

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  
2023г.



Рабочая программа дисциплины  
«Твердотельная электроника»


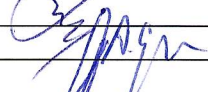

Направление подготовки бакалавриата  
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

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

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2023

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Михайлов А.И.		08.06.23
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		08.06.23
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал. В.		08.06.23
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Твердотельная электроника» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний, умений и владений и усвоение физических принципов работы твердотельных электронных приборов, их параметров, характеристик, их теоретического и экспериментального исследования и практического применения в изделиях электронной техники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- < формирование и углубление знаний о физической природе электропроводности полупроводников и тех ее важнейших аспектах, которые непосредственно касаются возможности практической реализации полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники и микроэлектроники;
- < формирование умений теоретически исследовать физические процессы, протекающие в структурах полупроводниковых приборов и интегральных схем;
- < формирование владений методами и навыками экспериментального исследования и теоретического расчета параметров и характеристик полупроводниковых приборов, оптимизации режимов их работы;
- < формирование знаний практического использования полупроводниковых электронных приборов и интегральных схем в радиоэлектронной аппаратуре различного функционального назначения.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Твердотельная электроника» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана ООП бакалавриата и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, обучающимися по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» по профилям «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур» и «Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем» в течение 8 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания, умения и владения, полученные в процессе освоения дисциплин «Математика», «Механика», «Молекулярная физика», «Математический анализ и ТФКП», «Химия», «Введение в специальность», «Инженерная графика», «Компьютерная графика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Термодинамика», «Атомная и ядерная физика», «Оптические и электронные свойства материалов», «Физика полупроводников», «Квантовая механика», «Кристаллография и кристаллофизика», «Основы аналоговой и цифровой электроники», «Вакуумная и плазменная электроника», «Электродинамика сплошных сред», «Материалы электронной техники и нанoeлектроники», «Физико-химические основы технологии электроники и нанoeлектроники», «Технология материалов и структур электроники», «Физические основы твердотельной электроники» и находится в тесной взаимосвязи с изучаемыми в 8 семестре такими дисциплинами, как «Микроэлектроника и нанoeлектроника», «Квантовая и оптическая электроника», а также с рядом специальных дисциплин части, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	1.1_Б.ОПК-1. Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ основные положения, законы и методы естественных наук и</li></ul>

<p>математики для решения задач инженерной деятельности.</p>	<p>физических и математических законов.  <b>2.1_Б.ОПК-1.</b>  Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.  <b>3.1_Б.ОПК-1.</b> Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>математики, используемые в области твердотельной электроники и важность их применения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ физическую природу электропроводности полупроводников и тех ее важнейших аспектах, которые непосредственно касаются возможности практической реализации полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники и микроэлектроники.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ аргументированно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области твердотельной электроники;</li> <li>▪ теоретически исследовать физические процессы, протекающие в структурах полупроводниковых приборов и интегральных схем.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ навыками использования знаний из физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности в области твердотельной электроники;</li> <li>▪ методами и навыками теоретического исследования и расчета параметров и характеристик полупроводниковых приборов, оптимизации режимов их работы.</li> </ul>
<p>ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные</p>	<p><b>1.1_Б.ОПК-2.</b> Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ основные методы и способы экспериментальные исследований и основных</li> </ul>

<p>приемы обработки и представления полученных данных.</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> Владеет приемами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.</p>	<p>приемов обработки и представления полученных данных;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ основные способы поиска информации, необходимой для решения поставленной задачи;</li> <li>▪ области практического использования полупроводниковых электронных приборов и интегральных схем в радиоэлектронной аппаратуре различного функционального назначения.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки</li> <li>▪ анализировать задачу, выделяя ее базовые составляющие, осуществлять декомпозицию задачи;</li> <li>▪ находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи;</li> <li>▪ рассматривать различные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки;</li> <li>▪ формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение; определять ожидаемые результаты решения выделенных задач;</li> <li>▪ использовать законы физики и соответствующий математический аппарат для описания основных физических процессов, эффектов и явлений в полупроводниках и</li> </ul>
--	--	--

