

ITERダイバータ赤外サーモグラフィのための加熱中タングステンの
微細かつ動的な放射率変化に関する研究**A study on the dynamic emissivity change of tungsten during heating
for ITER diverter infrared thermography**

牛木知彦*, 今澤良太*, 村上英利*, 清水宏祐*, 杉江達夫**, 波多江仰紀*

Tomohiko USHIKI*, Ryota IMAZAWA*, Hidetoshi MURAKAMI*, Kosuke
SHIMIZU*, Tatsuo SUGIE**, Takaki HATAE*

* QST, ** NAT

ITERダイバータ赤外サーモグラフィ装置 (IRTh)では200°Cから3600°Cにわたる広範囲のダイバータ表面温度を10%の精度で計測することが要求されている。サーモグラフィによりこの広い温度範囲を高精度に計測するためには、計測温度範囲にわたって変化するダイバータ放射率の温度特性の理解が不可欠である。これまで我々は、放射率の温度特性を考慮した高精度な温度計測を実現するために、観測波長である1.5 μm -4.5 μm の波長範囲を対象に、200°Cから1900°Cのタングステン放射率の温度特性の詳細調査を実施してきた[1]。しかし、この先行研究からは、約700°Cから1700°Cの温度区間においてはタングステンの放射率は再現性がないだけでなく、温度ヒステリシスを有することが明らかになり、上記温度区間での10%の温度計測精度の実現が難しいという課題が浮き彫りとなっていた[1]。本研究では、この課題を克服し高精度な温度計測を実現するため、700°Cから1700°Cのタングステン放射率の非再現性と温度ヒステリシスの原因の調査を行った。

今回我々は、「上記の放射率の非再現性と温度ヒステリシスはタングステンの再結晶過程に伴う結晶構造の変化に起因する」という仮説を立て、100 μm 以下の高い空間分解能を有する赤外計測系を開発し、昇温中のタングステン放射率の空間分布の計測を実施した。図1(a)は波長4.56 μm における昇温中のタングステン試料表

面の放射率、(b)は各温度の放射率の空間分布を示している。今回の試験からタングステンの放射率は先行研究と同様に700°Cから800°Cにかけて急激にRamp upし、1200から1600°CにかけてRamp downするまでの温度区間で大きな温度ヒステリシスを有すること(図1(a))、またこの温度区間において試料表面の放射率はマイクロスケールでダイナミックに変化することが明らかになった(図1(b))。さらに、図1のケースとは異なる昇温パターンとして、放射率のRamp downの途中(1400°C程度)で昇温を停止した試料表面のSEM観察から、試料表面の放射率が高いエリアと低いエリアでは明瞭な表面構造の違いが存在することが明らかになった。また、これらの試験結果に加え、レーザー顕微鏡等による表面分析より、放射率の700°Cから800°Cにかけての放射率のramp upはタングステン表面上の数十nm程度の表層のみで成長するナノスケールの結晶構造に起因するものであること、1200から1600°Cにかけての放射率のRamp downはその構造がAnnealingされて消滅する過程であることを世界で初めて明らかにした。本発表では現象の詳細と今後の温度計測精度向上に向けた展望について報告する。

Reference

[1] T. Ushiki, R. Imazawa, H. Murakami, K. Shimizu, T. Sugie, and T. Hatae, Fusion Eng. Des. 168 (2021) 112665

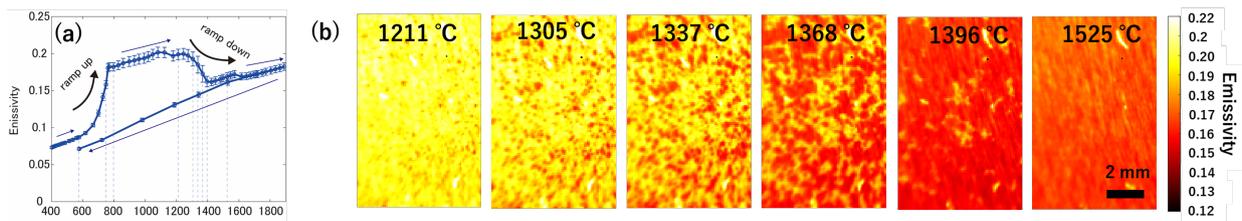


図1 : (a) 昇温中のタングステン試料表面の放射率 (波長 : 4.56 μm) , (b)赤外計測系により撮影した各温度のタングステン表面の放射率の空間分布