

研究成果報告概要

プラズマウィンドウを用いた革新的真空プロセス技術

広島大学大学院工学研究科 難波慎一

電子ビーム溶接，基板へのイオン注入，ドライエッチングなどの荷電粒子プロセスは真空中で行われる．真空には金属やガラス製の容器が必要となるが，ここから電子やイオンを大気中に直接取り出すことはできない．では，大気と真空を隔てる圧力隔壁となる一方，荷電粒子は通過できる魔法のような物質は存在しないのか？これを解決するのがプラズマウィンドウ（PW）である．この真空技術は高圧力アーク放電を用いたバーチャルな壁で，プラズマ中でのガスの高温化と高粘性により流れが凍結することで実現する真空インターフェースである．

本研究ではプラズマウィンドウ実用化に不可欠な小型で高い圧力隔壁性能と長時間連続運転を両立する大気圧アーク放電源を開発する．具体的には長さ 12 cm，5 cm 径，10 kg の小型化・軽量の改良型アーク源を開発すること，及び，高温高密度プラズマ（2eV（約 2 万度）， $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）を発生させ，大気と 10^{-3} Torr の圧力勾配を生み出す高性能のプラズマウィンドウを実現すること，及び，長時間運転（連続 200 時間）を実証すること，を目的とした．

図 1 に示すように陰極と陽極との間に中間電極（浮遊電位）を設置するカスケードアーク放電と呼ばれるアーク放電を新たに設計製作した．この放電形式は我々が独自に考案したものであり，定常高温高密度プラズマの発生にこれまで成功している．装置写真と膨張プラズマを図 2 に示す．陰極には 3.2 mm 径 CeW ロッドを，陽極と陰極・陽極間には中間電極として Mo，あるいは，CuW 材からなる合計 8 枚を設置した．陽極・中間電極の穴径はいずれも 3 mmφ で水冷されている．放電ガスはアルゴンである．プラズマは陽極側から大型真空容器へ超音速で放出され，ポンプで排気される．アルゴンガス流量は 0.5 ~ 2.0 L/min，放電電流は最大で 100 A である．また，放電を安定化させるために最大磁場 0.1 T を印加することも可能である．プラズマウィンドウ性能評価は放電室上流と膨張室の絶対圧力の計測で行った．プラズマパラメータ決定には，可視・真空紫外分光器を用いた発光スペクトルの強度と分布形状から行った．

実験の結果，本施設では放電電流が 60 A までしか流せないことが判明した．これは単に冷却チャラー容量不足，及び，使用電力の問題であるが，このためプラズマの温度を分光スペクトル強度から評価したところ，放電電流 20 A で 1 eV 程度（約 1 万度）であった．その結果として，高温ガスの粘性効果が低下し，放電部上流・下流の圧力勾配は 3 桁程度にとどまった．今後，チャラーの大型化と電力増強により，放電電流 100 A を実現し，さらに 2 桁高い圧力勾配を達成できる装置であることを実証する

一方，電子密度に関しては目標値の $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ を上回る $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアルゴンプラズマの発生に 60 A 放電で達成した．このような高密度プラズマを定常的に発生した報告例はなく，世界最高性能のプラズマ発生に成功したと言える．

また，プラズマウィンドウの長時間運転に関する試験も試みた．こちらも電力事情で 200 時間運転を実現することはできなかったが，放電電流は 60 A で 10 時間以上の連続運転でも電極材の損傷は見られず，実機へ応用する際にも問題にならないことが判明した．

以上より，本研究では小型プラズマウィンドウ実用化に向けた重要な知見が得られ，今後数年以内での実機製作を試みられる段階まで来たと考えている．

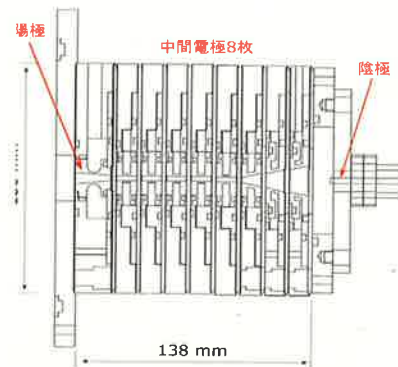


図 1. アーク放電源の概略図．

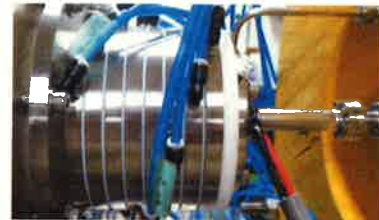


図 2. アーク型放電源の写真と膨張プラズマの様子．