

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г., ф.-м.ғ.к., доцент
(Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к.(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф.(Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф.(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф.(Жапония)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б.,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 349 б.,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

Editor-in-Chief

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor
A.T. Akilbekov (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

Giniyatova Sh.G., Candidate of Phys.-Math. Sciences,
Assoc. Prof. (Kazakhstan)

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof. (Japan)
Kadyrzhanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD (Kazakhstan)

Editorial address: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout: A.Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор:
доктор ф.-м.н.
А.Т. Акилбеков, доктор ф.-м.н., профессор (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
(Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	доктор ф.-м.н.(Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н.(Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Салиходжа Ж.М	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Тлеукунов С.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф. (Япония)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван, Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> Кристалды Si ₃ N ₄ -те латентті тректердің пайда болу энергиясының ионизациялық жоғалтуының шекті деңгейін анықтау	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргубаева И.С.</i> Кумарин бояғышымен байланысты CdS кластерлерінде электрондық ауысуларды есептеу	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сағындықова Ғ.Е., Есманова С.С.</i> Педагогикалық мамандық студенттерінің сыни ойлауын дамыту	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Ғ.К., Сәрсенғалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Оттегі енгізілген ZnWO ₄ кристалдарының люминесценциясы	33
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Мұхамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уәлшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимғалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> 8-217 МэВ энергиясы кезінде ²⁸ Si ядросында ³ He серпімді шашырауын зерттеу	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Ғ.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Қуатты электронды ағынында синтезделген MgF ₂ -WO ₂ керамикасының құрылымы	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Мухамбетов Д.</i> Болат илемдеу өндірісінің қосалқы өнімдер бөлшектерінің морфологиясы	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзақулов Н.А.</i> Камасс-Холм теңдеуі үшін беттің бірінші және екінші фундаменталды формасы	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Ғ.Н., Мырзақулов Р.</i> (2+1)-өлшемді Дэви-Стюартсон I теңдеуінің екікомпонентті жалпылануы I	73
<i>Ногай А.С., Кутербеков К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Платинасыз катализаторлары бар нафион типті мембраналардағы жылу релаксациялық поляризациясының ерекшеліктері	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Төмен доза әсер ету ықпалын бағалау мәселесі	86
<i>Шанина З.К.</i> Конно-Оно теңдеуінің дисперсиясыз шегі	93
<i>Шаханова Ғ.А.</i> Ақыл-ой карталарын оқу үдерісінде идеяларды қалыптастыру және құрылымдау әдісі ретінде қолдану	99
<i>Русақова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Нейтрондармен сәулеленген GaAs диэлектрлік қасиеттерін күйдіру	107

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№4(129)/2019

CONTENTS

<i>Ibrayeva A.D., Janse A. Vuuren Van, Skuratov V.A., Zdorovets M.V.</i> About determination of the threshold ionization energy losses for the latent tracks formation in crystalline Si_3N_4	8
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S.</i> Calculation of electronic transitions in CdS clusters associated with coumarin dye	15
<i>Ermekova Zh.K., Aldongarov A.A., Sagyndykova G.E., Esmanova S.S.</i> Development of critical thinking of students of pedagogical specialties	27
<i>Karipbaev Zh.T., Abuova A.U. Alpyssova G.K., Sarsengalieva K.M., Baozholov K.A., Kukenova A.B., Zdorovets M.V.</i> Luminescence of ZnWO_4 crystals with oxygen introduced	33
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Mukhambetzhana A.M., Nurzhanov A.B., Ualsherov D.T., Bekmyrza K.Zh., Rakhimgaliyeva I.T., Sarsenov R.M., Makhambayeva .U.</i> Study of the elastic scattering of ^3He on the ^{28}Si nucleus at the energy of 8 -217 MeV	42
<i>Musahanov D., Lisitsyn V., Karipbaev Zh., Alpyssova G., Golkovskii M., Dauletbekova A., Kozlovskii A., Zdorovec M.</i> The structure of $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ ceramic synthesized in a powerful electron flow	51
<i>Kargin D., Kozlovskij A., Altynov E., Kasymhanov Zh., Biseken A., Muhambetov D.</i> Morphology of the particles of by-products of steel rolling production	59
<i>Mussatayeva A.B., Myrzakulov N.A.</i> The first and second fundamental forms for the Camassa-Holm equation	65
<i>Serikbayev N.S., Nugmanova G.N., Myrzakulov R.</i> On the Integrable Two-Component (2+1)-dimensional Davey-Stewartson Equation	73
<i>Nogay A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbayev D.E., Bekmyrza K.Zh., Nogay A.A., Kabyshv A.M.</i> Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts	80
<i>Nursultanova N., Zhumadilov K.</i> The problem of assessing the effects of low-dose exposure	86
<i>Shanina Z.K.</i> Dispersionless limit of the Konno-Oono equation	93
<i>Shakhanova G.A.</i> Mind maps as a method of generating and structuring ideas in the learning process	99
<i>Russakova A.V., Akilbekov A.T., Zhunusova M.K.</i> Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons	107

