

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02250

研究課題名(和文)ハイブリッドフォトニック結晶ファイバによる広帯域光波の創成制御

研究課題名(英文)Broadband lightwave generation using hybrid photonic crystal fibers

研究代表者

大石 泰丈 (Ohishi, Yasutake)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80360238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：・As₂Se₃ガラスをコア、AsSe₂ガラスを第一クラッド、As₂S₅を第二クラッドとしたダブルクラッド光ファイバによるSC光の発生を検討し、2から14μmに亘る高コヒーレントSC光の発生を確認した。中赤外域で高コヒーレントSC光を発生できることを実証したのは世界で初めてである。

・スタック&ドロウ法を用いて全固体フォトニックバンドギャップファイバの作製に成功し、光カー効果によって全固体フォトニックバンドギャップファイバの透過特性を変化させる事で、最大20 dBの強度変調を実現できる可能性を初めて明らかにし、応答速度10ピコ秒以下の高速光強度変調ができることを初めて実証した。

研究成果の概要(英文)：・It was shown that As₂Se₃(core)/AsSe₂(first cladding)/As₂S₅(second cladding) chalcogenide double clad fiber had the normal dispersion in the mid-infrared region. Using this double clad fiber, mid-infrared highly coherent supercontinuum covering 2-14 μm was obtained for the first time. It was shown that chalcogenide double clad fiber is a promising medium for mid-infrared highly coherent supercontinuum generation.

・All-optical dynamic photonic band gap control by optical Kerr effect was demonstrated in an all-solid double-clad tellurite photonic band gap fiber which was fabricated using TeO₂-Li₂O-WO₃-MoO₃-Nb₂O₅ glass, TeO₂-ZnO-Na₂O-La₂O₃ glass and TeO₂-ZnO-Li₂O-K₂O-Al₂O₃-P₂O₅ glass. The transmission spectrum was simulated with the pump peak power increasing from 0 to 300 kW. At the pump peak power of 200 kW and the signal of 1570 nm, dynamic PBG control with 10 ps speed was achieved in this tellurite photonic band gap fiber theoretically and experimentally for the first time.

研究分野：フォトニクス

キーワード：フォトニッククリスタルファイバ スーパーコンティニューム 非線形光学 四光波混合 テルライト
ガラス カルコゲナイドガラス 中赤外分光

1. 研究開始当初の背景

テルライトガラス（ TeO_2 を主成分とするガラス）やカルコゲナイドガラスなどは石英ガラスより格段に高い非線形性（数10倍から数100倍程度）および広い光透過特性を持つ優れた素材である。これら素材を使い、新機能を有する光導波路素子の研究が行われている。しかし、実用には至っていない。それは、高非線形ガラスの場合、材料分散が通信波長帯で大きく、導波路分散により補償して波長分散値を零にできないためである。実際、カルコゲナイドガラスの材料分散値が零となるのは、 $5\mu\text{m}$ 以上の波長域になる。ファイバ径がサブミクロンの所謂ナノファイバを使った分散制御が試みられているが取り扱いに難点があり、また、限られた波長分散特性しか実現できないという課題がある。

フォトリック結晶ファイバ（PCF：Photonic Crystal Fiber）（微細構造光ファイバ等の呼称もあるが、ここでは以下PCFと呼ぶ。）はファイバ中に空孔を複数配置した構造のファイバであり、光のバンドギャップの形成や大きな導波路分散を実現することができる。我々は、PCF実現によるスーパーコンティニューム（SC：Supercontinuum）光の広帯域化の研究を進め、これまでに下記の世界的に注目される成果を上げてきた。

