

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03387

研究課題名(和文) レーザーによる自然の摂理を超える単結晶パターニングと光アクティブ機能

研究課題名(英文) Single Crystal Patterning beyond the Law of Nature by Laser and Optical Active Functions

研究代表者

小松 高行 (KOMATSU, TAKAYUKI)

長岡技術科学大学・工学研究科・特任教授

研究者番号：60143822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：パターニングした単結晶のc軸配向機構を結晶表面エネルギーと結晶・ガラス界面の界面自由エネルギーの観点から明らかにした。強弾性Gd₂(MoO₄)₃結晶の結晶成長方向に沿ってのc軸の回転機構を明らかにした。LiNbO₃結晶のパターニングにおいて、c軸配向したLiNbO₃微粒子の配列に成功し、レーザーパターニング工学の新たな局面を切り開いた。ガラス組成と結晶相の関係を基にして、多成分酸化物ガラスにおける不均一ナノ構造を“組成ゆらぎの分布モデル”という概念を用いて提案した。本研究により、自然の摂理を超える単結晶パターニングの結晶配列を解明し、革新的光アクティブデバイス創製に展開できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、レーザー誘起結晶化法を用い、ガラス表面および内部にらせん状などの様々な形状を有する自然の摂理を超えと呼べる単結晶ラインを自在にパターニングし、革新的光アクティブデバイス創製に展開することを目的としたものである。本研究で得られた単結晶配向機構の解明、結晶軸回転機構の解明、組成ゆらぎ分布モデルを用いた不均一ナノ構造モデルの提案は、レーザー誘起結晶化法をさらに深化させ、結晶成長分野にブレイクスルーをもたらすと共に、物質材料科学・工学の分野に多大な貢献をしている。得られた成果は、革新的機能材料の創出を目指す独創的な基盤研究であり、社会産業分野への波及効果は大きい。

研究成果の概要(英文)：The origin and mechanism of the c-axis orientation along laser scanning direction were clarified from the viewpoints of surface energy and interfacial free energy between crystal and surrounding glassy phase. The mechanism of the c-axis rotation in laser-patterned ferroelastic Gd₂(MoO₄)₃ single crystals was clarified. The orientation patterning of c-axis oriented LiNbO₃ particles was realized, resulting in a new phase in laser-patterning engineering. The distribution model of composition fluctuations was proposed for the first time from the data on crystallization of oxide glasses, especially the relationship between crystalline phases and glass compositions. In the present study, the mechanism of crystal orientation in single crystal patterning beyond the providence of nature in oxide glasses by laser irradiations was clarified, leading to the development of innovative optical active devices.

研究分野：ガラス材料科学・工学

キーワード：単結晶パターニング ガラス 結晶化 レーザー 光アクティブ機能

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自己組織的な構造形成の1つである物質の結晶成長は、物質創成の最も重要な基盤技術であり、創成された結晶の形態は機能発現の決定的要因となる。ランダム系物質であるガラスは、長周期構造を持つ結晶とは対照的に、ランダムなるが故にその構造制御に無限の可能性を秘めており、ガラスの結晶化は、ナノからマクロスケールでの物質創成と形態制御を可能にする最適かつ究極の材料の一つである。研究代表者は、酸化物ガラスに連続発振型のレーザーを照射することにより、ガラスに位置選択的（空間的設計/制御）に機能性結晶をパターンニングできる新手法“レーザー誘起結晶化法”を開発・提案し、ドット状（零次元）、ライン状（一次元）および平面状（二次元）の結晶パターンニングを実証してきた。特に、レーザー誘起結晶化法では、結晶成長に対する空間的制限とレーザー走査による急峻な温度勾配とその移動により、高配向性結晶、すなわち単結晶パターンニングが極めて容易に実現できることを明らかにし、本手法の学術的価値だけでなく、革新的デバイス創出に向けて極めて高い可能性があることを提案した。結晶パターンニング工学の創成に向けて、レーザー誘起結晶化法をさらに深化させることが求められる。

