光渦レーザー誘起前方転写法による金ナノインクプリンティング

Total Angular Momentum Effects in Optical Vortex Induced Gold Nanoparticles Forward Transfer

千葉大融合理工 [1]，北大工 [2]，大阪市立大 [3]，阪大基礎工 [4]，千葉大分子キラリティー[5]
°魏 榕 [1]，川口 晴生 [1]，山根 啓作 [2]，柚山 健一 [3]，川野 聡恭 [4]，
森田 隆二 [2]，青木 伸之 [1,5]，宮本 克彦 [1,5]，尾松 孝茂 [1,5]
Chiba Univ.[1], Hokkaido Univ.[2], Osaka City Univ.[3], Osaka Univ.[4], MCRC, Chiba Univ.[5],
°Rong Wei[1], Haruki Kawaguchi[1], Keisaku Yamane[2], Ken-ichi Yuyama[3], Satoyuki Kawano[4], Ryuji Morita[2], Nobuyuki Aoki[1,5], Katsuhiko Miyamoto[1,5] and Takashige Omatsu[1,5]
E-mail: omatsu@faculty.chiba-u.jp

光渦は螺旋波面による円環状の空間強度分布を持つ光の波の総称である。一般に、光の角運動量には、軌道角運動量 ℓ(OAM)とスピン角運動量 s(SAM)があり、両者を足し合わせた全角運動量(TAM, $J = \ell + s$)を定義できる。近年、光渦を液膜に照射すると、液膜から吐出した液滴が自転しながら長距離直線飛翔するスピンジェット現象が発見された。この現象を積極的に応用した光渦レーザー誘起前方転写法(OV-LIFT)は、高粘度材料を高精細にパターニングできる技術として注目を集めている[1,2]。

本研究では、プリンタブルエレクトロニクスへの応用が期待される金ナノ微粒子が高濃度に添加された高粘度液体(金ナノインク)をドナーとして OV-LIFT を適用し、ガラスレシーバー基板にマイクロドットを転写した。実験配置図を Fig.1 に示す。光源には可視ナノ秒パルスレーザー(波長 532 nm、パルス幅 2 ns)を使用し、螺旋位相板によって光渦($\ell = 1$)に変換した。さらに 1/4 波長板を用いて光渦の SAM ($s = -1, 0, 1$)を変調した後、レンズでドナー液膜上に集光された。集光された光渦の直径は 35 μm、ドナーには金ナノインク液膜(金ナノ微粒子平均直径：40 nm, 粘度：10 mPa·s, 抵抗率：50μΩcm, 膜厚 50 μm)を用いた。光渦照射によって液膜から吐出された単一液滴(直径 25 μm)は、ガラスレシーバー基板に転写されてドットを形成する。ドナー液膜とレシーバー間の距離は 0.5 mm に固定した(Fig.2)。

転写されたドットの直径は、TAM が大きくなるにつれて小さくなり、$J = 2$の時、ドット直径は 47μm になった。また、TAM の増加に伴い、ドットの真円性と均質性が向上すること分かった。AFM で計測したドット厚は、J=0, 2 でそれぞれ250 ± 50 nm, 650 ± 50 nm であることから、光渦の角運動量の増加がもたらす液滴の回転速度の上昇が、液滴中での金ナノ微粒子をより細密充填することによると考えられる。ドットの電気抵抗率は~10^{-7} Ωmでバルクの金よりはわずかに小さい。これらの実験結果は、プリンタブルエレクトロニクスにおける OV-LIFT の有効性を示す。詳細は当日報告する。

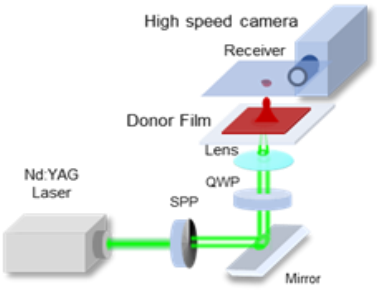

Figure 1 Experimental setup.

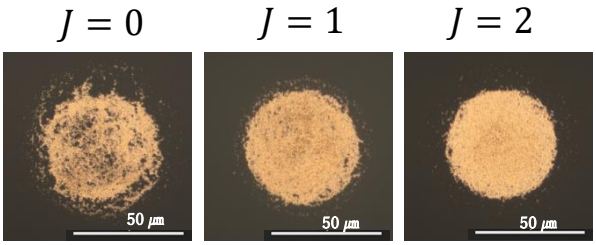

Figure 2 Gold nanoparticles microdots formed by illumination of optical vortices with various TAMs.

[1] R. Nakamura, H. Kawaguchi, M. Iwata, A. Kaneko, R. Nagura, S. Kawano, K. Toyoda, K. Miyamoto, T. Omatsu, Opt. Express 27, 38019 (2019).
[2] H. Kawaguchi, K. Umesato, K. Takahashi, K. Yamane, R. Morita, K. -I. Yuyama, S. Kawano, K. Miyamoto, M. Kohri, T. Omatsu, Nanophotonics (2021), https://doi.org/10.1515/nanoph-2021-0437.

© 2022年 応用物理学会