

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**

№2(127)/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. докторы
А.Қ. Арынгазин (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

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

Редакция алқасы

Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Гиниятова Ш.Г.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
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, 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
A.K. Aryngazin (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

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

Editorial Board

Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Giniyatova Sh.G.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
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.К. Арынгазин (Казахстан)

Зам. главного редактора

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

Редакционная коллегия

Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
Гиниятова Ш.Г.	д.ф.-м.н. (Казахстан)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	доктор PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	д.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.	д.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. 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

№2(127)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Алиева Г.Ж., Кабдрахимова Г.Д., Садықов Б.М., Насурлла М., Мукан Ж., Усабаева Г., Кучук Я., Жолдыбаев Т. К.</i> $E_p = 30$ МэВ энергиялық ^{103}Rh ядросындағы (p,xp) реакциясының екінші реттік протондар эмиссиясы	8
<i>Аралбаева Г.М., Гиниятова Ш.Г.</i> TiO_2 -де латентті тректердің параметрлерін бағалауға арналған термиялық шыңның моделі	16
<i>Жексембаева А., Абуова Ф.У., Ақылбеков А.Т., Абуова А.У., Сарсебай Е.</i> LaMnO_3 кристалының (001) бетіндегі процестерді кванттық механикалық модельдеу	25
<i>Мейрамбай А., Ержанов К.К., Ержанова Ж.О.</i> Фейнмандық диаграммалар толық интегралданатын статистикалық тор жүйесі ретінде	31
<i>Аумаликова М., Ибраева Д., Жумадилов К., Шижкина Е., Бахтин М., Кашикинбаев Е.</i> Уран өндіретін және өндейтін кәсіпорындарда жұмыс істейтін қызметкерлер мен тұрғылықты халықтың дозалық жүктемесін есептеу	38
<i>Ибраева А.Д.</i> Si_3N_4 -те тректүзілу механизмін сипаттау үшін термиялық шыңның серпімсіз моделінің қолдануын зерттеу	48
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А., Мейрбеков Б.К.</i> $(2+1)$ өлшемді $F(T)$ гравитациясының фермиондық өріспен байланысқандағы космологиялық шешім	57
<i>Рахымбеков А.Ж.</i> Суперионды өткізгіштегі электрлік өткізгіштікті есептеу	67
<i>Сарсенова С.М., Степаненко В.Ф., Жумадилов К.Ш.</i> Оптикалық стимуляцияланған люминесценттік (ОСЛ) дозиметрия әдісінің қазіргі жағдайы	72
<i>Сүйжимбаева Н.Т., Калиев А.М., Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Гейзенбергтің ХХХ моделіндегі 4-еуі кері аударылған спиндер үшін Бете анзацы	80

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

№2(127)/2019

CONTENTS

<i>Aliyeva G.Zh., Kabdrakhimova G.D., Sadykov B.M., Nassurlla M., Mukan Zh., Ussabaeva G., Kucuk Y., Zholdybaev T.K.</i> The emission of secondary protons from reaction (p,xp) at an energy of 30 MeV in the nucleus of ^{103}Rh	8
<i>Aralbayeva G.M., Giniyatova Sh.G.</i> The thermal spike model to estimate the parameters of latent tracks in TiO_2	16
<i>Zheksembayeva A., Abuova F.U., Akylbekov A.T., Abuova A.U., Sarsebai E.</i> Quantum mechanical modeling of processes on the surface of a LaMnO_3 (001) crystal	25
<i>Meirambay A., Yerzhanov K.K., Yerzhanova Zh.O.</i> Feynman diagrams as a completely integrable lattice statistical system	31
<i>Aumalikova M., Ibrayeva D., Zhumadilov K., Shishkina E., Bakhtin M., Kashkinbayev Ye.</i> Calculation of radiation burden of personnel and public, working and living in area of the uranium mining and uranium-processing enterprises	38
<i>Ibrayeva A.D.</i> Study of the applicability of the inelastic thermal peak model to describe the track formation mechanism in Si_3N_4	48
<i>Myrzakulov N.A., Myrzakulova Sh.A., B.K Meirbekov</i> Cosmological solutions for $F(T)$ gravity with fermion fields in (2+1) dimensions	57
<i>Rakhymbekov A.Zh.</i> Calculation of electrical conductivity of a superionic conductor	67
<i>Sarsenova S.M., Stepanenko V.F., Zhumadilov K.Sh.</i> The modern state of optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry method	72
<i>Suikimbayeva N.T., Kaliyev A.M., Razina O.V., Tsyba P.Yu.</i> The Bethe ansatz in the XXX model of Heisenberg for the 4-inverted spins	80

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

№2(127)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Алиева Г.Ж., Кабдрахимова Г.Д., Садыков Б. М., Насурлла М., Муқан Ж., Усабаева Г., Кучук Я., Жолдыбаев Т. К.</i> Эмиссия вторичных протонов из реакции (p,xp) при энергии 30 МэВ на ядре ^{103}Rh	8
<i>Аралбаева Г.М., Гиниятова Ш.Г.</i> Модель термического пика для оценки параметров латентных треков в TiO_2	16
<i>Жексембаева А., Абуова Ф.У., Акылбеков А.Т., Абуова А.У., Сарсебай Е.</i> Квантово-механическое моделирование процессов на поверхности кристалла LaMnO_3 (001)	25
<i>Мейрамбай А., Ержанов К.К., Ержанова Ж.О.</i> Фейнмановские диаграммы как вполне интегрируемая статистическая система решетки	31
<i>Аумаликова М., Ибраева Д., Жумадилов К., Шишкина Е., Бахтин М., Кашкинбаев Е.</i> Расчет дозовой нагрузки персонала и населения, работающих и проживающих в области уранодобывающего и ураноперерабатывающего предприятий	38
<i>Ибраева А.Д.</i> Изучение применимости модели неупругого термического пика для описания механизма трекообразования в Si_3N_4	48
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А., Мейрбеков Б.К.</i> Космологические решения для $F(T)$ гравитации с фермионными полями в (2+1) размерности	57
<i>Рахымбеков А.Ж.</i> Расчет электрической проводимости суперионного проводника	67
<i>Сарсенова С.М., Степаненко В.Ф., Жумадилов К.Ш.</i> Современное состояние метода оптически стимулированной люминесцентной (ОСЛ) дозиметрии	72
<i>Суйкимбаева Н.Т., Калиев А.М., Разина О.В., Цыба П.Ю.</i> Анзац Бете в ХХХ модели Гейзенберга для 4-х перевернутых спинов	80

