



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра общей и экспериментальной физики**



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Наименование дисциплины (модуля)** Б1.О.20 Микро- и нанoeлектроника

**Направление подготовки** 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**Направленность (профиль) подготовки** Электроника и нанoeлектроника

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Форма обучения** очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 30 от «31» августа 2021 г.

**Председатель:** д.ф.-м.н., профессор  
Н.М. Буднев

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 1 от «30» августа 2021 г.

**Зав.кафедрой** д.ф.-м.н.  
А.А. Гаврилюк

Иркутск 2021 г.

## Содержание

	стр.
1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины (модуля)	5
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	
6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов.	7
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) :	9
а) основная литература;	
б) дополнительная литература;	
в) программное обеспечение;	
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	10
10. Образовательные технологии	10
11. Оценочные средства (ОС).	11

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

**Целью** изучения учебной дисциплины «Микро- и наноэлектроника» является приобретение студентами необходимых базовых знаний в области микро- и наноэлектроники.

### **Задачи дисциплины:**

- приобретение знаний в области основ квантовой механики, теории твердого тела, теории полупроводников, технологии материалов микро- и наноэлектроники и овладение умениями использовать эти знания при решении задач;

- изучение физических процессов, законов и эффектов, лежащих в основе принципов действия приборов микро- и наноэлектроники, и определяющих характеристики и параметры этих приборов;

- обзор различных нанотехнологических процессов создания наноматериалов и основных тенденций развития нанотехнологий в мире, знакомство с современными экспериментальными средствами исследования материалов с нанометровым пространственным разрешением, а также ознакомление с современными достижениями по созданию и применению наноустройств;

- создание основы для последующего изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая элементы и приборы наноэлектроники, физики низкоразмерных систем, твердотельной электроники и технологии микро- и наноэлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Учебная дисциплина «Микро- и наноэлектроника» входит в базовую часть дисциплин программы бакалавриата.

Дисциплина «Микро- и наноэлектроника» опирается на школьные дисциплины естественно-научного цикла: «Математика», «Физика» и «Химия», а также на базовую дисциплину программы бакалавриата «Общая физика».

Общая трудоемкость курса - 3 зачетных единицы.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

### **общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-1, ОПК-2**

- способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

### **Знать:**

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	3-1	<b>Знать</b> этапы и основы развития электроники, которые включают элементы квантовой физики, физики твердого тела и полупроводниковых структур;
ОПК-2	3-2	<b>Знать</b> о физических процессах, лежащих в основе принципов действия приборов и устройств микро- и наноэлектроники, методах их аналитического описания; факторах, определяющих параметры и характеристики, конструкции и области применения

		этих устройств;
--	--	-----------------

**Уметь:**

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	У-1	<b>Уметь</b> организовывать свою работу по самостоятельному изучению основ микро- и нанoeлектроники с использованием справочной, учебной, монографической, периодической научно-технической литературы и интернет-источников по микро- и нанoeлектронике;
ОПК-2	У-2	<b>Уметь</b> использовать базовые знания в области математики и естественных наук в процессе изучения физических явлений, принципов построения и функционирования устройств микро- и нанoeлектроники; ориентироваться в физических размерностях и величинах при решении практических задач; применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств микро- и нанoeлектроники.

**Владеть:**

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	В-1	<b>Владеть</b> навыками применения базовых знаний в области квантовой физики, физики твердого тела, физики полупроводниковых структур и нанoeлектроники для оценки тенденций развития микро- и нанoeлектроники.
ОПК-2	В-2	<b>Владеть</b> методами и средствами решения задач микро- и нанoeлектроники на основе базовых знаний из области квантовой физики, физики твердого тела и физики полупроводников, привлекая справочный материал.

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)**

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
					<b>6</b>
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>76</b>				<b>76</b>
В том числе:					
Лекции	38				38
Практические занятия (ПЗ)	38				38
Лабораторные работы	-				-
КСР	-				-
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>23</b>				<b>23</b>
В том числе:					
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					

Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Подготовка докладов по темам, решение задач, подготовка к зачету	23				23
Вид промежуточной аттестации: зачет	9				9
Вид итоговой аттестации:					
Общая трудоемкость: часы	108				108
зачетные единицы	3				3

## 5. Содержание дисциплины (модуля)

Этапы и основы развития электроники. Основные представления квантовой механики. Строение и свойства материалов микроэлектроники. Полупроводники и их свойства. Полупроводниковые структуры. Предпосылки перехода от микро- к наноэлектронике. Элементы квантовой физики. Физические основы наноэлектроники. Квантоворазмерные эффекты. Виды низкоразмерных объектов. Туннельный эффект. Аллотропные формы углерода.

### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля).

