

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02203

研究課題名(和文) アンダーソン局在ファイバによる高解像度赤外イメージ伝送

研究課題名(英文) High-resolution infrared image transport by Anderson localization optical fibers

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,310,000円

研究成果の概要(和文)：赤外光をよく透過するテルライトガラスを用いて、ファイバ線引き時に中空管内を減圧することにより、空隙のないランダム断面構造ファイバ(TDOF)を作製した。作製したTDOFで波長1.5ミクロンの赤外画像伝送に成功した。従来のTDOFでは屈折率の分布の偏りの発生は避けることができない。異種のロッドが隣接するような新規構造を提案し、伝送イメージの平均構造類似性指数が向上した。波長約10ミクロンの程度までの中赤外光をよく透過するカルコゲナイドを用いて、空隙のない緻密なTDOFを作製することに成功した。波長3ミクロンの中赤外光でTDOFによる画像伝送が可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、赤外光をよく透過する新規なガラス材料を用いて、光を狭い領域に閉じ込めることができるランダムな屈折率分布を持つファイバを作製し、赤外イメージ伝送が可能であることを実証した。近年、医療分野では手術や検査による患者への負担を減らすことが求められており、可視光イメージファイバを利用した手術や検査の件数が増加している。赤外イメージファイバにを用いることで体内の温度分布が直接的に観察できるようになり、医師の経験と勘によらない診断が可能になるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：It is known that tellurite glass can transmit longer wavelength infrared light than conventional silica glass. We have prepared a tellurite transversely disordered optical fiber (TDOF) without voids from a hollow tube depressurized the inside during the fiber drawing process. Infrared image transmission at a wavelength of 1.5 microns has been successfully achieved with the fabricated TDOF. In conventional TDOFs, deviation in the refractive index distribution cannot be avoided. We have proposed a new structure in which rods of different species are adjacent to each other, and improved the average structural similarity index of transmitted images. Chalcogenide glasses are known for their characteristic of transmission of mid-infrared light up to a wavelength of about 10 microns. We have successfully prepared a chalcogenide TDOF with no voids. We have demonstrated image transmission by TDOF with mid-infrared light with a wavelength of 3 microns.

研究分野：光機能材料工学

キーワード：赤外透過ガラス 光ファイバ 赤外イメージング 光のアンダーソン局在 画像伝送

1. 研究開始当初の背景

近年、医療分野では手術や検査による患者への負担を減らすことが求められているため、関節内視鏡、子宮内視鏡、尿管内視鏡、結腸内視鏡、腹腔鏡などイメージファイバを利用した手術や検査の件数が増加している。

生体中の主な光吸収媒質は血液を構成する水とヘモグロビンであり、これらの光吸収のない $0.7 - 1.8 \mu\text{m}$ の波長域は生体の窓(図 1)と呼ばれており生体組織の深くまで浸透することができる。生体の体温の約 300 K では $10 \mu\text{m}$ に熱放射波長のピークがあり、 $8 - 14 \mu\text{m}$ の赤外波長域(図 1)を用いて、皮膚表面から放射される熱を画像化するサーモグラフィーが有血行障害・代謝異常・自律神経障害・炎症・腫瘍などの診断に利用されている。例えば、直腸触診による診断が行われている前立腺疾患、閉塞性疾患、動脈瘤、腫瘍などでは、赤外イメージファイバで生体サーモグラフィー波長域の赤外光をイメージ伝送することで体内の温度分布が直接的に観察することができるようになり、医師の経験と勘によらない診断が可能になる。

市販のイメージファイバはシリカを主成分とするガラスでできており、図 2 に示すようにコアが蜂の巣状に規則正しく配列した構造を持ち、赤外波長域では隣接したコア間のクロストークによって光が漏れ出すため像がぼやけ、 $3 \mu\text{m}$ を超える波長域はガラス材料を全く透過しないので利用できない。現状では赤外イメージ伝送に適したガラス材料を用いた高解像度の赤外イメージ伝送に適したイメージファイバはない。

