

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Вишневецкий Дмитрий Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 04.11.2023
Уникальный программный ключ:
03474917c4d012283e5ad996a48a5e70bf8da057

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ДонГТУ»)

Факультет информационных технологий и автоматизации производственных процессов
Кафедра электроники и радиофизики



УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по учебной работе

Д.В. Мулов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Нанoeлектроника и перспективы ее развития
(наименование дисциплины)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код, наименование направления)

Промышленная электроника
(профиль подготовки)

Квалификация бакалавр
(бакалавр/специалист/магистр)

Форма обучения очная, очно-заочная, заочная
(очная, очно-заочная, заочная)

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цели дисциплины: формирование теоретических и практических основ, необходимых для расчета, разработки и создания элементов, приборов и устройств и нанoeлектроники, а также дальнейшего совершенствования знаний путем изучения научно-технической литературы по данной или смежной тематикам.

Задачи дисциплины: изучение законов физики в низкоразмерных полупроводниковых структурах, изучение технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур, изучение основных квантовых эффектов, лежащих в основе приборов и устройств нанoeлектроники, изучение структуры и принципов работы приборов и устройств нанoeлектроники.

Дисциплина нацелена на формирование:
универсальных компетенций (УК-1, УК-2),
профессиональной компетенции (ПК-4) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – дисциплина входит в часть БЛОКА 1 «Дисциплины (модули)», формируемую участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (профиль подготовки «Промышленная электроника»).

Дисциплина реализуется кафедрой электроники и радиофизики.

Основывается на базе дисциплин: «Физика», «Химия», «Физические основы электроники», «Твердотельная электроника», «Материалы и компоненты электронной техники».

В свою очередь, дисциплина «Нанoeлектроника и перспективы ее развития» является основой для изучения следующих дисциплин: «Организация научных исследований», «Конструирование и надежность электронных устройств», приобретенные знания используются при прохождении производственных практик, для подготовки к процедуре защиты и защиты ВКР

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 ак.ч. Программой дисциплины предусмотрены для очной формы обучения лекционные (36 ак.ч.), практические (36 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (72 ак.ч.). Для очно-заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (16 ак.ч.), практические (12 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (116 ак.ч.). Для заочной формы обучения программой дисциплины предусмотрены лекционные (8 ак.ч.), практические (6 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (130 ак.ч.).

Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре при очной форме обучения, при очно-заочной и заочной форме обучения.

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Нанозлектроника и перспективы ее развития» направлен на формирование компетенции, представленной в таблице 1.

Таблица 1 –Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1	УК-1.1. Знает: методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа УК-1.2. Умеет: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; применять системный подход для решения поставленных задач УК-1.3. Владеет: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2	УК-2.1. Знает: виды ресурсов и ограничений для решения профессиональных задач; основные методы оценки разных способов решения задач; действующее законодательство и правовые нормы, регулирующие профессиональную деятельность УК-2.2. Умеет: проводить анализ поставленной цели и формулировать задачи, которые необходимо решить для ее достижения; анализировать альтернативные варианты для достижения намеченных результатов; использовать нормативно-правовую документацию в сфере профессиональной деятельности УК-2.3. Владеет: методиками разработки цели и задач проекта; методами оценки потребности в ресурсах, продолжительности и стоимости проекта; навыками работы с нормативно-правовой документацией
Способен осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных средств, схем и устройств различного функционального назначения	ПК-4	ПК-4.1. Демонстрирует навыки решения задач анализа и расчета характеристик электронных схем и устройств различного функционального ПК-4.2. Осуществляет расчет основных показателей надежности электронных устройств ПК-4.3. Выбирает тип элементов электронных схем с учетом технических требований к разрабатываемому устройству

