

高密度等离子体环境下液态金属锡与毛细多孔筛网的相容性研究

叶宗标¹, 马晓春^{1,2}, 王博¹, 王志君³, 颜强³, 贺平逆¹, 张坤^{1*}, 苟富均^{1*}

1 四川大学 原子核科学技术研究所 成都 610064

2 中国核动力研究设计院 成都 610005

3 成都大学 高等研究院 成都 610106

Email: kzhang@scu.edu.cn; goufujun@scu.edu.cn

摘要:

聚变能作为获取能源、解决能源危机的终极解决方案,是人类未来能源问题的主要选择。目前磁约束托卡马克装置是最具潜力的技术方案,但其中仍存在大量的问题急需解决,其中关键问题之一便是等离子体与壁材料相互作用[1]。液态金属在聚变堆环境具有良好的自修复功能,可以避免被等离子体和中子侵蚀带来的持续损伤等一系列功能退化问题[2],是现行固体材料可靠的备选方案[3]。基于毛细筛网结构的液态金属系统(CPS-LM)能克服液态金属在强电磁场下的MHD效应,是目前液态金属壁/偏滤器主要的应用手段。本论文针对液态金属Sn的CPS结构在高密度等离子体条件下的相容性进行了实验研究。结果发现,相较于初始状态的CPS,处于900℃的高温静态的液态金属Sn环境中的CPS结构形貌并未发生明显变化。在 10^{19} m^{-3} , ~1 eV的H₂等离子体环境下,Sn-CPS结构会达到600℃,经过半个小时处理以后,W基CPS表面形成明显的晶界结构。在相同的Ar等离子体条件下处理下,基体温度会达到~950℃,CPS表面也呈现了一定的结晶化结构,随着直线装置输入功率的进一步提升,CPS表面会出现更大的晶粒结构。在引入偏压系统以后,在0 V~16 V的范围内,Sn-CPS结构中的W基CPS会随着偏压的增大,产生更显著的辐照损伤,形成更为细小的固体颗粒结构。这是由于Sn-CPS结构中有一部分CPS结构会直接暴露在等离子体环境中,易被等离子体直接作用产生损伤。然而在等离子体辐照以前,经过充分预润湿的Sn-CPS结构在相同等离子体条件下,会保持初始的CPS形貌结构。因此,润湿对增强Sn-CPS结构在等离子体环境中的相容性具有重要作用。

关键词: 面向等离子体材料; 液态锡; 毛细多孔系统; 浸润; 侵蚀

参考文献:

[1] Morgan T W, Rindt P, Van Eden G G, et al. Liquid metals as a divertor plasma-facing material explored using the Pilot-PSI and Magnum-PSI linear devices[J]. Plasma Physics and Controlled Fusion, 2017, 60(1): 014025.

[2] De Temmerman G, Van Den Berg M A, Scholten J, et al. High heat flux capabilities of the Magnum-PSI linear plasma device[J]. Fusion Engineering and Design, 2013, 88(6-8): 483-487.

[3] Coenen J W, De Temmerman G, Federici G, et al. Liquid metals as alternative solution for the power exhaust of future fusion devices: status and perspective[J]. Physica Scripta, 2014, 2014(T159): 014037.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 NO. 2019SCU12072; 国家自然科学基金项目 NO. 11905151, NO. 11875198 等。