

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03121

研究課題名(和文) 硬さと割れにくさを兼ね備えたガラスの合成と構造解析

研究課題名(英文) Physical and structural properties of hard and crack-resistant oxide glasses prepared by a levitation technique

研究代表者

増野 敦信 (Masuno, Atsunobu)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00378879

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無容器法を用いて、従来ガラス化しないと思われていた組成域において、新規高充填密度ガラスを合成し、その機械特性の評価や、構造解析を行った。Al₂O₃-Ta₂O₅系、や Al₂O₃-SiO₂系をベースとした組成では、ヤング率150GPaを超える硬さを有する超高硬度ガラスが得られた。MgO-SiO₂-P₂O₅系でも新たに合成したMgO高含有ガラスが、MgO低含有ガラスの約2倍の硬度を示すことを見いだした。構造解析の結果から、これらのガラスの局所構造は、一般的なガラスとは大きく異なっており、より充填密度を上げられるような原子配列となっていることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無容器法を用いることで、従来ガラス化しないと思われていた組成域において、これまでのガラスの常識を超える機械的強度をもつ新たな材料、すなわち「本質的に」硬いガラス、割れないガラス、そして、硬くて割れないガラスを開発することに成功した。多角的な構造解析の結果から、これらのガラスの局所構造が従来のネットワークガラスとは大きく異なること、そしてそのことが充填密度を上げ、硬さと割れにくさの向上に寄与していることを明らかにした。硬くて割れないガラスの組成設計指針の確立に資する、構造と物性の相関に関する情報が得られた。

研究成果の概要(英文)：Densely packed oxide glasses that are out of the conventional glass-forming rule were prepared by a levitation technique. Al₂O₃-Ta₂O₅-based and Al₂O₃-SiO₂-based glasses exhibited superior mechanical properties such as large elastic modulus (Young's modulus was greater than 150 GPa). In the ternary system of MgO-SiO₂-P₂O₅, the hardness of the MgO-rich glasses was much higher than those of conventional MgO-poor glasses. Structural analyses suggested that the local structures of these hard glasses were clearly different from those of conventional oxide glasses, and led to densely packed atomic arrangements.

研究分野：固体化学

キーワード：無容器法 ビッカース硬度 クラックレジスタンス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ガラスは脆くて割れやすい。最新の携帯端末用ディスプレイには、割れにくくするために化学強化したガラスが使われている。これは表面の Na^+ をより大きな K^+ とイオン交換することで圧縮応力層を形成させ、クラック(ひび)が発生してもその伸展が抑えられるよう化学処理したガラスである。化学強化ガラスは優れた製品だが、強化プロセスが後加工であり高コストになりやすいこと、そもそも強化できるガラス組成が限られている、などの課題がある。強化プロセスを必要としない、本質的に硬い(薄くても丈夫な)ガラス、そして割れないガラスの開発は、ガラス科学を大きく発展させるだけでなく、応用の観点からも強く求められており、今現在優先して取り組むべき重要な研究テーマである。

酸化物ガラスの「硬さ」は、ピッカース硬度や弾性率によって評価されることが多い。ピッカース硬度 H_V は、ヤング率 E とイオン充填率におおよそ比例し、ヤング率 E は、イオン充填率とカチオン - 酸素間の解離エネルギー G_i とに比例する。従って充填密度が大きく、かつ解離エネルギーの大きい酸化物成分を多く含むガラスが、「硬い」ガラスになると言える。しかしガラスとは一般に、 SiO_2 、 B_2O_3 、 P_2O_5 等の網目形成酸化物が主成分となって三次元不規則ネットワーク構造を形成しているため、必然的に粗な構造であり、充填密度を上げることは難しい。また網目形成酸化物の解離エネルギーは一般に小さい。そのため典型的な酸化物ガラスのヤング率は 60~80 GPa 程度にすぎない。それでも解離エネルギーの大きな Al_2O_3 や La_2O_3 などを添加した SiO_2 系ガラスにおいて、 $E \sim 130$ GPa、 $H_V \sim 8$ GPa に達するガラスが開発されたが、硬いガラスの組成探索は 2000 年頃までにはほぼ終了していた。

