

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ** сериясы

**PHYSICS. ASTRONOMY** Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

**Нұр-Сұлтан, 2019**

**Nur-Sultan, 2019**

**Нур-Султан, 2019**

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

*Бас редактордың орынбасары*

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

*Редакция алқасы*

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

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

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:* А. Нұрболат

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

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

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

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

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

*Editor-in-Chief*

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

*Deputy Editor-in-Chief*

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

*Editorial Board*

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

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

*Responsible secretary, computer layout:* A.Nurbolat

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

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

Periodicity: 4 times a year

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

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

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

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

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

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

*Зам. главного редактора*

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

*Редакционная коллегия*

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

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

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* А. Нурболат

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

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

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

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

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

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

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

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

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

№4(129)/2019

**CONTENTS**

<i>Ibrayeva A.D., Janse A. Vuuren Van, Skuratov V.A., Zdorovets M.V.</i> About determination of the threshold ionization energy losses for the latent tracks formation in crystalline $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S.</i> Calculation of electronic transitions in CdS clusters associated with coumarin dye	15
<i>Ermekova Zh.K., Aldongarov A.A., Sagyndykova G.E., Esmanova S.S.</i> Development of critical thinking of students of pedagogical specialties	27
<i>Karipbaev Zh.T., Abuova A.U. Alpyssova G.K., Sarsengalieva K.M., Baozholov K.A., Kukenova A.B., Zdorovets M.V.</i> Luminescence of $\text{ZnWO}_4$ crystals with oxygen introduced	33
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Mukhambetzhana A.M., Nurzhanov A.B., Ualsherov D.T., Bekmyrza K.Zh., Rakhimgaliyeva I.T., Sarsenov R.M., Makhambayeva .U.</i> Study of the elastic scattering of $^3\text{He}$ on the $^{28}\text{Si}$ nucleus at the energy of 8 -217 MeV	42
<i>Musahanov D., Lisitsyn V., Karipbaev Zh., Alpyssova G., Golkovskii M., Dauletbekova A., Kozlovskii A., Zdorovec M.</i> The structure of $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ ceramic synthesized in a powerful electron flow	51
<i>Kargin D., Kozlovskij A., Altynov E., Kasymhanov Zh., Biseken A., Muhambetov D.</i> Morphology of the particles of by-products of steel rolling production	59
<i>Mussatayeva A.B., Myrzakulov N.A.</i> The first and second fundamental forms for the Camassa-Holm equation	65
<i>Serikbayev N.S., Nugmanova G.N., Myrzakulov R.</i> On the Integrable Two-Component (2+1)-dimensional Davey-Stewartson Equation	73
<i>Nogay A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbayev D.E., Bekmyrza K.Zh., Nogay A.A., Kabyshv A.M.</i> Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts	80
<i>Nursultanova N., Zhumadilov K.</i> The problem of assessing the effects of low-dose exposure	86
<i>Shanina Z.K.</i> Dispersionless limit of the Konno-Oono equation	93
<i>Shakhanova G.A.</i> Mind maps as a method of generating and structuring ideas in the learning process	99
<i>Russakova A.V., Akilbekov A.T., Zhunusova M.K.</i> Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons	107

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

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван., Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> К вопросу об определении порогового уровня ионизационных потерь энергии образования латентных треков в кристаллическом $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Расчет электронных переходов в кластерах CdS, связанных с кумариновым красителем	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сагындыкова Г.Е., Есманова С.С.</i> Развитие критического мышления студентов педагогических специальностей	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сарсенгалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Люминесценция кристаллов $\text{ZnWO}_4$ с введенным кислородом	33
<i>Кабышев А.М., Кутербекоев К.А., Мухамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уалшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимгалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> Изучение упругого рассеяния $^3\text{He}$ на ядре $^{28}\text{Si}$ при энергии 8-217 МэВ	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Структура керамики $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ , синтезированной в мощном потоке электронов	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Д.Мухамбетов</i> Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Первая и вторая фундаментальные формы поверхности для уравнения Камасса-Холма	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзакулов Р.</i> О двухкомпонентном обобщении (2+1)-мерного уравнения Дэви-Стюартсона I	73
<i>Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения	86
<i>Шанина З.К.</i> Бездисперсионный предел уравнения Конно-Оно	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Интеллект-карты как метод генерации и структурирования идей в учебном процессе	99
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами	107