#### Тема 1. Введение. Основные положения и направления развития микро- и наноэлектроники.

Этапы развития электроники. История развития микроэлектроники. Основные положения и принципы микро- и наноэлектроники. Факторы, определяющие развитие микроэлектроники. Классификация изделий микроэлектроники. Современные направления развития микро- и наноэлектроники.

#### Тема 2. Структура и свойства твердых тел.

- 2.1 Свойства твердых тел. Типы химической связи.
- 2.2 Кристаллическая структура. Потенциальная и силовая функции взаимодействия частиц в кристалле. Кристаллы (атомные, металлические, молекулярные, ионные).
- 2.3 Кристаллическая решетка идеальных кристаллов. Типы кристаллических решеток. Параметры кристаллической решетки. Типы элементарных ячеек-решетки Браве.
- 2.4 Свойства кристаллов. Анизотропия. Аллотропия. Полиморфизм.
- 2.5 Аллотропные формы углерода.
- 2.6 Некристаллические твердые тела.
- 2.7 Методы получения кристаллов.
- 2.8 Дефекты в кристаллах. Классификация микродефектов кристаллов. Структурно-чувствительные свойства кристаллов. Рост кристаллов.
- 2.9 Модельные представления об электропроводности. Классификация веществ по проводимости.

#### Тема 3. Элементы квантовой физики. Физические основы наноэлектроники.

- 3.1 Связь электроники и квантовой физики.
- 3.2 Этапы развития электроники.
- 3.3 Основные представления квантовой механики.
- 3.4 Волновые свойства микрочастиц. Длина волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волновая функция и уравнение Шредингера.
- 3.5 Квантовая модель атома. Квантовые числа. Принцип запрета Паули.
- 3.6 Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Простейшие виды низкоразмерных объектов (Квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка).

- 3.7 Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме.
- 3.8 Туннельный эффект.
- 3.9 Энергетический спектр кристалла. Зонные энергетические диаграммы.
- 3.10 Квантоворазмерные эффекты.

#### **Тема 4. Физические основы работы полупроводниковых приборов.**

- 4.1 Энергетические уровни и зоны.
- 4.2 Проводники, полупроводники и диэлектрики. Полупроводниковые материалы в твердотельной электронике.
- 4.3 Собственная электропроводность полупроводников. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
- 4.4 Распределение электронов по энергетическим уровням. Энергия (уровень) Ферми.
- 4.5 Примесная электропроводность полупроводников (донорные и акцепторные примеси).
- 4.6 Процессы переноса зарядов в полупроводниках (дрейф и диффузия носителей заряда).
- 4.7 Электрические переходы.
  - 4.7.1 Электронно-дырочный переход.
  - 4.7.2 Контакт «металл-полупроводник». Переход Шоттки.
  - 4.7.3 Контакт между полупроводниками одного типа проводимости.
  - 4.7.4 Гетеропереходы.
  - 4.7.5 Свойства омических переходов.
- 4.8 Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы.

#### **5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Курс «Микро- и наноэлектроника» является основой для изучения следующих дисциплин профессионального цикла:

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)						
		Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
1.	Твердотельная электроника	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
2.	Микроэлектроника	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
3.	Процессы микро- и нанотехнологий	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
4.	Наноэлектроника	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
5.	Физика полупроводников	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		
6.	Квантовая и оптическая электроника	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5		

#### **5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий**

№ п/п	Наименование раздела Наименование темы	Виды занятий в часах					
		Лекц.	Практ. зан.	Лаб	КСР	СРС	Всего
1.	Т1. Введение. Основные положения и направления развития микро- и наноэлектроники.	2				5	7
2.	Т2. Структура и свойства твердых	12	14			21	47

	тел.						
3.	Т3. Элементы квантовой физики. Физические основы наноэлектроники.	14	16			25	55
4.	Т4. Физические основы работы полупроводниковых приборов.	10	8			17	35
	Итого:	38	38			68	144

### 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Т2. Структура и свойства твердых тел. Элементы кристаллофизики.	Пз1. Химическая связь в кристаллах. Геометрия кристаллической решетки.	7	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
2		Пз.2. Дефекты структуры кристаллов. Аморфные твердые тела.	7	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
3	Т3. Элементы квантовой физики. Физические основы наноэлектроники.	Пз.3. Связь электроники и квантовой физики. Волновые свойства микрочастиц. Квантовая модель атома.	5	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
4		Пз. 4. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Энергетический спектр кристалла. Квантово-размерные эффекты.	5	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
5		Пз. 5. Физические основы наноэлектроники. Методы формирования нанoeлектронных структур. Перенос носителей заряда в наноразмерных структурах и электронных приборах на их основе.	6	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
6	Т4. Физические основы работы полупроводниковых приборов.	Пз.6. Энергетические уровни и зоны. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Распределение электронов по энергетическим уровням.	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
7		Пз.7. Собственная и примесная электропроводность полупроводников	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
8		Пз.8. Процессы переноса зарядов в полупроводниках. Электрические переходы.	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2
9		Пз.9. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы.	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1 ОПК-2

