



# **SCIENTIFIC BULLETIN**

## **PHYSICAL AND MATHEMATICAL RESEARCH**

# **ILMIY HABARNOMA**

## **FIZIKA-MATEMATIKA TADQIQOTLARI**

**2024  
VOLUME 6  
ISSUE 1**

ЗАХИРИДДИН  
МУҲАММАД БОБУР  
НОМИДАГИ АНДИЖОН  
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE  
UNIVERSITY NAMED  
AFTER ZAKHIRIDDIN  
MUKHAMMAD BABUR

# **ИЛМИЙ ХАБАРНОМА**

Физика-математика  
тадқиқотлари

## **SCIENTIFIC BULLETIN**

Physical and  
Mathematical Research

**2024/№1(6)**

## **ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДКОЛЛЕГИИ**

**Зайнобидинов Сирожиддин** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан.

## **ЗАМПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДКОЛЛЕГИИ**

**Акбаралиев Бахтиёр Бакирович** – доктор технических наук (DSc), профессор, ректор Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

## **ФИЗИКА**

**Юлдашев Бехзод Садыкович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан, Президент Академии наук Республики Узбекистан.

**Утамурадова Шарифа Бекмурадовна** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, директор Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

**Маматкаримов Одилжон Охундаевич** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, ректор Наманганского инженерно-технологического института

**Олимов Хусниддин Косимович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, директор Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан.

**Каримов Иброхим Набиевич** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, профессор кафедры физики Андижанского государственного университета им. З.М.Бобура

**Тургунов Нозимжон Абдуманнопович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, замдиректор Научно-исследовательского института физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

**Исмаилов Канатбай Абдреймович** – доктор физико-математических наук, профессор Каракалпакского государственного университета.

**Каражанов Смагул** – доктор физико-математических наук (DSc), с.н.с. отдела солнечной энергетики Института энергетических технологий, Кьеллер, Норвегия

**Рембеза Екатерина Станиславовна** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор Воронежского государственного университета.

**Вайткус Юозас Юозович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, академик АН Литва.

**Абдужабборов Ахмаджон** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, г.н.с. института Астрономии АН РУз

## **ТЕХНИКА**

**Мамадалимов Абдугафур Тишабаевич** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, академик Академии наук Республики Узбекистан.

**Содилов Илхом Исмаилович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, директор Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

**Ашуров Хотам Бахронович** – доктор технических наук (DSc), профессор, директор Института ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова Академии наук Республики Узбекистан.

**Далиев Хожакбар Султанович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор, директор Ташкентского филиала Федерального государственного бюджетного высшего образовательного учреждения «Национальный исследовательский университет» МЭИ».

**Алиев Раимжон Усмонович** – доктор технических наук (DSc), профессор Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Юлдашев Носиржон Хайдарович** – доктор технических наук (DSc), профессор, Ферганский политехнический институт.

**Касимахунова Анора Мамасодиқовна** – доктор технических наук (DSc), профессор Ферганского государственного университета

**Тагаев Марат Баймуратович** – доктор технических наук (DSc), профессор Каракалпакского Государственного университета имени Бердаха.

**Мансуров Хатамжон Жураевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, декан Физического факультета Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

## **МАТЕМАТИКА**

**Ўринов Ахмаджон Кушакович** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор Ферганского государственного университета.

**Арзикулов Фарходжон Нейматович** – доктор физико-математических наук, профессор Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Кайгородов Иван** – доктор физико-математических наук, профессор университета Beira Interior, Ковилян, Португалия

**Xabier Garcia Martinez** – professor, Department of Mathematics, University of Vigo, Vigo, Spain

**Каримжанов Икболжон Абдулазизович** – PhD по физико-математических наук, доцент, Проректор Андижанского государственного университета

**Муллажонов Рустамжон Вахобжанович** – кандидат физико-математических наук, доцент, Проректор Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Ибайдуллаев Туланбой Турсунбоевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, декан Математического факультета, Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Умрзаков Нодирбек Мухаммадович** – кандидат физико-математических наук, доцент, Заведующий кафедры Алгебра, Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Ахмедов Одилжон Сойибжонович** – кандидат физико-математических наук, доцент, Заведующий кафедры Механика-математика, Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

## **ИНФОРМАТИКА**

**Расулов Акбарали Махаматович** – доктор физико-математических наук (DSc). Ферганского филиала Ташкентского

университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми.

