

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

Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Гиниятова Ш.Г.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
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)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	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

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

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)
Giniyatova Sh.G.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
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)
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: 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., Топеева 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 ₂ /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., Байжұманов 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., Татеева 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>Akhmetova 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

МРНТИ 29.19.25; 29.19.22; 29.19.31

А. Даулетбекова¹, З. Баймуханов¹, А. Козловский², Ш. Гиниятова¹,
М. Мурзагалиев¹, Е. Журкин¹, Р. Наурызбаева¹

¹ Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

² Институт физики твердого тела, Университет Латвии, Рига, Латвия

(E-mail: ¹ alma_dauletbek@mail.ru, ¹ zeinb77@mail.ru, ² artem88sddt@mail.ru,

¹ giniyat_shol@mail.ru, ¹ maksat-murzagaliiev1994@mail.ru, ¹ ernar_ast_kz@mail.ru,

¹ ramina.nauryzbaeva@mail.ru)

Разработка и исследование нанокompозитных материалов на основе трекового темплэйта SiO_2/Si

Аннотация: В настоящей работе представлены результаты по исследованию нанокластеров, полученных при электрохимическом осаждении цинка в трековые темплэйты $a - SiO_2/Si - n$. Поверхность осажденных образцов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 7500F. Рентгеноструктурный анализ образцов проводился на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE ECO с использованием рентгеновской трубки с Cu- анодом в диапазоне углов 2θ $30^\circ - 110^\circ$ с шагом 0.01° .

Для идентификации фаз и исследования кристаллической структуры использовалось программное обеспечение Bruker AXSDIFFRAC.EVA v.4.2 и международная база данных ICDD PDF-2. При электрохимическом осаждении цинка в трековый темплэйт $a - SiO_2/Si - n$ были получены нанокристаллы оксида цинка в трех кристаллических фазах: вюрцит, сфалерит и структура каменной соли. Следует отметить, что вид структуры зависит от приложенного к электродам напряжения. Установлен оптимальный режим ЭХО, с получением наиболее распространенной фазы ZnO, вюрцит.

Ключевые слова: Трековый темплэйт SiO_2/Si , электрохимическое осаждение, термообработка, структурные свойства, электрофизические свойства

Введение. В настоящее время, $a - SiO_2/Si$ нанопористый темплэйт представляет интерес для нанотехнологических применений. Одним из наиболее возможных методов создания $a - SiO_2/Si$ нанопористых темплэйтов, является облучение быстрыми тяжелыми ионами (БТИ), комбинируемый с последующим травлением треков в селективных травителях. Условия облучения для получения травимых треков в аморфных тонких пленках $a - SiO_2$ на Si подложке исследованы в [1-5].

В работах [1, 2] пленки $a - SiO_2$ термически выращенные на (100) кремнии n-типа, облучали различными ионами (³⁵Cl, ⁵⁸Ni, ⁷⁹Br, ¹²⁷I, ¹⁹⁷Au, ¹³¹Xe) с энергий ниже 1 МэВ/нуклон. Облученные образцы травил в водном растворе HF и исследовали поверхность с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Эволюция диаметра пор и выхода травления исследовались как функции энергии иона и типа иона. В переходном режиме $1.5 \text{ кэВ/нм} < (dE/dx)_e < 4.0 \text{ кэВ/нм}$ только часть пор выявлялась травлением. Для $(dE/dx)_e > 4.0 \text{ кэВ/нм}$ все треки были выявлены благодаря созданию протяженных треков. Выше порога травления диаметр пор увеличивается с энергией и электронными потерями энергии. Сравнение с ионами имеющими энергии больше 1 МэВ/нуклон показывает, что порог травления зависит от энергетического режима.

В работе [3] структура SiO_2/Si облучалась ионами Au с энергиями от 0.005 до 11.1 МэВ/нуклон и ионами с постоянной скоростью (0.1 МэВ/нуклон ¹⁹⁷Au, ¹³⁰Te, ⁷⁵As, ³²S и ¹⁹F). Показано, что последующее химическое травление создает конические отверстия в пленках с апертурой от нескольких десятков до ~ 150 нм. Диаметр и конический угол отверстий является функцией энергетических потерь ионов. Предпочтительное травление треков требует критическое значение электронной потери энергии $S_e \sim 2 \text{ кэВ/нм}$, независимо от ядерных потерь энергии. Однако, однородное травление, характеризуемое малым коническим открытым углом и узким распределением размеров пор существует только для $S_e > 4 \text{ кэВ/нм}$. Эволюция травимых трековых размеров как функции удельной энергии (или электронных потерь энергии) может быть описана с помощью модели неупругого термического

пика. Модель конкретно предсказывает порог для появления травимых треков, он заключается в том, что радиус расплавленной зоны должен быть по крайней мере 1.6 нм. Однородное травление наступает только для латентных треков с радиусом больше, чем 3 нм.

