

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**

№3(128)/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)
Лушик 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)
Тлеуменов 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, 349 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.

Тиражы: 25 дана

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. 349,
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.

Circulation: 25 copies

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)
Тлеукенов 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. 349, 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.

Тираж: 25 экземпляров

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**

№3(128)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В.</i> Валецки типті космологиялық моделдің дәрежелі шешімі.	8
<i>Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Меирбеков Б.</i> Фермиондық және тахиондық өрістері бар космологиялық моделі	16
<i>Акилбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А.</i> DC-60 циклотронында in-situ иондық люминесценцияны зерттеуге арналған қондырғыны жасау	26
<i>Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А.</i> Техникалық мамандықтар оқытудың интерактивті әдістері	35
<i>Баубекова Г.М., Луцик А.Ч., Асылбаев Р.Н., Ақылбеков А.Т.</i> Жылдам ауыр иондармен сәулелендірілген MgO кристалдарындағы радиациялық ақау түзілуі	41
<i>Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедруж Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А.</i> ZnO нанобөлшектерінің гидротермалды синтезі және олардың фотокаталитикалық қасиеттері	49
<i>Даулетбекова А., Ақылбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Ақылбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж.</i> SiO ₂ /Si тректі матрицаларына электрлі түндырылған ZnO нанокристалдарының құрылымы, электрлік қасиеттері және люминесценциясы	57
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А.</i> Модификацияланған $F(T)$ гравитациясы мен Дирак өрісіндегі космологиялық шешімдер	67
<i>Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е.</i> $n = 3$ және $N = 2$ жағдайлары үшін $V_0 = 0$ болғандағы WDVV ассоциативтілік теңдеуінің иерархиясы	79
<i>Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.</i> Тік қалақшалы жел турбиналарының қуатын арттыру жолдары туралы	86
<i>Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К.</i> Бранс-Дикке өрісі бар гравитацияның модификацияланған теориясының дербес жағдайы үшін космологиялық шешімдер	93
<i>Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А.</i> Белсенді фотолюминесценциялы цериймен легирленген (Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce ³⁺) алюмоиттрийлік гранаттың жоғары дисперсиялық ұнтағын алу	102
<i>Рысқұлов А.Е., Иванов И.А., Кислицин С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В.</i> Ni ¹²⁺ ауыр иондармен сәулелендірудің BeO керамикада ақаулардың қалыптасуына әсері	110
<i>Нуразметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Аралас сілтілі металл сульфаттарының зоналық құрылымы және оптикалық спектрі	117
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Өткізгіштігі және диэлектрикалық қасиеттері Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Ақылбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А.</i> Радиация өрісіндегі ИАГ және ИАГГ люминофорларының құрылымын зерттеу және синтездеу	138
<i>Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А.</i> Физика-химиялық процестерді ғылыми тану әдісі ретінде модельдеу	147
<i>Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш.</i> Радон концентрациясын зерттеудің қазіргі жағдайы	153
<i>Файз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б.</i> BiCuSeO оксиселенид - жаңа келешегі жоғары термоэлектрлік материал ретінде	160

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

№3(128)/2019

CONTENTS

<i>Aimukhambetova A.S., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meyirbekov B.V.</i> Power solution of the cosmological model of the Valecki type.	8
<i>Akhmetova G.A., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meirbekov B.</i> Cosmological model with fermion and tachyon fields	16
<i>Akilbekov A., Skuratov V., Dauletbekova A., Giniyatova Sh., Seitbayev A.</i> Creation of facility for in-situ measurement of high-energy ionoluminescence on cyclotron DC-60	26
<i>Abuova A.U., Uskenbaev E., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Abuova G.U., Junisbekova D.A.</i> Interactive methods of teaching physics in technical speciality	35
<i>Baubekeva G.M., Lushchik A.Ch., Asylbaev R.N., Akilbekov A.T.</i> Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with swift heavy ions	41
<i>Gritsenko L.V., Kalkozova Zh.K., Kedruk Y.U., Markhabaeva A.A., Abdullin Kh.A.</i> Hydrothermal synthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic properties	49
<i>Dauletbekova A.K., Akylbekova A., Giniyatova S h., Baimukhanov Z., Vlasukova L., Akilbekov A., Usseinov A., Kozlovskii A., Karipbayev Zh.</i> Structure, electrical properties and luminescence of ZnO nanocrystals deposited in SiO ₂ /Si track templates	57
<i>Myrzakulov N.A., Myrzakulova Sh.A.</i> Cosmological solutions of modified $F(T)$ gravity with Dirac field	67
<i>Zhadyranova A.A., Anuarbekova Y.Ye.</i> Hierarchy of WDVV associativity equations for $n = 3$ case and $N = 2$ when $V_0 = 0$	79
<i>Zhangozin K.N., Kargin D.B.</i> About ways to increase the power of wind turbines with straight blades	86
<i>Zhubatkanova Zh.A., Myrzakulov N.A., Meirbekov B.K.</i> Cosmological solutions for particular case of modified theory of gravity with a Brans-Dicke field.	93
<i>Kalkozova Zh.K., Tulegenova A.T., Abdullin Kh.A.</i> National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan	102
<i>Ryskulov A.E., Ivanov I.A., Kislitsin S.B., Uglov V.V., Zdorovets M.V.</i> The effect of Ni ¹²⁺ heavy ion irradiation on radiation defect formation in BeO ceramics	110
<i>Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Dolomatov M.Y., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Z., Daurenbekov D.H., Baltabekov A.S., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N.</i> Band structure and optical spectra of mixed alkali metal sulfates	117
<i>Nogai A.A., Stefanovich S.Yu., Salikhodja J.M., Nogai A.S.</i> Conducting and dielectric properties of Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Karipbaev Zh., Musahanov D., Lisitsyn V., Golkovskii M., Lisitsyna L., Alpyssova G., Tulegenova A., Akylbekov A., Dauletbekova A., Balabekov K., Kozlovskii A., Usseinov A.</i> Synthesis, the study of the structure of YAG and YAGG phosphors in the radiation field	138
<i>Kasenov D., Abuova A.U., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Kaptagai G.A.</i> Modeling as a method of scientific knowledge of physical and chemical processes	147
<i>Yerimbetova D., Stepanenko V., Vidergold A., Zhumadilov K.</i> Current state of radon concentration studies	153
<i>Faiz A.S., Abuova F.U., Shaken N., Abuova A.U., Junisbekova D.A., Baiman G.B.</i> BiCuSeO oxyselenides: new promising thermoelectric materials	160

СОДЕРЖАНИЕ

Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В. Степенное решение космологической модели типа Валецки	8
Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б. Космологическая модель с фермионным и тахионным полями	16
Акилбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А. Создание установки для in-situ измерения высокоэнергетической ионолюминесценции на циклотроне DC-60	25
Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А. Интерактивные методы обучения физике на технических специальностях	35
Баубекова Г.М., Луцкич А.Ч., Асылбаев Р.Н., Акылбеков А.Т. Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами	41
Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедрук Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А. Гидротермальный синтез наночастиц ZnO и их фотокаталитические свойства	49
Даулетбекова А., Акылбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Акилбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж. Структура, электрические свойства и люминесценция нанокристаллов ZnO, электроосажденных в трековые матрицы SiO ₂ /	57
Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А. Космологические решения в модифицированной $F(T)$ гравитации с полем Дирака	67
Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е. Иерархия уравнений ассоциативности WDVV для случая $n = 3$ и $N = 2$ при $V_0 = 0$	79
Жангозин К.Н., Каргин Д.Б. О способах увеличения мощности ветровых турбин с прямыми лопастями	86
Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К. Космологические решения для частного случая модифицированной теории гравитации с полем Бранс-Дикке	93
Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А. Получение высокодисперсного порошка алюмоиттриевого граната, легированного церием ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) с интенсивной фотолюминесценцией	102
Рыскулов А.Е., Иванов И.А., Кислицын С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В. Влияние облучения тяжелыми ионами Ni^{12+} на радиационное дефектообразование в керамиках BeO	110
Нуралиметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н. Зонная структура и оптические спектры смешанных сульфатов щелочных металлов	117
Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С. Проводящие и диэлектрические свойства $Na_3Sc_2(PO_4)_3$	128
Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Акылбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А. Синтез, исследование структуры ИАГ и ИАГГ люминофоров в поле радиации	138
Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А. Моделирование как метод научного познания физико-химических процессов	147
Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш. Современное состояние исследований концентрации радона	153
Фаиз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б. BiCuSeO оксиселенид как новый перспективный термоэлектрический материал	160

Получение высокодисперсного порошка алюмоиттриевого граната, легированного церием ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) с интенсивной фотолюминесценцией

Аннотация: Простым низкочастотным методом пиролиза аэрозоля раствора, содержащего нитраты алюминия, иттрия и церия, синтезирован высокодисперсный порошок люминесцирующего алюмоиттриевого граната, легированного церием YAG:Ce. Исследована морфология и кристаллическая структура полученных образцов после синтеза и после термического отжига, рамановские спектры и спектры фотолюминесценции синтезированных образцов в зависимости от условий синтеза и отжига. Показано, что для получения интенсивной фотолюминесценции необходимо добавление в исходный раствор прекурсоров лимонной кислоты со значительным избытком. Метод является простым и производительным способом синтеза высокодисперсного порошка YAG:Ce с интенсивной ФЛ в области видимого света 450-650 нм.

Ключевые слова: алюмоиттриевый гранат, высокодисперсный порошок, аэрозольный пиролиз.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-110-116>

Работа выполнена по гранту AP05130243 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Введение. Энергоэффективные светоизлучающие диоды белого свечения (WLED) в настоящее время широко применяются в качестве твердотельного оптического источника в самых различных областях, таких как общее освещение, автомобильное освещение, источники подсветки экранов дисплеев и т.п. [1]. Как правило, белый свет может быть получен с помощью комбинации светодиодов и люминофоров, например: синий светодиод, сочетающийся с желтым люминофором, либо ультрафиолетовый светодиод, сочетающийся со смесью желтых (или красных и зеленых) и синих люминофоров, либо устройство, состоящее из красного, зеленого и синего светодиодов [2]. Среди этих возможностей комбинация синего светодиода плюс система желтых люминофоров выбрана в настоящее время в качестве коммерческих WLED благодаря своей легкой конструкции и низкой стоимости, а также хорошего индекса цветопередачи (CRI) [3]. Люминофор $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (YAG:Ce), который был впервые использован в дисплеях еще в 1967 году [4] является классическим люминофорным материалом для понижения энергии света, обладает высокой квантовой эффективностью, высоким показателем преломления, прочностью, отличной химической и термической стабильностью.

Традиционно люминофоры YAG:Ce получают посредством агломерации исходных оксидов при твердотельной высокотемпературной ($> 1500^{\circ}C$) реакции. Таким образом, требуется высокая температура синтеза. Кроме того, последующий размол для получения порошка может вызвать недостатки в виде крупных негабаритных зерен и включение примесей от оборудования для размолки, поскольку YAG является весьма твердым материалом. Хотя синтез в солевых расплавах может эффективно снижать температуру прокаливания, постобработка становится еще более сложной [5].

