

**СТРУКТУРА ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МЕМБРАН  
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОСТИ РТА**

*У. В. ЧЕРНОВА, Е. Н. БОЛЬБАСОВ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [chernova489@gmail.com](mailto:chernova489@gmail.com)

Традиционно для закрытия ран слизистой оболочки полости рта применяются аутогенные и аллогенные трансплантаты, однако зачастую их использование дает плохой послеоперационный прогноз [1, 2]. Возможно использование биосинтетических заменителей слизистых локутов и кожи для преодоления недостатков аутогенных и аллогенных трансплантатов, однако ни один из них не обладает всеми свойствами идеального материала для закрытия раневых дефектов слизистой оболочки полости рта [3]. Таким образом, очевидна потребность разработки новых материалов для закрытия открытых раневых дефектов слизистой оболочки полости рта. В настоящее время активно изучается возможность использования пьезоэлектрических фторполимерных мембран при регенерации мышечной, нервной, костной и сердечно-сосудистой тканей, при заживлении ран и формировании кровеносных сосудов.

В настоящем исследовании изучена структура композитных мембран из сополимера винилиденфторид-тетрафторэтилена (ВДФ-ТеФЭ), поливинилпирролидона (ПВП) и ванкомицина, сформированных методом многоканального электроспиннинга в качестве мембран для закрытия дефектов слизистой оболочки полости рта в зависимости от соотношения полимерных компонентов в композитных мембранах.

Для приготовления мембран готовили 7 масс. % прядильный раствор, содержащий 1 масс.% ванкомицина и 99 масс. % полимеров, растворенных в смесевом растворителе ацетон–N, N-диметилформамид. Содержание полимеров – ВДФ-ТеФЭ/ПВП – варьировали от 100/0 до 50/50 масс. %, соответственно. Формирование композитных мембран осуществляли на установке многоканального электроспиннинга на вращающийся сборочный коллектор.

Анализ морфологии поверхности и кристаллической структуры мембран был выполнен с помощью данных, полученных методами сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Изображения структуры полимерных мембран были получены методом сканирующей электронной микроскопии на приборе JEOL JSM-6000 (Япония). Перед исследованием образцы покрывались тонким слоем золота с помощью установки магнетронного напыления SC7640 (Quorum Technologies Ltd., Великобритания). Инфракрасные спектры композитных мембран и материалов, из которых они были изготовлены, были получены на ИК-спектрометре с преобразованием Фурье Simex FT-801 (Новосибирск, Россия). Кристаллическую структуру образцов мембран исследовали с помощью рентгеноструктурного анализа, который выполняли на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 (Shimadzu Kyoto, Япония). Для получения и обработки спектров использовалась программа Origin.

Изображения морфологии поверхности, а также ИК-спектры и рентгенограммы композитных мембран представлены на рисунке 1.

Все типы исследуемых полимерных мембран были сформированы хаотично переплетающимися между собой волокнами, формирующими структуру с открытой взаимосвязанной пористостью. На поверхности мембран всех типов отсутствовали дефекты в виде оплавлений, бусин и т.д., что свидетельствовало об оптимально подобранном режиме формирования мембран, рисунок 1а. Средний диаметр волокон мембран уменьшался при увеличении концентрации ПВП в соотношении ВДФ-ТеФЭ/ПВП в мембране с 0,96 до 0,50 мкм, а пористость, напротив, увеличилась с 9,6 до 23,2 %. Ориентация волокон в полимерных мембранах изменялась нелинейно от -61,89 до 28,03°.

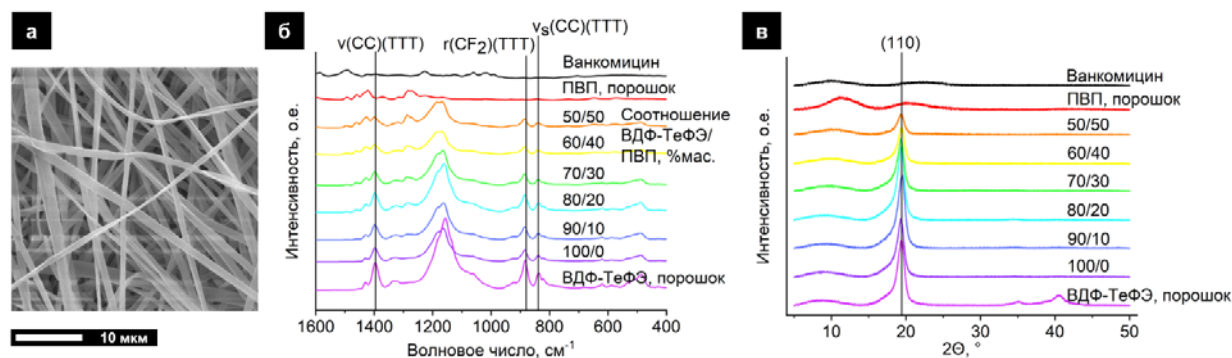


Рисунок 1 – Типичные изображения морфологии поверхности полимерных мембран (а), ИК-спектры (б) и рентгенограммы (в) композитных мембран и компонентов, из которых они изготовлены

На ИК-спектрах полимерных мембран, рисунок 1б, присутствовали пики, характерные и для порошка ВДФ-ТеФЭ, и для порошка ПВП. По мере увеличения концентрации ПВП в соотношении полимерных материалов ВДФ-ТеФЭ/ПВП в составе мембран, интенсивность пиков, характерных для ВДФ-ТеФЭ, уменьшалась. Кроме того, сдвигов характеристических частот на спектрах композитных мембран не наблюдалось. Это говорит об отсутствии химического взаимодействия полимерных материалов в мембране. Наличие полос на спектре порошка ВДФ-ТеФЭ и полимерных мембран в областях  $840$ ,  $884$  и  $1398$   $\text{см}^{-1}$ , соответствующих транс-конформациям электрически активной  $\beta$ -фазы фторполимера, указывает на преимущественно плоскую зигзагообразную конформацию с сильным дипольным моментом макромолекулы сополимера ВДФ-ТеФЭ [4]. Также на спектрах композитных мембран нет характеристических полос ванкомицина, что объясняется малой концентрацией антимикробного агента относительно полимерных материалов.