А.В. Русакова<sup>1</sup>, А.Т. Акилбеков<sup>2</sup>, М.К. Жунусова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Восточно - Казахстанский государственный технический университет  
им. Д. Серикбаева, Усть - Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
(E-mail: akilbekov\_at@enu.kz)

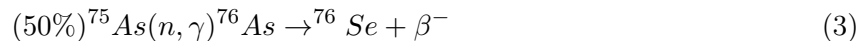
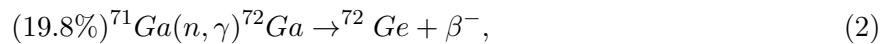
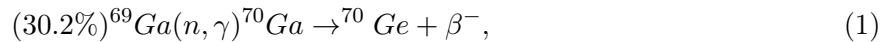
### Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами

**Аннотация.** В данной статье исследованы конденсаторы с диэлектриками из кремния и арсенида галлия, облученные нейтронами. Проанализировано возможное влияние разных типов контактов (металл – полупроводник) на емкость конденсаторов. Показано, что компенсированные радиационными дефектами слои GaAs могут применяться в качестве изоляции элементов интегральных схем.

**Ключевые слова:** арсенид галлия, радиационные дефекты, обкладки конденсатора, p-n переход.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-107-112>

**Введение.** Для получения арсенида галлия n и p-типов проводимости с высокой степенью объемной однородности электрофизических характеристик в последние годы интенсивно развивается метод легирования путем ядерных превращений, включающий бомбардировку материала реакторными нейтронами и последующий высокотемпературный отжиг, облучение материала при повышенных температурах для устранения наведенных облучением радиационных дефектов (RD). Под действием тепловых нейтронов в GaAs протекают реакции (формулы 1-6).



с параметрами, соответственно:

$$\sigma = 1.68 \text{ б}, T_{1/2} = 21 \text{ мин}, \quad (4)$$

$$\sigma = 4.7 \text{ б}, T_{1/2} = 14.1 \text{ ч.}, \quad (5)$$

$$\sigma = 4.3 \text{ б}, T_{1/2} = 26.4 \text{ ч.} \quad (6)$$

Воздействие на полупроводники радиационными дефектами позволяет повысить удельное сопротивление на несколько порядков ( $с 10^{-3} - 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ) [1, 2, 3]. Однако полупроводник GaAs будет скомпенсирован только при наличии определенной концентрации радиационных дефектов.

Известно, что облучение GaAs нейтронами приводит к закреплению уровня Ферми вблизи  $E_v + 0.6 \text{ эВ}$  [4] и увеличению удельного сопротивления материала до  $\rho_{max} \sim (3-5) \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  (при 300 К) вследствие захвата свободных носителей заряда на "глубокие" RD [5,6]. При длительном облучении наблюдается уменьшение удельного сопротивления (по сравнению с  $\rho_{max}$ ), что связывается с переносом заряда по локальным состояниям запрещенной зоны, расположенным вблизи уровня Ферми (такие "переоблученные" образцы имеют p-тип проводимости).

Выполненные к настоящему времени исследования нейтронно-облученного GaAs выявили, что отжиг RD протекает в широком интервале температур от  $T_{irr}$  до  $T_m$  материала ( $T_{irr}$ ,  $T_m$  — температуры облучения и плавления соответственно), что приводит к образованию термодфектов (TD), ухудшающих свойства ядернолегированного (ЯЛ) GaAs. Поэтому выбор оптимальной температуры отжига или облучения приобретает особое значение при ядерном легировании.



