

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О. И. Чуприс
(подпись) (И.О.Фамилия)
21 июня 2018 г.
(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 5452/уч.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй
ступени (магистратуры):

1-31 80 08 Физическая электроника

2018 г.

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

_____ О. И. Чуприс
(подпись) (И.О.Фамилия)

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-_____/уч.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй
ступени (магистратуры):**

1-31 80 08 Физическая электроника

2018 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 08-2012 г. и учебного плана G-31-285/уч от 26.05.2017 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

О. Г. Жевняк, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 22.05 2018 г.);

Учебно-методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 19.06 2018 г).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Вычислительная микро- и наноэлектроника» разработана для студентов второй ступени высшего образования (магистратуры) специальности 1-31 80 08 Физическая электроника

Место. Дисциплина входит в цикл дисциплин специальной подготовки компонента учреждения высшего образования и относится к дисциплинам по выбору.

Взаимосвязь. Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания в объеме курса общей физики, физики полупроводников и полупроводниковых приборов, квантовой механики первой ступени высшего образования.

Целью изучения дисциплины является рассмотрение вопросов численного моделирования электронного переноса и электронных состояний в структурах микро- и наноэлектроники.

Задачи дисциплины:

- ознакомление магистрантов с физическими явлениями и описывающими их уравнениями, лежащими в основе создания и функционирования микро- и наноструктур;
- численное моделирование электронных явлений в структурах с нанометровыми размерами с учетом квантовых эффектов.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

знать:

- основные уравнения, описывающие протекание физических процессов переноса в структурах микро- и наноэлектроники;
- основные особенности квантования энергии электронов и электронного переноса в проводящих каналах полупроводниковых структур в низкоразмерных условиях;

уметь:

- проводить анализ физических процессов, протекающих в структурах микро- и наноэлектроники;
- оценивать влияние различных конструктивно-технологических параметров на электронные состояния и их перенос в структурах с нанометровыми размерами элементов;

владеть:

- методами теоретических расчётов и компьютерного моделирования электронных свойств и характеристик в условиях размерного ограничения движения электронов.

Освоение программы по учебной дисциплине «Вычислительная микро- и наноэлектроника» должно обеспечить формирование следующих **компетенций:**

Академические:

- АК-1. Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности (анализ, сопоставление, систематизация, абстрагирование

моделирование, проверка достоверности данных, применение решений), готовность генерировать и использовать новые идеи.

- АК-2. Методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие решение задач научно-исследовательской, научно-педагогической, организационно-управленческой и инновационной деятельности.

Социально-личностные:

- СЛК-1. Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности.

- СЛК-3. Формировать и аргументировать собственные суждения и профессиональную позицию.

- СЛК-4. Анализировать и принимать решения по социальным, этическим, научным и техническим проблемам, возникающим в профессиональной деятельности.

Профессиональные:

- ПК-1. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.

- ПК-2. Разрабатывать и совершенствовать методы исследования с применением сенсорных устройств.

- ПК-3. Осуществлять постановку и проведение теоретических и экспериментальных исследований

- ПК-4. Проводить математическое моделирование простейших сенсорных систем.

- ПК-6. Обосновывать достоверность полученных научных результатов.

- ПК-7. Формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.

Программа дисциплины рассчитана на 124 часа, из них – 50 часов аудиторных. Распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций – 20 часов, лабораторных работ – 30 часов.

Дисциплина «Вычислительная микро- и наноэлектроника» изучается студентами дневной формы получения высшего образования **второй ступени (магистратуры)** в 3-ом семестре.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме зачета по лекционному курсу и лабораторному практикуму.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Цели и задачи курса. Аналитическое и численное решение уравнений микро- и наноэлектроники.

Тема 2. Дифференциальные уравнения в микро- и наноэлектронике и методы их решения. Уравнения колебаний, уравнение Пуассона, уравнение диффузии, уравнение Шредингера.

Тема 3. Системы дифференциальных уравнений в электронике и методы их решения. Системы дифференциальных уравнений первого и второго порядков. Движение электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Случаи с нулевыми и средними значениями скорости.

Тема 4. Реккурентные уравнения в микро- и наноэлектронике и методы их решения. Решение трансцендентных уравнений. Однородные и неоднородные реккурентные уравнения. Квазилинейные уравнения. Системы уравнений.

Тема 5. Моделирование диффузионных процессов в микроэлектронике. Основное уравнение диффузии. Коэффициент диффузии. Случаи диффузии примеси в подложку структур микроэлектроники с ограниченным и неограниченным источниками.

Тема 6. Моделирование процесса теплопереноса в микроэлектронике. Уравнение теплопереноса. Методы его решения. Численное решение уравнения теплопереноса.

Тема 7. Расчет электронных состояний в квантовых ямах. Квантовые ямы прямоугольной формы бесконечной и конечной глубины. Гармонический осциллятор. Квантовые ямы треугольной формы.

Тема 8. Численное решение уравнения Шредингера для квантовых ям произвольной формы. Методы численного решения уравнения Шредингера. Численное решение уравнения Шредингера для ям треугольной формы.