В [4] $a - SiO_2$ облучали ионами с энергиями от 1 МэВ до 1 ГэВ. При исследовании использовали инфракрасную спектроскопию, химическое травление, размерные измерения и малоугловое рентгеновское рассеяние. Сравнение полученных результатов показывает, что облучение высокоэнергетическими ионами ведет к формированию вдоль ионных траекторий поврежденных зон (ионные треки) при превышении порогового значения электронных потерь. Этот порог могут быть ~ 1.4 кэВ/нм для ионных пучков с энергией 0.2 МэВ/нуклон и увеличиваться до ~ 2.4 кэВ/нм для ~ 5 МэВ/нуклон, в соответствии со скоростным эффектом который предсказывает более узкое распределение поглощенной электронной энергии для низко-скоростных ионов чем для высокоскоростных ионов. Выше этих пороговых значений, радиус трека увеличивается приблизительно как квадратичный корень из электронных потерь энергии. Единая модель термического пика учитывающая вклады ядерных и электронных потерь энергии воспроизводит экспериментальные данные. Используя модель термического пика [6], условно разделяя ионы на "легкие" (^{19}F 28 МэВ; ^{32}S 47 МэВ; ^{35}Cl 43 МэВ, ^{40}Ar 38, 54 МэВ) и "тяжелые" (^{84}Kr 56, 86, 140 МэВ; ^{132}Xe 65,5, 132 и 140 МэВ) были рассчитаны радиус расплавленной зоны, время жизни расплавленной зоны и экспериментально показана справедливость критерия травимости треков, что радиус расплавленной зоны вдоль траектории иона в матрице диоксида кремния должен быть не меньше 3 нм.

Таким образом, облучение БТИ и травление ведет к формированию трековых темплэйтов SiO_2/Si с контролируемой плотностью нанопор, формой и размерами от 10 нм до нескольких микрометров. Ряды наноканалов, вытравленных в местах латентных треков можно заполнить различными веществами. Нанопористый SiO_2/Si может найти применение как темплэйт для создания металлических и полупроводниковых нанокластеров и нанопроволок для разработки устройств нанoeлектроники [5, 6], в производстве активных элементов биосенсоров [7,8].

В [9] предлагается использование структуры $Si/SiO_2/Ni$ как основной элемент высокочувствительных сенсоров в области низких температур. Структура $Si/SiO_2/Ni$ была получена электрохимическим осаждением никеля в трековый темплэйт $a - SiO_2/Si - n$. Исследования показали, что формирующийся осадок в порах состоит из нанокластеров металла с размерами 30-50 нм. При температуре ниже 35 К, когда кремний фактически становится диэлектриком, электроперенос частично осуществляется через металлические кластеры в порах, а между порами - по границе раздела Si/SiO_2 .

В [10] были созданы системы $n - Si/SiO_2$ (Cu/Ni) методом электрохимического осаждения меди и никеля в трековый темплэйт. Слои металлов меди и никеля осаждены, как чередующиеся - 10 слоев по 20 нм в толщину каждый. Были исследованы электрические и гальваномагнитные свойства при различных температурах. Si/SiO_2 (Cu/Ni) структуры могут быть использованы как новые чувствительные элементы для сенсоров магнитного поля. С помощью трековой технологии были выращены самоорганизующиеся наноструктуры серебра в темплэйте Si/SiO_2 [11]. Si/SiO_2 были облучены ионами Au (350 MeV, плотность 10^8 см⁻²) и травлением в 2.5% HCl. Различные структуры с формами подобными "подсолнухам", "азалии" или "кукурузы" были получены методом влажно-химического электролиза. Было показано, что воспроизводимые самоорганизующиеся серебряные наноструктуры типа "подсолнух" обеспечивают значительное усиление Рамановского сигнала молекул нильского голубого красителя. Усиление сигнала несколькими или даже одним серебряным "подсолнухом" демонстрируется анализом усилением поверхностью Рамановского сигнала молекул нильского голубого красителя. Согласно этому серебряные наноструктуры могут действовать как эффективные поверхности для поверхностного усиления Рамановской спектроскопии также для био-сенсорных применений. Другим возможным применением является транспортировка ионного пучка при разработке новых оптических систем, базирующихся на взаимодействии заряженных частиц или квантов с внутренней поверхностью стенки (стенок) капилляров [12], а также разработка трековых мембран нового поколения с повышенной термической и химической стойкостью. Мы видим интересные возможности

применения материалов, базирующихся на трековых темплэйтх SiO_2/Si , поэтому так важно расширить круг материалов, вводимых в нанопоры. Статья посвящена исследованию нанокластеров, полученных при электрохимическом осаждении в трековые темплэйт $a - SiO_2/Si - n$.

