

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,
качеству образования, первый
проректор

_____ Хагуров Е.А.

подпись

« 28 » мая 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.07 ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) Интегральная электроника, фотоника
и наноэлектроника

Форма обучения очная

Квалификация бакалавр

Краснодар 2021

Рабочая программа дисциплины «Физика полупроводников» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» профиль «Интегральная электроника, фотоника и наноэлектроника».

Программу составил:

М.А. Жужа, доцент кафедры радиофизики
и нанотехнологий ФТФ КубГУ, канд. физ.-мат. наук



подпись

Рабочая программа дисциплины «Физика полупроводников»
утверждена на заседании кафедры радиофизики и нанотехнологий
протокол № 7 «14» апреля 2021 г.

Заведующий кафедрой (разработчик) Копытов Г.Ф.



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии
физико-технического факультета
протокол № 13 «16» апреля 2021 г.

Председатель УМК факультета Богатов Н.М.



подпись

Рецензенты:

Григорьян Р.Л., исполнительный директор научно-производственной фирмы
«Мезон», канд. техн. наук

Исаев В.А., заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных
технологий ФГБОУ ВО КубГУ, д-р физ.-мат. наук

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель освоения дисциплины

Учебная дисциплина «Физика полупроводников» ставит своей целью изучение физических эффектов и процессов в полупроводниках и полупроводниковых приборах.

1.2 Задачи дисциплины

- изучение основных понятий, эффектов, законов и моделей физики полупроводников и соответствующих им математических формул;
- формирование навыков экспериментального исследования характеристик полупроводников и полупроводниковых приборов.

1.3 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. В соответствии с рабочим учебным планом дисциплина изучается на 3 курсе по очной форме обучения. Вид промежуточной аттестации: экзамен.

Для успешного изучения дисциплины необходимы знания «Основ электричества и магнетизма», «Математического анализа» и «Дифференциальных уравнений». Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплины «Электроника и компоненты электронной техники».

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	
ПК-3.1. Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков.	Знает основные понятия, процессы, эффекты и законы физики полупроводников и соответствующие им математические формулы.
	Умеет строить физические и математические модели полупроводниковых приборов и материалов.
	Владеет навыками объяснения принципа работы полупроводниковых структур и приборов, используя физические и математические модели.
ПК-4 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	
ПК-4.2. Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.	Знает приемы обработки результатов измерений.
	Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.
	Владеет навыками работы с измерительными приборами.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Виды работ	Всего часов	Форма обучения
		очная
Контактная работа, в том числе:	60,3	60,3
Аудиторные занятия (всего):		
занятия лекционного типа	30	30
лабораторные занятия	30	30
практические (семинарские) занятия	-	-
Иная контактная работа:		
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3
Самостоятельная работа, в том числе:	19	19
Проработка учебного (теоретического) материала	8	8
Оформление и подготовка к защите лабораторных работ	8	8
Подготовка к текущему контролю	3	3
Контроль:		
Подготовка к экзамену	26,7	26,7
Общая трудоёмкость	час.	108
	в том числе контактная работа	60,3
	зач. ед.	3

2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины.

Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 5-м семестре (3 курса) (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Носители заряда в полупроводниках	20	8	-	8	4
2	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	12	8	-	-	4
3	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	16	8	-	4	4
4	Физические эффекты в полупроводниках	28	6	-	18	4
	<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>	76	30	-	30	16
	Контроль	26,7				
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	2				
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3				
	Подготовка к текущему контролю	3				3
	Общая трудоёмкость по дисциплине	108				19

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента.