## 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	T1.	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточниками, конспектом	Повторение и углубленное изучение учебного материала лекции, ПЗ с использованием конспекта лекций, литературы, Интернет - ресурсов	Источники 1 -6 из основной и 1-6 из дополнительной литературы; Самостоятельный поиск литературы на образовательных ресурсах, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ	5
4	T2.				21
8	T3.				25
14	T4.				17

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа бакалавров – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя (научного руководителя (консультанта)), в ходе которой бакалавр активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи. В процессе проведения самостоятельной работы формируется компетенция ОПК-2.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы по темам дисциплины:

T1. Исторический обзор развития физической электроники от дискретных приборов до интегральных схем. Исторический обзор развития вычислительной техники. Представления о рынке полупроводниковых элементов. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T2. Структура кристаллов и способы ее определения. Основные типы связей в твёрдых телах. Дефекты в твердых телах. Тепловые свойства твердых тел. Механические свойства твёрдых тел. Физические свойства аморфных твёрдых тел. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T3. Структура наноматериалов. Методы исследования наноматериалов. Технологии получения наноматериалов и наноструктур. Области применения наноматериалов. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

T4. Физические эффекты в материалах электронной техники. Проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические материалы микроэлектроники. Электрические и магнитные свойства твердых тел. Сверхпроводимость. Проработка лекционного материала и материала практических занятий.

Контроль самостоятельной работы проводится на практических занятиях и на КСР по окончании T.2, T.3 и T.4.

## 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

планом не предусмотрено



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

### а) основная литература

1. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. И. Епифанов. - Москва : Лань, 2011. - 288 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 282-283. - ISBN 978-5-8114-1001-9.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023)
2. Матухин, Вадим Леонидович. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. - Москва : Лань, 2010. - 218 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-0923-5  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=262](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=262)
3. Нанoeлектроника: теория и практика [Текст] : [учебник] / В. Е. Борисенко [и др.]. - 3-е изд. (эл.). - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 371 с. ; есть. - (Учебник для высшей школы). - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9963-2104-9  
<http://rucont.ru/efd/226435?urlId=L3IMcuvOZwOvW3n7YAzebhGnk64giDIBYoeUsvE5+F3Jzb6+ps4iwChpdv8LqETTXo2M61nEtcv90sFANxIWfw==>
4. Шишкин, Геннадий Георгиевич. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 210600 "Нанотехнология", 152200 "Наноеинженерия", 210100 "Электроника и нанoeлектроника" / Г. Г. Шишкин. - 2-е изд. - ЭВК. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2012. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9963-1443-0
5. Барыбин, А. А.. Электроника и микроелектроника. Физико-технологические основы [Текст] : [учеб. пособие] / А. А. Барыбин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 426 с. ; нет. - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-0679-5  
<http://rucont.ru/efd/152088>

### б) дополнительная литература

1. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А. И. Гусев. - 2-е изд., испр. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 417 с. ; есть. - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-0582-8 <http://rucont.ru/efd/152090>
2. Пасынков, Владимир Васильевич. Материалы электронной техники [Текст] : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. электрон. техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. - 6-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2004. - 368 с. : ил. ; 21 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 363.-Предм. указ.: с. 364-365. - ISBN 5-8114-0409-3 (20 экз.)
3. Антипов, Б. Л. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы: Учеб. для студ. вузов / Б. Л. Антипов, В. С. Сорокин, В. А. Терехов. - 3-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2003. - 208 с. : ил. ; 20 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 207. - ISBN 5-8114-0410-7. (10 экз.)
4. Щука, Александр Александрович. Нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направл. подготовки "Прикл. математика и физика" / А. А. Щука. - 2-е изд. - ЭВК. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2012. - (Нанотехнологии). - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - 15 доступ. - ISBN 978-5-9963-1055-5 (+15 экз.)
5. Рощин, Владимир Михайлович. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. 210100 "Электроника и микроелектроника" : в 2 ч. / В. М. Рощин. - 2-е изд. - ЭВК. - М. : Бином. Лаборатория знаний. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-94774-913-7. Ч. 2. - 2012. - ISBN 978-5-9963-1471-3
6. Раскин, А. А. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники. Ч. 1 [Текст]: учеб. пособие / А. А. Раскин, авт. В. К. Прокофьев. - 2-е изд. (эл.). - Москва :

БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 166 с.; есть. - Режим доступа: ЭБС "Руконт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9963-1470-6 (Ч. 1). - ISBN 978-5-94774-913-7  
<http://rucont.ru/efd/226528?urlId=fk6hc+qwnd6mSpGmPLcFgR1+hXaWg+AJCpjI8JHvPFh4eAh52/JLafRRGSSblyl5572WBVuCjpLaOUmifYNChQ==>

**в) программное обеспечение**

1. Microsoft PowerPoint

*Сверено с №5 415*

**г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Поисковые системы Google, Yandex.
2. Электронные ресурсы доступные по логину и паролю, предоставляемые Научной библиотекой ИГУ.

