МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ И ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Гуреев В.М., Койдан В.С., Корниенко С.Н., Латушкин С.Т., Муксунов А.М., Муравьев С.В., Рязанов А.И., Семенов Е.В., Хрипунов Б.И., Унежев В.Н.

*НИЦ “Курчатовский институт», г. Москва, Россия,* [Khripunov\_BI@nrcki.ru](mailto:Khripunov_BI@nrcki.ru)

В НИЦ «Курчатовский институт» ведется комплексное экспериментальное исследование эффектов, связанных с воздействием плазмы на материалы термоядерного реактора. Стационарная плазма дейтерия создается на плазменной установке ЛЕНТА и моделируются условия пристеночной плазмы и дивертора реактора-токамака, причем на поверхности обеспечивается полный поток плазмы 1022 – 1023 см–2, что позволяет исследовать ее воздействие на материалы стенки в условиях отвечающих стационарному режиму реактора.

Эффект воздействия нейтронов на материалы первой стенки моделируется в данной работе с помощью ионов высоких энергий [1]. В проведенных многочасовых облучениях материалов ионами МэВ-ного диапазона с полным флюенсом 1021 – 1023 ион/cм2 на циклотроне КИ получены образцы с высоким уровнем радиационного повреждения характерным для длительной работы реактора от 0,1 до 80 – 100 смещений на атом. Накоплен значительный опыт получения повреждений в материалах с помощью ускоренных ионов. Для облучения образцов использовались ионы гелия, углерода, азота и протоны, существенно отличающиеся в механизмах генерации дефектов.

Исследование сосредоточено главным образом на изучении вольфрама, как кандидатного материала покрытия реактора-токамака, который будет использован в диверторе международного реактора ИТЭР (пр-ва фирмы Plansee, Австрия, и ПОЛЕМА, Россия). Изучалось также влияние температурного фактора на реакцию поверхности материала на воздействие плазмы. Проведены эксперименты при температурах поверхности материала 600 – 1100 °С. Получены данные об эрозии облученных и необлученных материалов в плазме (скорость, коэффициент эрозии), исследованы распухание и изменения микроструктуры поврежденного поверхностного слоя (профилометрия, СЭМ). При облучении вольфрама протонами с энергией 10 МэВ глубина поврежденного слоя составила ~50 мкм. Проведены измерения захвата дейтерия в облученном вольфраме, представляющего интерес для оценки влияния тритиевого фактора в термоядерном реакторе.

В последнее время проведены эксперименты с карбидом кремния SiC, который рассматривается, как перспективный малоактивируемый конструкционный материал. Установлены изменения микроструктуры облученного материала под воздействием дейтериевой плазмы.

Исследовано поведение поверхности вольфрама в гелиевой плазме при высокой температуре (1100 °С). Обнаружено радикальное изменение структуры материала поверхностного слоя на глубину микронного масштаба с образованием наноструктурированного слоя с поперечным размером элементов структуры ~20 нм, т.н. «нанопуха» (nanofuzz).

Работа по исследованию материалов ТЯР поддержана РФФИ, грант № 18-08-01464-а.

Литература

1. Koidan V.S., et al., IAEA 25th FEC, St Petersburg, paper MPT/P7-37, 2014.
2. [B.I. Khripunov](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215010792##), [V.S. Koidan](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215010792##), [A.I. Ryazanov](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215010792##) et al., [Physics Procedia](http://www.sciencedirect.com/science/journal/18753892), [Volume 71](http://www.sciencedirect.com/science/journal/18753892/71/supp/C),  
    2015, 63 – 67, [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215010792 - cor0005#cor0005](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215010792#cor0005#cor0005)<mailto:Khripunov_BI@nrcki.ru>.
3. Б.И. Хрипунов, В.С. Койдан, А.И. Рязанов и др. Вопросы атомной науки и техники,  
    сер. Термоядерный синтез, т.40, вып. 4, с. 40 – 49.