

## W堆積層形成過程における水素同位体透過挙動の解析 Modeling of hydrogen isotope permeation behavior during the formation process of W deposition layer

原 優樹<sup>1</sup>, 増田 健太郎<sup>2</sup>, 大宅 諒<sup>1</sup>, 片山 一成<sup>1</sup>  
HARA Yuki<sup>1</sup>, MASUTA Kentaro<sup>2</sup>, OYA Makoto<sup>1</sup>, KATAYAMA Kazunari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九大総理工, <sup>2</sup>九大工  
<sup>1,2</sup>Kyushu Univ.

### 1. 緒言

核融合発電の実現に向けてプラズマとその対向壁における相互作用の理解は重要な課題である。プラズマ対向壁の壁材料候補であるタングステン(W)は高原子番号であるが、核融合炉の長期運転を考えるとスパッタリング現象を考慮する必要がある。プラズマ粒子の入射エネルギーが比較的低い領域にWの堆積層が形成されると考えられる。このW堆積層には燃料トリチウムが高濃度で捕捉され得ることが報告されている[1]。しかしながらW堆積層に対するトリチウム透過特性についての理解は進んでいない。透過特性の理解は、プラズマ対向壁のトリチウムのインベントリー評価や、冷却材への移行量評価を行う際に不可欠である。

本研究では、W堆積層形成過程におけるプラズマ駆動水素透過実験を行った。また、先行研究における実験結果のシミュレーション解析により、水素再結合係数等の物質移動パラメータの推定を行った。さらにその結果を用いて、原型炉第一壁における水素透過の予測を行った。

### 2. 水素透過実験・シミュレーション解析

RFプラズマスパッタ装置の真空容器内に水素ガスを供給し、13.56MHzのRF電力を印加することで水素プラズマを発生させた。実験条件を表1に示す。実験中は真空容器内上部のRF電極に設置したWターゲットでスパッタリングが起こり、容器下部にある透過ポートのニッケル(Ni)基板上にWが堆積する。W堆積層が形成されると同時に、プラズマから水素粒子がW堆積層に注入され、堆積層内及びNi基板を拡散し背面へと透過する。透過した水素を四重極型質量分析計(QMS)によって測定した。校正はVacuum Technology Inc製のH<sub>2</sub>標準リークを用いた。次にTMAPシミュレーションコード[2]を用いて、先行研究における実験結果[3]へのフィッティングを行い、W堆積層における物質移動パラメータの評価を行った。

### 3. 結果

実験結果を図1に示す。プラズマ放電開始後、水素透過量は急激に増加してピークを示した。その後減少に転じ、減少し続けた。

実験3[3]へのフィッティングの結果、以下の水素拡散係数 $D$  [m<sup>2</sup>/s]、溶解度定数 $S$  [mol/m<sup>3</sup>/Pa<sup>1/2</sup>]、再結合係数 $Kr$  [m<sup>4</sup>/s]を得た。

$$D = 1.6 \times 10^{-15} \exp(-4400/RT) \quad (1)$$

$$S = 6.0 \times 10^6 \exp(-61000/RT) \quad (2)$$

$$Kr = 2.8 \times 10^{-11} \exp(-112000/RT) \quad (3)$$

上式のパラメータを用いて、原型炉第一壁における水素透過の予測を行った結果、W堆積層は透過側への大きな移動抵抗となり、冷却材へ移行するトリチウム量が低減されることが示唆された。

表1 実験条件

	実験 1	実験 2	実験 3 [3]
RF 電力 [W]	200	200	100
H <sub>2</sub> 圧力 [Pa]	60	60	10
RF 電極-透過ポート 距離 [mm]	40	60	60

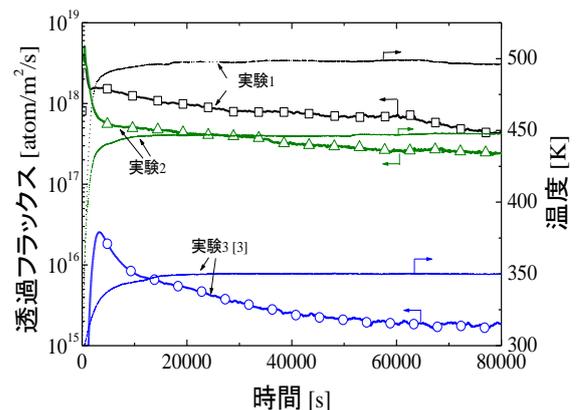


図1 透過フラックスと温度の経時変化

### 参考文献

- [1] K. Katayama, K. Imaoka, M. Tokitani, et al., Fusion Sci. Technol., 54 (2008) 549-552.
- [2] G.R. Longhurst, TMAP7 User Manual, INEEL/EXT 04 02352 (2008).
- [3] H. Ito, K. Katayama, D. Mori, M. Oya, Fusion Eng. Des. 162 (2021), 112083.