

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05648

研究課題名(和文)量子ビーム実験・構造モデリング・トポロジカル解析の融合による非晶質材料の構造研究

研究課題名(英文) Structure of disordered materials revealed by a combination of quantum beam experiments, structure modelling, and topological analyses

研究代表者

小野寺 陽平 (Onodera, Yohei)

京都大学・複合原子力科学研究所・助教

研究者番号：20531031

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)：本研究ではガラス・アモルファスといった非晶質材料を対象とし、パルス中性子および放射光X線を用いた量子ビーム実験と計算機シミュレーションの連携によって、様々な機能性非晶質材料の3次元構造モデルを構築した。さらに先進的なトポロジカル解析手法を導入することによって、非晶質の乱れた構造に潜在する未知の構造秩序の抽出を試みた。典型的なガラス形成物質であるシリカガラスを起点とし、アルカリケイ酸塩ガラス、そして単成分中間酸化物ガラスを対象に量子ビーム実験・モデリング・トポロジカル解析が融合した解析アプローチによって、その機能発現に資する特徴的なネットワークトポロジーの抽出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではこれまでに「位相幾何学的(トポロジカル)に無秩序な構造である」とされてきた非晶質材料を対象とし、量子ビーム実験と計算機シミュレーション、トポロジカル解析を融合させたアプローチによって、実用材料の母体となるガラスを含む様々な非晶質材料の機能に重要な役割を果たす構造を明らかにすることに成功した。本研究における構造解析アプローチによって得られる非晶質材料のトポロジーに関する情報が蓄積されることで、新しい非晶質材料開発における設計指針が構築可能となり、我が国における非晶質材料創成がさらに活性化することが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to reveal the structure of disordered materials via a combination of quantum beam experiments and computer simulations with the aid of advanced topological analyses. To investigate the disordered structure beyond nearest-neighbor correlation length, three-dimensional atomistic structure models, which reproduce the multiple experimental dataset, were constructed. Furthermore, various topological analyses found that the network topology is an important structural feature for understanding properties of various functional disordered materials, e.g., silica, silicate, and single-component intermediate oxide glasses.

研究分野：無機工業材料、非晶質構造解析

キーワード：酸化物ガラス アモルファス 構造 中性子回折 X線回折

## 1. 研究開始当初の背景

ガラス・アモルファスといった非晶質材料は窓ガラス、ガラス瓶、レンズなどの光学ガラスとして古くから使用されており、近年でも光ファイバーをはじめ、化学強化ガラスがスマートフォンのカバーガラスとして、透明アモルファス酸化物半導体が液晶テレビの薄膜トランジスタ材料として使われるなど、我々の日常生活に不可欠な材料となっている。非晶質材料は、結晶材料と比べて組成と構造に高い自由度を有しており、昨今、理論計算である程度の物性予測が実現しつつある結晶に代わり、今後の材料研究の中心となっていくことが期待される物質である。よって、非晶質材料の機能発現メカニズムを理解し、その情報に基づいて構造と機能を自在に制御することができるようになれば、非晶質材料は従来にはない優れた性能を備えた新奇材料を生み出す大きな可能性を秘めている。しかし、非晶質材料の構造は結晶のような長周期的な構造秩序を持たず、非晶質の解析で定石とされてきた二体分布関数を用いた構造解析であっても乱れた構造を最近接距離を超えたスケールにおいて決定することは困難であったため、非晶質材料の構造と機能の関係はこれまで明らかにされておらず、「非晶質の構造というものはトポロジカルに無秩序である」というのが一般的な認識であった。

