Измерение температуры поверхности прототипов вольфрамовых фрагментов защитного покрытия дивертора ИТЭР в рабочих разрядах токамака Т-10 с помощью двухспектрального пирометра

Архипов И.И., 1Грашин С.А., 2Воронин А.В., 2Капралов А.А., 2Чирков П.А.

ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина, Москва, Россия, [igor\_arkhipov\_54@mail.ru](mailto:igor_arkhipov_54@mail.ru)  
1НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, [Grashin\_SA@nrcki.ru](mailto:Grashin_SA@nrcki.ru)  
2ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, [voronin.mhd@mail.ioffe.ru](mailto:voronin.mhd@mail.ioffe.ru)

Обращенное к плазме вольфрамовое защитное покрытие дивертора ИТЭР будет испытывать высокие тепловые нагрузки. В ЭЛМах они могут достигать 3.5 ГВт/м2. Кроме того, материал подвергается воздействию интенсивных потоков ускоренных частиц (D, T, Не). Такие комплексные нагрузки могут приводить к плавлению и эрозии вольфрама [1]. Для того чтобы избежать нежелательных изменений морфологии и физико-химических свойств покрытия, необходимо контролировать температуру его поверхности. Для этой цели можно использовать методы оптической пирометрии, которые позволяют удаленно измерять температуру поверхности контактирующей с плазмой [2].

В рамках изучения влияния лимитеров изготовленных из вольфрама на параметры плазмы токамака Т-10, были проведены эксперименты по высокоинтенсивному облучению прототипа фрагментов защитного покрытия дивертора ИТЭР в периферической плазме токамака Т-10. Для этой цели на подвижный ввод был установлен образец вольфрама 20×20×6 мм3, изготовленный в НИИЭФА им. Д.В. Ефремова (г. Санкт-Петербург). Ввод позволял менять положение образца относительно центра плазмы, тем самым изменяя тепловую и корпускулярную нагрузку на образец. Для изучения перепыления материала, на держателе образца были закреплены пластины из сапфира и кварца, а сам образец предварительно взвешен. Измерение тока осуществлялось с помощью изолированного зонда, расположенного на одном уровне с лицевой поверхностью образца.

Для измерения температуры использовался двухспектральный ИК пирометрический сенсор на фотодиодной сэндвич-структуре, изготовленный в ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург). Тепловое излучение от нагретого образца фокусировалось с помощью линзы на фотодиоды сенсора, который крепился с внешней стороны камеры токамака. Чувствительность пирометра позволяла проводить измерение интенсивности теплового излучения с поверхности площадью ≈2 см2 на расстоянии ≈2 м в диапазоне температур 100-3500 °С.

Ранее, в работе [3], выполненной на токамаке Т-10 было показано, что после примерно 400 разрядов со срывом, на вольфрамовых лимитерах (как рельсовом, так и кольцевом) обнаружены зоны оплавления, сильная эрозия, а так же формирование трещин. В наших экспериментах, образец вводился в плазму глубже (на 2-5 см), чем располагались лицевые поверхности лимитеров. Поэтому, несмотря на небольшое время экспозиции (несколько десятков разрядов) он так же подвергся частичному оплавлению и значительной эрозии.

В работе проведено сопоставление изменения температуры в рабочих разрядах токамака Т-10 с теми повреждениями, которые были обнаружены на образце. На основании зондовых измерений дана оценка тепловых потоков приходящих на лицевую поверхность образца, а так же сделан вывод об оптимальных условиях эксплуатации вольфрамовых защитных покрытий дивертора ИТЭР.

Литература.

1. Pitts R.A., Carpentier S., Escourbiac F., et al., J. Nucl. Mater., 438 (2013) 48.
2. Tanaka H., Sawai S., Morimoto K., Hisano K., Int. J. Thermophys., 21 (4) (2000) 927.
3. Budaev V.P., Martynenko Y., et al., Nuclear Materials and Energy, 12 (2017) 418.