そうした状況の中で我々は、無容器法を用いることで、網目形成酸化物を含まない組成でもガラス化させられることを示した。新たに合成した網目形成酸化物を含まないガラスの多くには、ネットワーク構造が無い、あるいは発達しておらず、結果的に極めて高い充填密度が実現されていることがわかってきた。その中で特に Al_2O_3 と Ta_2O_5 のみからなるガラスが、酸化物ガラス中で最高レベルのヤング率(159 GPa)とピッカース硬度(9.1 GPa)を有することを報告した。(G. Rosales, A. Masuno *et al.*, *Scientific Reports* 5, 15233 (2015).) 鋳鉄のヤング率が 152 GPa、鋼が 200 GPa 程度であることと比較すると、 Al_2O_3 - Ta_2O_5 二元系ガラスは、ガラスよりも鋼に近い機械的特性を有していることがわかる。

一方、ガラスが割れるとは、応力によってクラックが発生、伸展し、破壊に至る現象である。割れないガラスとなるには、クラックの発生を抑えればよい。それには局所的な力が加わったとき、原子がわずかに動くことで力を逃す(緩和)ことが有効である。緩和機構として高密度化(densification)とずれ剪断流動(shear flow)があるが、酸化物ガラスのように充填密度が低い材料の場合、高密度化が主機構となる。つまり、より低い充填密度のガラスの方が高密度化の程度は大きくなるため、割れにくくなる。ところがガラスの充填密度とヤング率は比例することを考えると、こうしたガラスは「柔らかい」。従って酸化物ガラスにおいて「硬い」と「割れない」は、両立できない特性とされている。それに対して我々は、無容器法で合成した Al_2O_3 - SiO_2 二元系ガラスにおいて、 Al_2O_3 含有量を増やすと、充填密度と弾性率が大きくなること、さらに、急激にクラックが発生しにくくなるという現象を発見した。(G. Rosales, A. Masuno *et al.*, *Scientific Reports* 6, 23620 (2016).) 特に $60\text{Al}_2\text{O}_3$ - 40SiO_2 ガラスは、約 50 N という極めて大きな力で圧子を押しつけてもクラックが発生しなかった。この値は一般的な酸化物ガラスの数倍以上であり、大きな注目を集めた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでのガラスの常識を超える機械的強度をもつ新たな材料、すなわち「本質的に」硬いガラス、割れないガラス、そして、硬くて割れないガラスを開発することである。本研究では無容器法を用いることで、従来ガラス化しないと思われていたような組成の新規高充填密度ガラスを合成し、その機械特性を多角的に評価した。これまでに超硬ガラスと割れにくいガラスの合成に成功しているが、その特異な特性の起源は明らかではなく、またこれらのニューガラスをベースとした新組成探索もほとんど行われていない。そこでこれらのガラスが示す優れた機械特性に対する支配因子を、物性評価や構造解析を通じて原子レベルで明らかにすることを試みた。見出された硬さの起源、割れにくさの起源をもとに、超硬ガラスと割れにくいガラスの組成を適切に組み合わせる組成設計指針を確立し、硬さと割れにくさを兼ね備えたガラスの開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究で行う実験は、その内容から 3 つカテゴリー(ガラス合成、物性評価、構造解析)に分けられる。これらを平行して進め、互いにその結果をフィードバックさせることでより効率的に研究を進めた。

ガラスの合成は、ガス浮遊炉を用いた無容器法によって行った。無容器法とは、試料を浮遊させた状態で、レーザー等の非接触加熱により溶融、凝固させる手法である。容器との接触界面が無いので、通常の溶融急冷法では冷却時にしばしば生じる容器壁面からの不均一核生成が極限まで抑制される。これにより、従来ガラス化しないと思われていた物質でもガラス化させることが可能となる。本研究で用いたガス浮遊炉は、ノズル上にセットした試料を下から吹き付けるガス流によって浮遊させ、レーザーで溶融する自作の装置である。到達温度に上限は無く、全ての

酸化物の溶融が可能である。また、雰囲気調整（ガス種や圧力）も容易であるため、合成条件を幅広く検討し最適化することができる。得られるガラスの大きさは直径 1~5 mm 程度の球である。ガラス球が一つあれば、本研究で行うほぼすべての物性測定が可能である。

得られたガラスの物性としては、熱物性（ガラス転移温度、結晶化温度）、密度、充填密度、紫外・可視・赤外透過性、音速、弾性率、ピッカース硬度、負荷除荷曲線、クラック抵抗値などを評価した。

