

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18800

研究課題名（和文）ガラス原子配列への秩序度の導入とその制御

研究課題名（英文）Degree of order in atomic arrangements of oxide glasses

研究代表者

増野 敦信（Masuno, Atsunobu）

京都大学・工学研究科・特定教授

研究者番号：00378879

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）：本研究では、無容器法で合成したガラスの原子配列に対して「秩序度」を導入し、定量評価を行う基盤を構築することができた。とくに還元原子配列（RAA）マップの改良が進められ、MDシミュレーションなどで作製した三次元構造モデルから、種々のパラメータを調整しつつ速やかにRAAマップの作成が可能となった。また新たな高秩序ガラスとして、R203-SiO<sub>2</sub>ガラスやR203-MoO<sub>3</sub>ガラスの合成に成功した。実験と計算を組み合わせた構造解析により、これらのガラスについても主構成成分であるR<sub>3+</sub>やO<sup>2-</sup>などの大きなイオンが、最密充填構造に近い擬秩序構造をとっていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長距離秩序の有無という二元論で語られてきたガラスと結晶の世界では、見落とされていた領域に、原子配列に高い秩序性をもつガラスという新しい材料空間が確かに広がっていることを強く示すことができた。これは、本研究において導入された原子配列の秩序度という概念を定量的に可視化する手法を確立したことが大きい。さらに、新たな高秩序ガラスの合成にも成功したことは、物質科学のフィールドを強力に押し広げたと見え、ガラス科学に大きなインパクトを与えた。秩序度を通じて物性を制御できる可能性があり、今後の材料開発の指針となり得る成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we introduced the "degree of order" in the atomic arrangement of glasses synthesized by a levitation technique and established the basis for quantitative evaluation. In particular, the reduced atomic arrangement (RAA) map has been improved, and the RAA map can be quickly generated by adjusting various parameters from a three-dimensional structural models obtained by MD simulation. In addition, R203-SiO<sub>2</sub> and R203-MoO<sub>3</sub> glasses were successfully synthesized as new highly ordered glasses. Combined experimental and computational structural analysis revealed that these glasses also have a quasi-ordered structure with large ions such as R<sub>3+</sub> and O<sup>2-</sup>, which are the main components, close to a close-packed structure.

研究分野：ガラス科学

キーワード：無容器法 ガラス構造

### 1. 研究開始当初の背景

教科書では原子が規則正しく並んでいる固体を結晶，そうでないものをガラスと分けている。我々はこれまでに、通常の熔融急冷法ではガラス化しない組成域において、無容器法を用いることで様々な機能性ガラスの合成に成功してきた。その中で  $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  や  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ 、 $\text{LaBO}_3$  などのガラスについて、実験と理論を併用した構造解析を行った結果、原子配列が最密充填に近い結晶のように高い秩序を有していることを突き止めた。これは一般的なガラスで見られる三次元ランダムネットワーク構造とは全く異なっており、高秩序ガラスとも呼ぶべき新しい材料群が存在することを示唆している。原子配列の秩序性という点では、結晶と一般的なガラスとの中間に位置しているとも見なせる (Figure 1)。そしてこれらのガラスの多くは、その秩序性を起源として、従来のガラスとも結晶とも異なる興味深い特性を発現することがわかってきた。高秩序ガラスにおいてはもはやネットワークはガラス形成の前提条件ではなく、従来のガラス設計指針は適用できない。研究開始当初の段階で、10を超える組成系で高秩序ガラスが見つかったことから、何らかの普遍的なガラス形成メカニズム、ガラスになりやすい擬秩序構造が存在すると考えるようになった。しかし原子配列の秩序性を数値化できず、高秩序ガラスの統一理解には遠い状況にあった。

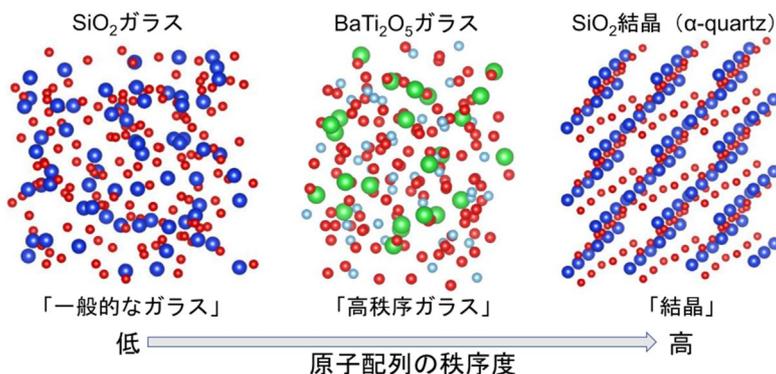


Figure 1. 原子配列の秩序度をもとにした各種材料の分類。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、無容器法によって合成される様々な高秩序ガラスに対して、「原子配列の秩序度」という概念を導入し、実験的裏付けのある構造モデルを利用した定量化パラメータを導出することである。これにより、これまで個別の高秩序ガラスごとに議論されていた構造の特異性を、定量的に相互比較し、原子配列と物性の相関を探ることが出来るようになることが期待される。また数値化された秩序度を用いれば、注目しているガラスの秩序性をどこまで上げられるかが推定できる。これは、原子配列の精密操作による物性の制御に繋がる基盤的知見である。「原子配列の秩序度」は、ガラスとは結晶ではないもの、とひとまとめにしていた教科書的な常識からガラスを解放し、物質科学の変革と転換を促すことになる。