Экспериментальная техника. Структура $a - SiO_2/Si - n$ изготавливалась термическим оксидированием кремниевой подложки (Si-p типа) в атмосфере влажного кислорода при $900^\circ C$. Толщина оксидного слоя по данным эллипсометрии составляла 700 нм. Образцы облучались на ускорителе DC-60 ионами ксенона с энергией 200 МэВ, до флюенса 10^8 ионов/см².

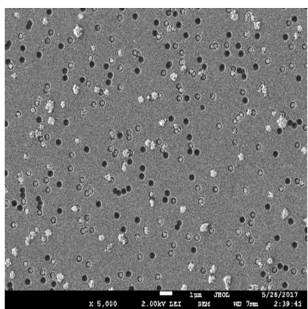
Химическое травление образцов SiO_2/Si в 1% HF, $m(Pd)=0.025g$, $18^\circ \pm 1 C$. Перед травлением треков проводилась ультразвуковая очистка поверхности образцов в изопропанол в течение 15 минут в ультразвуковом очистителе 6.SB25-12DTS. Очиститель на двух частотах (25kHz/40kHz), обеспечивает интенсивную очистку поверхности образцов. Диапазон регулирования (комнатная температура) - $80^\circ C$. После обработки в HF образцы промылись деионизованной воде (18.2МОм). Анализ нанопор после травления проводился на сканирующем электронном микроскопе JSM-7500F.

Электрохимическое осаждение Zn в темплэйт Si/SiO_2 проводили в потенциостатическом режиме при диапазоне напряжений (1.5-1.85) В, и pH=3. Состав электролита: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ - 360 г/л; NH_4Cl -30 г/л; $3H_2O \cdot CH_3COONa$ - 15 г/л; аскорбиновая кислота - 120 г/л. Контроль уровня pH для предотвращения образования водорода в процессе осаждения, который препятствует заполнению пор, поддерживали добавлением раствора аскорбиновой кислоты. Время осаждения - 10-20 минут.

Следует отметить, что ЭХО успешно применялось при осаждении меди, никеля, серебра в трековые темплэйтх SiO_2/Si [8 - 10]. ЭХО широко используется при осаждении различных веществ в полимерные мембраны [15-17].

Поверхность исследовалась сканирующим электронным микроскопом JSM 7500F (СЭМ). Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводился на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE ECO с использованием рентгеновской трубки с Cu- анодом в диапазоне углов 2θ $30^\circ - 110^\circ$ с шагом 0.01° . Для идентификации фаз и исследования кристаллической структуры использовалось программное обеспечение BrukerAXSDIFFRAC.EVA v.4.2 и международная база данных ICDD PDF-2.

Таблица 1 – Результаты СЭМ и РСА исследований

1. ЭХО, t=10 мин, U=1,5 В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	166.2
	Простран. группа	F-43m(216)	Параметр ячейки, Å	a=4.47932
	(hkl)	200	Объем Å ³	89.87
	$2\theta^\circ$	40.275	Степень кристалличности	19
	FWHM	0,308		
	d, Å	2.23746	Содержание фазы, %	100
			Плотность г/см ³	5.975

Анализ СЭМ изображений поверхности структур (Zn) $SiO_2/Si - n$ показал, что заполнение нанопор зависит от напряжения, прикладываемого к электродам. Установлено, что существует оптимальное напряжение, при котором наблюдается максимальное заполнение пор. В нашем случае это 1.6 В. При увеличении напряжения наблюдается выпячивание осажденного

Таблица 2 – Результаты СЭМ и РСА исследований (продолжение Таблицы 1)

