

Poster presentation | 3 Optics and Photonics : 3.5 Ultrashort-pulse and high-intensity lasers

📅 Wed. Sep 18, 2024 9:30 AM - 11:30 AM JST | Wed. Sep 18, 2024 12:30 AM - 2:30 AM UTC 🏛️ P02
(Exhibition Hall A)

[18a-P02-1~5] 3.5 Ultrashort-pulse and high-intensity lasers

[18a-P02-1]

Broadband Mid-Infrared Comb Generation Using a Waveguide Type PPLN Crystal Based on All-Polarization-Maintaining Er:Fiber Comb

○Keisuke Uda¹, Ryo Mitsumoto¹, Naoya Kuse², Yoshiaki Nakazima³, Takeshi Yasui^{2,4}, Kaoru Minoshima^{2,5}, Kazumichi Yoshii^{1,2} (1.Ryukoku Univ., 2.pLED, Tokushima Univ., 3.Toho Univ., 4.Tokushima Univ., 5.Univ. of Electro-Commun.)

[18a-P02-2]

Frequency synchronization of a regenerative amplifier and an optical frequency comb for extending measurement time in optical pump and probe experiment

○(M2)Riku Shibata¹, Shun Fujii¹, Shinichi Watanabe¹ (1.Keio Univ.)

🎤 English Presentation

[18a-P02-3]

Mid-infrared femtosecond laser based on Cr:ZnS oscillator and ZBLAN fiber

○Kejia Zeng¹, Aoi Satou¹, Xiangbao Bu¹, Satoshi Ashihara¹ (1.Utokyo, IIS)

[18a-P02-4]

Coherent LO phonon-plasmon coupling depending on electronic states in GaAs excited by ultrashort pulses

○(M2)Taichi Nishimura^{1,2}, Kazutaka Nakamura^{1,2}, Itsuki Takagi^{1,2}, Yosuke Kayanuma³ (1.MSL, Tokyo Tech., 2.Materials. Eng. Tokyo Tech., 3.Osaka Metropolitan Univ.)

[18a-P02-5]

Development of an electron spectrometer for time-resolved electron energy-loss spectroscopy

○Yuichi Tachibana¹, Yuya Morimoto^{1,2} (1.RIKEN, 2.Univ. of Tokyo)

全偏波保持エルビウムファイバーコムを光源とする 導波路型 PPLN 結晶による広帯域中赤外コム発生

Broadband Mid-Infrared Comb Generation Using a Waveguide Type PPLN Crystal Based on All-Polarization-Maintaining Er:Fiber Comb

龍谷大学¹, 徳島大学ポスト LED フォトニクス研究所², 東邦大学³, 徳島大学⁴, 電気通信大学⁵

○宇田 圭佑¹, 光本 涼¹, 久世 直也², 中嶋 善晶³, 安井 武史^{2,4}, 美濃島 薫^{2,5}, 吉井 一倫^{1,2}

Ryukoku Univ.¹, pLED, Tokushima Univ.², Toho Univ.³, Tokushima Univ.⁴, Univ. of Electro-Commun.⁵

○Keisuke Uda¹, Ryo Mitsumoto¹, Naoya Kuse², Yoshiaki Nakajima³, Takeshi Yasui^{2,4},

Kaoru Minoshima^{2,5}, Kazumichi Yoshii^{1,2}

y210214@mail.ryukoku.ac.jp

中赤外(MIR)領域は分子の指紋領域と呼ばれ微量ガスをはじめとする物質同定に利用される。MIR 領域での光コム(MIR コム)の発生には、光コム技術の成熟しているエルビウム(Er)ファイバーコムを基本波光源とし非線形光学結晶を用いた差周波発生を用いる。我々は広帯域化した Er ファイバーコムの光を導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN WG)結晶に入射することで mW 級の出力を有す広帯域 MIR コム発生に成功している^{1,2)}。これまでの研究では基本光源として非線形偏波回転型モード同期 Er ファイバーコムを用いていた。そのため共振器はシングルモードファイバーで構成され振動に敏感であり可搬を伴う応用には不十分であった。本研究の目的は、基本波光源に全偏波保持 Er ファイバーコムを用い、当研究グループの先行研究と同型の PPLN WG 結晶を用いたシングルパス構成で mW 級の出力を有す広帯域 MIR コム発生を実現することである。