- (1) テルライトPCFの非線形定数が石英PCFの約300倍の $31.4\text{W}^{-1}\text{m}^{-1}$ にまで上げられることを示した。さらにカルコゲナイドハイブリッドPCFでは約900倍の非線形定数が得られることを明らかにした。
- (2) フッ化物光ファイバにより、4オクターブを超える（波長帯域 0.35 から $6.28\mu\text{m}$ ）SC光の発生に世界で初めて成功した。さらに 0.2 から $8\mu\text{m}$ の紫外から赤外吸収端に亘る5オクターブを超えるSCが発生し得ることを初めて実証した。また、近赤外域で励起したカルコゲナイドPCFで発生したSC光の中で最も広帯域な 1.25 から $6.38\mu\text{m}$ に亘るSC光の発生に成功した。
- (3) 高非線形全固体バンドギャップファイバを実現し光伝搬特性の動的制御が可能であることを明らかにした。さらに同ファイバにより誘導ブリルアン散乱の発生を抑制できることを示した。
- (4) ハイブリッドPCFにより石英光ファイバや最近注目されているSi光導波路による帯域の4倍以上の 2800nm にも亘る光パラメトリック増幅が可能であり、また、その特性を活かし低雑音相関光子対生成が可能であることを明らかにした。
- (5) 誘導ラマンおよび誘導ブリルアン散乱を用いて7から 200GHz 間隔の周波数コムが発生に成功した。

特筆すべきは、カルコゲナイドガラス等を用いた屈折率の異なる複数の素材で作製されるハイブリッドPCFを世界で初めて実現し、波長分散を広帯域で零（絶対値を極めて小さくすること）・平坦化することを可能として、近赤外から中赤外に及ぶ広帯域での位相整合が取れる等の特異な特性が実現できることを解明したことである。その特性は石英ガラスPCFやSi光導波路では全く実現できない、当初期待していた特性をはるかに上回るものであった。

これらの成果は、これまで30年以上研究されてきたが進展のなかった高非線形ガラス光導波路素子研究のブレークスルーとなるものであり、広帯域コヒーレント光発生、光パラメトリック効果による光信号処理、量子光学や近接場光学への展開を可能にするものである。本研究は、これら成果を基にコヒーレント光の創成および光波制御の新機能創成を推進する。

2. 研究の目的

本研究では、非線形性の非常に高いカルコゲナイドガラスやテルライトガラス等を用いた新規構造のハイブリッドフォトリック結晶ファイバの光伝搬特性を制御し紫外から中赤外域に亘るコヒーレント光の発生、光通信波長帯域を中心とした波長変換に代表される光パラメトリック効果を利用した高効率光信号処理、さらには量子情報通信に必要な相関光子対生成等を実現する。さらに、光による群速度等の光伝搬特性の動的制御や光パルスの選択的波長変換等の新機能創出を進める。本研究を通して、高非線形導波路素材による高効率広帯域光機能素子技術を構築し、“超オクターブファイバフォトリック”と呼ぶべき研究分野の開拓を目指す。

3. 研究の方法

本研究課題では、超広帯域なコヒーレント光の創成、高効率光信号処理や動的な導波路特性の制御等により新機能創成を目指す。具体的には、下記の項目の研究を行う。

- (1) テルライトやカルコゲナイドガラスをコアとし、クラッドとして低屈折率のフォスフェイトガラス等を用いたハイブリッドPCFにより広帯域波長制御を可能とし、広帯域パラメトリック効果を発現させる。
- (2) ハイブリッドPCFにより $20\mu\text{m}$ の中赤外域に亘るコヒーレント光発生、高効率なパラメトリック効果を利用した高効率広帯域波長変換や広帯域パラメトリック増幅、位相感応増幅、広帯域周波数コム、スローライト生成、さらには低雑音相関光子対生成を実現する。
- (3) 上記ガラス素材を用いた全固体フォトリックバンドギャップファイバにより石英光ファイバでは困難な光による動的な伝搬特性制御によりによる新機能創成の

実現を目指す。

4. 研究成果

●カルコゲナイドガラスのフィラメンテーションによる SC 光発生を検証を行った。試料は As_2Se_3 ガラスを用いた。励起波長は 9100 nm, パルス幅は 180 fs であり, パルスの繰り返し周波数は 1 kHz であった。励起波長が 9100nm の時, 6500 から 13000nm に亘り SC 光が発生することを確認した。 As_2Se_3 ガラスは $19\mu\text{m}$ に及ぶ光透過域をもつ。波長分散を制御することにより, 低いパワーの励起光によってより長波長の SC 光の発生が可能であることが示唆される結果を得た。

