

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
НАНОМАТЕРИАЛОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	5 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	5 семестр - 32 часа;
Практические занятия	5 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	5 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	5 семестр - 57,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Проверочная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

Д.С. Холодный

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

Д.С. Холодный

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

А.З. Славинский

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение физических основ полупроводниковых наноматериалов, формирование знаний в области современных тенденций развития нанoeлектроники. Формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники и нанoeлектроники

Задачи дисциплины

- изучение студентами нано кристаллических полупроводниковых и диэлектрических материалов и изделий на их основе;
- изучение классификации и общая характеристика методов получения наноматериалов;
- получение новых фундаментальных знаний и практических навыков в области определения структурных свойств и физических основ синтеза наноматериалов;
- приобретение знаний о фундаментальных физических законах, лежащих в основе поведения микро и наночастиц, а также систем на их основе;
- формирование знаний о фундаментальных физических закономерностях явлений в нано размерных твердотельных структурах, преимущественно на полупроводниковых материалах;
- формирование навыков решения простейших задач квантовой механики и статистической физики применительно к нано кристаллическим материалам;
- приобретение студентами знаний о методах математического моделирования как основы изучения функционирования нано структурированных материалов;
- формирование знаний о фундаментальных физических основах нанoeлектроники, закономерностях и механизмах переноса носителей заряда в системах пониженной размерности, об электрических, оптических, магнитных, механических свойствах низкоразмерных систем.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники	ИД-1 _{ПК-3} Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники	знать: - 4 основные типы полупроводниковых материалов и наноматериалов неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных, углеродных) природы; - 3 закономерности структурообразования, фазовые превращения в наноматериалах; - 2 влияние структурных характеристик на свойства наноматериалов;; - 1 влияние состава на свойства наноматериалов;. уметь: - 4 объяснять на основе физико-математических моделей характеристики полупроводниковых наноматериалов; - 3 рассчитывать электрические характеристики полупроводниковых нано материалов для различных областей их использования;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<ul style="list-style-type: none"> - 2 интерпретировать электрофизические характеристики полупроводниковых и диэлектрических наноматериалов; - 1 рассчитывать теплофизические характеристики полупроводниковых нано материалов для различных областей их использования.
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники	ИД-2ПК-3 Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 7 классификацию наноматериалов; - 5 тенденции развития современной нанoeлектроники; - 6 влияние размеров кластеров на свойства наноматериалов; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 выбирать наноматериалы, а также технологические процессы их изготовления для решения задач профессиональной деятельности; - 7 анализировать топохимические реакции при создании наноматериалов; - 6 рассчитывать механические характеристики полупроводниковых нано материалов для различных областей их использования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнология в электронике (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	(1) Основные понятия наноэлектроники	9	5	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники"</p> <p><u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Основные понятия наноэлектроники" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Основные</p>
1.1	(1) Основные понятия наноэлектроники	9		4	-	2	-	-	-	-	-	-	3	

													<p>понятия наноэлектроники и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Проведение эксперимента:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354</p>
2	(2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения"</p> <p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p>
2.1	(2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

													<u>источников:</u> [1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354
3	(3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	(3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий.

4	(4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"</p> <p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p> <p><u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Связь электроники и квантовой физики,</p>
4.1	(4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														<p>простейшие виды низкоразмерных объектов и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354</p>
5	(5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"</p>	
5.1	(5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется</p>	

														<p>"Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354</p>
6	(6) Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты"</p>	
6.1	(6) Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты" <u>Подготовка расчетно-графического</u></p>	

														и нано композиты" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка доклада, выступления:</u> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354
7	(7) Поверхностные явления	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Поверхностные явления"	
7.1	(7) Поверхностные явления	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и	

														выдается студентам по изученному в разделе "Поверхностные явления" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354
8	(8) Энтропия в неупорядоченных системах	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах" <u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает	
8.1	(8) Энтропия в неупорядоченных системах	9	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-		

													источников: [1], 5-79 [2], 9-201 [3], 12-354
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	24	33.5	
	Итого за семестр	108.0	32	-	16	2	-	-	0.5	57.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. (1) Основные понятия нанoeлектроники