Чтобы преодолеть вышеуказанные недостатки, разрабатываются различные низкочастотные методы для изготовления чистых и однородных люминофоров YAG:Ce. Например, при получении YAG:Ce люминофоров методом распыления и пиролиза [6-7] можно контролировать размер зерна и состав частиц продукта с морфологией нано/микросфер. Золь-гель методом синтезированы $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ нанокристаллы с размером частиц менее 50 нм [8, 9].

Поглощение синего цвета и излучение желтого с помощью люминофора YAG, легированного Ce^{3+} , обычно приписываются переходам $4f^1 \rightarrow 4f^0 5d^1$ (поглощение) и переходам $4f^0 5d^1 \rightarrow 4f^1$ (испускание) соответственно, на ионах Ce^{3+} [10]. Участие 5d уровней энергии делает переходы чувствительными к кристаллическому полю матрицы и к симметрии узла решетки (то есть локальной энергетической структуре), в котором атом церия CeY находится в позиции атома иттрия.

Установлено, что случайное распределение ионов Ce^{3+} в решетке YAG может привести к небольшому расширению элементарной ячейки YAG, которое играет решающую роль в увеличении квантового выхода и предотвращении и закалки фотолюминесценции [11].

В работе [12] были успешно синтезированы нанокристаллы на основе алюмо-иттриевого граната с помощью простого золь-гель метода, свойства и структура материала была изучены с помощью несколько методов характеристики, морфологии, состава и фотолюминесценции YAG:Ce.

Таким образом, весьма актуальна разработка низкочастотных способов синтеза с получением высокодисперсных люминофоров YAG: Ce с равномерным распределением ионов Ce^{3+} , с высокой скоростью реакции и низкой температурой прокаливания с целью повышения интенсивности излучения.

Эксперимент. Рабочий раствор прекурсоров для синтеза порошка YAG методом пиролиза аэрозоля готовился следующим образом: в водный раствор с концентрацией 0.1 М нитрата иттрия и 0.1667 М нитрата алюминия было добавлено 0.5 атомных % церия в виде нитрата церия. Поскольку при нагреве рабочего раствора разложение нитратов иттрия и алюминия будет сопровождаться выделением азотной кислоты, для ее нейтрализации в раствор добавлялась лимонная кислота. При разложении раствора ожидается протекание реакции: $15 \text{ Al}(\text{NO}_3)_3 + 9 \text{ Y}(\text{NO}_3)_3 + 20 \text{ C}_6\text{H}_8\text{O}_7 = 3 \text{ Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} + 120 \text{ CO}_2 + 36 \text{ N}_2 + 80 \text{ H}_2\text{O}$ с получением YAG и безопасных веществ, таких, как углекислый газ, азот и вода. Стехиометрическим соотношением является 20/9 молей лимонной кислоты на один моль иттрия.

Оказалось, что добавления стехиометрического количества лимонной кислоты недостаточно для предотвращения выделения паров азотной кислоты, кроме того, материал получался некачественным, с низкой интенсивностью ФЛ. Таким образом, необходимо значительное, примерной в 3 раза, превышение лимонной кислоты над стехиометрическим количеством.

Синтез проводили методом пиролиза аэрозоля. Наночастицы оксида иттрия-алюминия формируются при пиролизе частиц аэрозоля водного раствора с концентрацией 0.1 М нитрата иттрия, 0.1667 М нитрата алюминия с 0.5 атомных % церия и лимонной кислоты. Генератор аэрозоля был изготовлен на основе ультразвукового пьезоизлучателя. Генератор продувался транспортным газом – воздухом, с помощью маломощного компрессора. Газовый поток с каплями аэрозоля направлялся в вертикальную трубчатую печь, нагретую до температур 700-1000 °С.

В горячей зоне печи происходил пиролиз аэрозоля с формированием частиц оксида иттрия-алюминия. Затем газовый поток попадал в цилиндрический электростатический фильтр, нагретый до $\sim 200^\circ\text{C}$ для предотвращения конденсации водяных паров и находящийся под напряжением 10-15 кВ. После синтеза порошок легко отдался от стенок фильтра. Типичный выход продукта при выбранных условиях синтеза (концентрация рабочего раствора, скорость потока транспортного газа) составлял ~ 0.5 грамма в час. В результате получен черный (из-за присутствия небольшого количества сажи) порошок. Морфологию поверхности образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Quanta 3D 200i FEI. Кристаллическая структура полученных образцов исследована с помощью широкоугольной рентгеновской дифракции (XRD) на дифрактометре MiniFlex (Rigaku) с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения. Рамановские спектры были сняты на установке Ntegra Spectra (NT-MDT) с возбуждением синим лазером с длиной волны 473 нм. Спектры ФЛ образцов YAG:Ce измерены с помощью люминесцентного спектрометра Cary Eclipse (Agilent) при комнатной температуре, при

возбуждении от импульсной ксеноновой лампы, из излучения которого с помощью встроенного монохроматора вырезалась узкая спектральная полоса, и возбуждение ФЛ осуществлялось на длинах волн от 200 до 460 нм.

Результаты и обсуждение. На рис. 1а приведены типичные СЭМ снимки полученного порошка сразу после синтеза, а на рис. 1б приведены снимки порошка после отжига 1200°C . Видно, что порошок высокодисперсный, с размерами сферических частиц до одного микрона. Отжиг приводит к деградации сфер, однако спекания не наблюдается, порошок остается высокодисперсным.

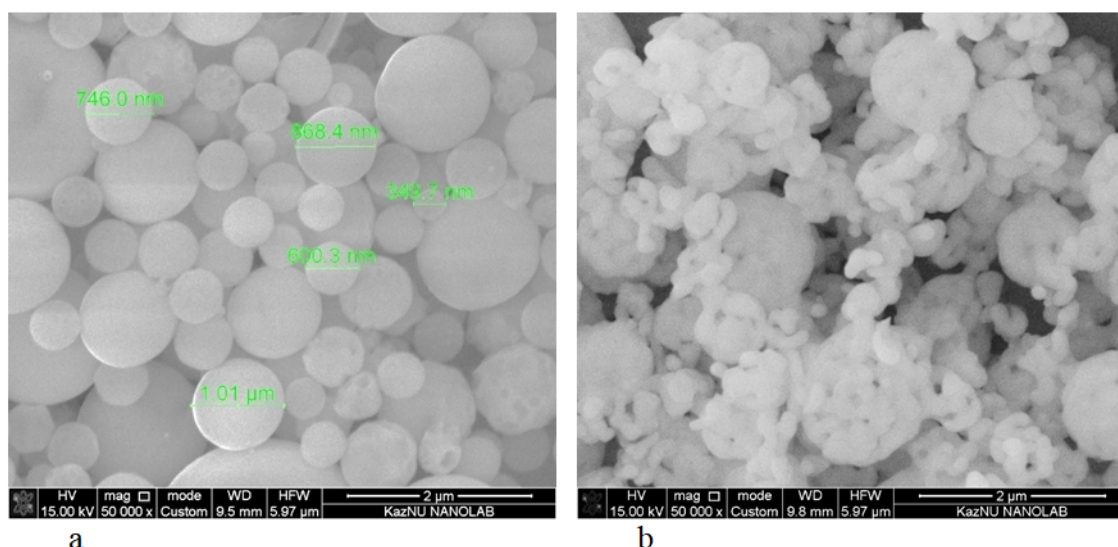


Рисунок 1. СЭМ снимки YAG сразу после синтеза (а) и после отжига (б)

Измерены рамановские спектры комбинационного рассеяния полученных образцов. Как известно, [13] YAG кристаллизуется в кубическую структуру с восемью формульными единицами в элементарной ячейке (четыре формульные единицы в примитивной ячейке). Для O_h -структуры YAG теория групп предсказывает колебательные моды $3A_{1g} + 5A_{2g} + 8E_g + 14T_{1g} + 14T_{2g} + 5A_{1u} + 5A_{2u} + 10E_u + 18T_{1u} + 16T_{2u}$ в центре зоны Бриллюэна, где только моды A_{1g} , E_g и T_{2g} являются раман-активными и T_{1u} моды активны в инфракрасном поглощении [13]. Исследования IR и комбинационного рассеяния проводились для того, чтобы получить более полное представление о структурах образцов YAG.

На рисунке 2 показаны спектры комбинационного рассеяния нанокристаллического порошка YAG, которые аналогичны спектру монокристалла. Для синтезированных образцов с последующим кратковременным отжигом при 1200°C можно видеть полосы комбинационного рассеяния, характерные для YAG. Это хорошо разрешенные полосы на $163, 218, 263, 342, 375, 404\text{ см}^{-1}$, которые можно сравнить с известными из литературы значениями $160, 218, 259, 340, 371, 4001\text{ см}^{-1}$ [13]. Некоторые дополнительные слабые полосы также наблюдаются в спектрах некоторых образцов при $111, 140, 545\text{ см}^{-1}$.

Кристаллическая структура полученных образцов исследована с помощью широкоугольной рентгеновской дифракции (XRD). На рисунке 3 показаны рентгенограммы образцов YAG: Се, отожженных при разных температурах. Позиции дифракционных пиков для шести образцов меняются в зависимости от температуры отжига. При низкой температуре отжига 700°C структура близка к аморфной. Наблюдаются широкие пики.

При повышении температуры отжига до $800-900^{\circ}\text{C}$ структура образцов согласуется с эталоном для гексагонального YAlO_3 (PDF Card No.: 00-054-0621), хотя уже при отжиге 900°C появляются слабые пики кубической фазы $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (PDF Card No.: 00-033-0040). Кубическая фаза $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ становится доминирующей при отжиге $1000-1200^{\circ}\text{C}$.

Все дифракционные пики на рис. 3 могут быть проиндексированы как гексагональная фаза YAlO_3 и кубическая фаза $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Дополнительных примесных фаз не обнаружено.