### 3. 研究の方法

長距離秩序をもたないガラスの原子配列の秩序度を、定量化して表現するために、本研究では実験と計算の両面からのアプローチを行った。まずは、回折実験から得られる構造因子  $S(Q)$  の第一回折ピーク (FSDP) である。FSDP の強度と鋭さは、擬ブラッグ面に対応した構造秩序性に対応している。そして実験データを再現するよう分子動力学シミュレーションなどによって作製された構造モデルからは、原子配列を直接評価することができる。その手法の一つとして Inoue らによって開発された還元原子配列 (RAA) マップに着目した。RAA マップは、高秩序ガラスに含まれる  $\text{O}^{2-}$  などの大きなイオンが、最密充填構造に近い擬秩序構造をとることを視覚化できる (Figure 2)<sup>[1]</sup>。ただし研究開始当初に公開されていた RAA マップでは、秩序性の定量評価が難しい課題があったため、改良を試みた。

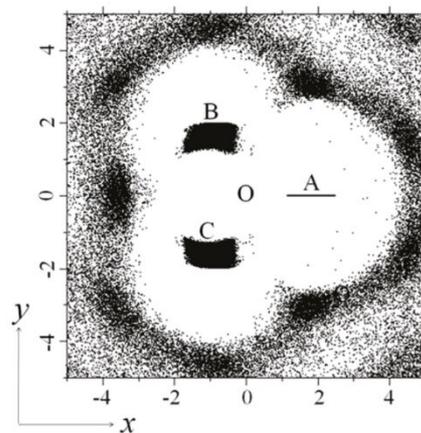


Figure 2. 初期の還元原子配列マップ。

本研究で主な対象とするのは、無容器法によって合成した高秩序ガラスである。無容器法とは、試料を浮遊させた状態でレーザーにより熔融、凝固させる手法である。容器壁面での不均一核生成がないため、融点以下極めて深い過冷却度まで液体のまま維持でき、結果としてガラス化させやすくなる。合成した高秩序ガラスに対して、高エネルギー-X線回折を行い、構造因子  $S(Q)$  を得る。そして  $S(Q)$  を再現する 1 万原子程度の構造モデルを、分子動力学シミュレーションによって作製する。適切に調整された二体ポテンシャルを利用すれば、ガラス化範囲外の組成に対しても仮想的なガラス構造モデルを作ることができる。幅広い組成範囲の構造モデルに対して、RAA マップ作成を行い、得られたグラフを評価した。

#### 4. 研究成果

本研究期間を通じて、無容器法により新規組成のガラスがいくつか得られた。その一つが  $R_2O_3-SiO_2$  二元系 ( $R$  は希土類元素) を見出した。修飾酸化物と  $SiO_2$  からなるシリケートガラスは、古くから知られている材料であるが、希土類酸化物を修飾酸化物として用いた場合のガラス化は報告されていなかった。これは希土類イオンが 3 価であり、 $SiO_4$  頂点共有ネットワークを切断する能力が非常に高いことに起因すると考えられる。 $^{29}Si$  MAS NMR や Raman 散乱分光測定の結果から、 $SiO_4$  はダイマーかモノマーになっており、 $R_2O_3-SiO_2$  二元系ガラス中のネットワーク切断は大きく進行していることがわかった。それにもかかわらずガラス化したということは、 $R^{3+}$  と  $O^{2-}$  からなる高秩序配列の四面体隙間に、 $Si^{4+}$  が入ることで非晶質構造が形成されていることを示唆している。新たな高秩序ガラスのベース組成としての利用が期待できる系である。さらに新たな系として、希土類モリブデン酸塩ガラスがある。この二元系ガラスについては、ガラス化範囲を確定し、熱物性や密度、光学スペクトルを取得した興味深かったのは  $La_2Mo_3O_{12}$  という組成の結晶に対して、無容器法を用いれば同組成でもガラス化したことである。同じ組成でもプロセスの違いでガラスと結晶に分かれるのは、両者が近い自由エネルギーを有していることを示唆しており、ここから原子配列の類似性も推察された。実際、Raman 散乱や Mo  $K$ -edge EXAFS, La  $L_3$ -edge XANES などの分光学的手法によって構造解析を行ったところ、 $25La_2O_3-75MoO_3$  ガラスと同じ組成の  $La_2Mo_3O_{12}$  結晶とは、ほぼ同じ原子配列を有していること、ただし La 周囲には乱れが生じていることが明らかとなった (Figure 3)。結晶中の Mo は孤立した  $MoO_4^{2-}$  四面体として存在していることを考えると、希土類モリブデン酸塩ガラスでも Mo-O-Mo のようなネットワークは存在していないことが強く示唆される。可視域での光透過スペクトルから見積もられたガラスの光学バンドギャップは、結晶よりもわずかに小さかったが、これも原子配列に乱れが導入された結果であるといえる<sup>[2]</sup>。従来のガラス科学の常識には当てはまらない興味深いガラスと言える。

