

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01845

研究課題名（和文）中赤外高出力超短パルスレーザーの開発と軟物質微細加工への応用

研究課題名（英文）Development of mid-infrared high-power ultrashort pulse lasers and its application to soft-matter micro-processing

研究代表者

時田 茂樹 (Tokita, Shigeki)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：20456825

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究の主な研究成果は以下の通りである。(1) Fe:ZnSeフェムト秒パルスレーザー増幅システムを開発し、高出力・高効率レーザー増幅をコンパクトな装置で実現した。(2) 中赤外ファイバーレーザーによるプラスチック光ファイバーの融着接続技術を開発し、接着剤や他の処理を必要としない簡易な方法で十分な接続強度が得られることを実証した。これらの成果により、多方面へ応用可能な、高出力・高効率・コンパクトな中赤外フェムト秒レーザーの基本技術が確立した。また、中赤外レーザーの軟物質微細加工への応用可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーザー技術の進展により、小型・高効率かつ信頼性の高い高出力レーザー光源が産業・医療・科学などの分野で実用に供されるようになってきている。レーザー光源への要求は益々高度化・多様化しており、高出力化、短パルス化、高効率化、新波長帯開発など、様々な研究開発が行われている。本研究は挑戦的な課題の一つである中赤外域における新波長帯開発の研究に取り組み、4 μm帯フェムト秒パルスレーザーの開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：The main research achievements of this study are as follows: (1) We developed a Fe:ZnSe femtosecond pulse laser amplification system, realizing high-power and high-efficiency laser amplification in a compact device. (2) We developed a fusion splicing technology for plastic optical fibers using a mid-infrared fiber laser, demonstrating that sufficient connection strength can be obtained through a simple method without the need for adhesives or other treatments. These achievements have established the fundamental technology for high-power, high-efficiency, and compact mid-infrared femtosecond lasers, which can be applied in various fields. Additionally, the potential for applying mid-infrared lasers to the fine processing of soft materials has been demonstrated.

研究分野：レーザー工学

キーワード：中赤外 フェムト秒レーザー レーザー加工

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体レーザー技術の進展により、小型・高効率かつ信頼性の高い高出力レーザー光源が産業・医療・科学などの分野で実用に供されるようになった。レーザー光源への要求は益々高度化・多様化しており、高出力化、短パルス化、高効率化、新波長帯開発など、様々な研究開発が行われている。本研究は挑戦的な課題の一つである中赤外域における新波長帯開発の研究である。

近年のスマートフォン、自動車等の先端機器の製造に不可欠となっているレーザー微細加工に適したピコ秒・フェムト秒パルスレーザーを例にとると、 $0.2\sim 3\ \mu\text{m}$ の短波長域においては、加工应用到に必要な数ワット以上の平均出力を実用的な装置規模で得られるパルスレーザー光源がそろっている。一方、およそ $3\ \mu\text{m}$ を超える長波長域においては、効率が低く高出力化が困難な波長変換レーザーがあるのみで、費用対効果の高い光源が存在しない。しかし、中赤外コヒーレント光に対する要求は産業・医療・科学研究の分野で特に大きく、その高い有用性が広く認識され、盛んに研究開発が行われている。例えば、中赤外レーザーの市場規模は2016年の500億円から、2024年には1700億円以上に拡大するとの予想があり、1.7兆円ほどのレーザー光源全体の市場と比べても目立つ存在となってきている。

2. 研究の目的

波長 $4\sim 5\ \mu\text{m}$ の中赤外フェムト秒パルスを発生できる高出力・高効率・コンパクトなレーザー光源を開発する。また、この光源を用いて樹脂などの軟材料の微細加工を実証する。本研究により産業・医療分野等へ向けた新しい微細加工技術を開発でき、将来的に様々な分野への波及効果が期待される。応募者らが独自に開発した中赤外ファイバーレーザー（波長 $2.8\ \mu\text{m}$ ）、および、中赤外超短パルスレーザー（波長 $4\sim 5\ \mu\text{m}$ ）の技術を基に開発を行う。

3. 研究の方法

我々が開発した中赤外 Er レーザー（波長 $2.8\sim 2.9\ \mu\text{m}$ ）を励起光源として用いた $4\sim 5\ \mu\text{m}$ 帯の Fe:ZnSe フェムト秒パルスレーザー増幅システムを開発することで、実用化を見据えた高出力・高効率・コンパクトな中赤外レーザー光源の技術を確立する。また、中赤外ファイバーレーザーを用いたプラスチック光ファイバーの融着接続を実証する。