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван., Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> К вопросу об определении порогового уровня ионизационных потерь энергии образования латентных треков в кристаллическом Si_3N_4	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Расчет электронных переходов в кластерах CdS, связанных с кумариновым красителем	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сагындыкова Г.Е., Есманова С.С.</i> Развитие критического мышления студентов педагогических специальностей	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сарсенгалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Люминесценция кристаллов ZnWO_4 с введенным кислородом	33
<i>Кабышев А.М., Кутербекоев К.А., Мухамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уалшиеров Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимгалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> Изучение упругого рассеяния ^3He на ядре ^{28}Si при энергии 8-217 МэВ	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Структура керамики $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$, синтезированной в мощном потоке электронов	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Д.Мухамбетов</i> Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Первая и вторая фундаментальные формы поверхности для уравнения Камасса-Холма	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзакулов Р.</i> О двухкомпонентном обобщении (2+1)-мерного уравнения Дэви-Стюартсона I	73
<i>Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения	86
<i>Шанина З.К.</i> Бездисперсионный предел уравнения Конно-Оно	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Интеллект-карты как метод генерации и структурирования идей в учебном процессе	99
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами	107

А.С. Ногай¹, К.А. Кутербеков², Д.Е. Ускенбаев¹, К.Ж. Бекмырза²,
А.А. Ногай², А.М. Кабышев

¹ *Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан*

² *Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: nogay06@mail.ru, kkuterbekov@gmail.com, kbekmyrza@yandex.kz, assetenu@gmail.com)*

Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами

Аннотация: В данной статье изучены диэлектрические свойства полимерной мембраны нафион в составе мембранно-электронного блока (МЭБ). Уточнены особенности строения нафион, а также вопросы, касающиеся взаимосвязи структуры и диэлектрических свойств в мембранах типа нафион. Высказано предположение о слабом влиянии катализатора: СоТе/С на релаксационные процессы поляризации в полимерной мембране.

Ключевые слова: мембрана нафион, топливные элементы, релаксационный процесс, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, катализатор.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-80-85>

Введение. В настоящее время наиболее изучен и широко применяется твердо-полимерный электролит (ТПЭ) на основе сульфированного политетрафторэтилена (Nafion®). Основной интерес к Нафион связан с тем, что он используется в низкотемпературных водородных топливных элементах [1]. Топливные элементы привлекают все большее внимание, т.к. могут быть альтернативой аккумуляторам в мобильных устройствах, в том числе и на транспорте.

Для появления возможности эффективного использования мембран типа нафион необходимо изучение проводящей и диэлектрической активности. Проводящие свойства нафион изучены в работах [2], а их диэлектрические свойства в работах [3]. Однако влияние катализаторов на диэлектрические свойства практически не изучены. В связи с этим применение методов широкополосной диэлектрической и импедансной спектроскопии для изучения низкотемпературных релаксационных процессов в протонпроводящей мембране типа нафион является актуальным.