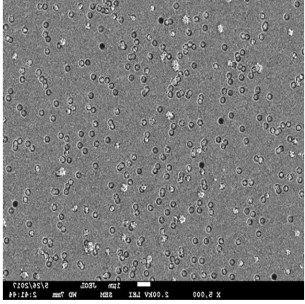
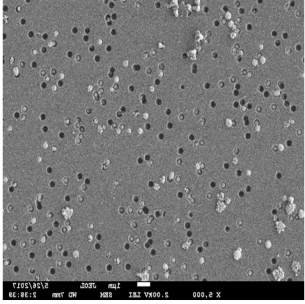
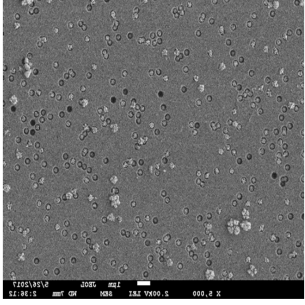
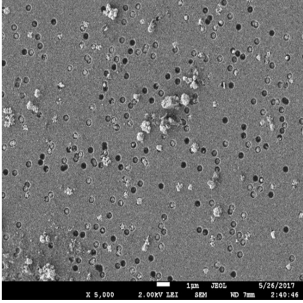
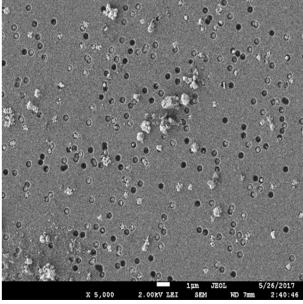
2. ЭХО, t=10 мин, U=1,6В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	181.31
		Hexagona		170.3
	Простран. группа	Rm-3m(221)	Параметр ячейки, Å	a=2.59828
		P63/mmc(194)		a=2.69220, c=4.94215
	(hkl)	111	Объем Å ³	17.54
		100		31.02
	2θ°/FWHM	61,798/0,057	Степень кристалличности	45
		38,586/0,055		
d, Å	1.50003	Содержание фазы, %/ Плотность г/см ³	7,5/92,5	
	2.33143		7,618/7,050	
3. ЭХО, t=10 мин, U=1,7В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	166.2
	Простран. группа	Rm-3m(221)	Параметр ячейки, Å	a=2.59828
	(hkl)	111	Объем Å ³	17.54
	2θ°	61.804	Степень кристалличности	17.54
	FWHM	0.062		
	d, Å	1.49989	Содержание фазы, %/ Плотность г/см ³	100 7.618
4. ЭХО, t=10 мин, U=1,75В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	-/21.4
	Простран. группа	F-43m(216)	Параметр ячейки, Å	a=4.47228
	(hkl)	111	Объем Å ³	89.45
		200		
	2θ°	34.742/ 40.246	Степень кристалличности	68
	FWHM	-/ 0.439		
d, Å	2.58147 2.23900	Содержание фазы, %/ Плотность г/см ³	100 5.975	

Таблица 3 – Результаты СЭМ и РСА исследований (продолжение Таблицы 1)

5. ЭХО, t=10 мин, U=1,85В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	57.49
		Cubic		158.2
	Простран. группа	F-43m(216)	Параметр ячейки, Å	a=4.47228
		Pm-3m(221)		a=2.59624
	(hkl)	200	Объем Å ³	89.45
		111		17.50
	2 θ°	40.295/ 61.843	Степень кристалличности	Amorphous
	FWHM	0.164/0.064		
d, Å	2.23642	Содержание фазы, %	13.1/86.9	
	1.49903		Плотность г/см ³	5.975/7.618
6. ЭХО, t=20 мин, U=1,75В				
	Фаза и тип структуры	ZnO, Cubic	L, nm	171.33
	Простран. группа	Pm-3m(221)	Параметр ячейки, Å	a=2.59828
	(hkl)	111	Объем Å ³	17.54
	2 θ°	61.740	Степень кристалличности	11
	FWHM	0.064		
	d, Å	1.50130	Содержание фазы, %	100

вещества из нанопор (образцы 3-6, Таблица 1). Рентгеноструктурное исследование образцов установило создание нанокластеров ZnO (Таблица 1). ZnO нанокластеры представляют из себя нанокристаллы. Наблюдается зависимость от напряжения типа кристаллической структуры нанокристаллов. ZnO. Только при напряжении U=1.85 В формируется аморфное состояние оксида цинка. Основной тип структуры кубическая при напряжениях U=1.6 и 1.7 В (примитивная кубическая) и гранецентрированная кубическая при 1.5, 1.75 и 1.85 В. Структура вюрцита наблюдалась только при одном напряжении U=1.6 В, следует отметить, что при напряжении 1.6 В сосуществовали структура вюрцита и кубическая примитивная, причем содержание вюрцитной фазы составляло 92.5% и степень кристалличности 45%. При увеличении времени осаждения от 10 до 20 минут (U=1.75 В) наблюдалась трансформация структуры из сфалерита в примитивную кубическую с невысокой степенью кристалличности - 11%, при 10 минутном осаждении структура сфалерит имеет степень кристалличности 68%.

