

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

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

Бас редактордың орынбасары

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

Редакция алқасы

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

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

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген: А. Нұрболат

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

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

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

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

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

Responsible secretary, computer layout: A.Nurbolat

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.

PHYSICS. ASTRONOMY Series

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

Periodicity: 4 times a year

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

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

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

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

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

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

Зам. главного редактора

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

Редакционная коллегия

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

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

Ответственный секретарь, компьютерная верстка: А. Нурболат

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

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

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

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

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

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

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

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

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

№4(129)/2019

CONTENTS

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

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

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

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

Ж.Т. Карипбаев^{1,2}, А.У. Абуова¹, Г.К. Алпысова¹, К.М. Сәрсенғалиева¹,
К.А. Байжолов¹, А.Б. Кукунова¹, М.В. Здоровец³

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

^{1,2} *Томский политехнический университет, Томск, Россия*

³ *Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан*

(E-mail: Fatika_82@mail.ru)

Люминесценция кристаллов $ZnWO_4$ с введенным кислородом

Аннотация: Приведены результаты исследования спектральных характеристик фото- и катодолюминесценции кристаллов вольфрамата цинка, подвергнутых термической обработке в атмосфере кислорода или облучению потоками высокоэнергетических ионов кислорода. Введение кислорода приводит к снижению эффективности фотолюминесценции. Кроме того, введение посредством термической обработки приводит и к изменению спектра возбуждения. Предполагается, что наблюдаемое изменение характеристик фотолюминесценции обусловлено разрушением сформированных при синтезе кристалла комплексов, включающих в свой состав центры свечения. При термической обработке в атмосфере кислорода разрушение излучающих комплексов происходит на глубине, сопоставимой с глубиной проникновения возбуждающих фотонов. Резкое снижение эффективности возбуждения люминесценции с ростом энергии возбуждающих фотонов объясняется наличием градиента концентрации вошедшего диффузией кислорода и, соответственно, разрушенных излучающих комплексов. Сделана оценка глубины вхождения кислорода, характеристическая глубина вхождения составляет 20 нм при обработке в течение 7 часов при 900 °С.

Ключевые слова: вольфраMAT цинка, фото и катодолюминесценция, кислород, комплексные дефекты.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-33-41>

Введение. Вольфраматы и молибдаты металлов являются перспективными материалами для создания на их основе детекторов ионизирующих излучений [1]. В работе [2] предложено, что высокая эффективность люминесценции кристаллов вольфраматы, молибдаты металлов обусловлена формированием в них при выращивании комплексных дефектов – нанодефектов по аналогии с описанными в [3-5]. Под нанодефектом понимается наноразмерная область кристалла, в которой агрегируются дефекты решетки, в том числе и центры свечения. Такой крупный комплексный дефект имеет энергетическую и пространственную структуру, отличную от матричной. Поэтому нанодефект должен иметь высокое сечение захвата электронных возбуждений. Захваченное нанодефектом электронное возбуждение может быть передано центру свечения, который является компонентом нанодефекта. Формирование комплексных дефектов - нанодефектов, возможно тогда, когда при выращивании кристалла есть условия для введения больших концентраций точечных дефектов как примесных, так и собственных. При синтезе кристаллов вольфраматы, молибдаты металлов невозможно обеспечить соблюдение стехиометрии, так как окислы металлов, из которых получается кристалл, имеют различные температуры плавления и испарения.

Поэтому выращенные кристаллы всегда содержат большое количество собственных дефектов, агрегация которых приводит к формированию нанодефектов, состоящих из совокупности собственных и примесных дефектов. Нанодефект имеет в своем составе эффективный центр свечения, структурной единицей которого являются кислородная вакансия, ион O^{2-} [3,6]. Поскольку ионы кислорода являются структурными единицами центра свечения и нанодефекта в целом, следует ожидать, что введение дополнительно кислорода в кристалл должно привести к изменению излучательных характеристик сцинтиллятора. Настоящая работа посвящена изучению влияния дополнительно введенного в кристаллы кислорода с целью выявления их роли в люминесцентных характеристиках кристаллов $ZnWO_4$.

