

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., Мурзагалиев 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., 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., Иргибоева 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>Боргеков 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. Боргеков^{1,2}, М.В. Здоровец^{1,2,3}, А.Л. Козловский^{1,2}

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

² Астанинский филиал Института ядерной физики, Астана, Казахстан

³ Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина,

Екатеринбург, Россия

(E-mail: ^{1,2} borgekov.d@gmail.com)

Изучение деградации металлических наноструктур под действием внешних факторов

Аннотация: В работе представлены результаты систематического исследования процессов деградации FeNi наноструктур, полученных методом электрохимического темплатного синтеза. Экспериментальным путем установлены зависимости изменения морфологических и структурных особенностей нанотрубок от кислотности среды. Определено, что изменение параметров кристаллической структуры обусловлено появлением оксидных фаз FeO и аморфных областей в нанотрубках, появляющихся в результате деградации наноструктур. Знание скорости и степени деградации нанотрубок позволит уточнить временные рамки применимости нанотрубок, обладающих потенциальным применением в области адресной доставки лекарственных препаратов.

Ключевые слова: наноструктуры, нанотрубки, темплатный синтез, проводящие свойства, кристаллическая структура.

Введение. В настоящее время в мире все больше внимания уделяется наноструктурным материалам и устройствам на их основе, обладающих колоссальным потенциалом применения в различных областях науки и техники: от устройств магнитной записи до катализаторов и носителей лекарственных препаратов [1-5]. Одним из наиболее перспективных материалов для создания наноструктур является сплав железа – никеля с различным стехиометрическим соотношением. Наноструктуры на основе NiFe обладают уникальными физико-химическими свойствами при изменении условий синтеза или химического состава, что позволяет им быть одними из универсальных материалов обладающих широким потенциальным применением [6-10].

Одним из важных свойств нанотрубок является их устойчивость к окислению и деструкции в средах с различной кислотностью, которая определяется концентрацией ионов H⁺ и OH⁻. В абсолютно чистой воде, не содержащей даже растворенных газов, концентрации этих ионов равны. Водородный показатель (рН) является величиной, характеризующей концентрацию ионов водорода в растворах. Для деионизированной воды значение рН находится в интервале 6.5–7, что характерно для нейтральной и слабокислой среды.

В данной работе рассмотрена динамика деградации в различных средах NiFe нанотрубок, которая определяет временные рамки применимости наноструктур и скорость их разрушения. Морфология и структурные свойства исследованы при помощи растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного и рентгеноструктурного анализа.

Экспериментальная часть. Синтез $Fe_x Ni_{100-x}$ нанотрубок (NT) проводился в порах трековых мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) типа Hostaphan® производства фирмы "Mitsubishi Polyester Film" (Германия) толщиной 12 мкм с плотностью пор 4×10^7 см⁻² при диаметрах 400 нм.

Электрохимическое осаждение проводилось при разности потенциалов 1,75 В с использованием электролита: FeSO₄ × 6H₂O (20г/л), NiSO₄ × 6H₂O (100 г/л), H₃BO₃ (45 г/л), C₆H₈O₆ (1.5 г/л) при температуре 25°С, рН раствора электролита был равен 3. Катодом при осаждении служил слой золота толщиной 10 нм, который наносился методом магнетронного напыления в вакууме. Процесс осаждения контролировался хроноамперометрически с использованием мультиметра Agilent 34410А.

Исследование структуры и характеристических размеров синтезированных НТ проводилось посредством растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе Hitachi TM3030 с системой энергодисперсионного анализа (ЭДА) Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении 15 кВ. Изучение диаметров пор и внутренних диаметров находящихся в ПЭТФ шаблонах нанотрубок проводилось манометрическим методом определения газопроницаемости, основанном на измерении изменения давления газа в замкнутой камере при давлении в интервале от 8 до 20 кПа с шагом 4 кПа. Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводился на дифрактометре D8 ADVANCE ECO с использованием излучения рентгеновской трубки с Cu – анодом и графитового монохроматора на дифрагированном пучке. Дифрактограммы записывались в диапазоне углов $30\text{--}110^\circ 2\theta$, с шагом $0,01^\circ 2\theta$.