Оксид цинка является уникальным материалом, который обладает как полупроводниковыми так и пьезоэлектрическими свойствами. Это прямозонный полупроводник, обладающий широкой запрещенной зоной $E_g = 3.36$ эВ при 300 К, имеет хорошую прозрачность, высокую электронную подвижность, сильную люминесценцию при комнатной температуре. Поэтому наиболее частое применение в электронике - в лазерных диодах и светодиодах [19].

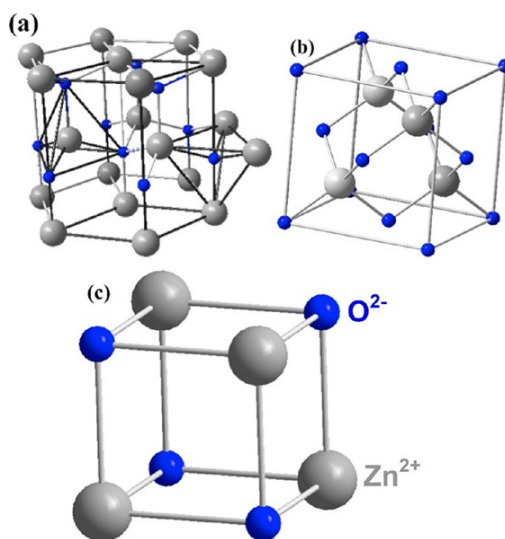


Рисунок 1 – Кристаллическая структура кристаллов ZnO: а) гексагональный вюрцит; б) кубическая структура типа цинковой обманки, сфалерит; в) кубическая структура типа каменной соли [18]

Известно, что оксид цинка кристаллизуется в трёх фазах [19, 20]: гексагональный вюрцит, кубический сфалерит, и редко встречаемая кубическая модификация каменной соли. Наиболее распространенная форма - вюрцит, нами она получена для образца с максимально заполненными наноканалами. Форма сфалерита может быть устойчивой при выращивании ZnO на подложках с кубической решёткой, что подтверждается нашим экспериментом. Трековый темплэйт представляет из себя аморфную тонкую пленку SiO_2 на кристаллической Si подложке, кремний имеет кубическую гранецентрированную структуру. Эта структура формируется при $U=1.5, 1.75$ и 1.85 В. Структура перовскита с пространственной группой $Rm\bar{3}m$ ZnO со структурой типа каменной соли наблюдается при относительно высоких давлениях ~ 10 ГПа, получение такого типа оксида цинка при ЭХО вызывает интерес с точки зрения механизма кристаллизации.

Гексагональная структура и структура сфалерита не обладают симметрией по отношению к инверсии [19, 20]. Это приводит к пьезоэлектрическим свойствам этих модификаций и пироэлектрическим свойствам гексагонального ZnO. Как и у большинства материалов, базирующихся на элементах II-VI группы, связь в ZnO преимущественно ионная, что объясняет сильные пьезоэлектрические свойства.

Заключение. При электрохимическом осаждении цинка в трековый темплэйт $a-SiO_2/Si-n$ были получены нанокристаллы оксида цинка в трех кристаллических фазах: вюрцит, сфалерит и структура каменной соли. Следует отметить, что вид структуры зависит от приложенного к электродам напряжения. Установлен оптимальный режим ЭХО, с получением наиболее распространенной фазы ZnO, вюрцит.

Список литературы

- 1 Jensen J., Razpet A., Skupinski G. Ion track formation below 1 MeV/u in thin films of amorphous SiO_2 // Nucl Instr. - 2006. - V.241. - P.119-126
- 2 Jensen J., Razpet A., Skupinski M., Possnert G. Ion tracks in amorphous SiO_2 irradiated with low and high energy heavy ions // Nucl Instr. -2006. -V.245. - P.269-273.
- 3 Dallanora A., Marcondes T.L., Bermudez G.G., Fichtber P.F.P., Trautman C., Toulemonde M., Papaleo R.M. Dependence on the ion energy and criterion of ethability // Journal of Applied Physics. -2008. -V.104. -P.024307
- 4 Benvagoub A., Toulemonde M. Ion tracks in amorphous silica // Journal of Material Research. -2015. -V.30(9). -P. 1529-1543
- 5 Hoppe K., Fahrner W.R., Fink D., Dhamodoran S., Petrov A., Chandra A., Saad A., Faupel F., Chakravadhanula V.S.K., Zaporotchenko V. An ion track based approach to nano- and nano-electronics // Nucl. Instr. Meth. -2008. -V.266. -P.1642-1646

