**СУПЕРИОННЫЕ ПРОВОДНИКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАТОВ
ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ**

***А.М. Михайлова¹, К.С. Зубцова¹, Н.В. Прудников²,
Т.В. Дуброва², Н.И. Горская¹***

¹Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
РФ 410054, Саратов, ул. Политехническая, д. 77
тел.: 8(452) 99-86-27; e-mail: chemistry@sstu.ru

²ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии
при Президиуме Российской академии наук
РФ 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2
тел.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mzairan@ipiran.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.009

Заключение совета рецензентов: 04.09.15 Заключение совета экспертов: 11.09.15 Принято к публикации: 18.09.15

Настоящая работа посвящена рассмотрению вопроса получения и исследования физико-химических свойств полимерного электролита с литий-ионной проводимостью. Представлено достаточно подробное описание технологического процесса изготовления полимерного электролита, приводятся данные исследования проводимости полимерного электролита в широком интервале температур, а также данные ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Показано, что полученный электролит может применяться при изготовлении преобразователей энергии пленочной конструкции.

Ключевые слова: литиевые химические источники тока (ХИТ), твердый полимерный электролит, метод импедансной спектроскопии, удельная электропроводность.

**POLYACRYLATE SUPERIONIC CONDUCTORS
FOR THE CONVERTER OF ENERGY AND INFORMATION**

***A.M. Mihailova¹, K.S. Zubtsova¹, N.V. Prudnikov²,
T.V. Dubrova², N.I. Gorskaya¹***

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77 Polytechnicheskaya St., Saratov, 410054 Russian Federation
ph.: 8(452) 99-86-27; e-mail: chemistry@sstu.ru

²Federal State Institution of Science
Interdepartmental Center of Analytical Researches in the Field of Physics,
Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences
44 Vavilov str., Moscow, 119333 Russian Federation
ph.: 8(499) 135-20-58; e-mail: mzairan@ipiran.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.20.009

Referred 04 September 2015 Received in revised form 11 September 2015 Accepted 18 September 2015

The article considers the receiving and research of physical and chemical properties of polymeric electrolyte with Li-ion conductivity. There is rather detailed description of technological process of polymeric electrolyte production, research of conductivity of polymeric electrolyte in a wide interval of temperatures, also infrared spectroscopy and the X-ray diffraction analysis. It is shown that the electrolyte can be applied at production of energy converters of film structure.

Keywords: lithium battery, solid polymeric electrolyte, method of impedance spectroscopy, specific conductivity.



Михайлова Антонина
Михайловна
Antonina M. Mihailova

Сведения об авторе: д-р хим. наук, профессор кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

Образование: химический факультет СГУ им. Н.Г. Чернышевского, аспирантура при СГУ.

Область научных интересов: ионика твердого тела.

Публикации: более 200, в том числе 1 монография.

Information about the author: DSc (chemistry), professor of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

Education: chemical faculty of Saratov State University, postgraduate study at Saratov State University.

Research area: solid state ionics.

Publications: more than 200, including 1 monograph.



Зубцова
Клавдия Сергеевна
Klavdiya S. Zubtsova

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

Образование: химический факультет СГУ им. Н.Г. Чернышевского.

Область научных интересов: химические источники тока и суперконденсаторы.

Публикации: 20.

Information about the author: graduate student of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

Education: chemical faculty of Saratov State University.

Research area: chemical sources of electricity and super-capacitors.

Publications: 20.



Дуброва
Татьяна Владимировна
Tatiana V. Dubrova

Сведения об авторе: нач. отдела, ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук.

Образование: Московский институт тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова.

Область научных интересов: химические источники тока и суперконденсаторы.

Публикации: 41.

Information about the author: head of section of Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences.

Education: Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies.

Research area: chemical sources of electricity and super-capacitors.

Publications: 41.



Прудников
Николай Владимирович
Nikolay V. Prudnikov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, ФГБУН Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме РАН, профессор кафедры микросистемная техника МИРЭА.

Образование: Московский авиационный технологический институт им. К.Э. Циолковского.

Область научных интересов: лазерные технологии.

Публикации: 130 научных публикаций, в том числе 1 монография.

Information about the author: DSc (engineering), Interdepartment Center of Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of Russian Academy of Sciences; professor of MIREA.

