

一般セッション(ポスター講演) | 3 光・フォトニクス: 3.4 レーザー装置・材料

2025年3月15日(土) 13:30 ~ 15:30 皿 P01 (森戸記念体育館)

**[15p-P01-1~7] 3.4 レーザー装置・材料**

## ◆ 英語発表

[15p-P01-1]

DFC-PowerChip for high-energy high-repetition rate lasers

○Vincent Yahia<sup>1,2</sup>, Arvydas Kausas<sup>2,1</sup>, Hideho Odaka<sup>2,1</sup>, Takunori Taira<sup>2,1</sup> (1.Inst. for Mol. Sci., 2.RIKEN SPring-8 Cen.)

## ◆ 英語発表

[15p-P01-2]

Thickness and Annealing Dependent Third-Order Nonlinear Properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Thin Films○(B)PinShuo Huang<sup>1</sup>, ChengXin Liu<sup>2</sup>, BoXiang Zhuang<sup>3</sup>, ChanShan Yang<sup>3</sup>, XiaoYan Liu<sup>2</sup>, ChaoKuei Lee<sup>1</sup> (1.National SYS Univ., 2.SCCE Univ. of Jinan, 3.National TN Univ.)

[15p-P01-3]

CLBO結晶の耐久性改善に向けた結晶環境の構築と評価結果

○柴田 眞輔<sup>1</sup>、山崎 浩司<sup>1</sup>、藪 隆之<sup>1</sup>、森 勇介<sup>2</sup>、吉村 政志<sup>3</sup> (1.ギガフォトン株式会社、2.阪大院工、3. 阪大レーザー研)

[15p-P01-4]

BBO結晶を用いたOPG中赤外極短パルス光源の開発

○赤羽 温<sup>1</sup>、山川 考一<sup>1</sup> (1.量研関西研)

[15p-P01-5]

【講演欠席】 光音響分光法における光一運動エネルギー変換効率

○(B)宮本 琉那<sup>1</sup>、秋吉 諒一<sup>1</sup>、三上 勝大<sup>1</sup> (1.近畿大学生物理工)

[15p-P01-6]

Tm-Ho共添加超短パルスファイバレーザーにおける偏光依存性

○高田 翔平<sup>1</sup>、北島 将太郎<sup>1</sup>、周 英<sup>2</sup>、榊原 陽一<sup>2</sup>、斎藤 毅<sup>2</sup>、西澤 典彦<sup>1</sup> (1.名大院工、2.産総研)

[15p-P01-7]

可視スーパーコンティニューム生成のための 635 nm ノイズライクパルスファイバレーザー

○西浦 匡則<sup>1,2</sup>、ディン タイ バオ<sup>1,2</sup>、塩田 達俊<sup>1</sup> (1.埼玉大学、2.セブンシックス)

## DFC-PowerChip for high-energy high-repetition rate lasers

Institute for Molecular Science<sup>1</sup>, RIKEN SPring-8 Center<sup>2</sup>, Vincent Yahia<sup>1,2</sup>, Arvydas Kausas<sup>2,1</sup>,

Hideho Odaka, Takunori Taira<sup>2,1</sup>

E-mail: vincent-yahia@ims.ac.jp

Distributed Face Cooling (DFC) [1] was developed as a new type of compact gain medium able to sustain the high-power density and high heat load of high-energy- high-repetition-rate lasers. The DFC-PowerChip was engineered through interlayer-assisted Surface-Activated Bonding (il-SAB) [2], allowing multiple bonding of Nd:YAG gain medium to transparent sapphire heat sink, for simultaneous end-pumping and surface cooling. Thermal effects in the medium were evaluated using a DFC and a bulk sample of same absorption length, as shown in Fig.1(a).

