

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СЛОИ, ФОРМИРУЕМЫЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА ПРИ ОСАЖДЕНИИ АТОМОВ, РАСПЫЛЁННЫХ ИОНАМИ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТИ БОРА ^{*)}

Ашаев Л.В., Беграмбеков Л.Б., Захаров А.М., Сидоров В.Д.

НИЯУ МИФИ, Москва, Россия, lbbegrambekov@mephi.ru

Напыление защитного слоя бора (боронизация) проводится на токамаках (ASDEX – Upgrade, WEST, (ранее Tore Supra) на регулярной основе с использованием в исходного вещества диборана. Сообщалось, что нанесение слоя толщиной 100 нм (ASDEX –Upgrade) было достаточным для проведения до 100 разрядов длительностью 5-10 секунд [1]. Распыление покрытия в областях с максимальным облучения может происходить гораздо раньше [1].

Покрытие бора предполагается и для первой стенки ИТЭР. Согласно проведённым расчетам, время жизни в режиме Q=10 слоя толщиной до 100 нм составит несколько 10⁴ секунд, в течение которых на 20% поверхности стенки защитный слой толщиной 100 нм сохраняет 20% бора.

Это обстоятельство послужило стимулом для изучения свойств поверхностных слоёв, формируемых при осаждении бора на поверхность вольфрама. Предполагается проведение анализа адгезионных свойств, состава и структуры образовавшегося поверхностного слоя, захвата и удержание в нём ионов плазмы и атомов остаточного газа, процессов эрозии слоя при распылении и термическом воздействии в зависимости от состава плазмы, температуры вольфрамовой подложки, количества осаждённого бора, наличия в слое перенапылённых атомов вольфрама и т. п.

В работе представлены первые результаты этого исследования. Эксперименты проводились в установке, имитирующей, до определённой степени, условия на первой стенке современных токамаков. Газовый разряд инициировался между накальным катодом и анодом. На поверхность вольфрама осаждались атомы бора, распылённые с поверхности борной мишени ионами дейтериевой, аргоновой и D+5%Ar плазмы. Поверхностные слои, образованные на вольфраме анализировались методами РЭМ, ЭДС и ТДС. До и после ТДС анализа образцы взвешивались.

Показано, что вместе с бором на поверхность вольфрама осаждался кислород, дейтерий и водород. Их захват намного превышал захват бора. Было отмечено, что захват водорода, относительно его концентрации в плазменной камере в процессе напыления, превышал в несколько десятков раз аналогичное соотношение для дейтерия. На первых этапах осаждения бор, кислород и водород проникали в приповерхностный слой и удерживались там в соединении с вольфрамом до его распада в диапазоне 1200-1400 К.

При продолжении осаждения увеличение толщины этого слоя замедлялось и прекращалось. Можно полагать, что причиной этого было торможение проникновения кислорода через этот слой – глубину вольфрама, а следствием – развитие на его поверхности нового слоя, включающего дейтерий кроме компонентов, перечисленных выше. Новый слой продолжал расти до конца эксперимента. Его распад происходил в диапазоне 400-600 К, свидетельствуя о различии концентраций компонентов и структур обеих слоёв. Отметим отсутствие особенностей в спектрах ТДС, способных указывать на наличие структуры бора в поверхностных слоях вольфрама.

Литература

- [1]. ITER Council Science and Technology Advisory Committee (STAC). 30 Meeting. St. Paul-lez-Durance, 13 – 16 May 2024, стр. 73.

^{*)} DOI – тезисы на английском