

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350093

研究課題名（和文）光誘起プラズマによる三次元ナノ加工技術の開発

研究課題名（英文）Three-dimensional nano-processing by photoinduced plasma

研究代表者

下間 靖彦（SHIMOTSUMA YASUHIKO）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40378807

研究成果の概要（和文）：再生増幅後のフェムト秒レーザーパルスを音響光学分散位相フィルター（Acoustic optic phase dispersion filter: AOPDF）を利用して波形制御し、石英ガラスとの相互作用にどのような影響を与えるかを調べた時間遅延したフェムト秒ダブルパルス照射時のプラズマ発光や複屈折を測定し、パルス波形に対する発光強度や複屈折による位相差（リターダンス）との関係を調べた。その結果、投入したエネルギーは同一であるものの、リターダンス、発光強度共にダブルパルスの方がシングルパルスより大きくなった。

研究成果の概要（英文）：The photoinduced periodic nanostructure can be observed in the focus region after the femtosecond laser irradiation. Such nanostructure indicates optical anisotropy, namely, form birefringence. We demonstrated the control of phase retardation under the double-pulse configuration by using acoustic optic phase dispersion filter (AOPDF). Compared to the conventional single pulse train, the photoinduced phase retardation by the double-pulse train is much larger, in spite of the same irradiated energy.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2011年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2012年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：ガラス

1. 研究開始当初の背景

「光化学反応」は、時間分解能、空間分解能、エネルギーの選択・分布幅、選択性、反応温度の自由度など、いずれの条件も熱化学反応に対し

て優位性を有することから、ポリマーの光重合過程に代表される光リソグラフィーや光照射による感光現象、光触媒反応等が研究され、実用化されている。特に、レーザー光の単色性や可干渉

性等の特徴を生かした高効率かつ高精度な化学反応制御に関する研究が精力的に進められており、中でもパルス幅が電子-正孔の再結合時間(ピコ秒オーダー)よりも短いフェムト秒レベルの超短パルスレーザー光は、その光電場強度の強さから多光子吸収過程を介して化学結合を直接解離することが可能であり、分子構造変化を利用した物質加工技術としての応用が提案されている。しかし、これまでの殆どの研究は、光のもつ強度・エネルギーのみを反応のトリガーとして利用しており、他の特性、例えば、偏光、位相、時間・空間チャープ、パルスフロントチルト等は殆ど利用されず晒し状態にされている。例えば、超短パルス光と物質との相互作用に関する研究では、主にパルス幅、波長、強度等に主眼が置かれ、コヒーレント X 線発生をはじめとして、非線形トムソン散乱等の画期的な成果が得られているものの、時間・空間チャープやパルスフロントチルト等の超短パルス光特有の性質は十分に活用されていない。また、超短パルス光による材料加工技術分野においては、光のエネルギーを物質の熱拡散速度に比べて十分早く局所領域に注入できるため、ピコ秒やナノ秒のパルスレーザー光の場合に比べて熱的影響が極めて小さく、フォトニック結晶等の微細三次元構造を直接作製できる高精度加工技術として期待されているものの、革新的なブレイクスルーの達成には至っていない。本研究はこのような状況を鑑み、超短パルス光の波長や電場強度だけでなく、偏光、位相等の電磁波としての性質をはじめとして、パルス間隔、時間・空間チャープ、パルスフロントチルト等の超短パルス光に特徴的な性質を最大限活用し、物質との相互作用をより高次元で制御することによって、革新的な三次元ナノ加工技術の開発を目指す。

2. 研究の目的

光の回折限界以下のナノ構造作製技術は、超高密度光メモリ、高輝度発光素子、LSI 配線等における技術課題を背景に、年々飛躍的に微細化が進んでいるものの、材料内部を含めた任意の場所に十分適用でき、かつ多様な材料に幅広く適用可能な技術は未だ確立されていない。申請者らは、超短パルス光と物質との非線形相互作用と光誘起プラズマとを巧みに融合させ、材料の任意の場所に光の回折限界以下のナノ構造形成が可能であることを世界に先駆けて実証した。さらに、超短パルス光源を利用した材料加工時に顕著に見られる非相反性についても世界で初めて観察に成功し、超短パルス光源本来の特性に由来した新しい物質との相互作用を提案するに至った。本研究では、超短パルス光の本質を理解し、プラズモニクスとの革新的融合を通して材料の高機能化を図るとともに、その機構を解明し、LED や太陽電池などのシリコンデバイスでの実用化を目指した革新的な三次元ナノ加工技術を開発する。

