

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00142

研究課題名（和文）プラズマ中光捕捉微粒子を用いたシース電場の時空間構造揺らぎ形成機構の解明

研究課題名（英文）Mechanism elucidation of spatio-temporal structure formation of sheath fluctuation using optically trapped fine particles in plasmas

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） 34,700,000円

研究成果の概要（和文）：集積回路構造の更なる超高層化及び複雑化が進む中、高アスペクト比構造などにおけるプラズマエッチング及び成膜技術への要求レベルが高まっている。課題解決のために、プラズマプロセス中のマイクロ・ナノメートルオーダーの微小空間での電場空間分布の解明とその揺動成分の制御が重要なファクターの一つとなっている。本研究では、光ピンセット法により捕捉されたプラズマ中の微粒子をプローブとして、マイクロメートルオーダーの高い空間分解能を持つ電場強度及びその揺動成分の計測方法の開発、計測精度向上のための微粒子の帯電量の新規実験的導出法の開発及び高アスペクト比構造を用いた入射イオンの振る舞いについて研究解明を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって開発及び精度向上された光ピンセットによる微粒子にかかる力計測を応用したプラズマの高精度電場計測法は、シース電場の時空間構造及び電場揺動を明らかにすることができることは学術的意義があり、また、半導体製造前工程におけるプラズマエッチングや成膜過程における膜質の微小な不均一性や加工揺らぎとそれらのプラズマ電場の微小な構造の揺らぎとの関係を解明することで、より高精度なプラズマプロセスを実現できることから社会的意義も大きくある。

研究成果の概要（英文）：As integration circuit structures continue to advance in further stacking and complexity, the demand for plasma etching and deposition technologies in high aspect ratio structures has increased. To address these challenges, understanding the spatial distribution of electric fields at the micro- and nanometer scales during plasma processes and controlling their fluctuation components have become important factors. In this study, we conducted research on the following topics: (1) Development of a method for measuring electric field intensity with high spatial resolution in the micrometer range using particles trapped by optical tweezers as probes, (2) Development of a novel experimental derivation method for the charge of particles to improve measurement accuracy, and (3) Elucidation of the behavior of incident ions using high-aspect-ratio structures.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：光ピンセット法 超高感度プラズマ電場計測 プラズマシース 微粒子 帯電量

## 1. 研究開始当初の背景

情報社会の発展のために膨大なデータを高速に蓄積・処理することが強く求められている。この要求に応える半導体集積回路の微細化は限界に直面しており、3次元積層による高層化が急速に進展している。例えば、最先端の3次元フラッシュメモリでは96層ものトランジスタが積層されている。この製造工程においてプラズマエッチングにより、例えば、2006年の段階で、直径100nm・深さ4.5マイクロメートル・アスペクト比45の穴を垂直に1.7兆個も同時にあけている。しかしながらプラズマエッチング形状揺らぎがしばしば発生し、超高層化の大きな障害となっている。

プラズマと基板の間にはシースと呼ばれる緩衝領域が存在し、プラズマからの電子の流出損失を抑えるシース電場が形成される。プラズマエッチングの特長は、化学的に活性なラジカルによる化学過程とイオンによる物理過程のシナジー効果にあり、プラズマから基板へのイオン輸送はシース電場に支配されている。

前述のエッチング形状揺らぎは、シースを通過して基板に入射するイオンの速度ベクトルの時空間揺らぎが主要因である。今後要求されている超高アスペクト比微細穴の作製においては、イオンの速度ベクトルの僅かな時間的・空間的揺らぎが加工形状を決定している。つまり、イオンの速度ベクトルを支配するシース電場の時空間構造揺らぎとそれによるエッチング形状揺らぎの形成機構の解明、さらにはこれらの揺らぎの抑制が学術的な重要課題となっている。

そこで本研究では、光ピンセット法により捕捉されたプラズマ中の微粒子をプローブとして、マイクロメートルオーダーの高い空間分解能を持つ電場強度及びその揺動成分の計測方法の開発及びシース電場構造の時空間揺らぎについて検討する。

