

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23246114

研究課題名(和文) レーザー誘起空間制御結晶化に先導された新結晶成長工学の構築

研究課題名(英文) Construction of New Crystal Growth Engineering Leded by Laser-Induced Space Controlled Crystallization

研究代表者

小松 高行 (KOMATSU, Takayuki)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60143822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,800,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー誘起結晶化法を用いて様々な形状を有する結晶パターンニングを行い、結晶成長機構を解明した。レーザー焦点位置をガラス表面から内部に徐々に移動させることによってガラス内部(深さ：100ミクロン)に結晶がパターンニングできることを実証した。屈曲状結晶のパターンニングでは、屈曲点近傍で、徐々に、レーザー走査方向に沿って優先結晶方位に向きを変えることを明らかにした。クロス結晶ラインパターンニングでは、2つの結晶ライン間にホモエピタキシャル結晶成長が起きていることを発見した。レーザー誘起結晶化法では、通常の結晶成長では出現しない、極めて特異な結晶成長が起こることを実証し、新たな結晶成長工学分野を提案した。

研究成果の概要(英文)：Highly oriented crystal lines with different morphologies were patterned in glasses by using the laser-induced crystallization method, and the crystal growth mechanism was studied. It was demonstrated that crystals are patterned in the inside (depth: ~100 μm) of glasses by moving gradually the laser focal position from the surface into the inside. In the bending crystal lines, it was clarified that the preferable crystal growth direction changes gradually at near the bending points along the laser scanning direction. The homo-epitaxial crystal growth was discovered to occur at the crossing points of two crystal lines. The laser-induced crystallization method creates extremely unique crystal growths being unable in the usual crystal growth techniques, and we propose a field of new crystal growth engineering.

研究分野：材料工学

 キーワード：レーザー誘起結晶化 単結晶ライン 複屈折イメージング 非線形光学結晶 ホモエピタキシャル成長
結晶成長工学

1. 研究開始当初の背景

ガラスは、熱力学的に非平衡状態であり、ガラス転移温度以上に加熱することによって構造緩和、相分離、結晶化が誘起され、これらの構造変化を自在に操作することによって新たな機能の発現を可能にするハイブリッド材料として生まれ変わる。特に、結晶化は、ランダム構造を有するガラスでは発現し得ない二次光非線形性や強誘電性などのアクティブな機能発現に最も有効であり、ガラス/酸化物結晶ハイブリッド材料の研究開発は世界中で激しさを増している。我々はレーザー誘起結晶化法を考案し、酸化物ガラス表面に機能性酸化物結晶のパターニングを実証すると共に、光導波路等へ応用展開が可能であることを提案してきた。しかしながら、酸化物ガラスでのレーザー誘起結晶化は、研究が非常に遅れており、まさに未踏破領域である。ガラス表面での平面状二次元エピタキシャル結晶パターニング、ガラス内部への単結晶ラインパターニング等を実証し、本手法の基盤技術を創出することが急務である。

2. 研究の目的

本研究は、レーザー誘起結晶化法をガラス表面での平面状二次元エピタキシャル結晶パターニング、ガラス内部への単結晶ラインパターニングへと新たに展開して本手法の基盤技術を創出すると共に、レーザー照射領域での結晶成長機構を解明して、従来の結晶成長概念にブレイクスルーをもたらす新たな結晶成長工学を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究目的達成を以下の計画・方法によって行う。1) 平面型二次元エピタキシャル結晶パターニング技術を確認する。前駆体ガラス組成の役割、結晶配向性、光物性を評価する。2) ガラス内部への単結晶パターニング技術を提案する。3) 屈曲型やらせん状の結晶をパターニングし、屈曲領域等での結晶配向を解明する。結晶配向は、偏光ラマン散乱スペクトル測定、第二高調波強度の角度依存性測定、複屈折イメージング、透過型電子顕微鏡(TEM)観察等により明らかにする。