Для исследования реакционной способности были выбраны три водных раствора с различным значением водородного показателя, начиная от pH 1 (сильнокислая среда) до 7 (нейтральная среда). Наиболее распространенным химическим реагентом, используемым для снижения высокого уровня pH водных растворов, является соляная кислота. Постепенное повышение концентрации ионов водорода в растворах достигалось за счет использования слабо концентрированной (0.01 М) соляной кислоты, которую дозированно, небольшими каплями, добавляли в постоянно перемешивающийся водный раствор. Контроль водородного показателя осуществляли с помощью pH-метра. При достижении нужного значения pH дополнительно проводили проверку с использованием универсальной индикаторной бумаги.

Для проведения эксперимента нанотрубки освобождали от полимерной матрицы путем растворения ее в щелочном растворе. Для травли пленки использовали 9 М раствор гидроксида натрия. Чистые нанотрубки помещали в приготовленные водные растворы с различным значением pH, временной диапазон составлял 1, 5, 10 и 20 дней. По истечении каждого временного промежутка исследовали изменения структуры и морфологии нанотрубок.

Результаты и обсуждение. Уникальные физико-химические свойства наноструктурных материалов обусловлены кристаллической структурой, изменяющейся под воздействием внешних факторов. При этом одним из важных критериев оценки потенциального применения магнитных нанотрубок является их реакционная способность и скорость окисления и деструкции в средах с различным уровнем кислотности (pH). На рисунке 1а представлены РЭМ – изображения полученных нанотрубок.

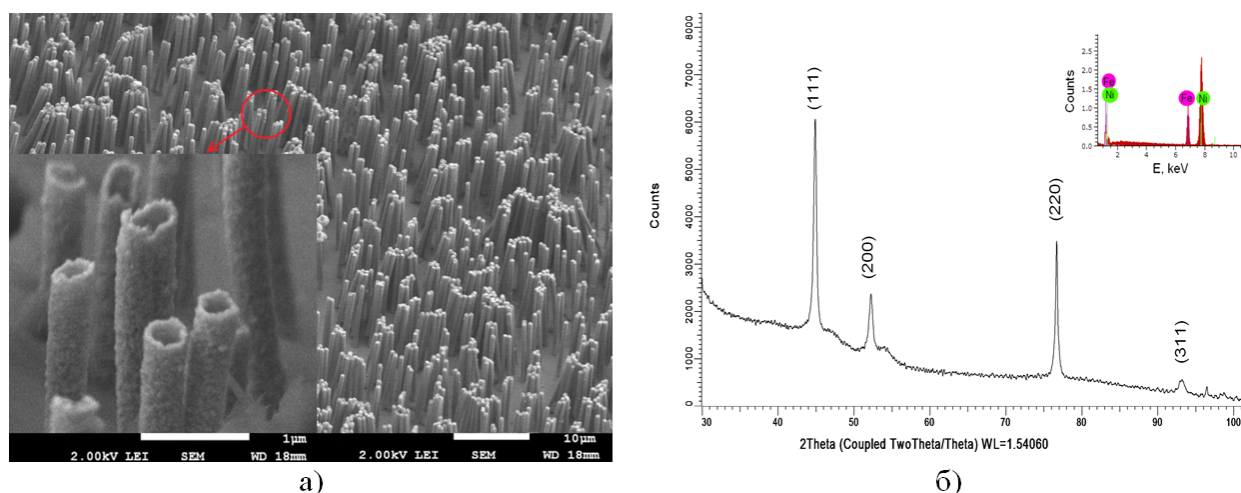


Рисунок 1 – РЭМ – изображения исходных нанотрубок (а); РСА дифрактограмма и ЭДА спектр исходного образца (б)

Из РЭМ – микрофотографий видно, что трубки являются изотропными и цилиндрическими, с длиной 12 мкм и внешним диаметром 400 нм, что соответствует размерам пор исходной шаблонной матрицы. Толщина стенок составила 100 нм. Для определения кристаллической структуры и элементного состава были применены методы РСА и ЭДА. На дифрактограмме исследуемого образца (Рисунок 1б) наблюдаются малоинтенсивные пики,

