

W-Y₂O₃ 在稳态和瞬态氢离子体协同辐照下的高热负荷行为

陈哲¹, 刘翔², 练友运¹, 封范¹, 王建豹¹, 谭扬¹

¹中核集团核工业西南物理研究院, 成都 610225

Email: chenzhe@swip.ac.cn

摘要: 降低钨基面向等离子体材料 (PFM) 韧脆转变温度 (DBTT) 的同时提高其再结晶温度 (RCT) 被认为是拓宽钨基 PFM 安全服役温度区间的有效途径。在本工作中, 我们制备了一种具有较低 DBTT 和较高 RCT 的新型氧化钇弥散强化钨合金 (W-Y₂O₃)。然后在荷兰 DIFFER 的 Magnum-PSI 上对其在稳态和瞬态氢等离子体协同辐照下的高热负荷行为进行研究。实验中, 稳态热负荷在 8.35~16.32MW·m⁻² 之间, 其所导致的样品表面基体温度在 1271~1982°C 之间; 瞬态热负荷约为 0.50GW·m⁻², 200 秒 (5Hz) 辐照时间内共计进行 1000 次瞬态热负荷。实验结果表明: 当 W-Y₂O₃ 的表面基体温度在 1271°C 时, 其表面除产生 Y₂O₃/钨界面的优先刻蚀外, 并没有产生其他额外的辐照损伤。但是, 当样品表面基体温度升高到 1389°C 时, 其表面产生了沿晶裂纹。而当辐照高达 1666°C 和 1982°C 时, W-Y₂O₃ 中产生了明显的晶粒长大和再结晶行为。尽管辐照后 W-Y₂O₃ 出现了严重的再结晶和晶间裂纹, 但是我们并没有发现宏观大裂纹的产生。这表明, 降低 DBTT 的同时提高钨的 RCT 是提高钨基 PFM 热负荷处理能力的有效途径。除此之外, 随着基体温度的升高, W-Y₂O₃ 中逐渐发现了钨/Y₂O₃ 复合物的形成、Y₂O₃ 的熔化和蒸发、以及钨的局域熔化等现象。这表明, 尽管 W-Y₂O₃ 具有优异的热负荷处理能力, 但是 Y₂O₃ 的掺杂使得等离子体与钨基 PFM 的相互作用变得更加复杂。特别是钨/Y₂O₃ 复合灰尘的产生、迁移和沉积等行为将有可能带来芯部等离子体的污染, 并对燃料循环带来不利影响。

关键词: 聚变堆; 钨; 稳态热负荷; 瞬态负荷; 氢等离子体

基金项目: 国际热能核聚变实验堆 (ITER) 计划专项 (2015GB105003), 国家自然科学基金项目 (11605044, 11905045)