

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали перспективность использования торфа в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов с дальнейшей утилизацией отработанного материала в качестве топлива:

1. Торф обладает сорбционными свойствами по отношению к нефти и нефтепродуктам, которые проявляются с первых минут контакта. Показано, что нефтеемкость торфа существенно зависит от вязкости сорбированных нефтепродуктов.

2. Оценены основные свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами. Показано, что сорбированные нефтепродукты увеличивают теплоту сгорания торфа в 1,95 раза для отработанного моторного масла и в 2,15 раза для дизельного топлива. Получено, что сорбированные нефтепродукты увеличивают как влажность, так и зольность торфа в сравнении с исходным топливом.

Л и т е р а т у р а

1. Dremicheva, E. S. Modeling the process of sorption for the purification of waste water from petroleum products and heavy metals / E. S. Dremicheva, A. G. Laptev // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2019. 53(3). P. 355–363. <http://doi.org/10.1134/S0040579519030047>
2. Дремичева, Е. С. Энергетические свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами. Надежность и безопасность энергетики. 2020;13(2):105-109. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-105-109>
3. Дремичева, Е. С. Использование низкокачественного местного топлива в качестве сорбента нефти и нефтепродуктов / Е. С. Дремичева, Э. Р. Зверева, А. А. Эминов // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Хим. технология и биотехнология. – 2023. – № 1. – С. 92–111.
4. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики / Е. С. Дремичева [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 119–130.
5. Дремичева, Е. С. Проблемы загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами промышленных предприятий и варианты их решения / Е. С. Дремичева // Хим. безопасность. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 66–77.
6. Дремичева, Е. С. Использование твердотопливных композиций при совместном сжигании на объектах малой энергетики / Е. С. Дремичева // Пром. энергетика. – 2021. – № 8. – С. 48–56. <https://doi.org/10.34831/EP.2021.21.66.006>
7. Дремичева, Е. С. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. А. Эминов // Вестн. Казан. гос. энергет. ун-та. – 2022. – Т. 14, № 1 (53). – С. 96–108.

УДК 539.216.1

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН Al_2O_3 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Марван Ф. С. Х. Аль-Камали

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Ахмед А. А. Аль-Дилами

Научная ассоциация исследований и инноваций, г. Тауз, Йеменская Республика

Н. В. Лушпа, И. А. Врублевский

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Представлены результаты исследований процессов формирования и структуры нановолокон Al_2O_3 . Результаты исследований позволили установить, что в режиме анодирования алюминия в щавелевой кислоте при 100 В происходит интенсивное травление ячеек пористого анодного оксида алюминия с формированием нановолокон анодного оксида алюминия.

Ключевые слова: анодный оксид алюминия, нановолокна Al_2O_3 , локальный нагрев, джоулево тепло, СЭМ.

PREPARATION OF Al_2O_3 NANOFIBERS BY ELECTROCHEMICAL METHOD DURING THE FORMATION OF POROUS ANODIC ALUMINUM OXIDE

Marwan F. S. H. Al-Kamali

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Ahmed A. A. Al-Dilami

Scientific Association for Research and Innovation, Taiz, Republic of Yemen

N. V. Lushpa, I. A. Vrublevsky

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The results of studies of the processes of formation and structure of Al_2O_3 nanofibers are presented. The research results made it possible to establish that in the anodizing mode of aluminum in oxalic acid at 100 V, intensive etching of porous anodic aluminum oxide cells occurs with the formation of anodic aluminum oxide nanofibers.

Keywords: anodic aluminum oxide, Al_2O_3 nanofibers, local heating, Joule heat, SEM.

Разработка методов получения наноструктурированных материалов и изучение их свойств является предметом многочисленных исследований [1–4]. Это объясняется необходимостью улучшения свойств классических материалов, которые можно достичь в случае перехода к области наноразмеров.

В настоящее время анодный оксид алюминия из-за самоорганизованного процесса роста, упорядоченной нанопористой структуре, своим физико-химическим и оптическим свойствам вызывает большой интерес исследователей [5–8]. Это связано с возможностью использования нанопористого анодного оксида алюминия в качестве шаблона в нанотехнологии для получения различных наноструктур. Типовые процессы получения на его основе наноструктур, наноразмерных мембран, нановолокон и нанокompозитных материалов описаны в [2, 3].

СЭМ-снимки типичной морфологии поверхности пленки анодного оксида алюминия с нанопористой структурой, полученной в щавелевой кислоте при 50 В, показаны на рис. 1.