характерные для дифракции на наноразмерных объектах. Уширение пиков свидетельствует о поликристаллической структуре Fe/Ni нанотрубок. С помощью рентгеноструктурного анализа (РСА) было установлено, что фазовый состав исследуемых исходных образцов соответствуют твердому раствору замещения атомами железа в никеле с преобладанием ГЦК – фазы Ni в кристаллической структуре нанотрубок, с параметром ячейки $a = 3.5695 \text{ \AA}$, отличающимся от эталонного значения ($a = 3.5154 \text{ \AA}$, PDF № 031051), с преобладающей текстурой [111]. Увеличение параметра элементарной ячейки может быть обусловлено разницей в атомных радиусах никеля и железа. С помощью ЭДА было установлено атомное соотношение железа и никеля в нанотрубках составляет Fe – 21%, Ni – 79%. При этом на ЭДА спектре не наблюдается наличие пиков характерных для кислорода, что свидетельствует об отсутствии оксидных соединений в исходных образцах.

Изучение влияния кислотности среды на кристаллическую структуру Fe/Ni нанотрубок проводилось методом ЭДА и РСА. На рисунке 2 представлены графики зависимости элементного состава нанотрубок в зависимости от pH среды и времени удержания в соответствующем растворе.

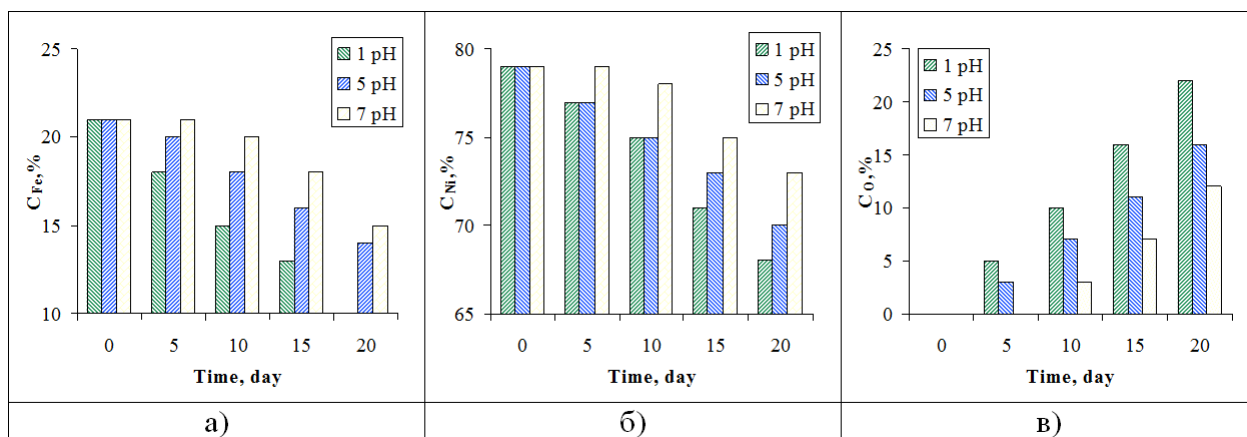


Рисунок 2 – Зависимость атомного содержания железа (а), никеля (б) и кислорода (в) в нанотрубках от времени нахождения в растворе с pH – 1, 5, 7

Согласно полученным данным видно, что для сред с pH=1 и pH=5 появление кислорода в структуре нанотрубок наблюдается на 5 день, что может привести к окислению нанотрубок и частичной аморфизации.

По данным ЭДА анализа была изучена скорость реакции окисления никеля и железа, под которой подразумевают изменение концентрации веществ в единицу времени. Для определения порядка химической реакции окисления нанотрубок в зависимости от кислотности среды был использован интегральный способ. Результаты представлены на рисунке 3.

