

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

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

Бас редактордың орынбасары

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

Редакция алқасы

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

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

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

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

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

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

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

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

Responsible secretary, computer layout: A.Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

PHYSICS. ASTRONOMY Series

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

Periodicity: 4 times a year

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

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

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

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

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

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

Зам. главного редактора

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

Редакционная коллегия

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

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

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

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

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

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

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

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

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

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

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

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

№4(129)/2019

CONTENTS

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

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

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

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

МРНТИ 29.19.04; 29.19.11; 29.19.21; 29.19.22; 29.19.25;

Д.А. Мусаханов^{1,2}, В.М.Лисицын¹, Ж.Т. Карипбаев², Г.К. Алпысова², М.Г. Голковский³, А.К. Даулетбекова², А. Козловский⁴, М.В.Здоровец⁴

¹ Томский политехнический университет, Томск, Россия

² Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

³ Научно-исследовательский институт ЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴ Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан

(E-mail: dos_f@mail.ru, lisitsyn@tpu.ru, zf1@mail.ru, gulnur_0909@mail.ru, golkovski@mail.ru, alma_dauletbek@mail.ru)

Структура керамики MgF₂-WO₂ синтезированной в мощном потоке электронов

Аннотация: В статье представлены результаты исследования керамики на основе активированного ионами вольфрама MgF₂, синтезированной в воздушной атмосфере. Изготовление образцов проводилось с использованием в качестве нагревателя мощного потока электронов. Элементный состав полученных образцов и состояние их поверхности изучались с использованием растрового электронного микроскопа. В результате было установлено, что поверхность образца имеет сложную форму, характерную для застывшего расплава. На некоторых образцах видны микрокристаллы с хорошей огранкой размером около 500 нм. Проведены исследования распределения элементов по поверхности образцов, посредством которых установлено, что элементный состав заметно различается при сканировании по поверхности. С помощью дифрактометра был проведен рентгеноструктурный анализ синтезированных образцов керамики, который показал наличие кристаллической фазы.

Ключевые слова: кристалл, керамика, кристаллическая фаза, синтез, фторид магния.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-51-58>

Введение. Керамика является перспективным материалом для использования в различных областях техники, в том числе и в оптике [1-3]. Оптическая керамика, в отличие от монокристаллов, механически изотропна и более прочна, зерна керамики разориентированы, поэтому свойства их изотропны. Направление решеток у них все время меняется: нет плоской спаянности, двойного лучепреломления. Интерес представляет оптическая керамика на основе MgF₂. Могут быть выращены кристаллы MgF₂ высокой степени чистоты и совершенства. Кристаллы имеют ширину запрещенной зоны 12.3 эВ [4], обладают пропусканием в широкой УФ области спектра вплоть до 11,5 эВ, уступая по этой характеристике только кристаллу LiF. Уже имеется опыт применения такой керамики [5-7]. Керамики MgF₂ так же, как и LiF являются редкими материалами для изготовления оптики для работы в УФ области спектра, активных элементов лазеров, сцинтилляторов, дозиметров. В LiF хорошо входят активаторы (ионы поливалентных металлов). Очевидно, такие активаторы могут входить и в близкий к нему по свойствам MgF₂.

Однако существует большая разница в синтезе активированных LiF и MgF₂. Температура плавления MgF₂ - 1263 К (LiF - 848 С). Вакуумные нагревательные печи способны поддерживать температуру в камере до 2000 К, открытые нагревательные печи поддерживают температуру нагрева до 1000 К. Для введения активаторов - поливалентных ионов, синтез должен проводиться в воздушной атмосфере. Поливалентные ионы образуют летучие соединения с фтором, в вакуумной атмосфере они выводятся из расплава. Необходимо введение соактиваторов - OH, O, которые препятствуют образованию летучих соединений активатора со фтором, способствуют вхождению ионов активатора в решетку, компенсируя разность в размерах с катионом. Таким образом, синтез кристаллов MgF₂ с активаторами - поливалентными ионами в воздушной атмосфере невозможен. Поэтому для синтеза нужно найти возможность использования нестандартного нагревателя. Таким нагревателем может служить мощный поток электронов, выведенный на воздух.