ガラスの構造解析には、ラマン散乱分光、FT-IR、MAS NMR、放射光 X 線回折、X 線吸収微細構造（XAFS）、分子動力学シミュレーションなどを利用した。これらの結果を相補的に考察することで、より信頼性の高いガラス構造のモデルを構築した。

4. 研究成果

これまでに我々がガラス化範囲を報告した $R_2O_3-Al_2O_3$ 二元系（ R は希土類）ガラスの中で、最も希土類の種類を変更できる $32R_2O_3-68Al_2O_3$ ガラスについて、弾性率やクラック抵抗値が充填密度に依存して系統的に変化することを見いだした（Figure 1）。この変化は、希土類イオンのランタノイド収縮に起因するものであり、ガラスの局所構造を適切に制御して弾性率を制御する道筋が見つかったことを意味する。弾性率は、ガラス化範囲中で最も充填密度の大きい $R = Er$ において最高値を更新した（ $E = 162.9$ GPa）。ただしクラック抵抗値は充填密度の増加とともに減小しており、硬さと割れにくさの両立はこの系では難しいことがわかった。主成分が Al_2O_3 だけでは、硬さは増大するものの割れにくさの向上は見込めない。 $Al_2O_3-SiO_2$ 系の特異さを際立たせた結果と言える。

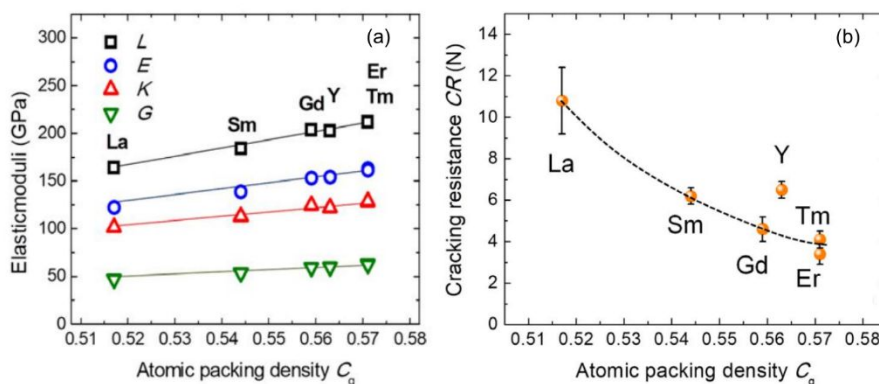


Figure 1. $32R_2O_3-68Al_2O_3$ ガラスの機械特性（(a) 弾性率、(b) クラック抵抗値）の充填密度依存性。

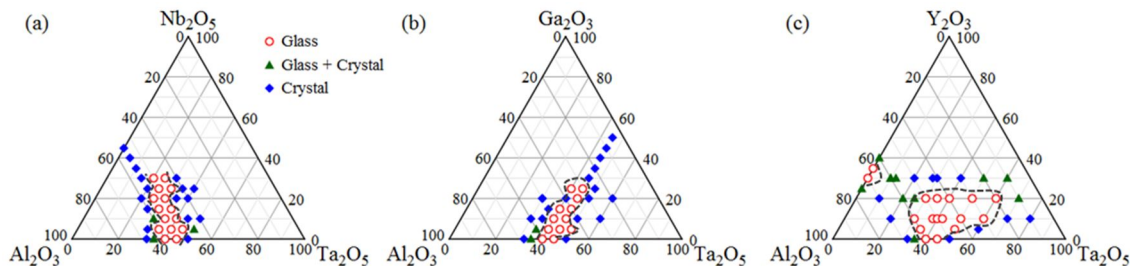


Figure 2. $Al_2O_3-Ta_2O_5-MO_x$ 三元系の相図。 $MO_x =$ (a) Nb_2O_5 , (b) Ga_2O_3 , (c) Y_2O_3 。

超硬ガラスである $Al_2O_3-Ta_2O_5$ 二成分系に第三成分として、 Nb_2O_5 , Ga_2O_3 , Y_2O_3 を添加したところ、ガラス化範囲の大幅な拡大を確認した（Figure 2）。 Y_2O_3 が 10~20mol% の組成域では、浮遊していてもガラス化するものが見つかっていることから、今後の大型化が期待できる。得られたガラスについてはガラス転移温度、密度、弾性率、硬度、クラック抵抗などの基本的な物性データを取得し、その組成依存性を明らかにした。三元系に組成を拡張したことによる硬度の減少は確認されていない。Raman 散乱スペクトルや ^{27}Al MAS NMR スペクトルからは、 $Al_2O_3-Ta_2O_5-MO_x$ 三元系において、局所構造に大きな変化がないことがわかった。通常のガラスの場合、追加成分は添加という形でそれ自身の局所構造をとるようにガラス中に入るが、 $Al_2O_3-Ta_2O_5$ 系に追加した Nb は Ta

