

К, при этом пленка обладает оптимальными электрофизическими свойствами.

Таким образом, в работе показана возможность получения пленок манганитов состава  $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$  методами трафаретной печати, которые по ряду электрофизических свойств не уступают пленкам, полученным методом магнетронного напыления. Определены температуры обжига, при которых пленки, полученные методом трафаретной печати, обладают оптимальными электрофизическими свойствами.

**РЕЗЮМЕ.** Проведено порівняльний аналіз електрофізичних властивостей плівок складу  $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ , одержаних методами трафаретного друку і магнетронного напилювання. Визначено температурні режими, при яких плівки, отримані методом трафаретного друку, мають оптимальні електрофізичні властивості. Було показано, що по деяким технічним параметрам отримані плівки не поступають плівкам, нанесеним за допомогою магнетронного напилювання.

**SUMMARY.** A comparative analysis of electrophysical properties of  $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$  films, which were prepared by screen printing and magnetron sputtering, has been carried out. The temperature conditions, which ensure optimal electrophysical properties of the films obtained by screen printing, have been defined. Some techni-

cal characteristics of synthesized films have been shown to compete with those obtained by magnetron sputtering. Інститут общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

1. *Нагаев Э.Л.* // Успехи физ. наук. -1996. -**166**, № 8. -С. 833—858.
2. *Nagai T., Yamazaki A., Uehara M. et al.* // J. Mat. Sci. Lett. -2000. -№ 19. -Р. 31.
3. *Белоус А. Г., Вьюнов О. И., Паикова Е.В. и др.* // Неорган. материалы. -2003. -**39**, № 2. -С. 212—222.
4. *Wang X.L., Dou S.X., Liu H.K. et al.* // Appl. Phys. Lett. -**73**, № 3. -Р. 396—398.
5. *Huang Y-H., Xu Z-G., Yan C-H.* // Solid State Communications. -2000. -**114**. -Р. 43—47.
6. *Товстолиткін О.І., Погорілий А.М., Лежненко І.В. та ін.* // Металлофізика и новейшие технологии. -2003. -**25**, № 2. -С. 147—157.
7. *Haghir-Gosnet A-M., Renard J-P.* // J. Phys. D: Appl. Phys. -2003. -**36**, № 8. -Р. R127—R150.
8. *Ghosh B., Brar L.K., Jain H.* // Ibid. -2004. -**37**. -Р. 1548—1553.
9. *Курган С.В., Петров Г.С., Башкиров Л.А. и др.* // Тез. IV Международ. конф. "Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии". -Кисловодск-Ставрополь: СевКавГТУ, 2004.
10. *Gross R. A., Buchner B., Freitag B.H. et al.* // J. Magn. Mat. -2000. -**211**, № 1—3. -Р. 150—159.
11. *Hwang H., Sneong S., Ong N., Batlogg B.* // Phys. Rev. Lett. -1996. -**77**, № 10. -Р. 2041—2044.
12. *Rodriguez-Carvajal J.* An introduction to the program FullProf 2000, Cedex, France. -2001. -Р. 54, 55.
13. *Погорельий А.Н., Лежненко И.В., Товстолиткин А.И. и др.* // Сб. тез. IV Международ. украинско-русского семинара "Нанофизика и нанoeлектроника". -2003. -С. 23, 24.

Поступила 14.02.2005

УДК 541.183.12+546.273+546.831.4-36

**Ю.С. Дзязько, В.Н. Беляков, Н.В. Стефаняк, С.Л. Василюк**

### **ЗАРЯДСЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН \***

Синтезированы композиционные неорганические мембраны на основе оксидной керамики (инертный носитель) и гидратированного диоксида циркония (ионообменная составляющая). На основании результатов измерения мембранного потенциала показано, что полученные мембраны проявляют ионселективные свойства как в кислой (по отношению к анионам), так и в щелочной (к катионам) среде в интервале концентраций 0.01—0.1 М для 1-1 зарядного электролита. Установлено, что числа переноса противоионов возрастают при увеличении содержания ионообменной составляющей и достигают 0.92.