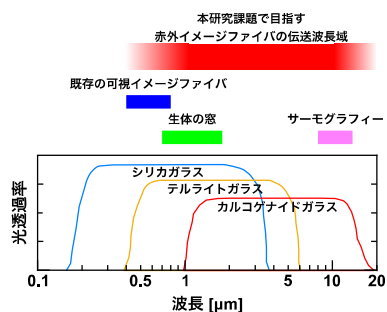


図 1. 本研究で実現を目指す赤外イメージ伝送ファイバの波長域

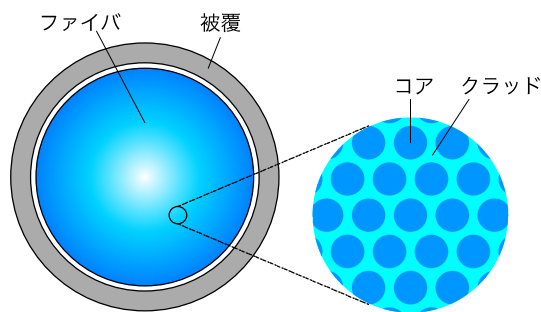


図 2. 市販の可視光用イメージ伝送ファイバの断面

2. 研究の目的

赤外光は可視光より波長が長いために図 2 のような周期的な構造を持つイメージファイバでは隣接するコア間のクロストークにより伝送イメージの解像度は低下する。その解決策として、アンダーソン局在による光閉じ込め効果を赤外イメージ伝送の高解像度化に応用する点は本研究課題の独創的な点である。アンダーソン局在を赤外イメージ伝送の高解像度化に用いる報告例はこれまでのところ他の研究グループからはなされていない。

本研究課題では、高解像度赤外イメージファイバ用の材料の候補としてテルライトとカルコゲナイドを検討する。テルライトガラスとカルコゲナイドガラスは図 1 に示すように赤外の広い波長域にわたる優れた透過特性を有し、組成によって屈折率を大きく変化させることができるので高屈折率コントラストによる高い光閉じ込めが実現できる。いずれのガラスも熱的に安定で結晶化が生じ難く、光ファイバの作製に適した優れた熱的特性を有している。

本研究課題の目的は以下の 3 つである：

- (1) 可視域において周期構造ファイバよりも高い解像度が実現することが報告されているランダム断面構造を有するアンダーソン局在ファイバで赤外波長域でも同様にランダム断面構造で高解像度が得られるのかを明らかにする。
- (2) 種々の屈折率分布をもつランダム断面構造ファイバについて検討を行い、アンダーソン局在による高解像度化のメカニズムと限界の解像度を明らかにする。
- (3) アンダーソン局在ファイバによって生体の窓と生体サーモグラフィー波長域での高解像度イメージ伝送を実現する。

3. 研究の方法

本研究では実験の試行回数を減らすために数値シミュレーションを積極的に利用した。ランダム

ムな断面を有するアンダーソン局在ファイバの特性を明らかにするため同じファイバパラメータで配置の異なるファイバについて多数回の試行を行い、統計的に処理を実施した。研究代表者が開発したランダム断面構造ファイバに最適化した有限差分ビーム伝搬法 (FD-BPM) ソフトウェアと市販の有限要素法 (FEM) ソフトウェアを用いて作製するランダム断面構造ファイバの基本的なパラメータの決定を行った。

数値シミュレーションを用いることで、実験では直接的に測定することが不可能なランダム断面構造ファイバ中の光の電場の分布と伝搬ともなう変化を逐一追跡した。FD-BPM によって多重散乱と干渉の過程を詳細に解析し、アンダーソン局在による高解像度イメージ伝送のメカニズムを考察した。

アンダーソン局在ファイバの作製の手順の概略を説明する。屈折率の異なる 2 種類のガラスからなる直径約 12 mm のロッドを作製し、ファイバ線引き装置を用いて直径約 125 μm の素線を作成する。種類の異なる素線のそれぞれ 1000 本ずつをランダムに並べて外径 12 mm、内径 6 mm の低屈折率ガラスチューブに挿入し、チューブ内を真空にしながらか線引きし、外径 350 μm のアンダーソン局在ファイバを作製した。イメージファイバとしての応用を考えると、素線を完全にランダムに配置し、長手方向には一様でねじれないファイバを作製することが重要である。

