

重水素・炭素同時照射下での タングステン中の重水素透過特性

PENG Han Yee*、LEE Heun Tae、大塚裕介、上田良夫
大阪大学 工学研究科

第一世代の核融合炉では、重水素-トリチウム核融合反応が挙げられている。また、プラズマ対向材料のひとつにタングステンが検討されている。タングステンは水素同位体の蓄積が少ないが、水素同位体がタングステンに入射すると、水素同位体がタングステン中で拡散し外部へ透過することが予想される。この水素同位体の拡散は燃料供給の効率やプラズマ粒子の閉じ込めに影響し、核融合炉の性能や運転サイクルを決定する。また、水素同位体であるトリチウムは放射性核種であるため、水素同位体の拡散は放射全安全管理にも影響を与える。したがって、タングステン中の水素拡散挙動を理解することが非常に重要であり、透過実験を行うことによって水素同位体の拡散挙動を評価することができる。

ITER において炭素系材料など他のプラズマ対向材料も使用されているため、材料の損耗・輸送過程によって炭素不純物が生成され、核融合炉壁に水素同位体イオンと炭素不純物イオンが同時に入射される。これによって、壁表面付近の組成や特性が変化し、水素同位体の表面からの放出や内部への拡散に影響を及ぼす。現在までにタングステンや炭素被覆タングステンにおける重水素の透過実験が多く行われているが、重水素・炭素の同時照射に対する重水素の透過挙動はまだ研究されていない。

本研究では、タングステンに重水素・炭素混合イオンビームを入射し、炭素の存在が重水素拡散に及ぼす影響を定性的に評価することを主な目的として実験を行った。

まず、定常高粒子束イオンビーム照射装置 (HiFIT) を用いて、重水素と炭素の混合プラズマから低エネルギー (1 keV) 高粒子束 ($\sim 10^{20} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) のイオンビームを引き出して、入射側と透過側の真空室を隔離したタングステン試料に照射した。照射された重水素がタングステン試料を透過して裏面まで到達し、透過側の真空室に放出される重水素を四重極型質量分析器で測定した。本研究で使用したタングステン試料はアライドマテリアル製のタングステン再結晶材の円板試料 (純度 99.99%、直径 34.8 mm、厚さ 30 μm) で、試料温度は 550~1050 K であった。

タングステン試料に重水素と炭素を同時に照射すると、重水素のみの照射と比べて定常状態における重水素透過フラックスが増加し、炭素の存在がタングステン中の重水素透過を促進することが分かった。その促進効果は試料温度に強く依存し、炭素比率 $\sim 1.4\%$ の照射では、重水素透過フラックスは約 710 K で最大となり、重水素のみの照射と比べて 2 桁大きかった。この温度から離れると、重水素透過フラックスが徐々に小さくなり、550 K と 1050 K 付近では、炭素による重水素透過の促進効果はほとんど見られなかった。また、炭素比率を変化させて混合イオンビームを照射したところ、炭素比率 $\sim 0.1\%$ では炭素による重水素透過の促進効果は確認されなかったが、炭素比率 $\sim 0.9\%$ 、 $\sim 1.4\%$ 、 $\sim 3\%$ では、炭素による重水素透過の促進効果が確認された。炭素比率 $\sim 0.9\%$ と $\sim 1.4\%$ での重水素透過フラックスはほとんど同じであったが、炭素比率を $\sim 3\%$ に増やすと、高温領域 (700K 以上) での重水素透過フラックスが増加した。