

ФОРМИРОВАНИЕ МЕМБРАН АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ БИОФИЛЬТРАЦИИ В МЕДИЦИНЕ *И.А. Врублевский¹, К.В. Чернякова¹, С.К. Дик¹, В.Х. Видеков²*

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЭТТ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938540
e-mail: sdick@bsuir.by*

²*Технический университет –София, бул. К. Охридски, 8, г. София, 1000, Болгария*

Приведены результаты исследований микроструктуры мембран нанопористого оксида алюминия, полученных в электролитах на основе водных растворов серной и щавелевых кислот. Для оценки геометрических параметров нанопористой структуры использовалась программа ImageJ для цифровой обработки изображений. Результаты исследований показали, что анодный оксид алюминия с размерами пор 10 – 30 нм для керамических мембран может быть получен в режимах анодирования с напряжением 12 - 18 В в серной кислоте и 30 - 40 В в щавелевой кислоте. Сделан вывод, что керамические мембраны анодного оксида алюминия имеют высокий потенциал для применений в области биофильтрации в медицине.

В настоящее время мембраны для гемодиализа играют важную роль в почечной восстановительной терапии в медицине [1,2]. В диализных мембранах для устранения токсинов используются процессы диффузии, конвекции и адсорбции, которые зависят от параметров пористой микроструктуры материала мембраны. Вот почему улучшение микроструктуры мембран имеет большое значение для повышения эффективности гемодиализной терапии. В первую очередь это относится к параметрам мембран, которые определяют их микроструктурные характеристики: размер пор, плотность пор и площадь поверхности.

В медицине для гемодиализа разработаны и используется два типа мембран, созданных на основе органических материалов: мембраны на целлюлозной основе и полимерные синтетические мембраны. Однако из-за широкого разброса размеров пор и неравномерности в плотности пор они являются малоэффективным при удалении уремических токсинов, например, у пациентов с последней стадией почечной болезни. Можно также отметить, что из-за специфики органических материалов в таких диализных мембранах возникает неравномерность в кровяном и диализном потоках, что в последующем ухудшает характеристики мембран. Несмотря на достигнутый большой прогресс в разработке диализных мембранах, современные аппараты искусственной почки имеют не достаточно высокую эффективность в удалении уремических токсинов по сравнению с почкой человека. Кроме того, для мембран из органических материалов критичной является технологическая процедура дезинфекции мембран для повторного восстановления из-за влияния на их диализные характеристики, что сокращает срок их рабочего цикла. Существенным ограничением является тот факт, что химические растворы, используемые для дезинфекции диализных мембран, могут изменять характеристики мембран. Также низкая стойкость мембран к высоким температурам исключает высокотемпературную дезинфекцию (стерилизацию) для повторного восстановления диализных мембран. Таким образом, значительные недостатки существующих диализных мембран на основе органических материалов служат толчком на пути к разработке новых технологических процессов получения нанопористых материалов, необходимых для создания высокоэффективных диализных мембран.

Как известно, анодный оксид с регулярным распределением наноразмерных пор является перспективным материалом для использования в качестве, как носителя, так и шаблона при изготовлении различных наноразмерных структур в оптике, электронике, сенсорах и биомедицине [3]. Анодный оксид алюминия, формируемый с помощью анодирования алюминия в водных растворах электролитов, имеет аморфную структуру, и последующей высокотемпературной обработки может быть переведен в кристаллическую

структуру оксида алюминия (керамический материал). Следует отметить, что узкий диапазон разброса пор, высокая равномерность пористой структуры и биосовместимость мембран анодного оксида алюминия открывает им высокие перспективы для использования в области биофильтрации и, в особенности, в аппаратах искусственная почка. Важным достоинством является также то, что мембраны анодного оксида алюминия имеют самоорганизованную пористую структуру.

