

Государственное образовательное учреждение

«Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»

Физико-технический институт

Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Директор физико-технического института

Д.Н. Калошин

(подпись) (ФИО)

2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

на 2023 / 2024 учебный год

Направление подготовки

2.11.03.04 «ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

Профиль подготовки

«Промышленная электроника»

Квалификация выпускника

«бакалавр»

Форма обучения

очная

Год набора 2020

Тирасполь 2023 г.

1

Рабочая программа дисциплины «Нанoeлектроника» разработана в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» и основной профессиональной образовательной программы по профилю подготовки «Промышленная электроника».

Составитель рабочей программы

доцент кафедры ФФЭСС Чукита В.И.
(должность, ученое звание, степень) (подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры «фундаментальной физики, электроники и систем связи»

« 31 » 08 2023 г. протокол № 1
номер протокола

Зав. кафедры-разработчика

« 31 » 08 2023 г. Берил С.И.
дата подпись (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей кафедрой

« 31 » 08 2023 г. Берил С.И.
дата подпись (Ф.И.О.)

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Нанозлектроника» являются:

изучение принципов и квантовых эффектов, лежащих в основе функционирования наноразмерных полупроводниковых приборов и устройств. Рассмотрение явлений переноса заряда в наноразмерных структурах и изучение новых эффектов, возникающих в таких структурах. На основе изученных квантовых эффектов и волновых свойств электрона изучение полупроводниковых приборов.

Задачи освоения дисциплины «Нанозлектроника» являются:

- изучение квантовых явлений в наноразмерных структурах;
- изучение природы потенциальных барьеров, используемых для создания низкоразмерных структур;
- структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем;
- модуляционно-легированные и дельта-легированные структуры;
- структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем;
- изучение переноса носителей заряда в низкоразмерных структурах;
- изучение приборов на основе низкоразмерных структур.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Нанозлектроника» относится к обязательным дисциплинам части блока Б1.О.18. по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанозлектроника», профиль «Промышленная электроника». На изучение дисциплины выделено один семестр 3 зачётных единицы.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Категория компетенций	Код и наименование	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции
Универсальные компетенции выпускников и индикаторы их достижения		
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	ИД-1 _{ук.1} Знает: методы критического анализа; основные принципы критического анализа. ИД-2 _{ук.1} Умеет: получать новые знания на основе анализа, синтеза и др.; собирать данные, относящиеся к профессиональной области; осуществлять поиск информации и решений на основе действий, эксперимента и опыта. ИД-3 _{ук.1} Владеет: исследованием проблемы профессиональной деятельности с применением анализа; синтеза и других методов интеллектуальной деятельности; методами для решения научных проблем и возникающих проблемных профессиональных ситуаций
Разработка и реализация	УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющих	ИД-1 _{ук.2} Знает: принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе ИД-2 _{ук.2} Умеет: обосновывать практическую и теоретическую

проектов	ресурсов и ограничений.	значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; анализировать проектную документацию; рассчитывать качественные и количественные результаты, сроки выполнения проектной работы ИД-3 _{ук.2} Владеет методами реализации проекта в профессиональной области, организацией проведения профессионального обсуждения проекта, участием в ведении проектной документации; проектированием план графика реализации проекта; определением требований к результатам реализации проекта, участием в научных дискуссиях и круглых столах
Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения		
Исследовательская деятельность	ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.	ИД-1 _{оик.2} Знает методы синтеза и исследования моделей ИД-2 _{оик.2} Умеет адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования ИД-3 _{оик.2} Владеет навыками методологического анализа научного исследования и его результатов
Владение информационными технологиями	ОПК-3 Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	ИД-1 _{оик.3} Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности ИД-2 _{оик.3} Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности ИД-3 _{оик.3} Владеет методами математического моделирования радиотехнических устройств и систем, технологических процессов с использованием современных информационных технологий
Обязательные профессиональные компетенции и индикаторы их достижения		
	ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные	ИД-1 _{пк.1} Умеет строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков ИД-2 _{пк.1} Владеет навыками компьютерного моделирования.

	программные средства их компьютерного моделирования.	
	ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.	ИД-1 _{пк.2} Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков ИД-2 _{пк.2} Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов
	ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ИД-1 _{пк.3} Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов ИД-2 _{пк.3} Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов ИД-3 _{пк.3} Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости в з.е./часах по видам аудиторной и самостоятельной работы студентов по семестрам:

Семестр	Трудоемкость, з.е./часы	Количество часов					Итоговая форма контроля
		В том числе					
		Аудиторных			Сам. работы		
Всего	Лекций	Лаб. раб.	Практ. занятия				
8	3/108	72	36	18	18	36	Зачет с оценкой
Итого:	3/108	72	36	18	18	36	Зачет с оценкой

4.2. Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины:

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеауд. работа (СР)
			Л	ПЗ	ЛР	
1.	Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах	14	8	2	2	2
2.	Элементы низкоразмерных структур	10	6			4
3.	Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем	20	6	4	4	6
4.	Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем	16	4	2	2	8
5.	Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров	22	6	4	4	8

