

周辺プラズマへの炭素クラスター導入と窒素添加による炭素膜成長制御 Introduction of Carbon Clusters into Edge Plasmas and Suppression of Carbon Film Growth by Nitrogen Addition

佐々木 彩¹, 野谷 昌弘¹, 上杉 喜彦¹, 田中 康規¹, 石島 達夫¹, 増崎 貴²
Aya SASAKI¹, Masahiro NOTANI¹, Yoshihiko UESUGI¹, Yasunori TANAKA¹,
Tatsuo ISHIJIMA¹, and Suguru MASUZAKI²

金沢大学¹, NIFS²
Kanazawa Univ.¹, NIFS²

まえがき

核融合装置で使用される炭素材料は水素プラズマとの相互作用により損耗されるだけでなく、トリチウムを吸蔵した再堆積膜やダスト粒子を生成する。そのため、トリチウムの炉内吸蔵制御を目的とした炭素膜、炭素ダスト生成の抑制は重要な課題となっている。これまで Heliotron-DR 装置を用いた水素/メタンプラズマへの窒素導入によって、炭素膜堆積の抑制効果が見られるかを検討してきた[1]。Heliotron-DR では高周波放電により低ガス圧下 ($P=0.3\sim0.5$ Pa) で定常水素プラズマを生成することが可能である。これまでの研究の成果として、窒素導入による炭素膜形成抑制効果は基板温度に強い依存性を持ち、 ~ 400 K 以上で強い抑制効果があることがわかっている。今回は炭素不純物をメタンでなくアーク放電を用いて発生させた炭素クラスター・原子供給下において、窒素導入が及ぼす影響について検討した。炭素不純物をガスパフでなく炭素の損耗で供給することで、より実際の炭素不純物生成過程に近い条件下で窒素の効果を検討できる。

実験条件および評価方法

水素プラズマ中で同軸型炭素電極を用いてアーク放電させ炭素クラスターをチャンバー内に供給する。ガス流量は水素 20 sccm で、アーク点弧中のガス圧力は $P_f=0.6\sim0.7$ Pa である。Heliotron-DR において生成されるプラズマの電子温度、電子密度は $P_r\sim 2.3$ kW 時でそれぞれ 5-10 eV、 $(0.4\sim1.6)\times 10^{16}$ m⁻³ であった。プラズマ曝露後の試料表面観察をしやすいように、試料として単結晶シリコンを用いた。ターゲット表面温度は 350-600 K の範囲で変化させた。ターゲット表面に堆積した炭素膜は分光エリプソメータにより膜厚を計測し、生成されたダストについては走査型電子顕微鏡 (SEM) により観察し粒子密度と粒径分布を調べた。また気相での生成粒

子を観測するためプラズマの分光計測と質量分析を行った。

初期実験結果

図1にアーク放電電極周辺を分光計測した結果と、水素/メタンプラズマ放電時の分光計測結果を示す。見やすくするため、図1に示すアーク放電の分光データは実際の実験データから黒体放射によるスペクトルを減算してある。アーク光の分光計測から、水素/メタンプラズマからはほぼ見られない C₂ 分子スペクトルの強い発光が観測された。アーク放電では、炭素不純物がクラスター状で放出されるものと考えられる。約30分のアーク放電を伴ったプラズマ曝露後の試料表面を SEM で観察した結果、図2に示すようなダスト粒子が見られた。またエリプソメータによる膜測定により、ダストと共に ~ 10 nm の膜も形成されていることがわかった。以上より、同軸型炭素電極のアーク放電によって炭素不純物をチャンバー内に供給できおり、かつターゲットまで輸送されていることが確認できた。

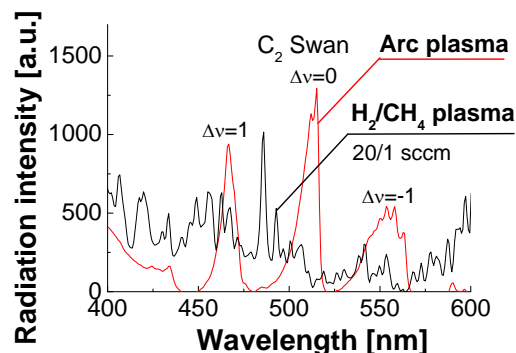


図1 アーク放電時および水素/メタンプラズマの分光計測結果

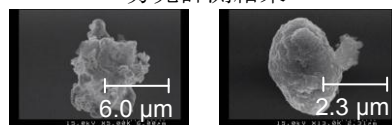


図2 アーク放電後に観測されたダスト粒子 (SEM)
[1] A. Sasaki et al.: T. IEEE Japan, No.1, pp246, (2012).