

ISSN 2616-6836

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

---

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**BULLETIN**

of the L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ** сериясы

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

**PHYSICS. ASTRONOMY** Series

№1(122)/2018

1995 жылдан бастап шығады

Издается с 1995 года

Founded in 1995

Жылына 4 рет шығады

Выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Астана, 2018

Astana, 2018

*Бас редакторы*  
ф.-м.ғ. докторы  
**А.Қ. Арынгазин** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары*

**А.Т. Ақылбеков**, ф.-м.ғ.д., профессор  
(Қазақстан)

*Редакция алқасы*

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

*Редакцияның мекенжайы:* 010008, Қазақстан, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2, 408 б.  
Тел.: (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 министрлігімен тіркелген.  
27.03.2018ж. №16999-ж тіркеу куәлігі. Тиражы: 30 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі, 12/1,  
тел.: (7172)709-500 (ішкі 31-428)

*Главный редактор*  
доктор ф.-м.н.  
**А.К. Арынгазин** (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**А.Т. Акылбеков**, доктор ф.-м.н.  
профессор (Казахстан)

*Редакционная коллегия*

<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Гиниятова Ш.Г.</b>	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Даулетбекова А.К.</b>	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Ержанов К.К.</b>	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Жумадилов К.Ш.</b>	доктор PhD (Казахстан)
<b>Здоровец М.</b>	к.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Кадыржанов К.К.</b>	ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Кутербеков К.А.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	ф.-м.н., проф. (Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Мырзакулов Р.К.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Нурахметов Т.Н.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Тлеукенов С.К.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD (Казахстан)

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408  
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.

Тираж: 30 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1,

тел.: (7172)709-500 (вн. 31-428)

*Editor-in-Chief*  
Doctor of Phys.-Math. Sciences  
**A.K. Aryngazin** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*                      **A.T. Akilbekov**, Doctor of Phys.-Math. Sciences,  
prof. (Kazakhstan)

*Editorial board*

<b>Aldongarov A.A.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Balapanov M.Kh.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Russia)
<b>Bakhtizin R.Z.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Russia)
<b>Dauletbekova A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
<b>Giniyatova Sh.G.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Kadyrzhanov K.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Kainarbay A.Zh.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Kuterbekov K.A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Lushchik A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Estonia)
<b>Morzabayev A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Myrzakulov R.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Nurakhmetov T.N.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Sautbekov S.S.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Tleukenov S.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
<b>Useinov A.B.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Yerzhanov K.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD(Kazakhstan)
<b>Zdorovets M.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Zhumadilov K.Sh.</b>	PhD (Kazakhstan)

*Editorial address:* 2, Satpayev str., of.408, Astana, Kazakhstan, 010008  
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:*  
A.Nurbolat

**Bulletin of the 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. Circulation: 25 copies

Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;  
tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)

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

№1(122)/2018

МАЗМҰНЫ

**ФИЗИКА**

<i>Ақылбеков А.Т., Бижанова С.Б., Баубекова Г.М., Карипбаев Ж.Т.</i> «Таза» кристалдардың импульстік катодолюминесценция спектрлері	8
<i>Ахметова Г.А.</i> DVB-T және DVB-T2 жерсеріктік эфирлік хабар тарату желісінің қамту аймағын анықтаудың стандарттары мен әдіснамасын салыстыру	13
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргібаева И.С., Ермекова Ж.К.</i> Родамин бояғышы мен CdS кластерлерінің кешендерінде электрондық ауысулардың табиғатын анықтау	19
<i>Бекова Г.Т., Уалиханова У.А., Есмаханова К.Р.</i> (2+1)-комплекті модификациялан Кортевег–де Фриз және Максвелл–Блох теңдеулерінің сақталу заңдары	28
<i>Борзев Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л.</i> Сыртқы факторлардың әсерінен металл наноқұрылымдарының құлдырауын зерттеу	33
<i>Қадыржанов Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л., Петров А.В.</i> Zn нанотүтікшелерінің құрылымдық қасиеттеріне сәулелендіру әсерін зерттеу	40
<i>Калиекперов М.Е., Козловский А.Л., Қадыржанов К.К.</i> Полимерлік матрицалар негізінде иондаушы сәуледен жұқа қорғаныш жабындарын синтездеу	46
<i>Жасыбаева М.Б., Нугманова Г.Н.</i> Интегралданатын Фокас-Ленэллстың теңдеуіне эквивалентті спиндік жүйе	53
<i>Есмаханова К.Р., Жубаева Ж.С., Тәпеева С.Қ.</i> (1+1)-өлшемді локалды емес бейсызықты Шредингер теңдеуінің нақты шешімдері	58
<i>Мусабаева Г.К., Ақылбеков А.Т., Мусабаев К.К.</i> Атомдардың өздігінен сәуле шығаруы туралы	64
<i>Мурзалынов Д.О., Власукова Л.А., Пархоменко И.Н., Комаров Ф.Ф., Ақылбеков А.Т., Мудрый А.В., Рябикин Ю.А., Гиниятова Ш.Г., Даулетбекова А.К.</i> Азотпен имплантталған кремний нитридті қабықшаларының люминесценциясы	68
<i>Морзабаев А.К., Гиниятова Ш.Г., Шаханова Г.А., Алымханова К., Айданұлы Б., Махмұтов В.С.</i> Астана қаласының Жер беті маңындағы дозалық және электрлік сипаттамаларын талдау	75
<i>Даулетбекова А., Баймұханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Мурзағалиев М., Журкин Е., Наурызбаева Р.</i> SiO <sub>2</sub> /Si тіректі темплэйт негізінде нанокөмізгітті материалдарды зерттеу және әзірлеу	82
<i>Даулетбекова А., Скуратов В., Маника И., Маникс Я., Забельс Р., Кирилкин Н., Ақылбеков А., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Сейтбаев А., Кудайбергенова С.</i> Люминесценцияның өшуінің дислокациялану механизмі	91