1.1. (1) Основные понятия нанoeлектроники

Раздел Основные понятия нанoeлектроники 1. Основные понятия нанoeлектроники
Задачи курса. Основные понятия. Роль и значение материалов в производстве приборов электронной техники. Условная классификация материалов по размеру D частиц (зёрен). Кластерные нанокристаллические, волоконные материалы, плёнки и многослойные материалы, поликристаллические материалы. Каталитическая активность малых частиц. Многослойные наноструктуры: квантовые ямы, сверхрешётки и других структуры с тонкими слоями. Многослойные покрытия. Керамические наноматериалы. Взаимодействие частиц.
2. Конденсированная среда: общие характеристики, химическая связь и взаимодействие частиц Центральные и направленные силы между атомами. Металлическая связь. Связи, образованные флуктуирующими диполями. Ковалентная связь. Ионная связь. От ионной связи к ковалентной связи в кристаллах. Силы между молекулами. Электростатическая связь в диэлектрической среде. Индуцированные диполи, поляризуемость. Силы отталкивания. Эмпирические потенциалы взаимодействия. Водородная связь. Силы Ван-дер-Ваальса между макроскопическими частицами. Эффекты запаздывания. Взаимодействие частиц. Частично упорядоченные композиционные нанокристаллические. Прогнозирование поведения свойств нанокристаллических полупроводниковых материалов..

2. (2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения

2.1. (2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения

Раздел. Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения 3.
Дислокации в твердых телах Пластическая релаксация. Упругость дислокаций. Линейная упругость. Внешние и внутренние напряжения. Упругие поля, связанные с дефектами. Простые топологические характеристики дислокаций. Дислокации в кристаллах. Несовершенные дислокации. Дефекты упаковки и двойники. Линейное натяжение. Элементарные перемещения дислокации. Диффузия точечных дефектов и самодиффузия. Границы зерен и заполнение пространства. Динамические свойства: общие особенности, неустойчивости. Неустойчивости в изначально бездефектных кристаллических частицах. 4.
Атомное и молекулярное упорядочения Атомный порядок. Плотность упаковки. Плотная упаковка жестких дисков. Плoная упаковка в трех измерениях. Пустоты между сферами. Роль симметрии. Геометрическая фрустрация. Линии дислокаций. Несоразмерные фазы и квазикристаллы. Молекулярное упорядочение. Пластические кристаллы. Классификация мезоморфных фаз. Нарушения кристаллического порядка. Слабые нарушения. Сильные нарушения. Пространство параметра порядка. Кристаллические твердые тела. Элементы теории групп. Переходы порядок-беспорядок в сплавах. Параметр порядка. Характерные длины.

3. (3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах

3.1. (3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах

Раздел. Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах 5. Распространенные виды кристаллографических решеток Эффективные радиусы ионов. Ионные радиусы химических элементов. Определение ионных и атомных радиусов. Метод изображения кристаллических структур шарами разных размеров. Координационные числа. Типы полиэдров. Геометрические пределы устойчивости структур

с различными координационными числами. Поляризация. Поляризация иона в кристалле. Роль химических связей. Зависимость размеров атомов и ионов от координационных чисел. Структурный тип перовскита, шпинели, граната, алмаза и другие типы структур. Слоистые структуры. Стекла и аморфные соединения. Полимеры. 6. Самоорганизация Самоорганизующиеся упорядоченные нано кристаллические структуры. Литографические методы. Не литографические методы создания периодических структур. Упорядоченные пористые нано кристаллические материалы. Понятие фотонного кристалла. Упорядоченный пористый анодный оксид алюминия. Плазменные методы. Специфика используемого плазменного оборудования..

4. (4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов

4.1. (4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов

Раздел. Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов 7. Связь электроники и квантовой физики Основные представления квантовой механики. Квантовая модель атома. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме. Роль примесных ионов в формировании специальных свойств материалов. Энергетический спектр примесных ионов. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней. Туннельный эффект. Квантово размерные эффекты. Имплантированные квантовые точки в структуре SiGe. Свойства само организованных SiGe наноструктур. Схемы механизмов гетеро эпитаксиального роста пленок. МОП транзистора с плавающим затвором Энергонезависимая память на нано кристаллах. 8. Простейшие виды низкоразмерных объектов Энергетический спектр кристалла. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях. Полупроводниковые нанокристаллические материалы в твердотельной электронике. 9. Атомные и молекулярные орбитали Поверхность монокристаллов, нано кластеров и пористых сорбентов. Примесные атомы на поверхности. Молекулярные орбитали. Поверхность металлов и оксидов металлов (электронные свойства). Поверхность металлов и оксидов металла (магнитные свойства). Поверхностные центры кислотного и основного типа. Адсорбция. Катализ. Примеры каталитических превращений с участием поверхности твердого тела и нано кластеров..