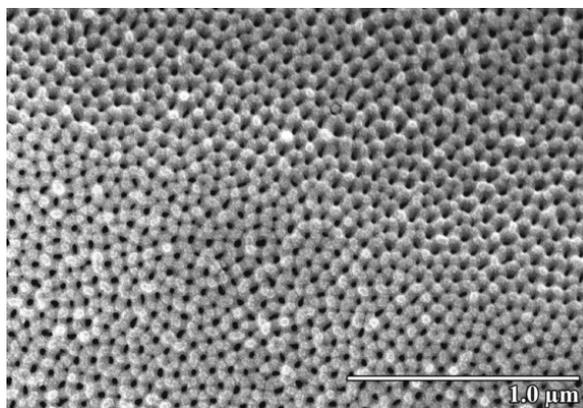


Рис. 1. СЭМ-снимок морфологии поверхности пленки анодного оксида алюминия с нанопористой структурой, полученной при 50 В

В данной работе представлены результаты исследований процессов формирования и структуры нановолокон анодного оксида алюминия, получаемых электрохимическим методом в щавелевой кислоте при высоких напряжениях анодирования. Результаты исследований показывают, что в режиме анодирования алюминия в щавелевой кислоте при 100 В происходит интенсивное травление ячеек пористого анодного оксида алюминия с формированием нановолокон анодного оксида алюминия. Рост нановолокон анодного оксида алюминия наблюдался на границе раздела оксид/электролит из-за процессов локального нагрева и, как следствие, интенсивного химического растворения. Длина нановолокон анодного оксида с увеличением длительности анодирования алюминия увеличивается.

Как хорошо видно, в случае классического анодирования алюминия на поверхности анодной пленки нет никаких следов формирования нановолокон анодного оксида алюминия. На рис. 2 показаны СЭМ-снимки морфологии поверхности пленок анодного оксида алюминия, полученных при напряжении 100 В.

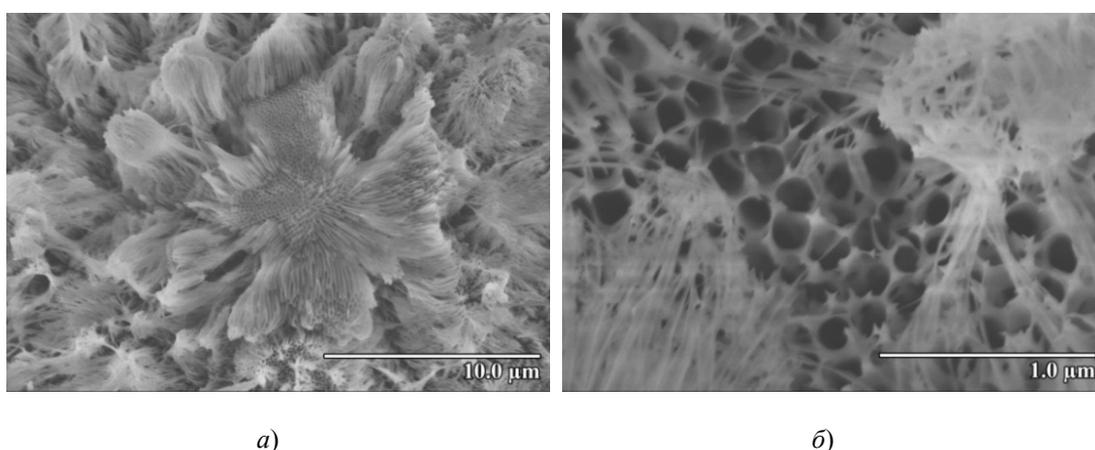


Рис. 2. СЭМ-снимки морфологии поверхности пленки анодного оксида алюминия, полученной при 100 В:
а – увеличение $\times 5,0$; б – увеличение $\times 50,0$

Из рис. 2 видно, что вся поверхность анодированного образца покрыта массивом нановолокон анодного оксида алюминия. Проведенный анализ в программе ImageJ показал, что диаметр нановолокон составляет около (20 ± 2) нм.

Полученные результаты были объяснены на основе закономерностей процесса роста пленок пористого анодного оксида алюминия. Как известно, стенки пор анодного оксида алюминия имеют наиболее толстый внутренний слой в местах, которые прилегают к трем соседним порам. Поэтому мы предполагаем, что наиболее вероятным местом формирования нановолокон анодного оксида алюминия являются точки, в которых соединяются три соседние ячейки. Как можно видеть из рис. 2, позади массива нановолокон хорошо видна плоская поверхность анодной пленки с упорядоченным расположением пор. Следовательно, анодный оксид, получаемый в рассматриваемых режимах анодирования, имеет двухслойную структуру: верхний слой из нановолокон анодного оксида алюминия и нижний слой из анодного оксида алюминия с нанопористой структурой. Анализ СЭМ-изображений показал, что в нижнем слое анодные пленки имели диаметр пор около 86 нм и межпоровое расстояние 184 нм. Эти размеры во много раз превышают соответствующие размеры пор и ячеек для оксида, полученного при напряжении 50 В.