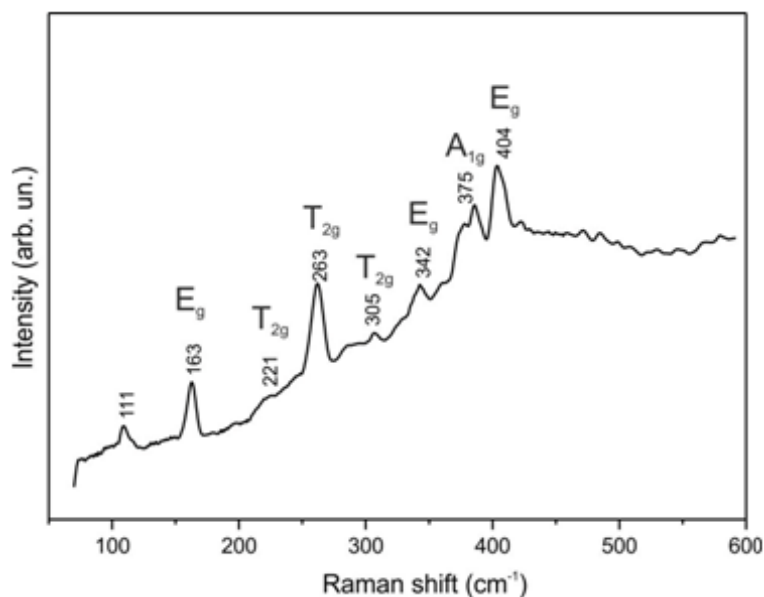


Рисунок 2. Спектр комбинационного рассеяния в образце YAG, синтезированном методом пиролиза аэрозоля, возбуждение лазером с длиной волны 473 нм, температура измерения комнатная

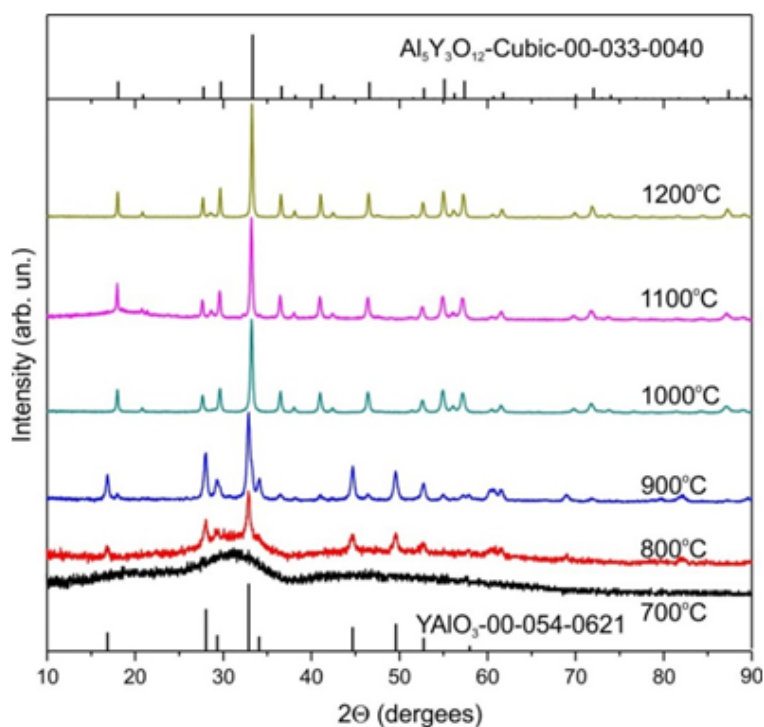


Рисунок 3. XRD результаты для образцов, полученных путем пиролиза аэрозоля при 700 °С, с последующим отжигом на воздухе в течение 30 минут

Это показывает, что включенные ионы Ce^{3+} не изменяют кристаллическую структуру YAG. Тем не менее, положения дифракционных пиков сдвигаются в область малых углов. Это возможно является следствием большого ионного радиуса иона Ce^{3+} , который составляет 1.07 Å, в то время как у ионов Y^{3+} радиус составляет 0.92 Å. Таким образом, чистая фаза YAG может быть успешно получена при кратковременном (30 мин) отжиге до температур 1200 °С, и температура кристаллизации может быть эффективно уменьшена с помощью пиролиза аэрозоля. Самая низкая температура кристаллизации в нашей работе составляет 1000 °С. С увеличением температуры отжига дифракционные пики образца YAG:Ce становятся сильными и резкими, что свидетельствует о повышении кристалличности.

Размер кристаллитов может быть оценен по формуле Шеррера $D = \frac{0.89 \lambda}{\beta \cos \theta}$, где β - уширение линии на половине максимума в радианах, наблюдаемых в экспериментальных XRD спектрах при углах 2θ и $\lambda = 0.1540$ нм – длина волны $K\alpha$ рентгеновского излучения медного анода. Из рисунка 4 видно, что средний размер кристаллических зерен увеличивается с увеличением температуры спекания. Но даже при наиболее высокой температуре 1200°C размер кристаллитов не превышает 30-35 нм, уменьшаясь до ~ 20 нм при низких температурах отжига.

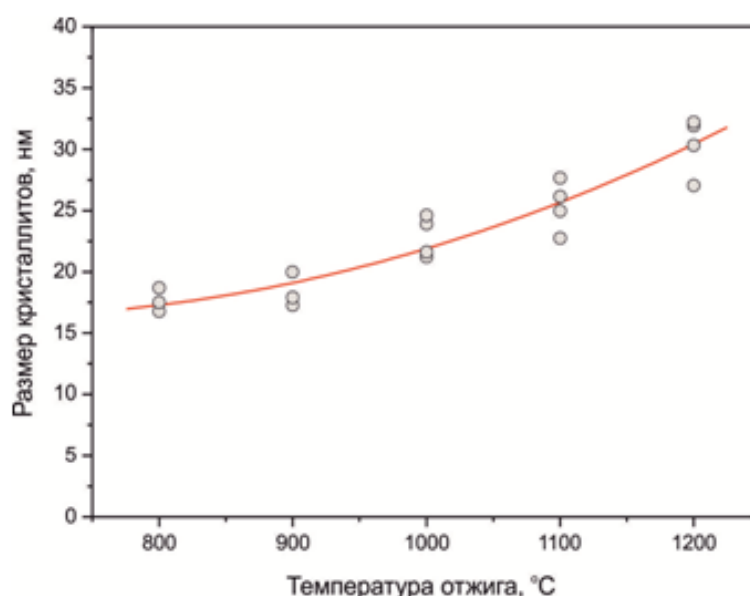


Рисунок 4. Средний размер кристаллитов, определенный из XRD результатов по формуле Шеррера, для образцов YAG в зависимости от температуры отжига в течение 30 минут

Хорошо известно [1], что получение однофазных люминофоров YAG:Ce с высокой степенью кристалличности имеет решающее значение для достижения высокой эффективности ФЛ. Следовательно, можно ожидать, что синтезированный YAG, легированный Ce^{3+} , обладает хорошими фотолюминесцентными свойствами. Из рисунка 5 видно, что спектры ФЛ синтезированных образцов YAG:Ce при возбуждении на длине волны 430 нм состоят из полосы с максимумом при 525 нм.

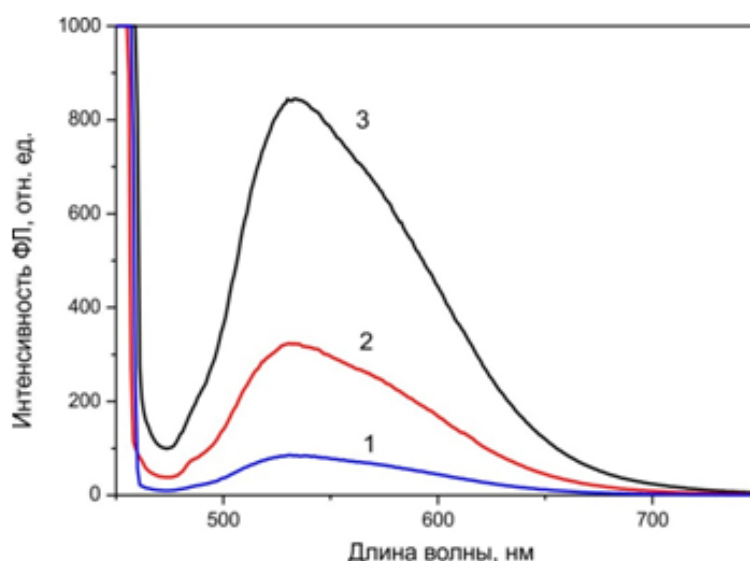


Рисунок 5. Спектры ФЛ образцов, полученных путем пиролиза аэрозоля при 700°C , с последующим отжигом на воздухе при 1200°C в течение 30 минут. Образцы 1, 2, 3 получены при варьировании количества лимонной кислоты в рабочем растворе

На рис. 6а приведено разложение полосы ФЛ на две гауссовы компоненты. Видно, что полуширина двух полос сильно отличается. Такого не ожидается при релаксации с уровня $4f^0 5d^1$ на вырожденный уровень $4f^1$, поскольку эти два перехода имеют близкую природу.

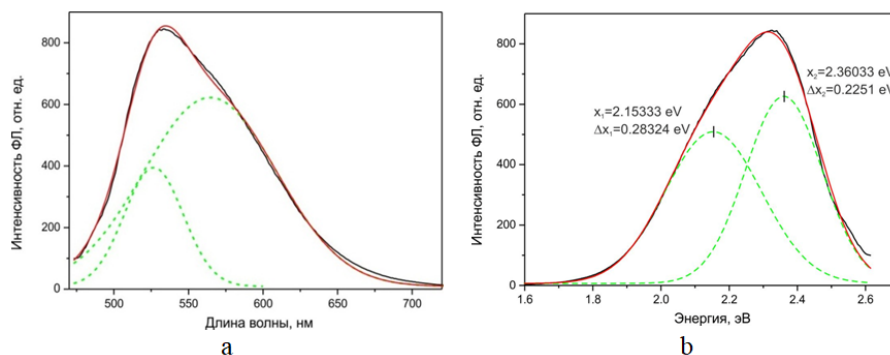


Рисунок 6. Разложение спектра ФЛ, приведенного на рис. 5 под номером 3, на две гауссовы полосы, по оси x отложены длины волн (а) и энергия (и)

Поэтому проведено разложение спектра ФЛ в координатах интенсивность ФЛ-энергия излучения. Результаты (рис. 6b) показывают, что в этом случае две гауссовы полосы ФЛ имеют близкие полуширины: 0.2832 эВ и 0.2251 эВ. Энергия максимума полосы ФЛ хорошо совпадает с известными литературными данными для YAG:Ce, расстояние между компонентами в спектре ФЛ (0.21 эВ) также соответствует литературным данным [14] по переходам $4f^0 5d^1 \rightarrow 4f^1$ на ионе Ce^{3+} . Действительно, ион Ce^{3+} имеет простейшую электронную конфигурацию среди люминесцирующих редкоземельных ионов, он обладает одним электроном на 4f орбитали ($4f^1$). Люминесцентные свойства Ce^{3+} в различных кристаллических матрицах - это результат оптических переходов между основным $4f^1$ состоянием и возбужденным $5d^1$ состоянием. Конфигурация основного состояния $4f^1$ разделяется на два подуровня, $^2F_{5/2}$ и $^2F_{7/2}$, и эти два подуровня разделены примерно на 2000 см^{-1} за счет спин-орбитальной связи. В нашем случае из разложения полосы ФЛ на две линии с максимумами при 2.1533 эВ и 2.3603 эВ расстояние между полосами составляет $\sim 1700 \text{ см}^{-1}$, что весьма близко к литературным данным.

Выводы: отработан простой низкочастотный метод пиролиза аэрозоля для синтеза люминесцирующего YAG:Ce, исследована морфология, рамановские спектры, кристаллическая структура и спектры фотолюминесценции синтезированных образцов в зависимости от условий синтеза и отжига. Показано, что метод пиролиза аэрозоля нитратов иттрия-алюминия-церия с лимонной кислотой является простым и производительным методом синтеза YAG:Ce с интенсивной ФЛ в области видимого света 450-650 нм (белая ФЛ).

