

E-mail: golovkov@tpu.ru

Радиоактивные нуклиды (РН) находят широкое практическое применение, не только в науке, технике, но в медицине для исследований биохимических процессов в организме человека с помощью радиоактивных индикаторов, для диагностики функционального состояния органов и физиологических систем, для терапевтического воздействия на опухоли, в особенности на злокачественные опухоли и их метастазы.

В зависимости от области применения, требования к ядерно-физическим характеристикам РН существенно изменяются, вызывая необходимость использования РН большинства химических элементов, которые можно получать либо на ядерном реакторе, либо на циклотроне.

РН, получаемые в реакциях с заряженными частицами на циклотроне применяют в тех областях медицины, например, в позитронно-эмиссионной диагностике, где реакторные РН нельзя применять.

В докладе рассмотрены возможности получения: ^{18}F , ^{123}I , ^{124}I , ^{111}In , $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, ^{82}Sr , ^{186}Re , ^{211}At , $^{225}\text{Ac}/^{214}\text{Bi}$ с помощью действующего циклотрона типа Р7М и перспективного 30 МэВ циклотрона Томского политехнического университета с целью обеспечения потребностей Томского центра ядерной медицины и рынка радиофармацевтических препаратов.

ВЫХОД ВОДОРОДА ИЗ СПЛАВА Zr1%Nb ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

А.С. Долгов, Ю.И. Тюрин, В.С. Сыпченко, Н.Н. Никитенков, Чжан Хунжу, Н.Д. Толмачева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, Томская область, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634034

E-mail: ellsworth@tpu.ru

Изучению механизмов равновесной и стимулированной излучением диффузии водорода в твердых телах, в том числе и неупорядоченных, разработке моделей этих механизмов уделяется большое внимание на протяжении последних 30-ти лет. Среди недавних работ в этом направлении можно выделить работы [1–3]. В работах [4–6] рассматриваются вопросы, связанные с электронно-стимулированной десорбцией.

В отличие от моделей электронно-стимулированной десорбции (ЭСД) [7–9], рассматривающих, как правило, энергии электронов от 0.5 до несколько кэВ, в круг наших интересов входили не только процессы формирования и отрыва молекул водорода от поверхности металлов, но и процессы активации диффузии водорода из глубины образца, поскольку используемые нами энергии составляют десятки кэВ. При таких энергиях глубина проникновения электронов в металлы составляет несколько микрометров. Кроме того, эксперимент показывает, что удаление водорода при таких энергиях может происходить из всего объема массивного образца (под массивными здесь имеются ввиду образцы с размерами на один–два порядка превышающими размеры поперечного сечения электронного пучка). Поэтому экспериментальный метод (измерение интенсивности выхода водорода в зависимости от времени облучения), который мы используем, логичнее называть не методом ЭСД, а ЭСГ – электронно-стимулированное газовыделение или РСГ – радиационно-стимулированное газовыделение.

В рамках первого этапа серии экспериментов использовался сплав Zr-1%Nb в виде фольги толщиной в 50 мкм. Насыщение водородом образцов осуществлялось в электрохимической ячейке в 1М растворе серной кислоты в течение 1 часа, плотность тока $I=0.5\text{A}/\text{cm}^2$.

Для оценки влияния электронного облучения на выход водорода из образца были выполнены эксперименты по термостимулированному (ТСГВ) и радиационно-стимулированному газовыделению (РСГ) водорода из образцов Zr-1%Nb в вакуум.

При исследовании РСГ насыщенный водородом Zr-1%Nb облучался пучком с энергией 30 кэВ и плотностью тока пучка $I=3\text{мкА/см}^2$ и $I=10\text{мкА/см}^2$. Регистрация выхода водорода при РСГ и ТСГВ осуществлялась квадрупольными масс-спектрометрами.

В ходе эксперимента подтверждены следующие факты:

1. Нелинейной зависимости выхода изотопов водорода от плотности тока воздействующего на образец электронного пучка.
2. Зависимости выхода водорода от времени облучения образца.

Диффузия водорода и дейтерия со скоростью, заметно превосходящей скорость термически равновесной диффузии H, D в металлах, может протекать при наличии долгоживущих, в масштабе времен однофононной и электронной релаксаций, колебательно-возбужденной H, D – подсистемы в металлах. Возбужденная водородная подсистема металлов стимулирует процесс диффузии не энергией тепловых флуктуаций kT , а избыточной энергией неравновесных колебаний $\hbar\omega_H$ в водородной подсистеме металлов, подпитываемой внешним ионизирующим излучением. В этом случае эффективный коэффициент и скорость диффузии $D_0 \exp(-E_{акт} / \hbar\omega_H)$, D_H / kT могут заметно превосходить их равновесные значения $D_0 \exp(-E_{акт} / kT)$.

