

ヘリウム-タングステン共堆積層における重水素吸蔵特性

Deuterium retention in helium-tungsten co-deposited layers

高津克朋¹, 坂本瑞樹¹, 皇甫度均¹, 楠本美香都¹, 吉田晴¹, 齋藤康太¹, 佐々木亮¹, 村上創¹, 小野田和考¹Katsutomo TAKATSU¹, Mizuki SAKAMOTO¹, Dogyun HWANGBO¹, Mikoto KUSUMOTO¹ et al.¹筑波大学プラズマ研究センター¹Plasma Research Center, University of Tsukuba

核融合炉では燃料である重水素(D)とトリチウムの核融合反応の生成物としてヘリウム(He)が生成される。He イオンの流入により、ダイバータ材のタングステン(W)はスパッタリングされ、W 表面近傍で He-W の共堆積層が形成される可能性が懸念される[1,2]。

共堆積の形成により、W 近傍では流入するイオン束の反射/吸蔵特性が著しく変化する可能性が示唆されている[1-3]。しかし、He-W 共堆積や燃料の D-W 共堆積による燃料の吸蔵特性の影響については未解明な部分が多い。従って、本研究では小型プラズマ生成装置 APSEDAS を用いて He-W 共堆積層を形成させ、堆積層の物性を系統的に分析し、さらに He-W 共堆積層への D プラズマ照射による D 吸蔵特性の変化を評価する。

APSEDAS を用いて周波数 13.56 MHz の RF 放電の定常 He プラズマを生成し、W 試料に照射する。試料から約 10 mm 上部に W ワイヤーを設置し、-300 ~ 400V 相当の負バイアス電圧を印加して W をスパッタリングさせ、試料表面に共堆積層を形成する。試料への入射イオンエネルギーは 20-30 eV 程度である。共堆積層形成後、同じ試料に D プラズマを照射する。D プラズマはすべての試料において同じ照射量 2.2×10^{25} D/m² で行った。He プラズマ照射時、水冷の有無により試料温度は 1750 K(高温)もしくは 1300 K(低温)であった。また、プラズマのモード(誘導結合モードかヘリコンモード)により入射フラックスに相違があった。予稿に示す試料の条件は以下である： D1：高温/ヘリコン、D4：低温/誘導結合、D5：低温/ヘリコン。また、試料 D1 に関しては D プラズマ照射時の試料温度は 900 K、D4, D5 に関しては 700 K であった。プラズマ照射後、試料の半分は集束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)により断面を観察した。他の半分は昇温脱離法(TDS)測定を用いて、D 吸蔵量を測定した。

図 1 に異なる条件における共堆積層の断面を示す。

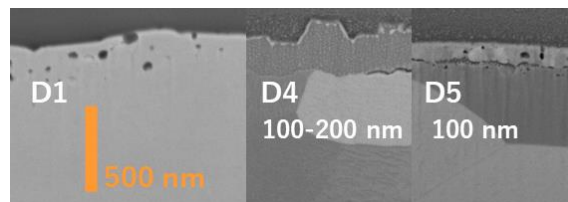


図 1 He-W 共堆積層の断面図

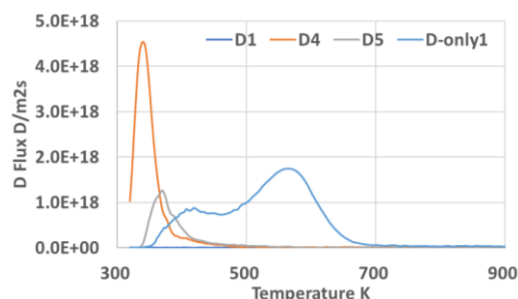


図 2 D の脱離スペクトル

図 1 から試料温度が高い場合(D1)、共堆積層は再結晶効果によりバルクと同じ結晶粒を形成した。また、He バブルは大きくなった。一方、試料温度が低い場合(D4,D5)、バルクとは大別される共堆積層が生成した。D4 の誘導結合下で生成した共堆積層表面では均一な色の堆積層が形成し、微細な内部構造が確認された。D5 のヘリコンモード下の高フラックス時はバルクとの間に長い亀裂が存在し、共堆積層内に小さい結晶粒が形成したことが分かる。放電モードの違いにより、He/W 線強度比により測定した W の混合割合が大きく異なることが分かった。

図 2 に D 脱離スペクトルを示す。試料温度 700 K で D プラズマのみ照射した D-only1 に対し、ほとんどの共堆積試料の脱離量は減少した。D5 では 500 K 以上の脱離ピークが無くなっており、共堆積層および He バブル形成による拡散障壁の形成が考えられる。一方、D4 では 340 K 付近に大きなピークが新たに発生した。これはバルクとは異なるトラップサイトがプラズマ照射条件により変化することを示唆する。

[1] S. Kajita et al., J. Nucl. Mater. **540** (2020) 152350.[2] Y. Gasparyan et al., Fusion Eng. Des. **146** (2019) 1043-1046.[3] V. Kh. Alimov et al., J. Nucl. Mater. **399** (2010) 225-230.