

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Моделирование и проектирование микро- и наносистем»**

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль): твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения: очная

Нижний Новгород, 2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Моделирование и проектирование микро- и наносистем» относится к дисциплинам по выбору формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. Данная дисциплина преподаётся в восьмом семестре.

Для усвоения курса необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Физика» (общий курс), «Математическая физика», «Физические основы электроники», «Схемотехника», «СВЧ-электроника», «Технология создания электронной компонентной базы». Всестороннее овладение данной дисциплиной является важным условием для полноценной профессиональной подготовки по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

Целью дисциплины «Моделирование и проектирование микро- и наносистем» (в т.ч. САПР) является освоение студентами современных методов моделирования наноструктур и средств проектирования интегральных схем.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2. Способен строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования, проектирования и конструирования	ПК-2.1. Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов ПК-2.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения ПК-2.3. Использует стандартные программные средства компьютерного моделирования и проектирования	Знать принципы проектирования комбинационных и последовательностных логических схем Уметь составлять описание логических схем на языках описания аппаратуры Владеть навыками синтеза логических схем в программе Quartus.	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект заданий к лабораторному практикуму.

3. Структура и содержание дисциплины «Моделирование и проектирование микро- и наносистем»

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	26
- занятия семинарского типа	26
-контроль самостоятельной работы	1
самостоятельная работа	19 (работа в семестре)
Промежуточная аттестация	8 семестр – зачет

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Наноструктуры в полупроводниках.	5	4	-	-	-	4	1
2. Методы компьютерного моделирования.	6	4	-	-	-	4	2
3. Модели одномерной квантовой ямы. Метод пристрелки.	14	4	-	8	-	12	2
4. Метод Уилкинсона решения уравнения Шредингера.	10	4	-	4	-	8	2
5. Методы моделирования микросистемной техники. Программа ANSYS.	8	4	-	2	-	6	2
6. Моделирование и оптимизация резонансно-туннельного диода.	16	4	-	8	-	12	4
7. Алгоритм схемотехнического проектирования интегральных схем. Программа PSPICE, Quartus.	12	2	-	4	-	6	6
Промежуточная аттестация - зачет, 1 час							

Содержание разделов дисциплины:

- 1 Введение. Физические ограничения на предельные характеристики приборов микроэлектроники.
2. Наноструктуры в полупроводниках.

3. Методы компьютерного моделирования.

3.1. Машинная арифметика. Ошибки округления.

3.2. “Катастрофическая потеря точности” вычислений. Неустойчивые алгоритмы. Поиск устойчивых алгоритмов. Чувствительные задачи. Оценка чувствительности. Решение алгебраических уравнений. Правильные и “честные” программы.

3.3. Исследование и решение систем линейных уравнений. Решение системы линейных уравнений методом Гаусса. Обусловленность матриц, влияние обусловленности на погрешность решения. Оценка числа обусловленности методом Гаусса. Исследование и решение систем линейных уравнений методом сингулярного разложения (SVD). Приближённое решение систем линейных уравнений методом SVD.

3.4 Адаптивные алгоритмы численного интегрирования.

3.5 Численное решение дифференциальных уравнений

4. Модели одномерной квантовой ямы. Метод пристрелки.

Модель квантовой ямы, ограниченной бесконечными барьерами.

Модель квантовой ямы с барьерами конечной высоты.

Модель треугольной ямы. Метод Уилкинсона решения уравнения Шредингера.

5. Методы моделирования микросистемной техники. Программа ANSYS.

6. Моделирование процессов туннелирования в наноструктурах. Моделирование резонансно-туннельного диода.

7.Алгоритм схемотехнического проектирования интегральных схем и программы PSPICE, Quartus для IBM PC

Лабораторный практикум

Практическая часть курса построена в виде лабораторного практикума, позволяющего привить практические навыки применения полученных теоретических знаний и математического аппарата для решения задач в области проектирования электронной компонентной базы и объектов нано- и микросистемной техники, получение навыков работы с системами автоматизированного проектирования (САПР) на примере программы PSpice и Quartus для расчета схем. На проведение практических занятий в форме практической подготовки отводится 26 часов

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме лабораторных занятий, в форме самостоятельной работы студентов. На лекциях студенты активно воспринимают вывод всех основных формул. На практических занятиях студенты проводят схемотехническое моделирование интегральных схем по заданиям преподавателя.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала вместе с соответствующими разделами учебных пособий, выполнение расчетно-проектных работ в рамках лабораторного практикума.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя текущие оценки в ходе регулярной и равномерной для каждой группы обучаемых индивидуальной работы над задачами и её обсуждение вместе со всей группой на практических занятиях, индивидуальную оценку всех задач в контрольных работах по итогам разделов курса.