Таким образом, для получения высокого сопротивления были выбраны соответствующие дозы облучения, значения которых существенным образом зависят от массы и энергии бомбардирующих частиц (ионов, нейтронов и т.д.) [2-3, 7-9]. На величину сопротивления также влияет и температура отжига образцов.

Слой GaAs с высокими значениями сопротивления, созданные радиационным методом могут быть использованы в качестве изоляции элементов интегральных схем [10, 11]. Так как большинство интегральных схем работает на переменном токе, то появляется необходимость исследования изоляционных свойств слоев GaAs, компенсированных радиацией, на переменном токе.

**Экспериментальная часть.** В настоящей работе выполнены измерения электрофизических параметров GaAs, облученного реакторными потоками нейтронов до  $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$  и отожженного в интервале температур  $(100-1100)^\circ\text{C}$ . В качестве исходного материала использованы монокристаллы n- и p-GaAs, выращенные методом Чохральского. Бомбардировка полным спектром нейтронов проводилась на реакторе типа MARIA (Отвоцк, Swierk, Польша) при температурах около  $70$  и  $850^\circ\text{C}$ , плотности потока тепловых нейтронов  $D_{tn} = 10^{13} \div 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  и кадмиевом числе 10. Изохронный отжиг материала проводился в течение 20 мин в вакууме. Для устранения поверхностных эффектов образцы после облучения сошлифовывались с каждой стороны на  $50 \text{ мкм}$ , а после отжига - на  $200 \text{ мкм}$ .

Измерения параметров полупроводниковых конденсаторов проводили осциллографическим методом. На основании осциллографических измерений можно осуществить прямые измерения угла сдвига фаз  $\varphi$  и зависимостей тока  $I(t)$  и напряжения  $U(t)$  от времени.

На основании этих измерений можно сделать выводы о качестве контактов и рассчитать параметры конденсатора  $C$  и  $\text{tg } \delta$ . Схема лабораторной установки для осциллографических измерений конденсаторов представлена на рис. 1.

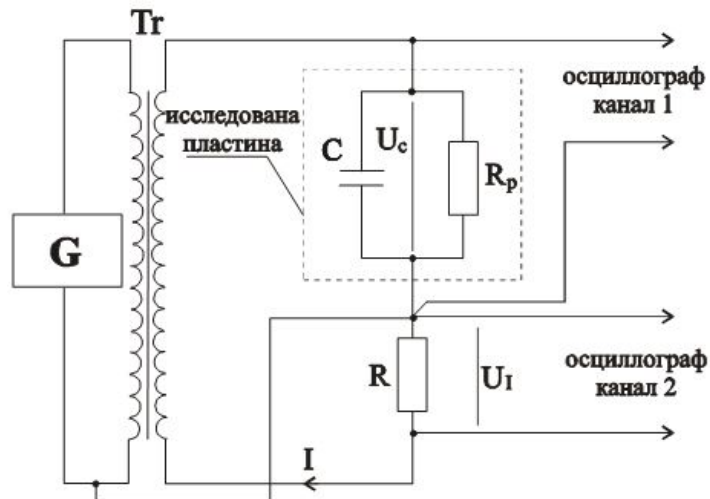


Рисунок 1 - Схема для измерения параметров полупроводниковых конденсаторов с помощью осциллографа

Измерения значений емкости, сопротивления и угла  $\varphi$  проведены цифровым мостом НЮКИ 3532 LCR в области частот  $500 \text{ Гц} \div 1 \text{ МГц}$  при комнатной температуре. В исследованиях применялась пластина кремния с толщиной около  $2 \text{ мм}$ , облученная нейтронами. Механическим шлифованием и полировкой с обеих сторон была снята с пластины часть материала. Эту операцию повторяли 3 раза, после каждого из них наносились контакты и измерялись емкость и сопротивление.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 2 представлена зависимость  $R_U = R_p \cdot S = F_R(d)$ . Из рисунка видно, что рост толщины пластины приводит к линейному росту сопротивления. По методу наименьших квадратов проведена подгонка, что позволило получить зависимость  $R_U = R_p \cdot S = \rho d + a$ , параметры которой для ряда частот представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, экспериментальные результаты RU с высокой точностью соответствуют линейной зависимости от толщины пластины, что свидетельствует об отсутствии запорных слоев в областях приконтактного кремния.