**Махкамов Мадаминжон Комилович** – кандидат физико-математических наук, доцент, Проректор Андижанского государственного университета. им. З.М.Бобура

**Дадабаев Сардорбек Усманович** – PhD по физико-математических наук, доцент, декан Информационного технологического факультета Андижанского государственного университета

**Худойбергенов Мирзоали Уразалиевич** – доктор физико-математических наук (DSc), профессор. Заведующий кафедрой Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

**Абдурахманов Жамолидин Комолдинович** – кандидат физико-математических наук, доцент Андижанского государственного университета.

### **Редактор:**

**Бобоев Акрамжон Йулдашбоевич** – PhD по физико-математических наук, доцент Андижанского государственного университета.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Физика

<b>С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, Н.А. ТУРГУНОВ, Ш.К. АКБАРОВ</b> Морфология примесных скоплений кобальта и никеля в монокристаллах кремния.....	7
<b>A.T. MAMADALIMOV, S.U. UMAROVA, N.K. KHAKIMOVA, SH.M. NORBEKOV, D.E. XAZRATOV</b> Study of the electrophysical properties of "surkhon-104" grade cotton fibers alloyed with $\text{KMnO}_4$ .....	12
<b>Е.С. РЕМБЕЗА, Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ</b> Синтез и свойства многокомпонентных наноструктурированных пленок $(\text{SnO}_2)_x(\text{ZnO})_{1-x}$ .....	16
<b>Х.Б. АШУРОВ, Б.Р. КУТЛИМУРОТОВ, С.Е. МАКСИМОВ, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР</b> О путях подавления фотодеградации аморфного гидрогенизированного кремния используемого в солнечных элементах.....	21
<b>Б.К. ТУЙЧИБАЕВ, В. Т. МИРЗАЕВ, Т.И. РАХМОНОВ</b> Характеристики электрических свойств нанокристаллических систем селенида кадмия.....	26
<b>Н.А. ТУРГУНОВ, Р.М. ТУРМАНОВА, Н.Б. ХАЙТИММЕТОВ</b> Исследование структурных свойств образцов $\text{n-Si<Ni,Fe>}$ .....	32
<b>А. ТУРАЕВ, Р. БУРХАНОВ, О. РАЙИМЖОНОВ</b> Влияние давления на токопрохождение в БИП изготовленных на основе $\text{n-Si<Ni>}$ .....	36
<b>Н.А. СУЛТАНОВ, З. МИРЗАЖОНОВ, Т.И.РАХМОНОВ, Ф.Т. ЮСУПОВ</b> Характеристика термически окисленных пленок $\text{ZnO}$ : Значение для оптоэлектронных применений.....	40
<b>К. АБДУЛВАХИДОВ, ZHENGYOU LI, С. ОТАЖОНОВ, Н. ЮНУСОВ</b> Исследование структурных, магнитных, магнитодиэлектрических свойств наноструктурированных композитов на основа « $(1-x)\text{AFe}_{12}\text{O}_{19}-x\text{BTiO}_3(\text{A-Ba, Pb, Sr; B-Ba, Pb})$ ».....	48

### Техника

<b>С.С. НАСРИДДИНОВ, А.К. ХАМРАКУЛОВ, М.А. АБДУРАХМАНОВА, Ф.С. САИДОВА, Н.Т. МОВЛОНОВ</b> Мониторинг влажности почв с помощью информационно технологических систем.....	54
--	----

