

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18753

研究課題名（和文）機械学習支援によるプラズマ表面反応解析原理の確立

研究課題名（英文）Establishment of Principles for Machine-Learning Assisted Analysis of Plasma Surface Reactions

研究代表者

浜口 智志（Hamaguchi, Satoshi）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：60301826

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、プラズマ表面相互作用研究分野において、機械学習により、まだ研究のなされていない物質とプラズマの組み合わせに対するプラズマ表面相互作用を予測する技術を確立し、その予測手法に学術的基礎を与えることにある。本研究では、文献から収集した大量のスパッタ率実験データをもとに、ノンパラメトリック回帰であるGaussian process regression等によるスパッタ率の予測システムを開発し、かつ、系を記述する各種の記述子（系を特徴づける物理量）の相対的重要性を、系統的に解析し、定量的に評価した。これにより、当初の研究目的を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマ科学は、巨大データの宝庫であり、プラズマ表面相互作用研究だけに限っても、センサーの数や精度が上がるにつれ、データが巨大化し、機械によるデータの自動処理は近い将来、間違いなく、必要不可欠となる。機械学習といっても、その物理系に応じた予備知識の導入や訓練が必要である。「勘と経験に基づく予測能力」をコンピュータに付与することは、自然を支配する物理法則を観測データから演繹する研究であり、基礎方程式をできるだけ正確に解いて自然法則を理解するという、これまでの学術の体系や方向を大きく変革、転換させる潜在性を有するという意味で、学術的にもきわめて意義深い。

研究成果の概要（英文）：The goal of this research is to develop a methodology to predict so far unknown plasma-material interaction characteristics for a material exposed to a plasma by applying machine learning to a large amount of data of known plasma-material interactions. In this study, we built a system to predict etching rates/sputtering yields of various materials subject to the bombardment of energetic ions of various species, using non-parametric regressions such as Gaussian Process Regression of past experimental data. We also analyzed importance of specific descriptors for the prediction system by evaluating the correlations among descriptors as well as those of descriptors with the objective variable (i.e., etching rate). The results indicates the underlying physical mechanisms that dominate the etching phenomena.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：機械学習 深層学習 スパースモデリング ノンパラメトリック回帰 人工知能（AI） 記述子 プラズマ・インフォマティクス プロセス・インフォマティクス

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。

1. 研究開始当初の背景

半導体デバイス製造工程に使われるプラズマ・プロセス技術は、デバイスの超微細化を主導し、世界の情報通信技術の発展に大きく貢献している。現在、半導体デバイスの微細化が極限にまで進み、原子レベルの構造加工が研究対象となる中、産業界では、「ある特性を持つ薄膜堆積や超微細加工を行うには、どの材料に対してどのようなプロセスを行うべきか」との問いに短期間に回答を出す必要に迫られている。プロセス開発をこれまでのように試行錯誤で行うのではなく、人工知能（AI）を用いて行い、上記のような問いに即答するための第一歩が、本研究課題である。ただし、こうした質問では、要求されるものが「正解」一つではなく、多数ある材料とプロセス条件の組み合わせの中で、実験等で検証可能な少数の有力候補を挙げるだけで十分で、且つ、極めて高い価値を持つ。同様の要求は材料探索にもあり、これは現在、日本では「マテリアル・インフォマティクス」（米国では Materials Genome Initiative）と呼ばれている。本研究課題は、その意味で、プラズマ・プロセス分野における「プロセス・インフォマティクス」の最初の研究である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、プラズマ表面相互作用研究分野において、機械学習を用いて、数値シミュレーションや実験から得られた大量のデータを処理することにより、まだ研究のなされていない物質とプラズマの組み合わせに対するプラズマ表面相互作用を予測する技術を確立し、その予測手法に学術的基礎を与えることにある。具体的には、機械学習を用いて、未知の材料に対する微細加工プロセスに用いられるエッチング率、或いは、スパッタリング・イールドのエネルギー依存性の予測システムを構築する。ここで「エッチング率」は、単位時間当たり除去される表面材料の量、或いは、基板材料の表面高さの変化量を意味し、「スパッタリング・イールド」とは、入射イオンあたりに基板表面から脱離する原子の数である。