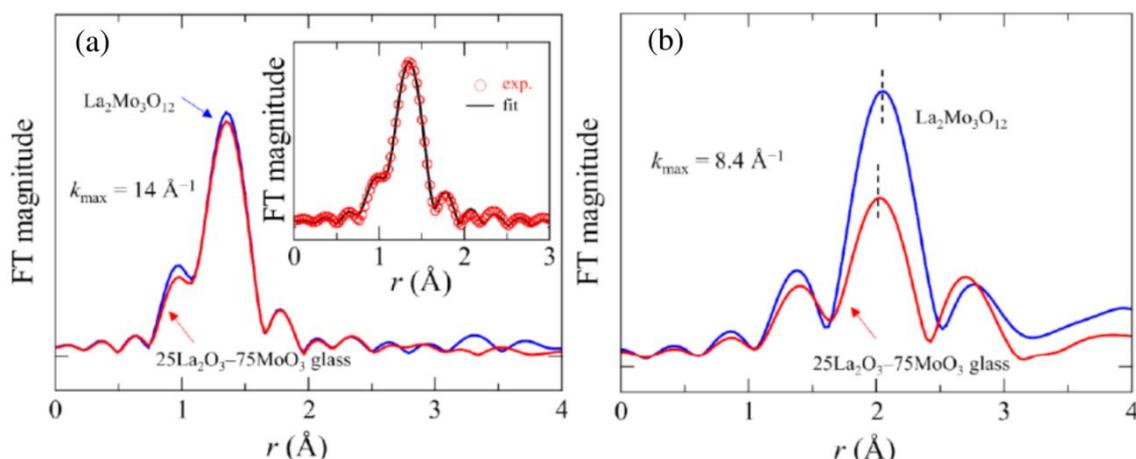


Figure 3.  $25La_2O_3-75MoO_3$  ガラスと  $La_2Mo_3O_{12}$  結晶の EXAFS スペクトルから得られた動径構造関数。(a) Mo  $K$ -edge (b) La  $L_3$ -edge

$Al_2O_3-SiO_2$  ガラス,  $R_2O_3-B_2O_3$  ガラス,  $R_2O_3-SiO_2$  ガラス,  $La_2O_3-MoO_3$  ガラス,  $La_2O_3-WO_3$  ガラスについて、中性子回折や放射光 X 線回折実験を行うことができた。得られた回折データからは、これら高秩序構造を有しているとされるガラス中では、酸素の充填度が一般的なガラスと比較して高くなっていることがわかった。また  $^{11}B$  MAS NMR スペクトルを詳細に解析することによって、これまでの研究では  $R_2O_3$  を主成分とする  $R_2O_3-B_2O_3$  ガラスでは、B は孤立  $BO_3$  としてのみ存在しているとしていたが、孤立  $BO_3$  だけでなく孤立  $BO_4$  の存在を強く示唆する実験結果を得た。そして孤立  $BO_4$  の存在割合は、希土類イオンのイオン半径に強く依存していた。

還元原子配列 (RAA) マップを他のガラス系に広げるために、新たなプログラム開発が進められた。その結果、MD シミュレーションなどで作製した三次元構造モデルから、種々のパラメータを調整しつつ速やかに RAA マップの作成が可能となった。例として、 $CaO-SiO_2$  二元系で  $CaO$  の濃度を 0 mol% から 100 mol% まで 10mol% 刻みで作成した構造モデルに対して、このソフトウェアを利用したところ、実験的にはバルクガラスが得られない  $CaO$  高濃度領域では、高秩序状態となっていることが確認できた。一方で通常の溶融法でバルクガラスが得られる  $CaO$  低濃度領域の RAA マップは、これまでとは異なる分布を描画しており、ネットワークガラス特有の構造も RAA マップから判定できる可能性があることがわかった (Figure 4)。RAA マップ作成に関する論文<sup>[3]</sup>は現在査読中であり、論文掲載後は既存のガラス構造解析・原子配列描画ソフトウェアに搭載される予定である。このソフトウェアを利用することで、誰でも容易に RAA マップが作成できるようになる。近年、ガラスという一見無秩序な固体においても一定の秩序があり、それを表現する方法が多く開発されている。その中で、RAA マップは無容器法で合成できるガラスが持つ高秩序原子配列を、定量評価する革新的な手法である。本研究の成果をさらに発展させる上で大きな一歩である。