Список литературы

- 1 Zhang R. et al. A new-generation color converter for high-power white LED: transparent Ce^{3+} :YAG phosphor-in-glass, *Laser Photon. Rev.* –2014. –Vol. 8(1). –P.158–164. doi.org/10.1002/lpor.201300140.
- 2 Jiang Z. et al. Luminescence and energy transfer of single-phase and color-tunable $\text{Ca}_2\text{Y}_3\text{Sb}_3\text{O}_{14}$: Bi^{3+} , Eu^{3+} phosphor for white light-emitting diodes, *J. Alloys Compd.* –2015. –Vol. 650. –P.598–603. doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.06.263.
- 3 Yan X.S., Li W.W., Wang X.B. & Sun K. Facile synthesis of Ce^{3+} , Eu^{3+} co-doped YAG nanophosphor for white light-emitting diodes, *J. Electrochem. Soc.* –2012. –Vol. 159(2). –P.H195–H200. doi: 10.1149/2.101202jes
- 4 Blasse G. & Bril A. A new phosphor for flying-spot cathod-raytubes for color television: yellow-emitting $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ce}^{3+}$, *Appl. Phys. Lett.* –1967. –Vol.11(2). –P.53–55. doi.org/10.1063/1.1755025
- 5 Yang H.J. et al. Characterization and luminescence properties of YAG: Ce^{3+} phosphors by molten salt synthesis, *J. Am. Ceram. Soc.* –2012. –Vol. 95(1). –P.49–51. doi: 10.1111/j.1551-2916.2011.04948.x
- 6 He G., Mei L., Wang L., Liu G. & Li J. Synthesis and luminescence properties of nano-/microstructured $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ce}^{3+}$ microspheres by controlled glass crystallization, *Cryst.Growth.Des.* –2011. –Vol. 11(12). –P.5355–5361. doi: 10.1021/cg200939p
- 7 Purwanto A. et al. High luminance YAG: Ce nanoparticles fabricated from urea added aqueous precursor by flame process, *J. Alloys Compd.* –2008. –Vol. 463(1). –P.350–357. doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.09.023

- 8 Murai S., Fujita K., Iwata K. & Tanaka K. Scattering-based hole burning in $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ monoliths with hierarchical porous structures prepared via the sol-gel route, J. Phys. Chem. C. –2011. –Vol.115(36). –P. 17676–17681. doi: 10.1021/jp204594c
- 9 Jiao H., Ma Q., He L., Liu Z. & Wu Q. Low temperature synthesis of YAG:Ce phosphors by LiF assisted sol-gel combustion method, Powder Technol. –2010. –Vol.198(2). –P.229–232. doi: 10.1016/j.powtec.2009.11.011
- 10 Blasse, G. Luminescent Materials / G. Blasse, B.C Grabmaier. – Berlin;Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1994. – 241 p.
- 11 George N.C. et al. Local environments of dilute activator ions in the solid-state lighting phosphor $Y_{3-x}Ce_xAl_5O_{12}$, Chem. Mater. –2013. –Vol. 25(20). –P. 3979–3995. doi: 10.1021/cm401598n
- 12 He X., Liu X., Li R., Yang B., Yu K., Zeng M., & Yu R. Effects of local structure of Ce^{3+} ions on luminescent properties of $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ nanoparticles, Scientific Reports. –2016. –Vol.6(1). –P.22238. doi:10.1038/srep22238.
- 13 Lukowiak, R.J. Wiglusz, M. Maczka, P. Gluchowski, W. Strek. IR and Raman spectroscopy study of YAG nanoceramics, Chemical Physics Letters. –2010. –Vol. 494. –P.279–283. doi.org/10.1016/j.cplett.2010.06.033
- 14 Munoz-Garcia, A. B., Barandiaran, Z. & Seijo, L. Antisite defects in Ce-doped YAG ($Y_3Al_5O_{12}$): first-principles study on structures and 4f–5d transitions, J. Mater. Chem. –2012. –Vol. 22(37). –P.19888–19897. doi: 10.1039/C2JM34479C

Ж.К. Калкозова, А.Т. Тулегенова, Х.А. Абдуллин

Ашық түрдегі Ұлттық Нанотехнологиялық Зертхана, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Белсенді фотолуминесценциялы цериймен легирленген ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) алюмоиттрийлік гранаттың жоғары дисперсиялық ұнтағын алу

Аңдатпа: Құрамында алюминий нитраты, иттрий және церий бар ерітіндінен қарапайым төмен шығынды аэрозольді пиролиз әдісімен цериймен легирленген YAG:Ce люминесценциялаушы алюмоиттрийлік гранаттың жоғары дисперсті ұнтағы синтезделді. Алынған үлгілердің синтезден кейінгі және термиялық жасытудан кейінгі кристаллдық құрылымы мен морфологиясы және синтезделген үлгілердің синтез шарттары мен жасытуға тәуелді фотолуминесценциялық спектрлері зерттелді. Белсенді фотолуминесценцияны алу үшін бастапқы ерітіндіге лимон қышқылының айтарлықтай көп мөлшерін қосу керек екендігі көрсетілді. Әдіс көрінетін жарық 450–650 нм аймағында белсенді ФЛ ие YAG:Ce жоғары дисперсті ұнтақтарын синтездеудің қарапайым және өнімді тәсілі болып табылады. **Түйін сөздер:** алюмоиттрийлік гранат, жоғары дисперсті ұнтақ, аэрозольді пиролиз.

Zh.K. Kalkozova, A.T. Tulegenova, Kh.A. Abdullin

National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Preparation of fine powder of cerium doper yttrium aluminum garnet ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) with strong photoluminescence

Abstract: A highly dispersed powder of a luminescent yttrium aluminum garnet doped with cerium (YAG:Ce) was synthesized by a simple low-cost method of pyrolysis of an aerosol containing aluminum, yttrium and cerium nitrate solution. The morphology and crystal structure of the obtained samples were investigated after synthesis and after thermal annealing, the Raman spectra and the photoluminescence spectra of the synthesized samples were investigated depending on the conditions of synthesis and annealing. It is shown that in order to obtain strong photoluminescence, a considerable excess of citric acid has to be added to the initial precursor solution. The method is a simple and productive synthesis of highly dispersed YAG:Ce powder with intense photoluminescence spectrum in the visible light region of 450–650 nm.

Keywords: yttrium aluminum garnet, highly dispersed powder, aerosol pyrolysis

References

- 1 Zhang R. et al. A new-generation color converter for high-power white LED: transparent Ce^{3+} :YAG phosphor-in-glass // LaserPhoton. Rev. **8** (1), 158-164 (2014). doi.org/10.1002/lpor.201300140.
- 2 Jiang Z. et al. Luminescence and energy transfer of single-phase and color-tunable $Ca_2Y_3Sb_3O_{14}:Bi^{3+}, Eu^{3+}$ phosphor for white light-emitting diodes // J. Alloys Compd. **650**, 598-603 (2015). doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.06.263.
- 3 Yan X.S., Li W.W., Wang X.B. & Sun K. Facile synthesis of Ce^{3+} , Eu^{3+} co-doped YAG nanophosphor for white light-emitting diodes // J. Electrochem. Soc. **159** (2), H195–H200 (2012). doi: 10.1149/2.101202jes
- 4 Blasse G. & Bril A. A new phosphor for flying-spot cathod-raytubes for color television: yellow-emitting $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ // Appl. Phys. Lett. **11** (2), 53–55 (1967). doi.org/10.1063/1.1755025
- 5 Yang H.J. et al. Characterization and luminescence properties of YAG: Ce^{3+} phosphors by molten salt synthesis // J. Am. Ceram. Soc. **95** (1), 49–51 (2012). doi: 10.1111/j.1551-2916.2011.04948.x
- 6 He G., Mei L., Wang L., Liu G. & Li J. Synthesis and luminescence properties of nano-/microstructured $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ microspheres by controlled glass crystallization // Cryst.Growth.Des. **11** (12), 5355–5361 (2011). doi: 10.1021/cg200939p
- 7 Purwanto A. et al. High luminance YAG: Ce nanoparticles fabricated from urea added aqueous precursor by flame process // J. Alloys Compd. **463** (1), 350–357 (2008). doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.09.023

- 8 Murai S., Fujita K., Iwata K. & Tanaka K. Scattering-based hole burning in $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ monoliths with hierarchical porous structures prepared via the sol-gel route // J. Phys. Chem. C. **115** (36), 17676–17681 (2011). doi: 10.1021/jp204594c
- 9 Jiao H., Ma Q., He L., Liu Z. & Wu Q. Low temperature synthesis of YAG:Ce phosphors by LiF assisted sol-gel combustion method // Powder Technol. **198** (2), 229–232 (2010). doi: 10.1016/j.powtec.2009.11.011
- 10 Blasse, G. Luminescent Materials / G. Blasse, B.C Grabmaier. (Berlin, Heidelberg: New York: Springer-Verlag, 1994).
- 11 George N.C. et al. Local environments of dilute activator ions in the solid-state lighting phosphor $\text{Y}_{3-x}\text{Ce}_x\text{Al}_5\text{O}_{12}$ // Chem. Mater. **25** (20), 3979–3995 (2013). doi: 10.1021/cm401598n
- 12 He X., Liu X., Li R., Yang B., Yu K., Zeng M., & Yu R. Effects of local structure of Ce^{3+} ions on luminescent properties of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ nanoparticles // Scientific Reports. **6** (1), 22238 (2016). doi:10.1038/srep22238.
- 13 Lukowiak, R.J. Wiglusz, M. Maczka, P. Gluchowski, W. Strek. IR and Raman spectroscopy study of YAG nanoceramics // Chemical Physics Letters. **494**, 279–283 (2010). doi.org/10.1016/j.cplett.2010.06.033
- 14 Munoz-Garcia, A. B., Barandiaran, Z. & Seijo, L. Antisite defects in Ce-doped YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$): first-principles study on structures and 4f–5d transitions // J. Mater. Chem. **22** (37), 19888–19897 (2012). doi: 10.1039/C2JM34479C

Сведения об авторах

Калкозова Ж.К. – к.ф.-м.н., Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Тулегенова А.Т. – докторант 2 курса, Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Абдуллин Х.А. – д.ф.-м.н., профессор, Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Kalkozova Zh.K. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue 71, Almaty, Kazakhstan.

Tulegenova A.T. – PhD student 2 courses, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue 71, Almaty, Kazakhstan.