Характер анаморфоз для различных сред в координатах $\ln \frac{[A_0]}{[A_0-x]} - t$, где A_0 – начальная концентрация вещества, $A_0 - x$ – текущая концентрация вещества в данный момент времени, t – время, описывается прямой, что является подтверждением того, что процесс окисления нанотрубок является реакцией первого порядка. На основании анализа характера изменения интенсивности и формы пиков дифрактограмм можно сделать предположение об аморфизации структуры и частичной деградации нанотрубок в кислых средах после 10 дней нахождения в среде с pH =1 и 5. Также на дифрактограммах для агрессивных сред наблюдается наличие пиков характерных для гидроксидов $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и оксидов железа FeO уже на 10 день, и для сред с pH=5 на 15 день. Также на дифрактограммах наблюдается наличие малоинтенсивных пиков характерных для оксида никеля NiO с индексами Миллера (311) и (400). При этом с увеличением времени нахождения в растворах, согласно полученным дифрактограммам, наблюдается снижение интенсивности пиков характерных для фазы никеля, в то время как интенсивность пиков оксидных $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и FeO – фаз увеличивается.

Анализ рентгеновских дифрактограмм позволил оценить степень кристалличности полученных нанотрубок, а также проследить динамику процесса аморфизации

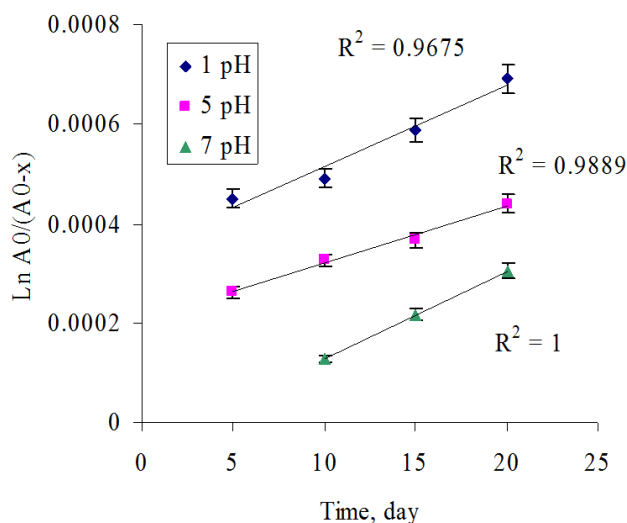


Рисунок 3 – Анаморфоза кинетической кривой для реакции окисления и деградации

кристаллической структуры в средах с различным рН. На рисунке 4 представлена диаграмма изменения степени кристалличности в ходе эксперимента.