Объекты и методы исследований. Кристаллы $ZnWO_4$ были выращены методом Чохральского на воздухе с последующей термообработкой для снятия возникающих при выращивании напряжений в Институте скантillationных материалов НАН Украины (г. Харьков). Кристаллы выращивались из шихты, полученной методом твердофазного синтеза из оксидов ZnO (99,95 %) и WO_3 (99,995 %). Образцы в виде пластин толщиной около 1 мм готовились выкалыванием из моноблока. Кислород в кристаллы вводился двумя способами: при термическом отжиге в атмосфере кислорода и облучением высокоэнергетическим ионами кислорода. В первом случае образец отжигался при температуре $900^\circ C$ в течение 7 часов в атмосфере кислорода. Очевидно, концентрация вошедших примесных ионов у поверхности много выше, чем внутри. Для исследований отожженные кристаллы раскалывались вдоль пластины на два образца. У поверхности с обработанной стороны концентрация введенного диффузией кислорода значительно превышала вошедшую вглубь, то есть с другой стороны образца. Поэтому исследование возбужденной люминесценции с двух сторон позволяло корректно выделить влияние кислорода на излучательные характеристики кристаллов.

Введение кислорода в образцы $ZnWO_4$ имплантацией осуществлялось на ускорителе DC 60 Астанинского филиала ИЯФ НАЦ РК (г. Нур-Султан). Энергия ускоренных ионов кислорода составляла 28 МэВ. Расчетным путем была определена глубина проникновения ионов в кристалл – 9,7 мкм. Образцы облучались с одной стороны. Противоположная сторона образца не подвергалась воздействию потока ионов. Возможность исследования люминесценции образца с двух сторон позволяет корректно выявить влияние имплантированных ионов кислорода. Образцы кристаллов $ZnWO_4$ были облучены флюенсом 10^{13} , 10^{14} и 10^{15} ионов/ cm^2 . Концентрации внедренных ионов кислорода составили величину $\sim 10^{16} \dots 10^{18}$ ионов/ cm^3 , что сопоставимо с концентрациями исходных дефектов в кристалле. Отметим, что в указанных режимах облучения изменения оптического поглощения не наблюдалось. Были измерены спектры возбуждения и люминесценции кристаллов $ZnWO_4$, отожженных в атмосфере кислорода и облученных ионами кислорода. Измерения были выполнены с использованием спектрофлуориметра CM 2203. Прибор обеспечивал возможность измерения спектров возбуждения и свечения в диапазоне 200...820 нм. Были измерены интегральные во времени спектры люминесценции ИКЛ (импульсная катодолуминесценция) после возбуждения импульсом потока электронов длительностью 10 нс, средней энергией электронов 250 КэВ, плотностью энергии возбуждения 15 мДж/ cm^2 . Интегральные спектры люминесценции после воздействия единичного импульса возбуждения измерялись спектрометром AvaSpec-2048 USB2.0.

Результаты исследований. Спектры поглощения не подвергнутых и подвергнутых термической обработке в атмосфере кислорода кристаллов $ZnWO_4$ приведены на рис.1. Кристаллы прозрачны в области от 1,2 до 3 эВ, показатель поглощения в этой области не превышает $\sim 4-5 \text{ см}^{-1}$ при толщине кристалла около 2 мм. В области от 3 до 3,6 эВ показатель поглощения в кристалле, не подвергнутом термической обработке в атмосфере кислорода, растет до $\sim 10 \text{ см}^{-1}$, в подвергнутом термической обработке – до $\sim 6 \text{ см}^{-1}$. Выше 3,6 эВ поглощение резко нарастает. Отсутствие дополнительного поглощения при термической обработке кристалла свидетельствует о том, что при использованной технологии введения кислорода изменения фазового состояния приповерхностного слоя не происходит. Результаты измерения спектров поглощения кристаллов $ZnWO_4$, облученных потоками высокоэнергетических ионов кислорода, приведены на рис.2. Облучение приводит к появлению дополнительного поглощения в области от 1,2 до 3,4 эВ. Граница резкого нарастания поглощения начинается с 3,5 эВ. Следовательно, облучение ионами кислорода приводит к наведению радиационных дефектов, обуславливающих рост бесструктурного поглощения и интенсивной полосы поглощения на краю поглощения кристалла.