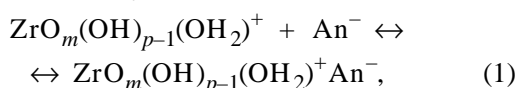
Технологические циклы многих промышленных отходов, в том числе и растворимых неорганических соединений. Для очистки слабokonцен-

\* Работа выполнена в рамках программы УНТЦ (грант № 1183).

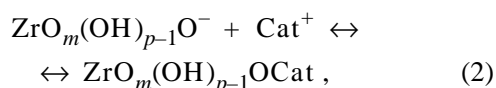
© Ю.С. Дзязько, В.Н. Беляков, Н.В. Стефаняк, С.Л. Василюк, 2006

трированных растворов от таких примесей перспективным является электродиализ, позволяющий осуществлять непрерывное извлечение как катионов, так и анионов с одновременным концентрированием извлекаемых компонентов [1—3]. Данный метод основан на использовании катионо- и анионообменных зарядселективных мембран, изготавливаемых, как правило, на основе органических полимеров. Однако наличие в растворах окислителей (таких, например, как хлор или хромат-ионы) может приводить к необратимому ухудшению свойств мембран, особенно анионселективных, вплоть до их полной деструкции. Цель настоящей работы — получение и исследование зарядселективных свойств мембран с повышенной устойчивостью по отношению к действию окислителей.

Известно, что высокой стабильностью в агрессивных средах характеризуются неорганические мембраны на основе оксидов и кислых солей многовалентных металлов [4]. Показано, что использование композиционных оксидных керамических мембран, содержащих гидрофосфат циркония — неорганический катионит, является достаточно эффективным в процессах электродиализа [5]. Гидратированные оксиды металлов IV группы, в частности Zr, в зависимости от pH среды обладают способностью к ионному обмену как по кислотному:



так и по щелочному механизму [6—8]:



здесь  $m$  и  $p$  — целые числа.

Это позволяет предположить возможность использования гидратированного диоксида циркония  $\text{ZrO}_m(\text{OH})_p$  (ГДЦ) как ионообменного наполнителя для приготовления зарядселективных керамических мембран, характеризующихся амфотерными свойствами.

В настоящей работе в качестве носителя мембраны была использована инертная керамическая матрица, состоящая из  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (70 %) и  $\text{ZrO}_2$  (30 %). Диаметр пор матрицы составлял 0.19 мкм при общей пористости 45 %, а удельная поверхность — 4.5—5 м<sup>2</sup>/г. Все мембраны имели форму трубок, внутренний диаметр которых достигал 1.5 см, толщина стенок — 1 мм.

Керамическую матрицу поэтапно заполняли гидратированным диоксидом циркония. Заполне-

ние осуществляли с использованием золь-гель метода путем непосредственного осаждения частиц ионообменной составляющей в объеме матрицы. Золь  $\text{ZrO}_m(\text{OH})_p$  вводили в объем матрицы, последнюю обрабатывали раствором аммиака, промывали деионизированной водой и высушивали при 423 К. Для более полного заполнения пор матрицы ионообменную составляющую вводили многократно (до 7 раз).

Мембраны были исследованы методом ртутной порометрии при помощи порометра Promoter 2000. Образцы были предварительно высушены при температуре 435 К и выдержаны в эксикаторе над силикагелями.

Для определения полной анионообменной емкости по ионам  $\text{Cl}^-$  ( $A_{\text{Cl}^-}$ ) навеску образца обрабатывали 0.1 М раствором HCl в статическом режиме на протяжении 24 ч. Мембраны промывали деионизированной водой до pH 6–7 и обрабатывали 50 см<sup>3</sup> 0.1 М NaOH. Содержание  $\text{Cl}^-$  в элюате определяли по результатам потенциометрического титрования раствором  $\text{AgNO}_3$  согласно методике [9]. Элюат предварительно подкисляли 0.1 М раствором  $\text{HNO}_3$ . На основании полученных результатов рассчитывали полную анионообменную емкость мембран.

Полную катионообменную емкость мембран ( $A_{\text{Na}^+}$ ) определяли следующим образом. Мембраны обрабатывали 0.1 М раствором NaOH 24 ч, промывали деионизированной водой до нейтральной реакции, обрабатывали 50 см<sup>3</sup> 0.1 М HCl и анализировали элюат на содержание  $\text{Na}^+$  посредством пламенного фотометра ПФМ-У 4.2.

