、この持続時間を長くすることやプラズマ密度を高めることを目的としている。また、この自己組織構造をプラズマフォトニック結晶とみなし、プラズマ屈折率の周期構造をマイクロプラズマの自己組織化で実現し、電磁波制御の効果を検証することが目的である。本研究期間内では、散逸ソリトンの生成を高周波領域で行うなどにより高密度化を図ること、散逸ソリトンによる放電周期構造の高密度化に資するため具体的な実験環境における状態遷移のダイナミクスをとらえること、電磁波禁制帯の発生に適した条件を実験・理論の両面から特定することを目標とした。

3. 研究の方法

上記の目標のため、(1) 並列化マイクロギャップ放電の並列数の増加および高周波数駆動、(2) 放電の六角構造パターンが気流から受ける影響とこれに関する計算機シミュレーション、(3) 温度制御環境下のマイクロギャップ DBD の高周波数駆動、(4) 分子量の大きい気体分子の導入による放電の空間構造パターンの変化の把握、(5) 並列化マイクロギャップ放電の自己組織構造の差異の評価とこれによる電磁波禁制帯の生成条件の検討、(6) 電圧および圧力変化時における放電の六角構造パターンの履歴現象に関する計算機シミュレーションを行った。また、先行研究からの継続課題として(7) 気流がある場合の BSO 結晶による誘電体表面電荷測定、および、BSO 結晶による表面電荷測定法において結晶の物性値が表面電荷の測定値に及ぼす影響についての調査を行った。

4. 研究成果

(1) 並列化マイクロギャップ放電の並列数の増加および高周波数駆動については、放電セルを 3 つに増加させ、散逸ソリトン構造の変化を調査した。セル数を 1 ~ 3 に増やしたときの自己組織構造の維持時間はそれぞれ、印加電圧 1 周期に対し 6%、12%、22% となり、セル並列化によって自己組織構造の正味の維持時間は増加した。また、3 セル並列時においても駆動周波数の変化による空間構造の大きな変化はなく、電子密度は駆動周波数が高いほど大きくなる。

(発表(5)(21)(24)(36)(39))

(2) 放電の六角構造パターンが気流から受ける影響については、導入ガスの流れに従って

フィラメント(スポット)が運動することを期待したが、本実験条件の範囲内ではフィラメントの運動モードは観測されなかった。また、導入ガスの速度の増加に伴って、フィラメントの直径は増加したが、格子定数には大きな変化はなかった。反応拡散方程式に基づく計算機シミュレーションにおいて、電子の移流速度をガス流の方向に与えたときのフィラメント直径は、電子の移流速度の増加にともなって大きくなり、実験で現れる傾向は計算で再現することができた。また、BSO誘電体基板を用いた実験を通じてフィラメントの生成・消滅に伴う放電電流の不連続な振る舞いが観測され、フィラメントの粒子的性質(散逸ソリトン構造)の情報を得た。

(発表(8)(9)(13)(17)(33)(42))

(3) 温度制御環境下のマイクロギャップDBDの高周波駆動については、バリアの加熱冷却により生じる放電の空間構造を観測した。観測のためギャップ長を1mmと大きめに取り、特に明暗二層構造におけるモード遷移を観測した。誘電体温度と明・暗領域面積の比に相関があること、両領域における放電電流密度は温度によらず一定値を示すことが明らかとなり、この遷移は高周波放電の α - γ 遷移によるものと考えられる。

(発表(10)(22)(31))

(4) 分子量の大きい気体分子の導入による放電の空間構造パターンの変化については、ヘリウムより分子量の大きい気体分子を混合することで横方向拡散を連続的に変化させ、自己組織構造の空間スケールや放電様相の遷移を調べた。高流速時に現れるストライプ構造の線幅と間隔は、分子量の大きい気体分子の増加により微細化することを明らかにした。

(発表(15)(18)(19)(20)(29)(38))

