

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05082

研究課題名(和文) 金属援用エッチング(MacEtch)の高度化による新たなシリコン加工技術の確立

研究課題名(英文) Microfabrication of Silicon Using Metal-Assisted Etching (MacEtch)

研究代表者

八重 真治 (YAE, Shinji)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：00239716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：金属援用エッチングの機構の全容と得られる構造の制御因子の解明による精度の高いシリコン加工技術の確立を目的に、実験とコンピュータシミュレーションを組み合わせた解析を行った。無電解置換析出により貴金属微粒子をシリコンに修飾し、過酸化水素を含むフッ化水素酸水溶液に浸してエッチングを行った。マイクロ・メソ多孔質層の形成とその化学溶解の挙動を明らかにするとともに、エッチング中の電荷の流れを解析した。エッチングにより形成したシリコンナノホールアレイをレーザー誘起ブレイクダウン分光に応用し、高感度微量液体分析に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

真空を用いず水溶液に対象物を浸すだけの無電解置換析出と金属援用エッチングにより、ナノメートルからミリメートルまでのワイドレンジのシリコン微細加工が可能である。本研究の成果は、その制御因子を明らかにするものであり、高度な加工技術の確立により、太陽電池の無反射化やシリコン基板の切断など様々な産業応用が期待できる。加えて、新たな分析技術への具体的な応用にも成功している。また、様々な微細構造が得られるエッチング機構の解明は、半導体電気化学や表面工学における学術的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：This study aims the improvement of controllability of metal-assisted etching for microfabrication of silicon wafers. The silicon wafers were modified with noble metal nanoparticles by electroless displacement deposition, and then immersed into a hydrofluoric acid solution including hydrogen peroxide for the etching. Micro-, meso-, and macroporous structures were changed by changing such etching conditions as type and conductivity of silicon, size and coverage of metal on silicon, and composition of the solution. A device simulation calculated the flow of electric charges in silicon during the etching. The comparison between experimental results and computer simulation will provide suitable etching conditions to highly controlled microfabrication. Silicon nanohole allays produced by the etching were applied as suitable substrates of surface-enhanced laser-induced breakdown spectroscopy for microdroplet analysis.

研究分野：表面工学、半導体の電気化学

キーワード：多孔質シリコン 半導体加工 シミュレーション 触媒エッチング 金属ナノ粒子 半導体電気化学
微細加工 ウェットエッチング

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

シリコンウェーハは、CPU などの半導体素子のみならず、加速度センサなどの MEMS デバイスにも広く使われている。シリコンの加工は、インゴットからウェーハを切り出すウェーハリングやウェーハから素子を切り出すダイシングなど数十 cm の大きなものから、シリコン貫通電極(ピア)やコンタクトホール形成などの数十 nm の微細なものまで、広範で多様な技術が用いられている。その中で、ダイシングや孔開け(ピアホール形成)に向けた新たな技術として、金属援用エッチング(Metal-assisted Etching、略称 MacEtch も使われる)が注目されている^{1,2)}。これは、金属パターンを触媒とする湿式エッチングであり、物理的損傷がなく切りしろが小さいこと、多数枚を一度に処理できスループットが高いこと、真空を使わず装置コストが低いことなどが期待できる。

金属援用エッチングは、金属触媒をつけたシリコンを酸化剤含有フッ化水素酸に浸すことで、触媒上での酸化剤の還元により価電子帯に注入された正孔によってシリコンが酸化溶解する局部電池機構(図1)により進行する。このエッチングで得られる構造は、条件によって様々に変化し、孔が広がったり、その方向が途中で変わったり、触媒担持部以外にミクロ・メソ多孔質層が形成されたりする(図2)³⁻⁵⁾。これら

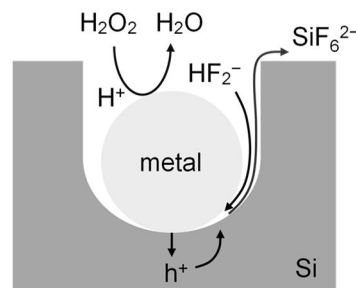


図1 金属援用エッチング

らの変化は学術的には興味深い、加工技術としては避けなければならない影響である。その原因に関する様々な報告があるが、金属援用エッチングの機構の全容を含めて、不明な点が多い。金属触媒の直下でエッチングが進行して触媒粒子がシリコン内部へ侵入すること、回転などのエッチング方向の変化、ミクロ・メソ多孔質層の形成などについても、複数の機構が提案されており、確証が得られていない。そのため、加工精度の向上も試行錯誤に頼らざるを得ない。

