Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭИС, профессор
_____ С.И.Эминов
«30» 05 2017 г.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
Профиль – микроэлектроника и твердотельная электроника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО
Начальник учебного отдела
_____ О.Б.Широколобова
« 30 » 05 2017 г.

Разработал
Профессор КФТТМ
_____ М.А.Захаров
« 17 » 05 2017 г.

Принято на заседании КФТТМ
Протокол № 10 от 22.05 2017 г.
Заведующий кафедрой
_____ Б.И.Селезнев

1 Цели освоения учебного модуля

Цель учебного модуля (УМ) «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» – формирование у студентов глубоких и современных знаний об основных понятиях и методах кристаллографии, теории групп и физической химии, лежащих в основе базовых операций технологии электронной техники.

Основные задачи УМ:

– изучение основных понятий, законов и наиболее важных методов кристаллографии;

– изучение основ теории групп и методов классификации кристаллических решеток;

– изучение экспериментальных методов исследования кристаллических структур;

– изучение физико-химических основ базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники;

– изучение методов математического описания и анализа моделей первого приближения технологических процессов получения полупроводниковых материалов;

– изучение методов системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации;

– подготовить студентов к активному использованию приобретенных знаний и умений в области кристаллографии и физической химии материалов электронной техники как при изучении смежных дисциплин подготовки бакалавра, так и в своей дальнейшей профессиональной деятельности.

Ведущая идея УМ – физическая химия материалов и процессов электронной техники имеет фундаментальное значение для понимания и исследования свойств материалов электронной техники, учет которых лежит в основе базовых операций технологии микро- и наноэлектроники.

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» является базовым среди УМ, определяющих фундаментальную физико-математическую подготовку по направлению 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника. Учебный модуль входит в модули по выбору блока 1 учебного плана подготовки бакалавров. Изложение курса базируется на знаниях, полученных при изучении учебных модулей: «Физика», «Математика» и «Квантовая механика и статистическая физика» и изучается в пятом семестре.

В результате освоения предшествующих модулей и для изучения УМ «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» студенты должны:

знать/понимать:

- основные законы, определения и понятия физики, квантовой механики и статистической физики;
- основные физические явления, их суть и интерпретация;
- алгоритмы решения физических задач.

уметь:

- интерпретировать наблюдаемые простейшие явления природы, на основе известных физических теорий.

владеть:

- аппаратом дифференциального и интегрального исчислений;
- аппаратом простейших квантовомеханических расчетов;
- методиками решения типовых физических задач;
- методиками проведения физических измерений.

Приобретенные знания и умения в результате освоения данного учебного модуля «Физическая химия материалов и процессов электронной техники», как предшествующего, обеспечивают изучение последующих учебных модулей:

«Основы технологии электронной компонентной базы»,

«Физические основы наноэлектроники»,

«Квантовая и оптическая электроника»,

«Процессы микро- и нанотехнологии».

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» направлен на формирование компетенций:

- ОПК-1 Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
- ДПК-2 Способность к организации и контролю технологического процесса выпуска изделий микроэлектроники.

В результате освоения УМ «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» студент должен знать, уметь и владеть:

Код компе-тенции	Уровень освоения компе-тенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-1	базовый	Основные понятия, законы и наиболее важные элементы математического аппарата кристаллографии, физико-химического анализа, диффузии.	Определять точечную симметрию кристаллов, анализировать фазовые диаграммы, теоретически описывать диффузионные процессы и процессы фазообразования в бинарных и многокомпонентных конденсированных системах, исследовать процессы легирования и ионной имплантации.	Основными математическими методами теории групп, термодинамики необратимых процессов, кристаллографии, теории легирования и ионной имплантации.
ДПК-2	базовый	Физико-химические основы базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники.	Находить правильные и оптимальные способы описания конкретных кристаллических структур и их свойств в рамках физико-химического подхода.	Методами системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации.

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
	5 сем.	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	
- лекции	36	ОПК-1, ДПК-2
- практические занятия	54	
- аудиторная СРС	18	
- внеаудиторная СРС	126	
- курсовая работа	36	
Аттестация: - экзамен	36	

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

Тема 1 – **Вводная лекция.**

Основные определения и термины. Структурная характеристика материалов электронной техники. Кристаллы, внешнее и внутреннее проявление монокристаллического состояния. Структура кристаллов и кристаллическая решетка.

