

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники
_____ Небольсин В.А.
«25» февраля 2020г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Физика низкоразмерных структур в микро- и нанoeлектронике»

Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль «Материалы и устройства функциональной электроники»

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2020

Автор программы _____ /Акулинин С.А./

Заведующий кафедрой Полупроводниковой электроники и нанoeлектроники _____ /Рембеза С.И./

Руководитель ОПОП _____ / Рембеза С.И /

Воронеж 2020

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование набора общекультурных и профессиональных компетенций будущего магистра по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» путем освоения теоретического материала и возможностей использования средств вычислительной техники и программного обеспечения для научных расчетов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- формирование у студентов физических представлений о низкоразмерных структурах и их свойствах;
- ознакомление с современными технологиями изготовления квантоворазмерных структур;
- развитие представлений о применении устройств и приборов на основе квантоворазмерных структур в микро- и нанoeлектронике..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика низкоразмерных структур в микро-и нанoeлектронике» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика низкоразмерных структур в микро-и нанoeлектронике» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1-Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественно научную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора

ОПК-3- Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие Сформированность компетенции
ОПК-1	знать–физические основы и свойства низкоразмерных структур ;
	уметь моделировать наноструктуры с использованием отечественного и зарубежного опыта
	владеть– современными физическими представлениями о свойствах низкоразмерных структур;
ОПК-3	Знать возможности современных технологий изготовления квантово-размерных структур; – области применения низкоразмерных структур в электронике
	уметь видеть перспективу применения низкоразмерных структур в развитии различных направлений электроники;
	владеть– современными информационными технологиями для оценки количественных и качественных показателей низкоразмерных структур и прогноза их характеристик

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика низкоразмерных структур в микро- и наноэлектронике» составляет 53.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
Аудиторные занятия (всего)	66	66
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
Самостоятельная работа	87	87
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	180 5	180 5

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	Прак зан.	Лаб. зан.	СР С	Всего, час
1	Общие сведения об объектах нанотехнологии и размерных эффектах	Наноструктурные материалы (кристаллы, кристаллиты, кластеры). Физические основы наноэлектроники (квантовое ограничение, баллистический транспорт носителей, туннелирование носителей заряда). Основные характеристики и принцип работы резонансно-туннельного диода.	2	2	4	12	20

2	Углеродные и кремниевые наноструктуры	Углеродные кластеры. Углеродные нанотрубки: методы получения, структура, свойства. Применение углеродных наноструктур в электронике.	2	2	6	12	22
3	Методы исследования наноструктурированных материалов	Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Дифракционные методы исследования. Электронная спектроскопия для химического анализа (ЭСХА). Электронная спектроскопия. Зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.	4	4	8	12	28
4	Свойства нанокластеров и наночастиц	Фотонные кристаллы. Фононный кристалл. Магнонный кристалл. Инфракрасные детекторы. Лазеры на квантовых точках. Основы одноэлектроники. Приборные структуры одноэлектроники. Одноэлектронные транзисторные структуры кремниевые, металлические структуры	2	2	4	12	20
5	Самосборка и катализ	Процесс самосборки. Полупроводниковые островковые структуры. Монослой. Природа катализа. Площадь поверхности наночастиц. Пористые материалы. Коллоиды	2	2	4	13	21
6	Методы формирования нанoeлектронных структур (нанотехнология)	Традиционные методы осаждения пленок. Химическое осаждение из газовой фазы. Моле-	2	2	4	13	21

		кулярно-лучевая эпитаксия. Атомная инженерия. Локальное окисление металлов и полупроводников. Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Нанопечать					
7	Наноструктурированные материалы в электронике	Микроэлектромеханические системы. Наноэлектромеханические системы. Молекулярные и супрамолекулярные триггеры. Нанокapsулы. Наножидкостные устройства. Сенсоры на основе наноматериалов.	2	2	4	13	21
8	Контроль						27
Итого			16	16	34	69	180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Емкостные методы контроля параметров границы раздела полупроводник диэлектрик
2. Исследование структуры энергетически зон методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. (ВГУ)
3. Метод Оже-спектроскопии и ЭСХА при исследовании наноматериалов. (кафедра ВГУ).
4. Просвечивающая электронная микроскопия (ВГТУ 1 корпус)
5. Качественный анализ содержания примесей методом электронно-зондового микроанализа (кафедра 4 корпус).
6. Рентгеновский дифракционный анализ (ВГТУ 1 корпус)
7. Исследование поверхности тонкопленочных структур методами СТМ и АСМ (кафедра, ВГТУ 1 корпус)
8. Сенсоры на основе наноматериалов.