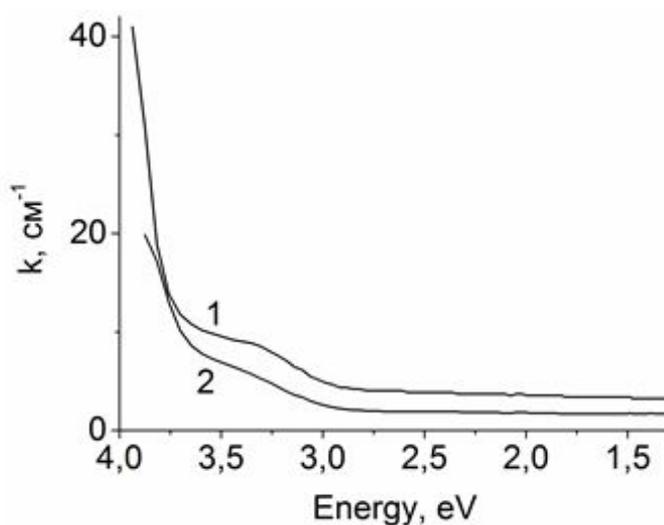


Рисунок 1 - Спектр поглощения не отожжённого (1) и отожжённого в атмосфере кислорода (2) кристаллов $ZnWO_4$

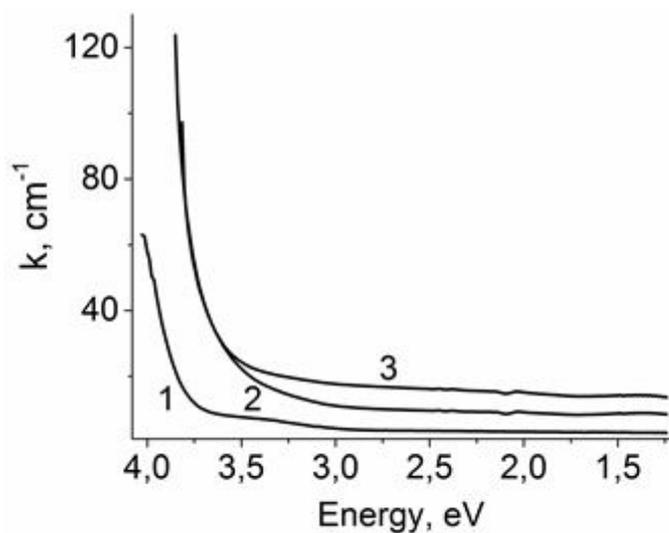


Рисунок 2 - Спектры поглощения 1 - чистого и облученных ионами кислорода разными флюенсами 2 - $\Phi=10^{13}$ ион/см², 3 - $\Phi=10^{15}$ ион/см² кристаллов $ZnWO_4$

Спектры люминесценции кристаллов, не подвергнутых термической обработке или облучению, измеренные с необработанной стороны образцов, одинаковы, имеют характерный для этих кристаллов вид (рис.3). Спектр состоит из широкой полосы в диапазоне 1,6...3,6 эВ с максимумом на 2,6 эВ с полушириной 0,62 эВ. Термическая обработка или облучение потоками ионов кислорода не влияет на вид спектров, но уменьшает интенсивность люминесценции.

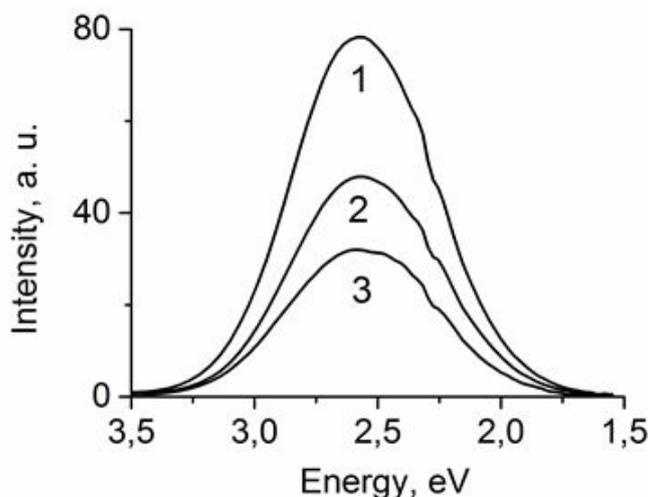


Рисунок 3 - Спектры люминесценции при возбуждении потоком с энергией фотонов 4,1 эВ 1,2,3) кристаллов 1 – $ZnWO_4$, 2 – $ZnWO_4$, отожженных в атмосфере кислорода. 3 – $ZnWO_4$, облученных ионами кислорода с энергией $E=28$ МэВ флюенсом $\Phi=10^{14}$ ион/см²

