

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ

Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,  
профессор

С.Б. Вениг

20 21 г.



Рабочая программа дисциплины

Физика полупроводников

Направление подготовки бакалавриата  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата  
«Микро- и наноэлектроника, диагностика  
нано- и биомедицинских систем»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
Очная

Саратов,  
2021 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Скрипаль Ал.В.		5.10.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		5.10.21
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		5.10.21
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика полупроводников» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) и усвоение материала в области физики полупроводников, основных свойств, присущих полупроводниковым материалам и физических явлений в полупроводниках, лежащих в основе работы приборов полупроводниковой и наноэлектроники, приобретение студентами знаний и выработка навыков в исследованиях свойств полупроводников, приобретение студентами знаний в области создания современной элементной базы микро- и наноэлектроники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний в теории физики полупроводников, о физических явлениях в полупроводниках и основных свойствах, присущих как этим материалам в целом, так и отдельным наиболее широко применяемым на практике материалам;
- формирование умений обеспечивать технологическую и конструктивную реализацию методов определения основных параметров полупроводников;
- овладение сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», в течение 6 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по механике и молекулярной физике, электричеству и магнетизму, оптике, термодинамике, математике, химии, теоретическим основам радиоэлектроники, квантовой механике, кристаллографии и кристаллофизике, электронным свойствам кристаллов и подготавливает студентов к изучению в последующих семестрах таких дисциплин как «Квантовая теория твёрдого тела», «Физика квантово-размерных структур», «Физические основы твердотельной электроники», «Материалы электронной техники и наноэлектроники», «Микроэлектроника и наноэлектроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Технология материалов и структур электроники».

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<b>1.1_Б.ОПК-1.</b> Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов. <b>2.1_Б.ОПК-1.</b> Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач	<b>Знать</b> основные положения, законы и методы естественных наук и математики, используемые в области физики полупроводников; классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, особенности электронных

	<p>теоретического и прикладного характера.</p> <p><b>3.1_Б.ОПК-1.</b> Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>свойств неупорядоченных и аморфных материалов;</p> <p><b>Уметь</b> оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах микро- и наноэлектроники, проводить измерения основных электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур;</p>
<p><b>ОПК-2.</b> Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных</p>	<p><b>1.1_Б.ОПК-2.</b> Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p> <p><b>2.1_Б.ОПК-2.</b> Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки.</p> <p><b>3.1_Б.ОПК-2.</b> Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач.</p> <p><b>4.1_Б.ОПК-2.</b> Аргументированно выбирает способы и средства измерений и проведения экспериментальных исследований.</p> <p><b>5.1_Б.ОПК-2.</b> Способен применять методы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.</p>	<p>описании физических процессов в элементах микро- и наноэлектроники, проводить измерения основных электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур; применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера; находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи; формулировать в рамках поставленной цели исследований совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Прогнозировать ожидаемые результаты решения выделенных задач; рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки;</p> <p><b>Владеть</b> знаниями физики полупроводников, необходимыми при решении конкретных задач инженерной деятельности; методами описания физических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах, методами измерений основных электрофизических параметров полупроводниковых материалов и структур, методами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений; сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы</p>

--	--	--

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.  
По данной дисциплине предусмотрено выполнение курсовой работы.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се мес тр	Неде ля семес тра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				СРС	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лек	Лабораторные	Пр	СРС		
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка			
1.	Гальваномагнитные и термомагнитные явления в полупроводниках.	6	1-2	4			2	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам
			1-3		12				
2.	Термоэлектрические явления в полупроводниках.	6	3-4	4			2	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам
			4-6		12				
3.	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока в полупроводниках.	6	5-7	6			2	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам
			7-8		8				
4.	Оптические свойства полупроводников.	6	8-10	6			2	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам
			9-11		12				
5.	Фотоэлектрические явления.	6	11-12	4			4	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам.
			12-14		12				
6.	Поверхностные явления.	6	13-14	4			2	8	Опрос. Проверка выполнения курсовых работ
7.	Контактные явления в полупроводниках.	6	15-16	4	8		2	10	Опрос. Отчет по лабораторным работам. Контрольная

									работа
	<b>Итого:</b>	<b>6</b>		<b>32</b>	<b>64</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>68</b>	
	<b>Контроль</b>	<b>6</b>		<b>36</b>					
	<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>6</b>							<b>Экзамен Зачёт Зачёт с оценкой по курсовой работе</b>
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>			<b>216</b>					

### Содержание дисциплины

#### ***1. Гальваномагнитные и термомагнитные явления в полупроводниках.***

1.1. Классификация гальваномагнитных и термомагнитных явлений.