光ピンセットと呼ばれる技術は、A. Ashkin 氏らが2018年ノーベル物理学を受賞したものである。対向レーザーを用いて誘電体微粒子を光捕捉でき、その微小物体を低侵襲で保持・操作でき、さらに  $pN(\times 10^{-12}N)$  単位での力の計測が可能であることから、広範囲な分野で応用されている。そこで私たちの研究グループでは、この技術を用いて、プラズマ中の高精度電場計測に応用することを検討した。

## 2. 研究の目的

プラズマプロセスで形成するナノ構造揺らぎの抑制が、3次元集積回路の超高層化における最重要課題である。本研究では、超高層3次元集積回路の実現に最も重要なエッチング形状揺らぎとプラズマ揺らぎの関係に焦点を当てる。高アスペクト比エッチングでは、基板に入射するイオンは基板表面に垂直に500eV程度、水平に0.1eV程度の異方性運動エネルギーを有する。0.1eVの水平成分揺らぎが、イオンの指向性揺らぎをもたらすことが問題である。このイオンの指向性揺らぎをもたらすシース電場の時空間構造揺らぎの発生原因を明らかにする。イオンの運動エネルギーの水平成分は0.1eV程度であり、これに関係する微弱な電場揺らぎは従来の電場計測法では検知できない。本研究では、光捕捉微粒子を用いた超高感電場計測法を用いて、シース電場構造の時空間揺らぎの形成機構を解明する。

## 3. 研究の方法

本研究における研究方法と解明する項目を以下に記載する。

- (1) 光捕捉微粒子を用いた低侵襲・超高感度電場計測法の確立とその精度向上
  - (2) 高アスペクト比構造を用いた入射イオンの振る舞い解析
- さらに、当初の研究計画にはなかった
- (3) 微粒子の帯電量の新規実験的導出法の開発

## 4. 研究成果

- (1) 光捕捉微粒子を用いた低侵襲・超高感度電場計測法の確立とその精度向上

3次元計測用プラズマ装置の製作を行うとともに、電場計測の定量評価に最も重要である、電場較正を行い、光線光学モデルによる力の計算結果とのずれは約3%であり高い精度でレーザー光による力が計算できることが確認できた。次にレーザーパワーをパラメータとして光捕捉微粒子を電極に対して水平方向に  $100\mu m$  ごとに移動したところ、微粒子の電極に対して垂直方向(z方向)の位置は、バルクプラズマ方向へ移動した。またレーザーパワーを増加させるとレーザーの垂直方向の力の増加により微粒子のz方向の位置がバルクプラズマ側へシフトし光捕捉力の増加により微粒子が光捕捉から離脱するまでに水平移動させることができる距離が増加した。また、力のつり合いから、各微粒子位置における垂直方向と水平方向の電場強度  $E_z$  と  $E_r$  を評価し、 $zr$  平面における電場ベクトルの空間分布を評価

することに成功した。次に、プラズマ中光捕捉微粒子の位置揺動からプラズマ電場揺動を求めた。電場強度、電場揺動はプラズマ中の位置に強く依存し、水平方向の電場強度が強くなる位置では、水平方向の電場揺動が大きくなる傾向にあることを明らかにした。

電場計測の定量評価において重要である、帯電量較正を行った。2つの微粒子の衝突現象をプラズマ中に起こし、2体粒子間にかかる力及び相互作用を評価し、微粒子の帯電量をより精度良く導出し評価した。これにより、各微粒子位置における垂直方向と水平方向の電場強度  $E_z$  と  $E_r$  を評価し、 $zr$  平面における電場ベクトルの空間分布をマイクロメートルオーダーの空間分解能を持って計測できることを示した。

電場揺動計測において、まずは、微粒子の位置揺動から導出できるかどうか検証した。位置揺動は、水平方向の電場強度  $E_r$  が大きくなるほど、強くなることから、位置揺動と電場揺動に関連があることを示した。電場揺動のみを評価するために、微粒子トラップ用レーザーの入力パワーによって位置揺動にどのように影響を与えるか等、微粒子にかかる力を検証した。さらに、プラズマ中の2体微粒子に作用する力(シャドー効果による引力とクーロン斥力)を起因とした微粒子のふるまいをより詳細に観察し、それらの力の影響について明らかにした。