繰り返し周波数 f_{rep} が 250 MHz の非線形増幅ループミラー(NALM)型モード同期 Er ファイバーコムを用いた³⁾。出力光を偏波保持型エルビウム添加ファイバー光増幅器(PM EDFA)で 400 mW まで増幅した後、長さ L mm の偏波保持ファイバー(PMF)を通し偏波保持型高非線形ファイバー(PM HNLF)に送り 1-2 μm に広帯域化した。PM HNLF と PPLN WG をバット結合し差周波発生を行った。発生した MIR コムを無反射コートされた非球面レンズでコリメートした後、波長 2.4 μm 以上のロングパスフィルター2枚を透過させ基本波成分を十分にカットした。MIR 光の出力測定には温調した熱式パワーセンサーを用いた。また、MIR コムを放物面鏡でマルチモードファイバーに結合し光スペクトラムアナライザー(OSA)を用いて

スペクトルを測定した。

PM EDFA 後の PMF 長さ L を変化させ MIR コムの出力を測定した。その結果 $L = 160$ mm の時 3.7 mW ($>2.4 \mu\text{m}$) を得た。また OSA でスペクトルを測定した結果 2.4 - 4.5 μm までの MIR コム発生を確認した(Fig.1)。結晶への入射光出力 320 mW に対する MIR 光の発生効率率は約 1.2% であり、先行研究^{1,2)}の発生効率と比較し同程度の結果が得られた。基本波光源から HNLF に至るまで全偏波保持ファイバーで構成された堅牢性の高い mW 級広帯域 MIR コム光源の開発に成功した。

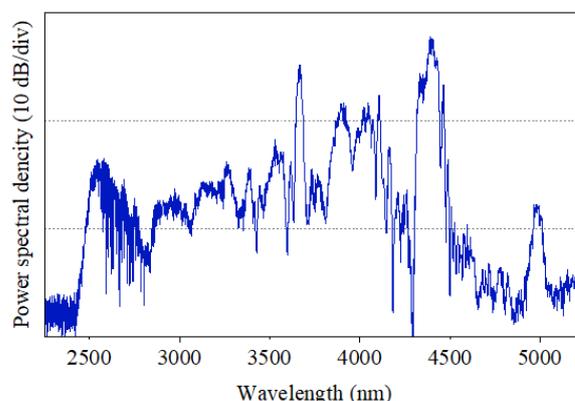


Fig.1. Broadband MIR comb spectrum from 2.4 - 4.5 μm in PPLN WG crystal.

参考文献

- 1) 光本, 他, レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, B05-18p (2023).
- 2) R. Mitsumoto, N. Kuse, K. Inoue, Y. Nakajima, T. Yasui, K. Minoshima, and K. Yoshii, Conference on Lasers and Electro-Optics, JTh2A.91 (2023).
- 3) N. Kuse, J. Jiang, C.-C. Lee, T. R. Schibli, and M. Fermann, Opt. Express **24**, 3095 (2016).

