

一般セッション(ポスター講演) | 3 光・フォトンクス：3.4 レーザー装置・材料 (旧3.5)

2023年9月21日(木) 16:00 ~ 18:00 | 会 P13 (熊本城ホール)

[21p-P13-1~6] 3.4 レーザー装置・材料 (旧3.5)

◆ 英語発表

[21p-P13-1] States switchable fiber laser mode-locked by nonlinear polarization rotation in all polarization maintaining fiber

○Guanyu Ye¹, Bowen Liu¹, Naoki Yamaguchi¹, Maolin Dai¹, Yifan Ma¹, Takuma Shirahata¹, Shinji Yamashita¹, Sze Y. Set¹ (1.Tokyo Univ.)

[21p-P13-2] 高繰り返し全偏波保持機構共有型デュアルコムファイバレーザーの実現に向けたファイバレーザーの開発

○湯本 拓実¹、内山 竜成¹、穀山 渉²、時実 悠³、安井 武史³、松原 伸一⁴、中嶋 善晶¹ (1.東邦大、2.産総研、3.徳島大ポストLED研究所、4.高輝度光科学研究所)

[21p-P13-3] 希土類(Er,Tm)添加S-FAP透光性セラミックスの作製

○(M2)望月 友輝¹、ユスフ アブ¹、平井 慈人¹、大野 智也¹、森田 孝治²、鈴木 達²、金 炳男²、古瀬 裕章² (1.北見工大、2.物質・材料研究機構)

◆ 英語発表

[21p-P13-4] Nanosecond Ti:Sapphire pulse compression characteristics by the SBS technique

○Haik Chosrowjan¹, Toshihiro Somekawa¹, Seiji Taniguchi¹ (1.ILT)

[21p-P13-5] ホスト液晶構造に着目したオリゴチオフエン色素ドーブ液晶の非線形光学応答

○横田 純輝¹、相沢 美帆^{1,2}、久野 恭平¹、久保 祥一¹、山口 留美子³、穴戸 厚¹ (1.東工大化生研、2.JSTさきがけ、3.秋田大院理工)

[21p-P13-6] ナノ秒パルスレーザー光の深紫外域への高品質・高効率な波長変換

○吉野 健斗¹、小瀬村 輝¹、大久保 直幸¹、豊永 大貴¹、永野 正統¹、長谷川 健司¹、大饗 千彰^{1,2}、桂川 眞幸^{1,2} (1.電通大基盤理工、2.電通大量子センター)

States switchable fiber laser mode-locked by nonlinear polarization rotation in all polarization maintaining fiber

The University of Tokyo^{1, *} Guanyu Ye¹, Bowen Liu¹, Naoki Yamaguchi¹, Maolin Dai¹, Yifan Ma¹,
Takuma Shirahata¹, Shinji Yamashita¹, Sze Y. Set¹

E-mail: ye@cntp.t.u-tokyo.ac.jp

Mode-locked fiber lasers (MDFLs) find extensive application in sensing, spectroscopy, bioimaging, material processing, and optical communications [1]. Mode-locking states including bound states, fundamental solitons, harmonics, dual-wavelength, and noise-like states, offer unique capabilities for applications of binary coding, frequency comb, and supercontinuum generation. Multi-functional MDFLs, capable of achieving multiple mode-locking states within a single laser cavity by employing mode-switching mechanisms, have gained significant interest due to their exceptional practicality and versatility [2]. Here, we proposed the first multifunctional EDFL mode-locked by nonlinear polarization rotation (NPR) in all polarization maintaining (all-PM) fiber. The laser operates in all-anomalous dispersion regime, yielding switchable mode-locking states of noise-like, bound-state, and unstable dual-wavelength by simply adjusting half wave plates (HWP).

The experimental setup in Fig. 1 includes a slow axis working PM hybrid device as a WDM, polarizer, and 20% output coupler. A 1.5 m PM EDF (Nufern ESF-7/125) serves as the gain medium, and the remaining passive fiber are the PM type (Fujikura SM15-PS-U25A). The NPR section consists of 90° spliced fiber segments with a total length of 10 m, two collimator pairs, two HWPs, and a PBS. The cavity length is approximately 20 m, and the net GVD is estimated to be -0.41 ps^2 at 1550 nm, indicating the laser operates in the soliton regime. By applying a pump power of 480 mW and properly adjusting two HWPs, a noise-like pulse can be achieved, as shown in Fig. 2(a). Subsequently reducing the pump to 230 mW, a bound-state pulse emerges as depicted in Fig. 2(b). Further adjustment of HWP1 lead to unstable dual-wavelength mode-locking demonstrated in Fig. 2(c). The laser self-starts easily at around 500 mW pump power and maintains mode-locking for 2 days during a stability test.