На рентгенограмме, рисунок 1в, порошка ВДФ-ТеФЭ, из которого готовили композитные мембраны, наблюдался интенсивный рефлекс в области  $18$ – $20.5^\circ$ , соответствующий отражению от плоскости (110) электрически активной  $\beta$ -фазы фторполимера [4]. На рентгенограмме мембран, изготовленных из ВДФ-ТеФЭ, пик рефлекса наблюдался также при  $19.5^\circ$  и характеризовал пьезо- и сегнетоэлектрические свойства кристаллических структур, образованных макромолекулами в сополимере. При увеличении концентрации ПВП в соотношении полимерных материалов ВДФ-ТеФЭ/ПВП в составе мембран площадь пика уменьшалась.

#### Благодарность:

*Изготовление полимерных композитных мембран методом многоканального электроспиннинга выполнено при поддержке проекта Приоритет-2030-НИИ/ИЗ-048-375-2023. Исследование структуры полимерных композитных мембран выполнено в рамках проекта УМНИК № 18229ГУ/2022.*

#### Список литературы

1. Singh G. Collagen Membrane Over Buccal Fat Pad Versus Buccal Fat Pad in Management of Oral Submucous Fibrosis: A Comparative Prospective Study / G. Singh [et al.] // Journal of Maxillofacial and Oral Surgery. – 2018. – V. 17. – P. 482–487.
2. Kanitakis J. Clinicopathologic monitoring of the skin and oral mucosa of the first human face allograft: report on the first eight months / J. Kanitakis [et al.] // Transplantation. – 2006. – V. 82. – № 12. – P. 1610–1615.
3. Srivastava A. Reconstruction of intraoral oncologic surgical defects with Integra® bilayer wound matrix / A. Srivastava [et al.] // Clinical Case Reports. – 2020. P. 1–7.

4. Mohammadpourfazeli S. Future prospects and recent developments of polyvinylidene fluoride (PVDF) piezoelectric polymer; fabrication methods, structure, and electro-mechanical properties / S Mohammadpourfazeli [et al.] // RSC Adv. – 2023. – V. 13. – P. 370–387.

### БИКОМПОНЕНТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ $\text{CuO/ZnO}$ С ВЫСОКОЙ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

*В.Р. ЧЖОУ<sup>1,2</sup>, О.В. БАКИНА<sup>1,2</sup>, А.О. РЕЧКУНОВА<sup>1,2</sup>, Л.Ю. ИВАНОВА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>2</sup>Томский государственный университет

E-mail: [chzhou.vr@ispms.ru](mailto:chzhou.vr@ispms.ru)

Загрязнение воды токсичными органическими веществами вызывает в настоящее время обеспокоенность международного научного сообщества. Некоторые онкологические или эндокринологические заболевания могут быть также вызваны низким качеством используемой воды. В связи со сложившейся экологической ситуацией появилась необходимость в новых, более эффективных, экологичных и менее затратных методах очистки воды [1].

Для эффективной очистки водных источников применялись различные общепринятые методы очистки (коагуляционно-флуктуационный метод, осаждение, обратный осмос, метод ионного обмена, адсорбция), однако основным их недостатком является образование вторичных отходов, которые могут оказывать токсичное действие и не могут быть переработаны до конечных продуктов разложения:  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  [2]. Очистка воды с использованием наноматериалов считается одной из наиболее эффективных технологий благодаря их развитой поверхности, повышенной адсорбционной способности и фотокаталитической активности. Среди существующих методов фотокаталитическая очистка является перспективной для удаления различных загрязнителей, включая органические красители, фармацевтические препараты, тяжелые металлы и микроорганизмы. Кроме того, данный метод является высокоэффективным, имеет низкую стоимость и низкое энергопотребление, а также позволяет удалять загрязнители даже при небольших концентрациях в течение нескольких часов без образования вторичных отходов [3].

Бикомпонентные фотокатализаторы являются в настоящее время предметом исследования в области фотокаталитической очистки. Совмещение двух компонентов позволяет сформировать гетеропереход на границе раздела фаз, что может привести к смещению края полосы поглощения в область видимого света [4]. Для создания гетероперехода, большой интерес вызвали наночастицы  $\text{ZnO}$  и  $\text{CuO}$ , что связано с широкой запрещенной зоной оксида цинка (3,37 эВ) и узкой запрещенной зоной оксида меди (1,2-1,5 эВ). Формирование *p-n* гетероперехода между такими частицами позволит эффективно подавить электронодырочную рекомбинацию, обеспечивая непрерывное образование активных свободных радикалов [5].

В представленной работе электрическим взрывом проволок в кислородосодержащей атмосфере были получены три образца наночастиц  $\text{ZnO/CuO}$ . Процесс электрического взрыва полупроводников является быстропротекающим, что приводит к формированию большого количества границ раздела фаз. Условия взрыва (аргон и кислород) также обеспечат отсутствие примесей на границе раздела фаз. Массовая доля компонентов в наночастицах составляла  $\text{ZnO/CuO} - 92/8$  масс. %;  $\text{ZnO/CuO} - 74/26$  масс. %;  $\text{ZnO/CuO} - 50/50$  масс. %.

Морфология и размер наночастиц были исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии ПЭМ (JEM JEOL 2100, Япония). Полученные изображения представлены на рисунке 1.