

小型プラズマ装置APSEDASを用いたタングステンの 重水素保持特性におけるヘリウムプラズマ照射効果 Effect of helium plasma exposure on deuterium retention of tungsten in the compact plasma device APSEDAS

堺貴久¹, 坂本瑞樹¹, 皇甫度均¹, 鈴木啓吾¹, 竹田將生¹, 折笠直輝¹
Takahisa SAKAI¹, Mizuki SAKAMOTO¹, Dogyun HWANGBO¹,
Keigo SUZUKI¹, Masao TAKEDA¹, Naoki ORIKASA¹

¹筑波大学プラズマ研究センター

¹Plasma Research Center, University of Tsukuba

1. 研究背景

ITER ダイバータ及び第一壁では、プラズマ対抗材(PFM)として、高融点、低スパッタリング、高熱伝導率を有するタングステン(W)の使用が検討される。核融合炉の運転中、燃料の水素同位体はPFM内に拡散され、燃料増殖率と安全性に悪影響を及ぼすことが問題となっている。近年、DT反応の副産物であるヘリウム(He)がW内に侵入し、欠陥構造を形成することでWの水素同位体保持を低減する可能性が提唱されている[1]。WのHe照射効果に関する研究はこれまでに様々なプラズマパラメータで水素同位体とHeの混合照射、または交互照射実験により行われてきたが、低エネルギー領域(< 100eV)では現状データにばらつきがあり、Wの水素同位体保持に及ぼす影響については未解明な部分が多い[2]。そこで、本研究ではHe照射欠陥が生成されたWにおける重水素保持のメカニズムを明らかにすることを目的に、小型プラズマ装置APSEDASを用いて低エネルギーでのHeプラズマ及び重水素プラズマ交互照射実験を行った。

2. 実験方法

APSEDASはRFアンテナにヘリコン波を印加して定常プラズマを生成し、金属試料に対して低エネルギー(< 100eV)でのプラズマ照射が可能である。本研究では、以下の4条件でシート状W試料(10×10×0.1 mm³)に対するHeプラズマ照射を行った。

- (a) E(イオンエネルギー) ~ 22eV, T(試料温度) ~ 723K
- (b) E ~ 10eV, T ~ 1400K
- (c) E ~ 30eV, T ~ 1400K
- (d) E ~ 80eV, T ~ 1400K

Heプラズマ照射後、昇温脱離ガス分析装置(TDS)を用いてW表面に捕捉されるHe粒子を昇温脱離した。その際の最高温度は1173 Kであった。その後、He予照射を施した試料に重水素プラズマを照射し、重水素のみ照射したW試料との比較を行った。W試料をTDSで再度昇温加熱し、脱離される重水素を質量分析計(QMS)で検出した。この過程で得られる重水素脱離スペクトルからWの重水素保持特性を評価した。更に走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて試料表面観察を行い、Heプラズマ照射による表面構造変化と重水素保持特性の関係を調べた。

3. 実験結果・考察

条件(a)でHe・重水素交互照射されたWの重水素脱離ス

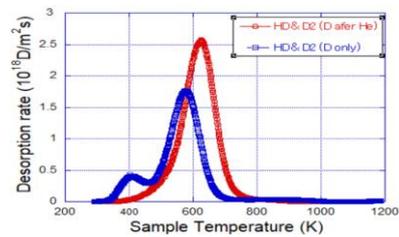


図1: 重水素プラズマ照射(青), He・重水素交互照射(赤)されたWの重水素脱離スペクトル

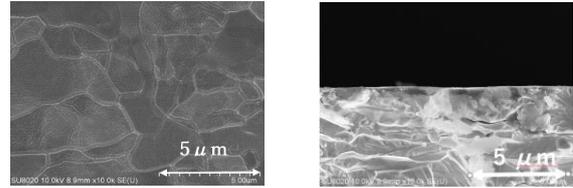


図2: Heプラズマ照射されたW試料の表面(左),断面(右)のSEM画像

ペクトルを図1に示す。He前処理を行うことにより、低温領域の脱離ピークが消滅し、高温側のピーク温度は約40K増加した。この結果から、Heプラズマによって形成された欠陥中に重水素は比較的高いエネルギーで捕捉されていることが示唆された。また、重水素吸蔵量は 2.36×10^{20} D/m² から 2.72×10^{20} D/m² に増加した。

一方、Heプラズマの照射条件より、Heナノバブルの形成[3]が予想されたが、SEM観察の結果W表面及び断面に欠陥は確認されなかった(図2)。このことから、拡散障壁として機能するHeバブルの吸蔵低減効果が生じず、Wの重水素保持量が増加したと予想される。欠陥形成に至らなかった原因として、He照射後に行った昇温加熱で欠陥が消滅した可能性が考えられる。そこで、条件(b)~(d)ではHeプラズマ照射に続けて重水素プラズマ照射を行った。条件(b)では数十nmサイズのHeバブルが多数形成され、条件(c),(d)では繊維状ナノ構造(Fuzz)の形成が確認された。表面にHe欠陥形成されたWの重水素保持特性については本講演で発表する。

4. 参考文献

- [1] M. Miyamoto *et al*, Nucl. Fusion **49** (2009) 065035
- [2] M.J. Baldwin, R.P. Doerner *et al*, Nucl. Fusion **157** (2017) 076031
- [3] G De Temmerman *et al*, Plasma Phys. Control. Fusion **60** (2018) 044018