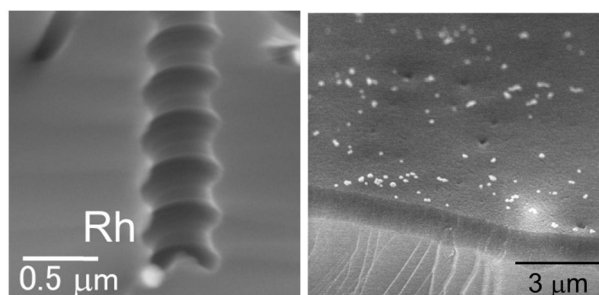


図2 Si に形成されたらせん孔と多孔質層

研究代表者は、2002 年に、無電解置換析出法でナノ粒子を形成したシリコンウェーハを単純なフッ化水素酸に浸漬すると図1, 2 のように金属援用エッチングが進行して多孔質層が形成されることを見つけた^{3,5)}。これを用いて、太陽電池の高効率化^{3,6)}、パターンエッチング⁷⁾、高密度着性無電解めっき膜形成⁸⁾など様々な応用展開を図ってきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、金属援用エッチングの機構の全容と得られる構造の制御因子の解明による、精度の高いシリコン加工技術の確立である。精度と生産性の両立を図る指針を得て、新たなシリコン加工技術を確立する。

3. 研究の方法

デバイスシミュレーションによる解析と実験による検証を車の両輪とし、エッチング時の表面および半導体内部の電位分布、局部電流密度(反応速度)分布を明らかにする。これを基に、金属直下のみが直線的に高速エッチングされる条件を見出す。

実験的な解析では、溶液の組成やシリコンの導電型・抵抗率などを変えてエッチングを行い、シリコンの構造を電子顕微鏡で観察するとともに、エッチング中のシリコンの電位のモニタリングや、電位制御によるエッチング挙動の変化を調べる。デバイスシミュレーションでは、適切なソフトウェアを選定して、エッチング中のシリコンの電位や内部の電荷の流れを計算により予測し、実験結果と比較する。

4. 研究成果

(1) 実験的な解析

無電解置換析出法により金、銀、白金などの貴金属を主に被覆率を制御してシリコンに修飾し、各種エッチング条件下での電気化学測定および微細構造観察などを行った。その中で、修飾する金属やその密度によってシリコン電極の電位が異なっており、電極のアノード分極の度合いによってエッチング速度や得られる構造、特に微細なミクロ・メソ多孔質の形成状態が変化することが分かった。さらに、図3に模式的に示したように、微細な多孔質シリコンが化学的に溶解することを実験的に明らかにした。このシリコン表面付近に形成されるミクロないしメソ多孔質

層について詳細な検討を行い、その形成と化学溶解機構を電気化学的に解析し、エッチング条件とエッチング中のシリコンの電位や反応速度および加工特性との関係を明らかにした。また、酸化剤である過酸化水素濃度、蒸着による金属パターン形成、シリコン半導体の導電型や抵抗率(キャリア濃度)に注目し、それらによるエッチング挙動の違いを明らかにした。これらの結果をまとめた原著論文が学術誌に掲載された。

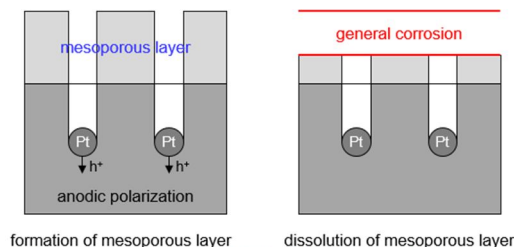


図3 シリコンの断面構造と化学溶解

(2)シミュレーションによる解析

初年度に慎重に検討して、シミュレーションソフトウェアとワークステーションを新規購入し、第2年度初めに、これらの取り扱いに習熟するために基本的な半導体デバイスのシミュレーションの再現を行った。続いて、簡単な構造モデルを用いて金属援用エッチング時のシリコンおよび金属の電位や電流分布について計算を試み、さらに金属を修飾したシリコンとエッチング液の界面構造モデルを検討し計算を進めた(図4)。その結果、金属援用エッチング時のシリコン中での電荷の流れを可視化し、粒子が先導して孔が形成される様子を再現することに成功した。

