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 наноэлектроника

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**	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	**5 семестр - 0,5 часа;**

Москва 2020

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Холодный Д.С. Идентификатор: R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d	Д.С. Холодный
(должность)	(подпись)	(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Холодный Д.С. Идентификатор: R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d	Д.С. Холодный
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)
Заведующий выпускающей кафедры	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Славинский А.З. Идентификатор: R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214	А.З. Славинский
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

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 наноэлектроники, 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 наноэлектроники	ИД-1$_{ПК-3}$ Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - основные типы полупроводниковых материалов и наноматериалов неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных, углеродных) природы.
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-2$_{ПК-3}$ Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - влияние структурных характеристик на свойства наноматериалов;. уметь: - интерпретировать электрофизические характеристики полупроводниковых и диэлектрических наноматериалов.
ПК-8 способен осуществлять организацию и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов,	ИД-5$_{ПК-8}$ Заключения о целесообразности внедрения новых технологических процессов производства изделий микроэлектроники и оборудования на основании экспериментальных данных	знать: - закономерности структурообразования, фазовые превращения в наноматериалах. уметь: - рассчитывать электрические

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники		характеристики полупроводниковых нано материалов для различных областей их использования.
ПК-8 способен осуществлять организацию и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники	ИД-6$_{ПК-8}$ Анализ влияния параметров и режимов технологических операций производства изделий микроэлектроники на параметры качества опытных образцов изделий микроэлектроники	знать: - тенденции развития современной наноэлектроники. уметь: - выбирать наноматериалы, а также технологические процессы их изготовления для решения задач профессиональной деятельности.
ПК-8 способен осуществлять организацию и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники	ИД-7$_{ПК-8}$ Анализ и определение причин отклонения параметров технологических операций производства изделий микроэлектроники от заданных	уметь: - объяснять на основе физико-математических моделей характеристики полупроводниковых наноматериалов.

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 наноэлектроника, 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	Основные понятия наноэлектроники	9	5	4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники" ***Подготовка курсового проекта:*** 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: ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка домашнего задания:*** 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. ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу Основные
1.1	Основные понятия наноэлектроники	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														понятия наноэлектроники и подготовка к контрольной работе ***Подготовка курсовой работы:*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Проведение эксперимента:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия наноэлектроники"
2	Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения" ***Подготовка расчетно-графического задания:*** 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: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное
2.1	Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:
3	Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***<u>Подготовка к текущему контролю:</u>*** Повторение материала по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах"

	твердых телах													***Подготовка расчетно-графического задания:*** 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: ***Подготовка курсового проекта:*** 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: ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка домашнего задания:*** 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. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах и подготовка к контрольной работе
3.1	Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														Подготовка к практическим занятиям: Изучение материала по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач 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:
4	Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов" ***Подготовка расчетно-графического задания:*** 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: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному
4.1	Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														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: ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<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. ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов и подготовка к контрольной работе ***<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 ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач 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:
5	Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц"
5.1	Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка расчетно-графического задания:*** 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: ***Подготовка курсового проекта:*** 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: ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка домашнего задания:*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Особенности структуры и свойств,

														связанные с малым размером частиц" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач 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:
6	Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты	10		4	-	2	-	1	-	-	-	3	-	***<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 задания:</u>*** В рамках расчетно-графического
6.1	Микроструктура и	10		4	-	2	-	1	-	-	-	3	-	

	свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты													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 графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика 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: ***Подготовка к контрольной работе:*** Изучение материалов по разделу Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты и подготовка к контрольной работе ***Подготовка к практическим занятиям:*** Изучение материала по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач 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:
7	Поверхностные явления	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Поверхностные явления" ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на
7.1	Поверхностные явления	9		4	-	2	-	-	-	-	-	3	-	

														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 графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание 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>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>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Поверхностные явления и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>***

														Изучение материала по разделу "Поверхностные явления" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Поверхностные явления" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Поверхностные явления". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:
8	Энтропия в неупорядоченных системах	10		4	-	2	-	1	-	-	-	3	-	***<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 пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>***
8.1	Энтропия в неупорядоченных системах	10		4	-	2	-	1	-	-	-	3	-	

														Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Энтропия в неупорядоченных системах" 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>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Энтропия в неупорядоченных системах и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Энтропия в неупорядоченных системах" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач 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:
	Экзамен	34.0		-	-	-	-	-	-	-	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. Основные понятия наноэлектроники

1.1. Основные понятия наноэлектроники

Раздел Основные понятия наноэлектроники 1. Основные понятия наноэлектроники 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. Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения

2.1. 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. Плоная 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. Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах

3.1. 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. Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов

4.1. 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. Особенности структуры и свойств, связанные с малым размером частиц

5.1. 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. Микроструктура и свойства нано кристаллических материалов, нано керамика и нано композиты

6.1. 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 н нано композитов. Границы раздела в наноматериалах. Особенности структуры субмикрокристаллических металлов. Наноструктура неупорядоченных систем. Аномалии механического поведения. Твердофазные топохимические реакции. Тепловые и электрические свойства. Магнитные свойства. Получение полупроводникового материала. Получение эпитаксиальных структур..

