

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)
31.08.2022г

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: Нестеров Дмитрий Николаевич, к.ф.-м.н., доцент
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022
8. Учебный год: 2025/26 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 ООП: 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	ПК-3.1	Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий	Знать: конструкционные материалы и способы определения типоразмеров заготовок для изделий
				Уметь: выбирать конструкционные материалы и определять типоразмеры заготовок для изделий
				Владеть: выбором конструкционных материалов и определением типоразмеров заготовок для изделий
ПК-7	Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники	ПК-7.1	Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники	Знать: необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Уметь: выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками подбора необходимых параметров

				технологических процессов производства изделий микроэлектроники
--	--	--	--	---

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 4/144.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			№ семестра 6	№ семестра
Аудиторные занятия				
в том числе:	лекции			
	практические			
	лабораторные	50	50	
Самостоятельная работа		94	94	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (зачет – 6 час.)				
Итого:		144	144	

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 «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 электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном р-п переходе»	Полупроводниковые р-п переходы. Физический р-п переход, контактная разность 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)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Лабораторная работа «Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации».			7	13	10
2	Лабораторная работа «Изучение свойства электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном р-п переходе»			7	13	10
3	Лабораторная работа «Изучение фотопроводимости в полупроводниках и фотовольтаического эффекта в р-п переходе».			7	13	10
4	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта»			7	13	10
5	Лабораторная работа «Измерение температурной			7	13	10

	зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия».					
6	Лабораторная работа «Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения»			7	13	10
7	Лабораторная работа «Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников A^3B^5 в области края собственного поглощения»			8	16	12
	Итого:			50	94	144

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	– 40 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 40 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 14 часов
итога	– 94 часа

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	В.В. Пасынков Полупроводниковые приборы : учебное пособие для студ.

	вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров и магистров "Электроника и микроэлектроника" и по направлению подготовки дипломированных специалистов "Электроника и микроэлектроника" / В.В. Пасынков, Г.К. Чиркин .— Изд. 8-е, испр. — СПб. : Лань, 2006 .— 478,[1]с.
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.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Физика полупроводниковых приборов / А.И. Лебедев .— М. : Физматлит, 2008 .— 487 с. : ил. — Библиогр.: с.463-477 .— Предм. указ.: с.478-487 .— ISBN 978-5-9221-0995-6.
2	Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. 210100 "Электроника и микроэлектроника" / В.И. Старосельский .— М. : Юрайт, 2011 .— 463 с. : ил. — (Основы наук) .— Библиогр. в конце глав .— ISBN 978-5-9916-0808-4 : 2500 .— ISBN 978-5-9692-0962-6 : 2500.

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

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

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	http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/06_01/LIGHT.HTM
2	http://journals.ioffe.ru/ftt

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:

1. Учебно-лабораторные стенды :

а. «Эффект Холла»

б. «Термо-ЭДС»

в. «Электропроводность полупроводников»

г. «Свойства р-п перехода»

д. «Терморезистор»

е. «Фотодиод»

ж. «Туннельный диод»

з. «Фоторезистор»

и. «Спектрофотометр СФ-56А»

к. «ИК-Фурье спектрометр Vertex-70»

л. «Спектрофотометр LAMBDA_650»

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 «Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации».	ПК-3 ПК-7	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-7	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-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
4	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
5	Лабораторная работа «Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия».	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
6	Лабораторная работа «Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения»	ПК-3 ПК-7	ПК-3.1 ПК-7.1	Опрос Лабораторная работа
7	Лабораторная работа «Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников A^3B^5 в области края собственного поглощения»	ПК-3 ПК-7	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: отчёт о выполнении лабораторных работ.

Перечень тем лабораторных работ:

1. Лабораторная работа 1 – Изучение работы полупроводникового лазера и его использования для передачи информации.
2. Лабораторная работа 2 – Изучение свойства электронно-дырочного перехода и туннельного эффекта в сильно легированном p-n переходе.
3. Лабораторная работа 3 – Изучение фотопроводимости в полупроводниках и фотовольтаического эффекта в p-n переходе.
4. Лабораторная работа 4 – Измерение температурной зависимости эффекта Холла германия и магниторезистивного эффекта.
5. Лабораторная работа 5 – Измерение температурной зависимости дифференциальной термо-ЭДС германия.
6. Лабораторная работа 6 – Исследование спектра поглощения непрямозонных материалов (Si, GaP) в области края собственного поглощения.
7. Лабораторная работа 7 – Исследование спектров поглощения прямозонных полупроводников A^3B^5 в области края собственного поглощения.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности и компетенций	Шкала предварительных оценок
---------------------------------	--	------------------------------

Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

Описание технологии проведения.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета – в форме контрольной работы. Критерии оценивания приведены выше.

Результаты текущей аттестации учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации (зачета).

В условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий все выполняемые задания текущей аттестации (лабораторные работы) обучающиеся вывешивают для проверки в личных кабинетах на портале «Электронный университет ВГУ» – [URL:https://edu.vsu.ru/](https://edu.vsu.ru/).