近年、大強度陽子加速器施設 J-PARC や大型放射光施設 SPring-8 といった量子ビーム実験施設が建設されたことによって、パルス中性子や放射光 X 線を用いた非晶質材料の構造計測技術がめざましく発展した。さらに計算機性能の進歩に伴い、逆モンテカルロ法に代表される非晶質材料の構造モデリング技術も著しく発展してきている。研究代表者らはこれまでの研究において、様々な機能性非晶質材料について量子ビーム実験を行い、実験データを逆モンテカルロ法と組み合わせることによって非晶質の信頼性の高い 3 次元構造モデルを構築し、非晶質中で特定の多面体がクラスタリングやネットワークを形成することが非晶質の機能に深く関わっていることを明らかにしている。このように、量子ビーム実験と構造モデリングを組み合わせた非晶質の 3 次元構造解析の実現により、非晶質の構造物性研究は新しい段階に進んだといえるが、3 次元構造モデルに対する解析のアプローチが依然として従来の二体相関をベースとした解析を踏襲したままとなっているため、「非晶質材料の機能発現にはどのような構造（トポロジー）が必要なのか」、「非晶質の構造にはそもそもトポロジーが存在するのか」という問題が、非晶質の構造物性研究の核心をなす解決すべき問題として存在していた。

## 2. 研究の目的

本研究では、ガラス・アモルファスといった非晶質材料を対象とし、大型量子ビーム施設において測定したパルス中性子および放射光 X 線回折データを利用したデータ駆動型の構造モデリングによって実験データを忠実に再現する非晶質の 3 次元構造モデルを構築する。そして、リング、空隙の解析とともに先端数理学に基づいたパーシステントホモロジー解析を導入することによって、これまではトポロジカルに無秩序とされてきた非晶質材料の構造に潜在する未知の秩序の抽出に挑戦する。典型的かつ単純な組成の非晶質材料の解析からスタートし、外場応答や修飾物質の添加による組成変化を行なった材料へと段階的に解析を行うことによって、非晶質材料におけるトポロジーと機能の相関を系統的に解明していくことを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、量子ビーム実験と構造モデリングによって構築した 3 次元構造モデルにパーシステントホモロジー (PH) 解析を適用することによって非晶質のトポロジーに立脚した非晶質材料の構造-機能相関の解明を試みる。PH 解析は、空間・図形の繋がり具合を調べるトポロジーを応用した数学的手法である (Y. Hiraoka *et al.*, *PNAS*, **113** (2016) 7035)。PH 解析では、図 1 に示すように 3 次元構造モデル中の各原子の座標を中心にして球を膨らませていき、膨らませた球 (原子) が隣の原子と接触して中心に穴を持ったリングを形成した時点を **Birth**、リングが発生した後も球を膨らませていってリングが消滅した時点を **Death** として 3 次元構造中のリングや空隙といった「穴」を解析する手法である。図 1 の一番下に示した図はシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) ガラスの 3 次元構造モデルの PH 解析によって得られたすべての **Birth** と **Death** のペアを 2 次元の散布図で示したパーシステント図 (PD) である。 $\text{SiO}_2$  ガラスの PD には対角線に沿った分布に加え

て、縦 (Death) 軸に沿った縦長のプロファイル (赤点線で囲んだ領域) が現れる。SiO<sub>2</sub> ガラスの PD に見られるこの縦長のプロファイルと同じ SiO<sub>2</sub> 組成を持った結晶の PD と比較することによって、SiO<sub>2</sub> ガラスの構造にはガラスに近い低密度の結晶相である  $\alpha$ -クリストバライトだけでなく、より高密度の結晶相である  $\alpha$ -石英やコーサイトに類似したトポロジーが存在していることが明らかになった。PH 解析には材料の 3 次元原子座標を入力ファイルとして必要とするだけで、その他のパラメータは一切必要としない。つまり、PH 解析を導入することで、これまでの二体相関を基にした解析では捉えられなかった乱れた構造に潜む秩序をまったく新しい切り口で、しかもパラメータフリーの解析によって抽出することが可能となる。本研究では量子ビーム実験と構造モデリングの相補利用による研究をベースとし、リングや空隙といった既往のトポロジー解析手法に加えて PH 解析を融合させることによって非晶質の構造 (トポロジー) と機能の相関を明らかにすることを試みた。

