

令和 2 年 5 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03040

研究課題名(和文) ガラス内部における機能性ナノ構造のコヒーレントフォトンクラフト

研究課題名(英文) Coherent photon-craft of functional nanostructure in glass

研究代表者

下間 靖彦 (Shimotsuma, Yasuhiko)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40378807

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)：フェムト秒レーザーパルスによりガラス内部に形成されるナノ周期構造を光メモリとして実用化するためには、更なる記録密度の向上およびより一般的なガラス組成での長期安定性の実現が必要不可欠である。本研究では、情報ストレージ技術が抱える課題のうち、特に記録ビット形成技術に関して、(技術課題1)記録密度および(技術課題2)長期安定性の解決を目指して、(1)ナノ周期構造を記録ビットとして利用することによる多次元高密度化、(2)ナノ周期構造の形成とガラス組成との関係を明らかにすることによって、永久保存可能な多次元高密度光メモリ技術確立のための指針を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在のデジタル情報社会において、情報を長期間安定的に保存する技術に関する認識が不十分である。その結果、大容量・低コストを追求している半導体・ハードディスク・光ディスク等の記録媒体は極めて脆弱であり、データの寿命はせいぜい数十年程度と非常に短い。恒久的な保存が求められる歴史的、文化的に貴重な公文書や科学情報等に対しては、温度や湿度等による記録データの経年劣化がなく、耐火・耐水性も優れたストレージ技術が必要である。本研究では、超短パルスレーザーによるガラス内部の局所的な改質構造が極めて高い熱的安定性を示すことから、記録ビットとしての応用を目指した。

研究成果の概要(英文)：In order to practical use of the nanograting structure induced by the femtosecond laser irradiation inside glass as an optical data storage, it is essential to improve further recording density and long-term stability. Particularly, the use of glass with general composition is required to expand the applications. This study aims to solve the two issues of (1) recording density and (2) long-term stability. As a problem-solving approach for (1) recording density, we applied the photoinduced birefringence to recording bit. By using the phase retardation and the slow axis orientation as the additional dimension, the multi-value recording data storage was achieved. And also, as a problem-solving approach for (2) long-term stability, we clarified the relationship between the formation of nanograting structure and the glass composition.

研究分野：無機化学

キーワード：光物性 レーザー ガラス 結晶化 ナノ構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

過去 5000 年以上もの間、粘土板、石、パピルス等さまざまな素材に書かれた歴史的記録が現存している。一方で、現在のデジタル情報社会を支える電子技術開発は、情報処理の技術開発に集中しており、情報を長期間安定的に保存する技術に関する認識が不十分である。その結果、大容量・低コストを追求している半導体・ハードディスク・光ディスク等の記録媒体は極めて脆弱であり、データの寿命はせいぜい数十年程度と非常に短い。そこで、恒久的な保存が求められる歴史的、文化的に貴重な公文書や科学情報等に対しては、温度や湿度等による記録データの経年劣化がなく、耐火・耐水性も優れたストレージ技術が必要である。現在のデジタルデータの長期保存は、定期的にデータを新しい媒体にコピーする“データマイグレーション”が行われているが、一度でも途切れれば、データは喪失してしまう。また、昨今のデジタル放送やクラウドサービス等の普及に伴い、大容量・高密度記録が可能なデジタルデータのストレージ技術も要求されている。これまでに光メモリの高密度化技術としては、近接場光学の利用、ホログラム記録等が提案されているが、いずれも特殊なデータ読み出し技術が必要であり、長期安定性に欠ける。近年、究極のメモリとして人工 DNA の利用も提案されているが、分解や読み取りの過程で欠損やエラーが起こりやすく、実現までのハードルは極めて高い。このような状況を鑑み、申請者は、フェムト秒レーザーによる石英ガラス内部の局所構造改質に関する研究を世界に先駆けて開始し、石英ガラスの内部に形成した構造改質部が記録ビットとして機能し、室温で数億年の寿命を持つ可能性を示した。