● AsSe_2 ガラスをコア, As_2S_5 ガラスをクラッドとしたハイブリッド微細構造光ファイバによる波長分散制御を検討し, 零分散波長を $2.5\mu\text{m}$ まで低減できることを明らかにした。また, AsSe_2 ガラスをコア, As_2S_5 ガラスをクラッドとしたハイブリッド微細構造光ファイバの試作に成功し, $6\mu\text{m}$ を超える波長域にまで SC 光を拡大させることに成功した。さらに As_2Se_3 をコアとするカルコゲナイドファイバにより $10\mu\text{m}$ に及ぶ SC 光の発生を確認に成功した。

●コアおよびクラッドにテルライトガラス $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3$ を高屈折率ロッドにカルコゲナイドガラス $\text{Ge}_{15}\text{Ga}_3\text{Sb}_{12}\text{S}_{70}$ を使用し, 全固体 PBGF を構成し光カー効果を利用した光制御により, バンドギャップを 265nm もシフト可能であることを初めて明らかにした。

●テルライトガラスのハイブリッド MOF 構造により, 石英ファイバでは実現不可能な 1.29 から $2.49\mu\text{m}$ に亘る超広帯域な増幅帯域が実現できることを初めて明らかにした。また, 1560nm に零分散波長をもつテルライト MOF により 104dB の高利得を確認することに成功した。また石英光ファイバでは実現できない 300nm を超える増幅帯域が見込まれることを初めて実証した。

●ステップインデックス型光ファイバによる SC 光発生を検証するため, As_2Se_3 ガラスをコア, AsSe_2 ガラスをクラッドとしたステップインデックス型光ファイバによる SC 光の発生を検討した。励起波長を $9.8\mu\text{m}$ としたとき, 2 から $15.1\mu\text{m}$ に亘る SC 光の発生を確認することができた。 $15\mu\text{m}$ を超える波長域にまで SC 光を拡大させることに初めて成功した。

●カルコゲナイドファイバは光損傷を受けやすく, 大きな光パルスの発生によりファイバの破壊が起きやすい。そこで, スーパーコンティニューム光発生時の各種ノイズに起因する巨大パルスの発生可能性を解析した。その結果, 励起光振幅揺らぎにより, 巨大パルスは発生しやすく励起光の安定性を確保することが, スーパーコンティニューム光のコヒーレンス確保に重要であることを明らかにした。

●全固体フォトニックバンドギャップファ

イバのフォトニックバンドギャップの特性を光カー効果により制御して, 全固体フォトニックバンドギャップファイバの透過特性を変化させ, 光変調への応用を検討した。光カー効果は非線形光学効果の一種で媒質の屈折率が光強度に依存して変化する現象であり, 超高速動作が期待できる。スタック&ドロウ法を用いて全固体フォトニックバンドギャップファイバの作製に成功し, 光カー効果によって全固体フォトニックバンドギャップファイバの透過特性を変化させる事で, 最大 20 dB の強度変調を実現できる可能性を初めて明らかにし, 応答速度 10 ピコ秒以下の高速光強度変調ができることを初めて明らかにした。

●ステップインデックス型光ファイバによる SC 光発生を検証するため, As_2Se_3 ガラスをコア, AsSe_2 ガラスを第一クラッド, As_2S_5 を第 2 クラッドとしたダブルクラッド光ファイバによる SC 光の発生を検討し, 2 から $14\mu\text{m}$ に亘る高コヒーレント SC 光の発生を確認した。中赤外域で高コヒーレント SC 光を発生できることを実証したのは世界で初めてである。また, この成果はこれまで困難であった光ファイバによる中赤外域での光周波数コムが発生が可能になったことを示すものである。

● AsSe_2 ガラスをコア, As_2S_5 ガラスをクラッドとしたテーパカルコゲナイドファイバにより, 短波長励起による 1.5 から $14.5\mu\text{m}$ に亘るエネルギー変換効率が 30% に及ぶ SC 光の発生が可能であることを初めて明らかにした。

●ファイバ作製時のフォトニック結晶ファイバ径の変動による波長分散特性の揺らぎをコアの周囲にコアより屈折率の低い層を付与することにより抑制できることを見出し, カルコゲナイド光ファイバの波長分散ゆらぎに起因する中赤外パラメトリック増幅特性の劣化を抑制できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 52 件)

