

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：33924

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18891

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高効率コヒーレント光の発生

研究課題名（英文）Efficient coherent light generation by 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） 5,000,000 円

研究成果の概要（和文）：信号光とアイドラ光との周波数差を大きく取れる波長分散特性を持つファイバの作製して探索を行った。TeO₂-Bi₂O₃-ZnO-Na₂O（TBZN）系ガラスを用い作製したテルライトステップインデックス型光ファイバを用いて波長変換の実験を行った。発振波長が1545 nmのナノ秒レーザー光を励起光源として用いた。このとき、772 nmに信号光と考えられる光が発生した。その発生効率は、1.15 %という高い値を示した。励起光波長と信号光波長との差分からアイドラ光の発生する周波数は0.025 THzと見積もられた。本実験結果は光ファイバによるTHz光発生を十分示唆するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CO、NO_x等の環境ガスの吸収波長は中赤外域にあり、また、神経ガス（タブン、サリン、VX ガス）、びらん剤（マスタードガス、ルイサイト）、爆薬、麻薬等の吸収帯は中赤外からテラヘルツ域に集中する。それらを高速高精度で測定できれば、世界的に課題となっているテロ対策や犯罪対策に大いに役立つ。したがって、光源として全く考えられてこなかったアイドラ光を使った単一素子で中赤外域からテラヘルツ領域の高強度コヒーレント光が発生できれば、これまでにないコヒーレント光源が開発可能となり、環境・医療・新薬創生・セキュリティ対策等の応用に広く展開できるので、本研究成果は、それら分野の革新的発展に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：A step-index tellurite optical fiber with loss 0.02 dB/m at 1545 nm was fabricated. With a nanosecond laser operated at 1545 nm as the pump source, the signal light at 772 nm was observed in the 2.5 m tellurite fiber with a conversion efficiency up to 1.15% for the 20 mW pumping, which, to the best of our knowledge, is the highest for non-silica optical fibers. It can be explained by a (3)-induced model via the four-wave-mixing effect, where a signal wave and a millimeter wave are generated simultaneously. The above analysis of experimental results suggested that (3)-induced FWM was a possible explanation for the generation of the signal at 772 nm. According to the degenerate FWM-based model, two pump waves at 1545 nm produced at the same time a signal wave and a millimeter wave. Based on the measured pump and signal, we calculated the millimeter wave frequency to be 0.025 THz. This millimeter wave can be regarded as the idler light the (3)-induced FWM effect in the fiber.

研究分野：フォトンクス

キーワード：フォトニック結晶ファイバ 非線形光学 四光波混合 コヒーレント光 テルライトガラス カルコゲナイドガラス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

科研費基盤研究(A)(H24~26年度)の助成をいただき、テルライトやカルコゲナイドガラス等の石英ガラスの1000倍にも及ぶ高い非線形性を持つガラスを用いた高効率非線形光ファイバ素子実現の研究を行ってきた。これら素材を使い、高効率非線形光ファイバ素子の研究が世界的にここ数十年行われてきたが、実現には至っていない。その理由は、それら高非線形ガラスは、材料分散(物質の屈折率分散による群速度の波長依存性)が大きく、波長分散(光をファイバ中に閉じ込めたときに生じる群速度の波長依存性)を低減できないためである。我々は、コアと空孔の存在するクラッド部が異種ガラスからなるハイブリッドPCF構造を開発して、カルコゲナイド光ファイバ等の波長分散の自由度の高い高精度制御に成功し、波長分散の低減(波長依存なく零とすること)ができることを見出し、それら素材を用いた光ファイバによる高効率非線形現象の発現が可能であることを明らかにした。本研究は、この研究成果を基に新しい着想を加え、これまで近赤外域だけに発生すると考えられてきたアイドラ光を中赤外域以上の波長域で高効率に発生させて、新規な中赤外域~テラヘルツ領域のコヒーレント光源を実現させる。