光ポンプ光プローブ実験の測定時間拡大に向けた再生増幅器と光コムとの周波数同期実験

Frequency synchronization of a regenerative amplifier and an optical frequency comb for extending measurement time in optical pump and probe experiment

慶大理工,[○](M2)柴田 理来, 藤井 瞬, 渡邊 紳一

Keio Univ., [○]Riku Shibata, Shun Fujii, Shinichi Watanabe

E-mail: riku.shibata@keio.jp

非同期光サンプリング法(Asynchronous optical sampling; ASOPS)[1]は、ポンプ・プローブ測定などの時間分解計測を高速かつ高分解能で行うことを可能にするため、量子ドット[2]や磁性体材料[3]など、多様な物性材料における超高速現象の計測に応用されている。ASOPSでは、2台のモード同期レーザーの繰り返し周波数をわずかに異なる値 (f_{rep} , $f_{\text{rep}} + \Delta f_{\text{rep}}$) に設定して、それぞれポンプパルス、プローブパルスとして用いる。ポンプパルスで試料を励起してから $1/f_{\text{rep}}$ の時間が経過するまでの信号を、 $\Delta f_{\text{rep}} / f_{\text{rep}}^2$ の時間分解能で取得することができる。 $f_{\text{rep}} = 100$ MHz のモード同期レーザーを想定すると、測定時間範囲は 10 ns となる。ピコ秒スケールの超高速現象の測定には十分であるが、より長い時間スケールのポンプ・プローブ測定を、ASOPS を用いて高速に行うためには、 f_{rep} の小さいレーザーを用いる必要がある。そこで、高精度に周波数同期された再生増幅器と光周波数コムをそれぞれポンプ光、プローブ光として用いることで、マイクロ秒スケールの光ポンプ光プローブ測定を高速かつ高分解能で行うことを考え、その予備実験を行った。

本研究では、再生増幅器と光周波数コムによる ASOPS の実現を見据えて、再生増幅器と光周波数コムとの周波数同期を行った。Fig. 1 (a) に実験セットアップを示す。光周波数コム一台(OFC 1, $f_{\text{rep}1} \approx 61$ MHz)と、再生増幅器のシード光となるもう一台の光周波数コム(OFC 2, $f_{\text{rep}2} \approx 61$ MHz)を、位相同期してデュアルコムとした。OFC 2 の出力光を、繰り返し周波数が $f_{\text{rep}RA} = 50$ kHz に設定された再生増幅器に入力し、再生増幅パルスを得た。OFC 1 の出力光、OFC 2 の出力光、再生増幅パルスをそれぞれ光検出器で検出し、周波数ロック時と非ロック時でそれぞれ $f_{\text{rep}1}$, $f_{\text{rep}2}$, $f_{\text{rep}RA}$ を周波数カウンタを用いて測定し、アラン偏差を計算した。アラン偏差の結果から、再生増幅パルスの繰り返し周波数が光周波数コムと同等の周波数精度でロックされていることが分かった(Fig. 1(b))。これにより、デュアルコムとの周波数同期を介して、OFC 1 と再生増幅器との周波数同期が達成された。発表では、本実験系を用いた ASOPS 測定に関する取り組みについても報告する。

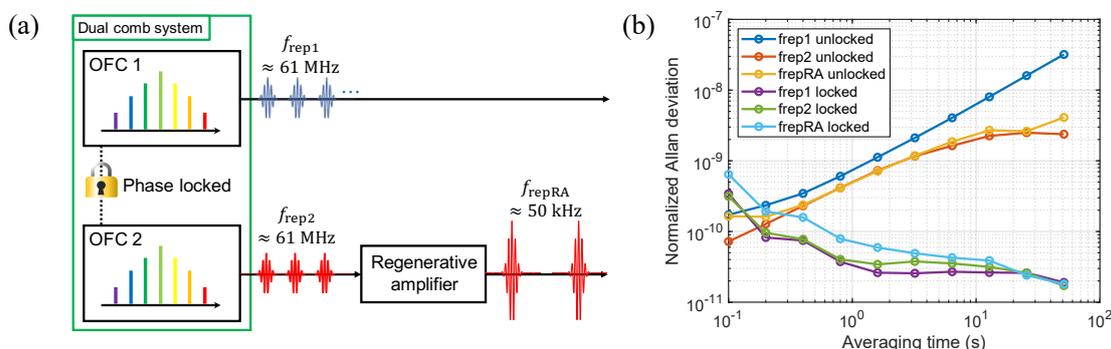


Figure 1 (a) Experimental setup. (b) Normalized Allan deviation of $f_{\text{rep}1}$, $f_{\text{rep}2}$, and $f_{\text{rep}RA}$.