4. 研究成果

(1) Fe:ZnSe フェムト秒パルスレーザー増幅システムの開発

波長範囲 $2.5\sim 10\ \mu\text{m}$ の中赤外高出力レーザーには、ガラスや樹脂などの透明材料のレーザー加工、非侵襲診断や環境計測などの分光分析、歯科や外科治療など、多くの潜在的応用がある。高強度超短パルス光を利用した高次高調波発生 (HHG) も、中赤外高出力レーザーにとって有望な応用である。近年、Cr や Fe をドープした ZnSe などのカルコゲナイド結晶、Er や Dy をドープした Lu_2O_3 や Y_2O_3 などのセスキ酸化物およびフッ化物ガラスファイバーなどの高出力化に関する研究開発が盛んになっている。

HHG や相対論領域のレーザー・プラズマ相互作用では、波長の二乗に比例する動重力（ポンデロモータイブ力）が現象を支配する重要な要因となることが知られている。このため、波長範囲 $3\sim 10\ \mu\text{m}$ の高ピーク出力光パラメトリック増幅器 (OPA) が、特にアト秒科学の分野において、次世代光源として多くの注目を集めている。このような OPA は、安定したキャリアエンベロープ位相、波長可変性、パワースケーリングなど、アト秒発生実験に必要な要件をすべて備えているが、波長 $4\ \mu\text{m}$ の Fe:ZnSe レーザーの高い効率と広い増幅帯域を利用すれば、中赤外超短パルスレーザーの更なる高ピーク出力化を実現できる可能性がある。筆者らは高パルスコントラスト、高パルスエネルギー、相対論的強度 ($\sim 10^{17}\ \text{W}/\text{cm}^2$) を実現するため、KTA OPA と Fe:ZnSe チャープパルス増幅器 (CPA) を組み合わせた超高強度中赤外レーザー増幅システムを開発している。

高強度中赤外レーザーシステムを実現する有望なアプローチの一つは、 Fe^{2+} がドープされた亜鉛セレン化物 (Fe:ZnSe) に基づくレーザー増幅器を開発することである。Fe:ZnSe 結晶は $4\ \mu\text{m}$ 波長帯で優れた蛍光特性を示し、従来の OPA を上回る大きな利点を示す。Fe:ZnSe は長い蛍光寿命 (約 $70\ \mu\text{s}$) をもち、 $3\ \mu\text{m}$ 帯のロングパルスレーザーによる励起が可能であるため、簡易なシステムで高効率動作が可能になることが期待される。本研究では、 $1\ \mu\text{m}$ 帯のフェムト秒レーザーによって励起されるチタン酸カリウムアーセネート (KTA) OPA によってシードされた低温冷却 Fe:ZnSe チャープパルス増幅器を開発した。このシステムは、キャリアエンベロープ位相 (CEP) を安定化した高強度中赤外パルスを生成できる可能性がある。

Fe:ZnSe チャープパルス増幅システムの概略図を図 1 に示す。シードパルスは、Yb:CaF₂ フェムト秒レーザーで励起される 3 段階の KTA-OPA によって生成される。シードパルスは、Martinez 型パルス伸長器を用いておよそ $300\ \text{ps}$ に時間的に伸長される。中赤外パルスは、ポンプエネルギーを $2.1\ \text{mJ}$ に設定することで、約 $1.4\ \mu\text{J}$ の出力が $100\ \text{Hz}$ の繰り返し率で得られる。中心波長

2.94 μm 、繰り返しレート 10 Hz、パルス幅 150 μs 、パルスエネルギー60 mJ で動作するフラッシュランプ励起 Er:YAG パルスレーザーを Fe:ZnSe 増幅器の励起光源として使用した。これにより 90 K に冷却された Fe:ZnSe 結晶が光励起される。直径ビームの直径は 1.6mm である。ここでは、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の Fe 濃度をもつ Fe:ZnSe 多結晶 (8 mm \times 8 mm \times 1.8 mm) を 2 個使用した。シードパルスは 7 パス増幅を受け、最終的に Tracy 型パルス圧縮器によって圧縮される。