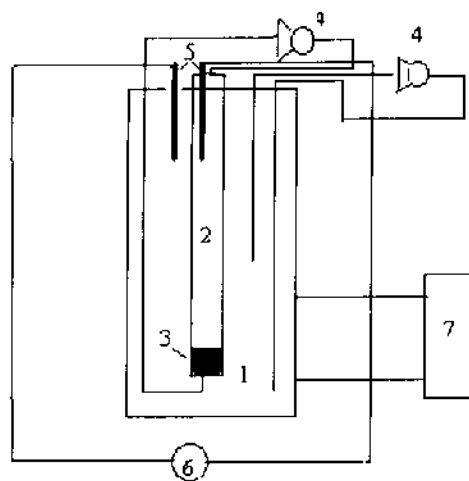


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения мембранного потенциала: сосуд (1); трубчатая мембрана (2); пробка (3); насосы (4); хлорсеребряные электроды (5); вольтметр (6); термостат (7).

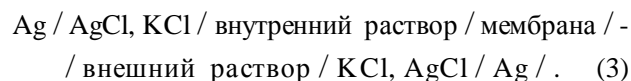
Числа переноса  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ , определенные потенциометрическим методом, оценивали на основе результатов измерения мембранного потенциала [10]. Работу проводили в экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. В стеклянный сосуд, который содержал раствор 1,1-зарядного электролита (внешний раствор) помещали исследуемую мембрану, заполненную раствором этого же электролита (внешний раствор). Одно из отверстий мембран было изолировано. Циркуляция внутреннего и внешнего растворов осуществлялась по двум независимым цепям с помощью перистальтического насоса Zalimp PP 2-15. Скорость циркуляции составляла  $10 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Во внешнем и внутреннем растворах располагались хлорсеребряные электроды сравнения. Мембранный потенциал регистрировали с помощью высокоомного вольтметра В7-34А. В случае, когда использовались щелочные растворы, сосуд и мембрана были изолированы от внешней среды. Кроме того, через внешний раствор барботировали азот. Температуру на заданном уровне ( $298 \text{ К}$ ) поддерживали при помощи термостата УТУ-2/77. В качестве электролита использовали растворы  $\text{HCl}$  или  $\text{NaOH}$ . Концентрация внешнего раствора ( $C_1$ ) составляла  $0.01 \text{ М}$ , в то время как концентрацию внутреннего раствора ( $C_2$ ) варьировали от  $0.015$  до  $0.1 \text{ М}$ . Соотношение объемов внутреннего и внешнего растворов составляло  $1:25$ .

Сорбционные эксперименты и измерения мембранных потенциалов проведены при температуре  $298 \pm 0.5 \text{ К}$ .

Полная анионообменная емкость мембран как функция числа заполнений матрицы ионообменной составляющей ( $n$ ) представлена на рис. 2. Из рисунка следует, что уже исходная керамическая матрица содержит некоторое количество анионообменных групп. Величина  $A_{\text{Cl}^-}$  заметно возрастает по мере увеличения числа заполнений до 4. Дальнейшее введение ионита в объем мембраны не приводит к существенному увеличению ее анионообменной емкости. Зависимость  $A_{\text{Na}^+} - n$  носит аналогичный характер. На основании порометрического анализа средний диаметр пор был оценен как  $180$  ( $n=1$ ),  $140$  ( $n=4$ ) и  $83$  ( $n=7$ ) нм. Таким образом, введение ионообменной составляющей в матрицу приводит к уменьшению размеров пор последней.

Как и следовало ожидать, поэтапное введение ионообменной составляющей в матрицу мембраны оказывает влияние на зарядселективные свойства последней. Так, при измерении мембран-

ного потенциала во всех случаях зарегистрирована ЭДС, возникающая в цепи:



Для исходной матрицы начальная величина ЭДС составляла  $\approx 10 \text{ мВ}$  и уменьшалась до 0 в течение  $1-2$  мин, что свидетельствовало о выравнивании концентраций раствора электролита во внешнем и внутреннем растворе и, следовательно, об отсутствии зарядселективных свойств у исследуемой мембраны.

