

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова  
Российской академии наук

**XIX ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СИНТЕЗ,  
СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ**

Посвящённая 110-летию со дня рождения  
д.х.н., профессора А.А. Аппена

*Сборник тезисов*

Санкт-Петербург  
1–3 декабря 2020 г.

УДК544.23

ББК 24.4

Ф94

**XIX Всероссийская молодежная научная конференция  
«Функциональные материалы: синтез, свойства, применение»:**  
Тезисы докладов конференции, г. Санкт-Петербург, 1–3 декабря 2020 г. –  
СПб.: ЛЕМА, 2020. – 241 с.

ISBN 978-5-00105-598-3

В сборнике представлены тезисы докладов XIX Всероссийской молодежной научной конференции «Функциональные материалы: синтез, свойства, применение», проведенной 1–3 декабря 2020 г. в г. Санкт-Петербурге.

Сборник может быть полезен для ученых, инженеров, технологов, преподавателей, аспирантов и студентов, деятельность которых связана с химическим синтезом и исследованием свойств функциональных материалов, стекол, неорганических и органо-неорганических и покрытий.

Издание осуществлено с оригинала, подготовленного Институтом химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН на основе MS Word файлов, представленных авторами докладов. Техническое редактирование касалось только ошибок, обусловленных дефектами подготовки исходных файлов.

УДК 544.23

ББК 24.4

© Коллектив авторов, 2020

ISBN 978-5-00105-598-3

## Новые стеклообразные и стеклокристаллические материалы

литературным подавляет кристаллизацию благодаря природе промежуточного оксида.

Свойства исходных стекол системы  $59.6\text{SiO}_2-11.0\text{Al}_2\text{O}_3-(10.6-x)\text{ZrO}_2-3.4\text{CaO}-15.4\text{Na}_2\text{O}-x\text{Y}_2\text{O}_3$  ( $x=0, 2, 4, 6, 8, 10$  мас. %) исследованы комплексом термических методов. Установлено, что введение оксида иттрия до 4 мас.% способствует небольшому снижению термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) стекла. Исследования методами рентгенофазового анализа и растровой электронной микроскопии показали, что данная добавка также способствует устранению дефектов в слое стеклогерметика и уменьшению его кристаллизационной способности. Состав  $59.6\text{SiO}_2-11.0\text{Al}_2\text{O}_3-6.6\text{ZrO}_2-3.4\text{CaO}-15.4\text{Na}_2\text{O}-4\text{Y}_2\text{O}_3$  сохраняет аморфность при выдержке на инертной платиновой подложке при  $850^\circ\text{C}$  вплоть до 1000 ч благодаря чему сохраняет свои свойства. Однако, дальнейшие исследования данного состава показали, что кристаллизация чувствительна к материалу подложки и атмосфере, в которой проводится выдержка соединений. Тем не менее, целостность соединений с керамической основой и металлическим интерконнектором сохраняется при выдержке в рабочих условиях ТОТЭ ( $850^\circ\text{C}$ , окислительная/восстановительная атмосфера) вплоть до 300 ч.

Аналитическая часть работы выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования ИВТЭ УрО РАН «Состав вещества». Рентгенофазовый анализ образцов стекла после термообработки на платиновой подложке проведен в ИХС РАН.

1. Krainova D.A., Saetova N.S., Kuzmin A.V., Raskovalov A.A., Eremin V.A., Ananyev M.V., Steinberger-Wilckens R. Non-crystallising glass sealants for SOFC: Effect of  $\text{Y}_2\text{O}_3$  addition // *Ceramics International*. 2020. V. 46. №. 4. P. 5193-5200.

*Работа частично поддержана проектом «Комплексная платформа энергоснабжения «Топаз». Компактный электрохимический генератор на ископаемом топливе с высокой удельной энергоемкостью».*

## КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛООБРАЗНЫХ МЕМБРАН С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Кузнецова А.С.<sup>1,2</sup>, Ермакова Л.Э.<sup>1</sup>, Антропова Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия <sup>2</sup>Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, РАН, Санкт-Петербург, Россия  
[a.kuznetsova95@mail.ru](mailto:a.kuznetsova95@mail.ru)

Мембраны на основе пористых стекол (ПС), уникальные свойства которых обусловлены разветвленной системой пор нанометрового размера, параметры которых можно регулировать разными способами, могут успешно применяться в качестве адсорбентов, матриц для изготовления микрооптических элементов, перспективны для решения задач мембранного разделения смесей и пр. Для эффективного практического применения пористых стеклообразных мембран необходимо понимание процессов, происходящих на границе раздела твердое тело – раствор электролита, которое основывается на информации об электроповерхностных характеристиках пористых материалов. В связи с этим, целью работы было исследование структурных и электроповерхностных (коэффициент эффективности, числа переноса  $\text{Na}^+$ , электрокинетический потенциал) параметров пористых

## Новые стеклообразные и стеклокристаллические материалы

стеклообразных мембран с различной структурой порового пространства в растворах хлорида натрия в диапазоне концентраций от 0.1 М до 0.0001 М.

Для получения микропористых (МИП) стекол образцы двухфазного натриевоборосиликатного стекла выщелачивали в растворе HCl или HNO<sub>3</sub>. Видоизменение внутреннего пространства микропористых стекол происходило двумя способами. Первый заключался в дополнительном химическом травлении МИП стекол в растворах гидроксида калия, в процессе которого происходило уделение вторичного кремнезема из порового пространства стекол. Таким образом, были получены макропористые (МАП) стекла. Во втором способе МИП стекла подвергались термической обработке при 750 °С в течение часа, в процессе которого происходило укрупнение частиц вторичного кремнезема за счет процессов их переконденсации в ходе спекания (стекла МИП-750).

