

С.А. КРАТ*, Е.А. ФЕФЕЛОВА, В.С. ЕФИМОВ, А.С. ПРИШВИЦЫН,
И.А. СОРОКИН, Ю.М. ГАСПАРЯН

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**sakrat@mephi.ru*

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТА С АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДУХОМ НА СОДЕРЖАНИЕ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В ОСАЖДЁННЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ ВОЛЬФРАМОВЫХ СЛОЯХ

Накопление изотопов водорода в осаждённых из плазмы металлических слоях – важный вопрос с точки зрения радиационной безопасности будущих термоядерных установок и с точки зрения рециклинга водорода. Соосаждение распылённых материалов первой стенки с частицами рабочего газа из плазмы является одним из основных каналов накопления в термоядерных установках. Вольфрам используется в качестве материала дивертора ИТЭР и в будущем является кандидатным материалом для первой стенки реактора DEMO. Выбор вольфрама связан, в частности, с его химической стабильностью. Всё это делает важным исследование содержания изотопов водорода в осаждённых из плазмы вольфрамовых слоях.

В большинстве случаев исследование содержания изотопов в соосаждённых слоях осуществляется *post-mortem*: получение слоёв осуществляется в одной установке, а их анализ в другой. При этом при перемещении слоёв из одной установки в другую может происходить контакт атмосферного воздуха с соосаждёнными слоями. Такое взаимодействие может приводить к потере тяжёлых изотопов водорода из плёнки за счёт взаимодействия с парами воды, водородом, присутствующими в атмосферном воздухе. Это может исказить получаемые результаты и выводы, делающиеся на их основе. Важно, таким образом, узнать, как именно контакт с атмосферой влияет на содержание в соосаждённых вольфрам-дейтериевых слоях дейтерия.

Были проведены исследования по взаимодействию вольфрам-дейтериевых плёнок толщинами 50, 250 и 750 нм с атмосферным воздухом при комнатной температуре. Плёнки подвергались контакту с атмосферным воздухом в течение 1 часа, 1 суток и 24 суток. Данные времена были выбраны как характерные времена контакта при переноске исследуемого образца между двумя установками, находящимися в одной лаборатории, одном институте и разных институтах соответственно.

Плѐнки были получены методом магнетронного напыления в установке МР-2. Вольфрамовая мишень распылялась аргон-дейтериевой плазмой ($\text{Ar:D}_2=1:1$, суммарное рабочее давление 5.6 Па). Скорость осаждения составляла ~ 0.1 нм/с. Осаждение осуществлялось на предварительно отожѐнную молибденовую поликристаллическую подложку.

Анализ содержания изотопов водорода осуществлялся по методу термодесорбционной спектроскопии (ТДС). Анализ плѐнок без контакта с атмосферой осуществлялся в установке МР-2. Анализ плѐнок после контакта с атмосферой осуществлялся в отдельном сверхвысоковакуумном ТДС стенде. При расчѐте содержания изотопов водорода учитывались сигналы 2 а.е.м. (H_2), 3 а.е.м. (HD), 4 а.е.м. (D_2), 18 а.е.м. (H_2O), 19 а.е.м. (HDO) и 20 а.е.м. (D_2O). Чувствительность квадрупольного масс-спектрометра калибровалась по водороду и дейтерию. Чувствительность по дейтериду водорода принималась равной среднеквадратичной чувствительности по дейтерию и водороду. Чувствительность по сигналам паров воды принималась равной чувствительности по дейтерию. Для образцов, контактировавших с атмосферой в качестве фонового сигнала принимался сигнал образца без напылѐнной на него плѐнки.

Было установлено, что основные потери дейтерия из плѐнки происходят уже после 1 часа контакта с атмосферой. Если для плѐнок, анализированных *in-vacuo*, основной канал десорбции – сигнал 4 а.е.м., то для плѐнок после контакта с атмосферой десорбция в виде паров воды играет гораздо большее значение. При этом потеря дейтерия из плѐнки продолжается в течение длительного времени – содержание дейтерия в плѐнках после 24 дней контакта с атмосферным воздухом было ниже, чем после 1 дня контакта с атмосферой. Также было установлено, что потеря дейтерия из более толстых плѐнок идёт не медленнее, чем из тонких, таким образом нельзя говорить о том, что диффузия является существенным ограничивающим фактором по скорости потери дейтерия из плѐнок.