4. 研究成果

(1) 平面型二次元結晶パターニング：

光非線形性 β -BaB₂O₄ 結晶(β -BBO)と強弾性 β' -Gd₂(MoO₄)₃ 結晶の二次元パターニングにおける結晶配向性を評価し、提案した手法が一般性を有することを実証した。偏光ラマン散乱スペクトル、第二高調波強度測定から、二次元パターニング開始直後では結晶配向はランダムであるが、レーザー重なり方向に

沿って徐々に高配向性を示すことを明らかにすると共に、結晶成長機構を提案した。

(2) ガラス内部への結晶パターニング：

レーザー焦点位置をガラス表面から内部に徐々に移動させることによってガラス内部に光非線形 β -BBO 結晶をパターニングする手法を提案した。図1に、8Sm₂O₃-42BaO-50B₂O₃ ガラスに連続発振型のYb:YVO₄ レーザー(波長:1080 nm:レーザー強度 $P=0.8$ W、レーザー走査速度: $S=2\mu\text{m/s}$)を照射した試料の偏光顕微鏡写真を示す。直線偏光を用いたラマン散乱スペクトルから、内部90 μm の深さにおいても均一かつ配向した β -BBO 結晶が成長していることを明らかにした。特に、ガラス内部では、表面とは異なり、傷やクラックがないため、非常に長い(~20 mm)配向結晶のパターニングが可能であり、デバイスへの展開に有利であることを提案した。

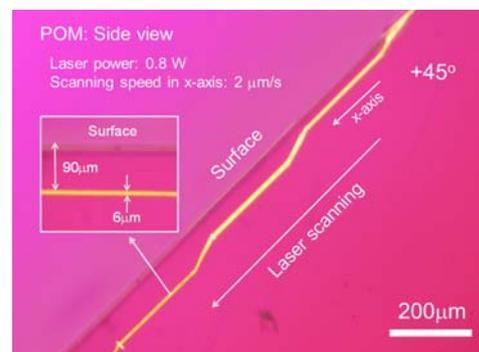


図1 ガラス内部にパターニングされた β -BBO 結晶の偏光光学顕微鏡写真

(3) 屈曲型/らせん型結晶パターニング：

図2に、3NiO-50BaO-25Al₂O₃-25B₂O₃ ガラスにYb:YVO₄ レーザーを照射し、角度45度を持つ屈曲状のBaAlBO₃F₂結晶ラインをパターニングした試料の複屈折イメージングを示す。色によって結晶における遅相軸(屈折率の高い方位)の方向を知ることができる。図2において、薄い青色は、レーザー走査方向に対して遅相軸は90度の方向、紫色は45度の方向を示している。これらの結果から、BaAlBO₃F₂ 結晶はレーザー走査方向に対して常に c -軸配向しながら結晶成長していることがわかる。模式図を図3に示す。この結果は、集束イオンビーム(FIB)加工を用いたTEM観察結果と一致している。特に、屈曲点では、すぐに結晶方位を変えず、徐々に結晶方位を変えて、この結晶の優先結晶成長方位である c -軸配向を達成している。これは、BaAlBO₃F₂ 結晶は異方性であるために、

屈曲点ですぐに結晶方位を変えることは、格子間のミスマッチが大きく、大きな歪が発生するためと解釈される。大きな歪エネルギーの発生を避けるために、結晶方位が徐々に変化したことを意味しており、このような結晶成長は通常の手法では出現しない、極めて特異な結晶成長であり、新たな結晶成長機構と見なすことができる。