5. (5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц

5.1. (5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц

Раздел. Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц 10. Особенности свойств, связанные с малым размером частиц Фазовые и структурные состояния в ультрадисперсных средах. Фазовые диаграммы диспергированных систем. Аморфные фазы. Влияние остаточных газов на фазовое равновесие ультрадисперсных частиц с газовой фазой. Образование ультрадисперсных частиц в переохлажденном расплаве. Экспериментальное изучение эффекта нерастворимых примесей. Диффузия. Физико-математические основы диффузии. Гомогенная кристаллизация ультрадисперсных металлических частиц. Физические свойства ультрадисперсных сред. Отличие частиц, полученных методами порошковой металлургии, от ультрадисперсных частиц. Механические свойства. Электрические свойства. Магнитные, оптические и тепловые свойства. 11. Микроструктура и свойства компактных нанокристаллических материалов Поверхность твердых тел. Микроскопические аспекты. Термодинамический подход при анализе свойств поверхности Химический потенциал. Свободная энергия Гиббса и свободная энергия Гельмгольца. Термодинамика поверхности и поверхностей раздела.

Термодинамика криволинейной поверхности. Термодинамические аспекты поверхности. Структура поверхности. Структура поверхности и межфазных границ. 12. Нуклеация и рост нанокластеров Нуклеация и рост нанокластеров в нанопорах вещества. Нуклеация и рост кластеров гидроксида железа в нанопорах. Нуклеация и рост кластеров на основе твердотельных реакций. Твердотельная нуклеация и рост кластеров. Пример термического разложения оксалата железа. Тонкие пленки. Формирование твердотельных нанокластеров..

6. (6) Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты

6.1. (6) Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты

Раздел. Микроструктура и свойства нанокристаллических материалов, нанокерамика и нанокомпозиты 13. Твердотельные химические реакции Твердотельные химические реакции. Механохимические превращения. Ударно-волновой синтез. Нано структурирование под действием давления со сдвигом. Нано структурирование путем кристаллизации аморфных структур. Компактирование (консолидация) нано кластеров. Дефекты и напряжения в твердотельных наноструктурах. Современные композиционные керамические нано кристаллические. Классификация нано кристаллических материалов. Керамика в современной технике. 14. Нано керамики и нано композиты Нано кристаллические материалы (нано керамики и нано композиты). Применение нано размерных сегнетоэлектрических материалов. Пористая пьезокерамика. Высокочастотные диэлектрические свойства нано размерных пленок титаната-цирконата свинца. Структурно-чувствительные свойства нано композитов. Границы раздела в наноматериалах. Особенности структуры субмикроструктурных металлов. Наноструктура неупорядоченных систем. Аномалии механического поведения. Твердофазные топохимические реакции. Тепловые и электрические свойства. Магнитные свойства. Получение полупроводникового материала. Получение эпитаксиальных структур..

7. (7) Поверхностные явления

7.1. (7) Поверхностные явления

Раздел. Поверхностные явления 15. Поверхностные явления Поверхностные явления в изотропных средах. Поверхностное натяжение и термодинамика плоских границ раздела. Адсорбция. Искривленные границы раздела Поверхностное натяжение и зародышеобразование новой фазы. Смачивание. Поверхностные явления в анизотропных средах. Взаимодействия между твердыми поверхностями. Свободная энергия и тензор напряжений Максвелла. Растворы коллоидных частиц; особенности устойчивости. Порядок против беспорядка..

8. (8) Энтропия в неупорядоченных системах

8.1. (8) Энтропия в неупорядоченных системах

Раздел. Энтропия в неупорядоченных системах 16. Энтропия в неупорядоченных системах Количественные характеристики хаоса. Фракталы и сложная упорядоченность. Размерности странных аттракторов. Фракталы и явления роста. Дробная размерность. Основные концепции фракталов. Самоподобие. Оценка фрактальных размерностей. Парная корреляционная функция. Перколяция (протекание). Фрактальная размерность. Геометрическое протекание. Протекание и фазовые переходы второго рода. Кластеры конечных размеров на пороге протекания. Фрактальная размерность перколяционного кластера. Протекание на решетке Бете. Протекание и ренормализационная группа.

Агрегация. Кластер-кластерная агрегация. Модель Виттена-Сандера диффузионно - контролируемой агрегации. Фрактальный анализ полупроводниковых структур..