**Интернет источники:**

Научные публикации в реферативных журналах по актуальным проблемам физики твердого тела, материалам микро- и нанoeлектроники. Электронные версии журналов: “Физика и техника полупроводников”, “Материаловедение”, “Физика твердого тела”, “Журнал технической физики”, “Письма в журнал технической физики”,  
<http://journals.ioffe.ru>.

<http://perst.issp.ras.ru> – Информационный бюллетень “Перспективные технологии”

[www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru) – Сайт о нанотехнологиях в России

[www.nanodigest.ru](http://www.nanodigest.ru) – Интернет-журнал о нанотехнологиях

[www.nano-info.ru](http://www.nano-info.ru) – Сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий

[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) – Сайт нанотехнологического сообщества ученых

[www.nano-portal.ru](http://www.nano-portal.ru) - Портал посвященный теме развития нанотехнологий и их внедрения в производство

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/solidst/index.html> Электронный учебник Н.Г. Чеченин

Введение в физику твердого тела

<http://www.technosphaera.ru>

**Доступ к полнотекстовым базам данных из сети Интранет ИГУ:**

- Научная электронная библиотека [www.eLibrary.ru](http://www.eLibrary.ru) (доступ к полным текстам ряда научных журналов с 2007 по настоящее время)

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

Чтение лекций сопровождается демонстрацией информации (мультимедийный проектор, офисное оборудование для оперативного размножения иллюстративного и раздаточного лекционного материалов).

**10. Образовательные технологии:**

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1-9	Лекция	Вводная лекция, информация лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи, информационная лекция с элементами проблемных ситуаций.

1-9	Практическое занятие	Занятие – решение задач и проработка тем, данных для самостоятельного изучения, результат которой должен быть оформлен студентами в виде докладов, рефератов и презентаций.
-----	----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 11. Оценочные средства (ОС):

### 11.1. Оценочные средства для входного контроля

Не предусмотрено.

### 11.2. Оценочные средства текущего контроля

Текущий контроль осуществляется в виде письменного контроля на ПЗ.1-ПЗ.9. Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2.

Для реализации текущего контроля используется балльно-рейтинговая система оценки, принятая в университете.

Усвоение бакалавром изучаемой дисциплины максимально оценивается 100 баллами. Максимальное количество баллов за текущую работу в семестре ограничивается 60-ю баллами, на оценку экзамена (зачета) максимально предусмотрено 30 баллов. Возможны «премиальные» баллы (от 0 до 10), которые могут быть добавлены бакалавру за активные формы работы, высокое качество выполненных практических работ и т.д.

#### Параметры оценочного средства для письменного текущего контроля

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Зачтено			Не зачтено
	Отлично 20 баллов	Хорошо 19-16 баллов	Удовлетв. 15-12 баллов	Неудовл. Менее 12 баллов
Выполнение заданий	Полностью и корректно выполнены все задания в тесте из 20 вопросов.	Полностью выполнено более 80% всех заданий, допущено не более 4-х ошибок в тесте из 20 вопросов.	Не полностью выполнены задания. 60%-80% заданий выполнено верно, допущено не более 8 ошибок в тесте из 20 вопросов.	Задание не выполнены или задание выполнено не полностью. Менее 60% заданий выполнено верно, допущено более 8-ми ошибок в тесте из 20 вопросов.

Примеры тестов для письменного текущего контроля приведены ниже:

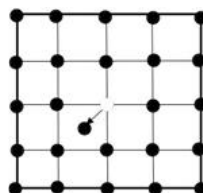
Тест №1 (темы 2 и 3)

1. Наиболее слабой является:

- а) ионная связь;
- б) ковалентная связь;
- в) молекулярная связь;
- г) металлическая связь.

2. На рисунке изображен дефект:

- а) по Шоттки;
- б) примеси;
- в) по Френкелю.



3. Разместите дефекты в ряд в порядке возрастания их размеров:

- а) объемные, линейные, точечные
- б) линейные, точечные, объемные
- в) точечные, линейные, объемные

4. Какие из указанных дефектов относятся к точечным?

