

令和 5 年 7 月 27 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15314

研究課題名（和文）多孔質材料を利用した効率的なレーザープラズマの生成と液体の高感度分析への応用

研究課題名（英文）Efficient production of laser plasma using a porous material and its application to sensitive analysis of liquids

研究代表者

松本 歩（Matsumoto, Ayumu）

兵庫県立大学・工学研究科・助教

研究者番号：30781322

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：極限環境における現場分析技術として、レーザー誘起ブレイクダウン分光法（LIBS）が期待されている。本研究では、レーザーのエネルギーを効率良くプラズマの生成に変換できる多孔質シリコン（Si）基板をLIBSに応用し、蒸発乾固法による液体の微量分析を試みた。多孔質Siを用いると、平滑Siの場合と比べて蒸発乾固物の信号強度が著しく増大するとともに、レーザー照射位置による信号のばらつきが抑制された。微量溶液中のストロンチウムの定量分析について検討した結果、決定係数0.998、検出限界0.67 ppbの検量線が得られた。また、発光スペクトルの解析により、多孔質Si上で生成するプラズマの特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で見出した手法は、液量やレーザーの照射エネルギーが制限される条件でも簡便な操作で液体中の成分を検出できる。このような特長から、福島原発の廃炉現場における汚染水の遠隔分析技術として期待できる。核燃料デブリを炉内から取り出す際に滞留水の成分を把握できれば、より安全に廃炉作業をより安全に実施できると考えられる。そのほか、めっき液の管理や環境分析など、幅広い分野で応用が期待される。近年、ナノ材料と光の相互作用に関する研究が盛んに行われている。しかし、本研究のようにプラズマ生成を伴う現象を取り扱った例は少ない。本成果は、ナノ材料とレーザーの相互作用に関する新たな知見を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) has attracted attention as an on-site analytical technique at extreme environments. In this study, microanalysis of liquid samples was performed by using a porous silicon (Si) substrate on which laser energy can be efficiently converted to plasma production. By using the porous Si instead of a flat Si, LIBS signal of a dried droplet was significantly enhanced and the position-to-position signal fluctuation was reduced. In the analysis of strontium in a microdroplet, a linear calibration curve with a coefficient of determination of 0.998 and a limit of detection of 0.67 ppb was obtained. Characteristics of the plasma produced on the porous Si were investigated by analyzing the emission spectrum.

研究分野：レーザー分光

キーワード：レーザー誘起ブレイクダウン分光法 レーザーアブレーション 金属援用エッチング 多孔質シリコン  
液体分析 蒸発乾固 微量分析 プラズマ診断

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

福島第一原子力発電所の廃炉では、損傷した原子炉内部から核燃料デブリ取り出して処分する必要がある。この作業を安全に実施するためには、デブリの組成や炉内に滞留する汚染水の成分を現場で把握することが望ましい。これに対し、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)による遠隔分析が期待されている<sup>1)</sup>。以下に原理を述べる(図1)。パルスレーザーを試料表面に集光照射すると、表面が急激に加熱され、原子やイオン、電子などが爆発的に放出される。この現象をレーザーアブレーションと呼び、試料の元素で構成されるプラズマが生成する。プラズマ中の粒子は互いに衝突を繰り返しており、この過程でさまざまな励起状態の原子が生じる。原子の励起とは、基底準位にある電子が高いエネルギー準位に移ることであり、電子が低い準位に落ちる際にエネルギー差に応じた波長の光が放出される。原子のエネルギー準位は元素固有であるため、発光スペクトルから試料の元素を同定できる。このとき、光ファイバーを通して遠隔からレーザーを伝送すれば、作業者の被ばくを防ぐことができる。一方で、現在開発されているファイバー伝送 LIBS 装置は固体の分析に特化しており<sup>1)</sup>、廃炉現場における液体分析技術の開発が期待されている。