2. 研究の目的

フェムト秒レーザー照射により、光誘起される様々な現象のうち、特に、石英ガラス内部に酸素欠乏欠陥からなるナノ周期構造が自己組織化される現象は、局所的な光学異方性(複屈折)が発現することから、これによる位相および遅軸情報を光メモリの多値化に応用できないかと考えられる。しかし、このナノ周期構造形成現象は、石英ガラスやゲルマニウムガラス等の一部の網目形成酸化物を主成分とするガラスに限られており、ガラスの組成や構造の何が支配因子であるのかも不明であった。本研究では、ガラスの構造内での酸素の結合様式や網目形成酸化物がナノ周期構造形成の有無に及ぼす影響を明らかにする。さらに、典型的な網目形成酸化物を含まないガラス組成に研究対象を広げ、ナノ周期構造形成の有無を確認するとともに、さらなる多値化や長寿命化を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、データの長期安定保存が可能な超高密度光メモリを開発するため、記録ビットの書き込み技術に関する以下の 2 つの技術課題に対してそれぞれ 2 つのアプローチを実施する。

記録密度向上(技術課題 1)のためには、記録ビットを多値化する必要がある。このため、(アプローチ) 光学異方性および磁気異方性による記録ビットの多次元化、(アプローチ) 球面収差補正による記録ビットの最小化、の 2 つの切り口で課題に取り組む。加えて、長期安定性の実現(技術課題 2)のため、割れにくい高弾性ガラスにおいて、記録ビットとして機能するナノ周期構造の形成の有無および温度特性の評価が必要である。このため、(アプローチ) ガラス組成とナノ周期構造形成の関係を体系化する。

4. 研究成果

(1) 記録密度向上

記録ビットの多次元化：レーザー照射によって磁性異方性を発現するガラス組成を探索した。磁気異方性を示すガラスとして、特に大きな磁気モーメントを示す希土類元素を多量含む $Dy_2O_3-Al_2O_3$ ガラスをガス浮遊レーザー溶融法により合成し、レーザー照射によって誘起される相分離現象に伴った部分結晶化現象を確認した。さらに、結晶化領域とガラス領域がナノスケールで周期的に配列した構造形成も確認することができた(図 1)。結晶化領域の結晶相は、照射レーザーのパルス繰り返し周波数とパルスエネルギーによって変化し、高繰り返し周波数かつ高パルスエネルギーの場合はペロプスカイト型 $DyAlO_3$ 、逆に低繰り返し周波数かつ低パルスエネルギーの場合はガーネット型 $Dy_3Al_5O_{12}$ が析出した。

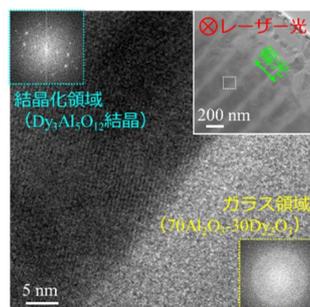


図 1 . 結晶化領域とガラス領域がナノスケールで周期的に配列した構造

さらに、相分離による部分結晶化が光誘起される、YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) 結晶の析出が期待できる Al_2O_3 - Y_2O_3 ガラスについて、同様の実験を行った。希土類イオン (Ce^{3+}) を添加した Al_2O_3 - Y_2O_3 ガラスにおいて、ナノスケールでの結晶析出、およびそれによる発光中心 (Ce^{3+}) の配位子場に与える影響を調べた。さらに、レーザー照射条件やその後の熱処理による YAG 微結晶の析出と成長の観点から、ナノスケールで結晶析出が起こるメカニズムの解明を試みた。フェムト秒レーザー照射後の集光部近傍を顕微ラマン分光および反射電子像により評価したところ、YAG 結晶と Al_2O_3 - Y_2O_3 ガラスがナノスケールで交互に配列していることが判明した。さらにカソードルミネッセンスにより局所領域の発光スペクトルを観察したところ、ナノ周期構造と同じ周期で Ce^{3+} の発光強度の周期的変化が見られた (図 2)。これは、YAG 微結晶が析出した領域において、結晶場による発光強度の増大を示唆している。これによりナノ周期構造により発現される複屈折に加え、 Ce^{3+} の発光強度を情報記録に利用できる可能性を見出した。さらに、発光強度の熱的安定性を評価するため、レーザー照射後の試料を熱処理 (300~700、30 min) し、レーザー照射部における発光強度変化を評価した。照射レーザーのパルス繰返し周波数が低い場合、作製した Al_2O_3 - Y_2O_3 ガラスの結晶化温度が約 800 であるにもかかわらず、各熱処理温度で発光強度が増加した。一方、高繰返し周波数の場合は顕著な変化は見られなかった。照射するフェムト秒レーザーパルスの繰返し周波数による熱蓄積の寄与が結晶析出に関係していることを示唆する結果である。