Abdullin Kh.A. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue 71, Almaty, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 26.06.2019

МРНТИ 29.19.21; 29.19.25; 29.19.19; 29.19.11

А.Е. Рыскулов¹, И.А. Иванов², С.Б. Кислицин², В.В. Углов³,
М.В. Здоровец^{1,2,4}

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

² Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

³ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

⁴ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

(E-mail: ¹ ryskulov_nbd@mail.ru, ² igor.ivanov.inp@gmail.com, ² skislitsin@mail.ru,
³ uglov@bsu.by, ^{1,2,4} mzdorovets@gmail.com)

Влияние облучения тяжелыми ионами Ni¹²⁺ на радиационное дефектообразование в керамиках BeO¹

Аннотация: В данной работе приведены результаты исследования процессов образования и развития радиационных дефектов в материалах на основе оксида бериллия под воздействием облучения ионами Ni¹²⁺ с целью изучения возможности применения их в качестве конструкционных материалов ядерных установок. Облучение проводилось на ускорителе ДЦ-60 ионами Ni¹²⁺ с энергией 100 МэВ и флюенсом облучения 10¹³-10¹⁴ ион/см². Показано, что при малых значениях флюенса облучения, для которых характерно образование одиночных дефектов в структуре, величина параметра кристаллической решетки изменяется незначительно. Увеличение флюенса ионов Ni¹²⁺ обуславливает резкое изменение значений параметра решетки и среднеквадратичного смещения атомов из узлов решетки, вызванное значительным увеличением концентрации искажений в структуре. Установлен экспоненциальный характер изменения величины среднеквадратичных смещений атомов, что объясняется образованием областей перекрывания дефектов при флюенсе облучения 10¹⁴ ион/см² с последующим возникновением в кристаллической структуре огромного количества мигрирующих дефектов, индуцирующих искажение и деформацию структуры вследствие разрыва химических связей.

Ключевые слова: ионы никеля, ионизирующее излучение, радиационные дефекты, оксид бериллия, кристаллическая структура, флюенс, ускоритель.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-107-112>

Введение. Высокая радиационная и химическая стойкость к воздействию различных типов ионизирующего излучения является одним из важнейших параметров применимости конструкционных материалов в ядерной промышленности. Наибольший вклад в изменение структурных, прочностных и теплопроводящих свойств материалов в процессе эксплуатации вносят потоки нейтронов, приводящие к значительному ухудшению физико-химических характеристик материалов [1, 2]. В ядерном реакторе набор дозы более 10¹¹-10¹⁴ нейтрон/см² требует длительного времени экспозиции, при этом в результате взаимодействия с нейтронами материалы становятся радиоактивными и требуют большого времени выдержки, что существенно осложняет изучение возникающих при облучении радиационных дефектов и их последующую эволюцию [3]. Малая доступность исследовательских реакторов и высокий уровень остаточной радиации дали мощный толчок в использовании ускорителей тяжелых ионов для моделирования эффектов облучения нейтронами и наблюдения динамики изменения физико-химических свойств материалов. Таким образом, облучение тяжелыми ионами приводит к структурным модификациям исследуемых материалов вследствие образования каскадных дефектов и последующей быстрой диссипации энергии в приповерхностных областях [4, 5].

Благодаря высокой радиационной, химической, коррозионной стойкости и теплопроводности, а также малому значению сечения поглощения тепловых нейтронов, керамики на основе оксида бериллия (BeO) обладают большим потенциалом применения

¹Работа выполнена в рамках гранта ИРН №АР05133476, финансируемого МОН РК.

в качестве конструкционных материалов атомной и ядерной промышленности. Кроме того, в высокотемпературных ядерных реакторах керамики BeO применяются в качестве замедлителей и отражателей нейтронов [6-8].

В статье представлены результаты исследования влияния облучения тяжелыми ионами Ni^{12+} с энергией 100 МэВ на свойства керамик BeO. Настоящее исследование является частью цикла работ, посвященных изучению влияния ионизирующего излучения на структурные свойства конструкционных материалов, проводимых на базе ускорителя тяжелых ионов ДЦ-60 Астанинского филиала Института ядерной физики МЭ РК [9, 10].

Экспериментальная часть. Исходные образцы представляли собой поликристаллические структуры на основе BeO толщиной 15 мкм. Облучение проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 ионами Ni^{12+} с энергией 100 МэВ и флюенсом 10^{13} - 10^{14} ион/см², что соответствует формированию областей перекрытия дефектов при взаимодействии налетающих ионов с кристаллической структурой. Максимальная длина пробега ионов Ni^{12+} в образцах равна 12.7 ± 0.5 мкм.

Исследование динамики изменения структурных свойств и основных кристаллографических характеристик до и после облучения проводилось методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре D8 ADVANCE ECO (Bruker, Германия) с использованием излучения $CuK\alpha$. Для идентификации фаз и изучения кристаллической структуры использовалось программное обеспечение Bruker AXS DIFFRAC.EVA v.4.2 и международная база данных ICDD PDF-2.

Результаты и обсуждение. Упругие и неупругие столкновения налетающих ионов с атомами кристаллической решетки создают в структуре большую концентрацию первичных дефектов, которые, мигрируя по структуре, способны вызвать образование локальных областей неравновесных дефектов и аморфноподобных включений. Одним из наиболее распространенных методов оценки модификации кристаллической структуры вследствие внешних воздействий является рентгеноструктурный анализ, позволяющий с высокой степенью точности оценить как изменения структурных характеристик, так и динамику изменения искажений и деформации кристаллической решетки во время облучения. На рисунке 1 приведены полученные рентгеновские дифрактограммы исследуемых керамик BeO до и после облучения.

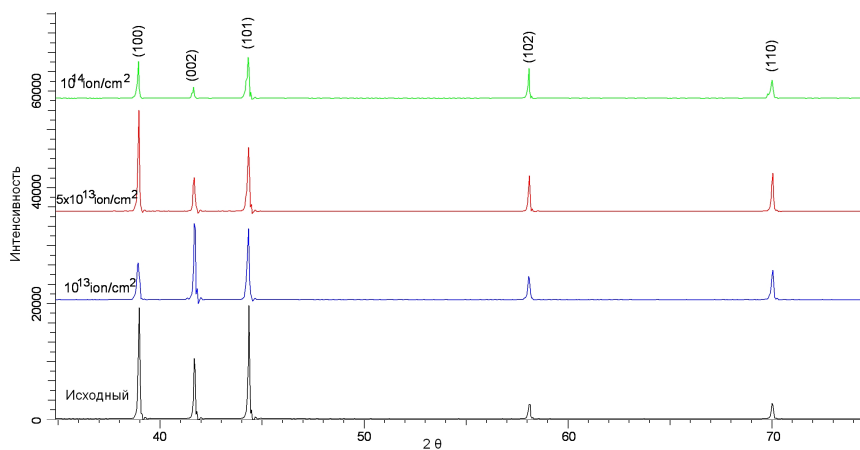


Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы керамик BeO до и после облучения

Исходя из полученных данных, исходный образец представляет собой поликристаллическую структуру с решеткой гексагонального типа и параметрами решетки $a = 2.671$ Å, $c = 4.332$ Å. Рентгеноструктурный анализ исходного образца показывает наличие трех наиболее интенсивных дифракционных максимумов с индексами Миллера (100), (002) и (101), свидетельствующих о наличии трех выделенных направлений формирования текстуры, вдоль которых происходит формирование кристаллитов.

Анализ облученных образцов BeO показывает резкое изменение интенсивности и формы дифракционных максимумов, что в свою очередь указывает на возникновение дополнительных микронапряжений и дефектов в структуре под воздействием облучения. В результате увеличения дозы облучения появляется асимметрия дифракционных пиков, которую можно объяснить образованием областей разупорядоченности в структуре и увеличением вклада от напряжений и искажений кристаллической решетки. Резкое увеличение микроискажений в кристаллической структуре при больших флюенсах облучения обусловлено изменением межплоскостных расстояний, смещением атомов из узлов решетки, а также увеличением концентрации дефектов в решетке вследствие возникновения перекрывающихся областей каскадных дефектов. Облучение тяжелыми ионами с энергией ≥ 100 МэВ приводит к передаче в кристаллическую структуру огромного количества энергии, однако только часть кинетической энергии налетающих частиц и первично выбитых атомов рассеивается в виде потенциальной энергии смещенных атомов. Большая часть энергии сохраняется в виде энергии возбуждения и трансформируется в тепловую, из-за чего в структуре возникает ударная волна, уносящая часть междоузельных атомов из области каскада, образуя тем самым области с пониженной атомной плотностью с формированием областей разупорядоченности или аморфных включений [11, 12]. Смещение максимума дифракционной линии в область малых углов свидетельствует об увеличении межплоскостных расстояний, которое обусловлено миграцией и внедрением выбитых из узлов решетки атомов в междоузлие, а также увеличением концентрации дефектов и локальных областей разупорядоченности в структуре. Изменение формы дифракционной линии может быть следствием двух факторов: размерного эффекта и искажений и деформаций кристаллической решетки [13]. Анализ формы и ширины дифракционных линий методом Вильямса-Холла показал, что для облученных образцов оба фактора имеют равновероятностный характер влияния на изменение структурных свойств.

Одним из способов оценки деформаций и искажений кристаллической структуры в результате внешних воздействий является метод, при котором измеряются изменения параметра кристаллической решетки и величины среднеквадратичных смещений атомов из узлов решетки. Оценка величины смещений проводится путем измерения отношений двух наиболее интенсивных линий одного и того же образца до и после облучения и рассчитывается по формуле:

$$U^2 = 3a^2 \ln \left[\left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{irradiated} / \left(\frac{I_1}{I_2} \right)_{initial} \right] \times \frac{1}{4\pi^2 [(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2) - (h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)]},$$

где a – параметр кристаллической решетки, $(I_1/I_2)_{initial}$, $(I_1/I_2)_{irradiated}$ – отношение интенсивностей дифракционных линий до и после облучения соответственно. На рисунке 2 показаны графики зависимости параметра кристаллической решетки (а) и среднеквадратичной величины смещений атомов из узлов решетки (б) от флюенса облучения.

Увеличение флюенса ионов Ni^{12+} обуславливает резкое изменение значений параметра решетки и среднеквадратичного смещения атомов из узлов решетки, вызванное значительным увеличением концентрации искажений в структуре. Смещение атомов после 10^{-13} с в структуре прекращается, и стартует атермическая перестройка или спонтанная рекомбинация, не связанная с тепловыми возбуждениями атомов. Время жизни спонтанной рекомбинации, в результате которого происходит аннигиляция близлежащих дефектов или рекомбинация дефектов одного типа с последующим образованием комплексов вакансионного или междоузельного типов, равно 10^{-11} с. В случае образования в структуре областей перекрывания дефектов, характерных для флюенсов облучения $5 \times 10^{13} - 10^{14}$ ион/см², процессы образования и накопления дефектов преобладают над процессами их спонтанной рекомбинации и аннигиляции, что приводит к изменению

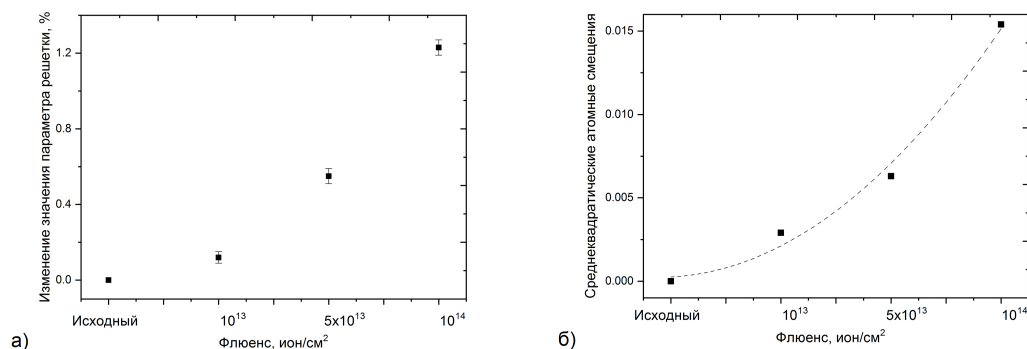


FIGURE 2 – Динамика изменения параметра кристаллической решетки (а) и величины среднеквадратичных смещений атомов (б) в процессе облучения

плотности и степени совершенства керамики [14]. Плотность исследуемой керамики рассчитывалась по формуле:

$$p = \frac{1.6602 \sum AZ}{V_0},$$

где V_0 – объем элементарной ячейки, Z – число атомов в кристаллической ячейке, A – атомный вес. Изменение параметра кристаллической решетки под воздействием облучения приводит к изменению объема элементарной ячейки и, соответственно, степени совершенства решетки. На рисунке 3 представлены графики зависимости плотности и степени совершенства кристаллической структуры керамики BeO от дозы облучения.

