

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Факультет физико-технический

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор

_____ Хагуров Т.А.

« 27 » 04



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.07 ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) Нанотехнологии в электронике

Программа подготовки академический бакалавриат

Форма обучения очная

Квалификация выпускника бакалавр

Краснодар 2018

Рабочая программа дисциплины Б1.В.07 «Физика полупроводников» составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника». Направленность «Нанотехнологии в электронике» (академический бакалавриат)

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 № 9 «27» марта 2018г.

Заведующий кафедрой (разработчик) Копытов Г.Ф.


подпись

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры (выпускающей)
радиофизики и нанотехнологий
протокол № 9 «27» марта 2018г.

Заведующий кафедрой (разработчика) Копытов Г.Ф.


подпись

Рабочая программа утверждена на заседании учебно-методической комиссии
физико-технического факультета
протокол № 10 «2» апреля 2018г.

Председатель УМК факультета Богатов Н.М.


подпись

Рецензенты:

1. Исаев В.А., доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и информационных систем ФТФ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

2. Гаврилов А.И., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Кубанского государственного технологического университета (КубГТУ)

1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля).

1.1 Цель освоения дисциплины.

Цель дисциплины: 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;
- изучение принципов работы полупроводниковых приборов;
- изучение методов экспериментального исследования характеристик полупроводников и полупроводниковых приборов.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к обязательным дисциплинам вариативной части Блока 1 учебного плана. Для успешного изучения дисциплины необходимы знания общего курса физики, математического анализа и дифференциальных уравнений. Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплин «Схемотехника», «Материалы электронной техники», «Физические основы электроники», «Нанoeлектроника».

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общепрофессиональной и профессиональной компетенций (ОПК, ПК):

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1	ОПК-2	студент обладает способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	основные понятия, эффекты, законы и модели физики полупроводников и соответствующие им математические формулы	использовать знания по физике полупроводников для анализа принципа работы полупроводниковых приборов	экспериментальными методами исследования полупроводников и полупроводниковых приборов
2	ПК-8	студент обладает способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	основные технологические процессы полупроводникового производства	объяснить физические явления, происходящие при различной технологической обработке полупроводников	навыками работы с измерительными приборами

2. Структура и содержание дисциплины.

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач. ед., (216 часов), и их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры (часы)		
			6		
Контактная работа, в том числе:		102,3	102,3		
Аудиторные занятия (всего):		96	96		
Занятия лекционного типа		32	32		
Лабораторные занятия		64	64		
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		—	—		
Иная контактная работа:		6,3	6,3		
Контроль самостоятельной работы (КСР)		6	6		
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,3	0,3		
Самостоятельная работа, в том числе:		78	78		
Проработка учебного (теоретического) материала		50	50		
Оформление и подготовка к защите лабораторных работ		28	28		
Контроль:		35,7	35,7		
Подготовка к экзамену		35,7	35,7		
Общая трудоёмкость	час.	216	216		
	в том числе контактная работа	102,3	102,3		
	зач. ед.	6	6		

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины. Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 6-м семестре:

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Носители заряда в полупроводниках	27	8	-	4	15
2	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	23	8	-	-	15
3	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	27	4	-	8	15
4	Физические эффекты в полупроводниках	23	4	-	4	15
5	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	74	8	-	48	18
	Итого по дисциплине:	174	32	-	64	78

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	2	3	4
1	Носители заряда в полупроводниках	Электропроводность полупроводников. Равновесные и неравновесные носители заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. «Горячие» электроны. Собственные, примесные и компенсированные полупроводники. Основные и неосновные носители. Температурный диапазон применения полупроводниковых приборов.	Устный опрос, защита ЛР
2	Носители заряда в полупроводниках	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.	
4	Носители заряда в полупроводниках	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
6	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	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