Тема 2 – **Кристаллографическое индицирование.**

Символы узлов, ребер, направлений. Символы плоскостей. Индексы Миллера.

Тема 3 – **Элементы симметрии кристаллических многогранников.**

Преобразования симметрии. Плоскость симметрии, ось симметрии, возможный порядок осей симметрии в кристалле. Центр инверсии. Способы обозначения элементов симметрии.

Тема 4 – **Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам.**

Сингонии, системы кристаллографических осей координат. Решетки Бравэ. Сингонии. Решетки Бравэ. Классы симметрии. Формула симметрии, международные символы классов. Символы Шенфлиса. Правила выбора элементарной ячейки кристаллов. Элементы симметрии кристаллических структур. Сложные пространственные решетки.

Тема 5 – **Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах.**

Атомные и ионные радиусы. Координационное число и координационный многогранник. Число атомов в ячейке. Ионная связь. Устойчивость ионных структур. Металлическая связь. Молекулярные кристаллы. Ван-дер-ваальсова связь. Ковалентная (гомеополярная) связь. Кристаллы со смешанной связью. Энергетическая прочность кристаллов с различным характером химической связи.

Тема 6 – **Плотнейшие упаковки частиц в структурах.**

Энергетические принципы образования плотнейших упаковок. Коэффициент компактности. Виды пустот в кристаллических структурах. Двухслойная и трехслойная плотнейшие упаковки. Симметрия двухслойных и трехслойных решеток.

Тема 7 – **Основные типы структур.**

Структура алмаза. Структуры сфалерита и вюрцита. Структура хлористого натрия. Политипия. Изоморфизм. Полиморфизм.

Тема 8 – **Фазовые равновесия.**

Диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Виды диаграмм состояния. Диаграмма состояния трехкомпонентных систем. Концентрационный треугольник. Изотермические сечения трехкомпонентных диаграмм.

Тема 9 – **Физико-химические основы процессов разделения и очистки.**

Чистое вещество. Классификация и маркировка чистых веществ. Основы процессов разделения и очистки. Экстракционное разделение. Процессы перегонки через газовую фазу. Физико–химические основы процессов кристаллизационного разделения. Направленная кристаллизация. Зонная плавка.

Тема 10 – **Физико-химические основы процессов легирования.**

Законы диффузии. Общие решения второго диффузионного уравнения. Частные решения второго диффузионного уравнения. Диффузия из концентрационного порога. Диффузия из бесконечного источника. Диффузия из источника ограниченной мощности. Расчет распределения примесей.

Тема 11 – **Основы процессов ионной имплантации.**

Общие понятия. Распределение пробега имплантированных ионов в твердом теле. Модель распределения. Процессы каналирования. Образование и отжиг радиационных дефектов.

Тема 12 – **Заключительная обзорная лекция.**

Основные направления развития современной физической химии**.**

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

4.3 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в приложении А.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра, рубежный и семестровый (экзамен) – по окончании изучения УМ.

Рубежная аттестация на 9 неделе проводится по результатам текущей успеваемости. Пороговому уровню соответствует 50 баллов, максимальное количество баллов – 100.

Второй рубежный контроль проходит на 18 неделе. Пороговому уровню соответствует 50 баллов, максимальное количество баллов – 100.

Максимальное количество баллов, получаемое по курсовой работе – 50. Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене – 50. Максимальное количество баллов по учебному модулю – 300.

Оценка качества освоения учебного модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по основным образовательным программам высшего профессионального образования» и Положением «О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников». В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: расчетные задачи, опросы, курсовая работа и экзамен.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (приложение Г).

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для осуществления образовательного процесса по модулю используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами.

Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорт компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Приложение А

(обязательное)

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

Учебный модуль «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия, а также курсовая работа.

В таблице А.1 отражены разделы УМ, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студента и ссылки на необходимую литературу.

А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Теоретическая часть УМ направлена на формирование системы знаний об основных понятиях и методах физической химии материалов и процессов электронной техники.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1.

Как правило, в начале лекции проводится опрос (не более 20 мин.) для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Опрос состоит из вопросов, полный список которых содержится в Фонде оценочных средств (ФОС) (приложение В) данного учебного модуля.