四光波混合現象により、光ファイバに入射された励起光はシグナル光とアイドラ光を発生させる。シグナル光とアイドラ光との波長(周波数)間隔は、光ファイバの波長分散特性により決まる。カルコゲナイドファイバの波長分散制御を検討する過程で、この波長間隔を非常に大きく取れる波長分散があり得ること、そしてその波長分散はハイブリッドPCFで実現できることを見出し、1.5から2 μ mの近赤外の励起光を波長分散が制御されたハイブリッドPCFに入射させるとアイドラ光は中赤外域からテラヘルツ領域に発生し得る可能性があることを突きとめた。つまり中赤外域からテラヘルツ領域のコヒーレント光の発生が波長可変で行えることになる。また、アイドラ光には、励起光のスペクトルが転写されるため、励起光が連続光であれば、連続光が得られ、周波数コムであれば、中赤外域からテラヘルツ領域の周波数コムが発生できる。

2. 研究の目的

任意の波長で高強度のコヒーレント光が発生できれば、環境ガス、劇物・毒ガス検出、ガン組織・細胞の検出、さらには呼気の分析による病気の診断に利用でき、基礎科学の発展、環境対策の進展、医療技術の革新、さらにはテロ対策に大きな力を発揮して、我々の生活に安全・安心をもたらすことができる。特に、中赤外域からテラヘルツ領域には、各種分子の光吸収帯があるため、薬品の精密解析、癌の細胞レベルでの検出、環境ガスの精密計測、気象観測、麻薬・劇薬物・爆薬の検出等の多くの応用分野がある。しかしながら、それら応用に応えられるコヒーレント光発生技術が確立されていない。高非線形結晶の2次非線形性を利用したパラメトリック波長変換、スーパーコンティニューム光(SC: Supercontinuum、複数の非線形現象がファイバ中で起こり生じる広帯域なコヒーレント光)、量子カスケードレーザ等が研究されているが、上記の波長領域を全てカバーできる単一発光素子は開発されていない。もし、中赤外域からテラヘルツ領域でコヒーレント光を発生する単一素子が発現できれば、赤外およびテラヘルツ分光に革新的発展をもたらす。

高非線形光ファイバ等の3次非線形媒体に励起光を入射させると位相整合のとれた波長域にシグナル光とアイドラ光が発生することが知られている。しかし石英光ファイバは3 μ mの波長域で光の透過性がないので、アイドラ光が中赤外域より長波長域に発生させることはできない。本研究では、波長分散制御されたカルコゲナイドガラス(As_2Se_3 等のガラス)

等を素材とした高非線形光ファイバによりアイドラ光を中赤外域より長波長に発生できることを実証し、中赤外域からテラヘルツ領域の新規な高強度波長可変コヒーレント光源を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

四光波混合によりファイバ中で励起光からシグナル光とアイドラ光を生じる。それぞれの波長（周波数）位置は位相整合条件式(1)を満足する波長となる。励起光の波長によりシグナル光とアイドラ光の発生する波長を制御できる。特に正常分散波長領域にある励起光を入射させるとアイドラ光は中赤外よりも長波長に発生し、テラヘルツ領域にまでおよぶ。たとえば、数 nm の励起波長の変化でアイドラ光は中赤外からテラヘルツ領域にまで変化させることができ、非常に大きい波長可変性が実現できる。カルコゲナイドガラスは 20 μm まで光透過域を有するため、それより短波長のアイドラ光はファイバ中で減衰することなくファイバより出射される。20 μm 以上の波長域では、ガラス母体の基礎吸収の影響を受けるが、カルコゲナイドガラスはテラヘルツ領域で吸収損失はあるが、ファイバ長が短ければ、十分ファイバ外に出射可能となる。現状利用可能なファイバレーザを使ってナノ秒やピコ秒の光パルスで励起すれば、そのピークパワーは簡単に kW 以上になるため、テラヘルツ領域であってもピーク強度が W を超える光パルスが得られると考えられる。

また、アイドラ光には、励起光のスペクトルが転写されるため、周波数コムを入射すれば、中赤外からテラヘルツ領域にかけて周波数コムが得られ、精密分光分析に応用が可能になる。このような広い領域で周波数コムを発生領域可変で発生させることが可能な技術は現在ない。

以上の説明で分るように中赤外域からテラヘルツ領域にアイドラ光の出力を得るには、ファイバ素材として、(1)赤外透過性に優れること、(2)非線形性が高いことが有効である。テラライトガラスは 6 μm まで透過域がありカルコゲナイドガラスでは 10 μm 以上の波長に透過域が広がっている。組成によっては 20 μm まで透過可能である。そこで、本研究ではファイバ素材として赤外透過性に優れかつ非線形性が石英ガラスより数 100 倍から 1000 倍程度高くファイバ長を短尺化できるそれらガラスを使用する。