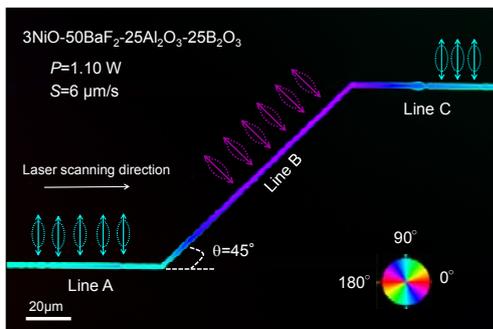


図2 ガラス表面にパターニングされた屈曲型(45度)BaAlBO₃F₂結晶の複屈折イメージング

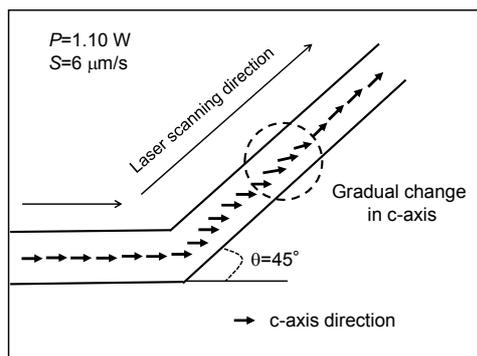


図3 屈曲点近傍における結晶成長方位の変化の模式図

図4に、様々な曲率を有するらせん状のBaAlBO₃F₂結晶の複屈折イメージングを示す。明瞭な複屈折率が観察されると同時に、色は周期的に変化している。すなわち、らせん状では屈曲が連続的に変化していると考えられ、BaAlBO₃F₂結晶の方位もレーザー走査方向に沿って、連続的に変化していることを意味している。屈曲型と同様に、このような結晶成長は、レーザー誘起結晶化法における極めての特異な挙動である。上に述べた挙動は、β-BBO結晶の場合にも実証されており、レーザー誘起結晶化法での共通の挙動と見なすことができる。屈曲型およびらせん型結晶成長の実証は、様々な形態を有する結晶パターニングが可能であることを示しており、様々なデバイス設計に新たな道を拓くものである。

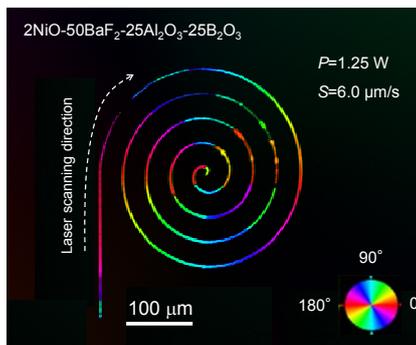


図4 ガラス表面にパターニングされたらせん型BaAlBO₃F₂結晶の複屈折イメージング

上に述べた結晶成長の柔軟性に着目し、クロスするBaAlBO₃F₂結晶ラインを作製して、二つの結晶ライン(同じ結晶相)での結晶成長方位の相関を複屈折率イメージング観察で調べた。その結果、後から書き込まれた結晶の成長方位は、最初にかかれたBaAlBO₃F₂結晶相が核として働き、優先結晶方位とは無関係に、自己組織的なホモエピタキシャル結晶成長が起きていることを発見した。図5に模式図を示す。これは、先に述べたように、BaAlBO₃F₂結晶の異方性により、最初からc軸方向に成長すると大きな格子ミスマッチが起こるためである。BaAlBO₃F₂結晶でのa軸とc軸の格子ミスマッチは、-48%にも達する。通常ガラスの結晶化では、ヘテロエピタキシャル結晶成長(異なる2種類の結晶間の方位関係)は確認されているが、ホモエピタキシャル結晶成長は本研究が初めてである。

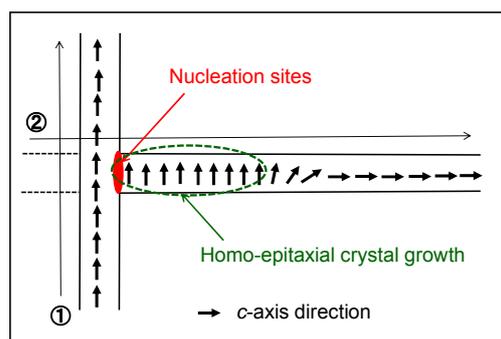


図5 交差結晶ラインで出現する自己組織的なホモエピタキシャル結晶成長の模式図

4. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計42件)

- ① T. Inoue, X. Gao, K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, Laser patterning of nonlinear