Пример вопросов по теме 1:

1. Что такое химическая система?

2. Какие системы называют гомогенными, какие гетерогенными?

3. Что такое монокристалл?

4. Чем отличается монокристалл от поликристалла?

5. Сколько агрегатных состояний вам известно?

6. Как внутреннее состояние твердой фазы может проявляться на внешней форме?

7. Что такое твердый раствор?

8. Каким путем можно получить пространственную кристаллическую решетку?

9. Что такое трансляция?

10. Что такое примитивная элементарная ячейка?

11. Что такое условная элементарная ячейка?

А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам УМ.

Практические занятия строятся следующим образом:

– 20% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовой задачи у доски;

– 70% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;

– 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Большинство задач содержится в фонде оценочных средств (ФОС) (приложение А). Конкретная форма проведения практических занятий указана в таблице А.1.

Пример расчетной задачи.

Вычислить степень упаковки простой кубической решетки.

Решение.

Пусть ребро примитивной элементарной ячейки простой кубической решетки равен a. Тогда объем примитивной элементарной ячейки $V=a^3$. На одну примитивную элементарную ячейку приходится 1 атом. Введем радиус атома r. Тогда объем атома $V_{at}=(4/3)\pi r^3$. При этом $r=a/2$.

Степень упаковки простой кубической решетки

$$\alpha=\frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{a^3}$$

Отсюда степень упаковки простой кубической решетки 0.523.

Ответ: 0.523.

А.3 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

Для подготовки к опросам, контрольной работе и экзамену рекомендуется пользоваться основной и дополнительной учебно-методической литературой, представленной в таблице А.1 и в карте учебно-методического обеспечения.

Для самостоятельной подготовки к экзамену предлагаются контрольные вопросы по УМ.

Вопросы к экзамену по учебному модулю

«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

1 Терминология кристаллофизики: кристалл, термины, характеризующие форму кристалла; монокристалл, поликристаллические вещества.

2 Структура кристалла - однородность, анизотропия, симметрия.

3 Элементарные преобразования симметрии, элементарные ячейки, примитивная элементарная ячейка, пространственная решетка.

4 Символы узлов, символы рядов (направлений).

5 Символы плоскостей (параметры Вейсса). Индексы Миллера.

6 Понятия операции симметрии, элемента симметрии.

7 Плоскость симметрии, ось симметрии, возможный порядок осей симметрии в кристалле, центр инверсии

8 Кристаллографические системы координат. Сингонии.

9 Решетки Бравэ.

10 Сложные пространственные решетки.

11 Атомные и ионные радиусы.

12 Координационное число, координационный многогранник.

13 Кристаллы с металлической связью.

14 Ван-дер-ваальсова связь в кристаллах.

15 Ионная связь в кристаллах.

16 Ковалентная связь в кристаллах, кристаллы со смешанной связью.

17 Структура типа алмаза. Основные характеристики.

18 Структура типа сфалерита.

19 Явление изоморфизма. Полиморфизм.

20 Структура реальных кристаллов. Виды дефектов в кристаллической решетке.

21 Причины образования точечных термодинамически равновесных дефектов. Концентрация дефектов.

22 Принципы разделения и очистки полупроводниковых материалов и примесей.

23 Основные понятия, используемые при описании диаграмм состояния.

24 Кристаллизация расплава, содержащего примесь, понижающую температуру плавления растворителя. Равновесный коэффициент сегрегации.

25 Кристаллизация расплава, содержащего примесь, повышающую температуру плавления растворителя.

26 Направленная кристаллизация. Распределение примеси при направленной кристаллизации.

27 Стандартизация и маркировка чистых веществ. Вещества высокой чистоты. Маркировка веществ высокой чистоты.

28 T - N диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Информация, получаемая из диаграмм состояния.

29 Распределение примесей при зонной плавке.

30 Распределение компонентов при дистилляции в системе без экстремума.

31 Принцип ректификационной очистки. Достоинства метода.

32 Распределение компонентов при дистилляции в системе с экстремумами.

33 Зависимость эффективности разделения компонентов при кристаллизационной очистке от параметров процесса.

34 Диффузионный слой на границе раздела фаз. Причины его образования, его влияние на процесс кристаллизационной очистки.

35 Механизмы диффузионного массопереноса в твердом теле.