В настоящей работе представлены результаты исследования керамики на основе активированного ионами вольфрама MgF_2 , синтезированной в воздушной атмосфере с использованием в качестве нагревателя мощного потока электронов.

Объекты и методика исследования. Синтез керамики. Изготовление образцов проводилось с использованием в качестве нагревателя мощного потока электронов. В шихту из порошка MgF_2 добавлялся для активации оксид вольфрама (WO_3) и соактиватор в виде гидроксида лития ($LiOH$) с весовыми концентрациями от 0.05 до 0.3%. Шихта тщательно перемешивалась. Шихта с разным составом насыпалась в конические лунки диаметром 1 см на изготовленном из меди массивном тигле. На тигель направлялся мощный поток электронов, выведенный из вакуума в среду с атмосферным давлением через систему дифференциальной вакуумной откачки, состоящей из трех ступеней. Поток электронов с энергией 1.4 МэВ и плотностью мощности 18 кВт на $см^2$ от ускорителя ЭЛВ-6, который сканировал вдоль конструкции со скоростью $1 см+с^{-1}$. Пучок электронов с сечением у поверхности тигля $1 см^2$ в течение 1 с плавил шихту, которая после воздействия быстро застывала, образуя керамический образец с заданным по шихте соотношением примесей.

После однократного облучения всей поверхности конструкция охлаждалась, из конических углублений вынимались образцы с различным содержанием активатора и соактиватора.

Синтез материалов в поле мощного потока высокоэнергетических электронов принципиально отличается от синтеза в тепловых полях. При использованных режимах облучения, которые составляют 20% от предельно возможных на ускорителе, объемная плотность поглощенной энергии за время воздействия потока - 1 с - составляет $6 \cdot 10^{23}$ эВ/ $см^3$. За время синтеза в $1 см^3$ материала на основе фторида магния создается $6 \cdot 10^{22}$ электронных возбуждений (ионизация, электронно-дырочные пары). Формирование структурных фаз происходит из совокупности элементов шихты с высокой степенью ионизации, то есть с оборванными связями. Поэтому возможно формирование структурных фаз из различных сочетаний, участвующих в процессе атомов, ионов. Поскольку доминирующими в шихте являются магний и фтор, то с наибольшей вероятностью следует ожидать формирование кристаллической фазы фторида магния с распределенными в ней ионами вольфрама, кислорода, водорода. При синтезе в тепловых полях происходит только возбуждение основной (атомной, ионной) подсистемы. Электронная подсистема остается невозбужденной.

Результаты и обсуждение. Структура и состав синтезированной активированной керамики на основе фторида магния MgF_2 . Состояние поверхности и элементный состав полученных образцов изучались с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) Hitachi TM3030 с системой энергодисперсионного анализа (ЭДА) Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении 15 кВ. Прибор позволял наблюдать объемные образцы с теневым и объемным контрастом с разрешением до 30 нм, имел приставку для энергодисперсионного микроанализа.

