


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)  
31.08.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.О.21. Физические основы электроники**

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

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Интегральная электроника и микроэлектроника

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:**

Терехов Владимир Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор,  
Барков Константин Александрович, кандидат физико-математических наук, старший  
преподаватель

**7. Рекомендована:**

НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024

**8. Учебный год:** 2026/2027

**Семестр:** пятый

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины является: формирование базовых знаний в области физики для объяснения устройства и принципов работы приборов современной полупроводниковой электроники.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина “Физические основы электроники” является дисциплиной вариативной части блока Б1.

Дисциплина основывается на дисциплинах “Физика” (Б1.О.13), “Квантовая механика и статистическая физика” (Б1.О.14) и обязательной дисциплины базовой части “Физика конденсированного состояния” (Б1.О.19).

## 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
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1	Находит и критически анализирует научно-техническую информацию, необходимую для решения поставленной задачи	Знать: способы поиска и критического анализа научно-технической информации, необходимой для решения поставленной задачи Уметь: находить и критически анализировать научно-техническую информацию, необходимую для решения поставленной задачи Владеть: навыками поиска и критического анализа научно-технической информации, необходимой для решения поставленной задачи
		ОПК-2.2	Определяет в рамках поставленной инженерной задачи совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение	Знать: методы определения в рамках поставленной инженерной задачи совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение Уметь: определять в рамках поставленной инженерной задачи совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение Владеть: навыками определения в рамках поставленной инженерной задачи совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение
		ОПК-2.3	Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач	Знать: способы определения ожидаемых результатов решения поставленных задач Уметь: определять ожидаемые результаты решения поставленных задач

				задач Владеть: навыками определения ожидаемых результатов решения поставленных задач
--	--	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час 4/144**

**Форма промежуточной аттестации зачет**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			5 семестр		
Контактная работа		102	102		
в том числе:	лекции	34	34		
	практические	–	–		
	лабораторные	68	68		
	курсовая работа	–	–		
Самостоятельная работа		42	42		
Промежуточная аттестация		–	–		
Итого:		144	144		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Раздел 1	Введение. Основные свойства полупроводников. Электрические, магнитные и оптические свойства. Фотопроводимость.	–
1.2	Раздел 2	Кремний и германий химическая связь и кристаллическое строение.	–
1.3	Раздел 3	Зонная структура и энергетический спектр носителей заряда. Уравнение Шредингера, квазиимпульс и энергетические зоны в классических полупроводниках Si, Ge, GaAs. Прямая и не прямая зонная структура.	–
1.4	Раздел 4	Эффективная масса носителей заряда. Элементарная теория примесных состояний в полупроводниках. Энергия ионизаций донорных и акцепторных состояний в кремнии и в германии.	–
1.5	Раздел 5	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность электронных состояний в приближении параболических зон. Функция распределения Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней.	–
1.6	Раздел 6	Концентрация электронов и дырок в зонах. Эффективная плотность состояний. Примесный полупроводник. Невырожденный полупроводник, собственная концентрация носителей заряда. Концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике при термодинамическом равновесии.	–
1.7	Раздел 7	Сильно вырожденный полупроводник. Зависимость концентрации носителей заряда в не вырожденном и вырожденном полупроводнике.	–
1.8	Раздел 8	Собственный полупроводник. Энергия активации проводимости для собственного полупроводника. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры.	–
1.9	Раздел 9	Зависимость положения уровня Ферми от температуры для собственного и примесного полупроводника.	–
1.10	Раздел 10	Время релаксации носителей заряда в полупроводниках и подвижность носителей тока. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния носителей.	–
1.11	Раздел 11	Температурная зависимость удельной проводимости в полупроводниках.	–
1.12	Раздел 12	Оптическое поглощение в полупроводниках. Фундаментальное поглощение. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках. Правило отбора.	–
1.13	Раздел 13	Собственное поглощение в полупроводниках с не прямой зоной структурой влияния температуры на характер спектра собственного поглощения. Определения энергии фононов.	–
1.14	Раздел 14	Экситонное поглощение света в полупроводниках. Уравнение Шредингера и энергетический спектр экситонов.	–
1.15	Раздел 15	Поглощение света свободными носителями. Особенности поглощения электронами и дырками.	–
1.16	Раздел 16	Примесное и решеточное поглощение света.	–
<b>2. Лабораторные занятия</b>			
2.1	Лабораторная работа 1	Концентрация электронов и дырок в зонах. Эффективная плотность состояний. Примесный полупроводник. Невырожденный полупроводник, собственная концентрация носителей заряда. Концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике при	–

