

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 03.09.2022 14:13:04
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Проектирование и технология
микро- и наносистем»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

**«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗДЕЛИЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

по профилю

«Проектирование и технология микро- и наносистем»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.ф.-м.н., доцент Максимов А.И.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МНЭ
22.05.2019, протокол № 3

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФЭЛ, 14.06.2019, протокол № 8

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	МНЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	3
Семестр	5
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	51
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	105
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	75
Всего (академ. часов)	180
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	3
Курсовая работа (курс)	3

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

Настоящая дисциплина посвящена изучению физико-химических закономерностей, лежащих в основе технологических методов получения материалов и процессов, используемых в производстве современных электронных приборов. Теоретической базой дисциплины являются основные разделы химической термодинамики гетерогенных систем и твердых растворов, диффузионной кинетики, теории точечных дефектов в кристаллических фазах, теории поверхностных явлений, межфазных взаимодействий. Комплексное изучение указанных разделов позволяет сформулировать требования к технологическим методам и определить условия управления составом и свойствами материалов электронной техники и структур на их основе.

SUBJECT SUMMARY

«PHYSICO-CHEMICAL BASIS OF ELECTRONICS AND NANO-ELECTRONICS TECHNOLOGY»

This discipline is devoted to the study of physical and chemical laws as the basis of materials technology and technological processes used in electronics. Chemical thermodynamics of heterogeneous systems and solid solutions, diffusion kinetics, the theory of point defects in the crystalline phases, the theory of surface phenomena and the interfacial interactions are the basis of the modern technology. Study of the discipline allows formulating the requirements for technological methods and controlling the composition and physical properties of materials for electronics.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цели дисциплины:

-изучение основных физико-химических законов и методов, являющихся теоретической базой современной технологии получения материалов и изделий электронной техники;

-научиться принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии;

-научиться проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техник

2. Задачи дисциплины:

-знание основных физико-химических законов и методов, являющихся теоретической базой современной технологии получения материалов и изделий электронной техники;

-приобретение умений выбора методик анализа и оптимизации технологических процессов для формирования материалов с контролируемыми свойствами и параметрами;

-формирование навыков проведения термодинамических и кинетических расчетов технологических процессов в электронной технике.

3. Знание основных физико-химических законов и методов, являющихся теоретической базой современной технологии получения материалов и изделий электронной техники.

4. Приобретение умений выбора методик анализа и оптимизации технологических процессов для формирования материалов с контролируемыми свойствами и параметрами.