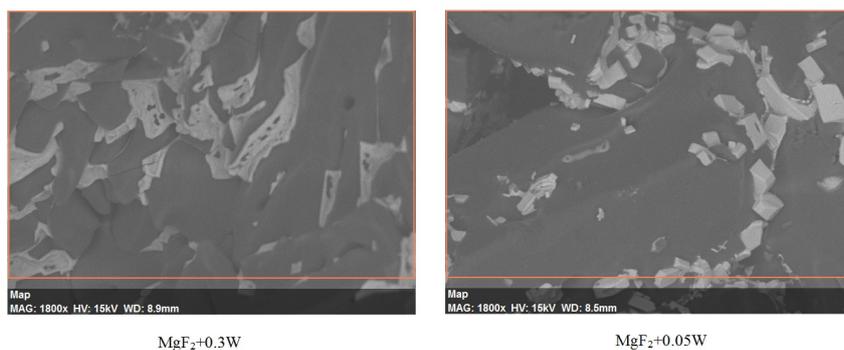


Рисунок 1 – РЭМ изображения поверхности образцов керамики

Примеры РЭМ снимков с увеличением 2000х приведены на рис.1. Поверхность образца имеет сложную форму, характерную для застывшего расплава. На некоторых образцах (см. $MgF_2 + 0.05WO_3$) видны микрокристаллы с хорошей огранкой размером около 500 нм. Микрокристаллы имеют различную форму: от нитевидных частиц до ромбовидных и кубических. На других (см. $MgF_2 + 0.3WO_3$) - расплавы, очевидно, другой фазы размером от 500 нм до 3 мкм. Нет явной связи изменения морфологии с разницей в степени легирования. Различие может быть объяснено изменением структурного и фазового состава от образца к образцу из-за разницы в условиях синтеза. Синтез керамики (нагрев, охлаждение) происходит в плохо контролируемых условиях. Очевидно, имеется различие в режимах синтеза в разных лунках тигля.

На рисунке 2 представлена диаграмма элементного состава исследованных образцов. Исходный материал MgF_2 представлял собою измельченные в порошок плавни MgF_2 из тщательно очищенного сырья. Во всех образцах, синтезированных из шихты с оксидом вольфрама, обнаруживается наличие вольфрама, но концентрация вольфрама в образцах отличается от его концентрации в шихте. Как следует из представленных результатов элементный состав близок к стехиометрическому. Обращает на себя внимание следующий факт: введение в качестве соактиватора ОН способствует вхождению вольфрама.

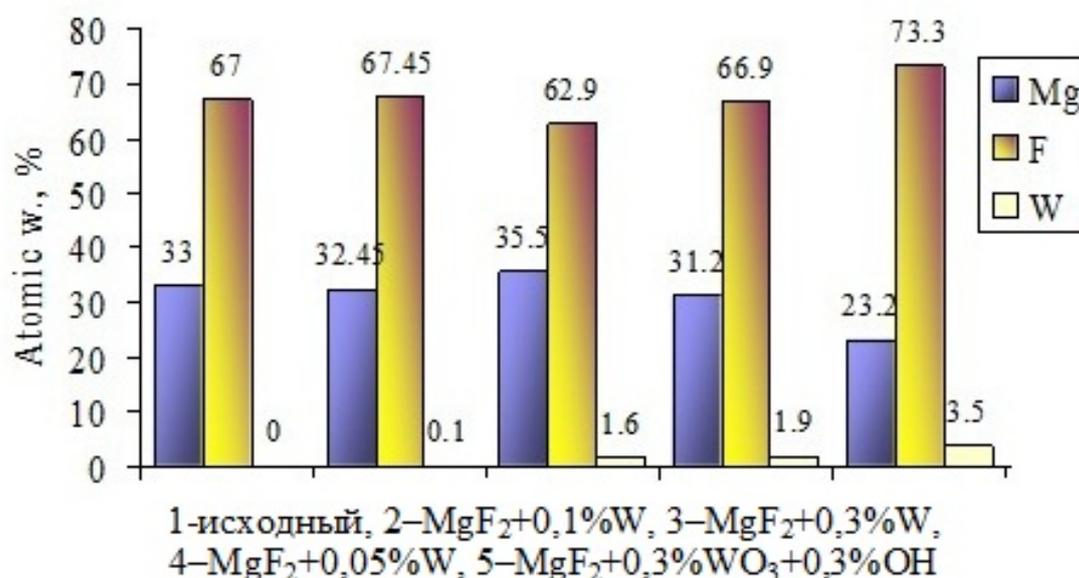


Рисунок 2 – Диаграмма элементного состава

Были проведены исследования распределения элементов по поверхности образцов с разрешением до 1 мкм^2 . Установлено, что элементный состав заметно различается при сканировании по поверхности. Пример результатов исследований распределения элементного состава в выбранном произвольно участке поверхности образца приведен на рис. 3. Как следует из представленных результатов исследований, картины распределения ионов фтора и магния хорошо повторяют друг друга. Это свидетельствует о том, что основой керамики является фторид магния. Распределение же кислорода и вольфрама по поверхности заметно различается. Следовательно, имеет место диссоциация оксида вольфрама. Кислород и вольфрам растворяются в керамике различным образом. Этот вывод подтверждается и исследованиями распределения элементного состава при сканировании по поверхности. Соотношение ионов кислорода и вольфрама значительно изменяется при сканировании по поверхности: на 32 и 81 % соответственно. В то же время соотношение ионов магния и фтора изменяется не более, чем на 7 %.