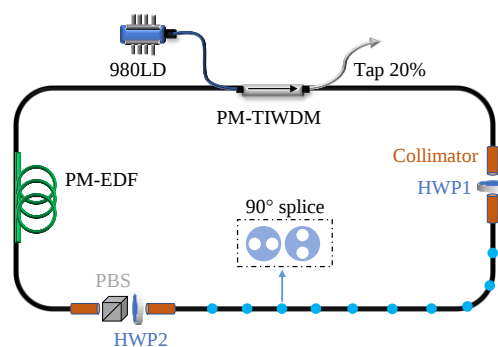


Fig. 1 Experimental setup of the EDFL

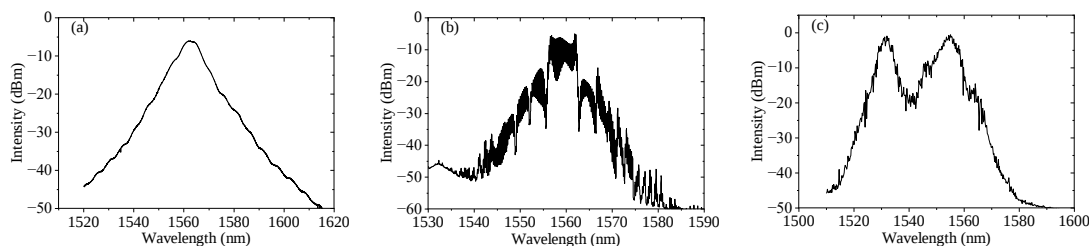


Fig. 2. Three mode-locking states. (a) Noise-like; (b) Bound-state; (c) Dual-wavelength

[1] J Kim, et al., Adv.Opt.Photon. 8(3), 465-540 (2016).

[2] T Dai, et al., Opt.Express. 30(10), 16530-16540 (2022).

高繰り返し全偏波保持機構共有型デュアルコムファイバレーザの実現に向けた ファイバレーザの開発

Development of a fiber laser for realizing a high repetition rate all-polarization-maintaining mechanically shared dual-comb fiber laser

東邦大¹, 産総研², 徳島大ポストLED研究所³, 高輝度光科学研究所⁴

○ (M2) 湯本 拓実¹, 内山 竜成¹, 穀山 渉², 時実 悠³, 安井 武史³, 松原 伸一⁴
中嶋 善晶¹

Toho Univ.¹, NMIJ/AIST², Institute of Post-LED Photonics³, JASRI⁴

○Takumi Yumoto¹, Ryusei Uchiyama¹, Wataru Kokuyama², Yu Tokizane³, Takeshi Yasui³,
Shinichi Matubara⁴, Yoshiaki Nakajima¹

E-mail: yoshiaki.nakajima@sci.toho-u.ac.jp

デュアルコム分光法は、速いデータ取得時間、高い分解能での分光測定が可能のため、大きな注目を集めている[1]。これまでに我々は、半導体可飽和吸収ミラー(SESAM)をモード同期機構とすることで小型かつ簡便な構成の全偏波保持構成での機構共有型デュアルコムファイバレーザを開発した[2][3]。しかし、繰り返し周波数 f_{rep} が46 MHzであるため、測定可能帯域幅を広くするには、繰り返し周波数差 Δf_{rep} を小さくする必要があり、データ取得時間が制限される。

この課題を解決するために、本研究では $f_{\text{rep}} = 126 \text{ MHz}$ の全偏波保持型構成でのファイバレーザを開発した。Fig. 1(a)に新たに開発したファイバレーザの構成を示す。モード同期機構であるSESAM、部分反射ミラー(PRM)、WDM カプラ、および偏波保持型の Er 添加光ファイバ(EDF)で構成されている。共振器長を短くするために、WDM カプラはレーザ共振器外に設置した。Fig. 1(b)に示すのはモード同期動作時の光スペクトルであり、半値全幅約 13 nm、平均パワー約 4.5 mW を得た。Fig. 1(c)に示すのは RF スペクトルであり、 $f_{\text{rep}} = 128 \text{ MHz}$ を得た。

本研究は、JST A-STEP (JPMJTM22B6)、前川報恩会、服部報公会、カシオ科学振興財団の研究助成を受けた。

[1] I. Coddington, et al., Optica 3, 414 (2016).