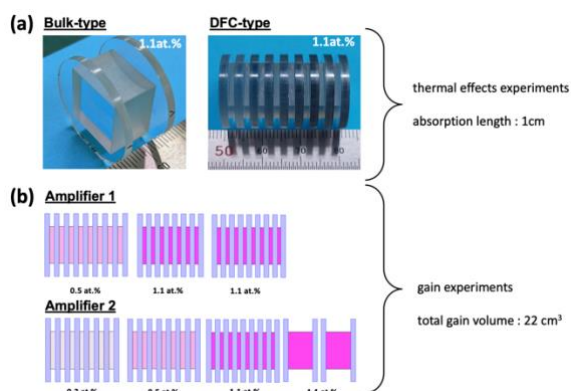


Fig. 1 Samples used for (a) thermal effects and (b) amplification.

Using a probe beam, thermal lens and thermal birefringence were measured for both samples under 10J pumping at different repetition rates. Fig. 2 shows the measured depolarized light pattern, with no change occurring after the DFC, contrary to the bulk where depolarization ratio increases up to 15% at 25Hz. Experiments show that thermal lens is reduced by 40% in DFC.

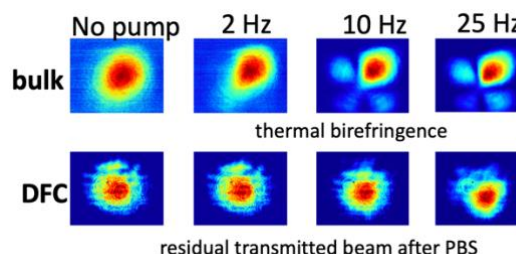


Fig. 2. Thermal birefringence beam pattern.

Two DFC-PowerChips were implemented in a 2-stage 2-pass amplifier seeded by a 4 mJ subns beam. The modules design, shown in Fig.1(b), was chosen to optimize extraction efficiency [3] and temperature distribution. Under  $2 \times 10$  J pumping at 2 Hz, 3.5 J could be extracted from the 22 cm<sup>3</sup> gain volume. The corresponding energy and power densities are shown in Table 1.

Table 1. Volumic output of the DFC-PowerChip

	Energy density	Power density
2 Hz	0.16 J/cm <sup>3</sup>	0.2 GW/cm <sup>3</sup>
50 Hz	0.1 J/cm <sup>3</sup>	0.15 GW/cm <sup>3</sup>

Experiments at 50 Hz were also conducted using a single amplifier, as well as tests for burst-mode operation to reduce heat load while improved DFC designs are being made.

This work was supported by JST-Mirai Program Grant Number JPMJMI17A1 and Innovative Science and Technology Initiative for Security Grant Number JPJ004596, ATLA, Japan.

[1] L. Zheng *et al.*, Opt. Mater. Express **7** (2017).

[2] T. Suga, *et al.*, Acta Metall. Mater. **40** (1992).

[3] V. Yahia *et al.*, Opt. Express **32** (2024).

## Thickness and Annealing Dependent Third-Order Nonlinear Properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Thin Films

Pin-Shuo Huang<sup>1</sup>, Cheng-Xin Liu<sup>2</sup>, Bo-Xiang Zhuang<sup>3</sup>,  
Chan-Shan Yang<sup>3</sup>, Xiao-Yan Liu<sup>2</sup>, Hong Liu<sup>2</sup> and Chao-Kuei Lee<sup>1</sup>

Department of Photonics, National Sun Yat-sen University<sup>1</sup>

Institute for Advanced Interdisciplinary Research (iAIR), School of Chemistry and Chemical Engineering,  
University of Jinan<sup>2</sup>

Institute and Undergraduate Program of Electro-Optical Engineering, National Taiwan Normal University<sup>3</sup>