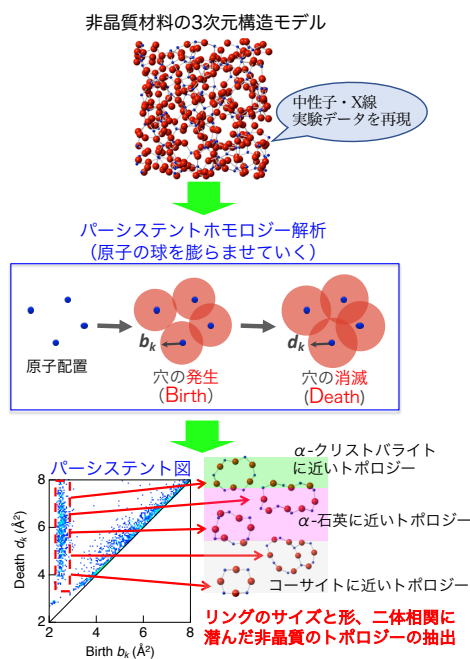


図 1 SiO<sub>2</sub> ガラスの 3 次元構造モデルに対するパーシステントホモロジー解析。

#### 4. 研究成果

##### (1) 非晶質材料における回折ピークの起源の系統的理解と先端トポジカル解析の適用

代表的な非晶質である SiO<sub>2</sub> ガラスの構造因子  $S(Q)$  (図 2(a)) において、散乱ベクトル  $Q$  の低い領域に観測される first sharp diffraction peak (FSDP) は中距離秩序の形成と相関しているとされ、長らく議論がされてきた。回折実験データと計算機シミュレーションを相補利用したアプローチによって、図 2(b)に示すような SiO<sub>2</sub> ガラスの実験データを再現する 3 次元構造モデルが構築され、FSDP の構造学的起源を SiO<sub>4</sub> 四面体の頂点共有ネットワークが  $2\pi/Q_{\text{FSDP}} \sim 4 \text{ \AA}$  ( $Q_{\text{FSDP}}$  は FSDP が観測される  $Q$  の値) の周期 (水色) で繰り返されるマゼンタの領域として抽出することに成功した。さらに PH 解析によって乱れた原子配列に潜んだトポロジーの抽出を試みた結果、SiO<sub>2</sub> ガラスの 3 次元構造モデルから図 1 の下部に示す PD が得られ、SiO<sub>2</sub> ガラスの構造にはガラスに近い低い密度の結晶相である  $\alpha$ -クリストバライト (緑) だけでなく、より高密度の結晶相である  $\alpha$ -石英 (マゼンタ) やコーサイト (灰色) に近いトポロジーが存在することが明らかとなり、特定の結晶相だけではなく、密度の違う複数の結晶相のトポロジーを内包することがガラスになりやすい物質の特徴であることが示された。

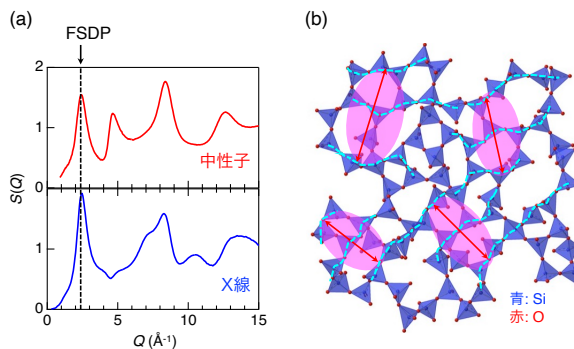


図 2 SiO<sub>2</sub> ガラスの (a) 中性子および X 線回折によって得られた構造因子  $S(Q)$ 、(b) 計算機シミュレーションによって構築された 3 次元構造モデル (厚さ 9 Å でスライスしたもの)。

##### (2) ケイ酸塩ガラスにおける混合アルカリ効果の起源の解明

混合アルカリ効果は、ガラス形成物質 (SiO<sub>2</sub> など) に修飾酸化物 (Na<sub>2</sub>O や K<sub>2</sub>O) を添加したことにより起こる現象で、Na<sub>2</sub>O や K<sub>2</sub>O を単独で添加したガラスに比べ、両者を混合して添加したガラスではイオンの伝導度が著しく低下する現象である。混合アルカリ効果はガラス科学において古くから知られていた研究トピックであり、そのメカニズムの原子レベルでの理解はガラスの設計・合成において重要な知見を与えるものである。本研究では Na<sub>2</sub>O と K<sub>2</sub>O をそれぞれ