## (2)高アスペクト比構造を用いた入射イオンの振る舞い解析

粒子シミュレーションを用いて、電場揺動がイオンの入射角度分布に与える影響も明らかにし、放電振幅の形状なども角度制御に重要であることがわかった。プラズマバルクにおける密度揺動が電場揺動を引き起こし、シース長の揺動も起こる中、その揺動の大きさが、トレンチ構造内におけるイオンの入射角度にどのような影響を与えるかも明らかにした。また、プラズマパラメータに関連する制御パラメータと膜質の関係を明らかにする機械学習モデルも構築した。

## (3)微粒子の帯電量の新規実験的導出法の開発

当初の研究計画にはなかった微粒子の帯電量の新規実験的導出法の開発も行った。光捕捉微粒子を用いた電場計測法は、微粒子の重力と微粒子が電場から受ける力と微粒子がレーザーから受ける力とのつり合いの式から求めることができる。その中で、微粒子の帯電量は非常に重要なパラメータであり、プラズマ中浮遊する微粒子周りの電場の大きさを使わずに微粒子の帯電量を実験的に導出する方法はこれまでなかった。そこで、本研究では、光捕捉技術と2体粒子間にかかる力及び相互作用を組み合わせることで、微粒子の帯電量を導出する方法を見出した。実験で得られた帯電量は、理論値と同じオーダーであった。これまでの帯電量の実験的導出法の一つである、プラズマ中のプラズマに能動的な電場揺動を印加し、プラズマシース領域に浮遊する微粒子の固有振動数を計測する方法と比較しても、微粒子が振動しないため計測しやすく、汎用性が高いことも特徴である。一定の成果が得られたが、これらの結果を幅広い実験領域で検証することで、精度の高い帯電量導出法の開発を今後も目指す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 K.Kamataki, D.Nagamathu, T.Yang, K.Abe, A.Yamamoto, I.Nagao, T.Arima, M.Otaka, Y.Yamamoto, D.Yamashita, T.Okumura, N.Yamashita, N.Itagaki, K.Koga, and M.Shiratani	4. 巻 12
2. 論文標題 Effects of amplitude modulated discharge on growth of nanoparticles in TEOS/O <sub>2</sub> /Ar capacitively coupled plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 85220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0097691	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 I.Nagao,K.Kamataki1,A.Yamamoto,M.Otaka,Y.Yamamoto,D.Yamashita,N.Yamashita,T.Okumura,N.Itagaki,K.Koga,M.Shiratani	4. 巻 7
2. 論文標題 One-dimensional particle-in-cell/Monte Carlo collision simulation for investigation of amplitude modulation effects in RF capacitive discharges	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 911
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1557/s43580-022-00417-w	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 Michihiro Otaka,Toshiaki Arima, Jiansyun Lai, Kizuki Ikeda, Kunihiro Kamataki, Naoto Yamashita,Takamasa Okumura, Naho Itagaki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani	4. 巻 7
2. 論文標題 Spatio-temporal measurements Ar <sub>2</sub> p <sub>1</sub> excitation rates and optical emission spectroscopy by capacitively coupled Ar and Ne mixed gas plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 918
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1557/s43580-022-00306-2	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 Shinjiro Ono, Sung Hwa Hwang,Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Naoto Yamashita, Naho Itagaki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Jun-Seok Oh, Susumu Takabayashi, Tatsuyuki Nakatani	4. 巻 7
2. 論文標題 Raman spectral analysis of theas-deposited a-C:H films prepared by CH <sub>4</sub> +Ar plasma CVD	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MRS Advances	6. 最初と最後の頁 718
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1557/s43580-022-00310-6	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 Hwang Sung-Hwa, Iwamoto Ryosuke, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakatani Tatsuyuki, Shiratani Masaharu	4. 巻 729
2. 論文標題 Comparison between Ar+CH4 cathode and anode coupling chemical vapor depositions of hydrogenated amorphous carbon films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138701 ~ 138701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2021.138701	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 Hwang Sung Hwa, Koga Kazunori, Hao Yuan, Attri Pankaj, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Shiratani Masaharu, Oh Jun-Seok, Takabayashi Susumu, Nakatani Tatsuyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Time of Flight Size Control of Carbon Nanoparticles Using Ar+CH4 Multi-Hollow Discharge Plasma Chemical Vapor Deposition Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr9010002	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 Hwang Sung-Hwa, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 109
