



大阪科学・大学記者クラブ 御中

(同時提供先：文部科学記者会、科学記者会)

2024年7月1日

大阪公立大学

次世代プリンタブル磁気デバイスへの応用に期待

特殊なレーザー光を照射するだけ！ 基板へのねじれた磁性単結晶の直接印刷に成功

<ポイント>

- ◇光渦^{*1}と呼ばれる特殊なレーザー光を用いて、ねじれた構造をもつ単結晶の印刷に成功。
- ◇単結晶のねじれの向きは、光渦の回転方向で制御可能。

<概要>

大阪公立大学大学院理学研究科の柚山 健一講師と千葉大学大学院工学研究院の尾松 孝茂教授らの共同研究グループは、粒径 100-300 nm の磁性微粒子が高濃度に分散した溶液の液膜に光渦を照射することで、直径数マイクロメートルの単結晶を、狙った場所に精度高く印刷することに成功しました(図1)。また、印刷した単結晶はねじれた構造をしており、そのねじれ方向は光渦の回転方向によって制御できることを明らかにしました。これらの印刷技術は、磁性材料のパターニングを可能にするだけでなく、微粒子からの単結晶合成への応用も期待されます。

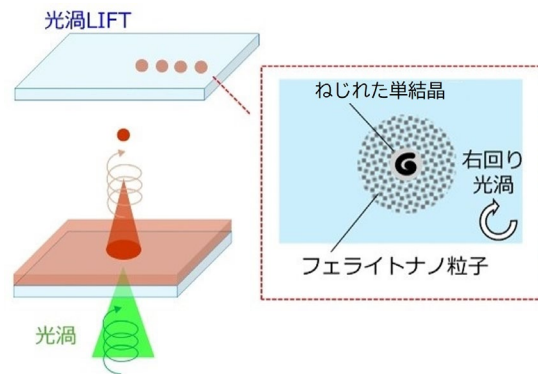


図1 光渦照射により形成される、ねじれたフェライト単結晶の模式図

本研究成果は、2024年6月17日に米国物理学協会が刊行する国際学術誌「APL Materials」のオンライン速報版に掲載されました。

従来手法では印刷できないような高粘度溶液や微粒子分散溶液のパターニングを可能にする、次世代プリンティング技術を開発しています。物質を物理的にねじることができる「光渦」は、とても面白く魅力的な光です！



柚山 健一講師

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 APL Materials

【論文名】 Using optical vortex laser induced forward transfer to fabricate a twisted ferrite microcrystal array

【著者】 Akihiko Kaneko, Muneaki Iwata, Rong Wei, Ken-ichi Yuyama, and Takashige Omatsu

【掲載URL】 <https://doi.org/10.1063/5.0209114>

<研究の背景>

液滴を対象物に直接印刷する手法として、ノズルから微小液滴を吐出して印刷を行うインクジェット技術がよく知られています。しかし、微粒子が高濃度に分散したコロイド溶液を、ノズルの目詰まりなく印刷することは難しく、新しい印刷技術が求められています。本共同研究グループは、光渦と呼ばれる特殊なレーザー光を照射して、パターンニングしたい物質（ドナー物質）を転写する新しい印刷技術[光渦レーザー誘起前方転写法^{*2} (Optical vortex laser-induced forward-transfer: OV-LIFT)] の開発に取り組んでいます。本研究では、磁性ナノ粒子が分散した溶液に OV-LIFT を応用した際、どのように粒子が印刷されるかを調べました。

<研究の内容>

本研究では、フェライトナノ粒子分散液をドナー物質として使用しました。通常のレーザー光（ガウスビーム^{*3}）を照射して印刷を行うと、ナノ粒子がバラバラに散らばった状態で印刷されます（図 2a）。一方、光渦を用いると、散らばったナノ粒子凝集体の中心に直径数マイクロメートル程度のコアが印刷されます（図 2b）。

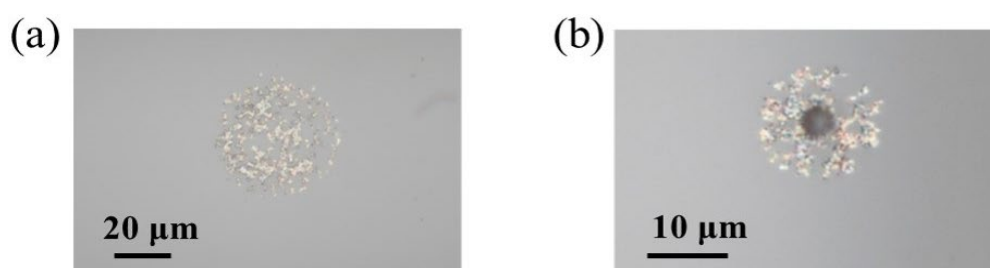


図 2 (a) ガウスビーム、(b) 光渦照射により印刷されたフェライトナノ粒子

断面観察によりコアを詳細に調べたところ、コアは微粒子が凝縮しているのではなく、1つの大きな粒子として形成されていることが分かりました。また、電子線を照射すると、結晶格子に特徴的な回折パターンが観測されました。このことから、コアはフェライト単結晶であることが明らかになりました。さらに、コアを電子顕微鏡で観察したところ、ねじれた構造であることが分かりました（図 3）。光渦の螺旋波面の回転方向を逆にするとコアのねじれ方向が反転することから、照射する光渦によってコアのねじれ方向の制御も可能です。

