

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце: Карякин Андрей Виссарионович
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ
Дата подписания: 04.07.2025 11:33:09
Уникальный программный ключ:
2e905c9a64921ebc9b6e02a1d35ea145f7819874

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Новоуральский технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

УТВЕРЖДЕНА

Ученым советом НТИ НИЯУ МИФИ

Протокол № 4 от 30.08.2021 г.

Рабочая программа учебной дисциплины
«НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

Направление подготовки (специальность)	11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль подготовки (специализация)	Промышленная электроника
Квалификация (степень) выпускника	Бакалавр
Форма обучения	Очная

г. Новоуральск, 2021

Семестр	6
Трудоемкость, ЗЕТ	3 ЗЕТ
Трудоемкость, ч.	108 ч.
Аудиторные занятия, в т.ч.:	68 ч.
- лекции	34 ч.
- практические занятия	18 ч.
- лабораторные занятия	16 ч.
- курсовой проект (работа)	
Самостоятельная работа	13 ч.
Занятия в интерактивной форме	16 ч.
Форма итогового контроля	экзамен

Рабочую программу составил доцент кафедры «Промышленной электроники» Манькинн А.Н., к.т.н., доцент.

Содержание

1. Цели и задачи освоения дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Компетенции студента, формируемые в результате освоения учебной дисциплины/ожидаемые результаты образования и компетенции студента по завершении освоения программы дисциплины	5
4. Структура и содержание дисциплины	7
4.1 Структура дисциплины	7
4.2 Содержание лекционно-практических форм обучения	8
4.2.1. Лекции:	8
4.2.2. Практические занятия:	8
4.3. Лабораторные работы:	9
4.4 Примерные темы рефератов.....	9
5. Образовательные технологии	9
5.1 Самостоятельная работа.....	10
5.1.1 Промежуточный контроль успеваемости.....	10
5.1.1. Подготовка к тестам.....	10
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	10
6.1 Оценочные средства для аттестации по итогам освоения дисциплины	10
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	11
7.1. Литература:	11
7.2. Дополнительная литература.....	11
7.3 Электронные образовательные ресурсы:	11
7.3 Интернет-ресурсы.....	11
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	11

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Рабочая программа составлена в соответствии с Образовательным стандартом высшего образования Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», (квалификация (степень) «академический бакалавр»), утвержденный **Ученым советом** университета и **рабочим учебным планом (РУП)** по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль "Промышленная электроника", протокол № 13/06 от 07.11.2013 г.

Целью дисциплины является формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники и наноэлектроники.

В процессе освоения данной дисциплины студент способен и готов:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области наноэлектроники ;
- готовностью учитывать современные тенденции развития наноэлектроники, измерительной и вычислительной техники, в своей профессиональной деятельности ;
- способностью владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных ;
- готовностью организовывать метрологического обеспечение производства материалов и изделий электронной техники;
- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов наноэлектроники, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

Задачей дисциплины является.

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 образовательной программы

Дисциплина "Наноэлектроника" входит в состав цикла дисциплин по направлению подготовки ВПО 210100 "Электроника и наноэлектроника" профиля подготовки бакалавров "Промышленная электроника". Изучение дисциплины рекомендовано РУП осуществлять в шестом семестре 3 курса.

Предшествующий уровень образования – незаконченное высшее образование: 1,2 курсы вуза (НТИ НИЯУ "МИФИ").

Для успешного освоения курса и формирования и развития необходимых профессиональных компетенций будущего бакалавра у студента при получении предшествующего образования должны быть сформированы компетенции в результате изучения следующих дисциплин:

- Математика
- Физика

Знания, полученные при освоении дисциплины, необходимы для выполнения бакалаврской выпускной квалификационной работы.

3. Компетенции студента, формируемые в результате освоения учебной дисциплины/ожидаемые результаты образования и компетенции студента по завершении освоения программы дисциплины

В результате освоения студентом курса "Нанoeлектроника" должны быть сформированы общепрофессиональные и собственные профессиональные компетенции, необходимые для успешного выполнения всех видов профессиональной деятельности бакалавра профиля "Промышленная электроника":

- проектно-конструкторской;
- производственно-технологической;
- научно-исследовательской;
- организационно-управленческой;
- монтажно-наладочной;
- сервисно-эксплуатационной;
- специальной.

