

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 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：2012～2014

課題番号：24246065

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超オクターブ光波創成および制御

研究課題名(英文)Ultra-Broadband Lightwave Generation and Processing 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) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：テルライトガラス等は、その赤外吸収端にまで及ぶスーパーコンテニューム光を発生させることが可能な素材であることを実証した。コアとクラッドを異種ガラスとしたハイブリッドフォトニック結晶ファイバを開発し、高非線形ファイバの波長分散の低減・平坦化が可能であることを明らかにした。また、中赤外スーパーコンテニューム光の発生、帯域2800nmのパラメトリック増幅や動的なフォトニックバンドギャップの制御が可能であることを明らかにした。本研究により、高非線形ガラス素材を用いたフォトニック結晶ファイバにより石英ファイバで実現困難な高機能光波の創生制御が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It was shown that tellurite and fluoride glass can generate supercontinuum reaching their infrared absorption edges. In case of fluoride, it can generate supercontinuum covering the spectral range over 5 octaves from its ultra violet absorption edge to infrared absorption edge. We successfully fabricated the hybrid photonic crystal fibers which can control the chromatic dispersion with high freedom using core and cladding with different glass systems. We showed that supercontinuum extending to the mid-infrared region can be generated and broadband parametric amplification gain can be realized using the hybrid photonic crystal fibers with flattened chromatic dispersion spectra. It was shown from this research project that coherent light generation and processing which cannot be realized by silica fibers can be achieved using the hybrid photonic crystal fibers made of non-silica highly nonlinear glasses.

研究分野：フォトニクス

キーワード：スーパーコンテニューム 非線形光学 微細構造光ファイバ 高非線形ファイバ 中赤外コヒーレント光

### 1. 研究開始当初の背景

重金属酸化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300倍程度)を持ち、フッ化物ガラス( $ZrF_4$ を主成分とするガラス)は光透過特性の優れた素材である。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。その理由は、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、 $3\mu m$ 以上の波長域になる。ファイバ径がサブミクロンのいわゆる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。

フォトニック結晶ファイバ(Photonic Crystal Fiber: PCF)(微細構造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構造分散を実現することができる。しかし、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等を用いたファイバの波長分散制御は必ずしも十分でない。

このように高非線形ガラスは非線形光導波路素材としてここ30年以上研究されてきたが、波長分散の制御が難しいため大きな進展はなかった。そこで高非線形ガラスを用いた非線形光学素子研究のブレイクスルーが求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、光導波路用ガラス素材のなかで最も非線形性の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フォトニック結晶ファイバやナノファイバの導波路特性を制御し紫外から中赤外域( $20\mu m$ )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、導波路特性の光による群速度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目指す。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、“超オクターブフォトニクス”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、我々が新規に開発したハイブリッド構造のPCFやナノファイバにより、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。そして、本研究を通して、“超オクターブフォトニクス”の基盤

技術を構築し、広い科学技術分野へ研究成果の展開できるよう礎を築く。具体的には、下記の項目の検討を集中的に行う。

- (1) フッ化物PCF、テルライトやカルコゲナイドガラスをコア素材としたハイブリッド構造のPCFやナノファイバにより、これまでに例のない紫外域から $20\mu m$ の中赤外域に亘る広帯域なコヒーレント光の発生を目指す。
- (2) 高効率なパラメトリック効果を利用した高効率波長変換を実現し、高効率光信号処理の基盤技術の構築を目指す。
- (3) 石英光ファイバでは困難な光による動的な導波路特性の制御によりハイブリッドPCFやナノファイバによる新機能創成の実現を目指す。

### 4. 研究成果

(1) テルライトガラスやフッ化物ガラスをSC媒体として、フィラメンテーションにより導波路構造を形成しSC発生を行った。その結果、テルライトガラスで $0.6$ から $6\mu m$ におよぶ広帯域SCの発生に成功した。また、フッ化物ガラスを用いて $0.2$ から $8\mu m$ におよぶ5オクターブ以上の超広帯域SCの発生に成功した。フッ化物ガラスでは、 $3dB$ 帯域幅が $1.15$ から $4.76\mu m$ であり、 $20dB$ 帯域幅が $0.39$ から $7.4\mu m$ であった。このような広帯域なSCの発生は、これまでに観測されてなく、この研究により初めて観測した。

