

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДЕЙТЕРИЯ В ВОЛЬФРАМЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО- ИНДУЦИРОВАННОЙ ДЕСОРБЦИИ

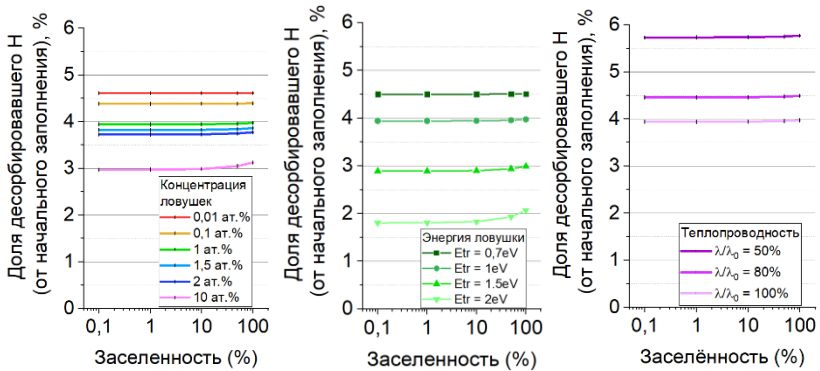
Термоядерная энергетика является многообещающим источником энергии, однако использование радиоактивного трития для реакции представляет опасность из-за его накопления. Соосаждение преобладает над другими вариантами накопления. Изотопы водорода из плазмы и возвращающиеся атомы распыленной стенки образуют на поверхности тонкую соосажденную пленку, значительно насыщенную водородом. Для контроля трития в стенке предлагаются дистанционные методы, в том числе лазерные методы [1]. Лазерный импульс нагревает локальную область стенки реактора, вызывая десорбцию водорода или испарение материала стенки, в зависимости от мощности импульса и передаваемой за импульс энергии. При лазерном импульсе на поверхности стенки образуется кратер, а ушедший из него материал попадает в пристеночную плазму, по оптическим спектрам которой можно определить элементный состав стенки, а также оценить количество ранее захваченного в неё водорода. Альтернативным вариантом сбора информации является использование масс-спектрометра. Лазерные методы обладают преимуществом работы *in situ*, большой вариацией калибровки параметров для достижения желаемого эффекта.

В данной работе определялось влияние неопределенности материала пленки на расчёт содержания водорода в пленке. Моделирование является продолжением предыдущего, проводившегося на основе полученных ранее на установке «Большой масс-монохроматор МИФИ» экспериментальных данных по десорбции дейтерия из вольфрамовых слоев при воздействии Nd:YAG лазера с длиной волны 1064 нм и длительностью импульса в 20 нс. Плотность энергии излучения в данной работе соответствовала 5 – 45 МВт/см², или 1 Дж/см² полной переданной энергии за импульс.

Моделирование проводилось с помощью кода TMAP7, позволяющего одновременно решать задачи диффузии и теплопроводности с различными граничными условиями. В простейшем предположении ожидается выход водорода пропорциональный изначальному содержанию, однако в реальности удержание водорода может обуславливаться так же и

характеристиками материала. При моделировании варьировались такие параметры материала, как концентрация и энергия ловушек, тепловые свойства материала.

При фиксированной концентрации ловушек или фиксированной энергии ловушки или фиксированной функции теплопроводности от температуры доля выхода Н оставалась постоянной для различных начальных заселенностей (рисунок 1), что говорит о пропорциональности выхода водорода начальному заполнению. При большей атомарной плотности ловушек и при большей энергии ловушек доля выхода меньше благодаря увеличению влияния перезахвата, но при 100% начальной заполненности эффект перезахвата ослабевает, что приводит к небольшому увеличению доли выхода Н.



а) различные концентрации ловушек, б) различные энергии ловушек, в) различная теплопроводность материала

Рисунок 1 – Доля выхода Н в зависимости от заселенности ловушек при варьировании параметров материала

При варьировании концентрации ловушек от 0,01 ат.% до 10 ат.% ($E_b = 1$ эВ) доля выхода Н составляет $3,8 \pm 0,8$ % от начального заполнения, то есть отклонение от среднего значения до 22%. При варьировании энергии ловушки от 0,7 эВ до 2 эВ ($c_t = 1$ ат.%) доля выхода Н составляет $3,2 \pm 1,3$ % от начального заполнения, то есть отклонение от среднего значения до 41%. Было проведено моделирование с теплопроводностью, составляющей 50% и 80% от первоначальной. При фиксированном отношении λ/λ_0 доля выхода Н постоянна, в диапазоне коэффициента от 0,5 до 1 доля выхода Н составляет

$4,8 \pm 0,9$ % от начального заполнения, то есть отклонение от среднего значения до 19%.

Таким образом, в широком диапазоне параметров можно ожидать пропорциональность потока десорбции концентрации водорода с точностью лучше, чем 50%.

По результатам данных расчетов и лабораторных экспериментов планируется разработка диагностической системы для токамака Глобус-М2 в ФТИ им.А.Ф.Иоффе.

Список использованных источников

[1] E.E. Mukhin et al., Nucl. Fusion 56 (2016) 036017.