К таким компетенциям относятся:

общепрофессиональные компетенции:

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

собственные профессиональные компетенции:

ПСК-1 - способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения;

ПСК-3 – способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и нанoeлектроники;

ПСК-4 – способность оценивать физическую сущность процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях их эксплуатации для компонентной базы.

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- основные источники научно-технической информации по нанoeлектронике;
- физические основы нанoeлектроники;
- основы физики твердого тела: классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории;
- основы физики наноразмерных приборов: физические свойства систем с пониженной размерностью метод огибающей волновой функции для описания электронных состояний в гетероструктурах; квантовый целочисленный и дробный эффекты Холла; магнитные сверхрешетки и гигантское магнетосопротивление;
- принципы использования физических эффектов в твердом теле; в приборах и устройствах нанoeлектроники;
- принципы действия и методы расчета основных наноразмерных;
- основные методы и средства измерения параметров и характеристик наноразмерных приборов и методы их моделирования.

Уметь:

- учитывать современные тенденции развития нанoeлектроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности ;

- решать задачи обработки данных с помощью современных инструментальных средств;
- - применять методы и средства измерения физических параметров наноразмерных приборов;
- применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования наноразмерных приборов;
- оценивать целесообразность использования различных наноразмерных приборов в конкретных устройствах (схемах), разбираться в лазерах на квантовых ямах и точках; осуществлять выбор наноразмерных приборов в зависимости от требований к электрическим характеристикам, параметрам и условий эксплуатации устройств и элементов микроэлектронных устройств;
- выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физикоматематический аппарат; разбираться в магнитном и электростатическом эффектах Боме-Ааронова, выполнять квантование зонного электронного спектра, анализировать сверхрешетки и блоховские осцилляции.

Владеть:

- методами расчета характеристик наноэлектронных приборов, методами исследования физических свойств наноструктур, методами теоретического анализа физических процессов наноэлектроники;
- основными приемами обработки и представления экспериментальных данных;
- способностью строить простейшие физические и математические модели наноразмерных приборов, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик наноразмерных приборов;
- готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ П/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по разделам)
				лк	пр	лаб	сам.	
				5	3	7	8	9
1	Основные понятия нанoeлектроники	6	6	2	3		4	Опрос, тест
2	Нано-технологии	6	6	4	5		8	Опрос, тест,
3	Сканирующие электронные, туннельные и атомно - силовые микроскопы	21	6	4	5	18	12	Опрос, тест, защита лабораторной работы
4	Физические явления в гетероструктурах	6	6	2			8	Опрос
5	Резонансное туннелирование и туннельно-резонансные диоды	6	6	2	3		16	Опрос, тест, защита лабораторной работы,
6	Селективное легирование и полевые транзисторы на высокоподвижных электронах	6	6	2	3		4	Опрос, тест,
7	Квантовые компьютеры	6	6	2	3		4	Опрос, тест, защита 2 лабораторных работы
8	Перспективные направления развития нанoeлектронных приборов и устройств	5	6	2	3		4	Опрос, , Подготовка реферата
	Зачет	4	6	—	—	--	4	Презентация и защита реферата
	Итого:	144		20	34	18	72	

4.2 Содержание лекционно-практических форм обучения

4.2.1. Лекции:

1. Основные понятия

Физические ограничения микроминиатюризации интегральных элементов. Системы пониженной размерности. Мезоскопические структуры. Проявление волновых свойств в кинетических явлениях мезоскопических структур. Сверхрешетки и блоховские осцилляции. Особенности квантового транспорта носителей в двумерном электронном газе. Квантовый целочисленный и дробный эффекты Холла (дробные заряды и промежуточная статистика) в двумерном электронном газе. Квантовый эффект Холла (включая приборы на его основе). Сравнение квантового и классического эффекта Холла. Эталон сопротивления на основе квантового эффекта Холла. Датчики магнитного поля на основе классического и квантового эффекта Холла.

2. Нано-технологии

Нанолитография. Электронно-лучевая, ионная и зондовая литографии. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Принц-технология.