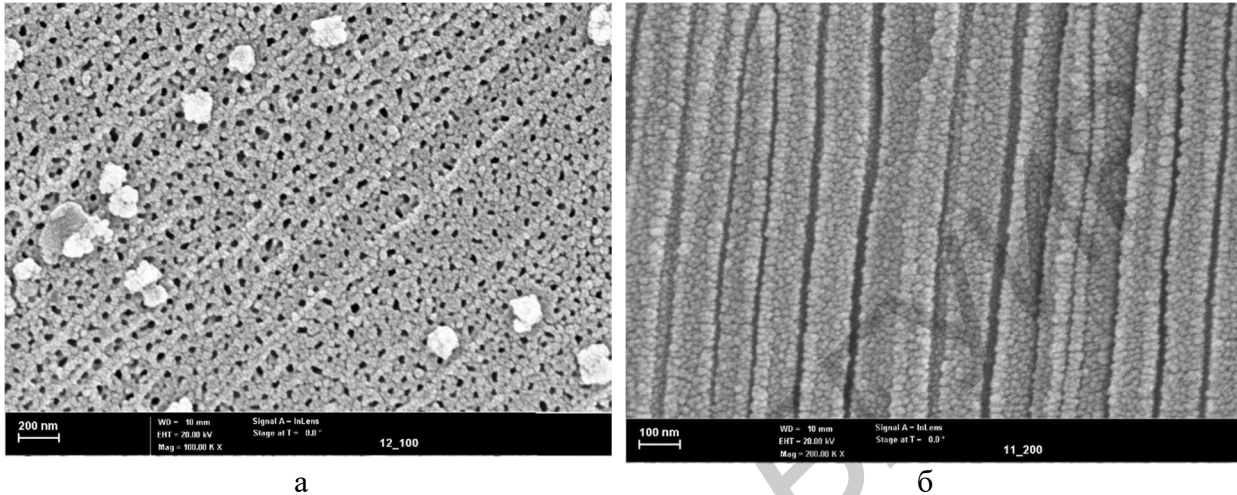


Рисунок 1 – СЭМ изображение мембран пористого оксида алюминия, полученных в электролите на основе водного раствора щавелевой кислоты при 40 В.
а – поверхность пористого оксида алюминия, б – поперечное сечение пористого оксида алюминия.

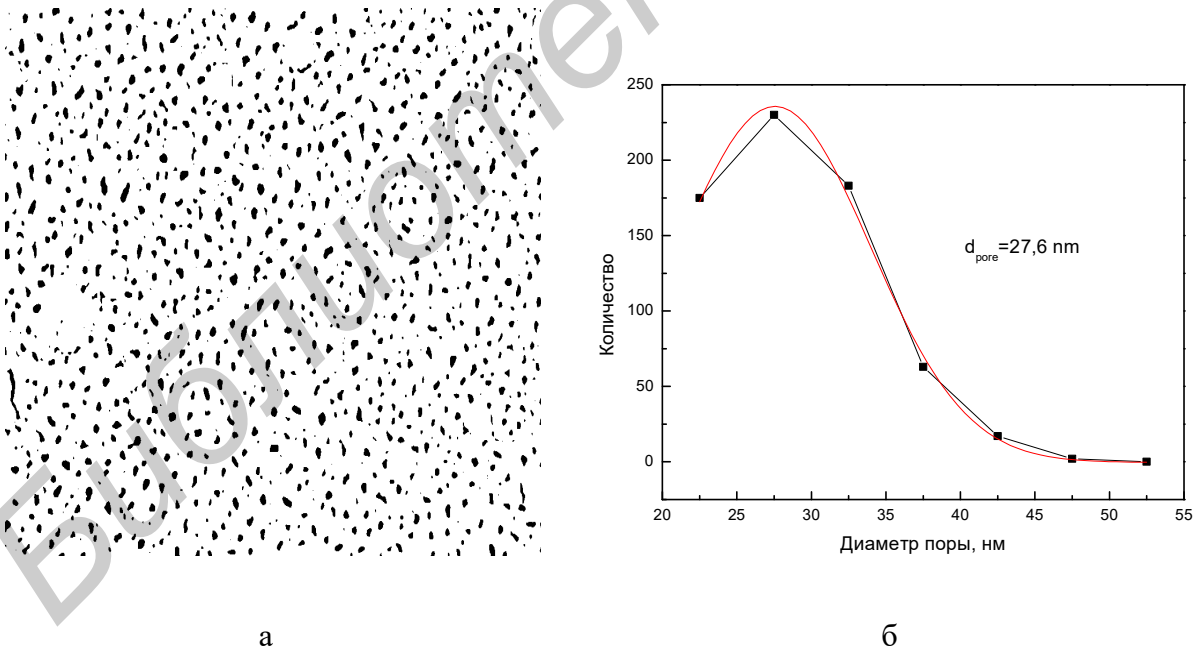


Рисунок 2 – Результаты обработки СЭМ изображения анодного оксида алюминия (рис.1 а) с помощью компьютерной программы ImageJ:
а – окончательный вид фотографии для идентификации пор после преобразования в черно-белую графику; б – распределение пор по диаметру (черная линия) и подгоночная кривая Гаусса (красная линия).