1. T. S. Saini, N. P. T. Hoa, K. Nagasaka, X. Luo, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Coherent midinfrared supercontinuum generation using a rib waveguide pumped with 200 fs laser pulses at $2.8\mu\text{m}$ ”, Applied Optics, Vol. 57, No. 7, pp. 1689-1693, March 2018.
Doi:10.1364/AO.57.001689.
2. T. H. Tuan, D. Demichi, K. Nagasaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Suppressing $1.06\text{-}\mu\text{m}$ spontaneous emission of neodymium ions using a novel tellurite all-solid photonic bandgap fiber”, Optics Communications, Vol. 415, pp. 87-92,

January 2018.

Doi:10.1016/j.optcom.2017.01.031.

3. T. H. Tuan, Z. Duan, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Fabrication and supercontinuum generation in a tellurite hybrid microstructured optical fiber with near-zero and flattened chromatic dispersion control", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 125, No. 12, pp.876-880, December 2017.
Doi:10.2109/jcersj2.17135.
4. T. H. Tuan, N. P. T. Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Suppressing chromatic dispersion fluctuation for broadband optical parametric gain in highly nonlinear tellurite microstructured optical fibers", *Optical Review*, Vol. 24, No. 6, pp. 757-764, October 2017.
Doi:10.1007/s10043-017-0377-0.
5. T. Cheng, X. Xue, W. Gao, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "The Second-Order Raman Stokes Stronger Than the First-Order Raman Stokes Due to Inverse Raman Scattering in a Single Mode Tellurite Fiber", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 53, No. 4, 6800504, August 2017.
Doi:10.1109/JQE.2017.2711249.
6. K. Nagasaka, L. Liu, T. H. Tuan, T. H. Tuan, T. Cheng, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Supercontinuum generation in chalcogenide double-clad fiber with near zero-flattened normal dispersion profile", *Journal of Optics*, Vol. 19, pp. 1-9, August 2017.
Doi:10.1088/2040-8986/aa787b.
7. T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Fourth-order cascaded Raman shift in a birefringence ZBLAN fluoride fiber", *Optical Fiber Technology*, Vol. 36, pp. 245-248, July 2017.
Doi:10.1016/j.yofte.2017.04.005.
8. K. Nagasaka, L. Liu, T. H. Tuan, T. Cheng, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Numerical investigation of highly coherent mid-infrared supercontinuum generation in chalcogenide double-clad fiber", *Optical Fiber Technology*, Vol. 36, pp. 82-91, July 2017.
Doi:10.1016/j.yofte.2017.03.002.
9. T. Cheng, S. Tanaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "All-optical dynamic photonic bandgap control in an all-solid double-clad tellurite photonic bandgap fiber", *Optics Letters*, Vol. 42, No. 12, pp. 2354-2357, June 15, 2017.
Doi:10.1364/OL.42.002354.
10. K. Nagasaka, T. H. Tuan, T. Cheng, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Supercontinuum generation in the normal dispersion regime using chalcogenide double-clad fiber", *Applied Physics Express*, Vol. 10, No.3, pp. 032103-1-4, March 2017.
Doi:10.7567/APEX.10.032103.
11. T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Experimental investigation of multiple Raman peak properties in a hundred-meter tellurite fiber", *Optical Materials Express*, Vol. 6, No. 11, pp. 3438-3445, November, 2016.
Doi:10.1364/OME.6.003438.
12. T. H. Tuan, L. Zhang, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Wavelength conversion performance in a tellurite step-index optical fiber", *Optics Communications*, Vol. 381, pp. 282-285, July 2016.
Doi:10.1016/j.optcom.2016/07/026.
13. T. Cheng, T. H. Tuan, X. Xue, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Optical solitons and supercontinuum generation in a tellurite microstructured optical fiber", *Optics Communications*, Vol. 369, pp. 159-163, June, 2016.
Doi:10.1016/j.optcom.2016.02.051.
14. T. Cheng, K. Nagasaka, T. H. Tuan, X. Xue, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Mid-infrared supercontinuum generation spanning 2.0 to 15.1 μm in a chalcogenide step-index fiber", *Optics Letters*, Vol. 41, No. 9, pp. 2117-2120, May, 2016.
Doi:10.1364/OL.41.002117.
15. T. Cheng, M. Liao, X. Xue, J. Li, W. Gao, X. Li, D. Chen, S. Zheng, Y. Pan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "A silica optical fiber doped with yttrium aluminosilicate nanoparticles for supercontinuum generation", *Optical Materials*, Vol. 53, pp. 39-43, March 2016.
Doi: 10.1016/j.optmat.2016.01.018.
16. L. Liu, K. Nagasaka, G. Qin, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Coherence property of mid-infrared supercontinuum generation in Tapered chalcogenide fibers with different structures", *Applied Physics Letters*, Vol. 108, pp. 011101-1-5, January 2016.
Doi: 10.1063/1.4939187.