2.3. Содержание разделов (тем) дисциплины

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1	Носители заряда в полупроводниках	Электропроводность полупроводников. Равновесные и неравновесные носители заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. «Горячие» электроны. Собственные, примесные и скомпенсированные полупроводники. Основные и неосновные носители. Температурный диапазон применения полупроводниковых приборов.	Устный опрос, компьютерное тестирование
2		Элементы зонной теории. Гипотеза Планка. Постулаты Бора. Гипотеза де Бройля. Принцип запрета Паули. Энергетические уровни и зоны, энергетическая диаграмма. Квазиимпульс и эффективная масса. Волновой вектор. Графики энергии свободного электрона и электрона в кристалле. «Отрицательная» масса электрона. Дырка. «Легкие» и «тяжелые» дырки.	
3	Носители заряда в полупроводниках	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Распределение Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Концентрации носителей заряда в примесных и собственных полупроводниках.	Устный опрос, компьютерное тестирование
4		Расчет положения уровня Ферми для невырожденных полупроводников: для собственного и полупроводников n- и p-типа. Определение ширины запрещенной зоны и глубины залегания примесных уровней по температурной зависимости электропроводности.	
5	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	Равновесные и неравновесные носители. Квазиуровни Ферми. Оптическая биполярная генерация. Линейная и квадратичная рекомбинации. Время жизни неравновесных носителей заряда.	Устный опрос, компьютерное тестирование
6		Основные виды рекомбинации. Демаркационные уровни. Диффузионные и дрейфовые токи. Уравнение полного тока. Соотношение Эйнштейна.	
7	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.	Устный опрос, компьютерное тестирование
8		Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда при монополярной проводимости. Длина экранирования. Максвелловское время релаксации. Диффузия и дрейф при биполярной оптической генерации. Диффузионная длина. Длина дрейфа.	
9	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	Контакт металл-полупроводник: зонные диаграммы, работа выхода, электронное сродство, контактная разность потенциалов. Распределение объемного заряда и поля. Омические контакты. ВАХ.	Устный опрос, компьютерное тестирование
10		Поверхностные состояния. Эффект поля.	
11	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	Классификация p-n-переходов. Диаграммы распределения объемного заряда, электрического поля, концентраций носителей. Барьерная емкость.	Устный опрос, компьютерное тестирование
12		Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Диффузионная емкость. ВАХ.	
13	Физические эффекты в полупроводниках	Фотоэлектрические явления в полупроводниках: фотопроводимость, фотоЭДС, ЭДС Дембера. Фотосопротивление, фотодиод, солнечная батарея.	Устный опрос, компьютерное тестирование
14		Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках: эффекты Холла и Гаусса, магнитоконцентрационный эффект.	
15		Термоэлектрические явления и эффекты: Зеебека, Пельтье и Томсона. Метод термозонда. Полупроводники в сильных электрических полях: эффект Ганна, туннельный эффект.	

2.3.2 Занятия семинарского типа (практические / семинарские)
Семинарские (практические) занятия учебным планом не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные занятия

№	Наименование раздела (темы)	Тематика работ	Форма текущего контроля
1	Носители заряда в полупроводниках	Четырёхзондовый метод и метод термозонда. Измеряется удельное сопротивление полупроводников четырёхзондовым методом. Определяется методом термозонда тип полупроводника (р-типа или n-типа).	Защита ЛР
2		Определение ширины запрещенной зоны полупроводников. Определяется ширина запрещенной зоны для 4-х полупроводников по температурной зависимости электропроводности.	Защита ЛР
3	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	ВАХ полупроводниковых диодов. Измеряются 10 вольт-амперных характеристик (ВАХ) 6 диодов.	Защита ЛР
4	Физические эффекты в полупроводниках	Датчики физических величин. Исследуются 9 различных датчиков.	Защита ЛР
5		Полупроводниковые фотоприемники. Часть 1. Фоторезистор. Исследуются характеристики фоторезистора.	Защита ЛР
6		Полупроводниковые фотоприемники. Часть 2. Фотодиод. Исследуются характеристики фотодиода.	Защита ЛР
7		Полупроводниковые фотоприемники. Часть 3. Солнечная батарея. Исследуются характеристики солнечной батареи.	Защита ЛР
8		Полупроводниковые фотоприемники. Часть 4. Фототранзистор. Исследуются характеристики фототранзистора.	Защита ЛР

