

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета Небольсин В.А.
«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Нанoeлектроника»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

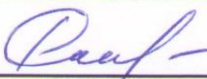
Автор программы

 / Н.Н. Кошелева /

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой элек-
троники и нанoeлектроники

 / С. И Рембеза./

Руководитель ОПОП

 / С.И Рембеза./

Воронеж 2017

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование системы знаний по физико-химическим особенностям вещества в наноформе, его получении, обработке и применении в электронике (наноэлектронике); по методам формирования квантово-размерных структур, выборе методик контроля их параметров и принципах построения квантовоэлектронных приборов на их основе; по современным тенденциям развития электроники, приборам, схемам, устройствам и установкам электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

1.2. Задачи освоения дисциплины: расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения законов физики низкоразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при создании приборов наноэлектроники, твердотельной электроники и в технологии микро- и наноэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Наноэлектроника» относится к базовой части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.Б.17.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Наноэлектроника» направлен на формирование следующих компетенций:

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

ОПК-5: способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-7: способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать основные свойства материалов и структур наноэлектроники;
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области наноэлектроники;
	владеть данными о фундаментальных закономерностях наноэлектроники.
ОПК-5	знать методы теоретических и экспериментальных исследований в области наноэлектроники;
	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать по-

ОПК-7	грешности измерений;
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.
	знать методы изготовления и исследования материалов и низко-размерных структур
	уметь использовать современные научные достижения в области исследования и изготовления наноструктур
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Нанoeлектроника» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Лабораторные работы	36	36
Самостоятельная работа	54	54
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость час	108	108
	зач. ед. 3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Общие сведения об объектах нанотехнологии и размерных эффектах	Наноструктурные материалы. Физические основы нанoeлектроники. Основные характеристики и принцип работы туннельного диода. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоев, нитевидных нанокристаллов, транзисторов с высокой подвижностью электронов, микро- и нано- электромеханических систем; специфика взаимодействий на микро- и наноуровнях; грануляция вещества при конденсации на подложках; основные положения макро-микро- и нанотрибологии; законы Амонтона-Кулона; модели Баудена-Табора и DMT.	2	-	6	8
2	Углеродные и кремниевые наноструктуры	Углеродные кластеры. Углеродные нанотрубки: методы получения, структура, свойства. Применение углеродных наноструктур в электронике.	2	8	4	14
3	Физические	Методы молекулярно-пучковой эпитаксии, эпитаксии из металлорга-	2	-	4	6

	явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур	нических соединений и жидкостной эпитаксии – как технологические подходы получения гетероструктур; две концептуальные парадигмы получения наноструктур – «сверху-вниз» и «снизу-вверх», механизмы роста гетероструктур в нанoeлектронике; стадии ростового процесса; фасетирование растущей полупроводниковой пленки; основные выводы теории Андреева и Марченко; учет поверхностной энергии при формировании устройств нанoeлектроники; метод огибающей волновой функции для описания электронных состояний в гетероструктурах; модели псевдоморфных и метаморфных гетероструктур и наноструктур на их основе. Нанoeлектронные приборы на основе решеточно-рассогласованных гетероструктур; закон Вегарда; изменения в электронной (зонной) структуре механически напряженного монокристалла по сравнению с ненапряженным полупроводниковым материалом; механизмы релаксации напряжения в псевдоморфных полупроводниковых структурах; механизмы «замораживания» дислокаций; проявление волновых свойств в кинетических явлениях мезоскопических структур; квантование зонного электронного спектра; резонансное туннелирование и туннельно-резонансные диоды.				
4	Методы исследования наноструктурированных материалов	Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Дифракционные методы исследования. Электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА). Электронная оже-спектроскопия. Зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.	2	8	6	16
5	Квантоворазмерные структуры и их приборное применение	Фотонные кристаллы. Фононный кристалл. Магнонный кристалл. Инфракрасные детекторы. Лазеры на квантовых точках. Основы одноэлектроники. Приборные структуры одноэлектроники. Одноэлектронные транзисторные структуры кремниевые, металлические структуры. Определения, физические свойства и применение квантовых точек, ям, проволок, полупроводниковых сверхрешеток и их комбинаций, структур с двумерным электронным газом, магнитных сверхрешеток; модели «мелкой» и «глубокой» квантовых ям; квантование зонного электронного спектра; сверхрешетки и блоховские осцилляции; квантовый целочисленный и дробный эффекты Холла в двумерном электронном газ; использование гигантского магниторезистивного эффекта для конструирования приборов нового поколения; основные положения теории «фазонов» и самоорганизации структур нанoeлектроники; возможности самосборки элементов устройств низкоразмерных полупроводниковых приборов.	4	-	6	10
6	Самосборка и катализ	Процесс самосборки. Полупроводниковые островковые структуры. Монослои. Природа катализа. Площадь поверхности наночастиц. Пористые материалы. Коллоиды.	2	-	10	12
7	Методы формирования нанoeлектронных структур (нанотехнология)	Традиционные методы осаждения пленок. Химическое осаждение из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Атомная инженерия. Локальное окисление металлов и полупроводников. Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Нанопечать.	2	-	10	12
8	Наноструктурированные материалы в электронике	Микроэлектромеханические системы. Нанoeлектромеханические системы. Молекулярные и супрамолекулярные триггеры. Нанокapsулы. Наножидкостные устройства. Сенсоры на основе наноматериалов.	2	20	8	30
Итого			18	36	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Физика и техническое применение наноструктур (исследование вольт-амперной характеристики туннельного диода).
2. Физика и техническое применение наноструктур (изучение структурных свойств углеродных нанотрубок)
3. Методы исследования наноструктурированных материалов. Электронная микроскопия.
4. Методы исследования наноструктурированных материалов. Зондовая микроскопия.