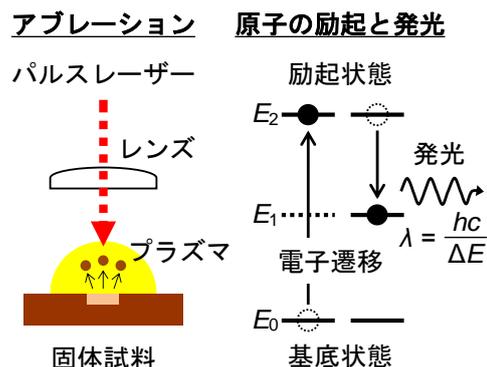


図1 LIBSの概要

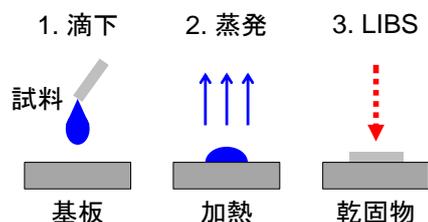


図2 表面増強 LIBS の概要

### 2. 研究の目的

LIBS による液体分析手法のひとつとして、基板上に試料溶液を滴下し、溶媒を蒸発させた後、残留物にレーザーを照射する蒸発乾固法<sup>2)</sup>(表面増強 LIBS と呼ばれている)が挙げられる(図2)。この手法は、操作が簡便で液量を最小限に抑えられることから、放射性物質を含む汚染水の分析に適している。一方で、廃炉現場における遠隔分析では、ファイバーにより伝送できるレーザーのエネルギーに制限がある。また、ウランなどの多数の発光線を有する元素を分離して観測するためには信号強度の増大が不可欠となる。これに対し、光反射率や熱伝導率が低い多孔質シリコン(Si)を基板として使用すれば、プラズマの生成効率が向上し、強い信号が得られると考えた。本研究では、多孔質 Si 基板を表面増強 LIBS に応用し、限られた条件下でも液体の成分を高感度に検出できる新規分析技術を確立することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、金(Au)ナノ粒子の無電解置換析出および金属援用エッチングの無電解プロセスにより多孔質 Si を作製した。図3に多孔質 Si の作製方法と30秒間のエッチング処理を施した基板の断面像を示す<sup>3)</sup>。約100 nmの垂直孔の底に Au ナノ粒子を持つ構造が得られた。孔内に試料溶液を浸透させるために、硝酸酸化により Si 表面を親水化した。100°Cに加熱した基板上にマイクロピペットを用いて試料溶液を滴下した。このとき、内径5 mmの平ワッシャーを基板上に固定し、ワッシャーの内側で液を蒸発させることで、蒸発乾固領域の面積を一定とした。蒸発乾固後、ワッシャーを取り外し、基板表面の LIBS 分析を行った。レーザーには、波長1064 nm、パルス幅6 nsのNd:YAGレーザーを用いた。検出器にはICCD(intensified charge-coupled device)を使用し、レーザー照射から1 μs後に発光スペクトルを測定した。

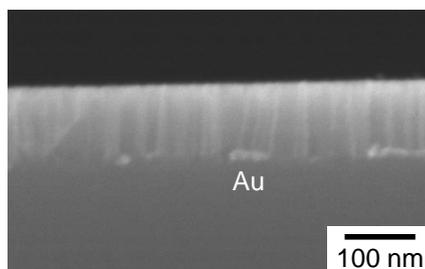
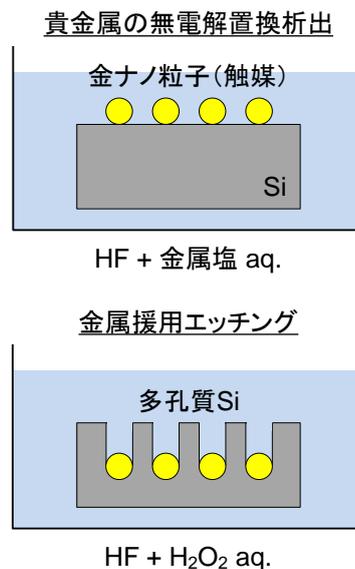