Для мембран, модифицированных  $\text{ZrO}_m(\text{OH})_p$ , ЭДС стабилизировалась на протяжении некоторого промежутка времени. Период стабилизации зависел как от числа заполнений ионообменной составляющей, так и от концентрации внутреннего раствора. При концентрации внутреннего раствора  $0.015 \text{ М}$  время стабилизации составляло примерно  $30$  мин для мембраны с однократным заполнением и уменьшалось до  $5$  мин для мембран с семикратным заполнением. В то же время при концентрации  $0.1 \text{ М}$  ЭДС стабилизировалась на протяжении  $6$  ( $n=1$ ) и  $3$  ч ( $n=7$ ). Таким образом, мембраны, содержащие ионообменную составляющую, представляют собой барьер, который практически не пропускает ионы того или иного знака заряда. В связи с этим выравнивание концентраций путем диффузии становится невозможным.

Полученные результаты дают основание полагать, что в данном случае исследованные мембраны проявляют зарядселективные свойства и

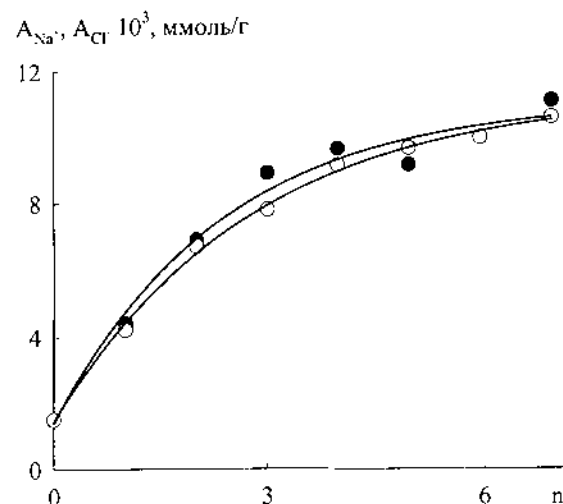


Рис. 2. Зависимость полной катионообменной (O) и анионообменной (O) емкостей керамических мембран от числа заполнений ( $n$ ) ионообменной составляющей.

регистрируемая ЭДС соответствует мембранному потенциалу  $E_M$ .

Зависимости мембранного потенциала от  $\log(C_{Cl^-,1}/C_{Cl^-,2})$ , где  $C_{Cl^-,1}$  и  $C_{Cl^-,2}$  — концентрации внешнего и внутреннего растворов соответственно, приведены на рис. 3.

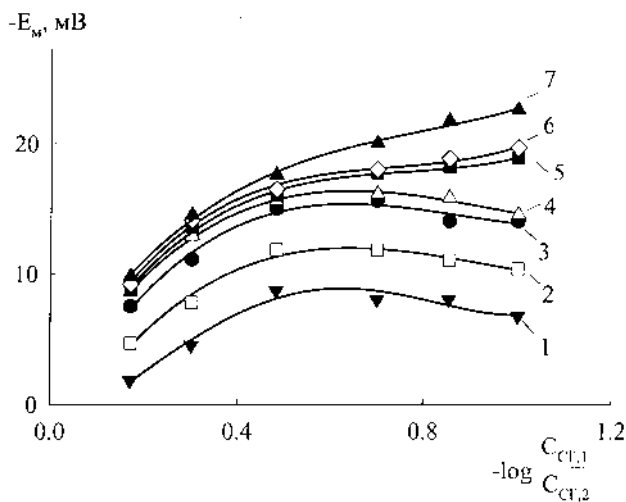


Рис. 3. Зависимость мембранного потенциала от  $\log(C_{Cl^-,1}/C_{Cl^-,2})$  для мембран, содержащих 1 (1); 2 (2); 3 (3); 4 (4); 5 (5); 6 (6) и 7 (7) слоев ГДЦ.

Из рисунка следует, что данные зависимости не могут быть аппроксимированы линейными функциями. В случае мембран с малыми числами заполнения ионообменной составляющей ( $n=1-4$ ) кривые  $E_M - \log(C_{Cl^-,1}/C_{Cl^-,2})$  проходят через максимум, соответствующий концентрации внутреннего раствора 0.3 М. При более высоких числах заполнения величины мембранных потенциалов возрастают с увеличением концентрации внутреннего раствора от 0.015 до 0.1 М и представленные зависимости носят обратнoэкспоненциальный характер. Кривые  $E_M - (C_{Na^+,1}/C_{Na^+,2})$  практически совпадают с таковыми, полученными для растворов HCl и поэтому не приводятся.