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

○ В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 1 семестре для очной формы обучения, в 4 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы:

1. Принципы масштабирования в проектировании субмикронных МОП-СБИС
2. Физические основы функционирования и конструкция приборов одноэлектронной электроники
3. Физические принципы функционирования, конструкция и параметры резонансно-туннельных диодов
4. Технология и оборудование для осаждения пленок с субмикронными толщинами (ALD)
5. Механизмы паразитных утечек в МОП-транзисторе с субмикронными параметрами

○ Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:
 формирование и развитие навыков самостоятельного поиска, подбора, систематизации, анализа и обобщения литературного и справочного материала;

систематизация, закрепление и творческое использование теоретических знаний по учебной дисциплине «физика наноразмерных структур в микроэлектронике и наноэлектронике» ;

приобретение начального опыта научно-исследовательской и проектной работы;

развитие навыков и умений изложения своих мыслей, использования научной терминологии, аргументации своих выводов и предложений.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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»;

«неаттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Неаттестован
ОПК-1	Знать физические основы и свойства низкоразмерных структур ;	Лаб практикум, отчет практические занятия решение задач в аудитории и домашних задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь моделировать наноструктуры с использованием отечественного и зарубежного опыта	Лаб практикум практические занятия	Выполнение работ в срок, предусмотренный в ра-	Невыполнение работ в срок, предусмотренный

			бочих программах	в рабочих программах
	владеть современными физическими представлениями о свойствах низкоразмерных структур (ПКВ-3);	Лаб практикум практические занятия	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-3	Знать возможности современных технологий изготовления квантово-размерных структур (ПКВ-2); области применения низкоразмерных структур в электронике (ПКВ-3)	Лаб практикум практические занятия	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь видеть перспективу применения низкоразмерных структур в развитии различных направлений электроники (ПКВ-3);	Лаб практикум практические занятия	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть– современными информационными технологиями для оценки количественных и качественных показателей низкоразмерных структур и прогноза их характеристик	Лаб практикум практические занятия	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в I семестре для очной формы обучения, в 4 семестре для заочной формы обучения по четырех балльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии Оценки	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать–физические основы и свойства низкоразмерных структур ;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь моделировать наноструктуры с использованием отечественного и зарубежного опыта	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены	Продемонстрирован верный ход решения всех, но	Продемонстрирован верный ход решения в боль-	Задачи не решены

			верные ответы	не получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
	владеть– современными физическими представлениями о свойствах низкоразмерных структур (ПКВ-3);	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-3	Знать возможности современных технологий изготовления кванторазмерных структур (ПКВ-2); – области применения низкоразмерных структур в электронике (ПКВ)	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь видеть перспективу применения низкоразмерных структур в развитии различных направлений электроники (ПКВ-3);	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть– современными информационными технологиями для оценки количественных и качественных показателей низкоразмерных структур и прогноза их характеристик	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

				всех за- дачах		
--	--	--	--	-------------------	--	--

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

7.2.1Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1.Каким низкоразмерным структурам соответствуют приведенные плотности энергетических состояний.