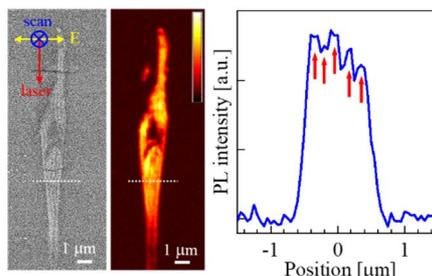


図 2 . YAG 結晶と Al_2O_3 - Y_2O_3 ガラスからなるナノ周期構造の Ce^{3+} の発光強度変化

球面収差補正による記録ビットの最小化：ガラス試料の屈折率に由来する球面収差を液晶空間光変調器 (SLM) により補正することによって、加工痕の光軸方向への伸びを約半分に抑制することを確認した。さらに単位体積当たりのレーザー光のエネルギー密度が向上したため、記録ビットの形成に必要なエネルギー効率を約 20% 低減できた。

(2) 長期安定性の実現

ガラス組成とナノ周期構造形成の体系化：石英ガラス内部に形成するナノ周期構造は、酸素欠乏欠陥と直径数 nm のナノ空孔で構成されている。一方、 Na_2O や K_2O 等のアルカリ金属酸化物を 10 mol% 以上含むソーダライムガラスやボロシリケートガラスでは、ナノ周期構造の形成は確認できず、ガラスの組成や構造の何が支配因子であるのか不明であった。このため、レーザー照射直後のガラスの粘度変化に着目し、粘度の温度依存性が異なる網目形成酸化物 GeO_2 と B_2O_3 の 2 成分からなるガラスを作製し、ナノ周期構造形成におけるガラスの粘度とフェムト秒レーザーの照射条件の相関関係を明らかにした。 B_2O_3 の組成が 75 mol% 以上のガラスでは、ナノ周期構造は形成されないことから、一旦形成されたナノ空孔がレーザー照射直後の冷却過程で消滅したと仮定した。 SiO_4 や GeO_4 などの四面体を構造単位とする 3D ネットワーク構造をとるガラスでは、粘性流動の活性化エネルギーが広い温度範囲でほぼ一定であり、またその値は Si-O または Ge-O の結合エネルギーとほぼ同じであるため、粘性流動が起こるためには、結合の切断が必要となる (図 3)。このため、一旦形成されたナノ空孔はレーザー照射後も維持され、結果としてナノ周期構造は消滅せずに残ったと考えた。一方、2D 状のユニットからなるネットワーク構造をとる B_2O_3 ガラスの活性化エネルギーは SiO_2 ガラスに比べて小さく、また、B-O の結合エネルギーに比べて非常に小さいため、結合の切断を伴わない層間でのすべりによる粘性流動の結果、形成されたナノ空孔が消滅したと考えた。

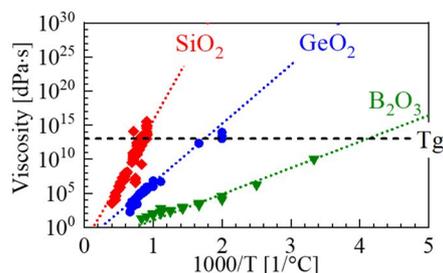


図 3 . 各種ガラスの高温における粘度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16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 0件）