E-mail: chuckcklee@yahoo.com

### ABSTRACT

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> has been realized as a promising material platform for nonlinear nano-photonics owing to its wide applications from broadband light source and high-speed modulation. Despite of that the third order nonlinearity has been reported with the order of magnitude  $10^{-14}\text{cm}^2/\text{W}$ . The comprehensive investigation of nonlinear properties of various thin film thickness was still absent. In this work, by using conventional Z-scan measurement, nonlinear optical coefficient  $n_2$  and two photon absorption coefficient  $\beta$  for Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin film with thickness of 50, 80 and 160 nm were characterized. First, the  $n_2$  value under exciting peak intensity of  $842\text{GW}/\text{cm}^2$  for thin film thickness of 80 nm were retrieved from Z-scan profile with 8.51, 4.73 and  $1.68 \times 10^{-13}\text{cm}^2/\text{W}$  respectively. Considering the reported order of magnitude for thin film thickness of 400 to 800 nm, the clear decreasing tendency with the increasing thickness of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin film was observed for the first time, indicating the possible mechanism of the increasing O<sub>2</sub> vacancy with thickness. The result echoes the reduction of surface roughness with increasing thickness of thin film. In addition, the nonlinear properties w/wo thermal annealing of various thickness of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films under different exciting power and was investigated and discussed as well.

## CLBO 結晶の耐久性改善に向けた結晶環境の構築と評価結果 Construction and Evaluation of Crystal Environment for Improving the Durability of CLBO Crystals

○柴田 眞輔<sup>1</sup>, 山崎 浩司<sup>1</sup>, 藪 隆之<sup>1</sup>, 森 勇介<sup>2</sup>, 吉村 政志<sup>3</sup>

( 1. ギガフoton株式会社, 2. 阪大院工, 3. 阪大レーザー研)

Shinsuke Shibata<sup>1</sup>, Koji Yamasaki<sup>1</sup>, Takayuki Yabu<sup>1</sup>, Yusuke Mori<sup>2</sup>, Masashi Yoshimura<sup>3</sup>

(1. Gigaphoton Inc., 2. Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ., 3. ILE, Osaka Univ.)

E-mail: shinsuke\_shibata@gigaphoton.com

半導体露光に用いられる波長 193nm の ArF エキシマレーザには、狭帯域と波長可変性の両方が求められる。固体レーザのシード光と ArF エキシマ増幅器を組み合わせたハイブリッド ArF レーザは、従来の ArF レーザよりも狭帯域かつ波長可変な光源が実現可能である。我々はシード光として固体レーザを利用した、ハイブリッド ArF エキシマレーザの開発を行っている[1]。

ハイブリッド ArF エキシマレーザのシード光として、6kHz 動作で 100mW 以上の出力が必要であり、これを実現するために 1030nm レーザを基本波とし、FHG (第 4 高調波生成) によって生成された 258nm レーザと、1553nm レーザの間の 2 段階の SFG (和周波発生) により 193nm レーザを発生した(Fig1)。この 1030nm レーザは Yb ドープロッド増幅器、1553nm レーザは PPLN 結晶による OPA 増幅器を使用した。また、LBO (LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>) 結晶で 515nm レーザを発生し、CLBO 結晶 (CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub>) で 258nm、221nm、193nm レーザを発生させた。

CLBO 結晶は高出力かつ優れたビーム品質の 193nm レーザの実現に適しているが、潮解性が高く、大気中の水分と反応することで結晶の品質が劣化する問題がある。したがって、レーザの安定動作 (連続動作において 462 時間) を行うためには、CLBO 結晶の耐久性改善が重要である。

我々は、CLBO 結晶を気密封止できるセルにパッキングし、セル内面からの水分脱離を防止するため内面粗度を改善し、セル内の水分濃度管理などを実施した。その結果、193nm 光出力 100mW の 462 時間連続試験において、出力の低下なく稼働することができた(Fig2)。対策および結果の詳細については、報告にて実施予定である。

参考文献 [1]山崎 他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023) [15a-PB01-4].

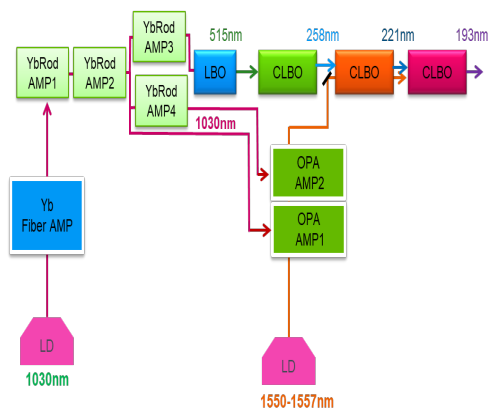


Fig.1 Schematic diagram for generating 193 nm beam.

