

Oral presentation | VI. Fusion Energy Engineering : 601-4 Reactor Component Technology, First Wall, Divertor, Magnet

📅 Fri. Sep 13, 2024 10:00 AM - 10:50 AM JST | Fri. Sep 13, 2024 1:00 AM - 1:50 AM UTC 🏠 Room B(Recture RoomsA 1F A102)

[3B01-03] Divertor Materials

Chair: Teruya Tanaka(NIFS)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[3B01]

Evaluation and modeling of hydrogen permeation behavior during W deposition layer formation process in H-He mixed plasma

*Yuki Uwatoko¹, Kentaro Masuta¹, Kazunari Katayama¹ (1. Kyushu Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[3B02]

Mechanisms of high-temperature oxidation of tungsten and tungsten-rhenium alloy

*Makoto Inami Kobayashi^{1,2}, Teppei Otsuka³, Yasuhisa Oya⁴, Hiroyuki Noto^{1,2}, Masashi Shimada⁵, Yuji Hatano⁶ (1. National Institute for Fusion Science, 2. SOKENDAI, 3. Kindai Univ., 4. Shizuoka Univ., 5. INL, 6. Univ. Toyama)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[3B03]

Flow field evaluation of MHD free surface flow under uniform magnetic field in electromagnetic force controlling fin structure

*Takeshi Wada¹, Satoshi Ito¹, Hidetoshi Hashizume¹ (1. Tohoku University)

10:45 AM - 10:50 AM JST | 1:45 AM - 1:50 AM UTC

Time reserved for Chair

H-He 混合プラズマでの W 堆積層形成過程における水素透過挙動の評価およびモデル化

Evaluation and modeling of hydrogen permeation behavior during W deposition layer formation process in H-He mixed plasma

*上床 雄貴¹, 増田 健太郎¹, 片山 一成¹
¹九州大学

水素—ヘリウム混合プラズマスパッタリングを用いた W 堆積層形成過程における水素透過挙動を観測したところ同条件での水素プラズマと同程度の水素透過束が得られた。He の同時入射によって水素の透過率（透過束/入射束）は増加したことを示唆する。

キーワード： タングステン, 堆積層, 水素透過挙動, ヘリウム

1. 緒言

重水素とトリチウムを燃料とする DT 核融合炉のプラズマ対向壁における水素同位体の透過や蓄積は燃料サイクルの成立性や安全性に影響を及ぼす。本研究グループでは、燃料粒子入射に伴う対向壁材料(W)のスパッタリングによる W 堆積層に着目し、W 堆積層形成過程における水素透過量測定及び W 堆積層の微細構造分析に取り組んできた[1]。一方で、対向壁においては、DT 反応によって生成された He の入射も生じる。そこで、本研究では、H-He 混合プラズマによるスパッタリングで Ni 基板上に W 堆積層を形成し、形成過程における W 堆積層及び Ni 基板を透過する水素挙動を観測した。

2. 実験

図 1 に実験装置概略図を示す。高周波電極に W ターゲットを設置した。穴あきフランジで厚さ 20 μm の Ni 基板を挟み込み、これを透過ポートとしてチャンバー中央に挿入した。フランジにはヒーターを設置し、下部から挿入した熱電対で温度制御を行った。真空排気後、H₂ ガス及び He ガスを流量制御器を介してチャンバーに導入した。プラズマ点火によりスパッタリングが生じ、Ni 基板上に W 堆積層が形成される。Ni 基板及び堆積層を透過した水素を四重極質量分析計(QMS)で測定した。H₂ ガス流量一定の下で水 He ガス流量を変化させ、水素透過への影響を調べた。

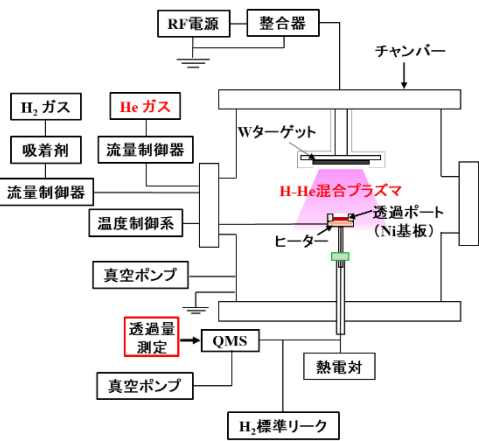


図 1 高周波スパッタ装置図

3. 結果・考察

He 混合なしの場合と水素流量の 50%の流量で He を混合した場合の水素透過束の比較を図 2 に示す。どちらの場合もプラズマ点火直後に同程度のピークを示した後、徐々に低下し、ほぼ同じ定常値となった。He 混合により水素入射束は減少していると考えられることから、He の同時入射によって水素の透過率（透過束/入射束）は増加したことを示唆する。今後は、He 流量の変化や水素ガス駆動透過実験等を行い、詳細に影響を評価していく予定である。

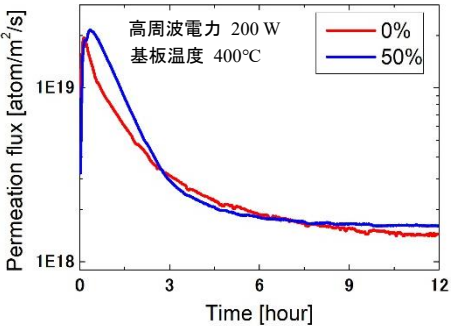


図 2 水素透過束の経時変化

参考文献

[1] K. Masuta, et al, Fusin Sci. Technol., 80 (2024) 540-549.