図3 多孔質 Si の作製方法とエッチング後の断面像(エッチング: 30 s)<sup>3)</sup>

#### 4. 研究成果

##### (1) 信号強度の増大

平滑 Si および多孔質 Si 上に 1 mM の塩化ストロンチウム( $\text{SrCl}_2$ )水溶液を滴下し、蒸発乾固させた。図 4 に、蒸発乾固領域の中央部にレーザーを照射して得られた発光スペクトルを示す<sup>3)</sup>。平滑 Si の場合、この波長域では発光線が観測されなかった。一方で、多孔質 Si を用いると、蒸発乾固物由来の Sr 原子の発光線が観測された。この結果は、多孔質 Si により蒸発乾固物の信号強度が増大したことを示している。このとき、Sr の発光線(483.2 nm)の増強度は 68 倍以上であると推定された。また、多孔質 Si を用いると、Au 原子の発光線が観測された。これは、孔の底に残存した Au ナノ粒子由来のものであり、レーザーアブレーションが起こる領域が多孔質 Si の孔の底まで到達したことを示している。なお、基板である Si もアブレーションされているが、この波長域で発光線は観測されていない。これは、可視域において Si の発光線強度が極めて低いためであり、基板によるスペクトル干渉を回避する上で重要な要素である。

多孔質 Si の孔深さは、エッチングの処理時間とともに増加する。そこで、エッチング時間の異なる多孔質 Si を用いて Sr を分析した(図 5)<sup>3)</sup>。図のように、Si のエッチング時間によって得られる Sr の信号強度が変化した。本実験条件では、エッチング時間が 50 秒(孔深さ: 約 200 nm)のときに Sr の信号強度が最大となり、平滑 Si に対する増強度は 150 倍以上となった。一方で、Au の信号強度は、エッチング時間が長くなると急激に低下した。これは、アブレーション領域が多孔質 Si の孔の底まで到達しなくなるためと考えられる。エッチング時間が長くなると、孔の底部に存在する蒸発乾固物がアブレーションされないため、Sr の信号強度が低下したと考えられる。多孔質 Si の構造を最適化することで、さらなる信号強度の増大が期待できる。

##### (2) ばらつき抑制

表面増強 LIBS では、レーザー照射位置による信号のばらつきが定量分析の精度を低下させる要因となる。ここでは、蒸発乾固領域を横切るようにレーザーを一方向に掃引し、基板表面の線分析を行った(図 6)<sup>4)</sup>。平滑 Si の場合、蒸発乾固領域の周縁部で Sr の信号が得られた。蒸発過程におけるコーヒリング効果<sup>5)</sup>により、蒸発乾固物に偏りが生じたと考えられる。一方で、多孔質 Si を用いると、蒸発乾固領域全体に渡っての Sr の強い信号が得られた。多孔質 Si の孔内に液が浸透することで、蒸発乾固物の偏りが抑制されたと考えられる。このとき、蒸発乾固領域の中央部における信号強度の相対標準偏差は約 10%であった。レーザー照射位置によらず一定強度の信号が得られることから、定量分析の精度向上が期待される。

本手法の繰り返し精度を評価するため、同じ条件で作製した 7 枚の多孔質 Si 基板を用いて Sr の分析を行った<sup>4)</sup>。その結果、どの基板を用いても得られる Sr の信号強度は同程度であり、基板による信号強度の相対標準偏差は約 10%となった。これは、多孔質 Si の作製や試料溶液の蒸発乾固、LIBS 分析など、分析プロセス全体に渡ってばらつきが一定の範囲内に抑えられていることを示している。

