

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(132)/2020

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, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

Бас редакторы:
ф.-м.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ
А.Т. Ақылбеков (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

Гиниятова Ш.Г. ф.-м.ғ.к., доцент
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ (Қазақстан)

Редакция алқасы

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Жүмаділов Қ.Ш.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Козловский А.Л.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., проф., Латвия университеті (Латвия)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Скуратов В.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Біріккен ядролық зерттеулер институты (Ресей)
Тлеуқенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университеті (Жапония)
Шункеев Қ.Ш.	ф.-м.ғ.д., проф., Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті (Қазақстан)

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

Журнал менеджері: Г. Мендыбаева

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

Меншіктенуші: "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" Коммерциялық емес акционерлік қоғам

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Басуға 28.09.2020 ж. қол қойылды. Жазылу индексі: 76093

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, 102 б., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Editorial Board

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof., Kyushu University (Japan)
Kadyrghanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Kozlovskiy A.L.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Popov A.I.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Latvia (Latvia)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Skuratov V.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Joint Institute for Nuclear Research (Russia)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Shunkeyev K.Sh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Zhubanov University (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

Managing Editor: G. Mendybayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Periodicity: 4 times a year. Signed in print 28.09.2020. Subscription index: 76093

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., профессор
А.Т. Акилбеков, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Зам. главного редактора

Ш.Г. Гиниятова к.ф.-м.н., доцент
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Редакционная коллегия

Арынгазин А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Козловский А.Л.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кутербек К.А.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Попов А.И.	д.ф.-м.н., проф., Латвийский университет (Латвия)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Скуратов В.А.	д.ф.-м.н., проф., Объединенный институт ядерных исследований (Россия)
Тлеукиенов С.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университет (Япония)
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., проф., АРГУ имени К. Жубанова (Казахстан)

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

Менеджер журнала: Г. Мендыбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник Некоммерческое акционерное общество "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева"

Периодичность: 4 раза в год. Подписано в печать 28.09.2020 г. Подписной индекс: 76093

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)

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

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

№3(132)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Жасыбаева М.Б., Есмаханова К.Р.</i> Дарбу түрлендіруі және Фокас-Ленэллс теңдеуінің нақты бір солитонды шешімі	8
<i>Горлачев И., Глуценко Н., Иванов И., Киреев А., Курахмедов А., Платов А., Самбаев У., Здоровец М.</i> Нысаналы атомдарды ауыр иондармен қоздыруға арналған РІХЕ әдісінің шектері	14
<i>Ергалиев Д.С., Әбдірашев Ө.К., Жумабаева А.С.</i> Робототехникалық құрылғылар кешенін ақпараттық-метрологиялық қамтамасыз ету	25
<i>Қаптағай Г., Сандибаева Н., Байжадамова Л., Утебаева А.</i> Сутегін өндірудегі кобальт шпинелінің энергетикалық сипаттамаларын жақсартудағы азоттың рөлі	30
<i>Әбуова А.Ү., Инербаев Т.М., Әбуова Ф.Ү., Сазанбай А., Нураканов А.</i> Төмен өлшемді допирленген термоэлектрикте зарядтау динамикасы	36
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Қатты ерітінділеріндегі иондық өткізгіштік және фазалық ауысулар $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Ногай А.С., Ускенбаев Д.Е.</i> Платинасыз катализаторлары бар NaFon мембраналарында поляризациялық және өткізгіш қасиеттері	51
<i>Бимуханов А.Н., Алдонгаров А.А.</i> $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$ бейтарап гексакоординация кешенінің дұрыс геометриялық параметрлерін болжау үшін функционалдық үйлесімділік пен тығыздықтың функционалды теориясының негіз жиынтықтарын сынау	59
<i>Базарбек А.Б., Сағатов Н.Е., Инербаев Т.М., Ажилбеков А.Т.</i> Жоғары қысымда никель фосфидтерінің тұрақтылығын алғашқы принципті есептеу	67
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Алпысова Г.К., Куженова А., Усеинов А.Б., Абдрахметова А.А., Байжуманов М.Ж.</i> Радиация өрісінде синтезделген YAG:Ce негізіндегі люминофорлардың импульстік фотолюминесценциясы	74

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

№3(132)/2020

CONTENTS

<i>Zhassybayeva M.B., Yesmakhanova K.R.</i> Darboux transformation and exact one-soliton solution of the Fokas-Lenells equation	8
<i>Gorlachev I., Gluchshenko N., Ivanov I., Kireev A., Kurakhmedov A., Platov A., Sambayev Ye., Zdorovets M.V.</i> The limits of the PIXE method for excitation of target atoms by heavy ions	14
<i>Yergaliyev D.S., Abdirashev O.K., Zhumabaeva A.S.</i> Information and metrological support for the complex of robotic devices	25
<i>Kaptagay G., Sandibaeva N., Baikadamova L., Utebaeva A.</i> Role of nitrogen for enhancement energetically characteristics in producing hydrogen	30
<i>Abuova A.U., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Sazanbay A., Nurakanov A.</i> Charging dynamics in a low-dimensional doped thermoelectric	36
<i>Nogai A.A., Stefanovich S.Yu., Salikhodja J.M., Nogai A.S.</i> Ionic conductivity and phase transitions in solid solutions $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Nogai A.S., Uskenbayev D.E.</i> Polarizing and conductive properties in Nafion membranes with platinum-free catalysts	51
<i>Bimukhanov A.N., Aldongarov A.A.</i> Testing of combinations of Density Functional Theory functionals and basis sets for predicting correct geometrical parameters of neutral hexacoordinated $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$ complex	59
<i>Bazarbek A.B., Sagatov N.E., Inerbaev T.M., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of the stability of nickel phosphides at high pressures	67
<i>Karipbaev Zh., Musahanov D., Lisitsyn V., Alpyssova G., Kukenova A., Usseinov A., Abdrahmetova A., Baizhumanov M.</i> Pulsed photoluminescence of YAG: Ce phosphors synthesized in the radiation field	74

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

№3(132)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Жасыбаева М.Б., Есмаханова К.Р.</i> Преобразование Дарбу и точное односолитонное решение уравнения Фокаса-Ленэллса	8
<i>Горлачев И., Глуценко Н., Иванов И., Киреев А., Курахмедов А., Платов А., Самбаев Е., Здоровец М.</i> Пределы определения РИХЕ метода при возбуждении атомов мишени тяжелыми ионами	14
<i>Ергалиев Д.С., Абдирашев О.К., Жумабаева А.С.</i> Информационно-метрологическое обеспечение комплекса робототехнических устройств	25
<i>Каптагай Г., Сандибаева Н., Байкадамова Л., Утебаева А.</i> Роль азота в совершенствовании энергетических характеристик шпинели кобальта для производства водорода	30
<i>Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Сазанбай А., Нураканов А.</i> Зарядовая динамика в низкоразмерном допированном термоэлектрике	36
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Ионная проводимость и фазовые переходы в твердых растворах $\text{Na}_3\text{Sc}_{2(1-x)}\text{Yb}_{2x}(\text{PO}_4)_3$	44
<i>Ногай А.С., Ускенбаев Д.Е.</i> Поляризационные и проводящие свойства в мембранах типа NaFоп с безплатиновыми катализаторами	51
<i>Бимуханов А.Н., Алдонгаров А.А.</i> Тестирование комбинаций функционалов и базисных наборов теории функционала плотности для предсказания правильных геометрических параметров нейтрального гексакоординационного комплекса $\text{Si}(\text{bzimpy})_2$	59
<i>Базарбек А.Б., Сагатов Н.Е., Инербаев Т.М., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты стабильности фосфидов никеля при высоких давлениях	67
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Алтысова Г.К., Куженова А., Усеинов А.Б., Абдрахметова А.А., Байжуманов М.Ж.</i> Импульсная фотолуминесценция синтезированных в поле радиации люминофоров на основе YAG:Ce	74

МРНТИ: 29.19.04; 29.19.21

Ж.Т. Карипбаев^{1,2}, Д.А. Мусаханов^{1,2}, В.М. Лисицын², Г.К. Алпысова¹,
А. Кукенова¹, А.Б. Усеинов¹, А.А. Абдрахметова¹, М.Ж. Байжуманов¹

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

² Томский политехнический университет, Томск, Россия

(E-mail: zf1@mail.ru, dos_f@mail.ru, lisitsyn@tpu.ru, gulnur-0909@mail.ru)

Импульсная фотолюминесценция синтезированных в поле радиации люминофоров на основе YAG:Ce¹

Аннотация: в настоящей работе предпринята попытка синтеза люминофора с использованием мощных потоков жесткой радиации. Для синтеза керамики YAG:Ce готовилась шихта с составом, соответствующим стехиометрическому, из оксидов иттрия, алюминия. В состав шихты добавлялся оксид гадолиния в качестве модификатора и оксида церия в качестве активатора. Измерения спектров фотолюминесценции образцов люминофоров производились при помощи флуоресцентного спектрофотометра Cary Eclipse фирмы «Аджилент». Кинетические характеристики измерялись через монохроматор МДР-204, ФЭУ «Hamamatsu h10720-20». Спектры люминесценции имеют типичный для такой керамики или люминофора вид. В результате воздействия потока радиации была синтезирована керамика со структурой YAG:Ce или YAGG:Ce в зависимости от введения гадолиния.

Ключевые слова: белые светодиоды, иттрий-алюминиевый гранат, люминофор, керамика, синтез в поле радиации.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-132-3-74-80>

Поступила: 04.09.2020/ Допущена к опубликованию: 21.09.2020

Введение. Люминофоры, керамика на основе YAG:Ce являются перспективными для использования в светодиодах (LED) [1], в качестве сцинтилляторов [2]. YAG:Ce люминофоры, керамика представляют собою многокомпонентные системы. Синтез их осуществляется при высоких температурах, длительное время, что не позволяет обеспечить хорошую воспроизводимость качества материалов. Поэтому продолжают поиски и совершенствование технологий их синтеза. Кроме наиболее распространенных методов с использованием твердофазных реакций [3] разрабатываются и другие: лазерной абляции [4], золь-гель метод [5], гидротермальный [6], соосаждения [7], с использованием горения [8] и др. Наиболее распространенным является синтез с использованием твердофазных реакций. Твердофазный синтез, как и другие перечисленные, требует использования высоких температур. Одним из возможных вариантов может быть синтез керамики в поле мощных потоков радиации. Температуры плавления компонентов – от 2455 °С в Y₂O₃ до 2075 °С в Al₂O₃. Поэтому воспроизводимость результатов синтеза низкая: элементный состав микрокристаллов существенно отличается от заложенного в шихту, изменяется состав разных партий люминофора даже при синтезе в одинаковых условиях и одинакового исходного состава шихты. Сказывается это и на люминесцентных свойствах люминофоров. В настоящей работе приведены результаты исследований структурных и люминесцентных свойств YAG:Ce керамики, синтезированной в поле.

Образцы и методика исследования. Для синтеза готовилась шихта из смеси порошков оксидов Al₂O₃, Y₂O₃, Gd₂O₃ и Ce₂O₃ марок ХЧ. Соотношение оксидов в шихте соответствовало стехиометрическому. Частицы порошков имели размеры около 1 мкм и меньше. Шихта засыпалась в медный тигель слоем толщиной 6 мм. На тигель с шихтой

¹Работа выполнена в рамках гранта AP08052050 Министерства образования и науки Республики Казахстан

направлялся поток электронов с энергией от 1,4 МэВ ускорителя ЭЛУ-6. Возможность использования такого метода впервые была продемонстрирована в работах [9-11]. Синтез в поле радиации, очевидно, должен способствовать протеканию твердофазных реакций. В настоящей работе были синтезированы люминофоры разных составов с различным содержанием шихты: Y_2O_3 - от 22 до 36 вес%, Al_2O_3 - от 56 до 62 вес%, Ce_2O_3 - от 4.8 до 9.1 вес%, Gd_2O_3 - от 0 до 12 вес% (Таблица 1).

Таблица 1 – Исходный состав синтезированных образцов YAG:Ce и YAGG:Ce керамики

Номер образца	Состав			
	Al_2O_3	Y_2O_3	Ce_2O_3	Gd_2O_3
1	59,5%	35,7%	4,8%	
2	56,8%	34,1%	9,1%	
3	59,5%	23,8%	4,8%	11,9%
4	56,8%	22,7%	4,8%	11,4%
5	56,8%	34,1%	9,1%	
6	59,5%	23,8%	4,8%	11,9%
7	59,5%	35,7%	4,8%	
8	56,8%	34,1%	9,1%	
9	56,8%	22,7%	9,1%	11,4%

Смесь порошков стехиометрического состава насыпалась в углубления массивного медного тигля глубиной 5 мм и площадью до 40x120 мм². На тигель направлялся мощный поток электронов, выведенный из вакуума в среду с атмосферным давлением через систему дифференциальной вакуумной откачки. Пучок сканировал по поверхности тигля со скоростью 1 см/с. В сечении плотность пучка электронов имела гауссово распределение с диаметром 7 мм у поверхности шихты. Время воздействия потока электронов в каждой точке поверхности тигля составляло 1 с. После радиационного воздействия шихта быстро застывала, образуя керамический образец. После однократного облучения тигель охлаждался, образцы вынимались из тигля. Структура и элементный состав этих образцов описывались в [12]. Спектры люминесценции образцов и спектры возбуждений люминесценции измерялись с помощью флуоресцентного спектрофотометра Agilent Cary Eclipse. Кинетика фотолюминесценции регистрировалась ФЭУ Хамаматсу через монохроматор при возбуждении азотным лазером на длине волны 337 нм.

Результаты. Синтезированные образцы представляли собою керамические шарики диаметром 3-6 мм характерного желтого цвета. Образцы дробились в порошок, измерялись спектры фотолюминесценции при возбуждении излучениями лазера и чипов с γ 337 и 450 нм. Были проведены исследования наиболее существенных для люминесцирующих материалов люминесцентных свойств: спектров люминесценции и кинетики затухания люминесценции. Установлено, что основные люминесцентные характеристики синтезированных образцов керамики в основном подобны известным образцам, полученным традиционными методами твердофазного синтеза люминофоров [13]. Спектры люминесценции при возбуждении на 337 и 450 нм не различаются (Рисунок 1). На рисунках 2 приведены результаты исследования спектров люминесценции раздробленных в порошок образцов разных составов, спектры люминесценции имеют вид монополосы при возбуждении 337 нм.

Из сопоставления результатов измерения характеристик спектров можно видеть следующее. Имеет место большой разброс положений и полуширин полос люминесценции. В ИАГ:Се керамических образцах положения полос находятся в пределах от 546 до 563 нм, полуширина от 0,42 до 0,49 эВ. В ИАГГ:Се от 548 до 570 нм и от 0,44 до 0,48 эВ соответственно. В целом видна такая тенденция: введение гадолиния приводит к смещению полосы в красную область. Большой разброс в характеристиках полос объясняется следующим. В сильнодефектных системах, которыми являются образцы ИАГ:Се керамики, центр свечения является элементом нанодфекта, комплексного дефекта. Нанодфект формируется в процессе синтеза. При высокой скорости синтеза керамики формирование не успевает завершиться.

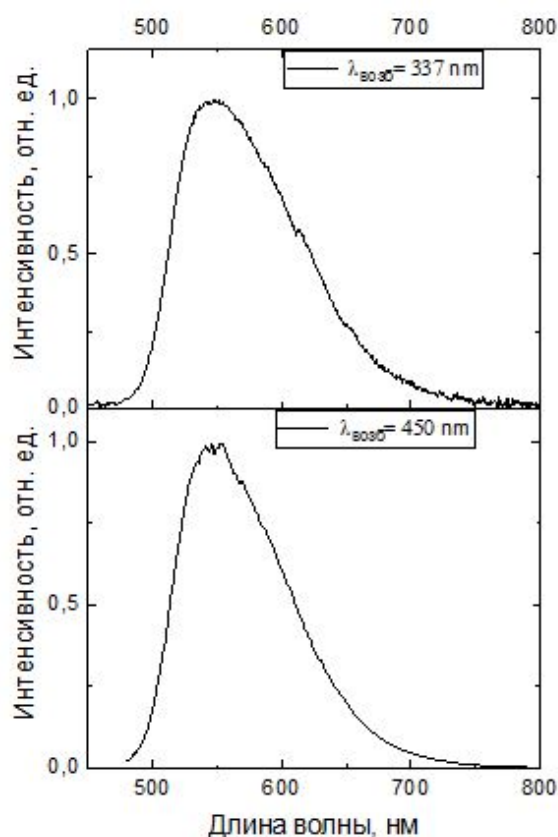


Рисунок 1 - Спектры люминесценции образцов керамики при возбуждении 337 и 450 нм

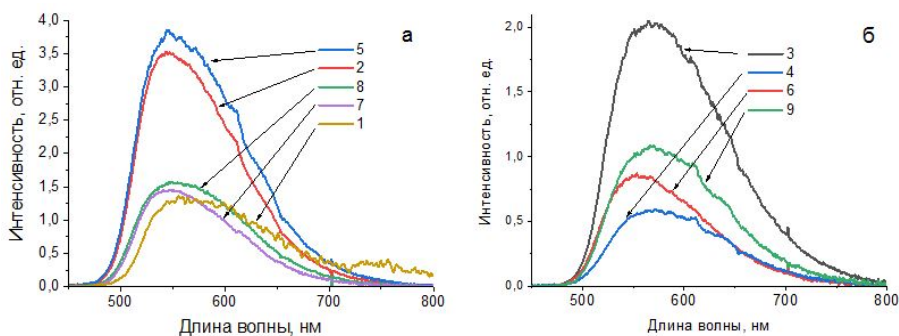


Рисунок 2 - Спектр люминесценции образцов ИАГ (а) и ИАГГ (б) керамики при возбуждении 337 нм

Поэтому небольшие различия в режимах синтеза, прежде всего при подготовке смесей, могут приводить к отклонениям структуры нанодфекта. Мы полагаем, что различие в формах полос свидетельствует о том, что структура окружения центров свечения в ИАГ:Се образцах разной предыстории различается. Это очевидно является результатом разницы в технологических режимах их синтеза. Предполагается, что наблюдаемый разброс характеристик люминесценции обусловлен различием структуры нанодфектов в синтезированных в разных условиях люминофорах. Все нанодфекты в ИАГ:Се люминофорах имеют подобный элементный состав: ионы матрицы, активатора, модификатора, собственные дефекты решетки, но различное их соотношение и взаимное распределение в нанодфекте [14]. Положение максимумов, полуширины спектров, кинетические параметры на длине волны регистрации 540 нм импульсной фотолюминесценции представлены в таблице 2. Элементный состав изготовленных образцов ИАГ:Се, ИАГГ:Се отличаются от заложенного при изготовлении шихты. Доля ионов алюминия превышала заложенную при формировании шихты относительно доли Y, Ce, Gd. Следовательно, полученная керамика имеет нестехиометрический состав.

Таблица 2 – Исходный состав синтезированных образцов YAG:Ce и YAGG:Ce керамики

№ образца	$\lambda_{\text{возб}}=337 \text{ nm}$		Параметры кинетики фотолюминесценции на $\lambda = 540 \text{ nm}$			
	$\Delta E, \text{ eV}$	λ_{max}	τ_1	A_1	$\tau_2, \text{ ns}$	A_2
1	0,494371	563	38,78	0,51	70	0,6
2	0,427453	545			62,34	
3	0,477145	570	28	0,5	64,29	0,6
4	0,459989	548	21,44	0,85	60	0,37
5	0,441487	546			65	
6	0,441029	554	29	0,4	62	0,69
7	0,422713	548			67,71	
8	0,456703	550			70	
9	0,484883	570	37,16	0,475	68,37	0,6

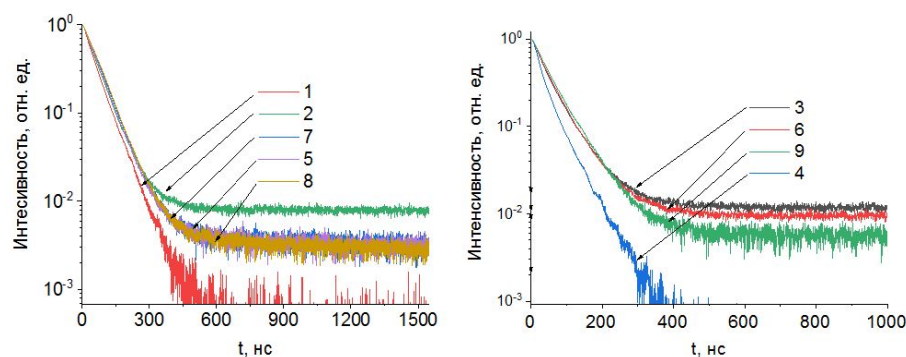


Рисунок 3 - Кинетика фотолюминесценции ИАГ керамик при возбуждении 337 nm

На рисунке 3 представлены результаты исследования кинетики затухания люминесценции синтезированных образцов керамики после возбуждения наносекундным импульсом измерения лазера на 337 нм. В большинстве исследованных образцов керамики имеет место по крайней мере двухстадийный характер затухания с характеристическими временами нс и длительный в микросекундном диапазоне. Для некоторых образцов характер затухания описывается одной экспонентой. Имеет место различие в соотношениях амплитуд затухания на первой стадии.

Заключение. Проведены исследования люминесцентных характеристик образцов ИАГ:Ce керамики синтезированной в поле радиации. В основных чертах спектральные и кинетические характеристики люминесценции керамики подобны известным для ИАГ:Ce люминофоров и керамики, полученной с использованием методом твердотельных реакции. Следовательно, радиационный способ синтеза люминесцирующей керамики принципиально отличающийся от существующего, может рассматриваться как альтернативный. Показано, что характеристики люминесценции синтезированных образцов имеют большой разброс. Объясняется это в рамках представлений о том, что центр свечения — ион церия, который является элементом нанодфектов, формирующихся в процессе синтеза. При синтезе образцов поле радиации, который реализуется в течение 1 с, формирование нанодфектов не завершается. Необходим последующий отжиг образцов для завершения их формирования.

Список литературы

- 1 Michalik D., Sopicka-Lizer M., Plewa J., Pawlik T. Application of mechanochemical processing to synthesis of YAG:Ce garnet powder // Archives of metallurgy and materials – 2011. - № 56. - P. 1257-1264.
- 2 Osipov V.V., Ishchenko A.V., Shitov V.A., Maksimov R.N., Lukyashin K.E., Platonov V.V., Orlov A.N., Osipov S.N., Yagodin V.V., Viktorov L.V. et al. Fabrication, optical and scintillation properties of transparent YAG:Ce // Opt. Mater. – 2017. - № 71. - P. 98–102.
- 3 Husnen R. Abd, Zainuriah Hassan, Naser M. Ahmed, Forat H. Alsultany, Ahmad F. Omar, Ce-doped YAG phosphor powder synthesized via microwave combustion and its application for white LED // Opt.Eng. – 2019. - Т. 58. - №2. - P. 027110.

- 4 Choe J.Y. Luminescence and compositional analysis of Y₃Al₅O₁₂:Ce films fabricated by pulsed-laser deposition // J. Mat. Res. Innovat. – 2002. – № 6. – P. 238-241.
- 5 Murai S., Fujita K., Iwata K., Tanaka K. Scattering-based hole burning in Y₃Al₅O₁₂:Ce³⁺ monoliths with hierarchical porous structures prepared via the sol-gel route // J. Phys. Chem: C. – 2011. – № 36. – P. 17676–17681.
- 6 Hakuta Y., Haganuma T., Sue K., Adschiri T., Arai K. Continuous production of phosphor YAG:Tb nanoparticles by hydrothermal synthesis in supercritical water // Materials Research Bulletin. – 2003. – № 38. – P. 1257-1265.
- 7 Mech A., M. Karbowiak, L. Kepinski, A. Bednarkiewicz, W. Strek Structural and luminescent properties of nano-sized NaGdF₄: Eu³⁺ synthesised by wet-chemistry route // Journal of Alloys and Compounds. – 2004. – № 380. – P.315–320.
- 8 Huczko A. Fast combustion synthesis and characterization of YAG:Ce³⁺ garnet nanopowders // Phys. Status Solidi B. – 2013. – V. 250. - № 12. – P. 2702–2708.
- 9 Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Даулетбекова А.К., Мусаханов Д.А., Ваганов В.А., Тулегенова А.Т., Карипбаев Ж.Т. Люминесцирующая керамика на основе MgF₂ // Известия высших учебных заведений. Серия Физика. - 2018. - Т. 10. - № 61. - С.144-148.
- 10 Lisitsyn V., Lisitsyna L., Dauletbekova A., Golvkovskii M., Karipbayev Zh., Musakhanov D., Akilbekov A., Zdorovets M., Kozlovskiy A., Polisadova E. Luminescence of the tungsten-activated MgF₂ ceramics synthesized under the electron beam // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2018. - № 435. – P.63-267.
- 11 Lisitsyn V. M., Golvkovskii M. G., Lisitsyna L. A., Dauletbekova A. K., Musakhanov D.A., Vaganov V. A., Tulegenova A.T., Karipbayev Zh.T. MgF₂ -Based Luminescing Ceramics // Russian Physics Journal. - 2019. - Т.61. - № 10. – P. 1908–1913.
- 12 Lisitsyn V.M., Golvkovsky M.G., Musakhanov D.A., Tulegenova A.T., Abdullin K.A., Aitzhanov M.B. YAG based phosphors, synthesized in a field of radiation // Journal of Physics: Conference Series. 2018. - Т.1115. - № 5. – P. 052007.
- 13 Mussakhanov D.A., Tulegenova A.T., Lisitsyn V.M., Golvkovsky M.G., Lisitsyna L.A., Abdullin Kh.A., Aitzhanov M.B., Karipbayev Zh., Kozlovsky A. and Michailov Yu. I. Michailov Structural and luminescent characteristics of YAG phosphors synthesized in the radiation field //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. - № 510. – P. 012031.
- 14 Alpysova G., Mussakhanov D., Karipbayev Zh., Grechkina T., Shiming Zheng, Kukenova A Luminescence spectra of YAG:Ce phosphors synthesized in a field of radiation // HTRA-2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. -2020. - № 754. – P. 012014.

Ж.Т. Карипбаев^{1,2}, Д.А. Мусаханов^{1,2}, В.М. Лисицын², Г.К. Алпысова¹,
А. Куkenova¹, А.Б. Усеинов¹, А.А. Абдрахметова¹, М.Ж. Байжуманов¹

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

² Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

Радиация өрісінде синтезделген YAG:Ce негізіндегі люминофорлардың импульстік фотолюминесценциясы

Аннотация. Бұл жұмыста қатты радиацияның күшті ағындарын пайдаланып, люминофорды синтездеуге негізделіп отыр. YAG:Ce керамикасын синтездеу үшін итрий мен алюминий оксидтерінің стехиометриясына сәйкес келетін құраммен арнайы шихта әзірленді. Қоспаға модификатор ретінде гадолиний оксиді және активатор ретінде церий оксиді қосылды. Люминофор үлгілерінің фотолюминесценция спектрлерін өлшеу Cary Eclipse флуоресценттік спектрофотометрі «Agilent» көмегімен жүргізілді. Кинетикалық сипаттамалар МДР-204 монохроматоры, «Hamamatsu h10720-20» ФЭК арқылы өлшенді. Люминесценция спектрлері керамикаға немесе люминофорға тән. Радиациялық ағынның әсерінен гадолинийдің енуіне байланысты YAG:Ce немесе YAGG:Ce құрылымындағы керамика синтезделді.

Түйін сөздер: ақ жарық диодтары, итрий-алюминий гранат, люминофор, керамика, радиация өрісіндегі синтез.

Zh. Karipbaev^{1,2}, D. Musakhanov^{1,2}, V. Lisitsyn², G. Alpysova¹,
A. Kukenova¹, A. Usseinov¹, A. Abdrahmetova¹, M. Baizhumanov¹

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

² Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Pulsed photoluminescence of YAG: Ce phosphors synthesized in the radiation field

Abstract. In this work, an attempt is made to synthesize a phosphor using powerful fluxes of hard radiation. For the synthesis of ceramics YAG: Ce, a charge was prepared with a composition corresponding to the stoichiometric composition of yttrium and aluminum oxides. Gadolinium oxide as a modifier and cerium oxide as an activator were added to the mixture. Measurements of the photoluminescence spectra of the luminophore samples were performed using a Cary Eclipse fluorescence spectrophotometer (Agilent). The kinetic characteristics were measured through an MDR-204 monochromator, a Hamamatsu h10720-20 photomultiplier. The luminescence spectra are typical for such ceramics or phosphors. As a result of exposure to the radiation flux, ceramics with the YAG: Ce or YAGG: Ce structure were synthesized, depending on the introduction of gadolinium.

Keywords: white LEDs, yttrium-aluminum garnet, phosphor, ceramics, synthesis in the radiation field.