単独で添加したガラス、 $\text{Na}_2\text{O}$  と  $\text{K}_2\text{O}$  を同一の比率で混合添加したガラス (混合アルカリガラス) の 3 種類のアリケイ酸塩ガラスを合成し、誘電率測定によって混合アルカリ効果が発現していることを確認した上で、放射光 X 線および中性子回折、NMR の実験データを同時に再現するガラスの 3 次元構造モデルを計算機シミュレーションによって構築した。得られた 3 次元構造モデル中のアルカリイオンの分布に着目し、上述の PH 解析によってアルカリイオンの PD を導出したところ、混合アルカリガラスにおいては、Na と K の異種イオンの間に強い相関が存在することがわかった。さらに、アルカリイオンが  $\text{SiO}_2$  ガラスに添加される際には  $\text{SiO}_4$  四面体の頂点共有ネットワークが切断され、非架橋となった O 原子の周囲にアルカリイオンが分布すると考え、アルカリイオンと非架橋 O 原子が作るリング構造としてアルカリイオン周囲の構造を抽出した。図 3(a) に混合アルカリガラスの 3 次元構造モデルから抽出されたアルカリイオンと非架橋 O 原子を中心として形成されるアルカリ-酸素多面体の空間分布を示す。このアルカリ-酸素多面体の分布から、図 3(b) に示すような単独でアルカリを添加したガラスには見られない、混合アルカリガラスに特有のイオン伝導を阻害する構造 (ボトルネック構造) が抽出された。このボトルネック構造では Na と K が対を形成し、K イオンが  $\text{K}_2\text{O}$  を単独で添加したガラスと比べてより多くの O 原子に配位されており、伝導を大きく阻害された環境に置かれていることが示され、混合アルカリ効果の起源となっていることが明らかになった。

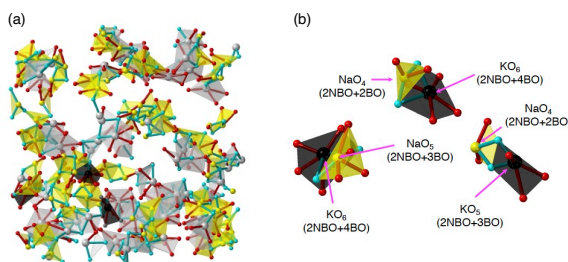


図 3 混合アルカリガラスの 3 次元構造モデルから抽出された (a) アルカリ-酸素多面体の分布と (b) 異種アルカリが強く相関して形成されるイオン伝導のボトルネック構造。

### (3) 中間酸化物アルミナガラスの構造研究

ガラス形成酸化物 ( $\text{SiO}_2$  など) と修飾酸化物 ( $\text{Na}_2\text{O}$  や  $\text{K}_2\text{O}$ ) の中間の性質を持つ中間酸化物に分類されるアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) は一般的な熔融急冷法では単成分の非晶質合成が不可能であった。本研究では Al 金属の陽極酸化を用いることで  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の単成分での非晶質化に成功し、さらに、この非晶質  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の熱分析結果にガラス転移点が確認されたことから、単成分中間酸化物ガラスを合成することに成功した。中性子、X 線、NMR のすべての実験データを忠実に再現する 3 次元構造モデルを計算機シミュレーションによって構築し、トポロジカル解析を適用した結果、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  ガラスの構造には四面体構造 ( $\text{AlO}_4$ ) に加えて  $\text{AlO}_5$  や  $\text{AlO}_6$  などの配位数の高い多面体ユニットが比較的高い比率で存在し、それらの多面体がお互いの稜を共有する構造 (図 4(a)) を数多く形成することがわかった。また、このような稜共有構造は酸素が 3 配位 (tricluster) や 4 配位 (tetracluster) という高い配位数を持つ (図 4(b)) ことによって実現され、アルミニウムと酸素がともにパッキングの高い状態にあることからガラス構造中に空隙 (原子のいない空間) が極端に少なくなっている (図 4(c)) ことが示された。このような  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ガラスの構造は、主として多面体の頂点共有ネットワークで形成される通常のガラスよりもむしろ結晶に近く、一般的なガラス形成則を完全に逸脱する構造であることが明らかになった。