Education: MATI-Russian State Technological University.

Research area: laser technology.

Publications: 130, including 1 monograph.





Горская
Наталья Игоревна
Natalya I. Gorskaya

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Химия» Физико-технического факультета СГТУ им. Ю.А. Гагарина

Образование: химический факультет СГУ имени Н.Г. Чернышевского.

Область научных интересов: твердые электролиты на основе органических соединений.

Публикации: 23.

Information about the author: graduate student of Chemistry department of Physical-Technical faculty, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

Education: chemical faculty of Saratov State University.

Research area: solid electrolytes based organic compounds.

Publications: 23.

Введение

Потребность в автономных источниках энергии постоянно растёт. Учитывая тот факт, что источники тока с литиевым анодом на сегодняшний день занимают лидирующую позицию в мире по объёму продаж и разработок [1–3], актуальными становятся исследования, направленные на получение электродных материалов и электролитных систем для данных источников тока.

Целью настоящей работы является синтез и изучение полимер-электролитной системы на основе матрицы сополимера полиакрилонитрила (ПАН) с

перхлоратом лития, перспективной для использования в химических источниках тока (ХИТ) с литиевым анодом.

Особенности сополимеров акрилонитрила

Твердые полимерные электролиты (ТПЭ) рассматриваются как растворы ионных солей в полимерной матрице, играющей роль неподвижного растворителя. Как показали исследования, в качестве полимерных матриц с успехом могут быть использованы различные сополимеры акрилонитрила (табл.1), содержащие электронодонорные группы $C\equiv N$ [4–6].

Сополимеры акрилонитрила, используемые для получения ТПЭ

Таблица 1

Table 1

The acrylonitrile copolymers used for receiving SPE

Техническое название	Содержание звеньев акрилонитрила, % (масс.)	Компонент сополимеризации	Структура	Температура стеклования, °C	Диэлектрическая проницаемость	Молекулярная масса
СКН-26	26–28	Бутадиен	Аморфный полимер	минус 42	10,2	$3 \cdot 10^5$
СКН-40	36–40	Бутадиен	—/—	минус 32	12,0	$4,4 \cdot 10^5$
ПАН	93	Метакриловая к-та, итаконовая к-та	—/—	75	5	$6,6 \cdot 10^4$

К числу достоинств сополимеров акрилонитрила следует отнести такие показатели, как разнообразие марок, выпускаемых российской промышленностью, и доступность, которые имеют большое значение в связи с современным состоянием экономики и дефицитом импортного сырья. Следует отметить хорошие механические свойства (прочность, гибкость, эластичность и т.д.), позволяющие получать на ПАН и его сополимерах материалы в виде тонких (порядка нескольких десятков мкм) пленок [7]. Использование

сополимеров акрилонитрила исключает кристаллизацию полимерной матрицы, а также позволяет варьировать ее физические свойства от эластомера до стеклообразного полимера. Проводимость ТПЭ на основе полиакрилонитрила достигает $2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при комнатной температуре [8, 9].

Растворимость солей лития LiClO_4 , LiAsF_6 и LiCF_3SO_3 в различных сополимерах акрилонитрила при комнатной температуре достаточно высока и соответствует отношению $[\text{CN}]:[\text{Li}]$ от 4:1 до 2:1 [10].

Температурные зависимости электропроводности ТПЭ (рис. 1) были подробно описаны авторами работы [11]: показано, что зависимость ионной проводимости полностью диссоциированного электролита в аррениусовских координатах описывается уравнением Вогеля-Таммана-Фульшера:

