

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

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

Рабочая программа дисциплины

Основы полупроводниковых технологий
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.04.03 радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Физическая электроника
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.02.03, <i>основы полупроводниковых технологий</i> относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 <i>радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

1. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения 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. Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач. ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	Знать основные материалы, используемые в современной технологии, их достоинства и недостатки; Уметь применять полученные знания для решения практических задач в своей научно-исследовательской работе. Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	<i>зачет</i>
ПК-2. Способен выполнять теоретические и	ПК-2.1. Анализирует современное состояние	<i>Знать</i> физические основы методов, используемых в полупроводниковой технологии.	

экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	<p>исследований в области микро- и, наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и, наноэлектроники, мощной электроники.</p>	<p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам полупроводниковой технологии. Владеть подходами к описанию различных физических явлений, изученных в рамках курса.</p>	
---	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная	

работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	29
КСР	2
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	45

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Всего	
Тема 1. Основные тенденции и проблемы развития электроники	12	6			6	6
Тема 2. Основные материалы современной полупроводниковой микро и наноэлектроники	14	6			6	8
Тема 3. Основные этапы формирование микросхем	14	6			6	8
Тема 4. Использование SiGe гетероструктур в современной микро- и наноэлектроники	14	6			6	8
Тема 5. Новые материалы полупроводниковой микроэлектроники	17	8			8	9
в т.ч.текущий контроль			1			
Промежуточная аттестация					1	39

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к зачету по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

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

включающий:

5.1. 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
	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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами,	Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

	я от ответа	ошибки.	но не в полном объеме.	полном объеме, но некоторые с недочетами.	некоторые с недочетами.	выполнены все задания в полном объеме.	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

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
---------	-----------------------------

Основные материалы современной полупроводниковой микро и наноэлектроники. Получение монокристаллических слитков кремния методом безтигельной зонной плавки и методом Чохральского.	ПК-1, ПК-2
Подготовка полупроводниковых пластин. Кинетика жидкостного травления полупроводников. Основные параметры пластин.	ПК-1, ПК-2
Методы получения диэлектрических пленок. Термическое окисление кремния. Кинетика термического окисления кремния. Осаждение диэлектрических пленок из газовой фазы.	ПК-1, ПК-2
Методы формирования топологии микросхем. Оптическая, электронно-лучевая и рентгеновская литографии. Достоинства и ограничения различных литографических методик.	ПК-1, ПК-2
Методы травления в современных полупроводниковых технологиях. Достоинства и недостатки различных методов.	ПК-1, ПК-2
Диффузионное легирование полупроводников. Профили распределения легирующей примеси. Методы проведения диффузии. Основные примеси, используемые для легирования Si.	ПК-1, ПК-2
Маскирующие свойства диэлектрических слоев. Ионное легирование полупроводников. Ядерная и электронная тормозные способности. Распределение примеси при ионной имплантации. Радиационные дефекты.	ПК-1, ПК-2
Основные представления о методе молекулярно-пучковой эпитаксии. Вакуумные условия, необходимые для проведения МПЭ.	ПК-1, ПК-2
Механизмы эпитаксиального роста. Основные процессы, происходящие на ростовой поверхности при эпитаксии.	ПК-1, ПК-2
Эпитаксия из газовых и металлоорганических соединений. Методы контроля параметров тонких пленок при эпитаксии.	ПК-1, ПК-2
Особенности эпитаксии гетероструктур. Пластическая и упругая релаксация упругих напряжений. Критическая толщина. Получение буферных слоев. Процессы самоорганизации.	ПК-1, ПК-2
Использование SiGe гетероструктур в современной микроэлектронике. Гетероструктурные биполярные транзисторы.	ПК-1, ПК-2
Увеличение подвижности носителей заряда в Si/SiGe гетероструктурах. Проблемы роста напряженных Si/Ge гетероструктур.	ПК-1, ПК-2
Новые материалы в полупроводниковых технологиях: их достоинства, основные проблемы, связанные с их использованием и пути их решения	ПК-1, ПК-2
Тенденции и проблемы развития современной микро и наноэлектроники.	ПК-1, ПК-2

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1, ПК-2

Задача 1

Рассчитать распределение бора в кремнии при его введении из неограниченного диффузионного источника при температуре 1000 С в течении 1 часа.

Задача 2

Оценить критическую толщину псевдоморфного роста пленки SiGe с долей Ge 50% на подложке Si(001).

Задача 3

Рассчитать распределение фосфора при введении его в кремний с помощью ионной имплантации с энергией 100 кэВ и дозой 10^{14} см^{-2} .

Задача 4

Оценить ток утечки в кремниевом МОП транзисторе с подзатворным диэлектриком из SiO₂ толщиной в 1 нм при напряжении на затворе 2 вольта.

Задача 5

Определить увеличение коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером для кремниевого биполярного транзистора при замене базы из слоя кремния на базу из слоя SiGe с долей Ge 30% с тем же уровнем легирования.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под редакцией *Л.Ченга и К.Плога*, «Мир», 1989, 584с. – 3 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) *Тилл У., Лаксон Дж.* Интегральные схемы: материалы, приборы, изготовление - М.: Мир, 1985. 504 с. – 3 экз.
- 2) *Броудай И., Мерей Дж.* Физические основы микротехнологии. - М.: Мир, 1985. 496 с. – 3 экз.
- 3) *Курносов А. И., Юдин В. В.* Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Высш. шк., 1979. 272 с. – 3 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Учебник по курсу «Технология СБИС», http://media.karelia.ru/~kfft/sbis_1/sbis/mainfile.htm
- 2) International Technology Roadmap for Semiconductors - <http://public.itrs.net/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор (ы) к.ф.-м.н. профессор А.В. Новиков

и.о. заведующего кафедрой Марутин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от
«25» мая 2023 года, протокол № 04/23