Спектры возбуждения кристаллов $ZnWO_4$, не подвергнутых обработке и отожженных в атмосфере кислорода (рис.4, столбцы 1 и 3 соответственно) явно различаются. На этом же рисунке (столбцы 2 и 3) приведены результаты измерения спектров возбуждения кристалла $ZnWO_4$, предварительно отожженного в атмосфере кислорода, расколотого вдоль: в столбце 2 – со стороны скола, 3 – с обработанной стороны. Представлены результаты измерений для нескольких участков спектра люминесценции. Эффективность возбуждения не подвергнутых термической обработке кристаллов $ZnWO_4$ быстро растет с увеличением энергии квантов в диапазоне от 3, 5 до 4,5 эВ, затем в диапазоне энергий квантов от 4,7 эВ до 6, 5 эВ снижается на 20 %. Подобные спектры возбуждения приведены в работах [7-9]. Вид спектров возбуждения образцов $ZnWO_4$ необработанного и обработанного, измеренного со стороны скола, несколько отличается. Но величина спада эффективности возбуждения во всех случаях не превышала 25%. Как видно из представленных результатов в кристалле $ZnWO_4$, отожженном в атмосфере кислорода, эффективность возбуждения люминесценции с обработанной стороны в диапазоне от 4 до 6,5 эВ снижается в 4...5 раз.

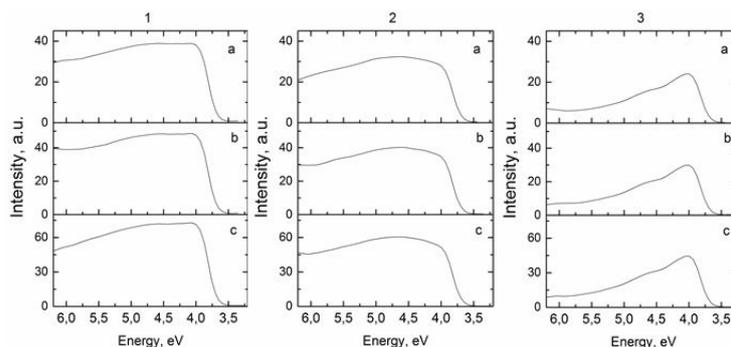


Рисунок 4 - Спектр возбуждения люминесценции образцов 1) $ZnWO_4$, 2) $ZnWO_4$, отожженный в атмосфере кислорода, измеренный со стороны скола, 3) $ZnWO_4$ отожженный в атмосфере кислорода, измеренный с обработанной стороны, при длинах волн люминесценции: а – 2,93 эВ, б – 2,76 эВ, с – 2,6 эВ при 300 К

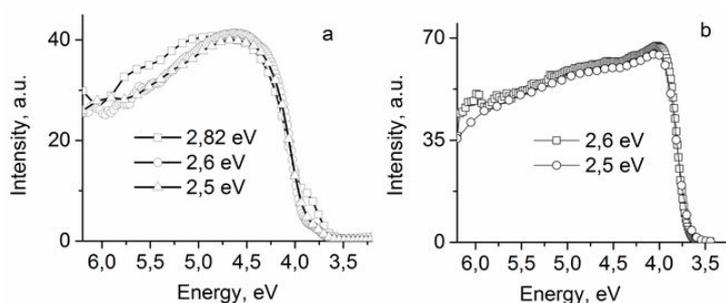


Рисунок 5 - Спектры возбуждения люминесценции на разных длинах волн образцов ZnWO_4 , облученных ионами кислорода с энергией $E=28$ МэВ, флюенсами а – 10^{13} ион/см², б – 10^{14} ион/см²

На рис. 5 представлены результаты исследования спектров возбуждения кристаллов ZnWO_4 , облученных ионами кислорода флюенсом 10^{13} (а) и 10^{14} (б) ион/см². Так же, как и в необлученных кристаллах ZnWO_4 люминесценция возбуждается излучением с энергией квантов выше 3,6 эВ. Эффективность возбуждения быстро растет с увеличением энергии квантов до 4 эВ, затем медленно в диапазоне энергий квантов от 4,7 эВ 6,5 эВ снижается на 25 %. Эта зависимость характерна для кристаллов, не подвергнутых отжигу в атмосфере кислорода кристаллов ZnWO_4 . Несколько изменяется вид спектра возбуждения в области от 3,6 до 4,5 эВ после облучения флюенсом 10^{14} ион/см².

