ISSN 2616-6836

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

BULLETIN

of the L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

PHYSICS. ASTRONOMY Series

№1(122)/2018

1995 жылдан бастап шығады

Издается с 1995 года

Founded in 1995

Жылына 4 рет шығады

Выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Астана, 2018
Astana, 2018

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)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2, 408 б.
Тел.: (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 министрлігімен тіркелген. 27.03.2018ж. №16999-ж тіркеу куәлігі. Тиражы: 30 дана
Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (ішкі 31-428)

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Главный редактор
доктор ф.-м.н.
А.К. Арынгазин (Казахстан)

Зам. главного редактора **А.Т. Акылбеков,** доктор ф.-м.н. профессор (Казахстан)

Редакционная коллегия

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

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408
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: 30 экземпляров
Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (вн. 31-428)

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

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)
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)
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: 2, Satpayev str., of.408, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout:
A.Nurbolat

Bulletin of the 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: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;
tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)

© L.N.Gumilyov Eurasian National University

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

№1(122)/2018

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Акылбеков А.Т., Бижанова С.Б., Баубекова Г.М., Карипбаев Ж.Т. «Таза» кристалдардың импульстік катодолюминесценция спектрлері 8

Ахметова Г.А. DVB-T және DVB-T2 жерсеріктік эфирлік хабар тарату желісінің қамту аймағын анықтаудың стандарттары мен әдіснамасын салыстыру 13

Алдонгаров А.А., Асильбекова А.М., Иргибаева И.С., Ермекова Ж.К. Родамин бояғышы мен CdS кластерлерінің кешендерінде электрондық ауысулардың табиғатын анықтау 19

Бекова Г.Т., Уалиханова У.А., Есмаханова К.Р. (2+1)–комплексті модификациялан Кортевег–де Фриз және Максвелл–Блох теңдеулерінің сақталу заңдары 28

Боргеков Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л. Сыртқы факторлардың әсерінен металл наноқұрылымдарының құлдырауын зерттеу 33

Кадыржанов Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л., Петров А.В. Zn нанотүтікшелерінің құрылымдық қасиеттеріне сәулелендіру әсерін зерттеу 40

Калиекперов М.Е., Козловский А.Л., Қәдыржанов К.К. Полимерлік матрицалар негізінде иондаушы сәуледен жұқа қорғаныш жабындарын синтездеу 46

Жасыбаева М.Б., Нугманова Г.Н. Интегралданатын Фокас-Ленэллстың теңдеуіне эквивалентті спиндік жүйе 53

Есмаханова К.Р., Жубаева Ж.С., Тапеева С.Қ. (1+1)-өлшемді локалды емес бейсызықты Шредингер теңдеуінің нақты шешімдері 58

Мусабаева Г.К., Акылбеков А.Т., Мусабаев К.К. Атомдардың өздігінен сәуле шығаруы туралы 64

Мурзалинов Д.О., Власукова Л.А., Пархоменко И.Н., Комаров Ф.Ф., Акилбеков А.Т., Мудрый А.В., Рябикин Ю.А., Гиниятова Ш.Г., Даулетбекова А.К. Азотпен имплантталған кремний нитриді қабықшаларының люминесценциясы 68

Морзабаев А.К., Гиниятова Ш.Г., Шаханова Г.А., Алимханова К., Айданұлы Б., Махмутов В.С. Астана қаласының Жер беті маңындағы дозалық және электрлік сипаттамаларын талдау 75

Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Мурзагалиев М., Журкин Е., Наурызбаева Р. SiO_2/Si тіректі темплэйт негізінде нанокомпзитті материалдарды зерттеу және әзірлеу 82

Даулетбекова А., Скуратов В., Маника И. , Маникс Я., Забельс Р., Кирилкин Н., Акилбеков А., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Сейтбаев А., Кудайбергенова С. Люминесценцияның өшуінің дислокациялану механизмі 91

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

№1(122)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Акылбеков А.Т., Бижанова С.Б., Баубекова Г.М., Карипбаев Ж.Т. Спектры импульсной катодолюминесценции «чистых» кристаллов 8

Ахметова Г. Сравнение стандартов и методика определения зоны покрытия сети цифрового наземного вещания DVB-T и DVB-T2 13

Алдонгаров А.А., Асильбекова А.М., Иргибаева И.С., Ермекова Ж.К. Определение природы электронных переходов в комплексах родаминового красителя и кластерах CdS 19

Бекова Г.Т., Уалиханова У.А., Есмаханова К.Р. Законы сохранения для (2+1)-мерных уравнений комплексно модифицированного Кортевега-де Фриза и Максвелла-Блоха 28

Боргеков Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л. Изучение деградации металлических наноструктур под действием внешних факторов 33

Кадыржанов Д.Б., Здоровец М.В., Козловский А.Л. Петров А.В, Исследование влияния облучения на структурные свойства Zn нанотрубок 40

Калиекперов М.Е., Козловский А.Л., Кадыржанов К.К. Синтез тонких защитных покрытий от ионизирующего излучения на основе полимерных матриц 46

Жасыбаева М.Б., Нугманова Г.Н. Спиновая система, эквивалентная интегрируемому уравнению Фокаса-Ленэллса 53