Целью работы является исследование особенностей температурного диэлектрического отклика в твердополимерном электролите нафион, входящего в состав МЭБ с катализатором СоТе/С для выявления взаимосвязи диэлектрических характеристик, структуры и морфологии ТПЭ.

Методика эксперимента. Получение МЭБ на основе мембран нафион с катализаторами СоТе/С было осуществлено по традиционной технологии [4].

Катализатор СоТе/С получен на основе металл-халькогенидных кластеров, в которых атомы металла и халькогенов непосредственно связаны друг с другом, присутствуют в строгом стехиометрическом соотношении и окружены органическими группировками. Технология получения катализатора СоТе/С приведена в работе [4].

Определение диэлектрических свойств проводили на твердополимерной мембране нафион катализаторами СоТе/С в составе МЭБ методом импедансной спектроскопии с помощью прибора R, L, C метра в интервале температур 295 – 375 К и в диапазоне частот 5 – 1000000 Hz.

Результаты и обсуждения. Следует отметить, что все измерения образцов выполнены во влажной среде. Перед измерением образцы предварительно выдерживались во влажной среде в течении нескольких часов.

Результаты исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь мембран нафион, входящих в состав МЭБ с катализаторами СоТе/С представлены на рис.1 а)

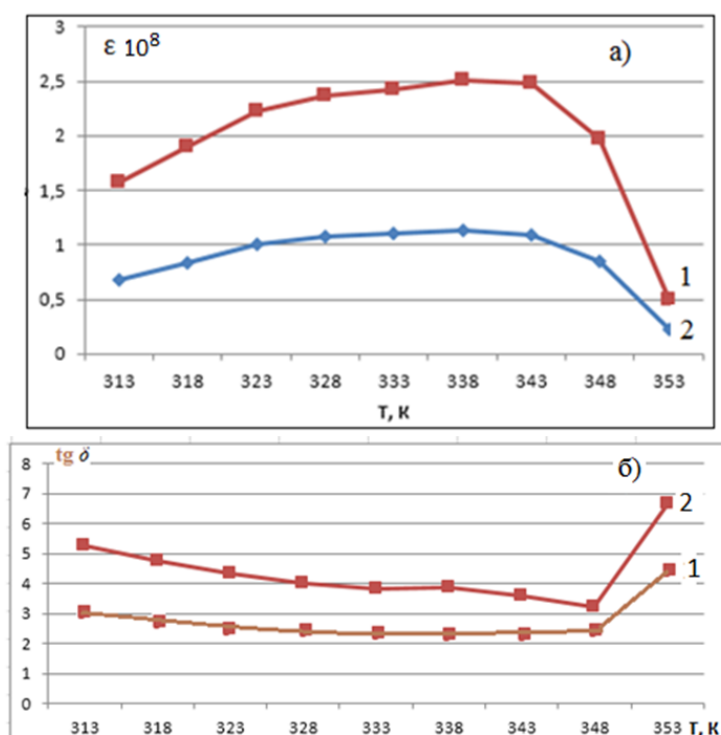


Рисунок 1 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ (а) и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(T)$ (б) для мембран нафийон с катализаторами CoTe/C на частотах: 1 – 20 Гц и 2– 100 Гц

Исследование температурной зависимости диэлектрической проницаемости образцов в области низких частот (см. рис. 1) позволяет обнаружить монотонный рост кривых 1 и 2 на зависимости $\epsilon(T)$ до температуры 343 К, затем наблюдается снижение этих кривых. Повышение поляризуемости частиц в полимерной пленке с повышением температуры связано с увеличением их подвижности.