Отклонение  $E_M$  от теоретически рассчитанного значения обусловлено наличием доннановских потенциалов на границе фаз мембрана — раствор. В общем виде мембранный потенциал можно представить в виде суммы диффузионного ( $E_{диф}$ ) и двух доннановских потенциалов ( $E_{дон}$ ) [10], из которых доннановский потенциал, возникающий со стороны менее концентрированного раствора, берется с обратным знаком:

$$E_M = E_{диф} - E_{дон,1} + E_{дон,2}. \quad (4)$$

Известно, что уравнение, связывающее мем-

бранный потенциал и число переноса потенциалопределяющих ионов ( $t$ ), имеет вид [10]:

$$E_M = \frac{RT}{zF} \left[ \ln \frac{a_1}{a_2} \pm (z_+ - z_-) \int_1^2 (1-t) d \ln a_{\pm} \right], \quad (5)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — соответственно активности потенциалопределяющих ионов в менее и более концентрированных растворах,  $z$  — заряд потенциалопределяющих ионов, индексы "+" и "-" относятся соответственно к катионам и анионам,  $R$  — универсальная газовая константа,  $F$  — константа Фарадея,  $T$  — температура,  $z$  — заряд ионов,  $a_{\pm}$  отвечает активности потенциалопределяющих ионов в растворе, концентрация которого варьируется, интегрирование производится в пределах концентраций раствора, которые отвечают активностям потенциалопределяющих ионов от  $a_1$  до  $a_2$ . Предполагается, что  $a_+ = a_-$ . Для 1,1-зарядного электролита высокой концентрации это предположение является полностью справедливым. Кроме того, в этом случае величины активности потенциалопределяющих ионов отвечают их концентрациям. Знак "+" перед интегральной частью уравнения (5) соответствует случаю, когда изменяется концентрация электролита в более концентрированном растворе. Если варьируется концентрация менее концентрированного раствора, знак перед интегралом изменяется на противоположный.

Как следует из равенства (5), в случае, когда потенциалопределяющими являются ионы Cl<sup>-</sup> и изменяется содержание HCl в более концентрированном растворе, справедливо уравнение:

$$\frac{d \left( E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}} \right)}{d \ln C_{Cl^-,2}} = 2 \frac{RT}{F} (1 - t_{Cl^-}). \quad (6)$$

Таким образом, числа переноса Cl<sup>-</sup> могут быть найдены из производной функции, описывающей зависимость  $E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$  от  $\ln C_{Cl^-,2}$ .

В случае, если потенциалопределяющими являются ионы Na<sup>+</sup>, получаем:

$$\frac{d \left( E_M + \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Na^+,1}}{C_{Na^+,2}} \right)}{d \ln C_{Na^+,2}} = -2 \frac{RT}{F} (1 - t_{Na^+}), \quad (7)$$

откуда могут быть рассчитаны числа переноса Na<sup>+</sup>.

Зависимости величин  $E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$  от

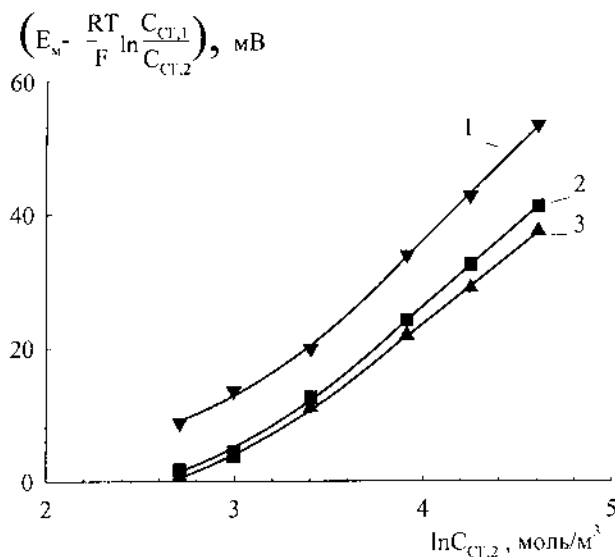


Рис. 4. Зависимость  $E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$  от  $\ln C_{Cl^-,2}$  для мембран, содержащих 1 (1); 5 (2) и 7 (3) слоев ГДЦ.

