

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

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
Общая и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Нижегород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02.01 «Основы полупроводниковых технологий» относится к части ООП направления подготовки 03.04.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

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-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научноинновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Демонстрация способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научноинновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Знать основные материалы, используемые в современной технологии, их достоинства и недостатки; физические основы методов, используемых в полупроводниковой технологии. Уметь применять полученные знания для решения практических задач в своей научно-исследовательской работе. Уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам полупроводниковой технологии. Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Задачи	Задачи Собеседование

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия /	0

лабораторные работы)	
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 зачёт

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	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	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Тема 1. Основные тенденции и проблемы развития электроники	12	6	0	0	6	6
Тема 2. Основные материалы современной полупроводниковой микро и нанoeлектроники	14	6	0	0	6	8
Тема 3. Основные этапы формирования микросхем	14	6	0	0	6	8
Тема 4. Использование SiGe гетероструктур в современной микро- и нанoeлектронике	14	6	0	0	6	8
Тема 5. Новые материалы полупроводниковой микроэлектроники	17	8	0	0	8	9
Аттестация	0					
КСР	1				1	
Итого	72	32	0	0	33	39

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для самостоятельной работы обучающимся предлагается использовать основную и дополнительную литературу и/или электронные Интернет-ресурсы.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.

Оценка		Критерии оценивания
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Плохо	неудовлетворительно	Удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа		много негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	подготовк и. Ошибок нет.	
<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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	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
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено		полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Основные материалы современной полупроводниковой микро и наноэлектроники. 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 наноэлектроники.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок.

Оценка		Критерии оценивания
		Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Готра З. Ю. Справочник по технологии микрoэлектронных устройств. – Радио и связь 1991. 528 с.
- 2) Малышева И.А. Технология производства интегральных микросхем, Радио и связь 1991. 344с
- 3) Арсенид галлия. Получения, свойства и применение, под ред. Ф.П.Кесаманлы и Д.Н.Наследова, Наука, 1973, 472с.
- 4) Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под редакцией Л.Ченга и К.Плога, «Мир», 1989, 584с.
- 5) Технология тонких пленок, Справочник под редакцией Л.Майссела и Р.Гленга, «Советское радио», 1977, 664с.
- 6) Физико-технологические основы электроники, Барыбин А.А., Сидоров В.Г., Издательство «Лань», 2001, 272с.

б) дополнительная литература:

- 1) Технология СБИС / Под ред. Зи С. М. - М.: Мир, 1986. 1, 2 т.
- 2) Аваев Н. А., Наумов Ю. Е. Элементы сверхбольших интегральных схем. - М.: Радио и связь, 1986. - 168 с.: ил.
- 3) Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы: материалы, приборы, изготовление - М.: Мир, 1985. 504 с.
- 4) Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. - М.: Мир, 1985. 496 с.
- 5) Таури Я. Основы технологии СБИС. - М.: Радио и связь. 1985. 480 с.
- 6) Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем. - М.: 1989. 630 с.
- 7) Проектирование СБИС: Пер. с япон./Ватанабэ М., Асада К., Кани К., Оцуки Т. - М.: Мир, 1988. 304 с., ил.
- 8) Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ./Под ред. А. Ф. Трутко. - М.: Энергия, 1973. - 655 с.
- 9) Алексеенко А. Г., Шагурин И. И. Микросхемотехника. - М.: Радио и связь, 1982. - 414 с.
- 10) Введение в фотолитографию / Под ред. Лаврищева В. П. - М.: Энергия, 1977. 400 с.
- 11) Курносов А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Высш. шк., 1979. 272 с.
- 12) Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / Под ред. Луфт Б. Д. - М.: Радио и связь, 1982. 136 с.
- 13) Электронно-лучевая технология в изготовлении микроэлектронных приборов / Под ред. Дж. Р. Брюэра. М.: Радио и связь. 1984. 336 с.
- 14) S.C. Jain and M. Willander Silicon-Germanium strained layers and heterostructures. – Semiconductors and Semimetals V.74, Elsevier, 2003, 308 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

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

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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. 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 ФГОС ВО по направлению 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): А.В. Новиков

Рецензент(ы): В.В. Румянцев

Заведующий кафедрой: Господчиков Егор Дмитриевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.06.2022 г., протокол № 3.