赤外イメージ伝送と解像度の確認は以下のように行った。赤外光源からの光をシングルモード光ファイバを用いて、アンダーソン局在ファイバにバットジョイントによって入射させた。ビームプロファイラを用いてファイバからの出射光を観察した。入射イメージと出射イメージの相互の相関を取ることでイメージ伝送の評価を行った。

4. 研究成果

[1] テルライトランダム断面構造ファイバの作製と近赤外イメージ伝送の実現

TeO_2 を主成分とするテルライトガラスはシリカガラスよりも長波長の赤外光を透過する。本研究では、我々のグループが開発した $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O-WO}_3\text{-MoO}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ を成分とする TLWMN ガラスと $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Na}_2\text{O-La}_2\text{O}_3$ を成分とする TZNL ガラスを用いてテルライトランダム断面構造ファイバを作製した。このガラス組成の組み合わせでは、ファイバ作製の可否に関わる軟化温度と熱膨張係数が近く、さらに、近赤外領域での屈折率差は約 0.1 であり、十分な光の局在化が起こるものと期待できる。

作製したテルライトランダム断面構造ファイバの光学顕微鏡により撮影した断面写真を図 3 に示す。図 3 中の明るい色の部分が TLWMN ガラス、暗い色の部分は TZNL ガラスから成る領域である。ファイバ線引き時に中空管内を減圧することにより、欠陥となる空隙のないテルライトランダム断面構造ファイバの作製に成功した。

作製したテルライトランダム断面構造ファイバを用いて、赤外イメージ伝送実験を行った。テストターゲットをテルライトランダム断面構造ファイバの一端に密接させ、波長 1.5 μm の光を入射し、他端からの光を InGaAs ビームプロファイラを用いて観察した。その結果を図 4 (b) に示す。図 4(a)のスリット間隔は 14 μm であり、図 4(b)でスリットが視認できる。このことから、テルライトランダム断面構造ファイバを用いた赤外イメージ伝送が可能であり、その分解能は 14 μm より高いものと考えられる。

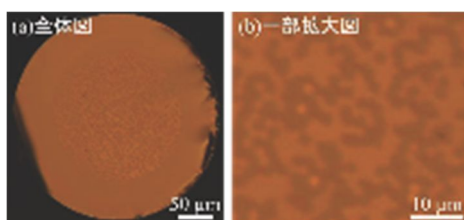


図 3. テルライトランダム断面構造ファイバの断面図

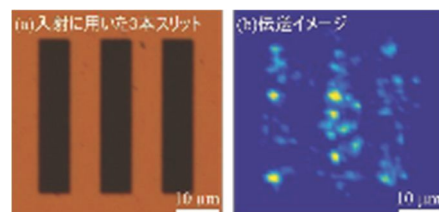


図 4. テルライトランダム断面構造ファイバによるイメージ伝送

[2] 新規構造のランダム断面構造光ファイバによる赤外伝送イメージ品質の向上

2 種類の屈折率の異なるガラスロッドを同数ずつランダムに配置したランダム断面構造ファイバ(図 5a)では解像度が劣化する原因の一つとして、同種の複数のガラスロッドが隣接することで生じるクラスタの存在がある。ランダムにガラスロッドを配置する構造ではこのようなクラスタの発生は避けることができない。2 種類のガラスロッドを 2 本ずつ計 4 本のガラスロッドを 1 ユニットとし、このユニットロッドをランダムな方向並べて配置することで、同種ガラスロッドが隣接することを避ける新規な構造(図 5b)を提案した。FD-BPM を用いた数値計算の結果から、図 6 に示すように新規提案構造では、従来のランダム構造に比べて伝送イメージの平均構造類似性指数(MSSIM)が向上することを明らかにした。

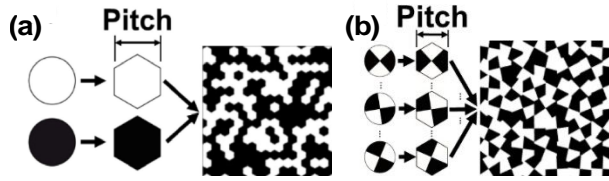


図 5. (a)従来構造と(b)新規提案構造のランダム断面構造ファイバの概略

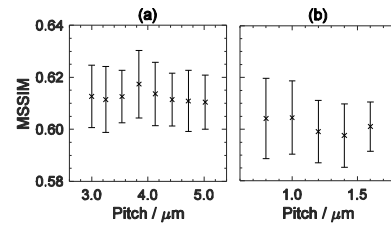


図 6. (a)新規提案構造と(b)従来構造の平均構造類似性指数(MSSIM)