$\ln C_{Cl^-,2}$  для некоторых мембран представлены на рис. 4. Видно, что во всех случаях существует отклонение  $E_M$  от теоретически рассчитанных значений диффузионного потенциала  $\frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$ , причем данное отклонение увеличивается с возрастанием концентрации внутреннего раствора.

Значения чисел переноса  $Cl^-$  были рассчитаны из углов наклона кривых  $E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$

к осям абсцисс. Аналогичным образом получены числа переноса  $Na^+$ . Величины  $t_{Cl^-}$  и  $t_{Na^+}$  как функции концентрации внутреннего раствора приведены на рис. 5. Видно, что во всех случаях возрастание концентрации раствора приводит к уменьшению величины  $t_{Cl^-}$ . Тем не менее поэтапное заполнение пор мембраны ионообменной составляющей приводит к увеличению чисел переноса  $Cl^-$ . Так, при однократном нанесении ионообменной составляющей на инертную керамическую подложку величина  $t_{Cl^-}$  уменьшается от 0.79 до 0.46 при изменении концентрации раствора  $HCl$  от 0.015 до 0.1 М. При этом для ионов  $Cl^-$  число переноса оказывается даже несколько меньшим, чем для  $H^+$ , что свидетельствует о более высокой подвижности коионов по сравнению с таковой для противоионов. В этом случае последние являются по-

тенциалоопределяющими. Об этом свидетельствует изменение угла наклона к оси абсцисс кривой  $E_M - \frac{RT}{F} \ln \frac{C_{Cl^-,1}}{C_{Cl^-,2}}$  [8]. В то же время для мем-

браны с  $n=7$  величина  $t_{Cl^-}$  составляет 0.57 при концентрации внутреннего раствора 0.1 М и достигает 0.92 при 0.015 М. Таким образом,  $t_{Cl^-}$  для мембран с высокой степенью заполнения ионообменной составляющей сопоставимы с числами переноса ионов для гетерогенных мембран на основе органических полимеров [11]. Возрастание чисел переноса при снижении концентрации раствора связано, очевидно, с увеличением толщины двойного слоя в порах мембраны. Результатом увеличения количества ионообменной составляющей в порах матрицы является уменьшение радиуса пор и увеличение плотности поверхностного заряда, что способствует улучшению зарядселективных свойств мембран. Между тем данные рис. 2 свидетельствуют о том, что использованная методика не позволяет ввести в матрицу ионообменную составляющую в таком количестве, которое обеспечивало бы идеальную селективность мембраны.

Таким образом, показано, что композиционные материалы на основе инертной керамической матрицы, содержащей амфотерный ионит  $ZrO_m(OH)_p$ , в зависимости от состава среды проявляют как катион-, так и анионселективные свойства в интервале концентраций 0.01—0.1 М для 1,1-зарядных кислот или щелочей. Повышение

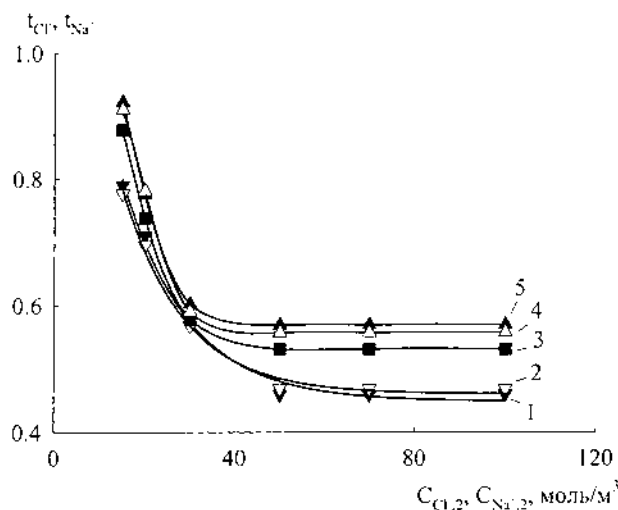


Рис. 5. Зависимость чисел переноса  $Cl^-$  (1, 3, 5) и  $Na^+$  (2, 4) от концентрации внутреннего раствора для мембран, содержащих 1 (1, 2), 5 (3) и 7 (4, 5) слоев ГДЦ.

