

カスケードアーク放電における高密度ヘリウムプラズマの 発光分光計測

福山浩平¹、浅野勇人¹、岩本勇樹¹、修行貴大¹、田村直樹²、難波慎一¹

¹広島大学、²核融合研

カスケードアーク放電では、陽極と陰極の間に電氣的に浮遊する中間電極が設置されており、放電電圧は通常のアーク放電と比較して約10倍高い。このため、高温高密度のプラズマが発生しやすく、ガスの高温化による圧力上昇と粘性の増大によりガス流量が大幅に抑制される。したがって、大きな排気システムなしで大気と真空を分離できるプラズマウィンドウ (PW) と成り得る。PWの大きな特徴は、圧力障壁となる一方で電子やイオン、X線などを透過することができる点である。本研究では、差動排気システムとして機能するPW開発を目的として、電子温度5 eV、電子密度 10^{15} cm^{-3} 以上のHeプラズマを発生させることができる大口径(8 mm径)カスケードアーク装置を製作した。

今回開発したカスケードアーク装置は陰極 (LaB6)、陽極 (Mo)、11枚の中間電極 (Mo) から構成されており、プラズマからの輻射や高熱流束による損傷を防ぐために各部は強制水冷されている。中間電極は電氣的に浮遊させるため、それぞれの間にテフロン製スペーサーが挿入されている。また、中間電極の外側にソレノイドコイルを配置し、必要に応じて磁場 (80 mT) を印加できる。放電ガスはヘリウムで、マスフローコントローラにより制御した。放電電流は最大で50 Aであり、その際の放電電圧は約135~150 Vであった。PWとしての性能評価は絶対圧真空計を用いて評価し、プラズマパラメータの決定には可視・真空紫外分光器を用いて行った。

まず、放電部および膨張部の圧力を測定した。ガス流量の低下に伴い圧力比は増加し、ガス流量0.05 L/minの時、放電部圧力3 kPa、膨張部圧力12 Pa、圧力比250を達成することができた。

一方、可視分光計測は放電部と膨張部の2か所で行い、光ファイバー・ミラー・レンズを用いて分光器入口スリットに集光した。用いた分光器は高分散型 (1 m, 2400 grooves/mm) と低分散型 (50 cm, 1200 grooves/mm) である。電子密度はプラズマ中には不純物として存在している水素のH β 線を高分散可視分光器で計測し、そのシュタルク広がり幅より評価した。その結果、ガス流量の増加に伴い電子密度は増加し、電子密度の最大値はガス流量0.5 L/min、磁場ありの条件で膨張部電子密度 $3.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ と評価できた。電子温度は局所熱平衡状態と仮定し、低分散型分光器でHe I nd^3D シリーズの発光を計測してそのボルツマンプロットから評価した。膨張部での電子温度はガス流量0.05 L/minで、約0.37 eVと決定できた。さらにアノード付近出口付近の中性ヘリウム、イオンの共鳴線を真空紫外分光器 (1 m, 1200 grooves/mm) を用いて計測した。He⁺イオンからの発光30.3 nmが磁場ありの条件にて観測され、放電部では高温プラズマが発生していることが分かった。