1	2	3	4
8	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	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.	Устный опрос
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. Поверхностные состояния. Эффект поля. Поверхностно-барьерная неустойчивость тока.	Устный опрос, защита ЛР
10	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	Классификация р-п-переходов. Диаграммы распределения объемного заряда, электрического поля, концентраций носителей. Барьерная емкость. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Диффузионная емкость. ВАХ.	
11	Физические эффекты в полупроводниках	Фотоэлектрические явления в полупроводниках: фотопроводимость, фотоЭДС, ЭДС Дембера. Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках: эффекты Холла и Гаусса, магнитоконцентрационный эффект.	Устный опрос, защита ЛР
12	Физические эффекты в полупроводниках	Термоэлектрические явления и эффекты: Зеебека, Пельтье и Томсона. Метод термозонда. Полупроводники в сильных электрических полях: эффект Ганна, туннельный эффект.	
13	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Процессы литографии (фотолитография, электронно-лучевая, ионно-лучевая, рентгеновская, лазерная).	Устный опрос, защита ЛР
14	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Процессы локального изменения свойств полупроводников: эпитаксия, легирование (высокотемпературное, ионная имплантация, радиационно-стимулированная диффузия, лазерный отжиг).	
15	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Процессы обработки поверхности: окисные пленки, травление (химическое, ионно-плазменное, плазмохимическое), металлизация поверхности.	
16	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Полупроводниковые резисторы, диоды и транзисторы.	

2.3.2 Занятия семинарского типа.

Семинарские занятия – не предусмотрены.

2.3.3 Лабораторные занятия.

№	Наименование раздела (темы)	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Носители заряда в полупроводниках	Четырехзондовый метод и метод термозонда. Измеряется удельное сопротивление полупроводников четырехзондовым методом. Определяется тип полупроводника (р-типа или n-типа) методом термозонда.	Защита ЛР
2	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	Основные характеристики МТОП-структуры. Изучается поверхностно-барьерная неустойчивость тока в структуре с контактом «металл – туннельный окисел – полупроводник (МТОП)».	Защита ЛР
3	Физические эффекты в полупроводниках	Исследование эффекта Холла в полупроводниках. Исследуется зависимость ЭДС Холла от силы тока через полупроводник и магнитного поля.	Защита ЛР
4	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Технология изготовления полупроводниковых приборов. На наглядных пособиях изучается технология изготовления полупроводников и полупроводниковых приборов.	Защита ЛР
5	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Датчики физических величин. Исследуются 9 различных датчиков.	Защита ЛР
6	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Датчики температуры. Исследуются 7 различных датчиков температуры.	Защита ЛР
7	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Измеритель характеристик полупроводниковых приборов Л2-56. Изучаются приемы работы с прибором Л2-56.	Защита ЛР
8	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	ВАХ полупроводниковых диодов. Измеряются 10 вольт-амперных характеристик (ВАХ) 6 диодов.	Защита ЛР
9	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	ВАХ светодиодов. Измеряются ВАХ светодиодов различного цвета.	Защита ЛР
10	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Фотоприемники. Часть 1. Фоторезистор. Исследуются характеристики фоторезистора.	Защита ЛР
11	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Фотоприемники. Часть 2. Фотодиод. Исследуются характеристики фотодиода.	Защита ЛР

1	2	3	4
12	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Фотоприемники. Часть 3. Солнечная батарея. Исследуются характеристики солнечной батареи.	Защита ЛР
13	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Фотоприемники. Часть 4. Фототранзистор. Исследуются характеристики фототранзистора.	Защита ЛР
14	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Биполярный транзистор. Измеряются характеристики биполярного транзистора.	Защита ЛР
15	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	Полевой транзистор. Измеряются характеристики полевого транзистора.	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 (модулю).

№	Вид СР	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	Методические указания по выполнению лабораторных работ, утвержденные кафедрой радиофизики и нанотехнологий, протокол № 7 от 20.03.2017. 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.

При реализации учебной работы по освоению дисциплины «Физика полупроводников» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- обсуждение сложных вопросов и проблем.

На лекции выносятся 80 % материала, изложенного в программе дисциплины. Остальные 20 % материала выносятся для самостоятельного изучения. При объяснении нового материала используются проблемное изложение и поисковая беседа. Часть учебного материала предъявляется также и в электронном виде для ознакомления и изучения. Благодаря этому сокращается время на конспектирование лекционных занятий, что позволяет показывать наглядные пособия, обсуждать современные достижения науки и техники и разбирать конкретные проблемные ситуации, возникавшие в процессе исторического развития производства полупроводниковых материалов и приборов.