		<p>полупроводниковых структурах.</p> <p><b><u>Владеть:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ навыками аргументированного выбора способов и средств измерений и проведения экспериментальных исследований;</li> <li>▪ приемами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений;</li> <li>▪ методами анализа научно-технической информации по тематике исследования, начальными навыками привлечения физико-математического аппарата для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.</li> </ul>
<p>ПК-3. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.</p>	<p><b>1.1_Б. ПК-3.</b> Аргументированно применяет методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и наноэлектроники.</p> <p><b>2.1_Б. ПК-3.</b> Решает конкретные задачи по проведению исследований характеристик электронных приборов различного функционального назначения.</p> <p><b>3.1_Б. ПК-3.</b> Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяет элементы новизны в разработке.</p>	<p><b><u>Знать:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ основные эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.</li> </ul> <p><b><u>Уметь:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ аргументированно применять методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и наноэлектроники;</li> <li>▪ решать конкретные задачи по проведению исследований характеристик электронных приборов различного</li> </ul>

		<p>функционального назначения.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ навыками обработки и анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований, определения элементов новизны в разработке.</li> </ul>
--	--	--

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семе стр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					СР С	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лек	Лаб		Пр			
				Общ ая труд оемк ость	Из них –практ ическа я подгот овка	Общ ая труд оемк ость	Из них –практ ическа я подгот овка		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Туннельный диод.	8	5	8	8	4		14	Выполнение и отчет по 1 и 2 лаб. работам
2.	Лавинно-пролетный диод.	8	4	8	8	4		14	Выполнение и отчет по 3 и 4 лаб. работам
3.	Диод Ганна.	8	4	8	8	4		14	Выполнение и отчет по 5 лаб. работе
4.	Биполярные транзисторы.	8	6	12	12	6		20	Выполнение и отчет по 6, 7 и 8 лаб. работам
5.	Динисторы и тиристоры.	8	4	8	8	4		14	Контрольная работа Выполнение и отчет по 9 лаб. работе
6.	Полевые транзисторы.	8	5	8	8	4		14	Выполнение и отчет по 10, 11 и 12 лаб. работам
7.	Другие приборы.	8		4	4	2		14	
	<b>Промежуточная аттестация</b>	8							<b>Экзамен</b>
	<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>28</b>		<b>104</b>	<b>Зачет</b>
	<b>Контроль</b>							<b>36</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>								<b>252</b>

#### Содержание дисциплины

1. Туннельный диод. Принцип действия туннельного диода. Эквивалентная схема, параметры и характеристики. Применение. Обращенный диод.
2. Лавинно-пролетный диод (ЛПД). Принцип работы ЛПД в IMPATT и TRAPATT режимах. Основные параметры. Применение. Особенности ЛПД с барьером Шоттки.
3. Диод Ганна. Эффект Ганна. Модель Ридли-Уоткинса-Хилсума. Применение диодов Ганна. Режимы работы генераторов Ганна.
4. Биполярные транзисторы. Структура и основные режимы работы. Взаимодействие двух p-n-переходов. Схемы включения. Энергетическая схема. Виды потоков носителей заряда. Принцип действия биполярного транзистора (БТ) в качестве усилителя. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе БТ. Физические параметры БТ и связь

между ними. БТ на постоянном токе. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и его физических параметров. Дрейфовый транзистор. Эффекты, связанные высоким уровнем инжекции, рекомбинацией дырок на поверхности базы, лавинным пробоем БТ. Статические характеристики БТ. Физика работы транзистора на малом переменном сигнале. Эквивалентная схема БТ. Факторы, определяющие быстродействие транзистора. БТ как 4-х-полюсник. Системы малосигнальных z-, y- и h-параметров. Новые принципы создания БТ.

5. Динисторы и тиристоры. Структура и принцип действия динистора. Параметры и ВАХ динистора. Принцип действия тиристора. Характеристики и параметры. Условия переключения. Применение.
6. Полевые транзисторы (ПТ). ПТ с управляющим p-n-переходом: принцип действия. Статические характеристики ПТ. Эквивалентная схема ПТ. Частотные свойства ПТ с управляющим p-n-переходом. ПТ с барьером Шоттки и его особенности. ПТ с изолированным затвором (МДП-транзисторы). МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. Частотные свойства МДП-транзисторов. Факторы, определяющие быстродействие МДП-транзисторов. Расчет основных параметров и характеристик. Малосигнальные параметры ПТ.
7. Другие приборы. Варикап. Стабилитрон. Полупроводниковый детекторный диод СВЧ. СВЧ детектор на термоЭДС горячих носителей заряда. Фоторезистор. Фотодиод. Полупроводниковый гетеролазер.

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

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

- < информационно-коммуникационные технологии;
- < проблемное обучение;
- < исследовательские методы в обучении;
- < дискуссии.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении лекций занятий активно используются ПК и мультимедийный проектор.

При проведении лабораторных занятий выполняются натурные эксперименты в ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ.

#### **Перечень лабораторных работ**

1. Варикап.
2. Стабилитрон.
3. Полупроводниковый детекторный диод СВЧ.
4. СВЧ детектор на термоЭДС горячих носителей заряда.
5. Генератор на диоде Ганна.
6. Туннельный диод.
7. Биполярный транзистор. Частотная зависимость коэффициента передачи тока эмиттера  $\alpha(f)$ .
8. Биполярный транзистор.  $h$ -параметры.
9. Тиристор.
10. Полевой транзистор.
11. Фоторезистор.
12. Фотодиод.
13. Полупроводниковый гетеролазер.

Описания всех перечисленных лабораторных работ имеются на кафедре физики полупроводников и, в том числе, изданные в книгах:

- ⟨ Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – 2-е изд., с изм. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2020. – 192 с. : ил. ISBN 978-5-292-04672-1 (print) ISBN 978-5-292-04673-8 (online). (прилагается)
- ⟨ Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники: Учебное пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 164 с. (прилагается)
- ⟨ Михайлов А.И., Стецюра С.В., Сергеев С.А. Лабораторный практикум по физике полупроводниковых приборов: Учебное пособие. В 2-х частях. Часть 1. Под общ. ред. Б.Н. Климова и А.И. Михайлова. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. – 72 с. (прилагается)

При проведении практических занятий (семинаров) в активной форме проводится детальный анализ вопросов физики, технологии, конструирования и проектирования конкретных типов твердотельных электронных приборов в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

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

1. Терморезисторы. Термисторы и позисторы.
2. Варисторы.
3. Тензодатчики. Тензорезисторы и тензодиоды.
4. Новые и перспективные принципы создания биполярных транзисторов.
5. Сверхбыстродействующие полевые транзисторы.
6. Интегральные микросхемы на биполярных транзисторах.
7. Интегральные микросхемы на полевых транзисторах.
8. Объемные интегральные схемы.
9. Устройства СВЧ в интегральном исполнении. Монолитные СВЧ схемы.
10. Приборы с зарядовой связью – приборы функциональной микроэлектроники.
11. Акустоэлектронные приборы.
12. Волновые принципы в твердотельной электронике.
13. Жидкокристаллические индикаторы.
14. Термоэлектрические приборы.
15. Полупроводниковые гальваноманетные приборы.
16. Эффект Ганна и его применение в электронике.
17. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением.
18. Эффекты Джозефсона и электронные элементы на их основе.
19. Одноэлектроника.
20. Квантовый эффект Холла (целочисленный и дробный).
21. Свойства квантовых ям, квантовых нитей, квантовых точек.
22. Эффект резонансного туннелирования электронов сквозь тонкие потенциальные барьеры.
23. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы.
24. Физические основы молекулярной электроники.
25. Полупроводниковые приборы на аморфных и поликристаллических полупроводниках.
26. Использование органических полупроводников в твердотельной электронике и микроэлектронике.
27. Фуллерены и углеродные нанотрубки: перспективы использования в твердотельной электронике.
28. Перспективы нанотехнологий для твердотельной электроники.

Планы проведения практических занятий (семинаров) и подробные списки рекомендуемой литературы по темам из приведенного перечня изданы в учебно-методических пособиях:

- ⟨ Михайлов А.И., Сергеев С.А., Глуховской Е.Г. Физические основы твердотельной электроники и микроэлектроники: Планы семинарских занятий: Учебное пособие для



студ. фак. нано- и биомедицинских технологий / Под общ. ред. проф. А.И. Михайлова. – Саратов: ООО «Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. – 116 с.

- ⟨ Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники и наноэлектроники. Планы семинарских занятий. – Germany. Saarbrücken: Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 228 с. ISBN: 978-3-659-88082-7.

При проведении более 50 % практических (семинарских) занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, лабораторным и практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 50 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 50 % аудиторных занятий.

*Практическая подготовка* при изучении данной дисциплины направлена на формирование, закрепление и развитие практических навыков и компетенций по профилю образовательной программы в процессе выполнения лабораторных работ, в ходе которых студенты осваивают специфику работы с электронными измерительными приборами, методики экспериментального измерения параметров и характеристик твердотельных и полупроводниковых электронных приборов, отрабатывают навыки обработки и анализа экспериментальных данных.

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

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения и индивидуальных консультаций;
- использование дистанционных образовательных технологий.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, лабораторным и практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора.

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 практическим (семинарским) занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую литературу по теме занятия;

- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета и экзамена.

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

- < Получить и проанализировать выражение для максимального значения критической частоты туннельного диода.
- < Семейства статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.
- < Обосновать и получить системы уравнений для  $y$ - и  $h$ -параметров биполярного транзистора по примеру системы уравнений для  $z$ -параметров, которая дается в лекциях.
- < Способы включения и выключения тиристор.

В ходе изучения дисциплины в часы лекционных занятий студенты выполняют контрольную работу.

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций.

#### Контрольная работа.

Вариант А. Биполярный транзистор.

Вариант Б. Тиристор.

При выполнении данной контрольной работы студент должен продемонстрировать знания принципа действия биполярного транзистора (БТ) в качестве усилителя сигналов, знания эквивалентных схем БТ, их физических параметров и статических характеристик, знание принципа действия диодного и триодного тиристор их характеристик и основных параметров.

Результаты выполнения контрольной работы учитываются при проведении промежуточной аттестации студентов на экзамене.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета и экзамена (8-й семестр).

Промежуточная аттестация по итогам выполнения работ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА проводится в форме зачета по вопросам, приведенным в описании к каждой выполняемой лабораторной работе.

Описания всех лабораторных работ имеются на кафедре физики полупроводников и, в том числе, изданные в книгах:

- < Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники: Учебное пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 164 с. (прилагается)
- < Михайлов А.И., Стецюра С.В., Сергеев С.А. Лабораторный практикум по физике полупроводниковых приборов: Учебное пособие. В 2-х частях. Часть 1. Под общ. ред. Б.Н. Климова и А.И. Михайлова. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. – 72 с. (прилагается)

#### **Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена по итогам освоения дисциплины**

1. Туннельный диод. Принцип действия туннельного диода. Эквивалентная схема, параметры и характеристики. Применение. Обращенный диод.

2. Лавинно-пролетный диод (ЛПД). Принцип работы ЛПД в IMPATT и TRAPATT режимах. Основные параметры. Применение. Особенности ЛПД с барьером Шоттки.
3. Диод Ганна. Эффект Ганна. Модель Ридли-Уоткинса-Хилсума. Применение диодов Ганна. Режимы работы генераторов Ганна.
4. Биполярные транзисторы. Структура и основные режимы работы. Взаимодействие двух р-п-переходов. Схемы включения. Энергетическая схема. Виды потоков носителей заряда.
5. Принцип действия биполярного транзистора (БТ) в качестве усилителя. Распределение концентрации инжектированных носителей в базе БТ. Физические параметры БТ и связь между ними. БТ на постоянном токе.
6. Эффекты, связанные высоким уровнем инжекции, рекомбинацией дырок на поверхности базы, лавинным пробоем БТ.
7. Дрейфовый транзистор.
8. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и тока рекомбинации дырок в базе.
9. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и  $\alpha_n$ .
10. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и  $\gamma$ .
11. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и  $\beta$ .
12. Расчет распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ и  $\alpha^*$ .
13. Эквивалентная схема БТ. Расчет  $f_{\alpha}$ . Максимальная частота генерации.
14. Статические характеристики БТ.
15. Физика работы транзистора на малом переменном сигнале. Эквивалентная схема БТ. Факторы, определяющие быстродействие транзистора.
16. Системы малосигнальных z-, y- и h-параметров.
17. Динисторы и тиристоры. Структура и принцип действия динистора. Параметры и ВАХ динистора. Принцип действия тиристора. Характеристики и параметры.
18. Полевые транзисторы (ПТ). ПТ с управляющим р-п- переходом: принцип действия. Статические характеристики ПТ. Эквивалентная схема ПТ.
19. Расчет выходной статической ВАХ полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.
20. Полевые транзисторы с изолированным затвором. МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами и их статические характеристики.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

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
8	10	20	10	20	0	0	40	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### **8 семестр**

##### **Лекции**

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах, качество выполнения заданий лектора – от 0 до 10 баллов.