四光波混合の位相整合条件は下記の式で与えられる。 β_{2k} は伝搬定数の角周波数による 2k 階の微分、

$$\Delta\beta = \sum_j \frac{\beta_{2j}(\omega - \omega_p)^{2j}}{(2j)!} = -\gamma P_0 \quad (1)$$

ω_p は励起光周波数、 γ は非線形光学定数、また P_0 は励起光のパワーである。この式から分かるように位相整合のとれる波長は、 β_{2k} の大きさと符号によって決まる。したがって、波長分散特性が自由度高く設計できるファイバ構造を採用することが格段に有利である。ハイブリッド PCF 構造では、伝搬光は、異なった材料分散を持つコア部およびクラッド部（場合によっては複数の組成よりなる）と空孔を伝搬するので、単一成分の PCF より格段に波長分散制御の自由度を上げられる。下記の項目に取り組む。

- 微細構造光ファイバをベースに中赤外域からテラヘルツ域でのアイドラ光の発生に適したファイバ構造を解明する。零分散波長の設定位置、波長分散の極大値および極小値の設定から高次分散の制御を行う。逆に理想的な高次分散の設定により、微細構造光ファイバの構造を決定する。

- 波長分散特性得られた位相整合条件を満たす波長域でアイドラ光の発生を非線形シュレディンガー方程式によるシミュレーションで検証し、変換効率を明らかにする。
- 以上の解析から近赤外域での励起によるアイドラ光の発生と波長分散特性の相関を解明する。
- 次にアイドラ光発生のための波長分散特性を実現するために必要なハイブリッド PCF を実現する。
- 1 から 2 μm の近赤外光パルスを入射させ、中赤外からテラヘルツ領域でのコヒーレント光発生を実現する。

4. 研究成果

(1)四光波混合によりファイバ中で励起光からシグナル光とアイドラ光を生じる。励起光の波長によりシグナル光とアイドラ光の発生する波長を制御できる。特に正常分散波長領域にある励起光を入射させるとアイドラ光は中赤外よりも長波長に発生する。また、アイドラ光には、励起光のスペクトルが転写されるため、周波数コムを入射すれば、中赤外からテラヘルツ領域にかけて周波数コムが得られ、精密分光分析に応用が可能になる。広い領域で周波数コムを発生領域可変で発生させることが可能な技術はこれまではない。そこで波長分散特性を用いてアイドラ光の発生を解析するための非線形シュレディンガー方程式によるシミュレーション手法の開発を進めた。その結果、連続光およびパルス光、さらには周波数コムを入射したときに発生するアイドラ光を解析できる解析手法を確立した。

(2)2 μm 帯に零分散波長をもつカルコゲナイドフォトニック結晶ファイバを作製して、その波長分散を考慮し、開発した非線形シュレディンガー方程式による四光波混合によるアイドラ光の発生解析を行った。その結果、2 μm 帯の励起により4 μm を超える波長域にアイドラ光が発生できることを明らかにした。実際、カルコゲナイドフォトニック結晶ファイバを用いて実験的検証を行った結果、4.5 μm にアイドラ光が発生することを実証した。光ファイバを用いて4 μm を超える波長域においてアイドラ光を発生した例はこれまでにはなく、初めての結果を得た。

(3)また、中赤外光発生的手法として、高次ラマン散乱による中赤外光発生を検討した。1.5 μm 帯励起によるAsS系のカルコゲナイド光ファイバによる5次のラマン散乱により2.6 μm の発生を確認した。カルコゲナイド光ファイバを用いた5次のラマン散乱の観測は初めてであり、本現象を利用して中赤外光発生のための励起光が得られることを示した。

(4)テルライトフォトニック結晶ファイバを用いた波長変換実験を行った。その結果、2 μm 帯の励起により4.1 μm の波長域にアイドラ光が発生することを確認した。テルライトフォトニック結晶ファイバを用いて4 μm を超える波長域にアイドラ光が発生できることを示したのは初めてである。

(5)これまでの成果を踏まえ、信号光とアイドラ光との周波数差を大きく取れる波長分散特性を持つファイバの作製して探索を行った。ファイバの対象は、微細構造光ファイバ以外にも広げた。TeO₂-Bi₂O₃-ZnO-Na₂O (TBZN) 系ガラスを用いた作製したテルライトステップインデックス型光ファイバを用いて波長変換の実験を行った。発振波長が1545nmのナノ秒レーザー光を励起光源として用いた。このとき、775nmに信号光と考えられる光が発生した(図1)。その発生効率は