1.2. Эффект Холла, холловская и дрейфовая подвижности, коэффициент Холла. Холл-фактор при различных механизмах рассеяния носителей. Температурная зависимость коэффициента Холла. Инверсия коэффициента Холла.

1.3. Изменение сопротивления в магнитном поля. Эффекты Эттинсгаузена, Нернста, Нернста-Эттинсгаузена, Риги-Ледюка и Маджи-Риги-Ледюка.

#### ***2. Термоэлектрические явления в полупроводниках.***

2.1. Явление Зеебека, Пельтье и Томсона и их теория. Связь коэффициентов, характеризующих эти явления.

2.2. Зависимость дифференциальной термо ЭДС от температуры и степени легирования.

2.3. Эффект увлечения электронов фононами.

#### ***3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока в полупроводниках.***

3.1. Способы генерации неравновесных носителей.

3.2. Квазиуровни Ферми. Рекомбинация неравновесных носителей.

3.3. Время жизни. Уравнение непрерывности.

3.4. Зависимость времени жизни от степени легирования и температуры при межзонной излучательной, межзонной безызлучательной рекомбинациях и рекомбинации через ловушки.

3.5. Классификация ловушек. Рекомбинация при наличии нескольких типов ловушек.

Влияние центров прилипания на кинетику неравновесных процессов.

#### ***4. Оптические свойства полупроводников.***

4.1 Отражение и поглощение электромагнитного излучения.

Оптические константы полупроводников. Спектры отражения и поглощения.

4.2. Собственное поглощение. Прямые и не прямые переходы.

4.3. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фононов вблизи края поглощения.

4.4. Экситоны и экситонное поглощение.

4.5. Примесное поглощение.

4.6. Поглощение свободными носителями заряда.

4.7. Влияние внешних условий на спектр поглощения.

4.8. Плазменный резонанс.

4.9. Люминесценция твердых тел.

#### ***5. Фотоэлектрические явления.***

5.1. Фотопроводимость. Параметры, определяющие фотопроводимость.

5.2. Кинетика фотопроводимости при линейной и квадратичной рекомбинациях.

5.3. Уровни прилипания. Влияние уровней прилипания на кинетику фотопроводимости.

5.4. Зависимость фотопроводимости от интенсивности излучения и длины волны.

5.5. Особенности фотопроводимости некоторых типов полупроводников.

5.6. Термостимулированная проводимость.

- 5.7. Примесная фотопроводимость. Индуцированная примесная фотопроводимость.  
5.8. Диффузия и дрейф неравновесных носителей. Соотношение Эйнштейна. Длина диффузии.  
5.9. Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотомагнитный эффект.

#### **6. Поверхностные явления.**

- 6.1. Идеальная, атомарно-чистая и реальная поверхности. Поверхностные электронные состояния (Тамма, Шокли и др.)  
6.2. Образование приповерхностного слоя пространственного заряда. Теория слоя пространственного заряда.  
6.3. Концентрация носителей тока в области пространственного заряда (ОПЗ). Область обогащения, обедненная и инверсная области. Концентрация избыточных носителей в ОПЗ.  
6.4. Поверхностная проводимость. Проводимость носителей в ОПЗ. Эффект поля в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния на поверхности. Поверхностная рекомбинация.

#### **7. Контактные явления в полупроводниках.**

- 7.1. Контакт полупроводника с металлом. Энергетическая диаграмма контакта. Распределение потенциала. Условие образования запиорных и антизапиорных слоев на контактах.  
7.2. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Сравнение с экспериментом.  
7.3. Р-п-переход в полупроводниках. Теория выпрямления. Учет рекомбинации в р-п-переходах. Сравнение теории с экспериментом.  
7.4. Гетеропереходы в полупроводниках.  
7.5. Периодические полупроводниковые структуры (сверхрешетки). МДП (металл-диэлектрик-полупроводник)-структуры.  
7.6. Явления вентильной фото ЭДС на контакте.  
7.7. Полупроводниковые лазерные структуры. Отрицательная температура. Скоростные уравнения.

### **Перечень лабораторных работ**

1. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
2. Исследование эффекта Холла в полупроводниках.
3. Исследование температурной зависимости термоэдс полупроводников.
4. Исследование процесса рекомбинации и диффузии неравновесных носителей заряда в полупроводнике.
5. Измерение электропроводности полупроводника 4-х зондовым методом.
6. Исследование спектрального распределения и частотной зависимости фотопроводимости полупроводников.

Описания всех перечисленных лабораторных работ имеются на кафедре физики твёрдого тела.

### **Примерная тематика практических занятий (семинаров)**

1. Эффект Холла, холловская и дрейфовая подвижности, коэффициент Холла.
2. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
3. Квазиуровни Ферми. Рекомбинация неравновесных носителей.
4. Время жизни. Уравнение непрерывности.
5. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы.
6. Экситоны и экситонное поглощение.
7. Примесное поглощение.
8. Фотоэлектрические явления. Кинетика фотопроводимости при линейной и квадратичной рекомбинациях.
9. Диффузия и дрейф неравновесных носителей. Соотношение Эйнштейна. Длина диффузии.

10. Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотомагнитный эффект.
11. Поверхностные явления.
12. Образование приповерхностного слоя пространственного заряда. Теория слоя пространственного заряда. Область обогащения, обедненная и инверсная области. Концентрация избыточных носителей в ОПЗ.
13. Контакт полупроводника с металлом. Энергетическая диаграмма контакта. Распределение потенциала. Условие образования запиорных и антизапиорных слоев на контактах.
14.  $P-n$ -переход в полупроводниках.
15. Гетеропереходы в полупроводниках. Периодические полупроводниковые структуры (сверхрешетки). МДП (металл-диэлектрик-полупроводник)-структуры.
16. Явления вентильной фото ЭДС на контакте.
17. Полупроводниковые лазерные диоды. Скоростные уравнения.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальное рассмотрение основ теории физики полупроводников, основных физических явлений в полупроводниках, основных электрических свойств полупроводников, основных тенденций развития электронной компонентной базы в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

### **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

При реализации различных видов учебной работы (лекции, лабораторные и практические занятия, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса в осваиваемой предметной области;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучаемых;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации;
- саморазвитие и развитие обучаемых благодаря активизации мыслительной деятельности и диалогическому взаимодействию с преподавателем и другими участниками образовательного процесса.

При реализации программы дисциплины предусмотрены также встречи с представителями российских компаний.

### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;

- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

В преподавании дисциплины «Физика полупроводников» используются учебная и научно-исследовательская литература, Интернет сайты, сайт библиотеки Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

Предлагаются темы курсовых работ, вопросы для текущего контроля, промежуточной аттестации.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим (семинарским) занятиям, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке, использовании интернет-технологий.

#### Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению и отчетам по лабораторным работам тщательно изучать описание работы, задавать уточняющие вопросы преподавателю и дежурному инженеру, иметь отдельную тетрадь по лабораторному практикуму, для выполнения заданий и оформления отчетов;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время экзамена.

#### Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

1. Эффект Холла, холловская и дрейфовая подвижности, коэффициент Холла.
2. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
3. Рекомбинация неравновесных носителей. Уравнение непрерывности.
4. Собственное поглощение. Прямые и не прямые переходы. Экситоны и экситонное поглощение. Примесное поглощение.
5. Фотоэлектрические явления. Кинетика фотопроводимости при линейной и квадратичной рекомбинациях. Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотоманнитный эффект.
6. Поверхностные явления.
7. Образование приповерхностного слоя пространственного заряда. Область обогащения, обедненная и инверсная области.
8. Контакт полупроводника с металлом. Условие образования запиорных и антизапиорных слоев на контактах.
9.  $P-n$ -переход в полупроводниках.