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Курсовые работы – не предусмотрены.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Проработка теоретического материала	Методические указания по изучению теоретического материала, утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от 20.03.2017.
2	Оформление и подготовка к защите лабораторных работ	1. Методические указания по выполнению лабораторных работ, утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от 20.03.2017. 2. Жужа М.А. Физика полупроводников: лабораторные работы / М.А. Жужа, Е.Н. Жужа, Г.П. Ильченко. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, лабораторные занятия, проблемное обучение, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (разбор конкретных ситуаций, дискуссия, работа в малых группах) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Информационно-коммуникационные технологии представлены также средой модульного динамического обучения Moodle. На сайте Moodle КубГУ создан электронный курс для обеспечения интернет-поддержки обучения, в котором имеются материалы всех лекций и 5 тестов по ним.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Физика полупроводников».

Оценочные средства включают контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме контрольных вопросов для устного опроса и **промежуточной аттестации** в форме вопросов к экзамену.

Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора (в соответствии с п. 1.4)	Результаты обучения (в соответствии с п. 1.4)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	ПК-3.1. Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков.	Знает основные понятия, процессы, эффекты и законы физики полупроводников и соответствующие им математические формулы.	Вопросы 1-52 для устного опроса.	Вопросы 1-24 на экзамене.
2	ПК-3.1. Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков.	Умеет строить физические и математические модели полупроводниковых приборов и материалов.	Вопросы 53-65 для устного опроса.	-
3	ПК-3.1. Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков.	Владет навыками объяснения принципа работы полупроводниковых структур и приборов, используя физические и математические модели.	Вопросы 53-65 для устного опроса. Лабораторные работы 1-8.	-
4	ПК-4.2. Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.	Знает приемы обработки результатов измерений.	Лабораторные работы 1-8.	-
5	ПК-4.2. Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.	Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.	Лабораторные работы 1-8.	-
6	ПК-4.2. Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов.	Владет навыками работы с измерительными приборами.	Лабораторные работы 1-8.	-

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Контрольные вопросы для устного опроса по разделам учебной программы

Раздел 1. Носители заряда в полупроводниках.

1. Назовите основные специфические особенности полупроводников.
2. Что такое собственная электропроводность?
3. С какой целью легируют полупроводники?
4. Что такое основные и неосновные носители?
5. Что такое разрешенные и запрещенные энергетические зоны?
6. Как формируются разрешенные и запрещенные зоны в полупроводнике?
7. Где на энергетической диаграмме располагаются донорные и акцепторные энергетические уровни? Почему?
8. Что такое подвижность носителей заряда?
9. Какими формулами определяется проводимость собственных, примесных и частично скомпенсированных полупроводников?
10. Как объяснить температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике?
11. В каких координатах наиболее удобно строить экспериментальный график зависимости проводимости полупроводника от температуры для того, чтобы определить ширину запрещенной зоны?
12. В каких случаях и почему надо пользоваться различными статистиками распределения электронов по энергиям?
13. Что такое вырожденный (невырожденный) полупроводник?
14. Как связаны между собой концентрации основных и неосновных носителей в равновесных условиях?
15. В каких полупроводниках концентрация неосновных носителей выше: в сильнолегированных или в слаболегированных?
16. Что такое уровень Ферми?
17. Где располагается уровень Ферми в собственном и примесных полупроводниках?

Раздел 2. Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда.

18. Для описания какого состояния полупроводника вводят понятия квазиуровней Ферми?
19. Что такое линейная (квадратичная) рекомбинация?
20. Дайте определение термину «время жизни неравновесных носителей заряда».
21. Какие виды рекомбинации существуют?
22. Для чего вводят понятие «демаркационный уровень»?
23. Сколько слагаемых входит в уравнение полного тока?
24. Какие физические величины связывают соотношения Эйнштейна?
25. Какие физические процессы в полупроводниках учитывает уравнение непрерывности?
26. Какие 3 уравнения являются основными для расчетов большинства процессов в полупроводниках?
27. Дайте определение физическим терминам: «длина экранирования», «максвелловское время релаксации», «диффузионная длина неосновных носителей», «длина дрейфа».