5. Наноструктурированные материалы в электронике. Сенсоры на основе наноматериалов.
6. Методика оценки предельных характеристик одноэлектронных транзисторов
7. Двумерная численная модель металлического одноэлектронного транзистора
8. Исследование одноэлектронных транзисторов на различных материалах
9. Программа моделирования структур на основе эффекта одноэлектронного туннелирования SET-NANODEV

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Наноэлектроника» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать основные свойства материалов и структур наноэлектроники;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области наноэлектроники;	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных, учет погрешности измерений.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть данными о фундаментальных закономерностях наноэлектроники.	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
ОПК-5	знать методы теоретических и экспериментальных	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов

	исследований в области наноэлектроники;	Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	Решено менее 3 заданий из 5
	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать погрешности измерений;	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
ОПК-7	знать методы изготовления и исследования материалов и низкоразмерных структур	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь использовать современные научные достижения в области исследования и изготовления наноструктур	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	знать основные свойства материалов и структур наноэлектроники;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области наноэлектроники;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть данными о фундаментальных закономерностях наноэлектроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать методы теоретических и экспериментальных исследований в области наноэлектроники;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать погрешности измерений;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками проведения эксперимен-	Решение приклад-	Продemonстрирован	Задачи

	тальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	ных задач в конкретной предметной области	верный ход решения в большинстве задач	не решены
ОПК-7	знать методы изготовления и исследования материалов и низкоразмерных структур	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь использовать современные научные достижения в области исследования и изготовления наноструктур	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1	Междисциплинарность при изучении физики наноструктур означает, что (-) между отдельными дисциплинами существуют непреодолимые противоречия, решение которых невозможно. (+) успех возможен только при совместных усилиях отдельных наук. (+) знание основано на идеях интеграции отдельных областей науки и техники. (+) использование множества идей и подходов, присущих различным наукам, не приводит к их неупорядоченной смеси, а напротив – рождает качественно новое знание. (-) одна из изучаемых дисциплин становится превалирующей (главной), а все остальные дисциплины оказываются не существенными.
2	К особенностям наночастиц и наноматериалов относят то, что (+) у них размер по одному из измерений равен или менее 100 нм. (+) у них появляются новые свойства по сравнению с объемным телом. (+) они характеризуются высокой реакционной способностью. (+) для них становятся характерны квантовые и туннельные эффекты. (-) они не могут быть изучены при помощи современных физико-химических методов анализа.
3	К особенностям наночастиц и наноматериалов относят то, что (+) для них характерны самоорганизация и самосборка. (+) для них характерно специфическое взаимодействие с живыми системами. (-) у них размер по одному из измерений равен или менее 100 мкм. (-) они характеризуются очень низкой реакционной способностью. (+) как правило, они очень эффективны в качестве катализаторов.
4	С точки зрения современных концепций о нанотехнологии нанообъекты могут существовать (+) на поверхности твердого тела. (+) в объеме твердого тела. (+) в жидкости. (+) в объеме газа. (-) только обособленно от микро - и макро - объектов. (-) только как отдельно контактирующая с окружением фаза с размерами 100 и менее нм.
5	Технологическая парадигма «снизу – вверх» применительно для нанотехнологии

