

# 窒素を含む重水素混合プラズマが対向壁タングステン表面に与える効果

## Effects of Nitrogen-seeded Deuterium Plasma on Facing Tungsten Surfaces

高村秀一<sup>1,2</sup>、青田達也<sup>2</sup>、上杉喜彦<sup>3</sup>、菊池祐介<sup>4</sup>、前中志郎<sup>2</sup>、藤田和宣<sup>2</sup>

<sup>1</sup>愛工大, <sup>2</sup>ユメックス, <sup>3</sup>金沢大, <sup>4</sup>兵庫県大

Shuichi TAKAMURA<sup>1,2</sup>, Tatsuya AOTA<sup>2</sup>, Yoshihiko UESUGI<sup>3</sup>, Yusuke KIKUCHI<sup>4</sup>,

Shiro MAENAKA<sup>2</sup>, Kazunobu FUJITA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AIT, <sup>2</sup>YUMEX, <sup>3</sup>Kanazawa Univ., <sup>4</sup>Univ. of Hyogo

### 1. はじめに

DEMO炉に向けて、プラズマ熱処理は核融合発電成功の死命を制する課題である事が広く認識されつつある。もはやタングステン (W) ダイバータでの受熱には限界があり、不純物等による上流部での放射を格段に高め、ダイバータ部に過度の負担を担わせないことが重要である[1]。

このため必然的にこれらの不純物ガスイオンがSOL /ダイバータ・プラズマに含まれることになり、W等のプラズマ対向壁と相互作用することになる。既に、ネオン (Ne) を中心に希ガスが高融点金属材料表面形態へ及ぼす効果について、表面温度1000~1500 K程度の範囲で調べられ、Neのピン止め効果により表面層が硬化して、熱収縮応力と相俟って座屈過程により皺構造が発生することを論じた[2]。最近、トカマク運転を通じて、より低温プラズマで有効な窒素ガスの効果が調べられつつある[3]。一方、タングステン窒化との関連で、水素製造、水分解における光触媒、Liイオン電池等の産業応用への展開[4]にも興味注がれる。

### 2. 重水素・窒素混合ガスプラズマがW表面に与える効果

トカマク運転では、窒化物・アンモニアの生成、閉じ込め性能への効果、壁への重水素保持・透過への影響、窒素イオンの輸送等が調べられてきている。窒化W膜の特性にも関心が集められている[5]。

本稿では金沢大学に設置された直線型プラズマ発生装置AIT - PIDを用いて得られた重水素・窒素混合ガスプラズマをWに照射した結果について報告する。まず、発光分光分析から、クライオポンプ運転で問題視されるアンモニアの先駆体NDラジカルが存在することが判明。一方、NDは窒素一分子活性化再結合にも寄与するようだ。高温 (1300~1500 K) のW表面ではNeの場合と同様に皺構造が認められ、ピッチはイオンフルーエンス  $2 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$  にて150~200 nm 程度であった。

次に冷却ステージを用いた低温 (700~970 K) 照射においては、ITER grade W と PM-Wに青あるいは茶の表面色がもたら

された。図1 (a, b) は低温帯のPM-Wの表面形態のFE-SEM画像である。面の上方から撮影すると、fuzz のように見えるが、表面に沿っての斜め観察は繊維フック状・ループ状の構造を示す。やや高温の図1 (c, d) ではウイスキーの直径数十nm、長さ300 nm以上の林状構造が形成。明らかにされた表面特性：

- (1) 表面温度が低いと、斜入射X線回折ではW(110), W(200), W(211), W(220)以外に窒化物 $\text{W}_2\text{N}(200)$ が検出される。
- (2) ナノインデンテーションでは未照射PM-Wに比べて、見かけ上柔らかく検出されるが、この点を論ずる。
- (3) 全光学反射率は可視波長範囲で50 % 程度減少。
- (4) 斬新なラマン分光スペクトルの取得。

$T = 700 \text{ K}$ , bluish in surface color  
 $\text{D}_2(35 \text{ sccm}) + \text{N}_2(5 \text{ sccm}) \rightarrow \text{PM-W}$ ,  $E = 55 \text{ eV}$   
 $\Gamma = 2.1 \times 10^{21} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $\Phi = 1.6 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$

$T = 870 \text{ K}$ , brownish in surface color  
 $\text{D}_2(32.5 \text{ sccm}) + \text{N}_2(7.5 \text{ sccm}) \rightarrow \text{PM-W}$ ,  $E = 55 \text{ eV}$   
 $\Gamma = 5.0 \times 10^{21} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $\Phi = 3.6 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$

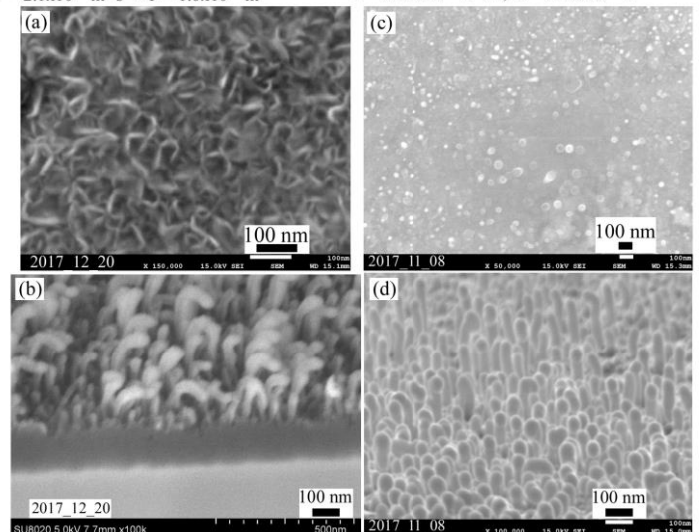


図1 重水素・窒素混合ガスプラズマ照射により変質したPM-Wの表面ナノ構造。(a)(b) 700 K, (c)(d) 870 K, (a)(c)上面観察画像, (b)(d) 表面に沿った斜め観察画像。

### 参考文献

- [1] K. Hoshino et al., Plasma Fusion Res. **12** (2017) 1405023.
- [2] S. Takamura et al., Nucl. Fusion **57** (2017) 086043.
- [3] E. Wolftrum et al., Nucl. Mater. Energy **12** (2017) 18.
- [4] M. Zhang et al., J. Power Sources **322** (2016) 163.
- [5] Y. Tulenberg et al., Nucl. Mater. Energy **13** (2017) 63.