2. 研究の目的

本研究は、様々な酸化物ガラスおよび結晶に対して「レーザーによる自然の摂理を超える単結晶パターンニング」をさらに展開・深化させ、新たな結晶成長学術分野“結晶パターンニング工学”を創成すると共に、従来にない光波制御を実現する次世代デバイス設計を提案することを目的とする。特に、結晶の配向機構および結晶/ガラス界面の状態を解明することが本研究のキーポイントである。

3. 研究の方法

種々の酸化物系ガラスを通常の熔融急冷法で作製し、示差走査熱分析(DTA)によりガラス転移温度(T_g)および結晶化ピーク温度(T_p)を決定する。ガラスの結晶化過程、特に初期過程をX線回折(XRD)を用いて詳細に調べる。特に、 $Gd_2O_3-MoO_3-B_2O_3$ 系ガラスについては、高エネルギーXRDおよびEXAFS(Extended x-ray absorption fine structure)の温度依存性の解析によりガラス構造および結晶化過程でのガラス構造変化を調べる。連続発振型(CW)Yb:YVO₄レーザー(波長: $\lambda=1080$ nm)を用い、種々のレーザーパワーおよび走査速度にてガラス表面および内部に光機能性結晶をパターンニングする。結晶配向状態は、偏向光学顕微鏡(POM)、高分解能透過型電子顕微鏡(TEM)、複屈折イメージング顕微鏡観察により明らかにする。研究代表者がこれまで蓄積してきたガラス組成と結晶相のデータ、光機能性結晶のレーザーパターンニングに関するデータ、ガラスの電子分極状態に関するデータを積極的に利用する。

4. 研究成果

(1) ガラス/単結晶ライン界面では、屈折率の違いが形成され、導波する光の単結晶への閉じ込めとして機能する。光アクティブ機能を有する結晶は、構造の異方性により結晶軸によって屈折率が異なる。従って、レーザーによってパターンニングされた結晶は単に配向しているだけではなく、どのような結晶軸がレーザー走査方向に対して成長しているかが重要になる。本研究において初めてパターンニングした結晶の構造異方性と配向方向との関係に対してモデルを提案した。光アクティブ機能を有する β -BaB₂O₄(β -BBO)やBaAlBO₃F₂結晶では、c軸に沿って層状のB₃O₆やBO₃構造単位が積層されており、結合強度が小さいことから、結晶成長先端部の過冷却液体/結晶界面での成長面が界面エネルギーが小さいc軸が成長する。一方、結晶ライン側面でのガラス/結晶界面では、結晶を構成する構造単位とガラスの構造単位が容易に強い結合を形成し、界面自由エネルギーが小さくなり、均一な単結晶ラインが安定に成長する。このモデルを適用すると、クロスライン手法で成長したa軸配向の光アクティブ結晶は、レーザー走査中に途中でa軸からc軸に配向するという特異な結晶成長を説明できる。なお、結晶方位異方性は熱膨張係数の異方性から評価した