	означает, что (-) нанобъекты могут формироваться только последовательным наращиванием материала в направлении - подложка (нижнее состояние) и «далее вверх». (-) условным «низом» называют не сформированный еще нанобъект, под «верхом» понимают частицу имеющую размеры 100 или менее нм. (+) нанобъекты могут формироваться из молекулярных источников, существовать относительно независимо от окружения и технологически использоваться наравне с микро и макро - объектами. (-) чем меньше частица, тем меньше ее удельный заряд, а чем больше частица, тем больше ее удельных заряд. (-) чем меньше частица, тем больше ее удельный заряд, а чем больше частица, тем меньше ее удельных заряд.
6	Технологическая парадигма «сверху – вниз» применительно для нанотехнологии означает, что (-) нанобъекты могут формироваться только последовательным наращиванием материала в направлении - подложка (верхнее состояние) и «далее вниз» - к nanoобразованию на поверхности. (-) чем меньше частица, тем меньше ее удельный заряд, а чем больше частица, тем больше её удельных заряд. (-) чем меньше частица, тем больше ее удельный заряд, а чем больше частица, тем меньше её удельных заряд. (+) нанобъекты могут формироваться на поверхности микро - и(или) макро - объекта и относится к таковым лишь на основании того, что любой из их габаритных размеров равен или менее 100 нм.
7	Какие из перечисленных объектов можно отнести к нанобъектам: (+) центр хемосорбции на поверхности полупроводникового материала. (+) квантовая точка на поверхности полупроводникового материала (-) слой металлизации микросхемы малой степени интеграции (+) канал МОП-структуры, выполненной по проектной норме 75 нм (-) последовательность периодически расположенным «карманов» для целей изоляции интегральных элементов микросхемы, выполненной по проектной норме 100 нм. (+) квантово-размерная структура на поверхности материала. (-) слой металлизации гибридной микросхемы, выполненной по тонкопленочной технологии.
8	Выберите наиболее практичный способ формирования наноструктуры по концепции «снизу-вверх»: (-) сборка атомных последовательностей с использованием сканирующего туннельного микроскопа. (+) самосборка и самоорганизация. (+) молекулярно-пучковой эпитаксии. (-) жидкофазной эпитаксии (-) газофазная гомоэпитаксия
9	Наночастицы имеют следующий характерный размер: (+) < 100 нм. (-) примерно 100.10⁻⁹ нм. и менее (+) примерно 100.10⁻⁹ м. и менее (+) примерно 1000 А и менее (-) примерно 100.10⁻⁹ нм. и более (-) ~ 100 мкм.
10	Для нанобъектов характерно то, что...

	(+) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало по сравнению с электромагнитным. (-) гравитационное взаимодействие преобладает по сравнению с электромагнитным. (-) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало, а электромагнитное отсутствует. (-) их размеры настолько малы, что ни какие силы на них не действуют вообще.
--	---

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Квантовая яма - это... (-) канавка травления в приповерхностном слое полупроводника после массочного плазмохимического травления, наблюдаемая только средствами сканирующего туннельного микроскопа. (+) одномерная потенциальная яма для квантовой частицы, размеры которой соизмеримы с длиной волны де-Бройля квантовой частицы. (-) одномерная потенциальная яма для квантовой частицы, размеры которой много меньше длины волны де-Бройля квантовой частицы. (-) механическое повреждение структуры полупроводника в пределах длины свободного пробега носителей зарядов. (-) протяженный структурный дефект в объеме полупроводника, размеры которого кратны длине волны де-Бройля квантовой частицы.
2	С учетом условия, что трехмерная квантовая яма образуется для носителей заряда в области узкозонного полупроводника, - физически квантовые точки могут быть реализованы в виде двойной гетероструктуры, в которой (-) полупроводник должен обязательно контактировать с диэлектриком в виде малого включения. (-) полупроводник должен обязательно контактировать с металлом в виде малого включения. (+) узкозонный полупроводник вставлен в матрицу широкозонного в виде малого включения. (-) отсутствуют какие-либо внутренние напряжения. (-) широкозонный полупроводник вставлен в матрицу узкозонного в виде малого включения.
3	Квантовая точка - это... (+) потенциальная яма для квантовой частицы, ограничивающая движение последней в трех направлениях, и имеющая размеры порядка длины волны де-Бройля квантовой частицы. (-) условное название квантовой частицы, движение которой ограничивается потенциалом структуры на поверхности. (-) потенциальная яма для квантовой частицы, ограничивающая движение последней и имеющая размеры кратной величине зоны проводимости структуры при условии, что уровень Ферми находится вблизи потолка зоны проводимости. (-) точка на поверхности любого объекта, равноудаленная от его границ. (-) условное название квантовой частицы, движущейся в поле периодических потенциальных барьеров гетероструктуры. (-) точка на поверхности монокристалла, равноудаленная от его границ.
4	Выберите правильное утверждение: (-) сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют гранулярную структуру вследствие неровностей исходной подложки.