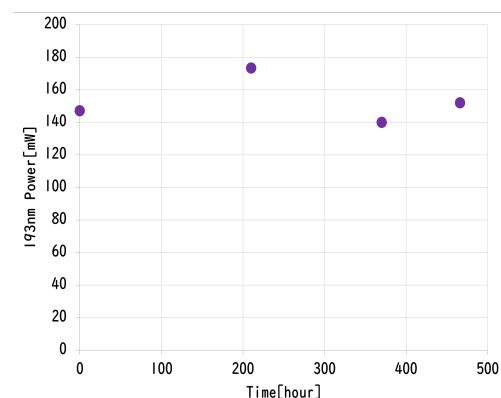


Fig.2 Transition of 193nm beam power.

## BBO 結晶を用いた OPG 中赤外極短パルス光源の開発

### Development of OPG ultrashort pulse mid-IR laser source with BBO crystal

量研関西研 °赤羽 温, 山川 考一

KPSI QST °Yutaka Akahane and Koichi Yamakawa

E-mail: [akahane.yutaka@gst.go.jp](mailto:akahane.yutaka@gst.go.jp)

以前から我々は中赤外光パラメトリック発振 (OPO) の励起光源として波長  $1\ \mu\text{m}$  帯の受動 Q スイッチ方式の短パルスレーザーを構築し、小型の波長可変中赤外 OPO レーザーの開発及び応用を進めて来た[1,2]。現在同装置を Palm-Top サイズへ小型化するため、波長  $2\ \mu\text{m}$  帯での高輝度受動 Q スイッチ励起レーザー光源開発をめざしている。ただ同波長域は様々な物質の吸収端波長であり断面積等の物性値の波長依存性が大きく、現在までに最適物質は見つかっていない。

本発表では上記問題解決へのアプローチとして過飽和吸収物質の飽和吸収実測実験の環境整備として行った、実験室ベースでの波長可変  $2\ \mu\text{m}$  帯極短パルス高輝度光源構築について報告する。 $2\ \mu\text{m}$  波長光の発生には実験室既設の Yb:YLF レーザー[3]で発生させた波長  $1.02\ \mu\text{m}$  のピコ秒(ps)パルスの一部ポンプ光とした光パラメトリック発生 (OPG) 方式を用いた。OPG は非線形結晶中で自然ノイズがポンプ光によりパラメトリック増幅される現象であり、シード光不要で位相整合条件に合致した増幅光を波長可変で発生させる事ができる。OPG に使用する非線形結晶は従来から  $1\ \mu\text{m}$  光からの 2 倍波発生 (SHG) に用いる BBO を使用した。現在 OPG や OPO に使用されている PPLN 等の周期的反転構造を持つ疑似位相整合 (QPM) デバイスは実効的非線形光学定数が非常に高いが、高強度レーザー照射に対する損傷閾値がバルク光学結晶に対して数十分の一と低く、また発振波長制御には温度コントロールが必須で周期構造により波長可変範囲が限定される。これに対し本研究では表面無コートのバルク非線形結晶を用いることで、効率は劣るが入射角チューニングによる高帯域波長可変を可能にしている。