(5) マイクロ波を放電の自己組織構造へ導入したときの電磁波透過特性を得るため、ネットワークアナライザによりSパラメータを測定した。現時点では、放電の自己組織構造の有無によるSパラメータの変化は観測できていない。これは実際には放電生成用電極による電磁波のシールドによるものが原因と考えられるが、放電領域への電磁波導入方法のさらなる検討が必要である。

電磁波禁制帯の発現に関しては、並列化マイクロギャップ放電の自己組織構造の差異の評価を通じて、バンド構造の把握を行った。構造解析には周回解析の方法等を用い、散逸ソリトン配置では多結晶構造状フィラメント配置の存在を実験的に示し、各リアクタの結晶構造の差異を識別した。自己組織構造による電磁波禁制帯の生成条件の検討においては、放電セルで生成した自己組織構造による電磁波バンド構造を平面波展開法で計算し、電子密度の増加または圧力の減少によっ

て禁制帯幅が拡大し、電子密度 $6.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以上、または圧力 200 Pa 以下での電磁波禁制帯の形成を証明した。また、電磁波禁制帯をSパラメータ測定により得る方法として、放電の有無における周波数スペクトルの差を理論的に計算した。上記の電子密度や圧力の条件において周波数スペクトルから禁制帯幅は検出可能なレベルで測定できることが示唆された。

(発表(2)(5)(6)(24)(30)(42))

(6) 放電の六角構造パターンの履歴現象に関する計算機シミュレーションでは、自己組織構造が印加電圧および気圧の増減による状態の不可逆性を調査した。わずかな電圧や気圧の変化に対し変化前の状態を初期値として定常状態を求め、これを有限の電圧・圧力変化に対して繰り返し行った。この結果、放電の空間パターンの変化には電圧や気圧の増減による履歴があることがわかった。また、この履歴現象では、均一構造-ストライプ構造間の相転移では敷居値が異なり、履歴現象は相転移近傍に限定的であることを明らかにした。

(発表(8)(16)(28)(36))

(7) 気流がある場合のBSO結晶による誘電体表面電荷測定では、今年度は基礎特性の把握のため均一グロー放電の場合を調査した。表面電荷密度はガスの流速の増加にともなって増加する傾向がある。また、この表面電荷測定に用いられるBSO結晶の比誘電率を電磁気計測の手法で測定し、この手法で得られた値が光学的測定値と整合することを示した。

(発表(1)(13)(16)(42))

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 2 件)

- (1) Seiji Mukaigawa, Kazunobu Fujiwara, Tomohiko Sato, Ryo Odagiri, Tomohiro Kudoh, Atsuya Yokota, Kyohei Oguni, Koichi Takaki, Effect of barrier capacitance on self-organized structure in dielectric-barrier discharge microplasma, Japanese Journal of Applied Physics: 55, 査読有, 2016, 07LB04.
- (2) Takaharu Kamada, Yoshitake Sohma, Masayuki Watanabe, Seiji Mukaigawa, Fabrication of diamond-like carbon films using pseudo-spark discharge plasma-enhanced chemical vapor deposition method, Japanese Journal of Applied Physics, 53, 査読有, 2014, 068006.

[学会発表] (計 43 件)