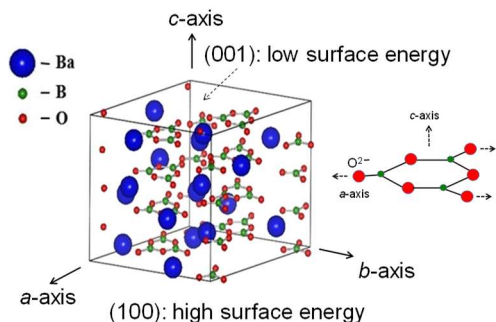


図1 β -BBO 結晶構造と表面エネルギー

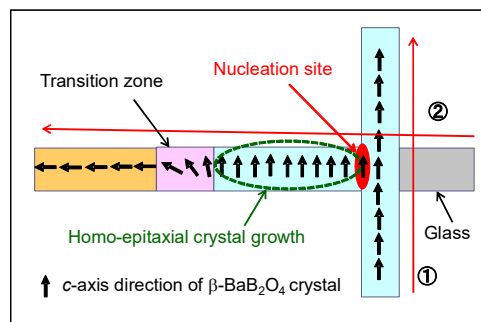


図2 β -BBO 結晶のクロスラインでの結晶配向モデル

例として、図1に、 β -BBO結晶構造と表面エネルギーの関係を示す。 β -BBO結晶はc軸に沿って層状構造をしており、熱膨張係数もc軸方向の値 ($36 \times 10^{-6}/\text{K}$) がa軸 ($4 \times 10^{-6}/\text{K}$) に比べてかなり大きい。従って、 β -BBO結晶では(001)面の表面エネルギーが最も小さく、c軸が結晶優先配向方向となる。実際、レーザーパターニングではc軸配向した単結晶ラインが得られる。一方、結晶ラインのクロスパターニング（一度、c軸配向した β -BBO単結晶ラインをレーザーパターニングし、その後、結晶ラインにクロス（直角）するようにレーザー走査を行う）では、図2に模式図で示すように、最初にパターニングした β -BBO結晶の側面が結晶核サイトになり、a軸配向した β -BBO結晶が成長する。しかしながら、 β -BBO結晶の結晶優先配向方向はc軸であるため、結晶成長の途中の段階で結晶成長方位をa軸からc軸に変える。なお、結晶成長側面は、ガラス中の $[\text{B}_3\text{O}_6]^{3-}$ 構造単位と強い結合をしてガラス/結晶界面の界面エネルギーを低下させる。図1、図2で示した結晶成長方位の機構は、他の光機能結晶のレーザーパターニングでも適用できる。

(2)ガラスの結晶化においては、結晶/過冷却液体（ガラス）界面でのひずみエネルギーが大きな役割を演じる。 $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスからの強弾性結晶 β' - $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ の生成はこれまでにない最適なモデル系である。この系における結晶/過冷却液体界面での巨大ひずみエネルギーは、 $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ 結晶の密度が母体ガラスの密度より小さく、この密度差によって発生することが提案されている。この界面での巨大ひずみが $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ 結晶の成長方向に対して結晶軸の回転をもたらす。高温XRDおよびEXAFS測定から、構造解析を行い、密度の違いを構造的に明らかにした。また、 β' - $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ 結晶生成に伴うガラス試料の自己微粉化を抑制する $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ 系ガラスを提案し、母体ガラスの組成設計によりひずみエネルギーを大きく緩和できることを明らかにした。さらに、 $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスの結晶化を詳細に調べ、新たに $\text{Gd}_4\text{Mo}_7\text{O}_{27}$ 結晶からなる結晶化ガラスの創成に成功した。 Eu^{3+} ドープ $\text{Gd}_4\text{Mo}_7\text{O}_{27}$ 結晶は特異な蛍光スペクトルを示すことも見出した。例として、図3に、 $3\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-18.25Gd}_2\text{O}_3\text{-63.75MoO}_3\text{-15B}_2\text{O}_3$ ガラスの内部から表面に向かってレーザーパターニング（Yb:YVO4レーザー $\lambda=1080\text{ nm}$ 、パワー $P=1.5\text{ W}$ 、走査速度 $S=2\text{ }\mu\text{m/s}$ ）された β' - $(\text{Sm,Gd})_2(\text{MoO}_4)_3$ 結晶の複屈折イメージ写真を示す。結晶とガラス界面での巨大ひずみを緩和するためにらせん状に結晶成長している。さらに、内部では結晶成長が遅く、図に示されるように、円錐状の形態を取っており、通常の結晶成長では起こり得ない特異な形態である。なお、高温X線回析から、特に、結晶でのGd-Gd間の相関距離がガラス中に比べて異常に長く、これが、密度差の原因であることが明らかになった。