- 6 Kaniukov E.Yu., Ustarroz J., Yakimchuk D. V., Petrova M., Terryn H., Sivakov V., A. Petrov V. Tunable nanoporous silicon oxide templates by swift heavy ion tracks technology // Nanotechnology. -2016. -V.27. -P.115305 (13pp)
- 7 Fujimaki M., Rocksthal C., Wang X., Awazu K., Tominaga J., Koganezawa Y., Ohki Y., Komatsubara T. Silica-based monolithic sensing plates for waveguide-mode sensors // Opt. Exp. -2008. -V.16. -P.6408-6416
- 8 Ferting N., Blick R.H., Berhends J.C. Whole cell patch clamp recording performed on a planar glass chip // Biophys. J. -2002. -V. 82(6). -P.3056-3062
- 9 Demyanov S.E., Kaniukov E. Yu., Petrov A. V., Belonogov E. K., Streltsov E. A., Ivanov D. K., Ivanova Yu. A., Trautmann C., Terryn H., Petrova M., Ustarroz J., and Sivakov V. On the morphology of Si/SiO₂/Ni nanostructures with swift heavy ion tracks in silicon oxide // Journal of Surface Investigation. -2014. -V.1.8. No.4. -P.805-813
- 10 Demyanov S., Kaniukov E., Petrov A., Sivakov V. Positive magnetoresistive effect in Si/SiO₂ (Cu/Ni) nanostructures // Sensors and Actuators. -2014. -V.A216. -P.64-68
- 11 Sivakov V., Kaniukov E. Yu., Petrov A., Korolik O., Mazmanik A., Bochmann A., Teichert S., Hidi I. J., Schleusener A., Gialla D. Maria Eugenia Toimil-Molares, Trautmann C., Popp J., Demyanov S. Novel silver nanostructures formation in porous Si/SiO₂ matrix // Journal of Crystal Growth. -2014. -V.400. -P.21-26
- 12 Fleischer R.L. Nuclear Tracks in Solids // Berkeley: Univ. California Press. -1975. -P.23-27
- 13 Alzhanova A., Dauletbekova A., Komarov F., Vlasukova L., Yuvchenko V., Akilbekov A., Zdorovets M. Peculiarities of latent track etching in SiO₂/Si structures irradiated with Ar, Kr and Xe ions // Nucl. Instr. Meth. -2016. -V.B374. -P.142-146
- 14 Ivanova Yu. A., Ivanou D. K., Fedotov A. K. et al. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si(100) wafers and into nanopores in Si/SiO₂ template // J. Mat. Sci. -2007. - V.22. -P.9163-9169
- 15 Toimil-Molares M.E., Buschmann V., Dobrev D., Neumann R., Scholz R., Schuchert I.U. and Vetter J. Single-Crystalline Copper Nanowires Produced by Electrochemical Deposition in Polymeric Ion Track Membranes // Advanced Materials. -2001. - V.13. -P.62.
- 16 Kadyrzhanov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L., KENZHINA I.E., Petrov A.V. . Modification of structural and conductive properties of Zn nanotubes with irradiation with electrons with an energy of 5 MeV Materials Research Express // -2017. -V.4(12). -P.125-123
- 17 Rusakov V.S., Kadyrzhanov K.K., Kozlovskiy A.L., Fadeev M.S., Luk'yanova E.N. Studying the properties of Fe and Fe-Co nanotubes in polymer ion-track membranes // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. -2017. -V.81(7). -P.831-835
- 18 Coleman V.A., Jagadish C., Zinc Oxide Bulk. Thin films and Nanostructures Processing, Properties and Applications, 1st ed. // Elsevier Science. -2006
- 19 Klingshirm C. ZnO: Material, Physics and Applications // ChemPhysChem. -2007.- V.8. -P.782-803
- 20 Porter F. Zinc Handbook: Properties, Processing, and Use in Design // CRC Press. -1991. ISBN 0824783409

А. Даулетбекова¹, З. Баймуханов¹, А. Козловский², Ш. Гиниятова¹, М. Мурзагалиев¹, Е. Журкин¹, Р. Наурызбаева¹

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
² Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан

SiO₂/Si тіректі темплэйт негізінде нанокомпозитті материалдарды зерттеу және әзірлеу

Аннотация: Мақалада $a-SiO_2/Si-n$ тректі темплэйттерде мырышты электрохимиялық тұндыру арқылы алынған нанокластерлерді зерттеу нәтижелері келтірілген. Тұндырылған үлгілердің беті JSM 7500F сканерлеуші электронды микроскоппен зерттелді. Cu-анод рентген түтікшесі бар D8 ADVANCE ECO рентгенді дифрактометрде 0.01 ° қадаммен 30 ° -110 ° бұрыштар аралығында 2θ үлгілердің рентгенқұрылымдық талдауы жүргізілді.