3. 研究の方法

本研究テーマである、「超短パルス光と物質との相互作用の本質を理解し、光の回折限界を遥かに超えた三次元ナノ加工技術」を開発するため、以下の3つの研究項目を遂行する。

- (1) 超短パルス光のパルス成形・制御システムの開発: 超短パルス光と物質との相互作用は、材料の種類や組成(ガラス、セラミックス、半導体、金属、高分子等)と超短パルス光の素性(特に、パルス間隔、時間・空間チャープ、パルスフロントチルト等)に大きく依存するとの視点から、超短パルス光のパルス成形・制御技術を確立する。
- (2) 超短パルス光の偏光・位相による三次元ナノ構造作製技術の開発: 項目(1)で構築する超短パルス光のパルス成形・制御システムに加え、超短パルス光とその照射部で過渡的に発生する光誘起プラズモンとの相互作用は、超短パルス光の電磁波としての性質(偏光、位相)に大きく依存するとの視点から、液晶型光空間変調器によるビームパターンの整形技術との併用により、三次元ナノ構造作製システムを構築する。
- (3) プラズモニクスとの革新的融合によるデバイス作製技術の開発: 項目(1)、(2)で開発する超短パルス光のパルス成形・制御技術と三次元ナノ構造作製システムの有効性を実証するため、ガラス内部にシリコンナノ粒子や金属ナノ粒子を三次元的にパターン析出させたデバイス構造を作製する。

4. 研究成果

(1) パルスエネルギー、波長などの他の条件を同一に設定し、アルミノシリケートガラス内部に集光照射する超短パルス光のパルス間隔を変えて実験を行ったところ、パルス間隔が被加工物質の熱拡散に比べて十分に長い場合(1 ミリ秒)、次パルスの到達までに熱は拡散し、蓄積されず、顕著な構造変化は観察されなかった。一方、パルス間隔を短く(4 マイクロ秒)すると、熱蓄積の効果が顕著になり、温度分布に依存して元素が拡散した(図1)。

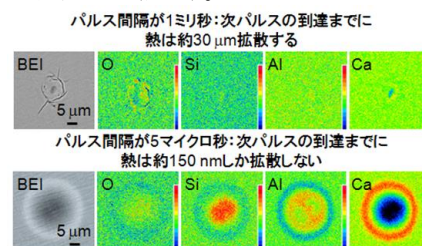


図1. 温度分布に依存した元素拡散

さらに、偏光方向を水平および垂直方向に変化させた超短パルス光を石英ガラス内部に集光照射し、このようなパルス間隔による熱蓄積の効果の偏光依存を調査した。レーザー照射部には、構造変化による応力などに由来した位相差(リタデーション)が見られるため、偏光顕微鏡を使用して照射パルス数に対するリタデーションの変化を観察した(図2)。その結果、熱蓄積は、偏光

方向にも依存し、特に熱蓄積の効果が小さい場合(パルス間隔が長い場合)に顕著であった。

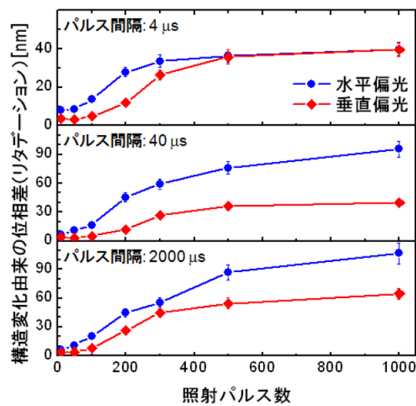


図2. 熱蓄積の偏光方向依存

光弾性変調器と波形整形器との組み合わせによるパルス波形整形を検討したが、出射レーザー光に対する耐光性に問題があったため、音響光学フィルターを利用したパルス波形整形器を導入し、光学系を構築した。コンプレッサーの光軸調整が不十分な場合をはじめとして、使用されているグレーティングやプリズムなどの光学部品の平坦性などに由来した僅かな分散特性によって、空間的に周波数チャープすることにより生じたパルス先端の強度分布形状の歪み(パルスフロントチルト)と偏光方向の相互作用によって、同一のパルスエネルギーであっても、光のエネルギーが熱に変換される量が偏光方向によって異なることを示唆していると考えられた。

