

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 № 10 от 02.12.2024 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

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02.01 Основы полупроводниковых технологий относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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 научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Демонстрация способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных 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 Собеседование	Зачёт: Задачи Контрольные вопросы Задания

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):	

- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- 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 разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	
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 формирования 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
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Основные тенденции и проблемы развития электроники

Тема 2. Основные материалы современной полупроводниковой микро и нанoeлектроники

Тема 3. Основные этапы формирования микросхем

Тема 4. Использование SiGe гетероструктур в современной микро- и нанoeлектроники

Тема 5. Новые материалы полупроводниковой микроэлектроники

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

- 1) Готра З. Ю. Справочник по технологии микроэлектронных 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/>

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Основные материалы современной полупроводниковой микро и нанoeлектроники.

Получение монокристаллических слитков кремния методом безтигельной зонной плавки и методом Чохральского.

Диффузионное легирование полупроводников.

Профили распределения легирующей примеси.

Методы проведения диффузии.

Основные примеси, используемые для легирования Si.

Подготовка полупроводниковых пластин.

Кинетика жидкостного травления полупроводников.

Основные параметры пластин.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	<p>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. или 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.</p> <p>Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. или 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.</p> <p>Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. или 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. или Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с</p>

Оценка	Критерии оценивания
	негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	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. или 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 (индикатор достижения 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. Ошибок нет.	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	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 отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						полном объеме	
<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 с указанием критериев их оценивания:

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

Выполните задание.

1. Методы получения диэлектрических пленок. Термическое окисление. Кинетика термического окисления кремния. Осаждение диэлектрических пленок из газовой фазы.

2. Методы формирования топологии микросхем. Оптическая, электронно-лучевая и рентгеновская литографии. Достоинства и ограничения различных литографических методик.

3. Методы травления в современных полупроводниковых технологиях. Достоинства и недостатки различных методов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	<p>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. или Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.</p> <p>Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.</p> <p>Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. или 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.</p> <p>Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. или 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. или 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.</p>
не зачтено	<p>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. или 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.</p>

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

Основная литература:

1. Готра Зенон Юрьевич. Справочник по технологии микрорелектронных устройств. - Львов : Каменяр, 1986. - 287 с. : ил. - 1.00., 1 экз.
2. Малышева Идея Александровна. Технология производства интегральных микросхем : [учеб. для сред. учеб. заведений по спец. 2002 "Пр-во изделий электрон. техники"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1991. - 343, [1] с. : ил. - 2.50., 1 экз.
3. Арсенид галлия. Получение, свойства и применение / под ред. Ф. П. Кесаманлы и Д. Н. Наследова. - М. : Наука, 1973. - 471 с. - (Физика полупроводников и полупроводниковых приборов). - 2.37., 2 экз.

4. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / под ред. Л. Ченга, К. Плога ; пер. с англ. под ред. Ж. И. Алферова, Ю. В. Шмарцева. - М. : Мир, 1989. - 582 с. : ил. - ISBN 5-03-000737-7 (в пер.) : 5.90., 3 экз.
5. Технология тонких пленок : справочник. Т. 1 / под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга ; пер. с англ. под ред. М. И. Елинсона, Г. Г. Смолко. - М. : Советское радио, 1977. - 663 с. - 4.02., 2 экз.
6. Технология тонких пленок : справочник : [в 2 т.]. [Т.] 2 / [авт. т.: К. А. Нейгебауэр и др.] ; под ред. Л. Майсселла, Р. Глэнга ; пер. с англ. под ред. М. И. Елинсона, Г. Г. Смолко. - М. : Советское радио, 1977. - 768 с. : ил. - 4.45., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Технология СБИС : в 2 кн. [Кн.] 2 / под ред. С. Зи ; пер. с англ. под ред. Ю. Д. Чистякова ; [авт. кн.: К. Могэб и др.] ; пер. кн. В. Н. Лейкина [и др.]. - М. : Мир, 1986. - 453 с. : ил. - 2.30., 2 экз.
2. Аваев Николай Александрович. Элементы сверхбольших интегральных схем. - М. : Радио и связь, 1986. - 167, [2] с. : ил. - 0.60., 1 экз.
3. Тилл Уильям Лаксон Джеймс. Интегральные схемы : Материалы, приборы, изготовление / пер. с англ. М. Б. Левина, В. Г. Микуцкого ; под ред. М. В. Гальперина. - М. : Мир, 1985. - 504 с. : ил. - 50.00., 3 экз.
4. Броддай Ивор. Физические основы микротехнологии / пер. с англ. В. А. Володина [и др.] ; под ред. А. В. Шальнова. - М. : Мир, 1985. - 494 с. : ил. - 2.60., 3 экз.
5. Маллер Ричард. Элементы интегральных схем / пер. с англ. Е. З. Мазеля, Л. С. Ходоша. - М. : Мир, 1989. - 630 с. : ил. - ISBN 5-03-001100-5 (в пер.) : 3.20., 4 экз.
6. Проектирование СБИС / пер. с яп. Г. Б. Звороно ; под ред. Л. В. Поспелова. - М. : Мир, 1988. - 298, [1] с. : ил. - ISBN 5-03-000404-1 : 1.70., 2 экз.
7. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : пер. с англ. / под ред. А. Ф. Трутко. - М. : Энергия, 1973. - 655 с. : ил. - 2.26., 13 экз.
8. Алексенко А. Г. Микросхемотехника : [учеб. пособие для приборостроит. и радиотехн. специальностей вузов] / под ред. И. П. Степаненко. - М. : Радио и связь, 1982. - 414 с. : ил. - 1.20., 2 экз.
9. Курносов Анатолий Иванович. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : [для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые приборы"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1979. - 367 с. : ил. - 1.20., 3 экз.
10. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / под ред. Б. Д. Луфт. - М. : Радио и связь, 1982. - 137 с. : ил. - 0.50., 2 экз.
11. Электронно-лучевая технология в изготовлении микроэлектронных приборов / под ред. Дж. Р. Брюэра ; пер. с англ. под ред. Ф. П. Пресса. - М. : Радио и связь, 1984. - 336 с. : ил. - 1.90., 2 экз.

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: 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.

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 подготовки/специальности 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Новиков Алексей Витальевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 31.01.2025, протокол № 2.