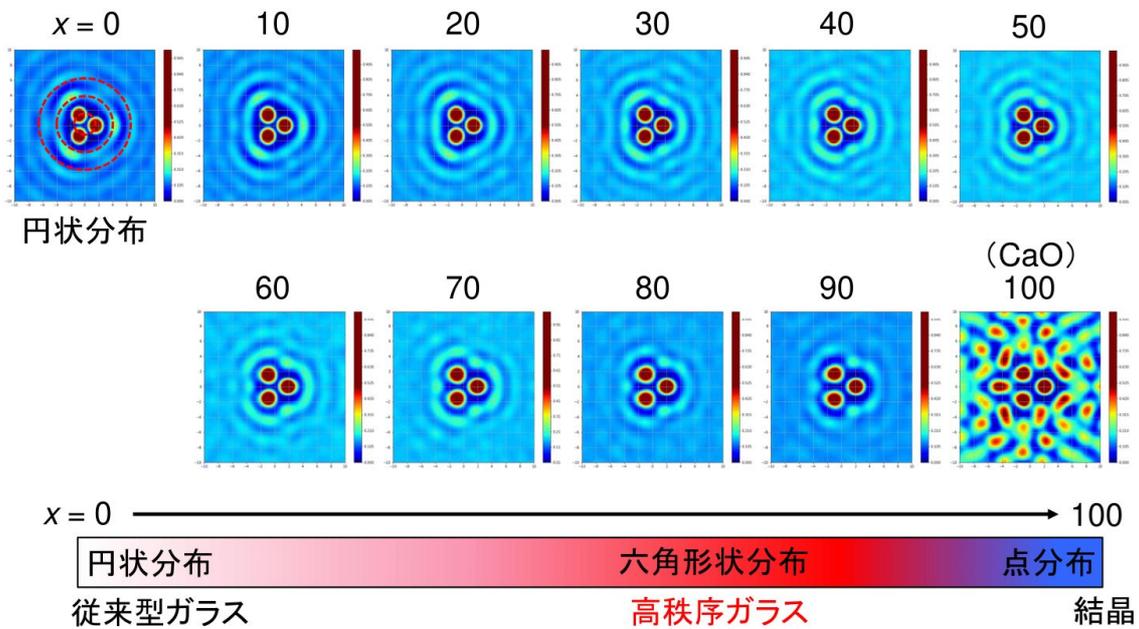


Figure 4. MD シミュレーションで作製した  $x\text{CaO}-(100-x)\text{SiO}_2$  ガラスの構造モデルをもとに計算した RAA マップ .

References:

- [1] T. Eguchi, H. Inoue, A. Masuno, K. Kita, F. Utsuno, *Inorganic Chemistry* **49**, 8298 (2020).
- [2] A. Masuno, S. Munakata, Y. Okamoto, T. Yaji, Y. Kosugi, Y. Shimakawa, *Inorganic Chemistry* **63**, 5701 (2024).
- [3] H. Inoue, A. Masuno, M. Shiga, submitted.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 7件）

