

# 誘導結合プラズマと液体ガリウムの相互作用における液滴放出現象と溶解ガス量の関係性 Relationship between the amount of dissolved gas and droplet emission from liquid gallium interacting with inductively coupled plasma

北大工<sup>1</sup>、○(D3)濱名優輝<sup>1</sup>、白井直機<sup>1</sup>、佐々木浩一<sup>1</sup>

Hokkaido Univ.<sup>1</sup>, ○Y. Hamana<sup>1</sup>, N. Shirai<sup>1</sup>, K. Sasaki<sup>1</sup>

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

## 【はじめに】

液体金属と低圧プラズマを相互作用させた際、液体金属から液滴が放出される現象が確認されている[1]。この現象のメカニズムが解明されることは、核融合研究においてプラズマ対向材料に液体金属を用いる試みや、その他のプラズマ液体相互作用に対して新たな知見を与える。液滴放出現象は、プラズマ生成用のガスが液体金属中に溶解し、液体金属中で過飽和状態となったガスが気泡を形成し、気泡が破裂することに起因すると考えられている[2]。これまでの本研究では、液滴放出は水素プラズマを用いた場合に高い頻度で観察されたが、ヘリウムプラズマではほとんど観察されなかった。この違いは、ヘリウムは希ガスであるため、金属原子との間で化学結合を形成できないことに起因すると予測される。そのため今回は、同じ2原子分子である窒素プラズマを生成して液体ガリウムとの相互作用を調べた。また、質量分析器を用いることで、液体ガリウムから気相に放出された原子または分子を検出し、液滴放出頻度と溶解したガス量の関連性を見出すことを試みた。

## 【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 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12}/\text{cm}^3$ のプラズマを生成した。ガスにはヘリウム、水素または窒素を使用した。液体状態のガリウムを入れた直径5cm、深さ1.2cmの石英容器を真空容器内に設置した。タングステンの電極を液体ガリウムに接触させ、タングステン電極に直流電源装置を接続することで液体ガリウムにバイアス電圧を印加した。石英容器の下にヒーターを設置することで、液体ガリウムの温度を $50^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ の範囲で制御した。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した。一方、直流バイアス電圧を0V~400V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5cm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、液滴発生の有無を確認しながら実験を行った。各実験条件において30分間の観測を行い、液滴の放出回数を計測した。液体ガリウムが設置されている真空容器にゲートバルブを介して質量分析器を設置した。プラズマ生成を停止させた後、約3分間液滴が放出し続けることを利用し、プラズマの生成及びガスの流入を停止させた1分後に質量分析器を作動させた。

## 【実験結果及び考察】

水素プラズマ及びヘリウムプラズマを生成した場合、イオンフラックス及び液体金属温度を増加させることで液

滴放出頻度が増加した。一方、イオンエネルギーの増加に対して液滴放出頻度が減少する傾向が得られた。対して、窒素プラズマの場合、どの条件においても液滴放出は観察されなかった。

水素プラズマを照射した後、質量分析器の作動中に、液滴放出のタイミングで水素分子の分圧がインパルス的に増加したことから、液滴放出に必要な気泡の中は水素で満たされていたと考えられ、プラズマ照射によって水素がガリウムに過剰に溶解して気泡を形成したと考えられる。Fig.1は、水素プラズマを消した1分後に質量分析器で測定された水素分圧のイオンフラックス及び液体金属温度に対する依存性を示している。同じ液体ガリウム温度においてイオンフラックスを増加させることで溶解する水素が増加した。同じイオンフラックスで液体ガリウムの温度を増加させた場合、溶解する水素の量は減少した。また、イオンエネルギーを変化させても溶解した水素の量は変化がなかった。ヘリウムプラズマにおいても同じ傾向の結果が得られた。液滴が放出しない条件においても、プラズマを生成せず中性のガスのみを流入させたときよりも多いヘリウム及び水素が溶解していた。これらの結果から、液体ガリウム温度の増加によってガスの溶解度が減少し[3]、イオンフラックスの増加によってガスが溶解するレートが増加し、液体ガリウム中に溶解する水素原子の濃度がある値に達したときに気泡が形成していると考えられる。

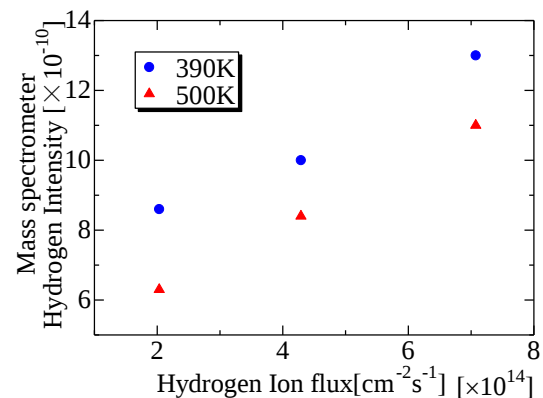


Fig. 1 水素プラズマのイオンフラックス及び液体ガリウム温度の変化に対する質量分析器で得られる信号値の変化

## 【参考文献】

- [1] K. Sasaki and H. Koyama, Appl. Phys. Express 11, 036201 (2018).
- [2] K. Tamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 61, 106005 (2022).
- [3] W. Ou et al., Nucl. Fusion 60, 026008 (2020).