

間欠的ヘリウムプラズマ照射によるナノ構造Wの成長におけるアニーリングの影響  
**Effect of annealing on the growth of nanostructured tungsten under pulsed helium plasma exposure**

鈴木啓吾<sup>1</sup>, 堺貴久<sup>1</sup>, 皇甫度均<sup>1</sup>, 坂本瑞樹<sup>1</sup>, 大野哲靖<sup>2</sup>

Keigo SUZUKI<sup>1</sup>, Takahisa SAKAI<sup>1</sup>, Dogyun HWANGBO<sup>1</sup>, Mizuki SAKAMOTO<sup>1</sup>, Noriyasu OHNO<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>筑波大学プラズマ研究センター, 名古屋大学大学院工学研究科

<sup>1</sup>Plasma Research Center, University of Tsukuba

<sup>2</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya University

### 1. 研究の背景

核融合装置は、核融合副生成物であるヘリウム(He)との相互作用により、W表面に繊維状ナノ構造が形成されることが発見され[1]、プラズマ材料相互作用に大きな変化を与えられている。Wナノ構造の成長過程を理解することは核融合発電の実用化のための重要課題である。

現在、定常プラズマ照射によるナノ構造 W の生成は表面温度 1000-2000K、20 eV 以上の He 入射イオンエネルギーで起きることが分かっている[1]。一方で、表面温度上昇によるアニーリングとナノ構造の成長は競合関係にあることが知られている[2,3]。文献[2]では、試料バイアス変調による電子加熱を用いて試料温度の上昇によるアニーリングと He イオンの流入によるナノ構造成長の競合関係を調査し、一定条件下でナノ構造の成長と縮退を分ける He イオンフラックスの閾値の存在を示した。文献[3]ではナノ構造の成長率とアニーリングによる収縮率を含むモデル計算を行い、核融合炉環境で成長可能なナノ構造の厚さを推定した。

本研究では小型 RF プラズマ生成装置 APSEDAS において RF プラズマ環境下でのパルスプラズマ照射を駆使し、試料温度と He イオンフラックスを独立的に制御する。それにより、プラズマ照射時間とアニーリング時間の割合を調整し、ナノ構造成長とアニーリングによる収縮の競合過程を明らかにする。さらに W 内部の He の吸蔵量とナノ構造成長との関係性を明らかにする。

### 2. 研究方法

試料は 10 mm×10 mm×1 mm の W 板を用いた。APSEDAS で生成した He プラズマを試料に照射し、表面にナノ構造を形成させた。RF プラズマのパルス運転モードを用いて、プラズマの duty 比や照射温度を制御して数種類のナノ構造を生成した。その後、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて

照射前後の W の表面と断面の微細構造を観察し、繊維状ナノ構造形状の形成条件を実験結果から分析した。

### 3. 結果および今後の予定

入射イオン照射量一定のもと、プラズマの duty 比を制御しプラズマの照射・アフタグローの割合を調整した。その結果生成されたナノ構造の例を図 1 に示す。Duty 比の変化により、生成されたナノ構造の厚みが変わることが確認された。

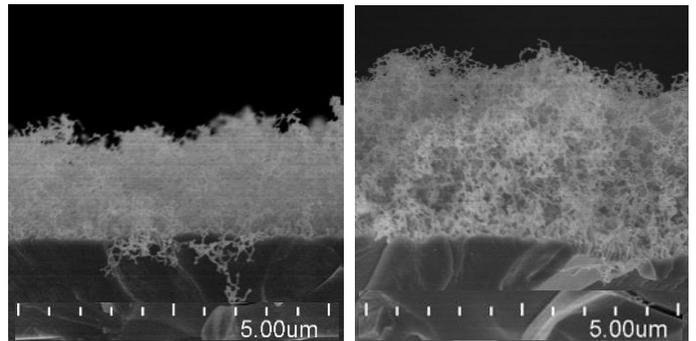


図 1 生成されたナノ構造の断面図。(左) Duty:50%、(右) Duty:70%。試料温度は 1450K。

今後、試料温度と duty 比の精度よく制御し、プラズマ照射時間とアニーリング時間の割合による成長・収縮の影響を明らかにする。また、昇温脱離ガス分離法(TDS)を用いて試料内部の He 吸蔵量を計測し、ナノ構造の成長との関連性を評価する。

### 参考文献

- [1] 梶田信、「タングステン繊維状ナノ構造の核融合炉環境への影響」、『プラズマ・核融合学会誌』94 巻第 6 号、pp.296-299, 2018.
- [2] S. Kajita *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **440** (2013) 55-62.
- [3] G. De Temmerman *et al.*, *Nucl. Mater. Energy* **9** (2019) 255-261.