[2] Y. Nakajima, et al., Opt. Lett., 46, 5401 (2021).

[3] Y. Nakajima, et al., CLEO2022, JTh3A.26 (2022).

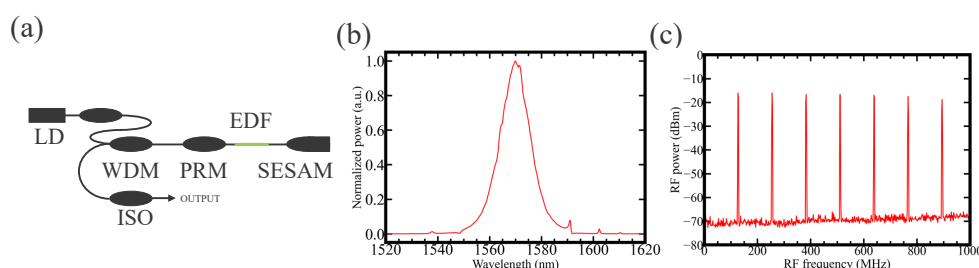


Fig. 1 (a) Experimental setup of an all-polarization maintaining fiber laser. (b) Optical spectrum and (c) RF spectrum of frequency comb

希土類 (Er, Tm) 添加 S-FAP 透光性セラミックスの作製

Fabrication of Rare-Earth (Er, Tm)-doped S-FAP transparent ceramics

北見工大¹, 物質・材料研究機構² ○(M2)望月 友輝¹, (M1)ユスフ アブ¹, 平井 慈人¹,
大野 智也¹, 森田 孝治², 鈴木 達², 金 炳男², 古瀬 裕章²

Kitami Inst. Tech.¹, NIMS²

○Y. Mochizuki¹, A. Yousuf¹, S. Hirai¹, T. Ohno¹, K. Morita², T.S. Suzuki², B.N. Kim², H. Furuse²

E-mail: m3225400264@std.kitami-it.ac.jp

はじめに

固体レーザー分野において透光性セラミックスは多くの利点を持つ。しかし、非立方晶系材料では複屈折による粒界散乱で透光性が低下するため、レーザーセラミックスの開発が困難とされている。多くのレーザー材料は非立方晶系材料であることから、非立方晶系材料の透明セラミックス化の実現はレーザー光源の高機能化に繋がると期待できる。

我々は、これまで六方晶系フッ化アパタイト($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$: C-FAP)透光性セラミックスの開発を行ってきた。結晶粒界における光散乱の大きさはセラミックスを構成する結晶粒の大きさに比例することから[1], 我々は結晶粒の微細化に着目して開発を行ってきた。液相法による微粉体合成と放電プラズマ焼結(SPS)装置による低温焼結を組み合わせることで、平均粒径が約 100 nm の Nd:C-FAP と Yb:C-FAP の透光性セラミックスを作製し、波長 1 μm 帯のレーザー発振を実証した[2,3]。また、粒界散乱は波長の 2 乗に反比例することから、長波長側では光学品質の向上が期待できる。本研究グループでは、これまでに中赤外域での蛍光が期待できる Er^{3+} および Tm^{3+} を添加した C-FAP の作製を試みてきたが、現在のところ十分な蛍光を観測できていない[4,5]。本研究では知見を深めることを目的に、母材を S-FAP($\text{Sr}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$)に変え、Er:S-FAP および Tm:S-FAP 透光性セラミックスの作製を試みた。

実験方法と結果

初期原料に $\text{Sr}(\text{OH})_2$, H_3PO_4 , ErCl_3 および TmCl_3 を用いて Er:S-HAP($\text{Sr}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$: S-HAP) および Tm:S-HAP 前駆体を合成した。その後、前駆体に CF_3CONH_2 溶液を混合して熱処理することで OH を F にフッ素置換して Er:S-FAP および Tm:S-FAP 粉体を作製した。得られた粉体を放電プラズマ焼結装置により真空雰囲気下で一軸加圧焼結した。Er:S-FAP および Tm:S-FAP 焼結体の両面に光学研磨を施し、各種特性評価を行った。