2. 論文標題 Size and flux of carbon nanoparticles synthesized by Ar+CH4 multi-hollow plasma chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 108050 ~ 108050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2020.108050	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 Hwang Sung-Hwa, Okumura Takamasa, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakatani Tatsuyuki, Shiratani Masaharu	4. 巻 59
2. 論文標題 Low-stress diamond-like carbon films containing carbon nanoparticles fabricated by combining rf sputtering and plasma chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 100906 ~ 100906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abbb20	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 Nunomura Shota, Sakata Isao, Sakakita Hajime, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 128
2. 論文標題 Real-time monitoring of surface passivation of crystalline silicon during growth of amorphous and epitaxial silicon layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 033302 - 033302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0011563	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44件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 KunihiroKamataki, Sakyokuunaga, TomaSato, KentaroTomita, PanYiming, DaisukeYamashita, TakamasaOkumura, Nahotagaki, KazunoriKoga, MasaharuShiratani
2. 発表標題 Development of measurement of two-dimensional distribution of strength of electrical field with high spatial resolution using optical trapped particle in plasma
3. 学会等名 2022 MRS spring meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TomaSato, Sakyokuunaga, KunihiroKamataki, KentaroTomita, PanYiming, DaisukeYamashita, TakamasaOkumura, Nahotagaki, KazunoriKoga, MasaharuShiratani
2. 発表標題 Investigation of Position Fluctuation of a Fine Particle Trapped with Laser Tweezers in Ar Plasma
3. 学会等名 2022 MRS spring meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 佐藤斗真, 富田健太郎, PanYiming, 山下大輔, 山下尚人, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 光ピンセットによる捕捉微粒子を用いたArプラズマ中の電場強度分布及び電場揺動計測(2)
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KunihiroKAMATAKI ,TomaSATO,KentaroTOMITA,PanYIMIN,DaisukeYAMASHITA,NaotoYAMASHITA,TakamasaOKUMURA,NaholTAGAKI,KazunoriKOGA,MasaharuSHIRATANI
2. 発表標題 Measurements of strength and fluctuation of 2D electric fields in plasmas using a fine particle trapped with laser tweezers
3. 学会等名 ICRP-11/GEC2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 TomaSato,SakyoOkunaga,KunihiroKamataki,KentaroTomita,PanYiming,DaisukeYamashita,TakamasaOkumura,Naholtagaki,KazunoriKoga,MasaharuShiratan
2. 発表標題 Measurement of fluctuation of electric field in Ar plasmas using a fine particle trapped with laser tweezers
3. 学会等名 7thInternationalConferenceonAdvancesinFunctionalMaterials(AFM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 TomaSato,KunihiroKamataki,KentaroTomita,PanYiming,DaisukeYamashita,TakamasaOkumura,Naholtagaki,KazunoriKoga,MasaharuShiratan
2. 発表標題 Optical tweezers technique for electric field measurements in Ar plasmas using a fine particle
3. 学会等名 6thAsia-PacificConferenceonPlasmaPhysics(AAPPS-DPP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KunihiroKamataki,TomaSato,KentaroTomita,PanYiming,DaisukeYamashita,TakamasaOkumura,Naholtagaki,KazunoriKoga,MasaharuShiratan
2. 発表標題 Electric fields measurement using an optical trapped charged particle in Ar plasma
