

独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成
2019年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

尾松 孝茂

千葉大学 大学院工学研究院
教授

光渦が拓く超解像スピソジェット技術

主たる共同研究者:

川野 聡恭 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)
山根 啓作 (北海道大学 大学院工学研究院 准教授)
柚山 健一 (大阪公立大学 大学院理学研究科 講師)

研究成果の概要

0.001(水と同程度)~15(水の1,500倍)Pa·sの粘度を示す多様なドナー液膜に角運動量を持つ光渦を照射すると、液膜が自転する極細の連続的な流れへと構造化する。この現象をスピンジェット現象と呼ぶ。光渦が誘導するスピンジェット現象を活用したレーザー前方転写法(光渦前方転写法)は、通常のインクジェット法やレーザー前方転写法では困難な高粘度ドナーの高精細二次元パターンニングを可能にする。

令和4年度は、プリンタブルエレクトロニクスで用いられている金ナノインク(金属ナノ微粒子直径~150nm、粘度10~100mPa·s)をドナーとして二次元パターンニングを行った。単一パルスの光渦をドナー液膜に照射すると、1pL以下の単一液滴が吐出・飛翔し、ガラス基板上にドットとしてプリントされる。ドットの直径は集光レンズのNAにほぼ反比例し、現在までに得られた最小ドット径は~7 μ mである。この値は、通常のインクジェット技術で形成できるドット径(~20 μ m)の1/3に相当する。また、光渦の角運動量を大きくすると、ドットの真円度と位置合わせ精度が顕著に向上する。現時点でのドットの位置合わせ精度は~5 μ mである。この値は、描画装置に用いているピエゾアクチュエーターの位置合わせ精度によって律速されており、数 μ mまで改善できる。また、超高粘度(15Pa·s)銀ナノインクのドット(最小直径<40 μ m)も二次元パターンニングできた。さらに、ローダミンBを添加した1,5-ペンタンジオール(100mPa·s)を二次元パターンニングして、Whispering Gallery Mode (WGM)で発振するレーザーアレイ素子の開発に成功した。

最終評価に向けて、スピンジェット現象を理論的に解明するため、独自に開発したナノ秒間隔スナップショット撮像法(4ナノ秒間隔で8コマ連続撮影可能)で光渦照射時に起こるキャビテーション現象の可視化を行うとともに、キャビテーション現象を取り入れた数値解析を行っている。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Generation of tunable, non-integer OAM states from an optical parametric oscillator,” Y. Zhou, T. Yusufu, Y. Ma, T. Omatsu, *Appl. Phys. Lett.* 122 (12), 121106, 2023.
- 2) “Chiral crystallization manipulated by orbital angular momentum of light,” K. Toyoda, H. T. Su, K. Miyamoto, T. Sugiyama, T. Omatsu, *Optica* 10 (3), 332-338, 2023.
- 3) “Generation of higher-order Laguerre–Gaussian modes from a diode-pumped Pr³⁺:LiYF₄ laser with an intra-cavity spherical aberration,” A. S. Rao, T. Morohashi, W. R. Kerridge-Johns, T. Omatsu, *J. Opt. Soc. Am. B* 40 (2), 406-411, 2023.
- 4) “Nanoneedle formation via doughnut beam-induced Marangoni effects,” M. Tamura, T. Omatsu, T. Iida, *Opt. Express* 30 (20), 35136-35145, 2022.
- 5) “Ablation phenomena by intense terahertz vortex beam,” Y. W. Wang, S. Segawa, T. Shimizu, V. C. Agulto, V. K. Magusara, K. Kato, K. Miyamoto, T. Omatsu, K. Makino, J. Tominaga, G. Itoyama, M. Asakawa, M. Nakajima, *Appl. Phys. A* 128 (9), 836, 2022.
- 6) “Laser-induced forward-transfer with light possessing orbital angular momentum,” T. Omatsu, K. Miyamoto, K. I. Yuyama, K. Yamane, R. Morita, *J. Photochem. Photobiol. C*, 100535, 2022.