

УДК 533.15:537.534.75

Приемник ионов для изучения процессов поглощения и обратного выделения газовых ионов

ПИСАРЕВ А. А.

При накоплении газовых примесей существенно изменяются многие свойства металлов, которые в ряде случаев следует принимать во внимание. Приемник ионов, используемый для изучения обратного газыделения частиц, поглощенных металлом при ионной бомбардировке, конструктивно смонтирован на фланце и соединяется с масс-монохроматором, ионными пучками которого проводится облучение. Это дает возможность исследовать процессы непосредственно во время облучения или сразу после него, исключать перемещение образцов между внедрением ионов и прогревом для обезгаживания, проводить многократные измерения на одном и том же образце при различных условиях облучения, что повышает воспроизводимость получаемых данных. Приемник допускает прогрев до 400°C для получения сверхвысокого вакуума, который определяется средствами откачки масс-монохроматора.

Схема приемника ионов изображена на рис. 1. Основной его узел — ленточная мишень из исследуемого материала размерами 70 × 15 × 0,2 мм, которая своими концами крепится на двух тоководах и находится внутри рабочей камеры, стенки которой охлаждаются жидким азотом. Сама камера, в свою очередь, находится в установке и электрически изолирована от неё. Мишень может охлаждаться проточной водой или жидким азотом, которые подаются в токо-

вводы, и нагреваться проходящим током. Температура мишени контролируется термопарой, приваренной точечной сваркой вблизи облучаемой области. Токовводы имеют высоковольтные металлокерамические изоляторы, позволяющие измерять ток ионов и подавать на мишень потенциал для ускорения или торможения ионов.

Ионный пучок попадает на мишень через диафрагму диаметром 2—4 мм. На камеру и диафрагму подаются потенциалы для подавления вторичной электронной эмиссии при измерении тока ионов. Для подавления эмиссии электронов со стенок камеры под действием отраженных быстрых частиц в пространство между мишенью и камерой может вводиться сетчатая диафрагма под отрицательным потенциалом. Все электрические цепи, ведущие к мишени, экранированы. Облучаемая область мишени находится в ее центральной части вдали от краев, так что градиент температур в ее пределах пренебрежимо мал. Термопара также равноудалена от токоподводов. Камера откачивается через диафрагму насосами масс-монохроматора. Парциальное давление газов в рабочей камере, окружающая мишень, измеряется масс-спектрометром ИПДО-2А.

Перед началом серии циклов внедрения ионов — анализ газыделения проводится длительный прогрев мишени и всего приемника. Прибор считается подготовленным к работе, если в процессе контрольного прогрева в условиях, аналогичных экспериментальным, сигнал омегатрона и его фон не изменяются в исследуемом диапазоне температур.

Газыделение внедренных ионов излучается при прогреве облученной мишени и регистрации изменений парциального давления. Поскольку газ из рабочей камеры непрерывно откачивается в вакуумный объем установки через диафрагму достаточно большой проводимости, вакуум в области мишени практически не ухудшается. Однако в ряде случаев наряду с изменением сигнала омегатрона на рабочей частоте изменяется фон омегатронной лампы на частоте, близкой к рабочей, что искажает значения измеряемого парциального давления. Если предварительный прогрев не устраняет подобного явления, то в процессе изучения газыделения одновременно регистрируются фон и рабочий сигнал омегатронной лампы. Для этой цели на высокочастотные пластины омегатронной лампы с помощью электронного ключа попеременно с частотой 1 Гц подаются высокочастотные напряжения от двух омегатронов, один из которых настроен на рабочую частоту, а второй — на частоту фона.

Важно отметить, что в процессе прогрева мишени с внедренными в нее ионами газ из рабочей камеры, в которой измеряется парциальное давление, непрерывно откачивается через диафрагму с высокой проводимостью. Динамика изменения парциального давления $p(t)$ во время цикла выделения газа из образца в камеру объемом V (л), которая откачивается со скоростью S л/с через диафрагму, описывается уравне-

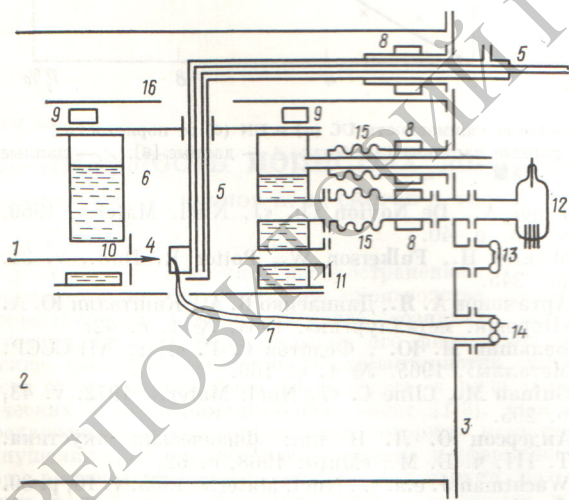


Рис. 1. Схема приемника ионов:

1 — ионный пучок; 2 — вакуумный объем масс-монохроматора; 3 — фланец Ду 360; 4 — мишень; 5 — токовводы; 6 — рабочий объем; 7 — термопара; 8 — проходные металлокерамические изоляторы тоководов; 9 — керамические изоляторы; 10 — диафрагма, ограничивающая ионный пучок; 11 — диафрагма для откачки рабочего объема; 12 — омегатронная лампа; 13 — окно для наблюдения за мишенью; 14 — выводы термопар; 15 — сильфонные развязки; 16 — кронштейн

