**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬФРАМА В СТАЦИОНАРНОЙ ДЕЙТЕРИЕВОЙ ПЛАЗМЕ ПОСЛЕ ЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ**

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

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, [Khripunov\_BI@nrcki.ru](mailto:Khripunov_BI@nrcki.ru)

В настоящее время вольфрам рассматривается как перспективный материал для покрытия дивертора и, возможно, первой стенки в термоядерном реакторе-токамаке. Предусматривается использование вольфрамового покрытия в диверторе ИТЭР. Наряду с испытаниями материала под воздействием высоких плазменных и тепловых нагрузок необходимо экспериментально изучить его реакцию на нейтронное облучение (DT реакция, 14 МэВ), вызывающее в нем радиационные повреждения и ядерные реакции с образованием водорода, гелия и других элементов, в результате чего происходит ослабление его защитных свойств. Радиационное повреждение материала происходит в результате смещения атомов решетки из их положения равновесия и накопления дефектов при длительном облучении (более 1026 н/м2).

Нами проводится исследование влияния накопления радиационных дефектов в вольфраме на его стойкость к воздействию плазмы (эрозию), изменение микроструктуры поверхности и накопление в нем изотопов водорода (дейтерия) [1].

В настоящее время наиболее реальным подходом к решению задачи получения радиационно-поврежденного материала (вольфрама) является использование пучков ионов высокой энергии (МэВ-ного диапазона). Метод, развиваемый нами в последние годы в Курчатовском институте, состоит в испытании материала в стационарной плазме после его облучения ионами высокой энергии до получения высокого уровня по смещениям на атом (1 – 100 сна). Для облучения применялись ионы различного вида — протоны, ионы гелия, углерода, неона, обладающие различной способностью генерации дефектов. Эксперименты включают облучение материалов ускоренными ионами (3,5 – 10 МэВ) и последующую экспозицию облученного материала на установке ЛЕНТА в стационарной дейтериевой плазме в условиях моделирования дивертора (1026 – 1027 D/м2).

Исследование скорости эрозии вольфрама в дейтериевой плазме происходит при энергии плазменных ионов на поверхности, превышающей порог распыления вольфрама дейтонами, в потоках 1025 – 1026 ион/м2. Для вольфрама, облученного ионами гелия, измерены коэффициенты эрозии W 99,95 ат.% в среднем на уровне Y ~ 10–3 ат/ион. Показано, что в структуре материала происходят существенные изменения, связанные с накоплением в нем гелия (образование полостей, пор, флекинг). Изменение структуры поверхностного слоя материала может приводить к изменению скорости эрозии.

Методом реакций ядер отдачи исследовано содержание дейтерия, накопленного при экспозиции облученного материала в плазме. Проведено сравнение накопления дейтерия при различных видах облучения – ионами гелия и ионами углерода. В слоях характеризующихся одинаковым уровнем повреждения материала (2 – 3 сна) показано близкое содержание накопленного дейтерия (1,6 – 1,8) × 1020 м–2. Максимум дейтерия залегает на глубине 20 – 30 нм и может достигать 20 ат.%, спад концентрации происходит вглубь материала до уровней 2 ат.% и менее. В экспериментах с вольфрамом, облученным ионами углерода, исследовано влияние температуры на эффект накопления (0 – 500оС). Методом термодесорбции обнаружено снижение накопления дейтерия при высокой температуре.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-04409-а.

Литература

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