$$\sigma = AT^{-1/2} \exp[-B/(T - T_0)], \quad (1)$$

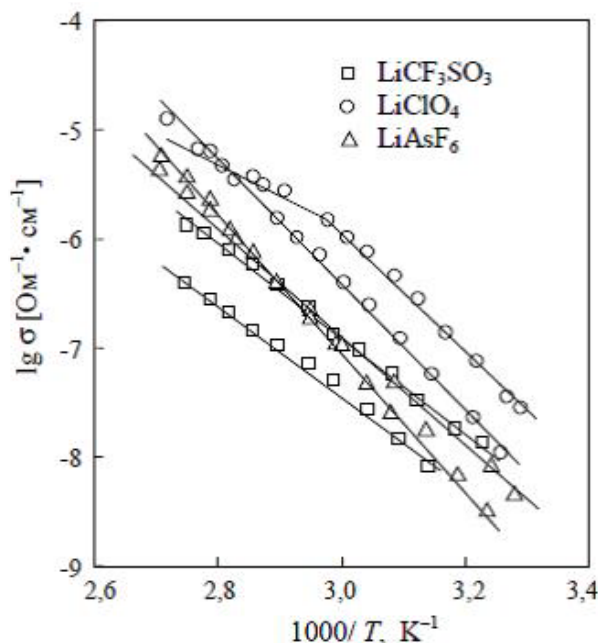


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости ТПЭ на основе СКН-40 в области средних концентраций соли [CN]:[Li] = 10:1

Fig. 1. Temperature dependences of conductivity of SPE on the basis of NBR-40 in the field of average concentration of salt [CN]:[Li] = 10:1

Методика эксперимента

Исследования проводили ИК-спектроскопическим, рентгеноструктурным, гальваностатическими методами, а также методом импедансной спектроскопии. В качестве полимерной матрицы использовали полиакрилонитрильное волокно (ПАН-волокно), выпускаемое предприятием ООО «Акрипол» (г. Саратов). Полимер представлял собой волокна светло-желтого цвета без запаха, растворимые в диметилформамиде (ДМФ), ледяной уксусной и молочной кислоте и нерастворимые в метаноле, этаноле, ацетоне. Содержание звеньев акрилонитрила

составляло 93 % (масс.), молекулярная масса $6,6 \cdot 10^4$, содержание мономерных остатков непредельных карбоновых кислот (карбоксилатных звеньев) не более 5 % (масс.).

Методика подготовки полимера и соли лития, приготовление раствора и получение пленок методом полива описаны ранее [12, 13]. Полученные пленки были прозрачными и эластичными, их толщина составляла 50–60 мкм.

Для исследований были изготовлены образцы композиций, содержащие в процентном соотношении перхлорат лития к массе ПАН – ([Li⁺]:[CN]) = 21,3; 27,5; 35,5; 38,3; 43.

Снятие ИК спектров образцов осуществлялось на спектрометре ФТ 801. Спектрограммы получены на образцах в виде растворов в диметилформамиде.

Рентгеноструктурный анализ образцов проводили на дифрактометре «ДРОН-2» с применением железного фильтра и линии K_α меди на образцах в виде пластинок толщиной 5 мм.

Удельную электропроводность пленок ТПЭ определяли в двухконтактных ячейках Ti/ТПЭ/Ti, используя метод электрохимического импеданса [14] на импедансметре Z-350 в интервале частот от 0,1 кГц до 100 кГц. Температурный диапазон исследования проводимости составил 20÷100 °С. Полученные данные анализировали с помощью графоаналитического метода, толщину пленок учитывали при пересчете на удельный объем. Все операции по изготовлению пленок и подготовке образцов для анализов и измерений проводили в условиях, исключающих попадание влаги в пленку.

Обсуждение результатов

Методом рентгеноструктурного анализа определена предельная растворимость LiClO₄ в ПАН при 298 К. При содержании перхлората лития в полимере более чем 42,9 % к массе ПАН в системе появляется свободная фаза соли, и система перестает быть однородной. Это приводит к резкому снижению физико-механических свойств полимерной пленки: она становится хрупкой и ломкой, локально на поверхности появляются участки соли.

Результаты, полученные при ИК-спектроскопических исследованиях, представлены на рис. 2.