Фазаларды идентификациялау және кристалдық құрылымды зерттеу үшін халықаралық ICDD PDF-2 дерекқоры мен Bruker AXS DIFFRAC.EVAv.4.2 қамту бағдарламасы пайдаланылды. $a-SiO_2/Si-n$ тректі темплэйттерде мырышты электрохимиялық тұндыру кезінде мырыш оксидінің нанокристалдары үш кристалды фазасында алынды: вюрцит, сфалерит және тас тұзы құрылымы. Құрылымның түрі электродтарға қолданылатын кернеуге байланысты екені анықталды. Ең кең тараған ZnO, вюрцит фазаларын алу арқылы оңтайлы ЭХЗ режимі орнатылды.

Түйін сөздер: SiO_2/Si тректі темплэйт, электрохимиялық тұндыру, термоөңдеу, құрылымдық қасиеті, электрофизикалық қасиеті.

A. Dauletbekova¹, Z. Baymukhanov¹, A. Kozlovskii², Sh. Giniyatova¹, M. Murzagaliyev¹, E. Zhurkin¹,
P. Nauryzbaeva¹

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² Institute of Nuclear Physics, Astana, Kazakhstan

Development and research for nanocomposite materials based on track templates of SiO_2/Si

Abstract: In this paper, we present the results of the research for nanoclusters obtained by electrochemical deposition of zinc in track templates of $a - SiO_2/Si - n$. The surface of the precipitated samples was examined with a scanning electron microscope JSM 7500F. X-ray diffraction analysis of the samples was carried out with an X-ray diffractometer D8 ADVANCE ECO using an X-ray tube with a Cu anode in the range of angles 2θ $30^\circ - 110^\circ$ with step 0.01° . To identify the phases and study the crystal structure, we used the software BrukerAXSDIFFRAC.EVA v.4.2 and the international database ICDD PDF-2. During the electrochemical deposition of zinc in the track template of $a - SiO_2/Si - n$, nanocrystals of zinc oxide were obtained in three crystalline phases: wurtzite, sphalerite, and rock salt structure. It should be noted that the type of the structure depends on the voltage applied to the electrodes. The optimal ECHO regime was established obtaining the most widespread phase of ZnO, wurtzite.

Keywords: track template SiO_2/Si , electrochemical deposition, heat treatment, structural properties, electrophysical properties

