

УДК 539.231

**ФОРМИРОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН DLC ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ**Е.А. Просецкая, А.А. Рунц, Ю.Н. Юрьев

Научный руководитель: к.т.н. Е.Н. Бولбасов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: eap47@tpu.ru**FORMATION OF DLC COATINGS ON THE SURFACE OF POLYMERIC MEMBRANES
FOR CARDIOVASCULAR SURGERY APPLICATIONS**E.A. Prosetskaya, A.A. Runts, Yu.N. Yuriev

Scientific Supervisor: PhD. E.N. Bolbasov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: eap47@tpu.ru

Abstract. *In the present study, the modification of vinylidene fluoride-tetrafluoroethylene copolymer (VDF-TFE) polymer membranes was carried out by vacuum arc evaporation of a graphite target in an argon atmosphere. No external defects were observed on the surface of the polymer membranes after the diamond-like coating was applied. The morphology study showed, that the modification does not change the membrane macrostructure. Wetting surface of polymeric membranes was found to increase surface energy of membrane with increasing storage voltage of capacitor. Thus, it can be said that deposition of a diamond-like coating on the surface of polymeric membranes by pulsed vacuum arc deposition is possible.*

Введение. Одной из основных причин смертности в мире является сердечно-сосудистые заболевания, в том числе и атеросклероз сонной артерии. По оценкам, в 2016 году от сердечно-сосудистых заболеваний умерло 17,9 миллиона человек, что составило 31 % всех случаев смерти в мире. 85 % этих смертей произошло в результате сердечного приступа и инсульта [1]. Для решения данной проблемы является хирургическое удаление тромбов с частью артерии и дальнейшее её восстановление сосудистыми патчами (полимерными мембранами). У мембран есть недостаток: они гидрофобные. Чтобы его преодолеть, были предложены различные способы модификации мембран для создания гидрофильной поверхности. В данной работе было выбрано алмазоподобное (DLC) покрытие. Так как эти покрытия обладают такими свойствами, как химическая инертность, антибактериальная активность и высокая гемо- и биосовместимость, их наносят на поверхность устройств, контактирующих с кровью. Целью работы стало получение данных о влиянии режимов осаждения DLC покрытий на свойства модифицированной полимерной мембраны.

Экспериментальная часть. Образцы мембраны были получены из 6 масс. % раствора ВДФ–ТФЭ методом электроспиннинга на установке NANON-01A. Для изготовления использовали следующие параметры: расстояние между иглой и коллектором было 90 мм, напряжение на инжекторе 25 кВ, скорость потока раствора 4 мл/ч, частота вращения коллектора 200 об/мин. Модифицирование

поверхности мембран осуществляли с помощью метода вакуумно-дугового испарения с графитовой мишенью (МПГ-6) в атмосфере аргона на установке УВНИПА – 1 – 001. В таблице 1 представлены параметры, при которых были получены покрытия.

Морфологию полимерных мембран исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Изображения обрабатывали с помощью программного обеспечения Fiji – Image J. Для расчета среднего значения диаметры было измерено не менее 350 волокон для каждой из групп. Измерения краевого угла смачивания поверхности и расчет свободной поверхностной энергии (СПЭ) образцов модифицирования проводили с помощью метода лежащей капли на приборе DSA 25. Краевые углы смачивания воды (H_2O) и диiodметана (CH_2I_2), а также поверхностная энергия, были рассчитаны с использованием метода Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле (ОВРК).

Результаты. В работе показано, что осаждение DLC покрытия на мембраны не изменяло их морфологии, также не наблюдалось изменение структуры мембраны и каких-либо дефектов волокон. На рисунке 1 представлены СЭМ-изображения модифицированной поверхности мембраны. В таблице 2 представлены значения среднего диаметра измеренных волокон. В таблице 3 представлены результаты контактных углов и свободной поверхностной энергии до и после модификации. Сформированные на поверхности мембран покрытия не оказывали влияния на угол контакта с водой. При этом контактный угол диiodметана (CH_2I_2) уменьшился от $24,2^\circ$ до $12,6^\circ$ в случае покрытий. Уменьшение угла контакта свидетельствует об увеличении поверхностной свободной энергии мембран с DLC-покрытием более чем в 10 раз по сравнению с контрольным образцом, от 5,8 до 73,5 мДж/м².