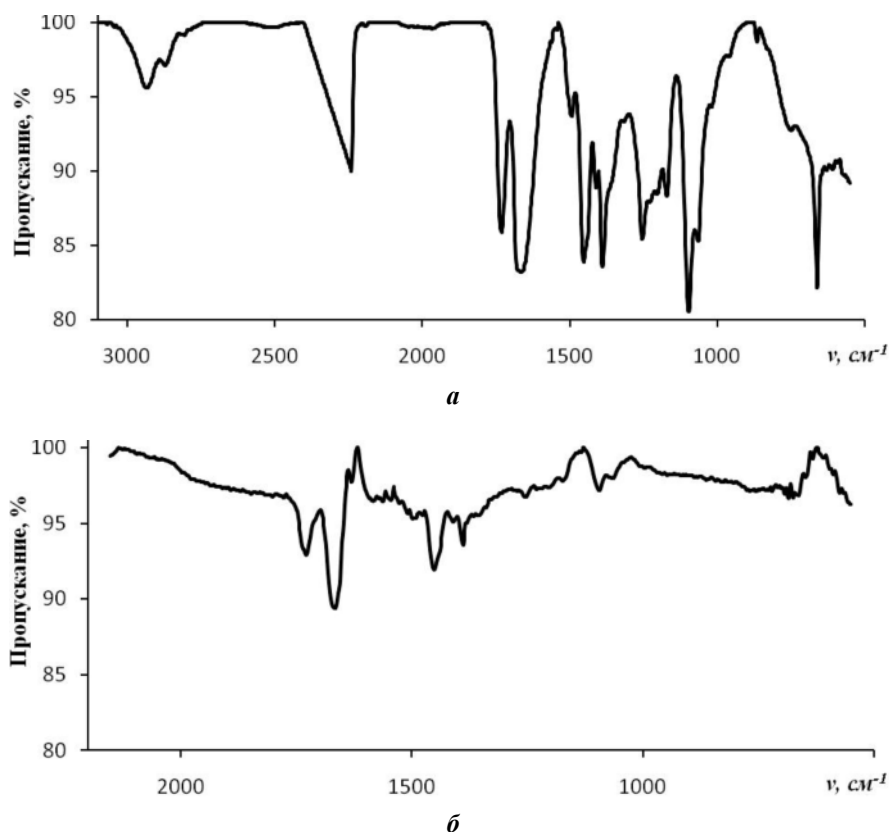


Рис. 2. ИК-спектры: а – ПАН, не содержащего соли лития; б – системы ПАН – LiClO_4
 Fig. 2. IR spectra: а – PAN not containing lithium salt; б – PAN – LiClO_4 systems

Диапазон длин волн $1500\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ характерен для валентных и деформационных колебаний связей $\text{C}=\text{N}$, $\text{C}-\text{H}$ в молекуле ПАН. Указанные длины волн несколько смещены в коротковолновую область в присутствии катиона щелочного металла.

Как показали проведенные исследования, с увеличением концентрации соли лития смещение полосы 1500 см^{-1} в область меньших волновых чисел усиливается, что свидетельствует о том, что катионы

лития вступают в координационное взаимодействие с нитрильными группами. Подобное взаимодействие может приводить к диссоциации перхлората лития в полимерной композиции. Свидетельством образования комплексов в системе ПАН – LiClO_4 служат данные рентгеноструктурного анализа. Установлено, что зависимость степени кристалличности композиций от содержания в них перхлората лития имеет экстремальный характер (рис. 3).

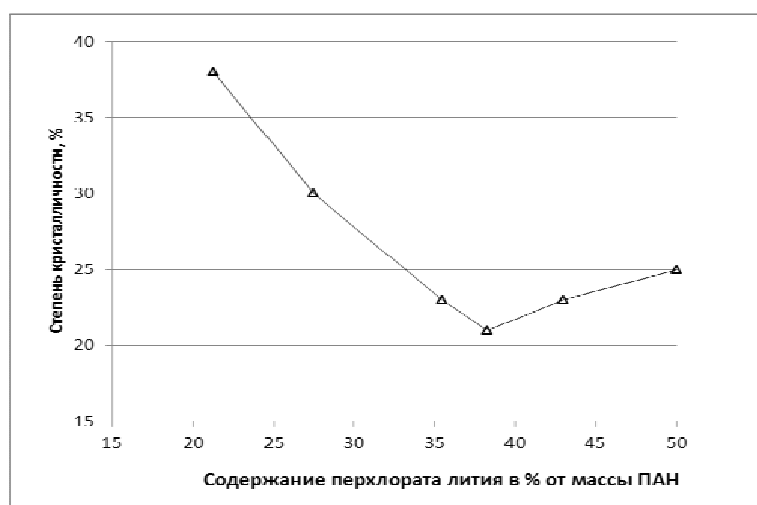


Рис. 3. Зависимость степени кристалличности композиции от состава системы ПАН – LiClO_4
 Fig. 3. Dependence of crystallinity degree on composition of PAN – LiClO_4 system

Первоначально, при введении соли в полимер, происходит уменьшение содержания кристаллической фазы. С увеличением содержания LiClO_4 до соотношения 38,3 % от массы ПАН степень кристалличности значительно снижается до уровня 21 %, что свидетельствует о существенном росте аморфной фазы в полимерной композиции и способствует увеличению ее проводимости.