本研究は、JST CREST(JPMJCR19J4), MEXT Q-LEAP(JPMXS0118067246), 科研費(23H01471, 24K17624)の支援を受けたものである。

[1] T. Yasui, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **87**, 061101 (2005).

[2] A. Asahara, *et al.*, Appl. Phys. Express **13**, 062003 (2020).

[3] D. Nishikawa, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **94**, 063003 (2023).

Mid-infrared femtosecond laser based on Cr:ZnS oscillator and ZBLAN fiber

Kejia Zeng, Aoi Sato, Xiangbao Bu, Satoshi Ashihara

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

E-mail: zeng-kj@iis.u-tokyo.ac.jp

Mid-infrared (MIR) femtosecond laser has been attracting increasing research interest in recent years due to its great potential in both fundamental research and industrial applications. 3-5 μm which covers the resonance wavelengths of most common gaseous molecules, is especially important in the area of vibrational spectroscopy. However, to directly produce a MIR femtosecond laser is very challenging due to the lack of suitable gain medium in that region. The general way to obtain MIR laser is applying nonlinear frequency conversion method, such as optical parametric oscillators (OPO) and amplifiers (OPA), but this method requires complex and bulky optical system to satisfy the phase matching condition. A promising alternative is using fiber-based soliton self-frequency shift (SSFS) [1] method to extend the laser wavelength to longer wavelength, which has the advantages of simple, stable, and continuously tunable.

In this research, we aim at producing a stable, broad-band, large power MIR femtosecond laser in 3-5 μm range for spectroscopy applications. By using Cr:ZnS oscillator with 2.25 μm center wavelength and 40 fs pulse duration as the pump source [2], and coupling it into a 2 m long and 6.7 μm core diameter ZBLAN fiber with an anomalous dispersion of $-131 \text{ fs}^2/\text{cm}$ at 2.3 μm , SSFS effect is clearly observed both numerically and experimentally. As shown in Fig1(a), the numerical results overestimate the result because the simulation ignore the frequency dependent nonlinearity and coupling loss. Experimental results in Fig1(b) show that a Raman-shifted soliton continuously shifts from 2.25 μm to 3.6 μm with up to 410 mW pump power, and the overall conversion efficiency is measured to be 10-13%. Besides, noise character of the Raman soliton is also investigated. Further improvement can be made by increasing the pump power and fiber coupling efficiency and using fiber with larger transmission window in MIR region.