В [9] было показано, что джоулево тепло, генерируемое в процессе анодирования алюминия на дне пор анодного оксида, может существенно влиять на диаметр пор пленок анодного оксида алюминия. Было найдено, что зависимость для изменения диаметра пор от напряжения при анодировании алюминия в щавелевой кислоте имеет экспоненциальный вид.

Проведенные расчеты показали, что в диапазоне напряжений 40–50 В наблюдается относительно постоянное значение параметра толщины стенки анодного оксида на 1 В, равное $0,85 \text{ нм В}^{-1}$. Однако после 50 В имеет место тенденция заметного уменьшения этого параметра для толщины стенки поры, достигая при 100 В значения параметра толщины стенки анодного оксида на 1 В, равного $0,7 \text{ нм В}^{-1}$. Полученные результаты показывают, что при 100 В в результате локального разогрева электролита на дне пор создаются все условия для частичного растворения стенок пор у границы между двумя ячейками. Кроме того, наружный слой стенки содержит значительное количество включений электролита, что также определяет его более высокую скорость химического растворения [10]. Процесс анизотропного растворения значительно ускоряется при повышенной температуре.

Таким образом, результаты исследований показывают, что в определенных режимах анодирования алюминия в щавелевой кислоте может иметь место процесс анодного формирования нановолокон оксида алюминия. Анализ СЭМ-изображений показал, что диаметр нановолокон составлял около (20 ± 2) нм. Формируемый анодный оксид имел двухслойную структуру: верхний слой из нановолокон анодного оксида алюминия и нижний слой из анодного оксида алюминия с нанопористой структурой. Результаты анализа данных позволили установить, что в режиме анодирования алюминия при 100 В рост нановолокон анодного оксида алюминия инициируется в точках, прилегающих к трем соседним ячейкам.

Литература

1. Sulka, G. D. Highly Ordered Anodic Porous Alumina Formation by Self-Organized Anodizing / G. D. Sulka // *Nanostructured Materials in Electrochemistry* / ed. Eftekhari A. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. – P. 1–116.
2. Lee, W. Porous anodic aluminum oxide: Anodization and templated synthesis of functional nanostructures / W. Lee, S. J. Park // *Chem. Rev.* – 2014. – Vol. 114, № 15. – P. 7487–7556.
3. Fabrication of a novel aluminum surface covered by numerous high-aspect-ratio anodic alumina nanofibers / D. Nakajima [et al.] // *Appl. Surf. Sci.* – 2015. – Vol. 356. – P. 54–62.
4. Ono, S. Evaluation of pore diameter of anodic porous films formed on aluminum / S. Ono, N. Masuko // *Surf. Coatings Technol.* – 2003. – Vol. 169–170. – P. 139–142.
5. Improvement of the thermal characteristics of the electric heater in the architecture with aluminum, nanoporous alumina and resistive component of carbon fiber / I. Vrublevsky [et al.] // *Nanosci.&Nanotech. – Nanostructured Mater. Appl. Transf.* – 2016. – Vol. 16. – P. 42–43.
6. Santos, A. Nanoporous anodic alumina photonic crystals: Fundamentals, developments and perspectives // *Journal of Materials Chemistry C.* – 2017. – Vol. 5, № 23. – P. 5581–5599.
7. Study of microstructure of porous anodic alumina films formed in malonic acid in the wide range of aluminium anodizing voltages / K. Chernyakova [et al.] // *Nanosci.&Nanotech. – Nanostructured Mater. Appl. Transf.* – 2019. – Vol. 19. – P. 33–36.
8. Tracer study of pore initiation in anodic alumina formed in phosphoric acid / A. Baron-Wiecheć [et al.] // *Electrochim. Acta.* – 2013. – Vol. 113. – P. 302–312.
9. Effect of joule heating on formation of porous structure of thin oxalic acid anodic alumina films / K. Chernyakova [et al.] // *Journal of The Electrochemical Society.* – 2018. – Vol. 165, № 7. – P. E289–E293.
10. Study of chemical dissolution of the barrier oxide layer of porous alumina films formed in oxalic acid using a re-anodizing technique / I. Vrublevsky [et al.] // *Applied Surface Science.* – 2004. – Vol. 236, № 1–4. – P. 270–277.