

重水素プラズマ照射された繊維状ナノ構造層における 重水素低温脱離ピークの発現機構の解明

Investigation of low-temperature desorption peak of Deuterium in nanostructured layers

齋藤康太¹, 坂本瑞樹¹, 皇甫度均¹, 楠本美香都¹, 高津克朋¹,

吉田晴¹, 小野田和孝¹, 佐々木亮¹, 村上創¹

Kota SAITO¹, Mizuki SAKAMOTO¹, Dogyun HWANGBO¹, Mikoto KUSUMOTO¹,
Katsutomo TAKATSU¹, Haru YOSHIDA¹, Kazutaka ONODA¹, Ryo SASAKI¹, Sou MURAKAMI¹

筑波大学プラズマ研究センター¹

Plasma Research Center, University of Tsukuba¹

国際熱核融合実験炉 ITER では重水素 (D) とトリチウム (T) を燃料として核融合反応を行う。その際に生成される多量のヘリウム (He) が間欠的熱負荷である ELM 等によって高エネルギーイオンとしてダイバータに流入する。これにより、タングステン (W) 製のダイバータでは繊維状ナノ構造 (Fuzz) が生成される可能性がある [1]。近年では、この Fuzz が燃料吸蔵にどのように影響するかについて、多くの研究が進められている。その多くはプラズマ生成装置を用いて He プラズマを照射して Fuzz 層を生成した後に D₂ プラズマ照射をし、その後昇温脱離装置 TDS で D₂ や He の吸蔵特性を調べる。本研究室における小型プラズマ生成装置 APSEDAS では他の実験装置における結果ではあまり見られない、特徴的な低温脱離ピーク [2] が現れる。

この低温脱離ピークについて、(i) どのようなトラップサイトに捕われるのか (ii) どのような過程でトラップサイトに捕われるのか (iii) なぜ D₂ と He が同じ温度で脱離が起きるのか、の3点のうち特に (i), (ii) について着目した。

先行研究 [2] では He プラズマ照射後に D₂ プラズマ照射をした際に低温脱離ピークが確認されている。本研究では He プラズマ (flux $\sim 6 \times 10^{21}$ He/m²s, fluence $\sim 5 \times 10^{25}$ He/m²) を W 試料 (10 × 10 × 0.2 mm³, バイアス電圧-80 V) に照射して議論する。He プラズマ照射時の試料温度は約 1200 K であり、320 K 程度で現れる低温脱離ピークはプラズマ照射後が原因だと考えられる。

そこで (i) に対する仮説として試料表面に存在する不純物層が低エネルギートラップサイトになっているとして、研磨の有無や超音波洗浄の方法を変えた試料に対して TDS と XPS 解析を行った。結果からは試料表面近傍での不純物と低温脱離ピークの大きさには関係がないことが分かった。

次に超音波洗浄をエタノールで 5 分、純水で 5 分行った W 試料に Fuzz を生成させた。この試料に対して Fig.2 の (a)~(e) の操作をし、それぞれの過程で内部構造を変化させない程度の 430 K まで TDS を行った。Fig.2 の結果から、(a) の TDS では多量の低温脱離ピークが認められた。(b) では (a) の後に TDS を数回行い He を十分脱離することで低温脱離ピークをなくした。(b) の後に 1 日ほど試料を真空中に放置した。すると (c) のように低温脱離が認められた。よって時間経過で He が内部拡散して低エネ

ギートラップサイトに移動することがわかる。また、(b) と同様に (d) で脱離を十分に行った後、約 1 時間 APSEDAS 内で 4.6 Pa の He ガスに曝し、その 2 時間後に TDS を行った。すると (e) のように低温脱離が認められた。よって He ガスが試料表面に影響を与えて低温脱離を起こすことがわかった。

以上のように低温脱離ピークに対して (i) 試料表面の不純物層によるトラップサイトとは考えにくいこと (ii) 長時間真空中に放置することによる内部拡散や、He ガスが表面に吸着することで低温脱離ピークが現れることがわかった。

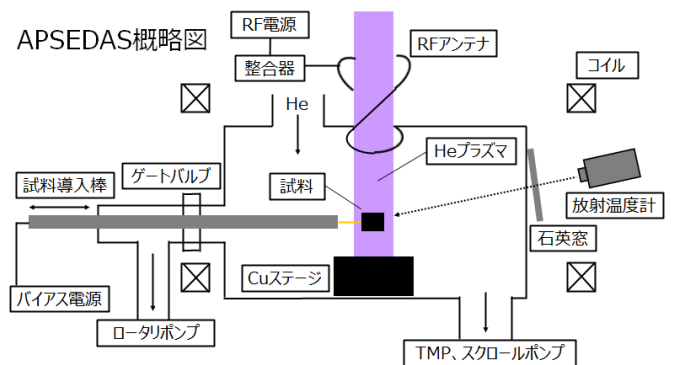


Fig. 1: 小型プラズマ生成装置 APSEDAS の概略図。試料は図左側の試料導入棒によって真空容器内に入る。

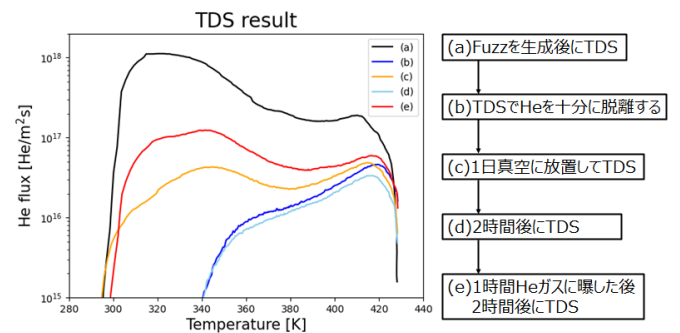


Fig. 2: (a)~(e) の操作における TDS の結果を示す。(b), (d) で He を十分脱離したにも関わらず、(c), (e) で脱離量が増えている。時間経過による内部拡散や He ガスの吸着によって He が低エネルギートラップサイトに捕縛される。

[1] S. Takamura *et al.*, Plasma Fusion Res. **1**, 051 (2006)

[2] T. Sakai *et al.*, Plasma Fusion Res. **17**, 2405062 (2022)