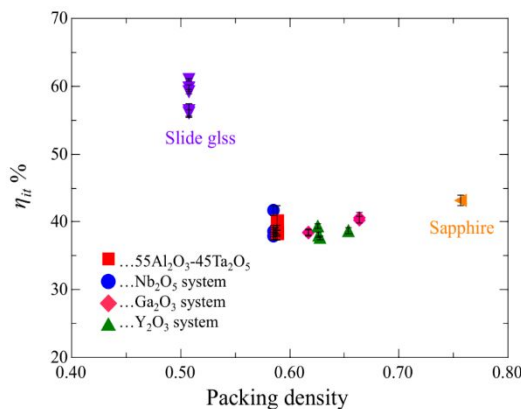


Figure 3. $Al_2O_3-Ta_2O_5-MO_x$ 三元系ガラスの弾塑性比率の充填密度依存性。

と, Ga は Al と同様の局所構造をとることが推測される. これは添加ではなく置換が生じていることを意味しており, これら高充填密度ガラスが通常のネットワークガラスとは異なったガラスの成り立ちを有していると考えられる. ガラス形成能の向上, ガラス転移温度の低下, ガラス構造の安定性などを考慮すると, 本研究で開発した新しいガラス系は, 優れた機械的強度を保持したまま, より実用材料へと近づいたといえる. 微小硬度計によって弾塑性変形比率を計測したところ, 一般的なガラスとは大きく異なる変形機構であること, すなわちネットワーク型酸化物ガラスよりも, ランダム充填型金属ガラスのようにずれ変形を示すことがわかった (Figure 3).

$\text{La}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系ガラスの合成に新たに成功した. 得られたガラスは紫外から赤外まで優れた光透過性を有していただけでなく, 低フォノンエネルギーであることにより, Er^{3+} を添加することで, 優れた赤外発光特性を示した. この二元系について機械特性を評価したところ, ヤング率はおおよそ 125 GPa と比較的高硬度を示し, La_2O_3 含有量を多くすると減少する傾向が見られた. これは La_2O_3 増加に伴う充填密度の減少に起因する結果である.

MgO は CaO や SrO , BaO などのアルカリ土類酸化物と同様に, 従来のガラス科学では修飾酸化物と見なされており, 含有量を多くすることは出来ないと認識されている. ところが 67MgO-33SiO_2 組成は, 無容器法によって合成することができる. イオン半径が小さく, 価数が高いたる Mg^{2+} は, イオン電場強度が大きいイオンの一つである. そのため, しばしば Na^+ や Ca^{2+} などの一般的な網目修飾イオンとは異なる影響, すなわちより充填密度を高くすること, をガラス構造に及ぼすことが知られている. さらに MgO 高含有領域では, MgO_n がネットワークに参画すると提案されている. このような特異なガラスの機械特性は興味深い. そこで組成範囲を拡張した $\text{MgO-SiO}_2\text{-PO}_{5/2}$ 三元系において, ガラス合成を試みたところ, MgO を 67 mol% 含有できるガラスの開発に成功した (Figure 4). ビッカース硬度はおおよそ 7 GPa であり, MgO 低含有ガラスの $33\text{MgO-67PO}_{5/2}$ の約 2 倍に達していた. Raman 散乱スペクトルから, SiO_4 は非架橋酸素が 3 つの Q^1 か 4 つの酸素が全て非架橋酸素の Q^0 となっていること, PO_4 は Q^0 としてのみ存在することがわかった. 放射光 X 線回折実験から得られた構造因子と全相関関数をよく再現する構造モデルを, 分子動力学シミュレーションによって作製した (Figure 5). この構造モデルを解析したところ, SiO_4 や PO_4 の局所構造の分布は Raman 散乱スペクトルの結果とほぼ一致していた. またこれら MgO 高含有組成のガラスでは, MgO の配位数は, 4 から 6 の間に分布していることがわかった (Figure 6). このような構造は, 従来型のガラス形成則からはみ出した現象である. Mg 周囲の特異な局所構造に由来して, 高硬度ガラスの開発へと繋げることができた.