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>H. Masai, S. Kohara, T. Wakihara, Y. Shibazaki, Y. Onodera, A. Masuno, S. Sukenaga, K. Ohara, Y. Sakai, J. Haines, C. Levelut, P. Hbert, A. Isambert, D. A. Keen, M. Azuma | 4. 巻<br>6         |
| 2. 論文標題<br>Siliceous zeolite-derived topology of amorphous silica  | 5. 発行年<br>2023年   |
| 3. 雑誌名<br>Communications Chemistry   | 6. 最初と最後の頁<br>269 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s42004-023-01075-1   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する      |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>T. Ohkubo, A. Masuno, E. Tsuchida, S. Ohki   | 4. 巻<br>128             |
| 2. 論文標題<br>Theoretical Insights into the 27Al NMR Parameters of Binary Aluminosilicate Glass and Their Relationship to the Atomic and Electronic Structure | 5. 発行年<br>2024年         |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Physical Chemistry C  | 6. 最初と最後の頁<br>1298-1311 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpcc.3c06292   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Shuseki, S. Kohara, T. Kaneko, K. Sodeyama, Y. Onodera, C. Koyama, A. Masuno, S. Sasaki, S. Hatano, M. Shiga, I. Obayashi, Y. Hiraoka, J. T. Okada, A. Mizuno, Y. Watanabe, Y. Nakata, K. Ohara, M. Murakami, M. G. Tucker, M. T. McDonnell, H. Oda, T. Ishikawa | 4. 巻<br>128           |
| 2. 論文標題<br>Atomic and Electronic Structure in MgO-SiO <sub>2</sub>  | 5. 発行年<br>2024年       |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Physical Chemistry A   | 6. 最初と最後の頁<br>716-726 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpca.3c05561  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Takebuchi, A. Masuno, D. Shiratori, K. Ichiba, A. Nishikawa, T. Kato, D. Nakauchi, N. Kawaguchi, T. Yanagida | 4. 巻<br>36            |
| 2. 論文標題<br>Scintillation Properties of Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Glasses             | 5. 発行年<br>2024年       |
| 3. 雑誌名<br>Sensors and Materials   | 6. 最初と最後の頁<br>579-585 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.18494/SAM4751  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>A. Masuno, S. Munakata, Y. Okamoto, T. Yaji, Y. Kosugi, Y. Shimakawa   | 4. 巻<br>63              |
| 2. 論文標題<br>Crystal-Like Atomic Arrangement and Optical Properties of 25La2O3-75MoO3 Binary Glasses Composed of Isolated MoO4 <sup>2-</sup> | 5. 発行年<br>2024年         |
| 3. 雑誌名<br>Inorganic Chemistry  | 6. 最初と最後の頁<br>5701-5708 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.inorgchem.4c00176  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>H. Inoue, Y. Watanabe, J. Chung, K. Kizaki, A. Masuno  | 4. 巻<br>13            |
| 2. 論文標題<br>Recovery of Se, Zr, Pd, and Cs from simulated high-level radioactive waste glass through phase separation | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Applied Glass Science   | 6. 最初と最後の頁<br>501-513 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/ijag.16600   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>A. Masuno  | 4. 巻<br>130           |
| 2. 論文標題<br>Functionalities in unconventional oxide glasses prepared using a levitation technique | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>563-574 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2109/jcersj2.22073  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>A. Masuno  | 4. 巻<br>91          |
| 2. 論文標題<br>Structure of Densely Packed Oxide Glasses Prepared Using a Levitation Technique | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Physical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>91003 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.7566/JPSJ.91.091003   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>H. Masai, H. Kimura, N. Kitamura, Y. Ikemoto, S. Kohara, A. Masuno, Y. Fujii, T. Miyazaki, T. Yanagida | 4. 巻<br>12          |
| 2. 論文標題<br>Densification in transparent SiO <sub>2</sub> glasses prepared by spark plasma sintering              | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports   | 6. 最初と最後の頁<br>14761 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-022-18892-4   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>S. Sasaki and A. Masuno   | 4. 巻<br>130         |
| 2. 論文標題<br>Composition dependence of the local structure and transparency of Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> binary glasses prepared via aerodynamic levitation | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>60-64 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2109/jcersj2.21124   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>H. Inoue, Y. Yanaba, Y. Watanabe, A. Masuno   | 4. 巻<br>62            |
| 2. 論文標題<br>Structure of AlP <sub>0.4</sub> AIF <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> BaF <sub>2</sub> fluorophosphate glass | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>Physics and Chemistry of Glasses - European Journal of Glass Science and Technology Part B                | 6. 最初と最後の頁<br>105-112 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.13036/17533562.62.4.04   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>J. Chung, H. Inoue, K. Yoshimoto, A. Masuno, Y. Watanabe  | 4. 巻<br>104             |