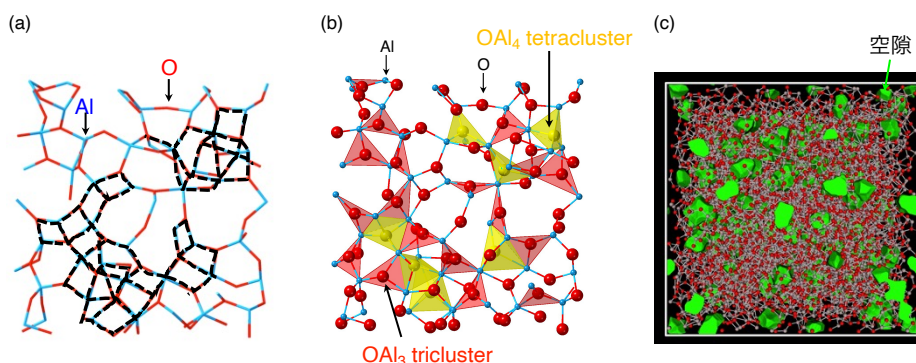


図 4  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ガラスの構造。 (a)  $(\text{Al}-\text{O})_n$  多面体の稜共有 (黒破線) が形成する格子状構造。 (b) 酸素周囲に形成される  $\text{OAl}_3$  tricluster および  $\text{OAl}_4$  tetracluster 構造。 (c) 空隙 (緑) の空間分布。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 ONODERA Yohei, KOHARA Shinji, TAHARA Shuta, MASUNO Atsunobu, INOUE Hiroyuki, SHIGA Motoki, HIRATA Akihiko, TSUCHIYA Koichi, HIRAOKA Yasuaki, OBAYASHI Ippei, OHARA Koji, MIZUNO Akitoshi, SAKATA Osami	4. 巻 127
2. 論文標題 Understanding diffraction patterns of glassy, liquid and amorphous materials via persistent homology analyses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 853 ~ 863
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19143	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 Onodera Yohei, Takimoto Yasuyuki, Hijiya Hiroyuki, Taniguchi Taketoshi, Urata Shingo, Inaba Seiji, Fujita Sanae, Obayashi Ippei, Hiraoka Yasuaki, Kohara Shinji	4. 巻 11
2. 論文標題 Origin of the mixed alkali effect in silicate glass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NPG Asia Materials	6. 最初と最後の頁 75-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-019-0180-4	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 Kohara Shinji, Shiga Motoki, Onodera Yohei, Masai Hirokazu, Hirata Akihiko, Murakami Motohiko, Morishita Tetsuya, Kimura Koji, Hayashi Kouichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Relationship between diffraction peak, network topology, and amorphous-forming ability in silicon and silica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22180-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-00965-5	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 Hashimoto Hideki, Onodera Yohei, Tahara Shuta, Kohara Shinji, Yazawa Koji, Segawa Hiroyo, Murakami Motohiko, Ohara Koji	4. 巻 12
2. 論文標題 Structure of alumina glass	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 516-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-04455-6	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20件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司, 青柳拓也, 内藤 孝, Jens R. Stellhorn, 細川伸也, 田尻寛男, Alex C. Hannon, Laszlo Pusztai, Pal Jovari
2. 発表標題 Structure of sustainable lead-free low-melting vanadate glass
3. 学会等名 25th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平, 橋本英樹, 田原周太, 小原真司, 瀬川浩代, 村上元彦, 尾原幸治
2. 発表標題 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ガラスの構造
3. 学会等名 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 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司
2. 発表標題 永久高密度化シリカガラスの構造
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司, 井上博之, 増野敦信, Anita Zeidler, Philip S. Salmon
2. 発表標題 永久高密度化シリカガラスの構造とダイナミクス
3. 学会等名 第 62 回ガラスおよびフォトンクス材料討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司, 青柳拓也, 内藤 孝, Jens R. Stellhorn, 細川伸也, 田尻寛男, Alex C. Hannon, Laszlo Pusztai, Pal Jovari
2. 発表標題 鉛フリーバナジウム系低融点ガラスの構造