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 4 зачётных единицы, 144 ак. ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает проработку материалов лекций, подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, выполнение индивидуального задания, самостоятельное изучение материала и подготовку к дифференцированному зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		4
Аудиторная работа, в том числе:	72	72
Лекции (Л)	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	72	72
Подготовка к лекциям	4	4
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	8	8
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	10	10
Домашнее задание (индивидуальное задание)	-	-
Подготовка к контрольной работе	-	-
Подготовка к коллоквиуму	6	6
Аналитический информационный поиск	18	18
Работа в библиотеке	18	18
Подготовка к дифференцированному зачету	6	6
Промежуточная аттестация – дифференцированный зачет (Дз)	Дз (2)	Дз (2)
Общая трудоёмкость дисциплины		
	ак.ч.	144
	з.е.	4

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенций, приведенных в п.3 дисциплина разбита на 6 тем:

- тема 1 (Основные этапы исторического развития нанoeлектроники и нанотехнологии);
- тема 2 (Физические основы нанoeлектроники);
- тема 3 (Способы формирования квантово-размерных наноструктур);
- тема 4 (Квантоворазмерные эффекты);
- тема 5 (Устройства нанoeлектроники);
- тема 6 (Перспективы развития нанотехнологий).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной, очно-заочной и заочной форм обучения приведены в таблицах 3, 4, 5 соответственно.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
1	Основные этапы исторического развития нанoeлектроники и нанотехнологии	Основные представления квантовой механики. Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике.	6	Использование операторов для работы с массивами в среде MatLab Вычисление электронной плотности состояний в канале нанотранзистора	2 4	—	—
2	Физические основы нанoeлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт	6	Влияние выбора величины шага по шкале энергий на достоверность результатов расчета электронной плотности состояний	6	—	—
3	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Общие принципы формирования квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых прово-	6	Влияние величины связи электродов с каналом нанотранзистора на достоверность расчета электронной плотности состояний	6	—	—

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
		лок (нитей) геометрическим и электронным способом. Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек					
4	Квантоворазмерные эффекты	Резонансный туннельный эффект. Туннелирование через квантоворазмерные структуры. Квантовый эффект Холла. Интерференционные эффекты. Спиновые эффекты	6	Итерационная процедура расчета величины потенциала и концентрации электронов в канале нанотранзистора	6	—	—
5	Устройства нанoeлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью НЕМТ. Обзор программных средств для моделирования приборов и устройств нанoeлектроники.	10	Расчет выходной электрической характеристики нанотранзистора Расчет электрической выходной характеристики нанотранзистора и концентрации электронов в канале с использованием модели самосогласованного поля.	4 6	—	—
6	Перспективы развития нанотехнологий.	Экономические и социальные последствия внедрения нанотехнологии	2	Анализ перспектив развития нанотехнологий		—	—
Всего аудиторных часов			36		36	—	

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очно-заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
1	Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии	Основные представления квантовой механики. Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к наноэлектронике.	2	Использование операторов для работы с массивами в среде MatLab Вычисление электронной плотности состояний в канале нанотранзистора	1 1	—	—
2	Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт	2	Влияние выбора величины шага по шкале энергий на достоверность результатов расчета электронной плотности состояний	2	—	—
3	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Общие принципы формирования квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых проволок (нитей) геометрическим и электронным	2	Влияние величины связи электродов с каналом нанотранзистора на достоверность расчета электронной плотности состояний	2	—	—

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
		способом. Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек					
4	Квантоворазмерные эффекты	Резонансный туннельный эффект. Туннелирование через квантоворазмерные структуры. Квантовый эффект Холла. Интерференционные эффекты. Спиновые эффекты	2	Итерационная процедура расчета величины потенциала и концентрации электронов в канале нанотранзистора	2	—	—
5	Устройства нанoeлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью НЕМТ. Обзор программных средств для моделирования приборов и устройств нанoeлектроники.	6	Расчет выходной электрической характеристики нанотранзистора Расчет электрической выходной характеристики нанотранзистора и концентрации электронов в канале с использованием модели самосогласованного поля.	1 2	—	—
6	Перспективы развития нанотехнологий.	Экономические и социальные последствия внедрения нанотехнологии	2	Анализ перспектив развития нанотехнологий	1	—	—
Всего аудиторных часов			16		12	—	

