

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 № 13 от «30» ноября 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

«Проектирование и технология электронной компонентной базы»
(наименование дисциплины)

**Уровень высшего образования
Магистратура**

**Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль): твердотельная электроника и нанoeлектроника**

**Форма обучения
очная**

**Нижний Новгород
2023**

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Проектирование и технология электронной компонентной базы» входит в формируемую участниками образовательных отношений часть образовательной программы по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» в качестве обязательной. Данная дисциплина преподается в 3 семестре. Для усвоения курса необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Физика» (общий курс), «Математическая физика», «Физика полупроводников», «Физические основы электроники», «Квантовая механика». Всестороннее овладение данной дисциплиной является важным условием для полноценной профессиональной подготовки по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника».

Целями освоения дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы» являются следующие:

- 1.1. Изучение основных методов проектирования электронной компонентной базы и технологий ее изготовления, физических и технологических ограничений пределов уменьшения размеров, возможности увеличения частотного предела быстрогодействия.
- 1.2. Формирование у студентов умений и навыков, необходимых для проектирования электронной компонентной базы, а также оптимизации ее конструкции и электрофизических характеристик по заданным критериальным параметрам.
- 1.3. Получение углубленного профессионального образования по физике и идеологии разработки электронной компонентной базы, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и нанoeлектроники.

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-1. Способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач, строить физические и математические модели приборов, схем,	ПК-1.1. Знание алгоритмов решения сформулированных задач, методов построения физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники ПК-1.2 Умение использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	Знать: принципы работы электронной компонентной базы, методы проектирования, основные физические и технологические ограничения при проектировании и изготовлении изделий микро- и нанoeлектроники. Уметь: выбирать методы решения задач проектирования электронной компонентной базы, строить физические и	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к практическим занятиям.

устройств и установок электроники и наноэлектроник и различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.3. Навыки использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования	математические модели приборов, схем и устройств, использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования. Владеть: навыками применения существующих и разработки новых программных средств проектирования электронной компонентной базы, автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов.	
ПК-3. Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроник и	<p>ПК-3.1. Знание фундаментальных основ физических явлений и процессов, лежащих в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-3.2. Умение проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-3.3. Опыт разработки методик экспериментальной проверки функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники</p>	<p>Знать: фундаментальные основы технологии изготовления структур электроники и наноэлектроники, основные технологические этапы изготовления электронной компонентной базы, принципы выбора оптимальных параметров проведения технологических процессов; предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы.</p> <p>Уметь: выбирать методы решения задач проектирования и изготовления электронной компонентной базы, проводить анализ и систематизацию полученных расчетных и экспериментальных результатов.</p> <p>Владеть: навыками проектирования электронной компонентной базы.</p>	<p>Вопросы по темам/разделам дисциплины.</p> <p>Комплект задач и заданий к практическим занятиям.</p>

3. Структура и содержание дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы»

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
самостоятельная работа	76 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	3 семестр – экзамен

3.2. Содержание дисциплины

№	Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					
			из них					
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1.	Введение	16	2	2			4	12
2.	Физико-технологическое проектирование ЭКБ	18	3	3			6	12
3.	Физико-топологическое проектирование ЭКБ	22	3	3			6	16
4.	Схемотехническое проектирование ЭКБ	18	4	2			6	12
5.	Функционально-логическое проектирование ЭКБ	16	2	2			4	12
6.	Заключение	16	2	2			4	12
Курсовая работа		-	-	-	-	-	-	-
Промежуточная аттестация: экзамен – 2 часа								

Содержание разделов дисциплины:

1. **Введение.** Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus». Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.
2. **Физико-технологическое проектирование ЭКБ.** Моделирование основных этапов технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники. Реализация моделирования технологических процессов в САПР «TCAD Sentaurus» (эпитаксия, ионная имплантация, диффузия, окисление). Моделирование процесса ионного легирования. Алгоритм TRIM/TRIS. Взаимодействие ионов с аморфной и кристаллической мишенью. Понятие диэлектрического формализма. Особенности моделирования диффузионных процессов, процессов эпитаксии и окисления.
3. **Физико-топологическое проектирование ЭКБ.** Иерархия математических моделей переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах. Реализация моделей переноса носителей заряда в САПР «TCAD Sentaurus». Перенос носителей заряда в наноструктурах. Продольное и поперечное квантование. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Пределы применимости кинетического уравнения Больцмана. Метод частиц на основе процедуры Монте-Карло решения кинетического уравнения Больцмана. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Система уравнений квазигидродинамического приближения. Пределы применимости квазигидродинамического приближения. Перенос носителей заряда в микронных структурах. Система уравнений диффузионно-дрейфового приближения. Пределы применимости диффузионно-дрейфового приближения. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод расщепления по физическим процессам (метод Гуммеля). Метод прямых сведения системы уравнений переноса к системе дифференциально-алгебраических уравнений и особенности ее решения.
4. **Схемотехническое проектирование ЭКБ.** Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного четырехполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырехполюсника. Особенности описания нелинейного четырехполюсника. Эквивалентные схемы базовых полупроводниковых элементов: диода, биполярного транзистора, полевого транзистора.
5. **Функционально-логическое проектирование ЭКБ.** Макромоделирование аналоговых интегральных схем. Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем в программе Microwave Office. Комбинаторная логика. Базовые логические элементы: И, ИЛИ, НЕ. Последовательная логика. Триггеры, счетчики, ячейка статической памяти. Основы архитектуры микропроцессора.
6. **Заключение.** О точности и достоверности результатов проектирования ЭКБ.

Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование задания практических занятий
1.	3	Проектирование полупроводникового диода
2.	3	Проектирование биполярного транзистора
3.	3	Проектирование полевого транзистора

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят следующих формах:

- 4.1. **В лекционной форме.** На лекциях студенты знакомятся с основными методами проектирования электронной компонентной базы и технологиями ее изготовления, физическими и технологическими ограничениями пределов уменьшения размеров, возможностями увеличения частотного предела быстрогодействия.
- 4.2. **В форме практических занятий.** На практических занятиях студенты приобретают практические навыки физико-топологического проектирования диодных и транзисторных структур.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов включает в себя активное изучение лекционного материала вместе с соответствующими разделами учебных пособий.

Оценочными средствами для контроля текущей успеваемости являются текущие оценки в ходе регулярной и равномерной для каждой группы студентов работы на практических занятиях и индивидуальную оценку после выполнения всего цикла планируемых работ.

Для прохождения итоговой аттестации проводится экзамен, включающий в себя теоретические вопросы, указанные в разделе «Содержание разделов дисциплины» и по итогам выполнения заданий практических занятий.

При подготовке к итоговой аттестации используются следующие контрольные вопросы, включаемые в экзаменационные билеты.

1. В чем заключаются основные преимущества сквозного проектирования электронной компонентной базы.
2. Основные технологические этапы изготовления электронной компонентной базы.
3. В чем заключается физико-технологическое моделирование электронной компонентной базы?
4. В чем заключается физико-топологическое моделирование электронной компонентной базы?
5. В чем заключается метод эквивалентной схемы для диодных и транзисторных структур?
6. Каковы физические и технологические ограничения в процессах изготовления изделий микро- и нанoeлектроники?
7. В чем заключается эффект каналирования?
8. В чем заключается основная идея алгоритма Монте-Карло?
9. Сеточные методы решения задач переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах.
10. Способы описания линейного четырехполюсника. В чем заключаются особенности описания нелинейного четырехполюсника?
11. Базовые логические элементы (И, ИЛИ, НЕ).
12. Функциональные узлы комбинаторного типа: двоичный сумматор и двоичный умножитель.
13. Функциональные узлы последовательного типа: триггеры (асинхронные и синхронные), счетчики (асинхронные и синхронные).
14. Запоминающие устройства: статическая и динамическая память, постоянная и перепрограммируемая память.

15. В чем заключаются различия между RISC- и CISC-архитектурами процессора, их преимущества и недостатки.
16. В чем заключаются преимущества и недостатки Гарвардской архитектуры и архитектуры фон Неймана.
17. Погрешность входных данных и проблема выбора оптимальной математической модели. Почему достоверность результатов моделирования может падать с увеличением точности самой математической модели?

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

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
<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.	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Имеется минимальный набор	Продemonстрированы базовые навыки	Продemonстрированы базовые навыки	Продemonстрированы навыки при	Продemonстрирован творческий подход к решению

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	при решении стандартных задач с некоторым и недочетам	при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	нестандартных задач
--	--	---	---	---	---	---	---------------------

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 освоения компетенции	Отличительные признаки
Начальный	<ul style="list-style-type: none"> - воспроизводит термины и основные понятия технологии полупроводниковых материалов и приборов; - корректно объясняет суть технологических процессов и принципы действия полупроводниковых приборов; - способен сопоставлять структурные характеристики и физические свойства полупроводниковых материалов и приборов.
Базовый	<ul style="list-style-type: none"> - выявляет взаимосвязь между структурой и свойствами полупроводниковых материалов и приборов; - применяет законы, правила, алгоритмы, теоретические модели и пр.; - знает фундаментальные основы процессов получения и функционирования материалов, компонентов и устройств электроники и нанoeлектроники; - знает предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы, материалов и компонентов электроники и нанoeлектроники; - знает принципы выбора конструкции и материалов для проведения технологических процессов.
Высокий	<ul style="list-style-type: none"> - знает современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов, полупроводниковых материалов и приборов и современные методы контроля и диагностики их свойств; - формулирует выводы; - оценивает соответствие теории и эксперимента; - оценивает научную и прикладную значимость результатов...