本実験では  $7\ \text{mm}$  厚の BBO 結晶 2 個を使用し、空間 walkoff を補償するため結晶軸を図 1 の様に対称に配置した。最初の光路での OPG は非常に弱いので、一度ポンプ光と OPG を分離し、時間的 walkoff を補償した上で折り返し再び OPG 光を増幅している。実験では位相整合角  $21.9$  度で  $3.9\ \text{mJ}$ 、 $1.3\ \text{ps}$  のポンプ光入射に対して図 2 に示す様な中赤外フォトディテクタのシグナルが得られ、飽和増幅の傾向を示した。位相整合角の変更による波長チューニングでは波長  $1.6\text{-}2.8\ \mu\text{m}$  の中赤外光を観測した。パイロディテクタで観測した中赤外 OPG 光のトータルのエネルギーは最大  $30\ \mu\text{J}$  程度でまだ小さいが、ポンプ光照射面積の最適化や 2 段増幅構成化により  $100\ \mu\text{J}$ 〜サブ mJ レベルの中赤外 OPG パルスが得られると考えている。

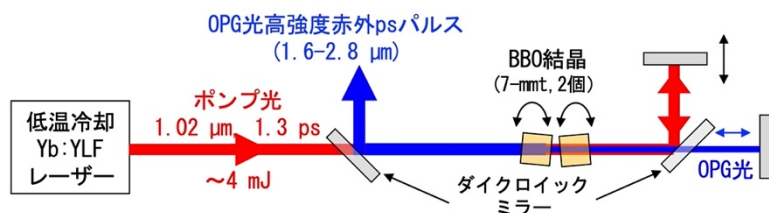


図 1 中赤外極短パルス OPG 実験配置

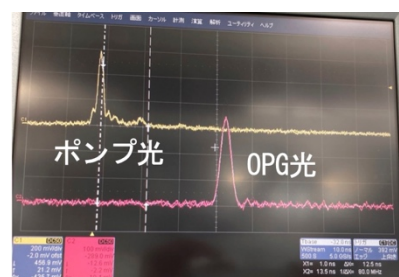


図 2 OPG 中赤外パルスの時間波形 (写真ピンク)

[1] 山川、日本糖尿病情報学会誌 **15**, 110 (2016)

[2] Y. Akahane and K. Yamakawa, CLEO-PR2022, P-CTh1-10 (Sapporo Japan, Aug. 2022)

[3] J. Kawanaka, et. al., Opt. Lett. **28** 2121 (2003)

## 光音響分光法における光－運動エネルギー変換効率

### Optical-Kinetic Energy Conversion Efficiency in Photo Acoustic Spectroscopy

近大生物理工<sup>1</sup>, ○(B)宮本 琉那<sup>1</sup>, (M1)秋吉諒一<sup>1</sup>, 三上勝大<sup>1</sup>

Kindai Univ.<sup>1</sup>, ○(B) Runa Miyamoto<sup>1</sup>, (M1) Ryoichi Akiyoshi<sup>1</sup>, Katsuhiro Mikami<sup>1</sup>

E-mail: 2218360028g@waka.kindai.ac.jp

#### 1. はじめに

レーザー光を照射試料に照射し、光の吸収やアブレーションに伴って発生する熱弾性波や衝撃波を活用した光音響分光法 (PAS) の開発が進められている。この振動発生技術におけるエネルギーは、光から吸収により熱となることで、最終的に物質の形態変化による運動エネルギーに変換される。これまで、効率的な計測技術の確率のため、振動強度におけるレーザーエネルギー依存性の評価が行われている。

本研究では、レーザーパルス照射によるアブレーション加振の最適化を目的に、光－運動変換効率を評価し、検証したので報告する。

#### 2. 実験方法

Fig.1 に実験装置を示す。本実験では、Nd:YAG レーザー (波長 1064 nm, パルス幅 7 ns) をアブレーション加振に使用した。エネルギーは  $\lambda/2$  板と偏光子で調整し、パワーメータ

