

水素ブリストアとミクロン大ヘリウムバブルの形成

Deuterium blister and micron-sized helium bubble formation on tungsten surface
with low-energy and high-flux plasma exposures西島 大¹⁾、岩切宏友²⁾、大野哲靖³⁾、吉田直亮²⁾、高村秀一¹⁾名大工¹⁾、九大応力研²⁾、名大エコ³⁾NISHIJIMA Dai¹⁾, IWAKIRI Hiroto²⁾, OHNO Noriyasu³⁾, YOSHIDA Naoyuki²⁾, TAKAMURA Shuichi¹⁾
Nagoya Univ.^{1,3)} RIAM Kyushu Univ.²⁾

ダイバータ候補材のひとつであるタングステン (W) が約 1000 K 以下で水素同位体プラズマに照射されると、材料表面に Fig. 1 (a) に見られるようなブリストアが形成され、逆に約 1500 K 以上の高温でヘリウム (He) プラズマの照射を受けると Fig. 1 (b) にあるようにミクロン大 He バブル形成に伴う多孔構造が現れることがこれまでの研究によって明らかとなっている[1,2]。このような損傷はイオンの入射エネルギーが 100 eV 以下の低エネルギー照射でも形成されることから、低温(低エネルギー)・高密度(高粒子束)のプラズマにさらされるダイバータ板においても同様の損傷が起こると予想される。このような表面変化により、材料からの不純物の発生、トリチウム吸蔵が増加すると懸念されている。

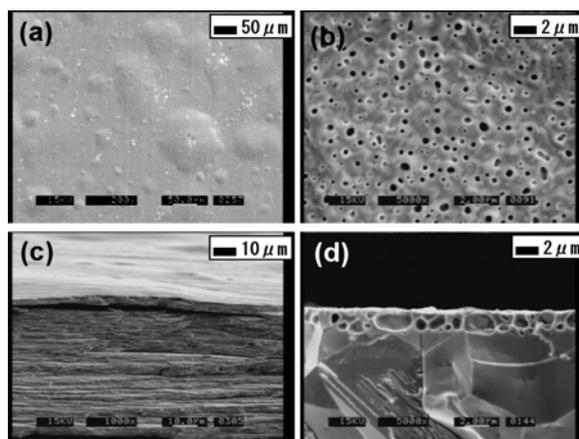


Fig. 1

はじき出し欠陥やスパッタリングが起こらないような低エネルギープラズマ照射でもブリストアや多孔構造が形成される理由が試料の断面観察により明らかとなった。ブリストアが形成された W 試料の断面写真 (Fig. 1 (c)) に示されている通り、バルクには圧延製造時に形成された層状構造があり、ブリストアはこの層をはがすようにして形成されていることがわかった。層と層の間に水素ガス(この場合は重水素 (D)) がたまり、圧力膨張したものと考えられる。続いて He 照射により多孔構造が形成された試料の断面観察により、複数の He バブルが互いに結合しながらより大きい He バブルへ成長していることを示す結果が得られた。初期欠陥が極めて少ない単結晶 W でも同様の多孔構造が観測されたことから、気泡生成に必要な空孔は熱空孔であると考えられる[2]。これは多孔構造が W の再結晶化温度 (1400-1500 K) 以下では形成されにくいこととも整合している。

このような損傷、特にブリストアの抑制方法として、いくつかの重要な結果が得られた。Fig. 2 (a) は Fig. 1 (a) と同じ鏡面仕上げの粉末焼結 W の表面を市販の研磨紙で研磨して傷をつけた試料に Fig. 1 (a) の試料と同様の D プラズマを照射した結果である。ブリストアはまったく観測されなかった。研磨により表面に多数の亀裂が形成され、この亀裂が吸蔵された D の放出経路となったために材料内にブリストア形成に必要なガスの蓄積が起こらなかったのではないかと考えられる。また、鏡面仕上げのままの W 試料に He プラズマを 700 K で 2 時間照射した後、Fig. 1 (a) の試料と同条件の D プラズマを照射した結果を Fig. 2 (b) に示す。直径数十 μm のブリストアは形成されているが、He 未照射の Fig. 1 (a) と比べると、大幅にブリストア形成が抑制されている。He 前照射を行うと D 吸蔵も抑制されることがわかっている[3]。He プラズマ前照射により D の捕捉サイトが He に先に占有されたこと、表面近傍に形成された He-rich 層が D の拡散障壁となったため、D が材料深部へ拡散できなくなったのではないかと考えられる。

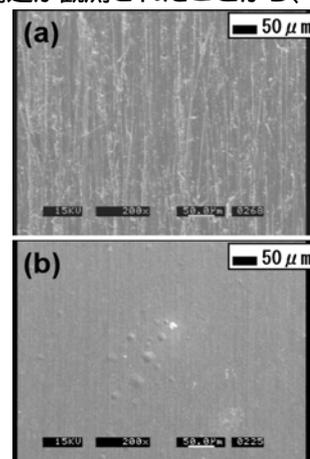


Fig. 2

[1] M. Y. Ye, H. Kanehara, S. Fukuta, N. Ohno, S. Takamura, J. Nucl. Mater. 313-316 (2003) 72-76.

[2] Dai Nishijima, M. Y. Ye, N. Ohno, S. Takamura, J. Nucl. Mater. 329-333 (2004) 1029-1033.

[3] Dai Nishijima, H. iwakiri, et al., accepted for publication in J. Nucl. Mater.