5. Формирование навыков проведения термодинамических и кинетических расчетов технологических процессов в электронной технике.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Методы математической физики»
2. «Квантовая механика и статистическая физика»
3. «Теоретические основы электротехники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Твердотельная электроника»
2. «Квантовая и оптическая электроника»
3. «Теплофизика твердого тела»
4. «Физика полупроводников»
5. «Технология материалов и эпитаксиальных структур»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ОПК-5	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии
<i>ОПК-5.1</i>	<i>Определяет перечень оборудования на производстве и в лаборатории, обеспечивающее безопасное производство при синтезе и исследовании наноматериалов</i>
ОПК-6	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью на основе применения стандартов, норм и правил
<i>ОПК-6.2</i>	<i>Составляет отчеты по экспериментальным и теоретическим исследованиям в соответствии с устанавливаемыми требованиями</i>
ОПК-7	Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области нанотехнологий и микросистемной техники
<i>ОПК-7.1</i>	<i>Использует прикладные программы и средства автоматизированного проектирования при решении инженерных задач</i>
<i>ОПК-7.2</i>	<i>Проектирует и сопровождает производство структур нанотехнологий</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2				2
2	Тема 1. Технологические особенности получения материалов электронной техники и приборов на их основе	8	6	4		12
3	Тема 2. Термодинамические основы технологических процессов	8	6	4		12
4	Тема 3. Управление фазовыми превращениями в технологических процессах электронной техники	8	6	3		12
5	Тема 4. Физико-химические основы управления дефектообразованием и электрофизическими свойствами кристаллических материалов электронной техники	8	6	2		12
6	Тема 5. Кинетические и диффузионные явления в технологических процессах	8	6	2		12
7	Тема 6. Поверхностные явления и межфазные взаимодействия в технологических процессах	8	4	2		11
8	Заключение	1			3	2
	Итого, ач	51	34	17	3	75
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Структура, содержание и задачи дисциплины. Физическая химия как теоретическая база развития современных технологических методов получения материалов, элементов и изделий электронной техники с заданными свойствами.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Тема 1. Технологические особенности получения материалов электронной техники и приборов на их основе	<p>Основные этапы развития материаловедения в микро- и нанoeлектронике.</p> <p>Общая характеристика различных технологических методов, используемых в производстве материалов и приборов электронной техники.</p> <p>Фазовая и структурная характеристика материалов электронной техники. Термодинамическая характеристика твердого, мезоморфного, жидкого, стеклообразного и аморфного состояний с позиций Р-Т диаграммы однокомпонентной системы. Стекло как переохлажденная жидкость. Аморфные полупроводники. Нанокристаллические материалы.</p>
3	Тема 2. Термодинамические основы технологических процессов	<p>Гомогенные и гетерогенные системы. Статистический подход как основа для объяснения равновесного сосуществования фаз. Функции состояния. Основные законы термодинамики. Критерии направления самопроизвольных процессов и условия равновесия в закрытых и открытых системах. Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Химический потенциал. Фундаментальные уравнения состояния систем. Закон действия масс. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции. Фазовые переходы 1 и 2 рода. Методы термодинамических расчетов в технологических процессах.</p>
4	Тема 3. Управление фазовыми превращениями в технологических процессах электронной техники	<p>Термодинамические критерии равновесия фаз. Правило фаз Гиббса. Фазовые равновесия и превращения в однокомпонентной системе. Сублимация, кристаллизация, полиморфные превращения. Поведение термодинамических функций в процессе фазовых переходов 1 и 2 рода. Уравнение Клаузиуса–Клапейрона. Р-Т–диаграмма состояния однокомпонентной системы. Фазовые равновесия в бинарных гетерогенных системах. Уравнение Гиббса–Дюгема. Парциальные и интегральные термодинамические функции смешения компонентов в растворе. Конфигурационная и колебательная энтропия. Растворы идеальные и реальные. Теория активности. Избыточные термодинамические функции. Параметр взаимодействия. Классификация растворов. Концепция регулярного раствора. Концентрационная и температурная зависимости коэффициента активности. Равновесное давление и состав пара над конденсированными фазами. Давление насыщенных паров над растворами и смесями веществ в конденсированном состоянии. Законы Рауля и Генри. Законы Коновалова.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Тема 4. Физико-химические основы управления дефектообразованием и электрофизическими свойствами кристаллических материалов электронной техники	<p>Термодинамическое обоснование теплового разупорядочения кристаллической решетки. Механизмы образования дефектов по Шоттки и Френкелю. Конфигурационная энтропия и свободная энергия кристаллов с дефектами. Зависимость равновесной концентрации точечных дефектов от температуры в одноэлементных фазах.</p> <p>Основные типы точечных дефектов в кристаллических фазах переменного состава. Особенности Т-х – диаграмм состояния полупроводниковых фаз переменного состава. Ширина области гомогенности фазы и условия, ее определяющие. Управление составом фазы в пределах области гомогенности путем отжига в парах собственных компонентов.</p> <p>PВ-Т-х и РА-Т-х диаграммы состояния полупроводниковых соединений АВ. Квазихимический анализ равновесия собственных и примесных точечных дефектов и носителей заряда в кристаллических полупроводниковых фазах переменного состава.</p>
6	Тема 5. Кинетические и диффузионные явления в технологических процессах	<p>Основы термодинамики необратимых процессов. Математическая общность описания кинетических процессов в системах различной физической природы. Термодинамические движущие силы и потоки. Формализм теории Онсагера. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии.</p> <p>Термоактивационные процессы. Кинетическое уравнение реакции. Закон Аррениуса. Механизмы кинетики гетерогенных процессов. Лимитирующая стадия процесса. Кинетика диффузионных процессов. Законы Фика. Коэффициент диффузии и его зависимость от температуры. Механизмы самодиффузии и гетеродиффузии в твердых телах. Влияние точечных и протяженных дефектов на кинетику твердофазных процессов. Начальные и граничные условия в задачах диффузии.</p>
7	Тема 6. Поверхностные явления и межфазные взаимодействия в технологических процессах	<p>Термодинамика поверхностных явлений. Свободная и полная поверхностные энергии. Поверхностное натяжение. Адсорбция на границе жидкость-газ. Уравнение Гиббса. Влияние размеров тела на равновесные свойства системы (давление насыщенного пара, растворимость, температуру плавления). Адсорбция из газовой фазы на поверхности твердого тела. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Кинетика процессов адсорбции. Энергетические этапы поглощения газов твердым телом.</p> <p>Физические процессы роста тонких пленок. Движущая сила процесса конденсации. Термодинамические условия образования зародышей. Понятие о критическом зародыше.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
8	Заключение	Обобщение результатов изучения дисциплины и их практического приложения.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование окисляемости металлов при обработке оксидного катода	2
2. Исследование применения газотранспортных химических реакций для эпитаксиального выращивания полупроводниковых материалов	2
3. Исследование процессов диффузии примесей в полупроводниках	2
4. Исследование процесса создания структур n–p–n, p–n–p двойной последовательной диффузией	2
5. Численное моделирование процесса диффузии примесей в полупроводниках	2
6. Исследование диаграмм состояния систем с неограниченной растворимостью компонентов в твердой и жидкой фазах	2
7. Анализ диаграмм состояния полупроводниковых систем с ограниченной растворимостью в твердой фазе методом термодинамики растворов	2
8. Моделирование процесса образования точечных дефектов в полупроводниковых фазах переменного состава с помощью квазихимических реакций	3
Итого	17

