光渦照射下におけるマランゴニ効果が駆動するニードル形成

Numerical Analysis of Marangoni-driven Needle Formation under Optical Vortex Illumination

阪府大院理 [1]，阪府大 LAC-SYS 研 [2]，千葉大院工 [3]，千葉大分子キラリティー研 [4]
○田村 守 [1,2]，尾松 孝茂 [3,4]，飯田 琢也 [1,2,*]
Grad. Sch. Sci.[1] & RILACS[2] Osaka Pref. Univ., Grad. Sch. Eng.[3] & MCRC[4] Chiba Univ.
○Mamoru Tamura[1,2], Takashige Omatsu[3,4], Takuya Iida[1,2,*]
*E-mail: t-iida@p.s.osakafu-u.ac.jp

レーザー加工技術に関連し、光渦の照射によって様々な材料に螺旋状突起構造を形成できることが報告されてきた[1]。その形成機構として、光渦の軌道角運動量に依存した螺旋構造を持つことから、光圧による運動量転写の寄与が議論されている。一方で、鋭い針のような突起構造が形成されることは、光圧だけでは説明が難しい。この機構の解明にあたり、レーザー加工で良く知られた現象であるレーザー誘起周期表面構造（LIPSS）に注目すると、不均一な温度分布の下でのマランゴニ効果によって、いくつかの形成機構を説明できる[2]。また、光渦による突起形成においても、マランゴニ効果が突起形成に寄与しうる速度分布を与えることを単純な数値モデルで議論した報告もある[3]。そこで本研究では、高出力の光渦の照射下において、マランゴニ効果によって駆動される溶融金属の振る舞いに注目し、突起構造が形成されることを数値的に解析した結果を報告する。

光照射の下での金属の発熱・相変化（溶融・凝固）・液相の駆動を数値的に評価するために、数値流体力学を有限体積法で解くためのツールボックスである OpenFOAM を用いた。また、光渦やマランゴニ効果などを考慮するために、独自の改造を施した。本研究では熱の効果を議論するため、光渦による光圧の効果は無視し、光渦の特性としてリング状の強度分布のみを考える。したがって、シミュレーション領域として、軸周りに回転対称性を持つ円筒座標系を想定し、ρ-z 平面の二次元空間を採用した。パルス光を照射する状況を解析するために、光渦の強度分布を持つ光源を 1000W で 30ns だけ照射した結果を Fig. 1 に示す。おおよそ 1μm < ρ < 5μm の光照射領域（リング状の強度分布に対応）において固相が溶融し、光照射後 100ns では界面にマランゴニ応力が作用することで、液相が中心方向に駆動される。最終的に液相は再凝固し、300ns では固相としての突起を確認できる。この結果は、光渦による突起形成において、マランゴニ効果が寄与した可能性を示唆する。また、出力や表面張力の温度依存性などのパラメータによって、この振る舞いが変化することを確認しており、詳細は講演で議論する。

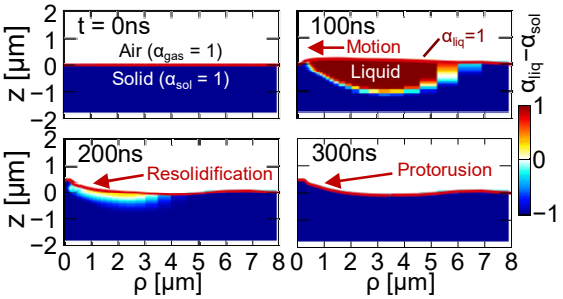

Fig. 1. Results for the different times. α_{sol}, α_{liq}, and α_{gas} are the volume ratio of each phase (α_{sol} + α_{liq} + α_{gas} = 1); hence, the color indicates the phase state. Red is liquid, and blue is solid. The upper white region is filled with air.

[1] T. Omatsu, et al., *J. Nanophotonics*, **14**, 010901 (2020).
[2] J. Bonse, and S. Gräf, *Laser Photonics Rev.*, **14**, 2000215 (2020).
[3] M. G. Rahimian, et al., *APL Photonics*, **2**, 086104 (2017).

© 2021年 応用物理学会