

Министерство науки и высшего образования 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



Директор ИЭИС, профессор
С.И.Эминов

«25» декабря 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

**ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ МАТЕРИАЛОВ И ПРОЦЕССОВ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и микроэлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника и твердотельная электроника

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

П.В.Лысухо
«25» декабря 2020 г.

Разработал

Профессор КФТТМ

М.А.Захаров

«25» 11 2020 г.

Принято на заседании КФТТМ

Протокол № 4 от 26.11 2020 г.

Заведующий кафедрой

Б.И.Селезнев

«26» 11 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов об основных понятиях и методах кристаллографии, теории групп и физической химии, лежащих в основе базовых операций технологии электронной техники.

Задачи:

- 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.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к элективным дисциплинам (модулям) учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника и направленности (профилю) Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП).

В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика», «Высшая математика», «Квантовая механика и статистическая физика».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения учебных дисциплин направления подготовки 11.03.04: «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы», «Физические основы нанoeлектроники», «Процессы микро- и нанотехнологии».

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

профессиональные:

- ПК-3 Способен анализировать, контролировать и корректировать существующие технологические процессы выпуска изделий микроэлектроники.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
ПК-3 Способен анализировать, контролировать и корректировать существующие технологические процессы выпуска изделий микроэлектроники	Знает базовые технологические процессы и основные материалы производства изделий микроэлектроники	Умеет аргументированно выбирать, анализировать и корректировать технологический процесс получения изделия из действующего типового группового технологического процесса	

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		5 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	7	7
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	84	84
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	36	36
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	96	96
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	Экзамен	Экзамен

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Введение.

Тема 2. Кристаллографическое индицирование.

Тема 3. Элементы симметрии кристаллических многогранников.

Тема 4. Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам.

Тема 5. Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах.

Тема 6. Плотнейшие упаковки частиц в структурах.

Тема 7. Основные типы структур.

Тема 8. Фазовые равновесия.

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

Тема 10. Физико-химические основы процессов легирования.

Тема 11. Основы процессов ионной имплантации.

Тема 12. Заключительная лекция.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)						Экзам н Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС	КР	Экза мен		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР					
1.	Тема 1. Введение	2	2		1			8	опрос
2.	Тема 2. Кристаллографическое индистрирование	3	5		2			8	опрос, решение контрольной задачи (КЗ)
3.	Тема 3. Элементы симметрии кристаллических многогранников	4	6		1			8	опрос, решение (КЗ)
4.	Тема 4. Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам	2	3		1			8	опрос, решение (КЗ)
5.	Тема 5. Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах	2	3		1			8	опрос
6.	Тема 6. Плотнейшие упаковки частиц в структурах	2	3		1			8	опрос, решение (КЗ)
7.	Тема 7. Основные типы структур	2	3		1			8	опрос
8.	Тема 8. Фазовые равновесия.	4	6		1			8	опрос
9.	Тема 9. Физико-химические основы процессов разделения и очистки	4	6		1			8	опрос, решение (КЗ)
10.	Тема 10. Физико-химические основы процессов легирования.	4	6		2			8	опрос, решение (КЗ)
11.	Тема 11. Основы процессов ионной имплантации	4	6		2			8	опрос, решение (КЗ)
12.	Тема 12. Заключительная лекция	2	-		-			8	-
	Промежуточная аттестация						36		экзамен
	ИТОГО	35	49		14	36	36	96	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

- «Расчет распределения примесей в кремнии при кристаллизационной очистке, диффузионном легировании и ионной имплантации».

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
1.	Введение. Основные определения и термины. Структурная характеристика материалов электронной техники. Кристаллы, внешнее и внутреннее проявление монокристаллического состояния. Структура кристаллов и кристаллическая решетка (вводная лекция, опрос)	2
2.	Кристаллографическое индцирование. Символы узлов, ребер, направлений. Символы плоскостей. Индексы Миллера (информационная лекция, опрос)	3
3.	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Преобразования симметрии. Плоскость симметрии, ось симметрии, возможный порядок осей симметрии в кристалле. Центр инверсии. Способы обозначения элементов симметрии (информационная лекция, опрос)	4
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 (информационная лекция, опрос)	2
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 (информационная лекция, опрос)	2
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 (информационная лекция, опрос)	2
7.	Основные типы структур. Структура алмаза. Структуры сфалерита и вюрцита. Структура хлористого натрия. Политипия. Изоморфизм. Полиморфизм (информационная лекция, опрос)	2
8.	Фазовые равновесия. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Виды диаграмм состояния. Диаграмма состояния трехкомпонентных систем. Концентрационный треугольник. Изотермические сечения трехкомпонентных диаграмм (информационная лекция, опрос)	4
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 (информационная лекция, опрос)	4
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 (информационная лекция, опрос)	4
11.	Основы процессов ионной имплантации. Общие понятия. Распределение пробега имплантированных ионов в твердом теле. Модель распределения. Процессы каналирования. Образование и отжиг радиационных дефектов (информационная лекция, опрос)	4
12.	Заключительная лекция. Основные направления развития современной физической химии (обзорная лекция)	2
	ИТОГО	35