		термодинамическом равновесии.	
2.2	Лабораторная работа 2	Собственный полупроводник. Энергия активации проводимости для собственного полупроводника. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры.	–
2.3	Лабораторная работа 3	Температурная зависимость удельной проводимости в полупроводниках.	–
2.4	Лабораторная работа 4	Оптическое поглощение в полупроводниках. Фундаментальное поглощение. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках. Правило отбора.	–
2.5	Лабораторная работа 5	Собственное поглощение в полупроводниках с непрямой зоной структурой влияния температуры на характер спектра собственного поглощения. Определения энергии фононов.	–

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Раздел 1	2			2	4
2.	Раздел 2	2			2	4
3.	Раздел 3	2			2	4
4.	Раздел 4	2			2	4
5.	Раздел 5	2			2	4
6.	Раздел 6	2		12	2	16
7.	Раздел 7	2			2	4
8.	Раздел 8	2		12	2	16
9.	Раздел 9	2			2	4
10.	Раздел 10	2			2	4
11.	Раздел 11	2		16	4	22
12.	Раздел 12	4		14	2	20
13.	Раздел 13	2		14	4	20
14.	Раздел 14	2			4	6
15.	Раздел 15	2			4	6
16.	Раздел 16	2			4	6
	Итого:	34	–	68	42	144

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

Изучение дисциплины «Физические основы электроники» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Физические основы электроники» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; 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.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом уславливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

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.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятое во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

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 студентов при изучении дисциплины «Физические основы электроники» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных и курсовых работ, подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы, подготовку к зачету.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Физические основы электроники: определение основных параметров полупроводниковых материалов : учебно-методическое пособие / сост.: П.В. Середин, В.А. Терехов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020. – 35 с.
2.	Физические основы электроники: температурные и магнитные свойства полупроводников : учебно-методическое пособие / сост.: П.В. Середин, В.А. Терехов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020. – 34 с.
3.	<a href="#">Шалимова К.В.</a> Физика полупроводников : учебник / К.В. Шалимова .— Изд. 4-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 390, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) // Издательство «Лань» : Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
4.	Агеев, И. М. Физические основы электроники и нанoeлектроники : учебное пособие / И. М. Агеев. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-8114-4081-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/131007">https://e.lanbook.com/book/131007</a> (дата обращения: 07.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5.	Зегря Г.Г. Основы физики полупроводников / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. — М.: ФИЗМАТЛИТ , 2009. — 336 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	<a href="#">Фистуль, В. И.</a> Введение в физику полупроводников : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Полупроводники и диэлектрики" и "Технология специальных материалов электронной техники" / В.И. Фистуль .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1984 .— 351, [1] с.
2.	<a href="#">Ю, Питер.</a> Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона ; Пер. И.И. Решинной; Под ред. Б.П. Захарченя .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2002 .— 560 с.