36 Диффузия. Диффузионные уравнения. Общие решения диффузионного уравнения.

37 Распределение примеси при диффузии из полубесконечного пространства в полубесконечное тело.

38 Распределение примеси при диффузии из постоянного источника в полубесконечное тело.

39 Распределение примеси при диффузии из слоя конечной толщины в полубесконечное тело.

40 Распределение примеси при диффузии из бесконечно тонкого слоя в полубесконечное тело.

41 Температурная зависимость коэффициента диффузии.

42 Распределение пробегов ионов в аморфном твердом теле

43 Распределение пробегов ионов в кристаллическом твердом теле. Эффект каналирования.

44 Влияние радиационных дефектов на структуру поверхности.

45 Отжиг дефектов после ионной имплантации. Диффузия при отжиге.

Пример экзаменационного билета

Министерство науки и образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ
по учебному модулю

«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

1. Решетки Бравэ.

2. Температурная зависимость коэффициента диффузии.

3. Вычислить степень упаковки простой кубической решетки.

Зав. кафедрой ФТТМ Б.И. Селезнев

А.4 Методические рекомендации по курсовой работе

1 Общие положения

1.1 Настоящие методические указания устанавливают цель и содержание курсовой работы (КР), а также организационные принципы выполнения КР по учебному модулю «Физическая химия материалов и процессов электронной техники».

1.2 Методические указания определяют комплектность курсовой работы и общие требования, структуру, содержание и правила оформления отчета по КР - пояснительной записки, а также графических документов.

1.3 Методические указания составлены в соответствии с Требованиями к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки бакалавра по направлению 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника и в соответствии с рабочей программой учебного модуля «Физическая химия материалов и процессов электронной техники».

2 Цель и задачи курсовой работы

2.1 Курсовая работа является решением комплексной задачи на базе полученных в процессе изучения курса знаний, умений и навыков. Её цель - научиться использовать математические модели процессов, характерных для различных этапов технологии наноэлектроники.

2.2 Задачами курсовой работы являются:

- расширение и углубление знаний по курсу «Физическая химия материалов и процессов электронной техники», применение знаний, полученных студентами при изучении естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин;

- приобретение опыта работы с научно-технической, справочной, периодической литературой, стандартами;

- приобретение опыта и закрепление навыков работы с вычислительной техникой при выполнении расчетов, графических и оформительских работ;

- получение навыков проведения самостоятельной работы исследовательского характера, навыков изложения результатов и защиты решений;

- курсовое проектирование готовит студентов к решению более сложной задачи - подготовке выпускной квалификационной работы по защите академической степени бакалавра.

2.3 Результатом проектирования является расчет распределения примеси полупроводникового материала после кристаллизационной очистки и распределение примеси в полупроводниковой пластине после диффузионного отжига или ионной имплантации с последующим отжигом.

3 Порядок проведения курсовой работы

3.1 Задание на курсовую работу выдается в течение первых трех недель учебного семестра.

3.2 Руководитель курсовой работы в начале проектирования оповещает студентов о расписании консультаций и индивидуальных занятий.

3.3 Исходным документом для выполнения работы является техническое задание (ТЗ), в котором определяются задачи моделирования и задаются необходимые данные, формулируются дополнительные задачи.

3.4 Курсовая работа (работа над заданием) начинается с проведения литературного поиска, содержание которого заключается в следующем:

- необходимо исследовать литературу, указанную в техническом задании на проектирование, и материал, изложенный в конспекте лекций;
- необходимо изучить имеющееся учебное пособие.

3.5 Руководитель в ходе проектирования консультирует студентов по вопросам принципиального характера. Ответы на вопросы, лежащие в сфере знаний ранее изученных дисциплин, должны быть найдены студентами самостоятельно.

3.6 Любое решение принимаемое студентом во время проектирования должно быть обоснованным. Основополагающие решения необходимо выбирать доказательно из альтернативных вариантов.

3.7 Руководитель, консультируя студента, должен развивать у него навыки поиска наилучших решений не навязывая ему своих.

4 Структура и правила оформления курсовой работы

4.1 Комплект итоговых документов курсовой работы (отчет) должен быть оформлен и представлен к защите в виде пояснительной записки.