- (1) Riki Yoha, Keita Kikuchi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Surface Charge Measurement on Dielectric Barrier Discharge Using Bismuth Silicon Oxide and Dielectric Constant of Bismuth Silicon Oxide, 第 34 回プラズマプロセス研究会 / 第 29 回プラズマ材料科学シンポジウム, 2017.1.16-18, 北海道大学 学術交流会館 (北海道)
- (2) Seiji Mukaigawa, Takaharu Kamada, Takuya Kameyama, Atsuya Yokota, Kyohei Oguni, Koichi Takaki, Self-organization in Sub-atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge and Control of Lattice Spacing, 第 34 回プラズマプロセス研究会 / 第 29 回プラズマ材料科学シンポジウム, 2017.1.16-18, 北海道大学 学術交流会館 (北海道)
- (3) Shinnosuke Konno, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Generation of High-density Plasma by High Voltage Burst Pulse, 第 34 回プラズマプロセス研究会 / 第 29 回プラズマ材料科学シンポジウム, 2017.1.16-18, 北海道大学 学術交流会館 (北海道)
- (4) Hironori Dendo, Katsuyuki Takahashi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Influence of pulse width on DLC films deposited by HiPIMS, 第 34 回プラズマプロセス研究会 / 第 29 回プラズマ材料科学シンポジウム, 2017.1.16-18, 北海道大学 学術交流会館 (北海道)
- (5) 沖 秀典, 向川 政治, 高木 浩一, 自己組織化誘電体バリア放電の構造解析とフォトリソバンド構造, 第 31 回光源物性とその応用研究会 (応用物理学会, 照明学会), 2016.12.16, 北とぴあ (東京都)
- (6) 宮下 琢也, 沖秀典, 向川政治, 高木浩一, 疑似一次元プラズマフォトリソ結晶の生成とバンド構造, 応用物理学会東北支部第 71 回学術講演会, 2016.12.1-2, 東北大学 大学院工研究科 青葉記念会館 (宮城県)
- (7) 東 啓介, 山田 健太, 向川 政治, 高木 浩一, 高周波大気圧アルゴン μ DBD の安定生成, 応用物理学会東北支部 第 71 回学術講演会, 2016.12.1-2, 東北大学 大学院工研究科 青葉記念会館 (宮城県)
- (8) 横田敦也, 小國恭平, 向川政治, 高木浩一, 誘電体バリア放電における自己組織構造の履歴現象, 応用物理学会東北支部 第 71 回学術講演会, 2016.12.1-2, 東北大学 大学院工研究科 青葉記念会館 (宮城県)
- (9) 小國恭平, 横田敦也, 向川政治, 高木浩一, 自己組織化誘電体バリア放電における流速による格子定数制御, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, 2016.5.26-28, 岩手大学工学部復興祈念銀河ホール(5/26-27)テクノホール(5/28) (岩手県)
- (10) 渥美風紀, 荒谷 琢, 向川政治, 高木浩一, 温度制御下における高周波大気圧マイクロギャップ放電の生成, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, 2016.5.26-28, 岩手大学工学部復興祈念銀河ホール(5/26-27)テクノホール(5/28) (岩手県)
- (11) 鎌田貴晴, 渡部政行, 向川政治, 擬火花放電プラズマ CVD 法による DLC 膜の特性評価, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, 2016.5.26-28, 岩手大学工学部復興祈念銀河ホール(5/26-27)テクノホール(5/28) (岩手県)
- (12) 高木浩一, 田頭博倫, 小西 匠, 高橋克幸, 向川政治, 行村 建, 短パルス HiPIMS による金属イオン生成, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, 2016.5.26-28, 岩手大学工学部復興祈念銀河ホール(5/26-27)テクノホール(5/28) (岩手県)
- (13) Naoki Fujita, Riki Yoha, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Discharge Mode Transition due to Gas Flow Rate in Microgap Atmospheric Barrier Discharge using Bismuth Silicon Oxide Dielectrics, Joint Symposium of the 9th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-9) and the 28th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-28), 2015.12.12, Nagasaki Univ. (長崎県)
- (14) Takashi Shibata, Takumi Araya, Keisuke Azuma, Hiroki Kikuchi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Large-area Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure, Joint Symposium of the 9th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-9) and the 28th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-28), 2015.12.12, Nagasaki Univ. (長崎県)
- (15) Md.Anwarul Islam, Kosuke Jumonji, Shizuka Tada, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Self-Organized Micro-Gap Dielectric Barrier Discharges Using Sapphire Dielectrics, Joint Symposium of the 9th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-9) and the 28th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM-28), 2015.12.12, Nagasaki Univ. (長崎県)
- (16) 與羽利貴, 藤田直樹, 向川政治, 高木浩一, 誘電体バリア放電における BSO 結晶を用いた表面電荷測定と BSO 結晶の比誘電率, 応用物理学会東北支部第 70 回学術講演会, 2015.12.3, 南田温泉ホテルアップルランド (青森県)
- (17) 工藤智広, 横田敦也, 向川政治, 高木浩一, DBD 型マイクロプラズマにおける誘電体厚の効果の数値シミュレーション, 応用物理学会東北支部第 70 回学術講演会, 2015.12.3, 南田温泉ホテルアップルランド