Полученные результаты согласуются с представлениями авторов [15] об увеличении проводимости ТПЭ с ростом в полимерной матрице аморфных компонентов. В этом случае значительно возрастает

подвижность мономерного сегмента, растет возможность транспортировки и, следовательно, проводимость электронной плотности в матрице композита. Когда концентрация соли в матрице становится выше оптимального значения, снижение проводимости полимера объясняется образованием ионных пар или кластеров, что уменьшает число носителей заряда и ограничивает их подвижность.

Данные измерений удельной электрической проводимости образцов композиций с соотношением $[\text{Li}^+]:[\text{CN}]$ от 21,3 до 43 (в % от массы ПАН) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Удельная электрическая проводимость полученных образцов

Table 2

Specific electric conductivity of the received samples

Содержание перхлората лития в % от массы ПАН	Удельное сопротивление, $\text{Ом}\cdot\text{см}$	Удельная проводимость, $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$
0	1771,875	$6,79\cdot 10^{-4}$
21,3	1415,625	$2,26\cdot 10^{-4}$
27,5	1177,500	$8,49\cdot 10^{-4}$
35,5	1245,625	$3,51\cdot 10^{-4}$
38,3	441,563	$2,27\cdot 10^{-3}$
43	1617,188	$5,82\cdot 10^{-4}$

Результаты измерения удельной электрической проводимости ТПЭ (содержание LiClO_4 38,3 % от массы ПАН) в интервале температур 303 ÷ 373 К приведены на рис. 4.

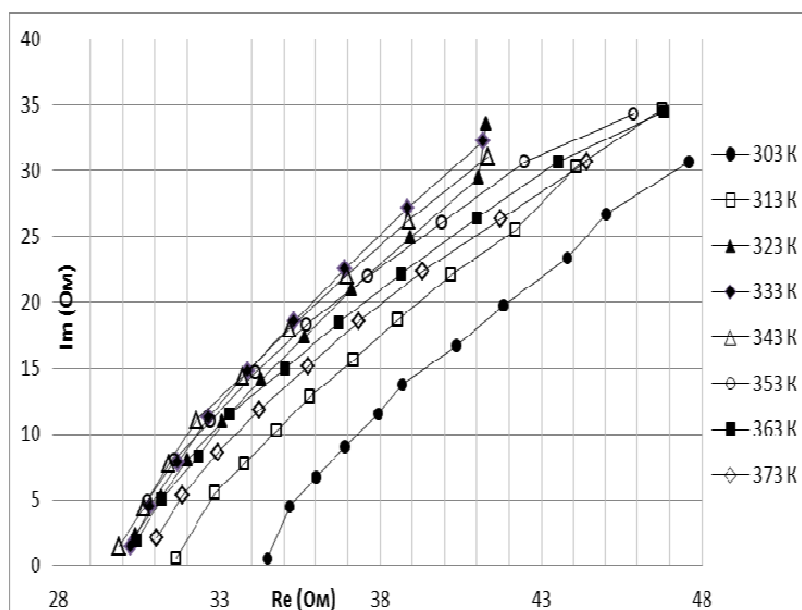


Рис. 4. Зависимость проводимости ТПЭ от температуры
Fig. 4. Dependence of SPE conductivity on temperature

Максимальная проводимость наблюдается у композиций с соотношением $[\text{Li}^+]:[\text{CN}] = 38,3$ % от массы ПАН. Установлено, что ионная проводимость полученного ТПЭ составляет $2,27\cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ при

комнатной температуре, а при повышении температуры до 80 °С отмечено максимальное значение проводимости $1\cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$.