(2) コアガラスとして $AsSe_2$ 系ガラスおよびクラッドガラスとして $As_2S_5$ 系ガラスを用いることにより、ハイブリッドPCFが作製可能であることを明らかにした。また、ハイブリッドPCF構造と波長分散特性との相関を詳細解析した。その結果、4穴構造において3波長で零分散となりかつ広い波長域で低分散な分散特性が実現できることを明らかにした。

(3) コアガラスとして $AsSe_2$ 系ガラスおよびクラッドガラスとして $As_2S_5$ 系ガラスを用いてハイブリッドカルコゲナイドPCFの実現に初めて成功し、 $6\mu m$ におよぶSC光の発生に成功した。また、ハイブリッドPCF構造と波長分散特性との相関を解明した。

(4)  $GeTeSe$ 系のカルコゲナイド光導波路を用いて $10\mu m$ に亘るSC光の発生に成功した。カルコゲナイド光導波路のSC光発生媒体として有望であることを初めて実証した。

(5) テルライトPCFのOH基吸収の低減に成功した。その結果、SC光をこれまで困難であった $3.3\mu m$ にまで伸長することに成功した。テルライトPCFにより $3\mu m$ を超えるSCの発生に成功したのは初めてである。

(6) 直線偏光に偏光した中赤外SCを発生させるため、楕円コアを有する偏波保持型のテルライトPCFの実現を進めその作製に成功した。さらに偏波分散評価装置を構築し、偏波分散特性評価を可能とした。偏波分散特性を解明するとともにテルライトPCFで初めて偏波保持した光波の伝搬が実現していることの確認

に成功した。また、直線偏光に偏光した中赤外SCの発生に成功した。

(7)テルライトPCFにより初めて光パラメトリック増幅の観測に成功した。通信波長帯にて40dB以上の利得を確認した。テルライトPCFにより高効率パラメトリック利得が確認されたのは初めてである。

(8)ハイブリッドPCF用のテルライトガラスおよびフォスフェイトガラスを開発して、テルライトガラスコア・フォスフェイトガラスクラッドのハイブリッドPCFの作製に初めて成功した。このPCFの波長分散と構造との相関を詳細に検討した結果、1から2 $\mu$ mに亘り低分散にできるPCF構造があることを見出した。その構造を持つPCFにより1200nmの帯域の光パラメトリック増幅が可能であることを明らかにした。このような広帯域光パラメトリック増幅は石英ファイバでは実現できず、テルライトPCFの特徴である。

(9)カルコゲナイドガラスコア・テルライトガラスクラッドのハイブリッドPCFの作製に初めて成功した。このPCFの波長分散と構造との相関を詳細に検討した結果、1から3 $\mu$ mに亘り低分散にできるPCF構造があることを見出した。その構造を持つPCFにより2800nmの帯域の光パラメトリック増幅が可能であることを明らかにした。この広帯域光パラメトリック増幅は石英ファイバでは実現できないカルコゲナイドPCFの大きな特徴であることを明らかにした。

(10)テルライトガラスとカルコゲナイドガラスよりなる全固体フォトニックバンドギャップファイバによるフォトニックバンドギャップの動的制御が光励起で200nm以上可逆的に可能であることを明らかにした。テルライトガラスによりなる全固体フォトニックバンドギャップファイバにおいてもカルコゲナイドガラス同様フォトニックバンドギャップの動的制御が光励起で帯域100nm以上可逆的に可能であることを明らかにした。また、コア・クラッドガラスに使用できるガラス素材を開発し、テルライトガラスによりなる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、その特性検証を進めた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計75件)

