

25aB09P

ヘリウム照射されたタングステンの高温における微細組織観察

Microstructure evolution in tungsten during low-energy helium ion irradiation at high temperature

馬場友紹¹, 岩切宏友², 吉田直亮²¹九大院, ²九大応力研T. Baba¹, H. Iwakiri², N. Yoshida²¹Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences Kyushu University²Research Institute for Applied Mechanics Kyushu University

[緒言] タングステンは核融合炉におけるプラズマ対向壁の候補材として注目されている。プラズマ対向材料は、核反応生成物であるヘリウム粒子負荷を受けるが、高温領域における照射効果に関する研究は乏しい。本研究では周辺プラズマに相当する低エネルギーHe⁺による損傷形成の基本プロセスを明らかにするために、透過型電子顕微鏡(TEM)による微細損傷組織のその場観察を行った。

[実験方法] 純度 99.95%の焼結タングステン(ニラコ製)を0.1mm厚のTEMディスクに加工後、ツインジェット研磨法によりTEM観察が可能な程度に薄膜化した。作成した試料にTEM鏡筒内に組み込まれたデュオプラズマトロンイオンガンを用いて0.25keV及び8keVのエネルギーを持つHe⁺を照射し、損傷過程を連続的に観察した。標準的な照射強度は 1×10^{18} ions/m²程度である。照射温度は1273Kで行った。

[結果及び考察] 図1は0.25keVのHeを 2.4×10^{20} He⁺/m²照射したときの損傷組織である。0.25keV照射におけるヘリウムの注入レンジは表面から数nm程度であり、またはじき出し損傷も引き起こさないが、直径が100nm以上もあるものも含んだ高密度のヘリウムバブルが観察された。これらのヘリウムバブルは表面から100nm以上の領域まで分布していた。これはタングステン中におけるヘリウム原子の移動度が非常に高いために、材料深部まで拡散したヘリウムが不純物等に捕獲されることによって形成されたものだと考えられる。一方、8keV照射においては低照射領域では球状のバブルが形成され、照射量が増加するに伴いバブルは合体・成長して、高照射領域では内圧の低い六角形状のバブルが中心として形成されるようになった。0.25keV並びに8keV両方の実験で、結晶粒界に蓄積したHeバブルは互いに合体し、粒界破断を起こした。また高照射領域では試料の薄い領域で孔が開いた。孔はHeバブルの集合により薄膜部が貫通した事から形成されたと考えられる。孔は形成後、照射とともにその数と径を増していった。これらの孔は現在までの1273K以下のHe照射実験では確認されていない。このような材料中のHeの挙動が及ぼす影響は高温において極めて複雑かつ顕著に現われ、プラズマ対向材料にとって深刻な問題といえる。

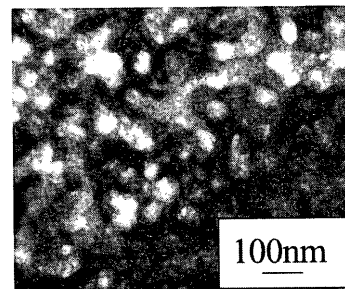


図1: 0.25keVのヘリウムを1273Kで 2.4×10^{20} He⁺/m²照射した時の損傷組織

25aB10P

ヘリウムプラズマ照射によるタングステン表面のバブル形成とその物理的要因

Bubble Formation on Tungsten Surface Irradiated by Low Energy and High Flux Helium Plasma

西島 大¹, 叶 民友², 大野哲靖³, 高村秀一¹¹名大院工, ²マックスプランク研究所, ³名大理工総研D. Nishijima¹, M.Y. Ye², N. Ohno³ and S. Takamura¹¹Grad. Sch. of Enginrg., Nagoya Univ. ²Max-Planck-Institut. fuer Plasmaphysik ³Cent. for Integ. Res. in Sci. and Enginrg. Nagoya Univ.

1. まえがき

次世代核融合実験炉として期待される国際熱核融合実験炉(ITER)においてタングステン(W)はその熱特性、低い水素吸蔵特性によりプラズマ対向壁材の候補としてあげられている。ダイバータプラズマの低溫高密度化に伴い、「低エネルギー・高粒子束」プラズマの照射損傷についての理解が求められるようになった。近年、スパッタリングの閾値以下の低エネルギー・高粒子束のイオン照射によっても材料表面においてプリスターやバブルの形成が起こりうる事が明らかとなった[1, 2]。これらの表面構造の変化は材料脆化、トリチウム吸蔵などの問題につながると思念されているため、このバブルの形成機構について高い関心ももたれている。本研究でははじき出し損傷が起こらない低エネルギーのヘリウム(He)プラズマ照射によってW表面で生じるバブルの発生メカニズムについて報告する。

2. 実験方法

本研究では直線型ダイバータプラズマ模擬実験装置NAGDIS-IIを用いた。本装置は傍熱型LaB₆陰極を用い、TP-D型放電形式によって定常高密度プラズマを生成することができる[3]。

試料はニラコ社製の純度99.95%、厚さ0.2mmの粉末焼結W板を用いた。照射前にアセトンで超音波洗浄

を行った。

3. 実験結果

図1に入射イオンエネルギーが異なる試料(E1, E2)と照射温度が異なる試料(T1, T2)のSEM写真を示す。E1, E2からバブル形成に関して入射イオンエネルギーの依存性が、同じく、T1, T2から照射温度依存性があることがわかる。入射イオンに関しては5eV前後からバブルが発生しなくなった。照射温度に関しては1500K付近を境にしてT1のような直径が200nm程度のバブルや孔が顕

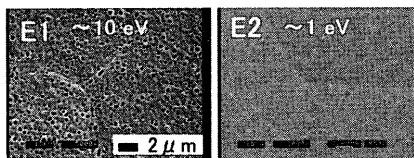


図1: Heプラズマ照射後のW表面SEM写真(x5000)。E1, E2: 入射イオンエネルギー依存性。T1, T2: 照射温度依存性。

著に現れることがわかった。ただし、TEM分析からT2においても直径5nm程度の小さいバブルが存在することが確認された。

4. 考察・まとめ

HeがW内へ進入するには6eV程度の表面ポテンシャル障壁を乗り越える必要があることから、E2ではHeイオンがW内へ入ることができなかったためバブルが形成されなかったと考えられる。また、Wの再結晶化温度が1500K前後であることから、格子間W原子の結合の緩和によりナノオーダーのHeバブルが動き出し、互いに結合して成長すると考えられる。また、詳細はポスターに譲るが、初期欠陥が極めて少ない単結晶Wにおいてもバブルが見られた。このことから、Heを捕捉する欠陥の候補として熱空孔も考慮する必要があることが明らかとなった。

5. 参考文献

- [1] Dai Nishijima, et al., J. Nucl. Mater. 313-316 (2003) 99-103.
- [2] M. Y. Ye, et al., J. Nucl. Mater. 313-316 (2003) 74-78.
- [3] N. Ohno, et al., Nucl. Fusion 41(2001) 1055-1065.