

НАБЛЮДЕНИЕ ГЕЛИЯ-3 И ТРИТИЯ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ НАСЫЩЕНИИ ТИТАНА ДЕЙТЕРИЕМ

А.А.Косячков, В.С.Трилецкий, В.Т.Черепин, С.М.Чичкань

В масс-спектрах газов, образующихся при воздействии ионов дейтерия на титан, обнаружены гелий-3 и тритий. Это может быть связано с протеканием ядерных реакций при ионно-плазменном насыщении титана дейтерием.

Недавно опубликовано первое сообщение ¹ о протекании низкотемпературных ядерных реакций дейтерия с образованием гелия-3 и трития при электролитическом насыщении дейтерием палладия. Круг металлов, стимулирующих подобные реакции при электролизе тяжелой воды ¹ или ионной имплантации дейтерия¹⁾, пока ограничен. Однако, если в качестве подложки для имплантации дейтерия может применяться титан, то одним из наиболее простых и доступных для экспериментальных исследований приборов, позволяющих эффективно обрабатывать большие поверхности титана интенсивными потоками ионов дейтерия с энергиями в несколько кэВ, может оказаться обычный титановый магнитоэрозийный насос.

¹⁾ Семиноженко В.П. Частное сообщение.

Учитывая это, мы выполнили масс-спектрометрическое исследование газообразных продуктов, образующихся в процессе работы насоса НМД-0,63 в атмосфере дейтерия. Этот насос используется в спектрометрической установке² и позволяет достигать давления остаточных газов ниже 10^{-7} Па за счет распыления титана в газовой плазме током до 1 А и напряжением разряда до 9 кВ. Схема размещения электродов в одном из шести электродных блоков этого насоса представлена на рис. 1. Между двумя заземленными катодами (1), выполненными из листового титана марки ВТ 1-0, расположен анод (2), состоящий из электрически связанных между собой цилиндрических ячеек, на которые подается положительное разрядное напряжение U . Электродные блоки размещены в магнитном поле, направление напряженности которого показано на рис. 1 стрелкой. Электроны, эмиттируемые в результате разряда Пеннинга, возбуждаемого между анодом и катодами, осциллируют в разрядном промежутке и ионизируют остаточный газ. Образующиеся при этом положительные ионы остаточного газа бомбардируют титановые катоды, вызывая распыление титана, который, оседая на аноде и поверхностях корпуса насоса, связывает химически активные газы. Для нашего эксперимента важно, что если в качестве напускаемого газа использовать дейтерий, то в результате работы насоса происходит ионно-плазменное насыщение титановых катодов общей площадью порядка $0,5 \text{ м}^2$ интенсивными потоками ионов дейтерия, ускоренных до энергий порядка 9 кэВ. При этом эффективность распылений титана не высока вследствие малой массы бомбардирующих ионов дейтерия.

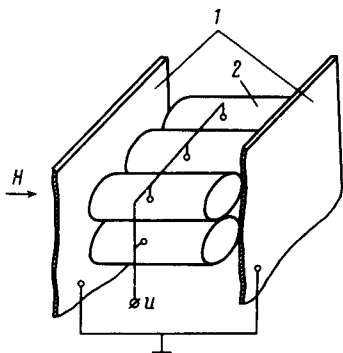


Рис. 1. Схема электродного блока насоса НМД-0,63: 1 – титановые катоды; 2 – цилиндрические аноды

Начальные участки полученных масс-спектров представлены на рис. 2. Из рис. 2а видно, что в исходном состоянии (остаточное давление 10^{-3} Па при выключенном насосе, в который до этого дейтерий никогда не напускался) атмосфера остаточных газов содержит водород и нет следов гелия, трития или молекулярного дейтерия. Остаточные атмосферы после шестичасовой работы насоса при напуске дейтерия до давлений $3 \cdot 10^{-6}$ Па и $8 \cdot 10^{-4}$ Па с последующим прекращением натекания газа, откачкой камеры до $8 \cdot 10^{-7}$ Па, выключением и выдержкой насоса до давления 10^{-3} Па представлены на рис. 2б и 2в соответственно. В этих спектрах кроме пиков атомарного и молекулярного водорода присутствует дейтерий, дающий вклад в пики с массовыми числами $M = 2$ и $M = 4$. Природа пика с массовым числом $M = 3$ оставалась невыясненной, т.к. он мог соответствовать молекулам $^1\text{H}_3$, $^1\text{H}^2\text{D}$ и/или продукту реакции ^3He (наличие ^3T маловероятно, т.к. пик $^3\text{T}_2$ отсутствует в обоих масс-спектрах).