Раздел 3. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках.

28. Что такое работа выхода?
29. Для чего вводят понятие электронное сродство?
30. Что такое запирающий и антизапирающий слой?
31. При каких условиях контакт металл–полупроводник является невыпрямляющим?

32. В чём заключается эффект инверсии электропроводности у поверхности?
33. Каким уравнением описывается вольт-амперная характеристика контакта металл – полупроводник?
34. Что такое поверхностные состояния? Какие они бывают?
35. Как влияют заряды на поверхности полупроводника на положение энергетических зон? Нарисуйте энергетические зоны электронного и дырочного полупроводника при наличии на поверхности положительного и отрицательного заряда.
36. Поясните «эффект поля».
37. Что называют р-п-переходом? Как они классифицируются?
38. Для равновесного р-п-перехода изобразить и объяснить распределение подвижных и неподвижных носителей заряда.
39. Какими параметрами принято характеризовать р-п-переход?
40. Что такое контактная разность потенциалов? Как она образуется?
41. Почему в состоянии равновесия ток через р-п-переход равен нулю?
42. Как и почему изменяется величина контактной разности потенциалов р-п-перехода при подключении прямого (обратного) напряжения?
43. Как и почему изменяется ширина р-п-перехода при подключении прямого (обратного) напряжения?
44. Чем определяются инерционные свойства р-п-перехода?

Раздел 4. Физические эффекты в полупроводниках.

45. Назовите основные типы полупроводниковых оптоэлектронных приборов.
46. Как объяснить спектральную характеристику полупроводниковых фотоприёмников?
47. Каковы отличия в конструкции и режимах работы фотодиода и фоторезистора?
48. Обязательно ли при поглощении фотона полупроводником появляются свободные носители заряда?
49. Каким образом в полупроводниковых термоэлементах возникает термо-ЭДС?
50. Какую конструкцию имеют магниторезисторы? Почему?
51. Какие конструкции имеют полупроводниковые магниторезистивные структуры, в которых устраняется мешающий эффект Холла?
52. Какие физические эффекты изменяют концентрацию и подвижность носителей заряда в сильных электрических полях?

Охарактеризуйте следующие модели:

53. Модель строения атомных полупроводников.
54. Зонная модель электронно-дырочной проводимости полупроводников.
55. Модель электрического тока в чистых полупроводниках.
56. Модель однородно легированного полупроводника.
57. Модель резкого р-п перехода.
58. Модель плавного р-п перехода.
59. Модель диода с барьером Шоттки.
60. Модель «тонкого» р-п-перехода.
61. Модель диода с «толстой» базой.
62. Модели выпрямительных диодов.
63. Математическая модель полупроводникового диода с р-п-переходом и его идеальной ВАХ.
64. Модель гетероструктуры.
65. Приведите собственные примеры физических и математических моделей в полупроводниках, полупроводниковых структурах и полупроводниковых приборах.

Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен)

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

1. Основы электронной теории электропроводности. Отличительные свойства электропроводности полупроводников. Энергия активации проводимости. Равновесные и неравновесные носители заряда. Дрейфовая скорость и ее оценка. Вывод формулы для удельной электропроводности полупроводников. Подвижность носителей заряда. «Горячие» электроны.

2. Модельные представления об электропроводности полупроводников. Генерация. Дырка. Рекомбинация. Удельная электропроводность собственных, примесных и скомпенсированных полупроводников. Основные и неосновные носители. Температурный диапазон применения полупроводниковых приборов.

3. Элементы зонной теории. Особое место валентных электронов. Противоречия классической электродинамики. Гипотеза Планка. Постулаты Бора. Гипотеза де Бройля. Принцип запрета Паули. Образование энергетических зон. Объяснение отличия проводников, полупроводников и диэлектриков на основе зонной теории. Энергетическая диаграмма полупроводника с донорной и акцепторной примесями.