<b>A. SEYTOV, O. ABDURAXMONOV, N. CHORIYOROV</b> Development of algorithms for planning and management of water resources in Irrigation systems in the conditions of climate changing.....	59
<b><u>Математика</u></b>	
<b>X.SH. QO‘SHAQOV, M.A. MUHAMMADJONOVA, SH.SH. MAXAMMADZOKIROV</b> Differential game of three pursuers and one evader on an Elongated Square Gyrobicupola.....	68
<b>М.Ш. КОСИМОВА</b> Об однозначной разрешимости обобщенной задачи колебания балки с заделанными концами в классах соболева в многомерном случае с оператором миллера-росса.....	73
<b>G.SH. ABDUMANNONOVA</b> Differential pursuit game with geometric constraints for an infinite system of differential equations.....	87
<b><u>Информатика</u></b>	
<b>M.K. MAXKAMOV, C.C. AXMAДЖОНОВ</b> Решение задачи о закачке газа в элементарный участок трубопровода в приближении «короткого» трубопровода.....	92
<b>S.U. DADABAYEV, A.M. SOBIROV, M.O. SOLIJONOV</b> Ikki o‘lchovli simmetrik t-giperbolik sistemaning xarakteristik tezliklarini boshqaruvchi dasturiy ta’minot.....	97
<b>M.K. MIRZAAXMEDOV, N.SH. TOJIYEV, I.A. OVXUNOV</b> R-funksiya usuli (rfm) yordamida murakkab shaklli sohalarni qurish.....	102
<b>M.M. ХАМДАМОВ, С.А. МУЗАФФАРОВ, Х.А. МАМАДАЛИЕВ, А.М. СОБИРОВ</b> Численное исследование обтекания аэродинамического профиля bell 540 на основе современных моделей турбулентности.....	110
<b>J.K. ABDURAKHMANOV</b> Some generalizations of communication channels and error correcting codes.....	118
<b>M. KAMILOV, M. XUDAYBERDIYEV, N. ALIMQULOV</b> Timsollarni tanib olishning algebraik yondashuv algoritmlari.....	122
<b>З.З. ШИРИНОВ, И.К. ХУЖАЕВ, Х.А. МАМАДАЛИЕВ</b> Упрощенный способ расчет участка одноконтурной сети отопления с современным теплообменником.....	130
<b>И.М. САЙМАНОВ, Н.Т. УРИНОВ, А. МУРАДУЛЛАЕВ, М.О. СОЛИЖОНОВ</b> Модели основанные на вычислении оценок.....	142

УДК: 621.315.592

# Исследование структурных свойств образцов n-Si<Ni,Fe>

Н.А.Тургунов, Р.М.Турманова, Н.Б.Хайтимметов

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана E-mail: tna\_1975@mail.ru

Получена 6 мая 2024 г. Принята к печати 27 мая 2024 г.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается структурное строение примесных скоплений никеля и железа, образующихся в объеме образцов n-Si<Ni,Fe>. Структурное строение примесных скоплений исследовались с помощью метода рентгеноструктурного анализа. Установлено, что при быстром охлаждении  $U_{охл}=200$  K/c образцов n-Si<Ni,Fe> после диффузионного отжига, в их объеме наблюдается формирование различные скоплений примесных атомов. Из результатов рентгеноструктурного анализа выявлено, что в рентгенограмме образцов n-Si<Ni,Fe> наблюдаются структурные линии с разными интенсивностями.

**Ключовые слова:** кремний, примесь, железо, никель, скопления, дифракционное отражение, рефлекс.

**Annotation.** This article examines the structural construction of impurity accumulations of nickel and iron formed in the bulk of n-Si<Ni,Fe> samples. The structural construction of impurity accumulations was studied using X-ray diffraction analysis. It has been established that with rapid cooling  $U_{cool} = 200$  K/s of n-Si<Ni,Fe> samples after diffusion annealing, the formation of various accumulations of impurity atoms is observed in their volume. From the results of X-ray diffraction analysis, it was revealed that structural lines with different intensities are observed in the X-ray diffraction patterns of n-Si<Ni,Fe> samples.

**Key words:** silicon, impurity, iron, nickel, accumulation, diffraction reflection, reflection.

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada n-Si<Ni,Fe> namunalarining hajmida hosil bo'luvchi nikel va temir kirishma atomlari to'plamlarining strukturaviy tuzilishi o'rganilgan. Kirishma to'plamlarining strukturaviy tuzilishi rentgen-strukturaviy tahlil usuli yordamida o'rganildi. Diffuziyadan so'ng tez sovutilgan  $U_{sov}=200$  K/s n-Si<Ni,Fe> namunalarining hajmida turli xil aralashmalar hosil bo'lishi aniqlandi. n-Si<Ni,Fe> namunalarining rentgen-strukturaviy tahliliga ko'ra, ularning rentgenogrammasida turli intensivlikdagi strukturaviy chiziqlar kuzatilishi aniqlandi.