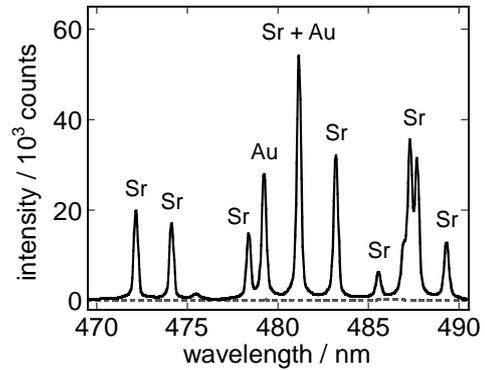


図 4 平滑(破線)および多孔質 Si(実線, エッチング: 30 s)を用いて得られた発光スペクトル<sup>3)</sup>

液量: 5  $\mu\text{L}$ , 照射エネルギー: 1.5 mJ

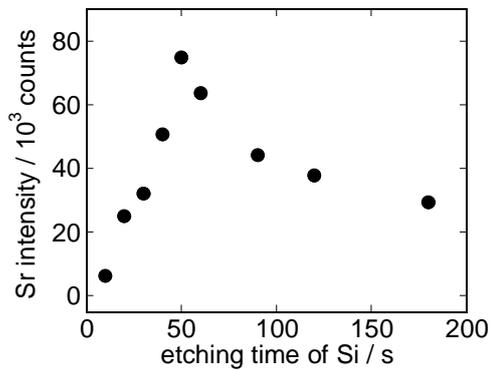


図 5 Si のエッチング時間に対する Sr の発光線(483.2 nm)の強度変化<sup>3)</sup>

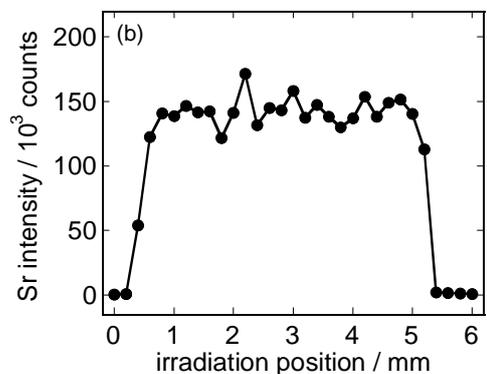
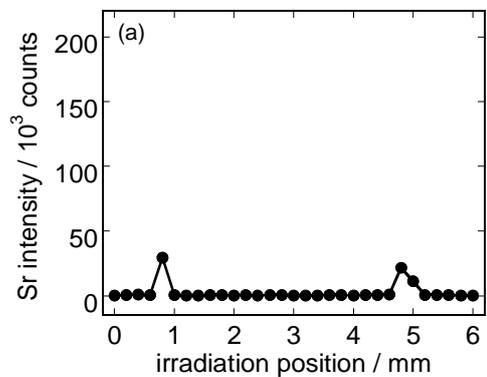


図 6 レーザー照射位置に対する Sr の発光線(483.2 nm)の強度変化<sup>4)</sup>

(a)平滑, (b)多孔質(エッチング: 60 s)

液量: 7  $\mu\text{L}$ , 照射エネルギー: 1.5 mJ

### (3) 定量分析

本手法による定量分析の精度を評価するために、Sr の濃度が異なる溶液を分析した。このとき、Au の発光線によるスペクトル干渉を回避するために、王水により Au ナノ粒子を除去した基板を用いた。得られた Sr の発光線の強度を Sr の濃度に対してプロットし、検量線を作成した(図 7)<sup>6)</sup>。Sr の濃度が 1 ~ 200 ppb のとき、共鳴線(下準位=基底準位の発光線、発光係数が大きい)を用いると、決定係数  $R^2 = 0.998$  の直線的な検量線が得られた(図 7a)。このとき、Sr の検出限界は 0.67 ppb であった。この結果は、液量や照射エネルギーが制限された条件でも希薄溶液中の微量成分を定量できることを示している。しかし、Sr の濃度をさらに高くすると、共鳴線の強度が飽和する傾向にあった。これは、発光線の自己吸収によるものと考えられる。自己吸収とは、プラズマ中で励起原子からの発光を非励起原子が吸収し、発光線の強度が低下する(発光種の密度に応じた強度が得られない)現象のことである。そこで、自己吸収の影響を受けにくい非共鳴線(下準位 ≠ 基底準位の発光線、発光係数が比較的小さい)を用いて検量線を作成した(図 7b)。その結果、Sr の濃度が 0.2~5 ppm の範囲で  $R^2 = 0.997$  の直線的な検量線が得られた。これらの結果は、共鳴線と非共鳴線を使い分けることで、広い濃度範囲で Sr の定量が可能になることを示している。

ただし、目的元素である Sr 以外に無関係塩(塩化ナトリウム)を高濃度(3.5%)を含む試料溶液を分析すると、無関係塩を含まない場合と比べて Sr の信号強度が低下する傾向にあった。これは、基板表面に多量の蒸発乾固物が析出し、アブレーションが阻害されるためと考えられる。高濃度溶液の定量分析を行うためには、さらなる工夫が必要である。