- а) электроны и дырки
- б) дислокации и трещины
- в) вакансии и атомы в междоузлиях
- г) границы зерен и поверхность кристалла

5. В каких из указанных сингоний система координат не является ортогональной

- А) кубическая Б) тригональная В) тетрагональная Г) гексагональная

6. Найдите соответствие между телами и температурой плавления.

- |                          |                                            |
|--------------------------|--------------------------------------------|
| 1) кристаллические тела; | а) определенной температуры плавления нет; |
| 2) аморфные тела.        | б) температуры плавления постоянная.       |

7. Базис характеризует

- А) точечную группу симметрии Б) трансляционную группу В) точечную и трансляционную группу

8. В силу наличия у микрочастиц волновых свойств к ним неприменимо понятие:

1-импульса, 2-энергии, 3-траектории, 4-массы.

- А) 3 Б) 1 и 4 В) 2 и 4 Г) 1 и 3 Д) 2

9. Гипотеза Планка состоит в том, что ....

- А) Электромагнитные волны излучаются в виде отдельных порций (квантов), энергия которых зависит от частоты
- Б) Электромагнитные волны поперечны
- В) Нельзя одновременно точно определить значение координаты и импульса
- Г) Электромагнитные волны излучаются зарядами движущимися с ускорением
- Д) Скорость света постоянна во всех инерциальных системах отсчета

10. Электрон излучает или поглощает квант света:

- а) При переходе с любого энергетического уровня на другой
- б) Только при своем движении в атоме

- в) Только при переходе с одного разрешенного энергетического уровня на другой  
г) Только при своем движении в атоме на разрешенном энергетическом уровне

11. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

- А)  $\Delta x \cdot \Delta P_x = c$       Б)  $\Delta m \cdot \Delta P_x \leq h$       В)  $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq h$       Г)  $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq 0$       Д)  $\Delta x \cdot \Delta P_x \leq 0$

12. Под квантованием в физике понимается ...

- А) описание механического состояния частицы с помощью волновой функции  
Б) удовлетворение принципу Паули  
В) дискретность допустимых для частицы значений энергии, момента импульса, проекций магнитного и собственного  
Г) движение частицы, не подчиняющейся законам классической физики  
Д) не удовлетворение принципу Паули

13. Ориентация электронных орбиталей атома в пространстве определяется:

- А) главным квантовым числом  $n$   
Б) главным  $n$  и орбитальным  $\ell$  квантовыми числами  
В) орбитальным квантовым числом  $\ell$   
Г) магнитным  $m$  квантовым числом  
Д) магнитным и спиновым квантовыми числами  $m, s$

14. Оцените энергию микрочастицы, если ей соответствует волна де Бройля с частотой  $\nu = 300 \text{ МГц}$

- А)  $5 \cdot 10^{-31} \text{ Дж}$       Б)  $5 \cdot 10^{-25} \text{ Дж}$       В)  $2 \cdot 10^{-25} \text{ Дж}$       Г)  $2 \cdot 10^{-31} \text{ Дж}$       Д)  $3 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}$

15. Какая из формулировок соответствует принципу Паули.

- А) Энергетический спектр электронов в квантово-механической системе дискретен  
Б) В квантово - механической системе не может быть двух или более электронов, находящихся в состоянии с одинаковым набором квантовых чисел  
В) В квантово-механической системе не может быть двух или более электронов, обладающих одинаковым спином  
Г) Состояние микрочастицы в квантовой механике задается волновой функцией  $\psi$   
Д) Состояние микрочастицы в квантовой механике не может одновременно характеризоваться точными значениями координаты и импульса

16. Зона разрешенных энергий электронов свободна и отстоит от заполненной на 5 эВ. Какому типу твердых тел соответствует эта зонная схема?

- А) Диэлектрику      Б) Металлу      В) Полупроводнику (типа германий, кремний)  
Г) Сплаву двух металлов      Д) Полупроводнику (типа А В)

17. Волновая функция или функция состояния дает возможность ... .

- А) получить информацию о значении координат и импульса частицы  
Б) описать закон движения частицы  
В) предсказать, какие значения всех измеряемых величин будут наблюдаться на опыте и с какой вероятностью  
Г) получить информацию о значении энергии и интервале времени, в течение которого частица имеет эту энергию  
Д) описать законы термодинамики

18. Как называется энергия, необходимая для удаления электрона из атома:

- А) электроотрицательность

- Б) потенциал ионизации
- В) сродство к электрону
- Г) поляризация

19. Что такое уровень Ферми?