			
Квантовый шнур	Квантовая точка	Объемный материал	Квантовая пленка

2.Наблюдение эффекта кулоновской блокады возможно при условии:

а) температуры близкой к 0 К	б) $C \ll \frac{e^2}{2kT}$	б) $C \gg \frac{e^2}{2kT}$	$eU_k = \frac{e^2}{2C}$
------------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------

3.Максимальная толщина слоев в низкоразмерной гетероструктуре должна быть:

а) меньше 100 нм	б) $a \ll \frac{\sqrt{3}\hbar\pi}{\sqrt{2m^*kT}}$	в) $a \ll \frac{h}{\sqrt{3m^*kT}}$	г) $a \ll \frac{e}{2C}$
------------------	---	------------------------------------	-------------------------

При каком механизме осаждения материалов на подложку происходит формирование квантовых точек

- а) Фольмера-Вебера
- б) Странского-Крастанова
- в) Франка-ВандерМерве

3 Что происходит с массивом квантовых точек при увеличении температуры подложки в процессе эпитаксиального роста:

- а) увеличивается размер основания
- б) увеличивается высота
- в) увеличивается поверхностная плотность
- г) уменьшается размер основания
- д) уменьшается высота
- е) уменьшается поверхностная плотность

6. В каких плоскостях будут существовать уровни Ландау, если вектор B направлен вдоль оси Z , перпендикулярной плоскости 2D-газа:

- а) в плоскости X
- б) в плоскости Y

в) в плоскости Z

7. В каких структурах на ВАХ наблюдается «Кулоновская лестница»

- а) в однобарьерных структурах с низкой прозрачностью перехода
- б) в двухбарьерной структуре при одинаковых прозрачностях переходов
- в) в двухбарьерной структуре при различных прозрачностях переходов

8. Какие электроды называют стоком и истоком в одноэлектронном транзисторе:

- а) электрод у барьера с низкой прозрачностью
- б) электрод у барьера с высокой прозрачностью

9. Как изменится частота излучения лазера на основе ДГС, если уменьшить толщину квантовой ямы

- а) уменьшится
- б) увеличится
- в) может как уменьшиться, так и увеличиться, в зависимости от материала и эффективной массы.

10. При каком напряжении произойдет «прорыв» кулоновской блокады

а) $U = \frac{e}{2C}$	б) $U = \frac{e^2}{2C}$	в) $U = -\frac{e}{2C}$	г) $U = -\frac{e^2}{2C}$

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Гипотеза де Бройля выражается соотношениями:

$$\text{а) } \lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}, \quad \text{б) } \omega = \frac{E}{\hbar}, \quad \text{в) } \lambda = \frac{2\pi c}{\omega}, \quad \text{г) } \omega = \frac{E_n - E_m}{\hbar}.$$

2. Длина волны де Бройля для заряженной частицы, ускоренной электрическим полем, определяется по формуле

$$\text{а) } \frac{2\pi\hbar}{p}, \quad \text{б) } \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}, \quad \text{в) } \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2meU}}, \quad \text{г) } \frac{2\pi\hbar}{mv}.$$

3. Выберите пару(ы) материалов из предложенных, для создания на их основе синего светодиода с длиной волны 420 нм

- а) GaAs
- б) AlGaAs
- в) GaN
- г) GaAsP
- д) InGaN
- е) GaP
- ж) GaInP
- з) ZnSe
- и) InP
- к) ZnMnSe

4. Чем определяется число уровней в минизоне сверхрешетки:

- а) толщиной квантовых ям
- б) числом квантовых ям

- в) числом барьеров
- г) толщиной барьеров
- 5. Практическое применение целочисленного эффекта Холла
 - а) эталон силы тока
 - б) эталон сопротивления
 - г) эталон напряжения
- 6. Энергетические диаграммы каких сверхрешеток изображены

Легированная		Композитная

7. При увеличении массы частицы, коэффициент прозрачности барьера при туннелировании:

- а) увеличивается
 - б) уменьшается
 - в) остается неизменным
8. Чем определяется минимальный размер островка квантовой точки
- а) длиной волны Де Бройля
 - б) необходимостью существования хотя бы одного энергетического уровня
 - в) постоянной решетки осаждаемого материала

9. Волновая функция ψ , являющаяся решением уравнения Шредингера

$\hat{H}\psi = E\psi$, должна удовлетворять требованиям:

- а) функция ψ должна быть непрерывной, однозначной и конечной;
- б) функция ψ должна иметь решение при любых значениях энергии E ;
- в) функция ψ должна иметь решение при собственных значениях энергии E .

10. Какое из приведенных ниже уравнений представляет временное уравнение Шредингера?