1. M. Liao, W. Gao, Z. Duan, X. Yan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Supercontinuum generation in short tellurite microstructured fibers pumped by a quasi-cw laser”, Optics Letters, 査読有, Vol. 37, No. 11, pp. 2127-2129, <http://dx.doi.org/10.1364/OL.37.002127>, 2012年.
2. C. Chaudhari, M. Liao, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Chalcogenide Core Tellurite Cladding Composite Microstructured Fiber for Nonlinear Applications”, Journal of Lightwave Technology, 査読有, Vol. 30, No. 13, pp. 2069-2076, <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2012.2191766>, 2012年.
3. H. T. Tong, C. Kito, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication of highly nonlinear optical fibers with tellurite glass core and phosphate glass cladding”, Optical Materials, 査読有, Vol.34, No. 11, pp. 1795-1803, <http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2012.05.008>, 2012年.
4. W. Gao, M. Liao, T. Cheng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Tunable hybrid Brillouin-erbium comb fiber laser in a composite cavity with a single-mode tellurite fiber”, Optics Letters, 査読有, Vol. 37, No. 18, pp. 3786-3788, <http://dx.doi.org/10.1364/OL.37.003786>, 2012年.
5. X. Yan, M. Liao, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Quantum-correlated photon pair generation in tellurite microstructured optical fibers”, Applied Physics B, 査読有, Vol. 109, No. 2, pp. 277-282, <http://dx.doi.org/10.1007/s00340-012-5200-9>, 2012年.
6. M. Liao, W. Gao, T. Cheng, Z. Duan, X. Xue, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Ultrabroad supercontinuum generation through filamentation in tellurite glass”, Laser Physics Letters, 査読有, Vol. 10, No. 3, pp. 036002-1-5, <http://dx.doi.org/10.1088/1612-2011/10/3/036002>, 2013年.
7. M. Liao, W. Gao, T. Cheng, X. Xue, Z. Duan, D. Deng, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Five-Octave-Spanning Supercontinuum Generation in Fluoride Glass”, Applied Physics Express, 査読有, Vol. 6, No. 3, pp. 032503-1-3, <http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.032503>, 2013年.
8. Savelii, F. Desevedavy, J. C. Jules, G. Gadret, J. Fatome, B. Kibler, H. Kawashima, Y. Ohishi, and F. Smektala, “Management of OH absorption in tellurite optical fibers and related supercontinuum generation”, Optical Materials, 査読

- 有, Vol. 35, No. 8, pp. 1595-1599,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2013.04.012>, 2013年
9. T. H. Tuan, T. Cheng, K. Asano, Z. Duan, W. Gao, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Optical parametric gain and bandwidth in highly nonlinear tellurite hybrid microstructured optical fiber with four zero-dispersion wavelengths”, Optics Express, 査読有, Vol. 21, No. 17, pp. 20303-20312,  
<http://dx.doi.org/10.1364/OE.21.020303>, 2013年
  10. W. Gao, Z. Duan, K. Asano, T. Cheng, D. Deng, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Mid-infrared supercontinuum generation in a four-hole As<sub>2</sub>S<sub>5</sub> chalcogenide microstructured optical fiber”, Applied Physics B, 査読有, Vol. 116, No. 4, pp. 847-853,  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00340-014-5771-8>, 2014年.
  11. 大石泰文, “高非線形微細構造光ファイバによる広帯域スーパーコンティニューム光の発生”, New Glass, 査読無, Vol. 29, No. 1, pp.14-17, 2014年.
  12. T. Cheng, Y. Kanou, D. Deng, X. Xue, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication and characterization of a hybrid four-hole AsSe<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>S<sub>5</sub> microstructured optical fiber with a large refractive index difference”, Optics Express, 査読有, Vol. 22, No. 11, pp. 13322-13329,  
<http://dx.doi.org/10.1364/OE22.013322>, 2014年.
  13. T. Cheng, D. Deng, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Continuous-wave four-wave mixing in a single-mode tellurite fiber”, Applied Physics Letters, 査読有, Vol. 104, No. 25, pp. 251903-1-4,  
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4884651>, 2014年.
  14. T. Kohoutek, Z. Duan, H. Kawashima, T. Cheng, T. Suzuki, M. Matsumoto, T. Misumi, and Y. Ohishi, “Tailoring chromatic dispersion in chalcogenide-tellurite microstructured optical fiber”, Optical Fiber Technology, 査読有, Vol. 20, No. 4, pp. 409-413,  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.yofte.2014.05.004>, 2014年.
  15. T. Cheng, Y. Kanou, X. Xue, D. Deng, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Mid-infrared supercontinuum generation in a novel AsSe<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>S<sub>5</sub> hybrid microstructured optical fiber”, Optics Express, 査読有, Vol. 22, No. 19, pp. 23019-23025,  
<http://dx.doi.org/10.1364/OE.22.023019>, 2014年.
  16. D. Deng, D. Sega, T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Dispersion characterization of two orthogonal modes in a birefringence tellurite microstructured optical fiber”, Optics Express, 査読有, Vol. 22, No. 20, pp. 23920-23927,  
<http://dx.doi.org/10.1364/OE.22.023920>, 2014年.
  17. T. Cheng, H. Kawashima, X. Xue, D. Deng, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Fabrication of a chalcogenide-tellurite hybrid microstructured optical fiber for flattened and broadband supercontinuum generation” Journal of Lightwave Technology, 査読有, Vol. 33, No. 2, pp. 333-338,  
<http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2014.2379912>, 2015年.
  18. T. Cheng, L. Zhang, X. Xue, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Broadband cascaded four-wave mixing and supercontinuum generation in a tellurite microstructured optical fiber pumped at 2 μm”, Optics Express, 査読有, Vol. 23, No. 4, pp. 4125-4134,  
<http://dx.doi.org/10.1364/OE.23.004125>, 2015年.
- (他 57件)**
- [学会発表](計 140件)
1. W. Gao, M. Liao, L. Yang, X. Yan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “All-fiber broadband supercontinuum generation in a single-mode high nonlinear silica fiber”, Proc. of SPIE, Vol. 8434, pp. 843419-1-8, 2012 Photonics Europe, Brussels, Belgium, April 2012.
  2. X. Yan, M. Liao, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Low Noise Quantum-correlated Photon Pair Generation in Composite Tellurite/Phosphate Microstructured