Есмаханова К.Р., Жубаева Ж.С., Тапеева С.Қ. Нелокальные нелинейные уравнения Шредингера и ее точные решения 58

Мусабаева Г.К., Акылбеков А.Т., Мусабаев К.К. К вопросу возникновения спонтанного излучения атомов 64

Мурзалинов Д.О., Власукова Л.А., Пархоменко И.Н., Комаров Ф.Ф., Акилбеков А.Т., Мудрый А.В., Рябикин Ю.А., Даулетбекова А.К., Гиниятова Ш.Г. Люминесценция пленок нитрида кремния, имплантированных азотом 68

Морзабаев А.К., Гиниятова Ш.Г., Шаханова Г.А., Алимханова К., Айданұлы Б., Махмутов В.С. Анализ дозовых и электрических характеристик в приземном слое атмосферы г. Астаны 75

Даулетбекова А., Баймуханов З., Козловский А., Гиниятова Ш., Мурзагалиев М., Журкин Е., Наурызбаева Р. Разработка и исследование нанокомпозитных материалов на основе трекового темплэйта SiO_2/Si 82

Даулетбекова А., Скуратов В., Маника И., Маникс Я., Забельс Р., Кирилкин Н., Акилбеков А., Гиниятова Ш., Байжуманов М., Сейтбаев А., Кудайбергенова С. Дислокационный механизм затухания люминесценции 91

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

№1(122)/2018

CONTENTS

PHYSICS

Akylbekov A.T., Bizhanova S.B., Baubekova G.M., Karipbayev Zh.T. The pulsed cathodoluminescence spectra of "pure" crystals 8

Akhmetova G. Comparison of standards and methodology of determining the coverage area of the digital terrestrial broadcasting network DVB-T and DVB-T2 13

Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S., Ermekova Zh.K. Determination of the nature of electronic transitions in the complexes of rhodamine dye and CdS clusters 19

Bekova G.T., Ualikhanova U.A., Yesmakhanova K.R. Conservation laws of the (2+1)-dimensional complex modified Korteweg-de Vries and Maxwell-Bloch equations 28

Borgekov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L. Study of the degradation of metallic nanostructures under the influence of external factors 33

Kadyrzhanov D.B., Zdorovets M.V., Kozlovskiy A.L., Petrov A.V. Investigation of the effect of irradiation on the structural properties of Zn nanotubes 40

Kaliyekperov M.E., Kozlovskiy A.L, Kadyrzhanov K.K. Synthesis of thin protective coatings from ionizing radiation based on polymer template 46

Nugmanova G.N., Zhassybayeva M.B. Spin system equivalent to the integrable Fokas-Lenells equation 53

Yesmakhanova K.R., Zhubaeva Zh.S., Tapeyeva S.K. Exact solutions of the (1+1)–dimensional nonlocal nonlinear Schrodinger equation 58

Musabayeva G.K., Акылбеков А.Т., Musabaye K.K. On the origin of spontaneous emission of atoms 64

Murzalinov D.O., Vlasukova L.A., Parkhomenko I.N., Komarov F.F., Akilbekov A.T., Mudryi A.V., Ryabikin Yu.A., Giniyatova Sh.G., Dauletbekova A.K. The photoluminescence of nitrogen-implanted silicon nitride films 68

Morzabaev A.K., Giniyatova Sh.G., Shakhanova G.A., Alimkhanova K., Aidanuli B., Makhmutov B.S. Analysis of dose and electrical charachteristics in the underground layer of astana atmosphe 75

Dauletbekova A., Baymukhanov Z., Kozlovskii A., Giniyatova Sh., Murzagaliyev M., Zhurkin E., Nauryzbaeva P. Development and research for nanocomposite materials based on track templates of SiO_2/Si 82

Dauletbekova A., Skuratov V., Manika I., Maniks J., Zabels R., Kirilkin N., Akilbekov A., Giniyatova Sh., Baizhumanov M., Seitbayev A., Kudaibergenova S. Dislocation mechanism of fading of luminescence intensity 91

МРНТИ 29.19.21; 29.19.22; 29.19.25

Д.О. Мурзалинов [1], Л.А. Власукова [2], И.Н. Пархоменко [2], Ф.Ф. Комаров [2], А.Т. Акилбеков [3], А.В. Мудрый [4], Ю.А. Рябикин [5], Ш.Г. Гиниятова [3], А.К. Даулетбекова [3]

[1] *Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*
[2] *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*
[3] *Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана Казахстан*
[4] *Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь*
[5] *ТОО "Физико-технический институт", Алматы, Казахстан*
(E-mail: dan_ collaps@mail.ru, alma_ dauletbek@mail.ru)

Люминесценция пленок нитрида кремния, имплантированных азотом

Аннотация: Исследована фотолюминесценция и электронный парамагнитный резонанс LPCVD-пленок нитрида кремния, имплантированных ионами азота и отожженных при температурах 800 и 1200 ° С. Показано, что быстрый термический отжиг в течение 3 мин при 800 ° С исходной нитридной пленки приводит к уменьшению сигнала люминесценции, тогда как отжиг при 1200 ° Сприводит к увеличению интенсивности свечения в сине-зеленой области. Имплантация азота приводит к полному тушению сигнала люминесценции, что вероятнее всего связано с радиационными повреждениями. Однако предварительная имплантация азота дозой $1*10^{16}$ см $^{-2}$ усиливает свечение в сине-зеленой области после отжига при 1200 ° С. Это подтверждает вклад собственных дефектов аморфного нитрида кремния (N-центров)в люминесценцию в высокоэнергетической области спектра.