- А) максимальная энергия электронов в кристалле
- Б) средняя энергия электронов в кристалле
- В) максимальная энергия электронов в кристалле при  $0^{\circ}\text{K}$
- Г) минимальная энергия электронов в кристалле

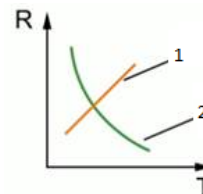
20. Квантово-размерный эффект:

- а) При уменьшении размера наночастиц энергия между энергетическими переходами и энергия квантов излучения увеличивается.
- б) При уменьшении размера наночастиц энергия между энергетическими переходами и энергия квантов излучения уменьшается.
- в) При увеличении размера наночастиц энергия между энергетическими переходами и энергия квантов излучения увеличивается.
- г) При увеличении размера наночастиц энергия между энергетическими переходами и энергия квантов излучения увеличивается.

#### Тест №2 (тема 4)

1. Зависимость  $\rho^{-1}$  сопротивления от температуры на рисунке, характерна для:

- А) проводников
- Б) полупроводников
- В) диэлектриков



2. Что такое уровень Ферми?

- А) максимальная энергия электронов в кристалле
- Б) средняя энергия электронов в кристалле
- В) максимальная энергия электронов в кристалле при  $0^{\circ}\text{K}$
- Г) минимальная энергия электронов в кристалле

3. Сколько электронов каждого атома в кристаллах германия или кремния принимает участие в образовании ковалентных связей с соседними атомами?

- 1) по 4 электрона от каждого атома;
- 2) по 2 электрона;
- 3) по 1 электрону от каждого соседнего атома для образования четырех ковалентных связей;
- 4) электроны не принимают участия в ковалентных связях между атомами.

4. Что такое «дырка» в полупроводнике?

- а) вакансия в кристаллической решетке
- б) некоторая воображаемая частица с положительным зарядом и массой
- в) положительно заряженный ион
- г) отрицательно заряженный ион
- д) незаполненный энергетический уровень в валентной зоне

5. Примесный атом или дефект кристаллической решетки, создающий в запрещенной зоне энергетический уровень, свободный от электрона в невозбужденном состоянии и способный захватить электрон из валентной зоны в возбужденном состоянии, это:

- А) акцептор
- Б) донор

6. Полупроводник, в котором концентрация электронов превышает концентрацию дырок, относится к полупроводникам

- а) i-типа;
- б) n-типа;
- в) p-типа.

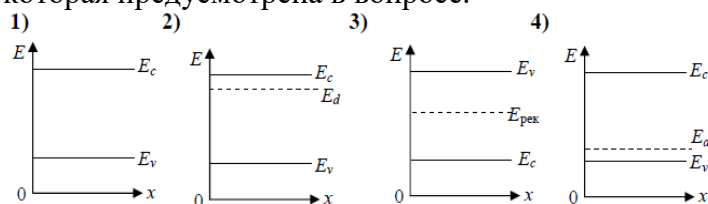
7. Какой смысл имеют на зонных диаграммах индексы  $E_c$ ,  $E_v$ ,  $\Delta E$ ,  $E_f$ ? Ответы укажите строго в той последовательности, которая предусмотрена в вопросе.

- 1)  $E_c$  - ширина зоны проводимости;
- 2)  $\Delta E$  - ширина запрещенной зоны;
- 3)  $E_v$  - энергия потолка валентной зоны;
- 4)  $E_c$  - энергия дна зоны проводимости;
- 5)  $E_f$  - уровень Ферми;
- 6)  $E_v$  - ширина запрещенной зоны;
- 7)  $\Delta E$  - ширина валентной зоны.

8. Укажите правильное соотношение концентраций электронов ( $n$ ) в зоне проводимости и дырок ( $p$ ) в валентной зоне для собственного полупроводника.

- 1)  $n > p$ , 2)  $n = p$ , 3)  $n < p$ , 4) соотношение определяется составом полупроводника.

9. Укажите среди нижеприведенных зонные диаграммы акцепторного, донорного и собственного полупроводников. Ответы укажите строго в той последовательности, которая предусмотрена в вопросе.



10. Рекомбинация, при которой энергия, освобождающаяся при переходе электрона на более низкий энергетический уровень, испускается в виде фотона, называется

- а) излучательной;
- б) безизлучательной.

11. Какое из нижеприведенных утверждений правильно определяет длину свободного пробега носителя заряда в полупроводнике?

- 1) это средний отрезок пути, который проходит электрон между двумя последовательными столкновениями;
- 2) это расстояние, на которое перемещается электрон при изменении напряженности электрического поля на 1 В/см;
- 3) это среднее расстояние, проходимое электроном за время релаксации;
- 4) это расстояние, проходимое электроном или дыркой за единицу времени.

12. Что такое дрейфовый ток?

- а) ток обусловленный градиентом концентраций
- б) ток обусловленный градиентом температур
- в) ток обусловленный электрическим полем

13. Какие токи протекают через равновесный p-n переход?