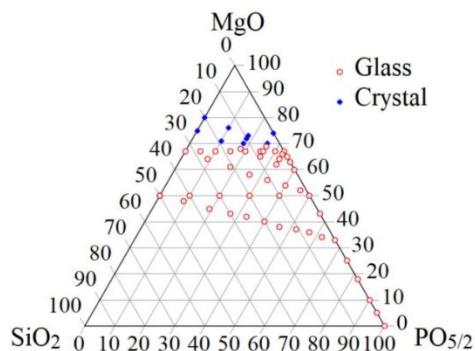


Figure 4. $\text{MgO-SiO}_2\text{-PO}_{5/2}$ 三元系の相図.

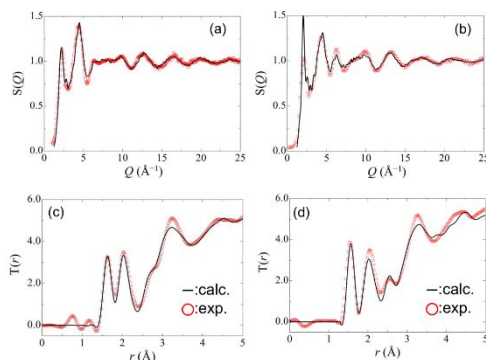
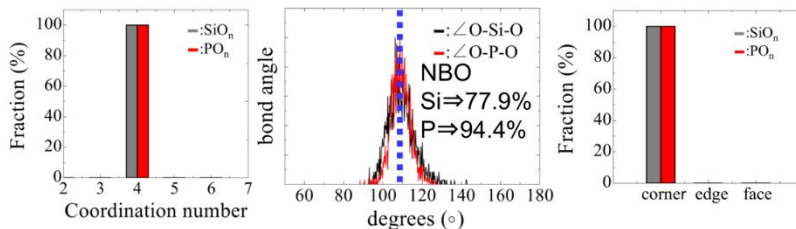


Figure 5. 放射光 X 線回折実験と分子動力学計算から得られた構造因子 ((a) 67MgO-33SiO_2 , (b) $67\text{MgO-33PO}_{5/2}$) と全相関関数 ((c) 67MgO-33SiO_2 , (d) $67\text{MgO-33PO}_{5/2}$).

local structure around Si and P



local structure around Mg

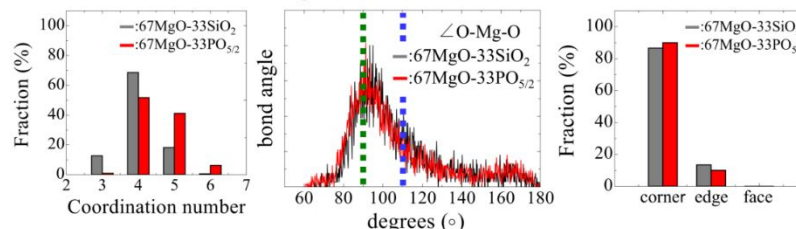


Figure 6. 分子動力学シミュレーションで作製したガラス構造モデルにおける 67MgO-33SiO_2 と $67\text{MgO-33PO}_{5/2}$ ガラスの局所構造.