А.Д.Ибраева

*Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Астанинский филиал Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: a.d.ibrayeva@gmail.com)*

Изучение применимости модели неупругого термического пика для описания механизма трекообразования в Si_3N_4

Аннотация: Настоящая работа посвящена изучению применимости модели неупругого термического пика для описания процесса трекообразования в нитриде кремния, облученном высокоэнергетическими тяжелыми ионами. Проведено моделирование взаимодействия налетающих ионов и атомов материала с помощью программы i-TS с использованием трех коэффициентов электрон - фононного взаимодействия $\lambda=3, 4,3$ и $4,8$ нм. Показано, что экспериментальные значения размеров треков сильно отличаются от теоретических как для кристаллического, так и для аморфного Si_3N_4 , что говорит о неприменимости данного подхода для описания экспериментальных результатов в нитриде кремния.

Ключевые слова: инертная матрица, быстрые тяжелые ионы, нитрид кремния, трекообразование, просвечивающая электронная микроскопия, модель неупругого термического пика, кристаллическая и аморфная структура материала, электрон-фононное взаимодействие.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-127-2-48-56>

Введение. В настоящее время одной из актуальных задач ядерной энергетики является утилизация радиоактивных отходов. Известно, что снижение уровня их радиотоксичности требует, в первую очередь, уменьшения числа минорных актинидов в их составе. Это возможно при дополнительном облучении в реакторах – «дожигателях», при так называемом процессе трансмутации. Во избежание образования новых актинидов, выделенные из отработанного топлива Pu, Am, Cm или Np заключаются в матрицу, инертную для образования новых актинидов [1,2]. Материалы для таких матриц должны удовлетворять ряду требований, включающих приемлемые тепловые характеристики, механические свойства, достаточные для обеспечения механической стабильности при облучении и взаимодействии с топливом и оболочкой, и радиационную стойкость при высоких температурах при воздействии нейтронов и осколков деления [1-3].

Кандидатными материалами для этих целей являются керамики, в частности нитриды, такие как Si_3N_4 [4-9]. Благодаря своим замечательным тепловым и механическим свойствам, нитрид кремния уже широко применяется в военной инженерии, аэрокосмической технике, микроэлектронике и других высокотехнологических областях [2,5]. В то же время его радиационная стойкость еще находится на этапе исследования, причем особый интерес вызывает влияние высокоэнергетического ионного излучения, моделирующее воздействие осколков деления, на структуру Si_3N_4 , поскольку на сегодняшний день в литературе нет достаточных данных, посвященных этому вопросу [2].

Известно, что для быстрых ионов с кинетической энергией $E \geq 1\text{МэВ} \cdot \text{а.е.м.}^{-1}$ интенсивность выделения энергии в электронную подсистему в 10^3 - 10^4 раз превышает выделение энергии в ядерную подсистему твердого тела, что инициирует формирование специфических макродефектов - латентных треков. Они представляют собой разупорядоченные области вокруг ионной траектории размером до десятков нанометров [10, 11]. Для описания механизма трекообразования в твердых телах используются различные теоретические модели. Предполагается, что наиболее подходящей среди них для нитрида кремния, учитывая его диэлектрическую природу, является модель неупругого термического пика. В рамках этой модели положено, что тело состоит из двух подсистем: электронной и ионной. Двигаясь, быстрый тяжелый ион возбуждает электронную подсистему, что выражается в увеличении температуры электронного газа, и далее энергия передается в

ионную подсистему через взаимодействия электронов с коллективными колебаниями решетки (фононами), что описывается константой электрон-фононного взаимодействия. Механизм генерации дефектов объясняется затруднением вынесения энергии возбуждения из трека с дальнейшим нагреванием решетки до температуры плавления, ведущим к перекристаллизации в области движения иона [12]. Необходимо, однако, отметить, что ряд существенных недостатков этой модели ставят под сомнение возможность ее применения для корректного описания процессов, происходящих в материале под воздействием высокоэнергетического ионизирующего излучения. В основном, они связаны с длительностями этих процессов (10^{-15} - 10^{-12} с) [13, 14]. Так, передача энергии в ионную подсистему и ее нагревание происходит дольше, чем остывание электронной подсистемы [15], которое ограничивает использование электрон-фононного механизма [16-18] на начальных стадиях процессов передачи энергии и импульса из возбужденной электронной подсистемы материала в ионную. Кроме того, использование макроскопических термодинамических параметров (температура, удельная теплота, удельная теплоемкость) не совсем корректно для описания микроскопических систем, подобных латентным трекам.

Таким образом, несмотря на то, что модель термического пика дает возможность оценить размер треков и пороговый уровень электронного торможения для их образования для целого ряда материалов, ей присущи принципиальные недостатки и ее применимость для конкретной комбинации ион + мишень требует отдельного рассмотрения.

Целью настоящей работы является анализ применимости данной модели для описания процесса трекообразования в нитриде кремния, облученном высокоэнергетическими тяжелыми ионами.

Материалы и методы. В данной работе были использованы как наши экспериментальные данные, полученные для Si_3N_4 , облученного ионами ксенона с энергией 220 МэВ [19], так и все известные из литературы результаты по параметрам латентных треков в поликристаллическом и аморфном (пленочном) нитриде кремния. Образцы Si_3N_4 , с примесью Al, облучались ионами Xe с энергией 220 МэВ на циклотроне ДЦ60 (ИЯФ, Астана) и ионами Bi с энергией 1030 МэВ на циклотроне У400М (ОИЯИ, Дубна). Электронно-микроскопический анализ проводился в Центре высоко разрешающей просвечивающей электронной микроскопии университета Нельсона Манделы, Порт Элизабет, ЮАР. В таблице 1 представлены теплофизические параметры кристаллического и аморфного Si_3N_4 , использовавшиеся при моделировании облучения быстрыми тяжелыми ионами в программе iTS, основанной на теоретической модели неупругого термического пика [20,21].

Зависимости теплопроводности $K(T)$ и теплоемкости $C(T)$ Si_3N_4 от температуры представлены на рисунке 1.

К сожалению, данные о скрытой теплоте плавления исследуемого диэлектрика отсутствуют в литературе, поэтому мы использовали рассчитанные изменения энтальпии образования Si_3N_4 . Согласно некоторым данным, при температуре плавления происходит разложение нитрида кремния [2,25], поэтому мы предположили, что возможно использовать в качестве скрытой теплоты плавления изменение энтальпии образования соединения.

Ионизационные и ядерные удельные потери энергии рассчитывались с использованием программного пакета SRIM-2013.

Таблица 1. Теплофизические параметры керамики Si_3N_4 , использованные в работе

Физическая характеристика	Значение для кристаллического Si_3N_4	Значение для аморфного Si_3N_4
Плотность твердого вещества, ρ_{solid} , г/см ³	3,21 [22-24]	3 [26]
Плотность жидкого вещества, ρ_{liquid} , г/см ³	3,04	2,85
Молярная масса, M, г/моль	140,28	140,28

Температура плавления, T_{melt} , К	2775 [23]	2173 [26]
Температура испарения, T_{vapor} , К	3578 [25]	3578 [25]
Скрытая теплота плавления, L_{fus} , Дж/г	1400 [26]	1400 [26]
Скрытая теплота испарения, L_{vap} , Дж/г	6000 [25]	5800 [25]

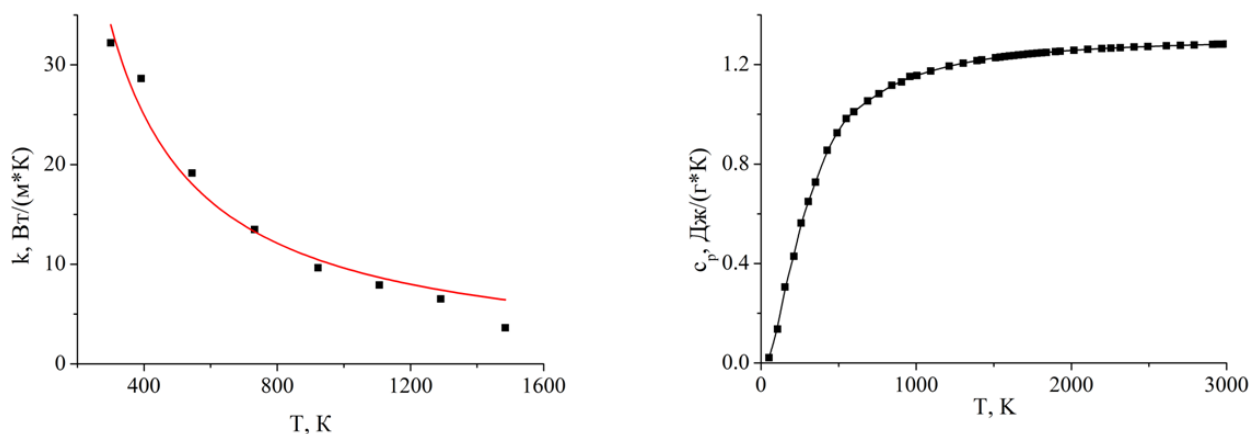
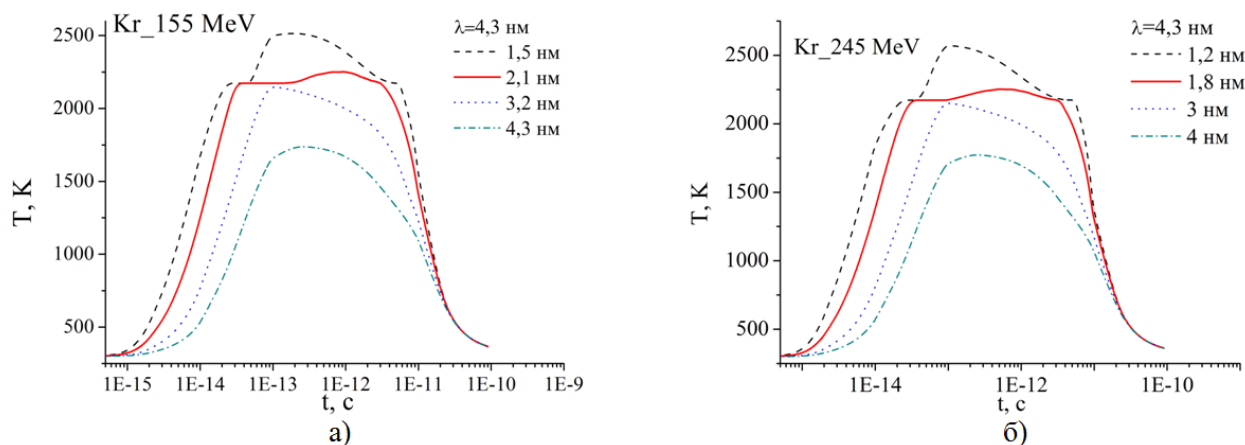


Рисунок 1 – Зависимость теплопроводности k [22] и теплоемкости c [22,24,26] от температуры T

Результаты и обсуждение. Были проведены теоретические оценки размеров треков в керамических структурах на основе диэлектрика Si_3N_4 с использованием модели неупругого термического пика iTS. Учитывая имеющиеся литературные сведения, были выполнены расчеты для трех значений подгоночного параметра λ (длины свободного пробега электрон-фононного взаимодействия) в модели. Известно, что для аморфизируемых материалов (SiO_2 , $Y_5Al_5O_{12}$, GeS, $LiNbO_3$ и других) наблюдается эмпирическая зависимость λ от ширины запрещенной зоны E_g [20], согласно которой было выбрано значение для длины свободного пробега в нитриде кремния $\lambda = 4,3$ нм. Выбор второго значения $\lambda = 4,8$ нм был обусловлен результатами, приведенными в работе [23]. На рисунке 2 представлены результаты моделирования iTS для кристаллического Si_3N_4 ($\lambda = 4,3$ нм) при облучении ионами криптона и висмута. Графические изображения результатов облучения другими ионами и при коэффициенте $\lambda = 4,8$ нм исследуемого нитрида в кристаллическом состоянии имели аналогичный вид. Результаты моделирования в программе iTS, значения ионизационных потерь S_e , рассчитанные SRIM-2013, и экспериментальные данные объединены в таблицу 2.



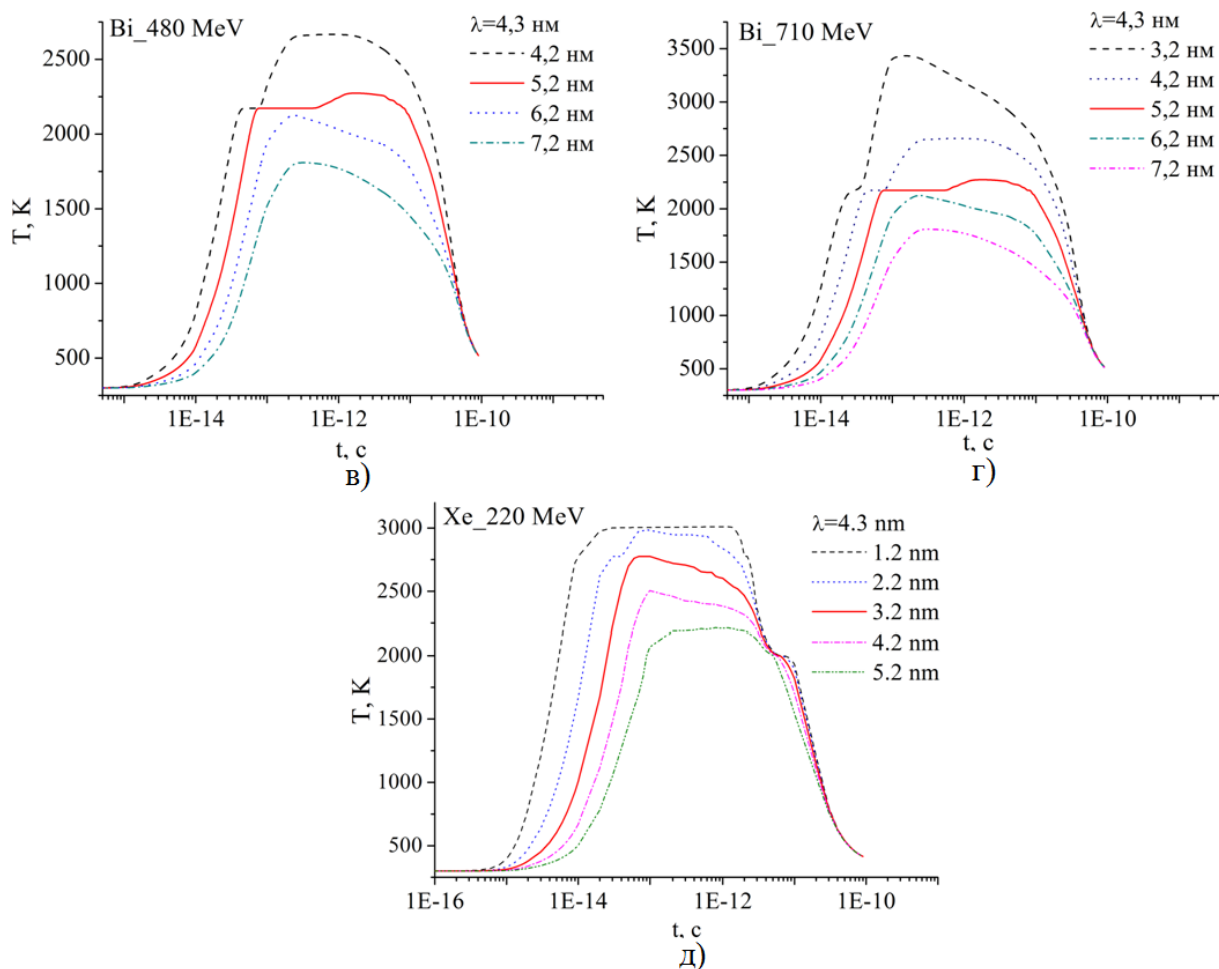


Рисунок 2 – Результаты моделирования i-TS для Кг с энергией: а) 155 МэВ, б) 245 МэВ; Вi с энергией: в) 480 МэВ, г) 710 МэВ; Хе с энергией: д) 220МэВ

Таблица 2. Параметры радиационно-индуцированных треков в кристаллическом Si₃N₄

Ион	Энергия, МэВ	Энергия иона, МэВ/ нуклон	S_e , кэВ /нм	$R_{эксперимент}$, нм	R_{iTS} , нм $\lambda=4,3$ нм	R_{iTS} , нм $\lambda=4,8$ нм
Кг	107	1,27	14,73		2,3	1,0
	155	1,84	14,97		2,1	0,7
	245	2,92	14,88	0 [23]	1,8	0,3
Вi	245	1,17	27,48		5,0	3,7
	480	2,30	32,37		5,4	4,0
	710	3,39	33,57	1,7 [23]	5,4	4,0
	1030	4,93	33,6	1,75	4,4	4,0
Хе	220	1,67	21,89	1,7 [19]	3,2	2,8

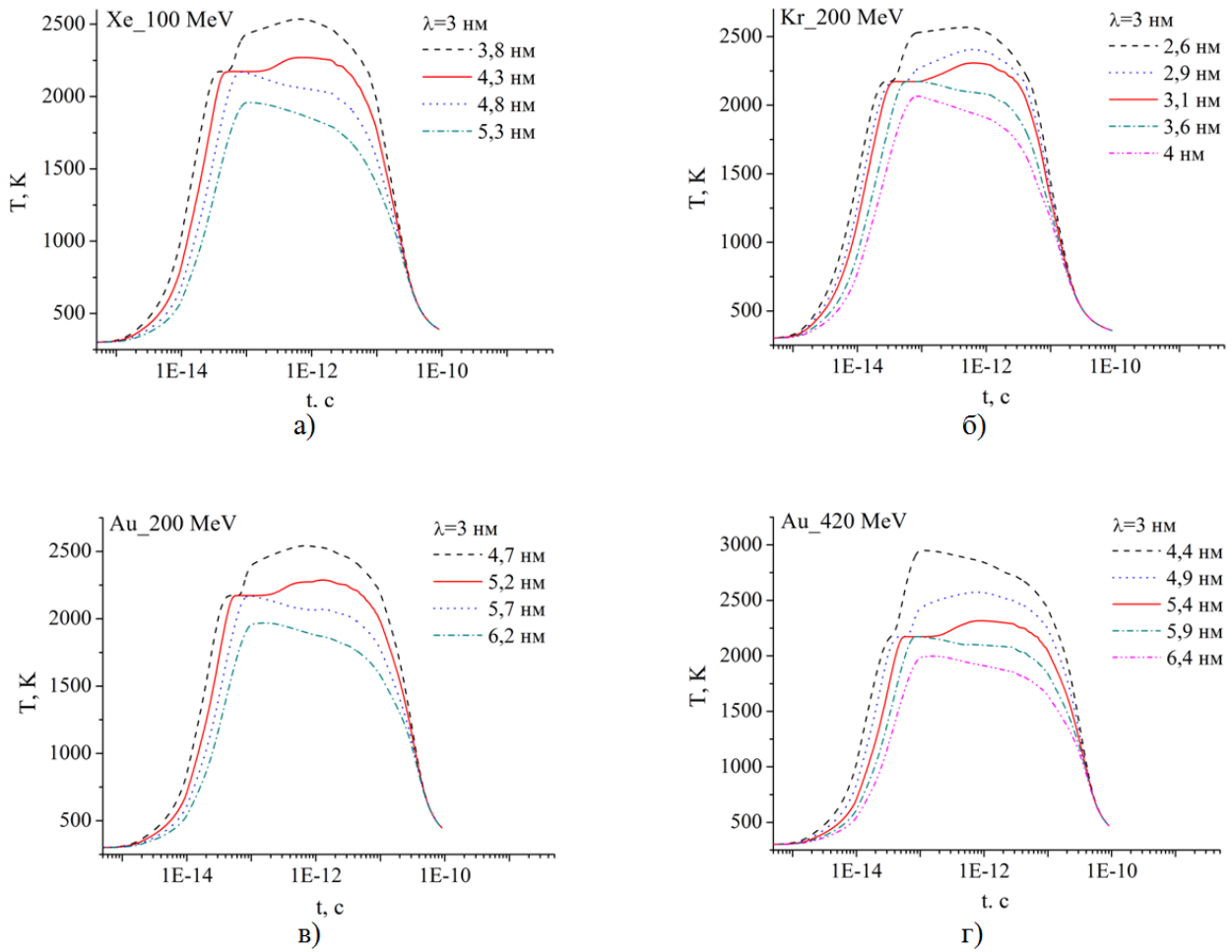


Рисунок 3 – Результаты моделирования i-TS для: Xe с энергией 100 МэВ, б) Kr с энергией 200 МэВ, в) Au с энергией 200 МэВ; г) Au с энергией 420 МэВ

Таблица 3. Параметры радиационно-индуцированных треков в пленочном Si_3N_4

Ион	Энергия, МэВ	Энергия иона, МэВ/нуклон	Se, рассчитанное в SRIM-2013, кэВ/нм	$R_{\text{эксперимент}}$, нм	R_{iTS} , нм $\lambda=3$ нм
Xe	100	0,76	16,87	0,6 [26]	4,3
	167	1,27	19,47		4,5
	220	1,67	20,53		4,7
	480	3,66	21,97		4,7
Kr	107	1,27	12,84		3,5
	155	1,84	13,06		3,4
	200	2,38	13,12	<0,5 [26]	3,1
	245	2,92	12,97		3,2
Bi	245	1,17	25,77		5,5
	480	2,30	30,35		5,8
	710	3,39	31,47		5,8
	1030	4,93	31,5		5,7
Au	200	1,02	24,1	1,3 (5,5 shell) [26]	5,2
	420	2,13	28,58	1,6 (4,9 shell) [26]	5,4

Для полной оценки применимости модели неупругого термического пика, все имеющиеся экспериментальные и теоретические данные для Si_3N_4 были объединены и показаны на рисунке 4. Очевидно, что данных, описывающих поведение керамик на основе изучаемого диэлектрика в условиях ионизирующего излучения очень мало на сегодняшний день. То же справедливо и для пленочных материалов, хотя для них информации несколько больше. В целом, бесспорно, что эмпирически полученные размеры треков в структуре Si_3N_4 сильно отличаются от теоретических результатов iTS (рис.4), что может говорить о неприменимости модели для исследуемых материалов.

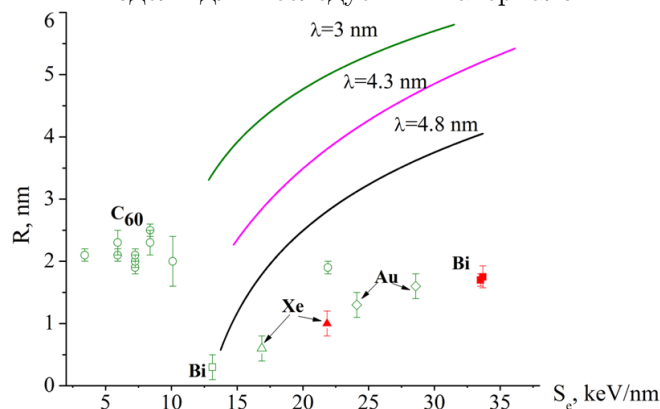


Рисунок 4 – Зависимость радиуса треков в Si_3N_4 от ионизационных потерь энергии S_e где зеленый цвет маркеров использовался для обозначения данных для пленок Si_3N_4 , а красный - для поликристаллов.

Заключение. Таким образом, настоящей работе были проанализированы известные из литературы результаты о формировании треков при облучении быстрыми тяжелыми ионами твердых тел на основе нитрида кремния (кристаллических и пленочных). Рассчитаны ионизационные потери и глубины проникновения иона в мишень с помощью программного обеспечения SRIM-2013, а также проведено моделирование взаимодействия налетающих ионов и атомов материала с использованием i-TS (были взяты три значения коэффициента электрон - фонного взаимодействия $\lambda=3, 4,3$ и $4,8$). Все полученные данные объединены и показаны на рисунке 4, проанализировав который мы пришли к выводу, что экспериментальные данные сильно отличаются от теоретических как для кристаллических, так и для пленочных материалов Si_3N_4 .

Поэтому, очевидно, что несмотря на успешное применение данного подхода для других диэлектриков [например, 20, 21], он не подходит для описания механизма образования дефектов в твердых телах на основе нитрида кремния.

Благодарность. Автор выражает огромную благодарность и искреннюю признательность доктору физико-математических наук, начальнику сектора Лаборатории ядерных реакций Объединенного Института Ядерных Исследований (ОИЯИ) Скуратову Владимиру Алексеевичу и кандидату физико-математических наук, директору Астанинского филиала института ядерной Физики МЭ РК Здоровцу Максиму Владимировичу за помощь в постановке задачи, при проведении эксперимента и обсуждении результатов.

Список литературы

- Burghartz M., Matzke H., Leger C., Vambenepe G., Rome M. Inert matrices for the transmutation of actinides: fabrication, thermal properties and radiation stability of ceramic materials // Journal of alloys and compounds. - 1998. - Т. 271. - С. 544-548. doi: 10.1016/S0925-8388(98)00149-2
- Matzke H., Rondinella V. V., Wiss T. Materials research on inert matrices: a screening study // Journal of Nuclear Materials. - 1999. - Т. 274. №. 1-2. - С. 47-53. doi: 10.1016/S0022-3115(99)00062-8
- Usuki T., Yoshida K., Yano T., Miwa S., Osaka M. Fabrication and characterization of silicon nitride-based inert matrix fuels sintered with magnesium silicates // Progress in Nuclear Energy. - 2011. - Т. 53. №. 7. - С. 1078-1081. doi: 10.1016/j.pnucene.2011.04.012

- 4 Riley F. L. Silicon nitride and related materials // *Journal of the American Ceramic Society*. - 2000. - Т. 83. №. 2. - С. 245-265. doi: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01182.x
- 5 Akiyoshi M., Yano T., Jenkins M. L. A structural model of defects in β -Si₃N₄ produced by neutron irradiation // *Philosophical Magazine A*. - 2001. - Т. 81. №. 3. - С. 683-697. doi:10.1080/01418610108212167
- 6 Akiyoshi M., Akasaka N., Tachi Y., Yano T. Interstitial atom behavior in neutron-irradiated beta-silicon nitride // *Journal of the Ceramic Society of Japan, Supplement Journal of the Ceramic Society of Japan, Supplement 112-1, PacRim5 Special Issue*. - 2004. - С. S1490-S1494. doi: 10.14852/jcersjsuppl.112.0.S1490.0
- 7 Akiyoshi M., Ichikawa K., Donomae T., Yano T. Macroscopic properties and microstructure changes of heavily neutron-irradiated β -Si₃N₄ by annealing // *Journal of nuclear materials*. - 2002. - Т. 307. - С. 1305-1309. doi: 10.1016/S0022-3115(02)01301-6
- 8 Akiyoshi M., Takagi I., Yano T., Akasaka N., Tachi Y. Thermal conductivity of ceramics during irradiation // *Fusion engineering and design*. - 2006. - Т. 81. №. 1-7. - С. 321-325. doi: 10.1016/j.fusengdes.2005.08.084
- 9 Yano T., Akiyoshi M., Ichikawa K., Tachi Y., Iseki T. Physical property change of heavily neutron-irradiated Si₃N₄ and SiC by thermal annealing // *Journal of nuclear materials*. - 2001. - Т. 289. №. 1-2. - С. 102-109. doi: 10.1016/S0022-3115(00)00688-7
- 10 Комаров Ф. Ф. Нано-и микроструктурирование твёрдых тел быстрыми тяжёлыми ионами // *Успехи физических наук*. - 2017. - Т. 187. №. 5. - С. 465-504. doi: 10.3367/UFNr.2016.10.038012
- 11 Комаров Ф. Ф. Дефектообразование и трекообразование в твердых телах при облучении ионами сверхвысоких энергий // *Успехи физических наук*. - 2003. - Т. 173. №. 12. - С. 1287-1318.
- 12 Флейшер Р. Л., Прайс П. Б., Уокер Р. М. Треки заряженных частиц в твердых телах. Принципы и приложения. Методы исследования треков: учеб. для вузов / Флейшер Р. Л., Прайс П. Б., Уокер Р. М. - М.: Энергоиздат, 1981. - 152 с.
- 13 Benyagoub A., Audren A. Mechanism of the swift heavy ion induced epitaxial recrystallization in predamaged silicon carbide // *Journal of Applied Physics*. - 2009. - Т. 106. №. 8. - С. 083516. doi: 10.1063/1.3236627
- 14 Gorbunov S. A., Terekhin P. N., Medvedev N. A., Volkov A. E. Combined model of the material excitation and relaxation in swift heavy ion tracks // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. - 2013. - Т. 315. - С. 173-178. doi: 10.1016/j.nimb.2013.04.082
- 15 Lipp V. P., Volkov A. E., Sorokin, M. V., Rethfeld, B. Kinetics of propagation of the lattice excitation in a swift heavy ion track // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. - 2011. - Т. 269. №. 9. - С. 865-868. doi: 10.1016/j.nimb.2010.11.070
- 16 Lin Z., Zhigilei L. V., Celli V. Electron-phonon coupling and electron heat capacity of metals under conditions of strong electron-phonon nonequilibrium // *Physical Review B*. - 2008. - Т. 77. №. 7. - С. 075133. doi: 10.1103/PhysRevB.77.075133
- 17 Vorberger J., Gericke D. O., Bornath T., Schlanges M. Energy relaxation in dense, strongly coupled two-temperature plasmas // *Physical Review E*. - 2010. - Т. 81. №. 4. - С. 046404. doi: 10.1103/PhysRevE.81.046404
- 18 Rethfeld B., Kaiser A., Vicanek M., Simon G. Ultrafast dynamics of nonequilibrium electrons in metals under femtosecond laser irradiation // *Physical Review B*. - 2002. - Т. 65. №. 21. - С. 214303. doi: 10.1103/PhysRevB.65.214303
- 19 Janse van Vuuren A., Skuratov V., Ibraeva A., Zdorovets M. Microstructural Effects of Al Doping on Si₃N₄ Irradiated with Swift Heavy Ions // XII-th International conference on Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons: Матер. Междунар. конф., Казимеж-Дольны, Польша, 2018. - Kazimierz Dolny, 2018. - С. 50
- 20 Toulemonde M., Dufour Ch., Meftah A., Paumier E. Transient thermal processes in heavy ion irradiation of crystalline inorganic insulators // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. - 2000. - Т. 166. - С. 903-912. doi: 10.1016/S0168-583X(99)00799-5
- 21 Metfah A., Brisard F., Constantini J. M., Dooryhee E., Hage -Ali M., Hervieu M., Stoquert J. P., Studer F., Toulemonde M. Track formation in SiO₂ quartz and the thermal-spike mechanism // *Physical Review B*. - 1994. - Т. 49. №. 18. - С. 12457-12463. doi: 10.1103/PhysRevB.49.12457
- 22 de Faoite D., Browne D.J., Chang-D??az F.R., Stanton K.T. A review of the processing, composition, and temperature-dependent mechanical and thermal properties of dielectric technical ceramics // *Journal of Materials Science*. - 2012. - Т. 47. №. 10. - С. 4211-4235.
- 23 Zinkle S. J., Skuratov V. A., Hoelzer D. T. 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. - Т. 191. №. 1-4. - С. 758-766. doi: 10.1016/S0168-583X(02)00648-1
- 24 Haynes W.M. CRC Handbook of Chemistry and Physics (92nd ed.): учеб. для вузов / Haynes W.M. - Бока-Ратон: CRC Press, 2011. - 2656 с.
- 25 Chase Junior M. W. NIST-JANAF thermochemical tables fourth edition // *J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph*. - 1998. - Т. 9. - С. 1-1951.
- 26 Kitayama T., Morita Y., Nakajima K., Narumi K., Saitoh Y., Matsuda M., Sataka M., Tsujimoto M., Isoda S., Toulemonde M. Formation of ion tracks in amorphous silicon nitride films with MeV C₆₀ ions // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. - 2015. - Т. 356. - С. 22-27. doi: 10.1016/j.nimb.2015.04.051

А.Д.Ибраева

*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Ядролық физика институтының Астана филиалы, Нұр-Сұлтан,
Қазақстан*

Si₃N₄-те тректүзілу механизмін сипаттау үшін термиялық шыңның серпімсіз моделінің қолдануын зерттеу

Аннотация: Бұл жұмыс жоғары энергетикалық ауыр иондармен сәулеленген кремний нитридіде трек түзілу процесін сипаттау үшін термиялық шыңның серпімсіз моделінің қолданылуын зерттеуге арналған. i-TS бағдарламасының көмегімен электрон-фононды өзара әрекеттесуінің үш коэффициентін қолданып $\lambda = 3, 4,3$ және $4,8$ нм ұшатын иондары мен атомдарының материалының өзара әрекеттесуіне модельдеу жүргізілді. Тректердің эксперименталды өлшемдерінің мәндері теориясынан кристалдық үшін де, аморфтық Si₃N₄ үшін де қатты ерекшеленеді, бұл кремний нитридідегі эксперименталды нәтижелерді сипаттау үшін осы тәсілдің қолданылмайтындығын көрсетеді.

Түйін сөздер: инертті матрица, жылдам ауыр иондар, кремний нитриді, трек түзілу, жарық беретін электрондық микроскопия, серпімсіз термиялық шыңның үлгісі, материалдың кристалды және аморфты құрылымы, электрон-фонондық өзара әрекеттесу.

A.D.Ibrayeva

*L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan
The Institute of Nuclear Physics' Astana branch, Nur-Sultan, Kazakhstan*

Study of the applicability of the inelastic thermal peak model to describe the track formation mechanism in Si₃N₄

Abstract: This paper presents the study of the applicability of the inelastic thermal spike model to describe the process of track formation in silicon nitride irradiated with high-energy heavy ions. The interaction of incident ions and material atoms was simulated by the i-TS software using three coefficients of the electron - phonon interaction $\lambda = 3, 4.3$, and 4.8 nm. It is shown that the experimental values of the track dimensions are very different from the theoretical ones for both crystalline and amorphous Si₃N₄. It implies that current approach is inapplicable to describe experimental results in silicon nitride.

Keywords: inert matrix, swift heavy ions, silicon nitride, track formation, transmission electron microscopy, inelastic thermal spike model, crystalline and amorphous structure of the material, electron-phonon interaction.

References

- Burghartz M., Matzke H., Leger C., Vambenepe G., Rome, M. Inert matrices for the transmutation of actinides: fabrication, thermal properties and radiation stability of ceramic materials, *Journal of alloys and compounds*, 271, 544-548 (1998).
- Matzke H., Rondinella V. V., Wiss T. Materials research on inert matrices: a screening study, *Journal of Nuclear Materials*, 274(1-2), 47-53 (1999).
- Usuki T., Yoshida K., Yano T., Miwa S., Osaka M. Fabrication and characterization of silicon nitride-based inert matrix fuels sintered with magnesium silicates, *Progress in Nuclear Energy*, 53(7), 1078-1081 (2011).
- Riley F. L. Silicon nitride and related materials, *Journal of the American Ceramic Society*, 83(2), 245-265 (2000).
- Akiyoshi M., Yano T., Jenkins M. L. A structural model of defects in γ -Si₃N₄ produced by neutron irradiation, *Philosophical Magazine A*, 81(3), 683-697 (2001).
- Akiyoshi M., Akasaka N., Tachi Y., Yano T. Interstitial atom behavior in neutron-irradiated beta-silicon nitride, *Journal of the Ceramic Society of Japan, Supplement Journal of the Ceramic Society of Japan, Supplement 112-1, PacRim5 Special Issue, S1490-S1494* (2004).
- Akiyoshi M., Ichikawa K., Donomae T., Yano T. Macroscopic properties and microstructure changes of heavily neutron-irradiated γ -Si₃N₄ by annealing, *Journal of nuclear materials*, 307, 1305-1309 (2002).
- Akiyoshi M., Takagi I., Yano, T., Akasaka N., Tachi Y. Thermal conductivity of ceramics during irradiation, *Fusion engineering and design*, 81(1-7), 321-325 (2006).
- Yano T., Akiyoshi M., Ichikawa K., Tachi Y., Iseki T. Physical property change of heavily neutron-irradiated Si₃N₄ and SiC by thermal annealing., *Journal of nuclear materials*, 289(1-2), 102-109 (2001).
- Komarov, F. F. Nano-i mikrostrukturirovanie tvordyh tel bystryimi tyazhyolymi ionami [Nano-and micro-structuring of solids with swift heavy ions], *Uspekhi fizicheskikh nauk [Advances in the physical sciences]*, 187(5), 465-504 (2017).
- Komarov, F. F. (2003). Defektoobrazovanie i trekoobrazovanie v tverdyh telah pri obluchenii ionami sverkhvysokih ehnergij [Defect and track formation in solids irradiated by ultrahigh-energy ions], *Uspekhi fizicheskikh nauk [Advances in the physical sciences]*, 173(12), 1287-1318.
- Flejsher R. L., Prajs P. B., Uoker R. M. Treki zaryazhennyh chastic v tverdyh telah. Principy i prilozheniya. Metody issledovaniya trekov [Tracks of charged particles in solids. Principles and applications. Methods of the track research] (Energizdat, Moscow, 1981).
- Benyagoub A., Audren A. Mechanism of the swift heavy ion induced epitaxial recrystallization in predamaged silicon carbide, *Journal of Applied Physics*, 106(8), 083516 (2009).