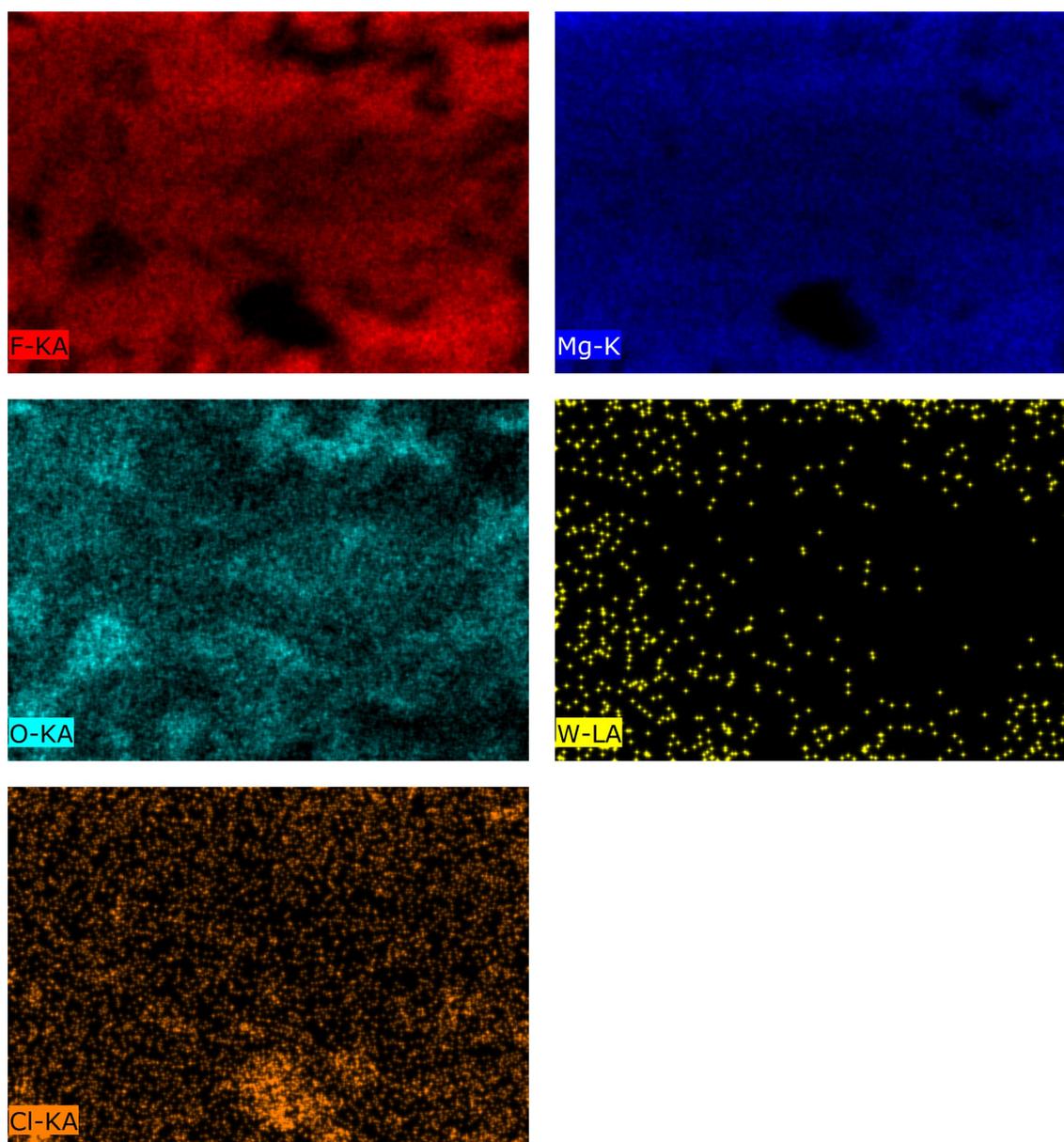


Рисунок 3 – Распределение элементного состава по поверхности образца

Рентгеноструктурный анализ (РСА) синтезированных образцов керамики проводился с использованием дифрактометра D8 ADVANCE ECO с рентгеновской трубкой с Cu - анодом и графитовым монохроматором. Дифрактограммы записывались в диапазоне углов $20-110^\circ 2\theta$, шаг $0,02^\circ 2\theta$. Количественное соотношение фаз определяется в программе TOPAS 4.2. Полуширины измеренных рефлексов использовались для определения размеров кристаллитов и микронапряжений в образце, а отношение интегральной интенсивности рефлексов к полной интенсивности рентгенограммы - для оценки степени кристалличности образца. Результаты исследований представлены на рисунке 4.