3. Сканирующие электронные, туннельные и атомно-силовые микроскопы

Принципы работы сканирующего электронного, туннельного и атомно-силового микроскопа. Использование туннельного микроскопа для получения структур с нанометровыми размерами. Высокорастворяющие электронной микроскопии, отражательной электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и сканирующей туннельной микроскопии для диагностики атомной структуры поверхностей, границ раздела и дефектов в полупроводниковых системах.

4. Физические явления в гетероструктурах

Квантование зонного электронного спектра. Метод огибающей волновой функции для описания электронных состояний в гетероструктурах. Приборные применения гетероструктур. Гетероструктуры как элементы оптоэлектроники. Лазеры на квантовых ямах и точках. Униполярные лазеры. Квантовые приборы на асимметричной системе квантовых ям.

5. Резонансное туннелирование и туннельно-резонансные диоды

Сравнение ВАХ, зонной диаграммы и принципов работы сверхрешетки, туннельного и туннельно-резонансного диодов. Принципы работы, ВАХ и высокочастотные свойства (эквивалентная схема) туннельно-резонансного диода.

6. Селективное легирование и полевые транзисторы на высокоподвижных электронах

Транзисторы на горячих электронах (НЕМТ-транзисторы).

7. Квантовые компьютеры

Понятие квантового бита. Время декогерентизации. Возможные конструкции квантового бита.

8. Перспективные направления развития нанoeлектронных приборов и устройств

4.2.2. Практические занятия

Практические занятия (семинары)

№ 1. Микроэлектроника и нанотехнологии. Трудоемкость 8 час.

- обсуждение современного состояния технологии интегральной электроники;
- требование электронной гигиены на современном полупроводниковом производстве;
- взаимосвязь степени интеграции ИМС и стоимости одного транзистора и всего чипа в целом;
- обсуждение проблемы масштабирования размеров элементов ИМС при переходе от «микро» к «нано»: ограничения и недостатки традиционных технологий;

- возможные квантовые ограничения миниатюризации элементов микросхем;
- структура затрат современной полупроводниковой фабрики по выпуску СБИС;
- оценка изменения физико-химических свойств вещества при масштабировании размеров от макро- к микро- и нано-;

- обсуждение причин отличий физико-химических свойств наночастиц и компактного вещества;

- современные методы исследования строения и химической природы веществ.

№2. Наноинформатика и квантовые компьютеры. Микро- и нано-механические системы. Трудоемкость 10 час.

- оценка энергетической структуры квантовых ям и точек;
- оценка вероятности туннелирования электронов;
- квантовые эффекты в наноструктурах: одноэлектронное туннелирование, транспортный эффект Ааронова-Бома;
- принцип работы квантовых приборов наноэлектроники: квантового вентиля, квантового интерферометра, квантового каскадного лазера.
- принцип работы квантовых полевых транзисторов, транзисторов с резонансным туннелированием;
- технологии получения пористого кремний и оксида алюминия.
- обсуждение принципа работы квантового компьютера

4.3. Лабораторные работы:

1. Изучение принципа работы сканирующего туннельного микроскопа.
2. Использование туннельного микроскопа для получения структур с нанометровыми размерами
3. Изучение принципа работы сканирующего атомно-силового микроскопа.
4. Использование атомно-силового микроскопа для получения структур с нанометровыми размерами.

4.4 Примерные темы рефератов:

1. Нанотехнологии. От алхимии к химии и дальше.
2. Развитие в России работ в области нанотехнологий.
3. Химические методы получения наночастиц.
4. "Самосборка" в нанотехнологиях.
5. Принципы манипуляции атомами и молекулами.
6. Электронные элементы на основе углеродных нанотрубок.
7. Нанокompозиты и нанопористые материалы.
8. Биологические наномоторы.
9. Естественное наноструктурирование.
10. Одноэлектроника.
11. Ричард Фейнман – пророк нанотехнологической революции.
12. Прогноз развития нанотехнологий до 2050 г.

5. Образовательные технологии

При реализации программы дисциплины «Наноэлектроника» используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия (72 часа) проводятся в форме лекций, практических занятий, лабораторных работ. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса применяются тестовые технологии: на кафедре формируется специальный банк КИМ в электронном формате.

Самостоятельная работа студентов (72 часов) подразумевает под собой рассмотрение учебного лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам, к практическим занятиям, выполнение лабораторных работ, написание реферата. Виды самостоятельной работы и их трудоемкость подробнее описаны в п. 5.1.