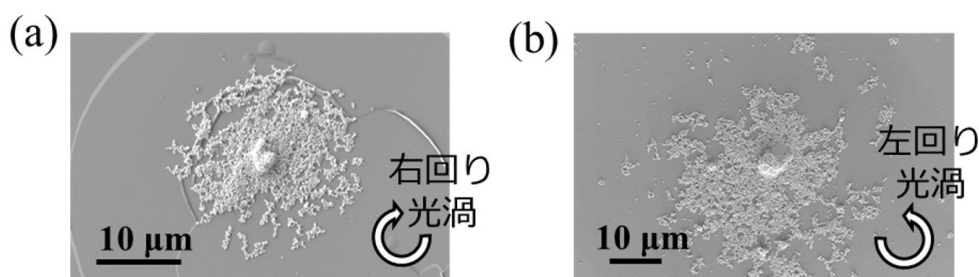


図 3 (a) 右および (b) 左回り光渦で印刷されたコアの電子顕微鏡像

次に、光渦によってフェライトの結晶化が起こるメカニズムを解明するため、ハイスピードカメラを用いて、 10^6 画像/秒の速度で液滴の吐出過程を観察しました（図 4a）。液膜の変形からバブルのサイズを予測し、液膜内の圧力の時間変化を調べたところ、バブルの膨張と収縮に伴い、最大サブ MPa の内向きの圧力がかかることが分かりました。また、温度上昇を予測したところ、瞬間的に 1000°C 以上の温度に達することが分かりました。この高温高压条件により、フェライトナノ粒子が圧縮されて単結晶になると考えられます（図 4b）。また、単

結晶化の過程で光渦の軌道角運動量^{※4}が大きく寄与し、光渦特有のねじり力が働くことで、ねじれた単結晶が印刷されることが分かりました。

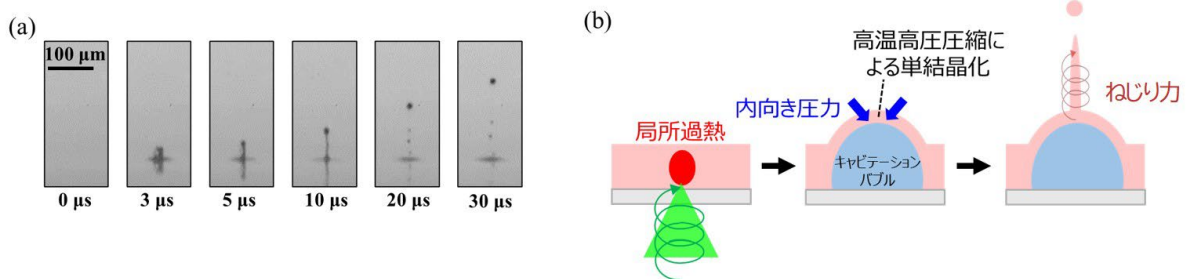


図4 (a) 高速度カメラにより撮影されたドナー液膜の変形、(b) フェライト単結晶印刷メカニズムの模式図

<期待される効果・今後の展開>

本研究成果は、微粒子のパターニングのみならず単結晶合成に利用できる可能性を秘めており、新規材料開発への展開が期待されます。今後、さまざまな種類の微粒子に応用するとともに、ねじれた結晶の形成メカニズムと機能についても明らかにしていく予定です。

<資金情報等>

本研究は、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）の一環として行われました。

<用語解説>

※1 光渦…同じ位相の場所を通り波の進行方向に対して垂直になるような面（波面）が螺旋状になっており、円環型の強度分布をもつ光を光渦と呼ぶ。

※2 レーザー誘起前方転写法（LIFT）…透明基板上に形成したドナー液膜に対してレーザーパルスを照射して、前方にドナー液滴を飛翔させて転写する印刷技術。原理的に転写できる物質の粘度や濃度に制限がない。

※3 ガウスビーム…平行な波面とガウス分布状の強度分布を持つ光。

※4 軌道角運動量…1波長あたりの螺旋波面の巻き数に対して定義される運動量。巻き数に比例したねじり力が物質に与えられる。

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院理学研究科
講師 柚山 健一（ゆやま けんいち）
TEL：06-6605-3693
E-mail：k-yuyama@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当：竹内
TEL：06-6605-3411
E-mail：koho-list@ml.omu.ac.jp