Исследование температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta(T)$) в области низких температур и частот показывает, что взаимодействие электрического поля с образцом весьма слабое (см. рис. 1 а). Потери энергии на частотах 20 – 100 Гц малы, но увеличиваются при температурах свыше 350 К, когда термоактивационные процессы повышают подвижность в слабо связанных частиц в структуре нафийон под действием электрического поля. Не исключено, что аномальное изменение кривых на зависимостях $\epsilon(T)$ и $\text{tg } \delta(T)$ могут быть связаны с фазовыми переходами из β - в γ -фазу, согласно [6].

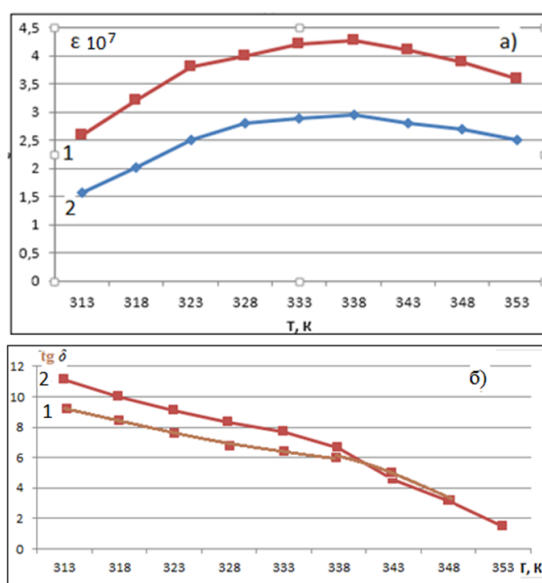


Рисунок 2 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ (а) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta(T)$) (б) для мембран нафийон с катализаторами CoTe/C на частотах: а) 1 – 500 Гц и 2 – 1кГц

Лишь при повышении частоты измерительного поля свыше 500 – 1000 Гц потери энергии образцов становятся заметным (см. рис.2 б), однако с повышением температуры наблюдается монотонный спад тангенса угла диэлектрических потерь. Такой же ход кривых наблюдается на зависимости $\text{tg } \delta(T)$ вплоть до 1 кГц (см. кривую 1 на рис. 3 б)). Однако появление релаксационного максимума на зависимости $\text{tg } \delta(T)$ при частоте 5 кГц можно объяснить тем, что частота колебаний релаксирующих частиц в полимерной мембране нафийон совпадает с частотой приложенного электрического поля к образцу.

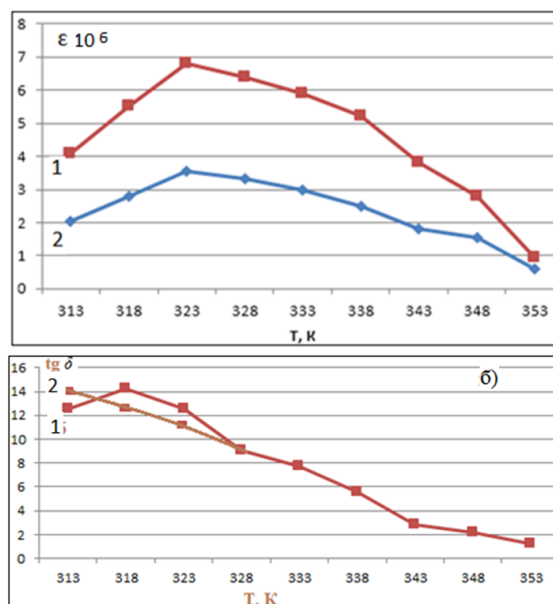


Рисунок 3 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ (а) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta(T)$) (б) для мембран нафийон с катализаторами CoTe/C на частотах: 1 – 5кГц и 2 – 10 кГц

Более четкий релаксационный максимум на зависимости $\text{tg } \delta(T)$ появляется при частоте 500 кГц (см. кривую 2 на рис. 4 б)). При более высоких частотах приложенного электрического поля наблюдается постепенное исчезновение релаксационного максимума. Такой отклик от

образца свидетельствует о том, что в полимерной мембране медленные процессы релаксации не успевают за быстрыми колебаниями приложенного внешнего поля.

