

^{1,2}М.Ф. Қадір*, ^{1,2}Н.Б. Нұрман, ³В.Ю. Смирнов

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Лаборатория инженерного профиля, Алматы, Казахстан

³Исследовательский центр Юлих, Германия

*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОПОРИСТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ

Аннотация. Нанопористые мембраны на основе оксидов металлов широко применяются для формирования наноструктурированных материалов, так как имеется возможность создавать материалы с заранее заданными структурными свойствами. В данной исследовательской работе были описаны структурные особенности нанопористых мембран на основе оксидов титана и алюминия, объединяющихся процессом получения, но различающимся ростом пор и их строением. Мембраны на основе оксидов металлов синтезированы при напряжении $U=80-140\text{В}$, при комнатной температуре $T=17^\circ\text{C}$, в кислотной среде. Структурные особенности синтезированных мембран были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии Quanta 200i 3D (FEI). Установлено, что пленки диоксида титана обладают узким распределением пор, размеры которых находятся в пределах 40-115 нм. Структурные отличия наномембран диоксида титана и оксида алюминия дают возможность широкому применению в области нанотехнологий и материаловедения.

Ключевые слова: нанопористый диоксид титана, нанопористый оксид алюминия, нанопористая мембрана, электролит, процесс анодирования, сканирующая электронная микроскопия.

Введение. Нанопористый оксидный материал и его структурные и физико-химические свойства на данный момент являются широко исследуемой областью в нанотехнологии. Такой причиной является метод получения и возможность контроля структурных параметров нанопористых материалов. К таким материалам можно отнести нанопористые мембраны на основе различных оксидов металлов (Ti, Al, Cu, Nb и др.). Нанопористые мембраны на основе оксидов металлов, полученные на основе процесса анодирования, могут быть перспективными материалами для применения в микроэлектронике, оптике, мембранной технике, различных датчиках, солнечных элементах, катализаторах очистки водной и воздушной среды, производстве химических и биологических сенсоров [1-9].

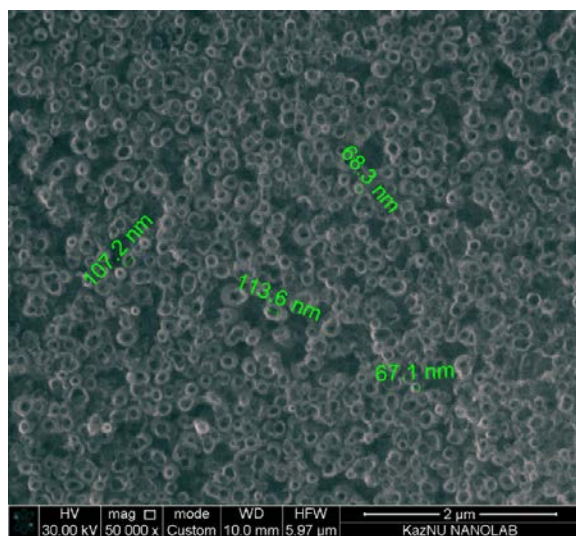
Пленки оксидов металлов могут быть получены с помощью химических и физических методов (нанесение из растворов (dip-coating и spin-coating), электрофорез, осаждение из газовой фазы), но значительный интерес вызывают пленки, полученные электрохимическим анодированием [10-14]. Электрохимический синтез пористого оксида титана проводят во фторсодержащих разнообразных органических электролитах, а также в водных растворах плавиковой кислоты [15-22], а синтез наноструктурированных анодно-оксидных пленок на алюминии осуществляются с использованием слаборастворимых, нетоксичных электролитов (к ним относятся серная, фосфорная и щавелевая кислоты) [23, 24]. Нанопористый диоксид титана, полученный из таких электролитов, состоит из нанотрубок, ориентированных перпендикулярно металлической подложке. Особенностью данного типа структур являются открытая пористость и достаточно узкое распределение пор по размерам. Образование нанотрубчатой структуры диоксида титана происходит в результате химического взаимодействия фторид-ионов и TiO_2 в виде плотного слоя, сформированного в процессе электрохимического анодирования титана. Поэтому концентрация фторид-ионов в растворе анодирования является одним из критических факторов, определяющих морфологию пленок TiO_2 [25, 26].