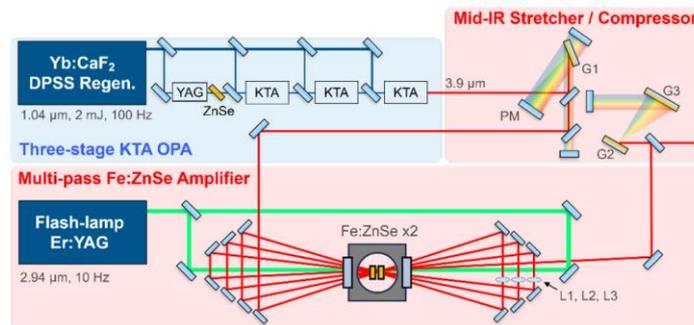


図 1 Fe:ZnSe チャープパルス増幅システムの概略図

7 パス増幅後に得られた中赤外パルスは中心波長 3.98 μm であった。スペクトルの全幅半最大 (FWHM) は 150 nm であり、フーリエ変換限界パルス幅は 150 fs に相当する。オートコリレーター (GaSe、厚さ 30 μm) による測定の結果、パルス幅は 400 fs と推定された。出力パルスのパルスエネルギーは 0.6 mJ であった。測定されたパルス幅とパルスエネルギーから、ピークパワーは 1 GW 以上と推定される。本光源の有用性を確認するため、ZnS 結晶 (厚さ 2 mm) による HHG を試みた。増幅されたパルスを焦点距離 25 mm の放物面鏡で集光した結果、最高 9 次の高調波が観測された。本研究で開発した中赤外フェムト秒レーザーシステムが高強度場科学の研究に利用可能であることが示された。

(2) 中赤外レーザーによるプラスチック光ファイバーの融着接続の実証

中赤外レーザー光源は、分光法、外科手術、センサなど多くの用途において重要な技術として認識されている。このレーザーの用途の一つとして、将来の通信システムに組み込まれる可能性のあるプラスチック光ファイバー (POF) の融着接続が挙げられる。POF は、コスト効率、安全性、柔軟性、および、センシングデバイスとしての利用など、さまざまな利点を有する。これまでに POF の融着接続のために試行された手法として、電気アーク融着やポリエーテルエーテルケトン (PEEK) チューブを使用した熱融着などがある。電気アーク融着は、高温を必要とするシリカガラスファイバーに広く利用されているが、POF への利用では熱的な劣化を引き起こす可能性がある。CO₂ レーザーは POF の融着接続の代替手段として使用できるが、ポリメチルメタクリレート (PMMA) などの低融点ポリマーは CO₂ レーザー光を過剰に吸収するため、適さない場合がある。ファイバーの半径方向に均一な加熱を達成するためには、レーザービームを分割して多方向から照射を行う必要がある。これは、波長 10.6 μm の CO₂ レーザーが供給する発熱密度が高すぎるためである (図 2)。より均一な加熱を実現するためには、比較的低い吸収率をもつ波長のレーザーが適している。

本研究では、波長 2.8 μm の連続波 Er ファイバーレーザーを用いて POF の融着接続を実証した (図 3)。この装置では接着剤や他の処理を必要とせずに POF を加工することができる。さらに、これらのファイバーの樹脂は 2.8 μm で適度なエネルギー吸収を示すため、POF に照射されるレーザービームを分割する必要もない。本手法の有効性は、融着後の POF の光透過率、引張強度および曲げ強度を評価することで検討された。