концентрации электролита приводит к снижению селективности мембран. Тем не менее выраженная тенденция к улучшению селективности по мере увеличения количества ионообменной составляющей в порах матрицы позволяет предположить возможность получения мембран, которые характеризовались бы значительной селективностью и в области высококонцентрированных растворов. Дальнейшее улучшение зарядовой селективности мембран возможно, очевидно, при совершенствовании методов их синтеза.

**РЕЗЮМЕ.** Синтезовано композиційні неорганічні мембрани на основі оксидної кераміки (інертна підложка) та гідратованого діоксиду цирконію (іонообмінна складова). На основі результатів вимірювання мембранного потенціалу показано, що отримані мембрани виявляють йонселективні властивості як у кислому, так і в лужному середовищі в інтервалі концентрацій 1-1 зарядного електроліту 0.01—0.1 М. Встановлено, що числа переносу протийонів збільшуються при підвищенні вмісту іонообмінної складової та досягають 0.92.

**SUMMARY.** The composite inorganic membranes based on oxide ceramics (inert substrate) and hydrated zirconium dioxide (ion-exchange component) were synthesized.

The membrane potential measurements showed, that the obtained membranes demonstrate ion-selective properties both in acidic (towards anions) and alkaline (towards cations) media within the concentration interval of 0.01—0.1 M for 1:1 electrolyte. It was found, that transport numbers of counter ions increase with an increase in amount of ion-exchange component and reach 0.92.

1. *Katz P.* Ultrapure Water. -1999. -**16**, № 4. -P. 52—57.
2. *Гребенюк В.* Электродиализ. -Киев: Техника, 1976.
3. *Walsh F.* A First Course in Electrochemical Engineering. -London: Alresford Press, 1993.
4. *Koruta J.* Ions, Electrodes and membranes. -Chichester, UK.: Wiley, 1991.
5. *Linkov V.N., Belyakov V.N.* // Sep. and Pur. Techn. -2001. -**25**, № 1-3. -P. 57—63.
6. *Амфлетт Ч.* Неорганические иониты. -М.: Мир, 1966.
7. *Сухарев Ю.И.* Синтез и применение специфических оксигидратных сорбентов. -М.: Энергоатомиздат. 1987.
8. *Helferich F.* Ion Exchange. -New York: Dover, 1995.
9. *Шарло Г.* Методы аналитической химии. -М.: Химия, 1966.
10. *Мархол М.* Ионообменники в аналитической химии. -М.: Мир, 1985. -Т. 1.
11. *Hale D.K., McCauley D.J.* // Trans. Faraday Soc. -1961. -**57**, № 1. -P. 135—149.

Институт общей и неорганической химии  
им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

Поступила 17.12.2004

УДК 661.183.1

**С.С. Ставицкая, В.Е. Гоба, А.Н. Томашевская, Н.Т. Картель**

## **УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АЭРОГЕЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ САЖ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Установлено влияние строения и происхождения образцов технического углерода, а также условий их термообработки (температуры, природы газовой среды), предварительной пропитки активизирующими добавками и других факторов на конечные характеристики углеродных аэрогелей — плотность, удельную поверхность, сорбционную способность.

Среди новых углеродных материалов (УМ), которые в зависимости от исходного материала и способов обработки могут обладать разнообразными формами, физико-механическими и химическими свойствами, существенный интерес представляют УМ аэрогельного типа с низкой плотностью.

Углеродные материалы с низкой плотностью — углеродные аэрогели (УА) как новый тип аэ-

рогелей впервые были получены в конце 80-х годов XX столетия [1, 2] пиролизом органических аэрогелей — резорцинол-формальдегидной смолы при температурах от 250 до 600 °С в токе азота с последующей высокотемпературной активацией углекислым газом при 900—1000 °С. Все последующие исследования посвящены синтезу и изучению структурных характеристик, адсорбционных и электрофизических свойств углерод-

© С.С. Ставицкая, В.Е. Гоба, А.Н. Томашевская, Н.Т. Картель, 2006