*Yuki Uwatoko¹, Kentaro Masuta¹ and Kazunari Katayama¹

¹Kyushu Univ.

タングステン及びタングステン・レニウム合金の高温酸化機構に関する研究

Mechanisms of high-temperature oxidation of tungsten and tungsten-rhenium alloy

*小林 真^{1,2}, 大塚 哲平³, 大矢 恭久⁴, 能登裕之^{1,2}, L. Loftus⁵, 島田 雅⁵, 波多野雄治⁶

¹核融合研, ²総研大, ³近畿大, ⁴静岡大, ⁵アイダホ国立研究所, ⁶富山大

タングステン及び中性子照射後のタングステンを模擬したタングステン・レニウム合金について酸素雰囲気下での重量変化挙動を熱重量測定により評価した。タングステンは酸化タングステン粉末が発生し飛散しやすくなるのに対し、タングステン・レニウム合金は、1073 K 以下の温度では相対的に酸化速度が遅く、1173 K でも表面の粉末化は観察されなかった。

キーワード: タングステン, 酸化, 熱重量分析

1. 緒言

プラズマ対向材料であるタングステン(W)は、核融合炉の運転に伴い核反応生成物が蓄積すると共に核発熱により高温となるため、真空喪失事故時に空気により酸化し放射化物が飛散することが懸念される。本研究では、タングステンと主要な核反応生成物であるレニウム(Re)が蓄積した状態を想定したタングステン・レニウム合金について、酸素(O₂)雰囲気下で、様々な温度で熱重量測定を行うことにより酸化速度を評価した。更に、酸化後試料の化学状態等を評価することで、酸化機構に関する知見を得た。

2. 実験・結果

試料として、直径 6 mm, 厚み 0.5 mm のディスク形状の純 W(Pc.W)及び 10%Re 含有 W(W-10%Re)を用いた。これらの試料を熱重量測定装置(Thermogravimetric analysis: TGA, 島津製作所 TGA-50)に導入し、純アルゴン(Ar)雰囲気下で所定の温度(873-1173 K)に昇温した後、20%O₂ 混合 Ar ガスを流通させ、重量の経時変化を測定した。さらに、TGA 測定後の試料について X 線回折(X-Ray Diffraction, XRD)測定を実施することで、酸化試料表面の化学状態を評価した。

TGA 測定の結果を図に示す。1073 K 以下の温度では、W-10%Re の重量増加速度は相対的に低い値であった。一方で 1173 K では両試料で殆ど差異はなかった。TGA 測定後の試料の表面観察及び XRD 測定から、酸化温度の上昇に伴い、Pc.W の主要な表面化学状態は WO₂ から WO₃ となり、それに伴い黒色から黄色に変化した。また、WO₃ 化した Pc.W は粉末化により体積が膨張し、脆い状態であった。一方 W-10%Re は、973 K でも金属状 W が残留しており、1173 K では脆化しているものの、体積変化は殆どなく、色も黒色であった。

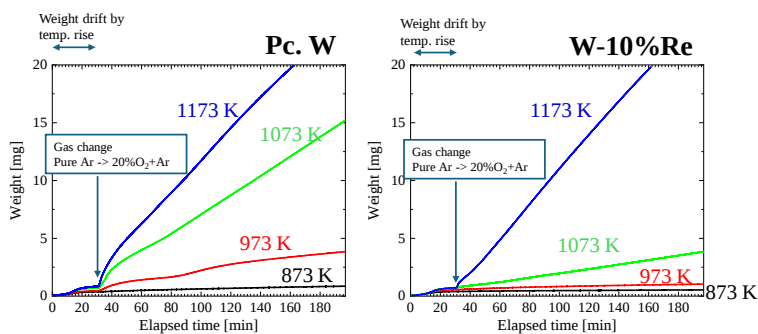


図 各温度における酸素雰囲気下での Pc. W 及び W-10%Re の重量変化挙動

3. 結論

高温酸素雰囲気下で、タングステンは WO₃ 粉末を形成することで飛散しやすくなることが示唆された。タングステン・レニウム合金は、1073 K 以下ではタングステンよりも酸化が抑制された。また、1173 K では両者の酸化速度に差はないものの、タングステン・レニウム合金の粉末化は確認できなかった。

*M.I. Kobayashi^{1,2}, T. Otsuka³, Y. Oya⁴, H. Noto^{1,2}, L. Loftus⁵, M. Shimada⁵, Y. Hatano⁶