Обсуждение. Измерениями спектров поглощения кристаллов ZnWO_4 показано, что термический отжиг в атмосфере кислорода не приводит к изменению оптического пропускания образцов. Облучение потоком ионов кислорода – приводит к равномерному увеличению поглощения в диапазоне спектра от 1,4 до 3,5 эВ и появлению сильного поглощения в области от 3,5 до 4,5 эВ. Отсутствие изменения оптического пропускания кристаллов после отжига в атмосфере кислорода свидетельствует о том, что поверхность кристалла при обработке не была нарушена. Увеличение поглощения после облучения, очевидно, обусловлено созданием радиационных дефектов в кристалле. Соответственно, уменьшение интенсивности фотолюминесценции кристалла после облучения может быть объяснено поглощением наведенными радиационными дефектами. Уменьшение интенсивности фотолюминесценции кристалла после термического введения кислорода можно объяснить только тем, что при обработке изменяется дефектная структура кристалла.

Особый интерес представляют показанные на рис. 4 и 5 результаты исследований, демонстрирующие зависимости вида спектра возбуждения от энергии квантов. Термическая обработка приводит к существенному их изменению в области энергий квантов от 4 до 6,5 эВ, тогда как при введении ионов кислорода облучением – не приводит. Представляется разумным предположение о том, что наблюдаемые эффекты обусловлены различием глубин внедрения и профилей распределения вошедших ионов кислорода в кристалл.

Входящие при термической обработке или посредством облучения ионы кислорода взаимодействуют с сформированными в процессе синтеза кристалла комплексными дефектами (нанодфектами) и преобразуют их, или центры свечения в них, в неактивные центры захвата и свечения. Результатом этого процесса будет изменение профиля распределения концентрации активных нанодфектов с центрами свечения по глубине кристалла. Равномерное в объеме распределение нанодфектов, сформированное при выращивании кристалла искажается, поскольку концентрация вошедшего в кристалл кислорода уменьшается по глубине. Изменение распределения концентрации активных нанодфектов по глубине кристалла будет меняться пропорционально концентрации вошедшего кислорода. Облучением кислород вводится на глубину 9,7 нм, профиль распределения имеет вид кривой с максимумом, приближенным к концу пробега ионов.

Иная ситуация имеет место в кристаллах с термически введенным кислородом. В том случае, когда профили распределения вошедшего в кристалл кислорода и поглощенной энергии возбуждения по глубине будут близки, можно ожидать проявление зависимости спектров возбуждения от введения кислорода. Представить эту зависимость можно с использованием представленных на рис. 6 профилей поглощения потока квантов возбуждения и вошедшей

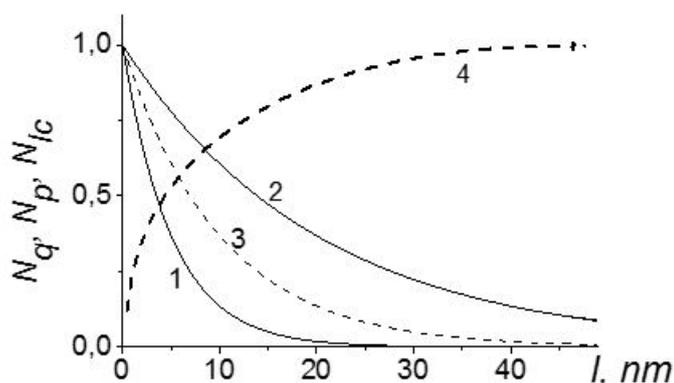


Рисунок 6 - Профили распределения по глубине потоков квантов N_q с энергиями 6 (1) и 4 (2) эВ по [10], концентрации вошедшего кислорода N при термообработке (3), центров свечения N_{lc} в обработанных кристаллах $ZnWO_4$ (4)

при термодиффузии примеси. По [10] в кристалле $ZnWO_4$ показатель поглощения меняется от $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ при 4 эВ до $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$ при 6 эВ. Зависимости изменения плотности потока возбуждения из-за поглощения по глубине в соответствии с законом Бугера — Ламберта — Бера имеют вид, представленный на рисунке кривыми 1 и 2.