1. 著者名 下間靖彦	4. 巻 94
2. 論文標題 フェムト秒パルスレーザーによるガラスへの機能性付与加工	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 プラズマ核融合学会誌	6. 最初と最後の頁 253-256
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 Y. Shimotsuma, S. Mori, Y. Nakanishi, E. Kim, M. Sakakura, K. Miura	4. 巻 124
2. 論文標題 Self-assembled glass/crystal periodic nanostructure in Al2O3-Dy2O3 binary glass	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. A	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00339-017-1507-z	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. Shimizu, S. Hosoya, T. Kato, J. Matsuoka, H. Kato, M. Nishi, K. Hirao, Y. Shimotsuma, K. Miura	4. 巻 126
2. 論文標題 Soret coefficient of a sodium borate melt: Experiment and thermodynamic theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Ceram. Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 997-1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.18135	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. Kurita, N. Mineyuki, Y. Shimotsuma, M. Fujiwara, N. Mizuochi, M. Shimizu, K. Miura	4. 巻 113
2. 論文標題 Efficient generation of nitrogen-vacancy center inside diamond with shortening of laser pulse duration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 211102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5054730	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 E. Kim, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura	4. 巻 40
2. 論文標題 Nano periodic structure formation in 4H-SiC crystal using femtosecond laser double pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Superhard Mater.	6. 最初と最後の頁 259-266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3103/S1063457618040056	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 A. Stone, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao, V. Dierolf, H. Jain	4. 巻 146
2. 論文標題 Femtosecond laser-writing of 3D crystal architecture in glass: Growth dynamics and morphological control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mater. Des.	6. 最初と最後の頁 228-238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2018.03.016	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 A. Nakamura, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura	4. 巻 12
2. 論文標題 Suppression of stress and crack generation in local glass melting by picosecond laser irradiation at a high repetition rates with temporal energy modulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Laser Micro/Nanoengin.	6. 最初と最後の頁 126-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2961/jlmn.2017.02.0014	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. Ohfuchi, M. Sakakura, Y. Yamada, N. Fukuda, T. Takiya, Y. Shimotsuma, K. Miura	4. 巻 25
2. 論文標題 Polarization imaging camera with a waveplate array fabricated with a femtosecond laser inside silica glass	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 23738-23754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.023738	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 S. Gunji, M. Jukei, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Suematsu, K. Watanabe, K. Shimanoe	4. 巻 5
2. 論文標題 Unexpected gas sensing properties of SiO ₂ /SnO ₂ core-shell nanofibers under dry and humid conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C	6. 最初と最後の頁 6369-6376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7TC01642E	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. Shimotsuma, S. Kubota, A. Murata, T. Kurita, M. Sakakura, K. Miura, M. Lancry, B. Pommellec	4. 巻 100
2. 論文標題 Tunability of form birefringence induced by femtosecond laser irradiation in anion doped silica glass	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Am. Ceram. Soc.	6. 最初と最後の頁 3912-3919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.14956	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 E. Kim, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura	4. 巻 7
2. 論文標題 4H-SiC wafer slicing by using femtosecond laser double-pulses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Opt. Mater. Express	6. 最初と最後の頁 2450-2460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.7.002450	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 S. Gunji, Y. Shimotsuma, T. Fujimoto, K. Miura	4. 巻 3