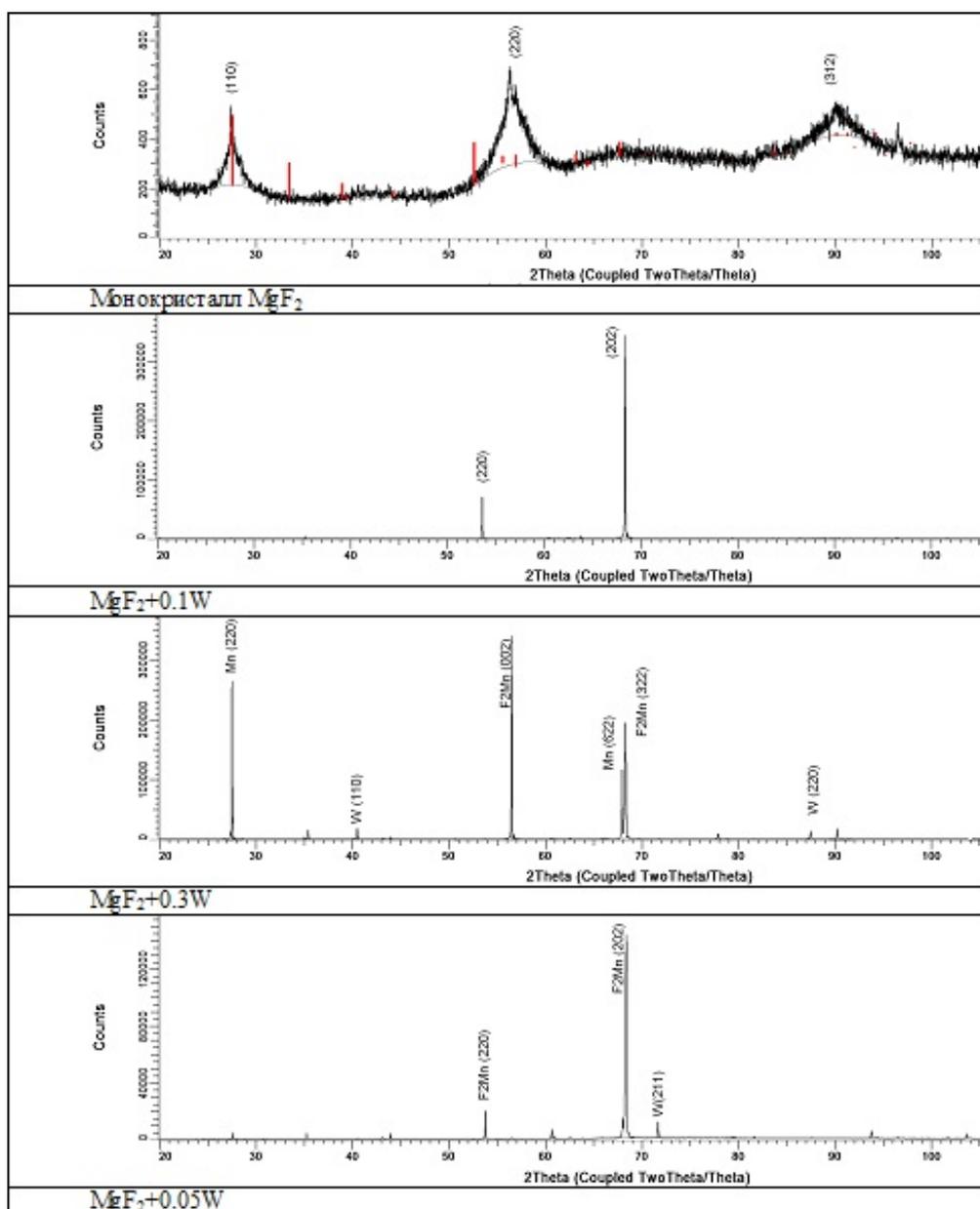


Рисунок 4 – Дифрактограммы исследованных образцов керамики

Как следует из представленных результатов, в синтезированных образцах керамики наблюдается серия четко выраженных рефлексов, свидетельствующих о наличии кристаллической фазы. В дифрактограмме исходного MgF_2 рефлекс сильно размыты. Такими они и должны быть для измельченных в порошок плавней MgF_2 . Дифрактограммы полученных образцов соответствуют измеренным в [8] образцам керамики MgF_2 для магнетронного распыления (представлены в таблице 1).

	Тип структуры	(hkl)	$2\theta^\circ$	d, Å	L, nm	Параметр ячейки, Å	Степень кристалличности, %	Содержание фазы, %
Монокристалл MgF ₂	Tetragonal	(110)	27,529	3,23749	23,5	a=4,57055 c=3,30451	35,7	100
		(220)	56,930	1,61615				
		(312)	90,157	1,08788				
MgF ₂ +0.1%W	Tetragonal	(220)	53,598	1,70850	148,9	a=4,8322 c=3,3099	77,4	100
		(202)	68,538	1,37338				
MgF ₂ +0.3%W	Tetragonal	(002)	56,466	1,62834	161,5	a=4,92557 c=3,25474	82	MgF ₂ - 64,4
		(322)	68,308	1,37206				
	Cubic	(220)	27,538	3,23644	153,4	a=9,14579		Mg- 31,3
		(622)	67,932	1,37873				
	Cubic	(110)	40,493	2,22591	111,8	a=3,14943		W -4,1
		(220)	87,472	1,11422				
MgF ₂ +0.05%W	Tetragonal	(220)	53,774	1,70334	60,3	a=4,81798 c=3,33991	84,2	MgF ₂ - 98,4
		(202)	68,289	1,37239				
	Cubic	(211)	71,677	1,31562	132,2	a=3,22240		W - 1,6