Таблица 5 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
1	Основные этапы исторического развития нанoeлектроники и нанотехнологии	Основные представления квантовой механики. Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике.	1	Использование операторов для работы с массивами в среде MatLab Вычисление электронной плотности состояний в канале нанотранзистора	1	—	—
2	Физические основы нанoeлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт	1	Влияние выбора величины шага по шкале энергий на достоверность результатов расчета электронной плотности состояний	1	—	—
3	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Общие принципы формирования квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (МОСVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых прово-	1	Влияние величины связи электродов с каналом нанотранзистора на достоверность расчета электронной плотности состояний	1	—	—

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	ак.ч.	Содержание практических (семинарских) занятий	ак.ч.	Тема лабораторных занятий	ак.ч.
		лок (нитей) геометрическим и электронным способом. Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек					
4	Квантоворазмерные эффекты	Резонансный туннельный эффект. Туннелирование через квантоворазмерные структуры. Квантовый эффект Холла. Интерференционные эффекты. Спиновые эффекты	1	Итерационная процедура расчета величины потенциала и концентрации электронов в канале нанотранзистора	1	—	—
5	Устройства нанoeлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью НЕМТ. Обзор программных средств для моделирования приборов и устройств нанoeлектроники.	3	Расчет выходной электрической характеристики нанотранзистора Расчет электрической выходной характеристики нанотранзистора и концентрации электронов в канале с использованием модели самосогласованного поля.	0,5 1	—	—
6	Перспективы развития нанотехнологий.	Экономические и социальные последствия внедрения нанотехнологии	1	Анализ перспектив развития нанотехнологий	0,5	—	—
Всего аудиторных часов			8		6	—	

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Код и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
УК-1, УК-2, ПК-4	Дифференцированный зачет	Комплект контролирующих материалов для дифференцированного зачета

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

- тестовый контроль или устный опрос на коллоквиумах (2 работы) – всего 40 баллов;
- практические работы – всего 20 баллов;
- за выполнение индивидуального и домашнего задания – всего 40 баллов.

Дифференцированный зачет проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Дифференцированный зачет по дисциплине проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время зачетной недели студент имеет право повысить итоговую оценку либо в форме устного собеседования по приведенным ниже вопросам (п.п. 6.5), либо в результате тестирования.

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Домашнее задание

В качестве домашнего задания обучающиеся выполняют проработку лекционного материала.

6.3 Темы для рефератов (презентаций) – индивидуальное задание

Выполнить расчет выходной электрической характеристики нанотранзистора. Численное моделирование работы нанотранзистора в рамках модели самосогласованного поля выполнить в среде MatLab. Определить расчетным путем зависимости концентрации электронов внутри канала и тока стока (при включении транзистора по схеме с общим заземленным истоком) от напряжения стока.

Контрольная работа должна содержать пояснительную записку с описанием численной модели работы нанотранзистора и с результатами моделирования, а также с описанием и результатами расчета зависимости концентрации электронов и тока стока от напряжения стока.

6.4 Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

Варианты тестовых заданий.

1. Наночастицы принадлежат одному из измерений:
 - а) от одного до ста нанометров;
 - б) от одного до двух нанометров;
 - в) от одного до миллиарда нанометров.

2. Нанoeлектроника занимается созданием интегральных схем с размерами:
 - а) менее ста нанометров;
 - б) менее десяти тысяч нанометров;
 - в) менее миллиметра.

3. Какое минимальное количество энергетических уровней должно быть в квантовой яме двойной гетероструктуры:
 - а) 0;
 - б) 1;
 - в) 4;
 - г) 9.

4. Максимальная толщина квантовой ямы двойной гетероструктуры не должна превышать:

- а) 100 нм;
- б) длину волны Де Бройля для электрона в квантовой яме;
- в) длину когерентности;
- г) 10 нм.

5. Максимальное различие постоянных решеток для материалов входящих в гетероструктуру не должно превышать:

- а) 1 %;
- б) 0,1 %;
- в) 5 %;
- г) 8 %.

6. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом:

- а) композиционную;
- б) легированную;
- в) модулировано-легированную;
- г) во все перечисленные.

7. Какой из методов эпитаксии, позволяет получать качественную гетерограницу в гетеро- структурах:

- а) молекулярно – лучевая;
- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD);
- в) жидкостная;
- г) газовая.

8. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек:

- а) Франка- Ван дер Мерве (слоевой рост);
- б) Странского – Крастанова (промежуточный тип);
- в) Фольмера – Вебера (островковый рост);
- г) при всех перечисленных.

9. Как будет изменяться коэффициент прозрачности барьера D , при увеличении массы частицы, если ее энергия остается при этом постоянной

- а) уменьшится;
- б) увеличится;
- в) останется постоянным;
- г) может уменьшиться или увеличиться, в зависимости от заряда частицы.

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

- а) в плоскости Z ;
- б) в плоскостях X и Y ;
- в) в плоскостях Y и Z ;
- г) в плоскостях X и Z .

11. От чего зависит сопротивление баллистической квантовой проволоки?

- а) от сечения;
- б) от длины;
- в) не зависит от геометрических размеров и равно нулю;
- г) от сечения и длины.

12. Как измениться длина волны излучения светодиода, изготовленного на основе гетероструктуры с квантовыми ямами, при уменьшении их толщины:

- а) уменьшится;
- б) увеличится;
- в) останется постоянной;
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от материалов гетероструктуры.

13. Практическое применение целочисленного эффекта Холла

- а) эталон силы тока;
- б) эталон сопротивления;
- в) эталон напряжения;
- г) эталон заряда.

14. Как изменится поверхностная плотность квантовых точек при увеличении температуры подложки в процессе осаждения?

- а) увеличится;
- б) уменьшится;
- в) останется постоянной;
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от осаждаемых материалов.

15. Какой квантовый эффект лежит в основе работы оптических модуляторов?

- а) эффект Штарка;
- б) эффект Джозефсона;
- в) эффект Холла;
- г) эффект Зеемана.

16. Какой квантовый эффект лежит в основе работы сверхпроводящего квантового интерференционного датчика (СКВИД)?

- а) эффект Штарка;
- б) эффект Джозефсона;
- в) эффект Холла;
- г) эффект Ааронова – Бома.

17. Чем можно объяснить существование целочисленного эффекта Холла?

- а) квантовым ограничением;
- б) уровнями Ландау;
- в) туннельным эффектом;
- г) размерными уровнями.

18. От чего зависит число уровней в минizonaх сверхрешетки

- а) от толщины квантовых ям;
- б) от числа квантовых ям;
- в) от толщины барьеров;
- г) является постоянной величиной .

19. Какой из методов эпитаксии может быть использован при изготовлении транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ

- а) молекулярно – лучевая;
- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD);
- в) жидкостная;
- г) газовая.

20. Фуллерен состоит из атомов:

- а) кислорода;
- б) водорода;
- в) углерода.

6.5 Вопросы для подготовки к экзамену (тестовому коллоквиуму)

1) История и предпосылки использования термина «нанотехнология». Раскройте понятие «высокие технологии» применительно к промышленности в целом и микроэлектронике в частности.

2) Раскройте понятие микро- и наноэлектроники: характерные черты, тенденции развития, объем и номенклатура выпускаемой продукции. Приведите закон Мура.

3) Какие существуют факторы, влияющие на ограничения размеров элементов интегральных схем и возможные пути их преодоления?

4) Раскройте понятие планарно-эпитаксиальной технологии: особенности и характерные черты. Раскройте понятие основных и вспомогательных технологических операций.

5) Приведите классификацию операций планарно-эпитаксиальной технологии в зависимости от характера воздействия на используемые материалы, цели операции и конечного результата.

6) Каково назначение операций очистки в технологии микроэлектроники, типы загрязнений и их источники.

7) Приведите общую классификацию методов очистки подложек, их назначение и возможности. Преимущества и недостатки различных методов очистки подложек.

8) Что представляет собой жидкостная очистка подложек в технологии микроэлектроники: их назначение, возможности, преимущества и недо-

статки. Раскройте понятие полирующих, селективных и анизотропных травителей.

9) Приведите классификацию, возможности, преимущества и недостатки сухих методов обработки подложек при их очистке.

10) Что такое эпитаксиальное наращивание полупроводниковых слоев. Определение эпитаксиального наращивания слоев? Раскройте понятие гомоэпитаксии (автоэпитаксии), гетероэпитаксии, гетероэпитаксии.

11) Какова физико-химическая сущность газофазной эпитаксии, как классического примера гетерогенного процесса (рассмотреть стадии этого гетерогенного процесса и возможные лимитирующие стадии)? перечислите факторы, от которых зависит скорость роста эпитаксиального слоя и его качество.

12) Приведите обобщенную структурную схему установки газофазной эпитаксии, регламент работы этой установки. Перечислите основные блоки и их назначение.

13) Какова физико-химическая сущность процессов автолегирования при реализации газофазного наращивания эпитаксиальной пленки? Поясните назначение и способы легирования эпитаксиальной пленки. Каковы преимущества и недостатки автолегирования?

14) Что такое жидкофазная эпитаксия: определение, назначение, область применения, преимущества и недостатки?

15) Приведите общую классификацию, номенклатуру и назначение маскирующих, изолирующих и пассивирующих слоев, используемых в технологии микроэлектроники.

16) Каково назначение и примеры использования тонких пленок SiO_2 в технологии микроэлектроники? Приведите сравнительную характеристику этих пленок с другими типами тонких пленок, используемых для целей изоляции, маскирования и пассивации технологических слоев в технологии микроэлектроники.

17) Каково назначение и примеры использования тонких пленок Si_3N_4 в технологии микроэлектроники? Приведите сравнительную характеристику этих пленок с другими типами тонких пленок, используемых для целей изоляции, маскирования и пассивации технологических слоев в технологии микроэлектроники.

18) Каково назначение и примеры использования пленок и слоев поликристаллического кремния и карбида кремния в технологии микроэлектроники? Приведите сравнительную характеристику этих слоев с другими типами тонких пленок, используемых для целей изоляции, маскирования и пассивации технологических слоев в технологии микроэлектроники.

19) В чем заключается физико-химическая сущность термического окисления кремния для целей создания тонких пленок SiO_2 ? Физико-химические и кинетические особенности роста пленки в сухом и увлажненном кислороде. Преимущества и недостатки данных подходов. Промышленная реализация процесса получения пленок SiO_2 .

20) Какое используется оборудование для термического окисления кремния? Назначение основных функциональных блоков реакционной каме-

ры для окисления кремния и регламент работы этой установки. Конструкционные особенности и регламент работы однозонной диффузионной печи СДО-125/3 и автоматизированных диффузионных систем типа АДС-3-100(150) и АДС-6-100(150).

21) Назовите основные типы брака, получаемые при реализации технологического процесса термического окисления кремния и пути их устранения. Раскройте понятие температурного профиля термического окисления кремния.

22) Какова особенность термического окисления кремния при повышенном давлении и в галогенсодержащих средах? Перечислите преимущества и недостатки подобного проведения процесса с анализом свойств получаемых диэлектрических пленок.

23) Проведите анализ факторов, влияющих на скорость роста пленки окисла кремния при промышленной реализации технологического процесса: эффекты ориентации кристалла, эффекты концентрации легирующей примеси, повышенное давление, введение в реактор химически активных тяжелых частиц (HCl-O_2), наличие зарядов в окисле.

24) В чем заключается физико-химическая сущность пиролитического осаждения пленок SiO_2 ? Назовите преимущества и недостатки данного подхода по сравнению с термическим окислением кремния. Дайте сравнительную характеристику качества пленок, получаемых методом пиролитического осаждения по сравнению с другими методами.

25) Какое существует оборудование для пиролитического осаждения пленок SiO_2 на примере промышленной установки «ИЗОТРОН»? Назовите назначение конструкционных блоков установки «ИЗОТРОН» и регламент ее работы.

26) В чем заключается физико-химическая сущность плазмохимического осаждения пленок SiO_2 ? Назовите преимущества и недостатки данного подхода по сравнению с другими методами получения пленок SiO_2 . Дайте сравнительную характеристику качества пленок, получаемых методом плазмохимического осаждения по сравнению с другими методами.