**Kalit so'zlar:** kremniy, kirishma, temir, nikel, to'plam, difraksion aks etish, refleks.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие микро- и нанoeлектроники в настоящее время требует проведения исследований физико-химических свойств полупроводниковых материалов с использованием более высокоточных методов. Одним из направлений таких исследований является структурный анализ, с помощью которого мы можем получить важную информацию о полупроводниковом материале. В данном аспекте рентгеновские методы исследования атомной структуры вещества относятся к самым информативным, надежным и широко распространенным [1-4].

Рентгеноструктурный анализ является одним из самых распространенных методов исследования структурных свойств кристаллических твердых тел. С его помощью можно исследовать структурное строение кристаллов, т. е. определять тип кристаллической решетки и ее параметры. Если объект исследования является многофазным,

например, сплав из нескольких компонентов, то можно идентифицировать каждую из этих фаз и определить их процентное содержание в сплаве [5-7]. Можно изучать несовершенства кристаллической решетки, а также определять остаточные механические напряжения в объекте, которые могут возникнуть, например, в результате его термообработки [8-10]. В технологии электронных средств рентгеноструктурный анализ широко используется для определения кристаллографической ориентации кремниевых слитков, выращенных методом Чохральского или бестигельной зонной плавкой. Определив с помощью рентгеноструктурного анализа параметры кристаллической решетки бинарного полупроводникового твердого раствора, можно определять и процентное соотношение компонент в этом растворе [11]. В данной работе нами были исследованы структурные свойства образцов n-Si<Ni,Fe>, а также особенности

формирования различных скоплений с участием атомов кремния никеля, железа и кислорода.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследований были изготовлены исходные образцы n-Si и легированные образцы n-Si<Ni,Fe>. В качестве исходного образца для экспериментов использовали монокристаллический кремний марки КЭФ, выращенный по методу Чохральского, с удельным сопротивлением 0,3 Ом·см. Образцы, изготовленные в виде прямоугольного параллелепипеда размерами 10x5x2 мм, очищали химическими методами, с помощью раствора HF:HNO<sub>3</sub> (1:2). С помощью установки ВУП-4, в которой значение вакуума составляло 10<sup>-4</sup> Торр на предварительно подготовленные образцы кремния, путем напыления с одной стороны были осаждены атомы никеля толщиной 0,4 мкм. А с другой стороны, на эти же образцы были нанесены атомы железа толщиной 0,2 ÷ 0,3 мкм. Одновременная диффузия атомов никеля и железа в кремнии проводилась в горизонтальной печи СУОЛ-4 при температуре T=1473 К в течение 5 часов. Температура в печи контролировалась в пределах ±3 К с помощью термопары платина-платинародий. После диффузионного отжига образцы охлаждались методом быстрого охлаждения (v<sub>охл</sub>=200 К/с).

Для выяснения структурных характеристик сформированных скоплений примесных атомов в монокристаллах кремния методом рентгеноструктурного анализа были исследованы фазовые и структурные фрагменты исходных образцов и образцов кремния, одновременно легированных никелем и железом. Структурные исследования были выполнены с помощью современного рентгеновского дифрактометра Malvern Panalytical Empyrean, с использованием CuK<sub>α</sub>-излучения в режиме пошагового сканирования, при этом длина волны излучения составляет λ = 0,15405 нм.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты структурных исследований образцов n-Si<Ni,Fe>, полученных путем быстрого охлаждения v<sub>охл</sub>=200 К/с после диффузионного отжига показали, что в их объеме формируются примесные соединения. Полученные результаты были проанализированы следующим образом. Используя полученные результаты, можно определить расстояние между плоскостями в кристалле с помощью уравнения Вульфа-Брэгга [12].

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

где: d – межплоскостное расстояние, θ – угол Вульфа – Брэгга n – порядок дифракционного максимума, λ = 0.15405 нм – длина волны CuK<sub>α</sub>-излучения.