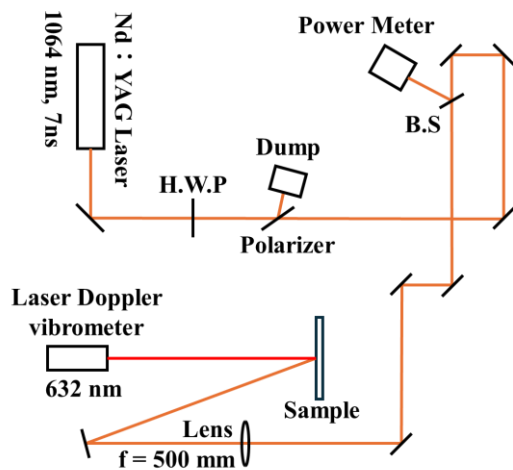


Fig. 1. Experimental equipment

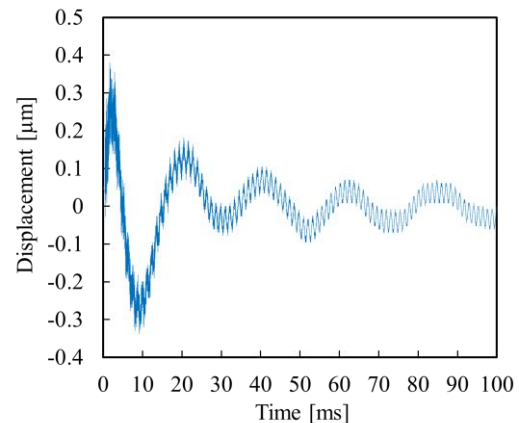


Fig. 2. Waveform of laser-induced

vibrational displacement

レーザーエネルギーを計測した。レーザーパルスは焦点距離 500 mm のレンズで集光し、サンプルに照射することでアブレーションを発生させた。アブレーションにより生じたサンプルの振動は、レーザードップラー振動計で速度および変位の 2 項目について計測した。

#### 3. 実験結果

Fig.2 に、スライドガラスに 30mJ でアブレーション加振した結果の一例を示す。横軸に計測時間、縦軸にレーザードップラー振動計で計測した変位量を示している。Fig.2 から、アブレーション発生直後に大きな振動が観測され、時間の経過とともに高周波成分が減少しつつ全体の振動が減衰する様子が観測された。この結果から、アブレーションによる振動は周波数によって時間の経過に伴う持続が変化していることが示唆された。この結果より運動エネルギーを解析的に求め、投入したレーザーエネルギーとの比較を行うことで変換効率を求める。詳細は講演に譲る。



# Tm-Ho 共添加超短パルスファイバレーザーにおける偏光依存性

## Dependence on polarization in Tm-Ho co-doped ultrashort pulse fiber laser

名大院工<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup> ○高田 翔平<sup>1</sup>, 北島 将太郎<sup>1</sup>, 周 英<sup>2</sup>, 榊原 陽一<sup>2</sup>, 斎藤 毅<sup>2</sup>,  
西澤 典彦<sup>1</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, °S.Takada<sup>1</sup>, S.Kitajima<sup>1</sup>, Y.Zhou<sup>2</sup>, Y.Sakakibara<sup>2</sup>, T.Saito<sup>2</sup>, N.Nishizawa<sup>1</sup>

E-mail: takada.shohei.r9@s.mail.nagoya-u.ac.jp

### 1. はじめに

超短パルスファイバレーザーは、実用的な超短パルス光源であり、バイオ・医療・光計測・レーザー加工など活用が広がっており、さらなる高度化が求められている。我々は単層カーボンナノチューブ (SWNT) を可飽和吸収体とした 2 μm 帯で発振する Tm 添加、及び Tm-Ho 共添加超短パルスファイバレーザーを開発してきた[1][2]。Tm-Ho 共添加超短パルスファイバレーザーの高度化のため、今回は、Tm-Ho 共添加超短パルスファイバレーザーにおいて、偏光を調整することで、異なるモード同期の振る舞いを観測したので、報告する。

### 2. 実験と結果

Tm-Ho 共添加超短パルスファイバレーザーの実験系を Fig. 1 に示す。励起光源には EDFA で増幅した 1.55 μm の LD を使用し、Tm-Ho 共添加ファイバ (THDF) で波長 2 μm 帯の光を生成した。可飽和吸収体には濃度の異なる 2 種類の SWNT フィルム A, B を使用した。使用した SWNT フィルムの吸収スペクトルを Fig. 2 に示す。また、波長 2 μm 帯では SMF 及び THDF は異常分散を示すので、分散補償のため、同波長帯で正常分散を示す UHNA4 を使用した。出力ポートから、それぞれの SWNT フィルムを使用した場合のスペクトル、パルス列、RF スペクトル、自己相関波形を観測した。