### (4) プラズマ特性

多孔質 Si による信号強度の増大について、考えられる要因を述べる。多孔質 Si は平滑 Si と比べて光反射率が低い<sup>7)</sup>ため、基板表面で吸収される入射光の割合が高くなる。また、熱伝導率が低い<sup>7)</sup>ため、基板内部への熱拡散が抑制される。さらに、Au ナノ粒子近傍では入射光の電場が増強される<sup>8)</sup>。これらの効果により、レーザーのエネルギーが効率良く基板表面のアブレーションに利用されるとともに、スペクトル測定時のプラズマの温度が高くなると考えられる(基本的に発光種の密度や温度が高いほど LIBS の信号強度は高くなる)。蒸発乾固物の偏りが抑制され、レーザー照射位置(蒸発乾固領域の中央部)において蒸発乾固物の存在量が増加することも主要な要因と考えられる。

ここでは、多孔質 Si 上で生成するプラズマの特性を調べるために、紫外域で基板由来の Si の発光線を観測し、ボルツマン分布に基づくスペクトル解析を行った。このとき、系を単純化するために、孔内の Au ナノ粒子を除去し、試料溶液の蒸発乾固を行わずに基板にレーザーを照射した。図 8 に平滑 Si およびエッチング時間の異なる多孔質 Si 上で得られたプラズマ中の Si 原子の相対密度および温度を示す<sup>7)</sup>。多孔質 Si を用いると、Si 原子の密度と温

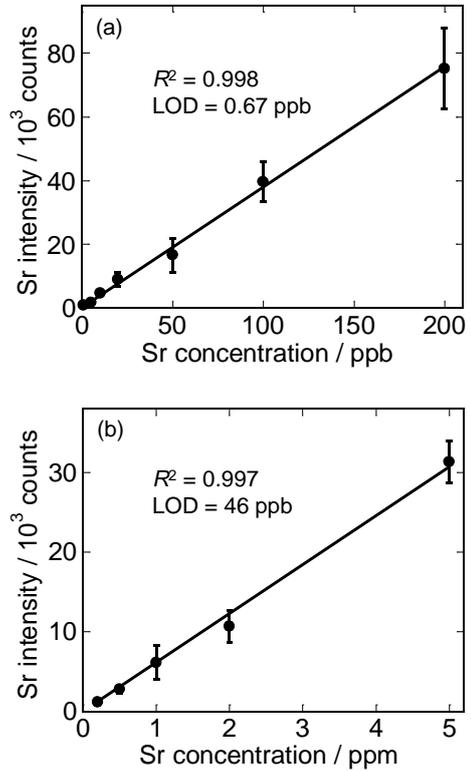


図 7 多孔質 Si (エッチング: 60 s, Au 除去)を用いて得られた Sr の検量線<sup>6)</sup>

(a)共鳴線(460.7 nm)

(b)非共鳴線(483.2 nm)

試料: SrCO<sub>3</sub> + NaCl aq. (Na: 25 ppm)

液量: 7  $\mu$ L, 照射エネルギー: 2.5 mJ

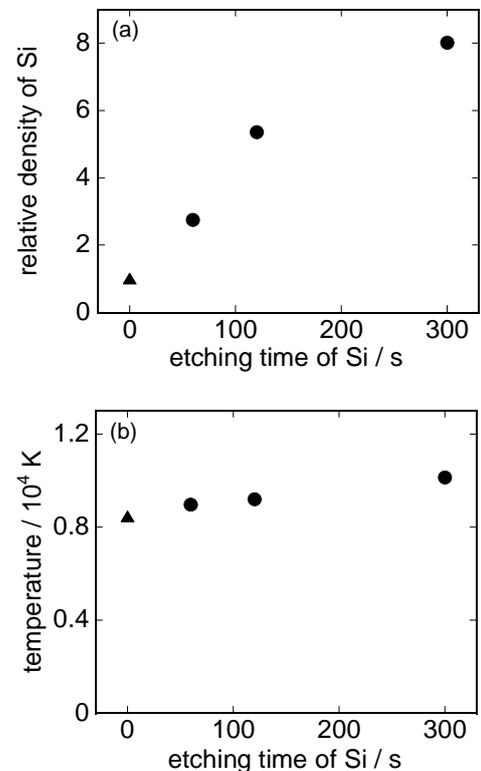


図 8 Si のエッチング時間に対する Si 原子の(a)相対密度と(b)温度の変化<sup>7)</sup>

$\Delta$ : 平滑 Si,  $\bullet$ : 多孔質 Si (Au 除去)