27) Какое существует оборудование для плазмохимического осаждения пленок SiO_2 на примере промышленной установки УВП-2М (УВП-4АМ)? Назовите назначение конструкционных блоков установки УВП-2М (УВП-4АМ) и регламент ее работы.

28) Назовите свойства и назначение пленок «нитрида кремния», применяемых в технологии микроэлектроники. Расскажите о методах получения пленок нитрида кремния: прямое азотирование, пиролитическое осаждение, нитрирование галогенидов кремния. Каковы преимущества и недостатки этих методов при их промышленной реализации?

29) Какова структура и свойства поликристаллических пленок кремния, применяемых в технологии микроэлектроники? Проанализируйте возможные механизмы роста зерен поликристаллических пленок в процессе их нанесения или термообработки.

30) Какие существуют методы получения поликристаллических пленок кремния? Каково назначение, преимущества и недостатки этих методов при их промышленной реализации?

31) Раскройте понятие литографического процесса в технологии микроэлектроники. Определение, возможности литографии, достоинства и недостатки, стадии литографической обработки как последовательности основных и вспомогательных технологических операций.

32) Какая существует классификация литографических процессов: в зависимости от способа переноса изображения на подложку, в зависимости от типа используемого резиста, в зависимости от длины волны используемого излучения? Проведите анализ факторов, обуславливающих широкое использование литографии в планарно-эпитаксиальной технологии.

33) Каково назначение фоторезистов и их типы, применяемых в технологии изготовления различных типов микросхем и печатных плат? Функции, выполняемые фоторезистами в процессе фотолитографии?

34) В чем заключается физико-химическая сущность экспонирования и проявления различных типов фоторезистов? Дайте определение основных параметров фоторезистов: светочувствительность, разрешающая способность, кислотостойкость (фактор травления), адгезия к подложке, технологичность.

35) Назовите основные методы нанесения и сушки фоторезиста. Дайте сравнительную характеристику этих методов, области их применения в технологии микроэлектроники.

36) Назовите операции совмещения и экспонирования при реализации литографического процесса в технологии микроэлектроники. Каковы особенности этих операций и типы используемого оборудования?

37) Каково назначение и реализация операций сушки при проведении литографической обработки полупроводниковых пластин в технологии микроэлектроники? Особенности операций сушки при использовании в технологии различных типов фоторезистов.

38) Каково назначение и место операций травления в планарно-эпитаксиальной технологии формирования микроэлектронных структур? Анализ и обоснование целесообразности при выборе конкретного способа реализации операции травления в технологии микроэлектроники. Назовите преимущества и недостатки различных способов травления технологических слоев.

39) В чем заключается физико-химическая сущность химического травления технологических слоев в технологии микроэлектроники? Привести примеры технологических слоев и способы их жидкостного травления. Преимущества и недостатки жидкостной обработки подложек. Назовите основные параметрами режима травления, от которых зависят как его скорость и воспроизводимость размеров получаемых рельефов.

40) Приведите классификацию методов безжидкостного травления технологических слоев в технологии микро- и нанoeлектроники. Назовите преимущества и недостатки различных методов «сухой» обработки подложек.

41) Каково назначение и место операций плазмохимического травления различных материалов в технологии микроэлектроники? Назовите преимущества и недостатки плазмохимического травления технологических

слоев. Что представляют собой плазмообразующие газы, используемые в технологии?

42) Каково назначение и место лучевых технологий при обработке подложек в технологии микро- и нано- электроники? Какие существуют схемы реактивного ионно-лучевого и ионно-плазменного травления? В чем заключается физико-химическая сущность данных процессов?

43) Каково назначение и место лучевых технологий при обработке подложек в технологии микро- и наноэлектроники? Конструкции, назначение и принцип действия источника ионов с ВЧ индуктором и ионного источника Пеннинга.

44) Каково назначение и место лучевых технологий при обработке подложек в технологии микро- и наноэлектроники? Конструкции, назначение и принципы действия ионных источников Нильсена и Морозова.

