

показали, что наилучшие результаты достигаются при дозах 3-3,5 МГр. Следует также отметить, что изменением энергии ионов  $^4\text{He}$  можно регулировать образование свободных радикалов по глубине образца.

Полученные результаты позволяют рассматривать метод радиационно-химической прививки мономера стирола к пленкам ПВДФ с использованием ионов  $^4\text{He}$ , с последующим сульфированием для придания протон-проводящих свойств, как возможность создания функциональной мембраны, которая успешно может применяться и в топливных элементах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Joon-Yong Sohn, Hae-Jun Sung, Joo-Myung Song, Junhwa Shin, Young-Chang Nho Radiation-grafted proton exchange membranes based onco-grafting from binary monomer mixtures into poly(ethylene-co-tetrafluoroethylene) (ETFE) film Radiation // Physics and Chemistry. -2012. – Vol. 81. – p. 923–926
2. Головков В. М. , Сохорева В. В. , Тюрин Ю. И. , Сигфуссон Т. -. Получение полимерной электролитной мембраны для топливного элемента методом радиационно-химической обработки пленки ПВДФ // Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 11/3. - С. 227-232
3. Sokhoreva V. V. , Golovkov V. M. , Dubrova N. A. , Sidko D. F. Laws of Radiation Grafting of Styrene to PVDF Films and Characterization of the Grafted Polymer // Advanced Materials Research. - 2015 - Vol. 1084. - p. 42-45

#### ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ НА ФТОРСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ ПВДФ

А.А. Дюсембекова, Т.К. Ахметшарипова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [aad38@tpu.ru](mailto:aad38@tpu.ru)

Образование свободных радикалов в полимере является процессом деструкции в качестве метода модификации полимерных материалов. Свободный радикал – вид молекулы или атома, способный к независимому существованию и имеющий один или два неспаренных электрона. Неспаренный электрон занимает атомную или молекулярную орбиталь в одиночку. Наличие неспаренного электрона способно значительно усилить реакционную способность.

В данной работе проводилась радиационная деструкция полимерной пленки – поливинилиденфторид (ПВДФ) для образования в ней свободных радикалов. Под действием ионизирующего излучения происходит отрыв подвижного атома от макромолекулы ПВДФ с образованием свободного радикала. Рекомбинация макрорадикала в конечном счете приводит к образованию разветвленного и сшитого полимера [1].

Радиационная деструкция пленок проходила под влиянием альфа-излучения (ионы гелия), также при непрерывном и импульсном облучении электронами.

Фторированный полимер ПВДФ облучался тремя видами ионизирующего излучения: ионами гелия с энергией 27 МэВ, постоянным пучком электронов с энергией 2 МэВ и импульсным электронным пучком с энергией 500 кэВ. Время облучения и ток выбирались таким образом, чтобы доза ионизирующего излучения приблизительно была одинаковой. Доза варьировалась от 0,5 до 1,5 МГр. Облучение проводилось методом «пост-эффекта» на воздухе.

Наличие свободных радикалов установили с использованием УФ- и ИК-спектрального анализа, а выход определяли методом электронного парамагнитного резонанса, основанный на образовании спиновых аддуктов. При сравнении полученных результатов большое количество радикалов образовалась при облучении

ионами гелия, так как они обладают более высокой степенью ионизации. Это было также подтверждено последующей прививкой к этим радикалам мономера стирола и гравиметрическими измерениями [2].

Данное исследование позволяет разработать метод модификации пленок ПВДФ для придания ему протонпроводящих свойств и использования в качестве функциональной мембраны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головков В.М., Сохорева В.В., Тюрин Ю.И., Сигфуссон Т.И. Получение полимерной электролитной мембраны для топливного элемента методом радиационно-химической обработки пленки ПВДФ // Вузов. Физика. – Томск, 2013. – Т.54. – № 11/3. – С. 120-125.
2. Sohn J.-Y., Sung H.-J., Song J.-M., S.Junh, Nho Y.-C. Radiation-grafted proton exchange membranes based onco-grafting from binary monomer mixtures into poly(ethylene-co-tetrafluoroethylene) (ETFE) film // Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – №81. – P. 923–926.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ

В.А. Варлачев, А.В. Головацкий, Е.Г. Емец, Я.А. Бутько

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [emeceveniy@tpu.ru](mailto:emeceveniy@tpu.ru)

Часто при проведении исследований в области радиационных технологий необходимо осуществлять контроль за флюенсом как тепловых, так и быстрых нейтронов. Активационные методы [1] наиболее универсальны и позволяют определять абсолютные значения флюенса нейтронов без дополнительной калибровки. Тем не менее, они очень трудоемки и требуют наличия специальной аппаратуры. Их часто используют для калибровки других способов измерений флюенса нейтронов, кроме того нет возможности использовать такие детекторы в качестве детекторов сопровождения эксперимента. При облучении монокристаллов кремния тепловыми нейтронами за счет реакции радиационного захвата образуется кремний – 31, который путем  $\beta$ -распада (период полураспада -2,62 часа) превращается в донорную примесь фосфора – 31.



Для измерения абсолютных значений флюенса тепловых нейтронов нами было предложено облучать кремний в кадмиевом экране и без него, как это делается в активационном способе, используя его наработки по методу кадмиевой разности [1].

Связь между набранным флюенсом и изменением электрофизических параметров монокристалла описывается полученным нами выражением [2]:

$$\Phi_{\text{м.н.}} = \frac{d(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0})}{Se\mu_n \chi_t g_t \Sigma_t} (1 - \frac{F_{Cd}}{R_{Cd}}), \quad (2)$$

где  $d$  - диаметр пластины,  $R_0, R$  - интегральное сопротивление пластины до и после облучения,  $S$  - площадь пластины,  $e$  - заряд электрона,  $\mu_n$  - подвижность электронов,  $g_t$  - фактор Весткотта,  $\Sigma_t$  - макроскопическое сечение реакции при энергии нейтрона, соответствующей некоторой эффективной температуре  $T_{эф}$ , отличной от температуре среды  $T_0$ ,  $F_{Cd}$  - кадмиевая поправка,  $R_{Cd}$  - кадмиевое отношение.

Следует отметить, что под действием быстрых нейтронов в монокристаллическом кремнии образуются различного рода дефекты в его кристаллической решётке. Они вызывают изменение электрической