図 1 に Er:S-FAP 焼結体の直線透過率を示す。光の波長 975 nm に Er^{3+} の $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$ 遷移による励起吸収が見られ、波長 1700 nm における透過率は 80% 以上であった。また図 2 に Tm:S-FAP 焼結体の直線透過率を示す。波長 793 nm に Tm^{3+} の $^3\text{H}_6 \rightarrow ^3\text{H}_4$ 遷移による励起吸収を確認したが、光学品質は Er 添加材と比較して低下した。今後、合成条件を見直して各焼結体の高品質化を図るとともに、中赤外域の蛍光試験を実施する。講演ではこれらの材料の詳細と、レーザー材料としての可能性について議論する予定である。

[1] R. Apetz *et al.*, *J. Am. Ceram. Soc.*, **86**, 480 (2003). [2] H. Furuse *et al.*, *Sci. Rep.*, **9**, 10300 (2019).

[3] H. Furuse *et al.*, *Opt. Mater. Express*, **11**, 1756 (2021). [4] 白土 誉 他, レーザー学会学術講演会第 40 回年次大会 (2020).

[5] 望月友輝 他, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022).

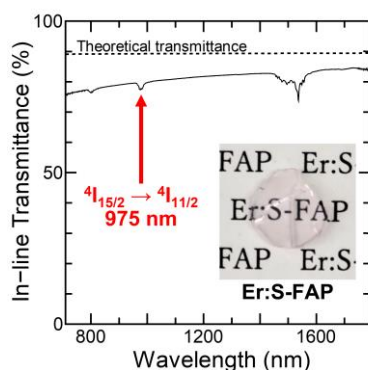


Fig. 1. In-line transmittance of Er:S-FAP transparent ceramics.

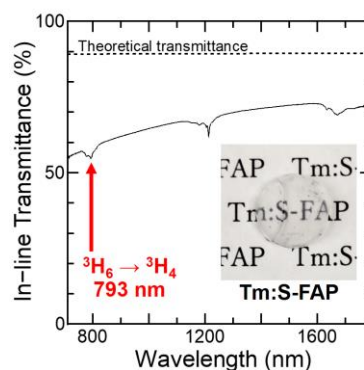


Fig. 2. In-line transmittance of Tm:S-FAP transparent ceramics.

Nanosecond Ti:Sapphire pulse compression characteristics by the SBS technique

Haik Chosrowjan, Toshihiro Somekawa, Seiji Taniguchi

Institute for Laser Technology, 3-11-20, Nakoji, Amagasaki, Hyogo

e-mail: haik@ilt.or.jp

Pulse compression devices for ns pulses could find applications in material processing, resonance Raman spectroscopy (RRS), etc. However, pulse compression techniques used for fs - ps time domains cannot be applied to ns pulses. Outside the optical resonator, pulse compression from several ns to sub-ns can be achieved only by stimulated Brillouin scattering (SBS) nonlinear light-matter interaction process.

In our previous reports [1-4], a pulse compressor system with a variable-length, compact/folded SBS amplifier cell for ns pulse compression applications was described. An SBS pulse compressor was designed and built. Pulse compression experiments of ~ 18 ns duration, ~ 30 mJ energy Ti:Sapphire laser pulses at 780 nm, 800 nm, and 820 nm were performed. Although the pulses could be compressed from 18 to 8.7 ns, the SBS energy conversion efficiency decreased to $\sim 30\%$. The main problems hindering the pulse compression ratio and energy conversion efficiency have been identified.

In the present report, we will describe efforts to solve the identified problems. Firstly, to reduce the linewidth of the optical pulses, we have used a Fabry-Perrot etalon inside the laser resonator. Second, the effective SBS interaction length has been optimized, and third, the performance of another SBS liquid (FC-40 fluorocarbon) with a shorter phonon lifetime has been tested.