4. Квазиимпульс и эффективная масса. Волновой вектор. Графики энергии свободного электрона и электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. «Отрицательная» масса электрона. Дырка. «Легкие» и «тяжелые» дырки.

5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака для электронов. Уровень Ферми. Распределение Максвелла-Больцмана. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Функция распределения для дырок.

6. Расчет концентраций электронов и дырок в зонах. Графики функций $N(E)$, $f(E, T)$, dn/dE . Эффективная плотность квантовых состояний. Расположение уровня Ферми в невырожденных и вырожденных полупроводниках. Расчет концентраций носителей (n_i и p_i) для собственного полупроводника.

7. Расчет положения уровня Ферми для невырожденных полупроводников (расчеты иллюстрировать графиками): а) если заданы концентрация носителей и температура; б) из условия электрической нейтральности кристалла для собственного полупроводника. Положение уровня Ферми в широком интервале температур. Температуры T_s и T_i .

8. Определение ширины запрещенной зоны и глубины залегания примесных уровней по температурной зависимости электропроводности.

9. Равновесные и неравновесные носители. Квазиуровни Ферми. Высокий и низкий уровень инжекции.

10. Оптическая биполярная генерация и линейная рекомбинация. Время жизни неравновесных носителей заряда.

11. Оптическая биполярная генерация и квадратичная рекомбинация. Мгновенное время жизни.

12. Основные виды рекомбинации: межзонная, через ловушки, рекомбинация Оже. Поверхностная рекомбинация. Центры прилипания. Демаркационные уровни.

13. Диффузионные и дрейфовые токи. Уравнение полного тока. Соотношения Эйнштейна.

14. Уравнение непрерывности, учитывающее генерацию, рекомбинацию диффузию и дрейф носителей заряда. Уравнение Пуассона.

15. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда при монополярной проводимости. Длина экранирования. Максвелловское время релаксации.

16. Диффузия и дрейф в случае биполярной оптической генерации. Диффузионная длина. Длина дрейфа.

17. Полупроводники в сильных электрических полях: «разогрев» носителей, эффект Ганна, ударная и электростатическая ионизации, туннельный эффект. Туннельный диод.

18. Физические процессы в контакте металл-полупроводник. Зонные диаграммы металла и полупроводника до контакта и структуры после контакта в состоянии равновесия и при подаче внешнего напряжения. Работа выхода, электронное сродство, контактная разность потенциалов. Распределение объемного заряда и поля. Омические контакты. ВАХ.

19. Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Энергетические диаграммы обедненного, инверсного и обогащенного слоев. Быстрые и медленные поверхностные состояния. Эффект поля.

20. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия. Классификация p-n-переходов. Диаграммы распределения объемного заряда, электрического поля, концентраций носителей. Расчет высоты потенциального барьера. Ширина и барьерная емкость резкого и плавного p-n-перехода.

21. Неравновесное состояние p-n-перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Изменения высоты, ширины барьера и барьерной емкости при прямом и обратном включении. Определение контактной разности потенциалов по вольт-фарадной характеристике. Диффузионная емкость. Расположение квазиуровней Ферми. ВАХ p-n-перехода.

22. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Классификация и характеристики приемников оптического излучения. Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы. Солнечная батарея. ЭДС Дембера.

23. Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках: Холла, Гаусса, магнитоконцентрационный. Магниторезисторы. Магнитодиоды. Магнитотранзисторы.

24. Термоэлектрические явления и эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона. Физическая сущность и применение в промышленности. Метод термозонда.

Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

- при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

- при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с

ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

- при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в печатной форме,

– в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий

5.1 Учебная литература

1. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / Ансельм, А.И. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2016. - 624 с. - <https://e.lanbook.com/book/71742> .

2. Шалимова, К.В. Физика полупроводников : учебник / К.В. Шалимова. - Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 384 с. - <https://e.lanbook.com/book/648> .

3. Жужа, М.А. Физика полупроводников : лабораторные работы / М.А. Жужа, Е.Н. Жужа, Г.П. Ильченко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т. - Краснодар : [Кубанский государственный университет], 2014. - 35 с.

4. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники / Н.В. Бурбаева. - М. : Физматлит, 2012. - 312 с. - <https://e.lanbook.com/book/5261> .

5.2 Периодическая литература

В библиотеке КубГУ имеются следующие периодические издания по профилю дисциплины:

В мире науки.

Известия ВУЗов. Серия: Радиофизика.

Известия ВУЗов. Серия: Радиоэлектроника.

Известия ВУЗов. Серия: Физика.

Инженерная физика.

Микроэлектроника.

Радиотехника и электроника.

Радиотехника. Реферативный журнал. ВИНТИ.

Сенсор.

Физика и техника полупроводников.

Электроника.

Электроника. Реферативный журнал. ВИНТИ.

Электроника: наука, технология, бизнес.

5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect www.sciencedirect.com
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) [http://www.elibrary.ru/](http://www.elibrary.ru)
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
17. «Лекториум ТВ» <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

Информационные справочные системы:

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

Ресурсы свободного доступа:

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина «Образование на русском» <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал «Русский язык» <http://gramota.ru/>;

11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал «Учеба» <http://www.ucheba.com/>;
14. Законопроект «Об образовании в Российской Федерации». Вопросы и ответы http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy_i_otvety

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru;>
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала «ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ» <http://icdau.kubsu.ru/>

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины «Физика полупроводников» при самостоятельной работе студент должен иметь:

- 1) конспект лекций в бумажном или электронном виде;
- 2) учебник (учебное пособие) в соответствии со списком литературы;
- 3) тетрадь для лабораторных работ.

Самостоятельная работа содержит следующие виды учебной деятельности студентов:

- теоретическую самоподготовку к лабораторным занятиям и к экзамену по конспектам и учебной литературе;
- оформление отчетов по результатам лабораторных работ (о выполненной лабораторной работе студенты отчитываются преподавателю на следующем (очередном) лабораторном занятии).

Приступая к изучению «Физики полупроводников» студенты должны хорошо владеть необходимым математическим аппаратом: интегрированием и дифференцированием, а также решать дифференциальные уравнения.

Студенту необходимо систематически работать в течение семестра по изучению теоретического материала и приобретению навыков экспериментальной работы.

Для запоминания лекционного материала (в том числе и в период подготовки к экзамену) студенту необходимо хорошо знать свойства памяти и активно пользоваться мнемотехническими приемами. Методические рекомендации по запоминанию можно найти в Интернете по ключевым словам: «память», «мнемоника», «мнемотехника», «как запомнить учебный материал». Желательно также ознакомиться с приемами конспектирования, т.е. со способами сокращения записи слов и словосочетаний, например, применяемыми в словарях и энциклопедиях.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мебель: учебная мебель. Магнитно-маркерная доска. Технические средства обучения: переносной проектор и ноутбук.	Windows 10 64 Russian. Office Professional Plus 2016 SP1 W32 Russian. Антивирусная защита от «Лаборатории Касперского».
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	- (Учебным планом семинарские занятия не предусмотрены.)	-
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ. Лаборатория полупроводниковой электроники.	Мебель: учебная мебель. Магнитно-маркерная доска. Технические средства обучения: переносной проектор и ноутбук. Оборудование: осциллографы С1-78, С1-92, цифровые вольтметры В7-38, источники питания Б5-9.	Windows 10 64 Russian. Office Professional Plus 2016 SP1 W32 Russian. Антивирусная защита от «Лаборатории Касперского».
Учебные аудитории для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)	- (Учебным планом курсовые работы не предусмотрены.)	-

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Windows 10 64 Russian. Office Professional Plus 2016 SP1 W32 Russian. Антивирусная защита от «Лаборатории Касперского».
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. 311с)	Мебель: учебная мебель. Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Windows 10 64 Russian. Office Professional Plus 2016 SP1 W32 Russian. Антивирусная защита от «Лаборатории Касперского».