3. 研究の方法

機械学習に関しては、既に様々な手法が提案・開発されてきている。本研究課題で対象とする問題は、物理量間の相関を抽出する問題であり、基板材料や入射イオンを構成する元素の原子番号、質量、原子半径、原子間結合エネルギー、蒸気圧、入射エネルギーなど、各種の物理パラメータを「記述子」とし、大量のデータを、パラメトリックまたはノンパラメトリック回帰、データ・クラスタリング、ベイズ推定、深層学習等の手法を用いて、関数形 $Y = f(x_1, x_2, \dots)$ を推定する問題に帰着する。ここで従属変数（目的変数） Y は、例えば、エッチング率であり、独立変数（説明変数） x_1, x_2, \dots 等は、上述の記述子を表す。機械学習は、基本的に、大量のデータから、このような「意味のある」多次元空間でのフィッティング曲面を構成する問題に帰着する。ただし、エッチング率以外の多様な物理量（例えば、表面反応率、ダメージ形成等）も予測可能な汎用性のある機械学習アルゴリズムを構築するためには、推計プロセスにプラズマ表面相互作用特有の物理的特性を導入する必要がある他、強い相関のある記述子や無意味なデータ点を自動的に整理・排除するアルゴリズムを確立するなど、対象とする物理系に特化した解析方法の確立が必要である。

4. 研究成果

本研究では、過去の文献より、各種基板材料と入射イオンの組み合わせに関するエッチング率の実験データを集め、ノンパラメトリック回帰である Kernel Ridge Regression (KRR) および Gaussian Process Regression (GPR) を用いた解析を行った。いずれも、Leave-one-out cross validation (LOOCV) による全検索によりハイパー・パラメータを決定した。エッチング率データは、基板材料、入射イオン種、イオン入射エネルギー、イオン入射角度を与えると一意に決まる。ここでは、入射角度は、法線方向（基板面に垂直）の場合のみを議論する。物理的には、これらの値を決めれば、他の物理的性質も（例えば、基板となる材料の密度や融点、沸点等、入射イオンの原子半径）等も一意に決まるため、記述子の数は必要最低限で構わない。一方、回帰においては、何らの物理的機構の考察はないまま、説明変数（記述子）と目的変数（ここでは、エッチング率）の相関を予測するため、目的変数と高い相関のある物理量を記述子に選ぶことにより、予測能力が大幅に高まる。多くの場合、事前に、どの物理量が目的変数と高い相関があるかは、明らかでないため、多くの記述子を用いて、まずは、回帰作業を行う必要がある。回帰によって、どの記述子（物理量）が、目的変数となる物理量と最も相関が高いかを明らかにすることが可能である。この結果、不必要な記述子を除去して、十分な回帰制度が得られよう、回帰作業を繰り返すことにより、効率的な回帰を行うことが可能となる。

図1に、GPRで得られたエッチング率の予測システムから得られた結果の一部を示す。この予測には、基板材料（薄膜）として、周期表で、Be から U までの、固体として存在する大半の物質を対象とし、H から Pb までの単原子イオンの入射を考え、イオンの入射エネルギーは $10 \sim 10^6$ eV の範囲で、5548 データ数（スパッタリング・イールド・データ）を用いた。これらは実験値のため、社会的ニーズの高い薄膜材料のスパッタリング・イールド・データは多く存在す

るものの、ニーズのあまりないもの、或いは、ビーム入射実験が難しいものは、データの量が少なく、場合によっては、データが全く存在していない。こうして取得されたデータの偏在性も、予測結果に大きく影響する。尚、図1の予測システムでは、記述子としては、基板材料の原子番号、原子質量、融点、イオン側は、入射イオンの原子番号、原子質量、入射エネルギーを用いた。

GPRの利点の一つに、予測値の確度予測がある。図1(a)に示されているのは、Ar⁺イオンを銅(Cu)に入射する際のスパッタリング・イールド(SY)の入射エネルギー依存性を示している。入射イオンエネルギーは、eVで表示したエネルギーの数値をlogスケールで示している。(例えば、log₁₀(E)=3は、1,000 eVを意味する。)またSYは無次元量で、log₁₀(SY) = 0は、SY=1を意味する。図で緑の点は、学習に用いられた実験値を表し、オレンジ色の実践が、GPRによるスパッタリング・イールド予測の平均値、オレンジ色で塗られ帯が、予測角度の標準偏差の幅を示している。このGPR予測は、この図に表示されたデータばかりでなく、他の元素からなる基板に対する他の入射イオンによる実験データも参考にして作られている。図1(a)の例では、データ数が多いため、標準偏差の値が比較的小さく、多くのデータがこの範囲以内に収まっている。一方、図1(b)は、N⁺イオンをタングステン(W)基板に入射する際のスパッタリング・イールドの予測値である。特に、エネルギーが10,000 eV以上では、データが存在しないが、他の基板のスパッタリング・イールド・データから、高エネルギー領域においても、ある程度の予測がなされているが、標準偏差が大きくなり、予測した平均値の信頼度が低いことを表している。