На высоких частотах (500 кГц) наблюдается релаксационный процесс, который может быть не связан с дипольной релаксацией, а отражает транспорт протонов внутри кластеров. Данная релаксация проявляется на спектрах тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta(T)$ в виде острого пика (рис. 4).

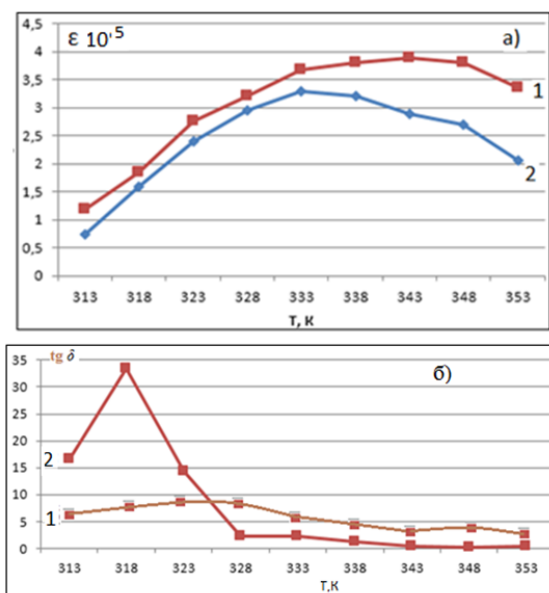
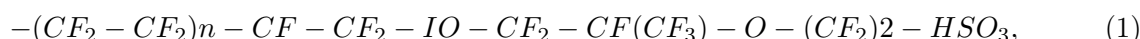


Рисунок 4 – Температурные зависимости диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ (а) и тангенса углов диэлектрических потерь (б) для мембран нафийон с катализаторами CoTe/C на частотах: 1 – 100 кГц и 2 – 500 кГц

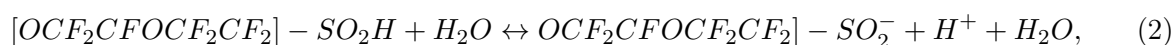
Релаксирующими частицами в полимерной мембране может быть поляризованная вода локализованная в “кластерах” полимерной матрицы. Согласно [5] Nafion® – перфторированный полимер, содержащий малое количество сульфонатных функциональных групп:



Как видно из структурной формулы указанного мономера в основной цепи будут способствовать кристаллизации структуры, хотя боковые цепи должны препятствовать этому. В таких образцах ионные группы стремятся агрегировать, формируя плотно упакованные области – “кластеры” под действием электростатических взаимодействий [5]. В набухших мембранах вода обычно локализуется в “кластерах”, включенных в полимерную матрицу, а ионные группы в основном расположены на границе полимер-вода.

По данным авторов работы [6] вода в контакте с Нафьоном проявляет ярко выраженные кислотные свойства.

Также в [7] были обнаружены релаксационные процессы в набухших перфторированных мембранах β -типа подверженная влиянию адсорбированной влаги. Было установлено, что дипольная β -релаксация обусловлена вращением комплексов групп (SO_3^-) – вода, на концах боковых цепей. Поэтому воду в данном случае следует рассматривать, как поляризованную часть комплекса $[(SO_3^-) - \text{вода}]$, которая будет создавать условия для создания протонов H^+ , которые способны релаксировать под действием внешнего переменного электрического поля. По мнению авторов [8] во влажной среде в мембране нафийон возможно установление следующих реакций:



Поскольку протоны H^+ , является в данном случае является составным компонентом релаксатора, то понятно, что в диэлектрический отклик вносят вклад: вращательная диффузия молекулярных диполей (дипольная релаксация), а также распространение подвижных носителей заряда (электронная, ионная проводимости). Легкость и мобильность протонов H^+ , позволяют нам в экспериментах наблюдать релаксационные процессы в полимерной мембране нафион при относительно низкой температуре.