В соответствии с [9-12] максимум в области 4,3 эВ спектра возбуждения обусловлен созданием экситонов, в области 4,6-4,9 эВ — переходами зона-зона. По [2] поглощение в области 4,5...3,7 эВ в реальных кристаллах обусловлено созданием экситонов в области нанодфектов, которые в кристалле существуют из-за нестехиометрии. Распределение концентрации вошедшей примеси кислорода при термообработке так же может быть описано экспоненциальной функцией, предполагаемый вид которой представлен на рис. 6 пунктирной кривой 3. В области высоких концентраций вошедшей примеси, близкой к поверхности, следует ожидать большее уменьшение эффективности излучательной способности, так как здесь разрушение нанодфектов (или центров свечения) максимально. По мере удаления от поверхности концентрация сохранившихся нанодфектов и центров свечения в них должна расти до равномерной по объему, как это показано кривой 4 на рис.6. В более глубоких слоях по мере уменьшения концентрации вошедшей примеси уменьшается и число “нарушенных” нанодфектов и центров свечения. В соответствии с [10] с ростом энергии квантов возбуждения в области 4...6 эВ уменьшается глубина их проникновения. Высокоэнергетические кванты поглощаются в более узкой по глубине пространственной зоне, содержащей больше “нарушенных” нанодфектов.

Кванты с меньшей энергией проходят на большую глубину, возбуждая область с меньшим числом “нарушенных” нанодфектов, поэтому интенсивность люминесценции в области малых энергий выше. В кристаллах с введенными облучением ионами на глубину 9,7 мкм кислород распределяется почти равномерно на глубине поглощения возбуждающих квантов. Отсутствие влияния имплантации на вид спектра возбуждения объясняется тем, что характеристическая глубина пробега фотонов имеет величину 10...50 нм, намного меньше, чем глубина вхождения кислорода.

В рамках рассмотренного подхода из спектра возбуждения может быть сделана оценка глубины проникновения кислорода в кристалл $ZnWO_4$ при термической обработке в атмосфере кислорода. Глубина проникновения фотонов с энергией 4 эВ (расстояние от возбуждаемой поверхности, на котором число фотонов уменьшается в e раз), для которых показатель поглощения равен $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ [10], составляет 20 нм, фотонов с энергией 6 эВ (показатель поглощения $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$) - 5 нм. Следовательно, основная доля вошедшего в кристалл при термообработке кислорода сосредоточена в слое толщиной около 20 нм.

Заключение. Уменьшение интенсивности и изменение вида спектров возбуждения фотолюминесценции хорошо укладывается в рамки предположения о том, что введение кислорода приводит к разрушению нанодфектов с центрами свечения в них или центров

свечения. Термическая обработка в атмосфере кислорода или имплантация ионов кислорода приводит к разрушению излучающих комплексов. Следовательно, излучающие комплексы (нанодфекты с центрами свечения в них) формируются только в процессе выращивания кристаллов. Показано, что внедрение ионов кислорода в кристалл $ZnWO_4$ путем термической обработки в атмосфере кислорода происходит на глубине около 20 нм.

