

С.С. ДОВГАНЮК*, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

**dovganukss@gmail.com*

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ УДАЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА ИЗ МАТЕРИАЛОВ КОНТАКТИРУЮЩИХ С ПЛАЗМОЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Низкотемпературная детритизация контактирующих с плазмой элементов термоядерных реакторов, работающих в режиме, обеспечивающим стабильную термоядерную реакцию, представляется необходимой для предотвращения превышения предела накопления радиоактивного трития в установке. В работах [1,2] было обнаружено и исследовано явление Активированного Проникновения через Поверхность (АПП), ускоряющее транспорт изотопов водорода через оксидированную поверхность металла при сравнительно низких температурах в процессе облучения поверхности ионами водородной плазмы с примесью кислорода. В работе [1] при облучении стенок вакуумной камеры из нержавеющей стали ионами водородной плазмы с 1% примеси кислорода в рабочем газе ($H_2 + 1\%O_2$), явление АПП обеспечило удаление при температуре ≤ 500 К из стенок камеры дейтерия, имплантированного её при облучении ионами дейтериевой плазмы. Эффект с возрастающей интенсивностью наблюдался при увеличении концентрации примеси кислорода в рабочем газе в диапазоне 0,5 - 30 ат %. Авторы [3] рассматривают серию поверхностных реакций, инициируемых неупругими взаимодействиями кислорода и атомов/ионов дейтерия со слоем оксида хрома на поверхности нержавеющей стали, в качестве причины возникновения явления АПП.

В работе проведено исследование характера развития явления на поверхности вольфрама, а также слоёв интерметаллидов Ве-W и Al-W, образуемых на поверхности вольфрама при осаждении распылённых в плазме и испарённых атомов, соответственно, алюминия и бериллия. Имплантация образцов проводилась ионами дейтериевой плазмы с энергией 50 и 650 эВ. Для удаления имплантированных атомов дейтерия из вольфрама и интерметаллидов использовалась водородная плазма ($H_2 + 1\%O_2$). Температура образцов, как при имплантации ионов дейтерия, так и при их удалении, составляла 500 К.

Показано, что явление АПП активно во всех исследованных условиях эксперимента. Так, при облучении имплантированного ионами дейтерия

вольфрама ($H_2 + 1\%O_2$) плазмой за 1 час ($\Phi=1.3 \times 10^{23}$ ат./м²) было удалено 9×10^{19} ат./м² атомов дейтерия, что составило ~40% дейтерия, удерживаемого после имплантации. В аналогичных условиях, при облучении ($H_2 + 1\%O_2$) плазмой алюминиевого интерметаллида наблюдалось удаление 46×10^{19} ат./м² (~75%) атомов дейтерия, в случае облучения бериллиевого интерметаллида обнаружено удаление 13.2×10^{19} ат./м² (~80%). Также показана эффективность удаления имплантированного дейтерия в экспериментах по многократному повторению циклов «внедрение ионов дейтериевой плазмы – удаление имплантированного дейтерия», благодаря явлению АПП.

Литература

- [1] A. Airapetov, L. Begrambekov, S. Bremond, et al., J. Nucl.Mater. 415 (2011) 1042-1045
- [2] Begrambekov, L.B., Kaplevsky, A.S., Dovganuyk, S.S., Evsin, A.E., Zakharov, A.M., Shytikova, M.I.; Thermal Desorption Study of the Trapping and Retention of Hydrogen Isotopes upon Irradiation of Oxidized Metal Surfaces with Hydrogen Plasma (2018) Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 82 (2), pp. 131-137
- [3] L. Begrambekov, A. Grunin, et al. J. of Surf. Inv. X-ray, Syn. and Neut. Tech. 9 (2015) 190–195