

CFETR 候选固态氚增殖材料中子辐照释氚性能综合分析

戚强^{1*}, 顾守曦¹, 张迎春², 赵明忠³, 孙飞³, 纪宝龙¹, Moeko Nakata³, 周海山¹, Yasuhisa Oya³, 刘松林¹, 罗广南^{1*}

¹中科院合肥物质科学研究院 等离子体物理研究所 安徽 合肥 20031

²北京科技大学材料科学与工程学院 北京 10083

³静冈大学 静冈 日本

Email: qiqiang@ipp.ac.cn

摘要: 中国聚变工程实验堆 CFETR, 其任务之一是实现氚的自持。CFETR 候选固态氚增殖材料 Li_2TiO_3 和 Li_4SiO_4 陶瓷以其优越的释氚性能、热-力学性能以及高锂原子密度, 被视为最有前景的氚增殖材料。复相氚增殖材料 $\text{Li}_2\text{TiO}_3\text{-Li}_4\text{SiO}_4$ 既具有 Li_2TiO_3 优越的释氚性能和力学性能, 又兼具 Li_4SiO_4 的高锂原子密度, 被视为新型先进的氚增殖材料。 Li_2TiO_3 和 Li_4SiO_4 氚释放行为的研究由于实验仪器和实验条件的不同, 数据相差很大, 无法准确评估氚增殖材料的性能, 为增殖材料的选取带来难题。本工作将三种氚增殖材料同时进行中子辐照, 并在同一释氚装置中进行氚的释放, 综合对比分析了 Li_2TiO_3 , Li_4SiO_4 以及先进氚增殖材料 $\text{Li}_2\text{TiO}_3\text{-Li}_4\text{SiO}_4$ 的氚释放行为。

氚增殖材料中子辐照实验是在日本京都大学反应堆中进行, 氚释放实验是在静冈大学进行。通过氚释放实验发现, 氚的释放形式主要是氚水, 对比分析三种小球的释放谱, Li_2TiO_3 和 Li_4SiO_4 只有一个主要的释放峰, 而新型复相材料核-壳结构 $\text{Li}_2\text{TiO}_3\text{-Li}_4\text{SiO}_4$ 有两个主要的释放峰。对比分析升温速率为 20K/min 氚的释放峰温度可知, Li_4SiO_4 释放峰值温度最低, 释放峰值温度为 280°C, 而 Li_2TiO_3 的释放峰相对较高, 其释放峰值温度为 401°C。对于新型复相核-壳结构 $\text{Li}_2\text{TiO}_3\text{-Li}_4\text{SiO}_4$ 的两个释放峰, 其低温峰值处温度为 316°C, 高温峰值温度为 477°C。从氚释放的实验结果综合分析可知, Li_4SiO_4 比其他两种材料更易于释氚。同时通过氚的释放实验可以获得氚的释放动力学参数, 为 CFETR 工程设计和模拟提供数据支撑。通过实验获得氚在 Li_4SiO_4 中的扩散激活能为 0.29 eV, 在 Li_2TiO_3 中的扩散激活能为 0.49 eV, 而在复相核壳结构材料对应高温峰的扩散激活能为 1.78 eV。从扩散动力学参数看, 氚在 Li_4SiO_4 中的扩散激活能最小, 因此更易于释氚, 与氚的释放峰温度高低的实验结果一致。为了确定氚的释放率, 本文进行了氚的恒温释放实验, 结果表明, 中子辐照后的 Li_4SiO_4 在 300°C 恒温 1 小时几乎所有的氚 (98% 以上) 都可以释放出来。然而对于 Li_2TiO_3 和新型复相增殖材料 $\text{Li}_2\text{TiO}_3\text{-Li}_4\text{SiO}_4$ 需要在 400°C 恒温 1 小时氚才能几乎完全 (98% 以上) 释放出来。

本文采用同一中子辐照装置, 并且在同一释氚装置中综合分析了 CFETR 候选固态氚增殖材料中子辐照释氚行为, 并获得氚在材料中的扩散动力学参数, 希望为 CFETR 的建设提供参考数据。

关键词: CFETR; 氚增殖材料; 氚释放; 中子辐照

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11605230 and 51372017)