Средний размер кристаллитов различных плоскостях определен по формуле Шеррера [12]:

$$L = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta} \quad (2)$$

где: K – безразмерный коэффициент формы частиц (постоянная Шеррера); λ = 0.15405 нм – длина волны CuK<sub>α</sub>-излучения; β – ширина рефлекса на полувысоте, θ – угол Вульфа – Брэгга, L – средний размер кристаллитов (нм). На рис.1. представлена рентгенограмма исходного образца. Как видно, на рентгенограмме данного образца наблюдались только две структурные отражения.

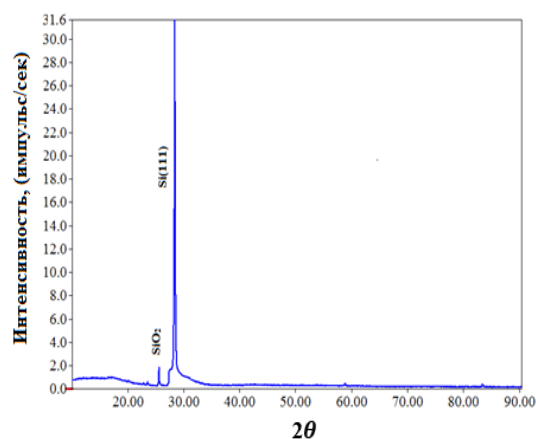


Рис.1. Рентгенограмма исходного образца n-Si.

Один из них самой сильной интенсивности и отражается на углу 2θ=28,39° соответствует к Si(111). Средний размер кристаллитов L и межплоскостное расстояние d на этом отражении равняются 2,84 нм и 0,628 нм, соответственно. Второй пик, который отражается более слабой интенсивностью наблюдается под углом 2θ =25,61 ° и он соответствует соединению SiO<sub>2</sub>. Средний размер кристаллитов и межплоскостное расстояние на этом отражении равняются L=2,55 нм и d=0,347 нм. Узкая ширина структурных линии и отсутствие других пиков на дифракционной картине свидетельствуют о высокой степени совершенства кристаллической решетки исходного образца.

Рентгеноструктурная картина легированного кремния с элементами никеля и железа представлена на рис.2. Как видно, из



рентгенограммы наблюдаются нескольких структурных отражений с разными интенсивностями.

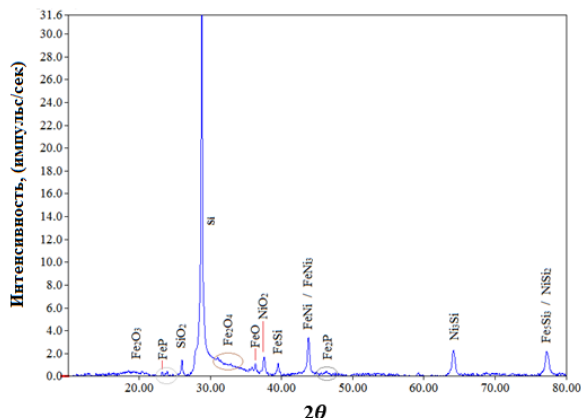


Рис.2. Рентгенограмма образца n-Si<Ni,Fe>.

Самый большой пик из них соответствует монокристаллическому кремнию с кристаллической ориентацией (111) (рис.2.). Он отражается под углом  $28,83^\circ$  и он сдвигается в сторону большего угла по сравнению с тем же рефлексом в исходном образце. Это показывает, что кристаллическая решетка деформируется за счет проникновения в нее примесных атомов. В данном рефлексе значение  $L$  и значение  $d$  равняются  $0,997$  нм и  $0,619$  нм, соответственно. Кроме этого на рентгенограмме наблюдались и другие соединения, образованные с участием примесных атомов железа, кислорода, фосфора, никеля и матричным элементом. Также можно наблюдать образование оксидов никеля и кремния. Соединения, образованные атомами железа с атомами никеля, наблюдались под углом  $44^\circ$  градусов. Средний размер кристаллитов и межплоскостное расстояние на этой структурной линии составляют  $L=0,624$  нм и  $d=1,44$  нм. Рефлекс, наблюдаемый под углом  $39,52^\circ$ , соответствует соединению FeSi и значение  $L$  и  $d$  на этом отражении равняются  $0,769$  нм и  $1,36$  нм, соответственно.