На лабораторных занятиях студенты, работая малыми группами по 2 человека, измеряют характеристики полупроводников и полупроводниковых приборов, применяя на практике теоретические знания, учатся работать с цифровыми и аналоговыми измерительными приборами.

Эффективность учебной деятельности студентов оценивается по рейтинговой системе.

В учебном процессе используются следующие активные и интерактивные формы проведения занятий: презентация с обсуждением, поисковая беседа, работа в малых группах, дискуссия.

Сопровождение самостоятельной работы студентов также организовано в следующих формах:

- подробное изучение некоторых разделов дисциплины посредством изучения рекомендуемой дополнительной литературы;
- консультации для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном расширенном изучении разделов дисциплины.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации.

Оценочными средствами для текущего контроля успеваемости являются: устный опрос, защита лабораторных работ.

4.1.1 Примеры контрольных вопросов для устного опроса по разделам учебной программы.

В процессе подготовки ответов на контрольные вопросы формируются и оцениваются требуемые ФГОС и ООП для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника профиля «Нанотехнологии в электронике» компетенции – ОПК-2, ПК-8.

Ниже приводятся примеры контрольных вопросов.

Раздел 1. Носители заряда в полупроводниках.

Назовите основные специфические особенности полупроводников.

С какой целью легируют полупроводники?

Как формируются разрешенные и запрещенные зоны в полупроводнике?

Как объяснить температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике?

В каких полупроводниках концентрация неосновных носителей выше: в сильнолегированных или в слаболегированных?

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

Для описания какого состояния полупроводника вводят понятия квазиуровней Ферми?

Для чего вводят понятие «демаркационный уровень»?

Какие слагаемые входят в уравнение полного тока?

Какие физические величины связывают соотношения Эйнштейна?

Какие физические процессы в полупроводниках учитывает уравнение непрерывности?

Раздел 3. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках.

Для чего вводят понятие «электронное средство»?

При каких условиях контакт металл–полупроводник является невыпрямляющим?

В чём заключается эффект инверсии электропроводности у поверхности?

Что такое контактная разность потенциалов? Как она образуется?

Почему в состоянии равновесия ток через р-п-переход равен нулю?

Раздел 4. Физические эффекты в полупроводниках.

Как объяснить спектральную характеристику полупроводниковых фотоприёмников?

Обязательно ли при поглощении фотона полупроводником появляются свободные носители заряда?

Какие конструкции имеют полупроводниковые магниторезистивные структуры, в которых устраняется мешающий эффект Холла?

Каким образом в полупроводниковых термоэлементах возникает термо-ЭДС?

Какие физические эффекты изменяют концентрацию и подвижность носителей заряда в сильных электрических полях?

Раздел 5. Технология производства и физика полупроводниковых приборов.

Что такое контактная фотолитография?

Какие бывают фоторезисты?

Каким образом создаются эпитаксиальные слои?

Что такое ионная имплантация?

Как создаются окисные пленки на поверхности полупроводника?

Каковы виды химического травления?

Каким образом осуществляется металлизация поверхности полупроводника?

Каковы отличия в конструкциях и режимах работы фотодиода и фоторезистора?

Из каких материалов изготавливают полупроводниковые резисторы, диоды и транзисторы?

Может ли выпрямительный диод работать на радиочастотах? Почему?

Каковы преимущества имеют диоды Шоттки по сравнению с диодами на р-п-переходах?

У биполярного транзистора имеются два встречно включенных р-п-перехода. Если таким же образом соединить два отдельных диода, будет ли такая структура усиливать сигналы, как обычный транзистор?

Перечень частей компетенций, проверяемых оценочным средством:

ОПК-2: знать основные понятия, эффекты, законы и модели физики полупроводников и соответствующие им математические формулы; уметь использовать знания по физике полупроводников для анализа принципа работы полупроводниковых приборов.

ПК-8: знать основные технологические процессы полупроводникового производства; уметь объяснить физические явления, происходящие при различной технологической обработке полупроводников.