- 14 Gorbunov S. A., Terekhin P. N., Medvedev N. A., Volkov A. E. Combined model of the material excitation and relaxation in swift heavy ion tracks, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 315, 173-178 (2013).
- 15 Lipp V. P., Volkov A. E., Sorokin M. V., Rethfeld, B. Kinetics of propagation of the lattice excitation in a swift heavy ion track, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 269(9), 865-868 (2011).
- 16 Lin Z., Zhigilei L. V., Celli V. Electron-phonon coupling and electron heat capacity of metals under conditions of strong electron-phonon nonequilibrium, *Physical Review B*, 77(7), 075133 (2008).
- 17 Vorberger J., Gericke D. O., Bornath T., Schlanges M. Energy relaxation in dense, strongly coupled two-temperature plasmas, *Physical Review E*, 81(4), 046404 (2010).
- 18 Rethfeld B., Kaiser A., Vicaneck M., Simon G. Ultrafast dynamics of nonequilibrium electrons in metals under femtosecond laser irradiation, *Physical Review B*, 65(21), 214303 (2002).
- 19 Janse van Vuuren A., Skuratov V.I, Ibraeva A., Zdorovets M. Microstructural effects of Al doping on Si₃N₄ irradiated with swift heavy ions. Abstract book of XII-th International conference on Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons. Kazimierz Dolny, 2018, p. 50.
- 20 Toulemonde M., Dufour C., Meftah A., Paumier E. Transient thermal processes in heavy ion irradiation of crystalline inorganic insulators, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 166, 903-912 (2000).
- 21 Metfah A., Brisard F., Constantini J. M., Dooryhee E., Hage -Ali M., Hervieu M., Stoquert J. P., Studer F., Toulemonde M. Track formation in SiO₂ quartz and the thermal-spike mechanism, *Physical Review B*, 49(18), 12457 (1994).
- 22 de Faoite D., Browne D.J., Chang-D??az F.R., Stanton K.T. A review of the processing, composition, and temperature-dependent mechanical and thermal properties of dielectric technical ceramics, *Journal of Materials Science*, 47(10), 4211-4235 (2012).
- 23 Zinkle S. J., Skuratov V. A., Hoelzer D. T. 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).
- 24 Haynes W.M. *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (CRC Press, Boca Raton, 2011).
- 25 Chase Junior M. W. NIST-JANAF thermochemical tables fourth edition, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Monograph, 9, 1-1951 (1998).
- 26 Kitayama T., Morita Y., Nakajima K., Narumi K., Saitoh Y., Matsuda M., Sataka M., Tsujimoto M., Isoda S., Toulemonde M. Formation of ion tracks in amorphous silicon nitride films with MeV C₆₀ ions, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 356, 22-27 (2015).

Сведения об авторах:

Ибраева А.Д. - докторант международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет, инженер лаборатории физики твердого тела Астанинского филиала Института ядерной физики, пр. Абылай хана, 2/1, Нур-Султан, Казахстан.

Трауева А.Д. - PhD Student at the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Engineer of the Laboratory of Solid State Physics of the Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics, 2/1, Ablai Khan Ave, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 22.05.2019

«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 келісімін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісімін 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).

ГТАМПК <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 формулаларсүзсіз, 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 бетте 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 теорамандағы 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 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. – **конференция еңбектері**

4 Нургазина 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://semr.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 – ЕҰУ 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

Кпн 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

Кпн 859 - за статью

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

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 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

Кпн 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 re-publication 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 Нургазина 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 board's 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: КСJBKZKX

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 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

Кпн 859 - за статью

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

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

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

БИК Банка: HSBKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 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. Стилевой 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 Нургазина 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://semi.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

Кпн 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

Кпн 859 - за статью

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

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 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

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 27.25.19

А.Ж. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев², А.Б. Утесов³

¹ *Институт теоретической математики и научных вычислений Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

² *Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актюбе, 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.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Текст доказательства.

2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left(\varepsilon_N; \left(l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (28)$$

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

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

$$|\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau=1, \dots, N)$$

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

Таблица 3 – 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 (28)

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

Список литературы оформляется следующим образом.



Рисунок 1 – Название рисунка

Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Темиргалиев 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 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, 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 гипополидемическая 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. Жубанышева¹, Н. Темиргалиев¹, А.Б. Утесов²

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

² Қ.Жубанов 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 chislenogo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Temirgaliyev N. Komp'yuternyj (vychislitel'nyj) poperechnik kak sintez izvestnogo i novogo v chislenom analize [Computational (numerical) diameter as a synthesis of the known and the new in numerical analysis], Vestnik Evrazijskogo nacional'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., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcyj s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primenenija 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 докладov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennaja 110-letiju so dnja rozhdenija akademika S.M.Nikol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teorija priblizhenija funkcyj" [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 gipolipidemicheskaaja 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 simplekticheskoj 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.

Темиргалиев 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, Актюбе, 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.Қ. Арынгазин
Шығарушы редактор, дизайн: А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.
-2019 - 2(127) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 100-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