- (青森県)
- (18) 重文字 洸介, モハマド アヌワル イスラム, 向川政治, 高木浩一、He/Ar, He/N₂ 混合ガスを用いたマイクロギャップ誘電体バリア 放電プラズマの自己組織構造, 応用物理学学会東北支部第 70 回学術講演会, 2015.12.3., 南田温泉ホテルアップルランド (青森県)
- (19) Seiji Mukaigawa, Takuya Kameyama, Tomohiro Kudoh, Atsuya Yokota, Kosuke Jumonji, Koichi Takaki, Self-organization in dielectric barrier discharge and control of hexagonal structures, 68th Gaseous Electronics Conference, 9th International Conference on Reactive Plasmas, 33rd Symposium on Plasma Processing (GEC-68/ICRP-9/SPP-33), 2015.10.16., Hawaii Convention Center (アメリカ合衆国)
- (20) Md.Anwarul Islam, Shizuka Tada, Kosuke Jumonji, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Generation of self-organized micro-gap discharge using sapphire dielectrics, 68th Gaseous Electronics Conference, 9th International Conference on Reactive Plasmas, 33rd Symposium on Plasma Processing (GEC-68/ICRP-9/SPP-33), 2015.10.16., Hawaii Convention Center (アメリカ合衆国)
- (21) Junichi Sugawara, Yuki Kubota, Hidenori Oki, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Timing Control of Self-organized Dielectric Barrier Discharge and Influence of Discharge Driving Frequency, 68th Gaseous Electronics Conference, 9th International Conference on Reactive Plasmas, 33rd Symposium on Plasma Processing (GEC-68/ICRP-9/SPP-33), 2015.10.14., Hawaii Convention Center (アメリカ合衆国)
- (22) Takumi Araya, Takashi Shibata, Hiroki Kikuchi, Seiji Mukaigawa, Koichi Takaki, Generation of atmospheric micro gap radio-frequency discharge plasma under controlled temperature conditions, 68th Gaseous Electronics Conference, 9th International Conference on Reactive Plasmas, 33rd Symposium on Plasma Processing (GEC-68/ICRP-9/SPP-33), 2015.10.14., Hawaii Convention Center (アメリカ合衆国)
- (23) 柴田崇史, 荒谷 琢, 東 啓介, 向川政治, 高木浩一、高分子材料表面処理用高周波大気圧 DBD リアクタの大型化, 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2015.8.28., 岩手県立大学 (岩手県)
- (24) 沖 秀典, 菅原純一, 向川政治, 高木浩一、並列型マイクロギャップ DBD の自己組織化と放電様相の構造解析, 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2015.8.28., 岩手県立大学 (岩手県)
- (25) 東 啓介, 柴田崇史, 荒谷 琢, 向川政治, 高木浩一、高周波大気圧アルゴン μ DBD の生成と高分子材料表面処理, 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2015.8.28., 岩手県立大学 (岩手県)
- (26) 野崎隼斗, 赤沢 拓, 向川政治, 高木浩一、大気圧プラズマジェットから LiNbO₃ 結晶基板への熱流束測定, 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2015.8.28., 岩手県立大学 (岩手県)
- (27) 赤沢 拓, 野崎隼斗, 向川政治, 高木浩一、熱電対型熱流束計を用いた大気圧プラズマから基板への熱流束測定, 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2015.8.28., 岩手県立大学 (岩手県)
- (28) 横田敦也, 工藤智広, 亀山拓也, 向川政治, 高木浩一、自己組織化誘電体バリア放電における履歴現象の数値計算, 電気学会プラズマ研究会, 2015.8.12., 広島大学 (広島県)
- (29) イスラム モハマド アヌワル, 重文字 洸介, 多田静香, 向川政治, 高木浩一、Generation of self-organized micro-gap discharge using sapphire dielectrics, 平成27年電気学会全国大会, 2015.3.26., 東京都市大学 (東京都)
- (30) 亀山拓也, 藤原一延, 向川政治, 高木浩一、マイクロギャップ誘電体バリア放電における自己組織現象とバリア容量と圧力の変化に伴う放電様相の変化, 第29回光源物性とその応用研究会 (応用物理学学会、照明学会) 2014.12.15., 北とぴあ (東京都)
- (31) 荒谷 琢, 高橋祥大, 柴田崇史, 向川政治, 高木浩一、温度制御下における RF バリア放電プラズマの生成, 第 69 回応用物理学学会東北支部学術講演会, 2014.12.5., 東北大学 (宮城県)
- (32) 柴田崇史, 高橋祥大, 荒谷琢, 向川政治, 高木浩一、高分子材料表面処理のための DBD 型高周波大気圧グロー放電の大口径化, 第69回応用物理学学会東北支部学術講演会, 2014.12.5., 東北大学 (宮城県)
- (33) 工藤智広, 藤原一延, 向川政治, 高木浩一、DBDマイクロプラズマの自己組織構造におけるガス圧力と電子移流の効果, プラズマカンファレンス, 2014.11.21., 朱鷺メッセ (新潟県)
- (34) 高橋祥大, 荒谷琢, 柴田崇史, 向川政治, 高木浩一、He/O₂大気圧RFプラズマによる高分子材料表面の親水化処理, プラズマカンファレンス, 2014.11.21., 朱鷺メッセ (新潟県)
- (35) 菅原純一, 久保田悠揮, 向川政治, 高木浩一、自己組織化誘電体バリア放電の放電タイミング制御と放電駆動周波数の影響, プラズマカンファレンス, 2014.11.21., 朱鷺メッセ (新潟県)
- (36) 菅原純一, 久保田悠揮, 向川政治, 高木浩一、自己組織化誘電体バリア放電の放電タイミング制御と放電駆動周波数の影響, プラズマカンファレンス, 2014.11.21., 朱鷺メッセ (新潟県)
- (37) 向川政治, 工藤智広, 藤原一延, 亀山拓也, 高木浩一、誘電体バリア放電における