Для повышения уровня знаний студентов по курсу «Наноэлектроника» в течение семестра организуются консультации преподавателей (согласно графику консультаций кафедры промышленной электроники на осенний семестр). Во время консультационных занятий:

- проводится объяснение непонятных для студентов разделов теоретического курса;
- разъясняются алгоритмы решения задач индивидуальных домашних заданий;
- принимаются задолженности по тестовым и контрольным работам;

5.1 Самостоятельная работа – 72 часов

5.1.1 Промежуточный контроль успеваемости

5.1.1.1 Подготовка к тестам

Сроки проведения аудиторных контрольных мероприятий указаны в календарном плане курса.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Оценочные средства для аттестации по итогам освоения дисциплины

Итоговый контроль по окончании освоения дисциплины «Наноэлектроника» проводится в форме зачета с оценкой.

Критерии для получения допуска к зачету:

- посещение не менее 85% лекционных занятий с предоставлением конспекта материала лекций по темам пропущенных занятий;
- успешное выполнение тестовых заданий Т1-Т10 (не менее 85% правильных ответов в связи с небольшим количеством вопросов);
- защита лабораторных работ.
- защита реферата;

Если студент в течение семестра пропускает более 20 % аудиторных занятий без уважительной причины, то он допускается к экзамену после сдачи всех контрольных заданий и выполнении дополнительной контрольной (тестовой) работы (написание работы проводится во время консультационных занятий).

В течение весенней сессии студенты 3 курса сдают зачет в устной форме. Варианты вопросов приводятся в УМК дисциплины. Билет включает в себя два теоретических вопроса по различным разделам.

Если студент показал знание основных понятий наноэлектроники, продемонстрировал приобретенные навыки, он получает положительную оценку.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Литература:

1. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин Основы наноэлектроники Новосибирск, 2006. 496 с. 287
2. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике Новосибирск 2004. 367 с.
3. Нанотехнология. Физика. Процессы. Диагностика. Приборы. М. Физматлит. 2006. 550 с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Мир электроники. Нано и микросистемная техника Сборник статей. Ред. П.П.Мальцев Техносфера М.2005 589 с.
2. Наноэлектроника : учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009 . – 223 с.
3. Лозовский В.Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность: учебное пособие/ В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова. - 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2008. - 336 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. / В.К. Неволин. – 2-е изд., испр. и дополненное. – М.: Техносфера, 2006. – 160с
5. Нанотехнологии в электронике/ под ред. Ю.А. Чаплыгина– М.: Техносфера. 2005. – 448с.

7.3. Электронные образовательные ресурсы:

- а) лицензионное программное обеспечение и Интернет-ресурсы: MathCAD, MATLAB, P-SPICE

7.4 Интернет-ресурсы

- 7.4.1 <http://www.informika.ru/projects/infotech/window/> - Федеральный портал "Единое окно доступа к образовательным ресурсам", полнотекстовая библиотека.
- 7.4.2 <http://www.twirpx.com/> - сайт «Все для студента»
- 7.4.3 <http://www.elibrary.ru>
- 7.4.4 ЭБС IQlib. ru
- 7.4.5 <http://www.nsti.ru>
- 7.4.6 studentbank.ru
- 7.4.7 window.edu.ru

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Специализированная учебная лаборатория, макеты лабораторных работ, демонстрационные приборы.

Автор _____ Маныкин А.Н. к.т.н., доцент
Рецензент(ы) _____

Программа одобрена на заседании кафедры ПЭ

от 28.01.2013 года, протокол № 5

Дополнения и изменения в рабочей программе

на 201__/201__уч. год

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПЭ

«___»_____201__г.

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент _____ Г.С. Зиновьев

Внесенные изменения утверждаю

Заместитель руководителя по учебной работе

_____ Г.С. Зиновьев

«___»_____201__г.

Программа действительна

на 201 / уч. год _____ (зав. кафедрой ПЭ)

на 201 / уч. год _____ (зав. кафедрой ПЭ)

на 201 / уч. год _____ (зав. кафедрой ПЭ)

на 201 / уч.год _____ (зав. кафедрой ПЭ)

на 201 / уч.год _____ (зав. кафедрой ПЭ)