

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ГАЗОВ В ОСАЖДЁННЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЯХ

Одним из основных каналов накопления радиоактивного трития в термоядерных установках является соосаждение – процесс одновременного осаждения на поверхность распылённых частиц первой стенки реактора и частиц рабочего газа плазмы. В будущих термоядерных реакторах в качестве рабочего газа будет применяться смесь дейтерия и трития. При этом в составе рабочего газа также можно ожидать наличие протия, всегда присутствующего в остаточном вакууме, изотопов гелия 3 и 4, присутствующих в виде термоядерной «золы». Таким образом, будет происходить одновременное соосаждение атомов материала первой стенки с вплоть до 5 различными газами. При этом данные газы будут конкурировать друг с другом за одни и те же дефекты в растущем слое, влияя на содержание друг друга в осаждённом слое.

Постановка экспериментальных работ, симулирующих соосаждение в термоядерной установке с релевантной газовой смесью в качестве рабочего газа сложна с инженерной точки зрения, ведёт к возникновению большого набора свободных параметров, затратна в связи с высокой стоимостью гелия-3 и трития, а также требует особых мер безопасности из-за использования трития. При этом в сравнительно простых экспериментах по изучению соосаждения W-D-He показано [1], что наличие гелия влияет на содержание дейтерия в соосаждённом слое сложным образом, меняющимся в зависимости от температуры осаждения, отношения давлений дейтерия и гелия в газовой смеси.

В связи с вышеперечисленным целесообразной является разработка теоретического аппарата, способного предсказывать содержание различных газов в соосаждённом слое в зависимости от условий осаждения. В данной работе представлены первые результаты по созданию модели такого соосаждения.

В созданной модели предполагается, что в соосаждённом слое существует ансамбль равномерно распределённых дефектов-ловушек, характеризующихся определёнными концентрациями и энергией связи. Предполагается, что каждый тип ловушек имеет свою определённую энергию

связи с каждым из типов газов, присутствующих в газовой смеси. Считается, что каждая ловушка может быть либо свободной, либо содержать один и только один атом газа, множественная заполненность ловушек не рассматривается. Подвижность ловушек не рассматривается. Предполагается, что транспорт газа внутри сосаждаемого слоя происходит только в состоянии раствора за счёт диффузии. В разработанной на текущий момент модели скорость роста слоя принимается пренебрежимо малой.

Исходя из вышеописанных предположений были получены математические выражения для зависимостей отношений содержания газов в слое от параметров осаждения. Установлено, что с ростом температуры осаждения отношение содержания разных сортов газов (газов с разной энергией связи с ловушками) в плёнке стремится к 1.

Путём численных расчётов были получены зависимости содержания индивидуальных сортов газов в сосаждённом слое для двух модельных систем: сосаждения дейтерия и протия с вольфрамом и сосаждения дейтерия и гелия-4 с вольфрамом. Установлено, что в отличие от сосаждения только одного газа с металлом в случае одновременного сосаждения многих газов с металлом возможно возникновение локальных максимумов содержания газа в плёнке в зависимости от температуры осаждения.

Литература

[1] Krat S.A. et al. Accumulation of Deuterium and Helium in Co-Deposited W Layers Formed in He-Seeded Deuterium Plasma // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. Vol. 86, № 5. P. 521–525