Сравнительный анализ экспериментальных результатов показывают, что влияние катализатора: $CoTe/C$ на релаксационные процессы поляризации в полимерной мембране нафион имеется, но она значительно менее выражена, чем в случае Pt/C . По всей вероятности, потому, что кобальт, входящий в состав катализатора $CoTe/C$ по электрохимической активности значительно слабее платины, из которого создают катализатор Pt/C .

Заключение. На основе представленных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

В экспериментах по исследованию диэлектрических свойств мембран нафион во влажной среде наблюдается два типа релаксации: низкочастотная и высокочастотная.

Низкочастотную релаксацию, установленную на частоте 5 кГц для мембран нафион можно связать с межкластерными прыжками протонов. Высокочастотный релаксационный процесс в мембранах нафион на частоте 500 кГц может быть связан с внутривкластерным движением протонов.

Список литературы

- 1 Heitner-Wirgin C. Recent advances in perfluorinated ionomer membranes: Structure, properties and applications // Journal of Membrane Science. – 1996. – Vol. 120, No. 1. – P. 1-33.
- 2 Малышкина И.А., Бурмистров С.Е. Диэлектрические спектры и эффекты проводимости в сульфированном политетрафторэтилене (Nafion) в ненабухшем состоянии // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика и Астрономия. – 2006. – Т. 2. – С. 54-57.
- 3 Малышкина И.А., Бурмистров С.Е., Гаврилова Н.Д. Диэлектрическая спектроскопия сульфированного политетрафторэтилена в набухшем состоянии // Высокомолек. соед., сер. Б. – 2005. – Т.47, № 8. – С. 1563-1568.
- 4 Гринберг В.А., Майорова Н.А., Пасынский А.А., Модестов А.Д., Ширяев А.А., Высоцкий В.В., Ногай А.С. Наноструктурные бесплатиновые катализаторы восстановления кислорода на основе металлхалькогенидных кластеров кобальта // Координационная химия. – 2018. – Т. 44, №5. – С. 287-294.
- 5 Moore R.B., Martin C.R. Morphology and chemical properties of the Dow perfluorosulfonate ionomers // Macromolecules. – 1989. – Vol. 22, № 9. – P.3594-3599.
- 6 Yoo H., Baker D.R., Pirie C.M., Novakeemian B., Pollack G.H. Characteristics of water adjacent to hydrophilic interfaces // Ch. 7, In: Water: The Forgotten Biological Molecule, Edited by Le Bihan D. and Fukuyama H. – 2011.
- 7 Yeo S.C., Eisenberg A. Physical properties and supermolecular structure of perfluorinated ion-conducting (Nafion) polymers // J. Appl. Poly. Sci. – 1977. – Vol. 21, №4. – P. 875-898.
- 8 Kreuer K.D. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells // J. Membr. Sci. – 2001. – Vol. 185. – No. 1. – P. 29-39.

А.С. Ногай¹, К.А. Кутербеков², Д.Е. Ускенбаев¹, К.Ж. Бекмырза², А.А. Ногай², А.М. Кабышев

¹ С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Платинасыз катализаторлары бар нафион типті мембраналардағы жылу релаксациялық поляризациясының ерекшеліктері

Аңдатпа. Бұл мақалада мембраналық-электродты блок (ХЭБ) құрамындағы нафион полимерлі мембрананың диэлектрлік қасиеттері зерттелген. Нафион құрылысының ерекшеліктері, сондай-ақ нафион типті мембраналардың құрылымы мен диэлектрлік қасиеттерінің өзара байланысына қатысты мәселелер нақтыланды. Катализатордың әлсіз әсері туралы болжам айтылған: $CoTe/C$ полимерлі мембранадағы поляризацияның релаксациялық процестеріне.

Түйін сөздер: нафион мембранасы, отын элементтері, релаксациялық процесс, диэлектрлік өткізгіштік, диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, катализатор.