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине (зачет) осуществляется с помощью следующих оценочных средств: теоретических вопросов. В контрольно-измерительный материал включаются два теоретических вопроса. Контрольно-измерительные материалы предназначены для тех обучающихся, которым нет возможности выставить зачет по результатам текущей аттестации в семестре (в связи с ее невыполнением / неудовлетворительным выполнением).

Перечень вопросов к зачёту

1. Устройство полупроводникового лазера.
2. Использование лазера, как способа передачи данных.
3. Что такое p-n переход?
4. Понятие туннельного эффекта.
5. Фотопроводимость в полупроводниках.
6. Фотовольтаический эффект.
7. Эффект Холла.
8. Магниторезистивный эффект.
9. Термо-ЭДС.

10. Понятие о непрямозонных и прямозонных полупроводниках.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

В условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий зачет проводится с использованием портала «Электронный университет ВГУ» – Moodle:URL:<http://www.edu.vsu.ru/> – по результатам текущей аттестации в семестре.

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания).

Для оценивания результатов обучения на зачёте используются следующие показатели:

1. Знание основных свойств полупроводниковых структур и возможности управления ими.
2. Навыки использования полупроводниковых устройств микроэлектроники.
3. Умение определять подходящие конструкционные материалы при технологической подготовке производства

Для оценивания результатов обучения на зачёте используется – «зачтено», «не зачтено»

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения

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.	Пороговый уровень	Зачтено
Во всех остальных случаях.	–	Незачтено

В рамках промежуточной аттестации также могут использоваться средства тестирования, составляющие фонд оценочных средств, приведенные в пункте **20.3** ниже, для оценки уровня сформированности компетенций обучающихся.

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

ПК-3 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий.

ПК-3.1 Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий

Знать: конструкционные материалы и способы определения типоразмеры заготовок для изделий

Уметь: выбирать конструкционные материалы и определять типоразмеры заготовок для изделий

Владеть: выбором конструкционных материалов и определением типоразмеров заготовок для изделий

Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

1. Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности).

1. Кремний (Si) является _____ полупроводником:

а) непрямозонным;

б) прямозонным;

в) длиннопозонным;

г) короткозонным.

2. Арсенид галлия (GaAs) является _____ полупроводником:

а) непрямозонным;

б) прямозонным;

в) длиннопозонным;

г) короткозонным.

3. Чтобы получить полупроводник *n*-типа в кремний Si (IV группа) необходимо ввести примесь:

а) германий Ge (IV группа);

б) фосфор P (V группы);

в) бор B (III группа);

г) любую из вышеперечисленных.

2. Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

1. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре $n_0 = 3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Плотность германия $\rho = 5400 \text{ кг/м}^3$, молярная масса германия $M = 0,073 \text{ кг/моль}$. Каково отношение числа электронов проводимости к общему числу атомов? (Ответ: $6,7 \cdot 10^{-10}$)

2. По тонкой кремниевой пластинке шириной $l = 3,2 \text{ мм}$ и толщиной $d = 250 \text{ мкм}$ течет ток $I = 5,2 \text{ мА}$. Кремний содержит примеси фосфора и является полупроводником *n*-типа. Число электронов в единице объема во много раз превышает концентрацию носителей заряда в чистом кремнии. Для данного образца концентрация электронов составляет $n_e = 1,5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. Определите среднюю дрейфовую скорость электронов. (Ответ: $0,27 \text{ м/с}$)

3. Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности)

1. Расстояние между катодом и анодом вакуумного диода равно 1 см . Сколько времени движется электрон от катода к аноду при анодном напряжении 440 В ? Движение считать равноускоренным.

(Ответ: $1,6 \text{ нс}$)

2. Концентрация электронов в собственном полупроводнике при температуре 400 К оказалась равной $1,38 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Найти значение произведения эффективных масс электрона и дырки, если известно, что ширина запрещенной зоны меняется по закону $E_g = (0,785 - 4 \cdot 10^{-4}T) \text{ эВ}$.

(Ответ: $0,21$)

ПК-7 Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники.

ПК-7.1 Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники

Знать: необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

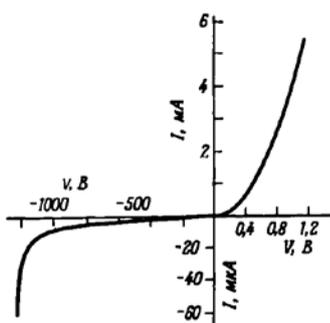
Уметь: выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

Владеть: навыками подбора необходимых параметров технологических процессов производства изделий микроэлектроники.

Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

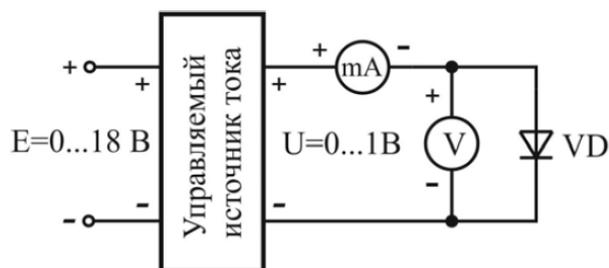
1. Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности).

