

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：
ガスの溶存が与える液滴放出への影響

Droplet ejection from liquid gallium interacting with inductively coupled plasmas: influence of gas solubility

北大工¹, ○(D1)濱名優輝¹, 白井直機¹, 佐々木浩一¹

Hokkaido Univ.¹, ○Y. Hamana¹, N. Shirai¹, K. Sasaki¹

E-mail: hamana@eis.hokudai.ac.jp

【はじめに】

プラズマと液体が相互作用する時、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]。本研究は液体金属からの液滴放出のメカニズム解明を目指している。この研究には2つの目的があり、1つはプラズマと液体の相互作用に関する基本的な理解の構築、2つ目は核融合研究における液体金属ダイバータ技術の開発への助力となることである。これまで本研究では、誘導結合プラズマを用いて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。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増加していたため、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、液滴放出メカニズムに関して、ガスの溶存限界を考慮することでこれまでの実験結果をより正確に表現することで新たな知見を得た。

【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 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ の外部アンテナ型ICPを生成した。ガスはヘリウムを使用した。真空容器内に液体状態のガリウムを入れた真鍮の容器を設置し、銅製容器を介して液体金属にバイアス電圧を印加した。銅容器の下にペルチェ素子を設置することで、試料の温度を $50^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の範囲で制御し、銅製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、イオンフラックスおよび試料温度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に閾値をプロットしてある。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り、イオンフラックスを大きくすることでも液滴が放出しやすくなる傾向が存在した。それに対して、イオンエネルギーに関しては、液滴の放出閾値条件には関与しないことが分かった。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。膨らみが生じる原因は、プラズマ生成用のヘリウムが液体金属に溶解しているためであると考えられる。Fig.1の結果はガスの溶存限界に関与していると考えられ、液体の温度が増加することでガスの溶存限界は減少し[3]、またイオンフラックスを増加させることでガスの溶存限界が増加すると考えられる。液滴放出は、ガスが液体金属へ溶解し、液中で気泡となり、気泡が破裂しているメカニズムが有力であると思われる。

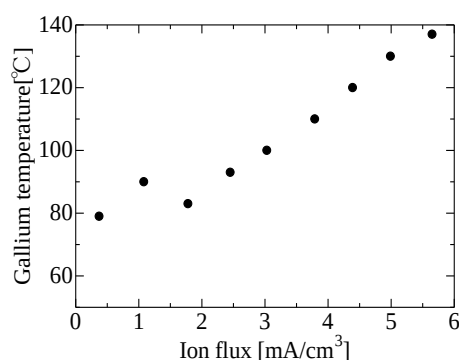


Fig.1 Initiation condition of droplet ejection at various ion fluxes and target temperatures.

【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] W.Ou et al., Nucl. Fusion 60,026008 (2020).