[3] カルコゲナイドランダム断面構造光ファイバの作製と中赤外光アンダーソン局在
 硫化物やセレン化物ガラス材料は波長約 $10\mu\text{m}$ の程度までの中赤外光をよく透過することができるため、中赤外イメージ伝送に利用することが可能である。本研究では、高屈折率材に AsSe_2 ガラスと低屈折率材に As_2S_5 ガラスを用いたランダム断面構造ファイバを作製し、赤外光のイメージ伝送の可能性について基礎的な検討を行った。 AsSe_2 と As_2S_5 の素線を 1000 本ずつランダムに配置し、 As_2S_5 チューブに詰めて線引きを行った。図 7 に作製したカルコゲナイドランダム断面構造ファイバの断面の電子顕微鏡像を示す。図の灰色部分は屈折率の高い AsSe_2 に、黒色部分は屈折率の低い As_2S_5 である。基本単位の直径は約 $3\mu\text{m}$ であり、空孔のない緻密なカルコゲナイドランダム断面構造ファイバを作製することに成功した。

全長 6cm のカルコゲナイドランダム断面構造光ファイバにレンズによって集光した波長 $3\mu\text{m}$ のスポット光を入射し、ビームプロファイラを用いて観察した出射近視野パターンを観察を行った。図 8 にいくつかの入射位置を変化させた場合についての近視野パターンを示す。入射位置に応じた出射位置で拡がりの小さな出射光が確認された。いずれの場合も出射光の拡がりは大きくない。中赤外光でランダム断面構造ファイバを用いて画像伝送が可能であることを初めて実証する結果である。

図 9 に図 8(d)の近視野パターンの強度プロファイルを示す。水平方向と垂直方向のビーム半値全幅はそれぞれ $14\mu\text{m}$ と $11\mu\text{m}$ であり、狭い領域に良く閉じ込められている。中赤外波長域での光アンダーソン局在の確認に初めて成功した。