1. ВАХ какого прибора представлена на графике?

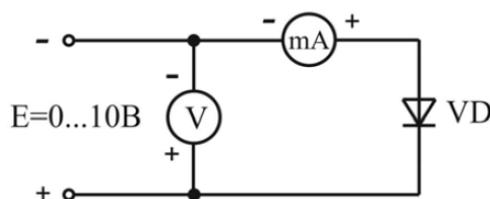


- а) резистора;
- б) полупроводникового диода;**
- в) ёмкости;
- г) индуктивности.

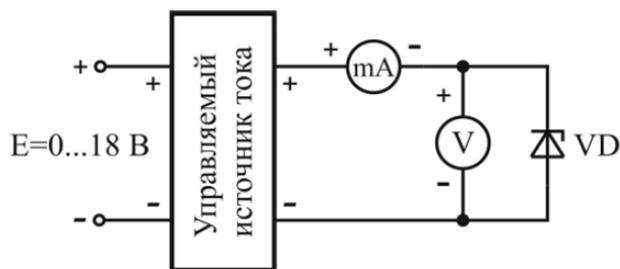
2. Электрическая схема измерения прямой ветви ВАХ диода изображена на рисунке... (Ответ: а)



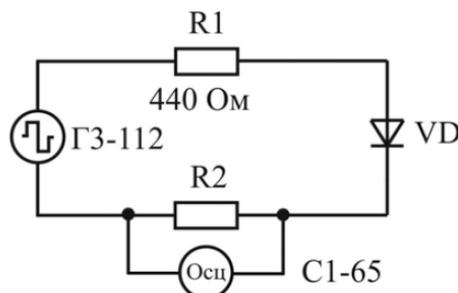
а



б

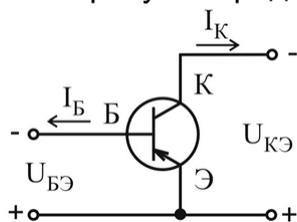


в



г

3. На рисунке представлена схема включения биполярного транзистора



а) с общей базой;

б) с общим эмиттером;

в) с общим коллектором;

г) нет правильного варианта ответа.

2. Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

1. Найдите сопротивление полупроводникового диода в прямом и обратном направлении тока, если при напряжении на диоде 0,5 В сила тока равна 5 мА, а при напряжении 10 В сила тока равна 0,1 мА.

(Ответ: 100 Ом и 100 кОм)

2. В усилителе, собранном на транзисторе по схеме с общей базой, сила тока в цепи эмиттера равна $I_{\text{Э}} = 12$ мА, в цепи базы $I_{\text{Б}} = 600$ мкА. Найти силу тока в цепи коллектора.

(Ответ: 11,4 мА)

3. Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности)

1. Транзистор типа n-p-n включен по схеме с общей базой (ОБ). Напряжение эмиттер-база $U_{\text{ЭБ}} = -0,5$ В, напряжение коллектор-база $U_{\text{КБ}} = 12$ В. Определить напряжение коллектор-эмиттер.

(Ответ: 12,5 В)

2. Транзистор типа p-n-p включен по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Напряжение база-эмиттер $U_{\text{БЭ}} = -0,8$ В, напряжение коллектор-эмиттер $U_{\text{КЭ}} = -10$ В. Определить напряжение коллектор-база.

(Ответ: -9,2 В)

Комментарий: поскольку мини-кейсы предполагают свободные ответы обучающихся, допускаются иные (верные), помимо указанных ниже, формулировки ответа и фактологические данные.

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности).

- 2 балла – указан верный ответ,
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

3) открытые задания (мини-кейсы средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено неполностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или в случае, если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

При проведении тестирования используется следующая шкала оценки освоения компетенций (% от набранных баллов, в соответствии со шкалой оценивания, приведенной выше):

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
шифр и наименование направления/специальности

Дисциплина: Б1.В.ДВ.01.01 Практикум по полупроводниковым приборам на основе гетероструктур
код и наименование дисциплины

Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника
в соответствии с Учебным планом

Форма обучения: очная

Учебный год: 2025-2026

Ответственный исполнитель -

<u>Зав.кафедрой ФТТИНС</u> должность, подразделение	_____	<u>(П.В. Середин)</u> расшифровка подписи	____.____.20__
--	-------	--	----------------

Исполнители:

<u>Доцент каф. ФТТИНС</u> должность, подразделение	_____	<u>(Д.Н. Нестеров)</u> расшифровка подписи	____.____.20__
---	-------	---	----------------

_____	_____	_____	____.____.20__
-------	-------	-------	----------------

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО направления 11.04.04	_____	<u>(Г.В. Быкадорова)</u> расшифровка подписи	____.____.20__
--	-------	---	----------------

Зав.отделом обслуживания ЗНБ	_____	<u>(Н.В. Белодедова)</u> расшифровка подписи	____.____.20__
---------------------------------	-------	---	----------------

Рекомендована НМС физического факультета, протокол № 5 от 25.05.2023
(наименование факультета, структурного подразделения)