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена (3 семестр), на котором определяются:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для выполнения конкретных заданий.

При выставлении экзаменационной оценки применяется семибальная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе бакалавра) трансформируется в пятибальную.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена:

Семибальная шкала	Описание семибальной шкалы	Пятибальная шкала
5,5 превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.	5 отлично
5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.	
4,5 очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.	4 хорошо
4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).	
3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовлетворительно
2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудовлетворительно
1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний, умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используются фронтальный опрос на практических занятиях;
- для оценивания результатов обучения в виде **умений** используются простые задания для выполнения на практических занятиях и зачёте, включающих несколько вопросов в виде краткой формулировки действий (комплекса действий) для проведения необходимых технологических операций и измерений, которые следует выполнить, или описание результата, который можно считать достоверным.
- для оценивания результатов обучения в виде **владения** используются комплексные задания практических занятий и зачёта, требующие поэтапного решения в типичной ситуации и развернутого ответа.
- для проведения **итогового контроля** сформированности компетенции используются ответы на экзамене.

6.3. Типовые контрольные задания для оценки сформированности компетенций

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе следующих контрольных вопросов.

Экзаменационный билет №1

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus».
2. Триггерные устройства и их схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №2

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-технологического уровня проектирования.
2. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод прямых сведения системы уравнений переноса к системе дифференциально-алгебраических уравнений и особенности ее решения.

Экзаменационный билет №3

1. Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура.
2. Эквивалентная схема полупроводникового диода.

Экзаменационный билет №4

1. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.
2. Эквивалентная схема полевого транзистора.

Экзаменационный билет №5

1. Моделирование основных этапов технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники. Реализация моделирования технологических процессов в САПР «TCAD Sentaurus» (эпитаксия, ионная имплантация, диффузия, окисление)

2. Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного четырехполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырехполюсника.

Экзаменационный билет №6

1. Моделирование процесса ионного легирования. Алгоритм TRIM.
2. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Пределы применимости кинетического уравнения Больцмана. Метод частиц на основе процедуры Монте-Карло решения кинетического уравнения Больцмана.

Экзаменационный билет №7

1. Взаимодействие ионов с аморфной мишенью. Кристаллические мишени. Эффект каналирования.
2. Основы архитектуры микропроцессора.

Экзаменационный билет №8

1. Взаимодействие ионов с кристаллической мишенью. Понятие диэлектрического формализма.
2. Понятия точности и достоверности результатов моделирования электронной компонентной базы.

Экзаменационный билет №9

1. Особенности моделирования диффузионных процессов, процессов эпитаксии и окисления.
2. Эквивалентная схема биполярного транзистора.

Экзаменационный билет №10

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-топологического уровня проектирования.
2. Базовые логические элементы и их схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №11

1. Иерархия математических моделей переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах. Реализация моделей переноса носителей заряда в САПР «TCAD Sentaurus».
2. Асинхронный счетчик и его схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №12

1. Перенос носителей заряда в наноструктурах. Продольное и поперечное квантование.
2. Синхронный счетчик и его схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №13

1. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Система уравнений квазигидродинамического приближения. Пределы применимости квазигидродинамического приближения.
2. Макромоделирование аналоговых интегральных схем. Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем в программе Microwave Office.

Экзаменационный билет №14

1. Перенос носителей заряда в микронных структурах. Система уравнений диффузионно-дрейфового приближения. Пределы применимости диффузионно-дрейфового приближения.
2. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие схмотехнического уровня проектирования.

Экзаменационный билет №15

1. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод расщепления по физическим процессам (метод Гуммеля).
2. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие функционально-логического уровня проектирования.

Экзаменационный билет №16

1. Особенности описания нелинейного четырехполюсника.
2. Ячейка статической памяти и ее схмотехническая реализация.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы»

а) Основная литература

1. Зи С.М. Технология СБИС. Кн.1 – М.: Мир, 1986. – 404 с. -3
2. Зи С.М. Технология СБИС. Кн.2 – М.: Мир, 1986. – 453 с. -3
3. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с. -4

б) Дополнительная литература

1. Шкелев Е.И. Электронные цифровые системы и микропроцессоры. – Нижний Новгород: Издательство ННГУ, 2004. – 153 с. -9

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Электронный ресурс <http://www.synopsys.com>
2. Демонстрационная версия программы «TCAD Sentaurus»
3. Демонстрационная версия программы «Microwave Office»

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Моделирование и проектирование микро- и нано систем (в т.ч. САПР)»

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы» обусловлено оснащением лабораторного практикума оборудованием, предназначенным для выполнения лабораторных работ и наличием необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке ННГУ. 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 11.04.04 – «Электроника и наноэлектроника».

Автор:

к.ф.-м.н., с.н.с ФГУП ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова А.С. Пузанов

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 «17» ноября 2022 г.

Председатель

Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ Перов А.А.