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.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"
3.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a> – Федеральный портал «Российское образование»
3.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>

## 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.

№ п/п	Источник
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	Федеральный портал «Российское образование» <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория спецпрактикумов кафедры физики твердого тела и наноструктур (лаб.126):

Лабораторный стенд для исследования эффекта Холла; лабораторный стенд для исследования эффекта термо-ЭДС; лабораторный стенд для исследования электропроводности полупроводников; спектрофотометр СФ-56А; осциллограф цифровой Rohde & Schwarz HMO 1002; установка для измерения параметров полупроводниковых материалов на эффекте Холла HMS-2000; мультимедийная доска TriumphBord78" MultiTouch;

Лаборатория инфракрасной спектроскопии центра коллективного пользования ВГУ (лаб. 49):

ИК-Фурье спектрометр Vertex-70; 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.	Раздел 1	ОПК-2	ОПК-2.1	Устный опрос
2.	Раздел 2		ОПК-2.3	Лаб. раб №1
3.	Раздел 3		ОПК-2.2	Устный опрос
4.	Раздел 4		ОПК-2.3	Устный опрос
5.	Раздел 5		ОПК-2.2	Устный опрос
6.	Раздел 6		ОПК-2.3	Лаб. раб №2
7.	Раздел 7		ОПК-2.1	Устный опрос
8.	Раздел 8		ОПК-2.2	Лаб. раб №3
9.	Раздел 9		ОПК-2.1	Устный опрос
10.	Раздел 10		ОПК-2.3	Устный опрос
11.	Раздел 11		ОПК-2.1	Устный опрос
12.	Раздел 12		ОПК-2.2	Лаб. раб №4
13.	Раздел 13		ОПК-2.1	Устный опрос
14.	Раздел 14		ОПК-2.3	Лаб. раб №5
15.	Раздел 15		ОПК-2.1	Устный опрос
16.	Раздел 16		ОПК-2.3	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Комплект КИМ

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

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ:

#### Перечень тем лабораторных работ:

1. Лабораторная работа 1 – Концентрация электронов и дырок в зонах. Эффективная плотность состояний. Примесный полупроводник. Невырожденный полупроводник, собственная концентрация носителей заряда. Концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике при термодинамическом равновесии.

2. Лабораторная работа 2 – Собственный полупроводник. Энергия активации проводимости для собственного полупроводника. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры.

3. Лабораторная работа 3 – Температурная зависимость удельной проводимости в полупроводниках.

4. Лабораторная работа 4 – Оптическое поглощение в полупроводниках. Фундаментальное поглощение. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках. Правило отбора.

5. Лабораторная работа 5 – Собственное поглощение в полупроводниках с непрямой зоной структуры влияния температуры на характер спектра собственного поглощения. Определения энергии фононов.



отчеты о выполнении курсовых работ:

### Перечень тем курсовых работ:

- 1 Зонная структура и оптические свойства кремния.
- 2 Зонная структура и оптические свойства германия.
- 3 Зонная структура и оптические свойства алмаза.
- 4 Зонная структура и оптические свойства олова.
- 5 Зонная структура и оптические свойства нитрида бора.
- 6 Зонная структура и оптические свойства нитрида алюминия.
- 7 Зонная структура и оптические свойства нитрида галлия.
- 8 Зонная структура и оптические свойства нитрида индия.
- 9 Зонная структура и оптические свойства фосфида бора.
- 10 Зонная структура и оптические свойства фосфида алюминия.
- 11 Зонная структура и оптические свойства фосфида галлия.
- 12 Зонная структура и оптические свойства фосфида индия.
- 13 Зонная структура и оптические свойства арсенида бора.
- 14 Зонная структура и оптические свойства арсенида алюминия.
- 15 Зонная структура и оптические свойства арсенида галлия.
- 16 Зонная структура и оптические свойства арсенида индия.
- 17 Зонная структура и оптические свойства антимонида бора.
- 18 Зонная структура и оптические свойства антимонида алюминия.
- 19 Зонная структура и оптические свойства антимонида галлия.
- 20 Зонная структура и оптические свойства антимонида индия.
- 21 Зонная структура и оптические свойства оксида цинка.
- 22 Зонная структура и оптические свойства сульфида цинка.
- 23 Зонная структура и оптические свойства сульфида кадмия.
- 24 Зонная структура и оптические свойства сульфида ртути.
- 25 Зонная структура и оптические свойства селенида цинка.
- 26 Зонная структура и оптические свойства селенида кадмия.
- 27 Зонная структура и оптические свойства селенида ртути.
- 28 Зонная структура и оптические свойства теллурида цинка.
- 29 Зонная структура и оптические свойства теллурида кадмия.
- 30 Зонная структура и оптические свойства теллурида ртути.