(2)再生増幅後のフェムト秒レーザーパルスを音響光学分散位相フィルター(Acoustic optic phase dispersion filter: AOPDF)を利用して波形制御し、時間遅延させたフェムト秒ダブルパルスや周波数チャープが石英ガラスとの相互作用にどのような影響を与えるかを調査した。具体的には、照射中のプラズマ発光やナノ周期構造形成による複屈折を測定し、パルス波形に対する位相差(リターダンス)との関係を調べた(図3)。

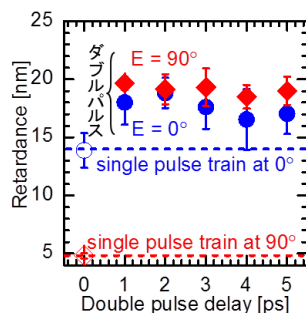


図3. ダブルパルス列による影響

照射した全エネルギーをシングルパルス列の場合と同一としたダブルパルス列の照射では、リターダンス、発光強度共にダブルパルス列の方がシングルパルス列より大きくなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 44 件)

1. M. Shimizu, M. Sakakura, M. Nishi, Y. Shimotsuma, K. Hirao and K. Miura, "Control of element distribution in glass with femtosecond laser", Proceedings of SPIE, 査読無, 8244, 2012, 824400-1-6.
DOI: 10.1117/12.906644
2. M. Sakakura, T. Tochio, M. Shimizu, N. Yasuda, M. Ohnishi, K. Miura, Y. Shimotsuma and K. Hirao, "Control of material properties by parallel laser irradiations at multiple laser spots using a spatial light modulator", Proceedings of SPIE, 査読無, 8243, 2012, 824310-1-8.
DOI: 10.1117/12.912752
3. Y. Ishikawa, Y. Shimotsuma, A. Kaneta, M. Sakakura, M. Nishi, K. Miura, K. Hirao and Y. Kawakami, "Fabrication of photo-induced microstructure embedded inside ZnO crystal", Proceedings of SPIE, 査読無, 8243, 2012, 82430N-1-7.
DOI: 10.1117/12.908190
4. T. Tochio, M. Sakakura, S. Kanehira, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Laser-induced transient stress distribution inside a single crystal by time-resolved birefringence imaging", Proceedings of SPIE, 査読無, 8243, 2012, 82430E-1-8.
DOI: 10.1117/12.908186
5. M. Yamaji, H. Kawashima, J. Suzuki, S. Tanaka, M. Shimizu, K. Hirao, Y. Shimotsuma and K. Miura, "Homogeneous and elongation-free 3D microfabrication by a femtosecond laser pulse and hologram", Journal of Applied Physics, 査読有, 111, 2012, 083107-1-7.
DOI: 10.1063/1.4705286
6. Y. Shimotsuma, T. Asai, K. Miura, K. Hirao and P. G. Kazansky, "Evolution of self-assembled nanostructure in glass", Journal of Laser Micro/Nanoengineering, 査読有, 7, 2012, 339-344.
DOI: 10.2961/jlmn.2012.03.0019
7. S. Zhou, T. Matsuoka, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Nishi, Z. Hong, J. Qiu, K. Hirao and K. Miura, "Localized control of light-matter interactions by using nanoscale asymmetric TiO₂", Nanotechnology, 査読有, 23, 2012, 465704-1-6.
DOI: 10.1088/0957-4484/23/46/465704
8. T. Tochio, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, M. Nishi, K. Hirao and K. Miura, "Transient stress imaging after irradiation with a focused femtosecond laser pulse inside a single crystal", Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 51, 2012, 126602-1-6.

