

重水素プラズマ曝露された照射欠陥導入タングステンの 昇温脱離スペクトルの解析

Analysis of thermal desorption spectra of ion-damaged tungsten exposed to deuterium plasma

田中裕樹¹、伊能俊太郎¹、坂本瑞樹¹、渡邊英雄²、大矢恭久³、桜田翔大³、藤田啓恵³、
寺門明紘¹、芦川直子⁴、時谷政行⁴、江角直道¹、中嶋洋輔¹

TANAKA Hiroki¹, INO Shuntaro¹, SAKAMOTO Mizuki¹, WATANABE Hideo², OYA Yasuhisa³ et al.

¹筑波大学プラズマ研究センター、²九州大学応用力学研究所、³静岡大学、⁴核融合科学研究所

¹Plasma Research Center, Tsukuba University, ²Research Institute for applied mechanics, Kyushu University,

³Shizuoka University, ⁴National Institute for Fusion Science

ITER や DEMO では、安全性等の観点からトリチウム吸蔵量の低減が求められる。ITER のダイバータ板には、炭素複合材よりも低損耗で水素同位体を吸蔵しにくいということから、タングステンが使用される。しかし、D-T 反応で生じる中性子がもたらすタングステン中の照射欠陥により、トリチウム吸蔵量が増加してしまう。中性子照射により損傷したタングステンのトリチウム吸蔵メカニズムを究明するために、高エネルギーイオンや核分裂中性子を用いて損傷させたタングステンの重水素吸蔵に関する研究が数多く行われてきた。本研究は、中性子照射による影響を銅イオン照射で模擬し、タングステン中の照射欠陥が重水素吸蔵特性に与える影響の評価を目的としている。

本研究では、10 mm × 10 mm × 1 mm の再結晶 W 試料を使用した。再結晶 W 試料中に照射欠陥を形成するために、2.4 MeV の Cu²⁺ を照射量やフラックス、試料温度を変えて試料に照射した。そして試料に対する重水素プラズマ照射を、小型の PWI 模擬実験装置 APSEDAS[1]を用いて行った。試料に入射する重水素イオンのエネルギーは約 30 eV、フラックスは約 3.7×10^{21} D m⁻² s⁻¹、フルエンスは 2.0×10^{25} D m⁻² である。プラズマ照射中の試料の表面温度は約 480 K だった。プラズマ照射後、試料を昇温脱離スペクトル測定装置内に移し、プラズマ照射終了から 3 時間後に昇温速度 1 K/s で試料を加熱し、昇温脱離スペクトル測定を行った。

図 1 に室温で銅イオンをフラックス 5×10^{15} m⁻² s⁻¹ で照射した試料の昇温脱離スペクトルを示す。このグラフより、3 つの脱離ステージが存在し、銅イオン照射によってステージ C での脱離量が最も高い割合で増加したことが分かる。また、2.4 MeV の銅イオン室温照射による再結晶 W 中の欠陥形成が TEM で観察され、ナノボイドや原子空孔の集合体、転位ループの存在が確認されている[2]。このことから、脱離ステージ C は、ナノボイドや原子空孔の集合体に対応すると考えられる。また、室温で 4 dpa まで銅イオン照射された試料の昇温脱離スペクトルを Hydrogen Isotope Diffusion and Trapping (HIDT)シミュレーションコード[3]で解析したところ、高温側のピークに対応する捕獲サイトと重水素原子の結合エネルギーが 1.4-1.5 eV という初期的結果が得られた。

図 2 に銅イオンを室温照射された試料の重水素吸蔵量の dpa 依存性を示す。銅イオンをフラックス 5×10^{15}

m⁻² s⁻¹ で照射された試料の重水素吸蔵量は 0.4 dpa 以上で飽和傾向を示している。一方で、低フラックスで銅イオンを室温照射された試料の重水素吸蔵量は 2 dpa まで単調増加している。このことから、高エネルギーイオンのフラックスが異なる場合、イオン照射中の欠陥形成プロセスに違いが生じる可能性が考えられる。

銅イオンのフラックス 5×10^{15} m⁻² s⁻¹ において室温・500 K・873 K で照射された試料の重水素吸蔵量は、銅イオン照射温度が上がるにつれて減少した。試料の温度が高くなることにより、銅イオン照射中の欠陥形成が抑制されることが示唆される。

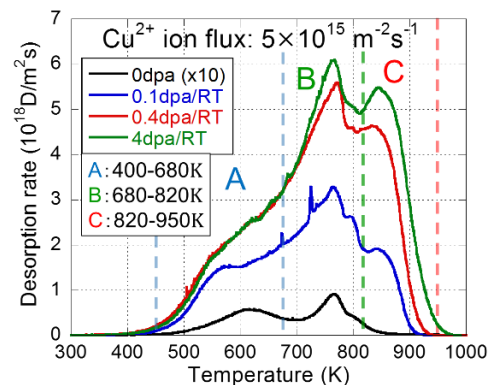


図 1：室温で銅イオン照射された試料と 0dpa 試料の昇温脱離スペクトル

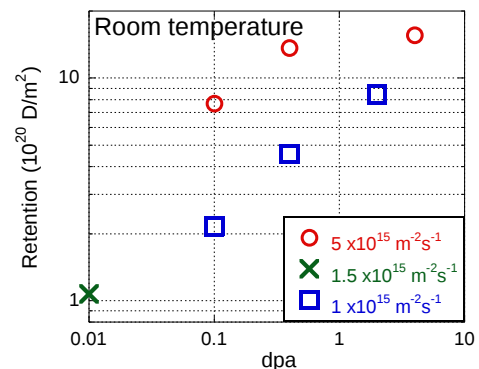


図 2：異なるフラックスで銅イオンを室温照射された試料の重水素吸蔵量の dpa 依存性

参考文献：

- [1] M. Sakamoto et al., Phys. Scr. T138 (2009) 014043
- [2] H. Watanabe et al., J. Nucl. Mater. 455 (2014) 51-5
- [3] Y. Oya et al., J. Nucl. Mater. 461 (2015) 336-340