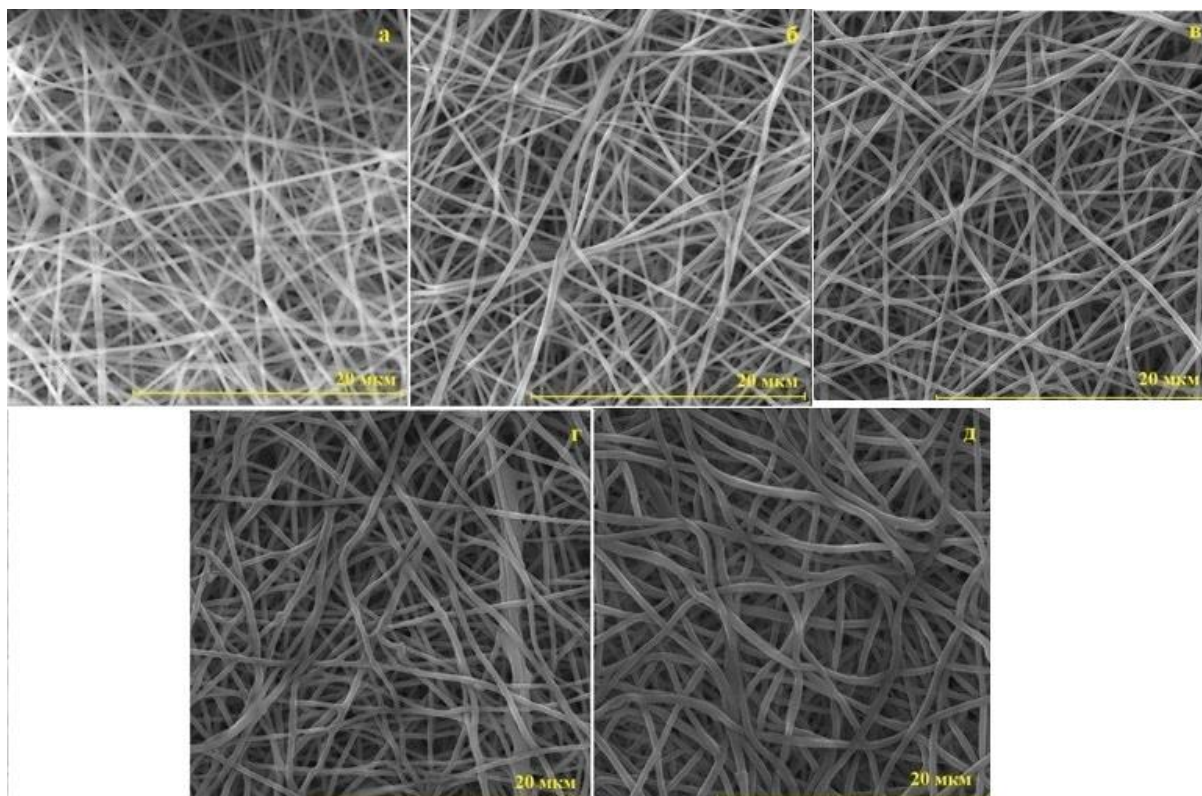


Рис. 1 СЭМ-изображения наружной поверхности полимерных мембран: а) исходный образец; б) 150 В; в) 200 В; г) 250 В; д) 300 В

Таблица 1

Параметры осаждения покрытий

Рабочее давление, Па	0,02			
Напряжение накопителя, В	150	200	250	300
Частота импульсов, Гц	3			
Количество импульсов	3000			
Время обработки, с	40			

Таблица 2

Значение среднего диаметра волокон

Образец	Средний диаметр волокон, мкм
Исходный	$0,61 \pm 0,21$
150	$0,57 \pm 0,24$
200	$0,56 \pm 0,21$
250	$0,63 \pm 0,22$
300	$0,67 \pm 0,19$

Таблица 3

Контактные углы и свободная поверхностная энергия мембран до и после модификации

Образец	Контактный угол, градусы		Свободная поверхностная энергия, мДж/м ²		
	H ₂ O	CH ₂ I ₂	σ	σ^D	σ^P
Исходный	$130,6 \pm 2,0$	$109,1 \pm 2,2$	$5,8 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2$	$0,06 \pm 0,02$
150	$126,0 \pm 1,7$	$24,2 \pm 3,4$	$66,3 \pm 1,4$	$58,0 \pm 1,1$	$8,3 \pm 0,3$
200	$126,1 \pm 1,8$	$12,4 \pm 1,8$	$71,8 \pm 0,8$	$62,4 \pm 0,6$	$9,4 \pm 0,2$
250	$127,1 \pm 0,7$	$11,2 \pm 2,0$	$73,0 \pm 0,8$	$63,0 \pm 0,7$	$10,0 \pm 0,3$
300	$128,1 \pm 0,9$	$12,6 \pm 2,0$	$73,5 \pm 0,9$	$63,0 \pm 0,7$	$10,5 \pm 0,2$

Закключение. В результате формирования покрытия на поверхности свойства исходной мембраны и её целостность не были нарушены. При исследовании поверхности полимерных мембран было обнаружено, что с увеличением напряжения накопителя конденсатора поверхностная энергия мембраны увеличивается. Таким образом, можно сказать, что осаждение алмазоподобного покрытия на поверхность полимерных мембран с помощью импульсного вакуумного дугового осаждения возможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Сердечно-сосудистые заболевания» [Электронный ресурс] // «сердечно-сосудистые заболевания в мире»: [сайт]. – 2023. – Режим доступа: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)), свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 05.02.2023).