| 2. 論文標題<br>Optical properties of novel oxyfluoride glasses on the systems of LaF <sub>3</sub> -La <sub>0.3</sub> /2-Nb <sub>0.5</sub> /2 and LaF <sub>3</sub> -La <sub>0.3</sub> /2-Nb <sub>0.5</sub> /2-Al <sub>0.3</sub> /2 | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the American Ceramic Society   | 6. 最初と最後の頁<br>3963-3972 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/jace.17795  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計60件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 14件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Atsunobu Masuno   |
| 2. 発表標題<br>Functional Oxide Glasses Prepared by a Levitation Technique                           |
| 3. 学会等名<br>The 37th International Korea-Japan Seminar on Ceramics (KJ-Ceramics 37) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Atsunobu Masuno   |
| 2. 発表標題<br>Functionality and structure of levitation-synthesized oxide glasses |
| 3. 学会等名<br>ICG Annual Meeting 2023 (招待講演) (国際学会)                               |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Atsunobu Masuno   |
| 2. 発表標題<br>Multifunctionality in Rare-Earth-Rich Borate Glasses without B-O Networks   |
| 3. 学会等名<br>10th International Conference on Borate Glasses, Crystals, and Melts (Borate X) and 3rd International Conference on Phosphate Materials (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Shunta Sasaki, Atsunobu Masuno  |
| 2. 発表標題<br>Local Structure Analysis of Rare-earth Rich Borate Glasses  |
| 3. 学会等名<br>788. WE-Heraeus-Seminar, Beyond Imperfections: New Structure-Property Relationships in Ceramics and Glasses (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信, 手跡雄太, 小山千尋, 石川毅彦, 小原真司, 佐々木俊太, 佐藤宇應, 波多野昇平, 佐々木遥菜, 高橋映史弥, 棟方咲衣 |
| 2. 発表標題<br>国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」における La203-Nb205融液の熱物性計測                         |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2024年年会  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>棟方咲衣, 増野敦信, 手跡雄太                   |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成した La203-WO3-MoO3系ガラスの物性と構造 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2024年年会                  |
| 4. 発表年<br>2024年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信                            |
| 2. 発表標題<br>希土類ホウ酸ガラスにおける希土類酸化物の高含有化が及ぼす構造及び物性への影響 |
| 3. 学会等名<br>第6回固体化学フォーラム研究会                        |
| 4. 発表年<br>2024年                                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤宇應, 増野敦信, 築場豊, 井上博之             |
| 2. 発表標題<br>ZrO2またはMgOを添加した三元系ムライトガラスの構造と機械特性 |
| 3. 学会等名<br>第6回固体化学フォーラム研究会                   |
| 4. 発表年<br>2024年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>波多野昇平, 佐々木俊太, 増野敦信               |
| 2. 発表標題<br>R203-Ga203系ガラス (R は希土類元素) の構造と物性 |
| 3. 学会等名<br>第6回固体化学フォーラム研究会                  |
| 4. 発表年<br>2024年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>J. R. Stelhorn, S. Hosokawa, B. Paulus, B. D. Klee, W.-C. Pilgrim, N. Boudet, N. Blanc, H. Ikemoto, S. Kohara, Y. Sutou |
| 2. 発表標題<br>Interplay between atomic structure and physical properties in chalcogenide phase-change materials                       |
| 3. 学会等名<br>第6回固体化学フォーラム研究会   |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|                             |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名<br>手跡雄太, 増野敦信, 小原真司 |
| 2. 発表標題<br>酸化物融液・ガラスの構造解析   |
| 3. 学会等名<br>第6回固体化学フォーラム研究会  |
| 4. 発表年<br>2024年             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Hatano, A. Masuno, H. Inoue, Y. Yanaba                       |
| 2. 発表標題<br>Structural and physical properties of La203-Ga203-Al203 glasses |
| 3. 学会等名<br>MRM2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>S. Sasaki, A. Masuno, Y. Yanaba, H. Inoue  |
| 2. 発表標題<br>Relationship between Mechanical Properties and Formation of Non-bridging Oxygen in Rare-Earth Borate Glasses |
| 3. 学会等名<br>MRM2023 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>S. Shuseki, A. Masuno, C. Koyama, T. Ishikawa, S. Kohara                       |
| 2. 発表標題<br>Oxygen packed network topology for the glass formation in MgO-SiO <sub>2</sub> |
| 3. 学会等名<br>MRM2023 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>I. Sato, A. Masuno, Y. Yanaba, H. Inoue   |
| 2. 発表標題<br>Structural and mechanical properties of mullite glasses including ZrO <sub>2</sub> or MgO |
| 3. 学会等名<br>MRM2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>J. R. Stellhorn, A. Masuno, Y. Onodera, S. Kohara, H. Taniguchi             |
| 2. 発表標題<br>RMC modelling of bismuth silicate glass with a high dielectric permittivity |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第64回ガラスおよびフォトニクス材料討論会   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Sasaki, K. Tanaka, A. Masuno   |
| 2. 発表標題<br>Magneto-optical effect of rare-earth-rich borate glasses prepared by a levitation technique |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Powder and Powder Metallurgy, 2023, Kyoto (JSPMIC2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>波多野昇平, 増野敦信, 井上博之, 築場豊                |
| 2. 発表標題<br>R203-Ga203-Al203系ガラス (Rは希土類元素) の構造と物性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム                |
| 4. 発表年<br>2023年                                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋映史弥, 増野敦信                 |