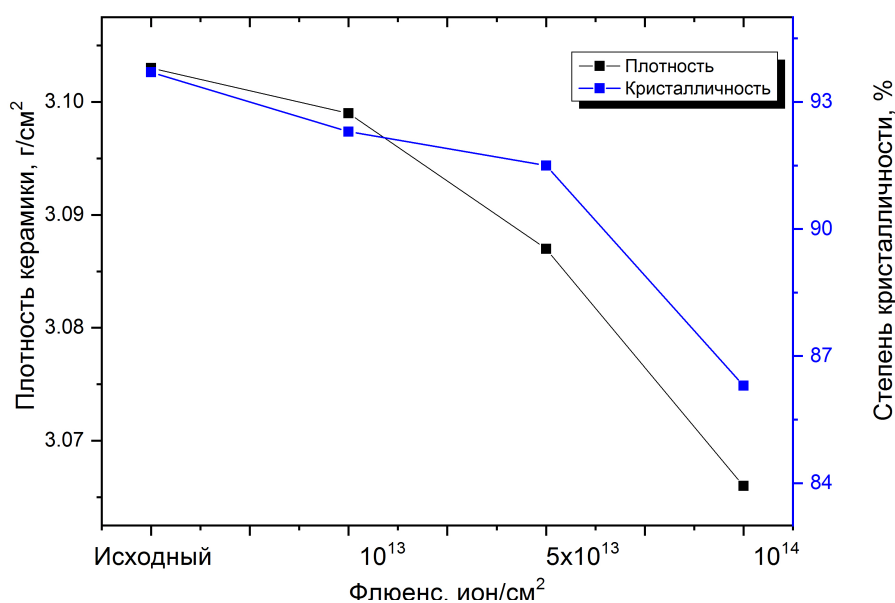


FIGURE 3 – Зависимость плотности и степени совершенства кристаллической структуры от флюенса облучения

Уменьшение плотности и появление большого числа областей разупорядоченности в структуре являются причиной снижения твердости, стрессоустойчивости, радиационной и химической стойкости исследуемых образцов. Резкое уменьшение плотности керамик BeO связано с формированием в структуре большой концентрации точечных дефектов,

мигрирующих в структуре и приводящих к разрыву химических связей и последующему выбиванию атомов из узлов решетки.

Заключение. В данной работе приведены результаты исследования процессов образования и развития радиационных дефектов в материалах на основе оксида бериллия под воздействием облучения ионами Ni^{12+} . Выбор ионов никеля с энергией 100 МэВ обусловлен возможностью моделировать воздействие излучения на глубину приповерхностного слоя более 10–12 мкм и создавать радиационные дефекты, которые сравнимы с нейтронным воздействием на материал. Рентгеноструктурный анализ установил экспоненциальный характер изменения величины среднеквадратичных смещений атомов из узлов решетки, оказывающий значительное влияние на искажение и деформацию кристаллической структуры в случае образования областей перекрытия дефектов при больших флюенсах облучения.

Список литературы

- 1 Weber W.J. et al. Ion Beam Modification of Materials // *Current Opinion in Solid State and Materials Science* - 2015. - V. 19, № 1. - P. 1–68.
- 2 Zinkle S.J. et al. On the conflicting roles of ionizing radiation in ceramics // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* - 2002. - V. 191, № 1–4. - P. 758–766.
- 3 Dienst W. Reduction of the mechanical strength of Al_2O_3 , AlN and SiC under neutron irradiation // *Journal of Nuclear Materials* - 1992. - V. 191–194 (A). - P. 555–559.
- 4 Tishkevich D.I. et al. Function composites materials for shielding applications: Correlation between phase separation and attenuation properties // *Journal of Alloys and Compounds* - 2019. - V. 771. - P. 238–245.
- 5 Jin K. et al. Electronic stopping powers for heavy ions in SiC and SiO_2 // *Journal of Applied Physics* - 2014. - V. 115. - P. 044903.
- 6 Ferré F.G. et al. Corrosion and radiation resistant nanoceramic coatings for lead fast reactors // *Corrosion Science* - 2017. - V. 124. - P. 80–92.
- 7 Jain I.P., Agarwal G. Ion beam induced surface and interface engineering // *Surface Science Reports* - 2011. - V. 66, № 3–4. - P. 77–172.
- 8 Sina Y. et al. Ion beam induced epitaxial crystallization of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ at room temperature // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* - 2014. - V. 321. - P. 8–13.
- 9 Obradović M. et al. Effects of helium ion irradiation on bubble formation in AlN/TiN multilayered system // *Thin Solid Films* - 2015. - V. 591 (B). - P. 164–168.
- 10 Cao C. et al. Effects of isothermal annealing on the oxidation behavior, mechanical and thermal properties of AlN ceramics // *Ceramics International* - 2017. - V. 43, № 12. - P. 9334–9342.
- 11 Trinkler L. et al. Stimulated luminescence of AlN ceramics induced by ultraviolet radiation // *Radiation Measurements* - 2001. - V. 33, № 5. - P. 731–735.
- 12 Kozlovskiy A.L. et al. Investigation of the influence of irradiation with Fe^{+7} ions on structural properties of AlN ceramics // *Materials Research Express* - 2018. - V. 5, № 6. - P. 065502.
- 13 Ranasinghe J.I. et al. Study on Radial Temperature Distribution of Aluminum Dispersed Nuclear Fuels: $\text{U}_3\text{O}_8\text{-Al}$, $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, and UN-Al // *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science* - 2018. - V. 4, № 3. - P. 031020.
- 14 Kozlovskiy A. et al. Dynamics of changes in structural properties of AlN ceramics after Xe^{+22} ion irradiation // *Vacuum* - 2018. - V. 155. - P. 412–422.

А.Е. Рысқұлов, И.А. Иванов, С.Б. Кислицин, В.В. Углов, М.В. Здоровец, А.Е. Рысқұлов¹,
И.А. Иванов², С.Б. Кислицин², В.В. Углов³, М.В. Здоровец^{1,2,4}

¹ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

² Қазақстан Республикасының Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

³ Беларусь мемлекеттік университеті, Минск, Беларусь

⁴ Ресей Федерациясының түңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Екатеринбург, Ресей

Ni^{12+} ауыр иондармен сәулелендірудің ВеО керамикада ақаулардың қалыптасуына әсері

Аңдатпа: Бұл жұмыста ядролық қондырғылардың құрылымдық материалдар ретінде пайдалану мүмкіндігін зерттеу мақсатында Ni^{12+} иондаушы сәулелену әсерінен бериллий оксидінің негізінде материалдардағы радиациялық ақаулардың қалыптастыру және даму үдерісін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сәулелену үдерісі энергиясы 100 МэВ және флюенсы 10^{13} – 10^{14} ион/см² Ni^{12+} иондар арқылы DC-60 үдеткіште өткізілді. Құрылымдағы бірыңғай ақаулардың пайда болуымен сипатталатын сәулелену флюенстің шағын мәндері үшін кристалдық тордың параметрі шамалы өзгереді. Ni^{12+} иондардың флюенсі ұлғайтуы құрылымдағы бұрмалаулар концентрациясының елеулі өсуіне байланысты тор параметрінің және тор түйінінен атомдардың орташа квадраттық

ығысуының күрт өзгеруін қамтамасыз етеді. Атомдардың орташа квадраттық ығысуы өзгерудің экспоненталық сипаты анықталды. Бұны, сәулелену флюенсі 10^{14} ион/см² болатын кезде, қабаттасатын ақаулар аумақтары қалыптасуы арқылы түсіндіреді. Химиялық байланыстарды бұзу салдарынан кристалдық құрылыстағы бұрмалауды және деформацияны тудыратын көптеген өтпелі ақаулар қалыптастырады.

Түйін сөздер: никель иондары, иондаушы сәулелену, радиациялық ақаулар, бериллий оксиді, кристалдық құрылым, флюенс, үдеткіш.

A.E. Ryskulov, I.A. Ivanov, S.B. Kislitsin, V.V. Uglov, M.V. Zdorovets, A.E. Ryskulov¹, I.A. Ivanov², S.B. Kislitsin², V.V. Uglov³, M.V. Zdorovets^{1,2,4}

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

² The Institute of Nuclear Physics of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

³ Belarusian State University, Minsk, Belarus

⁴ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The effect of Ni¹²⁺ heavy ion irradiation on radiation defect formation in BeO ceramics

Abstract: Given paper presents study results of radiation defect formation and development processes in materials based on beryllium oxide under Ni¹²⁺ ion irradiation in order to study the possibility of using them as structural materials for nuclear facilities. The irradiation was carried out at the DC-60 accelerator by Ni¹²⁺ ions with an energy of 100 MeV and irradiation fluence of 10^{13} – 10^{14} ions/cm². It is shown that for small irradiation fluences, which are characterized by single defect formation in the structure, the value of crystal lattice parameter varies slightly. An increase in fluence of Ni¹²⁺ ions determines a sharp change in values of lattice parameter and root-mean-square (rms) atomic displacement from lattice sites, caused by a significant increase in concentration of distortions in the structure. An exponential character of changes in the rms atomic displacements is established, which is explained by formation of defect overlap areas at irradiation fluence of 10^{14} ions/cm² with following appearance in crystal structure of a huge number of migrating defects inducing distortion and deformation of the structure due to chemical bonds breakage.

Keywords: nickel ions, ionizing radiation, radiation defects, beryllium oxide, crystal structure, fluence, accelerator.