В данной исследовательской работе представлены результаты сравнения структурных особенностей нанопористых оксидов алюминия и титана. При этом основной акцент

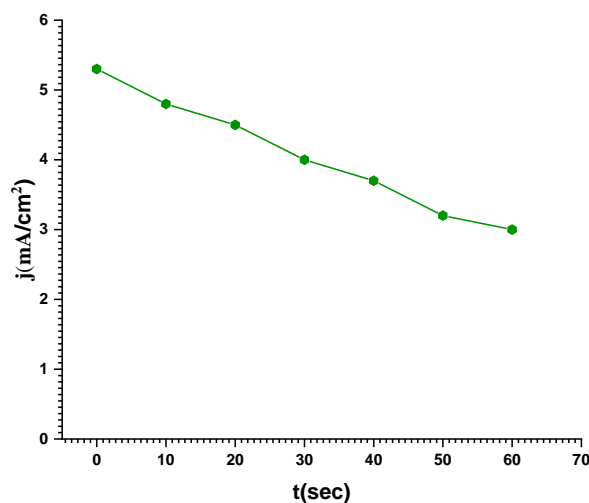
ставился на процесс формирования пор и их структуры.

Экспериментальная часть. Синтез пленок TiO_2 и Al_2O_3 осуществляли анодированием в двухэлектродной фторопластовой ячейке в потенциостатическом режиме при 80В, 140 В и температуре 17°C. В качестве исходного материала для окисления использовали пластинки металлического титана (99,99%), толщиной 1 мм и алюминиевой фольги (99,999%), толщиной 50 мкм. Продолжительность процесса анодирования составляла 3 часа. В качестве электролитов при анодировании титана и алюминия использовали растворы: 1) 0,1М раствор фторида аммония в этиленгликоле; 2) 0,4М ортофосфорной кислоты в водном растворе. Структуру пористого диоксида титана и оксида алюминия исследовали методом сканирующей электронной микроскопии.

Результаты и обсуждение. В результате исследований, связанных с данной работой было установлено, что морфология нанопористых структур зависит от концентрации фторид-ионов. На рис. 1а показана СЭМ изображения нанопористого TiO_2 полученных при 0,1М NH_4F , после первой стадии анодирования. Исследования поверхности пористого слоя методом сканирующей электронной микроскопии показали, что пленки диоксида титана (рис.1а) обладают узким распределением пор и размеры которых находятся в пределах от 40-115 нм, а средний размер пор составляет 66 ± 5 нм. Такая пористая структура образуется в результате электрохимическое анодирование титана и химическое растворение оксида во фторсодержащем электролите (0,1М NH_4F). На графике 1б видно, что за 60 секунд плотность тока при напряжении $U=140В$ уменьшилась до значения $j_a=5,3-3$ mA/cm^2 . Таким образом можно утверждать, что для образования пористых пленок TiO_2 с большим диаметром процесс необходимо проводить при высоком напряжении, времени и плотности тока.



а)



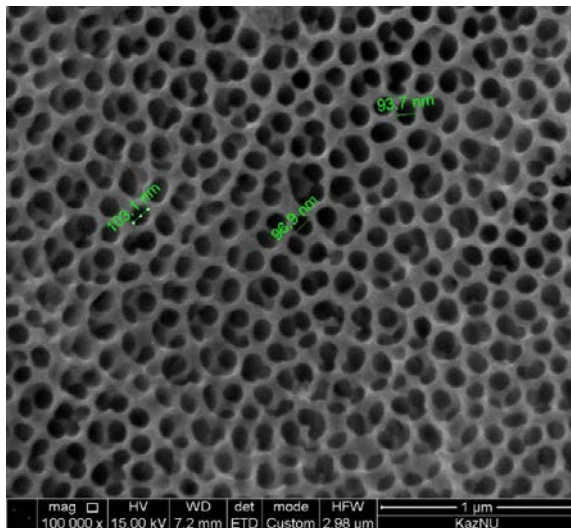
б)

