Изучение разлета микрочастиц вольфрама на установке BETA во время импульсной тепловой нагрузки, характерной для дивертора ИТЭР

1,2Касатов А.А., 1,2Васильев А.А., 1,2Вячеславов Л.Н., 1Кандауров И.В., 1,2Попов В.А., 1,2Черепанов Д.Е., 1,2Шошин А.А., 1,2,3Аракчеев А.С., 1,2Куркучеков В.В., 1Бурдаков А.В.

1Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия,
 a.a.kasatov@inp.nsk.su
2Новосибирский Государственный Университет, г. Новосибирск, Россия
3Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск, Россия

Одной из нерешенных задач проекта ИТЭР является проблема эрозии первой стенки и дивертора при взаимодействии с плазмой. По сравнению с существующими установками для магнитного удержания плазмы, токамак ИТЭР будет иметь большую длительность разряда и больший поток тепла на компоненты вакуумной камеры обращенные к плазме. Более того, во время экспериментальной кампании ИТЭР не могут быть исключены мощные импульсные воздействия на поверхность дивертора. В этих случаях, эрозия материала значительно увеличится, на поверхности будет появляться расплавленный слой, из которого возможен выброс микрочастиц.

Микрочастицы могут проникнуть в центр плазмы и вызвать значительный рост радиационных потерь, что, в свою очередь, может привести к проблемам с удержанием плазмы. Кроме этого, накопление большого количества микрочастиц в вакуумной камере приведёт к накоплению трития, количество которого ограничено требованиями радиационной безопасности [1].

В данной работе представлены результаты экспериментального моделирования воздействия мощных импульсных тепловых нагрузок на поверхность вольфрама. В эксперименте используется мощный субмиллисекундный электронный пучок (до 10 МВт, до 300 мкс), способный создать поток тепла с плотностью мощности до 20 ГВт/м2, на площади облучения около 1 см2. В экспериментах используется ряд оптических диагностик для определения параметров микрочастиц и газа, вылетающих с поверхности мишени.

Многоракурсная быстрая съемка позволяет определить скорость микрочастиц, время и место их появления. Скорость частиц, измеренная данным способом, может достигать нескольких сотен м/c. Обнаружено, что длина трека микрочастицы линейно зависит от расстояния до поверхности, что может быть объяснено их одновременным стартом с поверхности образца. Место появления микрочастиц соответствует особенностям на поверхности, таким как края трещин, области с повышенной температурой.

Малоугловое лазерное рассеяние позволяет определить размер частиц, находящихся внутри лазерного луча, проходящего параллельно поверхности в нескольких миллиметрах от неё. Анализ сигналов рассеянного излучения показывает, что мелкие частицы (2 мкм) имеют большую скорость и достигают лазерного луча раньше крупных (8 мкм). Интенсивность рассеянного излучения и, следовательно, количество микрочастиц, быстро растет с увеличением тепловой нагрузки выше 180 ± 15 MДж м–2с–0.5.

Литература

1. In-vessel dust and tritium control strategy in ITER, Journal of Nuclear Materials 438, <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.01.217>.