17. T. Cheng, T. H. Tuan, L. Liu, X. Xue, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication of all-solid AsSe₂-As₂S₅ microstructured optical fiber with two zero-dispersion wavelengths for generation of mid-infrared dispersive waves”, *Applied Physics Express*, Vol. 9, pp. 022502-1-4, January 2016.
Doi: 10.7567/APEX.9.022502.
 18. 大石泰丈, “高非線形微細構造光ファイバによる中赤外スーパーコンティニューム光の発生”, *レーザー研究*, Vol. 43, No. 8, pp. 526-531, August 2015.
 19. T. Cheng, T. H. Tuan, X. Xue, L. Liu, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Experimental observation of multiple dispersive waves emitted by multiple mid-infrared solitons in a birefringence tellurite microstructured optical fiber”, *Optics Express*, Vol. 23, No. 16, pp. 20647-20654, July 2015.
Doi: 10.1364/OE.23.020647.
 20. T. H. Tuan, E. Samuel, T. Cheng, K. Asano, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Optical parametric amplification in dual-pumped tellurite hybrid microstructured optical fiber with engineered chromatic dispersion”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 619, pp. 1-4, June 2015.
Doi: 10.1088/1742-6596/619/1/012052.
 21. T. Cheng, Y. Sakai, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication and characterization of an all-solid tellurite-phosphate photonic bandgap fiber”, *Optics Letters*, Vol. 40, No. 9, pp. 2088-2090, May 2015.
Doi: 10.1364/OL.40.002088
 22. K. Nagasaka, Q. Tian, L. Liu, D. Zhao, G. Qin, W. Qin, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Theoretical investigation of tunable pulse broadening cancellation via doublet Brillouin gain lines in an optical fiber”, *Optics Communications*, Vol. 351, pp. 35-39, April 2015.
Doi: 10.1016/j.optcom.2015.04.011.
- [学会発表] (計 95 件)
1. T. H. Tuan, S. Kuroyanagi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “All-solid tellurite optical fiber with transversely disordered refractive index profile and its optical image transport performance”, *Photonics West 2018, Proc. of SPIE Vol. 10528*, pp. 105281O-17, January 27-February 1, 2018, San Francisco, USA.
 2. T. Cheng, S. Li, X. Yan, T. H. Tuan, M. Matsumoto, S. Cho, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Experimental investigation cascaded stimulated Raman in chalcogenide optical fiber”, *Photonics West 2018, Proc. of SPIE Vol. 10528*, pp. 105281J-1-7, January 27-February 1, 2018, San Francisco, USA.
 3. T. Cheng, S. Tanaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication and Characterization of an All-solid Double-clad Tellurite Photonic Bandgap Fiber”, *OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS, JW4A.77T*, September 17-22, 2017, Washington DC, USA.
 4. Y. Ohishi, T. Cheng, K. Nagasaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, M. Matsumoto, and H. Tezuka, “Mid-infrared Supercontinuum Generation in Chalcogenide Optical Fibers”, S2622, 2017 CLEO Pacific Rim Conference, (CLEO-PR2017), July 31- August 4, 2017, Singapore.
 5. T. H. Tuan, S. Tanaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Dynamic bandgap control in a double cladding tellurite photonic bandgap fiber”, 2017 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO®/Europe-EQEC 2017), ce-p-8, June 25-29, 2017, Munich, Germany.
 6. K. Nagasaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Modeling of dispersion flattened chalcogenide double clad fibers for midinfrared light generation”, 2017 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO®/Europe-EQEC 2017), cf-p-17, June 25-29, 2017, Munich, Germany.
 7. T. H. Tuan, N. P. T. Hoa, H. Kawamura, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Chromatic dispersion fluctuation and optical parametric amplification performance in a tellurite hybrid microstructured optical fiber with buffer layer”, *CLEO2017, JTu5A.120*, May 14th-19th, 2017, San Jose, USA.
 8. K. Nagasaka, T. H. Tuan, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Mid-infrared Supercontinuum Generation in Chalcogenide Double Clad Fiber”, *CLEO2017, JW2A.44*, May 14th-19th, 2017, San Jose, USA.