- 1) диффузионные токи основных носителей заряда – дырок в электронную ( $n$ ) область и

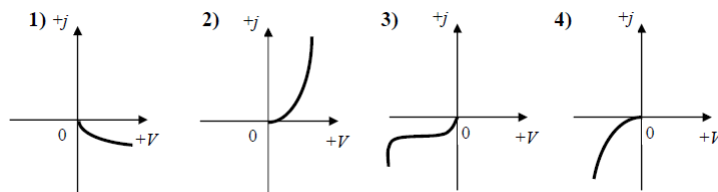
электронов в дырочную (р) область;

2) возникшее вследствие диффузии основных носителей контактное (диффузионное) электрическое поле вызывает дрейфовые токи неосновных носителей заряда – электронов из р-области в п-область и дырок из п-области в р-область;

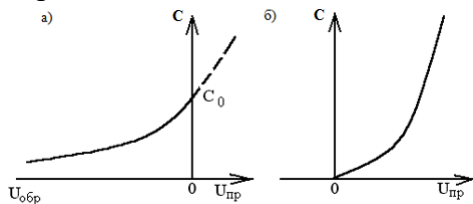
3) в равновесном р-п переходе существует только хаотичное тепловое движение основных и неосновных носителей заряда, вследствие чего результирующий ток через р-п переход равен нулю;

4) в равновесном р-п переходе диффузионные потоки основных носителей заряда (дырок из р- и электронов из п-области, соответственно) уравниваются встречными дрейфовыми токами неосновных носителей заряда: дырок и электронов из п- и р-областей, соответственно.

14. Последовательно покажите вольт- амперные характеристики р-п перехода при прямом и обратном смещениях.



15. На каком рисунке приведена вольт-фарадная характеристика барьерной емкости р-п перехода?



16. Обратимый вид пробоя, свойственный полупроводникам со значительной толщиной р-п перехода, образованных слаболегированными полупроводниками. При этом ширина обедненного слоя гораздо больше диффузионной длины носителей. В случае основную роль играют неосновные носители, ускоряемые сильным электрическим полем. О каком виде пробоя р-п перехода идет речь?

- 1) лавинный
- 2) туннельный
- 3) тепловой
- 4) поверхностный

17. Назовите необратимые виды пробоев р-п перехода:

- 1) лавинный
- 2) туннельный
- 3) тепловой
- 4) поверхностный

18. Что такое омический контакт металл-полупроводник?

- 1) это контакт, который не изменяет соотношения электронной и дырочной компонент протекающего через него тока;
- 2) омический контакт возникает, если работа выхода электрона из металла меньше, чем из полупроводника п-типа, вследствие чего приповерхностная область последнего обогащается электронами;
- 3) омический контакт к акцепторному полупроводнику можно создать, если выбрать



металл с работой выхода электронов больше, чем в полупроводнике;

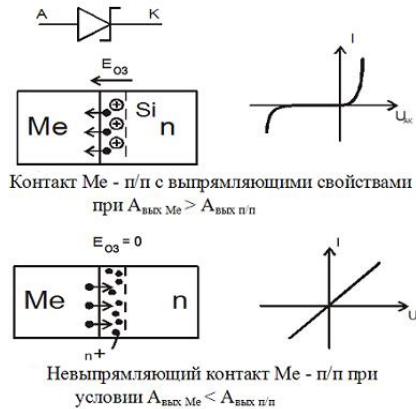
4) любой контакт металл-полупроводник имеет нелинейную вольт – амперную характеристику.

19. Переходный слой с существующим там диффузионным электрическим полем между двумя различными по химическому составу полупроводниками, обладающие различной шириной запрещенной зоны называется:

- 1) омический переход
- 2) гетеропереход
- 3) p-n переход
- 4) переход Шоттки

20. Как называется выпрямляющий контакт металл-полупроводник, особенностью которого является отсутствие инжекции неосновных носителей заряда (рис.)?

- 1) омический переход
- 2) переход Шоттки
- 3) гетеропереход
- 4) p-n переход



### 11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2 и проводится в форме зачета. Форма проведения зачета – устный или письменный в виде теста. Зачет проводится во время экзаменационных сессий. Вопросы для самостоятельной подготовки студентов к зачету приведены в приложении 1.

Бакалавр допускается к зачету в том случае, если в течение семестра за текущую работу набрано 40 баллов и более. В противном случае выставляется 0 сессионных баллов. Во время зачета бакалавр может набрать до 30 баллов. Если на зачете ответ студента оценивается менее чем 10-ю баллами, то зачет считается не сданным, бакалавру выставляется 0 баллов, а в ведомость выставляется оценка «не зачтено».