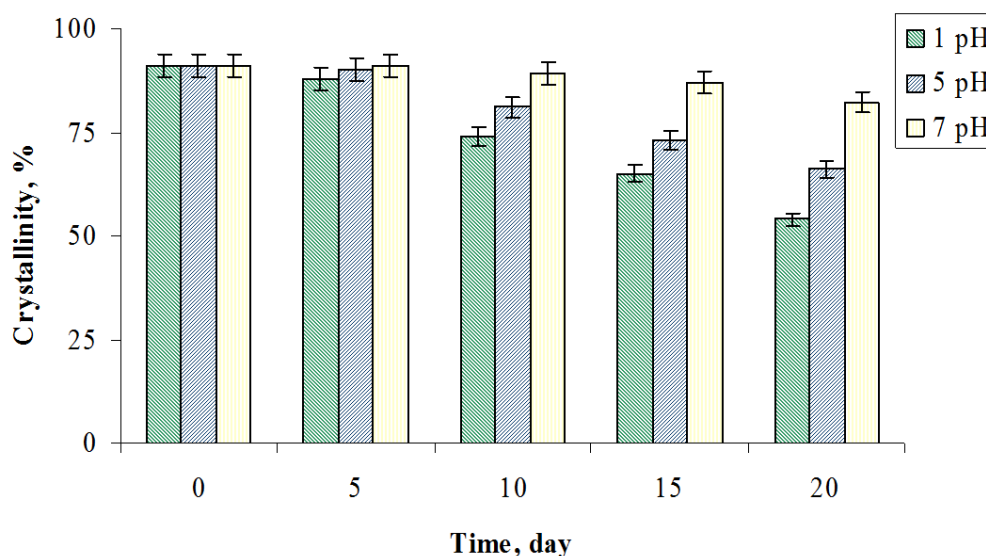


Рисунок 4 – Диаграмма изменения степени кристалличности

Как видно из представленных данных для среды с рН=1 наблюдается снижение степени кристалличности с 91% для исходного образца до 65% на 15 день и 54% на 20 день, и для среды с рН=5 снижение степени кристалличности до 73% на 15 день и 66% на 20 день. При этом установлено, что снижение степени кристалличности ниже 70% приводит к высокой степени аморфизации структуры и частичному разрушению структуры за счет формирования оксидных соединений на поверхности нанотрубок и последующих процессах коррозии, способных вызвать разрушение структуры. Согласно полученным данным, появление оксидных соединений FeO в структуре нанотрубок характерно при снижении степени кристалличности ниже 70%. При этом оксидных соединений никеля в структуре не обнаружено. В свою очередь для образцов, находившихся в среде с рН=7 наблюдается незначительное снижение степени кристалличности, а также отсутствие пиков на дифрактограммах характерных для оксидных соединений никеля и железа.

Из выше приведенных данных, можно резюмировать, что происходит типичное окисление железа и никеля. Железо в кислой среде окисляется до Fe^{2+} . Механизмы окисления железа хорошо изучены авторами [11-13]. Уравнения реакции представлены на схеме 1.

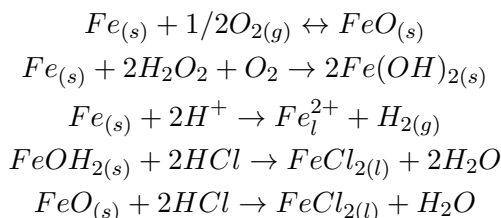
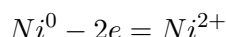
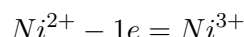


Схема 1 – Уравнения реакции окисления железа

Вместе с тем при выдерживании FeNi нанотрубок в более агрессивных средах, происходит также и окисление никеля, которое протекает путем потери электронов при взаимодействии со средой и переходом в оксид никеля (II):



Образованный оксид никеля (II) относится к бертоллидам со стехиометрией по кислороду. При большом количестве кислорода в структуре он переходит в оксид никеля (III) $Ni_2O_3 \cdot H_2O$ или NiOOH. При этом ионы никеля полностью окисляются:



Но так как степень окисления +3 для никеля не характерна, соединения с данной валентностью являются неустойчивыми, поэтому гидратированные формы оксида никеля (II) разваливаются с отщеплением кислорода.

Согласно результатам РЭМ, действительно происходит образование коррозионных наростов на нанотрубках, а затем их постепенное растворение с увеличением времени выдерживания согласно химическим превращениям, представленных на схеме 1, причем, вероятно, взаимодействие гидроксида железа с соляной кислотой происходит быстрее, чем оксида железа, поэтому на трубках преимущественно обнаружена фаза оксида железа (II).

Заключение. В результате проведенного исследования установлена динамика изменения структурного и фазового состава $Fe_x Ni_{100-x}$ нанотрубок в различных средах. Установлена зависимость изменения степени деградации от кислотности и времени нахождения в среде. С помощью рентгеноструктурного и энергодисперсионного анализа установлено, что изменение параметров кристаллической структуры может быть объяснено появлением оксидных фаз FeO, а также образованием областей разупорядоченности, появляющихся в результате процессов окисления и последующей деградации. Установлено, что при нахождении исследуемых образцов в кислой среде происходит резкое увеличение деформации структуры и степени напряжений, приводящее к частичной аморфизации нанотрубок. Знание скорости и степени деградации нанотрубок позволит существенно уточнить временные рамки применимости нанотрубок.

