

И.Е. БАРЫШНИКОВА, Л.Б. БЕГРАМБЕКОВ, С.С. ДОВГАНЮК,
А.Е. ЕВСИН, А.С. КАПЛЕВСКИЙ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ТРАНСПОРТ ВОДОРОДА МЕЖДУ МЕТАЛЛОМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ БАРЬЕРНЫМ СЛОЕМ В ПРОЦЕССЕ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ

Известно, что оксидные слои являются эффективными диффузионными барьерами для изотопов водорода. В то же время, как было показано в работе [1] в экспериментах с нержавеющей сталью, барьерные свойства оксидных слоев изменяются при ионном и плазменном облучении. Сообщалось, что транспорт водорода через поверхностный оксидный слой при сравнительно низких температурах (≤ 500 K) может быть значительно ускорен при облучении поверхности атомами водорода в водород-кислородной атмосфере или/и ионами водородной плазмы с примесью кислорода, приводя к ускоренному захвату и десорбции изотопов водорода. Данный эффект объяснялся процессами, инициируемыми неупругим взаимодействием атомов/ионов дейтерия и кислорода с поверхностным слоем оксида хрома на нержавеющей стали. В работе [2] было показано, что облучение алюминиевого покрытия на вольфраме кислородом и ионами водорода приводит к низкотемпературной десорбции дейтерия из вольфрама. Однако детального исследования этого явления проведено не было.

В этой работе выполнено сравнительное исследование транспорта изотопов водорода между вольфрамом и поверхностными барьерными слоями в виде пленок алюминия и иттрия с оксидированной поверхностью. Ставилась задача выявить особенности процесса в тех случаях, когда металл (вольфрам) и барьерный слой (алюминий) являются металлами с положительной теплотой растворения водорода (+1,03 эВ/ат и +0,65 эВ/ат соответственно), и когда теплота растворения водорода в барьерном слое (иттрий) отрицательна (-0,85 эВ/ат).

Образцы вольфрама механически полировались, промывались в ультразвуковой спиртовой ванне и обезгаживались при прогреве в вакууме до температуры 1600K. Затем на одну из сторон образцов осаждались пленки алюминия или иттрия. Осаждение пленок проводилось в газовом разряде с накальным катодом в атмосфере аргона. Толщина пленок составила 200 ± 10 нм. Наличие тонкого оксидного слоя на поверхности алюминиевой и иттриевой пленок выявлено энергодисперсионным анализом (ЭДС).

В ходе экспериментов вначале методом термодесорбционной спектроскопии (ТДС) измерялось количество водорода, захваченного в алюминиевый/иттриевый слой из остаточного газа в процессе его напыления. Затем в непокрытую алюминиевым/иттриевым слоем сторону каждого из остальных образцов (в вольфрамовую сторону) имплантировался дейтерий при облучении ионами дейтериевой плазмы. Параметры имплантации были следующими: $E=650$ эВ/ат, $j=3.7 \times 10^{19}$ ат/м²с, $\Phi=1.3 \times 10^{23}$ ат/м², $T=500$ К. Первые из образцов с покрытием, имплантированные дейтерием, использовались для измерения количеств водорода и дейтерия, захваченных в образцы при внедрении дейтерия. Вторые образцы каждой серии после имплантации дейтерия выдерживались в вакууме при температуре 500 К в течение 1 часа. Третьи образцы также имплантировались дейтерием, и затем их сторона, покрытая слоем алюминия или иттрия, облучалась водородной плазмой с 1% примесью кислорода. Параметры облучения в $H_2+1\% O_2$ плазме были следующими: $E=50$ эВ/ат, $j=3.7 \times 10^{19}$ ат/м²с, $\Phi=1.3 \times 10^{23}$ ат/м², $T=500$ К.

Обнаружено, что при имплантации из вольфрама в алюминиевое и иттриевое покрытия переходит $\approx 25\%$ и $\approx 60\%$ дейтерия, соответственно. Выдержка образцов в вакууме при температуре 500К не приводила к десорбции имплантированного дейтерия. При облучении Al покрытия в $H_2+1\% O_2$ плазме наблюдалась десорбция $\approx 48\%$ дейтерия из образца. При облучении Y покрытия в тех же условиях десорбировалось только $\approx 21\%$ дейтерия. В то же время происходил эффективный захват водорода, и его количество выросло в ≈ 3 раза. Водород аккумулировался в пленке иттрия ($\approx 40\%$) и оксиде иттрия на ее поверхности ($\approx 60\%$).

Обсуждаются особенности транспорта изотопов водорода между металлом и поверхностным слоем и их захват/десорбция при облучении водородной плазмой с примесью кислорода.

Список литературы:

[1] Л.Б. Беграмбеков, А.В. Грунин, А.С. Каплевский и др., Повер. Ренген., синх. и нейт. Ис., 2(2015), с. 87-92.

[2] L. Begrambekov, A. Ayrapetov, A. Evsin, et al. Influence of aluminum oxide coating and oxygen plasma impurity on deuterium retention in tungsten. MoD-PMI 2015, Aix Marseille University, 25 – 27 May 2015.