割れにくいガラスである $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 二元系に ZrO_2 を添加することで、これまでで最も硬いガラス (ヤング率 $E = 166 \text{ GPa}$) の合成に成功した。ガラス形成能も格段に向上し、三元系の多くの組成で、浮遊させなくても融液からガラスが形成された。今後の大型化が期待できる。 ^{27}Al MAS NMR の結果からは、 ZrO_2 含有量が増加するとともに、Al の平均配位数がわずかであるものの、線形的に増加することが見いだされた。 ^{29}Si MAS NMR スペクトルについては、まだ統計精度の低いデータしか得られておらず明確なことは言えないが、 SiO_4 には非架橋酸素はほとんどないことが推定できる。Zr については、Zr K 吸収端での XAFS スペクトルを取得した。Zr の配位数は 6 から 8 の間であり、 ZrO_2 添加量が多いほど配位数も大きくなった。これは ZrO_2 含有量が多くなることで、Zr の局所構造が、 ZrO_6 八面体から ZrO_2 結晶にみられる ZrO_7 により近づいていること、そしてガラス構造がより稠密になっていくことを示唆している。 AlO_n ($n = 4, 5, 6$)、 SiO_4 、 ZrO_n ($n = 6, 7, 8$) 多面体同士の結合様式については、まだ情報が得られておらず、今後の課題である。割れにくさに関しては、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 二元系で見られた極めて大きなクラック抵抗値が、 ZrO_2 添加によって、大きく減少した。ただし、最大のクラック抵抗値を示す $60\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}40\text{SiO}_2$ ガラスと、Al:Si 比を同じになるように ZrO_2 を添加した系では、クラック抵抗値の減少幅が小さかった。このことは、 $60\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}40\text{SiO}_2$ ガラスの大きなクラック抵抗値の原因は、 AlO_n や SiO_4 などの個別の局所構造ユニットによるものではなく、それらが適切な割合、適切な様式で結合したことによることを強く指し示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 K. Ohara, Y. Onodera, S. Kohara, C. Koyama, A. Masuno, A. Mizuno, J. T. Okada, S. Tahara, Y. Watanabe, H. Oda, Y. Nakata, H. Tamaru, T. Ishikawa, O. Sakata	4. 巻 37
2. 論文標題 Accurate Synchrotron Hard X-ray Diffraction Measurements on High-Temperature Liquid Oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Microgravity Science and Application	6. 最初と最後の頁 370202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011/jasma.37.2.370202	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 INOUE Hiroyuki, MASUNO Atsunobu, SAITO Atsuki, WATANABE Yasuhiro, TOKUDA Kazuya, SAITO Yoshihiro, IIHARA Junji	4. 巻 128
2. 論文標題 An XAFS study of the local structure of Eu ³⁺ ions in glasses prepared by a levitation technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 279 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20043	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 Gaida Nico A., Nishiyama Norimasa, Beermann Oliver, Schurmann Ulrich, Masuno Atsunobu, Giehl Christopher, Niwa Ken, Hasegawa Masashi, Bhat Shrikant, Farla Robert, Kienle Lorenz	4. 巻 2
2. 論文標題 Microstructural effects on hardness and optical transparency of birefringent aluminosilicate nanoceramics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Ceramic Engineering & Science	6. 最初と最後の頁 76 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ces2.10036	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 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masuno Atsunobu, Iwata Takashi, Yanaba Yutaka, Sasaki Shunta, Inoue Hiroyuki, Watanabe Yasuhiro	4. 巻 48
2. 論文標題 High refractive index La-rich lanthanum borate glasses composed of isolated B03 units	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 10804 ~ 10811
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9dt01715a	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 Ohira I., Kono Y., Shibasaki Y., Kenney-Benson C., Masuno A., Shen G.	4. 巻 10
2. 論文標題 Ultrahigh pressure structural changes in a 60 mol. % Al2O3-40 mol. % SiO2 glass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemical Perspectives Letters	6. 最初と最後の頁 41 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7185/geochemlet.1913	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 井上博之, 馬田拓実, 増野敦信	4. 巻 1
2. 論文標題 第一原理計算からのTiO2を含む結晶とガラスの光学特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NEW GLASS	6. 最初と最後の頁 3 ~ 7
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 無