1.12 %という高い値を示した．励起光波長と信号光波長との差分からアイドラ光の発生する周波数は0.025THzと見積もられた．本実験結果はテルライト光ファイバによるTHz光発生を示唆するものであり、本研究課題の目的を達成した結果が得られたと判断できる．

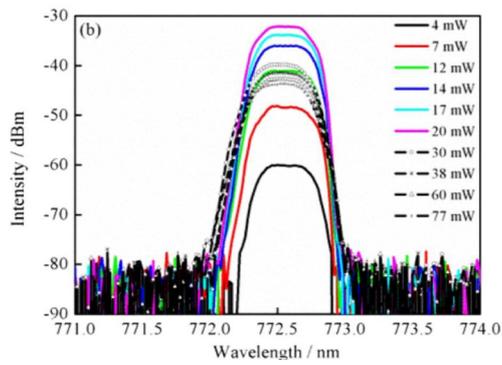


図 1 テルライト光ファイバを 1545nm のレーザ光で励起して観測された信号光 (775nm) 強度の励起光強度依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件／うち国際共著 15件／うちオープンアクセス 25件）

1. 著者名 C. Yao, Z. Jia, Q. Li, G. Qin, M. Hu, Y. Ohishi, and W. Qin	4. 巻 112
2. 論文標題 Amplification of wavelength-shifting soliton in active photonic crystal fibers.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 161105-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5009368.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Cheng, S. Li, X. Yan, T. H. Tuan, M. Matsumoto, S. Cho, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 26
2. 論文標題 Mid-infrared cascaded stimulated Raman Scattering up to eight orders in As-S optical fiber	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 12007-12015
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.26.012007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Cheng, S. Li, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Cascaded Cross-Phase Modulation Instability in the Normal Dispersion Regime of a Birefringent Tellurite Microstructured Optical Fiber.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 7101508
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JPHOT.2018.2804347	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Q. Li, Y. Huang, Z. Jia, C. Yao, G. Qin, Y. Ohishi, and W. Qin	4. 巻 36
2. 論文標題 Design of fluorotellurite microstructured fibers with near zero flattened dispersion profiles for optical frequency comb generation.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2018.2810086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 T. H. Tuan, S. Kuroyanagi, K. Nagasaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 26
2. 論文標題 Near-infrared optical image transport through an all-solid tellurite optical glass rod with transversely-disordered refractive index profile.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 16054-16062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.016054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 11
2. 論文標題 Spacing-adjustable multi-wavelength erbium-doped fiber laser using a fiber Michelson interferometer,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 082501-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.082501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. P. T. Nguyen, K. Nagasaka, T. H. Tuan, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 57
2. 論文標題 Highly coherent supercontinuum in the mid-infrared region with cascaded tellurite and chalcogenide fibers.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 6153-6163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.57.006153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. S. Saini, T. H. Tuan, L. Xing, N. P. T. Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 11
2. 論文標題 Coherent mid-infrared supercontinuum spectrum using a step-index tellurite fiber with all-normal dispersion.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 10251-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.102501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 P. Froidevaux, A. Lemiere, B. Kibler, F. Desevedavy, P. Mathey, G. Gadnet, J-C. Jules, K. Nagasaka, T. Suzuki, Y. Ohishi, and F. Smektala	4. 巻 8
2. 論文標題 Dispersion-Engineered Step-Index Tellurite Fibers for Mid-Infrared Coherent Supercontinuum Generation from 1.5 to 4.5 μm with Sub-Nanojoule Femtosecond Pump Pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8101875	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Yao, Z. Jia, Z. Li, S. Jia, Z. Zhao, L. Zhang, Y. Feng, G. Qin, Y. Ohishi, and W. Qin	4. 巻 5
2. 論文標題 High-power mid-infrared supercontinuum laser source using fluorotellurite fiber.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 1264-1270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.5.001264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. S. Saini, N. P. T. Hoa, L. Xing, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 124
2. 論文標題 Chalcogenide W-type Co-axial Optical Fiber for Broadband Highly Coherent Mid-IR Supercontinuum Generation.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 213101-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5062591	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 X. Zhou, T. Cheng, S. Li, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 1
2. 論文標題 Practical sensing approach based on surface plasmon resonance in a photonic crystal fiber.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 1332-1340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.1.001332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. S. Saini, N. P. T. Hoa, T. H. Tuan, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 58