2. 論文標題 Synthesis of SiO ₂ -SnO ₂ nanofibers using TEMPO-oxidized cellulose nanofibers as templates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Front. Nanosci. Nanotech.	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15761/FNN.1000144	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. Shimizu, H. Kato, M. Nishi, D. Hanakawa, K. Nagashima, H. Visbal, H. Itasaka, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao	4. 巻 125
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation of the Soret effect in a CaSiO ₃ glass melt	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Ceram. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 180-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.16187	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. Nakanishi, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Shimizu, K. Miura	4. 巻 10520
2. 論文標題 Formation mechanism of self-assembled polarization-dependent periodic nanostructures in Ga ₂ O ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of SPIE	6. 最初と最後の頁 105201J-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2288276	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 Y. Shimotsuma, Y. Nakanishi, M. Shimizu, M. Sakakura, K. Miura	4. 巻 10536
2. 論文標題 Photoinduced functional materials by femtosecond laser direct writing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of SPIE	6. 最初と最後の頁 105361U-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2286799	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 Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura	4. 巻 10456
2. 論文標題 Development of functional materials by using ultrafast laser pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of SPIE	6. 最初と最後の頁 104563A-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2282426	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38件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Y. Shimotsuma
2. 発表標題 Ultrafast laser direct writing of periodic nanostructure in bulk
3. 学会等名 The 6th Laser Ignition Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimotsuma, Y. Tsuji, K. Tomura, M. Shimizu, K. Miura
2. 発表標題 Polarization-dependent periodic phase separation in glass induced by femtosecond laser pulses
3. 学会等名 Glass & Optical Materials Division Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimotsuma
2. 発表標題 Photoinduced nanograting structures in various material and their applications
3. 学会等名 Progress in Ultrafast Laser Modifications of Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimotsuma
2. 発表標題 Advanced functionality of material induced by femtosecond laser pulse
3. 学会等名 The 10th International Conference on Information Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Shimizu, S. Hosoya, T. Kato, H. Kato, M. Nishi, K. Hirao, Y. Shimotsuma, K. Miura
2. 発表標題 Experimental, molecular dynamics, and theoretical approach to the Soret effect in sodium borate glass melts
3. 学会等名 ICG Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimotsuma, M. Shimizu, K. Miura
2. 発表標題 Functional nanostructures inside materials induced by femtosecond laser pulses
3. 学会等名 The 37th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤毅之, 清水雅弘, 小久保遼平, 下間靖彦, 三浦清貴
2. 発表標題 LiPO3ガラスの熱起電力測定
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福與翼, 清水雅弘, 加藤毅之, 西正之, 平尾一之, 下間靖彦, 三浦清貴
2. 発表標題 ナトリウムケイ酸塩ガラス融液における各酸化物のソレー係数測定
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小久保遼平, 清水雅弘, 加藤毅之, 下間靖彦, 三浦清貴
2. 発表標題 アルカリホウ酸塩ガラスの熱起電力測定
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阪本大樹, 徳弘快, 清水雅弘, 下間靖彦, 三浦清貴, 八戸啓
2. 発表標題 直接通電加熱によるGe単結晶の低温変形とパターン転写
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳弘快, 阪本大樹, 清水雅弘, 下間靖彦, 三浦清貴, 八戸啓
2. 発表標題 単結晶Siの直接通電加熱による低温変形とその分子動力学計算
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井克生, 清水雅弘, 下間靖彦, 三浦清貴
2. 発表標題 超短パルスレーザーによるAlN結晶内部の光加工
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峰雪序也, 栗田寅太郎, 下間靖彦, 藤原正規, 水落憲和, 清水雅弘, 三浦清貴
2. 発表標題 フェムト秒レーザーの時間波形整形を利用したダイヤモンド内部の欠陥制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下間靖彦
2. 発表標題 透明材料の超短パルスレーザー加工
3. 学会等名 多元技術融合光プロセス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長神洸希, 清水雅弘, 下間靖彦, 三浦清貴
2. 発表標題 ケイ酸塩ガラスの分子動力学計算における低温構造の形成手法の開発
3. 学会等名 第6回フォトンクスのための材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸村浩太郎, 下間靖彦, 清水雅弘, 三浦清貴
2. 発表標題 ガス浮遊レーザー溶融法により作成したAl ₂ O ₃ -Y ₂ O ₃ ガラス内部への光誘起結晶成長
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下間靖彦
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射によるダイヤモンド、SiC加工