MgF ₂ +0,3%W +0,3%OH	Tetragonal	(110)	27,235	3,27170	119,6	a=4,62666 c=3,30430	88,8	MgF ₂ - 39,3
	Cubic	(442)	63,499	1,46387	101,1	a=8,78328		Mg - 57,8
	Cubic	(211)	71,614	1,31663	135,1	a=3,22496		W - 3

Результаты рентгеноструктурного анализа синтезированной керамики из активированного MgF₂.

Как видно из табличных данных, низкотемпературная α - фаза поликристалла Na₃Sc₂(PO₄)₃ является диэлектрической, т.к. характеризуются низкими значениями проводимости $2 \cdot 10^{-5} (\text{Ohm} \cdot \text{cm})^{-1}$ при 293 К, и высокими значениями энергии активации 0,52 эВ.

Полученные выше экспериментальные данные, а также результаты работы [2], в которой сообщалось о наличии доменов на поверхности кристалла α -Na₃Sc₂(PO₄)₃ и их исчезновение при фазовом переходе $\alpha \rightarrow \beta$, позволяют рассматривать эту фазу как сегнетоэлектрическую.

Во всех исследованных образцах керамики обнаруживается фаза MgF₂ тетрагональной структуры с характерными значениями параметра решетки. В активированных вольфрамом образцах при синтезе формируются кристаллы вольфрама, магния. Магниева кристаллическая фаза обнаруживается и в некоторых не активированных образцах. В целом, все активированные образцы керамики характеризуются высокой степенью содержания кристаллической фазы. Размеры кристаллитов MgF₂ во всех активированных образцах находятся в пределах 60...160 нм, тогда как в неактивированных - около 20 нм.