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 Yoshimoto Kohei, Ezura Yoshinobu, Ueda Motoi, Masuno Atsunobu, Inoue Hiroyuki, Mizuguchi Masafumi	4. 巻 44
2. 論文標題 Fluorescence characterization of heavily Eu3+-doped lanthanum gallate glass spheres with high quenching concentration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 875 ~ 875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.44.000875	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 Hashimoto Hideki, Sayo Kotaro, Asoh Hidetaka, Fujii Tatsuo, Takano Mikio, Masuno Atsunobu	4. 巻 109
2. 論文標題 Bright greenish-yellow pigments based on Sc ₂ -xFexO ₃ solid solutions with bixbyite structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Research Bulletin	6. 最初と最後の頁 190 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.materresbull.2018.09.035	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 Yamada A., Harada M., Masuno A., Yamanaka K., Higo Y., Yoshida S., Ohta T., Matsuoka J.	4. 巻 499
2. 論文標題 In-situ observation of the structural change in MgO-B ₂ O ₃ -SiO ₂ glass at high pressure and the permanent structural change	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 25 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2018.07.002	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 Rosales-Sosa Gustavo A., Masuno Atsunobu, Higo Yuji, Watanabe Yasuhiro, Inoue Hiroyuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Effect of rare-earth ion size on elasticity and crack initiation in rare-earth aluminate glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 5030 ~ 5036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.15760	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 Tokuda Kazuya, Iihara Junji, Saito Yoshihiro, Masuno Atsunobu, Inoue Hiroyuki	4. 巻 149
2. 論文標題 Structural analysis of sulfuric acid solutions containing Ti and Mn using x-ray diffraction, x-ray absorption fine structure, and molecular dynamics simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 014503 ~ 014503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5024950	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 小原真司, 小野寺陽平, 田原周太, 増野敦信, 井上博之, 土谷浩一, 坂田修身	4. 巻 33
2. 論文標題 ガラス・液体・アモルファス材料の回折パターンの理解	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NEW GLASS	6. 最初と最後の頁 3~7
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 無
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 Yoshimoto Kohei, Ezura Yoshinobu, Ueda Motoi, Masuno Atsunobu, Inoue Hiroyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 2.7 μm Mid-Infrared Emission in Highly Erbium-Doped Lanthanum Gallate Glasses Prepared Via an Aerodynamic Levitation Technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1701283 ~ 1701283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201701283	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 Yoshimoto Kohei, Masuno Atsunobu, Ueda Motoi, Inoue Hiroyuki, Yamamoto Hiroshi, Kawashima Tatsunori	4. 巻 101
2. 論文標題 Thermal and optical properties of La2O3-Ga2O3- (Nb2O5 or Ta2O5) ternary glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 3328 ~ 3336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.15484	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 Gaida Nico A., Nishiyama Norimasa, Masuno Atsunobu, Sch?rmann Ulrich, Giehl Christopher, Beermann Oliver, Ohfuji Hiroaki, Bednarcik Jozef, Kulik Eleonora, Holzheid Astrid, Irifune Tetsuo, Kienle Lorenz	4. 巻 101
2. 論文標題 Transparent polycrystalline nanoceramics consisting of triclinic Al2SiO5 kyanite and Al2O3 corundum	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 998 ~ 1003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.15281	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