Список литературы

- 1 Wu D. Fe₃O₄/FeNi embedded nanostructure and its kinetic law for selective catalytic reduction of p-nitrophenyl compounds // Inorganic Chemistry.-2017.
- 2 Cristea C., Tertis M., Galatus R. Magnetic Nanoparticles for Antibiotics Detection // Nanomaterials.-2007.-V. 7.-P. 119.
- 3 Wang P., Du M., Zhang M., Zhu H., Bao S., Zou M., Yang T. Facile fabrication of AuNPs/PANI/HNTs nanostructures for high-performance electrochemical sensors towards hydrogen peroxide // Chem. Eng. J.-2014.-V. 248.-P. 307-314.
- 4 Li C., Li X., Duan X., Li G., Wang J. Halloysite nanotube supported Ag nanoparticles heteroarchitectures as catalysts for polymerization of alkylsilanes to superhydrophobic silanol/siloxane composite microspheres // J. Colloid Interface Sci. 2014. V.436. P. 70-76.
- 5 Martin C.R. Nanomaterials: a membrane-based synthetic approach // Science-1994.-V. 266.-P. 1961.

- 6 Klein J.D., Herric R.D., Palmer D., Sailor M.J., Brumlik C.J., Martin C.R. Electrochemical fabrication of cadmium chalcogenide microdiode array // Chem. Mater.-1993.-V. 5.-P. 902.
- 7 Sehayek T., Lahav M., Popovitz-Biro R., Vaskevich A., Rubinstein I. Template synthesis of nanotubes by room-temperature coalescence of metal nanoparticles // Chem. Mater.-2005.-V. 17.-P. 3743.
- 8 Li Y., Wang J., Deng Z., Wu Y., Sun X., Yu D., Yang P.J.Am. Bismuth nanotubes: a rational low-temperature synthetic route // Chem. Soc.-2001.-V. 123.-P. 9904.
- 9 Haehnel V., Fahler S., Schaaf P., Miglierini M., Mickel C., Schultz L., Schlorb H. Towards smooth and pure iron nanowires grown by electrodeposition in self-organized alumina membranes // Acta Mater.-2010.-V. 58, № 7.-P. 2330–2337.
- 10 Zhong S., Zhou C., Zhang X., Zhou H., Li H., Zhu X., Wang Y. A novel molecularly imprinted material based on magnetic halloysite nanotubes for rapid enrichment of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in water // J. Hazard. Mater.-2014.-V. 276.-P. 58–65.
- 11 Yen S.K., Padmanabhan P., Selvan S.T. Multifunctional iron oxide nanoparticles for diagnostics, therapy and macromolecule delivery // Theranostics.-2013.-V. 3.-P. 986–1003.
- 12 Giri S. Surface oxidation of iron nanoparticles // Appl. Surf. Sci.-2001.-V. 182, № 3–4.-P. 345–349.
- 13 Ruusunen J. Controlled oxidation of iron nanoparticles in chemical vapour synthesis // J. Nanoparticle Res.-2014.-V. 16. № 2.-P. 22703.

Д.Б. Боргеков^{1,2}, М.В. Здоровец^{1,2,3}, А.Л. Козловский^{1,2}

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

² Ядролық физика институтының филиалы, Астана, Қазақстан

³ Ресей тұңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федерациялық университеті, Екатеринбург, Ресей

Сыртқы факторлардың әсерінен металл наноқұрылымдарының құлдырауын зерттеу

Аннотация: Бұл жұмыста электрохимиялық темплаттық ситез әдісі арқылы алынған FeNi наноқұрылымдарының құлдырау процесстерін жүйелі түрде зерттеу нәтижелері келтірілген. Нанотүтіктердің морфологиялық және құрылымдық ерекшеліктерінің қышқылды ортаға тәуелділігі тәжірибелік жолмен анықталған. Кристалл құрылымының параметрлерінің өзгеруі наноқұрылымдардың құлдырауының нәтижесінде пайда болатын нанотүтікшелердегі FeO және аморфты аймақтардың тотықты фазаларының пайда болуына байланысты екендігі анықталды. Нанотүтіктердің құлдырауының жылдамдығын және дәрежесін білу дәріні адрестік жеткізу саласында әлеуетті қолдану мүмкіндігі бар нанотүтікшелерді қолданылу мерзімін нақтылауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: наноқұрылымдар, нанотүтікшелер, темплаттық синтез, өткізгіштік қасиеттер, кристалды құрылым.