References

- 1 Weber W.J. *et al.* Ion Beam Modification of Materials. Current Opinion in Solid State and Materials Science. 19(1), 1–68 (2015).
- 2 Zinkle S.J. *et al.* On the conflicting roles of ionizing radiation in ceramics. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 191(1–4), 758–766 (2002).
- 3 Dienst W. Reduction of the mechanical strength of Al₂O₃, AlN and SiC under neutron irradiation. Journal of Nuclear Materials. 191–194(A), 555–559 (1992).
- 4 Tishkevich D.I. *et al.* Function composites materials for shielding applications: Correlation between phase separation and attenuation properties. Journal of Alloys and Compounds. 771, 238–245 (2019).
- 5 Jin K. *et al.* Electronic stopping powers for heavy ions in SiC and SiO₂. Journal of Applied Physics. 115, 044903 (2014).
- 6 Ferré F.G. *et al.* Corrosion and radiation resistant nanoceramic coatings for lead fast reactors. Corrosion Science. 124, 80–92 (2017).
- 7 Jain I.P., Agarwal G. Ion beam induced surface and interface engineering. Surface Science Reports. 66(3–4), 77–172 (2011).
- 8 Sina Y. *et al.* Ion beam induced epitaxial crystallization of α -Al₂O₃ at room temperature. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 321, 8–13 (2014).
- 9 Obradović M. *et al.* Effects of helium ion irradiation on bubble formation in AlN/TiN multilayered system. Thin Solid Films. 591(B), 164–168 (2015).
- 10 Cao C. *et al.* Effects of isothermal annealing on the oxidation behavior, mechanical and thermal properties of AlN ceramics. Ceramics International. 43(12), 9334–9342 (2017).
- 11 Trinkler L. *et al.* Stimulated luminescence of AlN ceramics induced by ultraviolet radiation. Radiation Measurements. 33(5), 731–735 (2001).
- 12 Kozlovskiy A.L. *et al.* Investigation of the influence of irradiation with Fe⁺⁷ ions on structural properties of AlN ceramics. Materials Research Express. 5(6), 065502 (2018).
- 13 Ranasinghe J.I. *et al.* Study on Radial Temperature Distribution of Aluminum Dispersed Nuclear Fuels: U₃O₈-Al, U₃Si₂-Al, and UN-Al. Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science. 4(3), 031020 (2018).
- 14 Kozlovskiy A. *et al.* Dynamics of changes in structural properties of AlN ceramics after Xe⁺²² ion irradiation. Vacuum. 155, 412–422 (2018).

Сведения об авторах:

Рыскулов А.Е. - докторант 2 курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Иванов И.А. - начальник циклотрона ДЦ-60, Астанинский филиал Института ядерной физики, пр. Абылай хана, 2/1, Нур-Султан, Казахстан.

Кислицин С.Б. - кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией прикладного и теоретического материаловедения, Институт ядерной физики, ул. Ибрагимова, 1, Алматы, Казахстан.

Углов В.В. - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела, Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск, Беларусь.

Здоровец М.В. - кандидат физико-математических наук, доцент международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, директор Астанинского филиала Института ядерной физики, пр. Абылай хана, 2/1, Нур-Султан, Казахстан.

Ryskulov A.E. - 2nd year PhD student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Ivanov I.A. - Head of cyclotron DC-60, Nur-Sultan branch of the Institute of Nuclear Physics, 2/1 Abylai Khan ave., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kislitsin S.B. - candidate of physical and mathematical sciences, Head of the Laboratory of Theoretical and Applied Material Science, the Institute of Nuclear Physics, 1 Ibragimov str., Almaty, Kazakhstan.

Uglov V.V. - doctor of physical and mathematical sciences, Professor, Head of the Department of Solid State Physics, Belarusian State University, 4 Nezavisimosti ave., Minsk, Belarus.

Zdorovets M.V. - candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor at the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, director of the Nur-Sultan branch of the Institute of Nuclear Physics, 2/1 Abylai Khan ave., Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017

«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы» журналында мақала жариялау ережесі

Журнал редакциясы авторларға осы нұсқаулықпен толық танысып, журналға мақала әзірлеу мен дайын мақаланы журналға жіберу кезінде басшылыққа алуды ұсынады. Бұл нұсқаулық талаптарының орындалмауы сіздің мақалаңыздың жариялануын кідіртеді.

1. Журнал мақсаты. Физика мен астрономия салаларының теориялық және эксперименталды зерттелулері бойынша мұқият тексеруден өткен ғылыми құндылығы бар мақалалар жариялау.

2. Баспаға (барлық жариялаушы авторлардың қол қойылған қағаз нұсқасы және электронды нұсқа) журналдың түпнұсқалы стильдік файлының міндетті қолданысымен LaTeX баспа жүйесінде дайындалған Tex- пен Pdf-файлындағы жұмыстар ұсынылады. Стильдік файлды *bulphysast.enu.kz* журнал сайтынан жүктеп алуға болады. Сонымен қатар, автор(лар) ілеспе хат ұсынуы керек.

3. Автордың қолжазбаны редакцияға жіберуі мақаланың Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысында басуға келісін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісін білдіреді. Автор мақаланы редакцияға жіберу арқылы автор туралы мәліметтің дұрыстығына, мақала көшірілмегендігіне (плагиаттың жоқтығына) және басқа да заңсыз көшірмелердің жоқтығына кепілдеме береді.

4. Мақаланың көлемі 18 беттен аспауға тиіс (6 беттен бастап).

FTAMPK <http://grnti.ru/>

Автор(лар)дың аты-жөні

Мекеменің толық атауы, қаласы, мемлекеті (егер авторлар әртүрлі мекемеде жұмыс жасайтын болса, онда әр автор мен оның жұмыс мекемесі қасында бірдей белгі қойылу керек)

Автор(лар)дың E-mail-ы

Мақала атауы

Аңдатпа (100-200 сөз; күрделі формулаларсыз, мақаланың атауын мейлінше қайталамауы қажет; әдебиеттерге сілтемелер болмауы қажет; мақаланың құрылысын (кіріспе мақаланың мақсаты/ міндеттері /қарастырылып отырған сұрақтың тарихы /зерттеу /әдістері нәтижелер/талқылау, қорытынды) сақтай отырып, мақаланың қысқаша мазмұны берілуі қажет).

Түйін сөздер (6-8 сөз не сөз тіркесі. Түйін сөздер мақала мазмұнын көрсетіп, мейлінше мақала атауы мен аннотациядағы сөздерді қайталамай, мақала мазмұнындағы сөздерді қолдану қажет. Сонымен қатар, ақпараттық-ізвестіру жүйелерінде мақаланы жеңіл табуға мүмкіндік беретін ғылым салаларының терминдерін қолдану қажет).

Негізгі мәтін мақаланың мақсаты/ міндеттері/ қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды бөлімдерін қамтуы қажет.

5. Таблица, суреттер – Жұмыстың мәтінінде кездесетін таблицалар мәтіннің ішінде жеке нөмірленіп, мәтін көлемінде сілтемелер түрінде көрсетілуі керек. Суреттер мен графиктер PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX форматындағы стандарттарға сай болуы керек. Нүктелік суреттер кеңейтілімі 600 dpi кем болмауы қажет. Суреттердің барлығы да айқын әрі нақты болуы керек.

Мақаладағы **формулалар** тек мәтінде оларға сілтеме берілсе ғана номерленеді.

Жалпы қолданыста бар **аббревиатуралар** мен **қысқартулардан** басқалары міндетті түрде алғаш қолданғанда түсіндірілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетке көрсетіледі.

6. Жұмыста қолданылған әдебиеттер тек жұмыста сілтеме жасалған түпнұсқалық көрсеткішке сай (сілтеме беру тәртібінде немесе ағылшын әліпбиі тәртібі негізінде толтырылады) болуы керек. Баспадан шықпаған жұмыстарға сілтеме жасауға тұйым салынады.

Сілтемені беруде автор қолданған әдебиеттің бетінің нөмірін көрсетпей, келесі нұсқаға сүйеніңіз дұрыс: тараудың номері, бөлімнің номері, тармақтың номері, теораманың (лемма, ескерту, формуланың және т.б.) номері көрсетіледі. Мысалы: қараңыз [3; § 7, лемма 6]», «...қараңыз [2; 5 теоремадағы ескерту]». Бұл талап орындалмаған жағдайда мақаланы ағылшын тіліне аударғанда сілтемелерде қателіктер туындауы мүмкін.

Әдебиеттер тізімін рәсімдеу мысалдары

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. –М: Физматлит, –1994, –376 стр. – **кітап**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики –2014. –Т.54. № 7. –С. 1059-1077. – **мақала**

3 Жұбанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. – **конференция еңбектері**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. –Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. –С.7. – **газеттік мақала**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semi.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). – **электронды журнал**

7. Әдебиеттер тізімінен соң автор өзінің библиографиялық мәліметтерін орыс және ағылшын тілінде (егер мақала қазақ тілінде орындалса), қазақ және ағылшын тілінде (егер мақала орыс тілінде орындалса), орыс және қазақ тілінде (егер мақала ағылшын тілінде орындалса) жазу қажет. Соңынан транслиттік аударма мен ағылшын тілінде берілген әдебиеттер тізімінен соң әр автордың жеке мәліметтері (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде – ғылыми атағы, қызметтік мекенжайы, телефоны, e-mail-ы) беріледі.

8. Редакцияға түскен мақала жабық (анонимді) тексеруге жіберіледі. Барлық рецензиялар авторларға жіберіледі. Автор (рецензент мақаланы түзетуге ұсыныс берген жағдайда) үш күн аралығында қайта қарап, қолжазбаның түзетілген нұсқасын редакцияға қайта жіберуі керек. Рецензент жарамсыз деп таныған мақала қайтара қарастырылмайды. Мақаланың түзетілген нұсқасы мен автордың рецензентке жауабы редакцияға жіберіледі.

9. Төлемақы. Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі 2018 жылы 4500 тенге – ЕҰҰ қызметкерлері үшін және 5500 тенге басқа ұйым қызметкерлеріне.

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Provision on articles submitted to the journal "Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series"

The journal editorial board asks the authors to read the rules and adhere to them when preparing the articles, sent to the journal. Deviation from the established rules delays the publication of the article.

1. Purpose of the journal. Publication of carefully selected original scientific.

2. The scientific publication office accepts the article (in electronic and printed, signed by the author) in Tex- and Pdf-files, prepared in the LaTeX publishing system with mandatory use of the original style log file. The style log file can be downloaded from the journal website *bulphysast.enu.kz*. And you also need to provide the cover letter of the author(s). Language of publications: Kazakh, Russian, English.

3. Submission of articles to the scientific publication office means the authors' consent to the right of the Publisher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, to publish articles in the journal and the republication of it in any foreign language. Submitting the text of the work for publication in the journal, the author guarantees the correctness of all information about himself, the lack of plagiarism and other forms of improper borrowing in the article, the proper formulation of all borrowings of text, tables, diagrams, illustrations.

4. The volume of the article should not exceed 18 pages (from 6 pages).

5. Structure of the article

GRNTI <http://grnti.ru/>

Initials and Surname of the author (s)

Full name of the organization, city, country (if the authors work in different organizations, you need to put the same icon next to the name of the author and the corresponding organization)

Author's e-mail (s)

Article title

Abstract (100-200 words, it should not contain a big formulas, the article title should not repeat in the content, it should not contain bibliographic references, it should reflect the summary of the article, preserving the structure of the article - introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results /discussion, conclusion).