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

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 зачету**

1. Введение. Основные свойства полупроводников. Электрические, магнитные и оптические свойства. Фотопроводимость.
2. Температурная зависимость удельной проводимости в полупроводниках.
3. Кремний и германий химическая связь и кристаллическое строение.
4. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла в полупроводниках при слабых магнитных полях. Холл-фактор. Коэффициент Холла и определение концентрации носителей тока в полупроводниках. Температурная зависимость коэффициента Холла в полупроводниках p- и n- типов
5. Зонная структура и энергетический спектр носителей заряда. Уравнение Шредингера, квазиимпульс и энергетические зоны в классических полупроводниках Si, Ge, GeAs. Прямая и не прямая зонная структура.
6. Магниторезистивный эффект. Влияние магнитного поля на рассеяние носителей. Определение подвижности носителей тона
7. Эффективная масса носителей заряда. Элементарная теория примесных состояний в полупроводниках. Энергия ионизаций донорных и акцепторных состояний в кремнии и в германии
8. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Зеебека. Зависимость коэффициента Термо эдс от концентрации носителей. Определение типа проводимости по знаку коэффициента Термо эдс. Температурная зависимость коэффициента Термо эдс. Эффект Пельтье и эффект Томсона
9. Статистика электронов и дырок в полупроводниках . Плотность электронных состояний в приближении параболических зон . Функция распределения Ферми -Дирака. Степень заполнения примесных уровней.
10. Эффект Ганна в полупроводниках. N - образная ВАХ и генерация СВЧ колебаний
11. Концентрация электронов и дырок в зонах. Эффективная плотность состояний. Примесный полупроводник. Невырожденный полупроводник, собственная концентрация носителей заряда. Концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике при термодинамическом равновесии
12. Оптическое поглощение в полупроводниках. Фундаментальное поглощение. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках. Правило отбора
13. Сильно вырожденный полупроводник. Зависимость концентрации носителей заряда в не вырожденном и вырожденном полупроводнике
14. Собственное поглощение в полупроводниках с не прямой зоной структурой влияния температуры на характер спектра собственного поглощения. Определения энергии фононов
15. Собственный полупроводник. Энергия активации проводимости для собственного полупроводника. Зависимость ширины запрещенной зоны от температуры
16. Поглощение света сильно легированными полупроводниками. Сдвиг края поглощения при повышении уровня легирования. Хвост Урбаха
17. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для собственного и примесного полупроводника
18. Экстремальное поглощение света в полупроводниках. Уравнение Шредингера и энергетический спектр экситонов
19. Время релаксации носителей заряда в полупроводниках и подвижность носителей тока. Зависимость подвижности от температуры при различных механизмах рассеяния носителей
20. Поглощение света свободными носителями. Особенности поглощения электронами и дырками
21. Примесное и решеточное поглощение света.

22. Стационарное уравнение неопределенности диффузионная длина носителей заряда.
23. Введение. Основные свойства полупроводников. Электрические, магнитные и оптические свойства. Фотопроводимость.
24. Неравновесные носители заряда. Рекомбинация и генерация. Уравнение непрерывности и уравнение для тока носителей заряда. Время жизни носителей заряда

#### 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 зачете используются следующие показатели:

1. знание классификации твердых тел на металлы, полупроводники, диэлектрики, с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства полупроводников, механизмы изменения проводимости полупроводниковых материалов и возможности управления ими, особенности оптических свойств полупроводников в зависимости от типа зонной структуры;
2. умение оценивать пределы перестройки технологии легирования полупроводников.
3. умение обеспечивать технологическую и конструктивную реализацию материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах электроники;
4. владение методами квантово – механического описания простейших квантовых систем, входящих в составе электронных структур и технологических методов их формирования.

