

З.Р. АРУТЮНЯН\*, Ю.М. ГАСПАРЯН, В.С. ЕФИМОВ, С.А. КРАТ, А.А.  
ПИСАРЕВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
\*Harutyunyan@plasma.mephi.ru

## ЗАМЕЩЕНИЕ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ В ВОЛЬФРАМЕ ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Гелий будет присутствовать в плазме термоядерных установок как продукт термоядерной реакции и взаимодействовать с обращенным к плазме материалом (ОПМ). Вольфрам будет использован в качестве материала наиболее нагруженных частей дивертора в ИТЕР и рассматривается в качестве одного из приоритетных материалов для ОПМ будущих термоядерных реакторов благодаря высокой температуре плавления и теплопроводности и малому коэффициенту физического распыления [1].

Гелий имеет большую энергию связи с дефектами в металлах, поэтому при ионном внедрении достаточно быстро происходит достижение больших концентраций гелия в поверхностном слое. При этом, наблюдается сильная модификация поверхностного слоя и снижается транспорт падающих на поверхность частиц в объем материала. В частности, при одновременном облучении поверхности ионами дейтерия и гелия, проникающий поток дейтерия через вольфрам и скорость интегрального накопления сильно снижаются.

Для более детального изучения процессов накопления гелия в поверхностном слое и его десорбции в данной работе проводились эксперименты с последовательным облучением изотопами гелия ( $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ) вольфрама при комнатной и повышенных температурах (700-1200К) образца. Эксперименты проводились на ионно-пучковой установке МЕДИОН. В качестве образцов использовались поликристаллические вольфрамовые фольги толщиной 50 мкм и чистотой 99,95% (производство Plansee, Германия), отожженные на установке ТДС-стенд в условиях высокого вакуума при температуре 2000 К с выдержкой 30 мин. Для насыщения гелием поверхностного слоя образцы вначале облучались масс-сепарированным пучком ионами  $^4\text{He}^+$  с энергией 3 кэВ дозой  $5 \times 10^{21} \text{ He/m}^2$  [2]. Далее образцы облучались ионами  $^3\text{He}^+$  в диапазоне доз  $1 \times 10^{21} - 5 \times 10^{21} \text{ He/m}^2$ . Затем проводился термодесорбционный анализ (ТДС) образца со скоростью нагрева 2 К/с методом *in-situ* в установке МЕДИОН до температуры 1500 К. Также проводился ТДС анализ методом *ex-situ* до температуры выше 2500 К на

установке ТДС-стенд.

При увеличении температуры облучения эффективность замещения увеличивается. При комнатной и повышенных температурах замещение изотопов наблюдается также для высокоэнергетических ловушек, термодесорбционный пик которых появляется при температуре ~2500 К.

#### **Список использованных источников**

[1] V. Philipps, J. Nucl. Mater. 415 (2011) S2.

[2] Y. Gasparyan, S. Ryabtsev, V. Efimov, Z. Harutyunyan, A. Aksenova, A. Poskakalov, A. Kaziev, M. Kharkov, O. Ogorodnikova, A. Pisarev, S. Kanashenko, Y. Ivanov, Phys. Scr. 2020 (2020).