Key words (6-8 words/word combination. Keywords should reflect the main content of the article, use terms from the article, as well as terms that define the subject area and include other important concepts that make it easier and more convenient to find the article using the information retrieval system).

The main text of the article should contain an introduction/ problem statement/ goals/ history, research methods, results / discussion, conclusion. Tables, figures should be placed after the mention. Each illustration should be followed by an inscription. Figures should be clear, clean, not scanned.

Tables are included directly in the text of the article; it must be numbered and accompanied by a reference to them in the text of the article. Figures, graphics should be presented in one of the standard formats: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Bitmaps should be presented with a resolution of 600 dpi. All details must be clearly shown in the figures.

In the article, only those **formulas** are numbered, to which the text has references.

All **abbreviations**, with the exception of those known to be generally known, must be deciphered when first used in the text.

Information on **the financial** support of the article is indicated on the first page in the form of a footnote.

6. The list of literature should contain only those sources (numbered in the order of quoting or in the order of the English alphabet), which are referenced in the text of the article. References to unpublished issues, the results of which are used in evidence, are not allowed. Authors are recommended to exclude the reference to pages when referring to the links and guided by the following template: chapter number, section number, paragraph number, theorem number (lemmas, statements, remarks to the theorem, etc.), number of the formula. For example, "... see [3, § 7, Lemma 6]"; "... see [2], a remark to Theorem 5". Otherwise, incorrect references may appear when preparing an English version of the article.

Template

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр.-**book**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **journal article**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - - **Conferences proceedings**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. **newspaper articles**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **Internet resources**

7. At the end of the article, after the list of references, it is necessary to indicate bibliographic data in Russian and English (if the article is in Kazakh), in Kazakh and English (if the article is in Russian) and in Russian and Kazakh languages (if the article is English language). Then a combination of the English-language and transliterated parts of the references list and information about authors (scientific degree, office address, telephone, e-mail - in Kazakh, Russian and English) is given.

8. Work with electronic proofreading. Articles received by the Department of Scientific Publications (editorial office) are sent to anonymous review. All reviews of the article are sent to the author. The authors must send the proof of the article within three days. Articles that receive a negative review for a second review are not accepted. Corrected versions of articles and the author's response to the reviewer are sent to the editorial office. Articles that have positive reviews are submitted to the editorial boards of the journal for discussion and approval for publication.

Periodicity of the journal: 4 times a year.

9. Payment. Authors who have received a positive conclusion for publication should make payment on the following requisites (for ENU employees - 4,500 tenge, for outside organizations - 5,500 tenge):

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Физика. Астрономия»

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

1. Цель журнала. Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по актуальным проблемам теоретических и экспериментальных исследований в области физики и астрономии.

2. В редакцию (в бумажном виде, подписанном всеми авторами и в электронном виде) представляются Tex- и Pdf-файлы работы, подготовленные в издательской системе LaTeX, с обязательным использованием оригинального стилевого файла журнала. Стилистовый файл можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить сопроводительное письмо.

Язык публикаций: казахский, русский, английский.

3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.

4. Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

5. Схема построения статьи

ГРНТИ <http://grnti.ru/>

Инициалы и фамилия автора(ов)

Полное наименование организации, город, страна (если авторы работают в разных организациях, необходимо поставить одинаковый значок около фамилии автора и соответствующей организации)

E-mail автора(ов)

Название статьи

Аннотация (100-200 слов; не должна содержать громоздкие формулы, по содержанию повторять название статьи; не должна содержать библиографические ссылки; должна отражать краткое содержание статьи, сохраняя структуру статьи – введение/ постановка задачи/ цели/ история, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы).

Ключевые слова (6-8 слов/словосочетаний). Ключевые слова должны отражать основное содержание статьи, использовать термины из текста статьи, а также термины, определяющие предметную область и включающие другие важные понятия, позволяющие облегчить и расширить возможности нахождения статьи средствами информационно-поисковой системы).

Основной текст статьи должен содержать введение/ постановку задачи/ цели/ историю, методы исследования, результаты/обсуждение, заключение/выводы.

Таблицы включаются непосредственно в текст работы, они должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте работы. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

6. Список литературы должен содержать только те источники (пронумерованные в порядке цитирования или в порядке английского алфавита), на которые имеются ссылки в тексте работы. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются.

Авторам рекомендуется при оформлении ссылок исключить упоминание страниц и руководствоваться следующим шаблоном: номер главы, номер параграфа, номер пункта, номер теоремы (леммы, утверждения, замечания к теореме и т.п.), номер формулы. Например, "... см. [3; § 7, лемма 6]"; "... см. [2; замечание к теореме 5]". В противном случае при подготовке англоязычной версии статьи могут возникнуть неверные ссылки.

Примеры оформления списка литературы

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр. - **книга**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **статья**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - **труды конференции**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. - **газетная статья**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

7. После списка литературы, необходимо указать библиографические данные на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке). Затем приводится комбинация англоязычной и транслитерированной частей списка литературы и сведения по каждому из авторов (научное звание, служебный адрес, телефон, e-mail - на казахском, русском и английском языках).

8. Работа с электронной корректурой. Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статьям отправляются автору. Авторам в течение трех дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

Периодичность журнала: 4 раза в год.

9.Оплата. Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию, необходимо произвести оплату по следующим реквизитам (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге): Реквизиты:

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: KСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев², А.Б. Утесов³¹ Институт теоретической математики и научных вычислений Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан² Актыбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан(Email: ¹ axaulezh@mail.ru, ² ntmath10@mail.ru, ³ adilzhan_71@mail.ru)**Численное дифференцирование функций в контексте Компьютерного (вычислительного) перечника**

Введение

Текст введения...

Авторам не следует использовать нестандартные пакеты LaTeX (используйте их лишь в случае крайней необходимости)

Заголовок секции

1.1 Заголовок подсекции

Окружения.

Теорема 1. ...

Лемма 1. ...

Предложение 1. ...

Определение 1. ...

Следствие 1. ...

Замечание 1. ...

Теорема 2 (Темиргалиев Н. [2]). Текст теоремы.

Доказательство. Текст доказательства.

2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N\left(\varepsilon_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N\right)\right)_Y, \quad (1)$$

где $\delta_N(\varepsilon_N; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; (l^{(N)}, \varphi_N))_Y \equiv$

$$\equiv \sup_{\substack{f \in F \\ |\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau=1, \dots, N)}} \left\| Tf(\cdot) - \varphi_N \left(l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N^{(1)}, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N^{(N)}; \cdot \right) \right\|_Y.$$

Таблицы, рисунки необходимо располагать после упоминания. С каждой иллюстрацией должна следовать надпись.

Таблица 1 – Название таблицы

Простые	Не простые
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29	4, 6, 8, 9, 10, 12, 14

3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема 2, Формула (1)

Для руководства по ЛАТЭХ и в качестве примера оформления ссылок, см., например, Львовский С.М. Набор и верстка в пакете ЛАТЭХ. Москва: Космосинформ, 1994.

Список литературы оформляется следующим образом.



FIGURE 1 – Название рисунка

Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Темирғалиев Н. Компьютерный (вычислительный) поперечник как синтез известного и нового в численном анализе // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева –2014. –Т.4. №101. –С. 16-33. doi: ... **(при наличии) - статья**
- 3 Жұбанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященная 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. - **труды конференций**
- 4 Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гиполипидемическая активность леукомизина. –Алматы: Бастау, 2007. –С. 3-5 - **газетные статьи**
- 5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**

А.Ж. Жұбанышева¹, Н. Темірғалиев¹, А.Б. Утесов²

¹ Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің теориялық математика және ғылыми есептеулер институты, Астана, Қазақстан

² Қ.Жұбанов атындағы. Ақтөбе өңірлік мемлекеттік. университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде функцияларды сандық дифференциалдау

Аннотация: Компьютерлік (есептеуіш) диаметр мәнінде Соболев класында жататын функцияларды олардың тригонометриялық Фурье-Лебега коэффициенттерінің ақырлы жиынынан алынған дәл емес ақпарат бойынша жуықтау есебі толығымен шешілді [100-200 сөздер].

Түйін сөздер: жуықтап дифференциалдау, дәл емес ақпарат бойынша жуықтау, шектік қателік, Компьютерлік (есептеуіш) диаметр [6-8 сөз/сөз тіркестері].

A.Zh.Zhubanysheva¹, N. Temirgaliyev¹, A.B. Utesov²

¹ Institute of theoretical mathematics and scientific computations of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

² K.Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan

Numerical differentiation of functions in the context of Computational (numerical) diameter

Abstract: The computational (numerical) diameter is used to completely solve the problem of approximate differentiation of a function given inexact information in the form of an arbitrary finite set of trigonometric Fourier coefficients. [100-200 words]

Keywords: approximate differentiation, recovery from inexact information, limiting error, computational (numerical) diameter, massive limiting error. [6-8 words/word combinations]

References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislennoy analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Temirgaliyev N. Komp'yuternyy (vychislitel'nyy) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislennoy analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evraziyskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University], 4 (101), 16-33 (2014). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., Abikenova Sh.K. O normah proizvodnykh funktsiy s nulevymi znacheniyami zadannogo nabora lineynykh funktsionalov i ih primeneniya k poperechnikovym zadacham [About the norms of the derivatives of functions with zero values of a given set of linear functionals and their application to the width problems]. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii, posvjashhennaya 110-letiju so dnja rozhdeniya akademika

- S.M.Nikol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcij" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skii]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]
- 4 Kurmukov A. A. Angioprotekturnaja i gipolipidemicheskaja aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Kyrov V.A., Mihajlichenko G.G. Analiticheskij metod vlozhenija simplekticheskoy geometrii [The analytic method of embedding symplectic geometry], Cibirskie jelektronnye matematicheskie izvestija [Siberian Electronic Mathematical Reports], **14**, 657-672 (2017). doi: 10.17377/semi.2017.14.057. Available at: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. [in Russian]. (accessed 08.01.2017).

Сведения об авторах:

Жубанышева А.Ж. - старший научный сотрудник Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Темирғалиев Н. - директор Института теоретической математики и научных вычислений, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Утесов А.Б. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики, Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, пр. А.Молдагуловой, 34, Актөбе, Казахстан.

Zhubanysheva A.Zh. - Senior researcher of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Temirgaliyev N. - Head of the Institute of theoretical mathematics and scientific computations, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Utesov A.B. - candidate of physical and mathematical sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, K.Zhubanov Aktobe Regional State University, A.Moldagulova Prospect, 34, Aktobe, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017

Редакторы: А.Т. Ақылбеков

Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.
-2019 - 3(128) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 175-б.
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана.

Мазмұнына типография жауап бермейді.

Редакция мекен-жайы: 010008, Нұр-Сұлтан: қ.,
Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(7172) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды