

Заключение. Проведены исследования морфологии, шероховатости и силы адгезии поверхности покрытий AlCrN с различным содержанием бора.

Добавление бора приводит к росту шероховатости и силы адгезии поверхности. Увеличение содержания бора с 10 до 20 % приводит к увеличению размеров ячеек на поверхности покрытия системы AlCrBN.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований № T21MC-029 и T22M-006.

Литература

1. Investigation of the properties of $Al_{1-x}Cr_xN$ coatings prepared by cathodic arc evaporation / A. E. Reiter [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol. 200. – P. 2114–2122.
2. Tribological and cutting performance of TiAlCrN films with different Cr contents deposited with multilayered

structure / F. Fernandes [et al.] // Tribology International. – 2018. – V. 119. – P. 345–353.

3. Corrosion and wear behaviors of PVD CrN and CrSiN coatings in seawater / L. Shan [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Vol. 26. – P. 175–184.

4. Synthesis–structure–property relations for Cr-B-N coatings sputter deposited reactively from a Cr-B target with 20 at% B / K. P. Budna [et al.] // Vacuum. – 2008. – Vol. 82. – P. 771–776.

5. Microstructure and mechanical properties of nanocrystalline Al-Cr-B-N thin films / C. Tritremmel [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2012. – Vol. 213. – P. 1–7.

6. Tritremmel, C. Influence of Al and Si content on structure and mechanical properties of arc evaporated Al-Cr-Si-N thin films / C. Tritremmel [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2016. – Vol. 307. – P. 118–124.

7. Effects of boron contents on microstructures and microhardness in Cr_xAl_yN films synthesized by cathodic arc method / T. Sato [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2006. – Vol. 201. – P. 348–351.

УДК 539.23; 66.081.6

СЕЛЕКТИВНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ С АНИОННЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Мельникова Г.Б.¹, Сапсалёв Д.В.^{1,2}, Толстая Т.Н.¹, Чижик С.А.^{1,3}, Корольков И.В.⁴, Здоровец М.В.⁴

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка

³Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

⁴Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Нур-Султан, Республика Казахстан

Аннотация. Методом атомно-силовой микроскопии изучены структурные и локальные механические характеристики пленок Ленгмюра–Блоджетт перфтордекановой кислоты на поверхности полиэтилентерефталатных трековых мембран. Определены оптимальные условия модификации сформированных покрытий анионным красителем ксиленоловым оранжевым для создания мембран, имеющих перспективы применения в анализе содержания катионов металлов при фильтрации водных растворов.

Ключевые слова: полиэтилентерефталатные трековые мембраны, ксиленоловый оранжевый, перфтордекановая кислота, атомно-силовая микроскопия, метод Ленгмюра–Блоджетт.

SELECTIVE LAYERS BASED ON LANGMUIR–BLODGETT FILMS WITH ANIONIC DYES ON THE SURFACE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TRACK MEMBRANES

Melnikova G.¹, Sapsaliou D.^{1,2}, Tolstaya T.¹, Chizhik S.^{1,3}, Korolkov I.⁴, Zdorovets M.⁴

¹A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Sciences of Belarus

²Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

³Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

⁴L.N.Gumilyov Eurasian National University

Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Abstract. The structural and local mechanical characteristics of Langmuir–Blodgett films of perfluorodecanoic acid on the surface of polyethylene terephthalate track membranes have been studied by atomic force microscopy. The optimal conditions for modifying the formed coatings with the anionic dye xylenol orange were determined to create membranes that have prospects for application in the analysis of the content of metal cations in the filtration of aqueous solutions.

Key words: polyethylene terphthalate track-etched membranes, xylenol orange, perfluorodecanoic acid, atomic force microscopy, Langmuir–Blodgett method.

Адрес для переписки: Мельникова Г.Б., ул. П. Бровки, 15, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: galachkax@gmail.com

Разработка способов модификации поверхности трековых мембран и изучение их структурно-функциональных свойств на наноуровне с применением современных методов анализа актуальна при создании новых мультисенсорных систем на основе трековых мембран (ТМ). Атомно-силовая микроскопия (АСМ) – один из основных методов, используемых при анализе структурных характеристик материалов нанометровой толщины, преимуществом которого является получение информации о локальных механических свойствах гетерогенного материала на микро- и наноуровне, а также детальное изучение структуры пленок нанометровой толщины.

Экспериментальная часть. Для формирования пленок использовали растворы перфтордекановой кислоты (ПФДК, $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_8\text{COOH}$, AlfaAesar) в растворителе Novac 7200 с концентрацией 1 мг/мл.

Монослойные пленки ПФДК формировали на поверхности ТМ с диаметрами пор 50 и 100 нм с использованием автоматизированного комплекса для модификации поверхностей мембран молекулярными и ультратонкими слоями (Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Беларусь). Поверхностное давление выделения (π) пленки выжирали на основании экспериментально полученных изотерм «поверхностное давление – площадь на молекулу» в области образования наиболее плотного слоя пленки (фазовое состояние «твердая пленка»).

Затем модифицированные ТМ выдерживали в водных растворах ксиленолового оранжевого (КО) с концентрациями красителя 0,01; 0,1 и 1 мг/мл в течение 10 мин, 1 ч и 1 сут. Образцы промывали в токе дистиллированной воды и высушивали на воздухе.

Структуру и механические свойства модифицированных мембран определяли методом атомно-силовой микроскопии (АСМ, NT-206, ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь) с использованием стандартных кремниевых кантилеверов CSC 21 В (Mikromacsh, Эстония), жесткостью 2 Н/м.

Для контроля изменения гидрофильных свойств поверхности мембран после модификации измеряли значения краевых углов смачивания (КУС) на установке DSA 100E, (KRUSS, Германия) и рассчитывали удельную поверхностную энергию (w) с использованием двух контрольных жидкостей – дистиллированной воды и дийодометана, объем капли 2 мкл.

Результаты и их обсуждение. На основании данных АСМ-структуры установлено, что наиболее плотный слой красителя формируется после выдерживания ПЭТФ ТМ/ПФДК в водном растворе КО с концентрацией 1 мг/мл (согласно наименьшим значениям среднеквадратической шероховатости R_q). Поры мембран, после погружения в раствор красителя на 1 ч закрыты, после 1 сут на поверхности мембран образуются конгломераты размером до 1 мкм (рис. 1).

На основании определения локальных механических свойств методом АСМ, на примере мембран с диаметром пор 100 нм, показано, что с увеличением концентрации красителя от 0,1 до 1 мг/мл локальные механические свойства модифицированных мембран не изменяются.

С увеличением времени выдерживания значения модуля упругости и силы адгезии уменьшаются, что свидетельствует об увеличении толщины слоя красителя на поверхности мембраны (рис. 2).

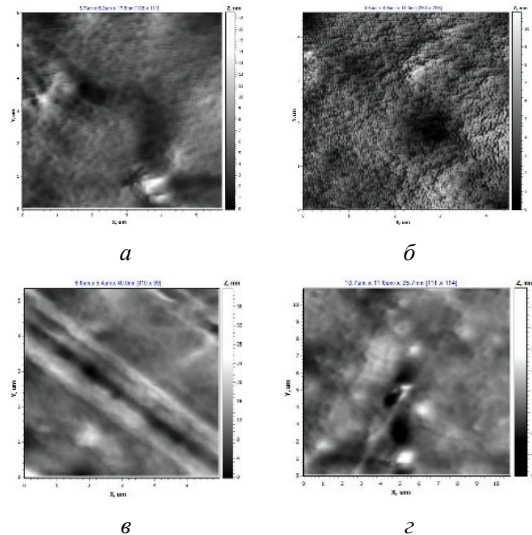


Рисунок 1 – АСМ-структура модифицированных монослоем ПФДК ПЭТФ-50 (а, б) и ПЭТФ-100 (в, з) мембран после выдерживания в водных растворах КО ($c = 1$ мг/мл) в течение 1 ч (а, в) и 1 сут (б, з)

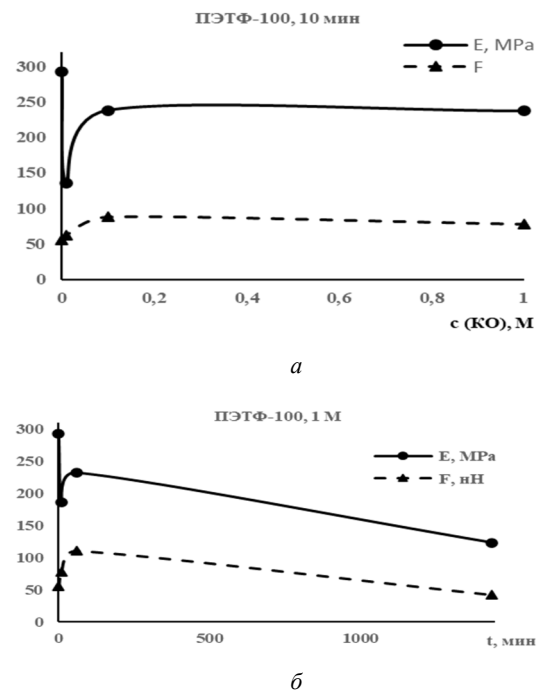


Рисунок 2 – Зависимость значений модуля упругости (E) и силы адгезии (F) ПЭТФ-100/ПФ ДК от: а – концентрации красителя (выдерживание 10 мин); б – времени выдерживания в 1 мг/мл растворе КО