Рисунок 1. СЭМ изображение нанопористого TiO_2 и график зависимости анодного тока от времени

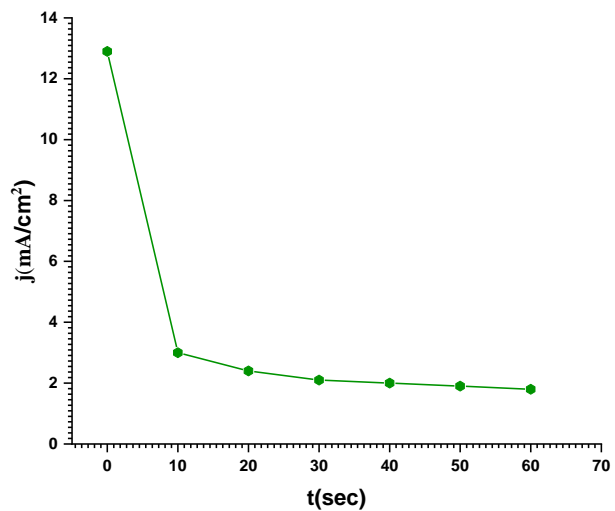
Согласно данным сканирующей электронной микроскопии анодирование алюминиевой пластины в растворе 0,4М H_3PO_4 привело к формированию оксидной пленки с размерами пор 40-110 нм, а средний размер пор составляло 73 ± 5 нм (рис.2а). На рисунке 2б представлена зависимость плотности анодного тока от времени формовки. При температуре раствора электролита – 19°C процесс анодирования можно проводить при плотности тока $j_a=12,55$ mA/cm^2 и напряжении $U=80В$. Следует отметить, что за период времени от 10 до 60 секунд происходит образование пористой структуры.

При этом необходимо отметить, что метод получения нанопористых оксидов металлов на основе алюминия и титана одинаковы, но параметры процесса анодирования отличаются. Также нанопористый оксид алюминия получается с помощью двухстадийного процесса

аноодирования, тогда как для формирования идеальной нанопористой структуры титана достаточно проведения одной стадии. Данная необходимость связана с тем, что для формирования нанопористого оксида алюминия с порами растущими параллельно друг другу необходимо время и в начале их формирования они растут хаотичным образом. Только спустя определенное время стены пор достигают друг друга и поры начинают расти параллельно друг к другу и перпендикулярно относительно подложки.



а)

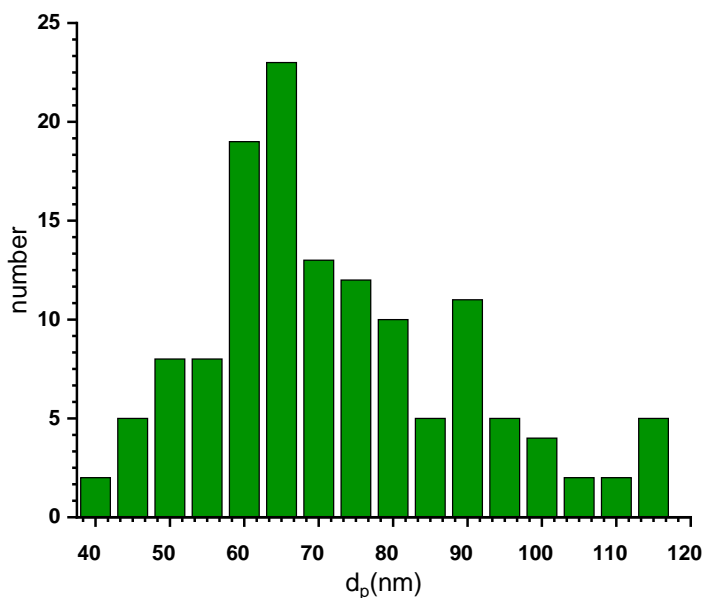


б)