Тема 9. Туннелирование электронов через потенциальные барьеры. Барьеры прямоугольной, ступенчатой и треугольной формы. Двухбарьерные структуры.

Тема 10. Моделирование процесса туннелирования через потенциальные барьеры треугольной формы. Моделирование симметричных и несимметричных барьеров. Моделирование элемента флеш-памяти.

Тема 11. Метод Монте-Карло моделирования электронных процессов в структурах микро- и наноэлектроники. Моделирование времени свободного пробега. Моделирование процесса рассеяния. Особенности моделирования переноса в низкоразмерных условиях.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	ВВЕДЕНИЕ (1 ч)	1					[2], [3], [7]	
2.	ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ (2 ч)	2					[1], [2], [3], [4], [6]	Устный опрос
3.	СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ(8 ч)	2		6			[1], [2], [3], [4], [5], [6]	Устный опрос Отчет по лабораторной работе
4.	РЕККУРЕНТНЫЕ УРАВНЕНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ (2 ч)	2					[3], [4], [5]	Устный опрос
5.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ (8 ч)	2		6			[3], [4], [7], [8]	Устный опрос Отчет по лабораторной работе
6.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ (1 ч)	1					[1], [2], [3], [4], [6]	Устный опрос
7.	РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ (8 ч)	2	-	6	-		[1], [2], [3], [4], [6]	Устный опрос Отчет по лабораторной работе
8.	ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ЯМ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ (8 ч)	2		6			[3], [4], [7], [8]	Устный опрос Отчет по лабораторной работе

9.	ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БАБЕРЫ (2 ч)	2					[3], [4], [7], [8]	Устный опрос
10.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУННЕЛИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ (8 ч)	2		6			[1], [8]	Устный опрос Отчет по лабораторной работе
11.	МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СТРУКТУРАХ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ (2 ч)	2						Аудиторный тест
	Итого	20		30				

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Драгунов, В. П. Основы наноэлектроники / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. М.: Университетская книга, Логос, Физматкнига, 2006. 496 с.
2. Мартинес-Дуарт, Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Пальма, Ф. Агулло-Руелла. М.: Техносфера, 2007. 368 с.
3. Федоренко, Р. П. Введение в вычислительную физику: Учебное пособие: Для вузов / Р. П. Федоренко. М.: Изд-во МФТИ, 1994. 528 с.
4. Бахвалов, Н. С. Численные методы. Решения задач и упражнения: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2009. 393 с.

Дополнительная литература

5. Мулярчик, С. Г. Вычислительная электроника: Конспект лекций / С. Г. Мулярчик. Мн: БГУ, 2007. 148 с.
6. Щука, А. А. Наноэлектроника / А. А. Щука. М.: Физматкнига, 2007. 464 с.
7. Кунин, С. Вычислительная физика / С. Кунин. М.: Мир, 1992. 518 с.
8. Демидович Б. П. Математические основы квантовой механики: Учебное пособие / Б. П. Демидович. СПб.: Лань, 2005. 200 с.

Список компьютерных программ

1. MATLAB.

Перечень лабораторных занятий

1. Моделирование переноса электронов в электрических и магнитных полях в структурах микроэлектроники.
2. Моделирование диффузии примеси в подложку МОП-транзисторов.
3. Расчет квантовых состояний в ямах треугольной формы.
4. Численное решение уравнения Шредингера для ям произвольной формы.
5. Моделирование процесса туннелирования через потенциальные барьеры треугольной формы.

Выполнение лабораторных работ

В лабораторном практикуме по дисциплине «Физические основы нанотехнологий» запланировано проведение натурных экспериментов по изучению физических свойств наноматериалов и характеристик структур на

их основе с различными по сложности стендовыми измерениями. Кроме того необходимым условием глубокого понимания и усвоения изучаемого материала является проведение студентами компьютерного моделирования, решение компьютерных задач (апплетов) с использованием современных программных комплексов интерактивного исследования и изучения характеристик как полупроводниковых материалов, так и приборов на их основе.

Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ будет осуществляться путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента, номер группы.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Название выполняемого пункта задания.
6. Блок-схему исследования (где это применимо) с необходимыми пояснениями.
7. Таблицы рассчитанных и экспериментальных зависимостей в виде удобном для анализа.
8. Графические зависимости рассчитанных и экспериментальных данных с нанесенными точками и выполненные на одном рисунке для каждого случая.
9. Обсуждение полученных результатов, оценки величин и зависимостей, выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторной работе студентам будет проводиться в форме индивидуального собеседования и тестирования.

Перечень средств диагностики

Основным средством диагностики усвоения знаний и овладения необходимыми умениями и навыками по дисциплине «Физические основы нанотехнологий» является письменная работа в виде аудиторного тестирования, подготовка отчетов по лабораторным работам с последующим индивидуальным собеседованием и тестированием по ним, подготовка рефератов, контрольные опросы на лекциях, консультации.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29.05.2012 г.)
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.).
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Лазерные и ионно-плазменные технологии	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	нет	Изменений не требуется Прот. №11 от 22.05.2018 г.

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической электроники и нанотехнологий
(протокол № ____ от _____ 201__ г.)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(И.О.Фамилия)