а) $\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U\right)\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t};$

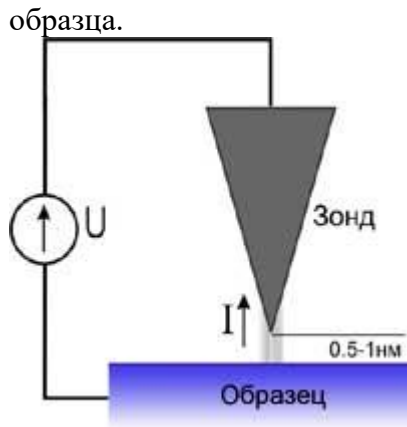
б) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0;$

в) $\hat{H}\Psi = E\Psi;$

г) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\Psi = 0.$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. На рис представлена Схема сканирующего электронного микроскопа. Состояние поверхности характеризуется величиной туннельного тока при сканировании поверхности



Определите механизм протекания тока в системе зонд-поверхность образца:

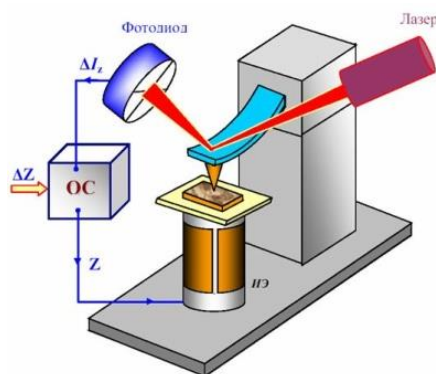
- а) Туннелирование по механизму Фаулера- Нордгейма;
- б) Прямое туннелирование через трапециидальный барьер в системе металл – воздушный зазор - твердое тело;
- в) при какой напряженности поля возможно протекание туннельного тока: 10^5 В/см; 10^6 В/см; 10^7 В/см%.

2. Возможны два режима работы сканирующего туннельного микроскопа.

- 2.1 Режим постоянного тока;
- 2.2 Режим постоянной высоты;

Что является информационным сигналом в каждом случае?

- а) данные о величине вертикальных перемещений зонда
- б) величина туннельного тока



3. На рис представлена схема атомно-силового микроскопа.

Информационный сигнал определяется:

- а) кулоновским взаимодействием зарядов кантилевера и поверхности образца

- б) механическими силами — силами Ван-дер Ваальса

4. Каким методом регистрируется перемещение кантилевера в АСМ

- а) по изменению тока
- б) по изменению направления оптического сигнала

5. В наноструктурах условия для транспорта носителей заряда существенно отличаются от условий для транспорта в макросистемах. На рис. 1 представлена энергетическая диаграмма транзистора с

высокой подвижностью носителей (НЕМТ).

Каков механизм влияния двумерного электронного газа в канале на частотные свойства транзистора:

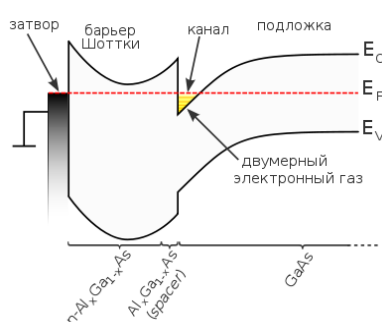
- а) возрастает подвижность носителей заряда;
- б) уменьшается влияние емкости затвора.
- в) имеет место баллистический транспорт заряда

6. Туннельный диод Эсаки и резонансно-туннельный диод имеют подобные ВАХ с участком отрицательной проводимости. Какие преимущества имеет РТД (RTD).

Какие из ниже указанных характеристик относятся к типу

туннельных диодов:

- 1) туннельному диоду Эсаки;
 - 2) резонансно-туннельному диоду;
- а) высокая плотность тока при низкой емкости
 - б) более высокое быстродействию



в) возможность регулирования плотности тока изменением толщины барьера и ямы.
7. Реализация КМОП СБИС с технологическими нормами 90, 65, 45, 32 нм потребовало решения проблемы короткого канала — смыкание областей истока и стока. Увеличение дозы легирования привело к уменьшению подвижности. Назовите эффективное технологическое решение проблемы увеличения подвижности, основанное на перестройке энергетической структуры полупроводника.