Если на зачете студент набирает 10 и более баллов, то они прибавляются к сумме баллов за текущую работу и переводятся в академическую оценку, которая фиксируется в ведомости и зачетной книжке студента.

Итоговый семестровый рейтинг	Академическая оценка	
60...69 баллов	«удовлетворительно»	«зачтено»
70...85 баллов	«хорошо»	
86...100 баллов	«отлично»	

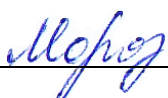
Студенту, набравшему в течение семестра за текущую работу 60 и более баллов, зачет по дисциплине может быть выставлен без процедуры сдачи. В этом случае к набранному студентом количеству баллов за текущую работу автоматически добавляется 20 баллов и выставляется соответствующая академическая оценка.

Критерии	Оценка			
	«Зачтено»			«Не зачтено»
	«Отлично»	«Хорошо»	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
Знание	Всесторонние глубокие знания <b>(10 -11 баллов)</b>	Знание материала в пределах программы <b>(7 -9 баллов)</b>	Отмечены пробелы в усвоении программного материала <b>(4 -6 баллов)</b>	Не знает основное содержание дисциплины <b>(0-3 балла)</b>
Понимание	Полное понимание материала, приводит примеры, дополнительные вопросы не требуются <b>(8 -10 баллов)</b>	Понимает материал, приводит примеры, но испытывает затруднения с выводами, однако достаточно полно отвечает на дополнительные вопросы <b>(6 -8 баллов)</b>	Суждения поверхностны, содержат ошибки, примеры не приводит, ответы на дополнительные вопросы неуверенные <b>(4 -6 баллов)</b>	С трудом формулирует свои мысли, не приводит примеры, не дает ответа на дополнительные вопросы <b>(0-3 балла)</b>
Применение проф. терминологии	Дает емкие определения основных понятий, корректно использует профессиональную	Допускает неточности в определении понятий, не в полном объеме использует профессиональную	Путает понятия, редко использует профессиональную терминологию <b>(1-2 балла)</b>	Затрудняется в определении основных понятий дисциплины, некорректно использует профессиональную

	ю терминологию <b>(3-5 баллов)</b>	ю терминологию <b>(2-3 балла)</b>		терминологию <b>(0-2 балла)</b>
Соблюдение норм литературного языка	Соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения <b>(3-4 балла)</b>	Соблюдает нормы литературного языка, допускает единичные ошибки <b>(2- 3 балла)</b>	Допускает множественные речевые ошибки при изложении материала <b>(1-2 балл)</b>	Косноязычная речь искажает смысл ответа <b>(0-1 балл)</b>

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

**Разработчик:**

 к.ф.-м.н., доцент Морозова Н.В.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики «30» августа 2021 г.

Протокол № 1

Зав. кафедрой  д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**

**Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Типы межатомных связей.
2. Кристаллическая структура. Потенциальная и силовая функции взаимодействия частиц в кристалле. Кристаллы (атомные, металлические, молекулярные, ионные).
3. Кристаллическая решетка идеальных кристаллов. Типы кристаллических решеток. Параметры кристаллической решетки. Типы элементарных ячеек-решетки Браве.
4. Свойства кристаллов. Анизотропия. Аллотропия. Полиморфизм.
5. Аллотропные формы углерода.
6. Некристаллические твердые тела.
7. Методы получения кристаллов.
8. Дефекты в кристаллах. Классификация микродефектов кристаллов. Структурно-чувствительные свойства кристаллов. Рост кристаллов.
9. Основные представления квантовой механики.
10. Волновые свойства микрочастиц. Длина волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волновая функция и уравнение Шредингера.
11. Квантовая модель атома. Квантовые числа. Принцип запрета Паули.
12. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Простейшие виды низкоразмерных объектов (Квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка).
13. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме.
14. Туннельный эффект.
15. Энергетический спектр кристалла. Зонные энергетические диаграммы.
16. Квантоворазмерные эффекты.
17. Энергетические уровни и зоны. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Полупроводниковые материалы в твердотельной электронике.
18. Собственная электропроводность полупроводников. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
19. Распределение электронов по энергетическим уровням. Энергия (уровень) Ферми.
20. Примесная электропроводность полупроводников (донорные и акцепторные примеси).
21. Процессы переноса зарядов в полупроводниках (дрейф и диффузия носителей заряда).
22. Электронно-дырочный переход. Вентильное свойство p-n- перехода. Вольт-амперная характеристика p-n- перехода. Виды пробоев p-n- перехода. Ёмкость p-n- перехода.
23. Контакт «металл-полупроводник». Переход Шоттки.
24. Контакт между полупроводниками одного типа проводимости.
25. Гетеропереходы.
26. Свойства омических переходов.
27. Полупроводниковые диоды. Биполярные и полевые транзисторы.