- DOI: 10.1143/JJAP.51.126602
9. S. Nakashima, K. Sugioka, K. Tanaka, M. Shimizu, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Midorikawa and K. Mukai, "Plasmonically enhanced Faraday effect in metal and ferrite nanoparticles composite precipitated inside glass", *Optics Express*, 査読有, 20, 2012, 28191-28199.
DOI: 10.1364/OE.20.028191
 10. M. Sakakura, K. Miura, T. Sawano, Y. Shimotsuma and K. Hirao, "Three-dimensional structuring inside transparent materials by a phase modulated fs laser beam with a LCOS-SLM", *Proceedings of SPIE*, 査読無, 7920, 2011, 792010-1-6.
DOI: 10.1117/12.881190
 11. Y. Shimotsuma, "Evolution of structural defects in silica glass", *Proceedings of International Symposium on Optomechatronic Technologies*, 査読有, 2011
<http://www.isot2011.org/>
 12. Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura, K. Hirao and P. G. Kazansky, "Manipulation of self-assembled nanostructure in glass", *Proceedings of International Quantum Electronics Conference / Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim*, 査読有, ULMOM, 2011, 211-213.
DOI: 10.1109/IQEC-CLEO.2011.6193678
 13. P. G. Kazansky, M. Beresna, M. Gecevicius, C. Corbari, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura, K. Hirao and Y. Bellouard, "Phase transitions induced by ultrafast laser writing in transparent materials", *Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics*, 査読有, JTuI, 2011, JTuI106-1-2.
DOI: 10.1364/CLEO_AT.2011.JTuI106
 14. T. Yamamoto, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Nishi, K. Miura, K. Hirao and M. Sagawa, "Preparation of Nd₂Fe₁₄B nanoparticles under femtosecond laser ablation in liquid", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 査読有, 18, 2011, 082011-1-4.
DOI: 10.1088/1757-899X/18/8/082011
 15. S. Ito, M. Nishi, K. Kanamori, K. Nakanishi, T. Kurahashi, S. Matsubara, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "(3-mercaptopropyl) trimethoxysilane-derived porous gel monolith via thioacetal reaction-assisted sol-gel route", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 査読有, 18, 2011, 032003-1-4.
DOI: 10.1088/1757-899X/18/3/032003
 16. Y. Hamada, M. Nishi, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Sol-gel synthesis of Au-nanoparticle dispersed bicontinuous macroporous siloxane gel", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 査読有, 18, 2011, 032002-1-4.
DOI: 10.1088/1757-899X/18/3/032002
 17. Y. Miyamoto, Y. Takei, H. Nanto, T. Kurobori, A. Konnai, T. Yanagida, A. Yoshikawa, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura, K. Hirao, Y. Nagashima and T. Yamamoto, "Radiophotoluminescence from silver-doped phosphate glass", *Radiation Measurements*, 査読有, 46, 2011, 1480-1483.
DOI: 10.1016/j.radmeas.2011.05.048
 18. M. Kumatoriya, M. Nakabayashi, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, T. Fujii and K. Hirao, "Optical properties of a waveguide written inside a LiTaO₃ crystal by irradiation with focused femtosecond laser pulses", *Optics Review*, 査読有, 18, 2011, 166-170.
DOI: 10.1007/s10043-011-0017-z
 19. A. Stone, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao, V. Dierolf and H. Jain, "Unexpected influence of focal depth on nucleation during femtosecond laser crystallization of glass", *Optical Materials Express*, 査読有, 1, 2011, 990-995.
DOI: 10.1364/OME.1.000990
 20. Y. Shimotsuma, M. Sakakura and K. Miura, "Manipulation of optical anisotropy in silica glass", *Optical Materials Express*, 査読有, 1, 2011, 803-815.
DOI: 10.1364/OME.1.000803
 21. M. Shimizu, M. Sakakura, S. Kanehira, M. Nishi, Y. Shimotsuma, K. Hirao and K. Miura, "Formation mechanism of element distribution in glass under femtosecond laser irradiation", *Optics Letters*, 査読有, 36, 2011, 2161-2163.
DOI: 10.1364/OL.36.002161
 22. H. Imamoto, S. Kanehira, X. Wang, K. Kametani, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Fabrication and characterization of silicon antireflection structures for infrared rays using a femtosecond laser", *Optics Letters*, 査読有, 36, 2011, 1176-1178.
DOI: 10.1364/OL.36.001176
 23. M. Sakakura, T. Sawano, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Improved phase hologram design for generating symmetric light spots and its application for laser writing of waveguides", *Optics Letters*, 査読有, 36, 2011, 1065-1067.
DOI: 10.1364/OL.36.001065
 24. P. G. Kazansky, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Beresna, M. Gecevicius, Y. Svirko, S.

