

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 25 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2012

課題番号：20360414

研究課題名(和文) 新しい高粒子束プラズマ源を用いたタングステン壁ヘリウム損傷過程の解明とその制御

研究課題名(英文) Investigation and Control on Helium Defects of Tungsten Wall by Using Compact Plasma Source with High Flux

研究代表者

高村 秀一(TAKAMURA SHUICHI)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：40023254

研究分野：プラズマ・核融合科学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ・核融合、プラズマ生成、プラズマ源、プラズマ - 壁相互作用、タングステン、ヘリウム損傷、ナノ構造、高温電子

1. 研究計画の概要

デモ炉におけるプラズマ対向材の本命と考えられるタングステン(W)を軸に、ヘリウム損傷と考えられている現象の解明ならびに損傷抑制・修復等の制御法を、新しい型のプラズマ発生装置を構築し、これを駆使することによって実施する。具体的には

- (1)試験装置として新しい型のプラズマ発生装置を構築し、特性を明らかにすること。
- (2)低温(1400K 以下)領域で現れるナノ構造形成タングステンの表面物性の評価。
- (3)ナノ構造形成タングステンの修復や薄い炭素被覆によるナノ構造形成阻止の検討。
- (4)高温(1600K 以上)領域で現れるバブル/孔形成の抑制を超微細結晶粒タングステン(UFG-W)、層面と入射面の関係の最適化、等により評価する。

2. 研究の進捗状況

- (1)高粒子束・高熱流束を有するコンパクトなプラズマ源の開発

マルチ・カスプ磁場とソレノイドによる縦磁場を組み合わせたプラズマ発生装置AIT-PIDを完成。 $1 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ 以上の高密度ヘリウム(He)/アルゴン(Ar)プラズマを生成。バルク電子($T_e \sim 5 \text{eV}$)に加えて高温電子($T_e \sim 30 \text{eV}$, 割合: 5～10%)を有する優れた特徴を持つ。

- (2)He損傷に対する温度履歴効果

ナノ構造が形成されて黒色化したWをHeプラズマ中で昇温して1600K前後に数分置くと、W繊維が著しく縮減し太く短くなる温度履歴効果を明らかにした。

- (3)ナノ構造Wの物性評価

炉壁として好ましい三つの特性を明らかにした。第1に、放射率が0.43@0.9 μm から1に

近くなり、ナノ構造形成に伴い1300K程度の冷却効果を発見。第2は、2次電子放出の抑制。このため浮遊電位が深くなり、壁面へのプラズマ熱流入減少の効果がある。最後はスパッタリング率が1/8程度に小さくなる点。

- (4)He損傷の修復

ナノ構造形成し黒色化したW表面をArプラズマ中で1600Kで25分程度、またHeプラズマ中でHeイオンエネルギーを6eV以下で同様の条件により、Wを放出することなく表面を修復し、表面が元来の銀色に戻り、SEM観察でナノ構造の消失に成功。

- (5)単極アークについて

ナノ構造形成したW表面をパルスレーザーで局所加熱することにより単極アークのトリガーに成功した。そのダイナミクス、痕跡等について明らかにした。

- (6)UFG-W 等におけるバブル/孔形成

UFG-W 並びに層面とイオン照射面が平行なITER用Wに対してバブル/孔形成を金属冶金W(PM-W)と比較した結果、損傷の程度がやや低いことが判明した。低温におけるナノ構造形成に関しては差異はない。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

ナノ構造形成Wに対して、当初予想していなかった冷却効果、2次電子放出の抑制、スパッタリングの抑制など材料としては好ましい効果に関する発見があった。更に、ナノ構造形成されても修復して元の面にほぼ戻す手法が見出された点も特筆すべきである。また、単極アーク特性に関する理解が進んだ。

