

平中芳樹¹、花田和明²、片山一成¹、大宅諒¹

Yoshiki Hiranaka¹, Kazuaki Hanada², Kazunari Katayama¹, Makoto Oya¹

1.九大総理工 2.九大応力研

1.IGSES Kyushu Univ. 2.RIAM Kyushu Univ.

1、 緒言

トカマク型核融合炉内では、プラズマ中の高エネルギー燃料粒子が壁材料(タングステン)を弾き出すスパッタリングが起こる。スパッタされたタングステン(W)はプラズマ対向壁等に堆積し、再堆積層を形成する。再堆積層はバルクの壁材料と比べ、トラップサイトが多く存在する等、母材とは異なる物性を示す⁽¹⁾。本研究では、タングステン堆積層を形成しながら水素のプラズマ誘導透過粒子束を計測し、粒子透過モデルを作成することによって核融合炉で起こる素過程の物理特性を調べることを目的とした。

2、 実験

高周波電源装置(RF 電源)に W 基板を設置し、グラウンド電極側に厚さ 20μm の円盤状ニッケル(Ni)基板を設置した。Ni 基板を透過する水素透過束を四重極型質量分析計(QMS)で測定した。水素ガス供給量を流量調節計で調節し、真空チャンバー内の圧力が 10Pa になるよう調節した。水素プラズマによる W 基板のスパッタリングが生じると W 原子・イオンの一部が、Ni 基板上に堆積層を形成する。そのため、堆積層形成を行いながら水素透過束を観測できる。RF 入射電源は 100W である。

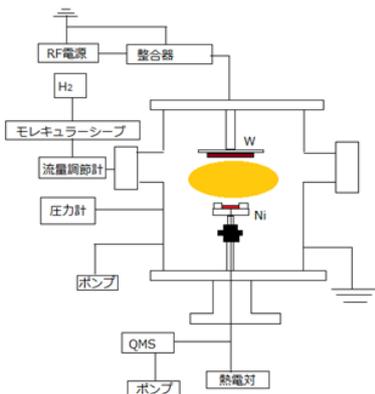


Fig.1 プラズマ駆動透過実験装置

3、 実験結果

実験結果を Fig.2 に示す。プラズマ点火後 3500 秒間は水素透過が大きいことから、プラズマ暴露直後は Ni 基板の透過が支配的だと考えられる⁽²⁾。ピーク後は定常にならず透過量が減少している。この結果を理解するために計算との比較を実施した。計算は、膜厚変化に対応するため TMAP7 で検証した自作コードで実施した。膜厚・試料温度・入射粒子数一定とし、材料内での飛程分布は半値幅が 1nm の正規分布として W 堆積層

内のみが付与されることとした。計算部分を表面・内部・W-Ni 境界の 3 つに分け、試料内部は拡散、試料表面は再結合を仮定し、両者が接する境界では、

$$D_w \left(\frac{\partial c_w}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_B} = -v(C_w(x_B) - K_s C_{ni}(x_B)) \quad (1)$$

$$D_{ni} \left(\frac{\partial c_{ni}}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_B} = v(C_w(x_B) - K_s C_{ni}(x_B)) \quad (2)$$

とした。ここで、 Γ_w, Γ_{ni} は境界面での W から Ni へ、Ni から W への水素粒子フラックス、 C_w, C_{ni} は W, Ni 中の水素濃度、 D は拡散係数⁽³⁾で添え字は各材料元素である。 x_B は W と Ni の境界面、 v は拡散速度で水素原子の拡散の速さを表す。 K_s は Ni に対する W の粒子束の差で、W が再堆積層であることの効果が含まれる。

Fig.2 は自作コードの Ni 基板側の透過束と実験結果を比較したもので、W 表面の再結合係数を段階的に変化させたものである。試料温度の変化は考慮していない。計算結果は、立ち上がりの時間変化や後半の透過束の減少を再現することが出来ない為、膜厚が放電時間とともに変化していることを考慮する必要があることを示している。今後は膜厚変化を考慮したコードの開発を行う予定である。

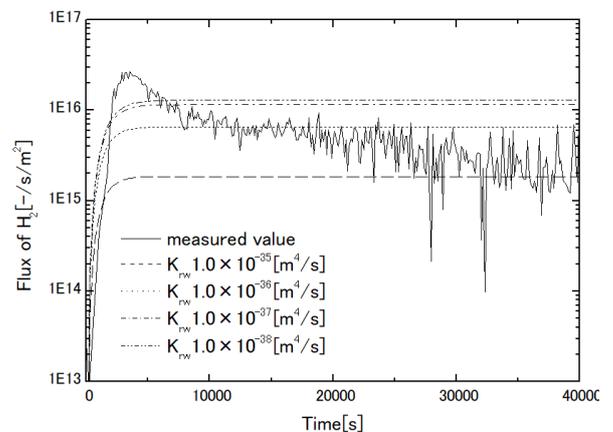


Fig.2 実測値と計算値の比較

4、 参考文献

¹ Yue Xu, Yoshi Hirooka, Naoko Ashikawa, et al., Fusion Eng. Des, **125**, (2017), 239.
² 平中芳樹, 九州大学工学部エネルギー科学科卒業論文, Feb, (2019).
³ 金属データブック, 日本金属学会, (2004)