Критерии оценки:

Оценка «**зачтено**» ставится, если продемонстрирован достаточный уровень эрудированности студента, выводы и наблюдения самостоятельны и в целом продемонстрированы знания и умения необходимых компетенций.

Оценка «**не зачтено**» ставится, если студент не может дать правильные ответы на 50 % вопросов или в ответах допущены несколько грубых ошибок.

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

4.2.1 Вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине «Физика полупроводников» для направления подготовки для направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника профиля «Нанотехнологии в электронике».

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 примесью.

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. 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.
18. Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Энергетические диаграммы обедненного, инверсного и обогащенного слоев. Быстрые и медленные поверхностные состояния. Эффект поля.
19. Электронно-дырочный переход в состоянии равновесия. Классификация р-п-переходов. Диаграммы распределения объемного заряда, электрического поля, концентраций носителей. Расчет высоты потенциального барьера. Ширина и барьерная емкость резкого и плавного р-п-перехода.
20. Неравновесное состояние р-п-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 р-п-перехода.
21. Фотоэлектрические явления в полупроводниках: фотопроводимость, фотоЭДС, ЭДС Дембера. Классификация и характеристики фотоприемников.
22. Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках: Холла, Гаусса, магнитоконцентрационный. Магниторезисторы. Магнитодиоды. Магнитотранзисторы.
23. Термоэлектрические явления – эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона. Физическая сущность и применение в промышленности. Метод термозонда.
24. Полупроводники в сильных электрических полях. «Разогрев» носителей. Эффект Ганна. Ударная ионизация. Туннельный эффект. Электростатическая ионизация.
25. Технологические процессы фотолитографии.
26. Литография: электронно-лучевая, ионно-лучевая, рентгеновская, лазерная.
27. Технологические процессы локального изменения свойств полупроводников: эпитаксия, легирование (высокотемпературное, ионная имплантация, радиационно-стимулированная диффузия, лазерный отжиг).
28. Технологические процессы обработки поверхности: окисные пленки, травление (химическое, ионно-плазменное, плазмохимическое), металлизация поверхности.
29. Конструкции, принципы работы и основные параметры полупроводниковых резисторов: терморезисторов, тензорезисторов, фоторезисторов, варисторов.
30. Конструкции, принципы работы и основные параметры полупроводниковых диодов: выпрямительных, стабилитронов, стабилиторов, высокочастотных, импульсных, варикапов.
31. Конструкции, принципы работы и основные параметры полупроводниковых диодов: туннельных, обращенных, диодов Шоттки.
32. Конструкции, принципы работы и основные параметры полупроводниковых диодов: фотодиодов, солнечной батареи, светодиодов.

33. Конструкции, принципы работы и основные параметры биполярных транзисторов и фототранзисторов.

34. Конструкции, принципы работы и основные параметры полевых транзисторов.

Экзамен по дисциплине «Физика полупроводников» проводится в письменной форме по билетам, утвержденным в установленном порядке.

Перечень частей компетенций, проверяемых оценочным средством:

ОПК-2: знать основные понятия, эффекты, законы и модели физики полупроводников и соответствующие им математические формулы; уметь использовать знания по физике полупроводников для анализа принципа работы полупроводниковых приборов.

ПК-8: знать основные технологические процессы полупроводникового производства; уметь объяснить физические явления, происходящие при различной технологической обработке полупроводников.

Образец экзаменационного билета

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Кубанский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Кафедра радиофизики и нанотехнологий

11.03.04 Электроника и микроэлектроника («Нанотехнологии в электронике»)

Дисциплина «Физика полупроводников»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

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. 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.

Зав.кафедрой
радиофизики и нанотехнологий

Копытов Г.Ф.

Оценка знаний на экзамене производится по следующим *критериям*:

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в том случае, если студент демонстрирует:

- незнание основных законов, формул, понятий и терминов учебной дисциплины;
- поверхностное знание теоретического материала.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится студентам, которые при ответе:

- в основном знают учебно-программный материал в объеме, необходимом для продолжения учебы и работы по профессии;
- в целом усвоили основную литературу;
- в ответах на экзаменационные вопросы имеют нарушения в последовательности изложения учебного материала, демонстрируют поверхностные знания вопроса, приводят без математических выводов необходимые физические формулы;
- имеют краткие ответы только в рамках лекционного курса;
- приводят нечеткие формулировки физических понятий и законов;
- имеют существенные погрешности и грубые ошибки в ответе на вопросы экзаменационного билета.

