

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 № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы полупроводниковых технологий

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.04.01 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-10: Способен осваивать существующие и разрабатывать новые технологические процессы и внедрение их в производство	<p>ПК-10.1: Имеет представление о существующих технологических процессах и применении их в производстве</p> <p>ПК-10.2: Осваивает существующие технологические процессы и внедряет их в производство</p> <p>ПК-10.3: Разрабатывает новые технологические процессы и подходы к внедрению их в производство</p>	<p>ПК-10.1: Знать основные материалы, используемые в современной технологии микроэлектроники.</p> <p>Уметь применять полученные знания для решения практических задач в своей научно-исследовательской работе.</p> <p>Владеть представлением о существующих технологических процессах в микроэлектронике.</p> <p>ПК-10.2: Знать достоинства и недостатки основных материалов, используемых в современной технологии микроэлектроники.</p> <p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам полупроводниковой технологии.</p> <p>Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>ПК-10.3:</p> <p><i>Знать физические основы методов, используемых в полупроводниковой технологии.</i></p> <p><i>Уметь разрабатывать новые технологические процессы и подходы.</i></p> <p><i>Владеть навыками разработки новых технологических процессов.</i></p>		
--	--	---	--	--

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			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
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 нанoeлектронике	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 нанoeлектронике.

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.

Авторские презентации по материалам лекций.

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-10:

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований, либо невозможность оценить уровень знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.

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.	При решении стандартных задач не	Продемонстрированы основные	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все основные

	Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-10

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продemonстрированы основные умения. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований либо невозможность оценить наличие знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Имели место грубые ошибки. Отсутствие минимальных умений либо невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом либо невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Антоненко С. В. Технология тонких пленок : учебное пособие для вузов / Антоненко С. В. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2008. - 104 с. - Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции НИЯУ МИФИ - Физика. - ISBN 978-5-7262-1036-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=716411&idb=0>.
2. Васильев В.Ю. Свойства и применение диэлектрических тонких пленок в технологиях микроэлектроники : учебное пособие / Васильев В.Ю. - Москва : НГТУ, 2021. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-4389-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=808609&idb=0>.
3. Васильев В.Ю. Технология тонких пленок для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие / Васильев В.Ю. - Москва : НГТУ, 2019. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-3915-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=735979&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Денисов Сергей Александрович. Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия : практикум / С. А. Денисов, В. Г. Шенгуров, В. Ю. Чалков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 13 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850270&idb=0>.

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.

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 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

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

Рецензент(ы): Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Красильник Захарий Фишелевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.