##### **Лабораторные занятия**

Посещаемость, отчёты по работам **ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА** – от 0 до 20 баллов.

#### **Практические занятия**

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах и выполнении заданий, уровень подготовки к занятиям и др. – от 0 до 10 баллов.

#### **Самостоятельная работа**

Качество подготовки к лекционным и практическим занятиям (семинарам), активность на занятиях, качество выполнения контрольной работы – от 0 до 20 баллов.

#### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено

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

Не предусмотрены

**Промежуточная аттестация** по дисциплине «Твердотельная электроника» оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме экзамена.

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

При проведении промежуточной аттестации в форме экзамена:

ответ на «отлично» оценивается от 35 до 40 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от 28 до 34 баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от 20 до 27 баллов;

ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 19 баллов;

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 8 семестр по дисциплине «Твердотельная электроника» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Твердотельная электроника» в оценку (экзамен).

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 – 69 баллов	«удовлетворительно»
0 - 49 баллов	«не удовлетворительно»

В 8-м семестре в процессе изучения дисциплины «Твердотельная электроника» выполняется **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**.

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности по **ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ**.

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
8	0	30	0	30	0	0	40	100

## Программа оценивания учебной деятельности студента по ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

### 8 семестр

#### Лекции

Не предусмотрены

#### Лабораторные занятия

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

#### Практические занятия

Не предусмотрены

#### Самостоятельная работа

Качество подготовки к лабораторным занятиям, активность на занятиях, качество выполнения отчетов по лабораторным работам – от 0 до 30 баллов.

#### Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено

#### Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрены

**Промежуточная аттестация** по ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме отчетов по лабораторным работам.

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета:

ответ на «зачтено» оценивается от 24 до 40 баллов;

ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 23 баллов;

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента по ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ при проведении промежуточной аттестации в форме зачета в 8 семестре составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ в оценку (зачет):

24 балла и более	«зачтено»
меньше 24 баллов	«не зачтено»

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) литература:

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. - 9-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2009. – 480 с. (в ЗНБ СГУ 134 экз.)
2. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник. – 4-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. - 390 с. (в ЗНБ СГУ 32 экз.)
3. Шалимова К. В. Физика полупроводников [**Электронный ресурс**]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2021. – 390 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167840>. – ЭБС "ЛАНЬ".
4. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 336 с. (в ЗНБ СГУ 30 экз.)
5. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с. (в ЗНБ СГУ 35 экз.)
6. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: учеб. пособие. - 2-е изд., испр. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. - 327 с. (в ЗНБ СГУ 6 экз.)
7. Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – 2-е изд., с изм. – Саратов :

- Изд-во Саратов. ун-та, 2020. – 192 с. : ил. ISBN 978-5-292-04672-1 (print) ISBN 978-5-292-04673-8 (online). (в ЗНБ СГУ 3 экз.)
8. Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники: Учебное пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 164 с. (в ЗНБ СГУ 3 экз.)
  9. Михайлов А.И., Сергеев С.А., Глуховской Е.Г. Физические основы твердотельной электроники и микроэлектроники: Планы семинарских занятий: Учебное пособие для студ. фак. нано- и биомедицинских технологий / Под общ. ред. проф. А.И. Михайлова. – Саратов: ООО «Редакция журнала «Промышленность Поволжья», 2008. – 116 с. (в ЗНБ СГУ 1 экз.)
  10. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: Учебное пособие. – М.: Университетская книга; Логос; Физматкнига, 2006. – 494 с. (в ЗНБ СГУ 14 экз.)
  11. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2006. – 592 с. (в ЗНБ СГУ 14 экз.)
  12. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1977. – 672 с. (в ЗНБ СГУ 1 экз.)
  13. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2007. – 408 с. (в ЗНБ СГУ 2 экз.)
  14. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие. – М.: Высшее образование, 2009. – 463 с. Гриф УМО (в ЗНБ СГУ 1 экз.)
  15. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых знаний, 2003. – 488 с. (в ЗНБ СГУ 3 экз.)
  16. Джексон Р.Г. Новейшие датчики: Пер. с англ. под ред. В.В. Лучинина. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с. (в ЗНБ СГУ 2 экз.)
  17. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию: Пер. с японск. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с. (в ЗНБ СГУ 2 экз.)
  18. Михайлов А.И. Твердотельные параметрические приборы сверхвысоких частот. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 154 с. (Учебная литература, в ЗНБ СГУ 26 экз.)
  19. Родерик Э.Х. Контакты металл-полупроводник. – М.: Радио и связь, 1982. – 209 с. (в ЗНБ СГУ 1 экз.)
  20. Михайлов А.И., Стецюра С.В., Сергеев С.А. Лабораторный практикум по физике полупроводниковых приборов: Учебное пособие. В 2-х частях. Часть 1. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2002. – 72 с. (в ЗНБ СГУ 2 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. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/window/>
  6. 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 «Твердотельная электроника» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, плакатами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также

требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

**Место проведения практической подготовки:** учебная лаборатория по полупроводниковой электронике Института физики.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», профили «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур» и «Микро- и нанoeлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор: Михайлов А.И.

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 30 октября 2019 г., протокол № 3.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 20 октября 2021 года, протокол № 2.

Программа актуализирована в 2023 г. и одобрена на заседании кафедры физики твердого тела от 08 июня 2023 года, протокол № 10.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Рекомендуемая литература:

1. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. шк., 1984. – 352 с.
2. Климов Б.Н., Цукерман Н.М. Гетеропереходы в полупроводниках. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1976. – 180 с. (в ЗНБ СГУ 2 экз.)
3. Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов. – М.: Наука, 1965. – 448 с. (В ЗНБ СГУ 11 экз.) Пикус Г.Е. Основы теории полупроводниковых приборов. – М.: Наука, 1965. – 448 с. (В ЗНБ СГУ 11 экз.)
4. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 240 с.
5. Туннельные диоды (Физические основы работы) / Н.А. Белова, В.Л. Бонч-Бруевич, П.Е. Зильберман и др. – М.: Наука, 1966. – 142 с. (в ЗНБ СГУ 3 экз)
6. Пожела Ю. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Мокслас, 1989. – 264 с. (в ЗНБ СГУ 5 экз)
7. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. – М.: Мир, 1984. Кн. 1. – 456 с. Кн. 2.- 456 с.
9. Тугов Н.М. Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов / Под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
10. Шур М.С. Современные приборы на основе арсенида галлия. Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 632 с.
11. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 464 с.
12. Туннельные диоды и их применение в схемах переключения и в устройствах СВЧ диапазона / Пер. с англ. (Под ред. А.А. Визеля). – М.: Сов. радио, 1965. – 184 с.
13. Левинштейн М.Е., Пожела Ю.К., Шур М.С. Эффект Ганна. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.
14. Кэррол Дж. СВЧ-генераторы на горячих электронах. – М.: Мир, 1972. – 382 с.
15. Тагер А.С., Вальд-Перлов В.М. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. – М.: Сов. радио, 1968. – 480 с.
16. Шухостанов А.К. Лавинно-пролетные диоды. Физика, технология, применение. – М.: Радио и связь, 1997. – 208 с.
17. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника: Пер. с испан. С.И. Баскакова / Под ред. В.А. Терехова; Предисл. В.А. Терехова. – М.: Высш. шк., 1991. – 351 с.
18. Климов Б.Н. Взаимодействие горячих носителей заряда с коротковолновым СВЧ излучением. – Саратов: Изд-во Саратов ун-та, 1976. – 222 с.
19. Гусятинер М.С., Горбачев А.И. Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
20. Евсеев Ю.А. Полупроводниковые приборы для мощных высоковольтных преобразовательных устройств. – М.: Энергия, 1978. – 192 с.
21. Герлах В. Тиристоры. Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 327 с.
22. Михайлов А.И., Сергеев С.А. Физические основы твердотельной электроники и нанoeлектроники. Планы семинарских занятий. – Germany. Saarbrücken: Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 228 с. ISBN: 978-3-659-88082-7.