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеауд. работа (СР)
			Л	ПЗ	ЛР	
6.	Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры	26	6	6	6	8
Итого:		108	36	18	18	36

4.3 Тематический план по видам учебной деятельности:
Лекционные занятия

№ п/п	Номер раздела дисц.	Объем м.ч.	Тема лекционного занятия	Учебно-нагл. пособия
Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах				
1	1	2	Квантовое ограничение	учебник
		2	Баллистический транспорт носителей заряда	учебник
		2	Туннелирование носителей заряда	учебник
		2	Спиновые эффекты	учебник
Итого по разд. ч.		8		
Элементы низкоразмерных структур				
3	2	2	Свободная поверхность и межфазные границы	учебник
		2	Сверхрешетки	учебник
		2	Моделирование атомных конфигураций	учебник
Итого по разд. ч.		6		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем				
5	3	2	Квантовые колодцы	учебник
		2	Модуляционно-легированные структуры	учебник
		2	Дельта-легированные структуры	учебник
Итого по разд. ч.		6		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем				
7	4	2	Структуры металл/диэлектрик/полупроводник.	учебник
8		2	Структуры с расщепленным затвором	учебник
Итого по разд. ч.		4		
Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров				
9	5	2	Вольт-амперные характеристики низкоразмерных структур	учебник
		2	Квантовый эффект Холла	учебник
		2	Электронные приборы на основе интерференционных эффектов и баллистического транспорта носителей заряда	учебник
Итого по разд. ч.		6		
Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры				
11	6	2	Одноэлектронное туннелирование	учебник
		2	Приборы на основе одноэлектронного туннелирования	учебник
		2	Резонансное туннелирование	учебник
Итого по разд. ч.		6		
Итого:		36		

Практические занятия

№ п/п	Номер раздела дисц.	Объем м.ч.	Тема практического занятия	Учебно-нагл. пособия
Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах				
1	1	2	Расчет низкоразмерных структур	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		2		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем				
2	3	2	Расчет распределения электронов в квантовом колодце	Метод. пособие
3		2	Расчет скорости самоорганизации кристаллитов	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		4		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем				
4	4	2	Расчет плотности электронных состояний в двумерном электронном газе.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		2		
Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров				
5	5	2	Расчет ВАХ двухбарьерной одноэлектронной структуры.	Метод. пособие
6		2	Расчет энергетического положения резонансных уровней.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		4		
Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры				
7	6	2	Расчет величины гигантского магнитосопротивления.	Метод. пособие
8		4	Расчет коэффициента прохождения для электронов с разным спином.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		6		
Итого:		18		

Лабораторные занятия

№ п/п	Номер раздела дисц.	Объем м.ч.	Тема лабораторного занятия	Учебно-наглядные пособия
Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах				
1	1	2	Исследование низкоразмерных структур.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		2		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем				
2	3	2	Анализ распределения электронов в квантовом колодце	Метод. пособие
3		2	Исследование скорости самоорганизации кристаллитов	Метод. пособие
Итого по разд. часов		4		
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем				
4	4	2	Анализ плотности электронных состояний в двумерном электронном газе.	Метод. пособие

Итого по разд. ч.		2		
Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров				
5	5	2	Анализ ВАХ двухбарьерной одноэлектронной структуры.	Метод. пособие
6		2	Анализ энергетического положения резонансных уровней.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		4		
Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры				
7	6	2	Исследование гигантского магнитосопротивления.	Метод. пособие
8		4	Анализ коэффициентов прохождения для электронов с разным спином.	Метод. пособие
Итого по разд. ч.		6		
Итого:		18		

Самостоятельная работа студента

Раздел дисц.	№ п/п	Тема и вид СРС	Трудоемкость (в часах)
Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах			
Раздел 1	1	Квантовые точки, квантовые шнуры. ДЗ	2
Итого по разд. ч.			2
Элементы низкоразмерных структур			
Раздел 2	2	Свободная поверхность твердого тела. Межфазные границы. ДЗ	2
	3	Правило Вегарда. СИТ.	2
Итого по разд. ч.			4
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем			
Раздел 3	4	Правило Андерсона. СИТ	2
	5	МОП структуры полевого транзистора. ИДЛ, ПЛР	4
Итого по разд. ч.			6
Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем			
Раздел 4	6	Поверхностная топология структуры с расщепленным затвором. СИТ.	8
Итого по разд. ч.			8
Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров			
Раздел 5	7	Магнитный эффект Ааронова-Бома. СИТ.	4
	8	Формализм Ландауэра-Бюттикера. ДЗ.	4
Итого по разд. ч.			8
Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры			
Раздел 6	9	Структура одноэлектронного транзистора. СИТ.	4
	10	Одноэлектронная ловушка. СИТ.	4
Итого по разд. ч.			8
Итого			36

Примечание: СИТ – самостоятельное изучение темы, ИДЛ – изучение дополнительной литературы. ДЗ – домашнее задание, ПЛР – подготовка к лабораторным работам

5. *Примерная тематика курсовых проектов (работ):* Курсовые работы по данной дисциплине не запланированы

6. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

6.1. *Обеспеченность обучающихся учебниками, учебными пособиями*

№ п/п	Наименование учебника, учебного пособия	Автор	Год издания	Кол-во экземпляров	Электронная версия	Место размещения электронной версии
Основная литература						
1	Нанoeлектроника теория и практика	В.Е. Борисенко.	2013	1	+	https://e.lanbook.com/book/8992 , кафедра
2.	Нанoeлектроника элементы приборов устройства	Шишки Г.Г.	2020	1	+	biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275824 , кафедра
3.	Нанoeлектроника	Шука А. А., Сигов А.С.	2020	1	+	http://anubis.bsu.by/publications/elresource/RadiophysicsElectronics/pilipenko.pdf , кафедра
Дополнительная литература						
1.	Материалы и методы нанотехнологии.	Старостин В.В.	2010	1	+	http://www.ustu.ru , кафедра
2.	Основы нанoeлектроники	Драгунов В.П.	2006	1	+	http://www.toehelp.com.ua , http://booktech.ru/books/elektrotehnika , кафедра
Итого по дисциплине: 90% печатных изданий; 100 % электронных						

6.2. *Программное обеспечение и Интернет – ресурсы*

Программное обеспечение: программа подготовки бакалавра включает в себя учебный план, рабочую программу курса, календарный учебный график и методические материалы.

Интернет-ресурсы: базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Rambler.ru, Yandex.ru, Google.com.ru, Nigma.ru, Wikipedia.ru. Программная среда Comsol Multiphysics.

7. *Материально-техническое обеспечение дисциплины:*

Занятия проводятся в лаборатории «Твердотельной электроники» (2 корпус, лаб. 209/2), которая оснащена необходимым оборудованием для проведения лабораторных и практических занятий. Для проведения лабораторных работ используются лабораторные стенды «СФП – 5», программная среда Comsol Multiphysics.

8. *Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:*

Курс предполагает изложить фундаментальные физические эффекты и электронные процессы, характерные для наноразмерных структур. Материал лекций базируется на действующей нормативно - технической документации и рекомендациях международных организаций в области нанoeлектроники.

Содержание методических рекомендаций включает:

- рекомендации по ведению конспекта лекций с выделением формул и пояснением к ним;
- рекомендации по отображению схем, диаграмм, графиков;

- советы по планированию и организации самостоятельной работы при изучении дисциплины;
- перечень тем, на которые необходимо обратить особое внимание;
- перечень тем и вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, с рекомендациями по использованию учебно-методических материалов и видах контроля;
- рекомендации по использованию учебно-методических материалов по дисциплине: рекомендации по работе с литературой;
- рекомендации по подготовке к выполнению лабораторных работ и оформлению отчетов по выполненной работе;
- советы по подготовке к зачету с оценкой.

9. Технологическая карта дисциплины

Курс 4, группа ФМ 20ДР62МТ1 (413), семестр 8

Преподаватель, ведущий лекционные занятия - *доцент Чукина В.И.*

Преподаватель, ведущий лабораторные и практические занятия - *доцент Чукина В.И.*

Кафедра «*фундаментальной физики, электроники и систем связи*»

Семестр	Трудоемкость, з.е./часы	Количество часов				Самост. работы	Форма итогового контроля
		В том числе					
		Аудиторных			Самост. работы		
Всего	Лекций	Лаб. раб.	Практич. зан.				
8	3/108	72	36	18	18	36	Зачет с оценкой
Итого	3/108	72	36	18	18	36	Зачет с оценкой

Форма текущей консультации	Расшифровка	Мин. количество баллов	Макс. количество баллов
Посещение и работа на лекционных занятиях	Рассч. согласно прил. 1	0	10
Выполнение и защита лабораторных работ	Рассч. согласно прил. 2. За каждую лаб. работу 4 балла	0	44
Посещение и работа на практических занятиях	За каждую работу на практический занятиях 1балл		9
Контрольная работа		0	7
Итого кол. баллов по тек. аттестации		45	70
Промежуточная аттестация	Зачет с оценкой	10	30
Итого по дисциплине		55	100

Приложение 1

Начисление баллов по результатам посещения лекций*

Процент посещенных лекций	Начисляемые баллы
0-49%	0 баллов
50-54%	1 балл
55-59%	2 балла
60-64%	3 балла
65-69%	4 балла
70-74%	5 баллов
75-79%	6 баллов
80-84%	7 баллов
85-89%	8 баллов
90-94%	9 баллов
95-100%	10 баллов

*В случае посещения студентом менее чем 85% лекций, предусмотренных учебной программой по дисциплине, для получения рейтингового балла, начисляемого по данному критерию, студент обязан предоставить преподавателю конспект пропущенных лекций.

Приложение 2

Начисление баллов по рейтингу текущей успеваемости на лабораторных занятиях*

Средняя оценка, полученная на занятиях	Начисляемые баллы
3	1балл
3,5	2 балла
4	3 балла
4,5	3,5 баллов
5	4 балла

*В случае посещения студентом менее чем 85% практических занятий, предусмотренных учебной программой по дисциплине, для получения рейтингового балла, начисляемого по данному критерию, студент обязан отработать, пропущенные по уважительной или по неуважительной причине занятия в течение семестра в установленном порядке.