Ключевые слова: аморфный нитрид кремния, имплантация ионов азота, термообработка, N-центры, фотолюминесценция.

Введение. Кремниевый источник света - мечта международного научного сообщества в последние два десятилетия. Создание высокоэффективного светоизлучающего (или усиливающего излучение) материала на основе кремния имело бы огромное значение в расширении технологических горизонтов кремниевой технологии и развитии кремниевой фотоники и оптоэлектроники. Исследования в этой области начались с изучения кремниевых наноструктурированных материалов, таких как пористый кремний [1] или пассивированные коллоидные наночастицы кремния [2, 3]. Затем в центре внимания оказались кремниевые нанокристаллы, встроенные в тонкие пленкиоксида или нитрида кремния [4-6]. Было показано, что для создания светоизлучающих композитов "диэлектрик на основе кремния + наночастицы Si" нитрид кремния предпочтительнее оксида благодаря более низким барьерам туннелирования и, соответственно, лучшим условиям переноса носителей (электронов и дырок) в нанокластеры Si [7]. Обогащенные кремнием пленки нитрида кремния ($SiN_{x<1.3}$) излучают свет в широком спектральном интервале от УФ- до ИК-области в зависимости от условий выращивания и последующих термообработок [8-10]. Однако природа свечения нитрида кремния до настоящего времени не выяснена. Оказалось, что вклад в люминесценцию наряду с нанокристаллами кремния могут вносить собственные дефекты нитрида кремния (так называемый K-центр, представляющий собой атом Si с оборванной связью [11] и N-центр - соответственно, атом N с оборванной связью [12]), а также рекомбинация между хвостовыми состояниями в запрещенной зоне [13, 14]. Следует отметить, что не содержащие нанокристаллов кремния пленки $SiN_{x>1.3}$ (обогащенные азотом),также характеризуются интенсивной люминесценцией в синей области [12, 15].

Одним из эффективных способов модификации люминесцентных свойств нитрида кремния является метод ионной имплантации. В ряде работ исследована фотолюминесценция нитрида кремния, имплантированного ионами Ge и Ar [16], Si [17], а также редкоземельных элементов [18, 19]. Однако воздействие имплантации азота на ФЛ нитрида кремния рассматривается всего в одной работе [20]. Как отмечают авторы [20], химически активные ионы азота могут образовывать химические связи в облучаемой пленке и создавать дефектные комплексы с дефицитом кремния типа N-центров. Таким образом, новые экспериментальные данные по

модификации люминесцентных свойств нитрида кремния путем имплантации ионов азота будут полезны с точки зрения возможности улучшения люминесцентных свойств SiN_x, а также дадут дополнительную информацию для интерпретации природы ФЛ нитрида кремния.

Целью данной работы было изучение воздействия ионного легирования азотом на ФЛ пленок стехиометрического нитрида кремния. Предполагалось, что высокодозная имплантация азота с последующими термообработками позволит увеличить концентрацию собственных дефектов нитрида кремния и, соответственно, приведет к усилению свечения нитридных пленок в синей области видимого спектра.

Эксперимент. Пленка нитрида кремния осаждалась на кремниевую подложку n-типа кристаллографической ориентации (100) методом газофазного химического осаждения при низком давлении (LPCVD). Температура осаждения составляла 800 °C, соотношение реагирующих газов $SiH_4/NH_3 = 1/1$. Толщина и показатель преломления нитридной пленки определялись с помощью эллипсометра ЛЭФ-3М (h=632,8 нм) и составляли, соответственно, ∼300 нм и 2,01. Известно, что по величине показателя преломления можно судить о степени пересыщения кремнием нестехиометрических слоев нитрида кремния [21]. Значение измеренного показателя преломления (2,01) близко к значениям для стехиометрического нитрида кремния (Si_3N_4), которые, по разным данным, находятся в диапазоне 1,95-2,05 [21]. В слоях нитрида с повышенным содержанием кремния показатель преломления существенно выше (от 2,1 и более) [21]. Таким образом, по результатам эллипсометрии можно заключить, что содержание кремния в нитридной пленке близко к стехиометрическому значению ($SiN_{1.33}$ или Si_3N_4). После осаждения часть вырезанных из структуры Si_3N_4/Si образцов была имплантирована ионами азота с энергией 70 кэВ (в пересчете на атомарный азот) дозами $1 * 10^{16}$ см$^{-2}$ и $5 * 10^{16}$ см$^{-2}$. Энергия ионов азота была выбрана по результатам моделирования с использованием программы SRIM 2010 таким образом, чтобы концентрация внедренной примеси была максимальной на середине толщины нитридного слоя. По данным моделирования, при энергии ионов азота 70 кэВ максимум концентрации внедренной примеси находится на глубине около 160 нм, что приблизительно соответствует половине толщины нитридной пленки. Затем исходный и имплантированные образцы отжигалась в атмосфере азота при температурах 800 °C и 1200 °C в течение 3 и 30 минут в установке быстрого термического отжига (БТО) "jetFirst"'. Для анализа распределения Si и N по глубине нитридного слоя использовался метод резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия с энергией E=1,3 МэВ. Измерение спектров фотолюминесценции проводилось при комнатной температуре. Для возбуждения использовалось излучение УФ He-Cd лазера с длиной волны 325 нм. Дополнительно для исходного, а также имплантированных и отожженных образцов структуры Si_3N_4/Si регистрировались спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) на спектрометре JES-FA200 (производитель-JEOL). Измерения проводились в диапазонах ∼ 9.4 GHz(X-Band) и ∼35GHz (Q-Band) при стабильности микроволновой частоты не хуже ∼ 10^6. Спектроскопия ЭПР использована для проверки корреляции интенсивности спектров ФЛ с возникновением N-центров в имплантированных азотом и отожженных нитридных пленках.

Результаты и обсуждение. На основе данных РОР были рассчитаны концентрационные профили атомов Si и N по глубине нитридного слоя, представленные на рис. 1, и проведена оценка параметра "x", определяющегосоотношение N/Si для исходного образца и образцов, имплантированныхазотом.

Параметр "x" для исходной пленки составляет ∼1,31, что примерно соответствует стехиометрическому составу нитрида кремния (Si_3N_4). Это согласуется с выводом о стехиометрическом составе нитридной пленки, сделанном по результатам эллипсометрических измерений показателя преломления. Как видно из рис. 1 б, имплантация азота дозой ($1*10^{16}$ см$^{-2}$) приводит к обогащению азотом приповерхностного слоя нитридной пленки толщиной ∼ 30 нм. В этом слое параметр "x" составляет 2,33. В более глубоких областях состав пленки близокк стехиометрическому (x= 1,31). Увеличение дозы внедренного азота до $5* 10^{16}$ см$^{-2}$ приводит к возрастанию концентрации азотав сравнении со стехиометрическим

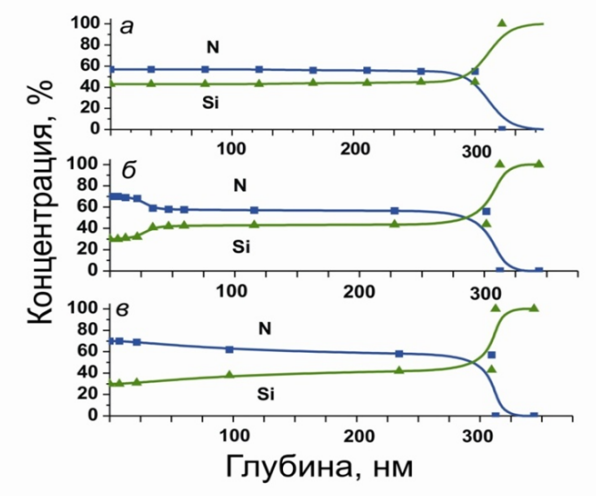


Рисунок 1 – Рассчитанные из экспериментальных спектров РОР профили распределения Si и N для исходного образца (а) и образцов, имплантированных дозами $1*10^{16}$ см $^{-2}$ (б) и $5*10^{16}$ см $^{-2}$ (в)

соотношением по всей глубине нитридной пленки (рис. 1 в). В этом случае параметр "x" постепенно уменьшается от 2,33 в приповерхностном слоедо значения 1,6 на глубине ~ 275 нм.

На рис. 2 представлены спектры ФЛ исходного образца и образцов после имплантации дозой $1*10^{16}$ см $^{-2}$, которые затем прошли термообработкув течение 3 минут при 800 и 1200 ° С. Спектр ФЛ от образца сразу после имплантации дозой $1*10^{16}$ см $^{-2}$ был бесструктурным. Для всех остальных образцов в спектрахдоминирует широкая асимметричная полоса в области энергий 1,7 - 2,9 эВ (430 - 730 нм), которая аппроксимируется двумя гауссианами с максимумами при 1,9 (красная полоса) и 2,3 эВ (сине-зеленая полоса). На рисунке 2б в качестве примера представлена аппроксимация имплантированного образца после отжига при Т=800 ° С.