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

№1(122)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА	
<i>Акылбеков А.Т., Бижанова С.Б., Баубекова Г.М., Карипбаев Ж.Т.</i> Спектры импульсной катодолюминесценции «чистых» кристаллов	8
<i>Ахметова Г.</i> Сравнение стандартов и методика определения зоны покрытия сети цифрового наземного вещания DVB-T и DVB-T2	13
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибиева И.С., Ермекова Ж.К.</i> Определение природы электронных переходов в комплексах родаминового красителя и кластерах CdS	19
<i>Бекова Г.Т., Уалиханова У.А., Есмаханова К.Р.</i> Законы сохранения для (2+1)-мерных уравнений комплексно модифицированного Кортевега-де Фриза и Максвелла-Блоха	28
<i>Боржекков Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л.</i> Изучение деградации металлических наноструктур под действием внешних факторов	33
<i>Кадыржанов Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л.</i> Петров А.В, Исследование влияния облучения на структурные свойства Zn нанотрубок	40
<i>Калиекперов М.Е., Козловский А.Л., Кадыржанов К.К.</i> Синтез тонких защитных покрытий от ионизирующего излучения на основе полимерных матриц	46
<i>Жасыбаева М.Б., Нугманова Г.Н.</i> Спиновая система, эквивалентная интегрируемому уравнению Фокаса-Ленэллса	53
<i>Есмаханова К.Р., Жубаева Ж.С., Тапеева С.Қ.</i> Нелокальные нелинейные уравнения Шредингера и ее точные решения	58
<i>Мусабаева Г.К., Акылбеков А.Т., Мусабаев К.К.</i> К вопросу возникновения спонтанного излучения атомов	64
<i>Мурзалинов Д.О., Власукова Л.А., Пархоменко И.Н., Комаров Ф.Ф., Акылбеков А.Т., Мудрый А.В., Рябикин Ю.А., Даулетбекова А.К., Гиниятова Ш.Г.</i> Люминесценция пленок нитрида кремния, имплантированных азотом	68
<i>Морзабаев А.К., Гиниятова Ш.Г., Шаханова Г.А., Алимханова К., Айданұлы Б., Махмұтов В.С.</i> Анализ дозовых и электрических характеристик в приземном слое атмосферы г. Астаны	75
<i>Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Мурзагалиев М., Журкин Е., Наурызбаева Р.</i> Разработка и исследование нанокompозитных материалов на основе трекового темплэйта $SiO_2/Si$	82
<i>Даулетбекова А., Скуратов В., Маника И., Маникс Я., Забельс Р., Кирилкин Н., Акылбеков А., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Сейтбаев А., Кудайбергенова С.</i> Дислокационный механизм затухания люминесценции	91