Список литературы

- 1 Atroshenko, L.V., Burachas, S.F., Galchinetsky, L.P. Scintillation crystals and detector of radiation: Naukova dumka, 1998.- 310 p.
- 2 Lisitsyn V.M., Valiev D. , Lisitsyna L.A., Tupitsyna I.A., Polisadova E.F., Oleshko V.I. Spectral kinetic characteristics of Li,Bi-activated cadmium tungstate crystals // Journal of Applied Spectroscopy – 2013. - Vol. 80. № 3. - P. 361-365.
- 3 Lisitsyna L.A., Korepanov V.I., Lisitsyn V.M., Eliseev A.E., Timoshenko N.N., Dauletbekova A.K. Impurity Cathodoluminescence of Oxygen-Containing LiF crystals // Optics and Spectroscopy - 2011. -Vol.110. № 4. – P. 529-533
- 4 Lisitsyna L.A., Lisitsyn V.M. Composition Nanodefected in Doped Lithium Fluoride Crystals // Physics of the Solid State – 2013. - Vol. 55. № 11. - P. 2297-2303
- 5 Lisitsyna L.A., Korepanov V.I., Trefilova L.N., Lisitsyn V.M., Abdrakhmetova A., Akilbekov A.T., Dauletbekova A.K. The effect of preliminary irradiation on the luminescence of oxygen-containing LiF crystals // Izv.Vuzov.Physika - 2011. - Vol.54. №11/3. - P.120-127.
- 6 Dauletbekova A., Lisitsyna L., Korepanov V., Lisitsyn V., Trefilova L., Kassymkanova R. Radiation transformation of the oxygen-containing impurity in LiF crystals doped with different polyvalent cations P. // Phys. Status Solidi C - 2013. – Vol. 10. № 2. – P. 263-267
- 7 Hong Wang, Fernando D. Medina, David D, Liu, Ya-Dong Zhou. // J.Phys.: Condens. Matter. - 1994. - №6. - P.5373-5386
- 8 Nagirnyi V., Feldbach E., Jonsson L., Kirm M., Kotlov A., Lushchik A., Nefedov V.A., Zadneprovski B.I. Energy transfer in $ZnWO_4$ and $CdWO_4$ scintillators // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - 2002.- Vol. 486.- P. 395-398
- 9 Spassky D., Omelkov S., Magi H., Mikhailin V., Vasil'ev A., Krutyak N., Tupitsyna I., Dubovik A., Yakubovskaya A., Belsky A. Energy transfer in solid solutions $Zn_x Mg_{1-x} WO_4$ // Optical Materials – 2014. - Vol. 36. – P.1660–1664
- 10 Kolobanov V.N., Mikhailin V.V., Shpinkov I.N., Spassky D.A., Kirm M., G. Zimmerer G., Makhov V. // Proceedings of the 5th International Conference of Inorganic Scintillators and Their Applications - 1999. - P. 648-652.
- 11 Itoh M., Fujita N., Inabe Y. X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Electronic Structures of Scheelite- and Wolframite-Type Tungstate Crystals // J. Phys. Soc. Jap. – 2006. – Vol.75.- P. 084705.
- 12 Kalinko A., Kuzmina A., Evarestov R.A. // Solid State Communications.- 2009.- Vol.149.- P. 425-428.

9

Ж.Т. Карипбаев^{1,2}, А.У. Абуова¹, Г.К. Алпысова¹, К.М. Сәрсенғалиева¹, К.А. Байжолов¹, А.Б. Кукунова¹, М.В. Здравец³

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

² Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

³ Ядролық физика институты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Оттегі енгізілген $ZnWO_4$ кристалдарының люминесценциясы

Аңдатпа: Оттегі атмосферасында термиялық өңдеуден өткен немесе жоғары энергиялы оттегі иондарымен сәулеленуге ұшыраған мырыш вольфрам кристалдарының фото және катодоллюминесценциясының спектрлік сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Оттегінің енгізілуі фотоллюминесценция тиімділігінің төмендеуіне және термиялық өңдеудің енгізілуі қозу спектрінің өзгеруіне әкеледі. Фотоллюминесценция сипаттамаларының байқалған өзгерісі кристалл синтезі кезінде пайда болған кешендердің, соның ішінде жарқыл орталықтарының бұзылуымен байланысты деп болжанады. Оттегі атмосферасында термиялық өңдеу кезінде шығаратын кешендердің бұзылуы қоздырғыш фотондардың ену тереңдігімен салыстырылатын тереңдікте жүреді. Люминесценттік қозу тиімділігінің күрт төмендеуі диффузияға енетін оттегінің шоғырлану градиентінің және сәйкесінше жойылған эмитенттік комплекстердің болуымен түсіндіріледі. Оттегінің кіру тереңдігін бағалау жүргізілді, сипаттамалық кіру тереңдігі 900 °С температурада 7 сағат бойы өңделген кезде 20 нм болды.

Түйін сөздер: мырыш вольфрамасы, фото және катодолуминесценция, оттегі, күрделі ақаулар.

Zh.T.Karipbaev^{1,2}, A.U. Abuova¹, G. K. Alpysova¹, K.M. Sarsengalieva¹, K.A. Baozholov¹, A.B. Kukenova¹, M.V. Zdorovets³

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

² *Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

³ *Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan*

Luminescence of ZnWO₄ crystals with oxygen introduced

Abstract: The results of studying the spectral characteristics of the photo- and cathodoluminescence of zinc tungstate crystals subjected to heat treatment in an oxygen atmosphere or irradiation with high-energy oxygen ions are presented. The introduction of oxygen leads to a decrease in the efficiency of photoluminescence. In addition, the introduction by heat treatment leads to a change in the excitation spectrum. It is assumed that the observed change in the characteristics of photoluminescence is due to the destruction of complexes formed during crystal synthesis, including glow centers. During heat treatment in an oxygen atmosphere, the destruction of emitting complexes occurs at a depth comparable to the penetration depth of exciting photons. A sharp decrease in the efficiency of luminescence excitation with increasing energy of exciting photons is explained by the presence of a concentration gradient of oxygen entering the diffusion and, accordingly, of destroyed emitting complexes. An assessment was made of the oxygen entry depth; the characteristic entry depth was 20 nm when processed for 7 hours at 900 °C.