- optical $\text{Bi}_2\text{ZnB}_2\text{O}_7$ crystal lines in glass, *Frontiers in Materials: Glass Science*, 査読有、 2 (2015) 42/1-7. DOI: 10.3389/fmat.2015.00042.
- ② K. Shinozaki, K. Hashimoto, T. Honma, T. Komatsu, TEM analysis for crystals structure of metastable BiBO_3 (II) phase formed in glass by laser-induced crystallization, *Journal of the European Ceramic Society*, 査読有、 35 (2015) 2541-2546. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2015.03.020.
- ③ A. Nishii, K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, Morphology and orientation of β - BaB_2O_4 crystals patterned by laser in the inside of samarium barium borate glass, *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 221 (2015) 145-151. DOI:10.1016/j.jssc.2014.09.031
- ④ Y. Wong, T. Honma, T. Komatsu, Effects of WO_3 substitution on crystallization behavior and laser patterning in Gd_2O_3 - MoO_3 - B_2O_3 glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 査読有、 383 (2014) 86-90. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2013.04.016
- ⑤ L. Aleksandorov, R. Iordanova, Y. Dimitriev, N. Georgiev, T. Komatsu, Eu^{3+} doped $1\text{La}_2\text{O}_3:2\text{WO}_3:1\text{B}_2\text{O}_3$ glass and glass-ceramic for optical application, *Optical Materials*, 査読有、 36 (2014) 1366-1372. DOI:10.1016/j.optmat.2014.03.031
- ⑥ K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, High quantum yield and low concentration quenching of Eu^{3+} emission in oxyfluoride glasses with high BaF_2 and Al_2O_3 contents, *Optical Materials*, 査読有、 36 (2014) 1384-1389. DOI:10.1016/j.optmat.2014.03.037
- ⑦ F. Suzuki, T. Honma, T. Komatsu, Unique crystal growth with crystal axis rotation in multi-ferroic/ferroelastic β' - $(\text{Sm,Gd})_2(\text{MoO}_4)_3$ narrow lines patterned by lasers in glass, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 査読有、 75 (2014) 954-958. DOI: 10.1016/j.jpics.2014.04.007
- ⑧ T. Ida, T. Honma, T. Komatsu, Synthesis and photocatalytic properties of α - ZnWO_4 nanocrystals in zinc tungsten borate glasses *Journal of the Asian Ceramic Society*, 査読有、 2 (2014) 253-257. DOI:10.1016/j.jascers.2014.05.006.
- ⑨ H. Kondo, T. Honma, T. Komatsu, Synthesis and morphology of metal Sn particles in $\text{SnO-P}_2\text{O}_5$ glasses and their battery anode performance, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 査読有、 402 (2014) 153-159. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2014.05.034
- ⑩ Y. Wang, T. Honma, T. Komatsu, Self-powdering phenomenon of β' - $\text{RE}_2(\text{MoO}_4)_3$ formed in crystallization of glasses and its mechanism (RE: Gd, Sm, Dy), *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有、 122 (2014) 777-783. DOI: http://dx.doi.org/10.2109/jcersj2.122.777.
- ⑪ T. Honma, A. Sato, N. Ito, T. Togashi, K. Shinozaki, T. Komatsu, Crystallization behavior of sodium iron phosphate glass $\text{Na}_{2-x}\text{Fe}_{1+0.5x}\text{P}_2\text{O}_7$ for sodium ion batteries, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 査読有、 404 (2014) 26-31. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2014.07.028
- ⑫ V. Dimitrov, T. Komatsu, Optical basicity and single bond strength of Sb_2O_3 containing glasses, *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology B*, 査読有、 55 (2014) 217-222.
- ⑬ Y. Taki, T. Honma, V. Dimitrov, T. Komatsu, Electronic polarizability and interaction parameter of gadolinium tungsten borate glasses with high WO_3 content, *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 220 (2014) 191-197. DOI:10.1016/j.jssc.2014.08.035.
- ⑭ V. Dimitrov, T. Komatsu, Optical basicity and chemical bonding of ternary tellurite glasses, *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology B*, 査読有、 55 (2014) 13-17.
- ⑮ K. Ogawa, T. Honma, T. Komatsu, Birefringence imaging and orientation of laser patterned β - BaB_2O_4 crystals with bending and curved shapes in Glass, *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 207 (2013) 6-12. DOI:10.1016/j.jssc.2013.08.021.
- ⑯ T. Komatsu, T. Oikawa, T. Honma, Characterization of BaTiO_3 crystals formed in aluminosilicate glasses and their laser patterning, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有、 121 (2013) 583-588. DOI: http://doi.org/10.2109/jcersj2.121.583.
- ⑰ T. Komatsu, T. Honma, Optical active nano glass ceramics (Review), *International Journal of Applied Glass Science*, 査読有、 4 (2013) 125-135. DOI: 10.1111/ijag.12023
- ⑱ F. Suzuki, T. Honma, T. Komatsu, Direct patterning of β - BaB_2O_4 crystals with high orientation in the inside of glass fiber, *Journal of the American Ceramic Society*, 査読有、 96 (2013) 1339-1341. DOI: 10.1111/jace.12275
- ⑲ K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, Effect of AlN addition on spatial uniform distribution of Er^{3+} -doped CaF_2 nanocrystals in oxyfluoride glass-ceramics, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有、 121 (2013) 457-459. DOI: http://doi.org/10.2109/jcersj2.121.457.
- ⑳ T. Komatsu, T. Honma, Laser patterning and characterization of optical active crystals in glasses (Review), *Journal of the Asian*