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Фазовая и структурная характеристика материалов электронной техники. Термодинамическая характеристика твердого, мезоморфного, жидкого, стеклообразного и аморфного состояний	4
2. Функции состояния. Основные законы термодинамики	4
3. Критерии направления самопроизвольных процессов и условия равновесия	2
4. Закон действия масс	2
5. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции	2
6. Методы термодинамических расчетов в технологических процессах	2
7. Фазовые равновесия в бинарных гетерогенных системах	2
8. Избыточные термодинамические функции. Параметр взаимодействия. Классификация растворов. Концепция регулярного раствора	2

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
9. Математическое описание фазовых равновесий в двухкомпонентных системах	2
10. Т-х -диаграммы состояния и их применение для описания фазовых равновесий в двухкомпонентных системах	2
11. Распад пересыщенных твердых растворов	2
12. Особенности Т-х диаграмм состояния полупроводниковых фаз переменного состава	2
13. Кинетика диффузионных процессов. Законы Фика. Коэффициент диффузии и его зависимость от температуры	2
14. Начальные и граничные условия в задачах диффузии. Диффузионные задачи на удаление и введение вещества в твердое тело	2
15. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Кинетика процессов адсорбции	2
Итого	34

4.4 Курсовое проектирование

Цель работы (проекта): Курсовая работа посвящена выявлению взаимосвязи: термодинамические и кинетические условия синтеза фазы: состав фазы – строение фазы – свойства фазы. В качестве анализируемых фаз выбираются как наиболее изученные, так и перспективные для современной электроники полупроводниковые материалы (типа АІІІВV, АІІВVI, АІVВVI, а также некоторые окислы) и их твердые растворы. Исходными данными для выполнения курсовой работы являются справочные значения термодинамических свойств материала, Р-Т-Х диаграммы, коэффициенты диффузии собственных или примесных компонентов в функции от температуры, энергетический спектр полупроводника, энергии активации собственных и примесных дефектов и др.

Общая тема: Термодинамический анализ физико-химического процесса (Thermodynamic analysis of physicochemical processes).

Содержание работы (проекта): В процессе выполнения работы студент должен:

- 1) На основе термодинамических расчетов определить возможность синтеза указанного материала в заданном диапазоне температур и давлений пара компонентов. Построить Р-Т–диаграмму соединения АВ.

2) Провести кинетический анализ процессов диффузии собственных компонентов в материал, выбрав модель диффузионного процесса, отвечающую технологическим условиям получения или термообработки материала.

3) Провести термодинамический анализ процессов окисления бинарного соединения АВ методом построения диаграмм парциальных давлений и сделать вывод об образовании возможных оксидных фаз в процессе получения или термообработки материала.

На основе проведенных расчетов выбрать физико-химические условия получения материала, обеспечивающие заданные электрофизические свойства.

В зависимости от особенностей конкретного материала некоторые разделы курсовой работы могут быть опущены или заменены на другие.

Работа выполняется по одной теме по вариантам исходных данных.

Оформление пояснительной записки на курсовой проект (работу) выполняется в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ.