Рефлекс, наблюдаемый под углом  $64,15^\circ$  соответствует соединению  $Ni_3Si$  и в данном рефлексе значения  $L$  и  $d$  соответственно составляют  $0,569$  нм и  $1,161$  нм. Из рентгенограммы еще мы можем видеть образование соединения железа с кислородом в виде  $Fe_2O_4$  и  $FeO$ . Эти структурные линии отражаются около интервала углов  $30-37^\circ$ . На рентгенограмме наблюдаются структурные линии со слабой интенсивностью и они соответствуют соединениям железа с фосфором, в виде  $FeP$  и  $Fe_2P$ . Они отражаются около углов  $25^\circ$  и  $45^\circ$ , соответственно. Еще одна структурная линия отражается около угла  $77^\circ$ . Из базы

данных кристаллических структур (COD-Crystallography Open Database) и литературных данных выявлено, что этот пик соответствует двум соединениям в виде  $Fe_5Si_3$  и  $NiSi_2$ .

#### 4. ВЫВОДЫ

Таким образом, при высокотемпературном легировании кремния, примесями никеля и железа в объеме образцов формируются примесные скопления, состоящие из различных двухкомпонентных соединений с участием атомов матричного элемента, атомов основных и технологических примесей, которые могут мигрировать по кристаллической структуре кремния. Из полученных результатов выявлено, что в образцах n-Si<Ni,Fe> образуются несколько типов соединений с разной интенсивностью и разными значениями  $2\theta$ . Эти соединения представляют собой не только соединения атомов матричного элемента и примесных атомов, но и соединения кислорода с примесными атомами и соединения примесных атомов между собой. Среди образовавшихся соединений наблюдается также соединения атомов фосфора с примесными атомами Fe.

#### Литература:

1. Dinnebier R.E., Billinge S.J.L. Powder Diffraction: Theory and Practice / The Royal Society of Chemistry. 2008. p. 582.
2. Bunaciu A.A., Udristoiu E.G., Aboulenein H.Y. X-ray diffraction: Instrumentation and applications // Critical reviews in analytical chemistry. 2015. Vol. 45. pp.289-299.
3. Tam P.L., Cao Y., Nyborg L. XRD and XPS characterization of transition metal silicide thin films // Surface Science. 2012. Vol. 606, Issue 3–4. pp. 329-336.
4. Чижов П., Левин Э., Митяев А., Тимофеев А. Приборы и методы рентгеновской и электронной дифракции / –М.: Московский физико-технический институт. 2021. 152 с.
5. Zainabidinov S.Z., Musaev K.N., Turgunov N.A., Turaev A.R. Dopant microassociation mechanisms in Si<Mn> and Si<Ni> // Inorganic Materials. 2012. Vol. 48. Issue 11. pp. 1065-1069.
6. Turgunov N.A. Formation of Cobalt Impurity Microinclusions in Silicon Single Crystals // Inorganic Materials. 2018. Vol. 54, No. 12. pp. 1183–1186.
7. Turgunov N.A., Akbarov Sh.K., Khaytimmetov N.B., Turmanova R.M. Influence of accumulation of impurity atoms Ni and Fe on the electrophysical

properties of si single crystals // Journal of nano- and electronic physics. 2024. Vol.16, No 1. pp. 01004(4).

8. Тургунов Н.А., Беркинов Э.Х., Мамажонов Д.Х. Влияние термической обработки кремния, легированного никелем, на его электрические свойства // Прикладная физика, 2020, №3., с. 40-45.

9. Turgunov N.A., Berkinov E.Kh., Turmanova R.M. The effect of thermal annealing on the electrophysical properties of samples n-Si<Ni,Cu> // East European Journal of Physics. 2023. 3. pp. 287-290.

10. Соловьёв Я.А., Пилипенко В.А. Влияние температуры быстрой термической обработки на электрофизические свойства плёнок никеля на кремнии // Доклады БГУИР. 2020. № 18 (1). с.81-88.

11. Химич М.А. Введение в рентгеноструктурный анализ / –Томск: Издательство Томского государственного университета, 2022. 88 с.

12. Саидов А.С., Усманов Ш.Н., Асатова У.П. Физика и технология получения твердых растворов узкозонных полупроводников / – Ташкент: «Фан». 2022. 188 с.