9. Y. Ohishi and T. Suzuki, “Supercontinuum and Parametric Amplification using Soft Glass Highly Nonlinear Optical Fibers”, CerSJ-GOMD Joint Symposium on Glass Science and Technologies co-located with The 57th Meeting on Glass and Photonic Materials & The 12th Symposium of Glass Industry Conferences of Japan, I-18, November 13-15, 2016, Kyoto, Japan.
10. T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Second-order Raman Shift with Multiple Peaks in a Hundred-meter Tellurite Fiber”, Advanced Solid State Laser Congress 2016 (ASSL), JTh2A.5, October 30-November 3, 2016, Boston, USA.
11. Y. Ohishi, “Soft Glass Optical Fibers for Nonlinear Applications”, CLEO2016, SW1P.1, June 5-10, 2016, San Jose, USA.
12. Y. Ohishi and T. Suzuki, “Recent status of lightwave generation and processing using soft glass specialty optical fibers”, 2016 Glass and Optical Materials Division Annual Meeting, pp. 23, GOMD-S3-002-2016, May 22-26, 2016, Madison, WI, USA.
13. Y. Ohishi, T. Cheng, D. Deng, L. Zhang, L. Liu, and T. Suzuki, “Mid-infrared Supercontinuum Generation using Soft Glass Fibers”, The 10th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2016), pp. 74, May 10-14, 2016, Jeju Island, Korea.
14. Y. Ohishi, “Novel Soft Glass Highly Nonlinear Optical Fibers and Their Applications”, The 24th International Congress on Glass, I32, April 7-11, 2016, Shanghai, China.
15. T. H. Tong, K. Nagasaka, L. Zhang, T. Cheng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Highly nonlinear chalcogenide optical fibers with flattened chromatic dispersion invariant to the core fluctuation and their performances of parametric amplification”, SPIE Photonics West 2016, pp. 97440Q-18, February 13-18, 2016, San Francisco, USA.
16. T. Cheng, T. H. Tuan, X. Xue, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Experimental Observation of Multiple Dispersive Waves and Mid-infrared Solitons in a Birefringence Tellurite Microstructured Optical Fiber”, Frontiers in Optics: The 99th OSA Annual Meeting and Exhibit/Laser Science XXXI 2015, JTu4a.29, October 18-22, 2015, San Jose,

USA.

17. T. Cheng, T. H. Tuan, X. Xue, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Multi-peak-spectra Generation with Multiple Dispersive Waves and Solitons in a Birefringence Tellurite Microstructured Optical Fiber”, 41st European Conference on Optical Communication (ECOC2015), P_1_03, September 27th - October 1st, 2015, Valencia Spain.

[図書] (計 0 件)

[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

URL:

<http://www.toyota-ti.ac.jp/kenkyu/ken11.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大石 泰丈 (OHISHI, Yasutake)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号: 80360238

(2) 研究分担者

鈴木 健伸 (SUZUKI, Takenobu)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号: 60367828

(3) 連携研究者: なし

(4) 研究協力者

Tonglei Cheng (Tonglei Cheng)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・PD 研究員

Tong Hoang Tuan (Tong Hoang Tuan)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・PD 研究員

Lai Liu (Lai Liu)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・PD 研究員

Lei Zhang (Lei Zhang)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・PD 研究員

Xing Luo (Xing Luo)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・松本守男 (MATSUMOTO, Morio)

古河電子株式会社 研究員