3. 学会等名 第32回日本MRS (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KunihiroKamataki, TomaSato, KentaroTomita, PanYiming, DaisukeYamashita, TakamasaOkumura, Nahotagaki, KazunoriKoga, MasaharuShiratan i
2. 発表標題 Measurement of the charge on single fine particle in plasma
3. 学会等名 第32回日本MRS
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KunihiroKamataki, TomaSato, KentaroTomita, PanYiming, DaisukeYamashita, TakamasaOkumura, Nahotagaki, KazunoriKoga, MasaharuShiratan i
2. 発表標題 Measurements of strength and fluctuation of 2D electric fields in plasmas using a fine particle trapped with laser tweezers
3. 学会等名 23rdWorksho on Fine Particle Plasma (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 佐藤斗真, 富田健太郎, PanYiming, 山下大輔, 山下尚人, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 光ピンセットによる捕捉微粒子を用いたArプラズマ中の電場強度分布及び電場揺動計測(3)
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 奥永冨京, 佐藤斗真, 富田健太郎, P. Yiming, 山下大輔, 山下尚人, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 光ピンセットによる捕捉微粒子を用いたArプラズマ中の電場強度分布及び電場揺動計測
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 鎌滝晋礼
2. 発表標題 光捕捉微粒子による超高感度電場計測
3. 学会等名 令和3年度 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤斗真, 奥永冨京, 鎌滝晋礼, 富田健太郎, P. Yiming, 山下大輔, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 光ピンセット技術を用いたプラズマ中微粒子への作用力の絶対値校正
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Okunaga, T. Sato, K. Kamataki, K. Tomita, P. Yiming, D. Yamashita, T. Okumura, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Calibration of force acting on an optically trapped particle in Ar plasma
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Sato, S. Okunaga, K. Kamataki, K. Tomita, P. Yiming, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Study of Position Fluctuation of a Fine Particle Trapped with Laser Tweezers in Ar Plasma
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Kamataki, S. Okunaga, T. Sato, K. Tomita, P. Yimin, D. Yamashita, T. Okumura, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 Investigation of 2D electric field measurements in Ar plasmas using a fine particle trapped with laser tweezers
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MRM2022) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Kamataki, S. Okunaga, T. Sato, K. Tomita, P. Yimin, D. Yamashita, T. Okumura, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 Study on measurement of strength and fluctuation of electrical field using optical trapped particle in Ar plasma
3 . 学会等名 5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Shiratani
2 . 発表標題 Dusty Plasma: Scientific and Technological Impacts(Invited)
3 . 学会等名 6th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Okunaga, K. Kamataki, K. Tomita, Y. Pan, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2 . 発表標題 2D electric field measurements in Ar plasmas using a fine particle trapped with optical tweezers
3 . 学会等名 Plathinium 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 奥永冨京, 佐藤斗真, 富田健太郎, Pan Yiming, 山下大輔, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 振幅変調放電プラズマ中の光捕捉微粒子の挙動に関する研究
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 奥永冨京, 岩本 亮介, 富田 健太郎, P.Yiming, 山下大輔, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷 正治
2. 発表標題 Arプラズマ中の光捕捉微粒子への作用力の研究
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 岩本亮介, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治, 進藤崇央, 田中諭志, 松土龍夫
2. 発表標題 任意波形励起プラズマ CVD 法による a-C:H 膜質の制御
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 佐々木勇輔, 吉田知晃, 阿部滉平, 山本晃大, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 ナノ粒子取り込みによる SiNx の低温プラズマ CVD 製膜
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 2021年