Однако даже после менее интенсивной обработки (рис. 2б) последующее кратковременное включение насоса приводило к появлению пика с массовым числом $M = 3$ и исчезновению пика молекулярного дейтерия, $M = 4$ (рис. 2г). Причем скорость откачки газа, соответствующего $M = 3$, была настолько низкой, что при дальнейшей работе насоса этот пик можно было наблюдать в течение длительного времени, порядка 30 мин, в остаточном вакууме 10^{-6} Па и лучше. В спектре, показанном на рис. 2г, отсутствует молекулярный дейтерий. Поэтому на-

личие молекул ${}^1\text{H}^2\text{D}$ представляется маловероятным. Кроме того, как видно из рис. 2а, образование иона ${}^1\text{H}_3^+$ в водородсодержащей атмосфере не зафиксировано даже при относительно низком давлении 10^{-3} Па. Таким образом, правомерно предположить, что газом, десорбируемым с обработанных дейтерием титановых пластин в первый момент включения насоса и

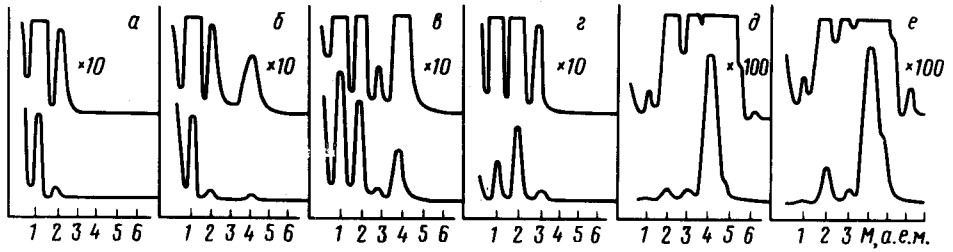


Рис. 2. Начальные участки масс-спектров остаточных газов при давлении 10^{-3} Па через 20 ч. после выключения предварительно необработанного (а) и обработанного дейтерием в течение 6 ч. насоса при токе разряда 0,2 мА (б) и 40 мА (в). То же при давлении 10^{-5} Па после включения насоса (г) и в процессе обработки дейтерием включенного насоса при давлениях $3 \cdot 10^{-4}$ Па и токе 23 мА (д); 10^{-3} Па, 40 мА (е)

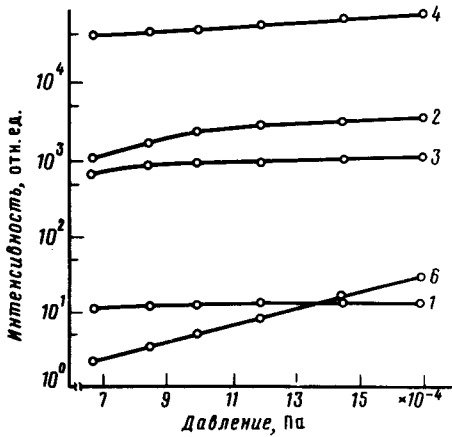


Рис. 3. Зависимость площадей пиков масс-спектров от давления дейтерия. Цифрами отмечены массовые числа, а.е.м.

откачиваемым с относительно малой скоростью, является гелий-3, скорость откачки которого более чем на порядок ниже, чем водорода или дейтерия.

На рис. 2д, е представлены результаты исследования условий появления в спектрах другого продукта реакции — трития. Установлено, что наиболее эффективное выделение молекулярного трития ($M=6$) происходит при рабочих токах насоса, превышающих 20 мА, т.е. при потоках дейтерия, бомбардирующего титан, порядка 10^{17} ион/с. Зависимость этого процесса от давления дейтерия показана на рис. 3. Видно, что происходит быстрое нарастание сигнала $M=6$ (тангенс угла наклона 0,25), значительно более быстрое, чем сигналов от газов с другими массовыми числами. Следовало учесть, что при относительно высоких давлениях быстрое увеличение интенсивности пика $M=6$ могло быть связано с примесью трития в напускаемом дейтерии или с ионами типа ${}^2\text{D}_3^+$ или ${}^1\text{H}_2{}^2\text{D}_2^+$, образующимися при ионизации газа электронным ударом. Действительно, установлено, что масс-спектры дейтерия, напускаемого в выключенный насос, содержат пик $M=6$. Однако этот сигнал становится заметным только при давлениях дейтерия $2,3 \cdot 10^{-3}$ Па и выше. Кроме того, скорость нарастания его интенсивности от давления значительно ниже, чем на рис. 3 (тангенс угла наклона 0,07).

Таким образом, представляется правомерным заключить, что в спектрах, показанных на рис. 2г и рис. 2д, е зарегистрировано выделение соответственно гелия-3 и молекулярного азота, образующихся в процессе ионно-плазменной обработки титана дейтерием. Полученный результат может оказаться интересным с учетом возможности протекания реакций холодного синтеза¹. Кроме того, простота экспериментальной техники делает предлагаемый подход доступным для широкого круга исследователей.

Литература

1. *Fleischmann M., Pons S. J. Electroanal. Chem.*, 1989, 261, 301.
2. *Черепин В.Т. и др. ПТЭ*, 1986, 1, 155.

Институт металлофизики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 мая 1989 г.