10. Гетеропереходы в полупроводниках. Периодические полупроводниковые структуры (сверхрешетки).
11. Явления вентильной фото ЭДС на контакте.
12. Полупроводниковые лазерные диоды.

В ходе освоения дисциплины в часы практических занятий студенты выполняют контрольную работу. При подготовке к контрольной работе следует использовать материал прочитанных лекций.

Контрольная работа

Вариант А:

Плазменный резонанс.

Вариант Б:

Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотомагнитный эффект

Вариант В:

Контакт полупроводника с металлом. Энергетическая диаграмма контакта.

Распределение потенциала. Условие образования запиорных и антизапиорных слоев на контактах.

..

При реализации программы дисциплины «Физика полупроводников» студенты выполняют курсовую работу. Темы курсовых работ, предлагаемых студентам на 3 курсе, соответствуют содержанию дисциплины «Физика полупроводников».

#### Примерный перечень предлагаемых тем курсовых работ:

1. Гальваномагнитные эффекты.
2. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
3. Собственное поглощение. Экситоны и экситонное поглощение. Примесное поглощение.
4. Фотоэлектрические явления. Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотомагнитный эффект.
5. Контакт полупроводника с металлом. Условие образования запиорных и антизапиорных слоев на контактах.
6. *P-n*-переход в полупроводниках.
7. Гетеропереходы в полупроводниках. Периодические полупроводниковые структуры (сверхрешетки).
8. Явления вентильной фото ЭДС на контакте.
9. Полупроводниковые лазерные диоды.
10. Исследование электрофизических параметров нанокompозита с УНТ на высокой частоте.
11. Электрофизические характеристики пленок CdS-PbS.
12. Спектральные характеристики слоев фоточувствительных наночастиц.
13. Расчет интенсивности излучения инжекционного гетеролазера.
14. Генератор Ганна на основе открытой линии передач.
15. Углеродные материалы и композиты на их основе.
16. Расчет характеристик многослойных диэлектрических и полупроводниковых структур в СВЧ-диапазоне.
17. Исследование характеристик полупроводниковых структур на СВЧ.
18. Автодинное детектирование при модуляции длины волны излучения полупроводникового лазера.
19. Локализованные плазмоны в металлических наночастицах. Свойства и применение.
20. Поверхностные плазмоны на границе металл-диэлектрик: свойства, использование.

21. Оптические сенсоры на поверхностных плазмонах, возбуждаемых на границе раздела металл-диэлектрик.
22. Применение лазерных автодинов для измерения профиля поверхности.

Курсовые работы выполняются под руководством преподавателей и сотрудников выпускающей кафедры и должны содержать элементы литературного обзора по теме, расчетов, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Работу следует выполнять в течение всего семестра с периодическим обсуждением результатов с руководителем и лектором.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме зачета по лабораторным и практическим занятиям, зачёта с оценкой по курсовой работе и экзамена по лекционному курсу (6-й семестр).

### **Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена**

1. Эффект Холла, холловская и дрейфовая подвижности, коэффициент Холла.
2. Холл-фактор при различных механизмах рассеяния носителей.
3. Температурная зависимость коэффициента Холла. Инверсия коэффициента Холла.
4. Магнитосопротивление.
5. Эффекты Эттинсгаузена, Нернста, Нернста-Эттинсгаузена, Риги-Ледюка и Маджи-Риги-Ледюка.
6. Термоэлектрические явления в полупроводниках: явление Зеебека, Пельтье и Томсона.
7. Зависимость дифференциальной термо ЭДС от температуры и степени легирования.
8. Способы генерации неравновесных носителей. Квазиуровни Ферми. Рекомбинация неравновесных носителей.
9. Время жизни. Уравнение непрерывности.
10. Зависимость времени жизни от степени легирования и температуры при межзонной излучательной рекомбинации.
11. Зависимость времени жизни от степени легирования и температуры при межзонной безызлучательной рекомбинации.
12. Зависимость времени жизни от степени легирования и температуры при рекомбинации через ловушки.
13. Отражение и поглощение электромагнитного излучения. Спектры отражения и поглощения.
14. Собственное поглощение. Прямые и непрямые переходы.
15. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фононов вблизи края поглощения.
16. Экситоны и экситонное поглощение.
17. Примесное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда.
18. Влияние внешних условий на спектр собственного поглощения.
19. Плазменный резонанс.
20. Фотоэлектрические явления. Фотопроводимость. Зависимость фотопроводимости от интенсивности излучения и длины волны.
21. Кинетика фотопроводимости при линейной и квадратичной рекомбинациях.
22. Диффузия и дрейф неравновесных носителей. Соотношение Эйнштейна. Длина диффузии.
23. Фото ЭДС. Эффект Дэмбера. Фотомагнитный эффект.
24. Поверхностные явления. Идеальная, атомарно-чистая и реальная поверхности. Поверхностные электронные состояния (Тамма, Шокли и др.)