7. Поверхностные явления

7.1. 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. Энтропия в неупорядоченных системах

8.1. 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. 1. Условная классификация материалов по размеру D частиц (зёрен). Взаимодействие частиц. Эмпирические потенциалы взаимодействия;
2. 2. Эффективные радиусы ионов. Ионные радиусы химических; элементов. Типы химических связей. Структурный тип перовскита, шпинели, граната, алмаза;
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. 8. Количественные характеристики хаоса. Фракталы и сложная упорядоченность. Фракталы и явления роста. Дробная размерность. Основные концепции фракталов.

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 проету /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 нано кристаллических материалов, нано керамика и нано 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:										
основные типы полупроводниковых материалов и наноматериалов неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных, углеродных) природы	ИД-1$_{ПК-3}$	+								Тестирование/Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами
влияние структурных характеристик на свойства наноматериалов;	ИД-2$_{ПК-3}$		+							Контрольная работа/Тест № 2. Физико-математические основы диффузии
закономерности структурообразования, фазовые превращения в наноматериалах	ИД-5$_{ПК-8}$			+						Контрольная работа/Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней
тенденции развития современной наноэлектроники	ИД-6$_{ПК-8}$				+					Контрольная работа/Тест № 4. Квантовые ямы и сверхрешётки
Уметь:										
интерпретировать электрофизические характеристики полупроводниковых и диэлектрических наноматериалов	ИД-2$_{ПК-3}$					+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1 Построение элементарной ячейки и расчет межатомных расстояний для наиболее часто используемых полупроводниковых и оксидных кристаллов
рассчитывать электрические характеристики полупроводниковых нано материалов для различных областей их использования	ИД-5$_{ПК-8}$						+			/Контрольная работа № 2 Твердотельные химические реакции. Решение уравнения диффузии в присутствии химических реакций Контрольная работа/Тест № 2. Физико-математические основы диффузии
выбирать наноматериалы, а также технологические процессы их изготовления для решения задач профессиональной деятельности	ИД-6$_{ПК-8}$							+		Контрольная работа/Контрольная работа № 3 Энергетические уровни примесных ионов в оксидных кристаллах. Квантовые числа
объяснять на основе физико-математических	ИД-7$_{ПК-8}$								+	Контрольная работа/Контрольная работа № 4.

моделей характеристики полупроводниковых наноматериалов										Основные методы расчета атомных и молекулярных орбиталей

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

Форма реализации: Письменная работа

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

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №5)

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Борисенко, В. Е. Наноэлектроника : учебное пособие для вузов по специальностям "Микро- и наноэлектронные технологии и системы" и "Квантовые информационные системы" / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009 . – 223 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-947749-14-4 .;
2. Гусев, А. И. Нанокристаллические материалы / А. И. Гусев, А. А. Ремпель . – М. : Физматлит, 2000 . – 224 с. - ISBN 5-922100-75-0 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office;
3. Майнд Видеоконференции;
4. GPSS World Student.

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/

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-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

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы полупроводниковых наноматериалов

(название дисциплины)

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Тест № 1. Геометрические пределы устойчивости структур с различными координационными числами (Тестирование)

КМ-2 Тест № 2. Физико-математические основы диффузии (Контрольная работа)

КМ-3 Тест № 3. Квантовые числа и обозначение энергетических уровней (Контрольная работа)

КМ-4 Тест № 4. Квантовые ямы и сверхрешётки (Контрольная работа)

КМ-5 Контрольная работа № 1 Построение элементарной ячейки и расчет межатомных расстояний для наиболее часто используемых полупроводниковых и оксидных кристаллов (Контрольная работа)

КМ-6 Контрольная работа № 2 Твердотельные химические реакции. Решение уравнения диффузии в присутствии химических реакций

КМ-7 Контрольная работа № 3 Энергетические уровни примесных ионов в оксидных кристаллах. Квантовые числа (Контрольная работа)

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	Основные понятия наноэлектроники									
1.1	Основные понятия наноэлектроники		+							
2	Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения									
2.1	Конденсированная среда, дислокации, атомное и молекулярное упорядочения			+						
3	Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах									
3.1	Распространенные виды кристаллографических решеток, самоорганизация в твердых телах				+					
4	Связь электроники и квантовой физики, простейшие виды низкоразмерных объектов									

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