D.B. Borgekov^{1,2}, M.V. Zdorovets^{1,2,3}, A.L. Kozlovskiy^{1,2}

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

² Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics, Astana, Kazakhstan

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

Study of the degradation of metallic nanostructures under the influence of external factors

Abstract: The paper presents results of various media influence on the degradation processes of FeNi nanostructures obtained by electrochemical synthesis. The dependence of the change in the degradation degree on acidity and residence time in the medium has been found. Using X-ray diffraction and energy dispersion analysis, it has been determined that the change in the parameters of the crystal structure can be explained by the appearance of FeO oxide phases, as well as the formation of disorder areas appearing as a result of oxidation processes and subsequent degradation.

Keywords: nanostructures, nanotubes, template synthesis, conductive properties, crystal structure

References

- 1 Wu D. Fe₃O₄/FeNi embedded nanostructure and its kinetic law for selective catalytic reduction of p-nitrophenyl compounds, Inorganic Chemistry (2017).
- 2 Cristea C., Tertis M., Galatus R. Magnetic Nanoparticles for Antibiotics Detection, Nanomaterials, **7**, 119 (2007).
- 3 Wang P., Du M., Zhang M., Zhu H., Bao S., Zou M., Yang T. Facile fabrication of AuNPs/PANI/HNTs nanostructures for high-performance electrochemical sensors towards hydrogen peroxide, Chem. Eng. J., **248**, 307–314 (2014).
- 4 Li C., Li X., Duan X., Li G., Wang J. Halloysite nanotube supported Ag nanoparticles heteroarchitectures as catalysts for polymerization of alkylsilanes to superhydrophobic silanol/siloxane composite microspheres, J. Colloid Interface Sci., **436**, 70–76 (2014).
- 5 Martin C.R. Nanomaterials: a membrane-based synthetic approach, Science, **266**, 1961 (1994).
- 6 Klein J.D., Herric R.D., Palmer D., Sailor M.J., Brumlik C.J., Martin C.R. Electrochemical fabrication of cadmium chalcogenide microdiode array, Chem. Mater., **5**, 902 (1993).
- 7 Sehayek T., Lahav M., Popovitz-Biro R., Vaskevich A., Rubinstein I. Template synthesis of nanotubes by room-temperature coalescence of metal nanoparticles, Chem. Mater., **17**, 3743 (2005).

- 8 Li Y., Wang J., Deng Z., Wu Y., Sun X., Yu D., Yang P. *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 9904 (2001).
- 9 Haehnel V., Fahler S., Schaaf P., Miglierini M., Mickel C., Schultz L., Schlorb H. Towards smooth and pure iron nanowires grown by electrodeposition in self-organized alumina membranes, *Acta Mater.*, **58**(7), 2330–2337 (2010).
- 10 Zhong S., Zhou C., Zhang X., Zhou H., Li H., Zhu X., Wang Y. A novel molecularly imprinted material based on magnetic halloysite nanotubes for rapid enrichment of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in water, *J. Hazard. Mater.*, **276**, 58–65 (2014).
- 11 Yen S.K., Padmanabhan P., Selvan S.T. Multifunctional iron oxide nanoparticles for diagnostics, therapy and macromolecule delivery, *Theranostics*, **3**, 986–1003 (2013).
- 12 Giri S. Surface oxidation of iron nanoparticles, *Appl. Surf. Sci.*, **182** (3–4), 345–349 (2001).
- 13 Ruusunen J. Controlled oxidation of iron nanoparticles in chemical vapour synthesis, *J. Nanoparticle Res.*, **16**(2), 22703 (2014).

Сведения об авторах:

Боргеков Д.Б. - Халықаралық ядролық физика, жаңа материалдар және технологиялар кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев 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.

Borgekov D.B. - PhD student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 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.

Поступила в редакцию 15.05.2017