| 2. 発表標題<br>ハイエントロピー化したAl203高含有ガラスの機械特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム      |
| 4. 発表年<br>2023年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木遥菜, 増野敦信                     |
| 2. 発表標題<br>Mn添加により青色を呈するアルカリ土類アルミネートガラスの合成 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会ガラス部会第54回夏季若手セミナー     |
| 4. 発表年<br>2023年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>棟方咲衣, 増野敦信                        |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成したLa2O3-WO3-MoO3系ガラスの物性と構造 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会ガラス部会第54回夏季若手セミナー       |
| 4. 発表年<br>2023年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋映史弥, 増野敦信                 |
| 2. 発表標題<br>ハイエントロピー化したAl2O3高含有ガラスの機械特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会ガラス部会第54回夏季若手セミナー |
| 4. 発表年<br>2023年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>榎本雄太, 増野敦信                     |
| 2. 発表標題<br>Eu <sup>2+</sup> を含んだ酸化物ガラスの特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会ガラス部会第54回夏季若手セミナー    |
| 4. 発表年<br>2023年                           |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                      |
| 2. 発表標題<br>廃棄物ガラス固化体に含まれるSとMoの局所構造解析 |
| 3. 学会等名<br>2023年度 SRセンター研究成果報告会      |
| 4. 発表年<br>2023年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木遥菜, 増野敦信                     |
| 2. 発表標題<br>Mn添加により青色を呈するアルカリ土類アルミネートガラスの合成 |
| 3. 学会等名<br>粉体粉末冶金協会 2023年度春季大会             |
| 4. 発表年<br>2023年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Sasaki, A. Masuno, Y. Yanaba, H. Inoue   |
| 2. 発表標題<br>Local structure analysis in rare-earth-rich borate glasses  |
| 3. 学会等名<br>The American Ceramic Society, 2023 Glass & Optical Materials Division, Annual Meeting (GOMD2023) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>A. Masuno, K. Yoshida, Y. Yanaba, H. Inoue, H. Taniguchi, S. Kohara   |
| 2. 発表標題<br>Structural and physical properties of Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> glasses prepared by a levitation technique |
| 3. 学会等名<br>The American Ceramic Society, 2023 Glass & Optical Materials Division, Annual Meeting (GOMD2023) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                                   |
| 2. 発表標題<br>無容器浮遊法が拓く新しいガラスの科学                     |
| 3. 学会等名<br>大阪大学大学院基礎工学研究科物性物理工学領域 固体物理セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信   |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成した高充填密度ガラスの機能と構造                        |
| 3. 学会等名<br>応用物理学会 極限的励起状態の形成と量子エネルギー変換研究グループ 第7回研究会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>A. Masuno   |
| 2. 発表標題<br>Functionalities in unconventional oxide glasses prepared using a levitation technique |
| 3. 学会等名<br>化学系学協会東北大会（招待講演）  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太，増野敦信                                    |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成した希土類高含有 La2O3-Y2O3-B2O3三元系ガラスの構造と機械特性 |
| 3. 学会等名<br>科研費学術変革領域研究（A）「超秩序構造が創造する物性科学」 第2回若手の学校       |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>波多野昇平，増野敦信，築場豊，井上博之，正井博和                |
| 2. 発表標題<br>CaO高含有 CaO-Al2O3-P2O5系ガラスの合成と物性         |
| 3. 学会等名<br>科研費学術変革領域研究（A）「超秩序構造が創造する物性科学」 第2回若手の学校 |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>佐々木遥菜, 増野敦信, 築場豊, 井上博之    |
| 2. 発表標題<br>Mn添加により青色を呈するアルミネートガラスの合成 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム    |
| 4. 発表年<br>2022年                      |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信, 井上博之, 築場豊 |
| 2. 発表標題<br>Lu203-SiO2二元系ガラスの物性と構造 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年<br>2022年                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                                    |
| 2. 発表標題<br>高充填密度ガラスの物性と構造                          |
| 3. 学会等名<br>科研費学術変革領域研究(A)「超秩序構造が創造する物性科学」 第4回成果報告会 |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信                             |
| 2. 発表標題<br>Lu203-SiO2二元系ガラスの物性と構造                  |
| 3. 学会等名<br>科研費学術変革領域研究(A)「超秩序構造が創造する物性科学」 第4回成果報告会 |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>阿保健太, 増野敦信                      |
| 2. 発表標題<br>MgO-SiO <sub>2</sub> 系ガラスの熱伝導特性 |
| 3. 学会等名<br>令和4年度 日本セラミックス協会 東北北海道支部研究発表    |
| 4. 発表年<br>2022年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>本間貴大, 増野敦信                   |
| 2. 発表標題<br>結晶とガラスの構造と光触媒活性比較            |
| 3. 学会等名<br>令和4年度 日本セラミックス協会 東北北海道支部研究発表 |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信, 築場豊, 井上博之   |
| 2. 発表標題<br>固体NMRによるLa <sub>2</sub> O <sub>3</sub> およびY <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含有ボレートガラスのB周囲の局所構造解析 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第63回ガラスおよびフォトンクス材料討論会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>棟方咲衣, 増野敦信, 築場豊, 井上博之  |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成したLa <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MoO <sub>3</sub> 系ガラスの物性と構造 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第63回ガラスおよびフォトンクス材料討論会                                      |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                    |
| 2. 発表標題<br>構造解析に関する分析法             |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2023年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>竹淵優馬, 増野敦信, 加藤匠, 中内大介, 河口範明, 柳田健之   |
