

準大気圧ヘリウムアーク放電プラズマ装置の
開発とタングステンへの照射実験

Development of a sub-atmospheric pressure DC helium arc discharge plasma
device and irradiation experiments to tungsten

門脇 和正¹, 菊池 祐介¹, 青田 達也², 前中 志郎², 藤田 和宣², 高村 秀一²
KADOWAKI Kazumasa¹, KIKUCHI Yusuke¹, AOTA Tatsuya², MAENAKA Shiro²,
FUJITA Kazunori², TAKAMURA Shuichi²

¹兵庫県立大, ²(株)ユメックス

¹Univ. of Hyogo, ²Yumex Inc.

1. はじめに

ヘリウム (He) プラズマ照射によって形成されるタングステン (W) 表面の繊維状ナノ構造 [1] は, 完全黒体に近い放射特性を有する等, 様々な産業応用のポテンシャルを有している。一方, 将来の産業応用を見据えて, 従来の低ガス圧プラズマ装置に比べて低コストで高密度プラズマの生成が可能なプラズマ源の開発と, 繊維状ナノ構造形成が期待される。本研究では準大気圧直流Heアーク放電装置を開発し, W試料への照射実験を行った。本報では, 繊維状ナノ構造形成に初めて成功した結果を報告する。

2. 実験方法・結果

本実験では, 真空容器をドライスロールポンプで排気し, 容器下部からHeガスを1 L/minで流しながら, ガス圧力を5 kPaに維持した。水平対向させたW電極 (陽極: 直径20 mm, 陰極: 直径2 mm) を放電電極とした。また放電開始を容易にするために, 陰極に仕事関数が小さいトリア (ThO₂) 2wt%をWに添加した電極を用いている。放電電源は定常放電用の高速電力増幅器 (±170 V, ±45 A) と初期放電用の高電圧負極性パルス電源 (5 kV, 33 A, 250 μs) を使用した。

電極間距離20 mmにて, 直流Heアーク放電 (放電電圧: 39 V, 電流: 34 A, 電力: 1.3 kW) を生成した。また, 静電プローブにより求めたアーク中心付近の電子温度, 密度, イオンフラックスは0.62 eV, $1.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, $1.9 \times 10^{22} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ である。なお, 本実験ではガス圧力が5 kPaと高いため, イオン-中性粒子衝突を考慮したプローブ理論[2]を適用して, より正確なパラメータ評価を今後行う予定である。

短冊状のW試料 (10 mm × 15 mm × 2 mm) をアーク内に挿入し, Heプラズマを2時間照射した。W試料は水冷銅ブロックに接続されており,

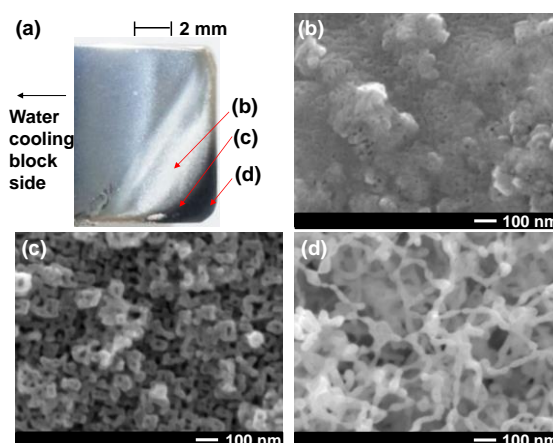


図1(a) He プラズマ照射後の W 試料, (b)~(d) FE-SEM 写真(観察箇所は(a)中に表示)

照射中の試料表面温度は約1000°Cである。本実験では, 試料に容器壁に対して負のバイアス電圧(-114 V)を加えている。ここで, シース中の中性He原子との衝突を考えると, W試料へのHeイオン入射エネルギーは分布を有し, 単色の場合の構造形成閾値エネルギー (20 eV程度) 以下のイオン照射効果も考慮する必要がある。

照射後のW試料表面 (図1(a)) から, 試料周辺部を中心に黒色化が発生している。FE-SEM観察結果から, 10 nm程度のHeバブルホール (図1(b)), ループ構造 (図1(c)), 繊維状ナノ構造 (図1(d)) が確認された。W試料内でこのような表面構造の違いが生じる理由は, W表面へのイオン粒子束密度の勾配に起因している。試料のエッジを丸める加工をすることで, より広い領域を黒色化することに成功した。ポスター発表ではそれらの結果も合わせて報告する。

参考文献

- [1] 高村秀一, プラズマ・核融合学会誌, Vol. 94, No. 6, pp. 294-295 (2018)
[2] S. Saito, A. Razzak, S. Takamura, M. R. Talukder, J. Appl. Phys., Vol. 107, 123306 (2010)