

発展的研究計画スタート支援・2年次報告書

令和4年12月13日
高温プラズマ物理研究室・助教・上原日和

【課題名】「フェムト秒レーザーを用いた光デバイス開発に基づく萌芽的研究課題の創出」

【責任者氏名】 上原日和

【支援年度】 令和3年度

1. 支援期間終了後の研究展開

本支援制度により創出された、レーザー加工・プラズマ加工に関する以下の複数テーマを多角的に進めており、それぞれのテーマにおいて原著論文掲載や外部資金獲得などの結果が出ている。

- A) 赤外レーザー加工技術の開発
- B) タングステン材料のレーザー加工に関する研究
- C) 赤外式光ファイバーガスセンサーの開発
- D) プラズマ照射による化合物半導体の表面改質とその光デバイス応用

全てのテーマが軌道に乗りつつあるため、研究を継続して、よりインパクトの高い成果の創出を目指す。さらに、フェムト秒レーザーによる微細加工を駆使した新規研究に取り組む予定である。

2. 成果と成果の発表(リスト)

(A) 赤外レーザー加工技術の開発

加工用の 3 μm および 4 μm 波長帯の高出力赤外レーザー光源を開発し、原著論文発表[1~3]、学会発表[7,9,12,15,19]した。また、当該加工技術に関する複数の外部資金[①④⑭]および機構内資金[⑮⑯⑰⑳]を獲得し、樹脂や生体材料の加工検証を進めている(学会発表[20,23])。

(B) タングステン材料のレーザー加工に関する研究

レニウム-タングステン合金のレーザー加工特性を初めて報告し、原著論文発表[4]、学会発表[8,21,22]した。

(C) 赤外式光ファイバーガスセンサーの開発

昨年度の JST A-STEP 育成型事業(上原が代表)が終了したが、継続して開発研究を行っており、関連成果を解説論文[24,25]や学会発表[10,11,14,17]した。今後、フェムト秒レーザー加工と組み合わせた研究展開を模索する。当該テーマに関する複数の外部資金[②⑤⑦]および機構内資金[⑱]を獲得している。

(D) プラズマ照射による化合物半導体の表面改質とその光デバイス応用

プラズマ照射で窒化ガリウム基板上にランダム構造を形成し、光励起によるランダムレーザー発振を実証し、原著論文発表[5]、学会発表[6,13,16,18]した。また、当該研究に関連した外部資金[⑥]および機構内資金[⑲]を獲得しており、今後、フェムト秒レーザー加工と組み合わせた研究展開を模索する。

【関連業績リスト】 ※今年度分(前回報告分以降)のみ

<論文>

- [1] Weichao Yao, Hiyori Uehara, Enhao Li, and Ryo Yasuhara, "Power-scalable two-wavelength pumped Er:YAP laser at 2.9 μm ," Optics and Laser Technology 152, 108073 (2022).
- [2] Enhao Li, Weichao Yao, Hiyori Uehara, and Ryo Yasuhara, "Cryogenically cooled 2.8 μm Er:YAP laser with watt-level output power," Applied Physics Express 15, 092003 (2022).
- [3] Enhao Li, Hiyori Uehara, Shigeki Tokita, Weichao Yao, and Ryo Yasuhara, "A hybrid quantum cascade laser/Fe:ZnSe amplifier system for power scaling of CW lasers at 4.0–4.6 μm ," Optics and Laser Technology 157, 108783 (2022).
- [4] Haotian Yang, Ryo Yasuhara, Hiroyuki Noto, Chihiro Suzuki, Reina Miyagawa, and Hiyori Uehara, "Crack-free Nanosecond Laser Processing of Mechanically Enhanced Tungsten-rhenium Alloys," Journal of Laser Micro/Nanoengineering 17, No.3 (2022).
- [5] Quan Shi, Hideki Fujiwara, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Hirohiko Tanaka, Noriyasu Ohno, and Hiyori Uehara, "Structural Correlation of Random Lasing Performance in Plasma-Induced Surface-Modified Gallium Nitride," ACS Applied Optical Materials, (2022 Published on the Web).

