

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

2021 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

§ 1. 研究成果の概要

われわれは、水以下の粘度から水の 10,000 倍以上の粘度(マヨネーズ程度の粘度)まで多様な粘度を示す液膜に光渦を照射すると、液膜が自転しながら光渦の中心に向かって集まり、極細の連続的な物質の流れへと構造化することを発見した。この現象をスピンジェット現象と呼ぶ。スピンジェット現象の起源は、光渦の軌道角運動量が液膜に転写されることで液膜の自転が起こり、液膜から吐出した液滴の直線飛翔が長距離にわたり安定化する。

本年度、プリンタブルエレクトロニクスで用いられている金あるいは銀ナノインク(金属ナノ微粒子直径~150nm)をドナー液膜として用いたマイクロパターニングを行った。液膜の粘度は金ナノインクで水の 10 倍、銀ナノインクは 10,000 倍に相当する。また、光源には、光渦(波長 532 nm、パルス幅~10 ns)を用いた。液膜からマイクロメートルスケール(直径~30 μm)の単一液滴(体積に換算して 8pℓ)が吐出・飛翔する。単一液滴は液膜から~1mm 離れたガラス基板上に付着し、40~50 μm 径のドットを形成する。

金ナノインクの場合、金ナノ微粒子が充填した良好な円形ドットが形成されること、また、光渦の全角運動量を大きくするとドットがより真円に近づくことが明確になった。パターニングされたドットは熱処理などをしなくとも十分な電気伝導度を示す。また、現時点での最小ドット径は~15 μm と通常のインクジェット技術で形成できるドット径(~20 μm)よりも小さい。粘度が水の 10,000 倍を超える銀ナノインクでも同様に熱処理なしで高い電気伝導度を示す極めて真円に近いドットがプリントできた。

これらの高精細なパターニングは、ガウスビームや軸対称偏光(光渦と同様に円環強度分布を有する)では決してできない。これらの現象は、プリンテッド・ナノフォトニクスの進展に大きく寄与するものである。

現在、マランゴニ力によるジェット形成と光渦の角運動量による液滴の自転運動を理論的に考察するためのシミュレーションを行っている。

§ 2. 研究実施体制

(1) 尾松グループ

- ① 研究代表者:尾松 孝茂 (千葉大学 大学院工学研究院 教授)
- ② 研究項目
 - ・波長可変光渦光源の開発
 - ・スピンジェット現象の可視化
 - ・OV-LIFT 技術の確立、新奇デバイスの創成
 - ・キラリティーなどを有する最先端ナノ物質を駆使した OV-LIFT

(2) 山根グループ

- ① 主たる共同研究者:山根 啓作 (北海道大学 大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・スピンジェット現象制御のための高機能極限光渦光源の開発
 - ・超高速単一ショット時間分解イメージング装置の開発

(3) 川野グループ

- ① 主たる共同研究者:川野 聡恭 (大阪大学 大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・スピンジェット現象の流体力学的解明
 - ・スピンジェット現象に立脚した OV-LIFT を MEMS 化する方法論の提案

(4) 柚山グループ

- ① 主たる共同研究者:柚山 健一 (大阪市立大学 理学部化学科 講師)
- ② 研究項目
 - ・マイクロレーザーアレイなどのデバイス開発
 - ・ペロブスカイト単結晶などを任意の場所で成長させる方法論の提案
 - ・ペロブスカイト結晶などのヘテロ・グラデーション構造を作製する方法論の提案

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Intracavity spherical aberration for selective generation of single-transverse-mode Laguerre-Gaussian output with order up to 95,” *Photonix* 3(1), 4, 2022.
- 2) “Generation of hexagonal close-packed ring-shaped structures using an optical vortex,” *Nanophotonics*, 11 (4), 855-864, 2021.
- 3) “Propagation-invariant vortex Airy beam whose singular point follows its main lobe,” *New J. Phys.*, 23(11), 113043, 2021.
- 4) “Direct generation of 523 nm orbital Poincaré mode from a diode-pumped $\text{Pr}^{3+}:\text{LiYF}_4$ laser with an off-axis optical needle pumping geometry,” *Opt. Express* 29(19), 30409-30409, 2021.
- 5) “Optical vortex lattice mode generation from a diode-pumped $\text{Pr}^{3+}:\text{LiYF}_4$ laser,” *J. Opt.* 23 (7), 075502, 2021.