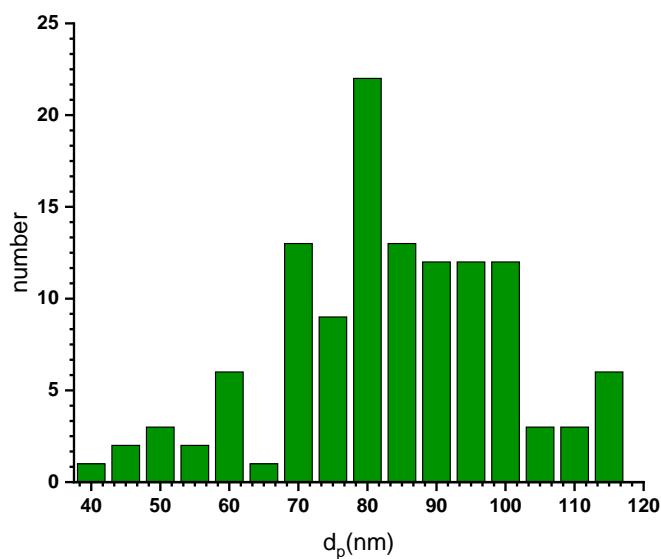
Рисунок 2. СЭМ изображение пленок пористого оксида алюминия и график зависимости анодного тока от времени

Кроме того, были построены гистограммы распределение пор по их размерам (рис.3а, б). Анализ такого распределения необходим для оценки получения равномерных пор по всей площадке. Если на поверхности наномембран на основе оксида алюминия можно увидеть разброс пор по размерам и их формам, то нанопоры мембран на основе оксида титана формы пор не сильно отличаются между собой, разницу можно заметить только в размерах пор, но даже при этом разброс не такой большой. При получении наномембран на основе оксида алюминия и оксида титана можно контролировать процесс аноодирования так, чтобы форма пор и их размеры не сильно разнились, что открывает большие возможности в области применения.

Относительно графиков зависимости анодного тока от времени аноодирования (Рис. 2б и 3б) можно сделать выводы, что в обоих случаях анодный ток со временем идет на спад и с увеличением времени аноодирования стабилизируется. При этом в начале процесса, когда поры только начинают свое формирование, анодный ток принимает максимальное значение и затем со временем идет на спад. В случае с нанопористых мембран в случае оксида алюминия анодный ток в начале вырастает так, что в два раза больше, чем анодный ток, возникающий при получении нанопористого диоксида титана. Такие отличия говорят о том, что формирование нанопор имеет свои особенности в зависимости от структурных особенностей алюминиевой и титановой пластин. Исследование и анализ структурных особенностей исходных металлов дает возможность анализировать нанопористую структуру, которая будет формироваться в результате процесса аноодирования.



a)



б)