4.2 Пояснительная записка должна содержать обоснование решений, их подробное описание, а также необходимые иллюстрации и модели, расчеты и иллюстрации.

Состав пояснительной записки указан ниже.

5 Контроль над ходом курсового проектирования и порядок защиты курсовой работы

5.1 Для обеспечения систематической работы студентов над КР преподаватель проводит обязательные для каждого студента контрольные проверки продвижения курсового проектирования в установленные учебным графиком сроки.

5.2 Полностью оформленная курсовая работа (комплект документов) должна быть сдана руководителю для проверки не позднее, чем за 3 дня до назначенной даты защиты. Разрешение руководителя на защиту студент получает после устранения отмеченных в проверенной работе ошибок.

5.3 Допускается досрочная защита курсовой работы.

5.4 Защита КР проводится перед комиссией из 2 - 3-х преподавателей, назначенных заведующим кафедрой.

5.5 Защита включает доклад студента (до 7 минут) и ответы на вопросы. В структуру доклада следует включить формулировку темы работы, содержание технического задания, краткое содержание работы. Необходимо обосновать правильность выбранных решений, уделить внимание самостоятельным творческим разработкам, сделать выводы. По окончании доклада члены комиссии в соответствии с темой и содержанием проекта могут задать вопросы, позволяющие оценить глубину проработки материала при выполнении задания, технический кругозор студента. Студент должен пояснять свой доклад и ответы на вопросы соответствующими документами курсовой работы.

5.6 Оценка курсовой работы осуществляется по совокупности факторов, основные из которых:

- самостоятельность выбора и оригинальность принятых технических решений;
- качество доклада (полнота, лаконичность), правильность ответов на вопросы, обоснованность суждений;
- качество оформления работы, ее соответствие требованиям стандартов;
- использование вычислительной техники, универсальных программных продуктов в расчетах, в представлении материала и оформлении пояснительной записки;
- планомерность работы над КР и срок защиты (досрочно, в срок, после срока);

5.7 При защите курсового проекта после установленного срока без уважительных причин оценка при прочих равных условиях может быть снижена.

Полные методические указания к курсовой работе содержатся в учебном пособии, размещенном на сайте НовГУ, и здесь не приводятся.

Пример технического задания на курсовую работу по учебному модулю «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В КРЕМНИИ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ, ДИФФУЗИОННОМ ЛЕГИРОВАНИИИ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Техническое задание (образец)
на курсовую работу по учебному модулю
«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

1. Рассчитать распределение примесей вдоль слитка полупроводникового материала при очистке зонной плавкой (один проход расплавленной зоны).

Материал	Si
Примеси	Ga и As
Исходное содержание прмеси (каждой)	0,007% (массовых)
Для трех скоростей перемещения зоны	$V_{кр}$ = 1,5; 4 и 10 мм/мин.

2. Проанализировать бинарную диаграмму состояния Si – As и представить графически область существования твердых растворов примеси, найти предельную твердую растворимость примеси и температуру предельной растворимости.

Рассчитать и построить распределение указанной выше примеси (As) в полупроводнике после диффузионного отжига при различных условиях диффузии:

- при условии бесконечного источника примеси на поверхности пластины и при температуре, соответствующей максимальной растворимости примеси в полупроводнике; время диффузии – 80 мин.
- при температуре 1000^0С; время диффузии – 40 мин.
- после перераспределения примеси, накопленной в приповерхностном слое полупроводника при температуре 1000^0С и времени диффузии – 40 мин

Условия перераспределения – полностью отражающая граница, температура 1170^0С, время 60 минут.

3. Рассчитать и построить распределение в кремнии Sb после ионной имплантации и высокотемпературного отжига, введение примеси происходило с энергиями 100 и 30 кэВ, доза легирующей примеси $2\cdot10^{14}$ см$^{-2}$.

Температура отжига 1140^0С, время 60 минут.

Найти положение электронно – дырочного перехода, если исходная концентрация примеси в полупроводнике $8\cdot10^{13}$ см$^{-3}$ (примесью противоположного типа электрической активности, нежели вводимая при диффузионном отжиге).