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
1	Введение (решение задач)	2
2	Кристаллографическое индентирование (решение задач)	5
3	Элементы симметрии кристаллических многогранников (решение задач)	6
4	Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам (решение задач)	3
5	Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах (решение задач)	3
6	Плотнейшие упаковки частиц в структурах (решение задач)	3
7	Основные типы структур (решение задач)	3
8	Фазовые равновесия (решение задач)	6
9	Физико-химические основы процессов разделения и очистки (решение задач)	6
10	Физико-химические основы процессов легирования (решение задач)	6
11	Основы процессов ионной имплантации (решение задач)	6
	ИТОГО	49

Методические рекомендации по теоретической части учебной дисциплины

Теоретическая часть учебной дисциплины 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 (электронный вариант конспекта лекций имеется на сайте университета), а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела.

Дополнительная литература, не вошедшая в таблицу Б.2.

1. Кривуша Л.С. Кристаллография, кристаллохимия и минералогия / Л.С. Кривуша. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. – 231 с. – Режим доступа: [www.URL: http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html](http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html)

2. Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам / М.Хамермеш. – 2-е изд.,стер. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 587 с. – Режим доступа: [www.URL: http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html](http://www.ph4s.ru/book_him_phys.html)

3. Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.

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 закрытой части Фонда оценочных средств (ФОС) данной рабочей программы.

Пояснения к темам лекционных занятий.

Вводная лекция

Основные определения необходимо просто запомнить. Особенно определения компонентов системы. Изложение всего последующего курса основано на предположении преподавателя, что студенты знакомы с основными терминами. Базовый момент – микроэлектронные устройства выполняются на монокристаллах, а микроэлектроника – наука о твердых растворах.

Кристаллографическое индцирование

В этой теме также представлена информация для запоминания. Положение узлов кристаллической решетки является основным геометрическим параметром ее строения. Свойства кристалла меняются в зависимости от кристаллографического направления. Поэтому важно найти простой способ «назвать» необходимое кристаллографическое направление или плоскость. Символика Миллера и решает эту задачу. Следует обратить внимание на смысл индексов Миллера, на способ графического построения плоскости, если известны индексы этой плоскости.

Элементы симметрии кристаллических многогранников

В рамках изучения этой темы не должно возникнуть каких-либо сложностей – в принципе, элементарные преобразования симметрии знакомы нам из жизненного опыта. Следует обратить внимание на преобразование центром инверсии. По своей сути это преобразование в объективе фотоаппарата. В конспекте лекций представлено достаточное количество иллюстраций по этой теме.

Классификация кристаллических многогранников по геометрическим признакам. Сингонии, системы кристаллографических осей координат. Решетки Бравэ.

В рамках изучения данной темы, необходимо помнить, что речь в ней идет о принципах классификации форм кристаллов и форм их элементарных ячеек. Кристаллы согласно особенностям внешнего проявления их внутреннего строения разбиваются на семь групп. Признаком принадлежности кристалла к какой-либо группе (сингонии) является определенный набор операций симметрии, характерный для данного кристалла, и особенности координатной системы, в которую наилучшим образом устанавливается он сам и его элементарная ячейка. Решетки Бравэ дают возможность выбрать элементарную ячейку какого-либо кристаллического вещества таким образом, чтобы она при максимальной простоте формы передавала все кристаллографические особенности твердого вещества.

Данная тема одна из наиболее труднопонидаемых для людей, не вращающихся в среде кристаллографов, в силу кажущейся отвлеченности и абстрактности. На него следует обратить наиболее пристальное внимание.