2. 論文標題 Tapered tellurite step-index optical fiber for coherent near-to-mid-IR supercontinuum generation: experiment and modeling.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 415-421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.000415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 58
2. 論文標題 Group velocity locked vector soliton and polarization rotation vector soliton generation in a highly birefringent fiber laser.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 020910-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aafc1e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 L. Chen, W. Zhang, P. Gao, P. Wang, X. Zhang, Y. Zhou, J. Hu, M. Liao, T. Suzuki, Y. Ohishi, and W. Gao	4. 巻 179
2. 論文標題 Characteristics of forward stimulated Brillouin scattering effect in silica fibers with different microstructures.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optik	6. 最初と最後の頁 82-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijleo.2018.10.185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Yang, W. Bi, X. Li, M. Liao, W. Gao, Y. Ohishi, Y. Fang, and Y. Li	4. 巻 36
2. 論文標題 Ultrabroadband supercontinuum generation through filamentation in a lead fluoride crystal.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America B	6. 最初と最後の頁 A1-A7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOSAB.36.0000A1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. H. Tuan, S. Kuroyanagi, K. Nagasaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 58
2. 論文標題 Characterization of an all-solid disordered tellurite glass optical fiber and its NIR optical image transport.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 032005-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aaf926	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. P. T. Nguyen, T. H. Tong, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 12
2. 論文標題 Highly coherent supercontinuum generation in a tellurite all-solid hybrid microstructured fiber pumped at 2 micron.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 042010-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab0aac	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Cheng, W. Gao, X. Xue, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 36
2. 論文標題 Fourth-order cascaded Raman shift in a birefringence ZBLAN fluoride fiber.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optical Fiber Technology	6. 最初と最後の頁 245-248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2017.04.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 4.K. Nagasaka, L. Liu, T. H. Tuan, T. Cheng, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 36
2. 論文標題 Numerical investigation of highly coherent mid-infrared supercontinuum generation in chalcogenide double-clad fiber.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optical Fiber Technology	6. 最初と最後の頁 82-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2017.03.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Cheng, X. Xue, W. Gao, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 53
2. 論文標題 The Second-Order Raman Stokes Stronger Than the First-Order Raman Stokes Due to Inverse Raman Scattering in a Single Mode Tellurite Fiber.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 6800504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JQE.2017.2711249	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Nagasaka, L. Liu, T. H. Tuan, T. H. Tuan, T. Cheng, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 19
2. 論文標題 Supercontinuum generation in chalcogenide double-clad fiber with near zero-flattened normal dispersion profile.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Optics	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) 10.1088/2040-8986/aa787b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 C. Ni, W. Gao, X. Chen, L. Chen, Y. Zhou, W. Zhang, J. Hu, M. Liao, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 56
2. 論文標題 Theoretical investigation on mid-infrared cascaded Raman fiber laser based on tellurite fiber.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Optics,	6. 最初と最後の頁 9171-9178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.56.009171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Jia, Z. Jia, C. Yao, L. Zhang, Y. Feng, G. Qin, Y. Ohishi, and W. Qin	4. 巻 30
2. 論文標題 2875 nm Lasing From Ho ³⁺ - Doped Fluoroindate Glass Fibers.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 323-326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2017.2787119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. S. Saini, N. P. T. Hoa, K. Nagasaka, X. Luo, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi	4. 巻 57
2. 論文標題 Coherent midinfrared supercontinuum generation using a rib waveguide pumped with 200 fs laser pulses at 2.8 micron.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 1689-1693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.57.001689	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計44件(うち招待講演 6件/うち国際学会 43件)