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

№1(122)/2018

CONTENTS

PHYSICS

<i>Akylbekov A.T., Bizhanova S.B., Baubekova G.M., Karipbayev Zh.T.</i> The pulsed cathodoluminescence spectra of "pure" crystals	8
<i>Akhetmetova G.</i> Comparison of standards and methodology of determining the coverage area of the digital terrestrial broadcasting network DVB-T and DVB-T2	13
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S., Ermekova Zh.K.</i> Determination of the nature of electronic transitions in the complexes of rhodamine dye and CdS clusters	19
<i>Bekova G.T., Ualikhanova U.A., Yesmakhanova K.R.</i> Conservation laws of the (2+1)-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch equations	28
<i>Borgekov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L.</i> Study of the degradation of metallic nanostructures under the influence of external factors	33
<i>Kadyrzhanov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L., Petrov A.V.</i> Investigation of the effect of irradiation on the structural properties of Zn nanotubes	40
<i>Kaliyekperov M.E., Kozlovskiy A.L., Kadyrzhanov K.K.</i> Synthesis of thin protective coatings from ionizing radiation based on polymer template	46
<i>Nugmanova G.N., Zhassybayeva M.B.</i> Spin system equivalent to the integrable Fokas-Lenells equation	53
<i>Yesmakhanova K.R., Zhubaeva Zh.S., Tapeyeva S.K.</i> Exact solutions of the (1+1)-dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation	58
<i>Musabayeva G.K., Akylbekov A.T., Musabayev K.K.</i> On the origin of spontaneous emission of atoms	64
<i>Murzalinov D.O., Vlasukova L.A., Parkhomenko I.N., Komarov F.F., Akilbekov A.T., Mudryi A.V., Ryabikin Yu.A., Giniyatova Sh.G., Dauletbekova A.K.</i> The photoluminescence of nitrogen-implanted silicon nitride films	68
<i>Morzabaev A.K., Giniyatova Sh.G., Shakhanova G.A., Alimkhanova K., Aidanuli B., Makhmutov B.S.</i> Analysis of dose and electrical characteristics in the underground layer of astana atmosphere	75
<i>Dauletbekova A., Baymukhanov Z., Kozlovskii A., Giniyatova Sh., Murzagaliyev M., Zhurkin E., Nauryzbaeva P.</i> Development and research for nanocomposite materials based on track templates of $SiO_2/Si$	82
<i>Dauletbekova A., Skuratov V., Manika I., Maniks J., Zabels R., Kirilkin N., Akilbekov A., Giniyatova Sh., Baizhumanov M., Seitbayev A., Kudaibergenova S.</i> Dislocation mechanism of fading of luminescence intensity	91

Д.Б. Кадыржанов<sup>1</sup>, М.В. Здоровец<sup>1,2,3</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Петров А.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>2</sup> Астанинский филиал Института ядерной физики, Астана, Казахстан,

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup> Научно-практический центр БелНАН по материаловедению, Минск, Беларусь  
(E-mail: <sup>1,2</sup> artem88sddt@mail.ru)

### Исследование влияния облучения на структурные свойства Zn нанотрубок

**Аннотация:** В работе представлены результаты синтеза и направленной модификации структурных и проводящих свойств Zn нанотрубок, полученных путем электрохимического осаждения в порах шаблонных полимерных матриц. В результате проведенных исследований установлено, что облучение потоком электронов позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, проводить электронный отжиг дефектов, который не разрушает наноструктур, снижая сопротивления нанотрубок.

**Ключевые слова:** шаблонный синтез, ионно-трековая технология, электрохимическое осаждение, нанотрубки, наноструктуры, радиационные дефекты.

**Введение.** В современном мире наноструктурные материалы и изделия на их основе вызывают огромный интерес благодаря своим уникальным свойствам и потенциальным применениям [1-5]. Одним из наиболее перспективных материалов для получения наноструктур является Zn, так как он относительно безопасен биологически, обладает низкой токсичностью и биосовместимостью, поэтому он может применяться в различных конфигурациях наноструктур (нанопроволоки, нанотрубки, наночастицы) [6-10]. Также для Zn - наноматериалов характерны как полупроводниковые, так и пьезоэлектрические свойства. Это явление служит основой для электромеханически связанных датчиков и преобразователей.

Одним из способов изменения свойств наноматериалов является радиационное облучение различными видами излучения. При этом радиационные эффекты, возникающие в наноматериалах под действием ионизирующего излучения обладают рядом особенностей, отличающимися от аналогичных эффектов в микро- и макроразмерных объектах. Электронное облучение металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных, оптических, электрических свойств материалов.

Целью данной работы является изучение применимости электронного излучения для направленной модификации структурных и проводящих свойств Zn нанотрубок, которые обладают большим потенциалом применения в современной электронике [1-3].