8. Какими конструктивно-технологическими методами достигается высокая подвижность носителей заряда в НЕМТ транзисторах:

а) за счет принципа масштабирования

б) применением гетероструктуры для формирования 2D электронного газа в канале транзистора

в) баллистического переноса заряда в канале транзистора.

г) применением *spice* прослойки в структуре затвора

в) совокупностью всех перечисленных методов

9. Назовите технологические методы создания локальных напряжений в структуре МОП СБИС.

10. Какими методами решается проблема уменьшения токов утечки в субмикронных МОП

а) Совершенствованием технологии;

б) увеличением толщины диэлектрика SiO_2 ;

в) Применением диэлектрика с более высокой диэлектрической постоянной.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Вопросы к экзамену по учебной дисциплине Физика низкоразмерных структур в микроэлектронике и нанoeлектронике

1. Основные идеи и принципы квантовой механики.

Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Волновая функция и уравнение Шредингера. Спин частицы и принцип Паули.

2. Элементы квантовой теории твердых тел. Виды твердых тел и квазичастиц. Зонные диаграммы. Зонная диаграмма полупроводника. Функция заполнения состояний (функция распределения). Зависимость энергии электрона в полупроводниковом кристалле вблизи краев зон от квазиимпульса. Блоховские функции.

3. Квантовое ограничение. Потенциальная яма и волновые функции электронов в ней.

Ограничение движения электронов (дырок) в низкоразмерной структуре.

Основные типы идеальных твердотельных наноструктур. 2D, 1D, 0D.

4. Квантовый размерный эффект для электронов в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками (электрон в квантовой яме).

Квантовый размерный эффект в квантовой яме (прямозонный полупроводник). Квантово-размерная добавка к ширине запрещенной зоны.

5. Квантовые ямы в полупроводниковых гетероструктурах.

Самоорганизованные квантовые точки.

Квантовый размерный эффект в кремневых наноструктурах.

Спектры фотолюминесценции нанокристаллов кремния (Si) в матрице диоксида кремния.

6. Особенности транспорта электронов в наноструктурах.

Баллистический транспорт носителей заряда. Средняя длина свободного пробега при упругом рассеивании, средняя длина свободного пробега при неупругом рассеивании, Влияние магнитного поля на фазу электронных волн: эффект Аронова-Бома.

7. Спиновые эффекты. Длина спиновой релаксации. Гиганское магнитосопротивление.

Спинтроника.

8. Свободная поверхность и межфазные границы. Сверхрешетки. Правило Вегарда.

9.. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры.

Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская.блокада.

10. Эффект Джозефсона.

11. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла.

2 вопрос Методы диагностики

1. Электрические методы контроля параметров МДМ структур. Метод C-V характеристик.

2. Оже-спектроскопия

3. Электронная спектроскопия для химического анализа

4. Растровая электронная спектроскопия

5. Сканирующая туннельная микроскопия

6. Атомная силовая микоскопия

7. Ближнеполевая оптическая микроскопия

8. Масс-спектроскопия вторичных ионов

9. Оптическая просвечивающая микроскопия

10. Рентгеновская фотоэлектронная микрскопия

11. Качественный анализ состава материалов методом электронно-зондового микроанализа

3. вопрос Приборы на квантово-механических основах.

1. МДП транзистор с субмикронным каналом. Проблемы подвижности носителей заряда.

2. МДП транзистор с нанометровым каналом. Проблемы токов утечки.

3. МДП транзистор с нанометровым каналом. Проблемы деградации, обусловленные захватом горячих носителей.

4. Туннельный диод. Принцип работы и параметры

5. Резонансно-туннельный диод. (resonant tunneling diode – RTD)

6. Лазер на двойных гетероструктурах.

7. Лазер на квантовых точках

8. Фотоприемники излучения на гетероструктурах.

9. Инфракрасные фотоприемники излучения на основе сверхрешеток

10. Приборы на одноэлектронном туннелировании.

11.Транзисторы на гетероструктурах с высокой подвижностью (НЕМТ-транзисторы)

12. Приборы спинэлектроники.

