

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.01.02

Практикум по физике полупроводников

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: Руднев Е.В., к.ф.-м.н., доцент

7. Рекомендована: НМС физического факультета 25.05.2023, протокол №5

8. Учебный год: 2025-2026

Семестр(ы): 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: практическое закрепление фундаментальных знаний в области физики полупроводников и приобретение необходимых навыков для их использования в научно-исследовательской деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями физики полупроводников, а также основными методами исследования физических свойств полупроводников;
- выработка у обучающихся навыков работы с приборами и оборудованием современной физической лаборатории, проведения измерений основных электрофизических параметров полупроводников с использованием различных методик физических измерений и обработки экспериментальных данных;
- приобретение навыков проведения адекватного физического и математического моделирования, а также применения методов физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.

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.

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 электронных	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

	ной техники			
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 — 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 *
1. Лабораторные занятия			
1	Лабораторная работа «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с различным содержанием кислорода. Конвертация спектров в программу OMNISC и нахождение интегральной интенсивности. Расчет концентрации кислорода в исследуемом образце.	
2	Лабораторная работа «Определение концентрации, подвижности, эффективной массы	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с высокой электропро-	

	носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса»	водностью. Конвертация спектров в программу EXCEL, построение степенных зависимостей, проведение графического анализа и определение электрофизических параметров.	
3	Лабораторная работа «Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин монокристаллического кремния с различным содержанием кислорода. Конвертация спектров в программу OMNISC и нахождение интегральной интенсивности. Расчет концентрации кислорода в исследуемом образце.	
4	Лабораторная работа «Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».	Изучение устройства ИК Фурье спектрометра Vetrex-70 и приставки на отражение. Измерение спектров отражения пластин арсенида галлия в дальней ИК области. Конвертация спектров в программу OMNISC и определение значений LO и TO фононов. Проведение моделирования спектра фононного резонанса с использованием теории Борна - Куна.	
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».	Измерение спектра зеркального отражения пленки оксида алюминия на приборе LAMBDA-650 при двух углах падения. Расчет значений показателя преломления в точках экстремумов спектров отражения в программе EXCEL . Построение зависимости $n(\lambda)$. Расчет толщины пленки.	
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру 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. Моделирование спектра люминесценции арсенида галлия в соответствии с теорией Ван-Русбрека-Шокли. Определение положения максимума спектра излучения	
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»	Измерение температурной зависимости электропроводности германиевого образца. Построение зависимости $\ln(\sigma)$ от $1/T$. Расчет значений ширины запрещенной зоны и энергии активации примеси.	

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 «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»	7	3	10
2	Лабораторная работа «Определение концентрации,	7	3	10

	подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса»			
3	Лабораторная работа «Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».	7	3	10
4	Лабораторная работа «Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».	7	3	10
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».	7	3	10
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения»	7	3	10
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»	8	4	12
	Итого:	50	22	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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

Дисциплина «Практикум по физике полупроводников» 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 физике полупроводников» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Практикум по физике полупроводников» 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	Шалимова К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учебник / К.В. Шалимова .— Москва : Лань, 2010 .— 390 с. // Издательство «Лань» : электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com
2	Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики : учеб. пособие / А. И. Ансельм .— Москва : Лань, 2007 .— 423 с. // Издательство «Лань» : электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com
3	Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие / А.И. Ансельм .— Москва : Лань, 2008 .— 618 с. // Издательство «Лань» : Электронно-библиотечная система. — URL : http://e.lanbook.com

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанозифика и технические приложения = The Physics of semiconductors. An introduction including nanophysics and applications / М. Грундман ; [пер.с англ. : И.В. Ванюшина и др.] ; под ред. В.А. Гер-гея .— 2-е изд. — Москва : Физматлит, 2012 .— 771 с.
2	Легостаев Н.С. Материалы электронной техники / Н.С. Легостаев .— Томск : Эль Контент, 2012. — 184 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru

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

№ п/п	Источник
14	Портал Электронный университет ВГУ < https://edu.vsu.ru >
15	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
16	Базы знаний и библиотеки периодических изданий и препринтов в Интернете http://xxx.lanl.gov
17	Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml,simple.xsl+rus

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Статистика электронов и дырок в полупроводниках : учебное пособие по лекционному курсу «Физика полупроводников» / Воронеж. гос. ун-т; сост. : Е.Н. Бормонтов, М.Ю. Хухрянский .— Воронеж : ЛОП ВГУ, 2003 .— 30 с.
2	Моделирование зонной структуры полупроводников : учебное пособие по лекционному курсу «Физика полупроводников» / Воронеж. гос. ун-т; сост. : Е.Н. Бормонтов, Г.В. Быкадорова, А.Е. Гаврилов.— Воронеж : ЛОП ВГУ, 2003 .— 32 с.
3	Кинетические явления в полупроводниках : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 3 к. днев. отд-ния физ. фак., обуч. по программе подготовки бакалавров ; для направлений: 210100 - Электроника и наноэлектроника, 011800 - Радиофизика (профиль подготовки - Микроэлектроника и полупроводниковые приборы)]. Ч. 1. Внутренний фотоэффект / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014 .— 17 с.
4	Кинетические явления в полупроводниках : учебно-методическое пособие для вузов :

	[для студ. 3 к. днев. отд-ния физ. фак., обуч. по программе подготовки бакалавров ; для направлений: 210100 - Электроника и нанoeлектроника, 011800 - Радиофизика (профиль подготовки - Микроэлектроника и полупроводниковые приборы)]. Ч. 2. Эффект Холла / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014 .— 29 с.
5	Определение типа проводимости полупроводника : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009 .— 18 с.
6	Внутренний фотоэффект в полупроводниках : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, Е.Н. Берло .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009 .— 19 с.
7	Определение удельного сопротивления полупроводников четырехзондовым методом : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Л.Н. Владимирова, Е.Н. Бормонтов, В.И. Петраков .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009 .— 17 с.
8	Измерение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла : методические материалы для выполнения лабораторной работы / Воронеж. гос. ун-т; сост. : Е.Н. Бормонтов, Л.Н. Владимирова, М.А. Гудков .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008 .— 24 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

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

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-n-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;
- Осциллограф цифровой Rohde & Schwarz НМО 3054 - 1 шт.; осциллограф цифровой Rohde & Schwarz НМО 1004 - 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

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

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
1.	Лабораторная работа «Определение концентрации растворенного кислорода в кремнии по спектру ИК отражения»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
2.	Лабораторная работа «Определение концентрации, подвижности, эффективной массы носителей заряда в полупроводниковых материалах по спектральной зависимости коэффициента отражения в области плазменного резонанса»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
3.	Лабораторная работа «Определение толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК-излучения».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
4	Лабораторная работа «Определение параметров оптических фононов арсенида галлия, методом моделирования спектра фононного резонанса».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
5	Лабораторная работа «Определение толщины и спектральной зависимости показателя преломления тонких слоев оксида алюминия на непрозрачной подложке по спектрам зеркального отражения».	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
6	Лабораторная работа «Моделирование спектра излучательной рекомбинации арсенида галлия по спектру поглощения»	ПК-3 ПК-3	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
7	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости электропроводности германия»	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