

W-He 複合イオン照射下のタングステン中の重水素の捕捉

Effects of W-He irradiation on deuterium retention in tungsten

○蔣振宇、高木郁二

京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻

Z.Jiang, I.Takagi

Department of Nuclear Engineering

The effects of pre-irradiation by W and He ions in tungsten were investigated by the nuclear reaction analysis (NRA). Tungsten samples were pre-irradiated by 4.8 MeV W⁴⁺ and 0.8 MeV He⁺. Comparisons were made by modifying the irradiation parameters and it was found that the 873K self-implanted tungsten sample trapped more deuterium after He implantation.

1. 緒言

現在、核融合発電は将来安全かつ安定なエネルギー源として期待されている。それを実用化させるための課題の一つとして、水素プラズマを取り囲むプラズマ対向材料の照射損傷とその損傷による水素同位体の捕捉を評価しなければならない。本研究は、核融合炉内のダイバータの候補材料であるタングステンに対し、セルフイオン照射とヘリウムイオン照射を行い、炉内環境の高速中性子とヘリウム原子の影響を模擬する。照射損傷を受けたタングステン材料に重水素プラズマを曝露しながら、核反応法でタングステン試料中の重水素の捕捉挙動を調べた。

2. 実験

まずは He 単独照射、W 単独照射、W-He 複合照射と熱処理されたタングステン試料をそれぞれ作成した。He イオンは 0.8MeV で試料温度 573K において $1.3 \times 10^{21}/\text{m}^2$ 照射した。W イオンは 4.8MeV で試料温度 873K において $2.5 \times 10^{19}/\text{m}^2$ 照射した。W-He 複合照射した試料は W イオン照射した後 He イオンを追加照射した試料である。熱処理された W 試料はブランクとして真空中 873K で 6 時間アニールされた。試料内部の重水素濃度分布は $D(^3\text{He}, p)^4\text{He}$ 反応を利用

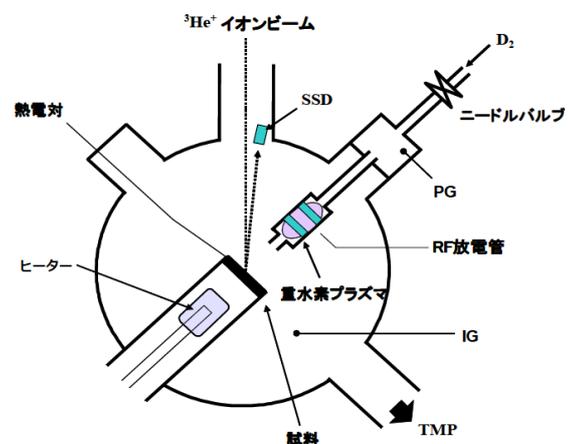


図 1 実験装置の概要図

した核反応法(NRA)によって調べた。NRA 測定の実験体系は図 1 で示される。 $^3\text{He}^+$ ビームは試料に対して 45 度照射した。W 試料は測定中 RF 放電管によって 90 度で常に重水素プラズマに曝露されている。

上記の方法によって、373K~680K の間の試料中の重水素捕捉の温度依存性を調べた。

3. 実験結果

NRA 測定により、各温度下の各 W 試料表面近傍 ($0 \sim 1.0 \mu\text{m}$) の重水素の分布が得られた。試料の $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$ をバルク内と定義し、その区間の平均重水素濃度を算出した。図 2 は各試料のバルク内の平均重水素濃度の温度依存性を示す。図 3 は NRA 法で 373K に測定された各試料中の重水素濃度の深さ分布を示す。以上の結果より、熱処理された W 試料に比べて、照射損傷を受けた W 試料中の重水素の蓄積量が大幅に増加したことが分かった。SRIM 計算で出した dpa 分布 (displacements per atom) で照射損傷を評価すると、W イオンによる照射損傷は He イオンによる照射損傷を大きく上回るが、バルク内の重水素の滞留量を見る限り、He イオン照射でできた重水素を捕捉できるトラップは W イオン照射より多いことが分かった。873K で W イオン照射された試料にさらに He イオンを追加照射すると、重水素の蓄積量が一段と上がったことも分かった。これに対し、過去の研究^[1]では W イオン室温照射の後に He イオンを追加照射した結果、He 単独照射に比べて W-He 複合照射した試料の方が重水素の蓄積量が減少した現象が観察された。このことから、イオン照射温度と He 原子の注入は水素同位体を捕捉するトラップの生成を左右すると考えられる。

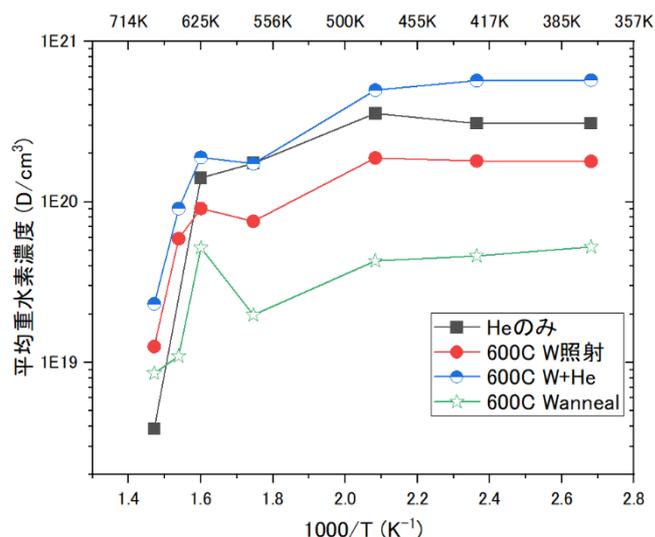


図 2 重水素濃度の温度依存性

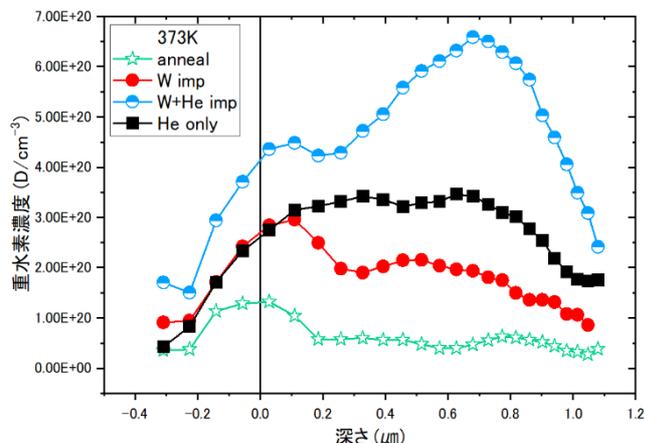


図 3 373K における重水素の深さ分布

[1] S. Kawamura, Bachelor thesis of Department of Nuclear Engineering, Kyoto University (2011).