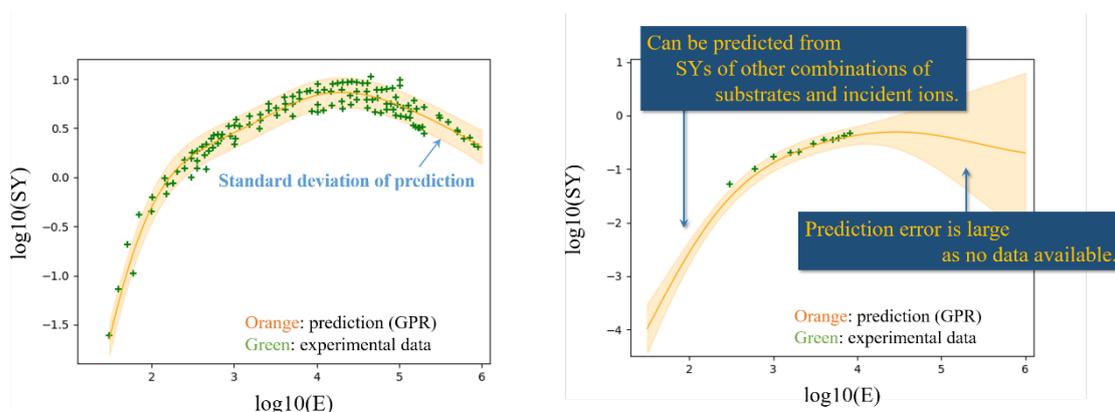


図1 (a) Ar⁺イオンがCu表面に、また、(b)N⁺イオンがW表面に入射する際のスパッタリング・イールドのエネルギー依存性。入射イオンエネルギーはeV表示で、横軸・縦軸ともlog表示となっている。オレンジの実践が、GPRによる予測の平均値、オレンジ色の帯が、予測値の標準偏差、緑の点(+)が実験値(予測に用いられたデータ)を表している。回帰には、ここに挙げたデータばかりでなく、他の基板材料や他の入射イオンのデータも用いられている。