1. 発表者名 古閑一憲, S. H. Hwang, Y. Hao, P. Attir, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 プラズマCVD中飛行時間によるカーボンナノ粒子サイズ制御
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Okunaga, K. Kamataki, K. Tomita, P. Yimin, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Electric Field Measurements in Ar plasmas using a Fine Particle Trapped with Optical Tweezers
3. 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Sasaki, T. Yoshida, K. Abe, K. Yamamoto, K. Kamataki, T. Okumura, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Low temperature fabrication of SiO <sub>2</sub> films using capacitively coupled TEOS plasma
3. 学会等名 The 21st Workshop on Fine Particle Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kamataki, T. Yoshida, Y. Sasaki, K. Abe, D. Yamashita, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Study on Film Deposition Process using Spatial Profiles of Plasma Parameters and Nanoparticles in Reactive Plasma
3. 学会等名 The 22st Workshop on Fine Particle Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥永 冨京, 鎌滝 晋礼, 富田 健太郎, Pan Yiming, 山下 大輔, 板垣 奈穂, 古閑 一憲, 白谷 正治,
2. 発表標題 アルゴンプラズマ中光捕捉微粒子への作用力の校正
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第24回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木勇輔, 吉田知晃, 阿部滉平, 山本晃大, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 容量結合プラズマCVD法によるSiO <sub>2</sub> 膜の低温製膜
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第25回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本晃大, 吉田智晃, 阿部滉平, 佐々木勇輔, 山下大輔, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 TEOSプラズマCVDを用いたSiO <sub>2</sub> 膜の形成:基板バイアス電圧依存性
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第26回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田知晃, 阿部滉平, 佐々木勇輔, 山本晃大, 山下大輔, 奥村賢直, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 プラズマ CVD におけるナノ粒子成長とプラズマ生成の関係
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第27回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部滉平, 陶陽, 岩本亮介, 佐々木勇輔, 吉田知晃, 山下大輔, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 PIC-MCCMを用いたCCPにおけるIEDに関する研究
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第28回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 郭源, 吉川大智, 黄成和, 古閑一憲, 白谷正治, 鎌滝晋礼, 板垣奈穂, 奥村賢直
2. 発表標題 Ar+CH4 マルチホロー放電プラズマCVDで作製したカーボンナノ粒子のフラックスに対する熱泳動力の効果
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第29回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陶陽, 岩本亮介, 阿部滉平, 鎌滝晋礼, 山下大輔, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 CCPにおける径方向電場Eyの計測の試み
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第30回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永松大樹, 岩本亮介, 山下大輔, 鎌滝晋礼, 古閑一憲, 白谷正治, 進藤崇央, 田中諭志, 松土龍夫
2. 発表標題 PECVD における任意電圧波形を用いた a-C:H 成膜
3. 学会等名 令和2年度プラズマ・核融合学会 九州・沖縄・山口支部 第31回支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白谷正治, 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 吉田知晃, 佐々木勇輔, 阿部滉平
2. 発表標題 プラズマCVDにおけるナノ粒子成長とプラズマ生成の関係
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kamataki
2. 発表標題 Relations among spatial profiles of plasma parameters, growth of nanoparticles in reactive plasma and properties of fabricated thin films
3. 学会等名 4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kamataki, S. Okunaga, K. Tomita, D. Yamashita, T. Okumura, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani
2. 発表標題 Information on electric field deduced using a fine particle trapped with laser tweezers in Ar plasma
3. 学会等名 The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古閑一憲, S. H. Hwang, 奥村賢直, Y. Hao, 山下大輔, 松尾かよ, 板垣奈穂, 鎌滝晋礼, 白谷正治
2. 発表標題 マルチホロー放電プラズマ CVDを用いて作製したカーボンナノ粒子輸送量に対する電極基板間距離の効果
3. 学会等名 2020年度(第73回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌滝晋礼, 吉田知晃, 佐々木勇輔, 阿部滉平, 岩本亮介, 山下大輔, 奥村賢直, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 低温環境下におけるプラズマCVDによる高品質保護膜の作製
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古閑一憲, 鎌滝晋礼, 奥村賢直, 板垣奈穂, 白谷正治
2. 発表標題 プラズマCVDを用いたa-Si:H堆積薄膜中のSi-H/Si-H <sub>2</sub> 結合形成の活性化エネルギー
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥永冨京, 岩本亮介, 鎌滝晋礼, 富田健太郎, PanYiming, 山下大輔, 板垣奈穂, 古閑一憲, 白谷正治
2. 発表標題 光ピンセットによる捕捉微粒子を用いたアルゴンプラズマの等電場面計測
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaharu Shiratani
2. 発表標題 Materials processing with low pressure plasma : present issues and possible solutions
3. 学会等名 SPIG2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 K. Kamataki
2. 発表標題 Future prospects of Plasma-nano interface (Invited)
3. 学会等名 Satellite meeting of AAPPs-DPP2020 : Workshop on cutting-edge of plasma applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学 プラズマ工学研究室 <a href="http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html">http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html</a> 九州大学 プラズマ工学研究室 <a href="http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html">http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html</a> プラズマ工学研究室 <a href="http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html">http://plasma.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html</a>
--

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	小林 達哉  (Kobayashi Tatsuya)  (30733703)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授   (63902)	
研究分担者	布村 正太  (Nunomura Syota)  (50415725)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・上級主任研究員   (82626)	
研究分担者	石川 健治  (Ishitakawa Kenji)  (60417384)	名古屋大学・低温プラズマ科学研究センター・教授   (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	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	鎌滝 晋礼  (Kamataki Kunihiro)  (60582658)	九州大学・システム情報科学研究院・准教授    (17102)	
研究分担者	富田 健太郎  (Tomita Kentaro)  (70452729)	北海道大学・工学研究院・准教授    (10101)	

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