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

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент проявляет знания основных понятий, определений и теорем. По зачетной контрольной работе имеет положительную оценку.	Пороговый уровень	зачтено
Во всех остальных случаях	-	не зачтено

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:

**ОПК-2** Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

**ОПК-2.1** Находит и критически анализирует научно-техническую информацию, необходимую для решения поставленной задачи.

**Знать:** способы поиска и критического анализа научно-технической информации, необходимой для решения поставленной задачи.

**Уметь:** находить и критически анализировать научно-техническую информацию, необходимую для решения поставленной задачи.

**Владеть:** навыками поиска и критического анализа научно-технической информации, необходимой для решения поставленной задачи.

**ОПК-2.2** Определяет в рамках поставленной инженерной задачи совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение.

**Знать:** методы определения в рамках поставленной инженерной задачи совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение

**Уметь:** определять в рамках поставленной инженерной задачи совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение

**Владеть:** навыками определения в рамках поставленной инженерной задачи совокупности взаимосвязанных задач, обеспечивающих её достижение

**ОПК-2.3** Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач.

**Знать:** способы определения ожидаемых результатов решения поставленных задач

**Уметь:** определять ожидаемые результаты решения поставленных задач

**Владеть:** навыками определения ожидаемых результатов решения поставленных задач

### Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

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

1. Какой из перечисленных материалов обладает самым низким удельным сопротивлением?

**а) Серебро**

б) Медь

в) Золото

г) Кремний

2. Какой из перечисленных материалов обладает самым высоким удельным сопротивлением:

а) Si

**б) SiO<sub>2</sub>**

в) W

г) Ge

3. Расстояние, проходимое свободным носителем заряда между двумя столкновениями с дефектами кристаллической решетки, называется:

**а) длина свободного пробега**

б) время свободного пробега

в) скорость теплового движения

г) ширина запрещенной зоны

4. Процесс превращения свободного электрона в связанный электрон носит название.

а) сублимации

б) адсорбции

в) генерации

**г) рекомбинации**

5. Какой из перечисленных материалов относится к полупроводникам:

а) Золото

б) Тантал

**в) Германий**

г) Ртуть

6. В собственном полупроводнике в результате разрыва ковалентных связей, образующееся количество свободных электронов:

а) больше чем количество дырок

б) меньше чем количество дырок

**в) равно количеству дырок**

г) намного больше чем количество дырок

7. Полупроводник, в котором основными носителями заряда являются электроны, называют:

**а) полупроводник n-типа**

б) полупроводник p-типа

в) полупроводник с дырочным типом проводимости

г) диэлектрик

8. Полупроводник, легированный акцепторной примесью, носит название:

а) электронный

б) n-типа

**в) p-типа**

г) собственный

9. Минимальное расстояние между дном зоны проводимости и потолком валентной зоны называют:

- а) шириной запрещенной зоны
- б) длиной свободного пробега
- в) шириной валентной зоны
- г) уровнем Ферми

10. Какое вещество по ширине запрещенной зоны  $\Delta E$  следует отнести к диэлектрикам?

- а) Нитрид кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ( $\Delta E = 4,5$  эВ);
- б) Арсенид галлия GaAs ( $\Delta E = 1,43$  эВ);
- в) Кремний Si ( $\Delta E = 1,12$  эВ);
- г) Германий Ge ( $\Delta E = 0,66$  эВ).