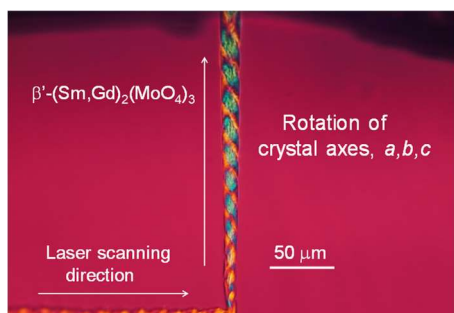


図3 β' - $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ 結晶の複屈折イメージ

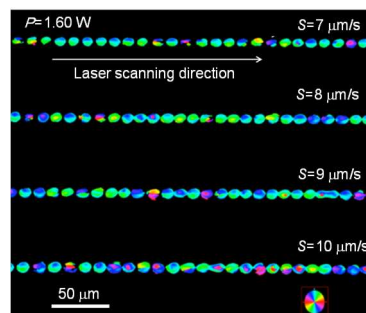


図4 LiNbO_3 結晶の複屈折イメージ

(3)光アクティブ結晶として重要な LiNbO_3 結晶について、レーザー光吸収イオンを Ni^{2+} に変えることにより、これまでにない配向にした LiNbO_3 結晶粒子のレーザーパターニングを実現させた。また、 LiNbO_3 結晶は構造異方性が小さいことから、レーザー照射条件によって、a軸とc軸の両方の配向が可能であることを示した。例として、図4に、 $3\text{NiO-40Li}_2\text{O-32Nb}_2\text{O}_5\text{-28SiO}_2$ ガラス表面にレーザーパターニング($\lambda=1080\text{ nm}$, $P=1.5\text{ W}$, $S=7\text{-}10\text{ }\mu\text{m/s}$)された LiNbO_3 結晶の複屈折イメージ写真を示す。c軸配向した LiNbO_3 結晶粒子（サイズ：11-12 μm ）が規則的にレーザー走査方向に沿って配列している。このことは、核形成と結晶成長が一定間隔ごとに起きていることを示している。なお、 NiO を添加することによって、ガラスの結晶化温度は低温側にシフトし、結晶化が起こりやすくなっていることが見出された。

(4)低フォノンエネルギーから光増幅ファイバーへの展開が期待されている TeO_2 系ガラスについて、準安定結晶から成る高配向結晶ラインのパターニングを実現した。

(5)ガラスの結晶化挙動およびガラス/結晶界面の状態（界面自由エネルギー）の理解には、ガラスの不均一ナノ構造の理解が必須である。これまで蓄積してきたガラス組成と結晶相の関係を基にして、多成分酸化物ガラスにおけるナノ構造を“組成ゆらぎの分布モデル”という概念を用いて提案した。すなわち、ガラスはフラジイルなナノ領域とストロングなナノ領域から構成されており、ガラス修飾酸化物を多く含むフラジイルな領域からOstwald則に沿って結晶が成長するというモデルである。構造解析からではなく、結晶化からのガラスの組成ゆらぎの提案は、ガラス構造の研究にブレイクスルーをもたらすと確信する。また、このモデルによって、レーザー誘起結晶化を含むガラス結晶化に対してガラス組成の設計・制御が可能になると共に、光アクティブ機能発現に必須な結晶/ガラス界面の構造（組成）制御にも繋がる。図5に、 $\text{Li}_2\text{O-2SiO}_2$ ガ