45) Какие существуют способы удаления слоя фоторезиста с подложки: сравнительная характеристика различных способов с указанием последовательности операций, используемого оборудования и материалов (сырья)?

46) Раскройте понятие проекционной и контактной фотолитографии. Что такое оптические эффекты при фотолитографии? Какие возможны источники брака на операциях переноса изображения с фотошаблона на подложку?

47) Электронолитография: определение, особенности реализации, преимущества и недостатки по сравнению с фотолитографией. Назовите способы непосредственного формирования элементов изображения на полупроводниковых подложках с использованием электронолитографии.

48) Электронорезисты: их характеристики (чувствительность, контраст, разрешающая способность, плазмостойкость, температура стеклования, кроющая способность) и методы их контроля. Назовите механизмы экспонирования и проявления различных типов электронорезистов.

49) Какие существуют механизмы и закономерности реализации электронно-лучевой литографии? Зависимости формы клина проявления на различных по толщине слоях электронорезиста. Каково влияние эффекта близости при электронолитографии на возникновение брака?

50) Рентгенолитография: определение, особенности реализации, преимущества и недостатки по сравнению с фотолитографией и электронолитографией. Назовите способы переноса изображения с рентгеношаблона на рабочую площадь подложек. Что такое рентгенорезисты, их свойства и характеристики?

51) Технология изготовления рентгеношаблонов. Назовите требования, предъявляемые к рентгеношаблонам.

52) Дайте обобщенную характеристику оборудования для рентгенолитографии: блок схема установки, требования, предъявляемые оборудованию, основные конструкционные узлы.

53) Дайте характеристику методов, используемых в технологии микро- и нано- электроники, для создания в объеме полупроводниковой пластины участков с заданной величиной удельного сопротивления. Каковы преимущества, недостатки, характеристики и назначение различных методов?

54) Что такое высокотемпературная диффузия? Назначение и характеристика метода. Механизмы диффузии примеси в полупроводник. Каковы преимущества и недостатки метода?

55) Высокотемпературная диффузия. Назовите виды и источники легирующих примесей, используемые в современной технологии микроэлектроники. Каково назначение и классификация легирующей примеси?

56) Высокотемпературная диффузия. Приведите модели распределения примеси при диффузии. Использование данных моделей для качественного описания двухстадийного способа внедрения примеси в полупроводник за счет диффузионных процессов.

57) Назовите способы проведения двухстадийной высокотемпературной диффузии примеси в полупроводник. В чем заключается необходимость и целесообразность двухстадийной диффузии?

58) Дайте характеристику технологического оборудования для проведения диффузии в «открытой трубе». Какова специфика конструкционного оформления реактора в зависимости от типа используемого источника примеси?

59) Дайте характеристику технологического оборудования для проведения диффузии в замкнутом объеме (ампульный и бокс методы). В чем заключатся специфика конструкционного оформления реактора в зависимости от типа используемого источника примеси?

60) Дайте общую классификацию и назовите виды дефектов, возникающих при реализации высокотемпературной диффузии примеси в объем полупроводника и пути их устранения.

61) Ионное внедрение примеси в объем полупроводника. Каково назначение, возможности и области применения данной технологической операции? Назовите преимущества и недостатки ионного внедрения (имплантации, легирования) по сравнению с высокотемпературной диффузией.

62) Приведите классификацию оборудования для ионного внедрения примеси в объем полупроводника. Конструкционное оформление установок ионного внедрения (имплантации, легирования) и назначение отдельных блоков. Каковы требования к установкам в целом и их отдельным блокам?

63) Регламент установок ионного внедрения примеси в объем полупроводниковых пластин (материалов). Назовите требования к вакуумной системе и откачным системам установок ионного внедрения (имплантации, легирования).

64) Дайте характеристику современных технологий изготовления печатных плат: основные технологические операции, используемые материалы, система электрических и эксплуатационных параметров оценки качества печатных плат.

6.5 Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие для вузов / Г. И. Зебрев. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 241 с. — ISBN 978-5-00101-830-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/4585.html> (дата обращения: 30.08.2024).

2. Шишкин, Г. Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. — 5-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2024. — 409 с. — ISBN 978-5-93208-769-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/147062.html> (дата обращения: 30.08.2024).

