

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела и наноструктур  
(П.В.Середин)  
05.06.2023

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.01**  
**Практикум по полупроводниковым приборам на основе**  
**гетероструктур**

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

**1. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:**

**11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**

**2. Профиль подготовки / специализация/магистерская программа:**  
**"Интегральная электроника и наноэлектроника"**

**3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр**

**4. Форма обучения: Очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра физики твердого тела и наноструктур**

**6. Составители программы: Голощапов Д.Л., к.ф.-м.н., доцент**

**7. Рекомендована: НМС физического факультета 30.05.2025, протокол №5**

**8. Учебный год: 2027-2028 Семестр(ы): 6**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование у обучающихся знаний о физических принципах, лежащих в основе работы полупроводниковых приборов и об области их применения; овладение адекватными способами решения теоретических и экспериментальных задач по измерению, расчету и проектированию различных полупроводниковых приборов.

Задачи учебной дисциплины:

- познакомить обучающихся с основными типами полупроводниковых приборов, их конструкциями, назначением;
- рассмотреть основные физические принципы и явления, лежащие в основе работы полупроводниковых приборов;
- рассмотреть технологические особенности изготовления различных полупроводниковых приборов;
- установить области применения различных полупроводниковых приборов;
- способствовать ориентации студентов на мировой уровень развития науки.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** Дисциплина включена в число дисциплин по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 по направлению подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**.

Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП бакалавриата в рамках курсов по твердотельной электронике.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов 40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники» и 40.035 «Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков (СФ-блоков)».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Практикум по полупроводниковым приборам», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ, учебной и производственных проектно-конструкторских практик, написания выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

При изучении курса подводятся итоги изучения дисциплин специальности и специализации в области твердотельной электроники; приоритет отдается методам и их применению к конкретным задачам физики твердого тела, твердотельной электроники, нанотехнологий.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК-3.1	Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий микроэлектроники	Знает основные материалы, используемые в производстве изделий микроэлектроники. Умеет работать с технологической документацией на изготовление изделий микроэлектроники

ПК-7	Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники	ПК-7.1	Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники	Умеет анализировать режимы работы технологического оборудования на производстве изделий микроэлектроники. Умеет выявлять причины потери точности технологического оборудования. Знает документацию, методы и правила в области обработки экспериментальных данных, оценки точности измерений и нормирования точности параметров прикладного математического и наукоемкого информационного обеспечения производственно-технической деятельности, направленной на моделирование процессов и объектов предприятия микроэлектроники.
------	---	--------	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.**(в соответствии с учебным планом) — 2/72.

**Форма промежуточной аттестации - зачет**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам 6 семестр
Аудиторные занятия			
в том числе:	лабораторные	50	50
Самостоятельная работа		22	22
Форма промежуточной аттестации - зачет			
Итого:		72	72

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лабораторные занятия</b>			
1	Лабораторная работа «Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации».	Изучение устройства, электрической схемы полупроводникового ДГС лазера. Изучение конструкции, энергетической диаграммы ДГС лазера. Анализ информации, передаваемой по открытой оптопаре лазер-фотодиод. Построение зависимости амплитуды фото-ЭДС фотодиода принимаемого сигнала от напряжения на лазере.	
2	Лабораторная работа «Изучение свойства	Полупроводниковые р-п переходы. Физический р-п переход, контактная разность	

	электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном р-п переходе»	потенциалов. Энергетическая диаграмма электронно-дырочного перехода. Процесс туннелирования в вырожденном р-п переходе при различных смещениях. Вольт-амперные характеристики р-п переходов при различных температурах и в области туннельного пробоя.	
3	Лабораторная работа «Изучение фотопроводимости в полупроводниках и фотовольтаического эффекта в р-п переходе».	Фотопроводимость в полупроводниках. Первое и второе соотношения фотопроводимости. Внутреннее усиление в фоторезисторе. Особенности спектральной характеристики фоторезистора и фотодиода. Принцип работы фотодиода. Работа фотодиода в вентильном и диодном режимах. Инерционные процессы в фоторезисторе и фотодиоде при включении и выключении света.	
4	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта»	Измерение температурной зависимости эффекта Холла и магниторезистивного эффекта германия. Расчет подвижности носителей и их эффективных масс. Определение температурной зависимости уровня Ферми.	
5	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия».	Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия. Определение эффективных масс электронов и дырок. Расчет положения приведенного уровня Ферми по формуле Писаренко.	
6	Лабораторная работа «Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения»	Измерение спектров пропускания и отражения на приборе СФ56А с приставкой на отражение ПЗО-9. Обработка спектров в программе EXCEL. Построение спектральных зависимостей коэффициента поглощения и степенных зависимостей. Определение ширины запрещенной зоны и типа оптических переходов.	
7	Лабораторная работа «Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников $A^3B^5$ в области края собственного поглощения»	Измерение спектров пропускания и отражения на приборе СФ56А с приставкой на отражение ПЗО-9. Обработка спектров в программе EXCEL. Построение спектральных зависимостей коэффициента поглощения и степенных зависимостей. Определение ширины запрещенной зоны и типа оптических переходов.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)		
		Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Лабораторная работа «Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации».	7	3	10
2	Лабораторная работа «Изучение свойства электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном р-п-переходе»	7	3	10
3	Лабораторная работа «Изучение фотопроводимости	7	3	10