При подготовке к промежуточной аттестации используются следующие контрольные вопросы:

1. Физические ограничения на предельные характеристики приборов микроэлектроники.
2. Наноструктуры в полупроводниках.
3. Машинная арифметика. Ошибки округления.
4. Катастрофическая потеря точности.
5. Неустойчивые алгоритмы.
6. Чувствительные задачи.
7. Метод Гаусса решения систем линейных уравнений. Классификация решений.
8. Погрешности решения систем линейных уравнений методом Гаусса. Число обусловленности матрицы.
9. Метод сингулярных разложений(SVD). Применение SVD для решения систем линейных уравнений.
10. Численное интегрирование. Адаптивная процедура.
11. Решение дифференциальных уравнений. Ошибки дискретизации и округления.
12. Методы решения дифференциальных уравнений.
13. Модель квантовой ямы, ограниченной бесконечными барьерами. Метод пристрелки.
14. Модель квантовой ямы с барьерами конечной высоты. Метод пристрелки.
15. Модель треугольной ямы. Метод пристрелки.
16. Модель квантовой ямы с барьерами конечной высоты. Метод Уилкинсона.
17. Теория слоя объемного заряда для однородно легированного полупроводника.
18. Модель слоя объемного заряда. Решение нелинейного уравнения Пуассона методом линеаризации.
19. Туннелирование носителей заряда в наноструктурах.
20. Резонансно-туннельный диод.
21. Алгоритмы схемотехнического проектирования интегральных схем.

Перечень лабораторных работ:

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	3	Разработка программы и вычисление точности представления чисел с плавающей запятой для конкретного процессора.
2	4	Модель квантовой ямы, ограниченной бесконечными барьерами. Метод пристрелки.
3	4	Модель квантовой ямы с барьерами конечной высоты. Метод пристрелки.
4	4	Модель квантовой ямы с барьерами конечной высоты. Метод Уилкинсона.
5	6	Моделирование резонансно-туннельного диода.
6	7	Освоение программы схемотехнического проектирования PSPICE для IBM PC.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

6.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений,

владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетом, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

6.2. Описание шкал оценивания.

Аттестация проводится в форме зачета. Форма проведения – индивидуальное собеседование. При выставлении оценки учитываются результаты сдачи студентом промежуточных отчетов по лабораторным занятиям.

6.3. Критерии оценивания результатов обучения для проведения аттестации обучающихся по дисциплине.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе контрольных вопросов (п. 5) и задачи. При проведении зачета учитываются результаты выполнения лабораторных работ.

Оценка «зачтено» (или «зачет»):

- предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;
- выставляется автоматически при 100% посещаемости, сдаче допусков, своевременном написании и сдаче отчетов по лабораторным работам;
- может быть также получена в назначенный по расписанию экзаменационной (зачётной) сессии день, при условии полной ликвидации задолженностей по посещаемости, предоставлении и сдаче полного комплекта отчетов.

Оценка «не зачтено» (или «незачет»):

- предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса;
- выставляется в «зачётный» день в случае непредставления полного комплекта отчетов;
- пропуски более двух лабораторных работ по уважительной либо без уважительной причины дают основание для тщательной проверки знаний «пропущенного» материала и существенно повышают шанс выставления отрицательной оценки. При этом выявленная неготовность к сдаче лабораторного допуска также рассматривается как «прогул».

6.4 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

Пример практического задания

1. Получить у преподавателя функционально-логическую схему.
2. Согласно полученной схеме составить таблицу истинности.
3. Составить принципиальную схему.
4. Нарисовать графики входных и выходного импульсов.
5. Согласно принципиальной схеме создать входной файл описания схемы и процесса моделирования для программы PSPICE.
6. Провести моделирование в программе PSPICE, результат представить преподавателю.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Моделирование и проектирование микро- и наносистем»

Методическое обеспечение:

а) основная литература:

1. Проектирование микросистем. Программные средства обеспечения САПР: учебное пособие. Левицкий А.А., Маринушкин П.С., 2010. – 156 с.
<https://e.lanbook.com/book/6046#authors>.
2. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение, М.: Мир, 1998. — 575 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=31189&idb=0>

б) дополнительная литература:

1. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., Логос, 2000. -248 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=38775&idb=0>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Фонд интернет-изданий ННГУ <http://www.unn.ru/books/resources.html>
2. Программа PSPICE, открытая версия https://en.freedownloadmanager.org/users-choice/Pspice_9.1_Student_Version.html
3. Журнал «Нано- и микросистемная техника» <http://www.microsystems.ru>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Моделирование и проектирование микро- и наносистем»

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено оснащением лабораторного практикума оборудованием, предназначенным для выполнения лабораторных работ. При выполнении некоторых расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями одного из имеющихся на физическом факультете ННГУ терминал-классов с установленным лицензионным программным обеспечением.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника".

Автор:

к.ф.-мат. наук, доцент кафедры физики полупроводников,
электроники и наноэлектроники

А.П. Горшков

Рецензент:
заведующий кафедрой
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой
физики полупроводников электроники
и наноэлектроники,
д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета
ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

А.А. Перов