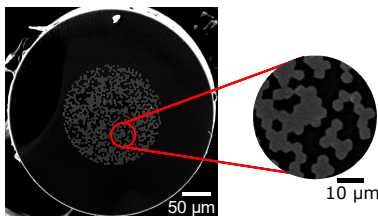


図 7. カルコゲナイドランダム断面構造ファイバの電子顕微鏡断面像

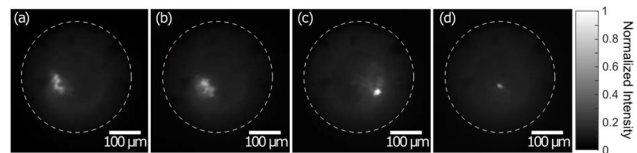


図 8. 波長 $3\mu\text{m}$ のスポット光を入射したときの出射光の近視野パターン

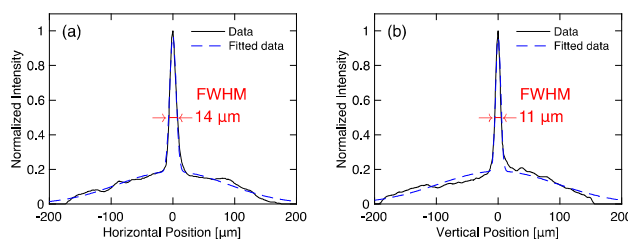


図 9. 図 8(d)の出射パターンの (a) 水平方向および (a) 垂直方向の強度プロファイル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 TONG Hoang Tuan、NISHIHARAGUCHI Nobuhiko、SUZUKI Takenobu、OHISHI Yasutake	4. 巻 127
2. 論文標題 Fabrication of a novel tellurite hollow core optical fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 187 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.18195	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 Cheng Tonglei、Xiao Yuzhe、Li Shuguang、Yan Xin、Zhang Xuenan、Suzuki Takenobu、Ohishi Yasutake	4. 巻 44
2. 論文標題 Highly efficient second-harmonic generation in a tellurite optical fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 4686 ~ 4686
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.44.004686	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 Tonglei Cheng、Fan Zhang、Shunta Tanaka、Shuguang Li、Xin Yan、Xuenan Zhang、Takenobu Suzuki and Yasutake Ohishi	4. 巻 6
2. 論文標題 Ultrafast All-Optical Signal Modulation Induced by Optical Kerr Effect in a Tellurite Photonic Bandgap Fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photonics	6. 最初と最後の頁 113 ~ 113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/photonics6040113	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 Tong Hoang Tuan、Nishiharaguchi Nobuhiko、Suzuki Takenobu、Ohishi Yasutake	4. 巻 27
2. 論文標題 Mid-infrared transmission by a tellurite hollow core optical fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 30576 ~ 30576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.030576	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 TONG Hoang Tuan、NISHIHARAGUCHI Nobuhiko、SUZUKI Takenobu、OHISHI Yasutake	4. 巻 127
2. 論文標題 Fabrication of a tellurite hollow core optical fiber with six non-touching cladding air holes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 918 ~ 923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19142	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 Saini Than Singh、Tuan Tong Hoang、Suzuki Takenobu、Ohishi Yasutake	4. 巻 10
2. 論文標題 Coherent Mid-IR Supercontinuum Generation using Tapered Chalcogenide Step-Index Optical Fiber: Experiment and modelling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-59288-6	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 Gao Weiqing、Zhang Xiu、Jiang Wenhui、Zhang Zhengxiong、Gao Panyun、Chen Liang、Wang Peng、Zhang Wei、Wang Rui、Liao Meisong、Suzuki Takenobu、Ohishi Yasutake、Zhou Yong	4. 巻 55
2. 論文標題 Characteristics of vector beams in mid-infrared waveband in an As ₂ Se ₃ photonic crystal fiber with small hollow core	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Fiber Technology	6. 最初と最後の頁 102152 ~ 102152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2020.102152	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 Singh Saini Than、Hoang Tuan Tong、Matsumoto Morio、Sakai Goichi、Suzuki Takenobu、Ohishi Yasutake	4. 巻 45
2. 論文標題 Mid-infrared wavelength conversion using dispersion-engineered As ₂ S ₅ microstructured optical fiber pumped with an ultrafast laser at 2microm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 2736 ~ 2736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.392149	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 Cheng Tonglei, Zhang Fan, Yan Xin, Zhang Xuenan, Wang Fang, Li Shuguang, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 127
2. 論文標題 Experimental investigation of dispersive wave generation and evolution in a tellurite microstructured optical fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 203102 ~ 203102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0005251	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 Nguyen Hoa Phuoc Trung, Tuan Tong Hoang, Xing Luo, Matsumoto Morio, Sakai Goichi, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 28
2. 論文標題 Supercontinuum generation in a chalcogenide all-solid hybrid microstructured optical fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 17539 ~ 17539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.394968	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 Cheng Tonglei, Zhou Xue, Sun Yue, Yan Xin, Zhang Xuenan, Wang Fang, Li Shuguang, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 28
2. 論文標題 Supercontinuum-induced multi-wavelength third-harmonic generation in a suspended-core microstructured optical fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 28750 ~ 28750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.400371	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 Cheng Tonglei, Zhang Fan, Li Shuguang, Yan Xin, Wang Fang, Zhang Xuenan, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 126