また、スパッタリング・イールドの回帰を行う際に、多数の記述子を導入し、各記述子の回帰における重要さから、記述子の重要度を評価した。記述子の重要度を図する方法として、その記述子を用いなかった場合、回帰の精度の低下度を定量的に計測する方法がある。ただし、回帰作業において、記述子は作業者が任意に選ぶことのできる物理量であり、それぞれの物理量は、一般に、ある相関関係がある。例えば、上記のスパッタリング・イールドのGPRでは、基板物質の原子番号、原子質量、その物質の融点を記述子として採用したが、原子番号が決まれば、原子種が決まるので、基本的にその原子質量と融点は、それぞれ、一意に決定される。従って、回帰の精度を調べるため、例えば、融点を記述子から除去してから再度回帰しても、回帰のプロセスにおいて、原子番号や原子質量から、間接的に、融点の情報を考慮した回帰が行われてしまい、精度の低下が大きく表れない可能性もある。このため、記述子の除去により、回帰への貢献を調べる場合、相関の強い記述子をすべて除去しない限り、その重要性は定量的に明らかにすることができない。そこで、本研究では、スパッタリング・イールド回帰において、相関の強い記述子のグループ化(クラスター化)を行い、回帰に最も貢献する記述子クラスターの探索を行った。これにより、基礎方程式(相互作用する原子の運動方程式)から、演繹的に導くことができないエッチング率(スパッタリング・イールド)の解析表現(数式表現)の代わりに、その背後にある複雑な物理現象を理解するのに必要な物理量間の相関、および、目的変数と相関の強い物理量(記述子)を系統的に抽出する手法を確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Li Hu, Ito Tomoko, Karahashi Kazuhiro, Kagaya Munehito, Moriya Tsuyoshi, Matsukuma Masaaki, Hamaguchi Satoshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Experimental and numerical analysis of the effects of ion bombardment in silicon oxide (SiO ₂) plasma enhanced atomic layer deposition (PEALD) processes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SJJA01 ~ SJJA01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.35848/1347-4065/ab8681	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 Basher Abdulrahman H., Krstic Marjan, Takeuchi Takae, Isobe Michiro, Ito Tomoko, Kiuchi Masato, Karahashi Kazuhiro, Wenzel Wolfgang, Hamaguchi Satoshi	4. 巻 38
2. 論文標題 Stability of hexafluoroacetylacetone molecules on metallic and oxidized nickel surfaces in atomic-layer-etching processes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology A	6. 最初と最後の頁 022610 ~ 022610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1116/1.5127532	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 Capdos Tinacba Erin Joy, Isobe Michiro, Karahashi Kazuhiro, Hamaguchi Satoshi	4. 巻 380
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation of Si and SiO ₂ reactive ion etching by fluorine-rich ion species	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology	6. 最初と最後の頁 125032 ~ 125032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125032	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 Donko Zoltan, Hamaguchi Satoshi, Gans Timo	4. 巻 28
2. 論文標題 Effects of excitation voltage pulse shape on the characteristics of atmospheric-pressure nanosecond discharges	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma Sources Science and Technology	6. 最初と最後の頁 075004 ~ 075004
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/ab270e	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 浜口智志	4. 巻 95
2. 論文標題 小特集 プラズマ・インフォマティクス:データ駆動科学のプラズマへの応用 1. はじめに	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 535-536
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 木野日織、幾世和将、DAM Hieu Chi、浜口智志	4. 巻 95
2. 論文標題 小特集 プラズマ・インフォマティクス:データ駆動科学のプラズマへの応用 3. 機械学習によるプラズマエッチング率予測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 542-547
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 浜口智志	4. 巻 95
2. 論文標題 小特集 プラズマ・インフォマティクス:データ駆動科学のプラズマへの応用 6. まとめ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 560-561
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 浜口智志	4. 巻 43
2. 論文標題 数値シミュレーション技術の今後	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 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 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 浜口智志	4. 巻 43
2. 論文標題 プラズマ・インフォマティクス: プラズマ科学におけるデータ駆動科学の応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 198-202
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 Klaus-Dieter Weltmann, Juergen F. Kolb, Marcin Holub, Dirk Uhrlandt, Milan Simek, Kostya (Ken) Ostrikov, Satoshi Hamaguchi, Uros Cvelbar, Mirko Cernak, Bruce Locke, Alexander Fridman, Pietro Favia, Kurt Becker	4. 巻 16
2. 論文標題 The future for plasma science and technology	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Process Polym.	6. 最初と最後の頁 197001-1, 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ppap.201800118	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 Zoltan Donko, Aranka Derzsi, Mate Vass, Julian Schulze, Edmund Schuengel, and Satoshi Hamaguchi	4. 巻 27
2. 論文標題 Ion energy and angular distributions in low-pressure capacitive oxygen RF discharges driven by tailored voltage waveforms,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Sources Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 104008-1,20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6595/aae5c3	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24件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Satoshi Hamaguchi, Michiro Isobe, Tomoko Ito, Kazuhiro Karahashi
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation of Etching, Deposition, and Surface Modification in Plasma Processing
3. 学会等名 the 62nd Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Erin Joy Capdos Tinacba, Michiro Isobe, Kazuhiro Karahashi, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Molecular dynamic simulation of F-based reactive ion etching of Si, SiO ₂ and Si ₃ N ₄ substrates
3. 学会等名 the 62nd Annual Technical Conference of Society of Vacuum Coaters (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazumasa Ikuse, Hiori Kino, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Sputtering Yield Prediction by Machine Learning