照射エネルギー: 3 mJ

度が高くなった。この結果は、Si 表面が多孔質化することで、アブレーション量が増加するとともに、より高温なプラズマが生成することを示唆している。また、Si のエッチング時間とともに Si 原子の密度と温度が高くなった。これは、多孔質 Si の孔が深くなることで光反射率や熱伝導率が低下し、アブレーションに利用されるレーザーのエネルギーが増加したためと考えられる。このとき、レーザーの波長(1064 nm)に対する基板の光反射率を測定すると、エッチング時間とともに低下していることがわかった。一方で、多孔質 Si を用いると、大気由来の窒素(N)原子の発光線強度が低下するという興味深い現象が観測された(図 9)<sup>7)</sup>。これらの結果は、多孔質材料のアブレーションに関する新たな知見を与えるものである。

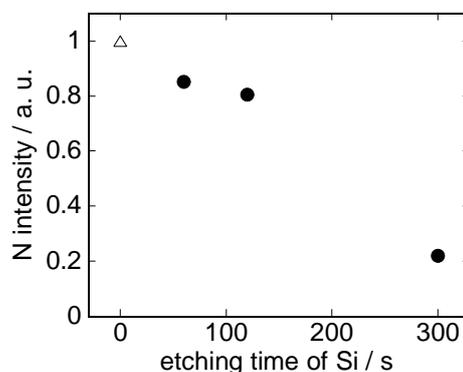


図 9 Si のエッチング時間に対する N の発光線(746.8 nm)の強度変化<sup>7)</sup>  
 △: 平滑 Si, ●: 多孔質 Si (Au 除去)  
 照射エネルギー: 3 mJ

<引用文献>

- 1) 大場弘則, 若井田育夫, 平等拓範, 日本原子力学会誌 **62**, 17 (2020).
- 2) M. A. Aguirre, S. Legnaioli, F. Almodóvar, M. Hidalgo, V. Palleschi, A. Canals, *Spectrochim. Acta B*, **79-80**, 88 (2013).
- 3) A. Matsumoto, Y. Shimazu, S. Yoshizumi, H. Nakano, S. Yae, *J. Anal. At. Spectrom.*, **35**, 2239 (2020).
- 4) A. Matsumoto, Y. Shimazu, H. Nakano, K. Murakami, S. Yae, *Spectrochim. Acta B*, **178**, 106143 (2021).
- 5) D. Mampallil, H. B. Eral, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **252**, 38 (2018).
- 6) Y. Shimazu, A. Matsumoto, H. Nakano, S. Yae, *Anal. Sci.*, **37**, 1839 (2021).
- 7) Y. Shimazu, A. Matsumoto, S. Hirai, H. Nakano, K. Suzuki, S. Yae, *Spectrochim. Acta B*, **197**, 106531 (2022).
- 8) M. Dell'Aglio, R. Alrifai, A. De Giacomo, *Spectrochim. Acta B*, **148**, 105 (2018).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10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 7件）