Основы кристаллохимии. Связи в кристаллах

В этой теме содержится материал, касающийся фундаментальных принципов образования кристаллической решетки того или иного вида. Следует обратить внимание на то, что не только положение элемента в периодической системе, но и вид связи, возникающий между структурными единицами (атомами, ионами, молекулами) определяет, в конечном итоге химические и физические свойства кристалла.

Плотнейшие упаковки частиц в структурах

При изучении этой темы необходимо обратить внимание на фундаментальность принципа плотнейших упаковок при образовании кристаллической решетки. Структурные единицы стремятся расположить себя в пространстве и относительно друг друга таким образом, чтобы внутренняя энергия образовавшейся системы была минимальной. Склонность к плотнейшей упаковке атомов и ионов присутствует как движущая сила при образовании и ионных, и атомных, и металлических кристаллов. Другой разговор, насколько структурным единицам в этом стремлении удастся сблизиться в силу их собственного строения и особенностей связи.

Основные типы структур

Эта тема не должна вызвать особых затруднений при изучении. Необходимо разобраться в иллюстрациях структур. Наибольшую сложность несет в себе информация о политипах. Решить сложности с пониманием политипии можно, внимательно изучив модели кристаллических решеток.

Материал о изоморфных твердых растворах, несмотря на его небольшой объем, очень важен в плане понимания процесса движения полупроводникового материаловедения в направлении создания так называемых тройных и четверных полупроводниковых соединений из элементов третьей и пятой групп периодической системы. Это движение создает возможность практически безграничного управления свойствами полупроводниковых материалов.

Фазовые равновесия

Эта тема относится к наиболее сложным в курсе. При ее изучении необходимо помнить, что все процессы, рассматриваемые в рамках диаграмм состояния, предполагаются равновесными, т.е. то о чем мы говорим быстро, на самом деле происходит (если мы хотим рассчитывать на получение предсказуемого результата) с бесконечно малыми скоростями. Получение информации о протекании процесса – не более чем попытка разобраться в направлении движения этого процесса, т.к. все реальные процессы протекают с совершенно иными скоростями.

Следует обратить особое внимание на принципах правила отрезков.

Физико-химические основы процессов разделения и очистки

В этой теме рассматриваются процессы разделения компонентов системы на составляющие. Разделение – это и есть очистка. Очистка компоненты А системы от примеси компоненты В системы. Следует помнить, что возможность или невозможность процессов разделения, эффективность или неэффективность их, предсказываются диаграммами состояния компонентов разделяемой системы. Главный показатель возможности разделения – коэффициент разделения в жидких системах при перегонке, коэффициент сегрегации в кристаллизующихся системах.

Физико-химические основы процессов легирования

Проблема понимания процессов диффузии примесей в твердом теле и последствий диффузии упирается в возможность ответа на два вопроса – почему происходит диффузия и каким образом постороннее вещество проникает в твердое тело и движется в нем, причем движется направленно.

Для ответа на первый вопрос необходимо рассмотреть два диффузионных уравнения. Решения второго из них дает возможность получить необходимые для практического использования зависимости $N(x,t) = f(T,t)$. Эти зависимости представляют собой результат диффузии – примесный профиль, распределение продиффундировавшего вещества по глубине твердого тела, в которое проходила диффузия. Знание вида профиля дает возможность рассчитать электрические характеристики прибора, в котором эта примесь с полученным распределением работает.

При изучении материала о диффузии следует обратить внимание на следующие факторы:

- скорость диффузии определяется коэффициентом диффузии;
- значение коэффициента диффузии, а, значит, и скорость процесса экспоненциально увеличивается с повышением температуры;

- те процессы, скорость которых была более или менее ощутима при температуре, например, 1000°C , становятся незаметными (по скорости) при комнатной температуре и наоборот;

- существуют «быстрые» и «медленные» примеси, т.к. у одних примесей коэффициент диффузии больше, чем у других;

- те распределения примесей, которые мы получили при высоких температурах, приводят материал (полупроводник) в неравновесное состояние, которое «замораживается» при переходе к комнатным температурам.

Следует отметить, что решения второго диффузионного уравнения, которые мы получили обязаны исключительно тому, что мы сделали допущение о независимости коэффициента диффузии от концентрации примеси.

Наконец, следует найти ответ на второй заданный вопрос. Диффузия постороннего вещества в твердом теле возможна только благодаря наличию в твердом теле термодинамически равновесных точечных дефектов.

