

А. ЕКСАЕВА^{2,1}, Д. БОРОДИН², А. КРЕТЕР², Д. НИШИДЖИМА³,
А. ПОСПИСЧИК², Т. ШЛАММЕР², С. ЭРТМЕР², Е. МАРЕНКОВ¹,
Б. УНТЕРБЕРГ², А. КИРШНЕР², Ю. РОМАЗАНОВ², С. БРЕЗИНСЕК².

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия

²Научно-Исследовательский центр Юлих, Юлих, Германия

³Университет Калифорнии в Сан-Диего, Сан-Диего, США

МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОДЕ ERO ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАСПЫЛЕНИЮ ХРОМА НА УСТАНОВКЕ PSI-2

Под действием плазменного облучения в материалах может развиваться морфология поверхности. Структуры, образующиеся на поверхности, и ее повышенная шероховатость могут снижать эрозию материалов и менять параметры распыления, например – угловые распределения распыленных атомов.

Вид этих распределений имеет большое значение для последующего транспорта распыленных частиц в плазме. В предыдущих экспериментах было показано, что для сравнительно низких энергий бомбардирующих материал ионов плазмы угловые распределения имеют вид «бабочки» с максимальной интенсивностью распыления в угол $< \pi/2$ [1]. Вид этих распределений меняется в зависимости от точного значения энергии бомбардирующих ионов. Было также показано, что эти распределения оказывают значительное влияние на последующий транспорт примесей в плазме [2]. Предполагается, что развивающаяся морфология поверхности может влиять на форму угловых распределений – повышается количество частиц, вылетающих по нормали к поверхности [3]. Например, такое может происходить, потому что частицы, вылетающие «в бок», блокируются неровностями поверхности.

Аккуратный расчет транспорта распыленных частиц в плазме важен, например, для оценки количества примеси, попадающей в область центральной плазмы в ходе работы токамака ITER. Линейные плазменные установки, такие как PSI-2 [4], являются хорошими инструментами для исследования отдельных вопросов взаимодействия плазмы с поверхностью.

Серия экспериментов по распылению мишени из хрома неоновой и гелиевой плазмой была проведена на установке PSI-2. В данных экспериментах было задействовано 4 вида диагностики: спектроскопия в области 100 нм у поверхности мишени, кварцевый микробалансный датчик QMB в отдалении от мишени (регистрирует количество частиц распыляемого материала, попавших на него), измерения потери массы с радиальным

разрешением и анализ поверхности облученных образцов при помощи электронного микроскопа. В измерениях по потере массы радиальное разрешение достигалось путем встраивания в мишень ряда небольших образцов, каждый из которых был проанализирован после эксперимента.

Облучение неоновой плазмой не должно было привести к образованию морфологии поверхности, что и было видно в ходе экспериментов. Облучение гелиевой плазмой показало изменение во времени сигнала QMB сенсора при неизменных параметрах облучения, что с большой вероятностью говорит о развитии морфологии.

Код ERO является инструментом для расчета транспорта примесей в плазменных установках. Данный код использует метод Монте-Карло для расчета транспорта распыленных частиц в плазме. Такое моделирование позволяет оценить ряд параметров, которые сложно или невозможно измерить в ходе эксперимента и провести проверку используемых атомных данных. Код ERO уже ранее был адаптирован для моделирования экспериментов на линейных плазменных установках [2]. Целью данной работы являлось моделирование экспериментов по облучению хрома, проведенных на линейной плазменной установке PSI-2. При помощи такого моделирования возможно определить характер изменения угловых распределений распыленных частиц с развитием морфологии поверхности.

Список литературы:

- [1] D. Nishijima, et al. Journal of Nuclear Materials (2011).
- [2] E. Marenkov, et al. Journal of Nuclear Materials (2015).
- [3] R.P. Doerner, et al. Physica Scripta (2014).
- [4] M. Reinhart et al. Fusion science and technology (2013).