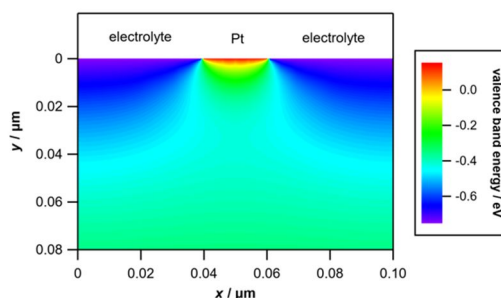


図4 白金/シリコン/溶液界面における価電子帯のエネルギー分布

エッチング条件によるシリコン中での電荷の

流れの変化をシミュレーションにより可視化することを試み、実験とシミュレーションの結果を比較検討することで、エッチング挙動の考察を深化することができた。これについては、2022年度前半に原著論文として、学術誌に投稿予定である。今後、シミュレーションにより、マイクロ・メソ多孔質層の形成抑制やマクロエッチングの直進性向上の指針を得て、実験的に検証することで、目的とする高度な加工技術の確立が期待できる。

(3)シリコンナノホールアレイ基板の作製と高感度微量液体分析への応用

本研究により得られた知見などを基に、金属援用エッチングによりシリコンナノホールアレイを多孔度、孔深さ等を制御して形成することが可能である。これを利用して、新たな高感度微量液体分析を試みた。レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)は、試料のレーザーアブレーションにより生成したプラズマの発光を分光することで組成分析を行う手法で、高感度微量分析が可能である。微量の液体試料を滴下し蒸発乾固させたシリコンナノホールアレイにレーザー光を照射することで、高感度な液体分析に成功し、論文発表した。これは、本研究に関連する独自の応用技術であり、極限環境下などでの新たな高感度微量液体分析手法として注目され、今後の発展が期待できる。

<引用文献>

- 1) 浅野佑策, 松尾圭一郎, 樋口和人, 東芝レビュー, **71(2)**, 31 (2016).
- 2) L. Li, X. Zhao, C.-P. Wong, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **6**, 16782 (2014).
- 3) S. Yae, Y. Kawamoto, H. Tanaka, N. Fukumuro, H. Matsuda, *Electrochem. Comm.*, **5**, 632 (2003).
- 4) Z. Huang, N. Geyer, P. Werner, J. de Boer and U. Gösele, *Adv. Mater.*, **23**, 285 (2011).
- 5) 松本 歩, 八重真治, 表面技術, **69**, 628 (2018).
- 6) 八重真治, 表面技術, **67**, 533 (2016).
- 7) S. Yae, M. Tashiro, M. Abe, N. Fukumuro, H. Matsuda, *J. Electrochem. Soc.*, **157**, D90 (2010).
- 8) S. Yae, K. Sakabe, N. Fukumuro, S. Sakamoto, H. Matsuda, *J. Electrochem. Soc.*, **158**, D573 (2011).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 SHIMAZU Yusuke, MATSUMOTO Ayumu, NAKANO Haruka, YAE Shinji | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 Sensitive Quantitative Analysis of Strontium in Microdroplet by Surface-enhanced Laser-induced Breakdown Spectroscopy Using Porous Silicon | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Analytical Sciences | 6. 最初と最後の頁 1839 ~ 1841 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.21N024 | 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 Matsumoto Ayumu, Furukawa Kyohei, Majima Shun, Iwamoto Keishi, Yae Shinji | 4. 巻 168 |
| 2. 論文標題 Electrochemical Investigation of the Effect of Hydrogen Peroxide Concentration on Platinum-Particle-Assisted Etching of p-Type Silicon in a Hydrofluoric Acid Solution | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society | 6. 最初と最後の頁 112504 ~ 112504 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ac330e | 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 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Sakiko Yoshizumi, Haruka Nakano, Shinji Yae | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Laser-induced breakdown spectroscopy using a porous silicon substrate produced by metal-assisted etching: Microanalysis of strontium chloride aqueous solution as an example | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 J. Anal. At. Spectrom. | 6. 最初と最後の頁 2239-2247 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0JA00144A | 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 福田健二, 藤居 稜, 高坂祐一, 山田直輝, 松本 歩, 八重真治 | 4. 巻 71 |
| 2. 論文標題 無電解プロセスによるSiC基板上への貴金属触媒の析出 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 表面技術 | 6. 最初と最後の頁 839-841 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4139/sfj.71.839 | 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 Ayumu Matsumoto, Keishi Iwamoto, Yuki Shimada, Kyohei Furukawa, Shun Majima, Shinji Yae | 4. 巻 89 |
| 2. 論文標題 Formation and Dissolution of Mesoporous Layer during Metal-Particle-Assisted Etching of n-Type Silicon | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Electrochemistry | 6. 最初と最後の頁 125-130 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.20-65159 | 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 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Kento Murakami, Shinji Yae | 4. 巻 178 |
| 2. 論文標題 Signal stability of surface-enhanced laser-induced breakdown spectroscopy for microdroplet analysis using a porous silicon substrate | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Spectrochim. Acta, B | 6. 最初と最後の頁 106143 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sab.2021.106143 | 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 Matsumoto Ayumu, Son Hikoyoshi, Eguchi Makiho, Iwamoto Keishi, Shimada Yuki, Furukawa Kyohei, Yae Shinji | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 General corrosion during metal-assisted etching of n-type silicon using different metal catalysts of silver, gold, and platinum | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 RSC Advances | 6. 最初と最後の頁 253 ~ 259 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA08728A | 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 - |