Значения структурных параметров (толщина мембраны  $d_M$ , объемная пористость  $W$ , коэффициент извилистости пор  $K$ , удельная поверхность  $S_0$  и средний радиус пор  $r$  до и после проведения серии экспериментов) исследованных образцов пористых стекол приведены в таблице 1. Видно, что наименьшие значения объемной пористости наблюдаются для микропористого стекла 8В-НТ-750 МИП. По-видимому, термообработка ПС при 750 °С приводит как к исчезновению наиболее тонких пор, так и к уплотнению структуры вторичного кремнезема в поровом пространстве, что, в свою очередь, вызывает рост размеров поровых каналов, рассчитанных по стандартной методике [1]. Щелочная обработка МИП стекол, по сравнению с термической обработкой, приводит к более существенным изменениям структурных характеристик (увеличение среднего радиуса пор практически в 10 раз, объемной пористости примерно в 2 раза и уменьшение коэффициента извилистости пор в 2 раза.

Таблица 1. Структурные характеристики пористых стеклообразных мембран.

Мембрана	$d_M$ , см	$W_{исх}$	$W_{кон}$	$K_{исх}$	$K_{кон}$	$S_{0,исх}$ М <sup>2</sup> /г	$r_{S_{0,исх}}$ нм	$S_{0,кон}$ М <sup>2</sup> /г	$r_{S_{0,кон}}$ нм
8В-НТ МИП-1	0,095	0,24	0,28	2,59	2,41	219	1,3	153,5	2,3
8В-НТ МИП-750-1	0,095	0,22	0,23	2,21	2,14	110	2,4	90	3,1
8В-НТ МИП-750-2	0,096	0,21	0,22	2,26	2,18	Не определяли			
8В-НТ МАП-1	0,099	0,51	0,52	1,29	1,27	48,5	19,7	50	20,2

Результаты расчёта коэффициентов эффективности  $\alpha$ , равных отношению значений удельной электропроводности порового и свободного растворов, показали, что для всех мембран ПС в растворах индифферентного электролита хлорида натрия наблюдается предсказываемая теорией двойного электрического слоя (ДЭС) зависимость коэффициента эффективности от концентрации (С) электролита – значения  $\alpha$  уменьшаются с ростом С в соответствии с уменьшением вклада ионов ДЭС в электропроводность порового раствора. Сопоставление величин  $\alpha$  (при С=const) для мембран МИП, МАП и МИП-750 показывает, что для МИП и МИП-750 величины  $\alpha$  при С<10<sup>-3</sup> М практически совпадают, а при С>10<sup>-3</sup> значения  $\alpha$  для МИП стекол становятся больше. Зависимость  $\alpha$  от С для МАП стекол ниже, чем для МИП и МИП-750. Наблюдаемое поведение исследованных ПС, по-видимому, связано с тем, что с ростом радиуса пор уменьшается доля ДЭС в поровом пространстве стекол и, следовательно, подвижность ионов.

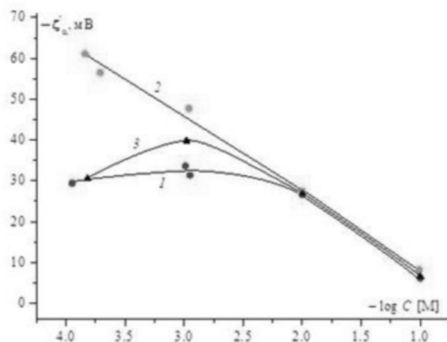


Рис. 1. Зависимость электрокинетического потенциала от концентрации NaCl для микро- (1) и макропористых стекол (2), а также для термообработанных при 750 °С микропористых стекол (3)

Расчет величин электрокинетических потенциалов  $\zeta_{\alpha}^*$  проводили из экспериментально найденных значений потенциалов течения по уравнению Гельмгольца–Смолуховского с поправкой на поверхностную проводимость и перекрывание ДЭС в рамках модели Левина и др., развитой для цилиндрических капилляров при любых значениях электрокинетического потенциала. Из рис. 1 видно, что для МАП мембран (кривая 2) наблюдается классическая зависимость – электрокинетический потенциал возрастает по абсолютной величине с разбавлением раствора NaCl практически линейно. Для МИП и МИП-750 мембран значения  $\zeta_{\alpha}^*$  возрастают при переходе от децимолярного раствора к сантимольярному, а по мере дальнейшего разбавления раствора значений  $|\zeta_{\alpha}^*|$  уменьшаются. Наблюдаемые закономерности могут быть связаны как с недостатками теории электрокинетических явлений при малых электрокинетических радиусах, так и с тем, что с разбавлением раствора изменяется внутренняя структура порового пространства стекол МИП и МИП-750, содержащих значительные количества вторичного кремнезема. При разбавлении электролита степень набухания глобул вторичного кремнезема в поровых каналах будет возрастать, что может приводить к смещению границы скольжения от твердой поверхности порового канала к его центру и, следовательно, к уменьшению значений  $|\zeta_{\alpha}^*|$ .

1. Ermakova, L.E., Antropova T.V., Volkova A.V., Kuznetsova A.S., Grinkevich E.A., Anfimova I.N. Structural Parameters of Membranes from Porous Glass in Aqueous Solutions of Electrolytes, Containing Singly-Charged ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) and Triple-Charged ( $\text{Fe}^{3+}$ ) Cations // Glass Physics and Chemistry. 2018. V. 44. P. 269–278.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-03-01206). Исследования проведены с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Нанотехнологии».*