Оценка **«хорошо»** ставится студентам, которые при ответе:

- обнаруживают твёрдое знание программного материала, который излагают систематизировано, последовательно и уверенно;
- усвоили основную и наиболее значимую дополнительную литературу;
- допускают отдельные погрешности и незначительные ошибки при ответе;
- не полностью приводят математические выводы для физических формул в письменных ответах;
- в устных ответах не допускает серьезных ошибок и легко устраняет отдельные неточности с помощью дополнительных вопросов преподавателя.

Оценка **«отлично»** ставится студентам, которые при ответе:

- обнаруживают всестороннее систематическое и глубокое знание программного материала (знание основных понятий, законов и терминов учебной дисциплины, умение оперировать ими);
- излагают материал логично, последовательно, развернуто и уверенно;
- излагают материал с достаточно четкими формулировками, подтверждаемыми графиками, цифрами или примерами;
- владеют научным стилем речи;
- делают математические выводы физических формул;
- демонстрируют знание материала лекций, базовых учебников и дополнительной литературы.

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 зачете;
- 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 печатной форме увеличенным шрифтом,
- 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 основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля).

5.1 Основная литература:

1. Шалимова, Клавдия Васильевна. Физика полупроводников [Текст]: учебник / К.В. Шалимова. — Изд. 4-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань, 2010. — 392 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — ISBN 9785811409228.

2. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2009. — 336 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2371>.

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань», «Юрайт», «Университетская библиотека ONLINE».

5.2 Дополнительная литература:

1. Игумнов, Д.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д.В. Игумнов, Г.П. Костюнина. — Электрон. дан. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2016. — 394 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/111058>.

2. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Бурбаева. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2012. — 312 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5261>.

3. Смирнов, Ю.А. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 560 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5856>.

4. Жужа, Михаил Александрович (КубГУ). Физика полупроводников [Текст]: 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.: ил. — Библиогр.: с. 34.

5.3 Периодические издания:

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.

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля).

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам – URL: <http://window.edu.ru/>.

2. Федеральный образовательный портал – URL: http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm.

3. Каталог научных ресурсов – URL: <http://www.scintific.narod.ru/literature.htm>.

4. Большая научная библиотека – URL: <http://www.sci-lib.com/>.

5. Раздел «Физика» Естественно-научного образовательного портала – URL: <http://www.en.edu.ru/catalogue/304>.

6. Раздел «Полупроводники» образовательного проекта А.Н. Варгина «Физика, химия, математика студентам и школьникам» – URL: http://www.ph4s.ru/books_tehnika.html.

7. Раздел «Технические науки (Радиофизика. Радиоэлектроника. Полупроводниковая электроника и др.)» образовательного проекта А.Н. Варгина «Физика, химия, математика студентам и школьникам» – URL: http://www.ph4s.ru/book_ph_poluprovodnik.html.

8. Информационные ресурсы Научной библиотеки КубГУ – URL: <http://www.kubsu.ru/ru/university/library/resources>.

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).

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, известными из учебной дисциплины «Педагогика и психология». Методические рекомендации по запоминанию можно найти и 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.

Успешность освоения студентом учебной дисциплины отражается в его рейтинге – сумме баллов, которая формируется в течение семестра по результатам устных опросов и защит лабораторных работ.

Типовые задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Тема или задание текущей работы	Кол-во часов	Форма представления результатов	Сроки выполнения (недели)
1.	Носители заряда в полупроводниках	15	Устный опрос. Защита ЛР.	3
2.	Генерация, рекомбинация, диффузия и дрейф носителей заряда	15	Устный опрос.	3
3.	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	15	Устный опрос. Защита ЛР.	3
4.	Физические эффекты в полупроводниках	15	Устный опрос. Защита ЛР.	3
5.	Технология производства и физика полупроводниковых приборов	18	Устный опрос. Защита ЛР.	4
Итого:		78		16

Занятия лекционного типа являются одной из основных форм обучения студентов, во время которых студентам предоставляется возможность ознакомиться с основными научно-теоретическими положениями, проблемами дисциплины, получить необходимое направление и рекомендации для самостоятельной работы с учебниками, учебными пособиями. Лекция является результатом кропотливой подготовки преподавателя, изучения и обобщения научной и учебной литературы. Столь же усердной должна быть и подготовка студента накануне лекции, посредством изучения соответствующей учебной литературы, повторения ранее пройденных тем.