ラスでの組成ゆらぎ分布モデルを示す。このガラスでは、ガラス組成と同じ組成の $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ 結晶が生成する前に、 Li_2SiO_3 結晶が初相として生成する。この結晶化過程の機構（原因）はこれまで不明であった。図5に示したモデルでは、 Li_2O -rich 領域（ガラス組成に比べて）と SiO_2 -rich 領域という組成ゆらぎ分布が生じており、よりフラジイル（結合が弱く、イオン等が拡散しやすい）な領域である Li_2O -rich 領域から SiO_2 成分が少ない Li_2SiO_3 結晶が生成する。また、ガラスの結晶化過程での準安定相を含めた複雑な結晶化挙動、いわゆる Ostwald 則も、この組成ゆらぎ分布モデルを適用すると説明できる。図6には、 Gd_2O_3 - MoO_3 - B_2O_3 系ガラスでの組成ゆらぎ分布モデル、特に、 Gd_2O_3 - MoO_3 -rich 領域であるフラジイルな領域での組成ゆらぎ分布モデルを示す。図中、Glass #1 は $21.25\text{Gd}_2\text{O}_3$ - 63.75MoO_3 - $15\text{B}_2\text{O}_3$ ガラスであり、Glass #2 は、 $18.89\text{Gd}_2\text{O}_3$ - 66.11MoO_3 - $15\text{B}_2\text{O}_3$ - $1\text{Al}_2\text{O}_3$ ガラスである。これら両方のガラスから最初に生成する結晶相は、 $\text{Gd}_4\text{Mo}_7\text{O}_{27}$ である。Mo-O 間の結合力は Gd-O 間の結合力に比べてかなり小さいことから、図6のモデルでは、 MoO_3 -rich 領域と MoO_3 -poor 領域という組成ゆらぎ分布を提案している。

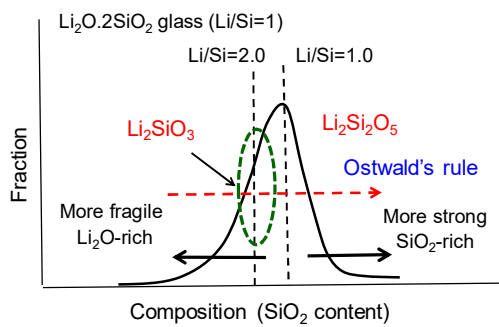


図5 Li_2O - 2SiO_2 ガラスでの組成ゆらぎ分布モデル

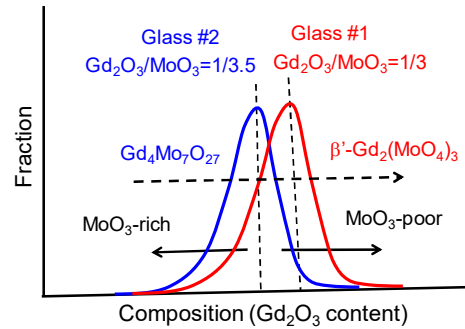


図6 Gd_2O_3 - MoO_3 - B_2O_3 系ガラスでの組成ゆらぎ分布モデル

(6) レーザー誘起結晶化法を鉄を含むガラス系に展開し、次世代ナトリウム電池用の $\text{Na}_2(\text{Mn,Fe})_2\text{P}_2\text{O}_7$ 結晶およびマルチフェロイック BiFeO_3 結晶のパターニングに成功した。前駆体ガラスが鉄イオンを多量に含むことから、極めて弱いレーザーパワーで結晶化が誘起されることを明らかにした。

(7) 光アクティブ機能の発現にとって、極めて重要な前駆体ガラスであるテルライト系ガラスの電子分極状態と化学結合強度の特徴を様々な組成に対して明らかにし、ガラス組成設計への指針を提案した。図7に、種々の TeO_2 系ガラスでの密度と屈折率の値から求めた光学的塩基度 $\Lambda(n_0)$ とイオン間相互作用パラメータ $A(n_0)$ との相関を示す。 TeO_2 系ガラスは非常に電子分極が大きい塩基性に富んだガラスであると同時に、イオン間の化学結合力も非常に弱いことを示している。図8に、 $A(n_0)$ とガラス転移温度 T_g との相関を示す。イオン間相互作用パラメータは、低融点ガラスの組成設計において重要な指針であることを提案した。