7.2.6.Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

(Например: Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 5 баллами, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов – верное решение и 5 баллов – за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 10 до 12 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 13 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№п/п	Контролируемые разделы(темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование Оценочного средства
------	---	--------------------------------	----------------------------------

1	Общие сведения об объектах нанотехнологии и размерных эффектах	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Углеродные и кремниевые наноструктуры	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Методы исследования наноструктурированных материалов	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Свойства нанокластеров и наночастиц	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Самосборка и катализ	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Методы формирования наноэлектронных структур (нанотехнология)	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Наноструктурированные материалы в электронике	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
8	(наименование темы из раздела 5.1)	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
9	(наименование темы из раздела 5.1)	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ,

			защита реферата, требования к курсовому проекту....
10	(наименование темы из раздела 5.1)	ОПК-1, ОПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков(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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методике 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины и информационное обеспечение дисциплины(модуля)

8.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
8.1.1. Основная литература				
8.1.1.1	Рембеза С.И.	Физические свойства низкоразмерных структур / С. И. Рембеза, Е. С. Рембеза, Н. Н. Кошелева. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный техниче-	2011 печат.	1

		ский университет", 2011. - 139 с. - 138-52; 250 экз.		
8.1.1.2	Марголин В.И.	Введение в нанотехнологию : Учебник / В. И. Марголин [и др.]. - СПб. : Лань, 2012. - 464 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1318-8 : 1685-00. Рекомендовано УМО вузов РФ по обр. в обл. радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учеб. пособия для студентов вузов	2012 печат.	1,0 <i>Сайт Лань доступ</i>
8.1.1.3	Мошников В.А.	Золь-гель технология микро- и нанокompозитов : Учеб. пособие / В. А. Мошников, Ю. М. Таиров ; под ред. Шиловой. - СПб. : Лань, 2013. - 304 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1417-8 : 925-00. Рекомендовано УМО вузов РФ по обр. в обл. радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учеб. пособия для студентов вузов	2013	1,0 <i>Сайт Лань доступ</i>
8.1.1.4	Игнатов А.Н.	Микросхемотехника и нанoeлектроника.— СПб.: "Лань", 2011.— 528 с.	2011	1,0 <i>Сайт Лань доступ</i>
8.1.1.5	Лозовский В.Н.	Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. — СПб. : Лань, 2008.— 328 с.	2008	1,0 <i>Сайт Лань доступ</i>
8.1.1.6	Смирнов Ю.А.	Основы нано- и функциональной электроники / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. — СПб. : Лань, 2013.— 311 с.	2013	1,0 <i>Сайт Лань доступ</i>
7.1.2. Дополнительная литература				

8.1.2.1	Харрис П.	Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера,	2003	0,5
8.1.2.4	Миронов В.Л.	Основы сканирующей зондовой микроскопии. Ниж. Нов. 2004. -	2004	0,5
7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы				
8.1.4.1	Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: http://vorstu.ru/kafedrry/ftf/kaf/frp/uchpl/			
8.1.4.2	Компьютерные практические работы: Исследование вольт-амперной характеристики с использованием учебного стенда по электронике LESO3. Измерительное оборудование выполнено в виде приставки к компьютеру, на экране которого отображаются результаты измерения.			
8.1.4.3	Мультимедийные видеофрагменты: Конструкция и описание сканирующего зондового микроскопа, Углерод и его аллотропные модификации			
8.1.4.4	Мультимедийные лекционные демонстрации:			
	<ul style="list-style-type: none"> – Физические основы наноэлектроники – Углеродные нанотрубки – Зондовая микроскопия – Электронная микроскопия 			

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

8.2.1. Широкое использование презентаций при чтении лекций

8.2.2. Выполнение лабораторных работ на компьютерах с использованием разработанных на кафедре программ.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Оборудование центра коллективного пользования:

1.1 Атомно-силовой микроскоп

1.2 Электронный микроскоп просвечивающего типа.

2. Измеритель емкости полупроводниковых структур

3. Установка для измерения эффекта Холла.

4. Спектрометр

10.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика низкоразмерных структур в микро-и нанoeлектронике».

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

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 задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
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: следует 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;

	<ul style="list-style-type: none">- выполнение домашних заданий и расчетов;- 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, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.