В конспекте лекций даются ответы на все поставленные далее вопросы.

Основы процессов ионной имплантации

Теория процессов ионного легирования основана на весьма абстрактной теории рассеяния движущихся частиц атомами аморфной мишени. При изучении материалов раздела следует повышенное внимание уделить теории ЛШШ и методике получения выражения для распределения примесных ионов в мишени. Изучение всех остальных аспектов данной темы, обычно, не приводит к заметным затруднениям в восприятии.

Методические рекомендации по практическим занятиям

1. Решение задач.

На практических занятиях студент прежде всего должен освоить взаимодействие с программными продуктами, которые используются как для выполнения предложенных расчетов, так и для иллюстраций особенностей строения кристаллических решеток.

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.

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 учебной дисциплине «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 учебной дисциплине
«Физическая химия материалов и процессов электронной техники»*

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В КРЕМНИИ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКЕ, ДИФФУЗИОННОМ ЛЕГИРОВАНИИ 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 примеси (каждой)	0,007% (массовых)
Для трех скоростей перемещения зоны	$V_{кр} = 1,5; 4 \text{ и } 10 \text{ мм/мин.}$

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°C ; время диффузии – 40 мин.
- после перераспределения примеси, накопленной в приповерхностном слое полупроводника при температуре 1000°C и времени диффузии – 40 мин

Условия перераспределения – полностью отражающая граница, температура 1170°C , 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 $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Температура отжига 1140°C , время 60 минут.

Найти положение электронно – дырочного перехода, если исходная концентрация примеси в полупроводнике $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ (примесью противоположного типа электрической активности, нежели вводимая при диффузионном отжиге).

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины (модуля) представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска)	
		помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера, выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800х600)	
3.	Программное обеспечение		
Наименование программного продукта		Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
Microsoft Windows 7 Professional		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Windows 10 for Educational Use		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Office 2013 Standard		Open License № 62018256	31.07.2016
Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard		Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
ABBYY FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)*		Договор №191/Ю	16.11.2020
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *		Договор №148/ЕП(У)20-ВБ, 1C1C-200914-092322-497-674	11.09.2020
Антиплагиат. Вуз.*		Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
Подписка Microsoft Office 365		свободно распространяемое для вузов	-
Adobe Acrobat		свободно распространяемое	-
Teams		свободно распространяемое	-
Skype		свободно распространяемое	-
Zoom		свободно распространяемое	-

* отечественное производство

Приложение А (обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1	Опрос	Темы с 1 по 7	10х7	ПК-3
		Темы с 8 по 11	10х4	
2	Решение контрольной задачи	Тема 2	20	
		Темы: 3, 4, 6	20х3	
		Темы 9, 10, 11	20х3	
3	Курсовая работа		50	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		350	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Опрос

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Способен дать правильные ответы на вопросы	1	1

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?

2) Решение контрольной задачи

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество задач
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	1	1
Выполнены нужные вычисления и преобразования		
Получен правильный ответ		

По каждой теме студентам предлагается решить на оценку по одной задаче. Задачи предлагаются из учебного пособия: Шишлянников Б.М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники: учебное пособие для вузов / НовГУ. – Великий Новгород, 2005. – 161 с.

Пример 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.

3) Курсовая работа

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Работа выполнена полностью	по количеству студентов
Работа оформлена правильно	
Студент демонстрирует всестороннее и глубокое знание материала	
Выдержаны сроки сдачи КР	

4) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Уверенное владение терминологией	15	3
Глубина знаний по теме вопроса		
Полнота ответа		
Логическая связность		
Аргументированность ответа		

Вопросы к экзамену:

- 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 Т - 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.

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина «Физическая химия материалов и процессов электронной техники»
Для направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника твердотельная электроника

1. Явление изоморфизма. Полиморфизм.

2. Принцип ректификационной очистки. Достоинства метода.

3. Рассчитать степень упаковки ОЦК решетки.