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

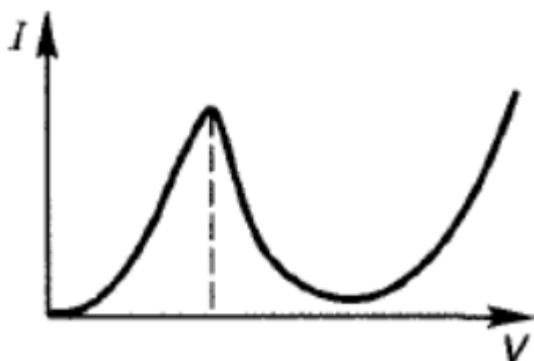
1. Дополните предложение. Для резонансно-туннельных диодов отношение удельной емкости к пиковой плотности тока, намного меньше, чем для диодов Исаки, поэтому максимальное быстродействие резонансно-туннельных диодов оказывается намного \_\_\_\_\_, чем у диодов Исаки.

**Ответ:** Выше или больше

2. Какие требования предъявляются к свехрешеткам в туннельных диодах для достижения высоких рабочих плотностей тока?

**Ответ:** Для достижения высоких рабочих плотностей тока необходимо, чтобы барьеры были достаточно тонкими (несколько моноатомных слоев), а границы раздела - резкими и четкими.

3. Вольт-амперная характеристика, представленная на рисунке, характерна для \_\_\_\_\_ диода.



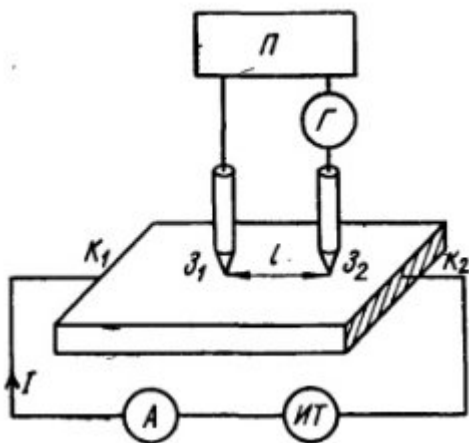
**Ответ:** Резонансно-туннельного или туннельного

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

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

1. Изобразите принципиальную электрическую схему двухзондового метода. Приведите рабочую формулу оценки удельного сопротивления полупроводника двухзондовым методом. Опишите требования, предъявляемые к форме образцов, в случае проведения измерений двухзондовым методом.

**Ответ:** Принципиальная электрическая схема двухзондового метода:



ИТ – источник тока, А – амперметр, Г – гальванометр, П – потенциометр, З1, З2 – зонды, К1, К2 – торцевые контакты.

В случае двухзондового метода, удельное сопротивление части образца, заключенной между зондами, определяют по формуле:

$$\rho = \frac{U S}{I l}$$

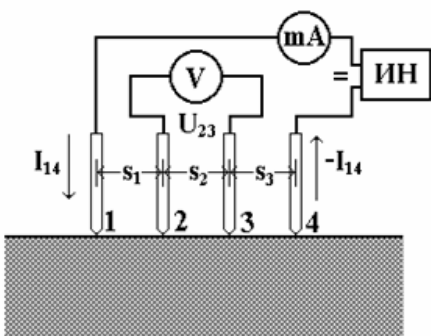
, где S – поперечное сечение образца, l – расстояние между зондами, U – падение напряжения между зондами, I – сила тока в цепи.

Поскольку для определения удельного сопротивления необходимо знать поперечное сечение образца, то надо использовать образцы простой геометрической формы, что является существенным недостатком данного метода.

2. Изобразите принципиальную электрическую схему четырехзондового метода. Приведите рабочую формулу оценки удельного сопротивления полупроводника четырехзондовым методом. Опишите требования, предъявляемые к форме образцов, в случае проведения измерений четырехзондовым методом.

**Ответ:** В случае четырехзондового метода существует множество схем расположения зондов. Одним из самых простых и распространенных является линейное расположение зондов.

Принципиальная электрическая схема четырехзондового метода:



, где ИН – источник напряжения, mA – миллиамперметр, V – вольтметр, I14 – сила тока в цепи (через зонды 1 и 4), U23 – разность потенциалов между зондами 2 и 3, S1=S2=S3 – расстояние между зондами.