Рисунок 3. Распределение пор по размерам: а)TiO₂; б)Al₂O₃

Заклучение. Процесс анодирования дает возможность при различных параметрах получать нанопористые мембраны на основе различных оксидов металлов (Ti, Al, Cu, Nb и др.). Принцип процесса анодирования для получения описанных выше нанопористых оксидов металлов одинаковы, но отличие только в том, что параметра процесса анодирования подбираются различными для различных металлов. Отличие в структуре металлов приводит к отличию пор данных нанопористых оксидов металлов, что открывает большие возможности в области применения. При этом для всех нанопористых оксидов металлов, получаемых с помощью процесса анодирования, общим остается то, что можно контролировать размеры пор и толщину наномембран, также возможность получения структур с заранее заданными структурными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Berger S., Hahn R., Roy P., Schmuki P. Self-organized TiO₂ nanotubes: Factors affecting their morphology and properties // *Phys. Status Solidi B*. - 2010. - 630523-P. 2424–2435.
- [2] Воробьев А. Ю., Спиридонов Б. А., Горшунова В. П., Небольсин В. А., Юрьев В. А., Косилов А.Т. Адсорбция аммиака композитами на основе нанопористого оксида алюминия// *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2012. - Т. 8. - № 7.2. - С. 29-31.
- [3] Zwillig V., Aucouturier M., Ceretti E.D. Anodic oxidation of titanium and TA6V alloy in chromic media. An electrochemical approach// *Electrochim. Acta*. 45. 1999. 921.
- [4] Jongmin Choi, Young Soo Kwon, Taiho Park Doubly open-ended TiO₂ nanotube arrays decorated with a few nm sized TiO₂ nanoparticles for highly efficient dye-sensitized solar cells // *J. Mater. Chem. A*. 2014. 2. 14380.
- [5] Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // *Соросовский Образовательный Журнал*, том 6, № 11, 2011. С. 52-56.
- [6] Ingham C.J., ter Maat J., de Vos W.M. Where bio meets nano: The many uses for nanoporous aluminum oxide in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 2012, 30, 1089–1099.
- [7] Rong Hao, Baojiang Jiang, Mingxia Li, Ying Xie and Honggang Fu Fabrication of mixed-crystalline-phase spindle-like TiO₂ for enhanced photocatalytic hydrogen production // *Sci China Mater* 2015, 58: 363–369.
- [8] Wilaiwan Chanmanee, Mohammad Fakrul Islam, Brian H. Dennis and Frederick M. MacDonnell Solar photothermochemical alkane reverse combustion // *PNAS Early Edition*, 2016.
- [9] Santos A., Kumeria T., Losic D. Nanoporous anodic aluminum oxide for chemical sensing and biosensors. *TrAC Trends Anal. Chem.* 2013, 44, 25–38.
- [10] Paulose M., Shankar K., Yoriya S., Prakasam H. E. Anodic Growth of Highly Ordered TiO₂ Nanotube Arrays to 134 μm in Length // *The Journal of Physical Chemistry*. - 2006. - P. 1-6.
- [11] Ruan C., Paulose M., Varghese O.K. et al. Fabrication of highly ordered TiO₂ nanotube arrays using an organic electrolyte // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 109. – P. 15754-15759.
- [12] Белов А.Н., Дронов А.А., Орлов И.Ю. Особенности электрохимического формирования слоев пористого оксида титана // *Известия вузов. Электроника*. – 2009 – № 1 (75) – С. 16-21.
- [13] Taveira L.V., Macak J.M., Sirotna K. et al. Voltage oscillations and morphology during the galvanostatic formation of self-organized TiO₂ nanotubes // *J. Electrochem. Soc.* – 2006 – Vol. 153, № 4. – P. B137-B143.
- [14] Lee W., Ji R., Sele U.G., Nielsch K. Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization // *Nature materials*. 2006. V. 5 P. 741 - 747.
- [15] Kaneco S., Chen Y., Westerhoff P. and Crittenden J.C. Fabrication of Uniform Size Titanium Oxide Nanotubes: Impact of Current Density and Solution Conditions. *Scripta Materialia*, 56, 373-376. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.11.001>.
- [16] Prida V.M., Manova E., Veja V., Hernandez-Velez M., Aranda P., Pirola K.R., Vázquez M. and Ruiz-Hitzky E. Temperature Influence on the Anodic Growth of Self-Aligned Titanium Dioxide Nanotubes Arrays. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 316, 110-113. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2007.02.021>.
- [17] Bauer S., Pittrof A., Tsuchiya H. and Schmuki P. Size-Effects in TiO₂ Nanotubes: Diameter Dependent Anatase/Rutile Stabilization. *Electrochemistry Communications*, 13, 538-541. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2011.03.003>.
- [18] Liu R., Hsieh C.S., Yang W.D., Qiang L.S. and Wu J.F. Applying the Statistical Experimental Method to Evaluate the Process Conditions of TiO₂ Nanotube Arrays by Anodization Method. *Current Applied Physics*, 11, 1294-1298. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2011.03.058>.
- [19] Pittrof A., Bauer S. and Schmuki P. Micropatterned TiO₂ Nanotube Surfaces for Site-Selective Nucleation of Hydroxyapatite from Simulated Body Fluid. *Acta Biomaterialia*, 7, 424-431. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.028>.
- [20] Kafi A.K.M., Wu G., Benvenuto P. and Chen A. High Sensitive Amperometric H₂O₂ Biosensor Based on Hemoglobin Modified TiO₂ Nanotubes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 662, 64-69. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.03.021>.