3. Щука, А. А. Наноэлектроника : учебное пособие / А. А. Щука ; под редакцией А. С. Сигова. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2024. — 343 с. — ISBN 978-5-93208-768-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/144304.html> (дата обращения: 30.08.2024).

4. Галочкин, В. А. Введение в нанотехнологии и наноэлектронику : учебное пособие / В. А. Галочкин. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 200 с. — ISBN 978-5-9729-1338-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/133311.html> (дата обращения: 30.08.2024).

Дополнительная литература

1. Игнатов, А. Н. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011. — 410 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/55451.html> (дата обращения: 30.08.2024).

2. Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие для вузов / Г. И. Зебрев. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 241 с. — ISBN 978-5-00101-830-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/4585.html> (дата обращения: 30.08.2024).

3. Родионов, Ю. А. Технологические процессы в микро- и наноэлектронике : учебное пособие / Ю. А. Родионов. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 352 с. — ISBN 978-5-9729-0337-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86656.html> (дата обращения: 30.08.2024).

4. Патрушева, Т.Н. Сенсорика. Современные технологии микро- и наноэлектроники : учебное пособие для студентов вузов по направлению 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств" / Т.Н. Патрушева . —

Москва : ИНФРА-М ; Красноярск : СФУ, 2020 . — 260 с. (2 экз.)

5. Лозовский, В.Н. Нанотехнология в электронике : введение в специальность : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец.210601 - "Нанотехнология в электронике" / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский . — СПб. : Лань ; М. ; Краснодар, 2008 . — 328 с. (3 экз.)

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ : официальный сайт. — Алчевск. — URL: library.dstu.education. — Текст : электронный.

2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>. — Текст : электронный.

3. Консультант студента : электронно-библиотечная система. — Москва. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. — Текст : электронный.

4. Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red. — Текст : электронный.

5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Текст : электронный.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
<p>Специальные помещения: <i>Мультимедийная лекционная аудитория (48 посадочных мест), оборудованная проектором EPSON EMP-X5 (1 шт.); домашний кинотеатр НТ-475 (1 шт.); персональный компьютер, локальная сеть с выходом в Internet</i></p> <p>Аудитории для проведения практических занятий, для самостоятельной работы: <i>Лаборатория электронных устройств и аналоговой схемотехники (25 посадочных мест) для проведения практических занятий, для групповых и индивидуальных консультаций, для организации самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, оборудованная учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС</i></p> <p><i>Компьютерный класс (11 посадочных мест) для групповых и индивидуальных консультаций, организации самостоятельной работы, оборудованный учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС, доской маркерной магнитной</i></p>	<p>ауд. <u>206</u> корп. <u>3</u></p> <p>ауд. <u>213</u> корп. <u>3</u></p> <p>ауд. <u>207</u> корп. <u>3</u></p>

Лист согласования РПД

Разработали:

Доцент кафедры
электроники и радиофизики
(должность)


(подпись)

А.М. Афанасьев
Ф.И.О.)

Ст.преп. кафедры
электроники и радиофизики
(должность)


(подпись)

А.В. Еремина
Ф.И.О.)

И.о. заведующего кафедрой
электроники и радиофизики


(подпись)

А.М. Афанасьев
Ф.И.О.)

Протокол № 1 заседания кафедры
электроники и радиофизики

от 30.08.2024 г.

И.о. декана факультета
информационных технологий и
автоматизации производственных
процессов


(подпись)

В.В. Дьячкова
Ф.И.О.)

Согласовано

Председатель методической комиссии
по направлению подготовки 11.03.04
Электроника и наноэлектроника
(профиль подготовки
«Промышленная электроника»)


(подпись)

А.М. Афанасьев
Ф.И.О.)

Начальник учебно-методического центра


(подпись)

О.А. Коваленко
Ф.И.О.)

Лист изменений и дополнений

Номер изменения, дата внесения изменения, номер страницы для внесения изменений	
ДО ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:	ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ:
Основание:	
Подпись лица, ответственного за внесение изменений	