25. Образование приповерхностного слоя пространственного заряда. Теория слоя пространственного заряда.
26. Концентрация носителей тока в области пространственного заряда (ОПЗ). Область обогащения, обедненная и интенсивная области. Концентрация избыточных носителей в ОПЗ.
27. Поверхностная проводимость. Проводимость носителей в ОПЗ. Эффект поля в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния на поверхности. Поверхностная рекомбинация.
28. Контактные явления в полупроводниках. Контакт полупроводника с металлом. Энергетическая диаграмма контакта.
29. Контакт полупроводника с металлом. Распределение потенциала. Условие образования запирающих и антизапирающих слоев на контактах.
30.  $p-n$ -переход в полупроводниках. Энергетическая диаграмма контакта. Протекание тока через  $p-n$ -переход.
31. Гетеропереходы в полупроводниках.
32. Периодические полупроводниковые структуры (сверхрешетки). МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) - структуры.
33. Явления вентильной фото ЭДС на контакте.
34. Светодиоды. Спонтанное излучение.
35. Вынужденное излучение. Инверсная населенность. Активная среда.
36. Полупроводниковые инжекционные лазеры. Резонаторы Фабри-Перо. Продольные моды.
37. Полупроводниковые инжекционные лазеры на гетеропереходах. Пороговый ток лазеров.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

### 7.1. Учебный рейтинг по дисциплине «Физика полупроводников» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	10	10	10	10	0	20	40	100

#### **Программа оценивания учебной деятельности студента 6 семестр**

##### **Лекции**

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 10 баллов.

##### **Лабораторные занятия**

Посещаемость, отчёты по лабораторным работам – от 0 до 10 баллов.

##### **Практические занятия:**

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 10 баллов.

##### **Самостоятельная работа**

Выполнение заданий на самостоятельную работу – от 0 до 10 баллов.

##### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности:**

Научно-исследовательская и методическая деятельность по дисциплине, блиц-опрос, контрольный опрос - от 0 до 20 баллов

### **Промежуточная аттестация (экзамен)**

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации  
ответ на «отлично» оценивается от – **31 до 40 баллов**;  
ответ на «хорошо» оценивается от – **15 до 30 баллов**;  
ответ на «удовлетворительно» оценивается от – **6 до 14 баллов**;  
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от **0 до 5 баллов**.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по дисциплине «Физика полупроводников» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Физика полупроводников» в оценку (экзамен):

80 - 100 баллов	«отлично»
70 - 79 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

Оценка студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине, может быть проставлена без сдачи ими экзамена на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 8 и 17 недель обучения.

## **7.2. Учебный рейтинг по дисциплине «Физика полупроводников» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта**

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта .

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	0	30	30	30	0	10	0	100

### **Программа оценивания учебной деятельности студента 6 семестр**

#### **Лекции**

Не предусмотрены.

#### **Лабораторные занятия**

Посещаемость, отчёты по лабораторным работам – от 0 до 30 баллов.

**Практические занятия:**

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 30 баллов.

**Самостоятельная работа**

Оформление отчётов по лабораторным работам, выполнение заданий на самостоятельную работу - от 0 до 30 баллов.

**Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

**Другие виды учебной деятельности:**

Блиц-опрос, контрольная работа - от 0 до 10 баллов

**Промежуточная аттестация (зачёт)**

Зачет выставляется по результатам выполнения контрольной работы, лабораторных работ, заданий практических (семинарских) занятий и участия в их обсуждении

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по дисциплине «Физика полупроводников» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Физика полупроводников» в оценку (зачет):

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 8 и 17 недель обучения.

### **7.3. Учебный рейтинг по дисциплине «Физика полупроводников» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта с оценкой по итогам выполнения курсовой работы**

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при выполнении курсовой работы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	0	0	0	40	0	40	20	100

**Программа оценивания учебной деятельности студента****6 семестр****Лекции**

Не предусмотрены.

**Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

**Практические занятия:**

Не предусмотрены.

**Самостоятельная работа**

Корректность выполнения заданий

руководителя курсовой работы

на всех этапах её выполнения в соответствии с планом – 0 - 40 баллов

**Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

**Другие виды учебной деятельности:**

Научно-исследовательская деятельность

по тематике курсовой работы – 0 - 20 баллов

Выступление с докладом на студенческой конференции – 0 - 20 баллов

**Промежуточная аттестация (зачёт с оценкой)**

Промежуточная аттестация проходит в форме публичной защиты курсовой работы. При этом оценивается выступление студента на защите, грамотность ответов на вопросы, а также качество оформления курсовой работы.

При проведении промежуточной аттестации:

защита на «отлично» / «зачтено» оценивается от 11 до 20 баллов

защита на «хорошо» / «зачтено» оценивается от 7 до 10 баллов

защита на «удовлетворительно» / «зачтено» оценивается от 4-6 баллов

защита на «неудовлетворительно» / «не зачтено» оценивается от 0 до 3 баллов

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по курсовой работе в рамках дисциплины «Физика полупроводников» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по курсовой работе в оценку (зачёт с оценкой):

60 - 100 баллов	«отлично» / зачтено
50 - 59 баллов	«хорошо» / зачтено
30 - 49 баллов	«удовлетворительно» / зачтено
меньше 30 баллов	«неудовлетворительно» / не зачтено

Зачёт по курсовой работе может быть проставлен студенту без публичной защиты при условии успешного выступления на студенческой конференции с докладом по материалам курсовой работы.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) литература:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - 4-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 400 с. (В ЗНБ СГУ 43 экз.)
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников [**Электронный ресурс**]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2021. – 400 с. – ЭБС "ЛАНЬ"
3. Основы физики полупроводников/ Зегря Г.Г., Перель В.И. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 335 с. **Гриф УМО** (В ЗНБ СГУ 30 экз.)
4. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников: учеб. пособие / Д. А. Усанов, А. А. Семёнов ; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - 2-е изд., доп. - Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2006. – 25 с. (В ЗНБ СГУ 21 экз.)
5. Методы исследования микроэлектронных и нанозлектронных материалов и структур. Часть II [**Электронный ресурс**] / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2014. - 227 с.— ЭБС «ИНФРА-М»
6. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – СПб.; М.; Краснодар: Изд-во Лань, 2008. 618 с. (В ЗНБ СГУ 41 экз.)
7. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников [**Электронный ресурс**] : учеб. пособие. – М. : Лань, 2021. - 618 с. **Гриф НМС МО РФ**. – ЭБС «ЛАНЬ»
8. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. -- М.: Техносфера, 2005. - 334 с. **Гриф** (в ЗНБ СГУ 13 экз.), 2007 (5 экз.), 2010 (5 экз.)
9. Гуревич А. Г. Физика твёрдого тела: учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов и техн. ун-тов; Физ.-техн. ин-т им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Нев. Диалект: БХВ-Петербург, 2004. – 318 с. (В ЗНБ СГУ 15 экз.)
10. Физика твёрдого тела: учеб. для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1993. – 490 с. (В ЗНБ СГУ 12 экз.), 2000 г. (1 экз.)

### б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. MathCad 14.0
5. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>

б. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Физика полупроводников» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор,  
профессор, д.ф.-м.н. Скрипаль Ал.В.

Программа разработана в 2019 году и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 24 апреля 2019 года, протокол № б.

Программа актуализирована в 2021г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 05 октября 2021 года, протокол № 3.