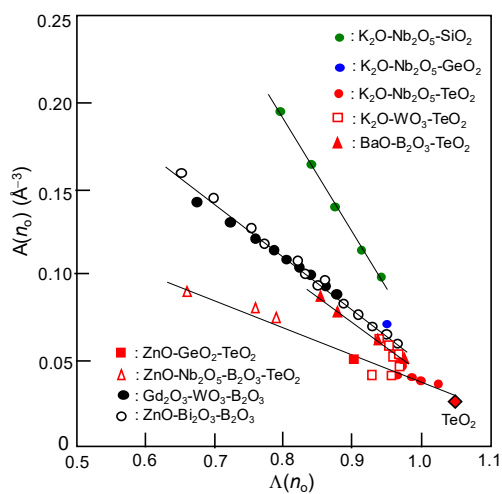


図7 種々の TeO_2 系ガラスにおける光学的塩基度 $\Lambda(n_0)$ とイオン間相互作用 $A(n_0)$ との関係

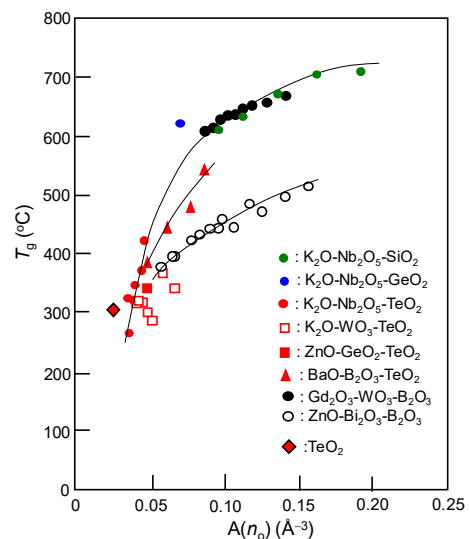


図8 種々の TeO_2 系ガラスにおけるイオン間相互作用パラメータ $A(n_0)$ とガラス転移温度 T_g との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Kotaka, T. Honma, T. Komatsu, K. Shinozaki, M. Affatigato, R. Mueller	4. 巻 501
2. 論文標題 Control of self-powdering phenomenon in ferroelastic γ -Gd ₂ (MoO ₄) ₃ crystallization in borotellurite glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 85-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2017.12.006	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 J. Deubener, T. Komatsu (他16名)	4. 巻 501
2. 論文標題 Updated definition of glass-ceramics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2018.01.033	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 M. Shimada, T. Honma, T. Komatsu	4. 巻 9
2. 論文標題 Laser patterning of oriented LiNbO ₃ crystal particle arrays in NiO-doped lithium niobium silicate glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Glass Science	6. 最初と最後の頁 518-529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijag.12390	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 M. Kotaka, T. Honma, T. Komatsu	4. 巻 498
2. 論文標題 Crystallization behavior of γ -Gd ₂ (MoO ₄) ₃ and Gd ₄ Mo ₇ O ₂₇ in composition designed Gd ₂ O ₃ -MoO ₃ -B ₂ O ₃ glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 437-442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2018.02.027	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 G. Okada, K. Shinozaki, T. Komatsu, N. Kawano, N. Kawaguchi, T. Yanagida	4. 巻 501
2. 論文標題 Tb3+-doped BaF2-Al2O3-B2O3 glass and glass-ceramic for radiation measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 111-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2018.02.013	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 Y. Omori, T. Honma, T. Komatsu	4. 巻 126
2. 論文標題 Formation of bismuth metal in bisumuth borate glass by reductive heat treatment electrochemical property as anode in lithium ion battery	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 820-825
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.18083	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 V. Dimitrov, T. Komatsu, T. Tasheva	4. 巻 53
2. 論文標題 Group optical basicity and single bond strength of oxide glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Technology and Metallurgy	6. 最初と最後の頁 1038-1046
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 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 M. Kotaka, T. Honma, T. Komatsu,	4. 巻 6
2. 論文標題 Photoluminescence features of new Eu3+-doped Gd4Mo7O27 phosphors synthesized using glass crystallization technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 314-321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21870764.2018.1511231	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 Y. Wang, T. Honma, T. Komatsu	4. 巻 5
2. 論文標題 Formation of nonlinear optical Na ₂ TeW ₂ O ₉ crystals and laser irradiation in tungsten-tellurite glasses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 489-493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jascer.2017.10.006	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 T. Komatsu, T. Inoue, T. Tesheva, T. Honma, V. Dimitrov	4. 巻 126
2. 論文標題 Correlation between thermal expansion coefficient and interionic interaction parameter in ZnO-Bi ₂ O ₃ -B ₂ O ₃ glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 8-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.2109/jcersj2.17176	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 K. Shimamura, T. Honma, K. Shinozaki, T. Komatsu	4. 巻 9
2. 論文標題 Simultaneous surface and bulk crystallization of Bi _{1.5} ZnNb _{1.5} O ₇ -type pyrochlores and related crystals in glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Glass Science	6. 最初と最後の頁 296-304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijag.12343	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 T. Komatsu, T. Honma	4. 巻 275
