誘導結合プラズマと相互作用する液体ガリウムからの液滴放出現象に対する温度の影響

Influence temperature on droplet ejection from liquid gallium interacting with inductively coupled plasmas

北大工[1]、○(M2)濱名優輝[1]、白井直機[1]、佐々木浩一[1]
Hokkaido Univ.[1] , ○Y. Hamana[1], N. Shirai[1], K. Sasaki[1]
E-mail: hamana@eis.hokudai.ac.jp

【はじめに】

プラズマ液体相互作用において、液体から液滴が放出される現象が確認されている。大気圧プラズマを用いた場合にはNaClなどの水溶液からの液滴放出が観測され[1]、低気圧プラズマを用いた場合には液体金属から液滴が放出された[2]。液滴放出のメカニズムは未解明であり、このメカニズムが解明されることは、核融合プラズマ対向材料の選択肢として液体を用いる試みに対してさらなる技術の発展の助力となり、プラズマ気液界面現象の理解において新たな知見が得られる可能性がある。これまで本研究では、誘導結合プラズマを用いることによりイオンフラックスとイオンエネルギーを独立に制御し、液体金属とプラズマの相互作用の実験を行ってきた[3]。しかし、イオンフラックス及びイオンエネルギーを増加させると同時に液体金属の温度も上昇していたため、今回は2つのパラメータに加えて液体金属の温度を独立に制御できる装置を構築した。これらの3つのパラメータに関して、液滴の放出に重要なパラメータを見出し、様々な条件下における液滴の放出頻度を計測することを目的とした。また、液滴が放出される際の液面の形状変化及び、液面に付着した不純物と液滴放出の関係性に着目して、液滴放出のメカニズムを解明することを目指した。

【実験方法】

真空容器の外部に誘導結合プラズマ生成用の高周波アンテナを設置し、ガス圧30mTorr、電子密度1×10^{10}～1×10^{12}/cm^{3}の外部アンテナ型ICPを生成した。ガスはアルゴン、ヘリウム、または水素を使用した。真空容器内に液体状態のガリウムまたはスズを入れた真鍮の容器を設置し、真鍮製容器を介して液体金属にバイアス電圧を印加した。真鍮容器の下にヒーターを設置することで、試料の温度を制御し、真鍮容器に取り付けた熱電対を用いて温度の観測を行った。高周波電力を変化させるとプラズマ密度が変化し、液体金属に照射されるイオンフラックスを制御できる。一方、直流バイアス電圧を0V~-300Vまで変化させることにより、液体金属に照射されるイオンエネルギーを制御した。液体金属表面から約5 cm上方の空間に波長457nmのシート状cwレーザー光を入射し、液滴による散乱光をイメージインテンシファイア付きのビデオカメラで撮影することにより、液滴の存在を確認しながら実験を行った。液体金属の表面を別のビデオカメラを用いて撮影し、液滴放出時の液面の様子を観察した。各実験条件につき5分間の観測を行い、各条件間では5分間のインターバルを設けた。散乱光が1回以上観測されたとき、液滴が放出されたと判断し、5分間における散乱光の回数を数えることで、液滴の放出頻度を計測した。

【実験結果及び考察】

液滴が放出されるためには、イオンフラックス、イオンエネルギー、試料温度すべてに関する条件が存在することが分かった。Fig.1はヘリウムプラズマと液体ガリウムを相互作用させ、液滴が放出されるときの閾値をプロットしてある。データのばらつきは大きいものの、試料の温度を増加させることで液滴が放出されやすくなる傾向がみられた。5分間における液滴の放出回数を計測したところ、試料温度やイオンエネルギー、イオンフラックスそれぞれを増加させることで、放出回数が増加することが分かった。液滴が放出している際の液体金属表面では、液面が徐々に膨らみ、最終的に破裂したときに液滴が飛散することが観測された。液面の膨らみは、稀に液面全体に及ぶ大きさもあれば、頻繁に複数個所で小さく膨らむ場合もあった。実験中、液体ガリウム表面には不純物が付着していることが観察された。ガリウム表面を一部取り除いて、XRF分析装置により元素同定を行ったところ、容器に使用していた真鍮の成分である銅、亜鉛、及びスズが含まれていることが分かった。これらの金属は液体ガリウムの表面張力を変化させ、液体ガリウムを膨らみ易くしている可能性がある。膨らみが生じる原因は、プラズマ生成用のアルゴン、ヘリウム、水素が液体金属に溶解しているためであると考えられる。液滴放出は、ガスが液体金属へ溶解し、液中で気泡となり、破裂しているメカニズムが有力であると思われる。現在ペルチェ素子を装置に導入し、試料を冷やすことで80℃よりも低い試料温度での実験を試みており、より広い温度範囲での結果を含めて報告する予定である。

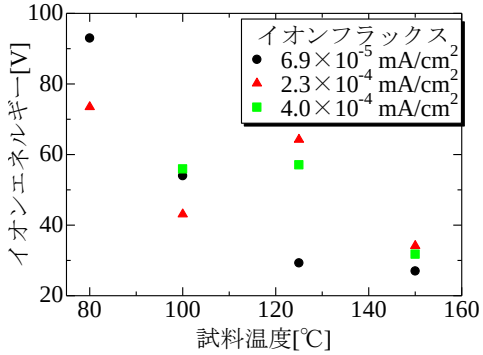

Fig. 1 様々なイオンフラックス、イオンエネルギー、液体ガリウム温度における液滴放出開始条件

【参考文献】

[1] K. Sasaki, H. Ishigame, and S. Nishiyama, Eur. Phys. J. Appl. Phys. 71, 20807 (2015).
[2] K. Sasaki and H. Koyama, Appl. Phys. Express 11, 036201 (2018).
[3] 濱名ら、応物秋　2019

© 2020年 応用物理学会