

誘導結合アルゴンプラズマと相互作用する液体ガリウムからの液滴放出特性

Production of droplets from liquid gallium interacting with inductively coupled argon plasma

佐々木 浩一, 濱名 優輝, 白井 直機

Koichi SASAKI, Yuki HAMANA, and Naoki SHIRAI

北海道大学大学院工学研究院

Division of Quantum Science and Engineering, Hokkaido University

はじめに 低温プラズマ応用の分野において、プラズマと液体の相互作用に関する研究に関心が持たれている。一方、核融合装置のダイバータ材料に液体金属を用いることが検討されるようになり、プラズマ・液体相互作用は核融合研究における課題にもなった。我々は、大気圧プラズマと水溶液との相互作用によって液滴が放出される現象について研究しているが、液体ダイバータが核融合研究のテーマに挙がったことから、低温プラズマ研究と核融合研究に共通する課題としてプラズマ・液体相互作用を研究することを着想し、低ガス圧プラズマと液体金属との相互作用による液滴の放出現象を調べている。昨年は、マグネトロン装置を用いて液体スズをスパッタする実験において液滴が放出されることを報告したが[1]、この実験では、ターゲットへのイオン照射のフラックスとエネルギーを独立に制御できなかったため、液滴放出のメカニズムを調べることができなかった。今回は、誘導結合アルゴンプラズマ中に液体ガリウムを設置し、液体ガリウムに照射されるイオンのフラックスとエネルギーを独立に制御して、液滴の放出特性を調べた実験結果について報告する。

実験方法 円筒型真空容器内に1巻の高周波アンテナを設置し、13.56 MHzの高周波を印加して誘導結合アルゴンプラズマを生成した。ガス圧は100-450 mTorrとした。プラズマ中に平板電極を挿入し、その上にガリウムを置いた。ガリウムの融点は約30°Cのため、プラズマ照射により溶融した。ガリウムを負の直流電源に接続し、直流電源に流れる電流を測定した。このようにすると、ガリウムへ照射されるイオンのフラックスを高周波電力によって制御し、イオンのエネルギーを直流負バイアス電圧によって制御することができる。ガリウムより上の放電空間にシート状に整形した波長457 nmのcwレーザー光を照射し、生じ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した。ガリウムから液滴が放出されると、その運動軌跡がビデオカメラに撮影された。また、プラズマの電子密度をラングミュアプローブによって測定した。

実験結果および検討 高周波電力と負バイアス電圧を様々な値に設定し、液滴放出の有無を調べた。液滴による散乱光が3秒間に1個観察された時に液滴の放出が開始したと判断することにして、液滴放出の開始条件を調べた結果が図1で、ガス圧が異なる様々な放電条件で得られた結果をプラズマの電子密度の関数として整理してある。ばらつきは大きいものの、ガリウムに照射されるイオンの電流密度(フラックス)は電子密度に比例している。液滴放出の開始条件における負バイアス電圧は、低イオンフラックスにおいて高く、高イオンフラックスにおいて低いという結果が得られた。液体からの液滴放出メカニズムには、1) 流体不安定性(Kelvin-Helmholtz不安定性)による液面の変形、および、2) テーラーコーンの形成の二つが考えられる。1)はプラズマから液面に作用するイオンの運動量によって誘起されと考えられているが、図1の実験結果において液滴の放出が開始する時のイオン運動量は一定値ではなく、1)が液滴放出開始の直接的な要因とは考えにくい。2)は気液界面直上の電場によって誘起される現象であり、その寄与を判断するには電場の測定または推定が必要である。

[1] K. Sasaki and H. Koyama, APEX 11, 036201 (2018).

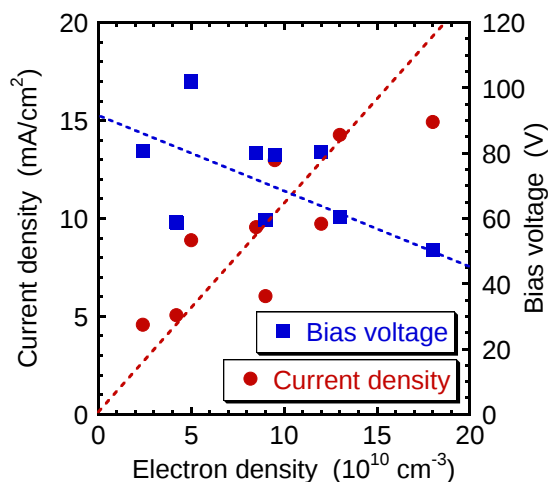


図 1: 液体ガリウムから液滴が放出され始めるときのイオン電流密度とイオンエネルギー。