| 2. 発表標題<br>無容器法によって作製した Tb407-Al203ガラスの放射線応答特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会                   |
| 4. 発表年<br>2023年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小田桐汐里, 増野敦信                        |
| 2. 発表標題<br>放電プラズマ焼結による Al203-SiO2二元系セラミックスの作製 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会                  |
| 4. 発表年<br>2023年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>福嶋宏之, 中内大介, 加藤匠, 河口範明, 柳田健之, 増野敦信                         |
| 2. 発表標題<br>Ce 添加 xLu203-(100-x)SiO2 (x = 35, 40, 45) ガラスの放射線誘起蛍光特性評価 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>正井博和, 小原真司, 脇原徹, 柴崎裕樹, 小野寺陽平, 増野敦信, 助永壮平, 尾原幸治, 酒井雄樹, 東正樹 |
| 2. 発表標題<br>Siliceous zeolite における室温圧縮による高密度化と構造緩和                    |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤宇應, 増野敦信, 築場豊, 井上博之                            |
| 2. 発表標題<br>ZrO <sub>2</sub> または MgO を添加した三元系ムライトガラスの構造と機械特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会                                |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>波多野昇平, 増野敦信, 築場豊, 井上博之  |
| 2. 発表標題<br>La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系ガラスの構造と物性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2023年年会   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                               |
| 2. 発表標題<br>無容器浮遊法が広げるガラスの科学                   |
| 3. 学会等名<br>第52回日本セラミックス協会ガラス部会夏季若手セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>A. Masuno  |
| 2. 発表標題<br>Structure of Hard Oxide Glasses prepared by a levitation technique |
| 3. 学会等名<br>Thermec'2021 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信                                       |
| 2. 発表標題<br>浮かせて作る超秩序構造ガラス                             |
| 3. 学会等名<br>学術変革領域研究(A)「超秩序構造が創造する物性科学」 第1回若手の学校(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>波多野昇平, 増野敦信, 築場豊, 井上博之, 正井博和  |
| 2. 発表標題<br>CaO高含有 CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 系ガラスの合成と物性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2022年年会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信, 井上博之, 築場豊  |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成した希土類高含有 La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 三元系ガラスの構造と機械特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2022年年会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>小林紘宇, 増野敦信, 築場豊, 井上博之  |
| 2. 発表標題<br>Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を添加したアルカリ土類高含有リン酸塩ガラスの合成と化学的耐久性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会2022年年会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>増野敦信, 佐々木俊太, 築場豊, 井上博之                  |
| 2. 発表標題<br>アルミノボロシリケートガラスの構造解析                     |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会ガラス部会放射性廃棄物分科会 第3回放射性廃棄物固化体討論 |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>A. Masuno, Y. Mikami, Y. Yanaba, S. Sasaki, H. Inoue  |
| 2. 発表標題<br>Structural and Mechanical properties of ZrO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> glasses prepared by a levitation technique     |
| 3. 学会等名<br>14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM14) including Glass & Optical Materials Division 2021 Annual Meeting (GOMD2021) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Sasaki, A. Masuno, Y. Yanaba, K. Ohara, H. Inoue, Y. Watanabe  |
| 2. 発表標題<br>Physical and structural properties of rare-earth-rich borate glasses  |
| 3. 学会等名<br>14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM14) including Glass & Optical Materials Division 2021 Annual Meeting (GOMD2021) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田健太, 増野敦信, 佐々木俊太, 築場豊, 井上博之          |
| 2. 発表標題<br>R203-SiO2 (R = Sc, Y, La)二元系ガラスの物性と構造 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第62回ガラスおよびフォトニクス材料討論会       |
| 4. 発表年<br>2021年                                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増野敦信, 三上優希, 築場豊, 井上博之                  |
| 2. 発表標題<br>無容器法で合成した Al2O3-SiO2-ZrO2ガラスの機械特性と構造解析 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム                 |
| 4. 発表年<br>2021年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田健太, 増野敦信, 谷口博基, 築場豊, 井上博之    |
| 2. 発表標題<br>Bi2O3-SiO2ガラスの第三成分添加による構造と誘電特性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム         |
| 4. 発表年<br>2021年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木俊太, 増野敦信, 井上博之, 築場豊              |
| 2. 発表標題<br>Gd2O3-B2O3および Y2O3-B2O3二元系ガラスの構造と物性 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム              |
| 4. 発表年<br>2021年                                |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

|                                 |                         |                         |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 産業財産権の名称<br>ガラス材                | 発明者<br>増野敦信, 鈴木太志, 佐藤史雄 | 権利者<br>弘前大学, 日本電気硝子株式会社 |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2021-151949 | 出願年<br>2021年            | 国内・外国の別<br>国内           |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

|  |
|--|
| 京都大学大学院工学研究科材料化学専攻ガラス基礎科学講座 増野研究室<br><a href="https://fgs.mc.kyoto-u.ac.jp/">https://fgs.mc.kyoto-u.ac.jp/</a> |
|--|

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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