2. 論文標題 Experimental investigation of polarization modulation instability in a double-clad single-mode tellurite optical fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics B	6. 最初と最後の頁 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00340-020-07531-3	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 Cheng Tonglei, Li Bin, Chen Xiaoyu, Yan Xin, Zhang Xuenan, Wang Fang, Li Shuguang, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 13
2. 論文標題 Multiple Modes-Induced Multi-Pair Cross-Phase Modulation Instability in the Deep Normal Dispersion Regime of a Tellurite High Birefringence Microstructured Optical Fiber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2021.3050181	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 Wang Fang, Zhou Xue, Zhang Xuenan, Yan Xin, Li Shuguang, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake, Cheng Tonglei	4. 巻 60
2. 論文標題 Mid-infrared cascaded stimulated Raman scattering and flat supercontinuum generation in an As-S optical fiber pump at 2 μm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 6351~6351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.432394	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 Tong Hoang Tuan, Koumura Ayaka, Nakatani Asuka, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 29
2. 論文標題 Maintaining chromatic dispersion and signal gain performances in a chalcogenide buffer step-index optical fiber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 37877~37877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.442334	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 Nakatani Asuka, Tong Hoang Tuan, Matsumoto Morio, Sakai Goichi, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 30
2. 論文標題 Transverse Anderson localization of mid-infrared light in a chalcogenide transversely disordered optical fiber	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 5159~5159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.450864	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 Cheng Tonglei, Chen Xiaoyu, Yan Xin, Zhang Xuenan, Wang Fang, Suzuki Takenobu, Ohishi Yasutake	4. 巻 34
2. 論文標題 Mid-Infrared Stimulated Raman Scattering and Four-Wave Mixing in a Tellurite Microstructured Optical Fiber	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 239 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2022.3147768	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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Asuka Nakatani, Tong Hoang Tuan, Morio Matsumoto, Goichi Sakai, Takenobu Suzuki, and Yasutake Ohishi
2. 発表標題 Observation of transverse Anderson localization of mid-infrared light in a chalcogenide transversely disordered optical fiber
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Nakatani, T. H. Tuan, H. Isai, M. Matsumoto, G. Sakai, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Fabrication of chalcogenide transversely disordered optical fiber for mid-infrared image transport
3. 学会等名 CLEO2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷明日佳, Tong Hoang Tuan, 松本守男, 堺 豪一, 鈴木健伸, 大石泰丈
2. 発表標題 カルコゲナイドランダム断面構造光ファイバによる中赤外光導波
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河村英果, Tong Hoang Tuan, 松本守男, 堺豪一, 鈴木健伸, 大石泰丈
2. 発表標題 カルコゲナイド偏波保持ファイバの波長分散制御
3. 学会等名 The 31st Meeting on Glasses for Photonics 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 4.中谷明日佳, Tong Hoang Tuan, 畔柳俊英, 松本守男, 堺豪一, 鈴木健伸, 大石泰丈
2. 発表標題 テルライト・カルコゲナイドガラスを用いたランダム断面構造光ファイバによる赤外イメージ伝送
3. 学会等名 光ファイバ応用技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中谷明日香, Tong Hoang Tuan, 鈴木健伸, 大石泰丈
2. 発表標題 新規構造のテルライトランダム断面構造光ファイバによる赤外イメージ伝送品質の向上
3. 学会等名 第60回ガラスおよびフォトニクス材料討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木健伸, 大石泰丈
2. 発表標題 低融点ガラス特殊ファイバの作製と赤外応用
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takenobu Suzuki, Ayaka Komura, Asuka Nakatani, Morio Matsumoto, Hiroshige Tezuka, and Yasutake Ohishi
2. 発表標題 Refractive index dispersion of arsenic sulfide and selenide glasses for visible to mid-infrared wavelength,
3. 学会等名 ICOOPMA 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Asuka Nakatani, Tong Hoang Tuan, Hayato Isai, Morio Matsumoto, Goichi Sakai, Takenobu Suzuki, and Yasutake Ohishi
2. 発表標題 Fabrication of chalcogenide transversely disordered optical fiber for mid-infrared image transport
3. 学会等名 CLEO2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大石泰丈, 鈴木健伸
2. 発表標題 高非線形光ファイバによる広帯域中赤外光の発生
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大石泰丈, 鈴木健伸
2. 発表標題 非線形光ファイバによる広帯域中赤外光の発生
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, T. H. Tong, X. Luo, T. S. Saini, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Experimental Demonstration of Highly Coherent Near to Mid-Infrared Supercontinuum Generation with All-solid Hybrid Microstructured Tellurite Fiber
3 . 学会等名 CLEO2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Light propagation properties of a novel tellurite hollow-core fiber with single hexagonal air-hole layer
