ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ НА РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫЕ ТЕРМОЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Б.И. Хрипунов1, В.С. Койдан1, А.И. Рязанов1, В.М. Гуреев1, В.В. Затекин2, С.Н. Корниенко1, В.С. Куликаускас2, С.Т. Латушкин1, Е.В. Семенов1, В.Г. Столярова1, В.Н. Унежев1

1НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия  
2Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,  
 Московский государственный университет, г. Москва, Россия

Выбор материалов, обращенных к плазме в камере термоядерной системы (реактора-токамака, ТИН) на сегодняшний день выходит в ряд наиболее острых проблем. Решение необходимо искать как в ослаблении влияния термоядерной плазмы на стенку, так и в создании материалов, позволяющих выдерживать воздействие плазмы и нейтронного излучения в течение всего срока службы реактора. Стационарный характер действия реактора, основанного на реакции синтеза DT, обусловливает значительный флюенс нейтронов (≥1026 н/м2, 14 МэВ), вызывающих в конструкционных материалах накопление радиационных повреждений и деградацию их физических и механических свойств. К настоящему времени накоплена обширная база данных, характеризующих материалы, обращенные к плазме (углеродные материалы, вольфрам, бериллий), в разных режимах работы реактора-токамака. Однако, прогнозирование изменений свойств материалов с учетом радиационных повреждений в течение длительного срока работы реактора не находит должного экспериментального обоснования.

В НИЦ «Курчатовский институт» ведется комплексное экспериментальное исследование эффектов, связанных с воздействием плазмы на радиационно-поврежденные материалы. Радиационные повреждения высокого уровня получаются с помощью ионов, ускоренных до высоких энергий МэВ-ного диапазона. Возможность синергетического эффекта, связанного с воздействием плазмы и радиационных повреждений на материалы, обращенные к плазме ТЯР, исследована на различных материалах. Изучены углеграфитовые материалы (композит SEP-NB-31, МПГ-8, пирографит), обнаружено ускорение их эрозии в стационарной дейтериевой плазме при уровне повреждений 1 – 10 сна [1, 2]. В последнее время экспериментальная работа сосредоточена на вольфраме [3], включая кандидатный материал ИТЭР (PLANSEE). Получены образцы вольфрама с повреждениями на уровне от 0,1 до сотен смещений на атом, что покрывает весь диапазон, соответствующий таким реакторам, как ИТЭР и ДЕМО. Изучаются характеристики эрозии материалов в плазме и накопление изотопов водорода (тритиевая проблема). Материалы облучались на ускорителе тяжелых ионов (циклотроне) ионами гелия с энергией 3,5 – 4 МэВ, ионами углерода 10 МэВ и протонами 4 – 7,5 МэВ с полным флюенсом 1021 – 1023 ион/м2. Облученные образцы подвергались экспозиции в стационарной дейтериевой плазме на установке ЛЕНТА, которая используется для моделирования дивертора токамака. На образцах с флюенсом плазменных ионов 1025 – 1026 м–2 изучена модификация поверхности материалов (СЭМ). Ядерными методами измерены концентрации изотопов водорода и гелия в облученном вольфраме (метод ядер отдачи, обратное резерфордовское рассеяние). Обнаружено ускорение эрозии радиационно-поврежденных углеграфитовых материалов. В вольфраме обнаружено сильное возрастание накопления дейтерия на глубине пробега быстрых ионов гелия.

Приводится сравнение с результатами других авторов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения метода в исследованиях материалов первой стенки термоядерного реактора с учетом повреждения нейтронами.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 15-08-04409-а, № 13-08-00692-а.

Литература

1. B.I.Khripunov, et al., JNM, 390-391 (2009) 921-924.
2. A.I.Ryazanov, et al., Fus. Sci.& Technol., V.61, Nr. 2, FUSTE8 (2) 107-117 (2012).
3. V.S. Koidan, et al. IAEA FEC-25, 2014, CD Rep. MPT/P7-37.