Заключение

Значения электрической проводимости ТПЭ на основе полиакрилонитрила превосходят показатели композиций, полученных на основе полиэтиленкарбоната [16, 17]. Так, например, максимальная электрическая проводимость системы ПЭК: LiClO_4 при 298 К составляет $4,93 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, в то время как система ПАН – LiClO_4 при той же температуре имеет значение $2,27 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Содержание активных нитрильных (CN) групп в сополимере ПАН является достаточным для растворения в нем литиевой соли до высоких концентраций и формирования микроструктуры, обеспечивающей высокую литиевую проводимость при комнатной температуре.

Электролиты на основе ПАН дают гомогенные, гибридные электролитические пленки, в которых соль и пластификатор молекулярно распределены в объеме. В системе ПАН – LiClO_4 – ДМФ полимерная составляющая не принимает участия в механизме переноса ионов, но выступает в роли матрицы, обеспечивая структурную стабильность системы.

Электролитные системы, полученные на основе ПАН и его сополимеров, обладая высокой униполярной проводимостью и химической стабильностью в широком диапазоне температур, могут найти применение в составе преобразователей энергии и информации пленочной конструкции.

Список литературы

1. Химические источники тока: Справочник. М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2003.
2. Нижниковский Е.А. Химические источники автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 2004.
3. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Проблемы в области литиевых источников тока // Электрохимия. 1995. Т. 31, № 4. С. 342–349.
4. Чудинов Е.А., Ткачук С.В. Применение латексов в производстве материалов литий-ионного аккумулятора // Актуальные проблемы электрохимической технологии. Саратов, 2011. Т. 2. С. 151–156.
5. Gray F.M. Polymer electrolytes. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997.
6. Chandrasekhar V. Polymer solid electrolytes: synthesis and structure // Advances in Polymer Science. 1998. Vol. 135. P. 139–205.
7. Сыромятников В.Г., Паскаль Л.П., Машкин О.А. Полимерные электролиты для литиевых хими-

ческих источников тока // Успехи химии. 1995. Т. 3, № 64. С. 265–274.

8. Патент 2066901 РФ МКИ H01M 6/18. Твердый литийпроводящий электролит и способ его получения / Жуковский В.М., Бушкова О.В., Лирова Б.И. // Опубликовано 27.08.1999.

9. Watanabe M., Kanba M., Nagaoka K., Shiohara I. // J. Appl. Polym. Sci. 1982. No. 27. P. 4191–4194.

10. Жуковский В.М., Бушкова О.В., Лирова Б.И. и др. Проблема быстрого ионного транспорта в твердых полимерных электролитах // Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 2001. Т. XLV, № 4. С. 35–43.

11. Ярмоленко О.В., Хатмуллина К.Г. Полимерные электролиты для литиевых источников тока: современное состояние и перспективы // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2010. № 3 (83). С. 59–76.

12. Михайлова А.М., Зубцова К.С. Разработка технологических основ создания литиевого источника тока с твердым полимерным электролитом // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2013. № 2/2 (120). С. 112–116.

13. Ефанова В.В., Зубцова К.С., Новожилов Е.П. и др. Суперионные проводники по щелочному металлу на основе полиакрилатов // Тезисы докладов 7-ой Всероссийской научной конференции «Технологии и материалы для экстремальных условий», Туапсе, 15–22 сентября 2012 г. С. 64–65.

14. Укше Е.А., Букун Н.Г. К вопросу об импедансе границы металл/твердый электролит // Электрохимия, 1980. Т. 16, № 3. С. 313–319.

15. Чеботарев В.П., Смирнов С.Е., Комков В.А. Гель-полимерные электролиты на основе полисульфона для литиевых источников тока // Пластические массы. 2003. С. 7–9.

16. Духанин Г.П., Думлер С.А., Новаков И.А., Глазов В.И. Перспективные электролиты для литиевых химических источников тока // Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов: межвуз. сб. науч. тр. ВолгГТУ – Волгоград, 1997. С. 65–73.

17. Духанин Г.П., Думлер С.А., Саблин А.Н., Новаков И.А. Электропроводящие композиции на основе системы полиэтиленкарбонат – перхлорат лития // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. научн. ст. № 6(32). ВолгГТУ – Волгоград, 2008. Сер. Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. С. 163–165.