<学会発表>

- [6] Quan Shi, Hideki Fujiwara, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Noriyasu Ohno, and Hiyori Uehara, "Surface modification of GaN/GaAs/Si by Ar plasma irradiation with radio frequency biasing for optical applications", 第69回応用物理学会春季学術講演会(2022年3月)、相模原

- [7] Enhao Li, Hiyori Uehara, and Ryo Yasuhara, “Study of the CW laser amplification properties of the Fe:ZnSe crystal at mid-IR band”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月)、相模原
- [8] Haotian Yang, Hiyori Uehara, Chihiro Suzuki, and Ryo Yasuhara, “Processing properties of tungsten and tungsten alloys using nanosecond Nd:YAG laser”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月)、相模原
- [9] 上原日和、ヤオ・ウェイチャオ、安原亮、「3 μm 帯固体レーザーの高出力化のための増幅特性の評価」、第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月)、相模原
- [10] 森朗、杉本尚哉、上原日和、安原亮、西島喜明、時田茂樹、合谷賢治、「赤外フッ化物ファイバセンサにおけるエバネッセント波の染み出し長と研磨深さの最適化」、第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月)、相模原
- [11] 上原日和、松尾保孝、合谷賢治、西島喜明、安原亮、村上政直、小西大介、「フッ化物光ファイバーデバイスの需要拡大のための耐候性・親水性ナノ薄膜の形成」、第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022 年 3 月)、相模原
- [12] Enhao Li, Hiyori Uehara, Weichao Yao, Bingyu Han, Shigeki Tokita, Fedor Potemkin, and Ryo Yasuhara, “Study of the CW laser properties of Fe:ZnSe single crystals at $\sim 4 \mu\text{m}$,” The 11th Advanced Lasers and Photon Sources 2022 (April 2022), Yokohama, Japan.
- [13] Quan Shi, Hideki Fujiwara, Ryusei Osaka, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Noriyasu Ohno, and Hiyori Uehara, “Plasma induced surface nanostructure on compound-semiconductors and its application of random laser,” The 13th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (July 2022), Sapporo, Japan.
- [14] Hiyori Uehara, Akira Mori, Shuya Noda, Yoshiaki Nishijima, Yasutaka Matsuo, Shigeki Tokita, Ryo Yasuhara, Kenji Goya, “Evanescent wave infrared sensing using a fluoride fiber,” The 13th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (July 2022), Sapporo, Japan.
- [15] Enhao Li, Hiyori Uehara, Shigeki Tokita, Fedor Potemkin, and Ryo Yasuhara, “Highly-efficient CW Fe:ZnSe Laser Amplifier at $\sim 4 \mu\text{m}$,” CLEO Pacific Rim 2022 (August 2022), Sapporo, Japan.
- [16] Quan Shi, Hideki Fujiwara, Ryusei Osaka, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Noriyasu Ohno, and Hiyori Uehara, “Plasma Induced Surface Nanostructure on Semiconductors for The Application of Random Laser,” CLEO Pacific Rim 2022 (August 2022), Sapporo, Japan.
- [17] Kenji Goya, Yoshiaki Nishijima, Shigeki Tokita, Ryo Yasuhara, and Hiyori Uehara, “Mid-IR Fiber Optic Sensing System Based on Fluoride Fiber Waveguide,” CLEO Pacific Rim 2022 (August 2022), Sapporo, Japan.
- [18] Quan Shi, Hideki Fujiwara, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Hirohiko Tanaka, Noriyasu Ohno, and Hiyori Uehara, “Plasma and impurity induced surface-modified GaN and its random lasing performance”, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022 年 9 月)、仙台
- [19] Enhao Li, Hiyori Uehara, Shigeki Tokita, and Ryo Yasuhara, “High-power, single-longitudinal-mode Fe:ZnSe laser amplifier injection-seeded by a DFB-QCL at $4.3 \mu\text{m}$ ”, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022 年 9 月)、仙台
- [20] 上原日和、安原亮、合谷賢治、村上政直、小西大介、大友康平、渡我部ゆき、シーチュエン、石井宏和、堤元佐、根本 知己、「中赤外 Er:YAP レーザーを用いた樹脂フィルムおよび生体試料の切断加工」、第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022 年 9 月)、仙台
- [21] Haotian Yang, Hiyori Uehara, Hiroyuki Noto, Chihiro Suzuki, and Ryo Yasuhara, “Nanosecond laser processing of tungsten-rhenium alloys without cracking”, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022 年 9 月)、仙台
- [22] Haotian Yang, Hiyori Uehara, Hiroyuki Noto, Chihiro Suzuki, and Ryo Yasuhara, “Laser Processing of Advanced Materials for Fusion Science,” The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (November 2022), Online.
- [23] 上原日和、「細胞イメージングの高度化のための赤外レーザー頭蓋骨除去技術の確立」、ExCELLS シンポジウム (2022 年 12 月)、岡崎