Рабочая формула четырехзондового метода для полубесконечного образца, в случае, когда расстояния между зондами S1=S2=S3 равны:

$$\rho = 2\pi s \frac{U_{23}}{I_{14}}$$

, где s – расстояние между зондами, U23 – разность потенциалов между зондами 2 и 3, I14 – сила тока в цепи. В случае измерения удельного сопротивления образцов когда толщина образца d соизмерима с межзондовым расстоянием, что наблюдается в случае пластин кремния, используется другая рабочая формула:

$$\rho = \pi d \frac{U_{23}}{I_{14}} \cdot \ln 2$$

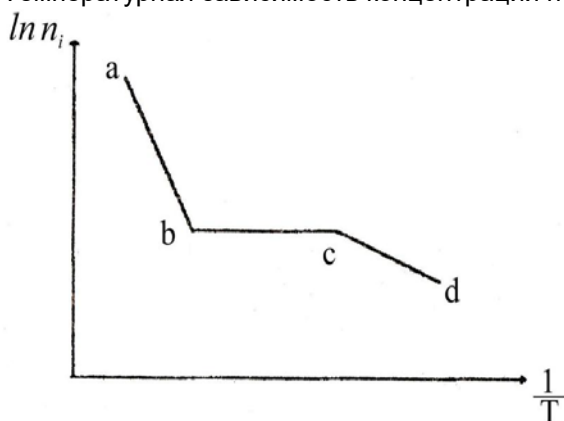
, где  $d$  - толщина образца.

С помощью четырехзондового метода возможно измерение удельного сопротивления образцов любой формы и размеров. Условием для применения четырехзондового метода с точки зрения формы образца является наличие плоской поверхности, линейные размеры которой превосходят линейные размеры зондов.

3. Изобразите и опишите вид температурной зависимости концентрации носителей заряда в полупроводнике, содержащего донорную примеси.

**Ответ:** Поскольку концентрация как собственных, так и примесных носителей, в зоне проводимости полупроводника растет экспоненциально, то температурную зависимость представляют в логарифмическом масштабе.

Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике, содержащего примеси:



Участок  $ab$  соответствует собственной проводимости и наблюдается при высоких температурах, когда тепловая энергия  $kT > E_g$ . В этом случае рост концентрации электронов осуществляется за счет межзонных переходов.

Участок  $cd$  находится в области низких температур и проводимость обусловлена примесями. В этом случае  $kT < E_g$  тепловой энергии недостаточно для переходов электронов из валентной зоны в зону проводимости, однако достаточно для ионизации примеси, т.е. тепловая энергия выше энергии активации примеси  $kT > E_d$ . При дальнейшем повышении температуры все донорные примеси будут ионизованы (истощены) и рост концентрации носителей прекратится (участок  $bc$ ). Данный участок температурной зависимости называется областью истощения.

#### 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

Дисциплина: Б1.О.21 Физические основы электроники

Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника

Форма обучения: очная

Учебный год: 2022-2023

---

Ответственный исполнитель -

Зав.кафедрой ФТТиНС  
должность, подразделение

\_\_\_\_\_ *подпись*

((П. В. Середин)  
*расшифровка подписи*

31.08.2022

Исполнители:

Профессор каф. ФТТиНС  
должность, подразделение

\_\_\_\_\_ *подпись*

(В.А. Терехов)  
*расшифровка подписи*

31.08.2022

Ст. преп. каф. ФТТиНС  
должность, подразделение

\_\_\_\_\_ *подпись*

(К. А. Барков)  
*расшифровка подписи*

31.08.2022

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО  
направления 11.04.04

\_\_\_\_\_ *подпись*

(Г.В. Быкадорова)  
*расшифровка подписи*

31.08.2022

Зав.отделом  
обслуживания ЗНБ

\_\_\_\_\_ *подпись*

(Н.В. Белодедова)  
*расшифровка подписи*

31.08.2022

---

Рекомендована НМС физического факультета, протокол № 5 от 31.08.2022  
(наименование факультета, структурного подразделения)