Во время лекции следует записать дату ее проведения, тему, план лекции, вопросы, которые выносятся на самостоятельное изучение, отметить новинки учебной и научной литературы, рекомендованные лектором. Студентам рекомендуется конспектировать ее основные положения, не стоит пытаться дословно записать всю лекцию, поскольку скорость лекции не рассчитана на дословное воспроизведение выступления лектора в конспекте, тем не менее она является достаточной для того, чтобы студент смог не только усвоить, но и зафиксировать на бумаге сущность затронутых лектором проблем, выводы, а также узловые моменты, на которые обращается особое внимание в ходе лекции. На лекции студенту рекомендуется иметь на столах помимо конспектов также программу курса, которая будет способствовать развитию мнемонической памяти, возникновению ассоциаций между выступлением лектора и программными вопросами. В случае возникновения у студента по ходу лекции вопросов, их следует задавать сразу же или в конце лекции в специально отведенное для этого время.

Лабораторные работы составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Они направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование необходимых профессиональных умений и навыков;

Методические указания по проведению лабораторных работ разрабатываются на срок действия рабочей программы дисциплины и включают:

- заглавие, в котором указывается вид работы (лабораторная), ее порядковый номер, объем в часах и наименование;
- цель работы;
- предмет и содержание работы;
- порядок (последовательность) выполнения работы;

- общие правила к оформлению работы;
- контрольные вопросы и задания;
- список литературы (по необходимости).

Состав заданий для лабораторной работы должен быть спланирован с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов.

Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Для каждой лабораторной работы предусмотрена процедура защиты, в ходе которой преподаватель проводит устный опрос студентов для контроля понимания выполненных ими измерений, правильной интерпретации полученных результатов и усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).

8.1 Перечень информационных технологий.

1. Консультирование посредством электронной почты.

8.2 Перечень информационных справочных систем:

1. Электронный каталог научной библиотеки КубГУ (<http://212.192.134.46/MegaPro/Web>).
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE» (http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red).
3. Электронная библиотечная система издательства «Лань» (<https://e.lanbook.com/>).
4. Электронная библиотечная система «Юрайт» (<https://www.biblio-online.ru/>).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Аудитория 317с, оснащенная переносным проектором и магнитно-маркерной доской.
2.	Семинарские занятия	- (Учебным планом семинарские занятия не предусмотрены.)
3.	Лабораторные занятия	Аудитория 317с, оснащенная оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ.
4.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория 317с, оснащенная переносным проектором и магнитно-маркерной доской.
5.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория 317с, оснащенная переносным проектором и магнитно-маркерной доской.
6.	Самостоятельная работа	Аудитория 311с, оснащенная компьютерной техникой с подключением к сети Интернет.

Учебная лаборатория полупроводниковой электроники ФТФ КубГУ		
Лабораторные занятия по дисциплине «Физика полупроводников» проводятся в учебной лаборатории полупроводниковой электроники (ауд. 317с), оснащенной необходимым лабораторным оборудованием и приборами.	Оборудование учебной лаборатории:	Кол-во
	Осциллограф С1-78	2
	Осциллограф С1-92	1
	Цифровой вольтметр В7-38	5
	Источник питания Б1-12	1
	Источник питания Б5-9	5
	Источник питания Б5-12	1
	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-54	1
	Измеритель мощности термисторный МЗ-22А	1
	Измеритель характеристик полупроводниковых приборов Л2-56	1
	Комплект лабораторного оборудования К32	1
	Измеритель КСВН панорамный РК2-47	1
	Измеритель КСВН панорамный Р2-59	1
	Генератор импульсов Г5-54	2
	Генератор Л30	3