Таблица А.1 - Организация изучения учебного модуля «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

Разделы	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
1. Вводная лекция	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Кривуша Л.С. Кристаллография, кристаллохимия и минералогия / Л.С. Кривуша. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. – 231 с.
2. Кристаллографическое индицирование	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу - решать задачи (ауд. СРС)	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам / М. Хамермеш. – 2-е изд.,стер. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 587 с.
3. Элементы симметрии кристаллических многогранников	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Кривуша Л.С. Кристаллография, кристаллохимия и минералогия / Л.С. Кривуша. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. – 231 с.
4. Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам / М. Хамермеш. – 2-е изд.,стер. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 587 с.
5. Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах	информационные лекции	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
6. Плотнейшие упаковки частиц в структурах	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу - решать задачи (ауд. СРС)	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
7. Основные типы структур	информационные лекции	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.

Разделы	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература и интернет-ресурсы
8. Фазовые равновесия	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
9. Физико-химические основы процессов разделения и очистки	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу - решать задачи (ауд. СРС)	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
10. Физико-химические основы процессов легирования	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу - решать задачи (ауд. СРС)	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
11. Основы процессов ионной имплантации	информационные лекции решение задач	- подготовиться к опросу - решать задачи (ауд. СРС)	http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.
12. Заключительная обзорная лекция	информационная лекция		http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html

Приложение Б

(обязательное)

Технологическая карта

учебного модуля «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

семестр – 5, ЗЕ – 6, вид аттестации – экзамен, акад.часов – 216, баллов рейтинга – 300

Номер и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
1. Вводная лекция	1	2	3		1	7	опрос	5
2. Кристаллографическое индицирование	2-3	4	6		2	14	расчетные задачи	10
							опрос	10
3. Элементы симметрии кристаллических многогранников	4-5	4	6		2	14	расчетные задачи	15
							опрос	10
4. Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам	6	2	3		1	7	расчетные задачи	15
							опрос	5
5. Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах	7	2	3		1	7	опрос	5
6. Плотнейшие упаковки частиц в структурах	8	2	3		1	7	расчетные задачи	15
							опрос	5
7. Основные типы структур	9	2	3		1	7	опрос	5
Рубежная аттестация – не менее 50 баллов из 100								

Номер и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
8. Фазовые равновесия	10-11	4	6		2	14	опрос	10
9. Физико-химические основы процессов разделения и очистки	12-13	4	7		3	14	расчетные задачи	20
							опрос	10
10. Физико-химические основы процессов легирования	14-15	4	7		2	14	расчетные задачи	20
							опрос	10
11. Основы процессов ионной имплантации	16-17	4	7		2	14	расчетные задачи	20
							опрос	10
12. Заключительная обзорная лекция	18	2				7		
Рубежная аттестация – не менее 50 баллов из 100								
Курсовая работа	1-18					36		50
Экзамен						36		50
Итого:		**36**	**54**		**18**	**126**		**300**

Критерии оценки качества освоения студентами модуля:

- «удовлетворительно» – от 150 до 209 баллов;
- «хорошо» – от 210 до 269 баллов;
- «отлично» – от 270 до 300 баллов.

Приложение В

(обязательное)

ОПК-1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	**хорошо**	**отлично**
Базовый уровень	Знает основные понятия, законы и наиболее важные элементы математического аппарата кристаллографии, физико-химического анализа, диффузии.	Испытывает трудности в формулировке основных понятий, законов и наиболее важных элементов математического аппарата кристаллографии, физико-химического анализа, диффузии.	Недостаточно четко формулирует основные понятия, законы и наиболее важные элементы математического аппарата кристаллографии, физико-химического анализа, диффузии.	Четко формулирует основные понятия, законы и наиболее важные элементы математического аппарата кристаллографии, физико-химического анализа, диффузии.
	Умеет определять точечную симметрию кристаллов, анализировать фазовые диаграммы, теоретически описывать диффузионные процессы и процессы фазообразования в бинарных и многокомпонентных конденсированных системах, исследовать процессы легирования и ионной имплантации.	Испытывает трудности в определении точечной симметрии кристаллов, в анализе фазовых диаграмм, в теоретическом описании диффузионных процессов и процессов фазообразования в бинарных и многокомпонентных конденсированных системах, в исследовании процессов легирования и ионной имплантации.	Не всегда корректно умеет определять точечную симметрию кристаллов, анализировать фазовые диаграммы, теоретически описывать диффузионные процессы и процессы фазообразования в бинарных и многокомпонентных конденсированных системах, исследовать процессы легирования и ионной имплантации.	Способен в полной мере определять точечную симметрию кристаллов, анализировать фазовые диаграммы, теоретически описывать диффузионные процессы и процессы фазообразования в бинарных и многокомпонентных конденсированных системах, исследовать процессы легирования и ионной имплантации.
	Владеет основными математическими методами теории групп, термодинамики необратимых процессов, кристаллографии, теории легирования и ионной имплантации.	Испытывает трудности при использовании основных математических методов теории групп, термодинамики необратимых процессов, кристаллографии, теории легирования и ионной имплантации.	Недостаточно уверенно владеет основными математическими методами теории групп, термодинамики необратимых процессов, кристаллографии, теории легирования и ионной имплантации.	Полностью владеет основными математическими методами теории групп, термодинамики необратимых процессов, кристаллографии, теории легирования и ионной имплантации.