Принято на заседании кафедры

«___»_____ 20__ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Приложение Б
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной
техники»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : учебное пособие для вузов : в 2 т. Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Библиогр.: с. 386-389. - ISBN 978-5-9963-0335-9. - ISBN 978-5-9963-0341-0	6	
2 Готтштайн Гюнтер. Физико-химические основы материаловедения / Пер.с англ.:К.Н.Золотовой и Д.О.Чаркина;Под ред.В.П.Зломанова. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 400с. : ил. - (Лучший зарубежный учебник). - Библиогр.: с. 375-383. - Указ.: с. 384-400. - ISBN 978-5-94774- 769-0. - ISBN 3-540-40139-3	3	
3 Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие для вузов / Науч.ред.Л.А.Алешина. - Москва : Техносфера, 2007. - 518с. : ил. - (Мир физики и техники). - Библиогр.: с. 505-510. - Указ.: с. 514-518. - Прил.: с. 454-504. - ISBN 978-5-94836-141-3	3	
4 Гусев А. И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле / А. И. Гусев. - Москва : Физматлит, 2007. - 855 с. : ил. - (Фундаментальная и прикладная физика). - Библиогр. в конце гл. - Указ.: с. 843-855. - ISBN 978-5-9221-0609-2	3	
5 Технология материалов микро- и нанoeлектроники / Л. В. Кожитов [и др.] ; Моск. гос. ин-т стали и сплавов (Технолог. ун-т). - Москва : Мисис, 2007. - 542, [2] с. : ил. - (Металлургия и материаловедение XXI века). - Библиогр. в конце гл. - К 75-летию Моск. гос. ин-та стали и сплавов (Технолог. ун-та). - ISBN 978-5-87623-132-7	3	
Электронные ресурсы		

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Захаров М. А. Динамика кристаллической решетки: гармоническое приближение и ангармонизмы : учебно-методическое пособие / М. А. Захаров ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2007. - 48 с. URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-366 ; https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-389	10	БиблиоТех
2 Кривуша Л.С. Кристаллография,кристаллохимия и минералогия : учебное пособие. - Днепропетровск : Gaudeamus, 2002. - 231с. : ил. - Библиогр.: с. 205. - Прил.: с. 206-219. - Указ.: с. 220-229. - ISBN 966-72-82-71-6	1	

Новгородский государственный
университет им. Ярослава Мудрого
Научная библиотека
Сектор учета *Маш*

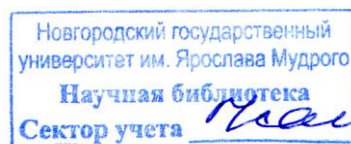
3 Моделирование диаграмм состояния бинарных растворов: методические указания / сост. М. А. Захаров ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2007. – 90 с.- URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/BookPreview/-363 Моделирование диаграмм состояния бинарных растворов : методические указания к лаб. работам / сост. М. А. Захаров ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2007. – 93. - URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-305	10	БиблиоТех
4 Шишлянников Б. М. Физическая химия материалов и процессов электронной техники : учебное пособие для вузов / Б. М. Шишлянников ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2005. - 161 с. : ил. - Библиогр.: с. 119-121. - Прил.: с. 122-161. - ISBN 5-89896-283-2	26	
5 Ягодовский В. Д. Статистическая термодинамика в физической химии : учебное пособие для вузов / В. Д. Ягодовский. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 495, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 485-487. - Прил.: с. 466-484. - На обл.: Химия. - ISBN 978-5-94774-084-4	2	
Электронные ресурсы		

Таблица Б.3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
Профессиональные базы данных		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/	в открытом доступе	-
Национальная подписка в рамках проекта Министерства образования и науки РФ (Госзадание № 4/2017 г.) к наукометрическим БД Scopus и Web of Science https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	регистрация (территория вуза)	2022
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» https://нэб.пф	в открытом доступе	-
Информационные справочные системы		
Университетская информационная система «РОССИЯ» https://uisrussia.msu.ru	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» https://openedu.ru	в открытом доступе	-
Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии http://protect.gost.ru/	в открытом доступе	-

Проверено НБ НовГУ

Зав. кафедрой Б.И. Селезнев
подпись И.О.Фамилия
« 26 » 2020 г.



Приложение В
(обязательное)

Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «Физическая химия материалов и процессов электронной
техники»

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.

Протокол № __ заседания кафедры от «__» _____ 20__ г.

Разработчик: _____

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.

Протокол № __ заседания кафедры от «__» _____ 20__ г.

Разработчик: _____

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.

Протокол № __ заседания кафедры от «__» _____ 20__ г.

Разработчик: _____

Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 – Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав. кафедрой	Подпись