**Экспериментальная часть.** Синтез Zn нанотрубок проводился в порах трековых мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) типа Hostaphan® производства фирмы Mitsubishi Polyester Film (Германия) толщиной 12 мкм с плотностью пор  $4 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$  и диаметром 400 нм. Активирование связей COOH, образующихся на поверхности стенок пор в результате химического травления треков, проводилось при УФ-сенсibilизации ПЭТФ-шаблонов. Эта процедура позволила создавать на стенках пор локализованные заряженные состояния, которые способствовали получению трубчатой формы на этапе электрохимического осаждения.

Электрохимическое осаждение в треки шаблонной матрицы проводилось при разности потенциалов 1.75 В в потенциостатическом режиме. Состав электролита для получения Zn нанотрубок:  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - 360 г/л;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  - 30 г/л;  $3\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CH}_3\text{COONa}$  - 15 г/л; аскорбиновая кислота - 120 г/л.

Структуру и характеристические размеры синтезированных нанотрубок исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) в микроскопе Hitachi TM3030 с системой энергодисперсионного анализа (ЭДА) Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении



15 кВ. Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на дифрактометре D8 ADVANCE ESO с использованием рентгеновской трубки с медным анодом и графитового монохроматора. Дифрактограммы записывали в диапазоне углов  $2\theta$   $30^\circ$ – $110^\circ$  с шагом  $0.01^\circ$ . Для идентификации фаз и исследования кристаллической структуры использовалось программное обеспечение Bruker AXSDIFFRAC.EVA v.4.2 и международная база данных ICDD PDF-2.

Для изучения морфологии синтезированных нанотрубок была применена растровая электронная микроскопия. Перед проведением исследования образцы освобождались от полимерной матрицы, путем растворения полимера в растворе 9.0 М NaOH при температуре  $60^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Для удаления остатков полимера после растворения образцы промывались в растворах уксусной кислоты и деионизированной воды в ультразвуковой ванне в течение 5 мин, процедура промывки повторялась 3 раза. Для исследования поверхности образца использовался электронный пучок с энергией электронов 2.0 кэВ в режиме сканирования LEI.

Модификация свойств синтезированных нанотрубок проводилась на линейном ускорителе ЭЛВ – 4 (г. Курчатов, Казахстан) путем облучения потоком электронов с энергиями 5 МэВ, дозы облучения 50 – 200 кГр с шагом 50 кГр.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1 представлены РЭМ изображения исходных образцов.

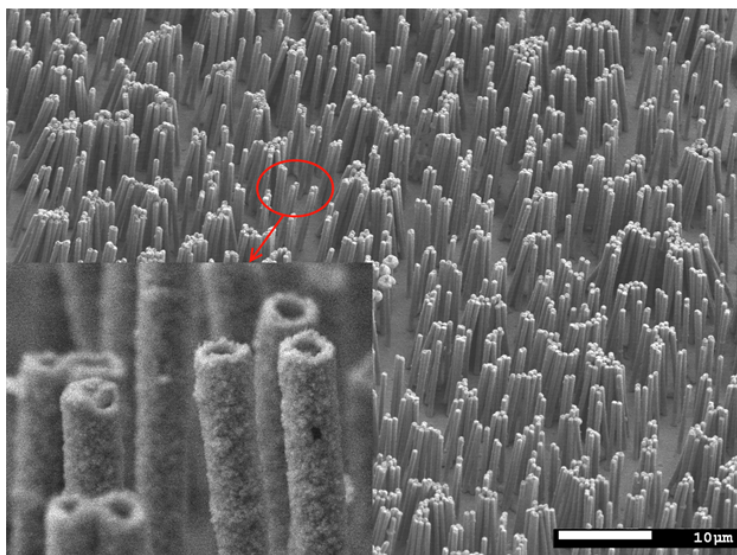


Рисунок 1 – РЭМ – изображения Zn нанотрубок

Анализируя РЭМ – изображения, была определена высота нанотрубок, составившая 12 мкм, диаметры нанотрубок соответствовали диаметру пор шаблонных матриц  $400 \pm 20$  нм. В результате проведенных измерений с применением манометрического метода газопроницаемости, внутренние диаметры нанотрубок составили  $200 \pm 10$  нм, толщина стенки составила  $100 \pm 10$  нм. Методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) был проведен качественный и количественный химический анализ полученных образцов. Достоверность количественного анализа достигалась путем снятия пяти спектров в различных областях одного образца. Согласно данным ЭДС все исходные образцы являются монокомпонентными, т.е. состоят только из цинка.