Объектом изучения в данной работе являлись процессы формирования мембран нанопористого оксида алюминия и исследование влияния условий анодирования на такие параметры нанопористой структуры, как диаметр пор, размер ячейки и плотность пор. Для формирования мембран пористого оксида использовались электролиты на основе серной и щавелевой кислот. Напряжение анодирования в серной кислоте изменялось от 12 В до 20 В и от 30 до 40 В в случае щавелевой кислоты. Размеры пор и плотность пор для пористого оксида алюминия определялись с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Для оценки геометрических параметров полученных мембран использовалась методика, основанная на анализе структуры слоев пористого оксида алюминия (данные сканирующей электронной микроскопии) с помощью цифровых методов обработки изображений (программа ImageJ). На рисунке 1 и 2 представлены примеры начальных (1 а) и конечных (2 а и б) результатов работы программы по обработке СЭМ изображений, соответственно.

Работа с использованием программы ImageJ включала в себя несколько этапов. На первом этапе, оттенки серого цвета, присутствующие в СЭМ изображении импортировались в ImageJ (рис. 1 а). Затем, задавались размеры анализируемой области, проводили обрезание до выбранного размера и остальное изображение преобразовывали в настоящее черно-белое изображение (рис. 2 а). На втором этапе, перед преобразованием, в программе ImageJ выбирали значение порогового серого, выше которого связанные пиксели преобразовывались в черный цвет, в свою очередь ниже которого пиксели преобразовывались в чисто белый цвет. Для проведения анализа лучше всего подходило СЭМ изображение, где имелся значительный контраст в оттенках серого между круглыми порами. На третьем этапе, с помощью установок программы автоматически удалялись мелкие темные объекты и, таким образом, проводилась очистка изображения (рис. 2 а). В конце цикла программа выдавала данные для построения гистограммы распределения пор определенного диаметра на анализируемой поверхности. Как видно из результатов, представленных на рис.2 б, мембрана анодного оксида алюминия, сформированная в водном растворе щавелевой кислоты, имела размер пор 27,6 нм. Данный результат хорошо согласуется с данными в литературе для размеров пор анодного оксида алюминия, формируемых в электролите на основе щавелевой кислоты. Результаты обработки экспериментальных данных показали, что размер пор анодного оксида алюминия увеличивается с увеличением приложенного напряжения анодирования. Для электролита на основе серной кислоты получены мембраны с минимальными размерами пор 10 нм.

Установлено, что оптимальными условиями для формирования самоорганизованной пористой структуры анодного оксида алюминия, материала для керамических мембран, являлось напряжение анодирования 12 – 18 В в серной кислоте и 30 - 40 В в щавелевой кислоте. Режимы анодирования алюминия, отработанные в данной работе, позволили формировать мембраны анодного оксида алюминия с размерами пор 10 – 30 нм. Вследствие лучшей равномерности диаметра пор, высокой пористости, высокой гидравлической проводимости и устойчивости к высоким температурам, керамические мембраны анодного оксида алюминия имеют высокий потенциал для применений в области биофильтрации в медицине.

Литература

1. **Clark W.R.** Determinants of haemodialyser performance and the potential effect on clinical outcome/ W.R. Clark, C. Ronco // Nephrol Dialysis Transplant. – 2001. –16. – P. 56–60.
2. **Clark W.R.** Determinants of uraemic toxin removal/ W.R. Clark, G. Gao // Nephrol Dialysis Transplant. – 2002. –17. – P. 30–34.
3. **Структура** пленок пористого оксида алюминия, формируемых в электролитах на основе органических кислот / И.А. Врублевский, С.К. Дик, А.С. Терех, А.В. Смирнов, К.В. Чернякова // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – Т. 12, № 3. – С. 101–105.