Keywords: zinc tungstate, photo and cathodoluminescence, oxygen, complex defects.

References

- 1 Atroshenko, L.V., Burachas, S.F., Galchinsky, L.P. Scintillation crystals and detector of radiation (Naukova dumka, 1998).
- 2 Lisitsyn V.M., Valiev D.T., Lisitsyna L.A., Tupitsyna I.A., Polissadova E.F., Oleshko V.I. Spectral kinetic characteristics of Li,Bi-activated cadmium tungstate crystals, *Journal of Applied Spectroscopy*, 80(3), 361-365 (2013).
- 3 Lisitsyna L.A., Korepanov V.I., Lisitsyn V.M., Eliseev A.E., Timoshenko N.N., Dauletbekova A.K. Impurity Cathodoluminescence of Oxygen-Containing LiF crystals, *Optics and Spectroscopy*, 110(4), 529-533 (2011).
- 4 Lisitsyna L.A., Lisitsyn V.M. Composition Nanodefects in Doped Lithium Fluoride Crystals, *Physics of the Solid State*, 55 (11), 2297-2303 (2013).
- 5 Lisitsyna L. A., Korepanov V.I., Trefilova L.N., Lisitsyn V. M., Abdrakhmetova A., Akilbekov A.T., Dauletbekova A.K. The effect of preliminary irradiation on the luminescence of oxygen-containing LiF crystals, *Izv.Vuzov.Physika*, 54 (11/3), 120-127 (2011).
- 6 Dauletbekova A., Lisitsyna L., Korepanov V., Lisitsyn V., Trefilova L., Kassymkanova R. Radiation transformation of the oxygen-containing impurity in LiF crystals doped with different polyvalent cations, *Phys. Status Solidi C*, 10 (2), 263-267 (2013).
- 7 Hong Wang, Fernando D. Medina, David D, Liu, Ya-Dong Zhou., *J.Phys.: Condens. Matter.*, 6, 5373-5386 (1994).
- 8 Nagirnyi V., Feldbach E., Jonsson L., Kirm M., Kotlov A., Lushchik A., Nefedov V.A., Zadneprovski B.I. Energy transfer in ZnWO₄ and CdWO₄ scintillators, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 486, 395-398 (2002).
- 9 Spassky D., Omelkov S., Magi H., Mikhailin V., Vasil'ev A., Krutyak N., Tupitsyna I., Dubovik A., Yakubovskaya A., Belsky A. Energy transfer in solid solutions Zn_xMg_{1-x}WO₄, *Optical Materials*, 36, 1660-1664 (2014).
- 10 Kolobanov V.N., Mikhailin V.V., Shpinkov I.N., Spassky D.A., Kirm M., G. Zimmerer G., Makhov V., *Proceedings of the 5th International Conference of Inorganic Scintillators and Their Applications*, 648-652 (1999).
- 11 M. Itoh, N. Fujita, Y. Inabe. X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Electronic Structures of Scheelite- and Wolframite-Type Tungstate Crystals, *J. Phys. Soc. Jap.*, 75, 084705 (2006).
- 12 Kalinko A., Kuzmina A., Evarestov R.A., *Solid State Communications*, 149, 425-428. 2009.

Сведения об авторах:

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

Абуова А.У. - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, улица Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Алпысова Г.К. - докторант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Сәрсенғалиева К.М. - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Байжолов К.А. - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Кукунова А.Б. - магистрант 1 года обучения специальности «Наноматериалы и нанотехнологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Здоровец М.В. - к.ф.-м.н., директор Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан.

Карипбаев Ж.Т. - Ph.D., L.N. Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Абуова А.У. - Doctor of Philosophy, LN Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Алпысова Г.К. - 2nd year PhD student of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Сәрсенғалиева К.М. - 2nd year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Байжолов К.А. - 2nd year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Кукунова А.Б. - 1st year MSc of specialty "Nanomaterials and nanotechnologies", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.

Здоровец М.В. - Candidate of Physico-mathematical Sciences, Director of the Astana branch of the Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 27.09.2019