Пояснительная записка к курсовой работе должна содержать 20-25 страниц печатного текста, выполняется на бумажном носителе. ПЗ должна включать в себя следующие структурные элементы: титульный лист; задание на КР; аннотацию на русском и английском языках; содержание; определения, обозначения и сокращения (при необходимости); введение; основную часть; заключение; список использованных источников; приложения (при необходимости). Пояснительная записка должна быть отпечатана в черном цвете на принтере через 1,5 интервала на одной стороне белой бумаги формата А4. Активную площадь листа Пояснительной записки ограничивают поля: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу соответственно 20 и 25 мм. Высота букв основного текста должна быть не менее 2,5 мм (размер шрифта 14). Абзацный отступ – 1.25 см, шрифт – Times New Roman. Все иллюстрации (чертежи, схемы, графики, диаграммы) именуется рисунками. Каждый рисунок сопровождается подрисуночной надписью, которая состоит из номера рисунка и его названия. Рисунки нумеруются арабскими цифрами и в тексте работы на них обязательно должны быть даны

ссылки. Нумерация рисунков в пределах всей КР сквозная. Схемы должны соответствовать требованиям государственных стандартов ЕСКД. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире, размер шрифта 14. Таблицы нумеруются арабскими цифрами последовательно в пределах всей КР. На все таблицы в тексте должны быть ссылки. Формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Формулы, при необходимости, нумеруются в пределах всей работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке. Количество использованных источников 2-5 наименований.

Текст курсовой работы сдается в электронном виде на внутриуниверситетской платформе Moodle в формате doc, docx или pdf, а также в печатном виде преподавателю, в электронном виде на электронную почту преподавателя или через электронную систему личных кабинетов..

Примерные темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Термодинамический анализ технологического процесса получения бинарного полупроводникового соединения с заданными свойствами из газообразных компонентов	Thermodynamic analysis of the semiconductor compounds formation with given properties from the gaseous components
2	Анализ процесса формирования оксидных катодов и окисляемости металлов посредством химических реакций разложения карбонатных соединений	Analysis of the oxide cathodes formation and metal oxidation by chemical reactions of carbonate compounds decomposition
3	Термодинамический анализ реакций восстановления хлоридов и осаждения пленок полупроводниковых соединений АШВУ	Thermodynamic analysis of chloride reduction reactions and film deposition of АШВУ

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники,

учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	3
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	3
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	4
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	30
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	75

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
Основная литература		
1	Барыбин, Анатолий Андреевич. Физико-технологические основы макро-, микро-и наноэлектроники [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлениям 210100 "Электроника и наноэлектроника" 211000 "Конструирование" / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов, 2011. -782 с.	99
2	Барыбин, Анатолий Андреевич. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" подгот. бакалавров, магистров и диплом. специалистов / А.А. Барыбин, 2006. -423 с.	198
3	Фазовые диаграммы состояния полупроводниковых систем [Текст] : учеб. пособие / [А.И. Максимов, Д.Б. Чеснокова, О.Ф. Луцкая, О.А. Александрова], 2009. -111 с.	50
4	Луцкая, Ольга Федоровна. Химические и фазовые равновесия в технологии материалов электронной техники [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. диплом. специалистов 654100 "Электроника и микроэлектроника" / О.Ф. Луцкая, Д.Б. Чеснокова, А.И. Максимов, 2005. -84 с.	неогр.
5	Лабораторный практикум по физической химии материалов электронной техники [Текст] / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ" (Санкт-Петербург), 1999. -50 с.	неогр.
6	Глинка, Николай Леонидович. Задачи и упражнения по общей химии [Электронный ресурс] : Учебно-практическое пособие / Глинка Н. Л. ; под ред. Попкова В.А., Бабкова А. В., 2020. -236 с	неогр.
Дополнительная литература		
1	Глазов, Василий Михайлович. Основы физической химии [Текст] : учеб. пособие для втузов / В.М. Глазов, 1981. -456 с.	40
2	Горелик, Семен Самуилович. Материаловедение полупроводников и диэлектриков [Текст] : учеб. для вузов по направлению "Материаловедение и технология новых материалов", "Материаловедение, технологии материалов и покрытий" / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский, 2003. -480 с.	15
3	Ормонт, Борис Филиппович. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников [Текст] : учеб. пособие для втузов / Б.Ф. Ормонт ; под ред. В.М. Глазова, 1982. -528 с.	неогр.
4	Чеснокова, Джульетта Борисовна. Моделирование процессов дефектообразования в кристаллических фазах переменного состава [Текст] : Учеб. пособие / Д.Б. Чеснокова; А.И.Румянцева, 2000. -59 с.	неогр.

