

**ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЯ НА НАКОПЛЕНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В СООСАЖДЕННЫХ
ВОЛЬФРАМОВЫХ ПЛЁНКАХ**
**INFLUENCE OF HELIUM ON THE DEUTERIUM ACCUMULATION IN CO-
DEPOSITED TUNGSTEN FILMS**

С.А. Крат¹, Е.А. Фефелова¹, А.С. Пришвицын¹, Ю.М. Гаспарян¹, А.А. Писарев¹
S.A. Krat¹, E.A. Fefelova¹, A.S. Prishvitsyn¹, Yu.M. Gasparyan¹, A.A. Pisarev¹

*1 Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, 115409,
Каширское шоссе, 31, Москва, Россия, e-mail: ya.lenalex@ya.ru*

В ИТЭР в качестве топлива будет использоваться дейтерий-тритиевая смесь, накопление радиоактивного трития в материалах стенки реактора представляет проблему с точки зрения радиационной безопасности. Одним из основных механизмов накопления изотопов водорода в реакторе является соосаждение с материалами обращенных к плазме элементов (ОПЭ) [1,2]. В ИТЭР в качестве материала наиболее нагруженной области первой стенки – дивертора, выбран вольфрам. Понимание процесса соосаждения изотопов водорода с этим металлом необходимо для количественной оценки удержания трития в ОПЭ.

На содержание водорода в соосаждённых слоях влияет наличие и состав примесей в водородной плазме. В дейтерий-тритиевой смеси в ИТЭР результатом термоядерной реакции является образование гелия. В результате внедрения гелия образуются дополнительные дефекты, которые могут быть заполнены водородом [3]. Можно предположить, что наличие гелия приведет к изменению накопления трития в соосажденных слоях. Необходимо изучить влияние гелия на соосаждение трития с материалами стенки камеры для дальнейшей оценки удержания трития в материалах ИТЭР.

В рамках данной работы проводились серии экспериментов по соосаждению дейтерия с вольфрамом на экспериментальной установке МР-2 [4]. Соосаждение проводилось путём распыления вольфрамовой мишени в магнетронном разряде в смеси Ar-D₂-He (в соотношении 1:1:x, где x постоянное в одной серии экспериментов, но разное в разных сериях) при рабочем давлении 6,2 Па. Остаточное давление составляло 3·10⁻⁵ Па. Типичная скорость осаждения составляла 0,2 нм/с и контролировалась при помощи кварцевого микробаланса. Типичная толщина осаждённых плёнок составляла

100 нм. Давление гелия в газовой смеси варьировалась от 0% и 20% от давления дейтерия. Осаждение проводилось в диапазоне температур образца от 300 К до 800 К и регистрировалось термопарным датчиком, прикрепленной к образцу. Проводился анализ полученной плёнки методом термодесорбционной спектроскопии (ТДС), образец линейно нагревался со скоростью 2 К/с до температуры 1250 К. Потоки газов, десорбирующихся из образца, фиксировались квадрупольным масс-анализатором (КМА). При таком анализе фиксируется общий сигнал четвертой массы и нет возможности выделить сигналы гелия и дейтерия. Для решения технической сложности разделения потоков гелия и дейтерия использовался второй КМА, метод разделения сигналов разных газов с одинаковыми массами описан в [5].

Было обнаружено, что присутствие 5% He в рабочем газе приводило к большему содержанию D в соосажденных слоях при температурах осаждения от 350 К до 800 К, чем для слоёв, осаждённых без добавления гелия. Температурный диапазон высвобождения дейтерия в целом не изменяется. Это указывает на то, что новых ловушек не появляется, но меняется их относительное содержание т.к. изменяются амплитуды пиков ТДС спектров. Можно предположить, что гелий может стимулировать накопление дейтерия в соосажденных при температурах до 700 К вольфрамовых пленках.

Так же исследовалось накопление дейтерия в соосажденных вольфрамовых слоях в зависимости от концентрации He в газовой смеси. Из ТДС-спектра для слоёв, соосажденных в присутствии гелия при близкой к комнатной температуре, видно, что высвобождение дейтерия начинается при более высоких температурах по сравнению со слоями, соосажденными без гелия. Для комнатной температуры осаждения обнаружено, что содержание D в соосажденной плёнке снижается с ростом концентрации He в газовой смеси.

1. Roth J. и др. Tritium inventory in ITER plasma-facing materials and tritium removal procedures // *Plasma Phys. Control. Fusion*. 2008. Т. 50, № 10.
2. Widdowson A. и др. Overview of fuel inventory in JET with the ITER-like wall. IOP Publishing.
3. Bernard E. и др. Tritium retention in W plasma-facing materials: Impact of the material structure and helium irradiation // *Nucl. Mater. Energy*. Elsevier, 2019. Т. 19, № August 2018. С. 403–410.
4. Krat S.A. и др. A setup for study of co-deposited films // *J. Instrum.* 2020. Т. 15, № 1.

5. Davies S., Rees J.A., Seymour D.L. Threshold ionisation mass spectrometry (TIMS); A complementary quantitative technique to conventional mass resolved mass spectrometry // *Vacuum*. Elsevier Ltd, 2014. T. 101. C. 416–422.