As expected, due to the shorter phonon lifetime (0.2 ns vs. 1.2 ns), the compressed pulse FWHM in FC40 vs. FC72 was more efficient. The SBS energy conversion efficiency at around 770 - 800 nm range was still low, ~ 0.55 (~ 0.7 , if linear optical losses of the system are taken into consideration) for both FC-72 and FC-40 SBS liquids. Compared with the case without inserting the etalon and the same effective length of the SBS cell ($L_S \sim 1.5$ m or 3 passes), the pulse width decreased from 11.2 ns to 7.0 ns, and the energy efficiency improved from $\sim 42\%$ to $\sim 55\%$. Our analysis shows that the main reason for the low energy conversion efficiency is still the short coherence length of the pump pulses ($L_c \sim 13.5$ cm, bandwidth ~ 2.23 GHz). Compared with the SBS interaction length, the laser beam coherence length is still about 10 times smaller. Obviously, the pulses generated by the gain-switching technique have much broader (~ 100 times) spectra compared with the same duration transform-limited pulses. To increase the efficiency of the SBS process, which is an inherently coherent process by its nature, pulses with longer coherence length (narrowband) must be used. By comparing the measured pulse bandwidth (~ 2.23 GHz) with the Brillouin bandwidths of FC-72 (0.27 GHz) and FC-40 (1.292 GHz) liquids it becomes clear that the pulse- versus the gain spectrum is broader in both media hence, a conversion efficiency loss is unavoidable.

In our forthcoming experiments, we will build an SHG unit and investigate the SHG conversion efficiency and stability of the compressed pulses in a broader spectral region. Our goal will be to obtain shorter SHG pulses and higher peak power for compressed pulses compared with the pulses before the compression.

- [1] H. Chosrowjan, et al., presentation No.: 24p-P05-5, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会
- [2] H. Chosrowjan, et al., presentation No.: 21p-P04-5, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会
- [3] H. Chosrowjan, et al., presentation No.: 15a-PB01-3, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会
- [4] H. Chosrowjan, et al., presentation No.: ALPSp2-06, OPTICS&PHOTONICS International Congress 2023 (OPIC2023)

Acknowledgment: This work is supported by the JSPS Kakenhi Grant Number 21K04934.

ホスト液晶構造に着目した オリゴチオフエン色素ドープ液晶の非線形光学応答

Nonlinear Optical Response of Oligothiophene Dye-doped Liquid Crystals Depending on Host Liquid Crystal Structures

東工大化生研¹, JST さきがけ², 秋田大院理工³

横田 純輝¹, 相沢 美帆^{1,2}, 久野 恭平¹, 久保 祥一¹, 山口 留美子³, 央戸 厚¹

Lab. for Chem. & Life Sci., Tokyo Tech¹, PRESTO, JST², Akita Univ.³

[○]Junki Yokota¹, Miho Aizawa^{1,2}, Kyohei Hisano¹,

Shoichi Kubo¹, Rumiko Yamaguchi³, Atsushi Shishido¹

E-mail: ashishid@res.titech.ac.jp

【緒言】

近年、光強度を認識して応答する非線形光学材料が注目を集めている。なかでも液晶は、一定強度以上の光を入射することで、分子配向変化に基づく非線形光学効果を発現する。これまでに、オリゴチオフエン色素を少量添加することで、非線形応答に要する光強度が格段に低下することを示している¹⁻⁴。さらなる高感度化を実現するための材料設計指針が明らかになれば、光強度を認識して応答する調光材料や光スイッチの創製が期待できる。これまでに当研究室では、高分子の添加^{1,2}や色素構造の制御³、電界印加⁴により、色素ドープ液晶の光感度が向上することを明らかにした。一方、材料物性を決めるホスト液晶に着目した材料設計は未検討であった。そこで本研究では、様々なフッ素含有液晶を用いた色素ドープ液晶を調製し、非線形光学応答におけるホスト液晶の影響を検討した。

【実験・結果】

室温で液晶性を示す 5CB に対して様々なフッ素系液晶 (F-LCx; $x = 1-4$) をそれぞれ混合したホスト液晶に、オリゴチオフエン色素 (TR5) を少量添加した (Figure 1)。垂直配向処理を施したガラスセルに色素ドープ液晶試料を封入し、波長 488 nm のレーザー光を入射すると、光分子配向変化に基づく回折リングが生じた。入射光強度を変化させながら回折リング形成挙動を観察したところ、分子配向変化の誘起に必要な光強度が液晶構造によって大きく異なることが明らかになった⁵。

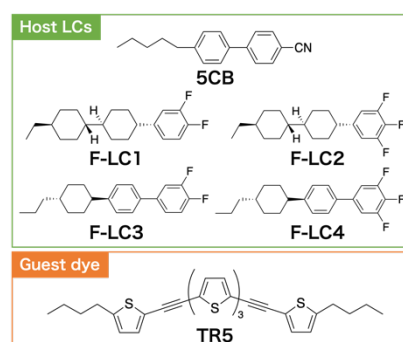


Figure 1. Chemical structures of the compounds used in this study.

