

TRIAM-1M におけるプラズマ対向材料の表面変質と水素リサイクリング過程への影響

九大総理工, *九大応力研

宮本光貴, 時谷政行, 徳永和俊*, 吉田直亮*, 坂本瑞樹*, 関子秀樹*, TRIAM グループ*

1. はじめに

プラズマ対向材料は、プラズマからの熱、粒子負荷等を受ける過酷な環境に曝され、スパッタリング等により材料損耗を受ける。スパッタされた粒子の一部は材料表面に付着し再堆積層を形成する。この結果、プラズマ壁相互作用で鍵となる壁面では、その物性が設計時のものとは異なったものになる。従って、本来の材料の PSI に加え、再堆積層の PSI も重要となり、実機環境下で形成された再堆積層の形成機構やその材料特性に関する研究が必要である。

本研究では、TRIAM-1M の水素プラズマに材料を曝す表面プローブ実験を行い、実機環境下で形成される再堆積層の材料特性(微細組織・熱安定性・水素吸蔵特性)を評価し、TRIAM-1M における水素リサイクリング挙動との関連を調べた。

2. 実験方法

TRIAM-1M の水素プラズマに材料を直接曝す「表面プローブ実験」を行った。プローブ試料としてステンレス鋼(SUS304)、および単結晶シリコンを用いた。放電後、プローブ試料の電子顕微鏡(TEM, SEM)観察、および昇温脱離実験(TDS)、X線光電子分光法(XPS)等の表面分析を行い、実機環境下における材料の表面変質について知見を得た。また、実機実験と併せて、堆積層の形成環境を模擬する様々な環境下での真空蒸着実験(PVD)、および水素保持特性評価のための重水素注入後の TDS 実験を行った。

3. 実験結果

表面プローブ実験の結果、プローブ試料表面にはリミター材料である Mo で構成された再堆積層の形成が観察された。再堆積層は FCC の結晶構造を有し 1~2nm の微細な結晶粒で構成されており、通常 Mo 真空蒸着膜と構造、組織において大きく異なることが明らかになった。ガス導入雰囲気でのモリブデン蒸着実験の結果、この再堆積層は、プラズマ中にわずかに含まれる酸素が再堆積層の形成に大きく影響を与えていることが明らかになった。一方で、再堆積層の化学状態を XPS により評価すると、その化学状態は酸素とのコデポジションのみでは説明できず、同時に Mo の堆積速度よりも一桁以上高い入射線束で水素が共堆積することで、その微細組織や化学状態を再現出来ることが明らかになった。

再堆積層の水素保持特性を評価する目的で、酸素雰囲気下で作製したモリブデンの蒸着膜(Mo+O 膜)に対して重水素注入後の TDS 実験を行った。Mo+O 膜からは他の材料では見られないよう重水素および重水としての大きな脱離ステージの存在が観察され、重水素の飽和濃度で $D/Mo \sim 0.35$ の非常に高い値に至ることが明らかになった。これは炭素材およびベリリウムで報告されている $D/C \sim 0.4$, $D/Be \sim 0.38$ に匹敵する高い値であり、水素保持量の少ない事が利点とされる金属製のプラズマ対向材料でも、酸素と金属原子のコデポジションの形成により、その利点が損なわれることを意味している。

一方、TRIAM-1M では、粒子バランスの観点から多量の壁排気が観察されており、放電持続時間 30 秒の 8.2GHz、高密度($\sim 10^{19} / m^3$) LHCD 放電において平均の壁排気速度は $4 \times 10^{17} [H/m^2s]$ 程度と報告されている。この壁排気が再堆積層による水素保持が主要な原因だと考え、再堆積層の水素保持量が $H/Mo = 0.35$ にまで達していると仮定すると、Mo 原子の堆積速度は $1.1 \times 10^{18} [Mo/m^2s]$ と評価できる。これは本プローブ実験において形成した再堆積速度 $1.0 \times 10^{18} [Mo/m^2s]$ と非常に良く一致しており、再堆積層の壁排気への影響が示唆される。不純物堆積はトラス全体で非一様性をもちこの評価が現象を十分に説明しうるわけではないが、70 分を超える超長時間放電においても壁排気が持続していることを考えると、放電中連続的に形成される堆積層が壁排気に寄与している可能性が高いと考えられる。