- Akturk, J. Qiu, K. Miura and K. Hirao, "Photosensitivity control of an isotropic medium through polarization of light pulses with tilted intensity front", *Optics Express*, 查読有, 19, 2011, 20657-20664.
DOI: 10.1364/OE.19.020657
25. M. Sakakura, T. Tochio, M. Eida, Y. Shimotsuma, S. Kanehira, M. Nishi, K. Miura and K. Hirao, "Observation of laser-induced stress waves and mechanism of structural changes inside rock-salt crystals", *Optics Express*, 查読有, 19, 2011, 17780-17789.
DOI: 10.1364/OE.19.017780
 26. X. Wang, M. Sakakura, Y. Liu, J. Qiu, Y. Shimotsuma, K. Hirao and K. Miura, "Modification of long range order in germanate glass by ultrafast laser", *Chemical Physics Letters*, 查読有, 511, 2011, 266-269.
DOI: 10.1016/j.cplett.2011.06.063
 27. M. Sakakura, M. Terazima, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Thermal and shock induced modification inside a silica glass by focused femtosecond laser pulse", *Journal of Applied Physics*, 查読有, 109, 2011, 023503-1-8.
DOI: 10.1063/1.3533431
 28. N. Wu, Z. Wang, X. Wang, Y. Shimotsuma, M. Nishi, K. Miura and K. Hirao, "Nano-periodic structure formation on titanium thin film with a Femtosecond laser", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 查読有, 119, 2011, 898-901.
DOI: 10.2109/jcersj2.119.898
 29. X. Wang, N. Wu, M. Shimizu, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, S. Zhou, J. Qiu and K. Hirao, "Space selective reduction of europium ions via SrF₂ crystals induced by high repetition rate femtosecond laser", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 查読有, 119, 2011, 939-941.
DOI: 10.2109/jcersj2.119.939
 30. M. Nishimura, S. Kanehira, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Silicon precipitation via photoinduced reaction using femtosecond laser", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 查読有, 11, 2011, 10087-10092.
DOI: 10.1166/jnn.2011.4988
 31. T. Yamamoto, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, M. Nishi, K. Miura and K. Hirao, "Intermetallic magnetic nanoparticle precipitation by femtosecond laser fragmentation in liquid", *Langmuir*, 查読有, 27, 2011, 8359-8364.
DOI: 10.1021/la201211e
 32. M. Ohnishi, H. Shikata, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Micro-hole processing of polyimide film by ultra-short laser pulses and its applications", *Applied Physics A*, 查読有, 98, 2010, 123-127.
DOI: 10.1007/s00339-009-5450-5
 33. M. Shimizu, K. Miura, M. Sakakura, M. Nishi, Y. Shimotsuma, S. Kanehira, T. Nakaya and K. Hirao, "Space-selective phase separation inside a glass by controlling compositional distribution with femtosecond-laser irradiation", *Applied Physics A*, 查読有, 100, 2010, 1001-1005.
DOI: 10.1007/s00339-010-5879-6
 34. T. Matsuoka, M. Nishi, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Selective growth of gold nanoparticles on FIB-induced amorphous phase of Si substrate", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 查読有, 118, 2010, 575-578.
DOI: 10.2109/jcersj2.118.575
 35. N. Wu, Y. Shimotsuma, M. Nishi, M. Sakakura, K. Miura and K. Hirao, "Photo-initiation of ZnO nanorod formation by femtosecond laser irradiation", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 查読有, 118, 2010, 147-151.
DOI: 10.2109/jcersj2.118.147
 36. Y. Miyamoto, T. Yamamoto, K. Kinoshita, S. Koyama, Y. Takei, H. Nanto, Y. Shimotsuma, M. Sakakura, K. Miura and K. Hirao, "Emission mechanism of radiophotoluminescence in Ag-doped phosphate glass", *Radiation Measurements*, 查読有, 45, 2010, 546-549.
DOI: 10.1016/j.radmeas.2010.01.012
 37. Y. Miyamoto, K. Kinoshita, S. Koyama, Y. Takei, H. Nanto, T. Yamamoto, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Emission and excitation mechanism of radio-photoluminescence in Ag⁺-activated phosphate glass", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 查読有, 619, 2010, 71-74.
DOI: 10.1016/j.nima.2010.02.076
 38. M. Sakakura, T. Sawano, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Fabrication of three-dimensional 1 × 4 splitter waveguides inside a glass substrate with spatially phase modulated laser beam", *Optics Express*, 查読有, 18, 2010, 12136-12143.
DOI: 10.1364/OE.18.012136
 39. Y. Miyamoto, K. Kinoshita, H. Kobayashi, A. Fujiwara, S. Koyama, Y. Takei, H. Nanto, T. Yamamoto, T. Kurobori, K. Yanagida, A. Yoshikawa, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, "Ionizing radiation sensor utilizing radiophotoluminescence in Ag⁺-activated phosphate glass and its