Закключение. Показана возможность синтеза керамики на основе фторида магния, синтезирована керамика на основе фторида магния с вольфрамом в качестве активатора. Показано, что синтезированная керамика имеет высокую степень кристалличности, вольфрам - активатор входит в состав кристаллитов.

Список литературы

- 1 Третьяков Ю. Д. Керамика в прошлом, настоящем и будущем // Соросовский образовательный журнал.- 1998. - №6. - С. 1-56
- 2 Третьяков Ю.Д. Керамика - материал будущего- М.: Знание, 1987. - С. 48.
- 3 Басиев Т.Т. Фторидная оптическая нанокерамика // Известия Российской академии наук. Серия Химия. - 2008. - № 5. - С. 863-872.
- 4 Минакова Т.С., Екимова И.А. Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. - Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. - 2014. - С. 148.
- 5 Stepanov A.L. [et al.] Synthesis and Magnetic Properties of Nickel Nanoparticles in Magnesium fluoride Matrix. // Technical Physics Letters. - 2004. - Vol. 30.- № 2. - P. 151-153.
- 6 Martin P., Biederman H. and Holland L. Thin films prepared by sputtering MgF₂ in an rf planar magnetron // Vacuum. - 1985. - Vol. 35. - № 12. - P. 531-535.
- 7 Колешко В. М. Распыляемые мишени из фторидных соединений для получения пленок высокотемпературных полупроводников // Письма в ЖТФ. - 2006. - Т. 32. - № 4. - С. 45-50.
- 8 Подденежный Е. Н., Бойко А. А., Дробышевская Н. Е., Белый Д. И., Павленок К. А. Керамические фторидные мишени для магнетронного распыления, формируемые методом полусухого прессования с вакуумным уплотнением // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. - 2012. - № 3.- С.62-67.

Д.А. Мусаханов^{1,2}, В.М.Лисицын¹, Ж.Т. Карипбаев², Г.К. Алпысова², М.Г. Голковский³, А.К. Даулетбекова², А. Козловский⁴, М.В.Здоровец⁴

¹ Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

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

³ РФА СБ ЯФ ғылыми зерттеу институты, Новосибирск, Ресей

⁴ Ядролық физика институты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Қуатты электронды ағымның синтезделген MgF₂-WO₂ керамикасының құрылымы

Аңдатпа Мақалада ауа атмосферасында синтезделген вольфрам-белсенді MgF₂ иондары негізіндегі керамиканы зерттеу нәтижелері келтірілген. Үлгілер жылытқыш ретіндегі қуатты электронды ағын пайдаланып дайындалды. Алынған үлгілердің элементарлық құрамы және олардың бет расторлы электронды микроскоптың көмегімен зерттелді. Нәтижесінде үлгінің беті қатты пішінді балқымаға тән күрделі пішінге ие екендігі анықталды. Кейбір үлгілерде өлшемі шамамен 500 нм болатын жақсы бедерленген микрокристалдар көрінеді. Үлгілер бетіндегі элементтердің таралуына зерттеу бетті сканерлеу элементтің құрамы өзгеріске ие болатыны анықталды. Дифрактометр көмегімен синтезделген керамика үлгілер рентгендік құрылым анализі кристалдық фазаның болуын көрсетті.

Түйін сөздер: кристалл, керамика, кристалды фаза, синтез, магний фторидтері.

D.Musahanov^{1,2}, V.Lisitsyn¹, Zh.Karipbaev², G.Alpyssova², M.Golkovskii³, A.Dauletbekova², A. Kozlovskii⁴, M. Zdorovec⁴

¹ Tomsk Politechnical University, Tomsk, Russia

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

³ Scientific Research Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴ Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan

The structure of MgF₂-WO₂ ceramic synthesized in a powerful electron flow

Abstract The article presents the results of a study of ceramics based on tungsten-activated MgF₂ ions synthesized in an air atmosphere. Samples were prepared using a powerful electron stream as a heater. The elemental composition of the obtained samples and the state of their surface were studied using a scanning electron microscope; as a result, it was found that the surface of the sample has a complex shape characteristic of a solidified melt. On some samples, microcrystals with sizes of about 500 nm formed with good faceting are visible. Studies of the distribution of elements over the surface of the samples were carried out, where it was found that the elemental composition noticeably differs when scanning over the surface. Using a diffractometer, an X-ray diffraction analysis of the synthesized ceramic samples was carried out, which showed the presence of a crystalline phase.