フィルム A を使用した場合の出力スペクトルを Fig. 3 に、フィルム B を使用した場合の出力スペクトルを Fig. 4 にそれぞれ示す。偏波コントローラ(PC)で偏光を調整することで、フィルム A、フィルム B どちらを用いた場合においても、正常分散時にみられる散逸性ソリトンモード同期、異常分散時にみられるソリトンモード同期のようなスペクトルが観測された。また、自己相関波形の測定でも、時間幅は対応する動作モードの特性と一致した。

### 3. 参考文献

- 1) K. Watanabe, et al, OSA Continuum. **4**(1), 137-148 (2021).
- 2) K. Fukazawa, et al, Applied Sciences. **12**(23), 12369 (2022).

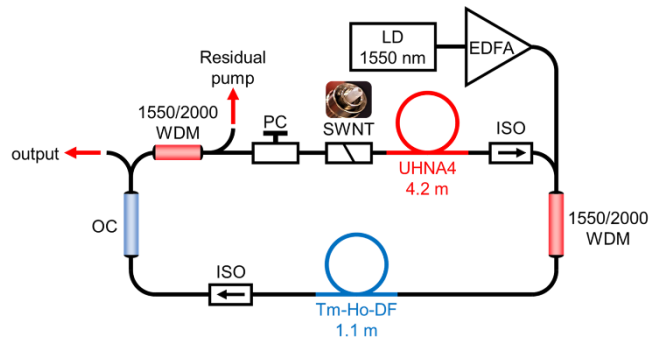


Fig. 1 Setup of Tm-Ho co-doped fiber laser.

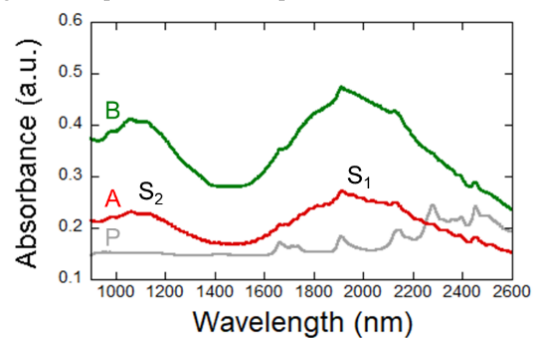


Fig. 2 Absorption spectra of film A and B.

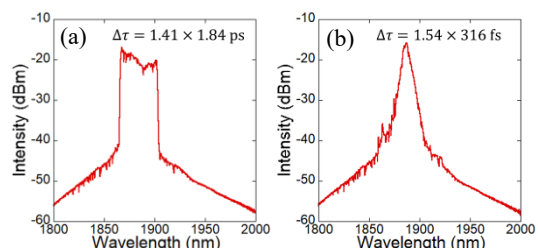


Fig. 3 Optical spectra for film A was used.

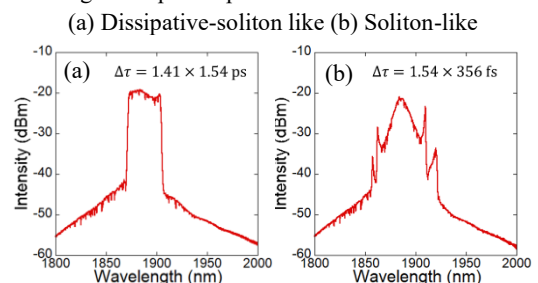


Fig. 4 Optical spectra for film B was used.