- Ceramic Societies, 査読有、 1 (2013) 9-16. DOI:10.1016/j.jascr.2013.02.006.
- ②① Y. Wong, T. Honma, Y. Doi, Y. Hinatsu, T. Komatsu, Magnetism of β' -Gd₂(MoO₄)₃ and photoluminescence of β' -Eu₂(MoO₄)₃ crystallized in rare-earth molybdenum borate glasses, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有、 121 (2013) 230-235. DOI: <http://doi.org/10.2109/jcersj2.121>.
- ②② Y. Wong, T. Honma, T. Komatsu, Crystallization and photoluminescence properties of RE₂(WO₄)₃ (RE:Gd,Eu) in rare-earth tungsten borate glasses, *Optical Materials*, 査読有、 35 (2013) 998-1003. DOI:10.1016/j.optmat.2012.12.003.
- ②③ K. Shinozaki, A. Noji, T. Honma, T. Komatsu, Morphology and photoluminescence properties of Er³⁺-doped CaF₂ nanocrystals patterned by laser irradiation in oxyfluoride glasses, *Journal of Fluorine Chemistry*, 査読有、 145 (2013) 81-87. DOI:10.1016/j.jfluchem.2012.10.007.
- ②④ K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, New oxyfluoride glass with high fluorine content and laser patterning of nonlinear optical BaAlBO₃F₂ single crystal line, *Journal of Applied Physics*, 査読有、 112 (2012) 093506/1-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4764326>.
- ②⑤ T. Komatsu, N. Ito, T. Honma, V. Dimitrov, Temperature dependence of refractive index and electronic polarizability of RO-TeO₂ glasses (R=Mg, Ba, Zn), *Solid State Sciences*, 査読有、 14 (2012) 1419-1425. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2012.08.005.
- ②⑥ F. Suzuki, T. Honma, Y. Doi, Y. Hinatsu, T. Komatsu, Magnetic properties and homogeneous distribution of Gd³⁺ ions in gadolinium molybdenum borate glass with high Gd₂O₃ content, *Materials Research Bulletin*, 査読有、 47 (2012) 3403-3406. DOI:10.1016/j.materresbull.2012.07.015.
- ②⑦ V. Dimitrov, T. Komatsu, Correlation among electronegativity, cation polarizability, optical basicity and single bond strength of simple oxides, *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 196 (2012) 574-578. DOI:10.1016/j.jssc.2012.07.030.
- ②⑧ H. Ida, K. Shinozaki, T. Honma, K. Oh-ishi, T. Komatsu, Synthesis and morphology of Ba_{1-x}RE_{2x/3}Nb₂O₆ nanocrystals with tungsten bronze structure in RE₂O₃-BaO-Nb₂O₅-B₂O₃ glasses (RE: Sm,Eu,Gd,Dy,Er), *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 196 (2012) 384-390. DOI:10.1016/j.jssc.2012.07.006.
- ②⑨ K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, Morphology and dispersion state of Ba₂TiSi₂O₈ nanocrystals in transparent glass-ceramics and their nanoindentation behavior, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 査読有、 358 (2012) 1863-1869. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2012.05.040.
- ③⑩ V. Dimitrov, T. Komatsu, Correlation between optical basicity and single bond strength of alkali borosilicate glasses, *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology B*, 査読有、 53 (2012) 282-288.
- ③⑪ K. Kioka, T. Honma, K. O-ishi, S. Leibstein, N. Da, L. Wondraczek, T. Komatsu, Effect of Al₂O₃ addition on the Formation of perovskite-type NaNbO₃ nanocrystals in silica-based glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 査読有、 358 (2012) 1523-1529. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2012.04.011.
- ③⑫ K. Shinozaki, T. Honma, K. Oh-ishi, T. Komatsu, Fluorine deficient layer at the surface of transparent glass-ceramics with CaF₂ nanocrystals, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 査読有、 73 (2012) 683-687. DOI:10.1016/j.jpjcs.2012.01.010.
- ③⑬ Y. Wang, T. Honma, T. Komatsu, Synthesis and Laser patterning of ferroelastic β' -RE₂(MoO₄)₃ crystals (RE: Sm, GD, Tb, Dy) in rare-earth molybdenum borate glasses, *Materials Chemistry and Physics*, 査読有、 133 (2012) 118-125. DOI:10.1016/j.matchemphys.2011.12.075.
- ③⑭ F. Suzuki, K. Ogawa, T. Honma, T. Komatsu, Laser patterning and preferential orientation of two-dimensional planar □-BaB₂O₄ crystals on the glass surface, *Journal of Solid State Chemistry*, 査読有、 185 (2012) 130-135. DOI:10.1016/j.jssc.2011.11.005.
- ③⑮ V. Dimitrov, T. Komatsu, Electronic polarizability and average single bond strength of ternary oxide glasses with high TiO₂ content, *Physics and Chemistry of Glasses*, 査読有、 52 (2011) 225-230.
- ③⑯ L. Aleksandorov, T. Komatsu, R. Iordanova, Y. Dimitriev, Raman spectroscopic study of structure of WO₃-La₂O₃-B₂O₃ glasses with no color and crystallization of LaBWO₆, *Optical Materials*, 査読有、 34 (2011) 201-206. DOI:10.1016/j.optmat.2011.08.002.
- ③⑰ T. Nakanishi, Y. Katayama, J. Ueda, T. Honma, S. Tanabe, T. Komatsu, Fabrication of Eu : SrAl₂O₄-based glass ceramics using Frozen sorbet method, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 査読有、 119 (2011) 609-615. DOI:<http://doi.org/10.2109/jcersj2.119.609>.
- ③⑱ K. Shinozaki, T. Honma, K. Oh-ishi, T. Komatsu, Morphology of CaF₂ nanocrystals and elastic properties in transparent oxyfluoride crystallized glasses, *Optical Materials*, 査読有、 33 (2011) 1350-1356. DOI:10.1016/j.optmat.2011.03.037.

