

ELM 様パルスプラズマ照射による微結晶粒タングステンの表面損傷

Surface damage characteristics of toughened, fine-grained, recrystallized tungsten
with repetitive ELM-like pulsed plasma irradiation

菊池祐介, 佐久間一行, 北川賢伸, 浅井康博, 大西晃司, 福本直之, 永田正義,
上田良夫¹⁾, 栗下裕明²⁾

兵庫県立大学工学研究科, ¹⁾大阪大学工学研究科, ²⁾東北大学金材研

Y. Kikuchi, I. Sakuma, Y. Kitagawa, Y. Asai, K. Onishi, N. Fukumoto, M. Nagata, Y. Ueda¹⁾, H. Kurishita²⁾
Graduate School of Engineering., University of Hyogo, ¹⁾Graduate School of Engineering, Osaka University,
²⁾Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

タングステン (W) は高融点, 低水素同位体吸蔵等の優れた特性から核融合炉におけるダイバータ板材料およびアーマ材の候補として期待されている。特にディスラプションや ELM (Edge Localized Mode) によるパルス高熱・粒子負荷は壁材料の寿命に大きな影響を与えると考えられる。我々は兵庫県立大学の磁化同軸プラズマガン

(Magnetized Coaxial Plasma Gun: MCPG) 技術を用いたパルス熱・粒子負荷模擬実験を行っており, ITER で想定される Type I ELM と同程度のパルス熱負荷 (エネルギー密度: $\sim 1 \text{ MJ m}^{-2}$, パルス幅: $\sim 0.2 \text{ ms}$) を確認した[1]。また, ITER grade W, W-Ta 合金, VPS-W 被覆低放射化フェライト鋼 F82H へのパルスプラズマ照射実験を実施し, W 組成による表面損傷の違いを評価した[2]。本研究では, 高靱性を有する微結晶粒 (TFGR: Toughened Fine-Grained Recrystallized) W[3]に ELM 様パルスプラズマを照射し, その表面損傷を調査した。

2. 実験結果

照射実験では TFGR-W として W-1.1% TiC と W-3.3% TaC を試料として用いた。これらの W サンプルに対してヘリウムパルスプラズマ (パルス幅: $\sim 0.2 \text{ ms}$, 線平均電子密度: $\sim 4 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$, プラズマ速度: $\sim 50 \text{ km s}^{-1}$, 入射イオンフラックス: $\sim 2 \times 10^{26} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) を繰り返し照射した。ここで, ガン電源電圧は 6 kV である。試料はターゲットチャンバー内のガン電極から 450 mm 離れた位置に設置し, プラズマパラメータの測定は試料と同じ位置にて実施した。また, 材料表面吸収エネルギーはカロリーメータを用いて測定した。測定チップ材料にはグラファイトおよびタングステンをを用いており, それぞれ $\sim 0.5 \text{ MJ m}^{-2}$, $\sim 0.3 \text{ MJ m}^{-2}$ のエネルギー密度が得られた。ここで, パルスプラズマ照射前の試料温度は室温とした。なお, この条件下において, 単発照射では純 W の表面溶融は発生しないと考えられる。

図 1 に上記のヘリウムパルスプラズマを W-1.1% TiC 試料に 20 ショット照射したときの表面損傷の様子を示す。ここで, 図 1(a)は未照射試料であり, 右端に見えるのは試料端部である。まず, 純 W に同等のパルスプラズマを照射したときにクラックが観察されたのに対して, W-1.1% TiC 試料では周辺部にわずかにクラックが確認されるものの, クラック進展が抑制されることが確認された。一方, 試料表面に $1 \mu\text{m}$ 程度の小さな窪みが確認できる (図 1(c))。また, W-3.3% TaC においても同様の結果が得られた。TFGR-W に繰り返しレーザー照射を行った実験[4]においては, TEM 観察により添加物の TiC が消失, 損耗する結果が得られている。今後, 本研究のパルスプラズマを照射した試料についても同様の観点から分析を実施する予定である。

謝辞:

本研究は科学研究費補助金・若手研究 (B) (23760809) の補助を受けて実施された。

[1] Y. Kikuchi et al., J. Nucl. Mater., Vol. 415 (2011) S55.

[2] Y. Kikuchi et al., J. Nucl. Mater., Vol. 438 (2013) S715.

[3] H. Kurishita et al., J. Nucl. Mater., Vol. 398 (2010) 87.

[4] T. Kawai et al., 27th Symposium on Fusion Technology (SOFT), Liege Belgium (2012) P1-86.

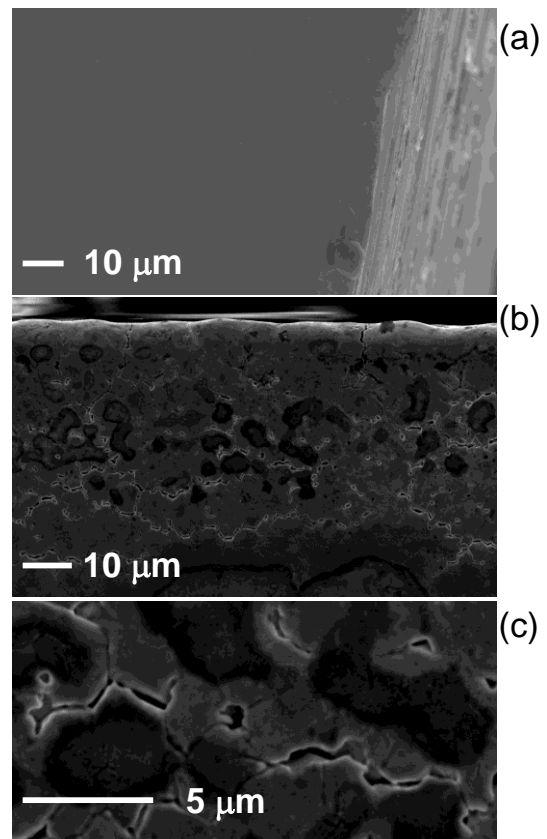


図 1 W-1.1% TiC 試料の表面損傷 ((a) プラズマ照射無し, (b) プラズマ照射有り, (c) (b)の拡大)