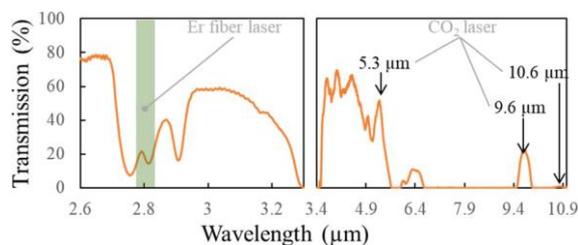


図 2 厚さ 0.2 mm の PMMA の透過スペクトル

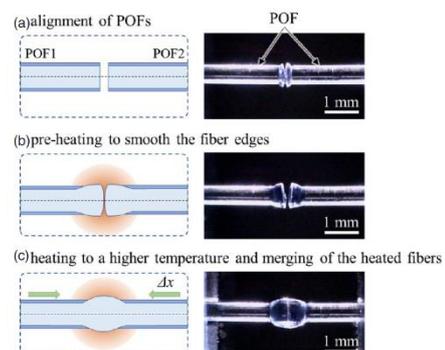


図 3 融着接続の手順

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 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Hamamoto Koichi, Nishio Megumi, Tokita Shigeki, Uehara Hiyori, Yanagitani Takagimi, Fujioka Kana, Yasuhara Ryo, Kawanaka Junji	4. 巻 11
2. 論文標題 Properties of TAG ceramics at room and cryogenic temperatures and performance estimations as a Faraday isolator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 434 ~ 434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.412938	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 Ogino Jumpei, Tokita Shigeki, Kitajima Shotaro, Yoshida Hidetsugu, Li Zhaoyang, Motokoshi Shinji, Morio Noboru, Tsubakimoto Koji, Fujioka Kana, Kodama Ryosuke, Kawanaka Junji	4. 巻 46
2. 論文標題 10J operation of a conductive-cooled Yb:YAG active-mirror amplifier and prospects for 100 Hz operation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 621 ~ 621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.414926	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 Ogino J., Zhaoyang L., Tokita S., Tsubakimoto K., Miyanaga N., Kawanaka J.	4. 巻 38
2. 論文標題 Development two-stage frequency domain optical parametric amplification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 High Energy Density Physics	6. 最初と最後の頁 100906 ~ 100906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hedp.2020.100906	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 Goya Kenji, Mori Akira, Tokita Shigeki, Yasuhara Ryo, Kishi Tetsuo, Nishijima Yoshiaki, Tanabe Setsuhisa, Uehara Hiyori	4. 巻 11
2. 論文標題 Broadband mid-infrared amplified spontaneous emission from Er/Dy co-doped fluoride fiber with a simple diode-pumped configuration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-84950-y	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 Li Enhao, Uehara Hiyori, Yao Weichao, Tokita Shigeki, Potemkin Fedor, Yasuhara Ryo	4. 巻 29
2. 論文標題 High-efficiency, continuous-wave Fe:ZnSe mid-IR laser end pumped by an Er:YAP laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 44118 ~ 44118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.444625	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 Goya Kenji, Koyama Yuya, Nishijima Yoshiaki, Tokita Shigeki, Yasuhara Ryo, Uehara Hiyori	4. 巻 351
2. 論文標題 A fluoride fiber optics in-line sensor for mid-IR spectroscopy based on a side-polished structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 130904 ~ 130904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2021.130904	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 Ogino Jumpei, Tokita Shigeki, Kitajima Shotaro, Yoshida Hidetsugu, Li Zhaoyang, Motokoshi Shinji, Morio Noboru, Tsubakimoto Koji, Fujioka Kana, Kodama Ryosuke, Kawanaka Junji	4. 巻 1
2. 論文標題 10-J, 100-Hz conduction-cooled active-mirror laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Continuum	6. 最初と最後の頁 1270 ~ 1270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTCON.456554	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 Yokoyama Naoki, Morioka Yoshiki, Murata Tomotaka, Honda Hiroto, Serita Kazunori, Murakami Hironaru, Tonouchi Masayoshi, Tokita Shigeki, Ichikawa Shuhei, Fujiwara Yasufumi, Hikosaka Toshiki, Uemukai Masahiro, Tanikawa Tomoyuki, Katayama Ryuji	4. 巻 15
2. 論文標題 Second harmonic generation in GaN transverse quasi-phase-matched waveguide pumped with femtosecond laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 112002 ~ 112002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac9511	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 Sekine Takashi, Kurita Takashi, Hatano Yuma, Muramatsu Yuki, Kurata Masateru, Morita Takaaki, Watari Takeshi, Iguchi Takuto, Yoshimura Ryo, Tamaoki Yoshinori, Takeuchi Yasuki, Kawai Kazuki, Zheng Yujin, Kato Yoshinori, Kurita Norio, Kawashima Toshiyuki, Tokita Shigeki, Kawanaka Junji, Kodama Ryosuke	4. 巻 30
2. 論文標題 253 J at 0.2 Hz, LD pumped cryogenic helium gas cooled Yb:YAG ceramics laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 44385 ~ 44385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.470815	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 Li Enhao, Uehara Hiyori, Tokita Shigeki, Yao Weichao, Yasuhara Ryo	4. 巻 157
2. 論文標題 A hybrid quantum cascade laser/Fe:ZnSe amplifier system for power scaling of CW lasers at 4.0-4.6 μm	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics & Laser Technology	6. 最初と最後の頁 108783 ~ 108783