	в полупроводниках и фотовольтаического эффекта в р-п переходе».			
4	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта»	7	3	10
5	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия».	7	3	10
6	Лабораторная работа «Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения»	7	3	10
7	Лабораторная работа «Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников A <sup>3</sup> B <sup>5</sup> в области края собственного поглощения»	8	4	12
	Итого:	50	22	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Практикум по полупроводниковым приборам» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Практикум по полупроводниковым приборам» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре

личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Практикум по полупроводниковым приборам» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Практикум по полупроводниковым приборам» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 7 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 8 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 7 часа
итога	– 22 часа

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Пасынков, Владимир Васильевич. Полупроводниковые приборы : Учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин .— 6-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2002 .— 478 с. [30]
2	Гуртов В.А.. Твердотельная электроника : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. Гуртов .— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2007 .— 406 с. : ил. — (Мир электроники) .— Библиогр.: с.401-404 .— Предм. указ. : с.405-406 .— ISBN 978-5-94836-120-8.
	Легостаев Н.С. Твердотельная электроника / Н.С. Легостаев ; Четвергов К. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 .— 244 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Троян П.Е. Твердотельная электроника / П.Е. Троян .— Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006 .— 330 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
2	Давыдов, В. Н. Твердотельная электроника : учебное пособие / В. Н. Давыдов ; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск : ТУСУР, 2013. – 175 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=480529">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=480529</a> – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.
	Драгунов, В. П. Микро- и наноэлектроника : учебное пособие : [16+] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. – 38 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=228941">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=228941</a> – ISBN 978-5-7782-2095-9. – Текст : электронный.
	Кушнер, Д. А. Основы промышленной электроники : учебное пособие / Д. А. Кушнер. – Минск : РИПО, 2020. – 273 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=599748">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=599748</a> (дата обращения: 14.12.2021). – Библиогр.: с. 261. – ISBN 978-985-503-975-5. – Текст : электронный.
	Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 141 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=564844">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=564844</a> – Библиогр.: с. 137. – ISBN 978-5-9729-0346-7. – Текст : электронный.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> - ЗНБ ВГУ
2.	Дорохин М.В., Кудрин А.В. Гальваномагнитные и оптические методы исследования полупроводниковых наноструктур. Электронное учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. - 80 с. <a href="http://window.edu.ru/resource/285/79285">http://window.edu.ru/resource/285/79285</a>
3.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

## 16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Лабораторный практикум по оптоэлектронике : учебно-методическое пособие. Ч.1 / сост. : Е. В. Богатиков, А.Н. Шебанов .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 . - 40 с.
2	Элементы оптоэлектроники : учебное пособие / сост. : Е.В. Богатиков, Т.Г. Меньшикова .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010 .— 30 с.
3	Электрические параметры биполярных и полевых структур : пособие для студентов : 014100 / Воронежский государственный университет, Каф. физики полупроводников, Физ. фак.; Сост. : Б.К. Петров, В.В. Воробьев .— Воронеж, 2004 .— 47 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

При реализации дисциплины используются активные и интерактивные методы и технологии профессионального обучения. <https://edu.vsu.ru> - Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория спецпрактикумов кафедры ФТТИНС:

- Лабораторный стенд для исследования эффекта Холла - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования эффекта термо-ЭДС - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования электропроводности полупроводников - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования свойств р-п перехода - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования терморезистора - 1 шт; Лабораторный стенд для исследования фотодиода - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования туннельного диода - 1 шт;
- Лабораторный стенд для исследования фоторезистора - 1 шт; Спектрофотометр СФ-56А - 1 шт;
- Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

Лаборатория инфракрасной спектроскопии ЦКПНО ВГУ: ИК-Фурье спектрометр Vertex-70 - 1 шт; Спектрофотометр LAMBDA\_650 - 1 шт

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
-------	--	----------------	-------------------------------------	--------------------

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Лабораторная работа «Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
2.	Лабораторная работа «Изучение свойства электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном р-п переходе»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
3.	Лабораторная работа «Изучение фотопроводимости в полупроводниках и фотовольтаического эффекта в р-п переходе».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
4	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
5	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
6	Лабораторная работа «Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
7	Лабораторная работа «Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников А <sup>3</sup> В <sup>5</sup> в области края собственного поглощения»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Собеседование

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Устный опрос по выполненным лабораторным работам.

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование

### Шкала и критерии оценивания

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Основной материал усвоен, в ответе прослеживается логическая последовательность между отдельными частями усвоенного материала, однако возможно наличие пробелов в отдельных разделах, неточности некоторых формулировок и определений.	Повышенный уровень	Зачтено
Во всех остальных случаях.	–	Незачтено