3.3. Темы практических занятий

1. 8. Количественные характеристики хаоса. Фракталы и сложная упорядоченность. Фракталы и явления роста. Дробная размерность. Основные концепции фракталов;
2. 1. Условная классификация материалов по размеру D частиц (зёрен). Взаимодействие частиц. Эмпирические потенциалы взаимодействия;
3. 3. Поверхность монокристаллов, нанокластеров.. Фазовые и структурные состояния в ультрадисперсных средах. Гомогенная кристаллизация ультрадисперсных частиц;
4. 4. Симметрия кристаллов и кластеров. Точечные группы. Волновые функции с учетом симметрии ближайшего окружения в кристаллах и кластерах;
5. 5. Связь электроники и квантовой физики. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме;
6. 6. Прогнозирование поведения свойств нанокристаллических полупроводниковых материалов. Формирование нанокластеров. Твердотельные химические реакции;
7. 7. Атомные и молекулярные орбитали. Поверхность монокристаллов и нанокластеров. Примесные атомы на поверхности;
8. 2. Эффективные радиусы ионов. Ионные радиусы химических; элементов. Типы химических связей. Структурный тип перовскита, шпинели, граната, алмаза.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Основные понятия наноэлектроники"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения"
3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах"
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"
5. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"

6. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты"
7. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Поверхностные явления"
8. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Энтропия в неупорядоченных системах"

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия наноэлектроники"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Поверхностные явления"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Энтропия в неупорядоченных системах"

Индивидуальные консультации по курсовому проекту /работе (ИККП)

1. Консультации проводятся по разделу "Основные понятия наноэлектроники"
2. Консультации проводятся по разделу "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения"
3. Консультации проводятся по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах"
4. Консультации проводятся по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"
5. Консультации проводятся по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"
6. Консультации проводятся по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты"
7. Консультации проводятся по разделу "Поверхностные явления"
8. Консультации проводятся по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные понятия наноэлектроники"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах"

4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Микроструктура и свойства nano кристаллических материалов, nano керамика и nano композиты"
7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Поверхностные явления"
8. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Знать:											
1 влияние состава на свойства наноматериалов;	ИД-1ПК-3	+									Тестирование/Км-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами
2 влияние структурных характеристик на свойства наноматериалов;	ИД-1ПК-3	+									Тестирование/Км-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами
3 закономерности структурообразования, фазовые превращения в наноматериалах	ИД-1ПК-3	+									Тестирование/Км-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами
4 основные типы полупроводниковых материалов и наноматериалов неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных, углеродных) природы	ИД-1ПК-3		+								Контрольная работа/КМ-2. Тест № 2. Физико-математические основы диффузии.
6 влияние размеров кластеров на свойства наноматериалов;	ИД-2ПК-3		+								Контрольная работа/КМ-2. Тест № 2. Физико-математические основы диффузии.
5 тенденции развития современной нанoeлектроники	ИД-2ПК-3		+								Контрольная работа/КМ-2. Тест № 2. Физико-математические основы диффузии.
7 классификацию наноматериалов	ИД-2ПК-3			+							Контрольная работа/КМ-3 Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней.
Уметь:											
1 рассчитывать теплофизические характеристики полупроводниковых наноматериалов для различных областей их использования	ИД-1ПК-3			+							Контрольная работа/КМ-3 Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней.
2 интерпретировать электрофизические	ИД-1ПК-3			+							Контрольная работа/КМ-3 Тест № 3.

характеристики полупроводниковых и диэлектрических наноматериалов									Квантовые числа и обозначение энергетических уровней.	
3 рассчитывать электрические характеристики полупроводниковых наноматериалов для различных областей их использования	ИД-1ПК-3			+					Контрольная работа/КМ-4 Тест № 4. Квантовые ямы и сверхрешётки.	
4 объяснять на основе физико-математических моделей характеристики полупроводниковых наноматериалов	ИД-1ПК-3				+	+			Контрольная работа/КМ-5 Контрольная работа № 1 Построение элементарной ячейки и расчет межатомных расстояний для наиболее часто используемых полупроводниковых и оксидных кристаллов.	
6 рассчитывать механические характеристики полупроводниковых наноматериалов для различных областей их использования	ИД-2ПК-3						+	+	Контрольная работа/КМ-7 Контрольная работа № 3 Энергетические уровни примесных ионов в оксидных кристаллах. Квантовые числа.	
7 анализировать топохимические реакции при создании наноматериалов	ИД-2ПК-3							+	+	Контрольная работа/КМ-8 Контрольная работа № 4. Основные методы расчета атомных и молекулярных орбиталей.
5 выбирать наноматериалы, а также технологические процессы их изготовления для решения задач профессиональной деятельности	ИД-2ПК-3					+	+			Проверочная работа/КМ-6 Контрольная работа № 2 Твердотельные химические реакции. Решение уравнения диффузии в присутствии химических реакций.