【References】

- 1) Y. Aihara, A. Shishido, *et al.*, *Adv. Opt. Mater.* **2013**, *1*, 787.
- 2) K. Matsumoto, A. Shishido, *et al.*, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **2020**, *713*, 46.
- 3) M. Yaegashi, T. Ikeda, *et al.*, *Chem. Mater.* **2005**, *17*, 4304.
- 4) K. Usui, A. Shishido, *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2021**, *13*, 23049.
- 5) J. Yokota, A. Shishido, *et al.*, *Materials* **2022**, *15*, 4125.

ナノ秒パルスレーザー光の深紫外域への高品質・高効率な波長変換

Highly-efficient and high beam-quality wavelength conversion of a nanosecond pulsed laser to the deep ultraviolet regime

電通大基盤理工¹, 電通大量子センター² (M2)[○]吉野健斗¹, (M1)小瀬村輝¹, 大久保直幸¹, 豊永大貴¹, 永野正統¹, 長谷川健司¹, 大饗千彰^{2,1}, 桂川眞幸^{1,2}

Dep.of Eng.Sci.¹, IAS², Univ. of Electro-Comms, [○]Kento Yoshino¹, Hikaru Kosemura¹, Naoyuki Okubo¹, Taiki Toyonaga¹, Nagano Masato¹, Kenji Hasegawa¹, Chiaki Ohae^{1,2}, and Masayuki Katsuragawa^{1,2}

E-mail: yoshino@mklab.es.uec.ac.jp

波長可変の単一周波数ナノ秒パルスレーザー光は、高いピーク強度(典型的には MW レベル)とフーリエ限界の周波数純度(数十メガヘルツ)を併せ持つユニークな光源である。特に、高分解能非線形レーザー分光を意図した研究では強力な道具となる。光源の利用域の拡大には、多くの場合と同様に、非線形光学結晶を用いた波長変換を用いる方法が有効である。ただし、ナノ秒域では波長変換に長い結晶長が必要となり、良く知られているように、ウォークオフの問題からビーム品質の劣化と変換効率の制限という深刻な問題が発生する。ここでは、これらの問題を解決して、ナノ秒域で高効率かつ高品質な波長変換を如何に実現するかについて議論する。

図 1 は、この目的で実際に構築した波長変換システムの概略である。ウォークオフを回避するために、結晶軸を反転した結晶ペアを基本要素として、その結晶ペア列によって構成されている。システムの要点は、高いビーム品質を維持できる最長の結晶長の見極めと波長変換光をコヒーレントに積算させるための結晶間隔の設置精度にある。詳細な数値計算と実験をおこない、二倍波

の発生 (750 nm $\rightarrow$ 375nm) については、数値計算の結果をほぼ忠実に再現する、単一縦・横モードを維持した高効率二倍波発生 (エネルギー変換効率 82%) が実現されることを明らかにした。一方で、三倍波の発生 (750 nm $\rightarrow$ + 375 nm $\rightarrow$ 250 nm) については、数値計算が予想するような効率 (~70%) の変換を、これまでのところ実現できていない。レーザー光による結晶の微細な損傷や湿気による結晶品質の劣化に問題があると予想している。これらの問題を解決するために、高品質な結晶の選別と水蒸気成分を十分に排除した環境を準備し、実験を進めている。当日は、これまでの成果のレビューに加え、これらの進捗状況について報告する。

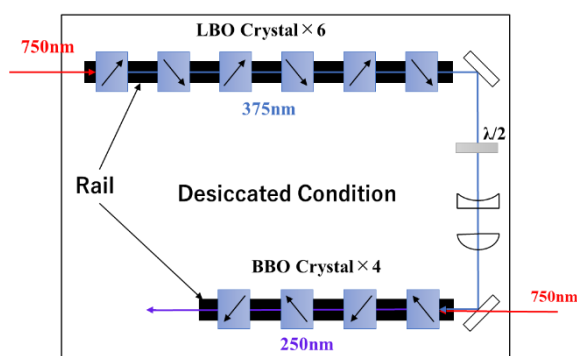


Fig. 1. Experimental Setup