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 11件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 A. Matsumoto, Y. Shimazu, H. Nakano, S. Yae |
| 2. 発表標題 Surface-enhanced LIBS using a porous silicon substrate –Quantitative analysis of strontium in microdroplets– |
| 3. 学会等名 4th Asian Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Web, October 16-October 20, 2021. (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 島津佑輔, 仲野春香, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 多孔質シリコンを利用したレーザー誘起ブレイクダウン分光 微量希薄溶液の定量分析 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第144回講演大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西中 凜, 古川恭平, 東 恭平, 八重真治 |
| 2. 発表標題 白金薄膜パターンを用いたシリコンの金属援用エッチング n-Siとp-Siの違い |
| 3. 学会等名 ARS2021研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東 恭平, 古川恭平, 西中 凜, 松本 歩, 八重 真治 |
| 2. 発表標題 リコンの金属援用エッチングにより形成されるメソポーラス層 基板の抵抗率による違い |
| 3. 学会等名 ARS2021研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松本 歩, 島津佑輔, 仲野春香, 鈴木康介, 平井祥世, 八重真治 |
| 2. 発表標題 ポーラスシリコン上への蒸発乾固を利用したLIBSによる微量溶液の定量分析 |
| 3. 学会等名 第7回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム(SAAMT2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 平井祥世, 島津佑輔, 仲野春香, 鈴木康介, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコン表面の微細構造を利用した高感度LIBS分析 ポーラス基板上で生成するプラズマの特性 |
| 3. 学会等名 第7回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム(SAAMT2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 ポーラスシリコン基板を用いた高感度レーザー誘起ブレイクダウン分光分析 |
| 3. 学会等名 表面技術協会表協エレクトロニクス部会 電気化学会ナノ・マイクロファブリケーション研究会 合同研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鈴木康介, 仲野春香, 島津佑輔, 平井祥世, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 ポーラスシリコン基板を利用した微量溶液のLIBS分析 分析試料作製プロセスの簡略化 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第145回講演大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東 恭平, 古川恭平, 西中 凜, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコンの抵抗率による金属援用エッチング挙動の違い |
| 3. 学会等名 2022年電気化学会第89回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西中 凜, 古川恭平, 東 恭平, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコンの導電型による金属援用エッチング挙動の違い |
| 3. 学会等名 2022年電気化学会第89回大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Shinji Yae |
| 2. 発表標題 Laser-Induced Breakdown Spectroscopy of Liquid Samples Using Nanostructured Substrates |
| 3. 学会等名 3rd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2020) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Shinji Yae |
| 2. 発表標題 Use of a porous silicon in surface-enhanced LIBS |
| 3. 学会等名 11th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS2020) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shinji Yae, Ayumu Matsumoto |
| 2. 発表標題 Porous Structure Produced By Metal-Assisted Etching of Silicon |
| 3. 学会等名 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science 2020 (PRiME2020) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 原発廃炉現場での活用を目指したレーザー誘起ブレイクダウン分光による液体の高感度その場分析 |
| 3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 古川恭平, 岩本圭史, 島田祐暉, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコンの金属援用エッチングにより形成される多孔質構造と金属被覆率の関係 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第142回講演大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 ポラスシリコン基板を利用した液体の高感度LIBS分析 レーザー照射条件の検討 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第142回講演大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 古川恭平, 島田祐暉, 眞島 隼, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコンの金属援用エッチング中の電位と金属被覆率の関係 エッチング機構の電気化学的解析を目指して |