4. 今後の研究の推進方策

研究は大きく進展したが、今後はナノ構造

形成タングステンを逆に核融合炉壁材料として止揚させるという野心的課題の糸口を見つけることとこれまで得られた成果の精緻化の2方面から研究を推進したい。

(1) 成果の精緻化

プラズマ源 AIT-PID の高度化

既存の放電電源の供給上限 50A まで放電電流を上昇し、更なる高密度化、高熱流化をはかる。閉じ込め特性の制御の面からも努力する。

表面温度計測

ナノ構造形成に伴う材料の冷却効果を熱電対を用いて直接的に計測し、これまでの放射温度計測のあいまいさを除去する。

熱伝達係数の評価

電子ビームを用いた熱負荷校正に基づきナノ構造形成 W の熱伝達係数のシース電圧依存性を明らかにし、理論的評価と比較する。

表面被覆の効果

炭素やボロンのナノ構造表面への被覆効果を明らかにする。

バブル/孔の修復

He イオンエネルギー 6eV 以下の He プラズマ照射により、ナノ構造と同様バブル/孔を消滅させ修復することを試みる。

(2) ナノ構造形成 W を核融合炉壁材料として位置付けるための方策

ナノ構造形成 W におけるアーク発生・制御

AIT-PID の放電用熱陰極と軸上対極の位置に小型電子ビーム源を新たに設置し、パルス・ビームによりアーキングを誘発する。また CW 緑色レーザ(1W)の集光とパルス変調によるアークのトリガリングも試みる。

ナノ構造形 W と W ファイバーの最適化

ファイバーの長さや太さを温度履歴やスパッタリングで変化させ、アーキングに対する耐性を評価する。

クラッキングに対する耐性

大気圧マイクロ波プラズマ・ジェットを用いて局所熱負荷に伴う、クラッキング耐性の評価を行う。同じプラズマ・ジェットはアーキングの評価にも使える可能性あり。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

・ S.Kajita, S.Takamura, N.Ohno: “ Prompt Ignition of a Unipolar Arc on Helium Irradiated Tungsten ”, Nuclear Fusion 査読有, **49**, No.3, 032002(4pp) (2009.3)

・ S.Takamura, T.Miyamoto, N.Ohno: “ Deepening of Floating Potential for Tungsten Target Plate on the way to Nanostructure Formation ”, Plasma Fusion Res., 査読有, Vol.5 (2010) 039 (2 pages)/ Rapid Communications, (2011.1)

・ S.Takamura, N.Ohno et al.: “ Compact Plasma Device for PWI Studies ”, J. Plasma Fusion Res. SERIES, 査読有, Vol.9 (2010) pp.441-445, (2010.8)

・ S.Takamura, T. Miyamoto: “ Recovery of Tungsten Surface with Fiber-Form Nanostructure by the Argon Plasma Irradiation at High Surface Temperature ”, Plasma Fusion Res., 査読有, Vol.6 (2011) 1202005 (2 pages), (2011.2)

[学会発表](計 15 件)

・ S.Takamura, N.Ohno, et al.: “ Compact Plasma Devices for PWI Studies ”, 7th General Scientific Assembly of the Asia Plasma and Fusion Association in 2009 and Asia-Pacific Plasma Theory Conference in 2009, P27p2-39 (2009.10)

・ S.Kajita, N.Ohno, S.Takamura: “ Tungsten blow-off in response to the ignition of arcing: revival of arcing issue in future fusion devices ”, 19th International Conference on Plasma-Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, San Diego, California, USA, 010, 0-15 (Oral Presentation), (2010.5)

・ S.Takamura, T.Miyamoto, N.Ohno: “ Investigation on the Effect of Temperature Excursion on the Helium Defects of Tungsten Surface by using Compact Plasma Device ”, 同上, P1-12, (2010.5)

[図書](計 1 件)

高村秀一: 「境界領域プラズマ理工学の基礎」, 森北出版株式会社, 468 頁, 2010 年 1 月

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

[その他]