不純物添加ヘリウムプラズマ照射によるタングステンnano-tendril bundlesの生成 Growth of nano-tendril bundles on tungsten under impurity-seeded helium plasma exposure

皇甫 度均、梶田 信¹、田中 宏彦、大野 哲靖 Dogyun Hwangbo, Shin Kajita¹, Hirohiko Tanaka, Noriyasu Ohno

名大院工、¹名大未来研 Graduate School of Eng., Nagoya Univ. ¹IMaSS, Nagoya Univ.

ITERをはじめとする核融合炉装置において、 窒素(N2)、アルゴン(Ar)、ネオン(Ne)等の不純物 ガスの導入によりプラズマ再結合を促進させ、 ダイバータ壁への熱負荷を低減する試みが検 討されている。しかし、ELMのような間歇的熱 負荷時に伴う高エネルギーの不純物イオンの 入射による表面状態の変化はまだ明らかでな い部分が多い。一方で、炉心から生成するヘリ ウム(He)灰はダイバータ材であるタングステン (W)と相互作用し繊維状ナノ構造を形成するこ とが良く知られている[1]。本研究では、数%の 不純物ガスが混合したHeプラズマの照射によ り nano-tendril bundles (NTBs)と呼ばれる[2]、100 μm以上まで成長する島状の巨大ナノ構造が形 成することを発見し、N₂、Ar、Neガス導入の場 合における生成条件を明らかにする。また、ス パッタリング-再堆積過程がNTBの生成に寄与 する可能性を評価する。

本実験は高密度ダイバータプラズマ模擬装 置NAGDIS-IIを用いて行われた。磁化された定 常Heプラズマ中に不純物ガス流量を調整する ことによりプラズマ中の不純物濃度を3-25%ま で変化させた。W試料(5×10 mm²,厚み0.5 mm, 99.95% PLANSEE)は磁力線方向と平行に挿入 し、負バイアスを印可することによりイオンの 入射イオンエネルギー(50-500 eV)と試料温度 (1100-1600 K)を調節した。入射イオンの流束と フルエンスは0.2-2×10²² m⁻²s⁻¹と0.7-6×10²⁵ m⁻²の 範囲で調節した。プラズマ照射の前後の質量を 電子天秤を用いて測定した。走査型電子顕微鏡 (SEM)を用いて照射後の表面状態を観察し、 NTBの生成を確かめた。

図1はN₂ガス(10.7%)を添加したプラズマ照射 により生成されたNTBを示す。数十 μ mの大きさ を持つ不規則な構造が島状に分布することが 分かる(図1(a))。NTBの形状は先端が尖った針状、 U字のアーチ状、また図1(c)の塊状など、不規則



図1 (a) 窒素(10.7%)を添加したヘリウムプラズマ照射後 のタングステン表面のSEM図。(b)-(d) 拡大されたNTBの(b) Top viewと(c) Side viewおよび(d) 断面

に生成された。また、図1(b)-(d)の断面図のよう に試料表面との接触部が狭く、成長するにつれ 上部が大きくなる構造を示すものが多数観測 された。質量変化の計測およびレーザ顕微鏡に よるNTBの大きさ・密度分布測定により、高エ ネルギー不純物イオン衝突によりW粒子がス パッタリングされ表面に再堆積する過程が NTBの巨大化に重要な寄与を果たすことが示 唆された。

本研究はJSPS科研費15H04229と17J05670、 NINS (Grant Num. 01411702)の助成を受けたも のです。

[1] S. Kajita, W. Sakaguchi, N. Ohno, N. Yoshida, T. Saeki, *Nucl. Fusion*, 49 (2009) 095005.

[2] K.B. Woller, D.G. Whyte, G.M. Wright, *Nuclear Fusion*, 57 (2017) 066005.