References

- 1 Jensen J., Razpet A., Skupinski G. Ion track formation below 1 MeV/u in thin films of amorphous SiO_2 , Nucl Instr., **241**, 119-126 (2006).
- 2 Jensen J., Razpet A., Skupinski M., Possnert G. Ion tracks in amorphous SiO_2 irradiated with low and high energy heavy ions, Nucl Instr, **245**, 269-273 (2006).
- 3 Dallanora A., Marcondes T.L., Bermudez G.G., Fichtber P.F.P., Trautman C., Toulemonde M., Papaleo R.M. Dependence on the ion energy and criterion of ethability, Journal of Applied Physics, **104**, 024307 (2008).
- 4 Benvagoub A., and Toulemonde M. Ion tracks in amorphous silica, Journal of Material Research, **30(9)**,1529-1543 (2015).
- 5 Hoppe K., Fahrner W.R., Fink D., Dhamodoran S., Petrov A., Chandra A., Saad A., Faupel F., Chakravadhana V.S.K., Zaporotchenko V. An ion track based approach to nano- and nano-electronics, Nucl. Instr. Meth., **266**,1642-1646 (2008).
- 6 Kaniukov E.Yu., Ustaroz J., Yakimchuk D. V., Petrova M., Terryn H., Sivakov V., A. Petrov V. Tunable nanoporous silicon oxide templates by swift heavy ion tracks technology, Nanotechnology, **27**,115305 (13pp) (2016).
- 7 Fujimaki M., Rockstul C., Wang X., Awazu K., Tominag J.a, Koganezawa Y., Ohki Y. , Komatsubara T. Silica-based monolithic sensing plates for waveguide-mode sensors, Opt. Exp.,**16**, 6408-641 (2008).
- 8 Ferting N., Blick R.H., Berhends J.C. Whole cell patch clamp recording performed on a planar glass chip, Biophys. J.,**82(6)**, 3056-3062 (2002).
- 9 Demyanov S.E., Kaniukov E. Yu., Petrov A. V., Belonogov E. K., Streltsov E. A., Ivanov D. K., Ivanova Yu. A., Trautmann C., Terryn H., Petrova M., Ustaroz J., and Sivakov V. On the morphology of $Si/SiO_2/Ni$ nanostructures with swift heavy ion tracks in silicon oxide, Journal of Surface Investigation, **1.8**, 805-813 (2014).
- 10 Demyanov S., Kaniukov E., Petrov A., Sivakov V. Positive magnetoresistive effect in Si/SiO_2 (Cu/Ni) nanostructures, Sensors and Actuators, **A216**, 64-68 (2014).
- 11 Sivakov V., Kaniukov E. Yu., Petrov A., Korolik O., Mazmanik A., Bochmann A., Teichert S., Hidi I. J., Schleusener A., Gialla D. Maria Eugenia Toimil -Molares, Trautmann C., Popp J., Demyanov S.. Novel silver nanostructures formation in porous Si/SiO_2 matrix, Journal of Crystal Growth, **400**, 21-26 (2014).
- 12 Fleischer Ed.R.L.Nuclear Tracks in Solids, Berkeley:Univ. California Press, 23-27 (1975).
- 13 Alzhanova A., Dauletbekova A., Komarov F., Vlasukova L., Yuvchenko V., Akilbekov A., Zdorovets M. Peculiarities of latent track etching in SiO_2/Si structures irradiated with Ar, Kr and Xe ions, Nucl. Instr. Meth.,**B374**,142-146 (2016).
- 14 Ivanova Yu. A., Ivanou D. K., Fedotov A. K. et al. Electrochemical deposition of Ni and Cu onto monocrystalline n-Si(100) wafers and into nanopores in Si/ SiO_2 template, J. Mat. Sci., **22**, 9163-9169 (2007).
- 15 Toimil-Molares M.E., Buschmann V., Dobrev D., Neumann R., Scholz R., Schuchert I.U. and Vetter J. Single-Crystalline Copper Nanowires Produced by Electrochemical Deposition in Polymeric Ion Track Membranes, Advanced Materials, **13**, 62 (2001).
- 16 Kadyrzhanov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L., Kenzhina I.E., Petrov A.V. Modification of structural and conductive properties of Zn nanotubes by irradiation with electrons with an energy of 5 MeV, Materials Research Express. **4(12)**, 25-123 (2017).
- 17 Rusakov V.S., Kadyrzhanov K.K., Kozlovskiy A.L., Fadeev M.S., Luk'yanova E.N. Studying the properties of Fe and Fe-Co nanotubes in polymer ion-track membranes, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, **81(7)**, 831-835 (2017).
- 18 Coleman V.A., Jagadish C., Zinc Oxide Bulk. Thin films and Nanostructures Processing, Properties and Applications, 1st ed. Elsevier Science, (2006).
- 19 Klingshirn C. ZnO: Material, Physics and Applications, ChemPhysChem., **8**, 782-803 (2007).

20 Porter F. Zinc Handbook: Properties, Processing, and Use in Design, CRC Press, ISBN 0824783409, (1991).

Сведения об авторах:

Даулетбекова А. - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, техникалық физика кафедрасының профессоры, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Баймұханов З. - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, техникалық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Козловский А. - PhD, Қатты дене физикасы зертханасы меңгерушісі, Ядролық физика институты, Абылай хан даңғылы 2/1, Астана, Қазақстан.

Гиниятова Ш. - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, физика-техникалық факультетінің декан орынбасары, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Мурзағалиев М. - техникалық физика кафедрасының магистранты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Журкин Е. - техникалық физика кафедрасының студенті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Наурызбаева Р. - техникалық физика кафедрасының студенті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұхан көшесі 13, Астана, Қазақстан.

Dauletbekova A. - Candidate of physical and mathematical sciences, professor of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Baymukhanov Z. - Candidate of physical and mathematical sciences, Chief lecturer of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Kozlovskiy A - PhD, Head of the Laboratory of Solid State Physics, Institute of Nuclear Physics, Abilaikhan avenue 2/1, Astana, Kazakhstan.

Giniyatova Sh. - Candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Deputy Dean of the Department of Physics and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Murzagaliyev M. - Master student of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Zhurkin E. - Student of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Nauryzbaeva R. - Student of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017