- 自己組織化と六角構造の制御, 電気学会プラズマ・パルスパワー合同研究会、2014.10.25., コンパルホール(大分県)
- (38) 多田静香, 向川政治, 重文字洗介, 高木浩一、マイクロギャップバリア放電の自己組織構造におけるサファイア誘電体層の効果, 電気学会パルスパワー研究会、2014.5.16., 岩手大学(岩手県)
- (39) 菅原純一, 久保田悠揮, 向川政治, 高木浩一、自己組織化誘電体バリア放電の並列化と放電タイミングの制御, 電気学会パルスパワー研究会、2014.5.16., 岩手大学(岩手県)
- (40) 大上智紀, アヌワルイスラム, 角田祥, 向川政治, 高木浩一、LiNbO₃ を用いた模擬雷電流周辺の電界計測と電流プロファイルの推定, 電気学会パルスパワー研究会、2014.5.16., 岩手大学(岩手県)
- (41) 高橋祥大, 金谷淳史, 山下寛人, 荒谷琢, 向川政治, 高木浩一、He/O₂ 混合ガスを用いた大気圧 RF プラズマによる高分子材料表面の親水性向上, 電気学会プラズマ研究会、2014.5.9., 足利工業大学(栃木県)
- (42) 藤田直樹, 高橋諒太, 工藤智広, 向川政治, 高木浩一、大気圧マイクロギャップバリア放電におけるBSO誘電体と気流の効果, 電気学会プラズマ研究会、2014.5.10., 足利工業大学(栃木県)
- (43) 亀山拓也, 藤原一延, 向川政治, 高木浩一、マイクロギャップ誘電体バリア放電の自己組織構造における誘電体容量と圧力の影響, 電気学会プラズマ研究会、2014.5.10., 足利工業大学(栃木県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向川 政治 (MUKAIGAWA SEIJI)

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：60333754