Энергия неравновесных колебаний зависит от nH - концентрации атомов водорода в металле и равна $\hbar\omega_H = \hbar e \sqrt{n_H / m_p \epsilon_0}$. В модели плазменных колебаний изотопов водорода в металле напрямую проявляются коллективные свойства внутренней водородной атмосферы. Рост частоты плазменных колебаний с увеличением концентрации введенного водорода объясняет нелинейные эффекты в зависимости плотности радиационно-стимулированного потока изотопов водорода из металлов от концентрации введенного водорода.

Нелинейность в зависимости плотности потока изотопов водорода из металлов от тока электронного пучка объясняется, в рамках приведенной модели, увеличением скорости выхода атомов водорода на поверхность и стимуляцией излучением десорбции молекул водорода с поверхности. Более ярко выраженные эффекты стимуляции неравновесного выхода протонов водорода из металлов под действием электронов могут быть объяснены снижением потенциального барьера на пути выхода водорода из металла в вакуум.

Прикладной характер обнаруженного явления состоит в следующем:

1. Разработка способов низкотемпературного удаления водорода из конструкционных материалов и восстановления их механических свойств.
2. Дозированное извлечение водорода из накопителей водорода (водородная энергетика).
3. Радиационные технологии предотвращения водородного охрупчивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гапонцев А.В., Кондратьев В.В. Диффузия водорода в неупорядоченных металлах и сплавах. УФН, 2003. Т. 173. №10. С. 1107-1129.
2. Магазин И. О. Моделирование процесса диффузии водорода сквозь металлические мембраны. Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Владимир, ВГУ, 2006, 15 с.

3. Смирнов Л. И. Диффузия и закономерности поведения водородной подсистемы в системах металл-водород. Автореф. дисс. докт. физ.-мат. наук. Москва, МГУ, 2003, 39 с.
4. Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Кренинг М., Баумбах Х. Радиационно-стимулированный выход водорода из металлов. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2000, 264 с.
5. V. V. Larionov, Yu. I. Tyurin, N. N. Nikitenkov, A. S Dolgov. Diffusion of Hydrogen in Steel by Electron Irradiation, *Advanced Materials Research*. 1084 (2015) 115-120.
6. Давыдов С.Ю. О температурной зависимости выхода ионов при электронно-стимулированной десорбции. Письма в ЖТФ, 1997, том 23, № 19. С. 90-94
7. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. Москва: Наука, 2006, 490 с.
8. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. – М.: Мир, 1989.
9. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. - М.: Мир, 1989.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ ГЕЛИЯ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОН-ПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЕМБРАН

А.А. Дюсембекова, В.В. Сохорева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: aad38@tpu.ru

Целью настоящей работы было исследование формирования проводимости и свойств в фторсодержащем полимере фторопласт-2М при радиационно-химическом воздействии.

В эксперименте использовали полимерную пленку фторопласт-2М производства фирмы «Пластполимер» (Санкт-Петербург) с номинальной толщиной 20 мкм. Для получения мембраны пленку фторопласт-2М облучали ускоренными на циклотроне Р-7М ФТИ ТПУ ионами гелия (с энергией ~1 МэВ/нуклон). Плотность тока пучка составляло 0,2 мкА/см². Поглощенная доза (D) рассчитывалась по суммарному току с ламелей пробника циклотрона. Радиационно-прививочную полимеризацию осуществляли по методу пост-эффекта (метод предоблучения) из жидкой фазы мономера. В качестве мономера использовали смесь раствора стирола и толуола в соотношении 2:1. Степень прививки стирола определяли гравиметрическим методом. Непривитый мономер был удален с поверхности образцов, путем промывки в толуоле. Далее образцы высушивались в термостате при t=40⁰ С три часа и взвешивались. С ростом толщины пленок увеличивается степень прививки, что возможно обусловлено диффузией мономера вглубь полимерного материала [1, 2]. Это благодаря большой гибкости цепей молекулы мономера, который легко диффундирует внутрь материала и степень прививки повышается. Краевой угол смачивания водой (θ) определяли гониометрическим методом [3]. Для измерений использовали свежеперегнанную дистиллированную воду. Для качественного подтверждения зависимости возникновения свободных радикалов от поглощенной дозы были проведены исследования методом УФ-спектроскопии на спектрофотометре СПЕКС ССП серии 705. Спектры-УФ на пропускание и поглощение были получены в интервале длин волн от 210 до 300 нм. Для определения рельефа поверхности исходной и модифицированной пленки использовался атомно-силовой микроскоп NTEGRA Spectra (НТ-MDT). Работу с АСМ проводилось при полуконтактном режиме.

Закрепленный таким образом мономер стирола в полимере являющийся допантом, при последующем сульфировании придаст полимерной матрице протонопроводящие свойства.

Исследования проводились при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014-2016 годы по теме № 1750.