3 . 学会等名 CLEO2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, X. Luo, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Demonstration of the Coherent Mid-IR Supercontinuum Generation in Tapered Tellurite Fiber
3 . 学会等名 CLEO2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. T. Tong, K. Miura, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Suppressing 1.06 μm Emission of Nd ³⁺ Ions in Tellurite All Solid Photonic Bandgap Fibers With Double Cladding
3 . 学会等名 CLEO Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Cheng, S. Li, X. Yan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Cascaded Stimulated Raman Scattering in a Chalcogenide optical fiber
3 . 学会等名 CLEO Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, H. T. Tong, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 A tellurite all-solid hybrid microstructured fiber with ultra-small chromatic dispersion fluctuation
3 . 学会等名 CLEO Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, X. Luo, T. H. Tong, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Coherent Mid-IR Supercontinuum Generation using Tapered Chalcogenide Step-Index Fiber
3 . 学会等名 CLEO Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, T. H. Tuan. T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 The Reduction of 1.06- μm Emission in a Double Cladding Tellurite All-solid Photonic Bandgap Fiber Doped with Neodymium Ions
3 . 学会等名 16th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. T. Tong, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Propagation of mid-infrared light in a tellurite hollow core optical fiber with non-touching capillary tubes
3 . 学会等名 FiO+LS2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, K. Suzaki, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Nd ³⁺ - doped tellurite all solid photonic bandgap fiber with one-dimensional asymmetric periodic structure
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, T. H. Tuan, T. S. Saini, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Highly coherent supercontinuum generation in chalcogenide all-solid hybrid microstructured optical fibers
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Fabrication of a tellurite hollow core optical fiber for mid-infrared transmissio
3 . 学会等名 6th International Workshop on Specialty Optical Fiber and Their Applications (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Fabrication of a tellurite hollow-core optical fiber for mid-infrared transmission
3 . 学会等名 SPIE Photonics West 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, L. Xing, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Demonstration of mid-IR supercontinuum generation using all-normal dispersion engineered tapered chalcogenide fiber
3 . 学会等名 SPIE Photonics West 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, H. T. Tong, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Mid-infrared supercontinuum generation in an all-solid hybrid microstructured optical fiber
3 . 学会等名 SPIE Photonics West 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. T. Tong, H. P. Trung Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Flattened chromatic dispersion and birefringence properties of chalcogenide all-solid hybrid microstructured optical fibers
3 . 学会等名 CLEO2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. T. Tong, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Chalcogenide All-solid Hybrid Microstructured Optical Fiber with Flattened Normal Dispersion and High Birefringence in the mid-IR Region
3 . 学会等名 17th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 High-birefringence chalcogenide all-solid hybrid microstructured optical fiber and broad mid-infrared parametric gain bandwidth
3 . 学会等名 Photonics West 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, H. P. T. Nguyen, A. Koumura, T. Suzuki and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Ultra-flattened and near-zero chromatic dispersion control by chalcogenide all-solid hybrid microstructured optical fibers
3 . 学会等名 CLEO 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, A. Koumura, A. Nakatani, G. Sakai, M. Matsumoto, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Suppressing fluctuation of chromatic dispersion and signal gain performances in a chalcogenide buffer step-index optical fiber
3 . 学会等名 Photonics West 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究協力者	DE CLERMONT-GALLERANDE JONATHAN (DE CLERMONT-GALLERANDE JONATHAN)	豊田工業大学・大学院工学研究科極限材料専攻・ポスドクトラル研究員 (33924)	
研究協力者	Cheng Tonglei (Cheng Tonglei)	Northeastern University・College of Information Science and Engineering・Professor	
研究協力者	Than Singh Saini (Than Singh Saini)	豊田工業大学・大学院工学研究科極限材料専攻・ポスドクトラル研究員 (33924)	
研究協力者	Xing Luo (Xing Luo)	豊田工業大学・大学院工学研究科極限材料専攻・ポスドクトラル研究員 (33924)	
連携研究者	Tong Hoang Tuan (Tong Hoang Tuan) (30761853)	豊田工業大学・大学院工学研究科極限材料専攻・助手 (33924)	
連携研究者	大石 泰丈 (Yasutake Ohishi) (80360238)	豊田工業大学・大学院工学研究科極限材料専攻・教授 (33924)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------