В свою очередь уникальные физико-химические свойства наноструктурных материалов обусловлены кристаллической структурой, изменяющейся под воздействием внешних факторов. В свою очередь, облучение электронами металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных и проводящих свойств материалов. При облучении электронами, с энергией выше 1 МэВ, которые при прохождении сквозь материал передают свою энергию атомам мишени, в

результате которого происходит электронное возбуждение. Для определения влияния электронного излучения на изменение проводящих свойств нанотрубок были измерены вольт-амперные характеристики исследуемых структур. На рисунке 2 представлен график изменения сопротивления нанотрубок в результате модификации нанотрубок электронным излучением.

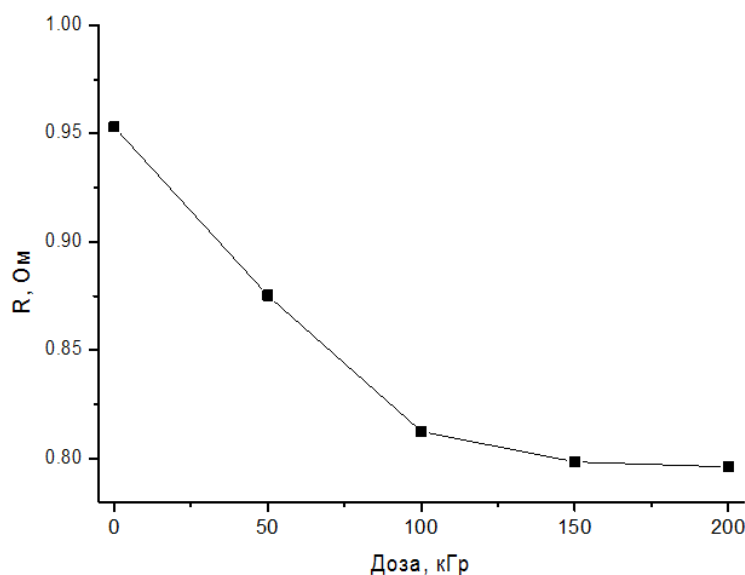


Рисунок 2 – График зависимости изменения сопротивления от дозы облучения для Zn нанотрубок

Как видно из графика, представленного на рисунке 2, изменение удельного сопротивления для Zn нанотрубок, носит нелинейный характер и подчиняется полиномиальному закону  $1E - 05x^2 - 0,0021x + 0,9579$ . Согласно полученным данным облучение электронами приводит к снижению сопротивления на 9,2% для Zn нанотрубок при дозе облучения 50 кГр, и на 12,3% при дозе облучения 100 кГр соответственно. При этом увеличение дозы облучения выше 100 кГр вносит несущественный вклад в изменение сопротивления нанотрубок (не более 1%). На рисунке 3 представлены рентгенограммы полученных образцов до и после облучения потоком электронов с энергией 5 МэВ, плотностью тока 8 мА.

Характер дифрактограммы указывает на поликристаллическую структуру исследуемых образцов, которые обладают гексаганально-примитивной структурой с параметрами кристаллической решетки  $a = 2,6638 \pm 0,0006 \text{ \AA}$  и  $c = 4,9337 \pm 0,0045 \text{ \AA}$  для исходного образца, которые отличаются от эталонных значений. При этом величина параметра  $a$  в процессе облучения увеличивается  $a = 2,6647 \pm 0,0003 \text{ \AA}$  при дозе 50 кГр и  $2,6660 \pm 0,0005 \text{ \AA}$  при дозе 100 кГр, в то время как значение параметра  $c$  уменьшается и равно  $4,9270 \pm 0,0015 \text{ \AA}$  и  $4,9152 \pm 0,0035 \text{ \AA}$  для доз 50 кГр и 100 кГр соответственно, тем самым наблюдается изменение межплоскостных расстояний между атомами кристаллической решетки нанотрубок. При увеличении дозы облучения выше 100 кГр изменение параметров кристаллической решетки незначительно:  $a = 2,6661 \pm 0,0003 \text{ \AA}$  при дозе 150 кГр и  $2,6662 \pm 0,0005 \text{ \AA}$  при дозах 200 и 250 кГр,  $c = 4,9150 \pm 0,0015 \text{ \AA}$ ,  $4,9148 \pm 0,0035 \text{ \AA}$  и  $4,9151 \pm 0,0012 \text{ \AA}$  при дозах 150, 200 и 250 кГр соответственно. Незначительное уменьшение среднего размера кристаллитов может быть обусловлено уширением пиков (100) и (101). Также на полученной дифрактограмме наблюдается увеличение интенсивности пиков ZnO (101), (102) и (212), что может быть обусловлено перекристаллизацией полученных Zn нанотрубок в процессе электронного облучения за счет отжига дефектов и снижению концентрации микронапряжений в кристаллической структуре. Появление оксидной фазы ZnO при дозе облучения 50 кГр и увеличение ее интенсивности при дозе облучения 100 кГр также подтверждает возникновение локальных областей нагрева и последующего окисления наноструктур. Степень окисления Zn нанотрубок была оценена с применением метода энерго-дисперсионного анализа. Атомное соотношение Zn/O в нанотрубках составило 95,6/4,4 и 90,2/9,8 при дозах