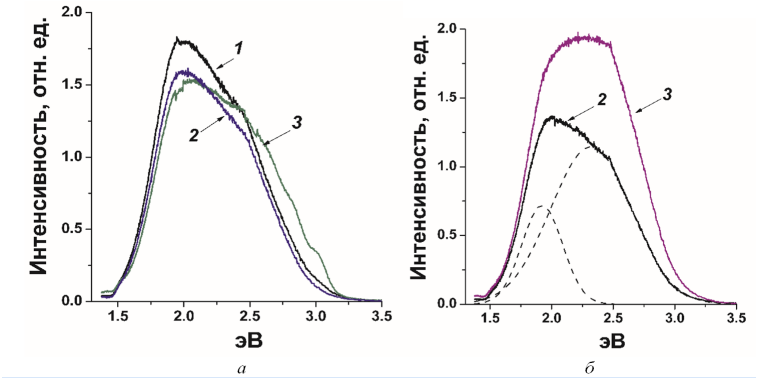


Рисунок 2 – Спектры ФЛ исходного образца (1) и образцов, прошедших термообработку при 800 ° С(2) и 1200 ° С (3) в течение 3 минут; (а) - образцы без имплантации азотом, (б) образцы, имплантированные азотом перед термообработкой

После отжигаисходного, неимплантированного образца при 800 ° С в течение 3 мин интенсивность сигнала ФЛ уменьшаетсяв сравнении с образцом сразу после осаждения нитридной пленки. Возрастание температуры отжига до 1200 ° С приводит к увеличению сигнала ФЛ в сине-зеленой области спектра, а интенсивность свечения в красно-зеленой области, напротив, уменьшается. В целом же интенсивность свечения образца после отжига 1200 ° С меньше в сравнении с образцом сразу после осаждения. Уменьшение интенсивности ФЛ после отжига при 800 ° С можно связать с упорядочением структуры нитрида кремния во время отжига, приводящим к уменьшению концентрации К-центров. Возрастание интенсивности люминесценции в сине-зеленой области спектра с увеличением температуры

отжига до 1200 ° С указывает на формирование дополнительных центров излучательной рекомбинации в процессе высокотемпературной обработки. Логично предположить, что этими центрами являются N-центры, концентрация которых в соответствии с [13] должна увеличиваться с ростом температуры отжига. Отсутствие сигнала ФЛ от образца сразу после имплантациидозой $1^* 10^{16}$ см $^{-2}$, по-видимому, связано с высокой концентрацией центров безизлучательной рекомбинации вследствие радиационных повреждений нитридной матрицы. Отжиг приводит к частичному восстановлению сигнала ФЛ, но интенсивность свечения имплантированного образца после отжига при 800 ° С ниже по сравнению с неимплантированным образцом после аналогичного отжига, то есть, полного отжига радиационных дефектов в этом случае не происходит. Имплантация в сочетании с отжигом при 1200 ° С приводит к еще большему увеличению интенсивности ФЛ в сине-зеленой области (2,3-2,8эВ) в сравнении с неимплантированным образцом после аналогичного отжига.Это подтверждает предположение о том, что свечение в высокоэнергетической области спектра обусловлено вкладом азотной электронной подсистемы аморфного нитрида кремния. На рис. 3 приведены спектры ФЛ исходного образца и образцов, имплантированных дозами $1*10^{16}$ см $^{-2}$ (б) и $5^* 10^{16}$ см $^{-2}$, после отжигов при 1200 ° С в течение 3 и 30 минут.

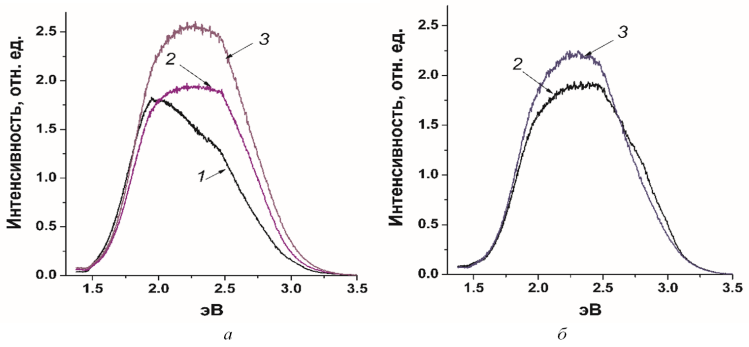


Рисунок 3 – Спектры ФЛ исходного образца (1) и образцов, имплантированных ионами азота дозой $1^* 10^{16}$ см $^{-2}$ (а)и дозой $5^* 10^{16}$ см $^{-2}$ (б) с последующей термообработкой при 1200 ° С в течение 3 минут (2) и 30 минут (3)

Длительность отжига была увеличена для проверки возможности усиления интенсивности сигнала ФЛ. Оказалось, что увеличение длительности отжига при 1200 ° С приводит к еще большему увеличению интенсивности сигнала ФЛ (на 40%), в то время как увеличение дозы имплантации до $5^* 10^{16}$ см $^{-2}$ уменьшает положительный эффект высокотемпературного отжига. Как и в случае дозы $1^* 10^{16}$ см $^{-2}$, имплантация пленки нитрида дозой 5^*10^{16} см $^{-2}$ приводила к исчезновению сигнала люминесценции. Причем, в случае большей дозы сигнал ФЛ регистрируется только после отжига при 1200 ° С. Для образца, имплантированного дозой 5^*10^{16} см $^{-2}$ и отожженного при 1200 ° С, наблюдается аналогичная тенденция к увеличению интенсивности ФЛ в коротковолновой области, как и в случае дозы 1^*10^{16} см $^{-2}$. Однако с увеличением дозы имплантации эффект увеличения интенсивности ФЛ после отжига выражен слабее.

Образец с наиболее интенсивным спектром фотолюминесценции (имплантированный дозой $1^* 10^{16}$ см $^{-2}$ после отжига при 1200 ° С в течение 30 мин.) был исследован методом ЭПР. В спектре ЭПР данного образца наблюдались две линии, обусловленные неспаренными электронами. Характеристики первой линии: g - фактор=2,00173, ширина Δ H =8 Гс. Эту линию идентифицировать не удалось. Характеристики второй линии: g - фактор=2,0056, ширина Δ H=6Гс. В работе [22] линия в спектре ЭПР аморфного нитрида кремния с близкими характеристиками (g - фактор=2,0057, ширина H=8,5 Гс) приписывалась 2-координированному атому азота (N-центр). Следовательно, можно говорить о наличии N-центров в пленке стехиометрического нитрида кремния, имплантированного азотом и прошедшем термообработку при 1200 ° С, а усиление свечения данного образца в сине-зеленой области приписать рекомбинации носителей на N-центрах. Такой вывод совпадает

с результатами работы [23], авторы которой обнаружили корреляцию между появлением N-центров в пленке квазистехиометрического нитрида кремния ($SiN_{1,3}$) в результате отжига в атмосфере азота и возрастанием интенсивности ФЛ в видимой области спектра.

Заключение. Таким образом, исследованы спектры ФЛ и электронный парамагнитный резонансаморфных пленок стехиометрического нитрида кремния, полученных методом LPCVD, в зависимости от дозы облучения азотом и температуры отжига. Показано, что имплантация азота приводит к возрастанию концентрации центров без излучательной рекомбинации, обусловленных наличием радиационных дефектов. Последующая термообработка имплантированных образцов приводит не только к отжигу радиационных дефектов, но и, по данным ЭПР, к появлению центров излучательной рекомбинации типа атомов азота с оборванными связями (N-центров). Максимальный эффект увеличения интенсивности люминесценции (в 1,4 раза в сравнении с неимплантированным образцом после термообработки в тех же условиях) достигался после имплантации азота дозой $1^* 10^{16}$ см $^{-2}$ и последующего отжига при 1200 ° С в течение 30 минут.

Список литературы

1 Pavesi L., Van Negro L., Mazzoleni C., Franzo G., Priolo F. // Nature. - 2000. - V. 408.- P. 440-444.
2 Wilson W.L., Szajowski P.F., Brus L.E. // Science. - 1993. - V. 262.- P. 1242-1244.
3 Mastronardi M.L., Flaig F.M., Faulkne D., Henderson E.J. et al. // Nano Lett. - 2012. -V. 12. - P. 337-342.
4 Device Applications of Silicon Nanocrystals and Nanostructures / Ed. by N. Koshida, Springer,New York, 2009, 348p.
5 Hartel A.M.,Gutsch S., Hiller D., Zacharias M. // Phys. Rev. - 2013. - V. B87. - P.035428.
6 Wang D., Hao H., Chen J., Zhang C., Zhou J., Sun J., and LuM. // Nanotechnology. - 2015. - V. 26.- P.475203.
7 Sung G.Y., Park N.M., Shin J.H., Kim K.H., Kim T.Y., Cho K.S., Huh C. // IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electron. -2006. - V.12. - P. 1545-1555.
8 Shi D.Q., Hu B.C., Xu W., Li X.N., Ma C.Y., Zhang Q.Y. // J. Luminescence. - 2016. - V. 175. - P. 67-70.
9 Bedra B., Faiza T., Lakhdar G., Rachid C., Isa M., Brahim M., Amine M., AbdelkaderG. // J.NanoResearch. - 2017. - V. 49. - P. 163-173.
10 Torchynska T., Vergara Hernandez E., KhomenkovaL. //Phys. Status. SolidiB. - 2017. - V. 254. - P.142-147.
11 KrickD. T., Lenahan P. M., KanickiJ. // J. Appl. Phys. - 1988. - V. 64. - P.3558-3563.
12 KanickiJ., Warren W. L. // J. Non-Cryst. Solids. - 1993. - V. 164-165.- P. 1055-1060.
13 KistnerX., ChenY., WenigH., StrunkP., SchubertM.B., WernerJ.H. // J. Appl. Phys. - 2011. - V. 110. - P. 023520.
14 Mercaldo L.V., EspositoE.M., VeneriP.D., RezguiB., SibaiA.// J. Appl. Phys. - 2011. - V. 109. - P. 093512.
15 ParkhomenkoI.et al. // Thin Solid Films. - 2017. - V. 626. - P. 70-75.
16 Тысченко И. Е., ВолодинВ. А., РеболеЛ., Фельсков М., СкорупаВ. // ФТП. - 1999. -Т. 33. - С. 559.
17 CenZ. H.et al. // Appl. Phys. Letts. - 2009. - V. 94. - P. 041102.
18 Ding W.C., Hu D., Zheng J., Chen P., Cheng B.W., Yuand J.Z., Wang Q.M. // J. Phys. D: Appl. Phys. - 2008. - V. 41. - P. 135101 (4).
19 Berencin Y., WutzlerR., RebohleL., HillerD., RamirezJ. M., RodriguezJ. A., SkorupaW., Garrido B. // Appl. Phys. Lett. - 2013. - V. 103. - P. 111102 (3).
20 Демидов Е.С., Добычин Н.А., Карзанов В.В., Марычев М.О., Сдобняков В.В. // ФТП. - 2009. -Т. 43. - С.961-965.
21 Гриценко В. А. // УФН. - 2008. -Т. 178 Б. -№7. С. 727 - 737.
22 Warren W.L., Lenahan P.M., Curry S.E. //Phys. Rev. Lett. - 1990. - V. 65. - P. 207-210.
23 Savall C., BrureJ. C., KrautwurmJ. // J. Phys. D: Appl. Phys.- 1995. - V. 28. - P. 565 - 570.