	(-) сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют гранулярную структуру вследствие случайных помех. (-) сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют гранулярную структуру вследствие превалирования сил гравитации по сравнению с силами поверхностного натяжения. (+) сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют гранулярную структуру вследствие превалирования сил поверхностного натяжения по сравнению с силами гравитации. (-) сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют гранулярную структуру вследствие равенства сил поверхностного натяжения и сил гравитации.
5	Сверхтонкие пленки, осаждаемые на поверхность подложки, имеют как правило (+) гранулярную структуру. (-) сплошную структуру с небольшим количеством дефектов. (-) сплошную структуру в которой практически отсутствуют дефекты.
6	Для технологических наноструктур характерен (-) низкий уровень поверхностной энергии. (+) высокий уровень поверхностной энергии. (-) отсутствие поверхностной энергии.
7	Большая поверхностная энергия наноструктур определяют (+) их некоторые технологические особенности получения. (+) их уникальные свойства по сравнению с макрообъектами. (+) их морфологическое многообразие. (-) их класс электробезопасности. (+) их поверхностные свойства. (-) их монокристалличность.
8	Зонная теория как квантовомеханическая модель, учитывающая наиболее важные особенности движения электронов в кристалле основывается на следующих предположениях: (отметить правильные ответы) (+) Энергетический спектр электронов представляет собой набор разрешенных и запрещенных зон. (+) Каждый электрон взаимодействует с эффективным внешним полем, которое складывается из поля атомных ядер и поля остальных электронов. (+) Электроны рассматриваются как «независимые». (+) Расположение ядер в пространстве строго периодически: они размещаются в узлах идеальной решетки данного кристалла. (-) Ядро состоит из более мелких элементарных частиц. (+) В рамках теории пользуются понятием «атомный остов», которое заменяет понятие «атомное ядро». (+) Атомные ядра, ввиду их большой массы, рассматриваются как неподвижные источники поля, действующего на электроны. (-) Каждый атом состоит из ядра и вращающихся вокруг него электронов.
9	Квадрат модуля волновой функции в некоторой точке фазового пространства задает – (+) плотность вероятности нахождения частицы в этой точке. (-) координату частицы относительно неопределенной точки. (-) плотность чередования структурных дефектов относительно выбранной точки отсчета. (-) импульс частицы, если движение частицы не доступно с классической точки зрения. (-) среднюю координату частицы, если движение частицы не доступно с классической точки зрения.

	(-) ускорение частицы относительно этой точки фазового пространства.
10	В АСМ при расположении зонда над подложкой нет этого элемента... (-) сенсор отклонения (-) упругая консоль (-) пьезоэлементы (+) фиксатор острия зонда

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Для данного примера (изображение поверхности, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии образца диоксида олова с разной концентрации добавки циркония) определить средние значения величины распределения высот. Оценить погрешность;
2	Для данного примера (изображение поверхности, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии образца диоксида олова с разной концентрации добавки кремния) определить средние значения величины распределения высот. Оценить погрешность;
3	Для данного примера (изображение поверхности, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии образца диоксида олова с разной концентрации добавки иттрия) определить средние значения величины распределения высот. Оценить погрешность;
4	Для данного примера (изображение поверхности, полученное с помощью атомно-силовой микроскопии образца диоксида олова с разной концентрации добавки марганца) определить средние значения величины распределения высот. Оценить погрешность;
5	Для данного примера (изображение, полученное с помощью электронного микроскопа высокого разрешения) определить величину зерна поликристалла и оценить межплоскостное расстояние. Оценить погрешность;
6	Для данного примера (температурная зависимость сопротивления полупроводника) определить энергию активации полупроводника. Оценить погрешность;
7	Для данного примера (электронограмма монокристалла) определить тип исследуемого материала;
8	Для данного примера (электронограмма поликристалла) определить тип исследуемого материала;
9	Для данного примера (электронограмма диоксида олова) провести идентификацию поликристалла (определить hkl);
10	Для данного примера (электронограмма гидроксипатита) провести идентификацию поликристалла (определить hkl);