- [21] Park H.H., Park I.S., Kim K.S., Jeon W.Y., Park B.K., Kim H.S., Bae T.S. and Lee M.H. Bioactive and Electrochemical Characterization of TiO₂ Nanotubes on Titanium via Anodic Oxidation. *Electrochimica Acta*, 55, 6109-6114. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.082>.
- [22] Cummings F.R., Le Roux L.J., Mathe M.K. and Knoesen D. Structure Induced Optical Properties of Anodized TiO₂ Nanotubes. *Materials Chemistry and Physics*, 124, 234-242. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.06.024>.
- [23] Yakovleva N. M., Anicai A., Yakovlev A. N., Dima L., Khanina E. Ya., Buda M., Chupakhina E. A. *Thin Solid Films*, 2002, vol. 416, no 1—2, pp. 16—23. DOI: 10.1016/S0040—6090(02)00625-9.
- [24] Nagayama M., Tamura K. Dissolution of the anodic oxide film on aluminium in a sulphuric acid solution // *Electrochimica Acta*. -1967.-Vol. 12.-P.1097-1107.
- [25] Михайличенко А.И., Морозов А.Н. Получение высокоупорядоченных нанотрубчатых пленок из диоксида титана // *Перспективные материалы*. 2013. № 5. С. 74-78.
- [26] Alivov Y., Fan Z. Y. A TiO₂ nanostructure transformation: from ordered nanotubes to nanoparticles // *Nanotechnology*. – 2009 – 20, 4056010.