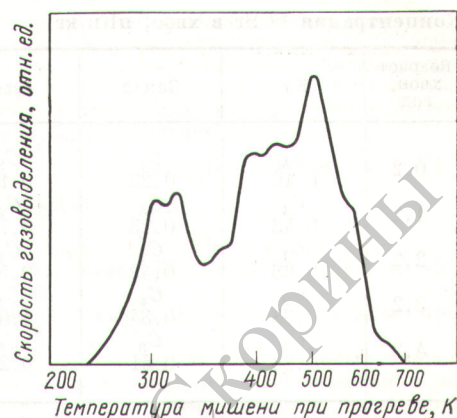
нием

$$Aj(t) = kS [p(t) - p_0] + kV \frac{dp(t)}{dt},$$

где $k = 3,27 \cdot 10^{19}$ мол/(л·мм рт. ст.) при 20°C ; p_0 — базовое давление до прогрева, мм рт. ст.; j — скорость газовой выделенности из образца, мол/(см²·с); A — его площадь, см². Поэтому если характеристическое время откачки камеры $\tau = V/S$ мало, то $j = \text{const } p^*(t)$, где $\text{const} = kS/A$, $p^*(t) = p(t) - p_0$, т.е. $j(t)$ приблизительно прямо пропорционально давлению $p^*(t)$ в любой момент времени t . Полное количество выделившихся частиц пропорционально площади под кривой $j(t)$. Такой метод изучения газовой выделенности можно назвать динамическим, поскольку наряду с выделением газа в рабочую камеру происходит его откачка из нее, в результате чего и достигается пропорциональность $j \sim p^*$, в отличие от статического метода накопления, когда $S = 0$ и $j \sim dp/dt$. Это исключает необходимость дифференцирования сигнала ИПДО при измерении температурных или временных зависимостей скорости газовой выделенности.

Эксперименты по газовой выделенности гелия, дейтерия, водорода, проведенные на данном приемнике ионов, показали, что кривые $j(t)$ состоят из нескольких пиков. На рис. 2 для примера представлены кривые газовой выделенности дейтерия из молибдена. Это свидетельствует о разнообразии механизмов захвата и удержания частиц в металле. Температурное положение каждого пика характеризует и оценивает количественно энергию связи групп частиц в металле (Писарев А. А., Писарев В. А. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 4, с. 340). При этом возникает вопрос о точности выполнения соотношения $j \sim p^*$. Расчеты свидетельствуют, что при достаточно медленном нагреве образцов и малой постоянной времени откачки камеры обеспечивается

Р и с. 2. Кривая газовой выделенности дейтерия из молибдена при прогреве его после облучения ионами D_3^+ с энергией 15 кэВ при температуре 220 К дозой $6 \cdot 10^{15}$ ион/см²



пропорциональность j и p^* . В данном приемнике для $\tau \approx 0,1$ с ($V = 1,5$ л и $S = 15$ л/с) скорость газовой выделенности пропорциональна давлению p^* с точностью не хуже 4% для максимума отдельного пика $j(t)$ и не хуже 1% на перегибе кривой $j(t)$. Разница между временами появления максимумов $j(t)$ и $p^*(t)$ не более 0,5%. Поэтому общая погрешность измерений определяется лишь классом используемого измерителя парциальных давлений.

Поступило в Редакцию 4.XI.77

УДК 621.039.76:632.15:539.173.8

Биоиндикация аэрозольных продуктов ядерного деления по хвое сосны обыкновенной

Пискунов Л. И., Трейгер С. И.

Благодаря адсорбционным свойствам сосновая хвоя является эффективным биоиндикатором радиоактивного загрязнения приземного воздуха [1—4], она может задерживать около 90% оседающих радионуклидов стронция и цезия [2,5]. С учетом разных условий (возраст деревьев, сомкнутость крон и др.) для сосновой хвои коэффициент задерживания радионуклидов может изменяться от 70 до 100% [6]. В районе Белоярской АЭС (БАЭС) хвоя сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) давно используется для оценки радиационной обстановки [7]. К настоящему времени получены новые данные о закономерностях накопления аэрозольных продуктов ядерного деления в связи с возрастом хвои и в зависимости от ориентировки кроны деревьев относительно факела выбросов.

В конце июля 1974 г. в четырех точках наблюдаемой зоны БАЭС (к северу, востоку, югу и западу от главного корпуса), расположенных согласно многолетней розе ветров, на участках наиболее вероятного приземления факела выбросов [8], отбирали пробы хвои

в возрасте 0,2; 1,2; 2,2; 3,2 и 4,2 года. Хвою ошипывали с нижней части кроны, обращенной к БАЭС, с соснового подростка в возрасте 15—20 лет. Сырая биомасса проб составляла 400—800 г. Одновременно такие же пробы отбирали на контрольной точке (КТ) вне зоны влияния выбросов БАЭС, а также на участке с подветренной стороны (ПС) в 20 км в северо-восточном направлении от станции. Пассивный эксперимент проводили по схеме латинского квадрата 5×5 [9]. Первичная обработка проб и радиохимический анализ препаратов на ^{90}Sr и $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$ выполняли по стандартным методикам. При этом ^{90}Sr определяли по равновесному ^{90}Y , поэтому учитывалась доля активности ^{91}Y в смеси $^{90}\text{Y} + ^{91}\text{Y}$ [10]. Для β -радиометрии препаратов была использована малофонозная установка Б-4 со счетчиком СБТ-13, для γ -спектрометрии — кристалл NaI(Tl) с коллоидом объемом ~ 20 см³ и анализатор АИ-128. Продолжительность измерений выбирали такой, чтобы статистическая погрешность не превышала 10%. Для расчета удельной активности определяли воздушно-