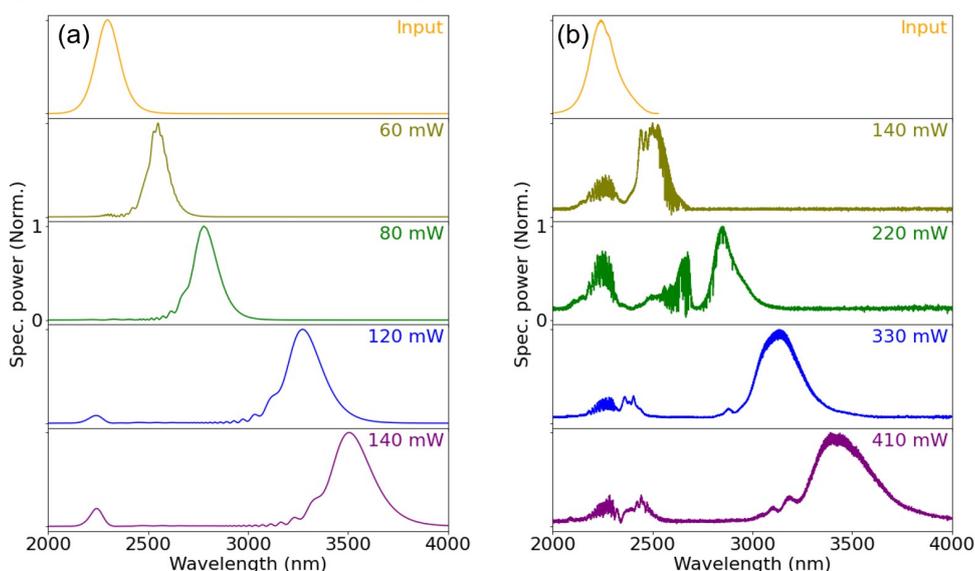


Fig1. (a) Simulation result with increasing pump power. (b) Experiment result with increasing pump power.

[1] Y. Tang et al. *Optica* 3, 948-951 (2016). [2] T. Kugel et al. *Appl. Opt.* 61, 1076-1081 (2022).

超短パルス励起した GaAs での電子状態に依存したコヒーレント LO フォノン・プラズモン結合

Coherent LO phonon-plasmon coupling depending on electronic states in GaAs excited
by ultrashort pulses

東工大フロンティア研¹, 東工大物質理工², 大阪公立大³, [○](M2)西村太一^{1,2}, 中村一隆^{1,2},
高木一旗^{1,2}, 萱沼洋輔³

MSL, Tokyo Tech.¹, Materials. Eng. Tokyo Tech.², Osaka Metropolitan Univ.³, [○]Taichi Nishimura^{1,2},
Kazutaka G. Nakamura^{1,2}, Itsuki Takagi^{1,2}, Yosuke Kayanuma³

E-mail: nishimura.t.ar@m.titech.ac.jp

n-GaAs 単結晶にフェムト秒近赤外光パルスを照射すると、縦型光学(LO)フォノンが励起されると共に、LO フォノンとプラズモンの結合(LOPC)モードがコヒーレントに励起される[1]。フェムト秒時間分解反射率計測では、LO フォノンと LOPC モードの両方のコヒーレントな振動が観測されている。一方、フェムト秒パルス対を用いたアト秒精度のコヒーレント制御実験では、LO フォノンがラマン過程を経由し電子基底状態で生成されることが示唆されている[2]。

我々は、電子・フォノン・プラズモン複合系を、電子 2 準位と二つの調和振動子を用いてモデル化し、フェムト秒パルス励起によるコヒーレントフォノン振動の理論計算を行った。その際、低温度近似を行い、光励起前にドーパントからの熱励起電子密度は小さく無視でき、光励起された電子によるプラズモンが電子励起状態でコヒーレントな LO フォノンと相互作用すると仮定した[3]。量子マスター方程式により密度演算子の時間発展を計算し、変位の期待値を計算した。また、計算には QuTip ツールボックス[4]を用いた。共鳴領域でフェムト秒パルスを照射した際、電子励起状態では LOPC 振動、電子基底状態では LO フォノン振動が得られる。また、励起光強度依存性を調べると LOPC にくらべ LO フォノン強度が低強度で飽和に近づく計算結果が得られた。

実験では、n-GaAs を試料として、中心波長 800nm でパルス幅約 60fs のパルスを用いた過渡反射率計測を行い、コヒーレントな LO フォノン振動および LOPC モード振動の計測を行った。試料温度を 10K および室温で、コヒーレント振動強度の励起光強度依存性を測定した。理論計算同様に、LOPC 強度に比べて LO フォノン強度は低い励起強度で緩やかな増加を示した。実験と理論計算との比較から、ドーパントキャリア密度の温度依存性の影響などについても議論を行う。

本研究は、科研費補助金 19K22141, 21K18904, 22H01984, 23K23235, 23K23252、文部科学省国際産業連携インヴァーシブイノベーション材料創出プロジェクト、東工大フロンティア研究所共同利用研究の支援を受けて行われた。また、本研究に関連して実験や理論解析にご協力いただいた廣瀬道成氏、今野佑磨氏に感謝いたします。

参考文献 [1] K. Ishioka et al., Phys. Rev. B 84, 235202 (2011)., [2] I. Takagi et al., Phys. Rev. B 107, 184305 (2023)., [3] I. Takagi et al., arXiv: 2405. 07159v1 (2024)., [4] J. R. Johansson et al., Compt. Phys. Commun. 183, 1760-1772 (2012).

