

高融点金属表面の繊維状ナノ構造形成の物理過程解明に向けて Towards Understanding of Formation Mechanism of Fiber-Form Nanostructure on Refractory Metal Surfaces

高村 秀一、友田 壮、伊藤 貴理、竹内 秀人
Shuichi TAKAMURA, So TOMODA, Takatoshi ITO, Hideto TAKEUCHI

愛知工業大学・工学部・電気学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology

1. はじめに

核融合炉のダイバータ部のプラズマ対向材料として採用が期待されているタングステン (W) は、核融合反応生成物であるヘリウム (He) の照射により約1000 ~ 2000 K の表面温度領域において、繊維状ナノ構造が形成されることが最近わかり、注目を集めている⁽¹⁾。ナノ構造形成に関する物理モデルがWの粘弾性を用いて提案され⁽²⁾、このため異なる金属のナノ構造形成⁽³⁾条件を明らかにする事が望まれている。本研究では高融点金属に焦点をあて、まずモリブデン (Mo) の場合の形成表面温度範囲について、熱電対を用いた正確な測定結果を、次いでタンタル (Ta) についての試みを紹介する。Wに関してはHe照射初期段階から繊維状ナノ構造形成に至る時間変化に注目した。

2. 実験結果

Mo試料板へのHeプラズマ照射は冷却されたステージに置くか熱的に孤立した状態かの二通りで行われた。前者では532 nm レーザー反射光の減衰から、後者は黒体放射冷却に伴う温度低下からナノ構造形成に伴う黒色化を検出した。いずれもK型あるいはR型のシース熱電対を用いて温度測定がなされ、780 ~ 1000 K が繊維状ナノ構造が形成される温度範囲であることを明らかにした。図1はその一例である。

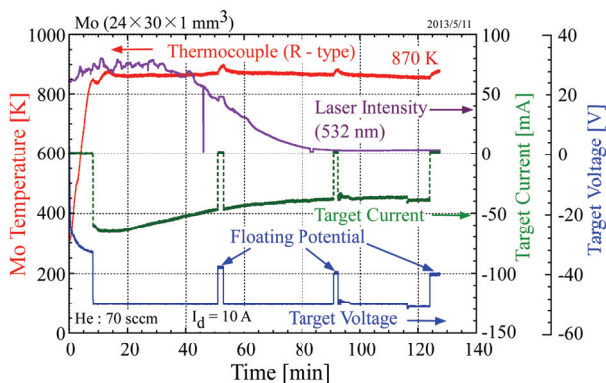


図1 冷却ステージに、耐熱絶縁マイカを介して置かれたMo板へのHeプラズマ照射に伴う温度、レーザー反射光強度、試料電位・電流の時間変化。バイアス電圧は8minより-50V。途中52, 92, 125minにおいて浮遊電位を測定。試料バイアス電流のゆっくりした減少は2次電子放出に伴い浮遊電位が深くなるため。

Wの場合と同様に繊維状ナノ構造による2次電子放出の抑制に基づくと考えられる現象が見て取れる^(4,5)。冷却の仕方により同温度でHe粒子束を変化させて、上限温度変化の有無を吟味したが、有意の差は認められなかった。しかし上限温度近くではレーザー反射光の減衰は「完全」ではなく完全黒体というより数%の反射が残りナノ構造違いを示唆した。また繊維はWのそれよりやや太い。

Ta (融点: 3269 K > 2890 K : Mo融点) については現在800 K程度では図2に示すようにナノスケールのバブル/ホールが形成されるばかりで繊維状ナノ構造形成を観察するに至っていない。

Wについては、He照射を工夫することにより時間変化を空間変化に転換して観測することができた。表面に到達したバブルがホールとなり結果としてW表面が掘られ、残ったWの厚みが薄くなった先端から繊維が成長するように見えた。繊維成長過程を考える上での参考になろう。

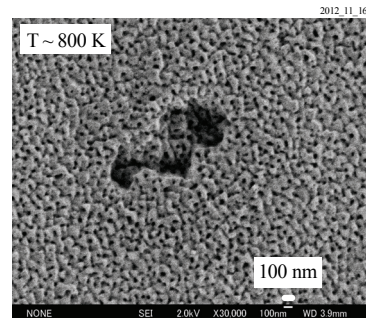


図2 800 K程度で得られたTaのHe損傷。

文 献

- (1) S. Takamura et al.: "Formation of Nanostructured Tungsten with Arborescent Shape due to Helium Plasma Irradiation", Plasma Fusion Res., Vol.1, 051 (2006).
- (2) S.I. Krashenninnikov: "Viscoelastic model of tungsten 'fuzz' growth", Phys. Scr. Vol. T145, 014040 (2011).
- (3) S. Kajita et al.: "Helium plasma implantation on metals: Nanostructure formation and visible-light photocatalytic response", J. Appl. Phys. Vol.113, 134301 (2013).
- (4) S. Takamura et al.: "Effects of fiber-form nanostructure on particle emissions from a tungsten surface in plasmas", Nucl. Fusion Vol.52, 123001 (2012).
- (5) 高村秀一他: 「ヘリウムプラズマ照射により高融点金属表面に形成されたナノ構造」、日本物理学会誌 Vol.68, 602 (2013).