

「若手研究者スタートアップ支援」(2023 年度支援分) 最終報告書

○ 氏名 : 川口 晴生
所属ユニット : 可知化センシングユニット
研究テーマ : トポロジカル光波によるレーザー微細構造形成の学理の探究

1. 研究の目的・意義

本研究では波面・偏光など二・三次元的な空間分布が制御された新しい光波である「トポロジカル光波」を物質に照射することで、回折限界を超えた超解像微細構造形成とそれに基づくフォトニックデバイス形成を実証する。さらに、これまで散逸的に理解されてきたレーザーによる微細構造形成の学理を「光と物質の相互作用」と「熱流体力学」に立脚して再構築する。

2. これまでの研究成果および今年度の進捗状況、今後の研究計画

本研究はトポロジカル光波によるレーザー加工について世界初の体系的な学理解明とデバイス化を志向する研究である。研究期間では、主に光渦を用いたフェムト秒レーザー加工時発生するマイクロ構造化現象を中心に原理解明を行った。

2023 年度の報告では、フェムト秒偏光渦レーザーによるタングステン加工特性の調査を行い、偏光状態を反映した二次元螺旋レーザー誘起周期構造形成 (LIPSS)、トポロジカルマイクロ構造形成をという特異な構造化現象を報告した。それぞれスパイラル偏光を用いた曲率制御、従来理論では説明困難な複雑構造形成を確認した。(図 1)

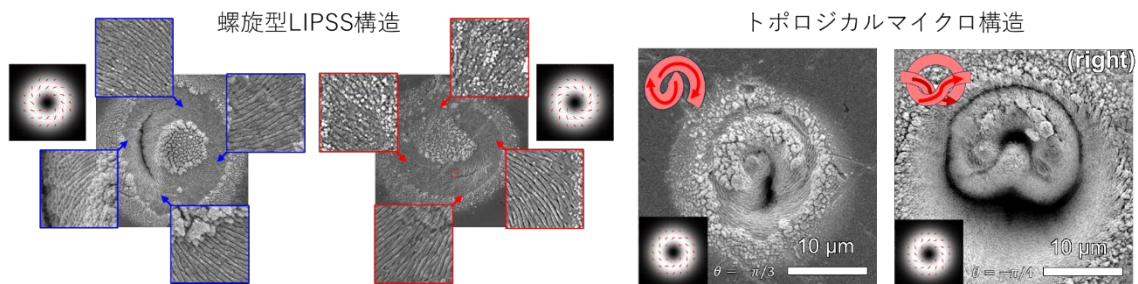


図 1 フェムト秒偏光渦レーザー加工による螺旋型 LIPSS 構造(左)、トポロジカルマイクロ構造(右)

2024 年度は世界初となる「液中フェムト秒光渦レーザー加工」を提案・実施した。フルエンスに依存した形態遷移の中で、光渦加工特有の非対称構造化現象として、直径数マイクロメートルスケールの「マイクロボウタイ構造体」が形成されることを見出した。形成過程の解析により、本現象はレーザー加工では見落とされてきた光-物質相互作用現象である金属のプラズモニック応答が非対称構造の形成に大きく寄与していることを明らかにした。

今後は、トポロジカルマイクロ構造やマイクロボウタイ構造など、非対称構造形成の

詳細な物理機構を解明し、シングル・マルチショット加工における光-物質相互作用の発展過程を明らかにする。空間位相変調器を本格運用し、新規現象開拓と素過程理解を両輪として進め、自在な構造制御法の確立とレーザー加工物理の変革を目指す。

3. 支援を受けた金額及び主な使途

マイクロチップサブナノ秒レーザー 4,000,000 円、オプティクス類(螺旋位相板、加工用対物レンズ) 500,000 円、他消耗品等を購入、総計 5,000,000 円を使用した。

4. これまでの客観的成果とそれぞれの項目の今年度の予定

4. 1 共著を含む投稿論文、著書

1. Haruki Kawaguchi*, et al., “Femtosecond Vector Vortex Laser Ablation in Tungsten: chiral nano-micro texturing and structuring,” Opt. Mater. Express (optica publishing (Optica Publishing Group), Dec. 7. 2023.

他、2 件 (うち筆頭 1 件)、前所属時の論文 2 件 (うち筆頭 1 件)

4. 2 国際・国内学会等での発表

1. *川口 晴生、他、「光渦レーザーが誘起する物理現象とレーザー加工への応用」、レーザー学会学術講演会第 45 回年次大会、招待講演・国内・口頭発表
他、国内発表 7 件 (うち招待講演 1 件)
2. *Haruki Kawaguchi, et al., “Fabrication of Bowtie-like Micro Surface Structure by Optical Vortex Laser Ablation in Liquid,” ALPS2025, 一般講演・国際・口頭発表
他、国際発表 一般講演 2 件

4. 3 科研費や他の外部資金への応募・獲得結果(直接経費の配分額)及び今年度の応募予定

採択 [代表] 3 件

1. 科学研究費補助金 2023 年度 研究活動スタート支援 (2023-2024)、「光渦が実現する液体への軌道角運動量転写による流体渦の配向制御」、2,200 千円
2. OPEN MIX LAB (OML) 公募研究プログラム 研究スタートアップ支援型 (2024)、「軌道角運動量効果に立脚した液相光渦レーザーアブレーション」、1,000 千円
3. 先端光科学研究分野プロジェクト、共同研究、「液相レーザーアブレーションによる非対称マイクロ構造制御と機能性デバイス創成」、1,000 千円

本年度も引き続き科研費、JST 研究費、民間研究費に積極的に応募予定。

4. 5 その他、成果として報告すべきもの

・原著論文 4. 1. 1 に関して、Optical Materials Express 誌における特定期間のダウンロード数最上位 (634 件 2024 年 9 月 20 日時点) を獲得した。

以上