References

1. Himičeskie istočniki toka: Handbook. Moscow: Izd-vo Mosk. ènerg. in-ta Publ., 2003 (in Russ.).
2. Nizhnikovsky E.A. Himičeskie istočniki avtonomnogo èlektropitaniâ radioèlektronnoj apparatury. Moscow: Izd-vo Mosk. ènerg. in-ta Publ., 2004 (in Russ.).
3. Bagocky V.S., Skundin A.M. Problemy v oblasti litievych istočnikov toka. *Èlektrohimiâ*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. 342–349 (in Russ.).
4. Chudinov E.A., Tkachuk S.V. Primenenie lateksov v proizvodstve materialov litij-ionnogo akkumulâtora. *Aktual'nye problemy èlektrohimičeskoj tehnologii*, Saratov, 2011, vol. 2, pp. 151–156 (in Russ.).
5. Gray F.M. Polymer electrolytes. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997 (in Eng.).
6. Chandrasekhar V. Polymer solid electrolytes: synthesis and structure. *Advances in Polymer Science*, 1998, vol. 135, pp. 139–205 (in Eng.).
7. Syromyatnikov V.G., Paskal' L.P., Mashkin O.A. Polimernye èlektrolity dlâ litievych himičeskih istočnikov toka. *Uspehi himii*, 1995, vol. 3, no. 64, pp. 265–274 (in Russ.).
8. Zhukovsky V.M., Bushkova O.V., Lirova B.I. Tverdyj litijprovodâšij èlektrolit i sposob ego polučeniâ. Patent 2066901 RF, MKI N 01M 6/18. Opublikovano 27.08.1999 (in Russ.).
9. Watanabe M., Kanba M., Nagaoka K., Shiohara I. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1982, no. 27, pp. 4191–4194 (in Eng.).
10. Zhukovsky V.M., Bushkova O.V., Lirova B.I. et al. Problema bystrogo ionnogo transporta v tverdyh polimernyh èlektrolitah. *Žurnal Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva*, 2001, vol. XLV, no. 4, pp. 35–43 (in Russ.).
11. Yarmolenko O.V., Hatmullina K.G. Polimernye èlektrolity dlâ litievych istočnikov toka: sovremennoe sostoânie i perspektivy. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ» (ISJAE)*, 2010, no. 3 (83), pp. 59–76 (in Russ.).
12. Mihailova A.M., Zubcova K.S. Razrabotka tehnologičeskih osnov sozdaniâ litievogo istočnika toka s tverdyim polimernym èlektrolitom. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ» (ISJAE)*, 2013, no. 2/2 (120), pp. 112–116 (in Russ.).
13. Efanova V.V., Zubcova K.S., Novozhilov E.P. et al. Superionnye provodniki po šeločnomu metallu na osnove poliakrilatov. *Abstracts of 7th Russian Scientific Conference «Tehnologii i materialy dlâ èkstremal'nyh uslovij»*, Tuapse, 15–22 September 2012, pp. 64–65 (in Russ.).
14. Ukshe E.A., Bukun N.G. K voprosu ob impedance granicy metall/tverdyj èlektrolit. *Èlektrohimiâ*, 1980, vol. 16, no. 3, pp. 313–319 (in Russ.).
15. Chebotarev V.P., Smirnov S.E., Komkov V.A. Gel'polimernye èlektrolity na osnove polisul'fona dlâ litievych istočnikov toka. *Plastičeskie massy*, 2003, pp. 7–9 (in Russ.).
16. Duhanin G.P., Dumler S.A., Novakov I.A., Glazov V.I. Perspektivnye èlektrolity dlâ litievych himičeskih istočnikov toka. *Himiâ i tehnologiâ èlementoorganičeskih monomerov i polimernyh materialov*: Interuniversity Collection of Scientific Papers of VolgGTU – Volgograd, 1997, pp. 65–73 (in Russ.).
17. Duhanin G.P., Dumler S.A., Sablin A.N., Novakov I.A. Èlektroprovodâšie kompozicii na osnove sistemy poliètilenkarbonat – perhlorat litiâ. *Izvestiâ VolgGTU*: Interuniversity Collection of Scientific Papers no. 6(32). VolgGTU – Volgograd, 2008, Ser. Himiâ i tehnologiâ èlementoorganičeskih monomerov i polimernyh materialov, pp. 163–165 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

