ПОВЕДЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННОГО ВОЛЬФРАМА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОТОКОМ СТАЦИОНАРНОЙ ДЕЙТЕРИЕВОЙ ПЛАЗМЫ

В.М. Гуреев1, В.В. Затекин2, В.С. Койдан1, С.Н. Корниенко1, В.С. Куликаускас2, С.Т. Латушкин1, А.М. Муксунов1, А.И. Рязанов1, Е.В. Семенов1, В.Г. Столярова1, Б.И. Хрипунов1, В.Н. Унежев1

1НИЦ “Курчатовский институт», г. Москва, Россия   
2Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ,  
 г. Москва, Россия

Исследован вольфрам, как возможный материал первой стенки и дивертора, предлагаемый для использования в термоядерном реакторе-токамаке. Материалы первой стенки и дивертора подвергаются высоким нагрузкам со стороны плазмы (тепловым, корпускулярным, нейтронным), в результате чего происходит деградация их физических и механических свойств. Повреждение материалов нейтронами проявляется в смещении атомов материала из их положений и генерацию газов в результате ядерных реакций (гелия, водорода). Для высоких доз облучения (≥1026 н/м2) следует ожидать значительного влияния накопления дефектов на характеристики материалов, проявляющиеся при воздействии на них плазмы.

В экспериментальных работах последних лет показано (см. например, [1]) , что получение повреждений высокого уровня с помощью ионов высоких энергий является перспективным методом для анализа влияния нейтронного фактора на материалы. В настоящее время данный метод развивается нами в Курчатовском институте в применении к вольфраму, как кандидатному материалу покрытия камеры термоядерного реактора.

Исследовано влияние радиационных повреждений в вольфраме на результат бомбардировки частицами плазмы. На сегодняшний день нами получены образцы радиационно-поврежденного вольфрама до уровней, лежащих в диапазоне от 0,05 до 100 сна и более, что покрывает весь диапазон, представляющий интерес для термоядерных исследований, включая прогнозы для реакторов ИТЭР, ДЕМО. Эксперименты включают облучение материалов ускоренными ионами (гелия, углерода, протонами) с энергией 3,5 – 10 МэВ и последующую экспозицию облученного материала в стационарной высокопоточной плазме на установке ЛЕНТА.

Измерены скорости эрозии облученного материала в дейтериевой плазме при энергии дейтонов 250 эВ в потоках 1025 – 1026 ион/м2, изучены особенности модификации поверхности в процессе эрозии. Значительные количества накопленного гелия приводят к появлению полостей и пор, заполненных гелием (до глубины около 6 микрон), что приводит к образованию особой структуры под воздействием бомбардировки частицами плазмы, что в свою очередь может влиять на эрозию материала. Некоторый рост скорости эрозии получен в слое с уровнем повреждения около 80 сна.

Наиболее показательный эффект был обнаружен при сравнении накопления дейтерия в изучаемом вольфраме, относящийся к двум видам облучений ионами высокой энергии, использованными для получения радиационных повреждений, в измерениях методом ядер отдачи (МРЯО) при близких параметрах экспозиции в плазме в сходных условиях эрозии материала. При близких значениях повреждений поверхности, обращенной к плазме (5 – 7 сна), получены близкие распределения концентрации дейтерия в поверхностном слое с максимумом 6 – 8% aт. (на глубине 20 – 30 нм), а также близкие значения количества захваченного дейтерия от 1,65 × 1016 см–2 до 1,85 × 1016 см–2.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 13-08-00692-а, № 15-08-04409-а.

Литература

1. Koidan V.S., et al., IAEA 25th FEC, St Petersburg, paper MPT/P7-37, 2014.