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

5 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-5 Контрольная работа № 1 Построение элементарной ячейки и расчет межатомных расстояний для наиболее часто используемых полупроводниковых и оксидных кристаллов. (Контрольная работа)
2. КМ-7 Контрольная работа № 3 Энергетические уровни примесных ионов в оксидных кристаллах. Квантовые числа. (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Км-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами (Тестирование)
2. КМ-2. Тест № 2. Физико-математические основы диффузии. (Контрольная работа)
3. КМ-3 Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней. (Контрольная работа)
4. КМ-4 Тест № 4. Квантовые ямы и сверхрешётки. (Контрольная работа)
5. КМ-6 Контрольная работа № 2 Твердотельные химические реакции. Решение уравнения диффузии в присутствии химических реакций. (Проверочная работа)
6. КМ-8 Контрольная работа № 4. Основные методы расчета атомных и молекулярных орбиталей. (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №5)

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Борисенко, А. И. Химия и технология тонких неорганических пленок : конспект лекций / А. И. Борисенко, Л. В. Николаева, Ленинградский технологич. ин-т им. Ленсовета . – Л. : [б. и.], 1973 . – 83 с.;
2. Гусев, А. И. Нанокристаллические материалы / А. И. Гусев, А. А. Ремпель . – М. : Физматлит, 2000 . – 224 с. - ISBN 5-922100-75-0 .;
3. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Уткина Е. А., Данилюк А. Л.- "Наноэлектроника: теория и практика", (4-е, изд.), Издательство: "Лаборатория знаний", Москва, 2015 - (369 с.) http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=84103.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
4. Dr.Web;
5. Micro-Cap;
6. Jupiter Notebook;
7. GPSS World Student;
8. Jupyter.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-302, Учебная аудитория каф. "ФТЭМК"	парта со скамьей, стол преподавателя, стол учебный, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Помещения для самостоятельной работы	Е-310, Дисплейный класс каф. "ФТЭМК"	стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Помещения для консультирования	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование

	практических занятий	специализированное
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-302/1, Склад "ФТЭМК"	стол

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы полупроводниковых наноматериалов

(название дисциплины)

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами (Тестирование)
- КМ-2 КМ-2. Тест № 2. Физико-математические основы диффузии. (Контрольная работа)
- КМ-3 КМ-3 Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней. (Контрольная работа)
- КМ-4 КМ-4 Тест № 4. Квантовые ямы и сверхрешётки. (Контрольная работа)
- КМ-5 КМ-5 Контрольная работа № 1 Построение элементарной ячейки и расчет межатомных расстояний для наиболее часто используемых полупроводниковых и оксидных кристаллов. (Контрольная работа)
- КМ-6 КМ-6 Контрольная работа № 2 Твердотельные химические реакции. Решение уравнения диффузии в присутствии химических реакций. (Проверочная работа)
- КМ-7 КМ-7 Контрольная работа № 3 Энергетические уровни примесных ионов в оксидных кристаллах. Квантовые числа. (Контрольная работа)
- КМ-8 КМ-8 Контрольная работа № 4. Основные методы расчета атомных и молекулярных орбиталей. (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	2	4	6	8	10	12	14	16
1	(1) Основные понятия нанoeлектроники									
1.1	(1) Основные понятия нанoeлектроники		+							
2	(2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения									
2.1	(2) Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения			+						
3	(3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах									
3.1	(3) Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах				+	+				
4	(4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие									

	виды низкоразмерных объектов								
4.1	(4) Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов					+			
5	(5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц								
5.1	(5) Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц					+	+		
6	(6) Микроструктура и свойства nano кристаллических материалов, nano керамика и nano композиты								
6.1	(6) Микроструктура и свойства nano кристаллических материалов, nano керамика и nano композиты						+	+	
7	(7) Поверхностные явления								
7.1	(7) Поверхностные явления							+	+
8	(8) Энтропия в неупорядоченных системах								
8.1	(8) Энтропия в неупорядоченных системах								+
Вес КМ, %:		10	15	10	15	15	10	10	15