3. 学会等名 第90回レーザー加工学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村晃直, 下間 靖彦, 清水雅弘, 三浦清貴
2. 発表標題 ピコ秒パルス列のエネルギー変調による材料内部プロセッシング制御
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Nakamura, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura
2. 発表標題 Suppression of crack and stress generation in glass welding using picosecond laser with high repetition rates by temporal modulation of laser pulse energies
3. 学会等名 International Symposium on Laser Precision Microfabrication (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Shimotsuma, Y. Nakanishi, M. Sakakura, K. Miura
2. 発表標題 Polarization-dependent periodic nanostructure embedded in semiconductor
3. 学会等名 International Symposium on Laser Precision Microfabrication (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Shimotsuma, S. Mori, M. Sakakura, K. Miura
2 . 発表標題 Phase-separated periodic nanostructure in Al ₂ O ₃ -Dy ₂ O ₃ glass induced by femtosecond laser irradiation
3 . 学会等名 European Conference on Lasers and Electro-Optics (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Shimotsuma, Y. Nakanishi, M. Sakakura, K. Miura
2 . 発表標題 Self-assembled periodic nanostructures embedded in wide bandgap semiconductor
3 . 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Shimotsuma, Y. Nakanishi, E. Kim, M. Sakakura, K. Miura
2 . 発表標題 Mechanisms of self-assembled periodic nanostructures induced by the femtosecond laser irradiation
3 . 学会等名 International Conference on Laser Ablation (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Sakakura, T. Ohfuchi, Y. Yamada, N. Fukuda, T. Takiya, Y. Shimotsuma, K. Miura
2 . 発表標題 Polarization imaging with a waveplate array of femtosecond laser written nanogratings inside silica glass
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Shimotsuma
2 . 発表標題 Photoinduced polarization-dependent nanostructures in various material and their applications
3 . 学会等名 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 Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura
2 . 発表標題 Development of functional materials by using ultrafast laser pulses
3 . 学会等名 SPIE Nanophotonics Australasia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Nakanishi, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Shimizu, K. Miura
2 . 発表標題 Formation mechanism of self-assembled polarization-dependent periodic nanostructures in -Ga_{203}
3 . 学会等名 Photonic West 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Shimotsuma, Y. Nakanishi, M. Shimizu, M. Sakakura, K. Miura
2 . 発表標題 Photoinduced functional materials by femtosecond laser direct writing
3 . 学会等名 Photonic West 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 辻悠太、下間靖彦、坂倉政明、三浦清貴
2. 発表標題 多成分ガラス内部への偏光依存ナノ周期構造の形成とそのメカニズム解明
3. 学会等名 第12回セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阪本大樹、下間靖彦、坂倉政明、三浦清貴、八戸啓
2. 発表標題 SiおよびGe単結晶の直接通電加熱による低温変形メカニズムの解明
3. 学会等名 第12回セラミックス協会関西支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中西佑太、下間靖彦、坂倉政明、三浦清貴
2. 発表標題 半導体材料内部への偏光依存ナノ周期構造形成における電子状態の影響
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阪本大樹、下間靖彦、坂倉政明、三浦清貴、八戸啓
2. 発表標題 Ge単結晶の直接通電加熱による低温変形およびレンズ成形
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤寛、清水雅弘、松岡純、加藤毅之、西正之、平尾一之、下間靖彦、三浦清貴
2. 発表標題 アルカリゲルマン酸塩ガラス融液におけるアルカリ金属酸化物のソレ-係数
3. 学会等名 日本セラミックス協会関東支部第7回若手研究発表交流会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今若宏亮、坂倉政明、下間靖彦、清水雅弘、三浦清貴
2. 発表標題 フェムト秒レーザー誘起衝撃派干渉を用いた局所的応力発光誘起
3. 学会等名 レーザー学会中国・四国支部、関西支部連合若手学術交流研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村晃直、坂倉政明、清水雅弘、下間靖彦、三浦清貴
2. 発表標題 時間変調パルスレーザー照射によるガラス内部の局所溶融の安定化とそのメカニズム解明
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻悠太、下間靖彦、坂倉政明、三浦清貴
2. 発表標題 レーザー照射による熱蓄積現象を利用した偏光依存ナノ周期構造形成
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤毅之、清水雅弘、小久保遼平、下間靖彦、三浦清貴
2. 発表標題 リチウムリン酸塩系ガラスにおける熱起電力の測定
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 清水雅弘、A. N. Cormack、L. Wang、平尾一之、西正之、下間靖彦、三浦清貴
2. 発表標題 分子動力学計算によるNa ₂ SiO ₃ 融液のSi-Oネットワークで起こる化学反応の解析
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

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 パルスレーザーを用いた微細周期構造の加工方法、及びガラス体	発明者 三浦清貴、下間靖彦、坂倉政明、辻悠太、益田紀彰	権利者 京都大学、日本電気硝子
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-235910	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	三浦 清貴 (Miura Kiyotaka) (60418762)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	