3. 学会等名 2nd International Conference on Data Driven Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiori Kino, Kazumasa Ikuse, Hieu Chi Dam, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Prediction ability and importance of descriptors of single-element physical sputtering yields based on sparse modeling
3. 学会等名 2nd International Conference on Data Driven Plasma Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Charisse Marie D. Cagomoc, Michiro Isobe, Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation: Nanometer-scale Hole Etching of SiO ₂ with Carbon Mask
3. 学会等名 24th International Symposium on Plasma Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Satoshi Hamaguchi, Michiro Isobe, Tomoko Ito, and Kazuhiro Karahashi
2 . 発表標題 Atomic Layer Etching: its Science and Technology
3 . 学会等名 Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nicolas Mauchamp, Michiro Isobe, Satoshi Hamaguchi
2 . 発表標題 Sputtering of surfaces made of Lennard-Jones atoms: A Molecular Dynamics study
3 . 学会等名 Joint Conference of XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases (XXXIV ICPIG) and the 10th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-10) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tomoko Ito, Kazuhiro Karahashi, Satoshi Hamaguchi
2 . 発表標題 Analyses of Hexafluoroacetylacetone (Hfac) Adsorbed on Transition Metal Surfaces
3 . 学会等名 AVS 18th International Conference on Atomic Layer Deposition (ALD 2019) and the 5th International Atomic Layer Etching Workshop (ALE 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kazumasa Ikuse, Hiori Kino, and Satoshi Hamaguchi
2 . 発表標題 Prediction of Etch Rates for New Materials by Machine Learning - Case Study for Physical Sputtering
3 . 学会等名 the AVS 66th International Symposium & Exhibition (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	Abdulrahman H. Basher, Ikutaro Hamada, Marjan Krstic, Michiro Isobe, Tomoko Ito, Karin Fink, Kazuhiro Karahashi, Yoshitada Morikawa, Wolfgang Wenzel, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題	Mechanisms of thermal atomic layer etching (ALE) of metals by deprotonation and complex formation of hexafluoroacetylacetone (hfach)
3. 学会等名	the AVS 66th International Symposium & Exhibition (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Abdulrahman H. Basher, Marjan Krstic, Michiro Isobe, Tomoko Ito, Karin Fink, Masato Kiuchi, Kazuhiro Karahashi, Takae Takeuchi, Wolfgang Wenzel, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題	Computational study on the formation of nickel hexafluoro-acetylacetonate complexes Ni(hfac) ₂ on a rough NiO surface during plasma enhanced thermal atomic layer etching (ALE) processes
3. 学会等名	the 72nd Annual Gaseous Electronics Conference GEC (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題	Challenges of Advanced Plasma Etching Technologies
3. 学会等名	3rd International Symposium of the Vacuum Society of the Philippines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	伊藤智子, 唐橋一浩, 浜口智志
2. 発表標題	原子層エッチングプロセスにおける表面反応解析
3. 学会等名	4th Atomic Layer Process (ALP) Workshop (招待講演)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 浜口智志
2. 発表標題 半導体デバイス製造用プラズマプロセスにおける表面反応機構
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Challenges for the development of plasma-based atomic layer processing - numerical and experimental analyses of plasma-exposed surface reactions at the atomic level
3. 学会等名 45th Conference on Plasma Physics, European Physical Society (EPS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Surface reactions mechanisms of atomic layer etching for SiO ₂ , SiN, and metal films
3. 学会等名 RUB Japan Science Days 2018 : Society 5.0, Chance and Risks of Digital Transformation and the Responsibility of Universities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Atomistic simulations of plasma-surface interaction for ALD and ALE processes,
3. 学会等名 High Performance Computing for Plasma Applications Workshop, 71st Annual Gaseous Electronics Conference (GEC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 唐橋一浩、 浜口智志
2. 発表標題 アトミックレイヤーエッチングにおける表面反応解析
3. 学会等名 CVD反応分科会主催第28回シンポジウム「アトミックレイヤープロセッシングの基礎と最新技術動向」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜口智志、伊藤智子、磯部倫郎、唐橋一浩
2. 発表標題 アトミックレイヤーエッチング：その科学と技術
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜口智志
2. 発表標題 ナノデバイス作製のためのプラズマ制御
3. 学会等名 日本学術振興会「先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会」平成30年度第5回研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜口智志
2. 発表標題 最先端プラズマプロセスのシミュレーション
3. 学会等名 第29回プラズマエレクトロニクス講習会 プラズマプロセスの基礎と先端分野への応用(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 唐橋一浩、浜口智志
2. 発表標題 フッ素を含む分子イオンによるエッチング反応
3. 学会等名 応用物理学会/シリコンテクノロジー分科会 第215回研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Charisse Marie D. Cagomoc, Michiro Isobe, and Satoshi Hamaguchi
2. 発表標題 Atomic-Scale Numerical Simulation of a Nanometer-Scale Hole Etching of SiO ₂ with a Carbon Mask
3. 学会等名 応用物理学会/シリコンテクノロジー分科会 第215回研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 幾世和将、木野日織、浜口智志
2. 発表標題 機械学習を用いたスパッタ率予測
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 浜口智志	4. 発行年 2018年
2. 出版社 応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	5. 総ページ数 21
3. 書名 第29回プラズマエレクトロニクス講習会；プラズマプロセスの最前線. 最先端プラズマプロセスのシミュレーション	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室案内

<http://www.camt.eng.osaka-u.ac.jp/hamaguchi/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----