(a) Dissipative-soliton like (b) Soliton-like

## 可視スーパーコンティニューム生成のための 635 nm ノイズライクパルスファイバレーザー

### 635 nm noise-like pulse fiber laser for visible supercontinuum generation

埼玉大学<sup>1</sup>, セブシックス(株)<sup>2</sup> ○西浦 匡則<sup>1,2</sup>, ティン タイ バオ<sup>1,2</sup>, 塩田 達俊<sup>1</sup>

Saitama Univ.<sup>1</sup>, Sevensix Inc.<sup>2</sup>, °Masanori Nishiura<sup>1,2</sup>, Dinh Thai Bao<sup>1,2</sup>, Tatsutoshi Shioda<sup>1</sup>

E-mail: masanishiura@mail.saitama-u.ac.jp

可視光を出力するスーパーコンティニューム (SC) レーザーは、超高速分光、高解像顕微鏡、デバイス評価の光源として幅広く使用されている。しかしこれら SC レーザーにおける可視光は光スペクトル全体のほんの一部であるため、可視光のみを光ファイバから取り出して効果的に使用するためには光フィルタリング、光ファイバへの再結合が必要となる。結果として光源システム全体として複雑かつ高価になり、可視域のスペクトル安定性は低くなる。そこで今回我々は、可視域で使い勝手の良い SC レーザーを開発することを目的に、まずは SC レーザーの種光源として、可視モード同期ファイバレーザー発振器 (Vis-MLFL) を開発した。パルス形態には、SC レーザーの光スペクトルの高安定化が可能なノイズライクパルス (NLP) を目指した<sup>1)</sup>。

本研究で開発した NLP Vis-MLFL の構成図を Fig. 1 に示す。レーザー媒質として Pr/Yb 共添加フッ化物ファイバを採用し<sup>2)</sup>、非線形増幅ループミラー (NALM) を可飽和吸収機構とした 8 の字型共振器とすることで小型かつ安定な Vis-MLFL とした。NALM の外に狭帯域光バンドパスフィルタと光増幅部を配置し、NLP 発生に必要な高い非線形光学効果を誘起した。

生成された NLP の繰り返し周波数は 3.46 MHz、パルスエネルギー 0.19 nJ、中心波長 635 nm、10 dB スペクトル幅 0.6 nm で、室温環境下で 12 時間連続稼働した。現時点で自己相関波形を計測していないが、計測した諸特性から本パルスは NLP だと考えている。

本研究で開発した 635 nm NLP ファイバレーザーは繰り返し周波数が低いため、光増幅によるパルスエネルギー増大が比較的容易であり、可視域で超高安定な SC レーザーの生成に有効だと考えられる。本発表では実験系と測定データの詳細、光増幅を含めた最新の実験結果を示す。

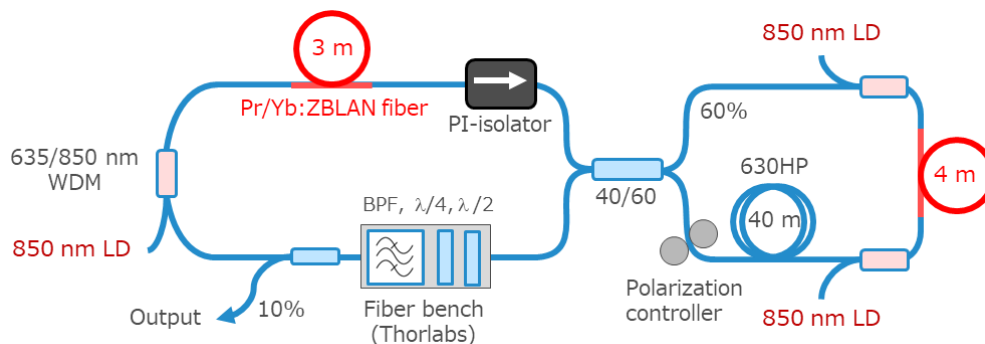


Fig. 1 Experimental Setup.

#### 参考文献

- [1] A. Zaytsev *et.al.*, Opt. Express **21**, 16056 (2013). / [2] J. Zou *et.al.*, Light Sci Appl **9**, 61 (2020).