1. 発表者名 T. Cheng, S. Tanaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Experimental Investigation of All-optical Dynamic Photonic Bandgap Control in an All-solid Tellurite Photonic Bandgap Fiber.
3. 学会等名 CLEO2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nagasaka, T. H. Tuan, N. P. T. Hoa, M. Matsumoto, S. Cho. T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Near-infrared to Mid-infrared wavelength conversion by chalcogenide suspended-core fiber.
3. 学会等名 CLEO2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. P. Nguyen, K. Nagasaka, H. T. Tong, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Highly Coherent Mid-infrared Supercontinuum Spanning From 1.8-10 μm Pumped By A 2- μm Laser.
3. 学会等名 CLEO2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. S. Saini, N. P. T. Hoa, K. Nagasaka, X. Luo, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Coherent Mid-infrared Supercontinuum Generation using Rib Wavelength Pumped with Femtosecond Laser.
3. 学会等名 CLEO2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. T. Tong, S. Kuroyanagi, K. Nagasaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Localization of light and transport of infrared optical image in a tellurite optical fiber with transversely-disordered refractive index profile.
3. 学会等名 CLEO2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ohishi
2. 発表標題 Highly Nonlinear Soft Glass Optical Fibers for MIR Applications.
3. 学会等名 2018 Glass and Optical Materials Division (GOMD) Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ohishi and T. Suzuki
2. 発表標題 New prospect of highly nonlinear optical fibers.
3. 学会等名 21st International Symposium on Non-Oxide and New Optical Glasses (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. H. Tuan, D. Demichi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2. 発表標題 Tailoring optical bandgap properties of a Nd-doped tellurite all solid bandgap optical fiber to suppress the 1.06-micron emission of Nd ³⁺ ions.
3. 学会等名 21st International Symposium on Non-Oxide and New Optical Glasses (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ohishi, K. Nagasaka, T. H. Tuan, and T. Suzuki
2. 発表標題 Highly coherent mid-infrared supercontinuum generation by chalcogenide optical fiber.
3. 学会等名 The 15th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids 2018 (PNCS-ESG2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Ohishi, T. Cheng, T. H. Tuan, S. Tanaka, and T. Suzuki
2. 発表標題 All-solid tellurite photonic bandgap fiber fabrication for dynamic photonic bandgap control.
3. 学会等名 The 15th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids 2018 (PNCS-ESG2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. Froidevaux, A. Lemiere, B. Kibler, F. Desevedavy, P. Mathey, G. Gadret, J-C, Jules, K. Nagasaka, Y. Ohishi, and F. Smektala
2. 発表標題 Dispersion-engineered step-index tellurite fibers for midinfrared supercontinuum generation from 1.5 to 4.5 μm.
3. 学会等名 Advanced Photonics Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Fabrication of a Novel Tellurite Hollow Core Optical Fiber and Supercontinuum Light Propagation in Its Hollow Core.
3 . 学会等名 9th International Conference on Optical Communication Systems (OPTICS) 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Multi-wavelength Erbium-doped Fiber Laser with Tunable Wavelength Spacing.
3 . 学会等名 9th International Conference on Optical Communication Systems (OPTICS) 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Ohishi
2 . 発表標題 Coherent lightwave generation using chalcogenide optical fibers.
3 . 学会等名 Advanced Architectures in Optics 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, K. Nagasaka, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Frequency combs generation in a linear half-open erbium Brillouin fiber laser with a tellurite single mode fiber.
3 . 学会等名 Advanced Architectures in Optics 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Ohishi,
2 . 発表標題 Recent progress in novel optical fiber technology.
3 . 学会等名 Workshop on Innovative Optical Technologies 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Yoshimi, S. Kumagai, Y. Ohishi, and M. Sasaki
2 . 発表標題 Optofluidic Device for Measuring Cell Response Against Mechanical Stimulation.
3 . 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Propagation of a supercontinuum light source in a novel tellurite hollow core optical fiber.
3 . 学会等名 2018 Frontiers in Optics / Laser Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. P. T, Hoa, T. H. Tuan, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Coherent Mid-infrared Supercontinuum Generation Using All Solid Hybrid Micro-structured Tellurite Fibers.
3 . 学会等名 2018 Frontiers in Optics / Laser Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. S. Saini, N. P. T, Hoa, T. H. Tuan, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Design and Modeling of a Chalcogenide Taper Fiber for High Average Power Supercontinuum Generation.
3 . 学会等名 2018 Frontiers in Optics / Laser Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, N. P. T, Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Brillouin Comb Generation in a Highly Nonlinear Tellurite Single Mode Fiber.