1. 著者名 Yusuke Shimazu, Ayumu Matsumoto, Sachiyo Hirai, Haruka Nakano, Kosuke Suzuki, Shinji Yae	4. 巻 197
2. 論文標題 Spectral characteristics of laser-induced plasma generated on porous silicon produced by metal-assisted etching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part B	6. 最初と最後の頁 106531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sab.2022.106531	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 Ayumu Matsumoto, Kyohei Azuma, Kyohei Furukawa, Rin Nishinaka, Shinji Yae	4. 巻 169
2. 論文標題 Composite Porous Structure Formation by Platinum-Particle-Assisted Etching of a Highly-Doped p-Type Silicon: Evaluation of Charge Flow in Silicon	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 102508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/ac9931	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 松本 歩, 島津佑輔, 八重真治	4. 巻 74
2. 論文標題 ポーラスシリコン基板を利用したレーザー誘起ブレイクダウン分光分析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 表面技術	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) 10.4139/sfj.74.198	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 Ayumu Matsumoto, Rin Nishinaka, Yuki Shimada, Kyohei Furukawa, Kyohei Azuma, Shinji Yae	4. 巻 170
2. 論文標題 Metal-Assisted Etching of n-Type and p-Type Silicon Using Patterned Platinum Films: Spatial Distribution of Mesoporous Layer and Open Circuit Potential of Silicon	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 52505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/acd359	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 Yusuke Shimazu, Ayumu Matsumoto, Haruka Nakano, Shinji Yae	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 Ayumu Matsumoto, Kyohei Furukawa, Shun Majima, Keishi Iwamoto, Shinji Yae	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 a strontium chloride aqueous solution as an example	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	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 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 Spectrochimica Acta Part B	6. 最初と最後の頁 106143 ~ 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 Ayumu Matsumoto, Tetsuo Sakka	4. 巻 37
2. 論文標題 A review of underwater laser-induced breakdown spectroscopy of submerged solids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1061 ~ 1071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20R007	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34件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Shinji Yae
2. 発表標題 Capability of liquid microanalysis by surface-enhanced LIBS using porous silicon
3. 学会等名 12th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本 歩, 島津佑輔, 八重真治
2. 発表標題 多孔質シリコン基板を利用した微量溶液の高感度LIBS分析
3. 学会等名 日本材料科学会2022年度学術講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本 歩, 島津佑輔, 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レーザー分析技術の開発
3. 学会等名 兵庫県メッキ研究会技術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋口達希, 東 恭平, 西中 凜, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 金および銀ナノ粒子を用いたシリコンの金属援用エッチングにおける全面腐食の評価
3. 学会等名 第37回ARS三河コンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東 恭平, 西中 凜, 橋口達希, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 白金微粒子を用いた低抵抗シリコンの金属援用エッチング
3. 学会等名 第37回ARS三河コンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西中 凜, 東 恭平, 橋口達希, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 白金薄膜パターンを用いたn型およびp型シリコンの金属援用エッチング
3. 学会等名 第37回ARS三河コンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島津佑輔, 鈴木康介, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 多孔質シリコンを利用したLIBS分析 ファイバー伝送系による遠隔分析の検討
3. 学会等名 第8回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木康介, 島津佑輔, 仲野春香, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 多孔質シリコン基板を利用した液体のLIBS分析 実試料分析を目指した基板上の試料分布制御
3. 学会等名 第8回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池本恒輝, 鈴木康介, 島津佑輔, 長橋英雄, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 多孔質シリコン基板を利用した液体のLIBS分析 溶存種の水中その場分析
3. 学会等名 第8回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム (SAAMT2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東 恭平, 西中 凜, 橋口達希, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 低抵抗シリコンの金属援用エッチングによるメソポーラス層の形成
3. 学会等名 表面技術協会第147回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西中 凜, 東 恭平, 橋口達希, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 触媒薄膜パターンを用いたn型およびp型シリコンの金属援用エッチング メソポーラス層の分布の違い
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本 歩
2. 発表標題 無電解プロセスによるシリコンの表面処理と高感度レーザー分析への応用
3. 学会等名 表協青年技術懇話会 (SYMTEC) 第119回会合 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ayumu Matsumoto, Yusuke Shimazu, Haruka Nakano, Shinji 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 (ASLIBS2021) (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 島津佑輔, 仲野春香, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 多孔質材料を利用した高感度レーザー分析技術の開発 ~希薄溶液の微量分析を目指して~
3. 学会等名 兵庫県立大学知の交流シンポジウム2021
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 シ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) (招待講演)
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 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 原発廃炉措置におけるLIBSを利用したその場分析技術
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022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 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 仲野春香, 島津佑輔, 松本 歩, 八重真治
2. 発表標題 貴金属ナノ粒子を利用した高感度レーザー分析技術の開発
3. 学会等名 兵庫県立大学知の交流シンポジウム2020
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ー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 ポー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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	八重 真治  (Yae Shinji)		

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