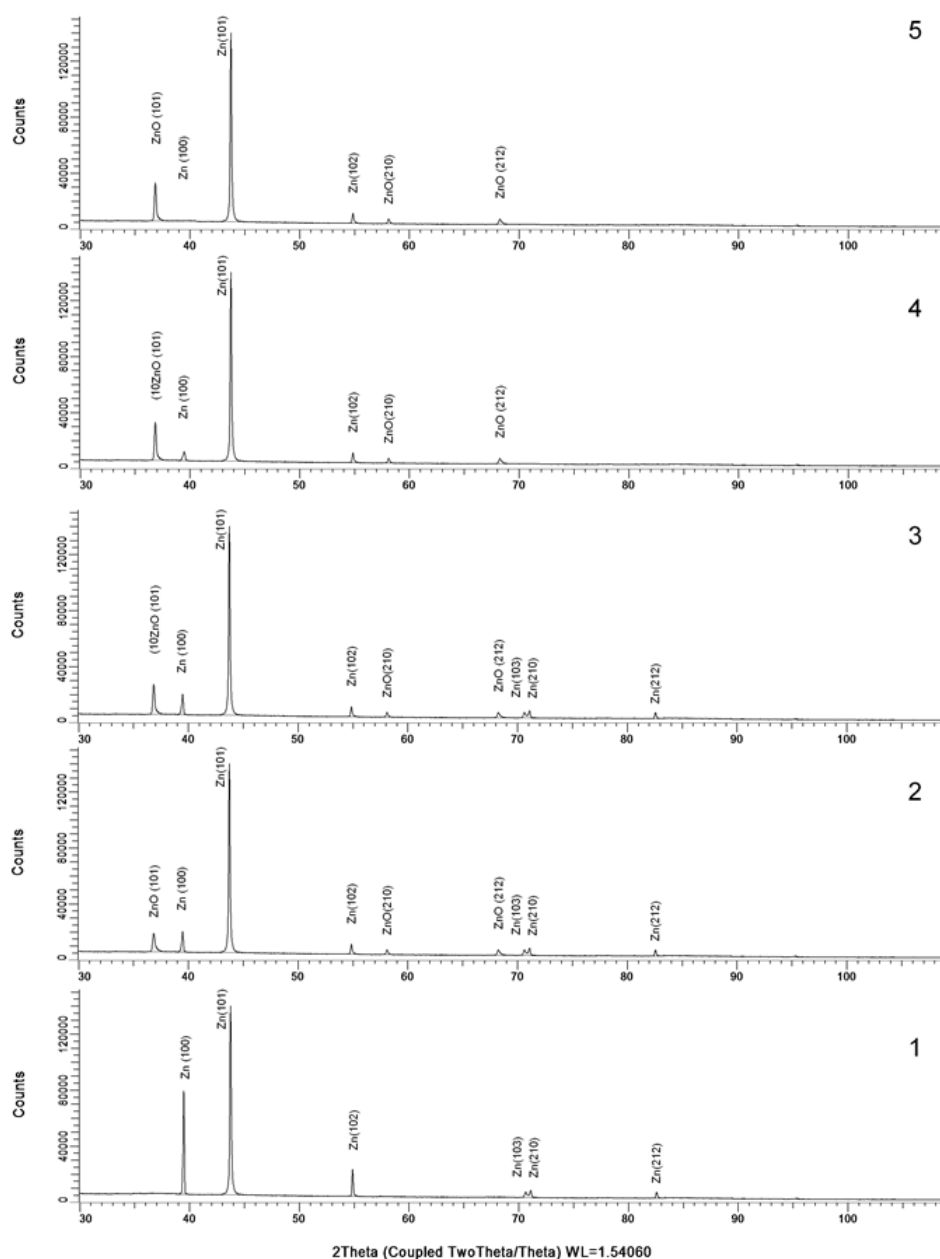


Рисунок 3 – Рентгеновские дифрактограммы Zn нанотрубок: 1– pristine; 2 – 50кГр;3 – 100 кГр; 4 – 150 кГр; 5 – 200 кГр