1. 著者名 齋藤吉広, 徳田一弥, 井上博之, 増野敦信	4. 巻 52
2. 論文標題 X線散乱と分子動力学シミュレーションによる硫酸系水溶液の構造解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 365 ~ 368
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 無
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 水野章敏, 増野敦信, 岡田純平, 石川毅彦	4. 巻 52
2. 論文標題 無容器浮遊法を用いたガラスおよび高温融液の構造と物性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 349 ~ 351
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 無
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 -

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 大矢智貴, 増野敦信, 小野寺陽平
2. 発表標題 無容器法を用いて合成したLa203-Ga203系ガラスの機械特性, 誘電特性と構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松谷朋治, 増野敦信, 築場豊, 井上博之
2. 発表標題 ネットワークが断片化したアルミノリン酸塩ガラスの物性と構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 泉智, 増野敦信
2. 発表標題 無容器法によって合成した Ba(Ti _{1-x} Mx)205ガラスの熱処理結晶化過程
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木俊太, 増野敦信, 尾原幸治
2. 発表標題 無容器法により合成した希土類ボレートガラスの物性と構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会第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 三上優希, 増野敦信, 築場豊, 肥後祐司, 井上博之
2. 発表標題 Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -ZrO ₂ 系ガラスの構造と機械特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第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 A. Masuno, Y. Okamura, H. Inoue, Y. Watanabe, Y. Yanaba
2. 発表標題 Control of Refractive Index Dispersion of High Refractive Index Glasses Prepared by a Levitation Technique
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 Y. Mikami, A. Masuno, Y. Yanaba, H. Inoue
2. 発表標題 Mechanical properties of Al ₂ O ₃ -Ta ₂ O ₅ -MxOy (MxOy = Nb ₂ O ₅ , Ga ₂ O ₃ , or Y ₂ O ₃) glasses prepared by a levitation technique
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 A. Masuno, Y. Yanaba, S. Sasaki, H. Inoue
2. 発表標題 High refractive index with low wavelength dispersion of La ₂ O ₃ -rich La ₂ O ₃ -B ₂ O ₃ -Nb ₂ O ₅ glasses prepared by a levitation technique
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 増野敦信, 三上優希
2. 発表標題 無容器法で合成した高硬度アルミネートガラスの物性と構造
3. 学会等名 日本材料学会第5回材料WEEK
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Masuno, S. Sasaki, Y. Yanaba, H. Inoue
2. 発表標題 Physical and structural properties of MgO-SiO ₂ -P ₂ O ₅ /2 invert glasses prepared by a levitation technique
3. 学会等名 25th International Congress on Glass (ICG 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Masuno
2. 発表標題 Crack-resistant and High Elastic Modulus Oxide Glasses Prepared by a Levitation Technique
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 浮遊融液から現れる新規準安定相の機能と構造
3. 学会等名 日本鉄鋼協会東北支部東北地区講演会・若手フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 超硬ガラス
3. 学会等名 生産開発技術研究所 新材料・新技術利用研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 無容器法によって合成した機能性準安定酸化物の物性と構造
3. 学会等名 SPRUC 原子分解能ホログラフィー研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Masuno
2. 発表標題 Structural analyses of functional oxide glasses prepared by a levitation technique
3. 学会等名 THERMEC'2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 無容器溶融技術が拓くガラスの未来
3. 学会等名 ニューガラスフォーラム 第130回若手懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木創, 増野敦信
2. 発表標題 無容器法を用いたMgO-SiO ₂ -P ₂ O ₅ /2三元系ガラスの合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三上優希, 増野敦信, 築場豊, 井上博之
2. 発表標題 Al ₂ O ₃ -MxOy-Ta ₂ O ₅ (MxOy = Nb ₂ O ₅ , Ga ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃)ガラスの合成と機械特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増野敦信, 三浦吉幸, 兼平憲男, 築場豊, 井上博之
2. 発表標題 模擬ガラス固化体の局所構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Masuno, Y. Miura, N. Kanehira, Y. Yanaba, H. Inoue
2. 発表標題 Local Structure Analysis of Nuclear Waste Glasses
3. 学会等名 ICG Annual Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Masuno
2. 発表標題 Masuno Group, Laboratory of Solid State Chemistry, Hirosaki University
3. 学会等名 ICG Annual Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsunobu Masuno
2. 発表標題 Densely packed oxide glasses with optical and mechanical functionalities prepared by a levitation technique
3. 学会等名 JSPM International Conference on Powder and Powder Metallurgy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 ガラスから結晶化させた(Ba,Ca)Ti2O5の誘電特性と構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsunobu Masuno
2. 発表標題 Functional metastable oxides fabricated by a levitation technique
3. 学会等名 International Union of Materials Research Society - International Conference of Advanced Materials 2017 (IUMRS-ICAM 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsunobu Masuno
2. 発表標題 High elastic modulus glasses prepared by levitation technique
3. 学会等名 7th International Workshop on Flow and Fracture of Advanced Glasses (FFAG-7) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 無容器浮遊させた大過冷却液体から現れる機能性酸化物の物性と構造
3. 学会等名 第2回固体化学フォーラム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsunobu Masuno
2. 発表標題 Functional oxide glasses fabricated by aerodynamic levitation technique
3. 学会等名 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 無容器浮遊融液から現れる新規機能性材料の特性と構造
3. 学会等名 日本鉄鋼協会高温プロセス部会高温物性値フォーラム 平成29年度第1回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 無容器法で合成する高充填密度ガラスの優れた機能と特異な構造
3. 学会等名 新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会 新素材分科会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信, 三浦吉幸, 兼平憲男, 築場豊, 井上博之
2. 発表標題 廃棄物ガラス固化体の局所構造解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増野敦信, 築場豊, 渡辺康裕, 井上博之, 東正樹
2. 発表標題 無容器法で合成した希土類酸化物を多く含むホウ酸塩ガラスの物性と構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会第58回ガラスおよびフォトニクス材料討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増野敦信
2. 発表標題 (研究室紹介) 弘前大学大学院理工学研究科増野研究室
3. 学会等名 日本セラミックス協会第58回ガラスおよびフォトニクス材料討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Masuno, Y. Watanabe, Y. Yanaba, H. Inoie, M. Azuma
2. 発表標題 Optical and magnetic properties of binary rare earth borate glasses
3. 学会等名 2017 ICG Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsunobu Masuno, Yasuhiro Watanabe, Masaki Azuma, Yutaka Yanaba, Hiroyuki Inoue
2. 発表標題 Optical, magnetic, and structural properties of binary rare earth borate glasses prepared by a levitation technique
3. 学会等名 The Tenth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-10) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

弘前大学大学院理工学研究科 増野研究室
<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~masuno/index.html>
科研費NEWS 2018年度Vol. 2
https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/22_letter/e-book/news2018_vol2/index_h5.html#2

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