3. 学会等名 第35回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Onodera, Y. Takimoto, H. Hijiya, T. Taniguchi, S. Urata, S. Inaba, S. Fujita, I. Obayashi, Y. Hiraoka, S. Kohara
2. 発表標題 Structural origin of the mixed alkali effect in silicate glass
3. 学会等名 THERMEC ' 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平
2. 発表標題 量子ビームを用いた機能性非晶質材料の構造 機能相関に関する研究
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「固相における秩序とは何か：機能を生み出す秩序の概念展開」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平
2. 発表標題 世界一構造秩序のあるガラスの合成と構造解析
3. 学会等名 第143回ニューガラスフォーラム若手懇談会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平, 橋本英樹, 田原周太, 小原真司, 瀬川浩代, 村上元彦, 尾原幸治
2. 発表標題 アルミナガラスの構造
3. 学会等名 日本物理学会2022年年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司, 青柳拓也, 内藤 孝, Jens R. Stellhorn, 細川伸也, 田尻寛男, Alex C. Hannon, Laszlo Pusztai, Pal Jovari
2. 発表標題 バナジウム系低融点ガラスの構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司
2. 発表標題 P205ガラスにおけるネットワーク構造のトポロジカルデータ解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野寺陽平
2. 発表標題 位相的データ解析による非晶質材料の構造研究
3. 学会等名 応用数理学会2020年年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 小野寺陽平
2. 発表標題 鋭い回折ピークを持つ液体: ガラス化しやすさのトポロジカルな分類
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会 企画講演『硬X線回折・散乱による物性研究の最前線』(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺陽平
2. 発表標題 トポロジカル解析による非晶質材料の構造 物性・機能相関の研究(奨励賞受賞講演)
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Onodera, Y. Takimoto, H. Hijiya, T. Taniguchi, S. Urata, S. Inaba, S. Fujita, I. Obayashi, Y. Hiraoka, S. Kohara
2. 発表標題 Structure of silicate glass revisited: Reconciling the mixed alkali effect
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohei Onodera, Shinji Kohara, Hiroyuki Inoue, Akihiko Hirata, Motohiko Murakami
2. 発表標題 Topological analyses on SiO <sub>2</sub> glass under ultrahigh pressure
3. 学会等名 14th International Conference on The Structure of Non-crystalline Materials (NCM14)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野寺陽平, 小原真司, 滝本康幸, 土屋博之, 谷口健英, 浦田新吾, 稲葉誠二, 藤田早苗, 大林一平, 平岡裕章
2. 発表標題 ケイ酸塩ガラスの混合アルカリ効果に資する構造特徴量の抽出
3. 学会等名 第60回ガラスおよびフォトニクス材料討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohei Onodera, Shinji Kohara, Hiroyuki Inoue, Motohiko Murakami
2. 発表標題 Ultra-high pressure form of SiO <sub>2</sub> glass with dense pyrite-type crystalline homology
3. 学会等名 25th International Congress on Glass (ICG2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 64.Y. onodera, S. Kohara, Shuta Tahara, A. Masuno, H. Inoue, M. Shiga, A. Hirata, K. Tsuchiya, Y. Hiraoka, I. Obayashi, K. Ohara, O. Sakata
2. 発表標題 Understanding of diffraction pattern and homology in disordered materials
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 65.Y. Onodera, S. Kohara, Y. Takimoto, H. Hijiya, T. Taniguchi, S. Urata, S. Inaba, S. Fujita, I. Obayashi, Y. Hiraoka
2. 発表標題 Extraction of structural features for mixed alkali effect in silicate glass
3. 学会等名 1st PanPacific Reverse Monte Carlo Conference (国際学会)
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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