50 и 100 кГр. При этом с увеличением дозы облучения наблюдается незначительное изменение атомного соотношения (не более 10 % содержания кислорода в структуре нанотрубок), что также подтверждает появление примесной фазы ZnO в структуре нанотрубок в результате возникновения локальных областей нагрева в результате облучения.

**Заключение.** Таким образом, в результате облучения потоком электронов наблюдается изменение кристаллической решетки, что говорит об электронном отжиге дефектов. С увеличением дозы облучения, происходит перестройка кристаллической структуры полученных нанотрубок. Количество дефектов напрямую влияет на проводящие свойства исследуемых нанотрубок. Облучение потоком электронов позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, проводить электронный отжиг дефектов, который не разрушает наноструктур, увеличивая проводимость нанотрубок.

## Список литературы

- 1 Cheng H. et al. Cu–Co Bimetallic Oxide Quantum Dot Decorated Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes: A High Efficiency Bifunctional Oxygen Electrode for Zn–Air Batteries // *Advanced Functional Materials*. 2017. V. 27, № 30. P. 1–10.
- 2 Martinsong A.B.F. et al. ZnO nanotube based dye-sensitized solar cells // *Nano letters*. 2003. V. 7, № 8. P. 21883–2187.
- 3 Galoppini E. et al. Fast electron transport in metal organic vapor deposition grown dye-sensitized ZnO nanorod solar cells // *The Journal of Physical Chemistry B*. 2016. V. 110, № 33. P. 16159–16161.
- 4 Wei N. et al. Hierarchical assembly of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on ZnO hollow nanotubes using carbon fibers as templates: Enhanced photocatalytic and gas-sensing properties // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2017. V. 498. P. 263–270.
- 5 Yan C. et al. Tube formation in nanoscale materials // *Nanoscale research letters*. 2008. V. 3, № 12. P. 473.
- 6 Weng B. et al. One-dimensional nanostructure based materials for versatile photocatalytic applications // *Rsc Advances*. 2014. V. 4, № 25. P. 12685–12700.
- 7 Liu S. et al. One-dimension-based spatially ordered architectures for solar energy conversion // *Chemical Society Reviews*. 2015. V. 44, № 15. P. 5053–5075.
- 8 Park H.K. et al. Purge-time-dependent growth of ZnO thin films by atomic layer deposition // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. V. 605. P. 124–130.
- 9 Park H.K. et al. Effects of in situ molecular oxygen exposure on the modulation of electrical properties of zinc oxide thin films grown by atomic layer deposition // *Physica Status Solidi (a)*. 2015. V. 212, № 2. P. 323–328.
- 10 Kozlovskiy A.L. et al. Modification of structural and conductive properties of Zn nanotubes by irradiation with electrons with an energy of 5 MeV // *Materials Research Express*. 2017. V. 4, № 12.

Д.Б. Кадыржанов<sup>1</sup>, М.В. Здоровец<sup>1,2,3</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Петров А.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup> Ядролық физика институтының филиалы, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup> Ресей тұңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федерациялық университеті, Екатеринбург, Ресей

<sup>4</sup> Материалтану бойынша Беларусь ҰҒА ғылыми-практикалық орталық, Минск, Беларусь

**Zn нанотүтікшелерінің құрылымдық қасиеттеріне сәулелендіру әсерін зерттеу**

**Аннотация:** Бұл жұмыста шаблонды полимерлі матрицалардың қуыстарына электрохимиялық тұндыру жолымен алынған Zn нанотүтіктерінің синтезі және олардың құрылымы мен өткізгіштік қасиеттерін бағытталған түрлендірудің нәтижелері көрсетілген. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде электрондар ағынымен сәулелендіру нанотүтікшелердің кристалдық құрылымын түрлендіруге және наноқұрылымдарды күйретпей, нанотүтікшелердің кедергісін азайтып, ақаулардың электрондық босандатуын жүргізуге мүмкіндік беретіні анықталды.