- ③⑨ K. Kioka, T. Honma, T. Komatsu, Fabrication of (K,Na)Nb₃ glass-ceramics and crystal line patterning on glass surface, Optical Materials, 査読有、 33 (2011) 1203-1209. DOI:10.1016/j.optmat.2011.02.011.
- ④⑩ K. Shinozaki, T. Honma, T. Komatsu, Elastic properties and Vickers hardness of optically transparent glass-ceramics with Fresnoite Ba₂TiSi₂O₈ nanocrystals, Materials Research Bulletin, 査読有、 46 (2011) 922-928. DOI:10.1016/j.materresbull.2011.02.031
- ④① L. Alkesandrov, T. Komatsu, R. Iordanova, Y. Dimitriev, Study of molybdenum coordination state and crystallization behavior in MoO₃-La₂O₃-B₂O₃ glasses by Raman spectroscopy, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 査読有、 72 (2011) 263-268. DOI:10.1016/j.jpics.2011.01.004
- ④② L. Aleksandrov, T. Komatsu, R. Iordanova, Y. Dimitriev Structure study of MoO₃-ZnO-B₂O₃ glasses by Raman spectroscopy and formation of α-ZnMoO₄ nanocrystals, Optical Materials, 査読有、 33 (2011) 839-845. DOI:10.1016/j.optmat.2011.01.003

