The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research

23aB04　タングステン第一壁上の炭素混合層の形成メカニズム

Formation Mechanism of Tungsten-carbon Mixed Layer on Tungsten First Wall

上田良夫、崎園大介、沢村功、島田朋尚、西川雅弘
阪大院工
UEDA Yoshio, SAKIZONO Daisuke, SAWAMURA Isao, SHIMADA Tomohisa, NISHIKAWA Masahiro
Graduate School of Engineering, Osaka University

1．はじめに　我々の研究室では、タングステンに水素・炭素混合ビーム（1keV）を照射して、ブリスタリングの発生条件を調べる実験を行ってきた。その結果、ビーム中に約0.3%以上の炭素が混入していると、タングステン内部への水素の拡散が促進され、ブリスタリングが生じやすくなることがわかっている。このように、タングステン第一壁上に形成されるタングステンと炭素の混合層は水素の挙動に大きく影響を及ぼすため、その形成メカニズムについて十分に理解することが必要である。しかしながら、タングステン中の炭素挙動は、衝突カスケードの計算のみでは説明できず、化学スパッタリング、拡散、表面偏析など色々な素過程が絡む複雑な現象であり、十分に制御された条件下での（ビーム中炭素割合、試料温度など）実験データベースの構築と適切なモデリングが必要である。本研究では、現象の理解に資するための実験データベースの構築を目的とした。

2．実験方法と結果　照射実験は、定常高粒子束イオンビーム照射装置（HiFIT）にて行った。イオンエネルギーは、1keV（H_3^+が主成分）で、フラックスは～4×10^{20} $m^{-2}s^{-1}$である。図1に、炭素割合を0.8%とし温度を変化させた場合の（(a)453 K、(b)653 K、(c)913 K）炭素の深さ分布のデータを示す。どの場合でも、表面から 20 nm 付近までの深さで炭素とタングステンの混合層が形成されており、表面から内部に向かって炭素濃度が減少する傾向を示す。衝突カスケードのみの物理過程を含むコードによる計算では、表面から 10nm 付近で炭素濃度が局所的にピークとなる分布を示し、実験データを再現しない。このことから、実際の実験では照射誘起表面偏析等の過程により、炭素が表面に集まっている可能性がある。また、(b)653K と(c)913 K のデータを詳細に比較すると、(c)913 K では表面付近の炭素割合が 40%と低く（(b)653 K では 60%）、また表面層の炭素はすべてタングステンと結合して WC を形成していることがわかる。このことと 913 K という温度が、水素による炭素の化学スパッタリングが最も起こりやすい温度であることを考慮すると、(b)653 K の条件下では表面にわずかに存在するグラファイト状態の炭素が、(c)913 K では化学スパッタリングにより損耗されていると考えられる。しかしながら、この場合でも W と結合した C が 40%程度存在することから、WC の化学系で存在する炭素は化学スパッタリングで損耗されにくいと考えられる。

今後はさらに温度を上げた実験や、ビーム中炭素濃度を上げた実験などを行う。特に核融合炉第一壁を意識した 500℃以上の温度領域での炭素挙動を理解するための実験データベースの構築を行う予定である。詳細は、講演にて。

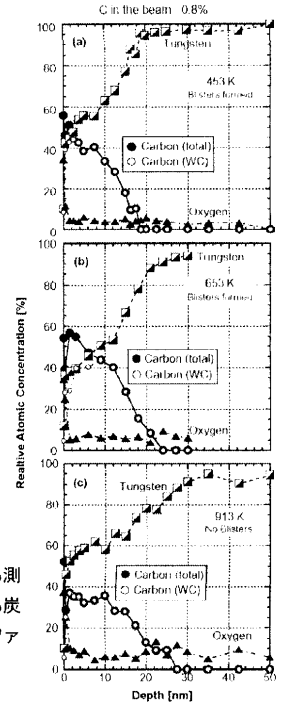


図1　W、C、及びOの深さ分布（XPSによる測定）。○はWと結合してWCを形成している炭素、●はWCを形成しているものと、グラファイト状態の炭素の総和を示す。

23aB05　プラズマ対向材料としてのフェライト鋼の特長と課題

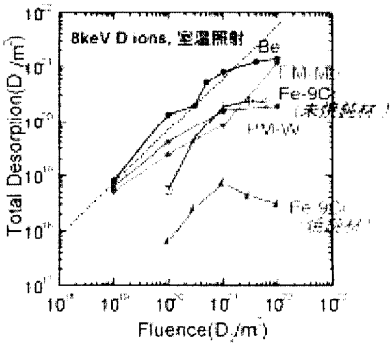
Features and Issues of Ferritic Steels as Plasma Facing Materials

吉田直亮、岩切宏友、菅野隆一朗、谷　宗親 1)
九大応力研、九大総理工院 1)
N. Yoshida, H. Iwakiri, R. Sugano, M. Tani1)
Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University1)

核燃焼プラズマの長時間保持を目指すITERでは、プラズマ対向材料として炭素材料、タングステン、ベリリウムを併用することが提案されている。長時間放電を考えた場合、水素と強い相互作用を示す炭素やベリリウムにおいては、想定される使用温度では放電下で水素の壁内への蓄積が進行するため、時定数の長い水素の吸・放出現象が予測され、長時間にわたる安定したプラズマの保持が難しくなることが懸念される。一方、タングステンは脆い材料であり中性子やプラズマの照射環境下で十分な機械的安定性を保ちうるのかが懸念される。

近年フェライト鋼をプラズマ対向機器材料として使用することが検討されており、強磁性材料であることがむしろメリットとなることが報告されている。本研究では、フェライト鋼をプラズマ対向材料として想定して場合の特長と課題について検討した。

フェライト鋼は靭性に優れた材料であり、デモ炉用の構造材料として低放射化フェライト鋼が開発されている。この材料は、タングステンやベリリウム、炭素材に比べると熱伝導率は低いものの、オーステナイト系ステンレス鋼より約 1.5 倍高い熱伝導率を持つ。従って、少なくとも熱負荷の比較的小さい部位でのブランケット壁材料としては熱的な条件を満たしている。フェライト鋼の大きな特長は、水素の保持量が他の材料に比べて格段に小さいことである。ITER において第一壁材として予定されているベリリウムにおいて、水素は気泡内に閉じ込められることによって 600℃の高温まで表面近傍に保持されるのに比べ、低放射化フェライト鋼（JLF-1）における水素の保持量は 1 桁以上低く 350℃程度でほぼ完全に放出される。特筆すべきは、右図に示すように転位密度の低い Fe-9Cr 焼鈍材においては、室温においても保持量は僅かであり、200℃までの加熱でほぼ完全に放出される。従ってこの材料は室温においても水素を大量に溜め込むことなくほぼ100%の水素リサイクリングが期待でき、定常放電にとって有効な材料と言える。これまでの TRIAM-1M における経験から、フェライト鋼を壁材として用いる場合には、deposition dominant な領域には Fe, Cr を主成分とする堆積層が形成され、堆積時に水素を吸蔵することが予測されるが、プラズマ中の酸素濃度を下げること、壁温度を多少上げることによって、堆積層内への水素の吸蔵を大幅に低減できるものと考えられる。



低エネルギーヘリウムによる損傷やガス吸蔵についても研究を進めている。ヘリウムバブルの形成は避けがたい現象であり、今後、水素の保持・放出挙動、水素リサイクリングへの影響を評価する必要がある。

NII-Electronic Library Service