<総説・解説>

- [24] 上原日和、合谷賢治、「幅広い応用が期待される赤外光ファイバーセンサーを目指して」、月刊オプトロニクス 2022 年 9 月号 (2022 年 9 月)
- [25] 合谷賢治、上原日和、「Society5.0 を支える光ファイバー型赤外分光計測システム」、バイオインダストリー 2022 年 11 月号 (2022 年 11 月)

3. 外部資金獲得の実績または見通し

【獲得した外部資金】 ※令和 3 年度以降

- ① 科研費 基盤 C、「半導体レーザー励起ジスプロシウム中赤外レーザーの開発」、代表、令和 2~4 年度、429 万円
- ② JST A-STEP 産学共同 (育成型)、「呼吸成分リアルタイムモニタリングのための中赤外プラズモン光ファイバーセンサーの開発」、代表、令和 3 年度、750 万円
- ③ NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業 (共同研究フェーズ)、「次世代加工レーザーのための異種・異相・異形光学接合体の開発」、代表、令和 4~5 年度、250 万円
- ④ NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業 (マッチングサポートフェーズ)、「積層樹脂フィルムの高スループットなレーザー切断加工システムの開発」、代表、令和 4~5 年度、2000 万円
- ⑤ 池谷科学技術振興財団 研究助成、「原子層堆積法を用いた赤外光ファイバーセンサーへのナノ耐水膜形成」、代表、令和 3 年度、100 万円
- ⑥ 光科学技術振興財団 研究助成、「生体計測用・中赤外ランダムレーザーの開発」、代表、令和 3~令和 4 年度、

180 万円

- ⑦ 田中貴金属財団 研究助成、「金ナノ微粒子とフッ化物光ファイバーを融合した呼気診断用センサーデバイスの開発」、代表、令和 4 年度、30 万円
- ⑧ ガラス研究振興プログラム、「ガラス組成探索の高度化に向けたマイクロガラス溶融システムの開発」、分担、令和 4～6 年度、分担金 90 万円
- ⑨ 産学共同研究:A 社
- ⑩ 産学共同研究:B 社
- ⑪ 産学受託研究:C 社
- ⑫ 産学受託研究:D 社
- ⑬ プロジェクト型寄附、「「めざせ、地上の太陽」プロジェクト」、代表、クラウドファンディング
- ⑭ プロジェクト型寄附、「「国産モバイルレーザーで世界をもっと快適に！プロジェクト」、代表、クラウドファンディング

【機構内の獲得資金】 ※令和 3 年度以降

- ⑮ R3 年度 NINS 若手分野間連携プロジェクト、「機能性無機ナノ粒子を用いた生体内部の局所熱刺激および超解像イメージング」、代表、令和 3 年度、500 万円
- ⑯ R3 年度生命創成探究センター 特別共同研究、「褪色フリーな生体イメージングによる侵襲性評価に基づいた赤外レーザーメスの開発」、代表、令和 3 年度、180 万円
- ⑰ R4 年度生命創成探究センター 特別共同研究、「細胞イメージングの高度化に資する赤外レーザー頭蓋骨除去技術の確立」、代表、令和 4 年度、140 万円
- ⑱ R4 年度新分野創成センター先端光科学研究分野プロジェクト、「先進的プラズマ微細加工技術を導入した分光イメージング用ランダムレーザーの開発」、300 万円
- ⑲ R3 年度 NINS 産学連携支援事業、「赤外光ファイバーセンサーの需要拡大のための薄膜形成技術の開発」、代表、令和 4 年度、200 万円
- ⑳ R4 年度 NINS 産学連携支援事業、「フッ素樹脂の加工ニーズに応える室温動作カルコゲン化物結晶レーザーの開発」、代表、令和 4 年度、200 万円

以上。