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optlastec.2022.108783	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 Ozaki T., Abe Y., Arikawa Y., Sentoku Y., Kawanaka J., Tokita S., Miyanaga N., Jitsuno T., Nakata Y., Tsubakimoto K., Sunahara A., Jhozaki T., Miura E., Komeda O., Iwamoto A., Sakagami H., Okihara S., Ishii K., Hanayama R., Mori Y., Kitagawa Y.	4. 巻 63
2. 論文標題 Hot electron and ion spectra on blow-off plasma free target in GXII-LFEX direct fast ignition experiment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 036009 ~ 036009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/acb44d	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 Ishibashi Fumiya, Hasada Takumi, Homma Kensuke, Kirita Yuri, Kanai Tsuneto, Masuno ShinIchiro, Tokita Shigeki, Hashida Masaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Pilot Search for Axion-Like Particles by a Three-Beam Stimulated Resonant Photon Collider with Short Pulse Lasers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Universe	6. 最初と最後の頁 123 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/universe9030123	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 Fujiwara Masanori, Inoue Shunsuke, Masuno Shin-ichiro, Fu Haining, Tokita Shigeki, Hashida Masaki, Mizuochi Norikazu	4. 巻 8
2. 論文標題 Creation of NV centers over a millimeter-sized region by intense single-shot ultrashort laser irradiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 36108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0137093	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 K. Homma, O. Tesileanu, Y. Nakamiya, Y. Kirita, C. Chiochiu, M. Cuciuc, G. Giubega, T. Hasada, M. Hashida, F. Ishibashi, T. Kanai, A. Kodama, S. Masuno, T. Miyamaru, L. Neagu, V. R. M. Rodrigues, M. M. Rosu, S. Sakabe, J. Tamlyn, S. V. Tazlauanu, S. Tokita	4. 巻 59
2. 論文標題 Challenge of search for cosmological dark components with high-intensity lasers and beyond	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The European Physical Journal A	6. 最初と最後の頁 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-023-01001-y	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 Goya Kenji, Sasanuma Hiroki, Ishida Gakuto, Uehara Hiyori, Tokita Shigeki	4. 巻 16
2. 論文標題 Fusion splicing of plastic optical fibers using a mid-IR fiber laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 052006 ~ 052006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acd491	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 Ogawa I, Hiraiwa T, Nakajima J, Yuhaku R, Tozawa M, Niki H, Tokita S, Miyanaga N, Uemukai M, Rittirong A, Umehara S, Matsuoka K, Yoshida S	4. 巻 2586
2. 論文標題 Laser isotope separation to study for the neutrino-less double beta decay of 48Ca	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012136 ~ 012136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2586/1/012136	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 Li Enhao, Uehara Hiyori, Tokita Shigeki, Zhao Mingzhong, Yasuhara Ryo	4. 巻 136
2. 論文標題 High-power, single-frequency mid-infrared laser based on a hybrid Fe:ZnSe amplifier	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Infrared Physics &Technology	6. 最初と最後の頁 105071 ~ 105071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.infrared.2023.105071	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5件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 S. Tokita, M. Murakami, F. V. Potemkin
2. 発表標題 Mid-infrared fiber laser pumped Fe:ZnSe lasers
3. 学会等名 UltrafastLight-2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 時田茂樹、奥田弘礼、韓水羽、梅原さおり、吉田斉、小川泉、仁木秀明、河仲準二、宮永憲明
2. 発表標題 狭線幅・高出力青紫色レーザーの開発 -48Caの濃縮を目指して-
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shigeki Tokita
2. 発表標題 High power mid-infrared lasers and their applications
3. 学会等名 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shigeki Tokita, Ryo Yasuhara
2. 発表標題 Development of high power mid-infrared lasers and their applications
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 時田茂樹、金井恒人、岡崎大樹、上原日和、合谷 賢治、Yu Linpeng、安原亮
2. 発表標題 中赤外高出力固体レーザーの開発とその応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2024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 分担者	岡崎 大樹 (Okazaki Daiki) (50976925)	京都大学・化学研究所・助教 (14301)	

	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	安原 亮 (Yasuhara Ryo) (30394290)	自然科学研究機構・核融合科学研究所・教授 (63902)	
研究 協力者	上原 日和 (Uehara Hiyori) (20725329)	自然科学研究機構・核融合科学研究所・准教授 (63902)	

6. 研究組織（つづき）

	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	合谷 賢治 (Goya Kenji) (40757332)	秋田県立大学・システム科学技術学部・助教 (21401)	

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