Ниже представлены результаты исследований образца GaAs, компенсированного облучением нейтронами. Измерены сопротивление, удельная емкость  $C_u$  и тангенс угла потерь ( $\text{tg } \delta$ ) в области частот от 50 Гц до 5 МГц (рис. 3, 4, 5).

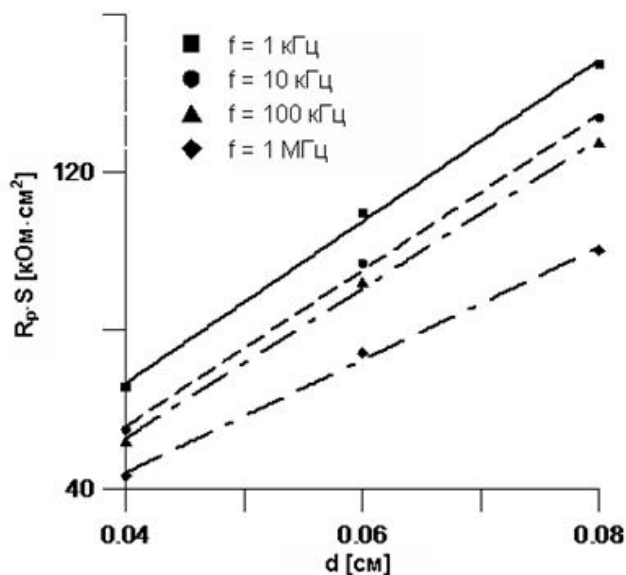


Рисунок 2 - Зависимость сопротивления облученного кремния от толщины пластин

Таблица 1 – Параметры для ряда частот

f, кГц	$\rho$ , МОм·см	a, кОм·см <sup>2</sup>	b, пФ/см	c, пФ/см <sup>2</sup>
1	2,040	-15	24,8	99
10	1,970	-23	2,16	7,3
100	1,887	-23	1,35	1,5
1000	1,424	-13	1,34	1,2

Как видно из рис. 3, удельное сопротивление материала при температурах отжига  $T > 600$  К начинает быстро уменьшаться. В той же области температур изменяется и удельная емкость. Это связано с отжигом части радиационных дефектов, которые ранее компенсировал облученный GaAs.

Исследования показывают, что область температур, в которых компенсированный слой имеет высокое сопротивление на переменном токе значительно выше, чем температурная область работы интегральных схем. Это означает, что эти слои могут применяться для изоляции элементов интегральных схем. Стабилизирующий отжиг при  $T \cong 550$  К дополнительно повышает сопротивление этих слоев (рис. 3).

Анализируя данные рис. 3,4,5 можно заметить, что при  $T > 640$  К происходит резкое увеличение  $\text{tg } \delta$ , что связано с переходом к проводимости по зонам.

**Заключение.** Таким образом, проведенные нами исследования конденсаторов с диэлектриком из кремния и арсенида галлия, показали, что кремний, облученный большими дозами нейтронов имеет собственную проводимость. Контакт металла с собственным полупроводником является низкоомным из-за того, что приповерхностный слой обогащен носителями тока. Это означает, что емкость конденсаторов, изготовленных из такого материала, может быть связана только с поляризацией компенсированного кремния, который играет роль диэлектрика.

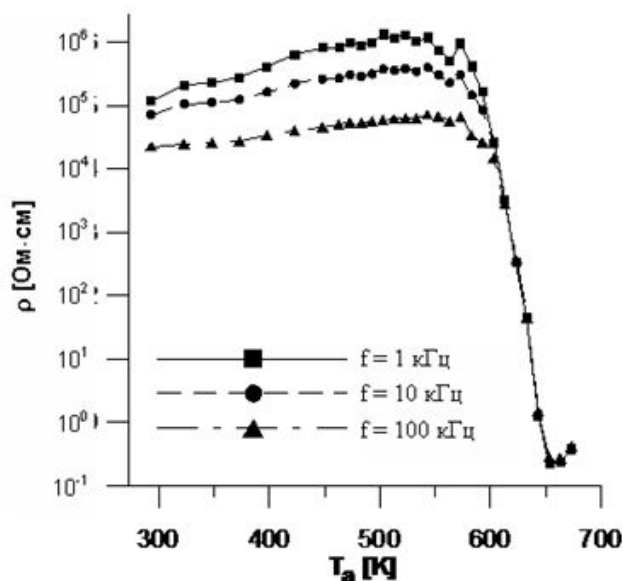


Рисунок 3 - Зависимость удельного сопротивления GaAs в зависимости от температуры отжига для частот переменного тока 1, 10 и 100 кГц

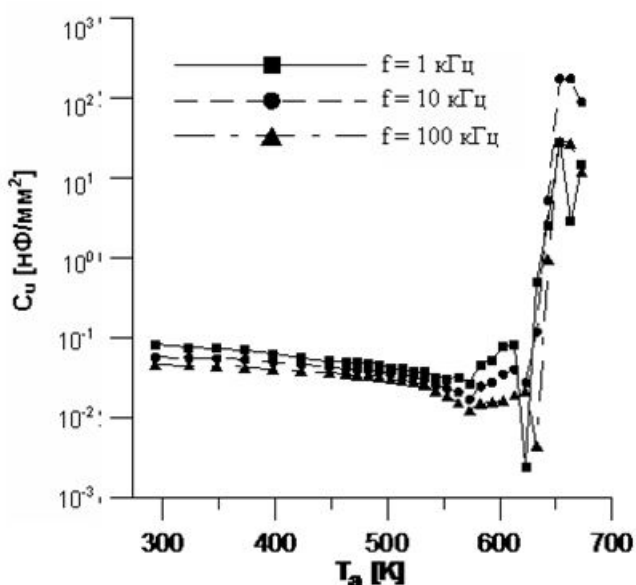


Рисунок 4 - Зависимость удельной емкости GaAs от температуры отжига для разных частот переменного тока

Повышение удельного сопротивления и проницаемости образцов связаны с прыжковым обменом электронами, который приводит к дополнительной поляризации Si (GaAs).

Показано, что компенсированные радиационными дефектами слои GaAs могут применяться в качестве изоляции элементов интегральных схем. С этой целью были измерены сопротивление, удельная емкость и тангенс угла потерь в области частот 50 Гц ÷ 5 МГц. Исследования изохронного отжига образцов показали, что до  $T \approx 600 \text{ K}$ ,  $\rho$ ,  $\text{tg } \delta$  и  $\epsilon$  во всей области частот почти не изменяются. При  $T > 600 \text{ K}$  удельное сопротивление материала начинает резко уменьшаться, что связано с отжигом части радиационных дефектов, которые ранее компенсировали облученный GaAs. Исследования показали, что область температур, в которой компенсированный слой имеет высокое сопротивление на переменном токе значительно выше, чем температурная область работы интегральных схем. Это означает, что эти слои

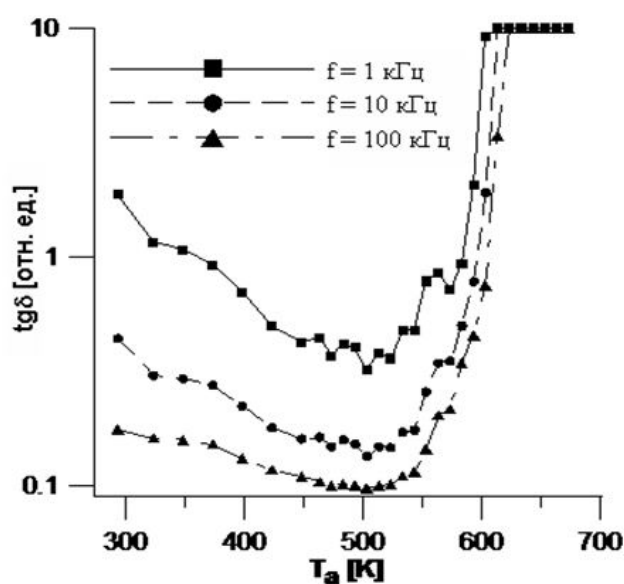


Рисунок 5 - Зависимость  $\text{tg } \delta$  GaAs от температуры отжига для частот переменного тока 1, 10 и 100 кГц

могут применяться для изоляции элементов интегральных схем. Стабилизирующий отжиг при  $T=550 \text{ K}$  дополнительно повышает сопротивление этих слоев.

### Список литературы

- 1 Evdokimov I., Losev P. Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Solid Asphaltenes. Energy and Fuels. -2010. - Vol.24. Iss.7. -P.3959-3969.
- 2 Комаров Ф.Ф., Миронов А.А. Низкотемпературная проводимость и эффект Холла в полупроводниковых твердых растворах// Mikroelektronika. -1998. -Vol. 27. -P. 362.
- 3 Pearton S., Abernathy C., Hobson W., Von Neida A. Implant Isolation Mechanisms in GaAs, AlGaAs, InP and InGaAs. MRS Online Proceeding Library Archive. -2011. - Vol.144. -P.433-438.
- 4 Brudnyi V.N., Grinyev S.N., Stepanov V.E.. Physica B. Cond. Matter. -1995. -Vol. 212. -P.429.
- 5 Coates R., Mitchell E.W.J. Adv. Phys.-2015. -Vol.24. -PP.594.
- 6 Колин Н.Г., Куликова Л.В., Освенский В.Б., Соловьев С.П., Харченко В.А.. ФТП. -2004. -Vol.18. -PP.2187.
- 7 Ridgway M.C., Ellingbol S.Z., Elliman R.G., Williams J.S. High-energy ion implantation for electrical isolation of microelectronic devices. Nucl. Instr. Math. -1994. -Vol. B89. -P. 290-297.
- 8 Dauletbekova, A.K. Schwartz, K.Sorokin, M.V. at al. F center creation and aggregation in LiF crystals irradiated with  $^{14} \text{N}$ ,  $^{40} \text{Ar}$  and  $^{84} \text{Kr}$  ions. Nuclear Instruments and methods in Physics Research. -2014. -Vol.B 326. -P. 311-313.
- 9 Akilbekov A., Russakova A., Dauletbekova, A.Baizhumanov M. Formation of Dislocation Structure in LiF Crystals Irradiated with Swift Heavy Ions under Oblique Incidence. Acta Physica Polonica A. -2014. -Vol.125, № 6. -PP. 1257-1259.
- 10 Акилбеков А., Даулетбекова, А. Здоровец М., Русакова А. Модификация свойств кристаллов LiF под воздействием быстрых тяжелых ионов. ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2015. 193 с.
- 11 Sargunas V., Thompson D.A., Simmons J.G. Implantation isolation in n-type InP bombarded with  $\text{He}^+$  and  $\text{B}^+$ . Nucl. Instr. Math. -1995. -Vol.B106. -PP.294-297.

А.В. Русакова<sup>1</sup>, А.Т. Акилбеков<sup>2</sup>, М.К. Жунусова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Оскемен, Қазақстан.