2. 論文標題 Laser patterning and growth mechanism of orientation designed crystals in oxide glasses: A Review	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 210-222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2019.04.020	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 T. Komatsu, T. Honma	4. 巻 288
2. 論文標題 Crystallization data-driven proposal on distribution model of composition fluctuations in structure of oxide glasses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 121379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2020.121379	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 T. Komatsu, V. Dimitrov	4. 巻 11
2. 論文標題 Features of electronic polarizability and approach to unique properties in tellurite glasses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Glass Science	6. 最初と最後の頁 253-271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijag.14776	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 T. Honma, Y. Kumagai, T. Komatsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Phase selective crystallization of Na ₂ Mn _{0.9} Fe _{0.1} P ₂ O ₇ glass by laser-irradiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Glass Science	6. 最初と最後の頁 112-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijag.14102	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 K. Shinozaki, H. Tsuchiya, K. Ohara, H. Masai, T. Ina, T. Komatsu	4. 巻 32
2. 論文標題 The structural origin of high density Gd ₂ O ₃ -MoO ₃ -B ₂ O ₃ glass and low density of beta' - Gd ₂ (MoO ₄) ₃ crystal- a study by high-energy X-ray diffraction and EXAFS at high temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 55705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ab4e64	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 H. Yamauchi, J. Ikejiri, F. Sato, H. Oshita, T. Honma, T. Komatsu	4. 巻 102
2. 論文標題 Pressureless all-solid-state sodium ion battery consisting of Na ₂ FeP ₂ O ₇ glass-ceramics and beta'-alumina electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 6658-6667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jacs.16607	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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 T. Komatsu, T. Honma
2. 発表標題 Crystal growth direction and rotation in crystals patterned by laser in glasses
3. 学会等名 International Congress on Glass (ICG) Annual Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Komatsu, T. Honma
2. 発表標題 Design of crystal growth direction in laser patterned lines in glasses
3. 学会等名 Seventh Balkan Conference on Glass Science and Technology, October 1-4, 2017, Nessebar, Bulgaria (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Komatsu
2. 発表標題 Design and Control of Crystallization in Oxide Glasses
3. 学会等名 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 12), May 21-16, Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Komatsu, T. Honma
2. 発表標題 A new insight for nucleation and crystal growth in laser-induced crystallization
3. 学会等名 25th International Congress on Glasses (ICG2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Komatsu, K. Shinozaki, T. Honma
2. 発表標題 Spatially designed assembly of nanocrystals in glasses by laser
3. 学会等名 25th International Congress on Glasses (ICG2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Honma, M. Terasawa, T. Komatsu
2. 発表標題 Optically transparent glass-ceramics in the system Na ₂ O-FeO-MnO-SiO ₂
3. 学会等名 25th International Congress on Glasses (ICG2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Komatsu, T. Honma
2. 発表標題 Relationship between composition and crystallization in Gd ₂ O ₃ -MoO ₃ -B ₂ O ₃ glasses
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T. Komatsu (分担)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Wiley-VCH, Weinheim Germany	5. 総ページ数 31
3. 書名 Handbook of Solid State Chemistry, Volume 2: Synthesis	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://mst.nagaokaut.ac.jp/amorph/ http://mst.nagaokaut.ac.jp/amorph/
--

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