

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Технологии полупроводниковых приборов

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

---

Направленность образовательной программы

Новые полупроводниковые технологии

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.01 Технологии полупроводниковых приборов 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-2: Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике современные и эффективные методики экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1: Знает методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения ПК-2.2: Способен совершенствовать и внедрять новые методы и методики измерений параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники ПК-2.3: Имеет навыки использования современных методик экспериментального исследования параметров и свойств наноматериалов, наноструктур и устройств электроники и наноэлектроники	ПК-2.1: Знать основные физические принципы поляризации излучения.  ПК-2.2: Уметь использовать специализированные знания в области измерения поляризационных характеристик и смежных дисциплин для обоснования выбора оптимального способа решения поставленных задач.  ПК-2.3: Владеть навыками измерения поляризационных характеристик светоизлучающих устройств.	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-3: Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	ПК-3.1: Знает фундаментальные основы физических явлений и процессов, лежащих в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники ПК-3.2: Умеет проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических	ПК-3.1: Знать фундаментальные основы физических явлений и процессов, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов.  ПК-3.2: Уметь проводить	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

	<p>процессов производства изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-3.3: Имеет опыт разработки методик экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурированных материалов</p>	<p>экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства полупроводниковых приборов.</p> <p>ПК-3.3: Владеть опытом экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурированных полупроводниковых материалов.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	22
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>48</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>
	<b>Экзамен</b>

#### 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. Введение. Основные термины и определения предмета «Технологии полупроводниковых приборов»	8	2		2	6
Тема 2: Полупроводниковые материалы. Выращивание кристаллов и обработка подложек.	8	3		3	5
Тема 3: Плёнки диэлектриков. Окисление кремния.	8	3		3	5
Тема 4: Введение примесей в полупроводниковые материалы.	8	2		2	6
Тема 5: Эпитаксиальный рост полупроводников.	8	3		3	5
Тема 6: Процессы литографии.	10	3		3	7
Тема 7: Формирование поликристаллических тонких плёнок.	10	3		3	7
Тема 8: Технология интегральных микросхем.	10	3		3	7
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	22	0	24	48

### Содержание разделов и тем дисциплины

В рамках курса «Технологии полупроводниковых приборов» представлены материалы, отражающие современное состояние технологии приборов микро- и нанoeлектроники, а также перспективы развития этих отраслей. К задачам изучения дисциплины относится получение знаний по основным направлениям развития физики и технологии полупроводниковых приборов, умений применять данные знания для создания новых твердотельных, в том числе низкоразмерных сред при производстве электронных устройств нового поколения, овладение методами экспериментального исследования, сведениями о современных технологиях изготовления устройств нанoeлектроники.

#### 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.

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на изучение лекционного материала, по которому имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Принцип работы диода с р-п переходом.
2. Какие контакты металла к полупроводнику считаются выпрямляющими, какие – невыпрямляющими.
3. Какие факторы теплового воздействия приводят к деградации полупроводниковых приборов.

#### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Выполнить анализ и рассчитать рабочие характеристики диода с р-п переходом по результатам измерения ВАХ;
2. Выполнить анализ и рассчитать рабочие характеристики диода с барьером Шоттки по результатам измерения ВАХ;
3. По результатам анализа ВАХ диода дать рекомендации по увеличению рабочего тока

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса

### 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 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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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 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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»

<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	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-2**

Скрайбирование полупроводниковых пластин. Разделение пластин на отдельные кристаллы
Основные этапы механической обработки полупроводниковых материалов
Основные свойства кремния и его применение в технологии полупроводников
Основные свойства арсенида галлия и его использование в технологии интегральных микросхем
Схема установки и процесс молекулярно-лучевой эпитаксии
Основные способы нанесения тонких плёнок
Процесс получения тонких плёнок методом термического испарения в вакууме
Полупроводниковые гетероструктуры и гетеропереходы. Методы получения гетероструктур
Схема установки ионной имплантации, её описание

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

Интегральные схемы на диэлектрических подложках. КНД (КНС) – технология
Методы эпитаксиального выращивания полупроводников
Схема установки и процесс МОС-гидридной эпитаксии
Методы литографии
Назначение и процесс фотолитографии при создании интегральных микросхем
Контакты и коммутации в интегральных микросхемах
Виды и методы получения фотошаблонов

Процесс магнетронного распыления
Полупроводниковые соединения $A^2B^5$ , их использование в оптоэлектронике
Основные этапы производства интегральных микросхем
Процессы химического травления

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
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», 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»
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»

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

Основная литература:

1. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : Учебное пособие для вузов: В 5 томах Том 3: Электричество. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2015. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1643-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=621748&idb=0>.



2. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 / Чаплыгин Ю.А. - Москва : Техносфера, 2013., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645430&idb=0>.
3. Физика низкоразмерных систем : учеб. пособие / под общ. ред. В. И. Ильина и А. Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 160 с. : ил. - (Новые разделы физики полупроводников). - Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-02-024966-1 : 20.00., 5 экз.
4. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1. Современные технологии / Крук Б.И., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2012., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=646066&idb=0>.
5. Шелованова Галина Николаевна. Современные проблемы микро - и нанoeлектроники : Учебное пособие. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2017. - 128 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-7638-3775-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=627938&idb=0>.
6. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы / Афанасьев А.В., Афанасьев В.П., Глинский Г.Ф., Голоудина С.И., Гудовских А.С., Демин Ю.А., Дронь А.С., Зимина Т.М., Зубков В.И., Иванов С.В., Ильин В.А., Казак-Казакевич А.З., Карасев В.А., Корляков А.В., Коровкина Н.М., Кривошеева А.Н., Лучинин В.В., Мошников В.А., Панов М.Ф., Пасюта В.М., Савенко А.Ю., Сазанов А.П., Семенов А.Н., Соловьев В.А., Соломонов А.В., Сорокин В.С., Таиров Ю.М., Шилова О.А. - Москва : Физматлит, 2006., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645838&idb=0>.
7. Носов Юрий Романович. Оптоэлектроника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989. - 359, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00246-5 : 1.70., 3 экз.
8. Гуртов Валерий Алексеевич. Твердотельная электроника : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика. - 2-е, доп. изд. - М. : Техносфера, 2007. - 408 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-94836-120-8 : 358.16., 1 экз.
9. Барыбин Анатолий Андреевич. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов. - М. : Физматлит, 2006. - 424 с. - ISBN 5-9221-0679-1 : 264.00., 9 экз.
10. Ермаков О. Н. Прикладная оптоэлектроника. - М. : Техносфера, 2004. - 416 с. - (Мир электроники ; 7 - 05). - Библиогр. список: с. 412. - Предмет. указ.: с. 413 - 414. - ISBN 5-94836-023-7 : 225.00., 2 экз.
11. Бехштедт Фридрихс. Поверхности и границы раздела полупроводников / пер. с англ. под ред. И. П. Звягина. - М. : Мир, 1990. - 484 с. : ил. - 5.20., 2 экз.
12. Готра Зенон Юрьевич. Технология микроэлектронных устройств : справочник. - М. : Радио и связь, 1991. - 528 с. : ил. - 7000.00., 4 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Аваев Николай Александрович. Основы микроэлектроники : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов. - М. : Радио и связь, 1991. - 287, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00692-4 (в пер.) : 2.00., 52 экз.

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

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины

## **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: Учебно-лабораторные интерактивные комплексы «Схемотехника радиофотоники» (рук. Бобров А.И., г. Н. Новгород, пр-кт Гагарина, д.23 корп.3, ауд. 121, ауд.226, ауд. 228, ауд. 339, ауд.534) и «Технологии интегральных схем» (рук. Дорохин М.В., г. Н. Новгород, пр-кт Гагарина, д.23 корп.3, ауд.412а, ауд.437) для проведения занятий со студентами с использованием современного технологического оборудования, современных условий производства (чистых зон), современных методов измерений характеристик изделий микроэлектроники, предусмотренных программой, оснащенный - чистой зоной (ISO-7) для обеспечения технологического процесса и ознакомления студентов с правилами работы в чистых помещениях; - высокотехнологичным оборудованием:

- фемтосекундный лазер FX200 – для исследования динамических эффектов в элементах оптоэлектроники, развития методической базы и привлечения студентов к современным методам измерений характеристик оптоэлектронных компонент;
- пикосекундный лазер PX110 – для исследования динамических эффектов в элементах оптоэлектроники, элемент технологического цикла оптоэлектроники, разработка новой технологической линейки с использованием методов лазерного отжига, обучение студентов современным технологическим процессам;
- установка микросварки RM-BW – технологический компонент для присоединения контактов к полупроводниковым компонентам, обучение студентов практическим навыкам работы на автоматизированном монтажном оборудовании.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Дорохин Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Нохрин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.