Д.О. Мурзалинов [1] , Л.А. Власукова [2] , И.Н. Пархоменко [2] , Ф.Ф. Комаров [2] , А.Т. Акилбеков [3] , А.В. Мудрый [4] , Ю.А. Рябикин [5] , Ш.Г. Гиниятова [3] , А.К. Даулетбекова [3]

[1] *С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан*
[2] *Беларусь мемлекеттік университеті, Минск, Беларусь*
[3] *Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*
[4] *Материалтану бойынша Беларусь Ұлттық ғылым академиясының ғылыми-практикалық орталағы, Минск, Беларусь*
[5] *Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан*

Азотпен имплантталған кремний нитриді қабықшаларының люминесценциясы

Аннотация: Азот ионымен имплантталған және 800 және 1200 ° С температурады қыздырылған кремний нитридінің LPCVD қабықшаларының электронды парамагнитті резонансы мен фотолюминесценциясын зерттеу. Бастапқы нитрид қабықшаларын 800 ° С температурада 3 минут жылдам термиялық қыздыру люминесценттік сигналдың төмендеуіне, ал 1200 ° С қыздыру көгілдір-жасыл аймақта интенсивті жарқыраудың күшеюіне апарады. Азотты имплантта

люминесценция сигналының толық сөнуін туғызады, бұл радиациялық әсерден болуы мүмкін. Бірақ 1200 ° C температурада қыздырудан кейін $1 * 10^{16}$ см $^{-2}$ дозада азотты алдын-ала имплантациялау көгілдір-жасыл аймақта жарқырауын күшейтеді. Бұл аморфты кремний нитридінің (N-орталықтарының) ішкі ақауларының спектрдің жоғары энергетикалық аймағында люминесценцияға қосқан үлесін растайды.

Түйін сөздер: аморфты кремний нитриді, азот иондарын имплантаттау, термоөңдеу, N-центрі, фотолюминесценция].

D.O. Murzalinov [1] , L.A. Vlasukova [2] , I.N. Parkhomenko [2] , F.F. Komarov [2] , A.T. Akilbekov [3] , A.V. Mudryi [4] , Yu.A. Ryabikin [5] , Sh.G. Giniyatova [3] , A.K. Dauletbekova [3]

[1] *S. Seifullin Kazakh agrotechnical University, Astana, Kazakhstan*
[2] *Belarusian State University, Minsk, Belarus*
[3] *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*
[4] *Scientific - Practical Materials Research Center, Minsk, Belarus*
[5] *Institute of Physics and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan*

The photoluminescence of nitrogen-implanted silicon nitride films

Abstract: The photoluminescence and electron spin resonance of LPCVD silicon nitride films implanted with nitrogen ions and annealed at 800 and 1200 ° C have been investigated. It was shown that rapid thermal annealing for 3 min at 800 ° C results in decreasing photoluminescence signal from un-implanted film while the annealing temperature increase to 1200 ° C leads to the enhanced blue-green emission. The PL is completely extinguished by nitrogen implantation due to radiation damage. However, the effect of increasing photoluminescence intensity at blue-green range after annealing at 1200 ° C can be amplified by preliminary nitrogen implantation with $1 * 10^{16}$ cm $^{-2}$ fluence. It proves the contribution of amorphous silicon nitride intrinsic defects (N-centers) to the luminescence at the high-energy spectral range.

Keywords: amorphous silicon nitride, nitrogen ion implantation, annealing, N-centres, photoluminescence.