References

- 1 Michalik D., Sopicka-Lizer M., Plewa J., Pawlik T. Application of mechanochemical processing to synthesis of YAG:Ce garnet powder, Archives of metallurgy and materials, 56, 1257-1264 (2011).
- 2 Osipov V.V., Ishchenko, A.V., Shitov, V.A., Maksimov R.N., Lukyashin, K.E., Platonov, V.V., Orlov A.N., Osipov S.N., Yagodin, V.V., Viktorov L.V., et al. Fabrication, optical and scintillation properties of transparent YAG:Ce, Opt. Mater., 71, 98-102 (2017).
- 3 Husnen R. Abd, Zainuriah Hassan, Naser M. Ahmed, Forat H. Alsultany, Ahmad F. Omar, Ce-doped YAG phosphor powder synthesized via microwave combustion and its application for white LED, Opt. Eng., 58(2), 027110 (2019).
- 4 Choe J.Y. Luminescence and compositional analysis of Y3Al5O12:Ce films fabricated by pulsed-laser deposition, J. Mat. Res. Innovat., 6, 238-241 (2002).
- 5 Murai S., Fujita K., Iwata K., Tanaka K. Scattering-based hole burning in Y3Al5O12:Ce3+ monoliths with hierarchical porous structures prepared via the sol-gel route, J. Phys. Chem: C., 36, 17676-17681 (2011).
- 6 Hakuta Y., Haganuma T., Sue K., Adschiri T., Arai K. Continuous production of phosphor YAG:Tb nanoparticles by hydrothermal synthesis in supercritical water, Materials Research Bulletin, 38, 1257-1265 (2003).
- 7 Mech A., M. Karbowiak, L. Kepinski, A. Bednarkiewicz, W. Strek Structural and luminescent properties of nano-sized NaGdF4: Eu3+ synthesised by wet-chemistry route, Journal of Alloys and Compounds, 380, 315-320 (2004).
- 8 Huczko A. Fast combustion synthesis and characterization of YAG:Ce3+ garnet nanopowders, Phys. Status Solidi B., 250(12), 2702-2708 (2013).
- 9 Lisitsyn V.M., Golkovsky M.G., Lisitsyna L.A., Dauletbekova A.K., Musakhanov D.A., Vaganov V.A., Tulegenova A.T., Karipbaev Zh.T. Lyuminesciryushchaya keramika na osnove MgF2, Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Seriya Fizika [Luminescent ceramics based on MgF2, Bulletin of higher educational institutions. Physics Series], 10 (61), 144-148 (2018).
- 10 Lisitsyn V., Lisitsyna L., Dauletbekova A., Golkovskii M., Karipbayev Zh., Musakhanov D., Akilbekov A., Zdorovets M., Kozlovskiy A., Polisadova E. Luminescence of the tungsten-activated MgF2 ceramics synthesized under the electron beam, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 435, 263-267 (2018).
- 11 Lisitsyn V.M., Golkovskii M.G., Lisitsyna L.A., Dauletbekova A.K., Musakhanov D.A., Vaganov V.A., Tulegenova A.T., Karipbayev Zh.T. MgF2-Based Luminescing Ceramics, Russian Physics Journal, 61 (10), 1908-1913 (2019).
- 12 Lisitsyn V.M., Golkovsky M.G., Musakhanov D.A., Tulegenova A.T., Abdullin K.A., Aitzhanov M.B. YAG based phosphors, synthesized in a field of radiation, Journal of Physics: Conference Series, 1115 (5), 052007 (2018).
- 13 Mussakhanov D.A., Tulegenova A.T., Lisitsyn V.M., Golkovsky M.G., Lisitsyna L.A., Abdullin Kh.A., Aitzhanov M.B., Karipbayev Zh., Kozlovsky A. and Michailov Yu. I. Michailov Structural and luminescent characteristics of YAG phosphors synthesized in the radiation field, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 510, 012031 (2019).
- 14 Alpysova G., Mussakhanov D., Karipbayev Zh., Grechkina T., Shiming Zheng, Kukenova A. Luminescence spectra of YAG:Ce phosphors synthesized in a field of radiation, HTRA-2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 754, 012014 (2020).

Сведения об авторах:

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

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

Лисицын В.М. - доктор физико-математических наук, профессор, Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, Томск, Россия.

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

Куkenова А. - магистрант кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Усеинов А.Б. - PhD, и.о. доцента международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Абрахметова А.А. - доктор PhD кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

Байжусупов М.Ж. - доктор PhD кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

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

Mussakhanov D. - Senior lecturer of the Department of radio engineering, electronics and telecommunications, graduate student, Tomsk Politechnic University, Tomsk, Russia.

Lisitsyn V. - Doctor of physical and mathematical sciences, professor, Tomsk Politechnical University, Lenin Ave., 30, Tomsk, Russia.

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

Kukenova A. - Master student of the Department of technical physics, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Usseinov A. – PhD of the International Department of nuclear physics, new materials and technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

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

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