**Түйін сөздер:** шаблонды синтез, иондық-тректік технология, электрохимиялық тұндыру, нанотүтіктер, наноқұрылымдар, радиациялық ақаулар.

D.B. Kadyrzhanov<sup>1</sup>, M.V. Zdorovets<sup>1,2,3</sup>, A.L. Kozlovskiy<sup>1,2</sup>, A.V. Petrov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup> Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup> Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

<sup>4</sup> BelNSA Research and Practical Center for Materials Science, Minsk, Belarus

**Investigation of the effect of irradiation on the structural properties of Zn nanotubes**

**Abstract:** The paper presents the results of synthesis and directional modification of structural and conductive properties of Zn nanotubes obtained by electrochemical deposition in the pores of template polymer matrices. As a result of conducted studies, it was established that irradiation with an electron flow allows modifying the crystal structure of nanotubes and conducting an electronic annealing of defects, which does not destroy nanostructures, reducing the resistance of nanotubes.

**Keywords:** template synthesis, ion-track technology, electrochemical deposition, nanotubes, nanostructures, growth mechanisms, radiation defects.

## References

- 1 Cheng H. et al. Cu–Co Bimetallic Oxide Quantum Dot Decorated Nitrogen-Doped Carbon Nanotubes: A High Efficiency Bifunctional Oxygen Electrode for Zn–Air Batteries, *Advanced Functional Materials*, **27** (30), 1-10 (2017).
- 2 Martinsong A.B.F. et al. ZnO nanotube based dye-sensitized solar cells, *Nano letters*, **7** (8), 2183-2187 (2003)
- 3 Galoppini E. et al. Fast electron transport in metal organic vapor deposition grown dye-sensitized ZnO nanorod solar cells, *The Journal of Physical Chemistry B*, **110** (33), 16159-16161 (2016).
- 4 Wei N. et al. Hierarchical assembly of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on ZnO hollow nanotubes using carbon fibers as templates: Enhanced photocatalytic and gas-sensing properties, *Journal of Colloid and Interface Science*, **498**, 263-270 (2017).
- 5 Yan C. et al. Tube formation in nanoscale materials, *Nanoscale research letters*, **3** (12), 473 (2008).

- 6 Weng B. et al. One-dimensional nanostructure based materials for versatile photocatalytic applications, *Rsc Advances*, **4** (25), 12685-12700 (2014).
- 7 Liu S. et al. One-dimension-based spatially ordered architectures for solar energy conversion, *Chemical Society Reviews*, **44** (15), 5053-5075 (2015).
- 8 Park H.K. et al. Purge-time-dependent growth of ZnO thin films by atomic layer deposition, *Journal of Alloys and Compounds*, **605**, 124-130 (2014)
- 9 Park H.K. et al, Effects of in situ molecular oxygen exposure on the modulation of electrical properties of zinc oxide thin films grown by atomic layer deposition, *Physica Status Solidi (a)*, **212** (2), 323-328 (2015)
- 10 Kozlovskiy A.L. et al. Modification of structural and conductive properties of Zn nanotubes by irradiation with electrons with an energy of 5 MeV, *Materials Research Express*, **4** (2), (2017).

**Сведения об авторах:**

*Кадыржанов Д.Б.* - Халықаралық ядролық физика, Жаңа материалдар және технологиялар кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Сәтпаев к. 2, Астана, Қазақстан.

*Здоровец М.В.* - физика-математика ғылымдарының кандидаты; Ядролық физика институтының Астана филиалының директоры (АФ ИЯФ), Абылай хан к. 2/1, Астана, Қазақстан.

*Козловский А.Л.* - PhD, қатты дене физикасы зертханасының инженері, АФ ИЯФ, Абылай хан к. 2/1, Астана, Қазақстан.

*Петров А.В.* - Белнан материалтану бойынша ғылыми қызметкер, Минск, Беларусь Республикасы.

*Kadyrzhanov D.B.* - PhD student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, Eurasian National University of L.N. Gumilyov, 2, Satpaev str., Astana, Kazakhstan.

*Zdorovets M.V.* - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Astana branch of the Institute of Nuclear Physics, 2/1, Abylai Khan str., Astana, Kazakhstan.

*Kozlovskiy A.L.* - PhD, Engineer of the Laboratory of Solid State Physics of the Astana branch of the Institute of Nuclear Physics, 2/1, Abylai Khan str., Astana, Kazakhstan.

*Petrov A.V.* - Researcher of BelNan on Material Science, Minsk, Republic of Belarus.

*Поступила в редакцию 15.05.2017*