References

1 Pavesi L., Van NegroL., Mazzoleni C., Franzo G., Priolo F. Nature, **408**, 440-444, (2000)
2 Wilson W. L., Szajowski P. F., Brus L. E. Science, **262**, 242-1244, (1993)
3 Mastronardi M. L., Flaig F. M., Faulkner D., Henderson E. J. et al. Nano Lett., **12**, 337-342 (2012)
4 Device Applications of Silicon Nanocrystals and Nanostructures. Ed. by N. Koshida, Springer, New York, (2009).
5 Hartel A. M.,Gutsch S., Hiller D., Zacharias M. Phys. Rev., **B87**, 035428, (2013)
6 Wang D., Hao H., Chen J., Zhang C., Zhou J., Sun J., and Lu M. Nanotechnology, **26**, 475203, (2015)
7 Sung G. Y., Park N. M., Shin J. H., Kim K. H., Kim T. Y., Cho K. S., Huh C. IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electron, **13**, 1545-1555, (2006)
8 ShiD. Q., HuB. C., Xu W., Li X. N., Ma C. Y., Zhang Q.Y. J. Luminescence, **175**, 67-70, (2016)
9 Bedra B., Faiza T., Lakhdar G., Rachid C., Isa M., Brahim M., Amine M., AbdelkaderG. J.NanoResearch, **49**, 163-173, (2017)
10 Torchynska T., Vergara Hernandez E., Khomenkova L. Phys. Status. Solidi B. **254**, 142-147, (2017)
11 KrickD. T., Lenahan P. M., KanickiJ. J. Appl. Phys., **64**, 3558-3563, (1988)
12 Kanicki J., Warren W. L. J. Non-Cryst. Solids. **164-165**, 1055-1060, (1993)
13 Kistner X., Chen Y., Wenig H., Strunk P., Schubert M.B., Werner J.H. J. Appl. Phys., **110**, 023520, (2011)
14 Mercaldo L.V., Esposito E.M., Veneri P.D., Rezgui B., Sibai A. J. Appl. Phys. **109**, 093512, (2011)
15 Parkhomenko I.et al. Thin Solid Films, **626**,70-75, (2017)
16 Tyschenko I. E., Volodin V. A., Rebole L., Fel'skov M., Skorupa V. FTP., **33**, 559, (1999)
17 CenZ. H.et al. Appl. Phys. Letts., **94**, 041102, (2009)
18 DingW. C., HuD., ZhengJ., ChenP., ChengB. W., YuandJ. Z., WangQ. M. J. Phys. D Appl. Phys., **41**, 135101, (2008)
19 Berencin Y., WutzlerR., RebohleL., HillerD., RamirezJ. M., RodriguezJ. A., SkorupaW., Garrido B. Appl. Phys. Lett. **103**, 111102 (3), (2013)
20 Demidov E. S., Dobychin N. A., Karzanov V. V., Marychev M. O., Sdobnyakov V. V. FTP2009. textbf 43, 961-965. (2009)
21 Gricenko. V. A. UFN. **41 (7)**, 727 - 737, (2008)
22 Warren W.L., Lenahan P.M., Curry S.E. Phys. Rev. Lett., **65**, 207-210, (1990)
23 Savall C., BrureJ. C., KrautwurmJ. J. Phys. D: Appl. Phys., **28**, 565 - 570, (1995)

Сведения об авторах:

Мурзалинов Д.О. - старший преподаватель, Казахский аротехнический университет им. С.Сейфуллина, ул. Победа 62, Астана, Казахстан.

Власукова Л.А - кандидат физико-математических наук, заведующая НИЛ материалов и приборных структур микро- и наноэлектроники кафедры физической электроники и нанотехнологий, ул. Курчатова 5, Минск, Республика Беларусь,

Пархоменко И. Н. - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник НИЛ материалов и приборных структур микро- и наноэлектроники кафедры физической электроники и нанотехнологий, ул. Курчатова 5, Минск, Республика Беларусь,

Комаров Ф.Ф. - доктор физико-математических наук, профессор, Белорусский государственный университет, ул. Курчатова 5, Минск, Республика Беларусь,

Акилбеков А. - Доктор физика-математических наук, профессор, декан физика-технического факультета, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул. Кажымухана 13, Астана, Казахстан.

Мудрый А.В. - кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, ул. П. Бровки 19, Минск, Республика Беларусь,

Рябикин Ю.А. - кандидат физико-математических наук, доцент, Физико-технический институт, ул. Ибрагимова 11, Алматы, Казахстан. E-mail: yuar-39@mail.ru

Даулетбекова А. - Кандидат физико-математических наук, профессор кафедры технической физики, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул. Кажымухана 13, Астана, Казахстан.

Гиниятова Ш. - Кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель декана физико-технического факультета, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул. Кажымухана 13, Астана, Казахстан.

Murzalinov D. O. - lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Pobedy ave., 62, Astana, Kazakhstan.

Vlasukova L.A - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Materials and Instrument Structures of Micro- and Nanoelectronics of the Department of Physical Electronics and Nanotechnologies, Belarusian State University, Kurchatov str., 5, Minsk, the Republic of Belarus.

Parkhomenko I. N. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Materials and Instrument Structures, Micro- and Nanctronics, Department of Physical Electronics and Nanotechnologies, Belarusian State University, Kurchatov str., 5, Minsk, the Republic of Belarus.

Komarov F.F. - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Belarusian State University, Kurchatov str., 5, Minsk, the Republic of Belarus.

Akilbekov A. - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Dean of the Department of Physics and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Mudryi A. V. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief Scientific, Scientific - Practical Materials Research Center of NAS of Belarus, P. Brovka str., 19, Minsk, the Republic of Belarus.

Ryabikin Yu. A. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Instirute of Physics and Technology, Ibrahimov Str. 11, Almaty, Kazakhstan.

Dauletbekova A. - Candidate of physical and mathematical sciences, professor of the Department of technical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Giniyatova Sh. - Candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Deputy Dean of the Department of Physics and Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymuhan str. 13, Astana, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.05.2017