

## **ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН ВОДОРОДА В ЛИТИЕВЫХ ПЛЁНКАХ ПРИ ВЫДЕРЖКЕ В ГАЗЕ**

Избыточное накопление радиоактивного изотопа водорода трития в соосаждённых слоях в термоядерных установках является проблемой с точки зрения радиационной безопасности и уже привело к отказу от использования углерода в ИТЭР. Удаление трития из соосаждённых слоёв, таким образом, является важной задачей, как для предотвращения его накопления, так и с целью его получения для использования в качестве топлива управляемой термоядерной энергетики.

Литий предлагается использовать в качестве материала обращённых к плазме элементов в рамках концепции жидкометаллической стенки реактора. Ранее уже было показано, что литий может накапливать большое количество изотопов водорода в со-осаждённых слоях [Krat и др., 2014]. Возможным каналом очистки лития от тяжёлых изотопов водорода, включая тритий, является изотопный обмен с более лёгкими изотопами водорода. В данной работе исследовался изотопный обмен между дейтерием и водородом в со-осаждённых литий-дейтериевых слоях.

Экспериментальные результаты были получены при помощи установки МР-2. Литий-дейтериевые слои были получены путём распыления литиевой мишени на основе капиллярно-пористой системы дейтериевой плазмы магнетронного разряда. Осаждение проводилось без дополнительного подогрева подложки. Анализ состава плёнок проводился при помощи термодесорбционной спектроскопии (ТДС), применявшейся для определения количества изотопов водорода в плёнках и кварцевых микровесов, с помощью которых определялась общая масса плёнок и, как следствие, количество лития в них. После осаждения, литиевые плёнки подвергались двум типам воздействия: выдержке в атмосфере дейтерия при одном атмосферном давлении в течение одного дня, и выдержке в протоке водорода при 1 Па давления в течение двух дней. Выдержки проводились при температурах подложки от комнатной до 200°C. Для экспериментов по выдержке в атмосфере также проводились опыты по обратному изотопному обмену, в которых литий-водородная плёнка выдерживалась в атмосфере дейтерия.

Было обнаружено, что изотопный обмен в направлении от дейтерия к водороду происходит при всех температурах. При этом при комнатной температуре, изотопный обмен наблюдался только после выдержки в

атмосфере водорода, а после выдержки в протоке водорода обнаружен не был. При комнатной температуре после одного дня контакта с атмосферой водорода содержание дейтерия в плёнке упало с ~25 атомных процентов до 20 ат. %, а содержание водорода повысилось с ~5 ат. % до ~10 ат. %. При этом полное содержание всех изотопов водорода осталось практически неизменным на уровне  $(D+H)/Li \sim 30$  ат. %. ТДС-спектр десорбции изотопов водорода остался неизменным, с наибольшим количеством дейтерия, выходящим при температуре ~700 К, и некоторым выходом вплоть до ~1200 К. Обратный опыт по замене водорода на дейтерий не выявил изотопного обмена.

При 200 °С, после одного дня выдержки в атмосфере водорода, весь дейтерий был замещён на водород. При этом общее содержание изотопов водорода после выдержки оказалось на уровне ~20%, что говорит об отсутствии полного перехода плёнки в гидрид лития за счёт контакта с водородом. Это значение ниже концентрации изотопов водорода для плёнок, осаждённых в плазменном разряде при температуре подложки 200 °С, что говорит о полном насыщении или перенасыщении дейтерием плёнок при соосаждении.

Изотопный обмен наблюдался и при выдержке литий-дейтериевой плёнки в протоке водорода при 200°С. После двухдневной выдержки не весь дейтерий был замещён. При этом можно было наблюдать, что основное замещение происходило за счёт дейтерия, десорбция которого происходила в пике при ~700К, то есть за счёт объёмно накопленного дейтерия, а не дейтерия на поверхности плёнки.

В общем можно сказать, что низкотемпературный изотопный обмен может служить эффективным способом извлечения тяжёлых радиоактивных изотопов водорода из лития в токамаках.

#### Использованная литература

1. Krat S.A. и др. Deuterium release from lithium–deuterium films, deposited in the magnetron discharge // *Vacuum*. 2014. Т. 105. С. 111–114.