| 3. 学会等名 ARS2020研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 島津佑輔, 仲野春香, 村上研人, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 金属援用エッチングにより作製した多孔質Siのレーザープラズマ分光への応用 液体定量分析の検討 |
| 3. 学会等名 ARS2020研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 金属援用エッチングによるポラスシリコンの形成機構と最近の応用展開 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 古川恭平, 島田祐暉, 眞鳥 隼, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 シリコンの金属援用エッチングにおける金属被覆率の影響 多孔質構造と電位の変化 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 仲野春香, 島津佑輔, 村上研人, 松本 歩, 八重真治 |
| 2. 発表標題 蒸発乾固法による液体のレーザー誘起ブレイクダウン分光分析 ポラスシリコン基板を用いた分析精度の向上 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 A. Matsumoto, Y. Shimazu, S. Yoshizumi, H. Nakano, S. Yae |
| 2 . 発表標題 Surface-Enhanced LIBS Using Porous Silicon Substrate |
| 3 . 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 A. Matsumoto, K. Iwamoto, Y. Shimada, H. Son, M. Eguchi, S. Yae |
| 2 . 発表標題 Metal-assisted etching of silicon using silver, gold, and platinum particles |
| 3 . 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 K. Iwamoto, Y. Shimada, H. Son, A. Matsumoto, S. Yae |
| 2 . 発表標題 Electrochemical evaluation of metal-assisted etching of silicon |
| 3 . 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Y. Shimada, K. Iwamoto, A. Matsumoto, S. Yae |
| 2 . 発表標題 Porous Structures Produced by Metal-Assisted Etching of Silicon Effects of Doping Type of Substrates |
| 3 . 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Shimazu, S. Yoshizumi, A. Matsumoto, S. Yae |
| 2. 発表標題 Laser-induced breakdown spectroscopy using anodized substrates |
| 3. 学会等名 3rd International Symposium on Anodizing Science and Technology (AST2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Nakano, Y. Shimazu, A. Matsumoto, S. Yae |
| 2. 発表標題 Porous Si Assisted LIBS for Liquid Analysis Effect of Pulse Energy on Signal Intensity |
| 3. 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Shimazu, H. Nakano, A. Matsumoto, S. Yae |
| 2. 発表標題 Porous Si Assisted LIBS for Liquid Analysis Effect of Pore Depth |
| 3. 学会等名 2nd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (AMACEE2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本 歩, 島津佑輔, 善積紗紀子, 仲野春香, 八重真治 |
| 2. 発表標題 金属援用エッチングによるポーラスシリコンの形成とレーザー誘起ブレイクダウン分光への応用 |
| 3. 学会等名 第6回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2019) (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 八重真治, 松本 歩 |
| 2. 発表標題 金属援用エッチングにより形成される多孔質シリコンの構造とその応用 |
| 3. 学会等名 表面技術協会第141回講演大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 兵庫県立大学大学院工学研究科化学工学専攻表面エネルギー化学研究グループ http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/group/group39/index.html |
|--|

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 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 松本 歩 (MATSUMOTO Ayumu) | | |
| 研究協力者 | 福室 直樹 (FUKUMURO Naoki) | | |
| 研究協力者 | 岩本 圭史 (IWAMOTO Keishi) | | |

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 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 島田 祐揮 (SHIMADA Yuki) | | |
| 研究協力者 | 古川 恭平 (FURUKAWA Kyohei) | | |
| 研究協力者 | 島津 佑輔 (SHIMAZU Yusuke) | | |
| 研究協力者 | 仲野 春香 (NAKANO Haruka) | | |

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 |
|---------|---------|
| | |