

レーザーアブレーションクラスター源におけるクラスター生成とプルームの流体的特性の相関

Correlation between cluster generation and hydrodynamical properties of plume in laser ablation cluster source

石川裕太, 松尾寛昭, 長谷川純, 岩田康嗣¹, 堀岡一彦

Yuta Ishikawa, Hiroaki Matsuo, Jun Hasegawa, Yasushi Iwata¹, Kazuhiko Horioka

東京工業大学, 産業技術総合研究所¹

Tokyotech, Advanced Industrial and Science Technology¹

従来のレーザーアブレーション型のクラスター源では高温のアブレーション蒸気プルームの冷却のために高圧のヘリウムガス (1 ~ 10 atm) の吹き付けが行われる。この手法で生成されるクラスターはサイズ分布に比較的大きな拡がりを持つことが分かっている。一方で近年、希薄なヘリウム (数 10 ~ 数 1000 Pa) の定常流中におけるレーザーアブレーションを用いたクラスター生成が試みられている [1]。レーザー照射条件 (照射強度, スポット面積) および背景ヘリウムガスの供給条件 (圧力, 流量) によるクラスターサイズ分布 (平均サイズ, 拡がり) の制御が可能であり, クラスター超格子や量子ドットなどのデバイス開発への応用が期待されている。ヘリウムガス中における蒸気プルームの流体的挙動は蒸気プルームの温度密度履歴に大きな影響を与えるため蒸気プルームの流体的挙動と生成クラスターの関係を理解することはクラスター生成条件の最適化において重要である。

蒸気プルームの流体的挙動と生成されるクラスターのサイズ分布との相関を調べるためにクラスター源内部における蒸気プルームの自発光の高速撮影およびクラスター源から放出された原子, 分子の TOFMS による質量分析を行った。高速撮影においてはターゲットとしてアルミニウムおよびシリコンターゲットを用いた。蒸気プルームの圧力に対する依存性として 30 Pa 以下における消光と 30 Pa 以上における明るい発光フロントの形成が見られた。明るい発光フロントは蒸気プルームが進展する際の並進エネルギーが背景ヘリウムガスとの相互作用によって熱化されたことを示唆している。クラスター源内部の蒸気プルームをヘリウムの流れにより効率的に放出するように楕円体形状の壁面を持つキャビティを用意した。楕円体キャビティを用いた高速撮影においては蒸気プルームが楕円体キャビティに向かって膨張した後, ターゲット方向へ逆行するような挙動が見られた。

これは蒸気プルームが膨張することによりヘリウムガスが楕円体壁面との間で圧縮され, 並進エネルギーを失った蒸気プルームを押し返したためと考えられる。レーザー照射条件やヘリウム供給条件だけでなくキャビティ形状も背景ヘリウムを介してアブレーションプルームの流体挙動に影響を与えることが明らかとなった。TOFMS による質量分析においてはターゲットとしてアルミニウムを用いた。200 Pa 以上の圧力において Al^+ および Al_2^+ の信号が検出された。それらの信号強度はともにヘリウム圧力の増加に対して強くなるが, 信号強度比はほぼ一定であることがわかった。

[1] W. Marine, L. Patrone, B. Luk'yanchuk, M. Sentis, Appl. Surf. Sci. 154-155 (2000).

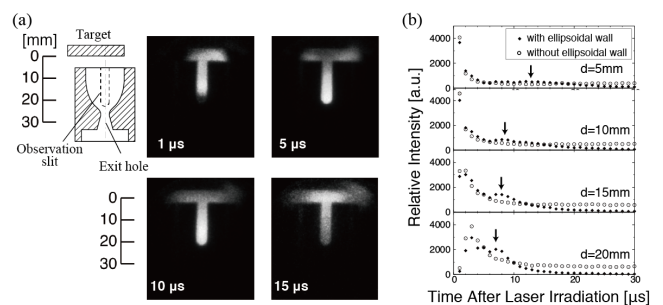


図 1: (a) 楕円体キャビティにおける蒸気プルームの自発光像。 (b) ターゲットから 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm の位置における楕円体が有る場合と無い場合の発光強度の時間変化。矢印の位置で発光強度の増加が見られる。