3 . 学会等名 2018 Frontiers in Optics / Laser Science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, N. P. Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Brillouin Comb Generation in a Half-open Fiber Laser with a Tellurite Single-Mode Fiber.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. S. Saini, T. H. Tuan, X. Luo, N. P. Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Experimental Demonstration of the Coherent Mid-IR Supercontinuum Source Using All-normal Dispersion Engineered Tellurite Fiber.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, N. P. Hoa, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Maintaining high performance of optical parametric amplification in a chalcogenide hybrid microstructured optical fiber.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 .X. Luo, T. H. Tuan, T. S. Saini, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Group velocity locked vector soliton and polarization rotation vector soliton generation in a birefringence enhanced fiber laser.
3 . 学会等名 Photonics West 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. P. T. Nguyen, T. H. Tong, T. S. Saini, X. Luo, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Ultra-flattened chromatic dispersion in all-solid hybrid micro-structured optical fibers for mid-infrared lightwave generation.
3 . 学会等名 Photonics West 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. S. Saini, N. P. T. Hoa, X. Luo, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Design and numerical investigation of a tapered tellurite step-index fiber for mid-IR supercontinuum generation.
3 . 学会等名 Photonics West 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. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 W-type co-axial chalcogenide optical fiber for coherent mid-IR supercontinuum generation.
3 . 学会等名 Photonics West 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Suzuki, A. Nakatani, T. H. Tuan, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Numerical investigation on local confinement of infrared light in chalcogenide transversely-disordered optical fibers.
3 . 学会等名 Photonics West 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, K. Suzuki, N. Nishiharaguchi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Tailoring bandgap transmission spectra of new neodymium-doped tellurite all-solid photonic bandgap fibers with double cladding layers.
3 . 学会等名 Photonics West 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Cheng, X. Xue, T. H. Tuan, W. Gao, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Experimental Investigation of Inverse Raman Scattering in a Single Mode Tellurite Fiber.
3 . 学会等名 CLEO2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Nagasaka, T. H. Tuan, M. Matsumoto, H. Tezuka, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Mid-infrared Supercontinuum Generation in Chalcogenide Double Clad Fiber.
3 . 学会等名 CLEO2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Ohishi
2 . 発表標題 Highly nonlinear soft glass optical fibers and their applications.
3 . 学会等名 The 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Nagasaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Modeling of dispersion flattened chalcogenide double clad fibers for midinfrared light generation.
3 . 学会等名 2017 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO®/Europe-EQEC 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, H. Kawamura, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Suppressing the Effect of Dispersion Fluctuation on Broadband Optical Parametric Amplification using Highly Nonlinear Tellurite Microstructured Optical Fibers.
3 . 学会等名 , 14th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (ICETE 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Cheng, S. Tanaka, T. H. Tuan, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Fabrication and Characterization of an All-solid Double-clad Tellurite Photonic Bandgap Fiber.
3 . 学会等名 OSA Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, S. Kuroyanagi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Infrared image transport through an all-solid tellurite optical glass rod with transversely-disordered refractive index profile.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Li, F. Wang, C. Yao, Z. Jia, Y. Feng, M. Hu, G. Qin, Y. Ohishi, and W. Qin
2 . 発表標題 Coherent supercontinuum generation from 1.4 to 4 μm in a tapered fluorotellurite microstructured fiber.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 W. Gao, C. Ni, X. Chen, Z. Wen, T. Cheng, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Stimulated Raman Scattering in Hybrid Chalcogenide Microstructured Optical Fibers.
3 . 学会等名 OSA Laser Congress 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, S. Kuroyanagi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 All-solid tellurite optical fiber with transversely disordered refractive index profile and its optical image transport performance.
3 . 学会等名 Photonics West 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. H. Tuan, D. Demichi, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Tailoring Nd ³⁺ emission spectrum by using a Neodymium-doped tellurite all-solid photonic bandgap fiber.
3 . 学会等名 Photonics West 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Nagasaka, T. H. Tuan, H. P. T. Nguyen, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Far-detuned four-wave mixing for mid-infrared wavelength conversion in chalcogenide As ₂ S ₅ suspended core fiber.
3 . 学会等名 Photonics West 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Cheng, S. Li, X. Yan, T. H. Tuan, M. Matsumoto, S. Cho, T. Suzuki, and Y. Ohishi
2 . 発表標題 Experimental investigation cascaded stimulated Raman in chalcogenide optical fiber.
3 . 学会等名 Photonics West 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 大石泰丈
2. 発表標題 高非線形微細構造光ファイバの開発と応用
3. 学会等名 第1回超高速光エレクトロニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----