ДПК-2 Способность к организации и контролю технологического процесса выпуска изделий микроэлектроники

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	**хорошо**	**отлично**
Базовый уровень	Знает физико-химические основы базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники.	Испытывает трудности при демонстрации знаний физико-химических основ базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники.	Допускает неточности при демонстрации знаний физико-химических основ базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники.	Имеет целостное представление об физико-химические основах базовых процессов получения полупроводниковых материалов и фундаментальных процессов технологии микроэлектроники.
	Умеет находить правильные и оптимальные способы описания конкретных кристаллических структур и их свойств в рамках физико-химического подхода.	Испытывает трудности в умении находить правильные и оптимальные способы описания конкретных кристаллических структур и их свойств в рамках физико-химического подхода.	Недостаточно уверенно умеет находить правильные и оптимальные способы описания конкретных кристаллических структур и их свойств в рамках физико-химического подхода.	Способен в полной мере находить правильные и оптимальные способы описания конкретных кристаллических структур и их свойств в рамках физико-химического подхода.
	Владеет методами системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации.	Испытывает трудности во владении методами системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации.	Недостаточно уверенно владеет методами системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации.	В полной мере владеет методами системного воздействия на параметры технологических процессов для управления скоростью, направлением и результатом с позиций оптимизации, управления качеством изделий, учетом возможных взаимодействий в создаваемых системах и структурах и их деградации.

Приложение Г
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

УМ **«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»**
Направление (специальность) 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
Формы обучения очная
Курс 3 Семестр 5
Часов**:** всего 216, лекций 36, практ. зан. 54, курс. раб. 36, СРС 126
Обеспечивающая кафедра ФТТМ институт ИЭИС

Таблица Г.1 - Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1 Ягодовский В.Д. Статистическая термодинамика в физической химии / В.Д.Ягодовский. - М.: БИНОМ, 2009. – 495 с.	2	
2 Гусев А.И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле / А.И.Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 855 с.	3	
3 Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 400 с.	3	
4 Технология материалов микро- и наноэлектроники / Моск. гос. ин-т стали и сплавов (технолог. ун-т). - М.: МИСИС, 2007. – 542 с.	3	
5 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: учеб. пособие для вузов / науч.ред. Л.А.Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с.	3	
6 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: Т. 1: Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д.Чистяков, Ю.П.Райнова. - М.: БИНОМ, 2010. - 392 с.	6	
Учебно-методические издания		
1 Рабочая программа модуля с приложениями «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» /Авт.-сост. М.А.Захаров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2017. – 22 с.		
2 Моделирование диаграмм состояния бинарных растворов: методические указания / Авт.-сост. М.А.Захаров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2007. – 90 с. – Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-363	10	есть
3 Захаров М.А. Динамика кристаллической решетки: гармоническое приближение и ангармонизмы: учеб.-метод. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. – 2-е изд. исправ. и доп. – В.Новгород, 2014. – 40 с.(2007 – 48 с.) – Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1802	10	есть

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание

Таблица Г.3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1 Кривуша Л.С. Кристаллография, кристаллохимия и минералогия / Л.С. Кривуша. – Днепропетровск: Gaudeamus, 2002. – 231 с.	1	
2 Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.	26	

Действительно для учебного года _____/_____

Зав. кафедрой _____ Б.И. Селезнев

_____ _____ 20 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ: _____ _____ _____

должность подпись расшифровка