時間分解電子エネルギー損失分光のための分析装置の開発

Development of an electron spectrometer for time-resolved electron energy-loss spectroscopy

理研光子¹, 東大院工² ○立花佑一¹, 森本裕也^{1,2}

RIKEN¹, Univ. of Tokyo², °Yuichi Tachibana¹, Yuya Morimoto^{1,2}

E-mail: yuichi.tachibana@riken.jp

運動エネルギー数十～数百 keV の高速電子は、その短いドブロイ波長により高い空間分解能が得られるプローブの代表である。また、短パルス電子線技術の開発も盛んに行われており、その時間幅はアト秒にまで達している[1]。私たちは、この高い時空間分解能をもつ電子線を用いてエネルギー損失分光を行うことで、物質内電子・原子の量子状態や運動を高い時間・空間・エネルギー分解能で調べることが目指している。本発表では、この目的のために開発中の装置を報告する。

装置 (図 1) は主に、フェムト秒レーザー、パルス電子銃、静磁場型エネルギー分析器[2]からなる。フェムト秒レーザーの出力は三分割され、電子線の生成、電子線の時間圧縮、および試料励起のためのポンプ光として用いる。パルス電子銃では陰極からレーザー光により放出された電子を静電場で加速しピコ秒の電子パルスを生成する。その電子パルスはレーザー電場で時間周期的に加減速されることでアト秒パルス列となり[1]測定試料に入射する。試料と相互作用した電子のエネルギー変化は、静磁場型プリズム (中心軌道半径 100 mm、90°偏向) を用いて測定される。

エネルギー分析器は、偏向面 (図 1 に示す面) とそれに垂直な面の両方で電子線が収束する二方向収束型で、3次元磁場分布シミュレーションと電子軌道シミュレーションを併用して独自に設計された[2]。図 2 にシミュレーションで得られた分解能を示す。入射電子線の角度広がりには 10 mrad (FWHM) を仮定した。数十 keV の電子線に対して、電子遷移、振動遷移などが観測可能な ~0.1eV 程度の分解能を得られることが明らかとなった。

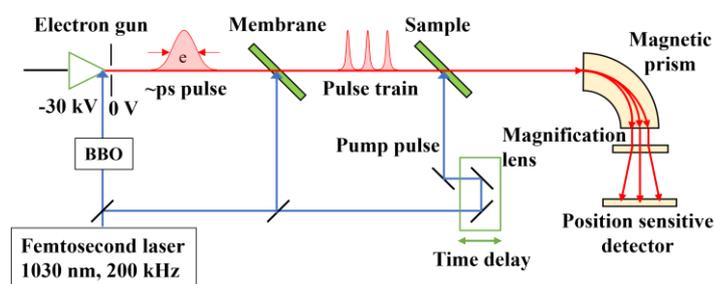


Fig. 1: Experimental apparatus under development.

参考文献

[1] Y. Morimoto, P. Baum, *Nature Physics*, **14**, 252 (2018).

[2] 立花 佑一, 森本 裕也, しょうとつ, **21**, R003 (2024).

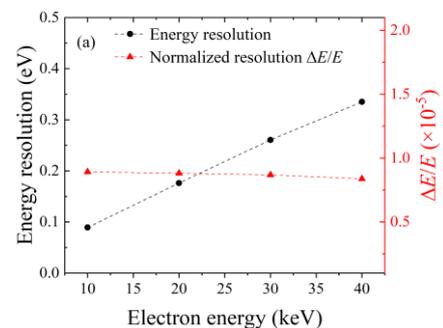


Fig. 2: Energy resolution of the magnetic prism calculated by trajectory simulation.