<sup>2</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### Нейтрондармен сәулеленген GaAs диэлектрлік қасиеттерін күйдіру

**Аннотация.** Бұл жұмыста нейтрондармен сәулеленген диэлектрлік кремний және галлий арсенидiнен жасалған конденсаторлар зерттелген. Конденсатор сыйымдылығына әр түрлі типті дәнекерлердің (метал-жартылайөткізгіш) әсеріне талдау жүргізілді. Бұл

қалпына келтірілген радиациялық ақаулары бар GaAs қабаттары интегралдық сұлбалардың изоляциялық элементтері ретінде қолданылуға болатынын көрсетеді.

**Түйін сөздер:** галлий арсениді, радиациялық ақаулар, конденсатордың қалануы, p-n ауысуы.

A.V. Russakova<sup>1</sup>, A.T. Akilbekov<sup>2</sup>, M.K. Zhunusova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

### Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons

**Abstract.** This article investigated capacitors with dielectrics of silicon and gallium arsenide irradiated with neutrons. The possible influence of various types of contacts (metal - semiconductor) on the capacitive properties of capacitors is analyzed. It is shown that GaAs layers compensated by radiation defects can be used as insulation of integrated circuit elements.

**Keywords:** gallium arsenide, radiation defects, capacitor plates, p-n junction.

### References

- 1 Evdokimov I., Losev P. Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Solid Asphaltenes. Energy and Fuels. 24(7), 3959-3969 (2010).
- 2 Komarov F.F., Mironov A.A. Low-temperature conductivity and the Hall effect in semiconductor solid solutions. Mikroelektronika. 27, 362(1998).
- 3 Pearton S., Abernathy C., Hobson W., Von Neida A. Implant Isolation Mechanisms in GaAs, AlGaAs, InP and InGaAs. MRS Online Proceeding Library Archive. 144, (433-438) 2011.
- 4 Brudnyi V.N., Grinyev S.N., Stepanov V.E.. Physica B, Cond. Matter. 212, 429 (1995).
- 5 Coates R., Mitchell E.W.J. Adv. Phys. 24, 594 (2015).
- 6 Kolin N.G., Kulikova L.V., Osvensky V.B., Soloviev S.P., Kharchenko V.A. ФТП. 18, 2187 (2004).
- 7 Ridgway M.C., Ellingbol S.Z., Elliman R.G., Williams J.S. High-energy ion implantation for electrical isolation of microelectronic devices. Nucl. Instr. Math. B89, 290-297(1994).
- 8 Dauletbekova, A.K. Schwartz, K.Sorokin, M.V. et al. F center creation and aggregation in LiF crystals irradiated with <sup>14</sup>N, <sup>40</sup>Ar and <sup>84</sup>Kr ions. Nuclear Instruments and methods in Physics Research B 326. – 2014. - P. 311-313.
- 9 Akilbekov A., Russakova A., Dauletbekova, A.Baizhumanov M. Formation of Dislocation Structure in LiF Crystals Irradiated with Swift Heavy Ions under Oblique Incidence. Acta Physica Polonica A. 125(6), 1257-1259 (2014).
- 10 Akilbekov A., Dauletbekova, A. Zdorovets M., Rusakova A. Modification of the properties of LiF crystals under the influence of fast heavy ions. L.N. Gumilyov Eurasian National University. 2015, 193 p.
- 11 Sargunas V., Thompson D.A., Simmons J.G. Implantation isolation in n-type InP bombarded with He<sup>+</sup> and B<sup>+</sup> Nucl. Instr. Math. B106, 294-297(1995).

#### Сведения об авторах:

A.V. Русакова - PhD, доцент кафедры ПиАТП, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Протозанова А.К., 69, Усть-Каменогорск, Казахстан.

A.T. Ақилбеков - д.ф.-м.н., профессор кафедры "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.

M.K. Жұнусова - магистрант 2 года обучения специальности "Физика", Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Протозанова А.К., 69, Усть-Каменогорск, Казахстан.

A.V. Russakova - PhD of the Department of IEaTA, D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, 69 Protozanov Street, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

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

M.K. Zhunusova - Master student of the Department of physics, D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, 69 Protozanov Street, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2019