- Optical Fibers”, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2012, CLEO Technical Digest, JW4A.24, San Jose, USA, May 2012.
3. (Invited) Y. Ohishi, “Supercontinuum generation in non-silica highly nonlinear fibers”, International Symposium on Non Oxide Glasses and New Optical Glasses, V-4 inv-1, pp. 123, Saint-Malo, France, July 2012.
  4. T. Cheng, M. Liao, W. Gao, Z. Duan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Tellurite glass hollow-core photonic bandgap fiber”, 5th EPS-QEOD Europhoton Conference 2012, Wep.33, Stockholm, Sweden, August 2012.
  5. W. Gao, M. Liao, T. Cheng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Tunable Brillouin-Erbium Fiber Laser using a Single-Mode Tellurite Fiber”, 96<sup>th</sup> OSA Annual Meeting Frontiers in Optics 2012/APS/DLS 28th Annual Meeting Laser Science XXVIII, FW3A.38, Rochester, U.S.A, October, 2012.
  6. M. Liao, W. Gao, T. Cheng, Z. Duan, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Broadband Supercontinuum Generation Through Filamentation in Tellurite Glass Pumped by Ultrashort Pulse”, 96<sup>th</sup> OSA Annual Meeting Frontiers in Optics 2012/APS/DLS 28th Annual Meeting Laser Science XXVIII, FTh2B.3, Rochester, U.S.A, October, 2012.
  7. X. Yan, M. Liao, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Analysis of soliton self-frequency shift in ZBLAN fiber as a broadband supercontinuum medium”, 2013 Photonics West, pp. 862112-1-7, San Francisco, USA, February 2013.
  8. T. Cheng, M. Liao, H. T. Tong, W. Gao, Z. Duan, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “All-solid tellurite-phosphate photonic bandgap fiber”, 2013 Photonics West, pp. 862114-1-6, San Francisco, USA, February 2013.
  9. M. Liao, W. Gao, T. Cheng, Z. Duan, X. Xue, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Filamentation and supercontinuum generation in tellurite glass”, 2013 Photonics West, pp. 862110-1-8, San Francisco, USA, February 2013.
  10. (Invited) Y. Ohishi, “New Prospect of Soft Glass Highly Nonlinear Microstructured Optical Fibers”, 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), TuA4-2, Kyoto, Japan, July 2013.
  11. Y. Sakai, T. Cheng, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Dynamic Lightwave Propagation Control in Tellurite All Solid Photonic Bandgap Fibers”, 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR), WPA-21, Kyoto, Japan, July 2013.
  12. (Invited) M. Liao, Y. Ohishi, T. Cheng, W. Gao, X. Xue, Z. Duan, D. Deng, H. Kawashima, and T. Suzuki, “Supercontinuum Generation Approaching the Whole Transparent Range of Glass”, 6<sup>th</sup> IEEE / International Conference on Advanced Infocomm Technology, SU-D-1, pp.45-46, Hsinchu, Taiwan, July 2013.
  13. (Invited) T. Cheng, Y. Sakai, H. Kawashima, T. Suzuki and Y. Ohishi, “Dynamic control in all-solid soft-glass photonic bandgap fibers”, 6<sup>th</sup> IEEE / International Conference on Advanced Infocomm Technology, SU-B-5, pp.28-29, Hsinchu, Taiwan, July 2013.
  14. T. Cheng, Y. Sakai, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Dynamic Bandgap Control in All-solid Tellurite Photonic Bandgap Fibers”, OSA Nonlinear Optics (NLO) 2013, NW4A.03, Hawaii, USA, July 2013.
  15. M. Liao, W. Gao, T. Cheng, X. Xue, Z. Duan, D. Deng, H. Kawashima, T. Suzuki, and Y. Ohishi, “Ultra-Broadband Mid-Infrared Supercontinuum Generation in Fluoride Glass”, OSA Advanced Solid-State Lasers Congress, MW1C.9, Paris, France, October 2013.
  16. (Invited) Y. Ohishi, “Supercontinuum Generation in Highly Nonlinear Fibers”, OSA Advanced Solid-State Lasers Congress, AM2A.1, Paris, France, October 2013.
  17. (Invited) Y. Ohishi, “Soft Glass Highly Nonlinear Microstructured Optical Fibers”, 1<sup>st</sup> Joint Meeting of DGG-ACerS