REFERENCES

- [1] Berger S., Hahn R., Roy P., Schmuki P. Self-organized TiO₂ nanotubes: Factors affecting their morphology and properties // *Phys. Status Solidi B*. - 2010. - 630523-P. 2424–2435.
- [2] Vorob'ev A. Yu., Spiridonov B. A., Gorshunova V. P., Nebol'sin V. A., Yur'ev V. A., Kosilov A.T. Adsorbtsiya ammiaka kompozitami na osnove nanoporistogo oksida alyuminiya // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2012. - T. 8. - № 7.2. - S. 29-31.
- [3] Zwilling V., Aucouturier M., Ceretti E.D. Anodic oxidation of titanium and TA6V alloy in chromic media. An electrochemical approach // *Electrochim. Acta*. 45. 1999. 921.
- [4] Jongmin Choi, Young Soo Kwon, Taiho Park Doubly open-ended TiO₂ nanotube arrays decorated with a few nm sized TiO₂ nanoparticles for highly efficient dye-sensitized solar cells // *J. Mater. Chem. A*. 2014. 2. 14380.
- [5] Savinov E.N. Fotokataliticheskie metody ochistki vody i vozdukhа // *Sorosovskii Obrazovatel'nyi Zhurnal*, tom 6, № 11, 2011. S. 52-56.
- [6] Ingham C.J., ter Maat J., de Vos W.M. Where bio meets nano: The many uses for nanoporous aluminum oxide in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 2012, 30, 1089–1099.
- [7] Rong Hao, Baojiang Jiang, Mingxia Li, Ying Xie and Honggang Fu Fabrication of mixed-crystalline-phase spindle-like TiO₂ for enhanced photocatalytic hydrogen production // *Sci China Mater* 2015, 58: 363–369.
- [8] Wilaiwan Chanmanee, Mohammad Fakrul Islam, Brian H. Dennis and Frederick M. MacDonnell Solar photothermochemical alkane reverse combustion // *PNAS Early Edition*, 2016.
- [9] Santos A., Kumeria T., Losic D. Nanoporous anodic aluminum oxide for chemical sensing and biosensors. *TrAC Trends Anal. Chem.* 2013, 44, 25–38.
- [10] Paulose M., Shankar K., Yoriya S., Prakasam H. E. Anodic Growth of Highly Ordered TiO₂ Nanotube Arrays to 134 μm in Length // *The Journal of Physical Chemistry*. - 2006. - P. 1-6.
- [11] Ruan C., Paulose M., Varghese O.K. et al. Fabrication of highly ordered TiO₂ nanotube arrays using an organic electrolyte // *J. Phys. Chem. B*. – 2005. – Vol. 109. – P. 15754-15759.
- [12] Belov A.N., Dronov A.A., Orlov I.Yu. Osobennosti elektrokhimicheskogo formirovaniya sloev poristogo oksida titana // *Izvestiya vuzov. Elektronika*. – 2009 – № 1 (75) – S. 16-21.
- [13] Taveira L.V., Macak J.M., Sirotna K. et al. Voltage oscillations and morphology during the galvanostatic formation of self-organized TiO₂ nanotubes // *J. Electrochem. Soc.* – 2006 – Vol. 153, № 4. – P. B137-B143.
- [14] Lee W., Ji R., Sele U.G., Nielsch K. Fast fabrication of long-range ordered porous alumina membranes by hard anodization // *Nature materials*. 2006. V. 5 P. 741 - 747.
- [15] Kaneco S., Chen Y., Westerhoff P. and Crittenden J.C. Fabrication of Uniform Size Titanium Oxide Nanotubes: Impact of Current Density and Solution Conditions. *Scripta Materialia*, 56, 373-376. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.11.001>.
- [16] Prida V.M., Manova E., Veja V., Hernandez-Velez M., Aranda P., Pirota K.R., Vázquez M. and Ruiz-Hitzky E. Temperature Influence on the Anodic Growth of Self-Aligned Titanium Dioxide Nanotubes

Arrays. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 316, 110-113. (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2007.02.021>.

[17] Bauer S., Pittrof A., Tsuchiya H. and Schmuki P. Size-Effects in TiO₂ Nanotubes: Diameter Dependent Anatase/Rutile Stabilization. Electrochemistry Communications, 13, 538-541. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2011.03.003>.

[18] Liu R., Hsieh C.S., Yang W.D., Qiang L.S. and Wu J.F. Applying the Statistical Experimental Method to Evaluate the Process Conditions of TiO₂ Nanotube Arrays by Anodization Method. Current Applied Physics, 11, 1294-1298. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2011.03.058>.

[19] Pittrof A., Bauer S. and Schmuki P. Micropatterned TiO₂ Nanotube Surfaces for Site-Selective Nucleation of Hydroxyapatite from Simulated Body Fluid. Acta Biomaterialia, 7, 424-431. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2010.09.028>.

[20] Kafi A.K.M., Wu G., Benvenuto P. and Chen A. High Sensitive Amperometric H₂O₂ Biosensor Based on Hemoglobin Modified TiO₂ Nanotubes. Journal of Electroanalytical Chemistry, 662, 64-69. (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2011.03.021>.

[21] Park H.H., Park I.S., Kim K.S., Jeon W.Y., Park B.K., Kim H.S., Bae T.S. and Lee M.H. Bioactive and Electrochemical Characterization of TiO₂ Nanotubes on Titanium via Anodic Oxidation. Electrochimica Acta, 55, 6109-6114. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.082>.

[22] Cummings F.R., Le Roux L.J., Mathe M.K. and Knoesen D. Structure Induced Optical Properties of Anodized TiO₂ Nanotubes. Materials Chemistry and Physics, 124, 234-242. (2010). <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.06.024>.

