

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

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины
Основы полупроводниковых технологий

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы полупроводниковой технологии» относится к вариативной части блока ФТД «Факультативы», является факультативной дисциплиной, преподается в первом семестре первого года обучения в магистратуре.

Целями освоения дисциплины являются:

1. ознакомление студентов с уровнем развития современной полупроводниковой технологией, используемыми методами и подходами, с основными проблемами и задачами, стоящими на пути дальнейшего развития полупроводниковой микро и наноэлектроники;
2. формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

2. 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 | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта | <i>ПК-1.1. Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала</i> <i>ПК-1.2. Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i> <i>ПК-1.3. Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i> | (ПК-1) Знать основные материалы, используемые в современной технологии, их достоинства и недостатки; физические основы методов, используемых в полупроводниковой технологии; (ПК-1) Уметь применять полученные знания для решения практических задач в своей научно-исследовательской работе. Уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам полупроводниковой технологии; (ПК-1) Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях. | Индивидуальные собеседования | Индивидуальные практические задания, экзамен |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | 33 |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | - |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | зачет |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| 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 нанoeлектроники | 14 | 6 | | | 6 | 8 |
| Тема 3. Основные этапы формирование микросхем | 14 | 6 | | | 6 | 8 |
| Тема 4. Использование SiGe гетероструктур в современной микро- и нанoeлектроники | 14 | 6 | | | 6 | 8 |
| Тема 5. Новые материалы полупроводниковой микроэлектроники | 17 | 8 | | | 8 | 9 |
| в т.ч.текущий контроль | | | 1 | | | |
| Промежуточная аттестация – зачѣт | | | | | 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 экзамену 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 текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Зачет | |
|--------------|--|
| Зачтено | Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий. |
| Не зачтено | Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности. |

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

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

– индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии: практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

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

6.3.1 Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта:

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 вольт.

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.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

1. Основные материалы современной полупроводниковой микро и нанoeлектроники. Получение монокристаллических слитков кремния методом безтигельной зонной плавки и методом Чохральского.
2. Подготовка полупроводниковых пластин. Кинетика жидкостного травления полупроводников. Основные параметры пластин.
3. Методы получения диэлектрических пленок. Термическое окисление. Кинетика термического окисления кремния. Осаждение диэлектрических пленок из газовой фазы.
4. Методы формирования топологии микросхем. Оптическая, электронно-лучевая и рентгеновская литографии. Достоинства и ограничения различных литографических методик.
5. Методы травления в современных полупроводниковых технологиях. Достоинства и недостатки различных методов.
6. Диффузионное легирование полупроводников. Профили распределения легирующей примеси. Методы проведения диффузии. Основные примеси, используемые для легирования Si.
7. Маскирующие свойства диэлектрических слоев. Ионное легирование полупроводников. Ядерная и электронная тормозные способности. Распределение примеси при ионной имплантации. Радиационные дефекты.
8. Основные представления о методе молекулярно-пучковой эпитаксии. Вакуумные условия, необходимые для проведения МПЭ.
9. Механизмы эпитаксиального роста. Основные процессы, происходящие на ростовой поверхности при эпитаксии.
10. Эпитаксия из газовых и металлоорганических соединений. Методы контроля параметров тонких пленок при эпитаксии.

11. Особенности эпитаксии гетероструктур. Пластическая и упругая релаксация упругих напряжений. Критическая толщина. Получение буферных слоев. Процессы самоорганизации.
12. Использование SiGe гетероструктур в современной микроэлектронике. Гетероструктурные биполярные транзисторы.
13. Увеличение подвижности носителей заряда в Si/SiGe гетероструктурах. Проблемы роста напряженных Si/Ge гетероструктур.
14. Новые материалы в полупроводниковых технологиях: их достоинства, основные проблемы, связанные с их использованием и пути их решения.
15. Тенденции и проблемы развития современной микро и нанoeлектроники.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Избранные главы физики» обусловлено наличием необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке, некоторые из которых представлены на сайте физического факультета ННГУ, электронной библиотеке кафедры ИТФИ в электронном виде.

Лекционный класс снабжен компьютером с проектором, что позволяет не только демонстрировать слайды, но и ряд вычислений проводить прямо в процессе чтения лекции

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

директор ИФМ РАН, д.ф.-м.н. А.В.Новиков

Зав. каф. "Физика наноструктур и нанoeлектроника" _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.