ВЛИЯНИЕ РАБОЧИХ разрядов ТОКАМАКА Т-10 НА ТЕМПЕРАТУРУ ЛИЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ прототипов ВОЛЬФРАМОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИВЕРТОРА ИТЭР, предварительно облученных импульсным потоком гелиевой плазмы

Архипов И.И., 1Воронин А.В., 2Грашин С.А., Залавутдинов Р.Х., Макаренков В.А., 1Новохацкий A.Н., 1Брунков П.Н.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва,
 Россия, igor\_arkhipov\_54@mail.ru
1Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
 voronin.mhd@mail.ioffe.ru
2Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва,
 Россия, Grashin\_SA@nrcki.ru

Вольфрам, выбранный в качестве материала дивертора термоядерного реактора ИТЭР, будет подвергаться воздействию мощных потоков ионов и нейтралов дейтерия, трития, а так же гелия. Имплантация гелия в приповерхностные слои вольфрама приводит к образованию блистеров, а в определенных условиях, так называемого «пуха» — древовидной наноструктуры, достигающей в высоту несколько микрон [1]. Предполагается, что такая структура, сформированная в экстремальных условиях, может быть устойчива к воздействию больших потоков водородной плазмы.

В настоящей работе воздействие гелиевой компоненты плазмы на вольфрамовые прототипы элементов дивертора ИТЭР проводилось с помощью высокоинтенсивной импульсной плазменной пушки с параметрами облучения, соответствующими образованию «пуха» (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург) [2]. Затем, с целью изучения поведения поврежденного гелием вольфрама в дейтериевой плазме, образец экспонировался в рабочих разрядах токамака Т-10 (НИЦ «Курчатовский институт», Москва) [3].

Во время облучения, как гелиевой пушкой, так и в токамаке, температура лицевой поверхности вольфрамовых образцов регистрировалась быстродействующим двухцветным пирометром. Кроме того, для измерения температуры в токамаке были использованы тепловизор и термопара, закрепленная с внутренней стороны образца. Установлено, что при многократном облучении гелиевой пушкой после определенной степени повреждения поверхности вольфрама (примерно 1000 импульсов) ее температура, не превышавшая до этого 500°С, резко возрастала до 2000°С и выше при последующих импульсах. При экспозиции в токамаке так же была зафиксирована разница между температурой исходной и поврежденной поверхности, которая достигала 100°С.

Состав и структура поверхности вольфрамовых образцов после гелиевого и последующего дейтериевого облучения были исследованы с помощью методов рентгеновского анализа, рентгеноспектрального микроанализа, а также сканирующей электронной микроскопии. Показано, что структура поверхности вольфрама после длительного импульсного облучения гелием изменяется: образуется объемная коралло-подобная микроструктура с размерами элементов 1 – 10 мкм и высотой не менее 10 мкм. Кроме того, на поверхности обнаружена пленка (толщиной около 1 мкм), содержащая атомы железа, хрома и никеля. После экспозиции в токамаке исходная микроструктура подверглась частичному разрушению, но в целом сохранила свою морфологию и состав.

В работе обсуждается связь между особенностями структуры поверхности вольфрама и ее температурой при импульсном воздействии сначала гелиевой, а затем дейтериевой плазмы.

Литература

1. Ueda Y., Peng H. Y., Lee H.T. et al., J. Nucl. Mater., 2013, Vol. 442, S267-S272.
2. Воронин А.В., Александров А.Е., Бер Б.Я. и др., ЖТФ, 2016, Т. 86, Вып. 3, стр. 51-57.
3. Vershkov V.A., Andreev V.F., Grashin S.A., et al., Nucl. Fusion 51 (2011) 094019 (14pp).