[23] Yakovleva N. M., Anicai A., Yakovlev A. N., Dima L., Khanina E. Ya., Buda M., Chupakhina E. A. Thin Solid Films, 2002, vol. 416, no 1—2, pp. 16—23. DOI: 10.1016/S0040—6090(02)00625-9.

[24] Nagayama M., Tamura K. Dissolution of the anodic oxide film on aluminium in a sulphuric acid solution // Electrochimica Acta. -1967.-Vol. 12.-P.1097-1107.

[25] Mikhailichenko A.I., Morozov A.N. Poluchenie vysokoporyadochennykh nanotrubchatykh plenok iz dioksida titana // Perspektivnye materialy. 2013. № 5. S. 74-78.

[26] Alivov Y., Fan Z. Y. A TiO₂ nanostructure transformation: from ordered nanotubes to nanoparticles // Nanotechnology. – 2009 – 20, 4056010.

^{1,2}М.Ф. Қадір*, ^{1,2}Н.Б. Нұрман, ³В.Ю. Смирнов

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Инженерлік профильді зертхана, Алматы, Қазақстан

³Юлих зерттеу орталығы, Германия

*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

ТИТАН ЖӘНЕ АЛЮМИНИЙ ОКСИДТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН НАНОКЕУЕКТІ МЕМБРАНАЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Андатпа. Металл оксидтеріне негізделген нанокеуекті мембраналар нанокұрылымдалған материалдарды қалыптастыруда кеңінен қолданылуы, алдын-ала белгіленген құрылымдық қасиеттері бар материалдарды жасауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу жұмысында титан және алюминий оксидтеріне негізделген, анодтау процесімен алынған, бірақ кеуектердің өсуі мен олардың құрылымында айырмашылықтары бар нанокеуекті мембраналардың құрылымдық ерекшеліктері сипатталды. Металдар оксидтері негізіндегі мембраналар U=80-140В, T=17°C бөлме температурасында, қышқылды ортада синтезделді. Мембраналардың құрылымдық ерекшеліктері Quanta 200i 3D (FEI) сканирлеуші электронды микроскоп көмегімен зерттелді. Титан диоксиді пленкалары кеуектердің тар таралуына ие екендігі анықталды, олардың өлшемдері 40-115 нм. Титан диоксиді мен алюминий оксиді наномембраналарының құрылымдық ерекшеліктері нанотехнология мен материалтану саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: нанокеуекті титан диоксиді, нанокеуекті алюминий оксиді, нанокеуекті мембрана, электролит, анодтау процесі, сканирлеуші электронды микроскоп.

^{1,2}M.F. Kadir*, ^{1,2}N.B. Nurman, ³V.Y. Smirnov

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Laboratory engineering profile, Almaty, Kazakhstan

³Forschungszentrum Jülich (FZJ), Germany

*e-mail: meruyert.kadir@mail.ru

STRUCTURAL FEATURES OF NANOPOROUS MEMBRANES BASED ON TITANIUM AND ALUMINUM OXIDES

Abstract. Nanoporous membranes based on metal oxides are widely used for the formation of nanostructured materials, since it is possible to create materials with predetermined structural properties. In this research work, the structural features of nanoporous membranes based on titanium and aluminum oxides, which are combined by the production process, but differ in the growth of pores and their structure. Membranes based on metal oxides were synthesized at a voltage of $U=80-140V$, at room temperature $T=17^{\circ}C$, in an acidic environment. The structural features of the synthesized membranes were studied using Quanta 200i 3D scanning electron microscopy (FEI). It was found that titanium dioxide films have a narrow pore distribution, the sizes of which are in the range of 40-115 nm. Structural differences between titanium oxide and aluminum oxide nanomembranes make it possible to be widely used in the field of nanotechnology and materials science.

Keywords: nanoporous titanium dioxide, nanoporous aluminum oxide, nanoporous membrane, electrolyte, anodizing process, scanning electron microscopy.