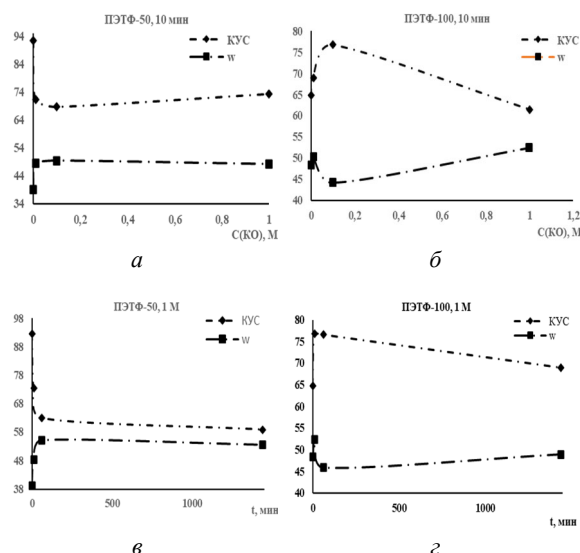


Рисунок 3 – Зависимость значений КУС и w (мДж/м²) образцов ПЭТФ-50 (а, в) и ПЭТФ-100 (б, з), модифицированных монослоем ПФДК от: а, б – концентрации красителя (время выдерживания 10 мин); в, з – времени выдерживания в 1 мг/мл растворе КО

Адсорбция красителя на поверхности мембран подтверждается и данными измерения смачиваемости поверхности – значения КУС уменьшаются с повышением концентрации КО в растворе. Увеличение времени выдерживания до 1 ч и 1 сут к значительным изменениям смачиваемости не приводит (рис. 3). Таким образом, на основании изучения структуры, локальных механических свойств и КУС показано, что оптимальными условиями формирования селективных тонких слоев на поверхности ПЭТФ ТМ с диаметрами пор 50 и 100 нм для ПФДК-монослоя методом Ленгмюра–Блоджетт является $\pi = 5$ мН/м; условия формирования слоя красителя КО методом послойного осаждения – концентрация 1 мг/мл, время выдерживания от 1 ч до 1 сут.

Полученные модифицированные мембраны могут быть использованы для определения содержания катионов металлов в процессе фильтрации водных растворов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Г22МС-029 от 04.05.2022).

УДК 621.317.39.084.2

ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЛОИ В СОСТАВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ НА АЛЮМООКСИДНЫХ ПОДЛОЖКАХ

Реутская О.Г.¹, Денисюк С.В.², Куданович О.Н.², Лугин В.Г.³

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

³Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Формирование газочувствительных слоев на алюмооксидных подложках обеспечивает воспроизводимость и стабильность характеристик, а также низкое энергопотребление сенсоров. Методики выбора режимов отжига и способа нанесения тонких пленок влияют на адгезионные свойства элементов конструкции. Получение развитых сплошных полупроводниковых слоев достигается многослойным нанесением оксидов металлов с применением капельных технологических приемов. Диапазон термообработки поверхности чувствительных элементов составляет от 100 °С до 800 °С.

Ключевые слова: полупроводниковый сенсор, газочувствительный слой, алюмооксидная подложка.

GAS SENSITIVE LAYERS AS PART OF SEMICONDUCTOR SENSORS ON ALUMINUM OXIDE SUBSTRATES

Reutskaya O.¹, Dzenisiuk S.², Kudanovich A.², Lugin V.³

¹Belarusian National Technical University

²SSPA «Optics, Optoelectronics, and Laser Technology»

³Belarusian State Technological University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The formation of gas-sensitive layers on aluminum oxide substrates ensures reproducibility and stability of characteristics, as well as low energy consumption of sensors. The methods of selecting annealing modes and the method of applying thin films affect the adhesive properties of structural elements. The production of developed solid semiconductor layers is achieved by multilayer deposition of metal oxides using drip technological techniques. The range of surface treatment of sensitive elements ranges from 100 °C to 800 °C.

Key words: semiconductor sensor, gas-sensitive layer, aluminium oxide substrate.

Адрес для переписки: Реутская О.Г., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
 e-mail: oreutskaya@bntu.by