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Физические основы наноэлектроники.
2. Квантовые ограничения.
3. Простейшие виды низкоразмерных объектов.
4. Баллистический транспорт носителей заряда.
5. Туннелирование носителей заряда.
6. Углеродные нанотрубки: методы получения, структура, свойства.
7. Применение углеродных наноструктур в электронике.
8. Фуллерены. Методы получения, структура, свойства. Применение в электронике

9. Физические явления в гетероструктурах.
10. Приборные применения гетероструктур.
11. Двойные гетероструктуры.
12. Методы исследования наноструктурированных материалов.
13. Электронная микроскопия.
14. Просвечивающая электронная микроскопия.
15. Растровая электронная микроскопия.
16. Зондовая микроскопия.
17. Сканирующая туннельная микроскопия.
18. Атомно-силовая микроскопия.
19. Фотонные кристаллы.
20. Фононный кристалл.
21. Магнонный кристалл.
22. Основы одноэлектроники.
23. Приборные структуры одноэлектроники.
24. Одноэлектронные транзисторные структуры.
25. Спинтроника.
26. Гигантское магнитосопротивление.
27. Туннельное магнитосопротивление.
28. Полупроводниковая спинтроника.
29. Спиновый полевой транзистор.
30. Скейлинг параметров. Проблема, варианты развития.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тестам и билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 8 до 10 баллов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Общие сведения об объектах нанотехнологии и размерных эффектах	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
2	Углеродные и кремниевые наноструктуры	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
3	Физические явления в гетероструктурах и приборные применения гетероструктур	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
4	Методы исследования наноструктурированных материалов	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
5	Квантоворазмерные структуры и их приборное применение	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
6	Самосборка и катализ	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
7	Методы формирования нанoeлектронных структур (нанотехнология)	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос
8	Наноструктурированные материалы в электронике	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7	Тест, защита лабораторных работ, устный опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Рембеза С.И.	Физические свойства низкоразмерных структур / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева. - Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2011. - 139 с.	2011 печат.	
2	Марголин В.И.	Введение в нанотехнологию: учебник / В.И. Марголин и др. - СПб.: Лань, 2012. - 464 с.	2012 печат.	1,0 Сайт Лань доступ
3	Мошников В.А.	Золь-гель технология микро- и нанокомпози- тов: учеб. пособие / В.А. Мошников, Ю.М. Таиров; под ред. О.А. Шиловой. - СПб.: Лань, 2013. - 304 с.	2013 печат.	1,0 Сайт Лань доступ
4	Игнатов А.Н.	Микросхемотехника и наноэлектроника / А.Н. Игнатов. - СПб.: Лань, 2011. - 528 с.	2011 печат.	1,0 Сайт Лань доступ
5	Лозовский В.Н.	Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: учеб. пособие / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. - СПб.: Лань, 2008. – 328 с.	2008 печат.	1,0 Сайт Лань доступ
6	Смирнов Ю.А.	Основы нано- и функциональной электроники / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - СПб. : Лань, 2013. - 311 с.	2013 печат.	1,0 Сайт Лань доступ
Дополнительная литература				
1	Харрис П.	Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. - М.: Техносфера, 2003. – 366 с.	2003 печат.	
2	Щука А.А.	Наноэлектроника: учеб. пособие / А.А. Щука ; под ред. А.С. Сигова. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 342 с.	2012 Элек- тронный ре- сурс	
3	Борисенко В.Е.	Наноэлектроника: учеб. пособие / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. - 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 223 с.	2012 Элек- тронный ре- сурс	
4	Миронов В.Л.	Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2005. - 144 с.	2004	

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://cchgeu.ru/>

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista.

Прикладные программные средства: Microsoft Office.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».

3. Учебный лабораторный стенд на ПЛИС структуры FPGA – LESO-3.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Нанoeлектроника» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и

	здать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	