〔学会発表〕 (計 10 件)

- ① T. Komatsu, Recent progress in laser patterning in borate glasses, The 8th International Conference on Borate Glasses, Crystals and Melts (招待講演), June 30-July 2, 2014, Pardubice, Czech Republic.
- ② T. Komatsu, T. Honma, K. Shinozaki, Design of crystal orientation and morphology by laser patterning in glasses, 6th Balkan Conference on Glass Science and Technology (招待講演), October 1-4, 2014, Nessebar, Bulgaria.
- ③ T. Komatsu, T. Honma, Laser patterning and characterization of optical active crystals in glasses, X Brazilian Symposium on Glass and Related Materials (招待講演), October 26-30, 2014, Sao Carlos, Brazil.
- ④ T. Komatsu, T. Honma, K. Shinozaki, Recent progress in laser patterning of functional crystals with high orientation in glasses, The 31st International Korea-Japan Seminar on Ceramics, November 26-29, 2014, Changwon, Korea.
- ⑤ T. Komatsu, T. Honma, Recent progress of laser patterning of optical active crystals with high orientation in glass, The 10th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM10), June 2-7, 2013, San Diego, USA.
- ⑥ T. Komatsu, F. Suzuki, K. Ogawa, T. Honma, Laser patterning of optical active crystals with high orientation in glasses and crystal growth mechanism, The 23rd International Congress on Glass (ICG 2013), July 1-5,

2013, Prague, Czech Republic.

- ⑦ T. Komatsu, F. Suzuki, T. Honma, Unique crystal growth with crystal axis rotation in multi-ferroic β³-Gd₂(MoO₄)₃ patterned by laser (招待講演), International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2013), Dec. 16-20, 2013, Bangalore, India.
- ⑧ T. Komatsu, F. Suzuki, K. Ogawa, T. Honma, Multi-dimensional patterning of crystals by laser irradiation in glasses, 10th International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids, September 23-26, 2012, Goslar, Germany.
- ⑨ F. Suzuki, T. Honma, T. Komatsu, Laser patterning of non-linear crystal in the inside of borate glass, XIII International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids, Sept. 16-20, 2012, Hubei, China.
- ⑩ T. Komatsu, F. Suzuki, K. Ogawa, T. Honma, Laser patterning of two-dimensional planar crystals on the glass surface (招待講演), Fifth Balkan Conference on Glass Science and Technology, September 25-29, 2011, Nessebar, Bulgaria.

〔図書〕 (計 2 件)

- ① 本間 剛、小松高行、サイエンス&テクノロジー株式会社、ガラス高機能化への加工技術書、2012年、pp.201~210.
- ② T. Komatsu, J. Sestak, Springer, Thermal analysis of Micro, Nano- and Non-Crystalline Materials (e-Book :ISBN 978-90-481-3150-1), 2013年、pp.202-224.

〔その他〕

ホームページ等

<http://mst.nagaokaut.ac.jp/amorph/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松 高行 (KOMATSU Takayuki)
長岡技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60143822

(2) 研究分担者

本間 剛 (HONMA Tsuyoshi)
長岡技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70447647

(2) 研究分担者

篠崎 健二 (SHINOZAKI Kenji)
長岡技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10723489