¹NIFS., ²SOKENDAI, ³Kindai Univ., ⁴Shizuoka Univ., ⁵INL, ⁶Univ. Toyama

電磁力制御フィン構造における一様磁場下 MHD 自由表面流の流動場評価

Flow filed evaluation of MHD free surface flow under uniform magnetic field in electromagnetic force controlling fin structure

*和田 健志¹, 伊藤 悟¹, 橋爪 秀利¹
¹東北大学

液体金属ダイバータにおける液膜流の流動攪拌に電磁力制御フィンを用いる方法が提案されている。本研究では、液膜流（自由表面流）における攪拌効果を評価するために、一様磁場下における液体金属流動実験を行い、流動場のフィン構造依存性を評価した。また、同体系において、MHD 自由表面流動解析を行い、実験結果と比較することで、フィン構造と攪拌効果の関係性について考察した。

キーワード：液体金属ダイバータ、MHD 効果、自由表面流

1. 緒言 液体金属ダイバータでは MHD 効果により自由表面近傍のみが高速流となることが想定されているが、液体金属を攪拌することで、プラズマ照射による入熱を流体全体に分散し除熱性能を高めることが可能であり、MHD 効果による流動抵抗を利用した電磁力制御フィンを用いることで、液体金属の攪拌効果が得られることが報告されている[1]。本研究では一様な磁場下での液体金属自由表面流内に電磁力制御フィンを配置した条件下で実験と解析を行い、フィン構造と攪拌効果の関係性について評価を行った。
2. 実験 液体金属ガリニスタン幅 60 mm、長さ 600 mm のアクリル製流路に流動させ自由表面流を形成した。一様磁場発生装置として永久磁石を用いており、主流方向に対して垂直に約 0.8 T を印加する。配置したフィンのサイズは幅 3 mm、長さ 8 mm、高さ 5 mm であり、絶縁性のフィン、導電性のフィン、部分的に導電加工したフィン、部分的に絶縁加工したフィンの 4 種類であり、図 1 のように流路中心にフィンを 1 種類配置し、フィン側部の流速を LEVI 法[2]で評価した。
3. 解析 商用有限要素法コードである COMSOL Multiphysics 6.2 の二相層流モジュール内の自由表面ノードを使用して自由表面流動の解析を行った。MHD と自由表面解析の同時計算には計算コスト等の問題があるため、自由表面解析と表面固定での MHD 解析の連成解析を行った。解析体系は実験条件に合わせており、配置したフィンについても実験と同条件である。
4. 結果 図 2 に実験より得られた絶縁性のフィンと部分的に導電加工されたフィンの側部の主流方向流速の z 軸分布と、絶縁性のフィンを配置した際の自由表面を固定した MHD 解析の結果を示す。当結果の解析は表面を液膜厚さ 6 mm に固定して計算を実施したが、実験では液膜はフィン配置や表面張力により 8 mm まで増加した。部分的に施した導電部の流動抵抗による流速の低下が確認でき、フィン上部の流速が約 13 % 高まった。本会にて自由表面流動解析との比較についても併せて報告する。

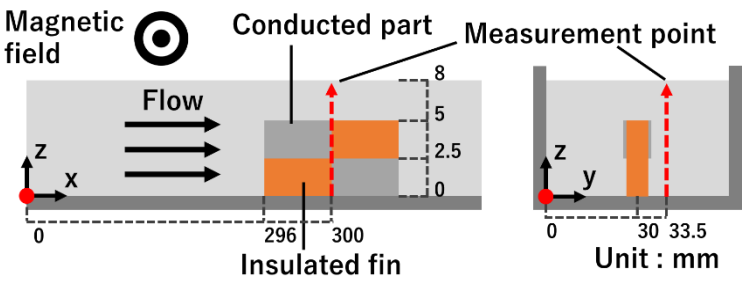


図 1 実験体系

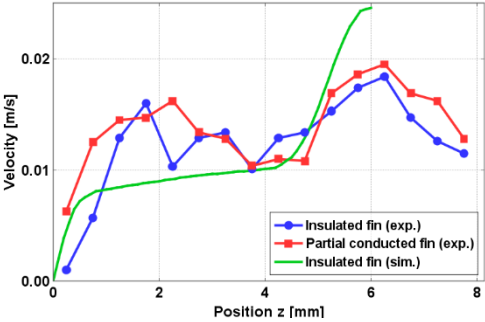


図 2 主流方向流速分布

参考文献

[1] M. Kawamoto et al, Fusion Eng. Des., 146, (2021), 2671-2675 [2] C. B. Read et al, Fusion Tech., 10, (1986), 813-821

謝辞 本研究は科学研究費補助金 基盤研究(A) 21H04449 の助成を受けて実施されたものです。

*Takeshi Wada¹, Satoshi Ito¹ and Hidetoshi Hashizume¹

¹Tohoku Univ.