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Справочные материалы по химии https://lib.nsu.ru/xmlui/handle/nsu/1808

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=9252>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Физико-химические основы технологии изделий электроники и наноэлектроники» формой промежуточной аттестации является экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

Промежуточная аттестация осуществляется в виде экзамена. Для допуска к процедуре промежуточной аттестации в экзамена студенту необходимо выполнить и защитить лабораторные работы, а также выполнить курсовую работу и защитить ее на положительную оценку. Критерии выставления оценки по каждому из элементов для допуска к промежуточной аттестации приведены в методике текущего контроля.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Основные этапы развития материаловедения в микро-и наноэлектронике. Общая характеристика различных технологических методов, используемых в производстве материалов и приборов электронной техники.
2	Фазовая и структурная характеристика материалов электронной техники. Термодинамическая характеристика твердого, мезоморфного, жидкого, стеклообразного и аморфного состояний с позиций Р-Т диаграммы однокомпонентной системы. Стекло как переохлажденная жидкость. Аморфные полупроводники. Нанокристаллические материалы.
3	Термодинамическое обоснование теплового разупорядочения кристаллической решетки.
4	Термодинамические движущие силы и потоки. Формализм теории Онсагера. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии.
5	Физические процессы роста тонких пленок. Движущая сила процесса конденсации. Термодинамические условия образования зародышей. Понятие о критическом зародыше.
6	Адсорбция из газовой фазы на поверхности твердого тела. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Кинетика процессов адсорбции. Энергетические этапы поглощения газов твердым телом.
7	Физическая химия как теоретическая база развития современных технологических методов получения материалов, элементов и изделий электронной техники с заданными свойствами.
8	Гомогенные и гетерогенные системы. Статистический подход как основа для объяснения равновесного сосуществования фаз. Функции состояния.
9	Критерии направления самопроизвольных процессов и условия равновесия в закрытых и открытых системах.
10	Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Химический потенциал.

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Физические основы электронагрева ФЭЛ**

1. Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Химический потенциал.
2. Гомогенные и гетерогенные системы.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.В. Лучинин

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 1. Технологические особенности получения материалов электронной техники и приборов на их основе	
2		
3	Тема 2. Термодинамические основы технологических процессов Тема 4. Физико-химические основы управления дефектообразованием и электрофизическими свойствами кристаллических материалов электронной техники	
4		Коллоквиум
5	Тема 4. Физико-химические основы управления дефектообразованием и электрофизическими свойствами кристаллических материалов электронной техники	
6		
7		
8	Тема 5. Кинетические и диффузионные явления в технологических процессах	Коллоквиум
9		
10	Тема 6. Поверхностные явления и межфазные взаимодействия в технологических процессах	
11		
12		
13		
14		
15		Коллоквиум
16	Заключение	
17		Защита КР / КП

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «Физико-химические основы технологии изделий электроники и наноэлектроники» студент обязан выполнить 8 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждых N лабораторных ра-

бот предусматривается проведение коллоквиума на 4, 8, 15 неделях, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в критериях оценивания.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам на коллоквиумах, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

при выполнении курсового проекта (работы)

Текущий контроль при выполнении курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с методическими указаниями по курсовому проектированию и заданием на курсовой проект (работу).

Оформление пояснительной записки на курсовой проект (работу) выполняется в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ.

Защита курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с требованиями «Положения о промежуточной аттестации».

Критерии оценки курсовой работы:

отлично - курсовая работа выполнена полностью правильно в соответствии с заданием и установленными требованиями.

хорошо - курсовая работа выполнена, имеются несущественные ошибки при выполнении задания и установленных требований.

удовлетворительно - курсовая работа выполнена, имеются существенные

ошибки при выполнении задания и установленных требований.

неудовлетворительно - курсовая работа не выполнена, не соответствует заданию и установленным требованиям.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер или ноутбук, маркерная или меловая доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер или ноутбук, маркерная или меловая доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер или ноутбук, маркерная или меловая доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА
1	31.08.2020	Программа актуальна, изменения не требуются	31.08.2020, протокол № 3	доцент, к.ф.-м.н., доцент, А.И. Максимов	
2	31.08.2021	Программа актуальна, изменения не требуются 3	31.08.2021, протокол № 2Д	доцент, к.ф.-м.н., доцент, А.И. Максимов	