- GOMD, Aachen, Germany, May 2014.
18. T. Cheng, X. Xue, D. Deng, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Supercontinuum Generation in a Three-core Chalcogenide-tellurite Fiber", Advanced Photonics 2014, JM5A.14, Barcelona, Spain, July 2014.
  19. (Invited)Y. Ohishi, "Highly Nonlinear Soft Glass Microstructured Optical Fiber", Advanced Photonics 2014, SoM2B.1, Barcelona, Spain, July 2014.
  20. (Invited) Y. Ohishi, "New Prospect of highly nonlinear soft glass microstructured optical fibers", 6<sup>th</sup> International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA2014), ICOOPMA00205, Leeds, UK, August 2014.
  21. (Plenary)Y. Ohishi, "Prospect of mid-infrared supercontinuum generation using soft glasses", Advanced Architectures in Photonics 2014, MO1P, Prague, Czech Republic, September 2014.
  22. T. Cheng, R. Usaki, X. Xue, D. Deng, Y. Kanou, M. Matsumoto, T. Misumi, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Mid-infrared soliton generation in a tapered As<sub>2</sub>S<sub>5</sub> microstructured optical fiber", OSA Frontiers in Optics/Laser Science 2014, JTu3A.35, Tucson, USA, October 2014.
  23. D. Deng, D. Sega, T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "An Elliptical Core Birefringence Tellurite Microstructured Optical Fiber", OSA Frontiers in Optics/Laser Science 2014, JW3A.21, Tucson, USA, October 2014.
  24. (Invited)Y. Ohishi, "New Prospect of Soft Glass Optical Fibers", Asia Communications and Photonics Conference (ACP2014), AF3C.6, Shanghai, China, November, 2014.
  25. Tuan H. Tong, H. Kawashima, K. Asano, Z. Duan, T. Cheng, D. Deng, M. Matsumoto, T. Hiroshige, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Flattened supercontinuum generation in tellurite-phosphate and chalcogenide-tellurite hybrid

microstructured optical fibers with tailored chromatic dispersion profiles", 2015 Photonics West, 9359-56, San Francisco, USA, February 2015.

26. T. Cheng, T. H. Tong, X. Xue, D. Deng, T. Suzuki, and Y. Ohishi, "Ultra-flat and broad gain bandwidth of optical parametric amplification in highly-nonlinear tellurite hybrid microstructured optical fibers", 2015 Photonics West, 9359-64, San Francisco, USA, February 2015.

### (他 114 件)

〔図書〕(計 1 件)

1. 大石 泰丈 (分担執筆), 丸善出版, "14.4.2 光ファイバーアンプ", 化学便覧 応用化学編 第7版, pp. 828-832, 2014年1月.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 1 件)

名称：光ジャイロ  
 発明者：大石 泰丈，山下 秀一  
 権利者：(株)デンソー，学校法人トヨタ学園  
 種類：特許  
 番号：特許第 5708243 号  
 出願年月日：平成 23 年 5 月 24 日  
 取得年月日：平成 27 年 3 月 13 日  
 国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.toyota-ti.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大石 泰丈 (OHISHI YASUTAKE)  
 豊田工業大学・大学院工学研究科・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・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：60367828