- application to environmental radiation monitoring”, *Sensors and Materials*, 査読有, 22, 2010, 235-245.
DOI: 10.1007/s00339-010-5879-6
40. Y. Shimotsuma, M. Sakakura, P. G. Kazansky, M. Beresna, J. Qiu, K. Miura and K. Hirao, “Ultrafast manipulation of self-assembled form birefringence in glass”, *Advanced Materials*, 査読有, 22, 2010, 4039-4043.
DOI: 10.1002/adma.201000921
 41. S. Kanehira, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, M. Eida, K. Miura and K. Hirao, “Phase control of iron silicides using femtosecond laser irradiation”, *Applied Physics A*, 査読有, 101, 2010, 81-85.
DOI: 10.1007/s00339-010-5763-4
 42. S. Koyama, Y. Miyamoto, A. Fujiwara, H. Kobayashi, K. Ajisawa, H. Komori, Y. Takei, H. Nanto, T. Kurobori, H. Kakimoto, M. Sakakura, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao and T. Yamamoto, “Environmental radiation monitoring using solid state dosimeter”, *Sensors and Materials*, 査読有, 22, 2010, 377-385.
 43. M. Shimizu, M. Sakakura, M. Ohnishi, Y. Shimotsuma, T. Nakaya, K. Miura and K. Hirao, “Mechanism of heat-modification inside a glass after irradiation with high-repetition rate femtosecond laser pulses”, *Journal of Applied Physics*, 査読有, 108, 2010, 073533-1-10.
DOI: 10.1063/1.3483238
 44. M. Sakakura, M. Terazima, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, “Elastic and thermal dynamics in femtosecond laser-induced structural change inside glasses studied by the transient lens method”, *Laser Chemistry*, 査読有, 2010, 2010, 148268-1-15.
DOI: 10.1155/2010/148268
- [学会発表] (計 8 件)
1. 下間 靖彦, “Avant-Garde femtosecond laser processing: From new phenomena to innovative devices”, レーザー加工学会, 2012/12/14, アクトシティ浜松コンgresセンター.
 2. 下間 靖彦, “超短パルスレーザーを利用したナノ物質創成の新展開”, ナノファイバー学会第3回年次大会, 2012/10/12, 東北大学金属材料研究所.
 3. Y. Shimotsuma, “Nanostructuring under ultrashort pulse laser irradiation”, *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, 2012/8/20, Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation, Russia.
 4. Y. Shimotsuma, “Optical anisotropy of self-assembled nanostructure in glass”, 2012 Advanced Photonics Congress, 2012/6/20, Colorado Springs, USA.
 5. Y. Shimotsuma, “Evolution of self-assembled nanostructure in glass”, The 13th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, 2012/6/15, The Catholic University of America, USA.
 6. Y. Shimotsuma, “Evolution of structural defects in silica glass”, International Symposium on Optomechatronic Technologies, 2011/11/2, The Chinese University of Hong Kong, China.
 7. Y. Shimotsuma, “Manipulation of self-assembled nanostructure in glass”, International Quantum Electronics Conference / Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 2011/8/29, Sydney Convention and Exhibition Centre, Australia.
 8. Y. Shimotsuma, M. Sakakura, P. G. Kazansky, K. Miura and K. Hirao, “Manipulation of form birefringence in isotropic material”, CLEO/QELS 2010, 2010/5/17, San Jose McEnery Convention Center, USA.
- [図書] (計 4 件)
1. 下間 靖彦, “ナノファイバー実用化技術と用途展開の最前線”, シーエムシー出版, 2012, 182-200.
 2. 下間 靖彦, “ナノインプリント/ナノ加工技術とオプトテクノロジー 第3節 フェムト秒レーザーによる微細周期構造の形成とその応用”, 情報機構, 2012, 238-250.
 3. 三浦清貴、下間 靖彦、坂倉政明、平尾一之, “セラミックス機能化ハンドブック”, エヌ・ティーエス, 2011, 593.
 4. Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao, “Nanowires -Fundamental Research-”, *InTech*, 2011, 552.
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)
[その他]
ホームページ等
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
下間 靖彦 (SHIMOTSUMA YASUHIKO)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40378807
 - (2) 研究分担者
該当なし
 - (3) 連携研究者
坂倉 政明 (SAKAKURA MASA AKI)
京都大学・産官学連携センター・准教授
研究者番号: 90402958