Keywords: crystal, ceramics, crystalline phase, synthesis, magnesium fluoride.

References

- 1 Tret'yakov YU. D. Keramika v proshlom, nastoyashchem i budushchem [Ceramics in the past, present and future], Sorosovskiy Obrazovatel'nyy zhurnal [Soros Educational Journal], №6, 1-56(1998). [in Russian]
- 2 Tret'yakov YU.D. Keramika - material budushchego [Ceramics - the material of the future], (Znaniye, Moscow, 1987, 48 p. [in Russian]
- 3 Basiyev T.T. Ftoridnaya opticheskaya nanokeramika [Optical fluoride nanoceramics], Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya Khimiya, 5, 863-872 (2008). [in Russian]

- 4 Minakova T.S., Yekimova I.A. Ftoridy i oksidy shchelochnozemel'nykh metallov i magniya. Poverkhnostnyye svoystva [Fluorides and oxides of alkaline earth metals and magnesium. Surface properties], Izdatel'skiy Dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Tomsk, 2014, 148. [in Russian]
- 5 Stepanov A.L. [et al.] Synthesis and Magnetic Properties of Nickel Nanoparticles in Magnesium fluoride Matrix, Technical Physics Letters, 30 (2), 151-153(2004). [in English]
- 6 Martinu P., Biederman H. and Holland L. Thin films prepared by sputtering MgF₂ in an rf planar magnetron, Vacuum, 35 (12), 531-535(1985). [in English]
- 7 Koleshko V. M. Raspylyayemyye misheni iz ftoridnykh soyedineniy dlya polucheniya plenok vysokotemperaturnykh poluprovodnikov [Sputtering targets from fluoride compounds to obtain films of high-temperature semiconductors], Pis'ma v ZHTEF, 32(4), 45-50 (2006). [in Russian]
- 8 Poddenezhnyy Ye. N., Boyko A. A., Drobyshevskaya N. Ye., Belyy D. I., Pavlenok K A. Keramicheskiye ftoridnyye misheni dlya magnetronnogo raspyleniya, formiruyemyye metodom polusukhogo pressovaniya s vakuumnym uplotneniyem [Ceramic fluoride targets for magnetron sputtering formed by semi-dry pressing with vacuum compaction], Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo, 3, 62-67 (2012). [in Russian]

Сведения об авторах:

Мусаханов Д.А. - старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникации, аспирант 3 курса, Томский политехнический университет, Томск, Россия.

Лисицын В. М. - доктор физико-математических наук, профессор, Томский политехнический университет, Томск, Россия.

Каримбаев Ж.Т. - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Алпысова Г. К. - докторант кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Голковский М.Г. - кандидат химических наук, руководитель лаборатории, Научно-исследовательский институт ЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия.

Даулетбекова А. К. - кандидат физико-математических наук, профессор кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Козловский А. Л. - PhD, заведующий лабораторией физики твердого тела, Институт ядерной физики, пр. Абылай хана 2/1, Нур-Султан, Казахстан.

Здоровец М. В. - кандидат физико-математических наук, доцент международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Mussakhanov D. - graduate student, Tomsk Polytechnical University, Tomsk, Russia.

Lisitsyn V. - Doctor of physical and mathematical sciences, professor, Tomsk Polytechnical University, Tomsk, Russia.

Karipbayev Z. - PhD of the International Department of technical physics, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str. 13, Nur-Sultan, Kazakhstan

Alpysova G. - PhD student of the Department of technical physics, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str. 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Golkovskii M. - Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory, Scientific Research Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

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

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

Zdorovec M. - Candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor of the International Department of nuclear physics, new materials and technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str. 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 17.10.2019