A.S. Nogay¹, K.A. Kuterbekov², D.E. Uskenbayev¹, K.Zh. Bekmyrza², A.A. Nogay², A.M. Kabyshev

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

² Medical Radiological Research Center A.Tsyb, Obninsk, Russia

Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts

Abstract: In this article the dielectric properties of the polymer membrane Nafion in the membrane-electrode block are studied. The features of the structure of the Nafion, as well as issues relating to the relationship of the structure and dielectric properties in the membranes of the Nafion type are clarified. It is suggested that the catalyst: CoTe/C has a weak effect on the relaxation processes of polarization in the polymer membrane.

Keywords: nafion membrane, fuel cells, relaxation process, dielectric permeability, dielectric loss tangent, catalyst.

References

- 1 Heitner-Wirguin C. Recent advances in perfluorinated ionomer membranes: Structure, properties and applications, *Journal of Membrane Science*, 120(1), 1-33 (1996).
- 2 Malyshkina I.A., Burmistrov S.E. Dijelektricheskie spektry i jeffektyprovodimosti v sul'firovannom politetraftor-jetilene (Nafion) v nenabuhshem sostojanii [Dielectric spectra and conductivity effects in sulfonated polytetrafluoroethylene (Nafion) in a non-swollen state], *Vestnik MGU. Ser. 3. Fizika i Astronomija* [Bulletin of Moscow State University. Ser. 3. Physics and Astronomy.], 2, 54-57(2006). [in Russian]
- 3 Malyshkina I.A., Burmistrov S.E., Gavrilova N.D. Dijelektricheskaja spektroskopija sul'firovannogo politetraftor-jetilena v nabuhshem sostojanii [Dielectric spectroscopy of sulfonated polytetrafluoroethylene in a swollen state], *Vysokomolek. soed., ser. B* [High-molecular compounds, series B.], 47(8), 1563-1568(2005). [in Russian]
- 4 Grinberg V.A., Majorova N.A., Pasynskij A.A., Modestov A.D., Shirjaev A.A., Vysockij V.V., Nogaj A.S. Nanostrukturnye besplatinovye katalizatory vosstanovlenija kisloroda na osnove metallhal'kogenidnyh klasterov kobal'ta [Nanostructured free-of-charge oxygen reduction catalysts based on cobalt metal chalcogenide clusters], *Koordinatsionnaja himija* [Coordination Chemistry], 44(5), 287-294(2018). [in Russian]
- 5 Moore R.B., Martin C.R. Morphology and chemical properties of the Dowperfluorosulfonate ionomers // *Macromolecules*, 22(9), 3594-3599(1989).
- 6 Yoo H., Baker D.R., Pirie C.M., Hovakeemian B., Pollack G.H. Characteristics of water adjacent to hydrophilic interfaces // Ch. 7, In: *Water: The Forgotten Biological Molecule*, Edited by Le Bihan D. and Fukuyama H. – 2011.
- 7 Yeo S.C., Eisenberg A. Physical properties and supermolecular structure of perfluorinated ion-conducting (Nafion) polymers // *J. Appl. Poly. Sci.* – 1977. – Vol. 21, №4. – P. 875-898.
- 8 Kreuer K.D. On the development of proton conducting polymer membranes for hydrogen and methanol fuel cells // *J. Membr. Sci.* – 2001. – Vol. 185. – No. 1. – P. 29-39.

Сведения об авторах:

Ногай А.С. – д.ф.-м.н., профессор Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Кутербек К.А. – д.ф.-м.н., профессор международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Ускенбаев Д. – к.ф.-м.н., доцент Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Бекмырза К.Ж. – PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Ногай А.А. – докторант 2 курса кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Кабышев А.М. – PhD, старший преподаватель международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Nogay A.S. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the S. Seifullin Kazakh agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Kuterbekov K.A. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Uskenbayev D.E. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the S. Seifullin Kazakh agrotechnical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Bekmyrza K.Zh. – PhD, Associate Professor of the Department of Technical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Nogay A.A. – 2nd year PhD student of the Department of Technical Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kabyshev A.M. – PhD, Senior Lecturer of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 25.04.2019